ISSN　1346－7328
国総研資料　第 910 号
共同研究報告書　第 468 号
平成　28　年　3 月

国土技術政策総合研究所資料 共同研究報告書
土木研究所 共同研究報告書

Technical Note of National Institute for Land and Infrastructure Management, No.910
and
Cooperative Research Report of Public Works Research Institute, No.468
March 2016

プレストレストコンクリート橋における
初期変状の影響評価と対策に関する
共同研究報告書（その１）

Research on Early-year Distress in Prestressed Concrete Bridges and its Countermeasures (Part 1)

国土交通省 国土技術政策総合研究所
国 立 研 究 開 発 法 人　土 木 研 究 所
(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会

National Institute for Land and Infrastructure Management
Public Works Research Institute
Japan Prestressed Concrete Contractors Association

国土技術政策総合研究所資料
第 910 号
土木研究所共同研究報告書
第 468 号
2016 年 3 月

プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書（その１）

国土交通省 国土技術政策総合研究所
国立研究開発法人 土木研究所
（一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会

概要

本研究は、PC 橋の耐久性、品質向上を目指し、初期変状防止に向けた設計・施工法を提案することを目的としている。

平成 25～26 年度は、定期点検結果など初期変状事例の収集整理と原因分析、建設中の PC 橋における施工時のひずみ等計測や解析、初期変状防止に資する技術基準や材料・施工等基準や規格の実態や変遷調査を行った。その結果を基に、初期変状防止対策基準の提案に向けた基本的な考え方を整理した。

キーワード：PC 橋、初期変状、ひび割れ、防止対策

Technical Note of NILIM
No.910
Cooperative Research Report of PWRI
No.468
March 2016

Research on Early-year Distress in Prestressed Concrete Bridges and its Countermeasures (Part 1)

National Institute for Land and Infrastructure Management
Public Works Research Institute
Japan Prestressed Concrete Contractors Association

Synopsis

The goal of this project is to propose a design methodology and construction quality improvements to prevent early-year distress in prestressed concrete bridges. The avoidance of early-year distress such as crack is supposed to improve the reliability of structural durability.

In the years of 2013 to 2014, the present study first analyses initial inspection results for bridges under the jurisdiction of Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, where initial inspections shall be conducted within two years after being put in service using a closed-view observation, so that the present situations of early-year distress in new structures are revealed. In addition, on-site real-time measurements were conducted at two bridges in terms of the development in strain and internal stresses during construction. Based on such results, the present report sorts out the technical issues to improve the identified early-year distress situations.

Key Words : prestressed concrete bridge, initial deformation, crack, prevention countermeasure

共同研究参加機関および担当者名簿

（平成 28 年 3 月現在　順不同）

（国研）土木研究所 構造物メンテナンス研究センター 橋梁構造研究グループ

石田　雅博
藤井　雄介（　平成 27 年 7 月～）
和田　圭仙（～平成 27 年 6 月　）
林　　克弘
栗原　勇樹（　平成 27 年 4 月～）
石井　豪　（～平成 27 年 3 月　）

国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路構造物研究部 橋梁研究室

玉越　隆史
白戸　真大
正木　守　（　平成 27 年 4 月～）
狩野　武　（～平成 27 年 3 月　）

(一社) プレストレスト・コンクリート建設業協会　技術部会

諸橋　明
中山　良直
左東　有次
中村　定明
安藤　健
矢野　一正
三本　竜彦
佐藤　徹
岡本　修一
村井　弘恭
小野塚豊昭
河村　直彦
齋藤　幸治（　平成 26 年 4 月～）
鈴木　雅博（　平成 27 年 6 月～）
青木　治子（　平成 27 年 6 月～）
秋月　敏政（～平成 27 年 5 月　）
月東　宏之（～平成 27 年 5 月　）
西垣　義彦（～平成 26 年 3 月　）
吉川　卓　（～平成 25 年 3 月　）

まえがき

プレストレストコンクリート（PC）橋は、プレストレスを導入することで有効断面を制御しているため、全断面を有効断面と仮定した設計で、安全率を付与している。設計や使用材料、施工時荷重や温度などの施工条件、施工技量の影響などいくつかの要因が単独もしくは複合的に作用しひび割れが生じることも考えられるが、ひび割れをゼロにすることはできないものの、見込み違いをできるだけなくし、設計の前提条件である有効断面の確保に対する信頼性を明らかにし、これを向上させる必要がある。

このような背景のもと、供用年度が比較的新しい PC 橋の変状を「初期変状」と定義し、発生原因の特定、および変状発生リスクを低減させる方策の確立を目的として、平成 25 年度から平成 28 年度の 4 ヶ年計画で、国立研究開発法人土木研究所、国土交通省国土技術政策総合研究所、一般社団法人プレストレスト・コンクリート建設業協会の 3 者で共同研究を実施している。本報告書は、その年のうち、平成 25 年度～平成 26 年度の 2 年分の成果をとりまとめたものである。

目　次

1 章 研究概要

1.1 研究の背景と目的 1
1.2 研究の流れと体制 1
1.2.1 研究の流れ 1
1.2.2 研究体制 2
1.3 用語の定義 3
1.4 報告書の構成 3

2 章 ＰＣ橋における初期変状の実態と原因推定

2.1 検討概要 5
2.2 定期点検データに基づくひび割れパターンの整理 5
2.3 定期点検データに基づくプレテン桁とポステン桁の損傷事例と原因分析 20
2.3.1 検討概要 20
2.3.2 原因分析を行う橋梁の選定 21
2.3.3 統計的なひび割れ発生の原因分析 23
2.3.4 点検調書による原因分析 28
2.3.5 まとめと今後の検討課題 31
2.4 急曲線を有する PC 橋の損傷事例と原因分析 32
2.4.1 検討概要 32
2.4.2 ひび割れの発生状況 33
2.4.3 ひび割れの発生原因 34
2.4.4 現行の「道路橋示方書」、「コンクリート道路橋設計便覧」に基づく設計 36
2.4.5 まとめ 40
2.5 本研究で対象とする初期変状 41

3 章 設計および施工の技術変遷調査

3.1 技術変遷調査 43
3.2 調査項目の抽出 43
3.3 変遷調査 51
3.3.1 変遷調査の概要 51
3.3.2 設計の変遷調査結果 51

3.3.3 施工の変遷調査結果 56
3.4 変状事例の確認 62
3.5 初期変状防止に向けた変遷調査結果の分析 72
3.5.1 概要 72
3.5.2 変状事例にもとづく初期変状防止技術の分析 72
3.5.3 更なる初期変状防止に向けた対策の方向性 75
3.6 まとめ 76

4 章 既往の初期変状防止対策の調査

4.1 検討概要 77
4.2 諸基準の動向調査 78
4.2.1 諸基準の構成 78
4.2.2 諸基準の初期変状防止対策の分析 111
4.2.3 初期変状防止対策の方向性 117
4.3 初期変状防止対策に関する文献調査 119
4.3.1 文献調査結果 120
4.3.2 文献調査結果のまとめ 133
4.3.3 まとめ 137
4.4 初期変状防止のための提案事項 138
4.4.1 施工時および竣工後の弱材令時に生じやすいひび割れ事例 138
4.5 まとめ 160

5 章 実橋における施工時の挙動計測

5.1 検討概要 161
5.2 施工中の挙動計測（その１：支保工架設） 162
5.2.1 橋梁概要 162
5.2.2 支保工反力 166
5.2.3 鉄筋ひずみとコンクリート温度 177
5.3 施工中の挙動計測（その２：張出し架設） 195
5.3.1 橋梁概要 195
5.3.2 鉄筋・コンクリートひずみとコンクリート温度 199
5.4 まとめ 222

6 章 まとめ 223

参 考 資 料

資料-1　施工中の挙動計測データ（その１：支保工架設）..... 226
資料-2　施工中の挙動計測データ（その２：張出し架設）..... 245

１章　研究概要

1.1 研究の背景と目的

プレストレストコンクリート橋（以下、「PC 橋」という。）は、プレストレスを導入することでコンクリートが全断面で有効となるように設計される。しかしながら、近年の直轄橋梁の定期点検結果の分析等によると、供用年度が比較的新しい PC 橋においてもひび割れの発生が報告[1]されており、設計で前提とした有効断面の設計作用断面中の変わらぬ確保の確からしさを向上させる余地が認められる。

このような PC 橋の初期変状要因としては、設計や使用材料、施工時荷重や温度、内力などの施工条件、施工技量の影響などいくつかの要因が単独もしくは複合的に影響していることが考えられる。

そこで本研究では、初期変状の原因の特定と変状発生リスクの低減策の確立を目的に、定期点検結果など初期変状事例の収集整理、既往の初期変状防止対策事例の収集整理、初期変状の分析と耐荷性能、耐久性能に及ぼす影響評価、主要因に対する再現解析や実施工計測による検証、初期変状に対する要求性能の整理、文献調査等に基づく初期変状の防止対策（案）の検討、初期変状防止対策の標準構造の検討、初期変状に関する要因に対してより信頼性の高い評価が期待できる PC 橋の新しい設計手法について検討を行ったものである。

1.2 研究の流れと体制

1.2.1 研究の流れ

本共同研究は、平成 25 年度～平成 28 年度の 4 ヶ年で計画され、研究の流れは以下のとおりである（**表-1.2.1**）。このうち、平成 25～26 年度の研究内容に関して、報告書（その１）として本報告書にまとめている。

（1）　初期変状事例の収集整理
（2）　初期変状の分析（要因分類、点検結果の分析等）
（3）　初期変状の検証（実施工計測等）
（4）　既往の初期変状防止対策の事例収集
（5）　初期変状抑制対策の対象項目の検討（文献調査、他基準動向等）
（6）　変状抑制のための対策案や留意事項の検討（パラメータ解析、再現解析等）

表-1.2.1　研究の全体計画

研究細目	研究分担			研究工程			
	土　研	国総研	PC 建協	平成 25 年度	平成 26 年度	平成 27 年度	平成 28 年度
初期変状事例の収集整理	○	◎	○	←→			
初期変状の分析 （要因分類、点検結果の分析等）	○	○	◎	←→	←→	←→	
初期変状の検証 （実施工計測）	◎	○	◎	←→	←→		
既往の初期変状防止対策の事例収集	○	○	◎	←→			
初期変状抑制対策の対象項目の検討（文献調査、他基準動向等）	○	○	○	←→	←→	←→	
変状抑制のための対策案や留意事項の検討（パラメータ解析、再現解析等）	○	○	◎		←→	←→	←→

※太枠（平成 25～26 年度）は、本報告書（その１）の対象範囲

1.2.2 研究体制

本共同研究の研究体制を**表-1.2.2** に示す。

表-1.2.2　共同研究体制

所　属　名	氏　名	役　職　名
国立研究開発法人土木研究所 構造物ﾒﾝﾃﾅﾝｽ研究ｾﾝﾀｰ	石田　雅博	橋梁構造研究グループ　上席研究員
	和田　圭仙	橋梁構造研究グループ　主任研究員
	藤井　雄介	橋梁構造研究グループ　研究員
	林　　克弘	橋梁構造研究グループ　交流研究員
	栗原　勇樹	橋梁構造研究グループ　交流研究員
	石井　豪	基礎材料チーム　　交流研究員
国土技術政策総合研究所	玉越　隆史	道路構造物研究部　橋梁研究室　室長
	白戸　真大	道路構造物研究部　橋梁研究室　主任研究官
	狩野　武	道路構造物研究部　橋梁研究室　交流研究員
	正木　守	道路構造物研究部　橋梁研究室　交流研究員
(一社)ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽﾄ・ｺﾝｸﾘｰﾄ建設業協会	諸橋　明	協会　技術部会
	中山　良直	〃

	左東　有次	〃
	中村　定明	〃
	安藤　健	〃
	矢野　一正	〃
	三本　竜彦	〃
	佐藤　徹	〃
	岡本　修一	〃
	村井　弘恭	〃
	小野塚豊昭	〃
	河村　直彦	〃
	齋藤　幸治	〃
	鈴木　雅博	〃
	青木　治子	〃
	秋月　敏政	〃
	月東　宏之	〃
	西垣　義彦	〃
	吉川　卓	〃

1.3 用語の定義

1） 初期変状　　供用開始後 2 年以内に行われる定期点検（初回点検）までの間に生じる PC 橋のひび割れやたわみ等の変状の総称であり、ジャンカやコールドジョイントなどの初期欠陥、並びに地震や衝突等による損傷を除いたものをいう。

比較的初期の段階で PC 橋に生じる変状を分析するためには、実態に基づく統計的なデータが必要となる。供用後 2 年以内に定期点検の初回（初回点検）を行うことを国が管理する道路橋では定期点検の一環として平成 16 年より義務付けている。本研究では、この初回点検の結果以外に比較的初期段階で PC 橋に生じる変状を統計的に分析できるデータが乏しいことを踏まえ、初回点検結果を対象として PC 橋に生じる変状を分析することとした。このような背景から「初期変状」を上記のように定義している。

1.4 報告書の構成

本報告書の構成は、以下のとおりである。

1. 研究概要
2. PC 橋における初期変状の実態と原因推定
3. 設計及び施工の技術基準変遷調査
4. 既往の初期変状防止対策の調査
5. 実橋における施工時の挙動計測
6. まとめ

参考資料

1. 施工中の挙動計測データ（その１：支保工架設）
2. 施工中の挙動計測データ（その２：張出し架設）

参考文献

1) 玉越隆史、横井芳輝、石尾真理：全国規模の点検データに基づく道路橋のコンクリート部材の劣化の特徴、コンクリート工学論文集、第 25 巻、pp167-180、2014.

２章　ＰＣ橋における初期変状の実態と原因推定

2.1 検討概要

本章では､近年の道路橋の点検データに基づく PC 橋の損傷実態の整理や原因分析を行い、本研究で対象とする PC 橋の初期変状を示す。

橋梁定期点検結果ならびに昨今の不具合事例の内容から、比較的初期の段階で発生したと考えられるひび割れが確認されている。そこで、初期段階において何らかの原因で生じたと考えられる変状を抽出し、ひび割れパターン・原因を整理する。

以下に検討概要を示す。

2.2 定期点検データに基づくひび割れパターンの整理では、各地方整備局において 2008 年度～2012 年度に実施された橋梁定期点検結果から､初回点検及び初回点検を含む全点検のデータをもとに PC 橋の損傷実態を整理する。

2.3 定期点検データに基づくプレテン桁とポステン桁の損傷事例と原因分析では、架橋実績の多い PC-T 桁について、プレテンション桁とポストテンション桁に区分し、損傷事例を整理した上で、使用材料（コンクリート強度、水セメント比等）、製作場所（工場製作／現場製作）やプレストレス導入方法など、両者の設計や施工方法の違いに基づき、それぞれ特徴的な損傷の原因分析を行った。

2.4 急曲線を有する PC 橋の損傷事例と原因分析では、2.2 で収集した PC 橋の初回点検結果のうち、特に初期変状の程度が顕著で、耐荷性能や耐久性能に影響を及ぼすと考えられる事例を抽出し、原因分析を行った。

2.5 本研究で対象とする初期変状では、2.2～2.4 の結果を踏まえ、PC 橋の初期変状のうち耐荷性能や耐久性能への影響が懸念され、早急に対応を図るのが望ましいと考えられる主要な項目を抽出し、本共同研究において対象とする検討課題を整理した。

2.2 定期点検データに基づくひび割れパターンの整理

(1) 目的

近年の PC 橋における定期点検データをもとに、構造形式ごとの損傷実態、並びにその中で初期変状に該当する変状の発生傾向を整理する。

(2) 対象及び集計方法

対象は、各地方整備局が管理する PC 橋の定期点検結果のうち 2011 年 4 月時点の定期点検結果（初回点検を含む）とした。

集計は、橋毎に作成されている点検カルテから、橋梁定期点検要領（案）（平成 16 年 3 月国土交通省）に示されている上部構造のひび割れパターン「①～⑳」（**表-2.2.2, 表-2.2.3**）及び点検カルテ作成時に、それらのパターンに分類されなかったパターンのひび割れ「他」について、構造形式ごとに機械的に抽出し分類したものである。

なお、以降において「全点検」とは、上記対象のうち各橋の最新の点検結果をいう。また、「初回点検」とは「全点検」のうち、供用後初めて行われた定期点検をいう。

(3) 調査結果

1)全点検結果

PC 橋の定期点検結果（全点検）のひび割れパターン分類を**表-2.2.1**、構造形式毎のひび割れパターンについてひび割れ発生径間数で集計した結果を**図-2.2.1～図-2.2.6** に示す。**図-2.2.7** に PC 橋の定期点検結果のひび割れパターン特徴（全点検）を示す。対象とした PC 橋は、8,434 橋（20,743 径間）中、ひびわれの発生していた 2,756 橋（8,190 径間）である。

表-2.2.1　PC 橋の定期点検結果のひび割れパターン分類（全点検）

構造形式	ひび割れパターン（径間）																						総径間数
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	他	不明	合計	
プレテンT桁	54	104	13	117	219	31	16	32	22	11	288	5	0	20	4	0	53	227	43	33	778	290	2,360	8,574
プレテン中実床版	43	244	5	10	4	5	1	0	4	1	1	2	0	1	0	0	8	1	6	1	84	76	497	3,304
プレテン中空床版	16	109	8	16	2	5	0	0	3	6	2	0	2	0	2	0	8	0	0	0	59	36	274	1,413
ポステンT桁	113	497	14	102	49	40	3	3	32	23	184	8	2	20	16	0	89	82	61	107	931	380	2,756	3,874
ポステン箱桁	33	181	20	55	14	5	0	5	12	11	25	4	24	0	1	0	38	11	3	18	261	98	819	795
ポステン中空床版	86	308	34	142	77	8	0	0	15	6	5	0	1	1	3	42	27	6	4	15	598	105	1,484	2,783
※プレテン中実床版は「プレテン床版」とした。																							8,190	20,743

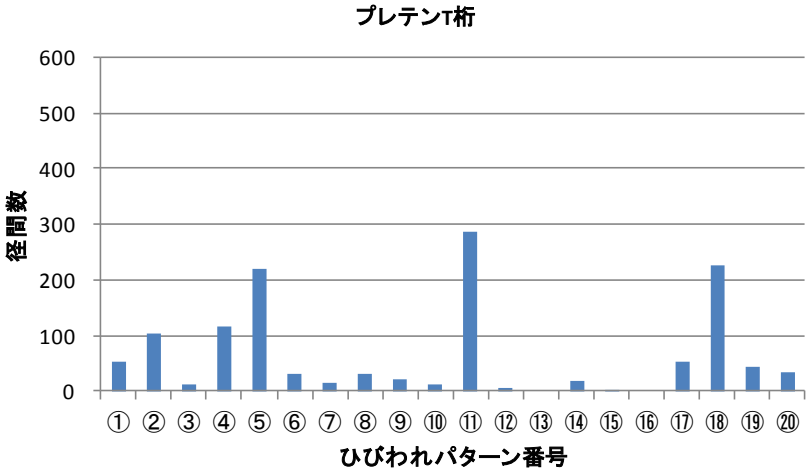


図-2.2.1　ひび割れ発生径間数（プレテン桁）

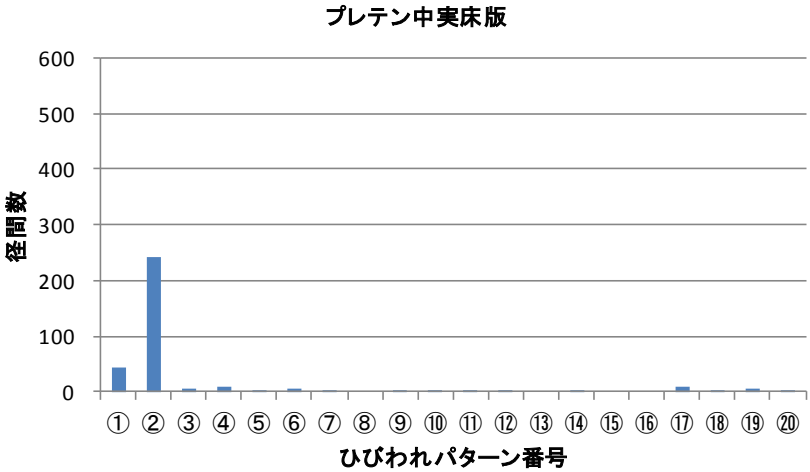


図-2.2.1　ひび割れ発生径間数（プレテン中実床版）

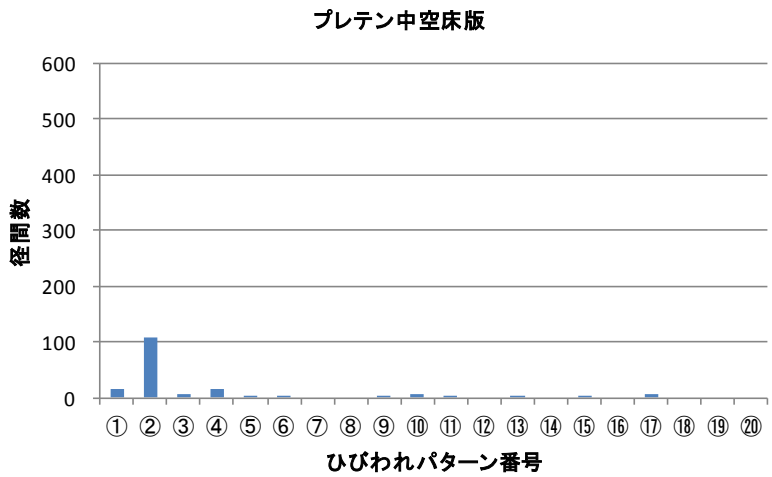


図-2.2.3　ひび割れ発生径間数（プレテン中空床版）

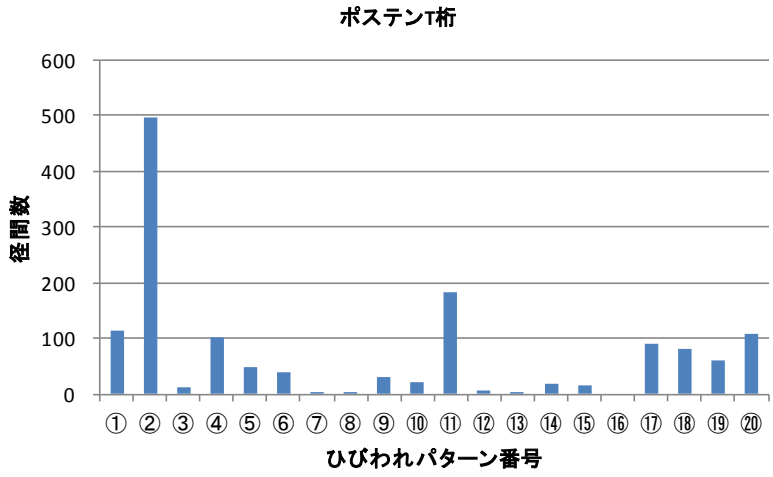


図-2.2.4　ひび割れ発生径間数（ポステン桁）

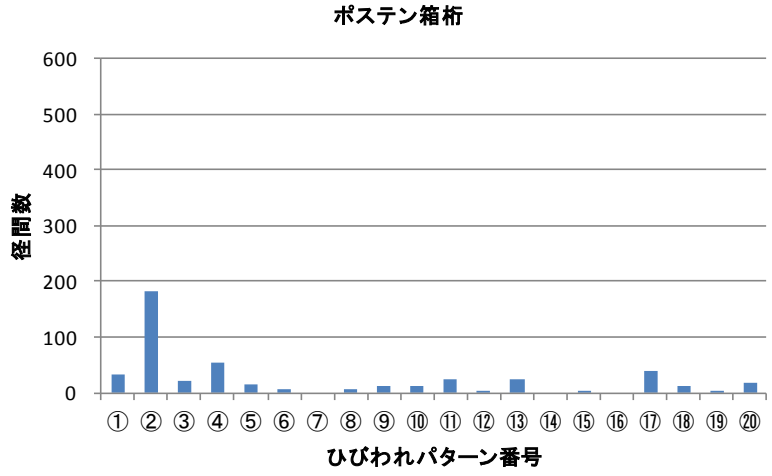


図-2.2.5　ひび割れ発生径間数（ポステン箱桁）

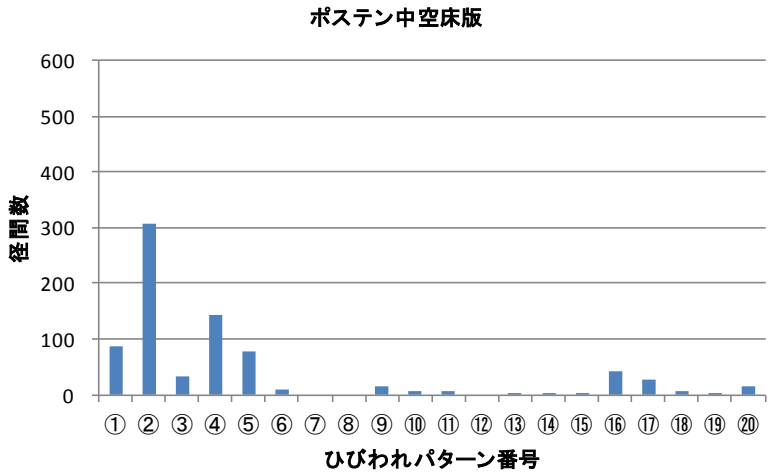


図-2.2.6　ひび割れ発生径間数（ポステン中空床版）

表-2.2.2　橋梁定期点検要領（案）のひびわれパターン分類（ＲＣ，ＰＣ共通）

位　　置	ひ　び　わ　れ　パ　タ　ー　ン
支間中央部	①主桁直角方向の桁下面および側面の鉛直ひびわれ
	②主桁下面縦方向ひびわれ
支間1／4部	③主桁直角方向の桁下面および側面の鉛直ひびわれ
支　点　部	④支点付近の腹部に斜めに発生しているひびわれ
	⑤支承上桁下面・側面に鉛直に発生しているひびわれ
	⑥支承上から斜めに側面に発生しているひびわれ
	⑦ゲルバー部のひびわれ
	⑧連続桁中間支点部の上側の鉛直ひびわれ
そ　の　他	⑨亀甲状，くもの巣状のひびわれ
	⑩桁の腹部に規則的な間隔で鉛直方向のひびわれ
	⑪ウエブと上フランジの接合点付近の水平方向のひびわれ
	⑫桁全体に斜め45°方向のひびわれ

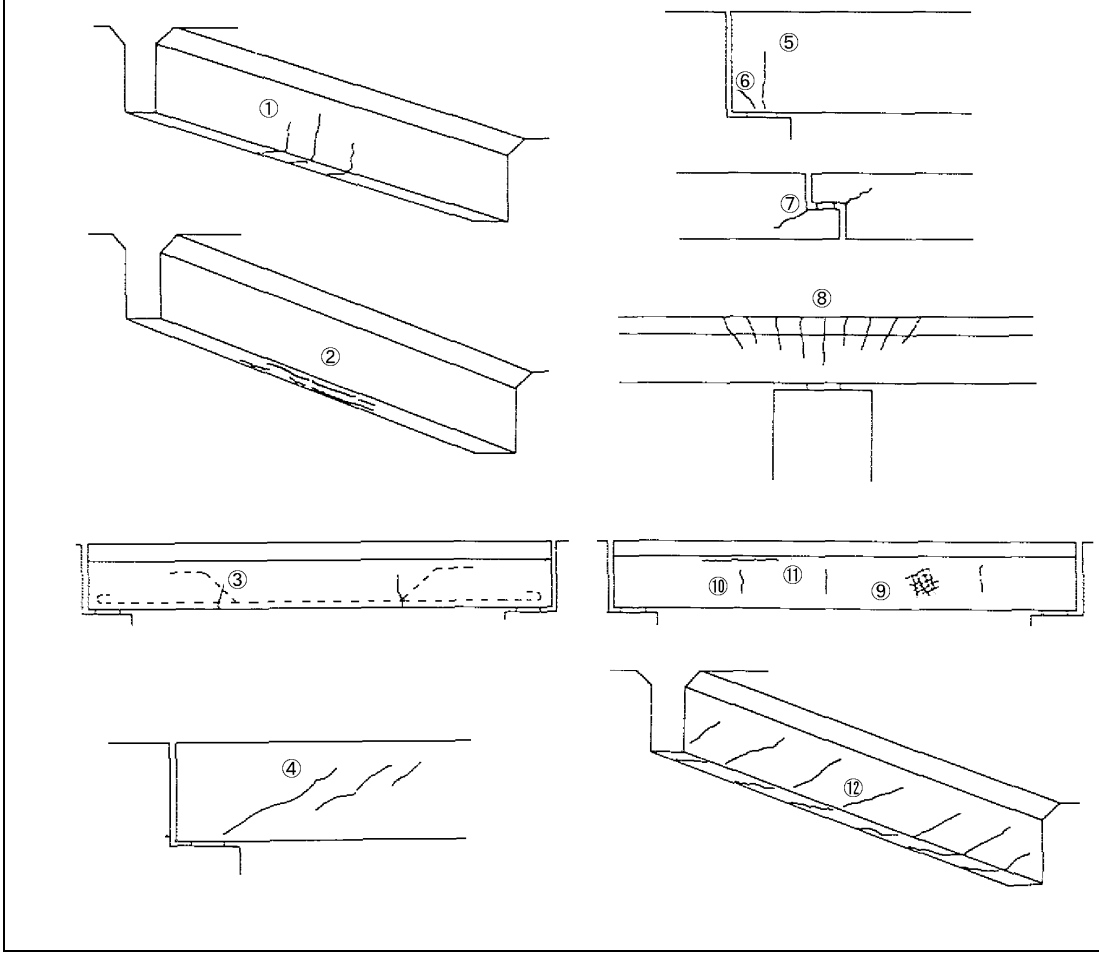
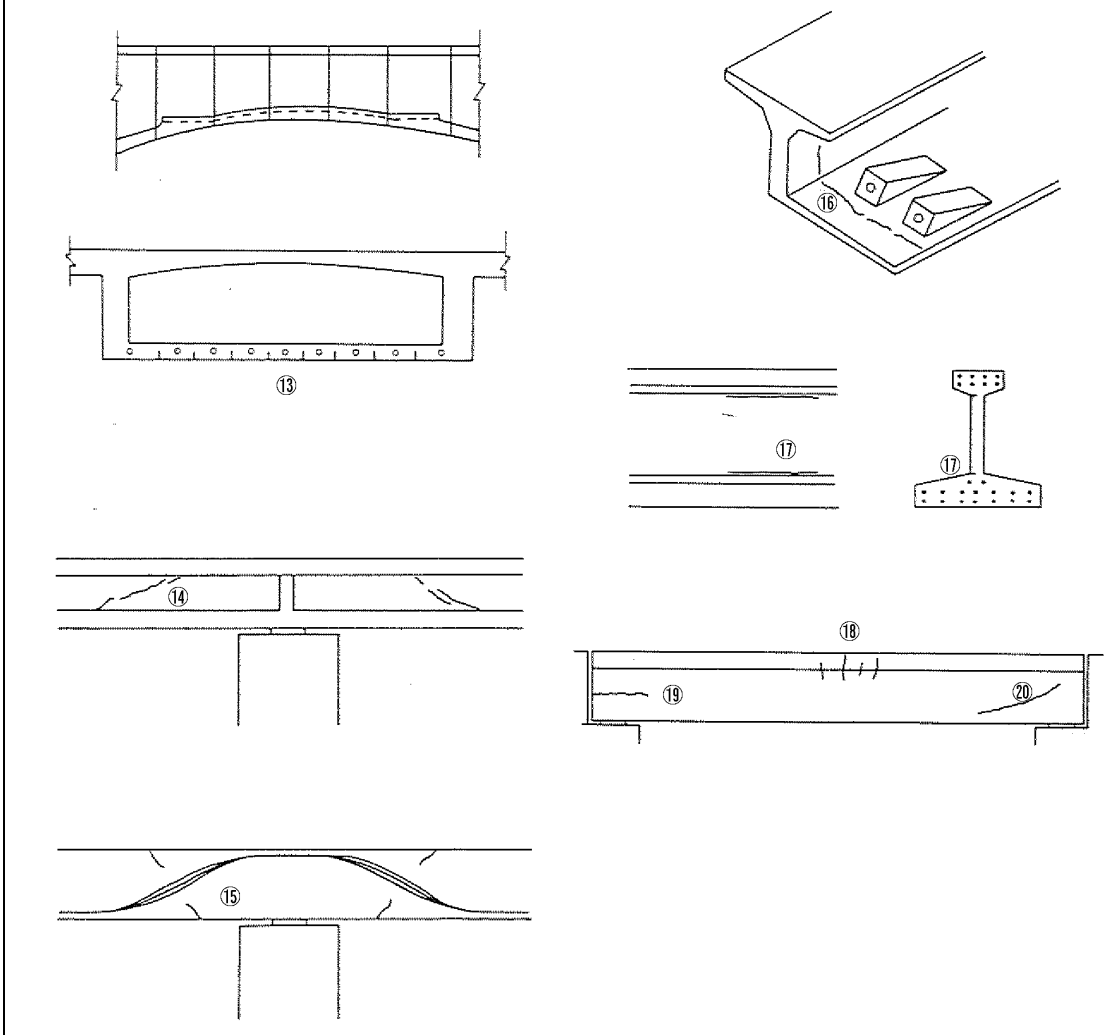


表-2.2.3　橋梁定期点検要領（案）のひびわれパターン分類（ＰＣのみ）

位　　置	ひ　び　わ　れ　パ　タ　ー　ン
支間中央部	⑬変断面桁の下フランジのＰＣ鋼材に沿ったひびわれ
	⑱主桁上フランジ付近
支間1／4部	⑭ＰＣ連続中間支点付近の反局部のＰＣ鋼材に沿ったひびわれ
	⑮ＰＣ連続中間支点付近の反局部のＰＣ鋼材曲げ上げに沿ったひびわれ
支　点　部	⑲主桁の腹部に水平なひびわれ
そ　の　他	⑯ＰＣ鋼材定着部付近
	⑰ＰＣ鋼材が集中している付近
	⑳シースに沿って生じるひびわれ



2)初回点検結果

PC 橋の定期点検結果（初回点検）のひび割れパターン分類を**表-2.2.4**、構造形式毎のひび割れパターンについてひび割れ発生径間数で集計した結果を**図-2.2.8～図-2.2.13** に示す。PC 橋の定期点検結果のひび割れパターン特徴（初回点検）を示す。対象とした PC 橋は、161 橋（548 径間）中、ひび割れが発生していた 58 橋（192 径間）である。

表-2.2.4　PC 橋の定期点検結果のひび割れパターン分類（初回点検）

構造形式	ひび割れパターン（径間）																							総径間数
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	他	不明	合計	
プレテンT桁	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	71
プレテン中実床版	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22
プレテン中空床版	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	5	64
ポステンT桁	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23	29	62	136
ポステン箱桁	0	8	0	2	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	4	0	0	28	5	52	54
ポステン中空床版	3	5	0	5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	22	30	71	201
※プレテン中実床版は「プレテン床版」とした。																							192	548

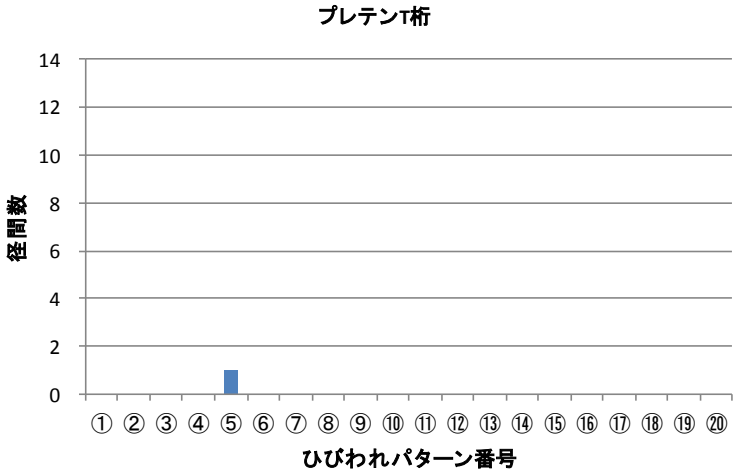


図-2.2.8　ひび割れ発生径間数（プレテン桁）

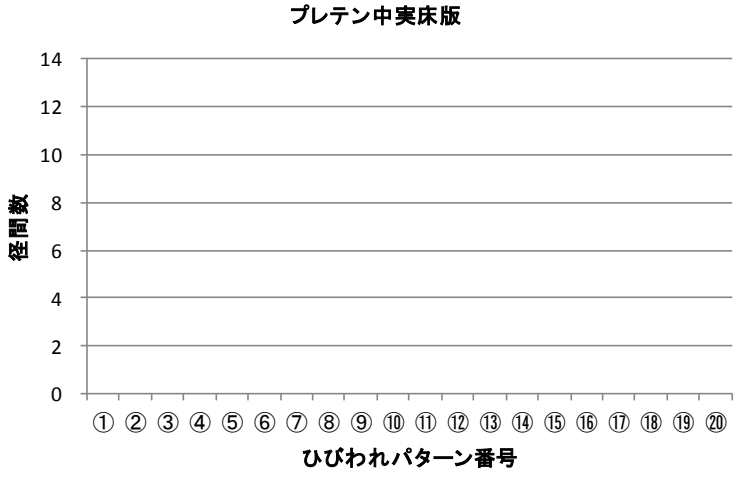


図-2.2.9　ひび割れ発生径間数（プレテン中実床版）

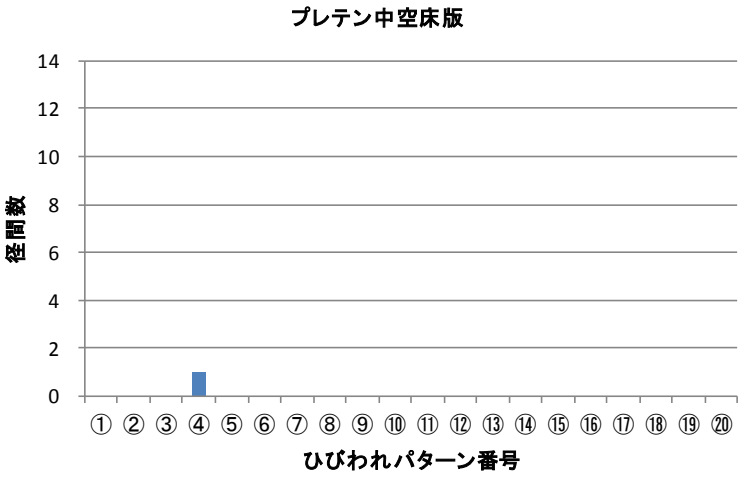


図-2.2.10　ひび割れ発生径間数（プレテン中空床版）

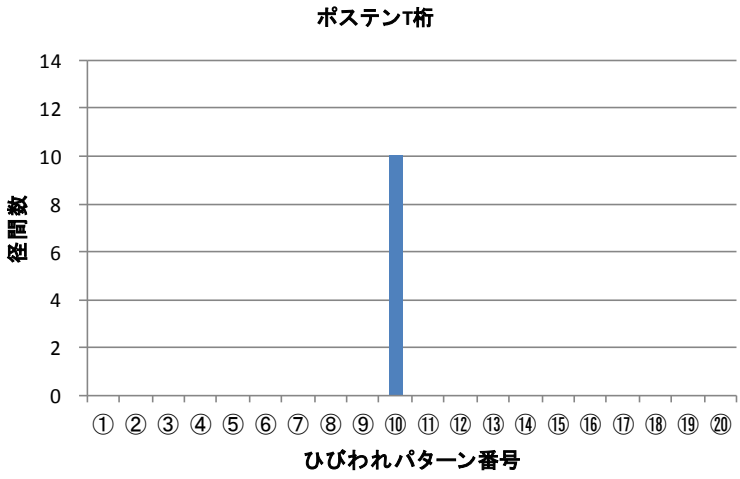


図-2.2.11　ひび割れ発生径間数（ポステン桁）

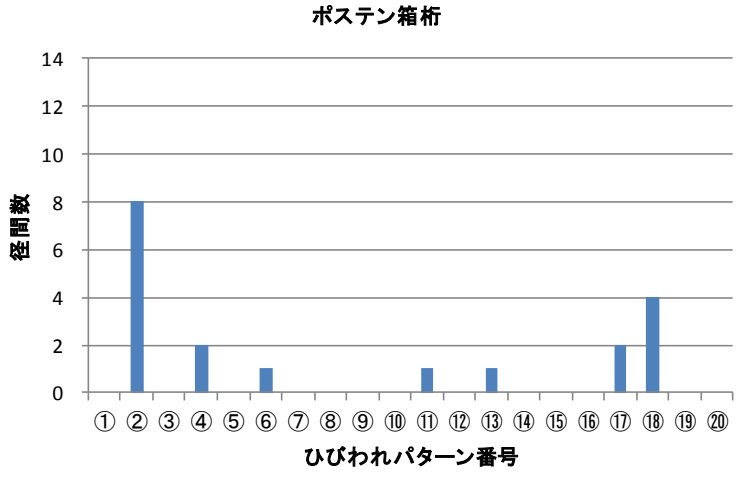


図-2.2.12　ひび割れ発生径間数（ポステン箱桁）

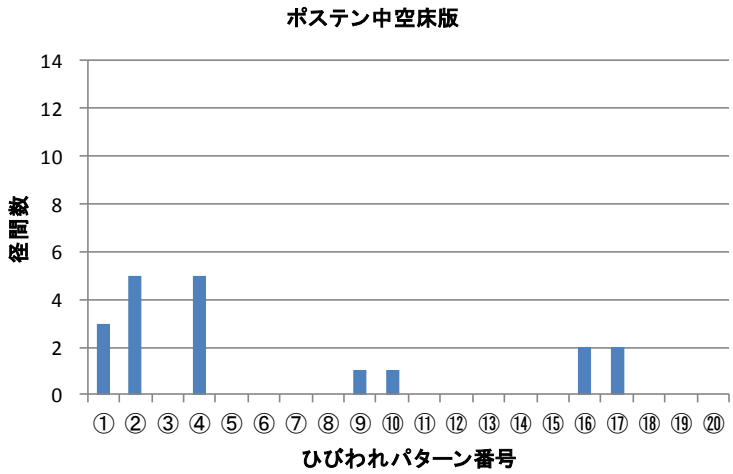
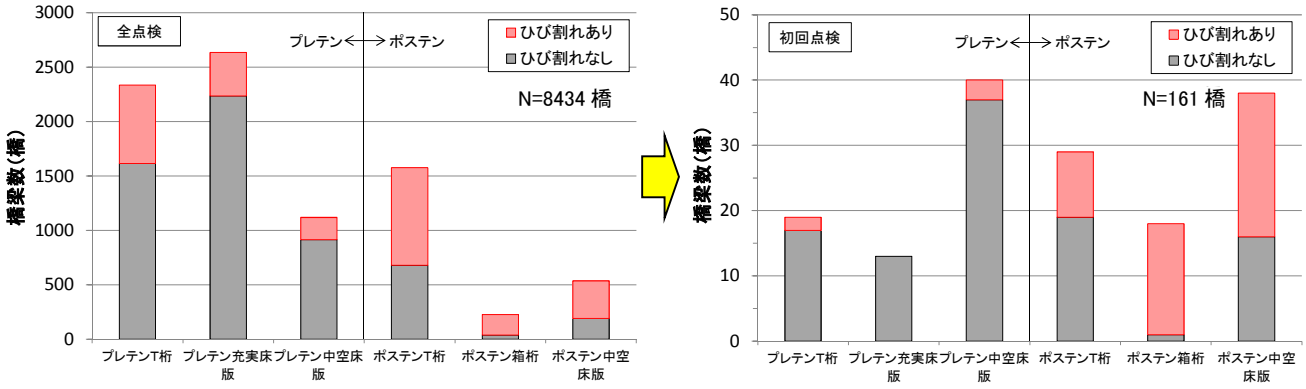


図-2.2.13　ひび割れ発生径間数（ポステン中空床版）

初回点検結果と全点検結果（最新の点検結果）を比較すると、初回点検時に比べてひび割れ発生径間数が増えていることが確認された。初回点検結果では、ひび割れパターン①、②、④、⑩、⑱が比較的多いが、「他」、「不明」に位置付けされている数が非常に多い。H16 年度版の国の定期点検要領におけるひび割れパターン分類では、分類が困難なひび割れ性状のものが多いことがわかる。そこで、これらの点検調書を個々に確認し、ひび割れパターンの分類作業を再度実施した。

図-2.2.14 に PC 橋のひび割れ発生傾向を示す。全点検、初回点検ともに約 3 割の PC 橋でひび割れが生じているが、図-2.2.14 の(a)と(b)を比較すると、ポステン桁において初期ひび割れが多い。また、その傾向は全点検の場合でも同様である。初回点検の構造形式に着目した場合、ポストテンション方式では T 桁よりも箱桁や中空床版のほうがひび割れが発生している比率が高い傾向である。



(a) 全点検　　(b) 初回点検

図-2.2.14 PC 橋のひび割れ発生傾向

そこで、初回点検を実施した 161 橋のうち、ひび割れを生じていた 58 橋について詳細なひび割れパターンについて検討を行った。その際、点検者及び記録者において、ひび割れパターンが判断できない「その他」に分類されているものが多く、ひび割れパターンの分類違いも見られた（表-2.2.5）。これら 20 パターンに分類できないひび割れは、これまで点検者が最も近いと判断したパターンに無理矢理分類されるか、無理な分類を避け「その他」とのひび割れパターンとして記録されるかのいずれかであり、原因不明のひび割れとして扱われる場合があった。

ひび割れパターンに分類することの意義は、ひび割れパターンを分析することにより、ひび割れ発生原因を解明することであるから、このような実情は好ましいものではない。そのため、これらの点検調書を再確認し、【1】～【31】の新しいひび割れパターン（以下、新分類のひび割れパターンとする）を設定して再分類を行った（新分類のひび割れパターンはは表-2.2.6～表-2.2.9 参照）。

表-2.2.5　点検調書リスト抽出　【初回点検、ひび割れパターン「①～⑳」】

施設完成年度		架設竣工年		点検年度
2008	H20	2006	H18	
2004	H16	2004	H16	H20
2002	H14	2002	H14	H17
2007	H19	2006	H18	H20
		2003	H15	H20
		2004	H16	H20
		2003	H15	H20
2001		2002	H14	H18
2005	H17	2004	H16	H18
		2006	H18	H21
2008		2007	H19	H20
		2003	H15	H19
		2003	H15	H19
2008		2008	H20	H21
2006	H18	2006	H18	
2008		2008	H20	H21
2008	H20	2008	H20	H21
2008	H20	2008	H20	H21
2008	H20	2007	H19	
2007	H19	2007	H19	H21
2002	H14	2003	H15	H16
2007	H19	2007	H19	
2007	H19	2007	H19	
2007	H19	2007	H19	H20
2008	H20	2007	H19	H20
2007	H19	2007	H19	H20
2007	H19	2007	H19	H20
2004	H16	2004	H16	
1995	H7	1995	H7	H16

ひび割れパターン「①～⑳」

施設完成年度		架設竣工年		点検年度
2008	H20	2006	S14	H21
2000	H12	2000	H12	H17
2007	H19	2005	H17	H20
2008	H20	2006	H18	H21
2008	H20	2005	H17	H21
2007	H19	2007	H19	H21
2003	H15	2003	H15	H17
2008	H20	2007	H19	H21
2006	H18	2002	H14	H18
2005	H17	2005	H17	H20
2006	H18	2006	H18	H20
2002	H14	2002	H14	H17
2008	H20	2006	H18	H21
2008	H20	2005	H17	H21
2008	H20	2005	H17	H21
2008	H20	2007	H19	H21
2006	H18	2005	H17	H20
2007	H19	2007	H19	H21
2004	H16	2004	H16	H20
2007	H19	2007	H19	H21
2007	H19	2007	H19	H21
2005	H17	2005	H17	H21
2005	H17	2005	H17	H21
2006	H18	2006	H18	H21
2006	H18	2006	H18	H20
2006	H18	2006	H18	H20
2004	H16	2004	H16	H20

ひび割れパターン「その他」

ひび割れパターン内訳を**図-2.2.15** に示す。初回点検でひび割れが発生している橋梁数が 5 橋を超えたひび割れパターンは**表-2.2.4～表-2.2.7** に示す 31 種類のひび割れパターンのうち、赤枠で囲んだ 9 パターンであった。これらのパターンの多くは、外部拘束（打継目や後打ち部）、内部拘束（水和熱）、乾燥収縮が要因と考えられるものであるが、一部は斜め引張応力超過や PC 定着部の割裂、支承の回転拘束など構造的な要因の可能性も考えられるものである。

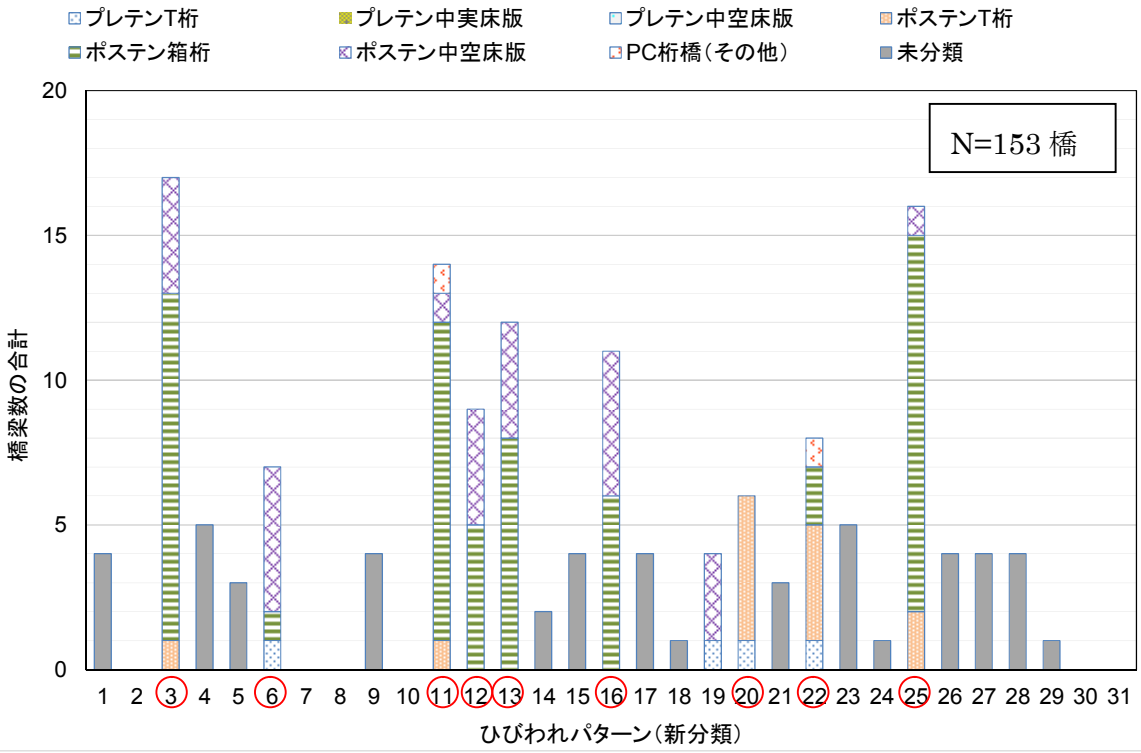


図-2.2.15 PC 橋のひび割れパターン内訳（初回点検__ひび割れパターン新分類）

表-2.2.6 PC 橋の特徴的なひび割れパターン（新分類）と発生要因（１）

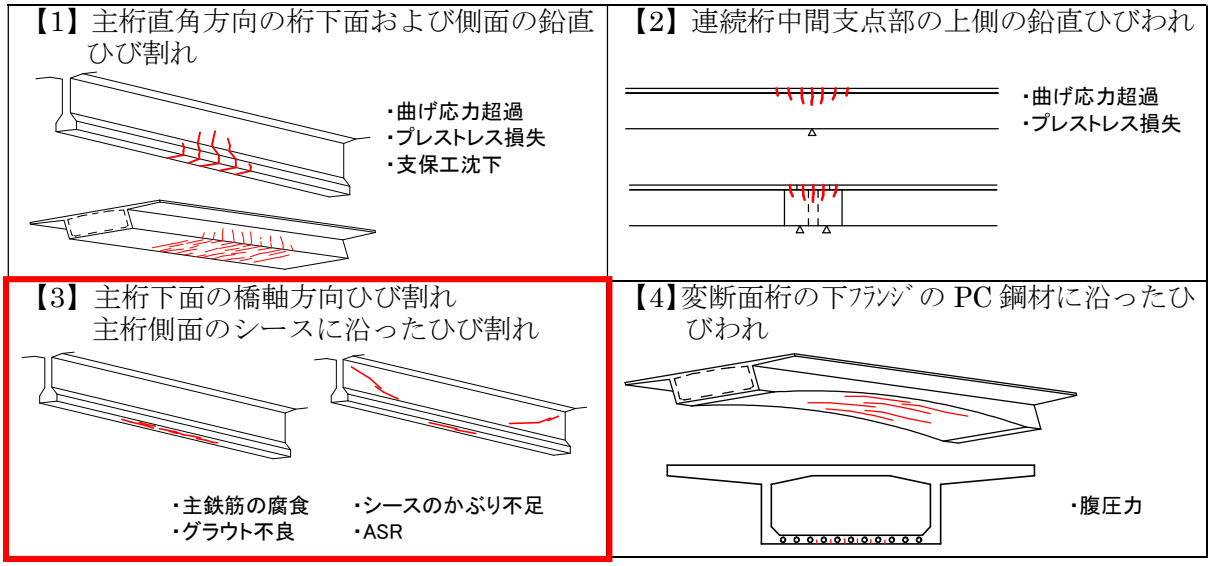
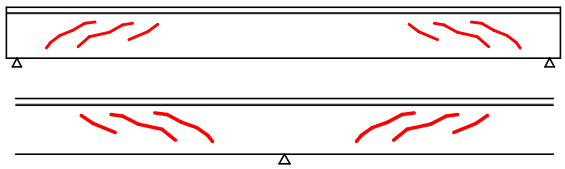


表-2.2.7 PC 橋の特徴的なひび割れパターン（新分類）と発生要因（２）

【5】桁の腹部に規則的な間隔で鉛直方向のひびわれ

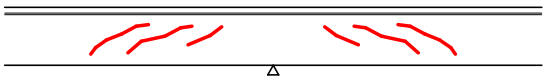
・スターラップの腐食
・かぶり不足

【6】支点付近のウェブ斜めひび割れ



・斜め引張応力超過　・プレストレス損失　・支保工沈下

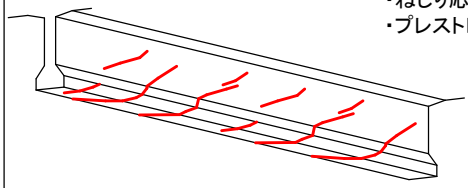
【7】中間支点付近の PC 鋼材に沿ったひびわれ



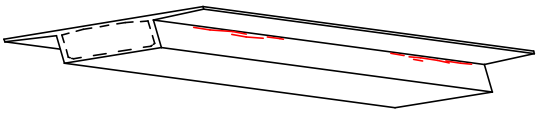
・シースのかぶり不足
・グラウト不良
・ASR

【8】桁全体に斜め 45° 方向のひびわれ

・ねじり応力超過
・プレストレス損失

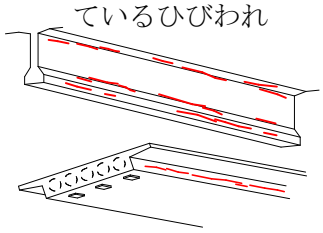


【9】ｳｪﾌﾞと上ﾌﾗﾝｼﾞの接合点付近の水平方向のひびわれ



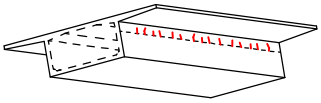
・コンクリートの沈降
・コールドジョイント

【10】主桁側面（腹部）に水平方向に発生しているひびわれ

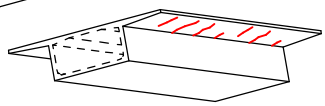


・コンクリートの沈降
・乾燥収縮
・温度応力
・ASR

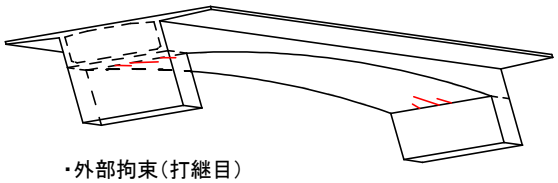
【11】ウェブとフランジの打継目近傍の直角方向ひび割れ



・外部拘束（打継目）

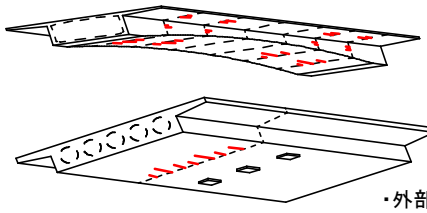


【12】柱頭部主桁下面の橋軸方向ひび割れ



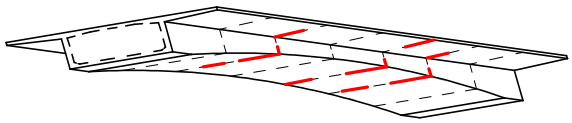
・外部拘束（打継目）
・内部拘束（水和熱）

【13】主桁鉛直打継目の橋軸方向ひび割れ



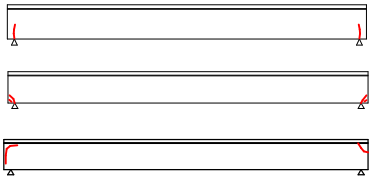
・外部拘束（打継目）

【14】打継ぎ面に発生するひび割れ



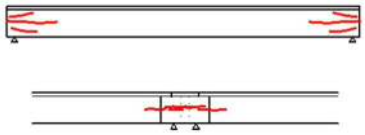
・接合部の引張応力超過
・接合部の施工不良

【15】主桁側面に支承上から発生している鉛直もしくは斜めひび割れ



・支承部の拘束
・支圧応力超過
・桁変形の拘束

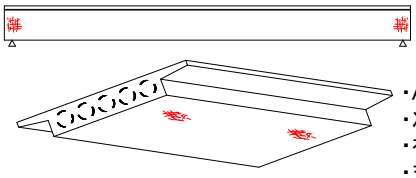
【16】端支点部ウェブの水平～放射状ひび割れ



・PC 定着部割裂
・ASR
・内部拘束（水和熱）

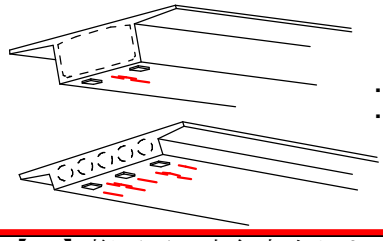
表-2.2.8 PC 橋の特徴的なひび割れパターン（新分類）と発生要因（３）

【17】亀甲状、くもの巣状の表面微細ひび割れ



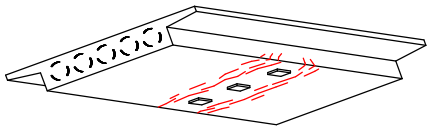
・ASR
・凍害
・初期の養生不足
・充填不良

【18】端支点横桁下面の橋軸方向ひび割れ



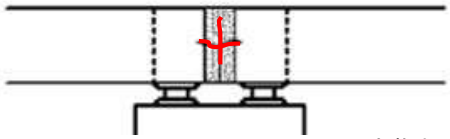
・支承部の横方向拘束
・内部拘束（水和熱）

【19】桁下面の直角方向および桁腹の鉛直方向ひび割れ



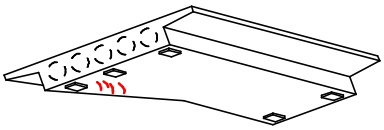
・桁の回転、伸縮の拘束

【20】桁下面の直角方向および腹部の鉛直方向ひび割れ



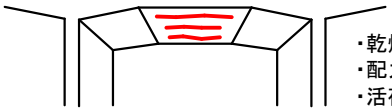
・外部拘束（後打ち部）

【21】拡幅を有する主桁の拡幅部下面に発生しているひび割れ



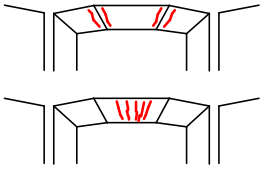
・引張応力超過
・応力集中

【22】連続床版下面に発生している橋軸方向ひび割れ



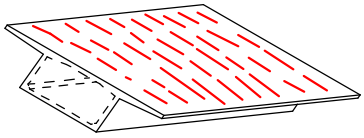
・乾燥収縮
・配力筋方向の補強
・活荷重の超過

【23】主桁側面に支承上から発生している鉛直もしくは斜めひび割れ



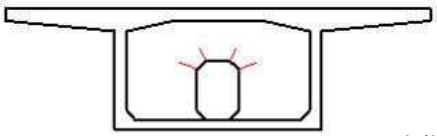
・曲げ応力超過
・プレストレス損失
・活荷重の超過

【24】規則的な間隔で床版上面に発生している橋軸直角方向ひび割れ



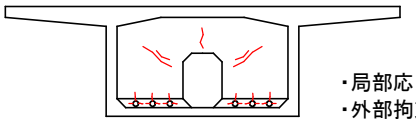
・コンクリートの沈降
・乾燥収縮
・横方向鉄筋の腐食

【25】横桁部、開口部のひび割れ



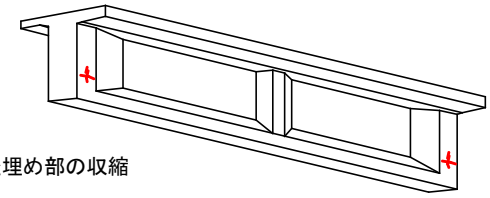
・外部拘束（後打ち部）
・内部拘束（水和熱）

【26】偏向部あるいは偏向壁に発生している鉛直・斜め・水平方向のひび割れ



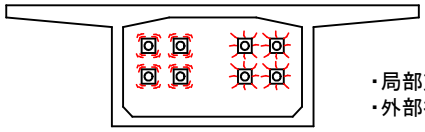
・局部応力
・外部拘束（後打ち部）
・内部拘束（水和熱）

【27】桁腹部に発生している鉛直方向と水平方向のひび割れ



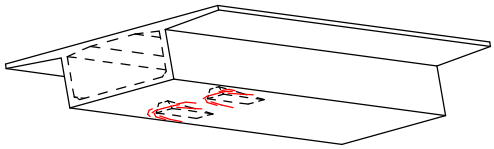
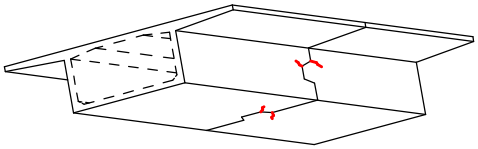
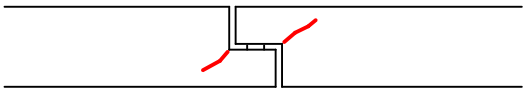
・後埋め部の収縮

【28】定着部付近に発生している鉛直・斜め・水平方向のひび割れ



・局部支圧応力
・外部拘束（後打ち部）

表-2.2.9 PC 橋の特徴的なひび割れパターン（新分類）と発生要因（４）

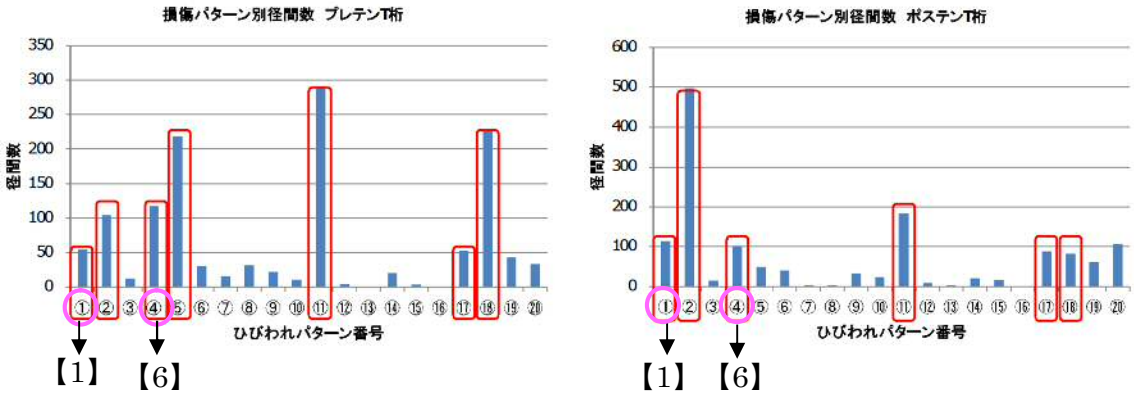
<table>
<tr>
<td>【29】PC 鋼材定着部（定着突起）付近に発生しているひび割れ
 
・定着具背面への橋軸方向引張応力</td>
<td>【30】コンクリートせん断キー基部から斜めに発生しているひび割れ
 
・過大なせん断力作用　・せん断キーのせん断耐力不足</td>
</tr>
<tr>
<td>【31】ゲルバー部のひびわれ
 
・応力超過　・ゲルバー支承の水平移動拘束</td>
<td></td>
</tr>
</table>

2.3 定期点検データに基づくプレテン桁とポステン桁の損傷事例と原因分析

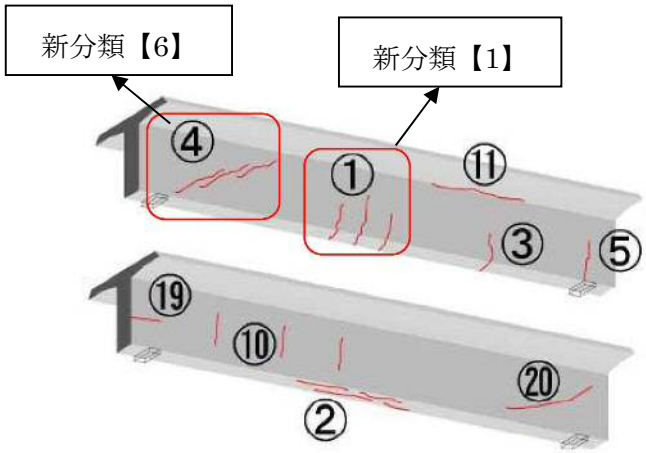
2.3.1 検討概要

2.2 では、各地方整備局が管理する PC 橋のうち、2008 年度から 2012 年度に行った 8434 橋（20743 径間）の橋梁点検結果（全点検）をもとに、ひび割れの発生していた 2756 橋（8190 径間）の構造形式ごとにひび割れパターンを分析した（**表-2.2.1**）。この表をもとに、PC 橋としての架設実績が多く、支保工施工などに比べて施工的な要因が少ないと考えられるプレテンＴ桁橋、ポステンＴ桁橋のひび割れパターンの分類を抽出して**図-2.3.1** に示す。図より、プレテン T 桁橋、ポステン T 桁橋とも、構造的に有害と考えられるひび割れパターン【1】（曲げひび割れ）や、ひび割れパターン【6】（せん断ひび割れ）の発生事例が比較的多いことが分かる。

本章では、ひび割れパターン【1】とパターン【6】のひび割れに着目し、それらのひび割れ発生とその要因分析を行い、ひび割れ発生のリスクを低減するための、設計における留意点、現行基準での不明確な内容や項目を整理する。



（ａ）プレテンＴ桁橋　　（ｂ）ポステンＴ桁橋



※図中の○の番号は橋梁定期点検要領（案）での分類を表し、【】の番号は本報告書における新分類を表す。

（ｃ）ひび割れパターン

図-2.3.1　コンクリート主桁のひび割れ発生の特徴

2.3.2 原因分析を行う橋梁の選定

原因分析を行う橋梁は、橋梁点検結果の中でひび割れパターン【1】（曲げひび割れ）、ひび割れパターン【6】（せん断ひび割れ）が発生しているプレテンT桁橋、ポステンT桁橋のうち、設計荷重（施工年度）、平面形状などに着目し、以下の項目で抽出した。

① 橋梁形式

プレテンション方式T桁橋、ポストテンション方式T桁橋

② 構造形式

単純桁

③ 設計荷重

設計活荷重TL-20（平成5年度以前の設計）

設計活荷重：A活荷重、B活荷重（平成6年度以降の設計）

④ 平面形状

直橋

斜橋・曲線橋

⑤ 損傷の程度

損傷の程度は、比較的損傷度が大きな損傷度b以上の橋梁を選定する。

⑥ ひび割れのパターン

パターン【1】、パターン【6】

損傷原因を調査する橋梁のリストを**表-2.3.1**に示す。

プレテンT桁橋やポステンT桁橋は、プレキャストの主桁を現場打ちの横桁や床版で一体化する構造である。そのため、主桁に初期変状（ひび割れパターン【1】、【6】）を起こす要因としては、主桁そのものの要因（プレストレス不足、部材厚の不足、鉄筋量不足、材料の不具合、製作・運搬・架設方法の不具合等）、橋体完成後の構造的要因（平面形状によるねじり等）、供用後の環境要因（塩害等）が考えられる。

本検討では、初期変状を起こす要因を究明するため、橋梁の平面形状と、主桁の断面形状（PC鋼材の種類や配置を含む）に着目して、**表-2.3.1**の橋梁の点検結果を以下の項目で統計的に分析する。

① 橋梁の平面形状

ひび割れは主桁に作用するせん断力やねじりモーメントによってひび割れる可能性があるが、斜橋や曲線橋においては、斜角や1径間の交角の大きさに影響され、直橋よりねじりモーメントが大きくなることでひび割れの発生する可能性が高くなると考えられる。そこで、橋梁の平面形状とひび割れパターンとの相関性を確認する。

表-2.3.1　損傷原因を調査する橋梁リスト

整理番号	資料No.（新）	損傷程度	ひび割れ分類番号		支間長	架設竣工年	塩害地域区分C	橋梁形式	橋長	総径間数	平面形状	全幅員	設計基準上部	設計活荷重
			国交省の点検要領H16.3による番号	新分類番号										
		【プレテン桁】												
1		b	11	【1】	11.0	1989	D1	単純PCプレテンT桁橋	11.66	1	直橋（直角橋）	14.7	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
2		b	11	【1】	12.7	1983	D1	単純PCプレテンT桁橋	13.4	1	斜橋＋曲線橋	16	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
3	1-9	b	11	【1】	17.7	2002		単純PCプレテンT桁橋	37	2	斜橋	5	平成8年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	A活荷重
4		b	11	【1】	18.3	1993	D1	連続PCプレテンT桁橋	38	2	斜橋	15.4	平成元年　道路橋示方書　1共通編2鋼橋編	TL-20
5	1-1	d	11	【1】	18.7	1985	D1	単純PCプレテンT桁橋	19.4	1	斜橋	27.8	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
6	1-10	b	11	【1】	19.3	1994	D1	単純PCプレテンT桁橋	20	1	直橋（直角橋）	18.3	平成元年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
7		d	11	【1】	19.6	1988	D1	単純PCプレテンT桁橋	61	3	直橋（直角橋）	10.5	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
8		b	11	【1】	19.6	1988	D1	単純PCプレテンT桁橋	61	3	直橋（直角橋）	10.5	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
9		b	11	【1】	19.9	1987	D1	単純PCプレテンT桁橋	21.5	1	斜橋	24.5	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
10	1-3	c	11	【1】	21.0	1984	D1	単純PCプレテンT桁橋	21.7	1	斜橋	10.4	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
11	1-11	b	14	【6】	19.8	1989	D1	PC単純プレテンT桁橋	20.5	1	斜橋＋曲線橋	9.71	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
12	1-6	d	14	【6】	20.2	1985	D1	単純PCプレテンT桁橋	20.86	1	直橋（直角橋）	10.1	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
13		c	14	【6】	20.5	1991	D1	単純PCプレテンT桁橋	21.2	1	斜橋	8.4	平成元年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
14		b	14	【6】	20.8	1987	D1	単純PCプレテンT桁橋	21.5	1	斜橋	10	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
	（合計6橋）	【ポステン桁】												
15	1-8	c	14		23.4	1993	D1	単純PCポステンT桁橋4連	96.5	4	直橋（直角橋）	8.2	平成元年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
1		d	11	【1】	21.5	1989	D1	単純PCポステンT桁橋	22.3	1	斜橋	13.4	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
2		b	11	【1】	22.0	1989	D1	単純PCポステンT桁橋3連	68.34	3	直橋（直角橋）	9.3	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
3		b	11	【1】	24.7	1993	D1	単純PCポステンT桁橋27連	635.9	27	斜橋＋曲線橋	9.3	昭和47年　道路橋示方書　1共通編2鋼橋編	TL-20
4		d	11	【1】	25.3	1994	D1	単純PCポステンT桁橋	26.1	1	直橋（直角橋）	6.1	平成元年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-14
5		b	11	【1】	25.7	1989	D1	単純PCポステンT桁橋8連	221.98	8	斜橋＋曲線橋	12.2	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
6		b	11	【1】	25.7	1983	D1	単純PCポステンT桁橋8連	221.98	8	斜橋＋曲線橋	12.1	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
7	2-1	c	11	【1】	27.4	1994	D1	単純PCポステンT桁橋	28.2	1	直橋（直角橋）	10.2	平成6年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
8		b	11	【1】	33.1	2002	D1	単純PCポステンT桁橋	34	1	斜橋	11.9	平成8年　道路橋示方書　1共通編2鋼橋編	B活荷重
9		b	14	【6】	23.0	1986	D1	単純PCポステンT桁橋3連	74	3	斜橋	18	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
10		c	14	【6】	24.4	1989	D1	単純PCポステンT桁橋	25.15	1	斜橋	20.81	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
11	2-2	d	14	【6】	25.7	1987	D1	単純PCポステンT桁橋	26.5	1	斜橋	12.8	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
12	2-3	c	14	【6】	26.9	1995	D1	単純PCポステンT桁橋	27.68	1	斜橋	11	平成6年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	B活荷重
13	2-4	e	14	【6】	27.2	1983	D1	PC単純ポステンT桁橋　3連	83.84	3	直橋（直角橋）	15.2	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
14	2-5	c	14	【6】	27.4	1995	D1	単純PCポステンT桁橋	28.2	1	直橋（直角橋）	10.2	平成6年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	B活荷重
15	2-6	d	14	【6】	28.5	1987	D1	PC単純ポステンT桁橋	29.3	1	曲線橋	12.05	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
16		c	14	【6】	28.6	1987	D1	単純PCポステンT桁橋	29.3	1	曲線橋	12.05	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
17		b	14	【6】	29.4	1998	D1	単純PCポステンT桁橋	60.7	2	斜橋	12.8	平成8年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	B活荷重
18		d	14	【6】	30.1	1983	D1	単純PCポステンT桁橋	30.9	1	斜橋	23	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
19		b	14	【6】	30.8	1986	D1	単純PCポステンT桁橋	63.3	2	斜橋	12.8	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
20	2-7	c	14	【6】	31.4	1988	D1	単純PCポステンT桁橋	34.4	1	直橋（直角橋）	10	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
21	2-8	d	14	【6】	33.1	1988	D1	単純PCポステンT桁橋・2連	67.8	2	斜橋＋曲線橋	13.95	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
22	2-9	c	14	【6】	33.1	2001	D1	単純PCポステンT桁橋	34.1	1	斜橋	14	平成8年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋	B活荷重
23	2-10	c	14	【6】	33.7	1998	D1	単純PCポステンT桁橋	34.5	1	直橋（直角橋）	16.1	平成8年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋	B活荷重
24		b	14	【6】	33.9	1982	C3	PC単純ポステンT桁橋	173.2	5	斜橋	12.55	昭和53年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	TL-20
25	2-11	c	14	【6】	36.1	2005	D1	単純PCポステンT桁橋	37	1	直橋（直角橋）	12.5	平成14年　道路橋示方書　1共通編3コンクリート橋編	B活荷重
	（合計8橋）													

※原因調査を行う橋梁は、損傷程度がc、d、eを基本とするが、適応するものがない場合はbの橋梁とする。凡例:　　は詳細調査橋梁

※構造形式は全て単純桁である。

② 主桁の断面形状

プレテン T 桁橋は、基本的に JIS に準じて設計されている。また、ポステン T 桁橋は、旧建設省制定の標準設計に準じて設計されている場合が多い。そのため、プレテン T 桁橋、ポステン T 桁橋とも、設計時期に応じた JIS や標準設計に準じて設計されている可能性が高い。

そこで、橋梁調査表の竣工年および適用設計基準をもとに、適用されている JIS や標準設計より主桁の断面形状（PC 鋼材の種類や配置を含む）を推定し、ひび割れパターンとの相関性を確認する。

2.3.3 統計的なひび割れ発生の原因分析

(1) 橋梁の平面形状による分析

1) プレテン T 桁橋

ひび割れの原因分析を行うプレテン T 桁橋の平面形状の分類を**図-2.3.2** に示す。平面形状の分類では、直橋とそれ以外の平面形状として、直橋と斜橋・曲線橋に分類した。対象橋梁は、直橋が 5 橋、斜橋・曲線橋が 9 橋と斜橋・曲線橋の割合が多い。

新分類のひび割れパターン【1】とひび割れパターン【6】に関する橋梁の平面形状の分類を**図-2.3.3**、**図-2.3.4** に示す。図中の () 内の数値は、各平面形状の橋梁数に対する割合を示す。**図-2.3.3**、**図-2.3.4** より、ひび割れパターン【1】は直橋、斜橋・曲線とも、ひび割れパターン【6】に比べてひび割れの発生している橋梁の割合が多いことがわかる。また、ひび割れパターン【6】については、斜橋・曲線橋の発生割合が、直橋より多い。ただし、データ数が少なく差もわずかであり、詳細は不明である。

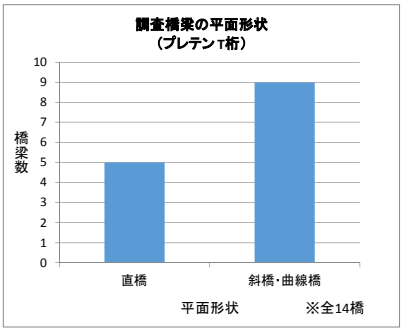


図-2.3.2 調査橋梁の平面形状

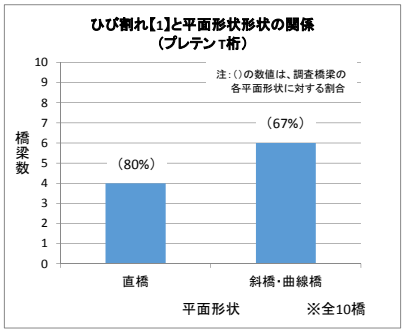


図-2.3.3 ひび割れ【1】と平面形状の関係

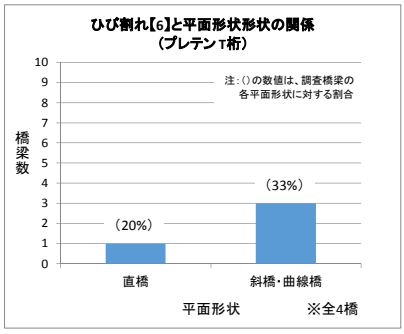


図-2.3.4 ひび割れ【6】と平面形状の関係

2) ポステン T 桁橋

ひび割れの原因分析を行うポステン T 桁橋の平面形状の分類を**図-2.3.5** に示す。対象橋梁は、直橋が 9 橋、斜橋・曲線橋が 17 橋と斜橋・曲線橋の割合が多い。

ひび割れパターン【1】とひび割れパターン【6】に関する、橋梁の平面形状の分類を**図-2.3.6**、**図-2.3.7** に示す。図中の（）内の数値は、各平面形状の橋梁数に対する割合を示す。

図-2.3.6、**図-2.3.7** より、ひび割れパターン【1】は直橋、斜橋・曲線橋とも、ひび割れパターン【6】に比べてひび割れの発生している橋梁の割合が若干少ないことがわかる。また、ひび割れパターン【6】については、斜橋・曲線橋の発生割合が直橋より少し多く、発生橋梁数も多いことがわかる。ただし、データ数が少ないため、ひび割れパターン【6】と平面形状の相関性については、この分析だけでは不明である。

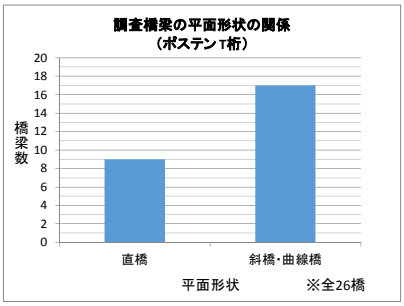


図-2.3.5　調査橋梁の平面形状

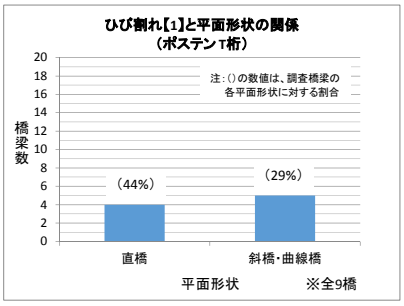


図-2.3.6　ひび割れ【1】と平面形状の関係

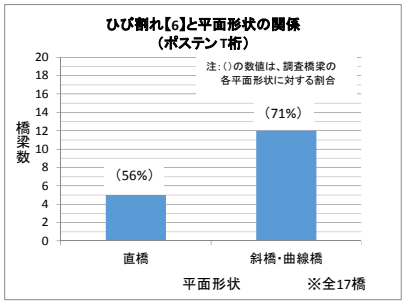


図-2.3.7　ひび割れ【6】と平面形状の関係

(2) 主桁の断面形状による分析

1) プレテンT桁橋

プレテンT桁橋のJIS桁の変遷を**表-2.3.2** に示す。

プレテンT桁橋は、基本的にJISに準じているため、調査橋梁の桁断面を竣工年度および適用示方書から推定した。調査橋梁の主桁断面形状の分類を**図-2.3.8** に示す。

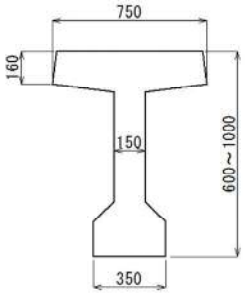
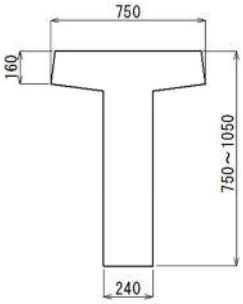
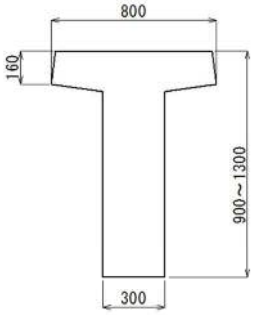
ひび割れが発生している調査橋梁の主桁断面の割合は、バルブ断面（昭和55年改正）が79%を占めており、ストレート断面（平成3年改正）が14%、ストレート断面（平成7年改正）が7%である。

ひび割れパターン【1】とひび割れパターン【6】に関する主桁の断面形状の分類を**図-2.3.9**、**図-2.3.10** に示す。

図-2.3.9 より、ひび割れパターン【1】は、バルブ断面、ストレート断面のいずれも発生している。**図- 2.3.10** より、ひび割れパターン【6】は、バルブ断面（昭和55年改正）のみに発生し、平成3年改正や平成7年改正の桁では発生していない。**表 -2.3.2** に示すように、バルブ断面（昭和55年改正）のウェブ厚150mmに比べて、平成3年改正の断面のウェブ厚は240mm、平成7年改定の断面は300mmと1.6～2.0倍のウェブ厚さがある。そのため、ウェブ厚の厚い平成3年改正や平成7年改正の桁では、ウェブに発生するコンクリートのせん断応力が小さく、ウェブにせん断ひび割れが発生しなかったと考えられる。

なお、JIS桁の標準図（支間20mのプレテンT桁）では、**表-2.3.2** に示す3種類の桁の支点から桁高の1/2離れたせん断照査位置のスターラップは、いずれも鉄筋径はD10であり、配置間隔は150～160mmとほとんど差が見られなかった。

表-2.3.2　プレテンT桁橋の変遷

項目＼年度	昭和55年改正 （1980年）	平成3年改正 （1991年）	平成7年改正 （1995年）
JIS番号	JIS　A5316	JIS　A5316	JIS　A5313-1995
断面寸法			
活荷重	T-20、T-14	T-20、T-14	A、B活荷重
適用支間	10～21m	14～21m	18～24m
コンクリート強度	500kgf/cm^{2}以上	500kgf/cm^{2}以上	500kgf/cm^{2}以上
PC鋼材	SWPR7A　12.4mm	SWPR7B　15.2mm	SWPR7BN　15.2mm

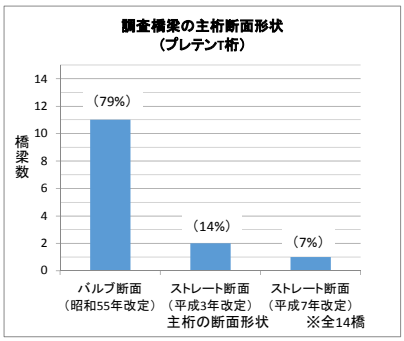


図-2.3.8　調査橋梁の主桁断面形状

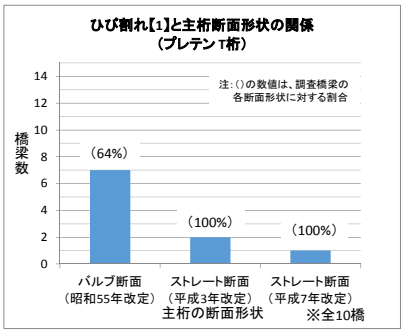


図-2.3.9　ひび割れ【1】と主桁断面形状の関係

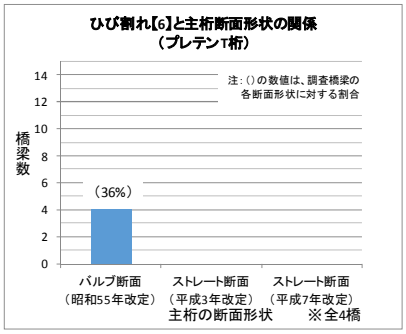


図-2.3.10　ひび割れ【6】と主桁断面形状の関係

2）ポステンT桁橋

旧建設省標準「ポストテンションPC単純Tげた」の主桁断面形状の変遷を**表-2.3.3**に示す。ポステンT桁橋は、基本的に旧建設省制定の標準図を参考として設計していたため、調査橋梁の桁断面形状を竣工年度および適用示方書から推定した。調査橋梁の主桁断面形状の分類を**図-2.3.11**に示す。なお、旧建設省の標準図では、適用支間長により主ケーブルの種類を変えていたため、**図-2.3.11**の分類では、適用支間長による分類も行っている。

ひび割れが発生している調査橋梁の主桁断面の割合は、バルブ断面（昭和55年改正）の支間27m以下が38%、支間28m以上が35%、ストレート断面（平成4年改正）の支間25m以上、38m以下が27%である。

ひび割れパターン【1】とひび割れパターン【6】に関する主桁の断面形状の分類を**図-2.3.12**、**図-2.3.13**に示す。**図-2.3.12**より、ひび割れパターン【1】は、支間27m以下のバルブ断面（昭和55年改正）に多く発生しているが、支間28m以上のバルブ断面（昭和55年改正）やストレート断面（平成4年改正）にはほとんど発生していない。支間27m以下のバルブ断面は、**表-2.3.3**に示すように、支間28m以上のバルブ断面やストレート断面と異なり、小容量のケーブル（12φ7㎜）を下フランジに多数配置し、上縁と桁端に定着している。点検調書を

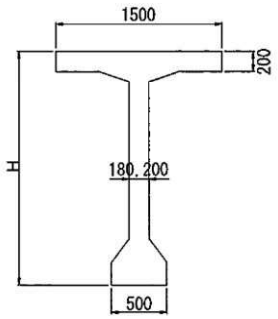
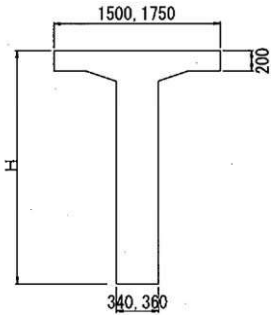
確認していない段階であるため、あくまでも推定であるが、下フランジに多数ケーブルを配置していることによるコンクリートの充填不良や、上縁に定着している PC ケーブルから雨水等が侵入することによるケーブルの腐食がひび割れパターン【1】の発生に影響している可能性が考えられる。

図-2.3.13 より、ひび割れパターン【6】については、支間 28m 以上のバルブ断面（昭和 55 年改正）やストレート断面（平成 4 年改正）に多く発生している。

表-2.3.3 に示すように、支間 28m 以上のバルブ断面では主ケーブル 12T12.4 を、ストレート断面では主ケーブル 12S12.7B を桁端に定着している。一方、支間 27m 以下のバルブ断面では、主ケーブル 12φ7 を桁端や上縁に定着している。このことより、ひび割れパターン【6】の発生には、主桁の断面形状や主ケーブルの種類が影響している可能性が考えられる。

なお、旧建設省の標準図（支間 25m、30m、35m のポステン T 桁）では、**表-2.3.3** に示す 2 種類の桁の支点から桁高の 1/2 離れたせん断照査位置のスターラップは、どちらも鉄筋径は D13 であり、配置間隔は 150mm と差が見られなかった。

表-2.3.3　ポステン T 桁橋の変遷

項目＼年度	昭和55年改正（1980年）	平成4年改正（1992年）
断面寸法		
活荷重	TL-20、TL-14	B活荷重
適用支間	20～40m	20～45m
コンクリート強度	400kgf/cm^{2}以上	400kgf/cm^{2}以上
PC鋼材	・支間L≦27mの場合 PCケーブル　12φ7 ・支間L≧28mの場合 PCケーブル　12T12.4	・支間L≦25mの場合 PCケーブル　7S12.7B ・支間25m＜L≦38mの場合 PCケーブル　12S12.7B ・支間38m＜Lの場合 PCケーブル　12S15.2B

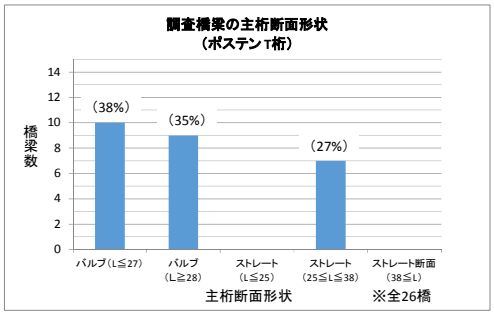


図-2.3.11　調査橋梁の主桁断面形状

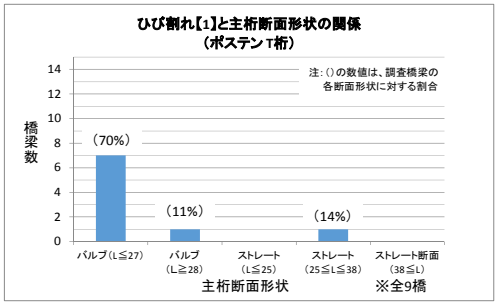


図-2.3.12　ひび割れ【1】と主桁断面形状の関係

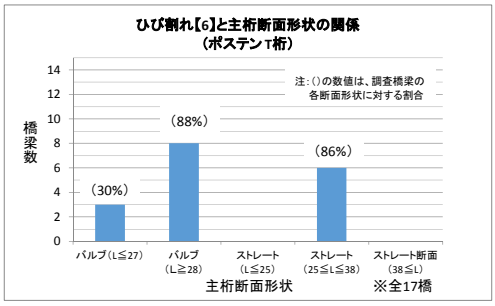


図-2.3.13　ひび割れ【6】と主桁断面形状の関係

橋梁点検結果の中で、ひび割れパターン【1】（曲げひび割れ）とひび割れパターン【6】（せん断ひび割れ）の発生している橋梁を抽出し、そのひび割れの発生原因を橋梁の平面形状や主桁の断面形状で分析した。その結果、データ数は少ないが以下のような傾向がみられた。

・プレテンT桁橋、ポステンT桁橋とも、ひび割れパターン【6】の発生している橋梁は、直橋よりも斜橋・曲線橋の方が若干多い。
・プレテンT桁橋、ポステンT桁橋とも、ひび割れパターン【1】は、直橋、斜橋・曲線橋とも同程度に発生している。
・プレテンT桁橋のひび割れパターン【6】は、バルブ断面（昭和55年改正）の橋梁に多く発生しており、バルブ断面（平成3年改正）やストレート断面（平成7年改正）の橋梁には、発生していない。
・ポステンT桁橋のひび割れパターン【1】は、支間27m以下のバルブ断面（昭和55年改正）の橋梁に多く発生している。
・ポステンT桁橋のひび割れパターン【6】は、支間28m以上のバルブ断面（昭和55年改正）の橋梁やストレート断面（平成4年改正）の橋梁に多く発生している。

以上より、限られた定期点検結果の分析ではあるが、プレテンT桁橋やポステンT桁橋のひび割れの発生の原因としては、以下のことが考えられる。

・プレテンT桁橋のひび割れパターン【6】（せん断ひび割れ）は、設計活荷重（TL-20）のウェブ厚 150mm のバルブ断面に発生しており、せん断耐力が相対的に不足していた可能性が考えられる。
・ポステンT桁橋のひび割れパターン【1】（曲げひび割れ）は、支間27m以下のバルブ断面に多く発生している。支間27m以下のバルブ断面は小容量のケーブル（12φ7㎜）を下フランジに多数配置し、主ケーブルを上縁に定着している。下フランジに多数ケーブルを配置していることによるコンクリートの充填不良や、上縁に定着している PC ケーブルからの雨水等の侵入によるケーブルの腐食が、ひび割れ発生に影響した可能性がある。
・ポステンT桁橋のひび割れパターン【6】（せん断ひび割れ）は、主ケーブル（12φ7）を桁端や上縁に定着した支間27m以下のバルブ断面（昭和55年改正）の橋梁に比べて、主ケーブル（12T12.4）を桁端に定着した支間28m以上のバルブ断面（昭和55年改正）や主ケーブル（12S12.7B）を桁端に定着したストレート断面（平成4年改正）の橋梁に多く

発生している。主ケーブル（12φ7）に比べて、主ケーブル（12T12.4）や（12S12.7B）は大容量の定着圧力である。このことより、ひび割れパターン【6】の発生には、主桁の断面形状や主ケーブルの大容量化の定着圧力が影響している可能性がある。

2.3.4 点検調書による原因分析

表-2.3.1 の調査橋梁リストより、設計荷重、平面形状、ひび割れパターンに着目し、プレテン T 桁橋、ポステン T 桁橋から損傷程度の大きなもの（b 以上）を選定し（**表-2.3.1** の黄色着色）、点検調書の損傷図や損傷写真からひび割れ発生の原因について分析を行った。原因分析は、調書の所見によらず、本研究において再分析を行った。対象とした橋梁のリストと原因分析結果の総括表を**表-2.3.4** に示す。対象橋梁はプレテン T 桁橋 6 橋、ポステン T 桁橋 8 橋である。

点検調書による原因分析を整理すると、以下のようになる。

(1) プレテン T 桁橋

1) ひび割れパターン【1】（曲げひび割れ）

・ひび割れパターン【1】と判定されている橋梁の中で、資料 No.1-1 は単純桁の支間部の上床版とウェブ上部にひび割れが発生しているので、曲げひび割れの可能性は低いと考えられる。

・資料 No.1-3 の曲げひび割れは、RC 構造の枝桁に発生していることより、荷重による曲げひび割れと共に、枝桁の両端が横桁と主桁に拘束されるため、コンクリート硬化時の温度応力による引張応力が乾燥収縮により増大したこともひび割れ原因の一つと推察できる。

2) ひび割れパターン【6】（せん断ひび割れ）

・ひび割れパターン【6】の2橋のうち、資料No.1-6のひび割れは、桁端のウェブ側面の上方に斜め方向や水平方向に発生していることから、せん断耐荷力が不足することによるせん断ひび割れ【6】ではなく、桁端部のひび割れパターン【16】のようである。また、同様のひび割れが、資料No.1-3にも確認できた。これらの橋梁は、いずれもバルブ断面（昭和55年改定）であり、ウェブ幅が150mmと薄いため、ＰＣ鋼材の付着力とコンクリート硬化時の水和熱による温度応力による引張応力が乾燥収縮により増大したこともひび割れ発生の原因の一つと推察できるが、詳細な解析検討が必要と考える。

(2) ポステン T 桁橋

1) ひび割れパターン【1】（曲げひび割れ）

・統計的分析では、支間 27m 以下のバルブ断面（昭和 55 年改正）にひび割れパターン【1】が多く発生していたが、資料 No.2-1 の点検調書ではひび割れパターン【1】の発生は確認できなかった。

2) ひび割れパターン【6】（せん断ひび割れ）

・ひび割れパターン【6】の記載のあった全 7 橋には、ひび割れパターン【6】ではなく、全橋の桁端のウェブにひび割れパターン【16】のひび割れのようである。このひび割れは、PC 鋼材の定着部の圧力による引張応力やコンクリート硬化時の温度応力による引張応力が、乾燥収縮により増大したこともひび割れ原因の一つと推察できるが、詳細な解析検討が必要と考える。

・詳細調査を行った橋梁では、桁端部のひび割れ【16】は、桁形状（バルブ断面、ストレート断面）や平面形状（直橋、斜橋・曲線橋）に関係なく、ほぼ全ての橋梁に発生している。
・下フランジ下面の桁軸方向のひび割れ【3】は資料 No.2-6 や No.2-10 に発生していた。このひび割れについては、参考文献[1)]で解析的に原因究明を行っており、その結果、①プレストレス力による横方向ひずみ、②グラウト注入圧の過大による横方向ひずみ、③グラウトの膨張圧、④コンクリートとグラウトの熱膨張係数の差による内圧などの４つの要因に、クリープや乾燥収縮の影響が加わり、ひび割れが発生したと報告されている。

表-2.3.4　プレテンションＴ桁橋、ポストテンションＴ桁橋のひび割れ原因分析結果

1.プレテンションT桁橋

資料No.	整理番号	ひび割れ分類番号		構造形式	支間長(m)	架設竣工年	橋長(m)	総径間数	全幅員(m)	平面形状	適用道路橋示方書	設計活荷重	桁形状			備考	分析したひび割れパターン					
		国交省の点検要領H16.3による番号	新分類番号										バルブ断面	ストレート断面			主桁に発生するひび割れ			中間支点横桁に発生するひび割れ	床版に発生するひび割れ	定着後埋めに発生するひび割れ
													S55改正	H3改正	H7改正		【1】	【10】	【16】	【20】	【22】	【27】
1-1	5	11	【1】	単純プレテンT桁橋	18.74	1985	19.40	1	27.80	斜橋	昭和53年	TL-20	○			【1】ウエブ・下フランジに発生	○					
1-3	10	11	【1】	単純プレテンT桁橋	21.00	1984	21.70	1	10.40	斜橋	昭和53年	TL-20	○			【1】RC枝桁に発生	△		○		○	○
1-6	17	14	【6】	単純プレテンT桁橋	20.20	1985	20.86	1	10.10	直橋	昭和53年	TL-20	○					○	○			○
1-9	3	11	【1】	2径間連結プレテンT桁橋	17.70	2002	37.00	2	5.00	斜橋	平成8年	A活荷重			○	【1】ウエブ上部に発生	○			○		
1-10	6	11	【1】	単純プレテンT桁橋	19.30	1994	20.00	1	18.30	直橋	平成元年	TL-20		○		【1】ウエブ下部に発生	○					
1-11	16	14	【6】	単純プレテンT桁橋	19.80	1989	20.50	1	9.70	直橋	昭和53年	TL-20	○			ひび割れ無し						

2.ポステンションT桁橋

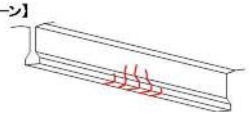
資料No.	No.	ひび割れ分類番号		構造形式	支間長(m)	架設竣工年	橋長(m)	総径間数	全幅員(m)	平面形状	適用道路橋示方書	設計活荷重	桁形状			備考	分析したひび割れパターン					
		国交省の点検要領H16.3による番号	新分類番号										バルブ断面(S55改正)		ストレート断面		主桁に発生するひび割れ			床版に発生するひび割れ	定着後埋めに発生するひび割れ	定着後埋めに発生するひび割れ
													L≦27m	L≧28m			【3】	【10】	【16】	【22】	【25】	【27】
1-8	20	14	【6】	単純ポストテンT桁橋	23.39	1993	96.50	4	8.20	直橋	平成元年	TL-20	○						○	○		○
2-1	7	11	【1】	単純ポストテンT桁橋	27.40	1994	28.20	1	10.20	直橋	平成6年	TL-20		○※1					○	○	○	
2-2	12	14	【6】	単純ポストテンT桁橋	25.70	1987	26.50	1	12.80	斜橋	昭和53年	TL-20	○						○	○	○	
2-3	13	14	【6】	単純ポストテンT桁橋	26.90	1995	27.68	1	11.00	斜橋	平成6年	B活荷重		○※2					○			
2-5	15	14	【6】	単純ポストテンT桁橋	27.40	1997	28.20	1	10.20	直橋	平成6年	B活荷重		○※3					○	○	○	
2-6	17	14	【6】	単純ポストテンT桁橋	28.50	1989	29.30	1	12.10	斜橋	昭和53年	TL-20		○			○	○	○	○		
2-9	24	14	【6】	単純ポストテンT桁橋	33.20	不明	34.10	1	14.00	斜橋	平成8年	B活荷重			○	主桁にひび割れ無し						○
2-10	25	14	【6】	単純ポストテンT桁橋	33.70	1998	34.50	1	16.10	斜橋	平成8年	B活荷重			○		○		○	○	○	○

※1：支間長が27mを超過するため、支間長28mのバルブ桁と同じ桁端定着と判定した。

※2：支間長は27m以下であるが、H6年より標準設計に上縁定着がなくなったため、支間長28mのバルブ桁と同じ桁端定着と判定した。

※3：支間長が27mを超過し、H6年より標準設計より上縁定着がなくなったため、支間長28mのバルブ桁と同じ桁端定着と判定した。

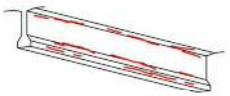
【ひび割れパターン】



【1】

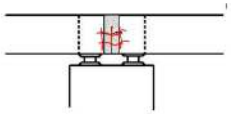
【3】

【6】

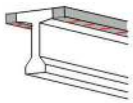


【10】

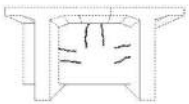
【16】



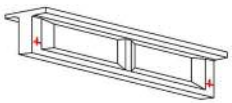
【20】



【22】



【25】



【27】

2.3.5 まとめと今後の検討課題

プレテンT桁橋、ポステンT桁橋の橋梁点検結果の統計的分析と点検調書による原因分析のまとめ、および今後の検討課題を以下に示す。

・プレテンT桁橋では、統計的にはバルブ断面（昭和55年改正）にひび割れパターン【6】（せん断ひび割れ）が多かった。ひび割れパターン【6】の発生したプレテンT桁橋の詳細調査を行ったが、ひび割れパターン【6】は確認できず、桁端部に発生するひび割れ【16】が確認できた。このひび割れは、ウェブ厚が150mmと薄いバルブ断面に発生しているため、PC鋼材の付着力による引張応力やコンクリート硬化時の温度応力による引張応力が、乾燥収縮により増大したこともひび割れ原因の一つと疑われる。

また、ウェブ幅を厚くしたストレート断面（平成 3 年改正）や（平成 7 年改定）のプレテン T 桁橋には、ひび割れパターン【6】（せん断ひび割れ）は発生していないため、現行基準で設計したプレテンT桁橋は、せん断ひび割れに対して大きく改善されていると考えられる。

・ひび割れパターン【6】（せん断ひび割れ）の発生していたポステンT桁橋の詳細調査を行ったが、ひび割れパターン【6】は確認できず、桁端のウェブにひび割れパターン【16】のひび割れが確認できた。このひび割れは、支間27m以下のバルブ断面（昭和55年改正）の橋梁に比べて、支間28m以上のバルブ断面（昭和55年改正）の橋梁やストレート断面（平成4年改正）の橋梁に多く発生していた。

支間 27m 以下のバルブ断面の橋梁では、主ケーブル 12φ7 を桁端と上縁に分散して定着している。一方、支間 28m 以上のバルブ断面の橋梁は主ケーブル 12T12.4 を桁端に定着し、ストレート断面の橋梁は主ケーブル 12S12.7B を桁端に定着している。

主ケーブルの引張荷重は、12φ7 の 700kN に対して、12T12.4 は 1918kN、12S12.7B は 2201kN と、2.74～3.14 倍の大きさになる。

したがって、ひび割れパターン【16】の発生には、大容量の定着圧力の影響が考えられる。また、コンクリート硬化時の温度応力による引張応力が、乾燥収縮により増大したこともひび割れ原因の一つと推察できるが、詳細な解析検討が必要と考える。

2.4 急曲線を有するPC橋の損傷事例と原因分析

2.4.1 検討概要

PC 橋のうち、急曲線を有する橋梁は、直線橋に比べて、死荷重や活荷重によるねじりモーメントが過大となる傾向がある。また、平面曲線に起因するプレストレスの水平分力（腹圧力）も作用するため、初期変状の発生リスクが想定される急曲線を有する PC 橋を選定し、その橋梁の点検結果をふまえて初期変状の発生状況とその要因分析を行う。その分析結果をふまえて、初期変状のリスクを低減するための、設計における留意点や現行基準での不明な内容や項目を整理する。

H24 年道路橋示方書Ⅲ編 15.3 の条文（2）では、「1 支間あたりの交角が 30°以下の曲線構造における曲げモーメント及びせん断力の算出は、曲線長を支間とする直線橋とみなして行うことができる。」としている。一方、15.3（2）の解説では、曲線構造の構造解析方法の目安として、「1 支間あたりの交角φが 30°＜φ≦45°程度の場合は、全ての断面力は、曲線の影響を考慮して求める。」、「交角φが 45°程度＜φの場合は、立体有限要素法解析や曲げねじり理論等のそり拘束ねじりの影響を考慮できる方法によって解析するのがよい。」としている。この交角の影響は構造形式により異なるが、H6 年道路橋設計便覧 18.1.1 の表-18.1.1 では、単純の T 桁橋においては、交角φが 15°以上の PC 構造では、立体薄肉構造解析により特別に検討するのがよいと記載している。また、床版橋や箱桁橋においては、単純桁では交角φが 30°以上の構造、連続桁では交角φが 45°以上の構造では、立体薄肉構造解析により特別に検討するのがよいと記載している。

そこで、曲線の影響を考慮して設計された交角φが 30°を越える曲線の箱桁橋を対象に橋梁点検を行い、初期変状の発生状況を確認し、原因分析を行った。

初期変状の調査を行った橋梁の構造概要は以下の通りである。

構造形式：4 径間連続 PC2 室箱桁橋
平面曲線：曲線橋（R=50.0m）
交　　角：φ＝57°
桁構造　：主方向：PC 構造（内ケーブル）
　　横方向：RC 構造
施工方法：1 径間ずつの分割施工（支保工施工）

2.4.2 ひび割れの発生状況

対象橋梁の現地調査を行い、初期変状（ひび割れ）の発生状況を目視点検した。

対象橋梁のひび割れの発生状況を**表-2.4.1** に、ひび割れ発生位置の模式図を**図-2.4.1** に示す。

表-2.4.1　初期変状（ひび割れ）の発生状況

発生部位	ひび割れ番号	発生場所	ひび割れ方向	最大ひび割れ幅	備考
上床版	①	全般（標準部）	橋軸方向	0.15mm	漏水なし
	②	曲率内側（曲線部）	橋軸方向	0.15mm	漏水なし
ウェブ	③	支間 1/4 付近	斜め方向（PC 鋼材方向）	0.15mm	
	④	桁端部	水平方向	0.20mm	
下床版	⑤	曲率の小さい側の PC 鋼材曲げ上げ部	橋軸方向	0.50mm	
中間横桁	⑥	開口部の上部	斜め方向	0.35mm	
	⑦	開口部付近	放射状	0.15mm	

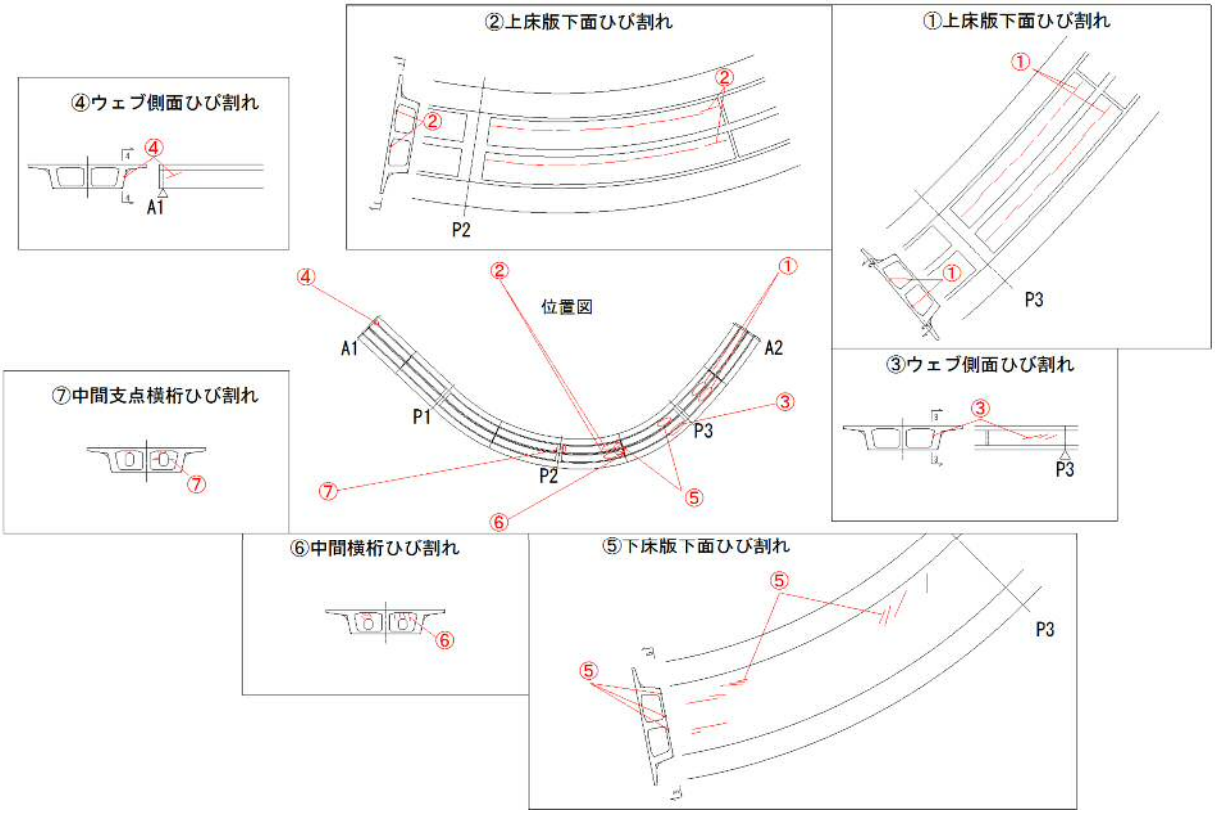


図-2.4.1　ひび割れ模式図

2.4.3 ひび割れの発生原因

ひび割れの発生原因について、設計図面や設計計算書からは、以下のような要因が影響している可能性が考えられる。

(1) ねじりの影響

上床版の橋軸方向のひび割れ①、②、下床版の橋軸方向のひび割れ⑤の発生原因は、ねじりモーメントによる可能性がある。ねじりによるひび割れは、基本的には**図-2.4.2** のように斜め方向に発生するが、本橋では橋軸方向にひび割れが発生している。本橋の床版の橋軸方向は PC 構造であり、橋軸直角方向は RC 構造である。そのため、ねじれによるひび割れが、斜め方向からプレストレスの作用しない橋軸方向に向きを変えて発生した可能性がある。

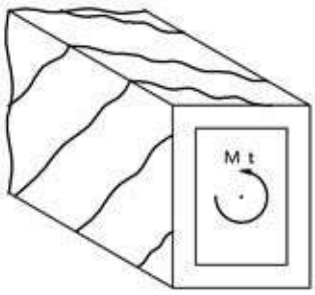
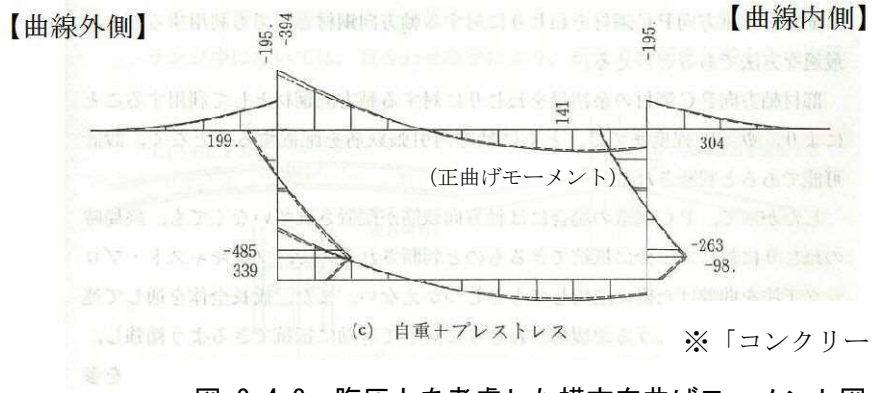


図-2.4.2　ねじりを受ける箱桁断面

(2) 平面曲線に起因するプレストレス力の水平力（腹圧力）

上下床版の橋軸方向のひび割れ①、②、⑤、ウェブの斜め方向のひび割れ③の発生原因は、平面曲線に起因するプレストレス力の水平腹圧力の可能性がある。

図-2.4.3 に腹圧力を考慮した横方向曲げモーメント図（H6 年コンクリート道路橋設計便覧（以下、設計便覧とする）　図-18.1.13）を示す。図のように曲線内側の上床版に正曲げモーメントが作用するため、上床版下面の軸方向に発生したひび割れ②の発生位置では引張りが生じるリスクがあり、腹圧力はひび割れ②の要因の可能性がある。



※「コンクリート道路橋設計便覧」より

図-2.4.3　腹圧力を考慮した横方向曲げモーメント図

(3) 施工ステップを考慮した構造解析

上下床版のひび割れ①、②、⑤とウェブの斜め方向のひび割れ③の発生原因は、本橋が分割して施工されているため、施工時の構造系変化にともなうねじりモーメントなどの断面力が設計と異なる可能性がある。

(4) 中間横桁の設計

本橋は、曲線箱桁橋のため、横桁部にねじりモーメントによる大きな断面力が発生する。中間横桁開口上部のひび割れ⑥は、斜め方向に並行に発生しているため、主方向のねじりモーメントにより横桁断面方向に引張りが生じ、ひび割れが発生した可能性がある。

(5) 温度応力

支間 1/4 付近のウェブ斜め方向のひび割れ③は、施工目地部に発生していることから、主ケーブルのカップラーシース等による断面欠損が大きい部分において、新旧打ち継目の拘束による引張りとコンクリート硬化時の温度応力が生じ、ひび割れが発生した可能性がある。

(6) 定着圧力

桁端付近の水平方向のひび割れ④は、PC 鋼材の定着圧力による定着具背面の引張応力と端部横桁のコンクリート硬化時の温度応力によりひび割れが発生した可能性がある。

(7) 乾燥収縮

中間支点横桁開口部の放射状のひび割れ⑦は、中間支点横桁の乾燥収縮を上下床版、ウェブが拘束したために引張が生じ、断面欠損部の開口部周囲にひび割れが発生した可能性がある。

上記の要因とひび割れの種類を整理すると**表-2.4.2** のようになる。

表-2.4.2　ひび割れの要因と種類

要　　因	ひび割れ番号
(1)　ねじりの影響	①　②　⑤
(2)　曲線に起因するプレストレス力の水平力	①　②　③　⑤
(3) 施工ステップを考慮した構造解析	①　②　③　⑤
(4) 中間横桁の設計	⑥
(5) 温度応力	③
(6) 定着圧力	④
(7) 乾燥収縮	⑦

以上より、急曲線を有する橋梁を対象に初期変状の調査を行い、原因分析を行った結果、初期変状の要因としては複数の要因が考えられる。

曲線橋は、主桁の軸線の偏心によりねじりモーメントが発生することに加え、荷重の偏載荷や斜角などによってもねじりの影響を受ける。また、平面曲線に沿って配置される PC 鋼材のプレストレスによる水平力の影響も大きいと考えられる。そこで、**表-2.4.2** の要因の中で平面曲線の影響が比較的大きいと考えられる (1) ～ (4) について、現行の「H24 年道路橋示方書」「H6 年コンクリート道路橋設計便覧」の内容について整理する。

2.4.4 「H24 年道路橋示方書」、「H6 年コンクリート道路橋設計便覧」に基づく設計

(1) ねじりモーメントに対する照査項目（主方向の設計＝PC 部材）

1) 各荷重時に対する検討項目

各荷重時の検討項目は**表-2.4.3** の通りである。

表-2.4.3　各荷重時の検討項目

	ねじり補強鉄筋	斜引張応力度	平成 24 年道路橋示方書	備考
設計荷重時	－	○	4.4.3（p.165）	ねじりのみ、ねじり+せん断
終局荷重時	○	－	4.4.4（p.169）	ねじりのみ、ねじり+せん断

2) 設計荷重時の斜引張応力度について

せん断力とねじりモーメントに対する照査は、設計便覧 7.7.1 では、通常はせん断力の照査位置について検討する方法が示されている。各部位に考慮する応力度は**表-2.4.4** の通りである。

H24 道路橋示方書Ⅲ編（以下、道示とする）4.3.3（4）の解説では、プレストレストコンクリート構造のせん断力により部材断面に生じるコンクリートの斜引張応力度は、断面内の位置によりその値が変化するが、一般に断面図心位置で最大となることから断面図心位置とウェブ幅が最も薄い位置で照査することとされている。一方、ねじりに対しては、箱桁断面では、閉合したウェブとフランジにせん断流によるせん断力が生じるので両部材について照査することが道示 4.4.1（1）、（2）で示されている。また、床版部の斜引張応力度の照査では、他の応力に対して余裕がある場合には床版横締めによる有効プレストレスを考慮できるようになる。これは、道示 4.4.4（3）にも解説されている。床版横締めによる有効プレストレスの考慮の方法はウェブの斜引張応力度算出時の鉛直締めの取り扱いと同じである。

表-2.4.4　各部位に考慮する応力度

部位	主方向応力度（軸方向プレ含む）	せん断力によるせん断応力度	ねじりよるせん断応力度	軸直角方向プレストレス
上床版	○	－	○	○（床版横締）
ウェブ	○	○	○	○（鉛直締）
下床版	○	－	○	－

3) 終局荷重作用時のねじり補強鉄筋について

ねじりモーメント単体で軸方向鉄筋量、横方向鉄筋量を算出する。軸方向鉄筋は、曲げ破壊必要鉄筋と合わせて配置する。ウェブのスターラップは斜引張鉄筋必要量と合わせて配置する。

4) 施工時の検討

設計便覧 18.1.3（2）3）（P.388）にも「押出しや張出し施工の橋梁のように、施工時と完成時でねじり角の方向が異なる場合は、施工時についても検討する必要がある。」と記載されているとおり、施工法が異なる固定支保工による分割施工する場合でも、**図-2.4.4** のように施

工時と完成時のねじり角の方向が異なる場合には、施工時についても検討することが必要である。

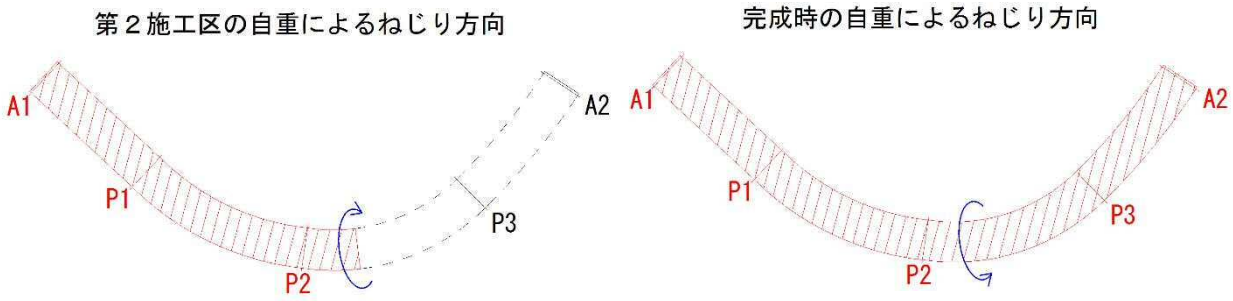


図-2.4.4　施工時と完成時のねじり方向（分割施工）

(2) 曲線桁橋としての照査について（設計便覧　第 18 章　曲線桁橋）

1) 断面設計について

設計便覧の第 18 章の 18.1.1～18.1.2 までは解析モデルや荷重載荷法の説明があり、主に「主方向の設計」に使うねじりモーメントの算出要領を示している。これにより算出したねじりモーメントを使って前記の主方向の設計を行うこととなる。

また、18.1.3 では、「曲線桁の断面設計」について示しており、18.1.3（1）3）では、箱桁橋の断面設計の例を詳述している。ここでは、主方向の発生応力（死荷重、プレストレス）により、曲線の影響で箱桁の断面方向に腹圧力が作用するため、これを考慮した横方向の曲げモーメントの算出について説明している。

具体的には、箱桁の横方向の設計に対して、腹圧力の影響を足し合わせて照査することとなる。（図-2.4.5～2.4.7、表-2.4.5 参照）

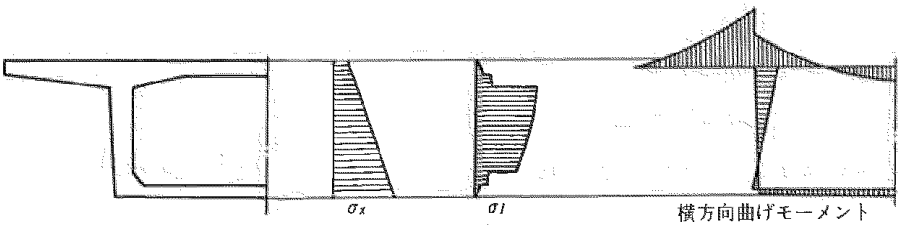


図-2.4.5　台形ウェブ箱桁断面の利点（設計便覧　図-18.1.11）

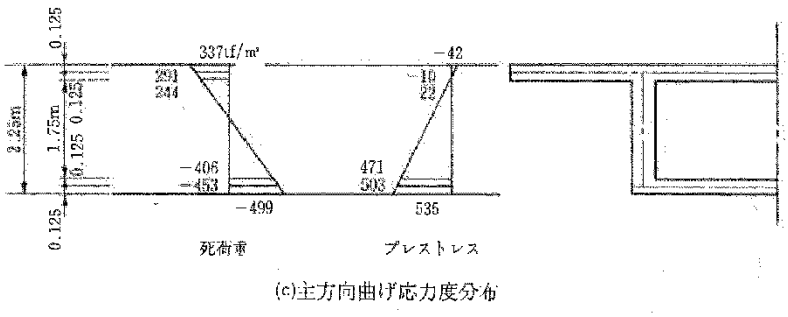


図-2.4.6　腹圧が作用する場合の横方向解析モデルと主方向曲げ応力度分布（設計便覧　図-18.1.12）

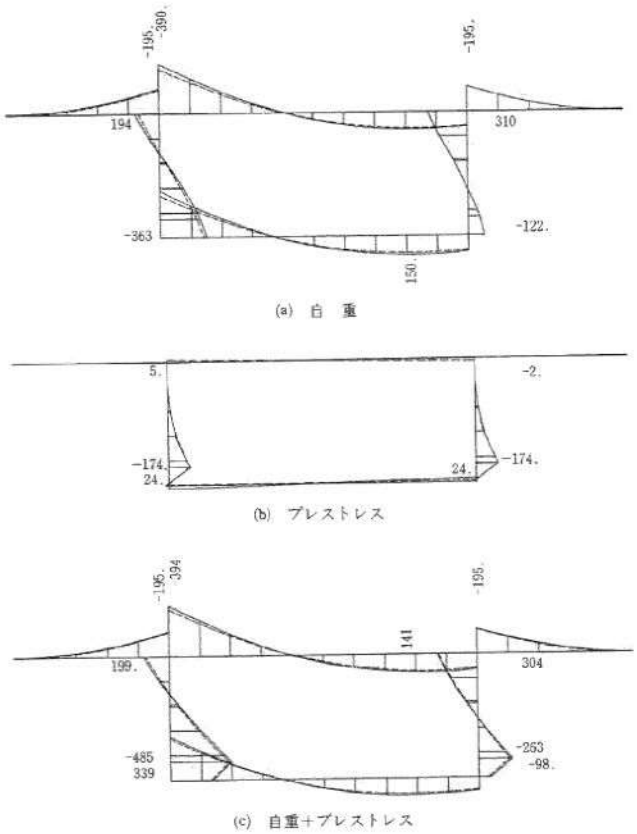


図-2.4.7　腹圧力を考慮した横方向曲げモーメント（設計便覧　図-18.1.13）

表-2.4.5　横方向解析における作用荷重（設計便覧　表-18.1.5）

表-18.1.5　横方向解析における作用荷重

	死荷重（自重）(tf/m)	プレストレス (tf/m)
鉛直方向	上床版、下床版　$w=0.25\times2.5=0.625$ 腹部　$w=0.40\times2.5=1.00$ 0.625 1.00　0.625　1.00	
水平方向（上・下床版）	上床版　$h_0=\sigma\cdot t/R$ $=291\times0.25/50.0=1.455$ 下床版　$h_0=-453\times0.25/50.0=-2.265$ 1.455 −2.265	上床版　$h_0=-10\times0.25/50.0=-0.05$ 下床版　$h_0=503\times0.25/50.0=2.515$ −0.05 2.515
水平方向（腹部）	$q_{HC}=\sigma\cdot t/R$ $=(244\sim-405)\times0.4/50.0$ $=1.952\sim-3.248$ tf/m 1.952　1.952 −3.248　−3.248 0.125　0.666　0.781　1.094　1.219　0.125	$q_{HP}=(22\sim-471)\times0.4/50.0$ $=0.176-3.768$ $P_H=P/R$ $=499/50.0=9.98$tf tf/m +0.176　(1.522)　9.98tf　9.98tf 3.768 0.125　0.781　1.219　1.8　0.2　1.75　0.125

σ：部材応力，t：部材厚，R：曲線半径

(3) 設計計算書の確認

対象橋梁の設計計算書の内容を精査した結果、以下のことが明らかになった。

・プレストレストコンクリート構造では、せん断力により部材断面に生じるコンクリートのせん断応力度は、床版部にも発生するものの、一般にウェブ断面のみでせん断力を負担するものとして照査している。一方で、ねじりに対しては、箱桁断面を構成する床版部も有効断面とみなしせん断応力度の照査を行う。対象橋梁では設計荷重時に上下床版に対するせん断とねじりに対する照査はされていないが、設計荷重時の上下床版に対するねじりによるせん断応力度を試算した結果、許容値を満足している。このため、必要な部材寸法は確保されているものと考えられる。
・終局時で決定する補強鉄筋については、軸方向鉄筋およびスターラップについては、曲げ・せん断・ねじりを考慮した上で設定されている。上下床版の横方向鉄筋については、曲げとねじりを考慮して設定されるが、入手した資料の中では計算過程が不明であった。
・横方向の設計においても、設計荷重時の箱桁断面の設計は行われている。また、床版横方向鉄筋は、横方向の断面設計による必要鉄筋量が配置されている。
・平面曲線に起因するプレストレスの腹圧力に対する検討がされていない。道路橋示方書 15.4 の条文では、「横方向の設計にあたっては、平面曲線に起因するプレストレス力の水平分力を考慮するのが望ましい。」とある。腹圧力は、主桁の平面曲線に限らず、桁の平行曲線とプレストレスの圧力線が一致しない場合に発生する。また、斜ウェブを有する箱桁橋では、ウェブ内に配置した橋軸方向の PC 鋼材が曲上げられている場合、プレストレスの鉛直分力によって生じる断面力について検討する必要がある。特に、対象橋梁は、1 径間当りの交角が 50° 近い急曲線を有する箱桁橋であるため、平面曲線に起因するプレストレスによる腹圧力の影響が大きいと考えられるため、これを考慮して検討する必要がある。
・設計計算書を確認する限りでは施工時の検討がなされているかは不明であった。道路橋施工便覧では、押出し施工や張出し施工の橋梁のように施工時と完成時でねじり角の方向が異なる場合は、施工時についても検討することを記載しているが、本橋のように固定支保工による分割施工においても、施工時と完成時のねじり角の方向が異なる場合には、施工時の検討を行う必要があると考えられる。

2.4.5 まとめ

急曲線を有するPC橋の初期変状の原因分析結果より、曲線橋における初期変状(ひび割れ)に対する設計の留意点をまとめると以下のようになる。

・ねじりモーメントの作用する箱桁橋においては、床版部にもねじりモーメントに対する横方向鉄筋が必要である。また、床版部には横方向の曲げモーメントに対する横方向鉄筋も必要である。しかし、実橋の挙動を考えた場合、例えば、立体FEM解析を行ったとして、死荷重のねじりによる床版横方向応力度と、床版自重・橋面荷重による床版横方向応力度は足し合わされて発生するものと考えられる。対象橋梁では、主方向と横方向の設計でそれぞれ算出された必要鉄筋量は配置されていたものの、床版部にひび割れが確認されている。このため、ねじりの影響を受ける曲線橋において、主方向のねじりモーメントによる床版横方向鉄筋応力度と床版横方向設計による床版応力度の照査を共通の配置鉄筋で行っている場合は、横方向鉄筋が不足する可能性が考えられる。

・曲線橋においては、平面曲線に起因する腹圧力により、上下床版やウェブに横方向の曲げモーメントが作用する。この腹圧力は曲率やプレストレス力により変化するが、腹圧力を設計に考慮しない場合には、横方向鉄筋やスターラップが不足する可能性がある。

・固定支保工による分割施工においても、施工時と完成時のねじり角の方向が異なる場合は、施工時の構造検討を行わないとひび割れ発生のリスクが増加する可能性がある。

2.5 本研究で対象とする初期変状

2.2～2.4 の検討において、以下が確認された。

1) 初回点検結果から、ひび割れパターン【3】【6】【11】【12】【13】【16】【20】【22】【25】の割合が大きい。主な要因は、外部拘束（打継目や後打ち部）、内部拘束（水和熱）、乾燥収縮の可能性が高いと考えられるが、一部で斜め引張応力超過や PC 定着部の割裂、支承の回転拘束など構造的な要因の可能性も考えられる。

2) 初回点検結果のうち、曲線の厳しい PC 曲線箱桁橋のひび割れ原因分析の結果、腹圧力とねじりの足し合せや床版横方向曲げとねじりの足し合せなど、現行基準において配慮されるべき事項が十分に検討されていなかったことが原因と考えられるひび割れがあった。

以上のとおり、外部拘束や内部拘束など施工時の一時的な荷重や、設計的な配慮不足、構造的な要因等によって初期変状が発生していると考えられる。

PC 橋の品質低下要因を材料、設計、施工、維持管理に分類すると、**図-2.5.1** のようになる。このうち材料に関する部分については、これまでも ASR や凍害などに対して、道示や JIS 等で対応が図られてきており、さらに、乾燥収縮やクリープなど、材料特性に起因すると考えられる設計の前提条件に関するものは、昨今の骨材収縮に関する損傷事例等を契機として検討が進められている。

本研究は、PC 橋の初期変状に対しての原因究明と対策（案）の検討を目的としていることから、**図-2.5.1** に示す設計及び施工に分類される事項について検討の対象とする。

本研究で検討の対象とする設計・施工において配慮すべき事項を**表-2.5.1** に示す。

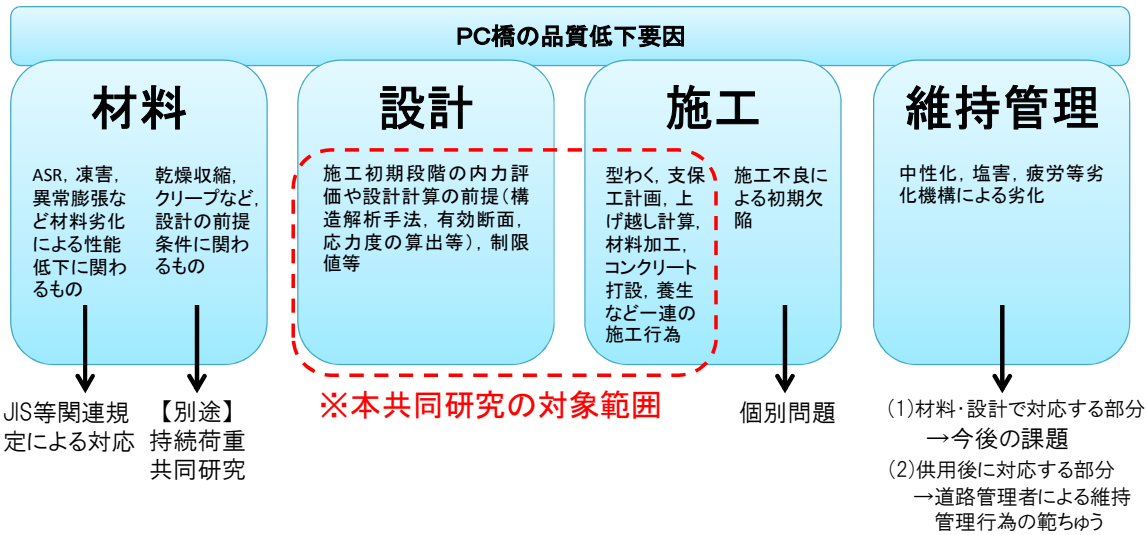


図-2.5.1　PC 橋の品質低下要因

表-2.5.1　設計・施工において配慮すべき事項

番号	問題・課題	対応の方向性	検討内容
1	設計者による既往基準の簡略化や独自の判断、配慮不足などによって十分に検討がなされていない設計の項目がある。 （例） 主方向横方向の影響組合せ、局所応力（定着端）、支点周り	既往文献調査、初期変状の防止のために配慮されている現行基準における配慮事項とその変遷のとりまとめ、およびそれらへの対応方針の整理	ひび割れを防ぐために規定されている設計・施工基準の変遷を整理し、ひび割れパターンごとに分析 **⇒３章**
			施工時における初期変状防止策の調査（文献収集および諸基準類の動向調査） **⇒４章**
2	施工時の一時的な荷重や打継目条件等によりプレストレスが導入されていない施工段階で変状が生じる場合がある。 （例） 打継目地、コンクリート硬化時の水和熱	施工時照査における制限値の設定	【実橋施工計測】 ・片持ち張出架設 ・固定支保工架設 【ＦＥＭ解析】 ・温度応力解析 ・施工時応力解析 **⇒５章**
3	施工時の拘束により生じた残留応力と供用初期段階に載荷された外力による応力の相互作用により変状が生じる可能性がある。	残留応力に対する補強鉄筋の配置	
4	曲線橋、斜橋では施工段階での変状（ひび割れ等）が発生している。施工系から完成系に至る複合作用、施工時支保工たわみ、施工目地部（打継部）に配慮した設計段階における施工時の応力制御、構造特性{曲線；断面と軸方向作用の重ね合わせ（ねじり+せん断）、断面形状}	設計時点における配慮事項の規定	変状が生じた症例を分析し、問題・課題を抽出したうえ、対応策を検討 **⇒2.4**
5	プレテンＴ桁、ポステンＴ桁の曲げやせん断ひび割れ	桁端部のＦＥＭや温度解析	本報告書の範囲外

【参考文献】

1）櫻井義之、国冨康志、谷口秀明、木村嘉富：PCT 桁橋の桁下面に発生した縦ひび割れ原因に関する解析的検討、第 23 回ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽﾄｺﾝｸﾘｰﾄの発展に関するシンポジウム論文集、pp.85-90、2014.10

３章　設計および施工の技術変遷調査

3.1 検討概要

日本で PC 橋が初めて施工された 1951 年から現在に至るまでの約 60 年の間、PC 橋は、構造形式の多様化や使用材料の変化など、さまざまな技術の発展や進歩がなされてきた。それとともに、PC 橋の初期変状防止対策は、技術基準へ新たな知見を盛りこむことで改定をおこなったり、施工方法の改善や施工管理の強化を行なったりするなど、その時代に応じた対策がとられてきている。

この章では、橋梁点検で報告されるひび割れパターンからひび割れ発生の要因となっていると考えられる項目を抽出し、それらの項目について設計的な視点および施工的な視点から技術の変遷を調査し、ひび割れがどのような技術的背景のもとで生じたものか分析を行う。それらの結果から、現在の初期変状防止技術がどの程度の対策レベルとなっているか分類して、更なる初期変状防止対策の方向性を示す。

◯調査の概要

【対象】

平成 16 年の橋梁定期点検要領（案）や橋梁点検の報告などをもとに 2 章で新たに分類した新分類 31 種類のひび割れパターンのうち、初期の段階で発生する初期変状

【調査項目】

・設計的な視点：腹圧の設計、定着突起の設計、水和熱の温度応力、定着部の支圧応力、乾燥収縮

・施工的な視点：支保工、型枠、コンクリート打設、養生、目地部、グラウト

【技術変遷の調査範囲】

関連する文献を調査

日本道路協会、土木学会、JCI、PC 工学会、PC 建協　など

3.2 調査項目の抽出

変遷調査を行なう項目は、構造物完成後の初期の段階に発生する初期変状をもとに抽出する。変状の原因を分析し、その中から、主に PC 橋の本体構造に関連のある項目に着目して設計技術および施工技術について整理する。

２章では、「橋梁定期点検要領（案）H16 年 3 月」に示される 20 種類のひび割れパターンに加えて、橋梁点検で「その他」として記録されたひび割れを新たに 31 種類のひび割れパターンに分類し、整理した。

今回、変遷調査を行う項目は、新分類 31 種類のひび割れパターンの直接的要因と間接的要因の中から初期変状と関連があるキーワードを洗い出すことで抽出した。抽出結果を設計の変遷および施工の変遷に大別して整理した結果を**表-3.2.1** に示す。なお、【設計-Ⅰ】基準の改定は、ひび割れ要因の中から洗い出したものではないが、技術の変遷の全体を捉えるために必要と判断して追加した。

表-3.2.1　調査項目一覧表

大項目	項目	整理番号
設計の変遷	基準の改定	【設計-Ⅰ】
	腹圧の設計	【設計-Ⅱ】
	定着突起の設計	【設計-Ⅲ】
	水和熱の温度応力	【設計-Ⅳ】
	定着部の支圧応力	【設計-Ⅴ】
	乾燥収縮	【設計-Ⅵ】
施工の変遷	支保工	【施工-Ⅰ】
	型枠	【施工-Ⅱ】
	コンクリート打設	【施工-Ⅲ】
	養生	【施工-Ⅳ】
	目地部	【施工-Ⅴ】
	グラウト	【施工-Ⅵ】

次頁より、調査項目を抽出するために取りまとめた結果を**表-3.2.2** に示す。なお、表中の直接的要因および間接的要因に使用されている記号（ex [D]、[B18]など）は、ひび割れ発生要因の分類であり、「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-　日本コンクリート工学会」に示された内容にもとづいている。記号の説明は**表-3.2.3** に示す。

表-3.2.2　調査項目抽出表（その１）

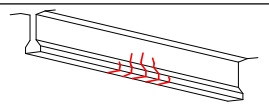
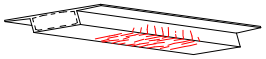
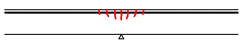
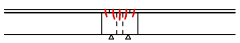
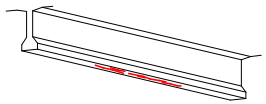
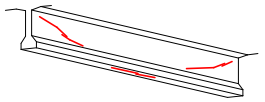
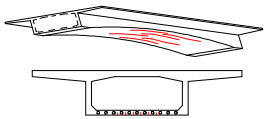
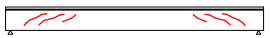
新分類	【新分類】31種類のひび割れパターンに対して考えられるひび割れ発生要因の例					本報告書における調査項目の抽出	
	主な発生部位	橋梁定期点検要領におけるひびわれパターン分類	ひびわれ概要図	「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-」（日本コンクリート工学会）におけるひび割れ発生要因の例		初期変状の観点に基づく要因の抽出	変遷調査項目
				直接的要因の例	間接的要因の例		
【1】	PC主桁 支間中央	①　主桁直角方向の桁下面および側面の鉛直ひびわれ		[D] 応力超過、ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ損失が疑われる。 （コンクリートの曲げ引張応力がひび割れ発生限界を超過）	[D2] 橋面荷重等の見込み違い [D4] 過積載車両の通行 [B18] PC鋼材の腐食、破断	-	-
	RC・PRC主桁 支間中央	①　主桁直角方向の桁下面および側面の鉛直ひびわれ		[D] 引張応力は鉄筋のみで負担しており、コンクリートに引張抵抗力を期待していない。 <PRCの場合> [B] ｺﾝｸﾘｰﾄ硬化前に**支保工が沈下**した可能性がある。 [D] 応力超過、ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ損失が疑われる。 （コンクリートの曲げ引張応力がひび割れ発生限界を超過）	[D4] 過積載車両の通行 <PRCの場合> [B4･B7] **打設順序、打ち重ね時間配分の不備** [B16] **支保工(地盤)耐力不足** [B18] **グラウト不良**によるPC鋼材の腐食	**支保工沈下** **不適切なコンクリート打設** **グラウト不良**	**【施工-Ⅰ】 支保工** **【施工-Ⅲ】 コンクリート打設** **【施工-Ⅵ】 グラウト**
【2】	PC連続桁 中間支点部	⑧　連続桁中間支点部の上側の鉛直ひびわれ		[D] 応力超過、ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ損失などが疑われる。 （コンクリートの曲げ引張応力がひび割れ発生限界を超過）	[D2] 橋面荷重等の見込み違い [D4] 過積載車両の通行 [D6] 端支点部の不同沈下 ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ損失の発生要因として [B18] PC鋼材の腐食、破断	-	-
	ﾌﾟﾚﾃﾝ連結桁 中間支点部	⑧　連結桁中間支点部の上側の鉛直ひびわれ		[D] 連結部の桁上縁に発生する負の曲げﾓｰﾒﾝﾄによる引張応力は、鉄筋のみで負担している。 [D] 支点連結部の負ﾓｰﾒﾝﾄの過小評価	[D2] 橋面荷重等の見込み違い [D4] 過積載車両の通行 [D6] 端支点部の不同沈下 [E] ｸﾘｰﾌﾟの進行に伴う変形（桁のたわみ）	-	-
【3】	PC桁 支間中央 （施工目地部を除く）	②　主桁下面橋軸方向ひびわれ		[B] 内部主方向鉄筋の腐食膨張の可能性がある。 [B] PC鋼材**ｸﾞﾗｳﾄ不良**の可能性がある。 [A] ASRに起因する膨張圧がプレストレス方向と直交する橋軸直角方向に作用し、ひび割れた可能性がある。	[B12] かぶり不足 [B18] **ｸﾞﾗｳﾄ未充填空間**に滞水した水分の凍結膨張 [A7･C7･C8] 中性化や塩分浸透等による鉄筋の腐食膨張 [A6] ASRの進行	**グラウト不良**	**【施工-Ⅵ】 グラウト**
	PC主桁 その他	⑳　ｼｰｽに沿って生じるひびわれ		[B] PC鋼材**ｸﾞﾗｳﾄ不良**が疑われる。 [A] ASRに起因する膨張圧がプレストレス方向と直交する橋軸直角方向に作用し、ひび割れた可能性がある。	[B18] **ｸﾞﾗｳﾄ未充填空間**に滞水した水分の凍結膨張 [A6] ASRの進行	**グラウト不良**	**【施工-Ⅵ】 グラウト**
【4】	PC箱桁 支間中央	⑬　変断面桁の下ﾌﾗﾝｼﾞのPC鋼材に沿ったひびわれ		[D] 桁高変化があり下床版の軸線が変化していることによる**PC鋼材緊張力の腹圧力の影響**が疑われる。 [D] 下床版幅が広く、大きな断面力が作用	[B6] **コンクリートの充填不足** [D5] **PC鋼材配置の不備** [D5] **コンクリート部材厚の不足** [D5] **下床版幅が過大**	**腹圧力に対する検討不足** **不適切なコンクリート打設**	**【設計-Ⅱ】 腹圧の設計** **【施工-Ⅲ】 コンクリート打設**
【5】	ｺﾝｸﾘｰﾄ主桁 その他	⑩　桁の腹部に規則的な間隔で鉛直方向のひびわれ		[B] ｽﾀｰﾗｯﾌﾟの腐食膨張が疑われる。	[B12] かぶり不足 [C7] 中性化 [C8] 塩害	-	-
【6】	PC主桁 支間1/4	④　支点付近の腹部に斜めに発生しているひびわれ		[D] 応力超過、ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ損失などが疑われる。 （コンクリートの斜引張応力がひび割れ発生限界を超過） [B] ｺﾝｸﾘｰﾄ硬化前に**支保工が沈下**した可能性がある。	[D2] 橋面荷重等の見込み違い [D3] 地震力の作用 [D4] 過積載車両の通行 [D5] コンクリート部材厚の不足 [B18] PC鋼材の腐食、破断 [B4･B7] **打設順序、打ち重ね時間配分の不備** [B16] **支保工(地盤)耐力不足**	**支保工沈下** **不適切なコンクリート打設**	**【施工-Ⅰ】 支保工** **【施工-Ⅲ】 コンクリート打設**

表-3.2.2　調査項目抽出表（その２）

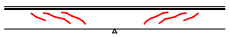
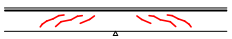
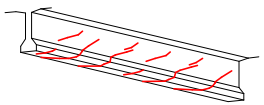
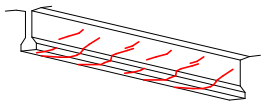
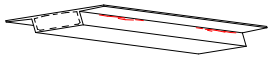
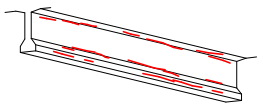
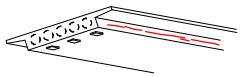
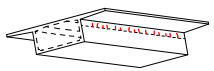
新分類	【新分類】31種類のひび割れパターンに対して考えられるひび割れ発生要因の例					本報告書における調査項目の抽出	
	主な発生部位	橋梁定期点検要領におけるひびわれパターン分類	ひびわれ概要図	「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針−2013−」（日本コンクリート工学会）におけるひび割れ発生要因の例		初期変状の観点に基づく要因の抽出	変遷調査項目
				直接的要因の例	間接的要因の例		
【6】	RC・PRC主桁 支間1/4	④　支点付近の腹部に斜めに発生しているひびわれ		[D] ｺﾝｸﾘｰﾄ負担せん断応力を超過した可能性がある。 [B] ｺﾝｸﾘｰﾄ硬化前に支保工が沈下した可能性がある。	[D4] 過積載車両の通行 [D5] コンクリート部材厚の不足 [B4･B7] 打設順序、打ち重ね時間配分の不備 [B16] 支保工(地盤)耐力不足 <PRCの場合> [B18] グラウト不良によるPC鋼材の腐食	支保工沈下 不適切なコンクリート打設 グラウト不良	【施工−Ⅰ】 支保工 【施工−Ⅲ】 コンクリート打設 【施工−Ⅵ】 グラウト
	PC主桁 支間1/4	⑮　PC連続中間支点付近の半曲部のPC鋼材曲げ上げに直交するひびわれ		[D] 応力超過、PC鋼材配置形状の不備によるﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ不足などが疑われる。	[D2] 橋面荷重等の見込み違い [D4] 過積載車両の通行 [D5] コンクリート部材厚の不足 [B18] グラウト不良によるPC鋼材の腐食、破断 [D3･D4] 張出施工の場合では、作業荷重および移動作業車などの短期荷重によるせん断ひび割れ	グラウト不良	【施工−Ⅵ】 グラウト
【7】	PC主桁 支間1/4	⑭　PC連続中間支点付近の半曲部のPC鋼材に沿ったひびわれ		[B] PC鋼材ｸﾞﾗｳﾄ不良が疑われる。 [B] ｺﾝｸﾘｰﾄ硬化前に中間支点が沈下した可能性がある。	[B18] ｸﾞﾗｳﾄ未充填空間に滞水した水分の凍結膨張 [B16] 地盤耐力不足 [B13] 中間支点横桁底枠の耐力不足	グラウト不良	【施工−Ⅵ】 グラウト 【施工−Ⅱ】 型枠
【8】	PC主桁 その他	⑫　桁全体に斜め45°方向のひびわれ		[D] 応力超過、ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ損失などが疑われる。	[D4] 架設時に生じた桁のねじりによる過大なねじりﾓｰﾒﾝﾄの発生 [D6] 桁支持部の不等沈下による過大なねじりモーメントの発生 [D5] コンクリート部材厚の不足	−	−
	RC・PRC主桁 その他	⑫　桁全体に斜め45°方向のひびわれ		[D] 応力超過、ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ損失などが疑われる。 （ｺﾝｸﾘｰﾄ負担ねじり応力の超過分を、鉄筋が負担している。）	[D4] 桁架設時のねじりモーメント [D5] コンクリート部材厚の不足 <PRCの場合> [B18] PC鋼材の腐食、破断	−	−
【9】	ｺﾝｸﾘｰﾄ主桁 その他	⑪　ｳｪﾌﾞと上ﾌﾗﾝｼﾞの接合点付近の水平方向のひびわれ		[B] 打設ﾛｯﾄ打継ぎ間隔不備により、先に打ち込んだｺﾝｸﾘｰﾄの沈降やｺｰﾙﾄﾞｼﾞｮｲﾝﾄが疑われる。	[B10･B17] コンクリート打重ねの不具合	不適切なコンクリート打設	【施工−Ⅲ】 コンクリート打設
【10】	PC主桁 その他	⑰　主桁側面に水平方向に発生しているひびわれ		[A] ASRに起因する膨張圧がプレストレス方向と直交する橋軸直角方向に作用し、ひび割れた可能性がある。	[A6] ASRの進行	−	−
	PC主桁 その他	[29]　桁腹部に発生している水平方向のひび割れ		[A] ASRに起因する膨張圧がプレストレス方向と直交する橋軸直角方向に作用し、ひび割れた可能性がある。	[A6] 反応性骨材の使用	−	−
【11】	ｺﾝｸﾘｰﾄ主桁 支間中央部	⑱　主桁上ﾌﾗﾝｼﾞ付近		[A] 分割施工時(断面高さ方向)のｺﾝｸﾘｰﾄ収縮拘束 [D] 応力超過、ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ過多による桁の上ぞりなどが疑われる。	[A9･B8] 湿潤養生不足による弱材令時に発生 [A8] 打込み時の沈降ひび割れ [E] ｸﾘｰﾌﾟの異常進行	分割施工による乾燥収縮の影響 不適切なコンクリート打設 不適切な養生方法および養生期間	【設計−Ⅵ】 乾燥収縮 【施工−Ⅲ】 コンクリート打設 【施工−Ⅳ】 養生
	PC主桁 支間全体	[30]　水平打継ぎ部付近の主桁側面に発生している鉛直方向ひび割れ		[B] 新コンクリートの収縮拘束	[B8] 脱枠時期が尚早であった可能性がある。 [E] 新コンクリートの層厚が小さすぎた可能性がある。	不適切な養生方法および養生期間	【施工−Ⅳ】 養生

表-3.2.2　調査項目抽出表（その３）

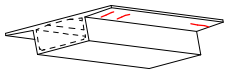
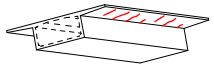
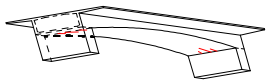
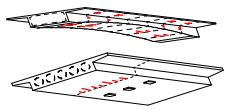
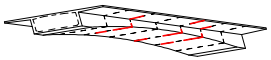
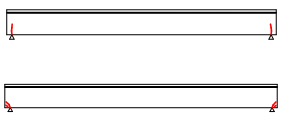
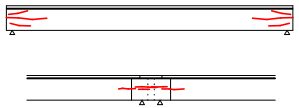
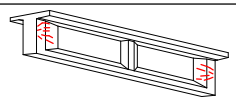
新分類	【新分類】31種類のひび割れパターンに対して考えられるひび割れ発生要因の例					本報告書における調査項目の抽出	
	主な発生部位	橋梁定期点検要領におけるひびわれパターン分類	ひびわれ概要図	「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針−2013−」（日本コンクリート工学会）におけるひび割れ発生要因の例 直接的要因の例	間接的要因の例	初期変状の観点に基づく要因の抽出	変遷調査項目
【11】	PC主桁 支間1/4 支点部	[32] 上フランジ下面に発生している橋軸方向あるいは橋軸直角方向のひび割れ		[D] 版端部への活荷重、衝撃荷重作用	[D5] 版端部の断面厚および補強筋不足	−	−
	PC主桁 支間全体	[33] 規則的な間隔で張出床版下面に発生している橋軸直角方向ひび割れ		[A] コンクリートの**乾燥収縮** [C] 張出床版横方向鋼材の腐食膨張	[D5] 床版横締めシース設置に伴う断面厚の小さい部分に**乾燥収縮による引張応力**が作用 [B6] **コンクリート締固め不足**	**乾燥収縮の影響** **不適切な養生方法および養生期間** **不適切なコンクリート打設**	**【設計−VI】 乾燥収縮** **【施工−IV】 養生** **【施工−III】 コンクリート打設**
【12】	ラーメン橋 柱頭部	[22] 柱頭部桁下面の橋軸方向ひび割れ		[A] 柱頭部コンクリートを脚頭部に打ち継ぐことで、打設した柱頭部コンクリートが脚頭部に**収縮拘束**を受ける。 [A] **コンクリート水和熱に伴う内部拘束作用**	[A10] 使用ｺﾝｸﾘｰﾄのｾﾒﾝﾄ量過大 [A2] **養生時のコンクリート表面と内部の温度差が過大** [A2･A9] **新コンクリートの養生不足**（急激な温度低下や乾燥収縮量の増大）	**コンクリート水和熱による温度応力の影響** **不適切な養生方法および養生期間**	**【設計−IV】 水和熱の温度応力** **【施工−IV】 養生**
【13】	PC主桁 打ち継ぎ部	[23] 打ち継ぎ部付近の主桁下面縦方向ひびわれ		[A] 主桁の新旧ｺﾝｸﾘｰﾄ打継目において、新ｺﾝｸﾘｰﾄが旧ｺﾝｸﾘｰﾄにより**収縮拘束**を受ける。 [A] **コンクリート水和熱に伴う内部拘束作用**	[A10] 使用ｺﾝｸﾘｰﾄのｾﾒﾝﾄ量過大 [A2] **養生時のコンクリート表面と内部の温度差が過大** [A2･A9] **新コンクリートの養生不足**（急激な温度低下や乾燥収縮量の増大）	**乾燥収縮の影響** **コンクリート水和熱による温度応力の影響**	**【設計−VI】 乾燥収縮** **【設計−IV】 水和熱の温度応力**
【14】	PC主桁 打継ぎ部	[24] 打継ぎ面に発生するひび割れ		[B] **新旧コンクリートが一体化されていない**ことが疑われる。 [D] ｾｸﾞﾒﾝﾄ工法の場合は、応力超過、ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ損失などが疑われる。	[B10] **不適当な打継ぎ面処理** [E] ｾｸﾞﾒﾝﾄ接着剤の劣化 [D2] 橋面荷重等の見込み違い [D3] 地震力の作用 [D4] 過積載車両の通行 [B18] **グラウト不良**によるPC鋼材の腐食、破断	**不適切な目地部の施工** **グラウト不良**	**【施工−V】 目地部の施工** **【施工−VI】 グラウト**
【15】	ｺﾝｸﾘｰﾄ主桁 支点部	⑤ 支承上桁下面・側面に鉛直に発生しているひびわれ ⑥ 支承上から斜めに側面に発生しているひびわれ		[D] 桁端が回転拘束を受けている可能性がある。 [D] 支点部の水平移動が拘束されることで、支承上の局部応力が過大となったことが疑われる。 [D] 上部工と支承部が一体となっているTYPE−B支承などでは、橋軸方向及び橋軸直角方向の水平力を受ける。 [D] 支圧応力を超過した可能性がある。 [A] **コンクリート水和熱に伴う内部拘束作用。**	[D4] 設計計算以上の反力が作用 [D4] 地震作用 [D5] 不適切な支承の設置位置（縁端距離の不足） [D5] 変位制限装置設置時の不備 [D5] 主ケーブル定着の箱抜きによる端部の補強不足 [D5] 移動量の見込み違い [D6] 下部工の移動、沈下 [B6] 支承付近の**コンクリートの充填不足** [E] 支承の腐食・目詰まり [A2] **養生時のコンクリート表面と内部の温度差が過大** [A9] 乾燥収縮 [B8･C2] **脱枠時期尚早**	**不適切なコンクリート打設** **コンクリート水和熱による温度応力の影響** **不適切な養生方法および養生期間**	**【施工−III】 コンクリート打設** **【設計−IV】 水和熱の温度応力** **【施工−IV】 養生**
	PC主桁 端支点部	[31] 主桁側面上方に発生している鉛直・斜め・水平方向のひび割れ		[A] 支点横桁**マスコン部の温度応力**の発生	[D5] 定着切欠きあるいは伸縮切欠きに伴う断面厚および**補強筋不足** [B8] **脱枠時期が尚早**であった可能性がある。	**コンクリート水和熱による温度応力の影響** **定着部の支圧応力への配慮不足** **不適切な養生方法および養生期間**	**【設計−IV】 水和熱の温度応力** **【設計−V】 定着部の支圧応力** **【施工−IV】 養生**
【16】	PC主桁 端支点部 連結支点部	⑲ 主桁の腹部あるいは連結部横締め跡打ちコンクリートに発生する水平方向のひび割れ		[D] **PC鋼材定着部前面の支圧応力**による引張応力の発生 [A] ASRに起因する膨張圧がプレストレス方向と直交する橋軸直角方向に作用し、ひび割れた可能性がある。 [A] **コンクリート水和熱に伴う内部拘束作用**	[D5] 定着位置が桁側面と近い可能性がある。 [A6] 桁端部への水の供給に伴うASRの進行 [A10] 使用ｺﾝｸﾘｰﾄのｾﾒﾝﾄ量過大 [A2] 養生時のｺﾝｸﾘｰﾄ表面と内部の温度差が過大 [A2･A9] **新コンクリートの養生不足**（急激な温度低下や乾燥収縮量の増大）	**定着部の支圧応力への配慮不足** **コンクリート水和熱による温度応力の影響** **不適切な養生方法および養生期間**	**【設計−V】 定着部の支圧応力** **【設計−IV】 水和熱の温度応力** **【施工−IV】 養生**
	PC主桁 支点部	[27] 桁腹部に発生している放射状のひび割れ		[D] **PC鋼材定着部前面の支圧応力**による引張応力の発生 [A] ASRに起因する膨張圧がプレストレス方向と直交する橋軸直角方向に作用し、ひび割れた可能性がある。	[D5] 定着位置が桁側面と近い可能性がある。 [A6] 桁端部への水の供給に伴うASRの進行	**定着部の支圧応力への配慮不足**	**【設計−V】 定着部の支圧応力**

表-3.2.2　調査項目抽出表（その４）

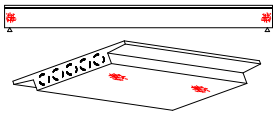
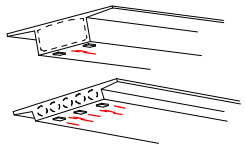
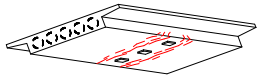
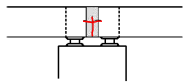
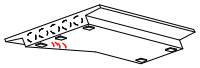
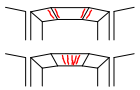
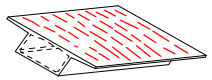
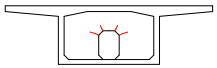
新分類	【新分類】31種類のひび割れパターンに対して考えられるひび割れ発生要因の例					本報告書における調査項目の抽出	
	主な発生部位	橋梁定期点検要領におけるひびわれパターン分類	ひびわれ概要図	「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針−2013−」（日本コンクリート工学会）におけるひび割れ発生要因の例		初期変状の観点に基づく要因の抽出	変遷調査項目
				直接的要因の例	間接的要因の例		
【17】	コンクリート主桁 その他	⑨　亀甲状、くもの巣状のひびわれ コンクリート表面の微細ひびわれ		[A] ASR、凍害などコンクリート自体の劣化が疑われる。 [A] 乾燥収縮、自己収縮が疑われる。 [B] 中空床版ボイド下の**コンクリート充填不良**が疑われる。	[A6,C3] 桁端部は伸縮の損傷等により湿潤状態となりやすく、ASRや凍害が促進される危険がある。 [C1] 雨水、日照、外気温などの環境要因 [B15] **早期脱枠**によるコンクリート表面の急激な乾燥 [B4･B6] **コンクリート打込み順序の不備や締固め不足**	**不適切なコンクリート打設 型枠の早期除去**	**【施工−Ⅲ】 コンクリート打設 【施工−Ⅱ】 型枠**
【18】	PC箱桁橋 端支点横桁	[21]　端支点横桁下面の橋軸方向ひび割れ		[D] 活荷重、死荷重により支点部横桁下面に発生する引張応力に対して、鉄筋のみで負担している。 [D] 支点部の横方向移動が拘束されることで、支承上の局部応力が過大となったことが疑われる。 [A] 乾燥収縮、自己収縮に伴う周辺拘束作用。 [A] **コンクリート水和熱に伴う内部拘束作用。**	[D4] 過積載荷重の通行、伸縮部での衝撃 [D5] 支承、変位制限装置による横桁の橋軸直角方向の移動、収縮の拘束 [D5] 橋軸直角方向鉄筋量の不足 [D5] 支承配置の不備（支点間隔が広い） [A2] **養生時のコンクリート表面と内部の温度差が過大** [B8･C2] **脱枠時期尚早**	**コンクリート水和熱による温度応力の影響 不適切な養生方法および養生期間**	**【設計−Ⅳ】 水和熱の温度応力 【施工−Ⅳ】 養生**
【19】	PC主桁 中間支点部 （連続桁）	[25]　桁下面の直角方向および桁腹の鉛直方向ひび割れ		[D] 支承機能の低下による桁の回転、伸縮の拘束	[E] クリープの進行に伴う変形(桁のそり上がり) [D4] 地震作用 [D6] 中間支点の移動 [D5] 変位制限装置設置時の不備 [E] 支承の腐食・目詰まり [D5] 移動量の見込み違い	−	−
【20】	中間支点部 （連結桁）	[25]　桁下面の直角方向および腹部の鉛直方向ひび割れ		[D] 連結部の応力集中 [D] 支承機能の低下による桁の回転、伸縮の拘束	[E] クリープの進行に伴う変形(桁のそり上がり) [D4] 地震作用 [D6] 中間支点の移動 [D5] 変位制限装置設置時の不備 [E] 支承の腐食・目詰まり [D5] 移動量の見込み違い	−	−
【21】	PC主桁 端支点部	[26]　拡幅を有する主桁の拡幅部下面に発生しているひび割れ		[D] 拡幅部が主構造部の変形に追随できないことによる引張応力の発生	[E] 拡幅部支承の変形性能の低下 [E] 支承移動方向の設定不備 [D6] 拡幅部支点の不同沈下	−	−
【22】	PC主桁 支間全体	[34]　規則的な間隔で連続床版下面に発生している橋軸直角方向ひび割れ		[A] コンクリートの**乾燥収縮** [C] 連続床版横方向鋼材の腐食膨張	[D5] 床版横締めシース設置に伴う断面厚の小さい部分に**乾燥収縮による引張応力**が作用 [B6] **コンクリート締固め不足**	**乾燥収縮の影響 不適切なコンクリート打設**	**【設計−Ⅵ】 乾燥収縮 【施工−Ⅲ】 コンクリート打設**
【23】	PC主桁 支間全体	[35]　連続床版下面に発生している橋軸方向ひび割れ		[D] 応力超過、プレストレス損失	[D4] 想定を超える活荷重の作用 [D5] 連続床版支間に対して、床版厚、プレストレス量が少なすぎた可能性がある。 [D5] ハンチ形状の不備	−	−
【24】	PC主桁 支間全体	[36]　規則的な間隔で床版上面に発生している橋軸直角方向ひび割れ		[B] 床版横締めシース位置での**沈降クラック** [A] 床版コンクリートの**乾燥収縮** [C] 床版横方向鋼材の腐食膨張	[B6] **コンクリート締固め不足** [D5] 床版横締めシース設置に伴う断面厚の小さい部分に**乾燥収縮による引張応力**が作用	**乾燥収縮の影響 不適切なコンクリート打設**	**【設計−Ⅵ】 乾燥収縮 【施工−Ⅲ】 コンクリート打設**
【25】	コンクリート主桁 開口部近傍	[38]　開口部の隅角部のひび割れ		[A] **乾燥収縮、自己収縮に伴う周辺拘束作用。** [A] **コンクリート水和熱に伴う内部拘束作用。**	[A10] 使用コンクリートのセメント量過大 [A2] 養生時の**コンクリート表面と内部の温度差が過大** [B8･C2] **脱枠時期尚早** [C1] 温度変化による変形	**乾燥収縮の影響 コンクリート水和熱による温度応力の影響 不適切な養生方法および養生期間**	**【設計−Ⅵ】 乾燥収縮 【設計−Ⅳ】 水和熱の温度応力 【施工−Ⅳ】 養生**

表-3.2.2　調査項目抽出表（その５）

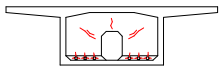
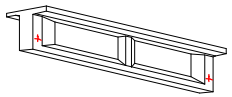
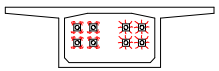
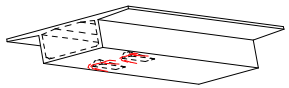
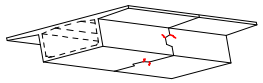
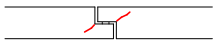
新分類	【新分類】31種類のひび割れパターンに対して考えられるひび割れ発生要因の例					本報告書における調査項目の抽出	
	主な発生部位	橋梁定期点検要領におけるひびわれパターン分類	ひびわれ概要図	「コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針−2013−」（日本コンクリート工学会）におけるひび割れ発生要因の例		初期変状の観点に基づく要因の抽出	変遷調査項目
				直接的要因の例	間接的要因の例		
【26】	PC主桁 外ｹｰﾌﾞﾙ偏向部	[39] 偏向部あるいは偏向壁に発生している鉛直・斜め・水平方向のひび割れ		[D] 外ｹｰﾌﾞﾙの張力(分力)による局部応力の発生 [A] **乾燥収縮、自己収縮に伴う周辺拘束作用**	[B6] **ｺﾝｸﾘｰﾄ締固め不良**によるｺﾝｸﾘｰﾄ抵抗断面不足 [D2] 外ｹｰﾌﾞﾙ張力超過 [D3] 応力作用の繰返しや振動、衝撃に伴うひび割れの進展 [D4] 地震力作用による部材の変形とそれに伴う付加張力 [D5] 補強鉄筋、ｺﾝｸﾘｰﾄ部材厚の不足、偏向部配置の不備、曲げ上げ角度の不備	**乾燥収縮の影響 不適切なコンクリート打設**	**【設計−Ⅵ】 乾燥収縮 【施工−Ⅲ】 コンクリート打設**
【27】	PC主桁 定着体後埋め部	[28] 桁腹部に発生している鉛直方向と水平方向のひび割れ		[C] 横締定着体後埋部の収縮 [C] 横締定着体の腐食・膨張	[A9] 低品質な後埋コンクリートの使用 [D5] 定着体のかぶり不足	−	−
【28】	PC主桁 外ｹｰﾌﾞﾙ定着部	[40] 定着部付近に発生している鉛直・斜め・水平方向のひび割れ		[D] **局部支圧応力の発生。** [D] 定着部材への曲げ応力の発生。	[B6] **ｺﾝｸﾘｰﾄ締固め不良**によるｺﾝｸﾘｰﾄ支圧耐力不足 [D2] 外ｹｰﾌﾞﾙ張力超過 [D3] 応力作用の繰返しや振動、衝撃に伴うひび割れの進展 [D4] 地震力作用による部材の変形とそれに伴う付加張力 [D5] **補強鉄筋、ｺﾝｸﾘｰﾄ部材厚の不足、定着位置の不備**	**定着部の支圧応力への配慮不足 不適切なコンクリート打設**	**【設計−Ⅴ】 定着部の支圧応力 【施工−Ⅲ】 コンクリート打設**
【29】	PC主桁 定着突起前面	⑯ PC鋼材定着部（定着突起）付近		[D] 定着突起を境としたﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ量の差により、**定着突起前面に橋軸方向引張応力が発生**する。 （コンクリートの引張応力が引張強度を超過）	[D5] **ｺﾝｸﾘｰﾄ部材厚の不足**（定着突起形状が、定着工法の基準を満たしていない） [D5] PC鋼材配置の不備	**定着突起部の検討不足**	**【設計−Ⅲ】 定着突起部の設計**
【30】	PC主桁 ｾｸﾞﾒﾝﾄ接合部	[37] コンクリートせん断キー基部から斜めに発生しているひび割れ		[D] 過大なせん断力の作用。 [D] 軸方向ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ不足や接着不良による摩擦抵抗力の不足。 [D] せん断キーのせん断耐力不足。 [D] せん断キーへの局部的な衝撃力の作用。	[B6] ｺﾝｸﾘｰﾄ締固め不良によるせん断耐力不足 [D2] 過大なﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ分力の作用 [D2] 基礎の不等沈下など、想定外のねじり作用 [D4] ｾｸﾞﾒﾝﾄ脱枠、分離時の局部的な作用 [D4] ｾｸﾞﾒﾝﾄ接合時の局部的な衝突 [D5] せん断キー形状精度のばらつきに伴う作用力の偏り [E] ｾｸﾞﾒﾝﾄ接着剤の劣化、充填不良 [D5] PC鋼材の腐食や破断	−	−
【31】	RC桁 支点部	⑦ ゲルバー部のひびわれ		[D] 片持ちはりあるいはコーベルでの設計を行うため、ひびわれ発生ﾓｰﾒﾝﾄを超過した場合は、引張鉄筋が負担する。 [D] ｹﾞﾙﾊﾞｰ支承部の水平移動が拘束されることで、支承上の局部応力が過大となったことが疑われる。	[D4] 設計計算以上の反力が作用 [B6] 過密配筋によるコンクリートの充填不足 [E] 支承の腐食・ゴミ詰まり [D5] 移動量の見込み違い [D4] 地震作用	−	−
RC限定	RC・PRC主桁 支間1/4	③ 主桁直角方向の桁下面および側面の鉛直ひびわれ		[D] 引張応力は鉄筋のみで負担しており、コンクリートに引張抵抗力を期待していない。 <PRCの場合> [D] 応力超過、ﾌﾟﾚｽﾄﾚｽ損失が疑われる。	[D4] 過積載車両の通行 [D5] 極端な段落としに伴う引張鉄筋量の不足 <PRCの場合> [B18] グラウト不良によるPC鋼材の腐食	−	−

表-3.2.3　ひび割れ要因の記号

分類1	分類2	分類3	記号	原因
材料	使用材料	セメント	A1	セメントの異常凝結
			A2	セメントの水和熱
			A3	セメントの異常膨張
		骨材	A4	骨材に含まれている泥分
			A5	低品質な骨材
			A6	反応性骨材
	コンクリート		A7	コンクリート中の塩化物
			A8	コンクリートの沈下・ブリーディング
			A9	コンクリートの乾燥収縮
			A10	コンクリートの自己収縮
施工	コンクリート	練混ぜ	B1	混和材料の不均一な分散
			B2	長時間の練混ぜ
		運搬	B3	ポンプ圧送時の配合の不適当な変更
		打込み	B4	不適当な打込み順序
			B5	急速な打込み
		締固め	B6	不適当な締固め
		養生	B7	硬化前の振動や載荷
			B8	初期養生中の急激な感想
			B9	初期凍害
		打継ぎ	B10	不適当な打継ぎ処理
	鋼材	鋼材配置	B11	鋼材の乱れ
			B12	かぶりの不足
	型枠	型枠	B13	型枠のはらみ
			B14	型枠からの漏水
			B15	型枠の早期除去
		支保工	B16	支保工の沈下
	その他	コールドジョイント	B17	不適当な打重ね
		PCグラウト	B18	グラウト充てん不良
使用環境	熱、水分作用	温度・湿度	C1	環境温度・湿度の変化
			C2	部材料面の温度・湿度の差
			C3	凍結融解の繰返し
			C4	火災
			C5	表面加熱
	化学作用		C6	酸・塩類の化学作用
			C7	中性化による内部鋼材のさび
			C8	塩化物の浸透による内部鋼材のさび
構造・外力	荷重	長期的な荷重	D1	設計荷重以内の長期的な荷重
			D2	設計荷重を超える長期的な荷重
		短期的な荷重	D3	設計荷重以内の短期的な荷重
			D4	設計荷重を超える短期的な荷重
	構造条件		D5	断面・鋼材量不足
	支持条件		D6	構造物の不同沈下
			D7	凍上
その他				その他

※コンクリートのひび割れ調査、補修・補強指針-2013-　(公社)日本コンクリート工学会より

3.3 変遷調査

3.3.1 変遷調査の概要

前節で抽出した設計および施工に関する調査項目について、その変遷を調査し、主な内容を時系列に整理する。

変遷調査は、プレストレストコンクリート橋が初めて建設された 1950 年頃から現在にいたる期間を対象とする。調査する文献は、「道路橋示方書」を軸とし、過去にさかのぼって調査項目を取りまとめる。道路橋示方書の前身である「鉄筋コンクリート道路橋示方書」が発刊される 1964 年以前の調査は、土木学会の「プレストレストコンクリート設計施工指針」などを含めた調査をおこなう。

3.3.2 設計の変遷調査結果

設計の調査項目である【設計-Ⅰ】基準の改定、【設計-Ⅱ】腹圧の設計、【設計-Ⅲ】定着突起の設計、【設計-Ⅳ】水和熱の温度応力、【設計-Ⅴ】定着部の支圧応力、【設計-Ⅵ】乾燥収縮、の 6 項目について整理した結果を以下に記述する。

なお、変遷調査結果を時系列に取りまとめた一覧表は、本節末尾の**表-3.3.1** に示す。

(1) 【設計-Ⅰ】基準の改定

日本で初めてとなるプレストレストコンクリート橋（長生橋）は、昭和 26 年（1951 年）に施工された。当時は、昭和 14 年（1939 年）に制定された「鋼道路橋設計示方書案（日本道路技術協会）」が定められていたが、コンクリート橋単独の規準はまだ制定されていなかった。

昭和 30 年代には、PC 鋼材の各種定着工法が国内外で開発されるようになり、プレストレストコンクリートの指針として、昭和 30 年（1955 年）制定の「プレストレストコンクリート設計施工指針（土木学会）」が発刊された。昭和 39 年（1964 年）には、鉄筋コンクリート橋を対象とした「鉄筋コンクリート道路橋示方書（日本道路協会）」、さらに昭和 43 年（1968 年）にはプレストレストコンクリート橋を対象とした「プレストレスコンクリート道路橋示方書（日本道路協会）」が発刊された。昭和 53 年（1978 年）には鉄筋コンクリート橋およびプレストレストコンクリート橋の内容を統合した、「橋、高架の道路等の技術基準」として「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」が通達された。

近年の道路橋示方書の改定は、平成 2 年（1990 年）、平成 6 年（1994 年）、平成 8 年（1996 年）、平成 14 年（2002 年）および平成 24 年（2012 年）に行われている。

(2) 【設計-Ⅱ】腹圧の設計

桁高変化がある箱桁橋の下床版に PC 鋼材を配置した場合、下床版には、配置した PC 鋼材の緊張にともなう腹圧力が発生する。昭和 53 年「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」に剛性の確保やひびわれ抑止の観点から、最小厚さを 140mm（従来 100mm；S 39RC コン示）にすること、直径 13mm 以上の鉄筋を 250mm 以下の間隔で配置することが規定された。そして、平成 14 年の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」において、この腹圧力が大きい場

合は、下床版下面の橋軸方向にひび割れが発生するおそれがあることから、腹圧力に対して安全性を確保するために解説が追加された。

「10 章箱桁橋　10.5 構造細目」の解説には、下床版の安全性を確保するため、①床版厚の確保と鉄筋等による補強を行う、②偏向力が作用する個所に剛な横桁を設置する、③下床版に配置する PC 鋼材はウェブ近くに配置する、等の配慮が必要であるといった内容が示された。

基準に示される以前は、設計者の判断による橋梁毎の対応がとられていたと考えられるが、平成 14 年以降は、基準に沿った設計を行うことで腹圧力によるひび割れ対策が施されることになった。

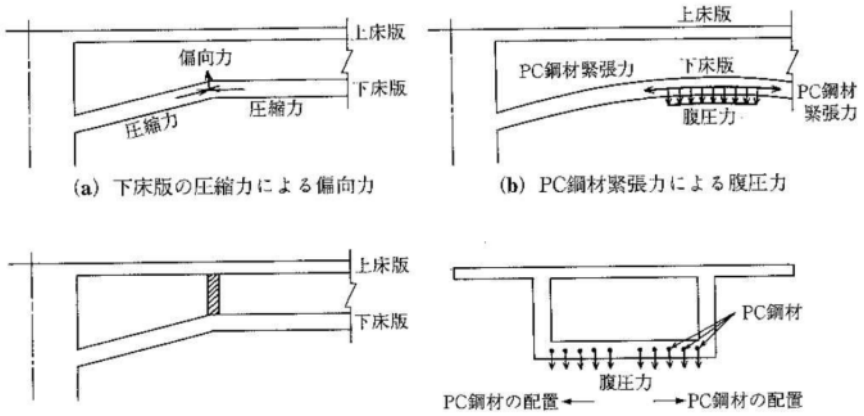
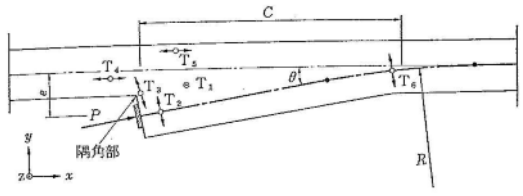


図-3.3.1　平成 14 年道路橋示方書における記載内容

(3) 【設計-Ⅲ】定着突起の設計基準

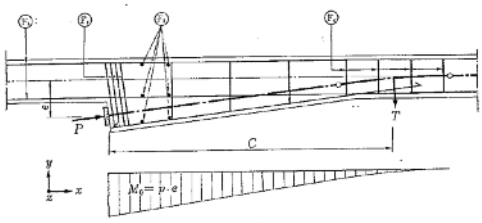
定着突起に関する設計の内容が初めて基準に示されたのは、昭和 43 年（1968 年）の「プレストレストコンクリート道路橋示方書」である。「6.2.3 定着具付近の補強」の節には、『部材中間に定着具を設ける場合は、適当な補強をする』といった内容が条文に記載されている。また、プレストレス導入によって突起定着部に生じる引張力とそれに対する補強例が下図のように示された。



図—6.2.5

図中　T_1：定着部背面　　z-方向（紙面に直角方向）に生ずる引張力
T_2：定着部背面　y-方向に生ずる引張力
T_3：隅角部に生ずる引張力
T_4：定着部前面に生ずる引張力
T_5：プレストレスによる曲げモーメント（$M_0=p\cdot e$）によって生ずる引張力
T_6：P C 鋼材屈曲部に生ずる引張力

$$T_6=p\cdot\sin\theta\fallingdotseq p\cdot\theta=p\cdot\frac{e}{c}$$



図—6.2.7 突起定着補強例

図—6.2.7 は，ウェブまたは床版コンクリートに，突起部を設けて定着した場合の一般的な補強例を示すものであるが，図中の補強鉄筋㋐～㋓は，次の補強のためである。

㋐：図—6.2.5 に示した T_1 に対する補強鉄筋
（床版の主鉄筋を併用してはならない）
㋑：図—6.2.5 に示した T_2，T_3 に対する補強鉄筋
㋒：図—6.2.5 に示した T_4，T_5 に対する補強鉄筋
（床版の主鉄筋を併用してはならない）
㋓：図—6.2.5 に示した T_6 に対する補強鉄筋

図-3.3.2　昭和 43 年道路橋示方書における記載内容

この内容は平成 24 年「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」でも同様に示されており、昭和 43 年の内容から大きな見直しが行われていない。しかし、技術の進歩とともに緊張力の大

容量化が図られており、昭和 43 年当時の 50tonf~100tonf 程度の緊張力から近年の 100tonf~400tonf 程度の緊張力へと扱う荷重の大きさが変化している。このことから式の検証が必要となっている。

写真-3.3.1 は、大容量ケーブル 19S15.2（緊張力 360tonf）の定着突起を既往の補強例に従い設計した結果、緊張後に定着部周辺にひび割れが発生した事例である。

写真-3.3.1　定着突起のひび割れ

突起部周辺に生ずる応力は複雑で簡単に求めることはできない。道路橋示方書に示される引張力は、補強の際に注意すべき引張応力を概念的に示したものである。また、1 本の緊張材が独立して定着された場合の補強方法を示したものであり、複数本を定着する場合、鉄筋が連続しない場合、剛性が極端に変化する場合には、個別に検討する必要がある。

また、定着突起をＲＣ部材として設計し、ひび割れの発生を想定した場合においても、構造全体に影響を与えることの無いように、他部材への緊張力の伝達がなされることや耐久性を確保しておく必要がある。

(4) 【設計-Ⅳ】水和熱の温度応力

水和熱の温度応力に関する設計の内容が初めて基準に示されたのは、平成 2 年（1990 年）の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」である。「16.6.7 マスコンクリート」の節には、『マスコンクリートの施工にあたっては、セメントの水和熱の起因する温度応力によるひび割れに対する検討を行わなければならない。』といった条文が記載されている。しかし、温度応力の算出結果から具体的な制御方法や算出結果の合否を判断できるような内容になっておらず、安全率が設定されていない。

平成 14 年（2002 年）の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」から、「19.6 コンクリート工（8）マスコンクリート」の解説で「ひび割れ制御指針」（日本コンクリート工学協会）および「コンクリート標準示方書（施工編）」（土木学会）の準用を推奨している。平成 24 年（2012 年）の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」では、準用文献が「ひび割れ制御指針 2008」（日本コンクリート工学協会）および「コンクリート標準示方書（設計編）H20.3」（土木学会）に変更されている。

なお、このように技術基準の整備がなされているが、コンクリート配合などの材料条件や分割施工の位置の設定など、設計段階で決められない事項があり、これらの設計での考慮方法は課題である。

⑸ 【設計-Ⅴ】定着部の支圧応力

定着部の支圧応力に関する設計の内容が初めて基準に示されたのは、昭和 30 年（1955 年）の「プレストレストコンクリート設計施工指針」である。通常の定着部に関する内容は、昭和 36 年（1961 年）の「プレストレストコンクリート設計施工指針」の記述から大きな見直しが行われていない。

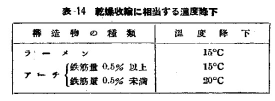
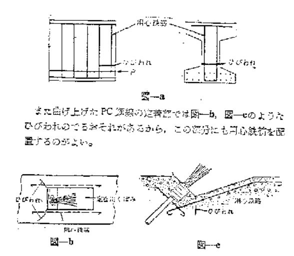
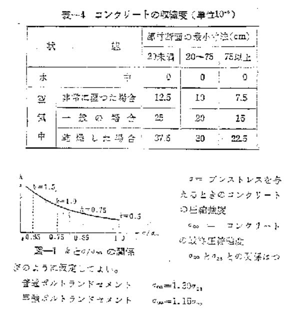
外ケーブル構造については、平成 8 年（1996 年）の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」から「定着部に生じる局部応力に対して、鉄筋あるいは PC 鋼材によって補強しなければならない。」と記載されている。しかし、解析結果を基に対策の必要性の有無を判断できる内容になっていない。解析手法、判断基準および具体的な対策方法の明確化を進める必要がある。

⑹ 【設計-Ⅵ】乾燥収縮

乾燥収縮に関する設計の基準は古く、昭和 6 年（1921 年）の「鉄筋コンクリート標準示方書」に硬化収縮として記述が存在する。不静定力を計算する場合の乾燥収縮の影響について、昭和 53 年（1973 年）の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」から現在と同様な内容が記載されている。平成 2 年（1990 年）「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」には、打継目に対して乾燥収縮によるひび割れが発生しないよう考慮することが記述されている。

平成 24 年（2012 年）の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」では、解説部分に過大な乾燥収縮に対するひび割れについての記述が追加されている。これは、年々の骨材事情の変化から、コンクリートの収縮ひずみが従来の値に比べて著しく大きな値を示すケースが多く見受けられるためである。その詳細については「2007 年度版コンクリート標準示方書改定資料（土木学会）P17　設計編 5.2　収縮ひずみの設計上の扱い」に記載されている。

表-3.3.1　設計の変遷

時期	設計の変遷 設計－Ⅰ 基準の改定	設計－Ⅱ 腹圧の設計	設計－Ⅲ 定着突起の設計	設計－Ⅳ 水和熱の温度応力	設計－Ⅴ 定着部の支圧応力	設計－Ⅵ 乾燥収縮
1949年 昭和24	□　鉄筋コンクリート標準示方書 （土木学会）	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	P92　96条乾燥収縮 乾燥による収縮応力を考える必要がある場合、その収縮応力は温度降下によっておこる温度応力に相当するものとして計算する。その温度降下は不静定構造物の場合表-14の値を標準とする。  表-14　乾燥収縮に相当する温度降下 構造物の種類：ラーメン　温度降下 15°C アーチ 鉄筋量 0.5% 以上　15°C アーチ 鉄筋量 0.5% 未満　20°C
1955年 昭和30	■　プレストレストコンクリート設計施工指針 （土木学会）	記載なし	記載なし	記載なし	P35　39条PC鋼線の定着具の補強 PC鋼線を定着した面近くには適当な用心鉄筋を配置して、この部にひびわれのでるおそれを少なくしなければならない。 	P33　35条コンクリートの乾燥収縮（プレ減少） コンクリートの乾燥収縮によるプレストレスの減少を計算する場合、コンクリートの収縮度はプレテンショニングのときは表-4の値、ポストテンショニングのときは表-4の値に0.6kを乗じたものとする。 
1961年 昭和36	■　プレストレストコンクリート設計施工指針（土木学会）	記載なし	記載なし	記載なし	P61　49条PC鋼材定着部のコンクリートの補強 PC鋼材定着部の部材コンクリートにはPC鋼材と直角な面内に引張応力が作用し、ひび割れ発生の恐れがあるので、スターラップ、格子状、またはらせん状鉄筋、等で補強しなければならない。	P61　44条（2）乾燥収縮 コンクリートの乾燥収縮によるプレストレスの減少を計算する場合、乾燥収縮度は一般に次の値としてよい。
1964年 昭和39	○　鉄筋コンクリート道路橋設計示方書	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	P5　コンクリートの乾燥収縮の影響を構造物の設計に考慮しなければならない場合には、土木学会鉄筋コンクリート標準示方書109条（S24版96条に同じ）の規定にしたがうものとする。
1968年 昭和43	●　プレストレストコンクリート道路橋示方書	記載なし	P42　6.2.3【定着具付近の補強】 平成24道示にある内容と同様に、定着突起にかかるT1～T6のちからに対して、F1～F4の補強筋が示される。	記載なし	大きな変更なし P38～P41　6.2.3【定着具付近の補強】 同上	P5　2.3(2)不静定構造物の設計計算に用いる乾燥収縮度は15×10^{-5}とする。
1978年 昭和53	■　プレストレストコンクリート標準示方書 （土木学会）	記載なし	大きな変更なし P46～P49　7.1.6【定着具付近のコンクリートの補強】 同上	記載なし	大きな変更なし P46～P49　7.1.6【定着具付近のコンクリートの補強】 同上	大きな変更なし P17～P19　4.2.3【乾燥収縮】 同上
1978年 昭和53	●　道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	P220～222　8章箱げた橋　8.3.1【主げたの構造細目】下フランジの最小厚さは直接活荷重が作用しないが、施工性、および箱げたとしての特性を考慮して最小厚さを140mm（従来100mm；S39RCコン示）にすること、直径13mm以上の鉄筋を250mm以下の間隔で配置することが規定される。	大きな変更なし	記載なし	大きな変更なし P170～P172　4.2.8【定着具付近の補強】 （1） 同上	P105　2.2.3乾燥収縮　(2)コンクリートの乾燥収縮による不静定力を計算する場合のコンクリートの乾燥収縮度は、15×10^{-5}とする。ただし、軸方向鋼材量が部材のコンクリート断面積の0.5%未満の場合は20×10－5とする。なお、これらの値を用いる場合は、コンクリートの乾燥収縮に伴うクリープの影響を考慮してはならない。(3)（1）項および（2）項によりがたい場合は、部材周辺の湿度、部材断面の形状寸法等を考慮して別途にコンクリートの乾燥収縮を定めることとする。（解説参照）
1990年 平成2年	●　道示　Ⅲコンクリート橋編	大きな変更なし	大きな変更なし	P304　16章施工　16.6.7 【マスコンクリート】マスコンクリートの施工にあたっては、セメントの水和熱の起因する温度応力によるひび割れに対する検討を行わなければならない。	大きな変更なし P182～P184　4.4.8【定着具付近の補強】 （1） 同上	上記事項に加えて、 P303～304　16章施工　16.3.6 【打継目】温度応力および乾燥収縮によるひび割れが発生しないように考慮する。
1994年 平成6年	●　道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし P301　16.6.7【マスコンクリート】 同上	大きな変更なし P182～P184　4.4.8【定着具付近の補強】 （1） 同上	大きな変更なし P38　2.1.6【コンクリートのクリープおよび乾燥収縮】 P300　16.6.6【打継目】 同上
1996年 平成8年	●　道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし P317　17.6.7【マスコンクリート】 同上	P185～P187　4.4.8【定着具付近の補強】 （1） 同上 上記事項に加えて、 P327～328　18章その他の部材の設計 18.5.3 【外ケーブル構造・構造細目】（1） 外ケーブルの定着部及び偏向部は、ケーブルの張力及びケーブルが偏向することにより生じる局部応力に対して、鉄筋あるいはPC鋼材によって補強しなければならない。	大きな変更なし P38　2.1.6【コンクリートのクリープおよび乾燥収縮】 P317　17.6.6【打継目】 同上
2002年 平成14年	●　道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	P252～P254　10章箱げた橋　10.5【構造細目】 解説に桁高変化がある場合の偏向力や腹圧力に対して配慮事項が示される。	大きな変更なし	P345　19.6【コンクリートエ】(8) マスコンクリート　セメントの水和熱の起因する温度応力によるひび割れが懸念される場合には、材料、打込み方法、養生方法等について検討を行い、構造上有害となるひび割れの発生を防止するものとする。 （8）解説　温度応力に関する具体的な制御方法については、「ひび割れ制御指針」（日本コンクリートエ学協会）「コンクリート標準示方書施工編」（土木学会）を準用するとよい。	大きな変更なし P200～P202　6.6.8【定着具付近の補強】 （3）同上 P327　18.5.3【外ケーブル構造・構造細目】 （1）同上	大きな変更なし P31　2.2.5【コンクリートのクリープおよび乾燥収縮】 P342　19.6【コンクリートエ】(7)打継目 同上
2012年 平成24年	●　道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし P339　20.6【コンクリートエ】 （8）マスコンクリート 解説での準用文献の変更 「ひび割れ制御指針」（日本コンクリートエ学協会）→「ひび割れ制御指針2008」 「コンクリート標準示方書施工編」（土木学会） →「コンクリート標準示方書設計編(H20.3)」	大きな変更なし P202～P204　6.6.8【定着具付近の補強】 （3）同上 P312　18.2【外ケーブル構造・設計一般】 （3）同上	大きな変更なし P37　2.2.5【コンクリートのクリープおよび乾燥収縮】 解説に過大な乾燥収縮についての記述を追加 P339　20.6【コンクリートエ】(7)打継目 同上

3.3.3 施工の変遷調査結果

施工の調査項目である【施工-Ⅰ】支保工、【施工-Ⅱ】型枠、【施工-Ⅲ】コンクリート打設、【施工-Ⅳ】養生、【施工-Ⅴ】目地部、【施工-Ⅵ】グラウト、の 6 項目について整理した結果を以下に記述する。

なお、変遷調査結果を時系列に取りまとめた資料は、本節末尾の**表-3.3.2** に示す。

(1) 【施工-Ⅰ】支保工

昭和 35 年（1960 年)、曲線橋として初めて固定支保工で施工された米神橋は、支柱に丸太材を使用していた。当時、準用したと考えられる昭和 24 年（1949 年)「鉄筋コンクリート標準示方書」には、支保工の沈下に対する注意が示されているが、荷重を適当な方法で地盤に一様に分布させるといった表現にとどまっている。

その後、鋼製の支保工材が一般的に使用されるようになり、また、基準の改定で具体的な内容が加わり現在にいたっている。基準の主な改定内容を下記に示す。

- 昭和 36 年（1961 年)「プレストレストコンクリート設計施工指針（土木学会)」に支保工沈下に対応するためのジャッキの挿入などの措置について記載
- 昭和 53 年（1978 年)「プレストレストコンクリート標準示方書」に施工計画に基づく図面作成と支保工設計に用いる荷重の具体的な数値の記載
- 昭和 53 年（1978 年)「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」に支保工設計で取り扱う荷重と許容応力度の記載

昭和 53 年以降、道路橋示方書の内容は大きく変更されていないが、昭和 54 年に PC 建協から発刊された『「施工計画書」作成の手引き・場所打ち編』などにより、基準を満足するための施工方法が具体的に示されている。この施工計画書の手引は、平成元年、平成 7 年、平成 14 年に改定されており、施工方法の他に、工程、施工体制、安全計画、主要資機材、環境対策および支保工の計算例などが示されている。

現在に至るまでに、施工基準の改定や基準を補間する手引きなどの充実、および資機材の発展などによって、初期変状防止対策がとられてきた。ただし、現状においても施工者の技量に大きく影響を受ける可能性がある。

(2) 【施工-Ⅱ】型枠

昭和 24 年（1949 年)「鉄筋コンクリート標準示方書」には、型枠材に用いるセキ板に関する注意事項として、『死ブシなどの欠点がなくコンクリート露出面に接する表面はカンナ仕上げを行う』ことが示されている。この当時は、現在の一般的な型枠材であるコンクリート型枠用合板は用いられておらず、JCI の「コンクリート診断技術'14」によると、『コンクリート型枠用合板が使用され始めたのは 1965 年頃であり、1967 年に型枠用合板として日本農林規格（JAS）が公布されてから広く使用させるようになった』とある。

型枠の取りはずしに関して、昭和 36 年（1961 年）の基準には、緊張前において、型枠がコンクリートの収縮を妨げることがないように型枠を早期にはずして十分な養生を行うことが示されているが、その後の昭和 53 年（1978 年)「プレストレストコンクリート標準示方書」

には、緊張時に型枠の一部を取り外す記載に変更されており、型枠とコンクリートの収縮に関する記載はなくなっている。また、同年の昭和 53 年に発刊された「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」には、せき板表面にはく離剤を塗布することが示された。

(3) 【施工-Ⅲ】コンクリート打設

昭和 24 年（1949 年）「鉄筋コンクリート標準示方書」には、締固め方法として、突固めに関する記載がされており、長生橋をはじめとする初期の PC 構造物におけるコンクリートの施工は、現場練りの硬練りコンクリートを人力で突き固める方法がとられていた。昭和 30 年代の基準には、コンクリートの締固めに内部振動機や外部振動機に関する記載がされており、突固めによる締固めから振動機による締固めに移行していったと考えられる。

コンクリートポンプが普及し始めたのが昭和 40 年頃であるが、基準に示されたのは、昭和 53 年（1978 年）の「道路橋示方書・Ⅲコンクリート橋編」であった。この時の基準には、コンクリートポンプの記載の他にも多くの項目が追加されており、主な内容として下記に示すようなものがある。

・暑中および寒中のコンクリート温度の規定
・コンクリートの打ち重ね時に下層へ振動機を 10cm 程度挿入
・内部振動機の挿入間隔の目安
・新旧コンクリートの打継における温度差によるひび割れの恐れ

平成 2 年以降に上記に示す内容が少しずつ見直され修正されている。

(4) 【施工-Ⅳ】養生

プレストレストコンクリート橋の初期の時代、最低養生期間は、普通セメント 7 日間、早強セメント 3 日間であり、養生方法は、湿潤養生となっている。

昭和 53 年の基準には、普通セメントを用いる場合の最低養生期間が 5 日間に変更されるとともに、湿潤養生が困難な場合に膜養生を行うことが示されたり、マスコンクリートの表面と内部の温度差が大きくならないように養生方法を検討することが示されたりしている。昭和 53 年に示された内容は、現在に至るまで大きく変更されていないが、平成 2 年に養生水に海水を用いることが禁止され、平成 14 年に気温が低い場合の床版コンクリートの養生について、コンクリート強度の発現が所定の値になるまで行うことが追加されている。

(5) 【施工-Ⅴ】目地部

1）プレキャスト目地部

主桁を橋軸方向に接合したプレキャストセグメント工法は、プレストレストコンクリート橋の初期の時代から現在に至るまで使用されている。昭和 30 年（1955 年）の「プレストレストコンクリート設計施工指針」には、目地材に用いるモルタルまたはコンクリートの圧縮強度の規定が示されている。施工方法としては、昭和 24 年（1949 年）「鉄筋コンクリート標準示方書」に示される打継ぎの節を準用し、打継面を十分にぬらして施工したと考えられる。

昭和 53 年の基準には、目地材としてモルタルまたはコンクリートに加えて、接着剤の記載がされており、組立用金具の使用、エポキシ樹脂系接着剤の品質規格、貯蔵方法や貯蔵期間

および施工方法など、多くの内容が示された。モルタルまたはコンクリートを用いる場合と異なり、接着剤を用いる場合は、接合面を十分に乾燥させることが示されている。

昭和 63 年頃からプレキャストセグメント工法が増加傾向にあり、平成 4 年 10 月に日本道路協会より発行された「プレキャストブロック工法によるプレストレストコンクリート T げた道路橋設計施工指針」には、参考資料として、昭和 56 年～平成元年の実績調査結果が示されており、結合材料の割合は、コンクリートおよびモルタルが 3%、エポキシ樹脂が 97%となっている。

目地材が、モルタルまたはコンクリートからエポキシ樹脂系接着剤に変わるなど、材料の変化とともに施工方法の見直しが行われている。

2）打継目地部

場所打の打継目地に対する記述として昭和 24 年の基準では、「硬化したコンクリート表面を粗にして、ゆるんだ骨材粒子、不完全なコンクリート、レイタンス、雑物等を除き、表面を十分にぬらさなければならない。」と記載されている。また昭和 53 年の基準では、構造物の強度および外観を害さないように打継目を設けること、重要な打継目は設計図に明示すること、新旧コンクリートの温度差による温度ひび割れのおそれについての記載がある。平成 14 年の基準では、「コンクリートの打ち重ね部において上層と下層の一体性を確保し、ひび割れやコールドジョイントが発生しないようにする。」ことが記載されている。

(6) 【施工-Ⅵ】グラウト

グラウト使用材料の変遷について、グラウト混和材は、当初、アルミニウム粉末の混合物（1960 年代）が使用された。その後、専用混和材の登場（1979 年）、高粘性タイプの登場（1982 年）を経て、現在ではプレミックスの超低粘性タイプ（2000 年）も出荷されている。

グラウトのブリージングは、当初、3～5%程度を許容していたが、1999 年版の「PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル」よりノンブリージング型が標準となった。

水セメント比（プレミックスタイプでは水材料比）は、当初 45%以下と設定されていたが、1986 年の基準からはコンステンシーが得られる範囲で単位水量をできるだけ少なくすることになり、環境温度によって混和剤毎に単位水量を変更している。

使用するシースの材質は、当初より鋼製シースが使用されていたが、2000 年代からは、塩害対策や耐久性向上のため PE シースの使用が推奨されている。シース径は、当初、鋼材径にかかわらず同一の径のものを使用していたが、使用鋼材径別となり、さらには高粘性グラウト等への対応のため、シースの太径化が図られた。

グラウトの施工方法の変遷では、管理方法に目を向けると、グラウト工記録表、ケーブル毎の作業記録、グラウト流量計の導入、十分な知識を有する資格を持った技術者による施工指導など、順次整備が行われている。

グラウトポンプ、グラウトミキサーなどの使用機材類についても、より確実な施工を行うために高機能化が図られた。電動スクイーズポンプ（1984 年）やセメント 1 袋練りグラウトミキサー（1989 年）等の登場を経て、最近では PC ダクト内を減圧してグラウト注入を助ける真空ポンプ併用 PC グラウト施工法（2002 年）が行われ始めている。

その他、グラウト注入・排気口について、配置を明記、後処理の実行、導通及び気密性を確認などが順次義務付けられ、現在の「PC グラウトの設計施工指針(H24)」には、グラウトの注入期限や複数のグラウトホースを適切な間隔で配置することなどを考慮して計画することが記載されている。

また、2000 年頃から PC 鋼材の周囲を未硬化のエポキシ樹脂で覆い、緊張後に樹脂硬化することによってグラウト注入を行わないプレグラウト鋼材を使用するケースが増加している。

表-3.3.2 施工の変遷 その1

時期	参考文献	施工の変遷					
		施工－Ⅰ 支保工	施工－Ⅱ 型枠	施工－Ⅲ 打設・締固め	施工－Ⅳ 養生	施工－Ⅴ プレキャスト目地部	施工－Ⅴ 打継目地部
1949年 昭和24	□ 鉄筋コンクリート標準示方書 （土木学会）	P82 62條【型ワクおよび支保工】支柱は沈下しないよう、そのうける荷重を適当な方法で地盤に一様に分布させ、高さが大きいときにはツナギおよび筋違イを設けなければならない。	P82 61條【セキ板】死ブシその他の欠点のないものを用い、コンクリート露出面に接する表面はカンナ仕上げを行う。	P77 45條【締固め】振動機の記載に加えて、突固め（1層の厚さ15cm以下）、事前のモルタル打設、の記載あり。配合、振動時間、振動機の差し込み間隔などは責任技術者の指示を受ける。	P78 47條【養生】養生期間は、普通セメント7日、早強セメント3日を最低養生期間とし、湿潤養生を行う。養生方法は責任技術者の承認を得る。	記載なし	プレキャスト目地部の記載はなし。 P77 46條【打継ぎ】硬化したコンクリートの表面を責任技術者の指示に従って粗にし、ゆるんだ骨材粒子、不完全なコンクリート、レイタンス、雑物、等を完全に除き、表面を十分にぬらさなければならないと記載がある。
1955年 昭和30	■ プレストレストコンクリート設計施工指針 （土木学会）	記載なし	記載なし	P15 18条【コンクリート打ち】［解説］振動数の高い振動機を用いて十分に締め固めなければならない。	P16 19条【コンクリートの養生】［解説］夏期は必要に応じて材料のプレクーリングを行う。プレキャスト部材の高温養生と蒸気養生（最高温度60℃以下）の記載あり。	P20 25条【継目】プレキャストのブロックまたはコンクリートは部材を継ぎ合せて一体として働く構造物とするとき、目地に用いるモルタルまたはコンクリートは、ブロックまたは部材のコンクリートと同等以上の圧縮強度のものでなければならない。	P20 25条【継目】プレキャストのブロックまたはコンクリートは部材を継ぎ合せて一体として働く構造物とするとき、目地に用いるモルタルまたはコンクリートは、ブロックまたは部材のコンクリートと同等以上の圧縮強度のものでなければならない。
1961年 昭和36	■ プレストレストコンクリート設計施工指針 （土木学会）	P35 25条【型枠および支保工】［解説］支保工沈下に対応出来るようにジャッキ、その他を挿入しておくこと、およびプレストレッシングと同時に支保工を沈下させるなどの処置を行うことが示された。	P35 25条【型枠および支保工】［解説］コンクリートの乾燥収縮を妨げ、一箇所に大きな収縮ひび割れが集中することのないよう、型枠を早期にはずし、十分な養生をするなどの処置を行うことが望ましい。	P32 23条【コンクリート打ち】［解説］十分な締固めの際、材料分離や型枠やシースを損なわないように注意が示される。また、振動機として内部振動機と外部振動機が示される。	P32 24条【養生】（2）暑中コンクリートの打ち込み時のコンクリート温度を30℃以下とする。また、コンクリートの最高温度は60℃以上になってはならない。（3）高温促進養生の際、コンクリート温度の急激な上昇および冷却中の急激な降下を避ける。	P44 34条【継目】［解説］間詰めコンクリートなどは所要の圧縮強度があれば良いと補足された。	P44 34条【継目】［解説］間詰めコンクリートなどは所要の圧縮強度があれば良いと補足された。
1964年 昭和39	○ 鉄筋コンクリート道路橋設計示方書	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
1968年 昭和43	● プレストレストコンクリート道路橋示方書	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし	記載なし
1978年 昭和53	■ プレストレストコンクリート標準示方書 （土木学会）	P112～P113 11.4【型枠および支保工】①コンクリートの打ち込みの工程、取り外し、転用などの施工計画に基づき、原則として図面を作成、②鉛直荷重、横方向荷重、コンクリートの側圧などを考慮するとし、具体的な数値が記載 P113 11.4.2【取り外し】プレストレッシング後にはじめて自重およびその他の荷重を受ける部分は、少なくともそれらの荷重に耐えるだけのプレストレスを与えた後でなければ、型枠および支保工を外してはならない。	P112～P113 11.5【型枠および支保工】①緊張時に型枠の一部を取り外すことが記載、②使用材料は、強度、剛性、耐久性、作業性、打ち込まれたコンクリートに対する影響および経済性を考慮して選定	P116 11.5.3【打込みおよび締固め】①時間をおいてコンクリートを打ち足す場合に下部コンクリートへの振動機挿入が示された。②振動機を用いて締固めと示され「突固め」の表現が無くなった。③寒中における施工の場合コンクリート温度は打込みのときに10～20℃を原則。④暑中における施工の場合、コンクリートを1時間以内になるべく早く打込み、コンクリート温度は35℃以下。	P116 11.5.3【打込みおよび締固め】①打込み時のコンクリート温度35℃以下とされ、30℃以上となるおそれがある場合に対策を行うことが示される。 P118～P119 11.5.6【養生】①湿潤養生を行う期間は、打込み後少なくとも5日間、ただし早強セメントを用いる場合は3日間を標準とする。②湿潤養生が困難な場合に責任技術者の指示を受けて膜養生を施工する。③寒中養生について、保温養生や加熱養生が示される。	P56～P58 7.3.2【プレキャスト部材の継目】①水密性の検討が追記、②モルタルおよびコンクリート用いた目地幅の標準値がそれぞれ示され、継目の面は不純物を除去するとともに構造物の重要な部位に設けられる継目の面は、チッピングを行うことも重要と記載、③接着剤を用いた目地について追記され組立用金具も記載、④目地付近のスターラップを密配置 P84～P87 9.9【接合に用いる材料】①「コンクリートおよびモルタル」に良質の減水剤と膨張混和材を混合するのが望ましいと記載、②「接着剤」によく使われる材料としてエポキシ樹脂系接着剤について紹介され品質規格の標準が示された。 P100～P101 10.7【接合に用いる材料の試験】材料の試験について記載。 P105 11章施工 11.1.8【接着剤】貯蔵方法や貯蔵期間の期限などについて記載。 P135～P137 11章施工 11.8.6【接合】解説文に接着剤を用いた場合の詳細な施工方法が示される。（材料選定、練混ぜ、天候に応じた施工、塗布、養生）	P56 7.3.1【打継目】打継目の位置および方向は、構造物の強度および外観を害さないようにこれを定めなければならない。重要な打継目は、これを設計図に明示するのが良い。
	● 道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	P288～P290 14章施工 14.10【型枠および支保工】①「14.10.1 一般」に施工中の最も不利な荷重の組合せに対して十分な強度と安全を有することが記載、②「14.10.2 設計」にて取り扱う荷重や材料の許容応力度について記載 P290 14.10.5【取りはずし】底枠は、けたが支承により支持される前に取り外してはならない。	P288～P290 14章施工 14.10【型枠および支保工】①「14.10.1 一般」に施工中の最も不利な荷重の組合せに対して十分な強度と安全を有することが記載、②「14.10.2 設計」にて取り扱う荷重や材料の許容応力度について記載、③「14.10.3 型わく」にせき板面にはく離剤を塗布することが記載。	P271～P272 14章施工 14.5.2【運搬】コンクリートポンプを用いる運搬について記載される。 P272 14章施工 14.5.3【打込み】①暑中コンクリートを施工する場合、コンクリート温度は原則30℃以下とし、やむを得ない場合でも35℃以上になってはならない。、②寒中コンクリートを施工する場合、コンクリート温度は原則10℃以上とし、外気との温度差が大きくならないようにする。 P272 14章施工 14.5.4【締固め】①内部振動機を用いた締固めを原則とし、解説に型わく振動機の効果は局所的であるため数多く設置する。②振動機の下層への挿入を10cm程度と記載。③解説にコンクリートポンプを用いる場合に十分な人数を配置すると記載。④内部振動機の挿入間隔の目安として60cm程度以下が望ましい。	P273～P274 14章施工 14.5.5【養生】解説にマスコンクリートの場合に表面と内部のコンクリート温度差が大きくならないように配合、施工方法、養生方法を検討すると記載。	P285 14章施工 14.8.4【プレキャストブロックの接合】①接合面のレイタンス、ごみ、油などを除去、②コンクリートやモルタルに関する記載がなくなり接着剤のみ記載、③接着剤は温度の影響を受けうことや接合面を十分に乾燥させることが示された。	P274 14章施工 14.5.6【打継目】新旧コンクリートの打継目における温度差による温度ひび割れの恐れが記載。
1990年 平成2年	● 道示 Ⅲコンクリート橋編	大きな変更なし	大きな変更なし	P301～P302 16章施工 16.3.3【打込み】①基本的な注意事項として雨天、強風時の施工を原則として禁止、②寒中コンクリートを施工する場合のコンクリート打ち込み温度は、5℃～20℃の範囲となり、解説に気象条件が厳しい場合や部材圧が薄い場合に10℃程度確保することとなった。 P302 16章施工 16.3.4【締固め】薄い壁など内部振動機の使用が困難な場合には、型わく振動機を併用することが追記。 P304 16章施工 16.3.7【マスコンクリート】マスコンクリートの節が追加され、セメントの水和熱に起因する温度応力によるひび割れに対する検討を行わなければならいことが記載。	P303 16章施工 16.6.5【養生】養生水に海水を用いてはならないことが追記。	P294 16章施工 16.4【材料】接着剤に求められる性能が示され、品質規格の標準が示された。	P303～304 16章施工 16.3.6【打継目】温度応力および乾燥収縮によるひび割れが発生しないように考慮する。
1994年 平成6年	● 道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし
1996年 平成8年	● 道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし
2002年 平成14年	● 道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	大きな変更なし	大きな変更なし	P340～P345 19章施工 19.6【コンクリート工（8）マスコンクリート】解説に温度応力の具体的な制御手法として、JCIの「ひび割れ制御指針」や土木学会の「コンクリート標準示方書施工編」の紹介がされた。	P340～P345 19章施工 19.6【コンクリート工（6）養生】気温が低い時期に床版のコンクリート等を施工する場合は、コンクリートの圧縮強度が15N/mm2程度に達するまでは適当な保温設備のもとに養生を行うことが追記。	大きな変更なし	上記項目に加えて P340～P345 19章施工 19.6【コンクリート工（7）打継目】コンクリートを多層に分けて打ち込むときは、打ち重ね部において上層と下層のコンクリートの一体性を確保し、ひび割れやコールドジョイントを生じさせないようにする。
2012年 平成24年	● 道路橋示方書 Ⅲコンクリート橋編	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし	大きな変更なし

表-3.3.2 施工の変遷 その2

時期	参考文献	施工-VI　グラウト								
		グラウト材の変遷					グラウト施工方法の変遷			
		グラウト材料	混和剤の出荷量	水セメント比	シース	その他	管理方法	グラウトポンプ	グラウトミキサー	その他
～1965年 ～昭和40	■ プレストレストコンクリート設計施工指針（土木学会,1961）	セメント分散剤とアルミニウム粉末の使用（1960）	-	35～45%を標準 （左記参考文献より）	DW工法導入（1958）	ブリージング：0～5%以下 流動性：Jロート 膨張率：0～5%を標準 圧縮強度（型枠法）： σ28＝150kg/cm2 （左記参考文献より）	-	グラウティングボトルとコンプレッサーによる注入（1953） 手動ダイアフラム式グラウトポンプ（1956） 電動ポンプの登場（1962）	回転翼式グラウトミキサー（1956）	-
1966年 ～1977年 昭和41 ～昭和52	■ ディビダーク工法設計施工指針案 （土木学会,1966）	減水剤とアルミニウム粉末を混合した混合剤の使用（1970）	-		シース径φ38mm （PC鋼棒φ32） シース径φ38mm （PC鋼棒φ26） （左記参考文献より）	ブリージング：3%以下 膨張率：10%以下 （左記参考文献より）	排出口の濃度を目視確認 緊張管理票に注入の有無をチェック （左記参考文献より）			-
1978年 ～1985年 昭和53 ～昭和60	コンクリート標準示方書 （土木学会,1978）	専用混和剤の登場（1979） ノンブリーディングタイプおよび高粘性タイプ混和材の登場（1982）	-	45%以下 （左記参考文献より）		ブリージング試験義務付け 流動性：Jロート，JAロート 膨張率試験義務付け 圧縮強度： σ28＝200kg/cm2 （左記参考文献より）				-
	○ PC施工の手引き （国鉄構設,1984）		-			ブリージング：2%以下 膨張率：5～10% （左記参考文献より）	排出口から採取したグラウトブリーディング、膨張率を測定（左記参考文献より）	電動スクイーズ式ポンプ（0.75kw，1984）		-
1986年 ～1990年 昭和61 ～平成2	コンクリート標準示方書 （土木学会,1986）		-	コンシステンシーが得られる範囲で単位水量をできるだけ少なくする。 （左記参考文献より）		ブリージング：3%以下 流動性：JAロート標準 （左記参考文献より）				-
	● PCグラウト施工マニュアル （PC建協,1986）		汎用型ほぼ100% （～1990）				グラウト工記録表（1本毎の注入管理記録なし） （左記参考文献より）		セメント1袋練りグラウトミキサー（1989）	-
1991年 ～1995年 平成3 ～平成7	コンクリート標準示方書 （土木学会,1991）	熱硬化型プレグラウト鋼材の登場（1992）				ブリージング：3%以下 膨張率：10%以下 塩化物イオン： 0.3kg/m3以下 （左記参考文献より）				-
	● PCグラウト施工マニュアル （PC建協,1993）				シース径φ39mm （PC鋼棒φ32） シース径φ35mm （PC鋼棒φ26） （太径化,厚板専用シースの追加,DW協会,1994）		グラウト工記録表、ケーブル毎の作業記録、チェック表 （左記参考文献より）			-
	○ PC施工の手引き （JR東日本,1995）	汎用型100～88% 低粘性型0～10% 高粘性型0～2% （1991～1995）	汎用型100～88% 低粘性型0～10% 高粘性型0～2% （1991～1995）			ブリージング：0% 膨張率：-0.5～0% （左記参考文献より）				-
1996年 ～2000年 平成8 ～平成12	コンクリート標準示方書 （土木学会,1996）					流動性：J14ロート明記 膨張率試験義務付け 圧縮強度： σ28＝20N/mm2 （左記参考文献より）				-
	● PCグラウト施工マニュアル （PC建協,1996）						グラウト流量計の導入 （左記参考文献より）	電動スクイーズ式ポンプ（3.7kw，1996）	グラウト流量計の導入 （左記参考文献より）	-
	構造物施工管理要領 （日本道路公団,1997）				シース径φ45mm （PC鋼棒φ32） シース径φ38mm （PC鋼棒φ26） （高粘性グラウトに対応して太径化,DW協会,1998）	ノンブリージング型を標準 （左記参考文献より）				-
	● PCグラウト・プレグラウトPC鋼材施工マニュアル （PC建協,1999）	汎用型88～25% 低粘性型10～30% 高粘性型2～45% （1996～2000）	汎用型88～25% 低粘性型10～30% 高粘性型2～45% （1996～2000）			ノンブリージング型を標準 流動性、膨張率：非膨脹型・膨張型に分類 （左記参考文献より）				-
2001年 ～2005年 平成13 ～平成17	コンクリート標準示方書 （土木学会,2002）				塩害対策としてPEシースの使用を推奨 （左記参考文献より）	ノンブリージング型を標準 圧縮強度：σ28 ＝20N/mm2（膨張性） ＝30N/mm2（非膨張性） （左記参考文献より）		電動ポンプと併用する真空ポンプの登場（2002）		注入・排気口の配置明記 導通および気密性確認 流量計による管理 注入・排出口の後処理
	● PCグラウト・プレグラウトPC鋼材施工マニュアル （PC建協,2002）	プレグラウトPC鋼材に湿気硬化型を追加				流動性：JPロートに統一 （左記参考文献より）				
	PCグラウト設計施工指針 （プレストレストコンクリート技術協会,2005） ● PCグラウト・プレグラウトPC鋼材施工マニュアル （PC建協,2006）		汎用型25～13% 低粘性型30～42% 高粘性型45～45% （2001～2005）			塩化物イオン：セメント質量比の0.08%以下 （左記参考文献より）	PCグラウト施工及び検査： PC技士またはPCグラウト研修受講終了者			
2006年 ～2010年 平成18 ～平成22	コンクリート標準示方書 （土木学会2007）		汎用型13～10% 低粘性型42～50% 高粘性型45～40% （2006～2008）		塩害対策としてPEシースの使用を原則化 （左記参考文献より）		グラウトの施工する場合には、十分な知識を有する専門技術者（PC技士でPCグラウト研修受講終了者）が施工管理を行わなければならない			
2011年～ 平成23～	コンクリート標準示方書 （土木学会,2012）				シースの材質は耐久性を考慮して定めることを標準 （左記参考文献より）		グラウトの施工にあたっては十分な知識を有する技術者（PC技士かつPCグラウト研修受講終了者）の指導のもとで行わなければならない			
	PCグラウト設計施工指針 （プレストレストコンクリート工学会,2012） ● PCグラウト・プレグラウトPC鋼材施工マニュアル （PC建協,2013）	プレグラウトPC鋼材にプレグラウトPC鋼棒を追加			耐久性の確保として、一般環境でのPEシースの使用を推奨 （左記参考文献より）	圧縮強度保証材齢をσ28からσ7に変更した。原則としてセメント及び練混ぜ水の計量を現場で行う。 （左記参考文献より）	PCグラウト施工及び検査： PC技士・コンクリート構造診断士、かつPCグラウト研修受講終了者	真空ポンプ併用PCグラウト施工法の項目を追加 （左記参考文献より）		PC鋼材をダクトへ挿入してからグラウトを注入するまでの期限を設定。注入期限を遵守できない場合の防錆対策を示す。 複数のグラウトホースを束ねて配置することを避け、粗骨材最大寸法の4/3以上を確保してコンクリートの充填が満足するように計画する。

3.4 変状事例の確認

初期変状の実態を把握するため、直轄橋梁の定期点検結果を確認する。

定期点検結果の確認範囲をある程度絞り込むため、定期点検データの中から供用後 10 年以内の点検を対象とし、「対策区分の判定がC判定：速やかに補修を行う必要がある」と判定された PC 橋（橋梁規模が 15m 以上）に着目して、地域、橋梁規模および構造形式などの偏りが無いよう任意に選定した。その結果、初期変状の実態を確認する範囲は、19 橋の定期点検結果となった。

変遷調査を行なった項目のうち「基準の改定」を除く 11 項目（設計Ⅱ～Ⅵ、施工Ⅰ～Ⅵ）に該当する変状事例は、19 橋のうち 11 橋で報告されており、合計で 26 の事例が確認できた。変遷調査を行った項目ごとに着目すると、変状事例が確認できた項目は、全 11 項目のうち 8 項目であり、【設計-Ⅱ】腹圧の設計、【施工-Ⅰ】支保工、および、【施工-Ⅳ】養生、に該当する事例は確認できなかった。集計結果を**表-3.4.1** に示す。なお、表に示す件数は、1 つの初期変状事例に対して、該当する項目が複数ある場合に複数分の計上をおこなっている（事例総数の 26 件と一致しない）。

変状事例の確認と主な事例の抽出をおこなった結果を**表-3.4.2**、抽出した主な事例の詳細を**表-3.4.3** に示す。

表-3.4.1　初期変状事例数の集計結果

大項目	項目	整理番号	初期変状事例の確認件数
設計の変遷	腹圧の設計	【設計-Ⅱ】	0
	定着突起の設計	【設計-Ⅲ】	1
	水和熱の温度応力	【設計-Ⅳ】	11
	定着部の支圧応力	【設計-Ⅴ】	4
	乾燥収縮	【設計-Ⅵ】	13
施工の変遷	支保工	【施工-Ⅰ】	0
	型枠	【施工-Ⅱ】	1
	コンクリート打設	【施工-Ⅲ】	5
	養生	【施工-Ⅳ】	0
	目地部	【施工-Ⅴ】	1
	グラウト	【施工-Ⅵ】	2

表-3.4.2　変状事例の確認と抽出

No	橋梁の諸元			損傷状況		設計の変遷調査項目					施工の変遷調査項目					
	橋梁名	上部工構造形式	竣工年度	主な内容	主な損傷原因	Ⅱ 腹圧	Ⅲ 突起	Ⅳ 温度	Ⅴ 定着	Ⅵ 乾燥	Ⅰ 支保	Ⅱ 型枠	Ⅲ 打設	Ⅳ 養生	Ⅴ 目地	Ⅵ グラ
事例1	A橋	単純箱桁橋	2001年3月	主桁・地覆：剥離・鉄筋露出、うき	水和熱・乾燥収縮の影響、PC鋼材定着部の補強不足			○	○	○						
事例2	B橋	単純箱桁橋	2003年10月	主桁：ひび割れ	水和熱・乾燥収縮の影響、PC鋼材定着部の補強不足			○	○	○						
事例3	C橋（上）	[単純+3径間連続+2径間連続]箱桁橋	2002年	主桁：剥離・鉄筋露出 ひび割れ、漏水、エフロレッセンス	締固め不足による充填不良、橋面からの水みちが形成								○			
事例4					水和熱・乾燥収縮の影響、定着付近の補強不足			○	○							
事例5					水和熱・乾燥収縮の影響、定着付近の補強不足			○	○							
事例6	C橋（下）	[単純+3径間連続+2径間連続]箱桁橋	1990年		外部拘束・乾燥収縮の影響、グラウト不良の影響					○						○
事例7					外部拘束・乾燥収縮の影響、グラウト不良の影響					○						○
事例8					水和熱の影響、伸縮切欠き・定着箱抜き部の補強筋不足			○								
事例9					下床版定着突起における主ケーブルの定着応力集中		○									
事例10					打継目の接合不良、打継目の段差形成と箱桁内の多湿環境										○	
事例11	F橋	3径間連続中空床版橋	2001年	主桁：ひび割れ・うき	締め固め不足(箱抜き、密配筋の影響)。								○			
事例12					クリープによる桁そり上がりと、乾燥収縮に伴う桁収縮					○						
事例13	I橋	12径間連続中空床版橋	2002年2月	主桁：ひび割れ・うき	乾燥収縮の影響					○						
事例14	J橋	17径間連続中空床板橋＋3径間連続箱桁	2001年	主桁：漏水・エフロレッセンス、 剥離・鉄筋露出、ひび割れ	水和熱・乾燥収縮の影響			○		○						
事例15					水和熱・乾燥収縮の影響			○		○						
事例16					水和熱・乾燥収縮の影響			○		○						
事例17	K橋	[13+12+12+13]径間連続PC中空床版橋	2004年	主桁：剥離・鉄筋露出	締め固め不足による充填不良								○			
事例18					締め固め不足による充填不良								○			
事例19					水和熱・乾燥収縮に伴う外部拘束			○		○						
事例20					水和熱による温度ひび割れ			○								
事例21					水和熱による温度応力、RC構造の横桁に生じるひび割れ			○								
事例22					乾燥収縮および支承拘束によるひび割れ					○						
事例23	N橋	5径間連結プレT桁橋×2	2003年	橋脚梁部の天端に部分的な滞水	間詰め床版が主桁に拘束され乾燥収縮によりひび割れ					○						
事例24	O橋	6径間連結プレT桁+2径間連結ｺﾝﾎﾟ橋	2003年	主桁のひび割れ	型枠目地からの漏水の影響							○				
事例25	P橋	[3+4]径間連結ポスT桁橋	2002年	主桁のひび割れ、剥離・うき	充填不良による表層コンクリートのひびわれ、かぶり不足も影響								○			
事例26	R橋	単純バイプレI桁橋	2000年	主桁：うき	張出床版が主桁に拘束され乾燥収縮によりひび割れ					○						
事例数の集計						0	1	11	4	13	0	1	5	0	1	2

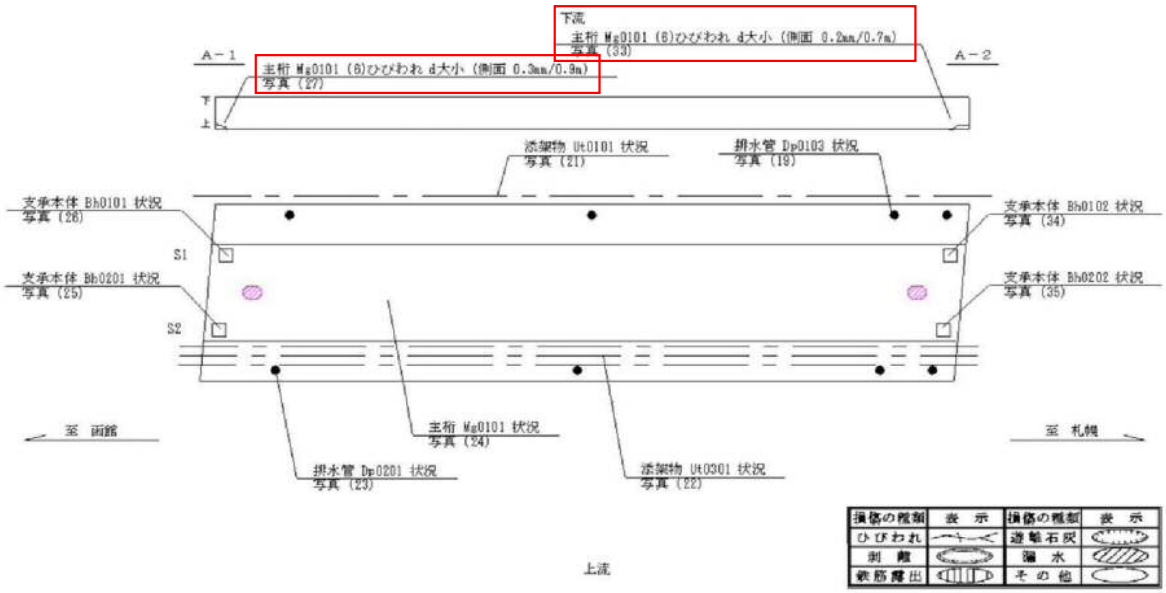
○　：直接的原因が推定される要因
　　：初期変状事例の確認なし
　　：変遷調査の分析に用いる初期変状事例

表-3.4.3　初期変状事例の抽出　その1

初期変状事例　：　事例2
該当する変遷調査項目　：【設計-Ⅴ】　定着部の支圧応力

橋　梁　の　諸　元					
橋　梁　名	B橋	上 部 工 構 造 形 式	単純PC箱桁橋		
竣 工 年 度	2003年10月	調 書 更 新 年 月 日	2009年11月11日	点 検 回 数	1　巡目
供 用 開 始 日		損 傷 状 況	端部定着部側面に斜め方向のひび割れ		

損　傷　図



損　傷　写　真

写 真 番 号	27，33	径間番号	1
メ　モ	・主桁，Mg0101，ひびわれ d大小 側面 W=0.3mm，L=0.9m（写真27：左） ・主桁，Mg0101，ひびわれ d大小 側面 W=0.2mm，L=0.7m（写真33：右） ・主桁端部の側面上部に斜め方向のひびわれが見受けられる。		

損　傷　評　価	
部　　材　　名	主桁
位　置　（　部　位　）	(3)支点部
損傷の番号と種類（点検要領 表4.2.2）	(6)ひび割れ
損傷程度の区分（点検要領 付録-1）	d
ひ　び　割　れ　方　向	端部定着部から張出床版に向かい斜め45度
最大ひび割れ長さ／幅（m／mm）	（長さ）0.9m　　（幅）0.3mm
ひ　び　割　れ　本　数　（本）	2
（2巡目以降の場合）1巡目状況	－

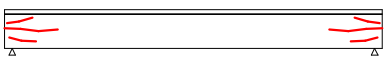
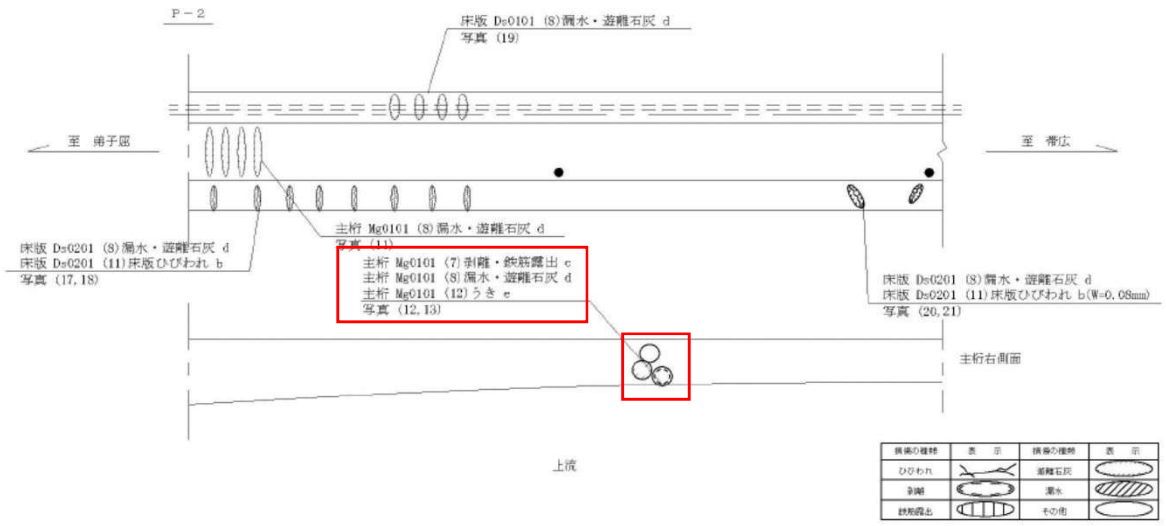
本報告書における初期変状事例の抽出		
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領　付録-1	新分類ひび割れパターン
ひ び 割 れ パ タ ー ン	(21)その他のひび割れ	【16】主桁の腹部に発生する水平方向ひび割れ
ひ び 割 れ 概 要 図	－	
推定される損傷程度	・端部定着部側面にひび割れが発生している。 ・錆汁や遊離石灰の発生は見られないが、劣化因子の侵入経路となるため、定着具が腐食している可能性がある。	

表-3.4.3　初期変状事例の抽出　その2

初期変状事例　：　事例3
該当する変遷調査項目　：【施工-Ⅲ】　コンクリート打設

橋梁の諸元					
橋梁名	C橋（上）	上部工構造形式	[単純+3径間連続+2径間連続]ポステン箱桁橋		
竣工年度		調書更新年月日	2011年3月18日	点検回数	2　巡目
供用開始日	2003年2月28日	損傷状況	主桁側面外側にエフロの析出を伴う変色箇所有り。		

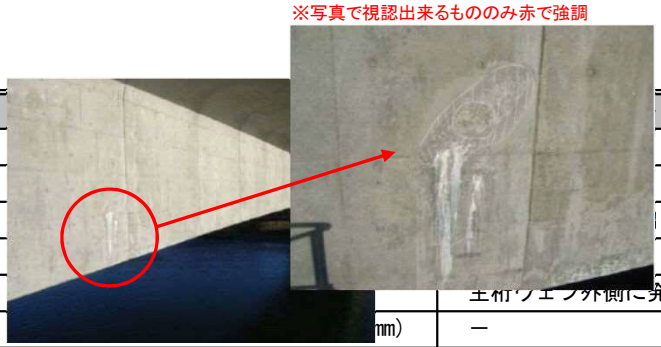
損傷図



損傷写真

写真番号	12	径間番号	3
メモ	・主桁，Mg0101，剥離・鉄筋露出 c ・主桁，Mg0101，漏水・遊離石灰 d ・主桁側面の補修跡から遊離石灰の析出を伴った剥離が発生している。		

※写真で視認出来るもののみ赤で強調



評価	
	主桁ウェブ外側に発生
mm)	ー
ひび割れ本数　(本)	ー
(2巡目以降の場合) 1巡目状況	1巡目の点検調査には記載無し

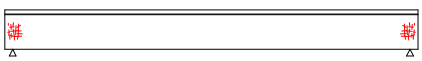
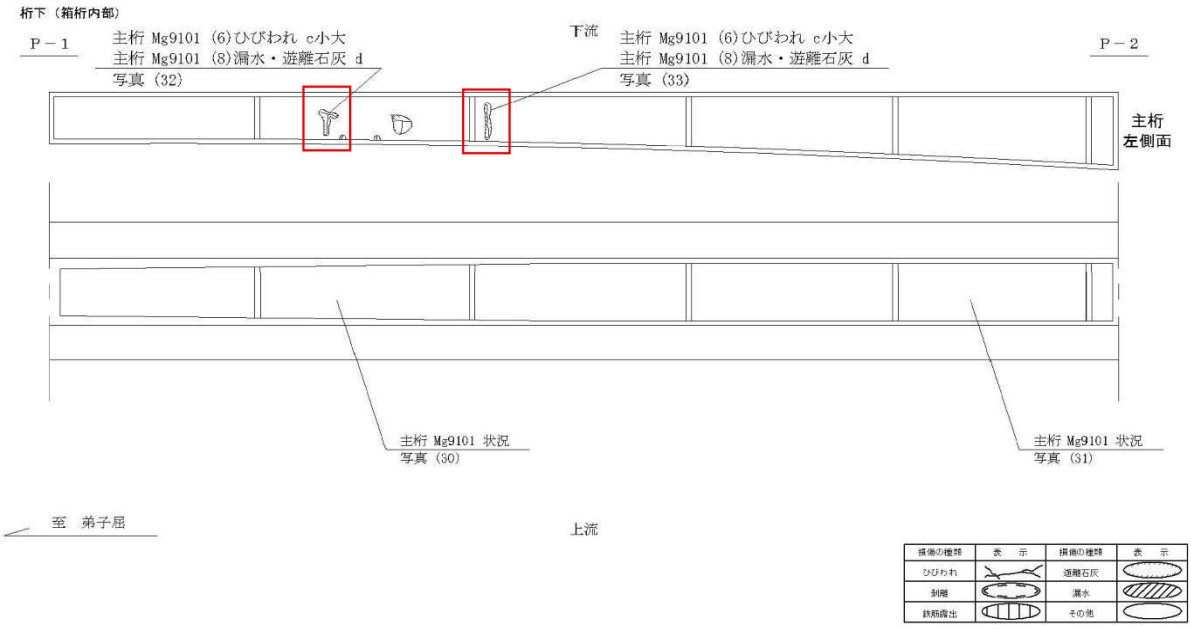
本報告書における初期変状事例の抽出		
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領　付録-1	新分類ひび割れパターン
ひび割れパターン	(21)その他のひび割れ	【9】ｺﾝｸﾘｰﾄ表面の微細ひびわれ
ひび割れ概要図	-	
推定される損傷程度	・主桁側面に変色箇所があり、エフロが析出している。 ・変色箇所は、打設時の締め固め不足（ジャンカ）の可能性も考えられる。 ・2006年の1巡目の点検では、本損傷について記述されておらず、損傷が進行した可能性もある。	

表-3.4.3　初期変状事例の抽出　その3

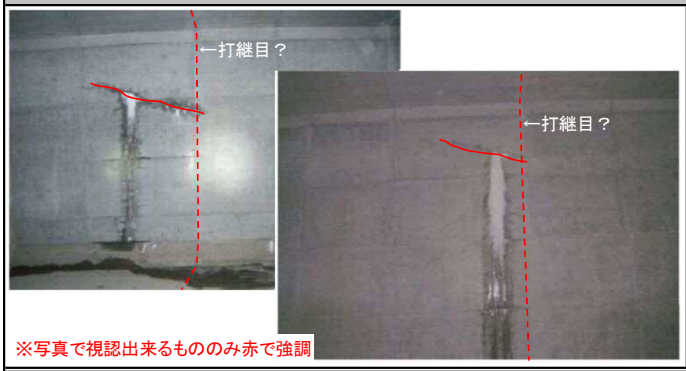
初期変状事例　：　事例6
該当する変遷調査項目　：【施工-VI】　グラウト

橋　梁　の　諸　元					
橋　梁　名	C橋（下）	上 部 工 構 造 形 式	［単純+3径間連続+2径間連続］ポステン箱桁橋		
竣 工 年 度	1990年	調 書 更 新 年 月 日	2011年3月18日	点 検 回 数	2　巡目
供 用 開 始 日	2003年2月28日	損 傷 状 況	主桁ウェブの斜め方向のひび割れ、エフロ析出		

損　傷　図



損　傷　写　真



※写真で視認出来るもののみ赤で強調

写 真 番 号	32，33	径間番号	2
メ　モ	・主桁，Mg9101，ひびわれ c小大， ・主桁，Mg9101，漏水・遊離石灰 d ・箱桁内部に遊離石灰の析出を伴ったひびわれが発生している。		

損　傷　評　価

部　材　名	主桁
位　置　（　部　位　）	支間1/4
損傷の番号と種類（点検要領 表4.2.2）	(6)ひび割れ
損傷程度の区分（点検要領 付録-1）	c
ひ　び　割　れ　方　向	斜め方向
最大ひび割れ長さ／幅（m／mm）	（長さ）－　（幅）－
ひ　び　割　れ　本　数　（本）	1
(2巡目以降の場合）1巡目状況	箱桁内面未調査、箱桁外面損傷記録なし

本報告書における初期変状事例の抽出

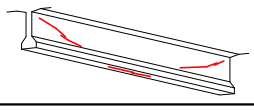
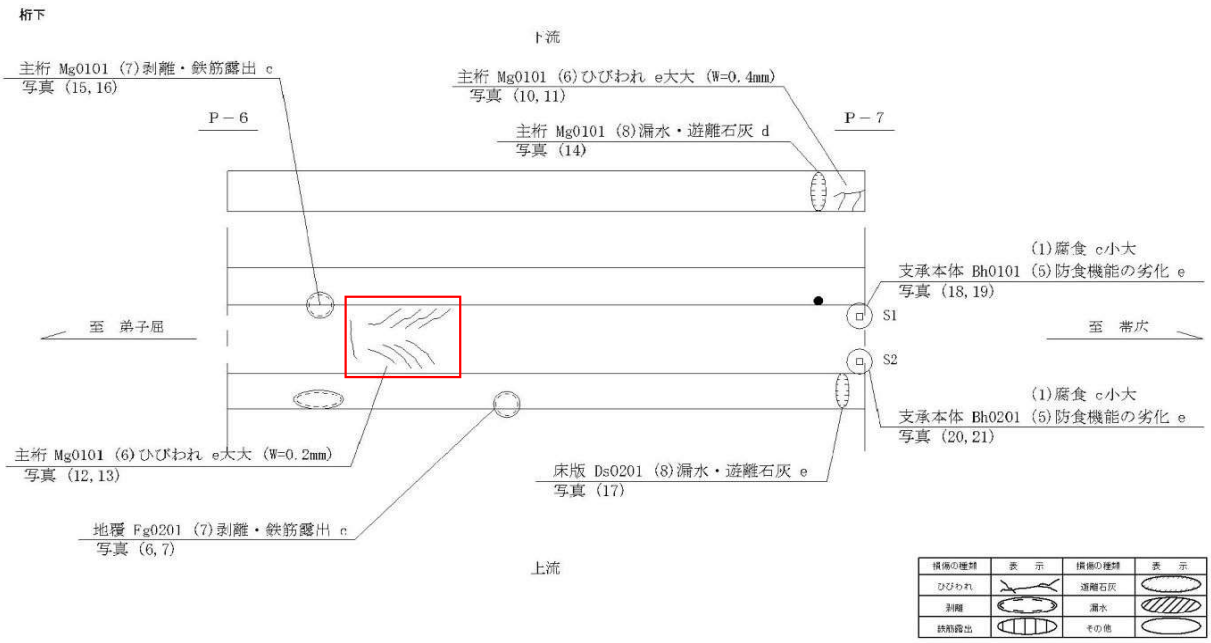
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領　付録-1	新分類ひび割れパターン
ひ び 割 れ パ タ ー ン	(20)シースに沿って生じるひび割れ	【3】ｼｰｽに沿って生じるひびわれ
ひ び 割 れ 概 要 図		
推定される損傷程度	・ひび割れから漏水と遊離石灰が発生している。 ・錆汁は発生していないものの、部材内部に水みちが形成されているため、内部鋼材が腐食していないとは言い切れない。	

表-3.4.3　初期変状事例の抽出　その4

初期変状事例　：　事例9
該当する変遷調査項目　：【設計-Ⅲ】　定着突起の設計

橋　梁　の　諸　元					
橋　梁　名	C橋（下）	上 部 工 構 造 形 式	［単純+3径間連続+2径間連続］ポステン箱桁橋		
竣 工 年 度	1990年	調 書 更 新 年 月 日	2011年3月18日	点 検 回 数	2　巡目
供 用 開 始 日	2003年2月28日	損 傷 状 況	主桁下床版に橋軸直角方向および放射方向のひび割れ		

損　傷　図



損　傷　写　真

写 真 番 号	12	径間番号	7
メ　モ	・主桁，Mg0101，ひびわれ e大大 ・W=0.2mm ・主桁に橋軸方向のひびわれ（幅0.2mm以上）が発生している。		

損　傷　評　価

部　材　名	主桁
位　置　（　部　位　）	支間1/4
損傷の番号と種類（点検要領 表4.2.2）	(6)ひび割れ
損傷程度の区分（点検要領 付録-1）	e
ひ び 割 れ 方 向	橋軸直角方向および放射方向
最大ひび割れ長さ／幅（m／mm）	（長さ）－　　（幅）0.2
ひ び 割 れ 本 数　（本）	8
（2巡目以降の場合）1巡目状況	損傷記録なし（未発生 or 見落とし）

本報告書における初期変状事例の抽出

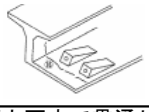
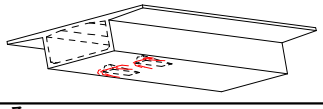
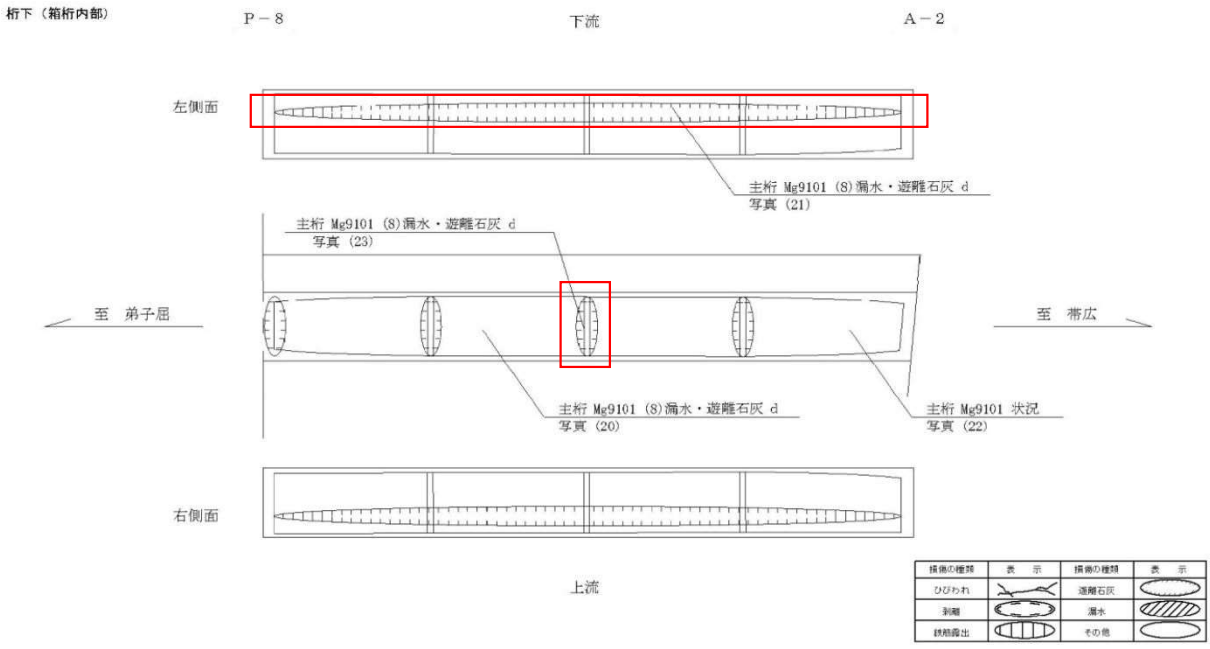
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領　付録-1	新分類ひび割れパターン
ひ び 割 れ パ タ ー ン	(16)PC鋼材定着部付近	【29】PC鋼材定着部（定着突起）付近
ひ び 割 れ 概 要 図		
推定される損傷程度	・下床版上面まで貫通していると推定される。 ・内部鋼材の腐食は発生していないか、重篤ではないと推定される。	

表-3.4.3　初期変状事例の抽出　その5

初期変状事例　：　事例10
該当する変遷調査項目　：【施工-Ⅴ】　目地部

橋　梁　の　諸　元					
橋　梁　名	C橋（下）	上 部 工 構 造 形 式	［単純+3径間連続+2径間連続］ポステン箱桁橋		
竣 工 年 度	1990年	調 書 更 新 年 月 日	2011年3月18日	点 検 回 数	2　巡目
供 用 開 始 日	2003年2月28日	損 傷 状 況	箱桁内部の主桁側面に水平方向のひび割れ、エフロ発生		

損　傷　図



損　傷　写　真

写 真 番 号	21	径間番号	9
メ　モ	・主桁，Mg9101，漏水・遊離石灰 d ・箱桁内部に遊離石灰の析出が発生している。		

損　傷　評　価

部　材　名	主桁
位　置　（　部　位　）	その他
損傷の番号と種類（点検要領 表4.2.2）	(8)漏水・遊離石灰
損傷程度の区分（点検要領 付録-1）	d
ひ　び　割　れ　方　向	ー
最大ひび割れ長さ／幅（m／mm）	（長さ）ー　（幅）ー
ひ　び　割　れ　本　数　（本）	ー
(2巡目以降の場合) 1巡目状況	箱桁内面未調査、箱桁外面損傷記録なし

本報告書における初期変状事例の抽出

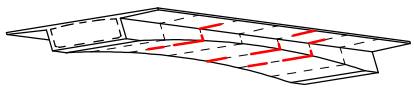
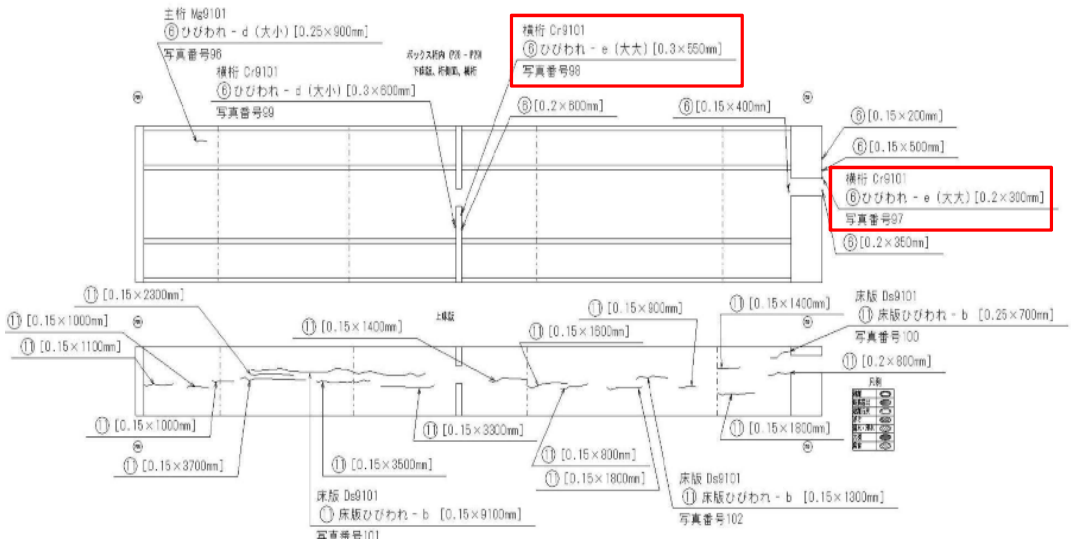
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領　付録-1	新分類ひび割れパターン
ひ び 割 れ パ タ ー ン	(21)その他のひび割れ	【14】打継ぎ面に発生するひび割れ
ひ び 割 れ 概 要 図	-	
推定される損傷程度	・単なる「汚れ」の場合は損傷として取り扱う必要はないものの、竣工後から発生したエフロである場合は、橋面からの水みち形成および打継目の肌別れ、内部鋼材の腐食が疑われる。	

表-3.4.3　初期変状事例の抽出　その6

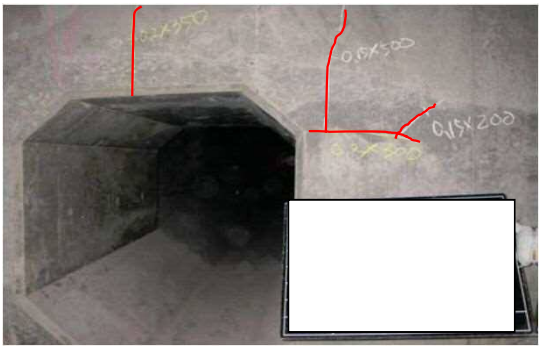
初期変状事例　：　事例16
該当する変遷調査項目　：【設計-Ⅳ】　水和熱の温度応力

橋　梁　の　諸　元					
橋　梁　名	Ｊ橋	上部工構造形式	ポステン3径間連続箱桁橋		
竣工年度	2001年	調書更新年月日	2009年4月8日	点検回数	1　巡目
供用開始日	2004年3月30日	損傷状況	横桁開口部のひび割れ		

損　傷　図



損　傷　写　真



写真番号	97	径間番号	19
メ　モ	・横桁，Cr9101，ひびわれ e大大 ・W=0.3mm, L=300mm ・横桁開口部にひび割れが確認される。		

損　傷　評　価	
部　材　名	横桁
位　置　（　部　位　）	(3)支点部　　（隔壁：支間中央）
損傷の番号と種類（点検要領 表4.2.2）	(6)ひび割れ
損傷程度の区分（点検要領 付録-1）	e
ひ　び　割　れ　方　向	鉛直方向
最大ひび割れ長さ／幅　（ｍ／ｍｍ）	0.3　　0.3
ひ　び　割　れ　本　数　（本）	6
(2巡目以降の場合) 1巡目状況	－

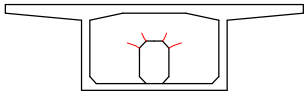
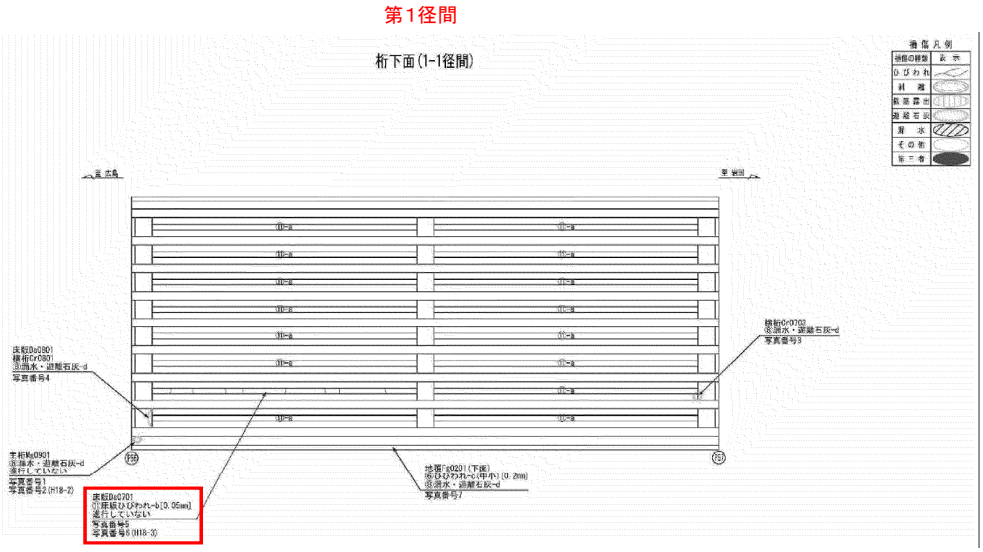
本報告書における初期変状事例の抽出		
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領　付録-1	新分類ひび割れパターン
ひ　び　割　れ　パ　タ　ー　ン	(21)その他のひび割れ	【25】開口部の隅角部のひび割れ
ひ　び　割　れ　概　要　図	－	
推定される損傷程度	・漏水もなく内部の鋼材腐食はないものと推定される。	

表-3.4.3　初期変状事例の抽出　その7

初期変状事例　：　事例23
該当する変遷調査項目　：【設計-VI】　乾燥収縮

橋　梁　の　諸　元					
橋　梁　名	N橋	上 部 工 構 造 形 式	5径間連結プレテンT桁橋×2セット		
竣 工 年 度	2003年	調 書 更 新 年 月 日	2011年1月6日	点 検 回 数	2　巡目
供 用 開 始 日	2003年	損 傷 状 況	間詰め床版下面に橋軸直角方向のひび割れ		

損　傷　図



損　傷　写　真

写 真 番 号	5	径間番号	1-1
メ　モ	・床版，Ds0701，床版ひびわれ b ・W=0.05mm ・前回調査からの進行はない		

損 傷 評 価

部　材　名	床版
位　置　（　部　位　）	(1)支間中央部
損傷の番号と種類（点検要領 表4.2.2）	(6)ひび割れ
損傷程度の区分（点検要領 付録-1）	b
ひ　び　割　れ　方　向	直角方向
最大ひび割れ長さ／幅　（m／mm）	0.180m(間詰め幅)／0.05mm
ひ　び　割　れ　本　数　（本）	最大8本／径間
(2巡目以降の場合) 1巡目状況	損傷あり(進行なし)

本報告書における初期変状事例の抽出

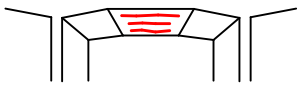
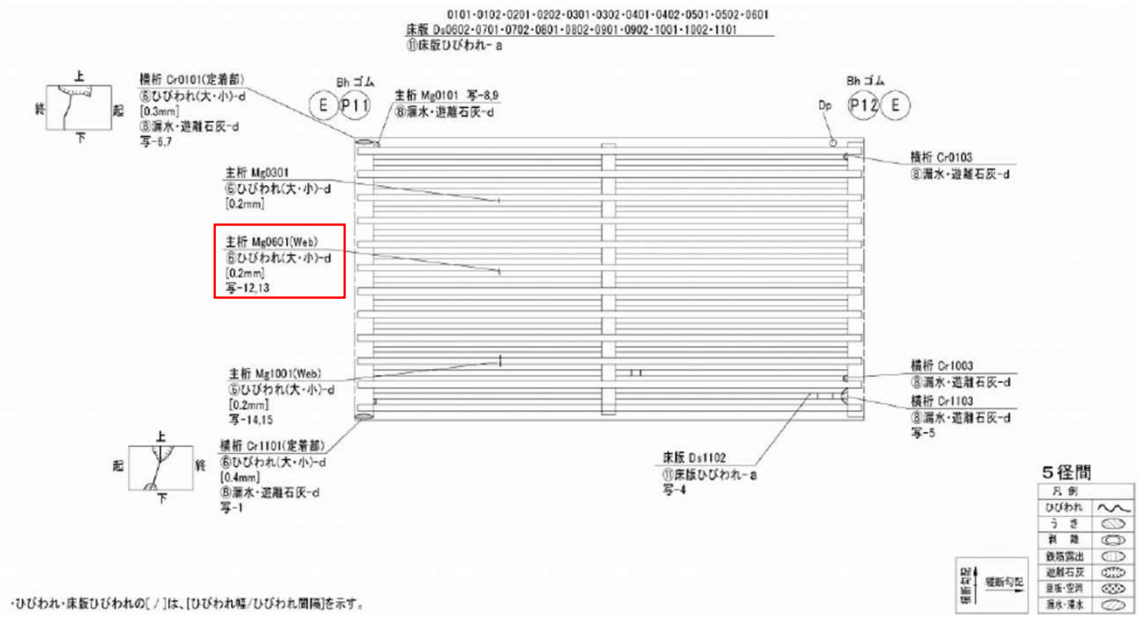
※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領　付録-1	新分類ひび割れパターン
ひ び 割 れ パ タ ー ン	(21)その他のひび割れ	【22】床版下面に発生の橋軸直角方向ひび割れ
ひ び 割 れ 概 要 図	-	
推定される損傷程度	ひび割れ幅は小さく、漏水もないことから貫通していないと推定される	

表-3.4.3　初期変状事例の抽出　その8

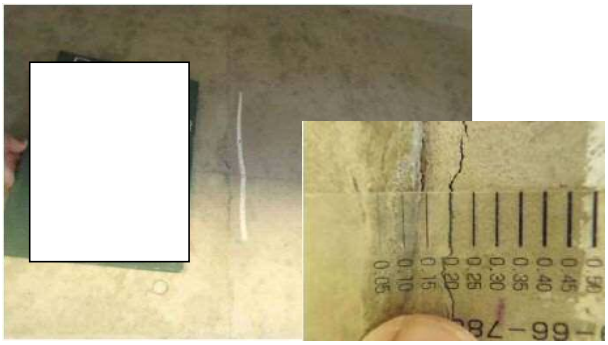
初期変状事例　：　事例24
該当する変遷調査項目　：【施工-Ⅱ】　型枠

橋　梁　の　諸　元					
橋　梁　名	○橋	上 部 工 構 造 形 式	6径間連結ﾌﾟﾚT桁+2径間連結PCｺﾝﾎﾟ橋		
竣 工 年 度	2003年	調 書 更 新 年 月 日	2010年11月18日	点 検 回 数	1　巡目
供 用 開 始 日	2009年	損 傷 状 況	ウェブ側面に鉛直方向のひび割れ		

損　傷　図



損　傷　写　真



写 真 番 号	12	径間番号	5
メ　モ	・主桁，Mg0601，ひびわれ d大小 ・側面 0.2mm（拡大写真） ・主桁側面（型枠継ぎ目）にひび割れが発生している。なお、下面にはひびわれは見られない。		

損　傷　評　価

部　　材　　名	主桁
位　置　（　部　位　）	(2)支間1/4
損傷の番号と種類（点検要領 表4.2.2）	(6)ひび割れ
損傷程度の区分（点検要領 付録-1）	d
ひ　び　割　れ　方　向	鉛直方向
最大ひび割れ長さ／幅（m／mm）	（長さ）0.6　（幅）0.2
ひ　び　割　れ　本　数　（本）	1
(2巡目以降の場合) 1巡目状況	－

本報告書における初期変状事例の抽出

※「(6)ひび割れ」の場合のみ記載する	点検要領　付録-1	新分類ひび割れパターン
ひ び 割 れ パ タ ー ン	(21)その他のひび割れ	該当なし
ひ び 割 れ 概 要 図	－	
推定される損傷程度	・下面にひび割れはなく、他に有害なひび割れが見られないことから、ＰＣ鋼材は破断していないと推定される。	

3.5 初期変状防止に向けた変遷調査結果の分析

3.5.1 概要

初期変状防止対策は、時代の変化に合わせて追加あるいは見直しがなされ現在にいたっており、その大筋を「**3.3 変遷調査**」で取りまとめた。また、橋梁点検結果で報告される変状事例について、「**3.4 変状事例の確認**」で把握するとともに主な変状事例の抽出を行った。これらの結果から、現在の初期変状防止技術がどの程度の対策レベルとなっているか分析を行う。変状事例の原因と変遷調査結果を照らしあわせることで、**図-3.5.1** に示す 6 項目に分類し、更なる初期変状防止に向けた対策の方向性を示す。

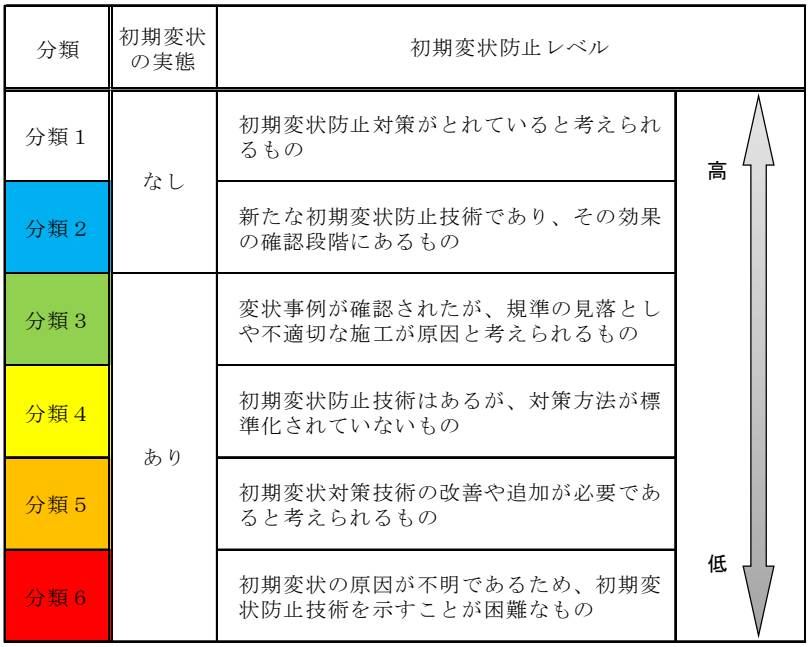


図-3.5.1　技術項目の分類

3.5.2 変状事例にもとづく初期変状防止技術の分析

設計および施工に関する 11 の項目ごとに、ひび割れパターンと**表-3.4.2** で抽出した代表的な変状事例を示し、変状事例の分析として【技術変遷による分析】と【変状事例からみる技術基準と対応例】を取りまとめることで初期変状防止レベルを**図-3.5.1** に示す 6 つに分類する。

【技術変遷による分析】は、変状事例が確認された構造物の年代、構造形式の特徴および変状原因の詳細などを示し、技術変遷との関連性を述べる。また、【変状事例からみる技術基準と対応例】は、変状事例に関連のある技術基準の内容や変遷調査では示しきれていない内容を紹介するとともに、実務で行われている変状防止対策の例を示すことで、分類を行うための材料とする。

これらの取りまとめ内容を総合的に判断して分類した結果を**表-3.5.1** に示す。

表-3.5.1 分析結果一覧表 その1

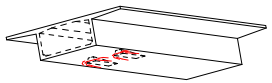
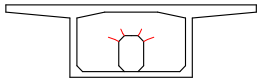
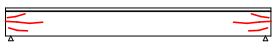
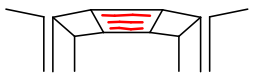
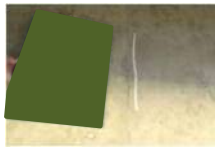
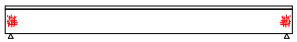
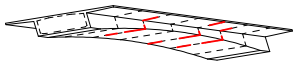
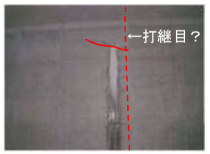
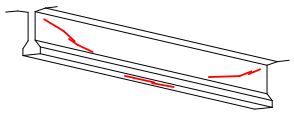
	初期変状事例		変状事例の分析	分類結果
	抽出事例	ひび割れパターン		
【設計-Ⅱ】 腹圧の設計	変状事例なし	変状事例なし	【確認件数】 0件 （事例の確認はなし） 【技術変遷による分析】 変状事例の確認を行った橋梁の竣工年度は1990年～2004年であり、桁高変化のある箱桁橋で下床版にPC鋼材を配置している橋梁も含まれているが腹圧が原因と考えられる事例は確認できなかった。腹圧に関する内容が道路橋示方書に記載されたのは2002年（平成14年）以降であるが、示方書に示される以前から設計者の判断により、対応がなされていたと推察される。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 今後、変状事例の確認がされた場合は、その原因を分析して対策を講じるものと考えられる。	分類2 【コメント】 変状事例は確認できなかったが、道路橋示方書に示されてから10年程度であるため、**今後の橋梁点検で事例の確認がされるか否かを監視**していく必要があるものと判断して、『分類2』とした。
【設計-Ⅲ】 定着突起の設計	事例9 ※写真で視認出来るもののみ赤で強調	新分類 【29】 	【確認件数】 1件 【技術変遷による分析】 定着突起に関する設計基準の内容は、昭和43年から現在に至るまで大きな見直しが行われていないため、事例9も同様の設計が行われていたと考えられる。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 確認できた変状事例の場合、定着突起の設置位置をウェブから少したことが原因の1つと考えられる。定着突起の位置は、設計者の判断でウェブ付近に設定して安全性をたかめる対策がとられている。また、道路橋示方書では、立体有限要素法等で補強方法を検討することが望ましいケースが紹介されているが、その判断は設計者の判断によってなされている。	分類4 【コメント】 道路橋示方書に簡易の設計手法や留意事項が示されている。しかし、変状事例が確認されたため初期変状防止のためには、**新たな留意事項の追加やより実務的な内容の充実を図っていくことも必要**と判断して、『分類4』とした。
【設計-Ⅳ】 水和熱の温度応力	事例16 ※写真で視認出来るもののみ赤で強調	新分類 【25】 	【確認件数】 11件 【技術変遷による分析】 変状事例の確認結果では、乾燥収縮に続いて2番目に多い項目であった。道路橋示方書の記載は、平成2年に留意事項が示され、平成14年および平成24年の改定では準用する資料の掲載により、具体的な初期変状防止対策がとられている。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 温度応力による初期変状の防止対策は、道路橋示方書の施工の章に示されている。施工上の対応は、使用材料の選定、リフト高さを抑えた打設計画および養生方法の工夫などがある。しかし、それだけでは対策が不十分な場合もある。ひび割れ幅を抑えるため、実際の施工を想定した温度応力解析を行い、その結果をもとにした補強筋の追加配置など、対策がなされているが物件毎の対応となっている。	分類5 【コメント】 初期変状に対する技術は、施工方法のみの対策では不十分であったり、設計段階で対策を行なう場合に施工条件の設定が困難であったりするなど、多くの課題がある。さらに、**ひび割れの発生自体を防止するためには更なる技術の向上が必要**と判断して、『分類5』とした。
【設計-Ⅴ】 定着部の支圧応力	事例2 ※写真で視認出来るもののみ赤で強調	新分類 【16】 	【確認件数】 4件 【技術変遷による分析】 変状事例が確認された4件は、すべて箱桁橋であった。ただし、3章に示してあるようなプレテンT桁橋やポステンT桁橋にも同様な変状がみられる。基準類での記載は、昭和30年（1955年）から定着具の補強が示されている。平成8年の道路橋示方書に「外ケーブル構造」に関する内容が追加されたものの変状事例で見られる桁端部に対する内容は、現在においても大きな改定がされていない。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 基準には、定着部付近の引張応力発生位置の概要と補強筋の必要性が示されており、各定着工法の技術資料と合わせて対策がなされている。部材寸法が大きい箱桁橋の桁端部は、定着部の支圧応力に加えて温度応力の影響も合わせて受ける。そのため、複合的な要因も考慮して設計者の判断によって対策がなされている。	分類4 【コメント】 定着工法ごとに示される技術資料には、定着位置の部材縁端距離、定着間隔および補強筋の配置などが示されている。しかし、温度応力などの影響に関しては、設計者の判断でその対策が行われており、**新たな留意事項の追加などを示していくことも必要**と判断し、『分類4』とした。
【設計-Ⅵ】 乾燥収縮	事例23 ※写真で視認出来るもののみ赤で強調	新分類 【22】 	【確認件数】 13件 【技術変遷による分析】 変状事例のなかで最も多く確認された項目であった。事例23にみられるようなコンクリートを打継ぐことで生じるひび割れに対して、平成2年の道路橋示方書では、打継目付近の鉄筋は標準部よりも密に配置する記載がされており、現在においても同様の内容となっている。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 示方書に鉄筋の配置を密にする記載はあるが、部材寸法、使用材料および現場の環境などによって乾燥収縮の程度が異なるため、鉄筋量を定量的に示すことが困難であると考えられる。鉄筋を追加配置する対策のほか、養生の工夫や混和材の使用なども考えられるが、これらの追加の対策は物件毎に個別に判断がなされている。	分類5 【コメント】 使用材料、養生方法および現場の環境などを考慮して、初期変状防止のための鉄筋量を定量的に示すことが望ましいが、乾燥収縮に加えて水和熱による体積変化も影響があるなど、設計手法の確立や部材寸法の影響の把握などの課題が考えられる。よって、**ひび割れ発生自体を防止するためには更なる技術の向上が必要**と判断し、『分類5』とした。

表-3.5.1 分析結果一覧表 その2

	初期変状事例		分析	分類結果
	抽出事例	ひび割れパターン		
【施工-Ⅰ】 支保工	- 変状事例なし	- 変状事例なし	【確認件数】 0件 （事例の確認はなし） 【技術変遷による分析】 道路橋示方書では、昭和53年に示された留意事項が現在に至るまで大きな改定がなされていないが、支保工が主要因で生じた初期変状事例は確認されなかった。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 道路橋示方書に示される内容のほか、実務的な内容を示した技術資料などがあり、それらを合わせ持って初期変状の対策がなされている。	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。また、新たな対策技術でそれを確認する段階に該当するものがないため、**現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止**できると判断し、『分類1』とした。
【施工-Ⅱ】 型枠	事例24 	- 該当なし	【確認件数】 1件 【技術変遷による分析】 事例24は、新分類のひび割れパターンにある型枠が原因と考えられるもの（型枠の強度不足や早期の脱枠が主な原因）に該当していない。昭和36年の指針には、型枠がコンクリートの収縮を妨げることで生じるひび割れについて記載がある。当時用いられていた型枠材は、現在の合板とは異なるが、事例24のような型枠目地を起点としたひび割れ対策に当てはまる可能性も考えられる。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 昭和36年の指針に示された内容は、その時の記載に留まっており、前後の変遷を確認しても同様な内容は示されていない。実際には、工場ごとの対策となっている可能性がある。	分類6 【コメント】 新たに分類したひび割れパターンに該当するひび割れと異なっている点、および、その原因がはっきりと判明していない点から、初期変状防止対策を示すことが困難である。同様な事例の有無について確認を行い、**原因の分析を行なうことが必要**と考えられるため、『分類6』とした。
【施工-Ⅲ】 コンクリート打設	事例3 ※写真で視認出来るもののみ赤で強調	新分類 【17】 	【確認件数】 5件 【技術変遷による分析】 5件の事例は、その原因が締固め不良によるものであり共通していた。コンクリートの締固めに関しては、内部振動機に加えて型枠振動機を併用するなどの記載が昭和53年の示方書から示され、現在に至っている。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 道路橋示方書には、打設時の人員配置、内部振動機の挿入間隔と打ち重ね時の挿入深さなどが示されている。実際の施工では、確実な施工を徹底することで変状事例の発生を防止している。	分類3 【コメント】 コンクリート打設は、示方書や指針など技術基準に従って確実な施工を行えば、初期変状の防止が可能であると考えられる。しかし、再発防止には施工者の技術レベルの向上に向けた教育・訓練が重要であると判断し、『分類3』とした。
【施工-Ⅳ】 養生	- 変状事例なし	- 変状事例なし	【確認件数】 0件 （事例の確認はなし） 【技術変遷による分析】 昭和53年のコンクリート標準示方書に示された湿潤養生とその実施期間は、現在の施工基準でも示され、現場施工においてもその重要性が認識されている。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 昭和53年以降も、養生水に海水を用いないこと、および低温時の床版に関する養生の内容などが追加されており、これらの内容は、不適切な養生水の使用防止やより確実な養生方法が示されることで初期変状防止対策の強化がなされている。さらに、確実な養生に向けた現場事の工夫などもなされている。	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。また、効果を確認する段階の新技術の項目がないと判断した。現状の対策技術を**確実に実施することで初期変状の防止が可能**と判断し、『分類1』とした。
【施工-Ⅴ】 目地部	事例10 ※写真で視認出来るもののみ赤で強調	新分類 【14】 	【確認件数】 1件 【技術変遷による分析】 事例10は、水平打継部のレイタンス処理の不具合により、モルタル分が溶解して析出した可能性が考えられる。レイタンスを取り除いてコンクリートを打継ぐ記載は、昭和24年から示されており、古くからその重要性が示されて現在に至っている。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 打継処理は、遅延剤の使用と洗い出し仕上げによる方法が一般的であり、道路橋示方書にも解説が示されている。確実な施工を徹底することで変状事例の発生を防止している。	分類3 【コメント】 確実な施工を行えば初期変状の防止は可能であると考えられる。しかし、再発防止には、レイタンス処理の**重要性を周知することや教育の徹底が重要**であるとと判断し、『分類3』とした。
【施工-Ⅵ】 グラウト	事例6  ※写真で視認出来るもののみ赤で強調	新分類 【3】 	【確認件数】 2件 【技術変遷による分析】 事例6は、グラウトホースを集中して配置したためにできた水みちからの浸水によるものと考えられる。この橋梁は、1990年に竣工しており技術基準はそれ以前のもにもとづいて施工が行われていた。最新の指針である平成24年「PCグラウトの設計施工指針（PC工学会）」には、グラウトホースを束ねて配置することを避ける事が示されている。 【変状事例からみる技術基準と対応例】 多数あるグラウトホースの配置は、ホース間のあきを粗骨材最大寸法の4/3以上確保すること、および束ね配置の危険性が示されおり、それに従った施工により対策がなされている。	分類2 【コメント】 グラウトに関する技術は、古くからその時々に生じた問題や改良された材料・機材などを反映して改定がなされている。左記に示すH24年の指針においても新たな知見を取り入れた不具合防止対策が示されており、**今後の橋梁点検で事例の確認がされるか否かを監視**していく必要があるものと判断し、『分類2』とした。

3.5.3 更なる初期変状防止に向けた対策の方向性

今回の調査範囲において変状事例が確認できなかったものは、腹圧の設計、支保工、養生であり、分類 1 または分類 2 となる。グラウトは、変状事例の確認があったが近年の指針において対策が実施されていることから分類 2 としている。分類 1 および分類 2 に該当するものは、積極的な対策を講じる必要のないものに位置づけられる。

分類 3 は、基準の見直しは伴わないが実務者へ周知や教育を行なうことで更なる初期変状防止につながると考えられるものである。分類 4 から分類 6 に関しては、現状の初期変状防止レベルに応じて、標準化に向けた基準への反映（分類 4）、変状防止技術のレベル向上（分類 5）、および原因究明のうえで確立すべき対策技術（分類 6）、などと積極的な技術基準へのアプローチによって、初期変状防止に繋がる項目である。

初期変状防止技術の現状のレベルを把握するとともに、レベルに応じた更なる初期変状防止に向けた対策の方向性を**図-3.5.2** に示す。

分類	初期変状の実態	初期変状防止レベル		分類結果	更なる初期変状防止に向けた対策の方向性
分類 1	なし	初期変状防止対策がとれていると考えられるもの	高	【施工-Ⅰ】支保工 【施工-Ⅳ】養生	今後、定期点検による初期変状事例が報告される場合を想定して継続した監視を行う
分類 2		新たな初期変状防止技術であり、その効果の確認段階にあるもの		【設計-Ⅱ】腹圧の設計 【施工-Ⅵ】グラウト	初期変状の防止効果を確認し、必要に応じて改善などの検討を行う
分類 3	あり	変状事例が確認されたが、規準の見落としや不適切な施工が原因と考えられるもの		【施工-Ⅲ】コンクリート打設 【施工-Ⅴ】目地部	実務者への周知の徹底や教育により、人為的ミスを減らすための対策を講じる
分類 4		初期変状防止技術はあるが、対策方法が標準化されていないもの		【設計-Ⅲ】定着突起の設計 【設計-Ⅴ】定着部の支圧応力	個別の技術から標準化へ向けた対策を進める
分類 5		初期変状対策技術の改善や追加が必要であると考えられるもの		【設計-Ⅳ】水和熱の温度応力 【設計-Ⅵ】乾燥収縮	現状の技術で不十分な点を洗い出し、対策を講じることで技術レベルの向上を図る
分類 6		初期変状の原因が不明であるため、初期変状防止技術を示すことが困難なもの	低	【施工-Ⅱ】型枠	原因の究明と対策技術の確立を進める

図-3.5.2　分類結果による対策の方向性

3.6 まとめ

初期変状に着目した設計および施工に関する技術の変遷調査を通じて、現状の初期変状防止レベルの分析を行った結果を以下に示す。

- 31 種類のひび割れパターンの原因分析から、初期変状に関するキーワードを抽出した結果、設計技術では、①腹圧の設計、②定着突起の設計、③水和熱の温度応力、④定着部の支圧応力、⑤乾燥収縮の 5 項目、施工技術では、①支保工、②型枠、③コンクリート打設、④養生、⑤目地部、⑥グラウトの 6 項目が抽出された。
- 初期変状に関する 11 の項目の技術の変遷調査を行った結果、全ての項目について、技術基準に言及のあることが確認できた。ただし、示される年代や現在に至るまでの見直し頻度などは項目ごとに差が見られた。
- 国の定期点検結果で対策区分の判定において C 判定と報告された 19 橋の点検調書から、初期変状に該当する事象があるか確認を行った結果、初期変状に関する 11 項目のうち 8 項目に関する変状が報告されていた。
- 点検調書で報告があった変状事例をもとに現状の初期変状防止レベルを分析した結果、実務者への周知により対策が行えるものもあるが、個別に対応していた技術の標準化や更なる技術レベルの向上が望まれるものもあり、現状の基準への反映や内容の見直しによって、更なる初期変状防止対策に繋がる可能性を確認した。

次章において、現行基準の詳細調査に加えて学会などの文献調査から、初期変状防止対策の事例を抽出し、更なる技術基準等での対策の可能性について探る。

４章　既往の初期変状防止対策の調査

4.1　検討概要

道路橋示方書や各種の設計基準では、外力などの構造的な要因による曲げひび割れ、せん断ひび割れ、局部応力によるひび割れなどに対する防止対策の他にも、コンクリート硬化時の温度発熱の影響や乾燥収縮に起因するひび割れ等の初期変状を防止するために、いくつかの対応策を示している。この章では、これらの基準に示された対策の内容を調査するとともに、従来から経験的に用いられてきた最小鉄筋量の配置規定などの、いわゆるみなし規定の実態調査も実施する。また、これらの規定以外にも設計や施工段階で初期変状を防止するために工夫した事例等の文献調査を実施し、初期変状防止のために、取り得る対応策の技術基準を整理する。

そして、これらの調査結果から、PC 橋ではどのような部位で、どのような傾向であればひび割れが生じやすくなるのかを整理するとともに、あわせて、今の諸基準に何が足りないのか、どのような対策を実施すればその初期変状が防止できるのか、今後、必要と思われる防止対策の技術基準を探る。

4.2　諸基準の動向調査

4.2.1　諸基準の構成

道路橋の設計を行なう場合、国内の技術基準である道路橋示方書に従って設計を行うこととなるが、その道路橋示方書は、道路構造令第 35 条（橋、高架の道路等）の規定を受け、都市・地域整備局長、道路局長より「橋、高架の道路等の技術基準」として通達されている。

図-4.2.1 に道路橋の設計に関する基準の階層関係、法的関係を示す。

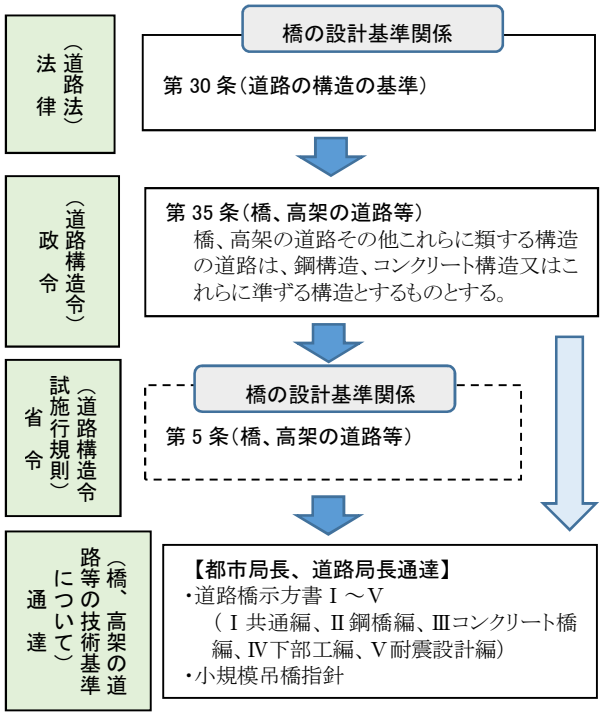


図-4.2.1　道路橋の技術基準の体系

国内の技術基準である道路橋示方書を基に、各種基準類の「かかりうけと位置づけ」の関係を図-4.2.3 に示す。

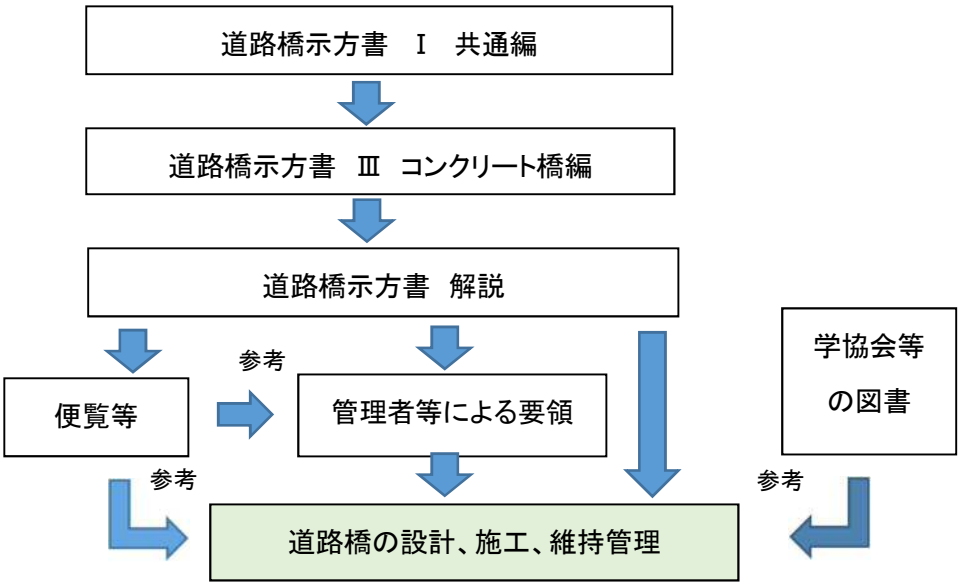


図-4.2.3　各種基準類のかかりうけと位置づけ

そこで、道路橋示方書の基準を基に、各種基準・要領類に示される PC 橋の初期変状を防止するための規定や、許容値の設定方法、最小鉄筋量等を定めた規定の関係を図-4.2.3 に従い整理する。

① 道路橋示方書Ⅰ共通編、Ⅲコンクリート橋編（H24 年 3 月）　日本道路協会
② コンクリート道路橋設計便覧（H6 年 2 月）
　およびコンクリート道路橋施工便覧（H10 年 1 月）　日本道路協会
③ コンクリート標準示方書　設計編（2012 年制定）　土木学会
④ 各地方整備局橋梁設計要領
⑤ NEXCO 設計要領第二集　橋梁建設編（H25 年 7 月）　高速道路株式会社

この調査結果を次ページ以降に示す。

【1】コンクリート材料の規定によるひび割れ防止対策

道示Ⅰ
3章　使用材料
3.2.2　コンクリート材料
1)　セメントは、比表面積、凝結時間、圧縮強さ、有害成分の制限等の特性や品質が確かなものでなければならない。

道示【解説】
1)　セメントはJIS R 5210 ポルトランドセメント（早強、普通）、JIS R 5211 高炉セメントを用いる。通常、上部構造にはポルトランドセメント、下部構造には高炉セメントが用いられているが、高炉は初期湿潤養生を特に入念に行う必要がある。また、ASR 対策に FA を用いてもよいが、JIS R 5213 に適合するものを用いる必要がある。

一般的に用いられるセメント種類を示し、異なる種類を使用する場合の施工時の注意喚起をしている。

【コンクリート橋施工便覧】
第3章　材料
3.2 コンクリート
3.2.2　セメント
PC 部材及び PCa 部材等において施工性、経済性の目的で早期に高強度を必要とする場合は、早強ポルトランドセメントを使用している。また、ASR 対策として高炉セメントもあるが、上部工に使用された実績が少なく、クリープや乾燥収縮特性も必ずしも明確になっていないため、原則として上部構造に使用しないものとする。
PC は高強度を必要とするため、単位セメント量が多くなるので、部材が厚い場合には、硬化熱によってコンクリートに悪影響が及ばないように配慮する必要がある。

参考

管理者等による要領（各地整）
特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）
2章　共通
3　使用材料
3-2　コンクリート
(1)　コンクリートに関する品質、規格は**道示Ⅰ**　3.2 による。
【解説・補足等】
解説内で、「使用するセメントの種類ならびに使用量は、構造物に応じ十分検討した上で定めなければならない。」とし、早強セメントは硬化熱が比較的大きいので、寸法の大きな部材を夏期に施工すると温度ひび割れが発生しやすい。このような場合は、経済性や工期、耐久性十分配慮し、普通セメントなど発熱性の低いセメントの使用を検討することが望ましい。

学協会等の基準
コンシ【施工編：施工標準】
3章　材料
3.2　セメント
プレストレストコンクリート工事等には、早強ポルトランドセメントが使用される。しかし、高温環境下で早強ポルトランドセメントを用いると、凝結が早いためにコンクリートにこわばりが生じて均しが困難になったり、コールドジョイントが発生しやすくなったりする。早強ポルトランドセメントは、その特性を理解して使用することが重要である。

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【2】コンクリートの引張応力度の制限によるひび割れ防止対策

道示Ⅲ
3章　許容応力度
3.1　一般
(4)　PC構造のコンクリートの許容引張応力度及び許容斜引張応力度は割増ししてはならない。
(5)　PC構造の導入直後の許容応力度は割増ししてはならない。

道示【解説】
(4)　荷重組み合わせによる許容引張応力度および許容斜引張応力度は、表-3.2.4、表-3.2.5を参照する。
(5)　施工中の短期間であり、既に割増しされた許容値を設定しているため、更に割増しはしない。

施工時に生じる引張応力による有害なひび割れを防ぐため、コンクリートの引張応力度の許容値を規定している。

【コンクリート橋設計便覧】
第9章　許容応力度
9.1 鉄筋コンクリート部材に対する許容応力度
9.2 プレストレストコンクリート部材に対する許容応力度

・道示に同じ

参考

管理者等による要領（各地整）
特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）
2章　共通
4.　許容応力度および制限値
(1) RC構造、PC構造
道示に同じ
(2) PRC構造
コンクリートの縁引張応力度の制限値はコン示に従う

8章　コンクリート橋
Ⅲ　構造形式各論
Ⅲ-1　PRC橋
6.　連続ラーメン
6-4　主桁の設計
(2)　張出し架設時における主桁の上縁の曲げ引張応力度は、導入時の緊張力を用いる場合1N/mm²以下を標準とする。

【解説・補足等】
(2)　道示では施工時の許容引張応力度を2.5N/mm²（40N/mm²）でとしているが、緊張力は導入直後から徐々に低下すること、また直接輪荷重が載荷され耐久性が損なわれやすいこと、ラーメン橋はクリープ・乾燥収縮および温度変化の影響により拘束引張力が作用することから上記の値を規定。

学協会等の基準
コン示【設計編：本編】
5章　材料の設計値
5.2　コンクリート
コンクリートの曲げひび割れ強度(f_{bck})は乾燥、水和熱、寸法の影響を考慮して適切に定めるものとする。
$f_{bck}=k_{0b}\cdot k_{1b}\cdot f_{tk}$
k_{0b}：コンクリートの引張軟化特性に起因する引張強度と曲げ強度の関係を表す係数
k_{1b}：乾燥、水和熱など、その他の原因によるひび割れ強度の低下を表す係数
f_{tk}：引張強度

8編　プレストレストコンクリート
10章　使用性に関する照査
10.2　応力度の制限
コンクリートの圧縮応力度、鉄筋の引張応力度は、適切な制限値を設定し、それ以下となるようにしなければならない。
コンクリートの縁引張応力度の制限値は曲げひび割れ強度の値としている。

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【3】鉄筋の許容応力度の規定によるひび割れ防止対策

1) 一般構造

道示Ⅲ

3 章　許容応力度

3.3　鉄筋の許容応力度

鉄筋コンクリート構造及び PC 構造に対する鉄筋の許容応力度は D32 以下の鉄筋に対し、以下の値とする。

1)　死荷重時の許容応力度　100N/mm²

2)　床版及び支間 10m 以下の床版橋の設計荷重時の許容応力度　140N/mm²

↓

道示【解説】

1)　耐久性上有害なひび割れを防ぐために、ひび割れ幅 0.2mm 以下となるように規定している。

2)　繰返載荷によるひび割れの拡大を防ぎ、コンクリートの剥離に進展することを防ぐため許容値を低減。さらに RC 床版は 20N/mm² 程度余裕を持たせるのが望ましい。

耐久性上、有害なひび割れを防ぐために荷重条件や部材ごとに低減した許容値を規定している。。

↓

【コンクリート橋設計便覧】
第 9 章　許容応力度
9.1 鉄筋コンクリート部材に対する許容応力度
9.1.2　鉄筋許容応力度

・道示に同じ

参考

管理者等による要領（各地整）
特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）
2 章　共通
3　使用材料
3-1　鋼材
3-1-2　鉄筋

・道示に同じ

学協会等の基準
コンシ【設計編：本編】
特に記述無し

参考　　参考

↓

道路橋の設計、施工、維持管理

【3】鉄筋の許容応力度の規定によるひび割れ防止対策

2) 連結桁

道示Ⅲ
14 章　連続構造
14.5　プレキャスト桁架設方式連続桁橋の設計
(4)　主桁連結部は、連結鉄筋の重ね継手長は、6.6.5 に従い算出し、かつ鉄筋径の 25 倍以上とする。

道示【解説】
(4)　連結部の重ね継手長は、支点が 2 箇所あること、主桁が剛な横桁で連結されていることを考慮し 1 断面に集中してもよい。また連結鉄筋の許容値は 160N/mm² 以下とすることが望ましい。

連結部に生じる有害なひび割れ発生を防ぐために、鉄筋の許容引張応力度を通常の値より小さく規定している。

【コンクリート橋設計便覧】
第 15 章　連続桁橋
15.3 プレキャスト桁架設方式連続桁
15.3.2　RC 連結方式
(5)連結部の設計

・道示に従い 160N/mm² とする。

参考

管理者等による要領（各地整）
【中部地整】【九州地整】
【近畿地整】【北海道】
中間支点上の設計曲げモーメントは「H14 年道路橋示方書・同解説Ⅲコンクリート橋編」12.3 による低減を行わないものとする。

管理者等による要領（NEXCO）
8 章　コンクリート橋
Ⅲ　構造形式各論
Ⅲ-1　PRC 橋
5. プレキャスト桁架設方式連続桁
5-3　RC 連結方式
(2)　(g)　使用材料の許容応力度は、鉄筋 SD345 は 160N/mm²、コンクリートは $\sigma_{ck}/3$ を標準とする。

【解説・補足等】
鉄筋の許容応力度は、活荷重による疲労を考慮し決定している。

学協会等の基準
コンシ【設計編：本編】
特に記述無し

参考　参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策

1)　最小鋼材量の規定

道示Ⅲ

6 章　形状及び鋼材の配置

6.4　最小鋼材量

(2)　部材には、乾燥収縮や温度勾配により有害なひび割れが発生しないように鋼材を配置しなければならない。

(4)　断面積の 0.15%以上の付着のある鋼材を配置する。

(5)　軸方向に配置する引張主鉄筋の最小断面積は以下のとおり。

1)　桁　A_{st}　≧　$0.005 b_w \cdot d$

2)　部材が薄く斜引張鉄筋を配置できない版　　A_{st}　≧　$0.01\ b_w.d$

(6)　桁に配置する斜引張鉄筋

Aw　≧　$0.002 b_w \cdot a \cdot sin0$　(異形鉄筋の場合)

道示【解説】

(4)　乾燥収縮や温度勾配によるひび割れを有害でない程度に抑えるために部材のいかなる断面においても鋼材を配置する規定。

(5)　桁部材は、引張に弱いコンクリートの急激な破壊を防ぐ目的で配置する。斜引張鉄筋が配置できない部材は急激なせん断破壊を防ぐ目的で配置する。

(6)　せん断破壊を防ぐため、スターラップは、本条の他 6.6.10 に従い配置する必要がある。

乾燥収縮や温度勾配による有害なひび割れを防ぐため、各部材に所定の鉄筋量を配置することを規定している。

【コンクリート橋設計便覧】

第 10 章　構造細目

10.2　最小鉄筋量

・道示に同じ。

参考

管理者等による要領(各地整)

特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO)

8 章　コンクリート橋

Ⅱ　設計一般

Ⅱ-1　PC 橋・PRC 橋

4.　構造細目

4-1　鋼材量

最小鉄筋量は、**道示Ⅲ6.4** による

【解説・補足等】

プレテンの場合、PC 鋼材も付着ある鋼材とし考慮してよい。ポステンは、鉄筋のみ付着ある鋼材として取扱うものとする。

学協会等の基準

コンシ【設計編：標準】

8 編プレストレストコンクリート

10 章プレストレストコンクリートの前提及び構造細目

10.7　最小鋼材料

コンクリート全断面積の 0.1%以上の鋼材を配置しなければならない。プレストレス導入前やプレストレスが導入されていない方向等には、コンクリートの収縮や温度勾配によるひび割れが生じる可能性がある。このひび割れの大きさを有害でない程度に抑えるため、いかなる断面においても、その断面積の 0.1%以上の鋼材を配意するように規定している。

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策

2) 引張鉄筋の規定

道示Ⅲ

6 章　形状及び鋼材の配置

6.5　PC 構造の引張鉄筋

(1)　PC 構造では、計算上想定しないひび割れが生じた場合でも、その幅の拡大や集中を防ぐようにしなければならない。

(3)　引張鋼材量の算出において、PC 鋼材に付着の無い場合は活荷重を 35%増しする。

(4)　配置する引張鉄筋量は、$A_s = T_c / \sigma_{sa}$　もしくは、引張応力が作用するコンクリート断面積の 0.5%以上とする。

道示【解説】

(3)　PC 鋼材とコンクリートに付着が無い場合は、ひび割れの分散を防止するため、活荷重を割増して算出。

(4)　ひび割れが発生しても、ひび割れ幅の拡大を防止するために規定。

引張応力が発生しひび割れが発生しても、そのひび割れの拡大を防ぐために、配置する鉄筋量を規定している。

【コンクリート橋設計便覧】

第 10 章　構造細目

10.2　最小鉄筋量

・道示に同じ。

参考

管理者等による要領（各地整）

特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）

8 章　コンクリート橋

Ⅱ　設計一般

Ⅱ-1　PC 橋・PRC 橋

3.　設計計算に関する一般事項

3-5　曲げモーメントおよび軸方向力が作用する部材の照査

(3)　(b)　方法 B の場合の引張鉄筋配置は**道示Ⅲ6.5** に準じる。

【解説・補足等】

方法 B において引張鉄筋を算定する場合、PC 鋼材の応力度は 5%設計値より低減した値を用いる。またポステン部材で引張鉄筋を必要としない場合でも D13ctc300 以上の鉄筋を引張縁に配置しなければならない。

学協会等の基準

コン示【設計編：標準】

8 編プレストレストコンクリート

7 章　使用性に関する照査

7.2　応力度の制限

コンクリートの縁引張応力度が引張応力となる場合には、式(7.2.1)により算定される断面積以上の引張鋼材を配置することとする。また、異型鉄筋を用いることを原則としている。

式(7.2.1)　$A_s = T_c / \sigma_{sa}$

【設計編：標準】

8 編プレストレストコンクリート

10 章プレストレストコンクリートの前提及び構造細目

10.7　最小鋼材料

7.2 の規定で配置される引張鋼材はφ9mm 以上、300mm 以下の間隔で配置することと規定している。

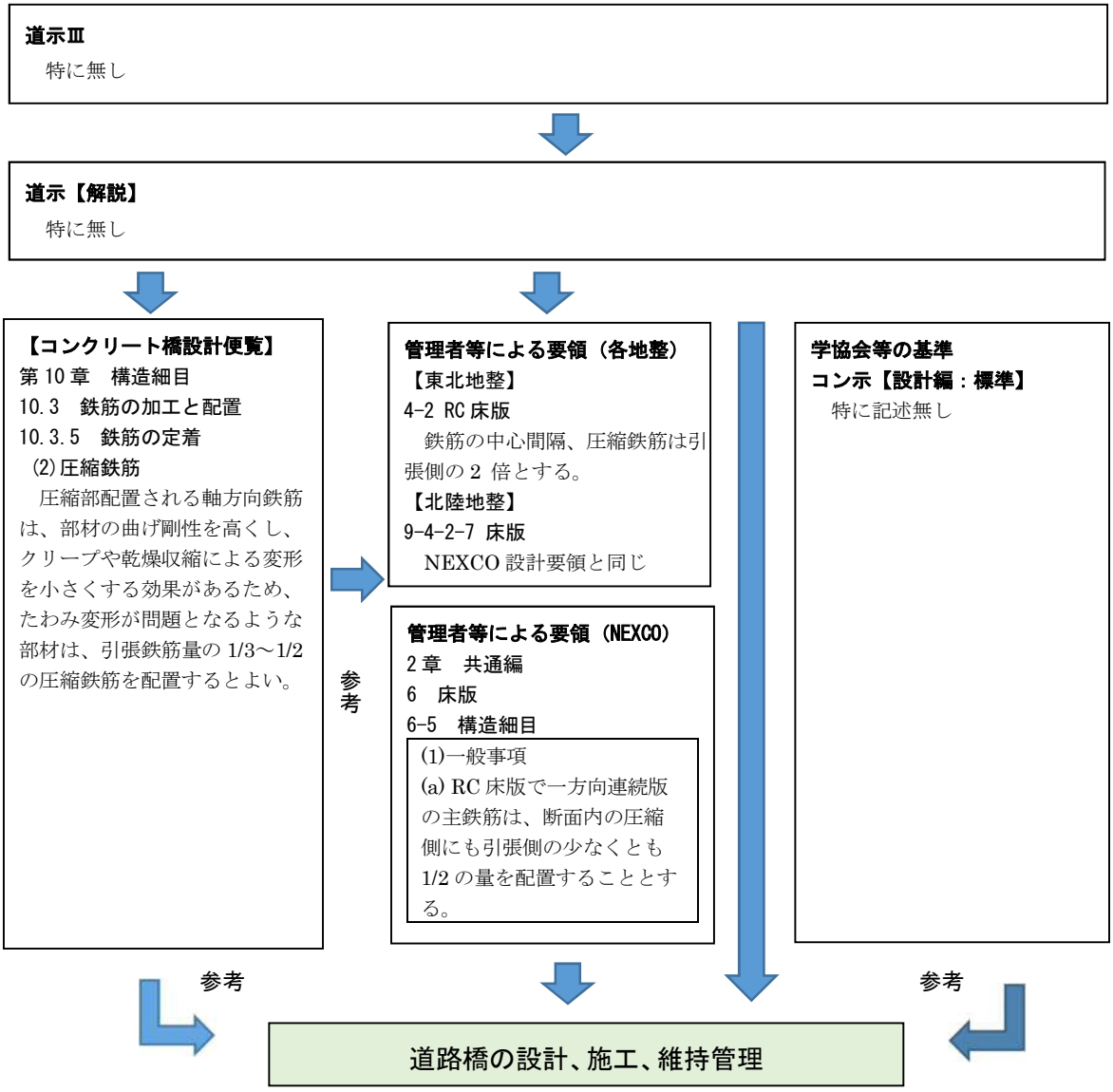
参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策

3)　圧縮鉄筋の規定



【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策

4)　スターラップ及び折り曲げ鉄筋の規定

道示Ⅲ

6.6.10　スターラップ及び折曲げ鉄筋の配置

(3)　プレテンを除きスターラップ及び折曲げ鉄筋は D13 以上とする。

(4)　スターラップピッチは有効高さ 1/2 以下かつ ctc300 以下、また計算から算出された場合、桁高の 3/4 以下かつ ctc400 以下とする。

道示【解説】

(3)　道路橋の桁は断面が大きいことから、確実な施工ができるように鉄筋径を規定。

(4)　横方向の用心鉄筋とし乾燥収縮によるひび割れを防止するために規定。

確実な施工と乾燥収縮によるひび割れを防止するために、鉄筋量を規定している。

【コンクリート橋設計便覧】

第 10 章　構造細目

10.3　鉄筋の加工と配置

10.3.10　スターラップ及び折曲げ鉄筋の配置

・道示に同じ

(4)スターラップの継手

重ね継手長は（La＋20φ）以上とする

参考

管理者等による要領（各地整）

特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）

特に記述無し

学協会等の基準

コン示【設計編：標準】

7 編　鉄筋コンクリートの前提および構造細目

2 章　鉄筋コンクリートの前提

2.3　鉄筋の配置

2.3.2　横方向鉄筋の配置

棒部材には 0.15%以上のスターラップを部材全長にわたって配置することとする。その間隔は部材有効高の 3/4 倍以下かつ 400mm 以下を原則と規定している。

計算上せん断補強鋼材が必要な場合はスターラップの間隔は部材有効高の 1/2 倍以下かつ 300mm 以下を原則と規定している。

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策

5)　ねじり鉄筋の規定

道示Ⅲ

6.6.11　ねじりモーメントに対する鉄筋配置

(3)　ねじり鉄筋は D13 以上とする。

(5)　横方向鉄筋ピッチは部材長辺の 0.4 倍以下かつ ctc300 以下とする。

(6)　軸方向鉄筋は各隅部に配置し、ctc300 以下とする。

道示【解説】

(5)(6)　ねじりによるひび割れが必ず鉄筋を横切るように設定

確実な施工と乾燥収縮によるひび割れを防止するために、鉄筋量を規定している。

【コンクリート橋設計便覧】

第 10 章　構造細目

10.3　鉄筋の加工と配置

10.3.12　ねじりモーメントに対する鉄筋配置

・道示に同じ

参考

管理者等による要領（各地整）

特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）

特に記述無し

学協会等の基準

コンシ【設計編：標準】

7 編　鉄筋コンクリートの前提および構造細目

2 章　鉄筋コンクリートの前提

2.3　鉄筋の配置

2.3.3　ねじり補強鉄筋の配置

棒部材に配置する最小ねじり補強鉄筋は式(2.3.1)によるものと規定されている。

軸方向鉄筋量

$$\Sigma A_{tl} = M_{tud} \cdot u / (3 \cdot A_m \cdot f_{ld})$$

横方向鉄筋量

$$A_{tw} = M_{tud} \cdot s / (3 \cdot A_m \cdot f_{wd})$$

ねじり補強鉄筋は併合した横方向鉄筋とこれに直交する軸方向筋との組合せとし、軸方向鉄筋は、部材断面上下左右対称に配置されていなければならない。

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策

6) 用心鉄筋の規定

道示Ⅲ

6.6.13 用心鉄筋

(1) コンクリートの乾燥収縮、温度勾配、応力集中等により生じる可能性のあるひび割れを有害でない程度に抑えるように鉄筋を配置しなければならない。

(3) 場所打ち桁ではウェブ等の側面に D13ctc300 以上の軸方向鉄筋を配置する。

(4) 打継目付近には、新旧コンクリートの温度差、乾燥収縮等対し用心鉄筋を配置する。

(5) 下フランジや隔壁等の開口部周辺には、応力集中に対しての用心鉄筋を配置する。

(6) 床版部には、プレの腹圧によりコンクリートが破損しないように用心鉄筋を配置する。

(7) 小さなフランジには、架設時の引張応力に対し用心鉄筋配置が望ましい

(8) 大きな圧縮応力を受ける下フランジには十分な用心鉄筋を配置するのがよい。

道示【解説】

(5) 開口部で設置できなくなった鉄筋量相当を周辺に配置するとともに、開口部の隅に対して用心鉄筋を配置し、十分定着させる。

(6) PC 鋼材分力により引張応力が生じる箇所は腹圧分力相当の鉄筋量を配置する。

道路橋示方書では(4)、(7)、(8)については具体的な鉄筋量は示されていない。

【コンクリート橋設計便覧】

第 10 章 構造細目

10.3 鉄筋の加工と配置

10.3.14 用心鉄筋

(1)軸方向用心鉄筋

ウェブの軸方向鉄筋は、道示の規定以外に、ウェブ断面積の 0.2%程度配置するのが望ましい。

(2)打継目付近の用心鉄筋

打継目のひび割れを有害でない程度に抑えるとし、以下に示すように配置するのが望ましい。

1) 一段目は 5～7.5cm の近接に配置する

2) 打継面から 50cm 程度の範囲で D13 以上を ctc10～15cm 配置する

3) その 50cm の範囲では、断面積の 0.2%以上の鉄筋量を配置する

(5)架設時に生じる引張応力に対する用心鉄筋

設計計算と異なる恐れがある場合には、コンクリートに引張応力が生じると思われる部分に、あらかじめ用心鉄筋を配置しておくのが望ましい。

参考

管理者等による要領（各地整）

特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）

8 章 コンクリート橋

Ⅱ 設計一般

Ⅱ-1 PC 橋・PRC 橋

4. 構造細目

4-2 鉄筋の配置

(1) 鉄筋の径と配置間隔は、コンクリートの施工性とひび割れ分散性を考慮して決定しなければならない

(4) ポステン部材の鉄筋は、組み立て筋を除き、D13ctc300 以上の鉄筋配置を標準とする。

(5) 用心鉄筋は**道示Ⅲ**6.6.13 により、コンクリートの応力度が集中するまたは急変する位置、部材の結合位置に配置しなければならない。

【解説・補足等】

(1) 最大鉄筋径 D25、最小配置間隔 ctc100 を標準とする

(4) 施工性と鉄筋の効果を期待し、ポステン部材の表面近くは少なくとも D13ctc300 以上の鉄筋を網目状に配置することとした。

学協会等の基準

コンシ【設計編：標準】

7 編 鉄筋コンクリートの前提および構造細目

4 章 その他の構造細目

4.2 露出面の用心鉄筋

コンクリートの収縮及び温度変化による有害なひび割れを防ぐため、広い露出面を有するコンクリートの表面には、露出面近くに用心鉄筋を配置しなければならない。用心鉄筋の間隔が小さいほどひび割れを低減するのに有効であるため、細い鉄筋を小間隔に配置するのがよい。

4.3 集中反力を受ける部分の補強

過大な応力集中が生じる部分ではその悪影響を考えて補強しなければならない。

4.4 開口部周辺の補強

開口部周辺には、応力集中その他によるひび割れに対して、補強のための鉄筋を配置しなければならない。

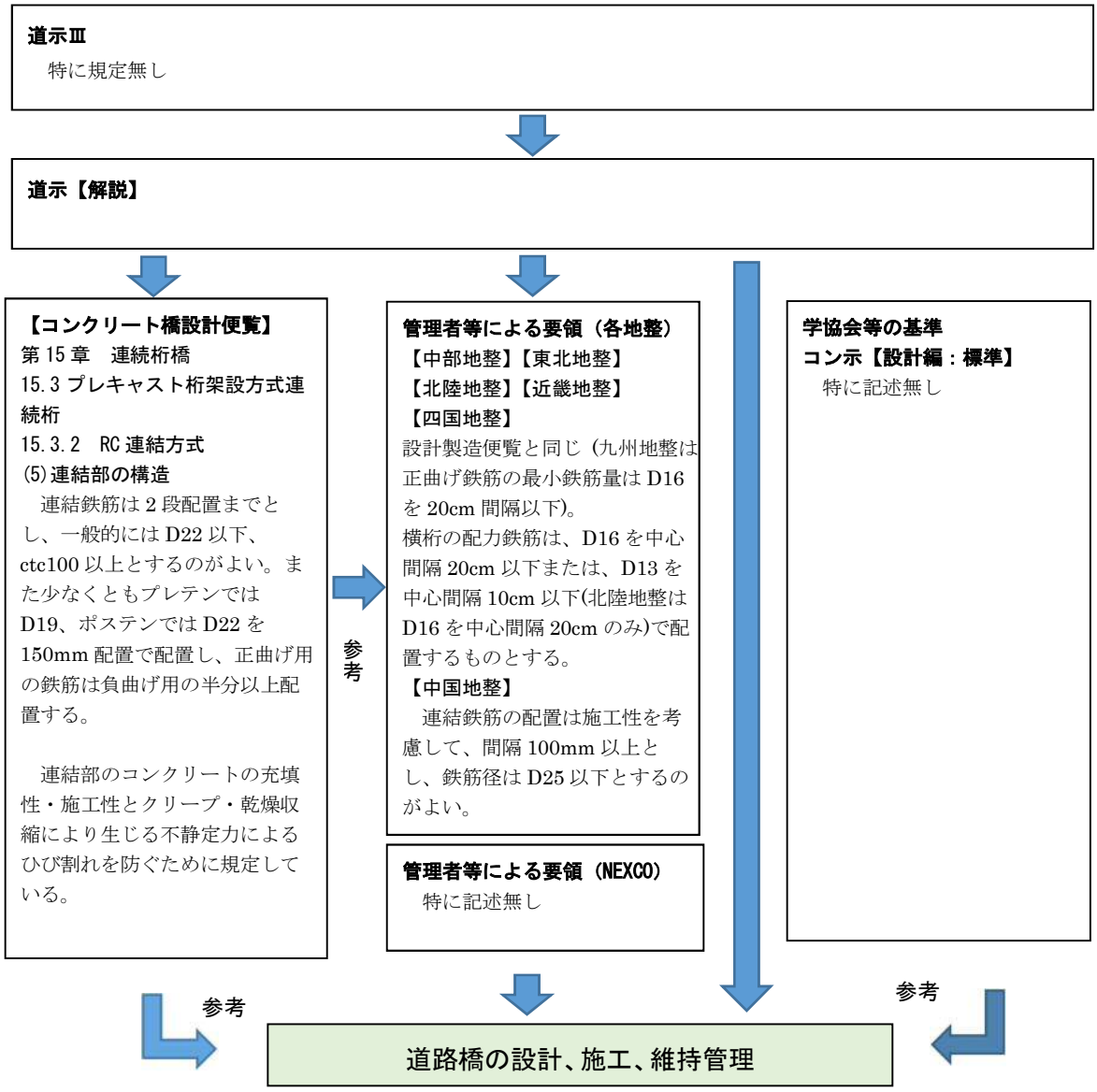
参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

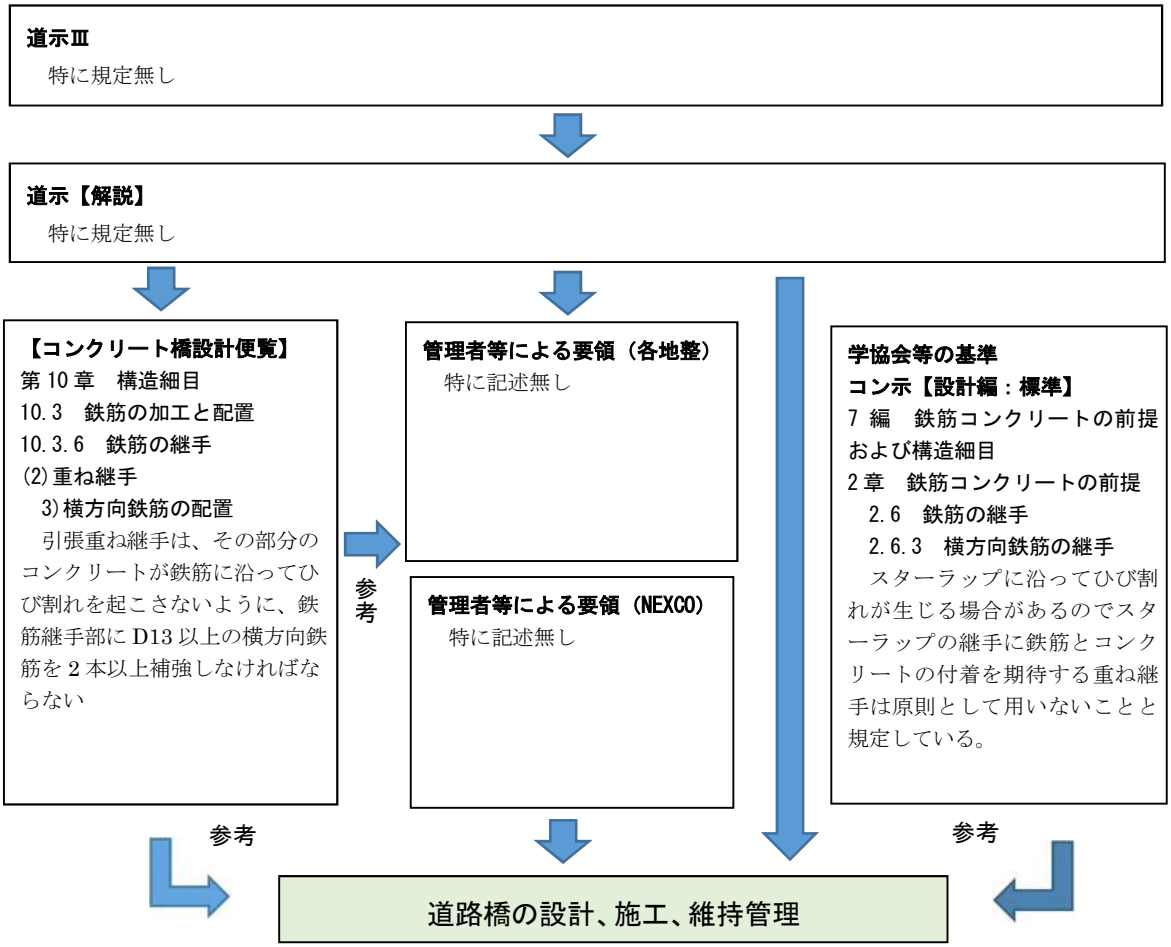
【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策

7)　連結鉄筋の規定



【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策

8)　鉄筋の継手



【5】鋼材のかぶり規定によるひび割れ防止対策

道示Ⅲ

6章　形状及び鋼材の配置

6.6　鋼材の配置

6.6.1　鋼材のかぶり

(1)　コンクリートと鋼材との付着を確保し、鋼材の腐食を防ぎ、火災に対して鋼材を保護する等のために必要なかぶりを確保しなければならない。

(2)　かぶりは、鉄筋の直径以上かつ表 6.6.1 の値以上とする場合においては、(1)を満たすものとする。

表 6.6.1 の値を以下に示す

- 床版、地覆、高欄、支間 10m 以下の床版橋　30mm
- 工場で製作されるプレストレストコンクリート構造(桁)　25mm
- 左記以外の桁及び支間が 10m を超える床版橋(桁)　35mm

道示【解説】

(4)　コンクリートと鋼材の付着を確保し、鋼材の腐食を防ぎ、火災に対して鋼材を保護するためには、鋼材をコンクリートで十分に包んでおく必要がある。

鋼材の腐食によるコンクリートのひび割れを防ぐために鋼材のかぶりを規定した。

【コンクリート橋設計便覧】

第 10 章　構造細目

10.3　鉄筋の加工と配置

10.3.2　かぶり

・道示に同じ

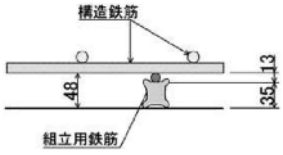
また、道示に規定されていないシースのかぶりについて記載されている。

「シースがスターラップ等によって取り囲まれずに用いられるときは、一般にシース径以上のかぶりを設けるのがよい」としている。

参考

管理者等による要領（各地整）

【中部】　対象となる構造物の設計・照査にあたっては、組立用鉄筋によるかぶりの増加を考慮して鉄筋の有効高を算定する必要がある。



【東北】【北陸】【近畿】【九州】【四国】【中国】　道示に同じ。組立て鉄筋についても所定のかぶりを確保する必要がある。

【北海道】　シースのかぶりは、シースの直径の 1.0 倍以上が望ましい。

管理者等による要領（NEXCO）

2章　共通　　1. かぶり

(1)　かぶりは、最小厚を確保するとともに、要求される耐久性、施工誤差等を考慮して定めなければならない。

(2)　やむを得ず標準かぶり内に鉄筋を配置する場合は、防錆処理された鉄筋を用いるなど、耐久性を確保する対策を検討しなければならない。

【解説・補足等】

(道示＋10mm(PCa は＋5mm))。

- 床版、地覆、支間、10m 以下の床版橋　40mm
- 高欄　70mm
- 工場で製作される PC 構造(桁)　30mm
- 左記以外の桁及び支間が 10m を超える場合　45mm

学協会等の基準

コンシ示【設計編：標準】

2 編　耐久性に関する照査

3 章　一般的な環境下における構造物のかぶり

3.2　水セメント比の最大値と最小かぶりの標準値

かぶりの最小値

柱　　：45±15mm

はり　：40±10mm

スラブ：35±5mm

橋脚　：55±15mm

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【6】鋼材のあき規定による充填不良防止対策

道示Ⅲ
6 章　形状及び鋼材の配置
6.6　鋼材の配置
6.6.2　鋼材のあき
(4)　主鉄筋及び PC 鋼材のそれぞれのあき等は、40mm 以上かつ粗骨材部最大寸法の 4/3 倍以上とする。ただしプレキャスト部材は、それぞれ 20mm 以上かつ 4/3 倍以上とする。

道示【解説】
(4)　コンクリートの締固めには一般に直径 50～60ｍｍ程度の内部振動機が使用されるため、底版の型枠まで容易に挿入でき、締固めが出来るあきを設ける必要がある。

施工時のコンクリート充填不具合を防ぐためにあきの確保と、内部振動機挿入のスペース確保を規定した。

【コンクリート橋設計便覧】

第 10 章　構造細目
10.3　鉄筋の加工と配置
10.3.3　鋼材のあき
・道示に同じ

参考

管理者等による要領（各地整）
【東北地整】
棒状バイブレーター挿入のためのあきを 1 ヶ所以上設けるものとする。

【中部地整】
PC 鋼材のシースの水平方向のあきは振動機の挿入に配慮し 60mm 以上確保する。

管理者等による要領（NEXCO）
8 章　コンクリート橋
Ⅱ　設計一般
Ⅱ-1　PC 橋・PRC 橋
4.　構造細目
4-3　PC 鋼材の配置
(1)　PC 鋼材のあきは、**道示Ⅲ**6.6.2 にもよるが、60mm 以上を標準とする。また、原則として棒状バイブレーターを挿入しえるあきを 1 箇所以上確保する。

【解説・補足等】
施工性を考慮し、棒状バイブレーターの挿入スペースを確保させることを規定した

学協会等の基準
コン示【設計編：標準】
8 編　プレストレストコンクリート
10 章　プレストレストコンクリートの前提及び構造細目
10.4　鋼材のあき
緊張材やシースの周辺にコンクリートが十分行きわたり、確実にコンクリートが締固められるように、緊張材あるいはシースのあき、緊張材あるいはシースと鉄筋のあきを確保しなければならない。
一般に締固めには直径 50mm 程度の内部振動機が使用されるため、水平方向のあきを 60mm 以上とするのがよいとされている。

参考　参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【7】PC 鋼材配置の規定によるひび割れ防止対策

道示Ⅲ

6.6.6　PC 鋼材の配置

(3)　PC 鋼材は、部材縁において有害なひび割れが生じないように配置しなければならない。

(5)　PC 鋼材は、定着具の支圧面から所定の区間を直線状に配置する。

(6)　PC 鋼材を曲線状に配置する場合の鋼材の曲げ半径は以下の値以上とする。

シース用いる場合　シース径の 100D

シース用いない場合　鋼材径の 40D

(7)　曲げモーメントの符号が異なる断面付近では、PC 鋼材を部材断面に分散させて配置するのが望ましい。

道示【解説】

(5)　軸方向以外の力を作用させないため直線区間を 400mm 以上確保することが望ましい。

(6)　中心方向への分力による局部的な応力や鋼材への付加応力を発生させないために最小半径を規定した。

(7)　図心位置に集中して配置すると部材縁では鋼材が少なくひび割れが生じやすいため、分散配置が望ましい。

PC 鋼材配置上の不具合から発生するひび割れを防止するために、PC 鋼材配置上の制約事項等を規定した。

【コンクリート橋設計便覧】

第 10 章　構造細目

10.3　鉄筋の加工と配置

10.3.8　定着具の配置

・道示に同じ

また、以下の注意点が示されている。

(1)定着位置の選定

(2)定着用切欠き部

(3)定着用突起部

参考

管理者等による要領（各地整）

【九州地整】

プレテンション桁の横締め PC 鋼材の定着部において、緊張方向と支圧面が斜角を有する場合、支圧面には水平分力が発生するため、施工上その対策を講じておく必要がある。

管理者等による要領（NEXCO）

特に記述無し

学協会等の基準

コンシ【設計編：標準】

8 編　プレストレストコンクリート

10 章　プレストレストコンクリートの前提及び構造細目

10.5　緊張材の配置

付着のある内ケーブルにおいては PC グラウトを十分に充填できることを照査された緊張材配置とするのがよい。

緊張作業中に軸方向力以外の力を与えないために、定着具の支圧面から一定の区間では定着具の軸線に一致させて直線配置することとした。

緊張材を湾曲して配置する場合の曲げ内半径はコンクリートに作用する支圧応力度が過大な値とならないように定めなければならない。コンクリートと緊張材が直接接触する場合には緊張材の直径の 40 倍以上とする。湾曲したダクトに配置された緊張材で、後で付着を起こさせる場合は、ダクト直径のおよそ 100 倍以上とするのがよい。

荷重の組み合わせにより曲げモーメントが交番して作用する断面付近においては、緊張材を断面の図心位置に集中させず、部材断面の上下縁近くに分散させて配置するのが望ましい。

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【8】PC 鋼材定着の規定によるひび割れ防止対策

1)　PC 鋼材の定着

道示Ⅲ

6.6.7　PC 鋼材の定着

(1)　定着具の位置は、部材に所定のプレストレスが導入できるように、また、部材に有害なひび割れが生じないように選ばなければならない。

(3)　部材の中間に定着させる場合、応力変動の少ない断面図心に近い位置か、圧縮部に定着させる。

道示【解説】

(3)　定着具付近には局部応力の影響や定着具背面には引張応力によるひび割れが生じやすいことから、上部の様に規定した。

　また、プレテン部材でも、ボンドレス付近に局部応力が発生しやすいため、ボンドレス鋼材は全鋼材本数の 1/2 以下、またその範囲は支間の 1/5 以下が望ましい、と解説している。

PC 鋼材定着位置の設定不具合から発生するひび割れを防止するため、定着位置に関する制約事項等を規定した。

【コンクリート橋設計便覧】

第 10 章　構造細目

10.3　鉄筋の加工と配置

10.3.9　定着具付近の補強

・道示に同じ

　また、以下の場合の補強筋配置の計算方法が示されている。

(1)部材端部定着

(2)切欠き定着部

(3)突起定着部

(4)中間埋め込み定着部

参考

管理者等による要領（各地整）

　特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）

8 章　コンクリート橋

Ⅲ　構造形式各論

Ⅲ-1　PRC 橋

4. 連続げた橋

4-4　構造細目

　PC 鋼材は、原則として主桁全長に渡って連続的に配置する。やむを得ず中間部で定着する場合は、Ⅱ-1.4-4 の規定によらなければならない。

学協会等の基準

コンシ【設計編：標準】

8 編　プレストレストコンクリート

10 章　プレストレストコンクリートの前提及び構造細目

10.6　緊張材の定着、接続および定着部付近のコンクリートの補強

　部材端部に定着具を配置する場合には、定着部コンクリートに有害なひび割れが生じないように定着間隔及び緊張順序を定め、定着部付近のコンクリートは鉄筋で適切に補強しなければならない。

　部材中間部に定着具を配置する場合には、原則として定着体をコンクリート中に埋め込むものとする。突起定着及び切欠き定着を行う場合には断面の急変による応力の乱れが部材の性能に悪影響を及ぼさないように断面形状および寸法を定め、鉄筋で適切に補強しなければならない。

　定着具背面に生じる引張力に対する補強鉄筋には、定着具補強、らせん鉄筋または格子状に配置した鉄筋を用いるのがよい。

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【8】PC 鋼材定着の規定によるひび割れ防止対策

2)　PC 鋼材定着具の補強

道示Ⅲ

6.6.8　定着具付近の補強

(3)　PC 鋼材定着具付近のコンクリートは、PC 鋼材と直角な方向に生じる引張力に対してスターラップ、格子状の鉄筋、らせん鉄筋等で補強する。

(4)　部材中間に定着具を設ける場合は、定着具付近のコンクリートに対して鉄筋で補強する。

道示【解説】

(3)　定着具付近のコンクリートは集中荷重が作用するため、他方面に複雑な引張力が生じる。

(4)　道示では①埋め込み定着、②突起定着、③切欠き定着の補強方法が示されている。

局部応力が発生しやすい PC 鋼材定着付近のひび割れを防止するため、その補強方法等を規定した。

【コンクリート橋施工便覧】

第 5 章　型枠および支保工

5.2　荷重

5.2.4　プレストレスの影響

PC 橋に用いる型枠および支保工として、部材にプレストレスを与えるとき、コンクリートに弾性変形を拘束しない構造を選ばなければならない。

コンクリートにプレストレスを与える時、型枠や支保工に拘束されたままでは、型枠の脱型が困難となりオーバープレストレスの可能性も生じることから、ひび割れが生じるケースがある。

参考

管理者等による要領（各地整）

特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）

8 章コンクリート橋

Ⅱ　設計一般

Ⅱ-1　PC 橋・PRC 橋

2-4　外ケーブル

2-4-2　定着部の設計

(1)　外ケーブル定着部の設計においては、ケーブル緊張力等によって各部材に発生する応力を適切な手法で評価した上で、所要の耐荷力、耐久性を確保しなければならない

(2)　外ケーブルは、支点横桁もしくは隔壁（ダイヤフラム、リブ）を設けて定着することを標準とする。

(4)　定着具近傍の補強は**道示Ⅲ-6.6.8** の補強による。

【解説・補足等】

(1)　定着突起などのコンクリート部材は RC 構造として設計され、FEM 解析で得られたコンクリートの引張応力を全て鉄筋で受け持つものと仮定して鉄筋の引張応力度の照査を行う。一般的には、許容値は過度なひび割れの発生を防ぐため σ 析＝120N/mm² 程度、σ 度、-3.0N/mm² 程度としている。また、コン示に示す許容ひび割れ幅以内とする場合もある。

(2)　定着部の設計では、定着部の状況を勘案した適切なモデルで FEM 解析等を実施し補強量を算出するものとする。ただし**表 8-2-8** に示す簡易法を用いてもよい。

学協会等の基準

コン示【施工編：特殊コンクリート】

10 章　プレストレストコンクリート

10.2.3.4　定着具及び接続具の組立及び配置

緊張材が定着具支圧面に直角になっていないと定着する時に局部的な曲げが生じ、破断や定着できなくなるおそれがある。そのため定着具と緊張材が直角になるように取り付けることが望ましい。

10.2.4　型枠および支保工

型枠及び支保工は緊張の際にコンクリート部材が自由に収縮できるように計画する。

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【9】床版

1)　床版厚

道示Ⅲ

7 章　床版

7.3　床版厚さ

7.3.1 鉄筋コンクリート床版

(3)　車道部の最小全厚は 160mm 又は表-7.3.1 に示す値のうち大きい値とする。

(4)　歩道部の最小全厚は 140mm とする。

7.3.2 プレストレストコンクリート床版

(3)　車道部の最小全厚は次による。

1)　いかなる部分も 160mm を下回らない。

2)　片持版の先端厚は表-7.3.1 の 50%以上

3)　床版支間が車両進行方向に直角の場合、表-7.3.1 の 90%以上、床版支間が車両進行方向の場合、表-7.3.1 の 65%以上。

(4)　歩道部の最小全厚は 140mm とする。

7.5　床版と支持桁の結合

(5)　ハンチには、その内側に沿って鉄筋を配置することを原則とする。ハンチに沿う鉄筋は D13 以上とする。

道示【解説】

7.3.2

鉄筋コンクリート床版は、大型車の影響や設計・施工の影響等が複雑に影響し、昭和 40 年頃に鉄筋コンクリート床版の損傷が問題となったため、最小厚さを規定。

【コンクリート橋設計便覧】

第 11 章　床版

道示に同じ

第 10 章　構造細目

10.3　鉄筋の加工と配置

10.3.13　ハンチに沿う鉄筋

構造解析上ハンチの形状を無視する場合、主鉄筋の 1/2 程度以上の鉄筋をハンチに沿って配置すればよい。

参考

管理者等による要領（各地整）

【東北地整】

道示と同じ。

圧縮鉄筋の配置間隔は引張鉄筋の 2 倍とする。

管理者等による要領（NEXCO）

2 章　共通編

6　床版

6-5　構造細目

(2)　一般事項

(b)　RC 床版で一方向連続版の主鉄筋は、断面内の圧縮側にも引張側の少なくとも 1/2 の量を配置することとする。

(c)　種類及び配筋は、コンクリートの施工が十分に行え、かつ有害なひび割れが生じない鉄筋径及び間隔とする。

(3)　床版の鉄筋は D13~D19 および D22 を標準とする。

(4)　鉄筋の中心間隔は ctc100～300。ただし、床版支間方向の引張主鉄筋の間隔は床版厚以下とする。

学協会等の基準

コンシ【設計編：標準】

7 編　鉄筋コンクリートの前提および構造細目

3 章　部材の構造細目

3.3　スラブの構造細目

3.3.1　一般

あまり薄いスラブでは施工の不完全による弱点がスラブの強度に大きな影響を及ぼすのでスラブの最小厚は 80mm とした。

スラブの正鉄筋及び負鉄筋の中心間隔は、最大曲げモーメントの生じる断面でスラブ厚さの 2 倍以下で、300mm 以下としなければならない。主鉄筋間隔をあまり大きくするとコンクリートと鉄筋とが一体として作用しない場合があるため制限を設けてある。

3.3.7　フラットスラブ

スラブの厚さは 150mm 以上でなければならない。

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【9】床版

2)　鉄筋配置

道示Ⅲ

7.6　鉄筋の種類及び配筋

(1)　床版に用いる鉄筋の種類及び配筋は、コンクリートの施工が十分に行え、かつ有害なひび割れが生じない鉄筋径及び間隔とする。

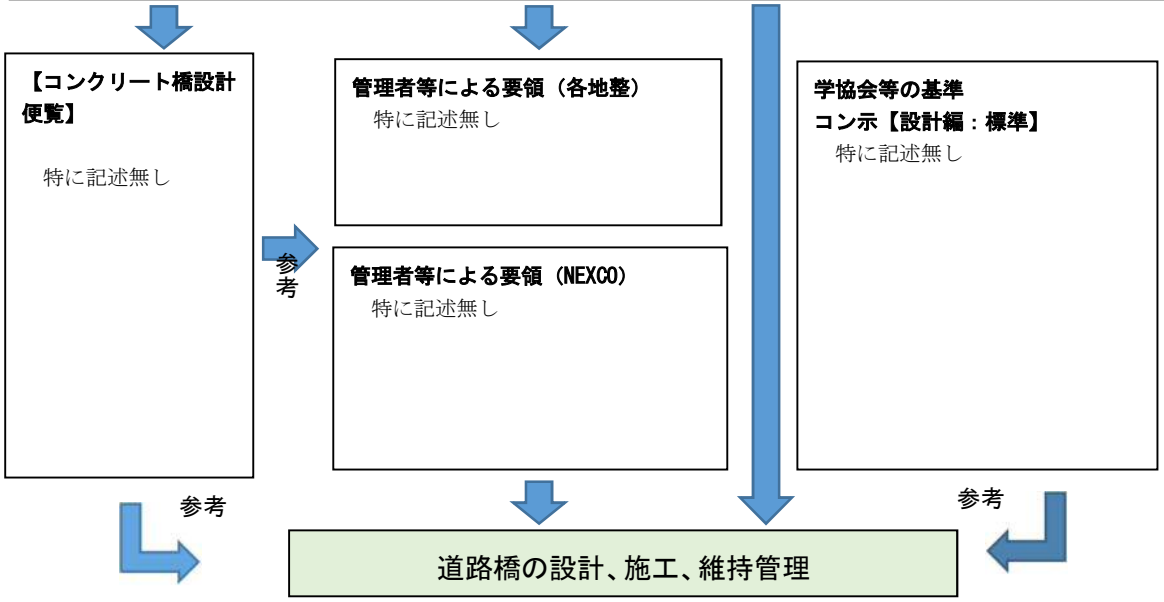
(3)　床版の鉄筋は D13~D19 および D22 を標準とする。

(4)　鉄筋の中心間隔は ctc100～300。ただし、床版支間方向の引張主鉄筋の間隔は床版厚以下とする。

道示【解説】

(3)　太径鉄筋は大きなひび割れが生じやすいため標準的な径を規定。一般的に D13～D19 が望ましく D22 は鉄筋配置が困難な場合とする。

(4)施工性と輪荷重が集中的に作用しないように規定。



【10】構造形式別の防止対策

1)　床版橋

道示Ⅲ

8 章　床版橋

8.4　断面寸法及び鋼材の配置

(1)　断面には、温度や乾燥収縮等によって有害なひび割れが生じないように鉄筋を配置するとともに、断面は施工の容易な構造としなければならない。

(2)　斜め床版橋に対しては、作用する断面力に対し有効な鉄筋配置とするとともに、局部的に発生する応力に対し補強を行わなければならない。

(5)　場所打ちコンクリート中空床版橋の断面の最小寸法は、図-8.4.1 のとおりとする。

(6)　床版橋の引張主鉄筋は D13 ctc200 以上､版の上・下面の主方向・横方向とも D13ctc300 以上の鉄筋を配置する。また、斜め床版は図-8.4.2 に示す鉄筋を配置する。

(8)　斜め床版橋の鈍角部の版下面には支承反力に対し D13ctc200 以上の鉄筋を配置する。

道示【解説】

(5)　円孔の最大径は 1000mm 程度とするのがよい。円孔が大きいと曲げモーメントの影響が生じ床版としての挙動を示すため、1200mm を超える場合は、別途床版として検討を行うのが望ましい。

(6)　床版橋の版上側及び下側に配置する引張主鉄筋を含む鉄筋の最小径と最大間隔を規定。

(8)　鈍角部支承付近に生じる支圧応力度に対し、用心鉄筋を規定。

【コンクリート橋設計便覧】

第 12 章　床版橋

基本的に道示に同じ

参考

管理者等による要領（各地整）

特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）

特に記述無し

学協会等の基準

コン示【設計編：標準】

特に記述無し

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【10】構造形式別の防止対策

2)　Ｔ桁橋

道示Ⅲ
9 章　Ｔ桁橋
9.2　設計一般
(1)　Ｔ桁橋は、横桁や床版によって複数の主桁に適切に荷重分配されるとともに、床版に有害なひび割れ等の影響を及ぼさないような構造としなければならない。
(2)　支点部の構造は、主桁や支承等の変形により床版等が有害なひび割れ等を受けないような構造としなければならない。

道示【解説】
(4)　中間横桁の減少は、主桁間の荷重分配作用を低下させ床版の支間曲げモーメントに影響を与えることを考慮し規定している。

【コンクリート橋設計便覧】
第 13 章　Ｔげた橋
13.1　一般
13.1.1 設計一般
(4) 曲線区間への対応
　2) 横断勾配への対応
　部材が薄く転倒しやすいＴ桁に対し、主桁横断勾配の対処方法を規定
(a)プレＴ
・4%未満は上フランジに余盛
・4%以上は勾配コンクリート・舗装で調整
(b)ポストＴ
・2%未満は勾配コンクリート
・2%以上は、2%を上フランジに余盛し、残りを勾配コンクリート・舗装で調整

参考

管理者等による要領（各地整）
【東北地整】【北陸地整】
【近畿地整】【九州地整】
【四国地整】【中国地整】
　道示と同じ。
　横断勾配への対応は設計便覧と同じ。
　また、**近畿・九州・中国地整**のポストＴの横断勾配への対応では
・6%未満はフランジと横断勾配を平行する。
・6%以上はフランジの傾き＋舗装厚で調整する。）

管理者等による要領（NEXCO）
　特に記述無し

学協会等の基準
コンⅰ示【設計編：標準】
7編　鉄筋コンクリートの前提および構造細目
3 章　部材の構造細目
　3.1　部材の構造細目
　3.1.1　はりの構造細目
　Ｔ桁ばりの突縁の厚さは 80mm 以上、腹部の厚さは 100mm 以上としなければならない。
　温度変化、収縮によって腹部に鉛直に生じるひび割れに対し、はりの腹部に水平な用心鉄筋(腹部の断面積の 0.2%以上の断面積の鉄筋を中心間隔 300mm 以下)で配置するのがよい。

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【10】構造形式別の防止対策

3)　箱桁橋

道示Ⅲ
10 章　箱桁橋
10.5　開口部の補強及び下フランジとウェブの構造
(1)　開口部を設ける場合はその周辺を補強しなければならない。
(2)　ウェブの橋軸方向と下フランジ上下面の橋軸方向及び橋軸直角方向には、D13ctc250 以上の鉄筋を配置しなければならない。

道示【解説】
(1)　開口部により切断される鉄筋量以上の補強筋を配置する必要がある。
(2)　構造特性を発揮させるためにねじりモーメント等に対しても十分な抵抗力を持たせるため鉄筋量を規定。
　また、桁高変化がある場合は下床版部に配置された PC 鋼材によって下側に腹圧力が作用するため、必要な床版厚保を確保し、十分な鉄筋で補強することとしている。

【コンクリート橋設計便覧】
第 10 章　構造細目
10.3　鉄筋の加工と配置
10.3.14　用心鉄筋
(3)開口部付近の用心鉄筋
　1)切断された鉄筋量以上の補強鉄筋を配置する。
　2)補強鉄筋長さは、開口部の辺長に定着長 2･La を加えた長さ以上。
　3)隅角部には補強鉄筋と同じ鉄筋径を 2 例以上配置。

第 14 章　箱げた橋
　道示に同じ

参考

管理者等による要領(各地整)
　特に記述無し

管理者等による要領(NEXCO)
　特に記述無し

学協会等の基準
コン示【設計編：標準】
7編　鉄筋コンクリートの前提および構造細目
3 章　部材の構造細目
　3.1　部材の構造細目
　3.1.1　はりの構造細目
　箱桁ばりの上スラブ及び下スラブの厚さは 80mm 以上、腹部の厚さは 100mm 以上としなければならない。
　温度変化、収縮によって腹部に鉛直に生じるひび割れに対し、はりの腹部に水平な用心鉄筋(腹部の断面積の 0.2%以上の断面積の鉄筋を中心間隔 300mm 以下)で配置するのがよい。

参考　　参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【10】構造形式別の防止対策

4) 合成桁橋

道示Ⅲ

11　合成桁橋

11.2　設計一般

(1)　合成桁の設計は、施工段階ごとの構造系の変化を考慮して設計しなければならない。

(5)　プレキャスト桁の断面形状は、架設時の安全性についても考慮して決定する。

11.3　桁と床版の接合

(6)　主桁のウェブに配置されたスターラップは、床版まで貫通させて十分な定着を行う。また、ねじりの影響を考慮する必要のある場合は、接合面の急激な破壊が生じないように、用心鉄筋を配置する。

道示【解説】

11.2

(1)　合成桁橋は、施工順序及び施工工程により、同一断面内の応力分布が異なるため、あらかじめ想定した施工条件に従い、合成前及び合成後のそれぞれの施工段階ごとの応力度を算出し、合成応力度を求める必要がある。

(5)　合成桁に使用するプレキャスト桁は、上フランジ幅が支間に比べて狭い上にウェブが薄く、横方向の剛性が小さいため、架設中の横座屈等に対する検討も行い断面形状を決定する必要がある。

11.3

曲線橋や斜角の小さな橋では、接合面に急激な破壊が生じないように用心鉄筋を配置する必要がある。その際、スターラップと用心鉄筋で接合面の断面積の 0.2%以上を目安としてよい。

【コンクリート橋設計便覧】

第 19 章　合成げた橋

道示に同じ

19.4　構造細目

19.4.2　ずれ止め鉄筋

D13 以上の鉄筋を ctc10～50cm で配置しなければならない。また破壊に対する安全度を確保するために、ずれ止めの最小鉄筋量は、主桁と床版の結合の面積の 0.2%以上と定められている。

参考

管理者等による要領（各地整）

【東北地整】

ずれ止め鉄筋は D13 以上を 50cm 間隔以下で配置。

管理者等による要領（NEXCO）

8 章コンクリート橋

Ⅲ　構造形式各論

Ⅲ-1　PRC 橋

2　合成げた橋

2-3　主げたの設計

(1)　(d)　コンクリートのクリープ係数および乾燥収縮度が±ンクリ変動した状態も考慮して応力殿検討を行うことを標準とする。

【解説・補足等】

PC 桁と床版とのクリープ及び乾燥収縮の差により生じる断面力を設計計算に考慮することを原則とし、規定した。

学協会等の基準

コンシ【設計編：標準】

特に記述無し

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【10】構造形式別の防止対策

5) 連続構造

道示Ⅲ

14 章　連続構造

14.4　中間支点部及び節点部の構造

(4)　連続構造の中間支点部付近には、ウェブ及び桁下縁側に用心鉄筋を配置する。

道示【解説】

(4)　連続桁の中間支点付近は断面力（M､S）が最大となり、かつ集中的な支点反力の影響で応力状態も複雑となる。またウェブには水平方向の引張応力、桁下縁には設計以上の大きな圧縮応力が生じること等があるので用心鉄筋を配置する。

【コンクリート橋設計便覧】

第 15 章　連続桁橋

15.2　一般

15.2.3　構造細目

(2)　鉄筋の配置

一般的には D16ctc150 以上の事例が多い。

参考

管理者等による要領（各地整）

【東北地整】

柱頭部はマスコンクリートとして打設され、ひび割れが発生しやすい。施工段階において必要に応じて、打設時の気温、セメント、型枠の種類、打設ロッドを設定して解析を行い、低発熱型セメント使用の検討や、引張り応力に応じた補強鉄筋・PC 鋼材の追加配置量を算定するものとする。

管理者等による要領（NEXCO）

特に記述無し

学協会等の基準

コンシ【設計編：標準】

特に記述無し

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【10】構造形式別の防止対策

6) 曲線構造

道示Ⅲ

15 章　曲線構造

15.5　鋼材の配置及び支承部の構造

(1)　鋼材の配置は、ウェブコンクリートの剥離等上部構造の損傷が生じないようにしなければならない。また、支承の配置及び構造は、支承の拘束による上部構造への影響が少なくなるようにしなければならない。

(4)　橋軸方向の PC 鋼材は、断面の水平方向におけるプレストレス力の合力の作用点を結んだ線と、主桁及び主版の軸線が一致するように配置する。

(5)　支承は、断面力の算出において仮定した支承条件に一致するような構造とする。

道示【解説】

(4) 主桁及び主版の軸線とプレストレス力の圧力線の相違が大きいと、支承の拘束等により二次的な曲げやねじりが発生するために規定。また定着部近傍部等で、やむを得ず PC 鋼材の配置方向を変えなければならない部分においては、コンクリートのかぶりを十分にとり、配置方向が変化することによる局部的な腹圧力に対して補強するのがよい。

【コンクリート橋設計便覧】

第 18 章　曲線げた橋

18.2　構造細目

18.2.2　PC 鋼材配置

部材軸方向 PC 鋼材は、桁の平行曲線とプレストレス力の圧力線が一致するように配置しなければならない。桁の平面曲線とプレストレス圧力線の相違が大きいと桁の面外方向に曲げが生じ、ウェブコンクリートの剥離、支承の破損、ウェブの面外座屈等の損傷が生じるおそれがある。特に定着部が集中する桁端部付近の PC 鋼材屈曲部、斜腹箱桁の曲上げ部等は、曲線形状が非常に複雑になるので、十分なかぶりを確保し高速鉄筋を一般部より密に配置するとよい。

参考

管理者等による要領（各地整）

特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）

特に記述無し

学協会等の基準

コンシ【設計編：標準】

特に記述無し

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【10】構造形式別の防止対策

7) ラーメン構造

道示Ⅲ

16 章　ラーメン構造

16.3　節点部の設計

(1)　節点部は、部材相互に断面力が確実に伝達できるようにしなければならない。

(4)　節点部には、ハンチを設けると共に、ハンチに沿う鉄筋を配置する。道示 6.6.12

(6)　節点部及びその付近においては、主鉄筋の継手を設けてはならない。

道示【解説】

(6) 節点部は、応力伝達の上で重要な部材であり、また各種の鉄筋が交差しているために規定。やむを得ず継手を設ける場合は、重ね継ぎ手は避け、機械式継ぎ手を採用するのがよい。

【コンクリート橋設計便覧】

特に記述無し

参考

管理者等による要領(各地整)

特に記述無し

管理者等による要領(NEXCO)

特に記述無し

学協会等の基準

コン示【設計編：標準】

7 編　鉄筋コンクリートの前提および構造細目

3 章　部材の構造細目

3.6　ラーメンの構造細目

隅角部における大きい曲げモーメント及びせん断力への対処、また応力伝達を円滑にする観点から隅角部にはハンチをつけることを原則としている。

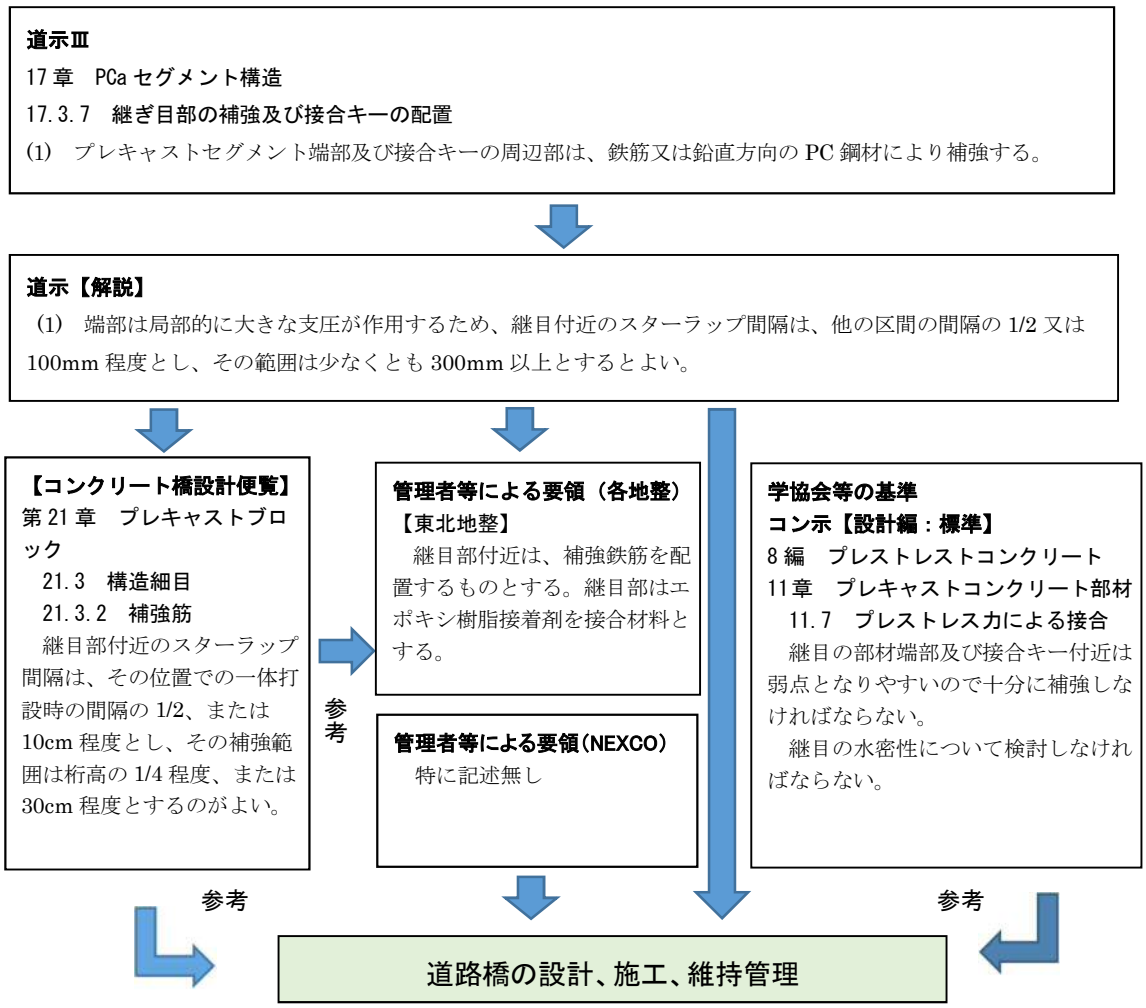
参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【10】構造形式別の防止対策

8)　プレキャストセグメント構造



【10】構造形式別の防止対策

9) その他

道示Ⅲ

19 章　その他の部材の設計

19.1.3　支承部の補強

支承部は、橋軸方向及び橋軸直角方向に作用する水平力に対して、上部構造の端部がせん断破壊することのないように適切に補強しなければならない。

道示【解説】

特に記述無し

【コンクリート橋設計便覧】

第 10 章　構造細目

10.4　コンクリート部材の細部構造

10.4.4　支承部用心鉄筋

支承部は鉛直力・水平力を支承に伝達させるために鉄筋により十分補強しなければならない。鉛直力による割裂応力に対し格子補強筋、水平力に対し格子状補強鉄筋の端部を桁内に埋め込むことで対処するのが一般的。

参考

管理者等による要領（各地整）

特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）

特に記述無し

学協会等の基準

コンシ【設計編：標準】

特に記述無し

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【11】施工時における不具合防止対策

1)　コンクリート工（その１）

道示Ⅲ
20 章　施工
20.4.2　コンクリート
(2)　コンクリートの使用材料
2)　スランプは施工が確実に行える範囲で出来るだけ小さく定める
3)　水セメント比は、コンクリートの配合強度及び耐久性を考慮して定める。
4)　コンクリートの配合は、所要強度、耐久性、水密性及び作業に適するワーカービリティーを持つ範囲内で、単位水量が出来るだけ小さくなるように定める。

道示【解説】
2)　通常のコンクリートでは、80mm を標準としているが、高性能減水剤を使用する場合、これより大きく設定してよい。ただし、材料分離が生じていないことを確認する必要がある。
3)　コンクリートは耐久性の観点から、W/C=50%以下とするのが望ましい。ただし、塩害の厳しい環境においては 5 章を参照する。
4)　単位水量の多いコンクリートでは単位セメント量が大きくなり、ひび割れが生じやすく、材料分離も起こしやすくなる。一般的にはGmax＝20～25mm の場合で単位水量 175kg/m³ とするのが望ましい。

【コンクリート橋施工便覧】
第 6 章　コンクリート工
6.2　コンクリート材料および配合
6.2.4　スランプ
道示(H8)では、8cm を原則としているが、ポンプを用いるからといってむやみに大きくしてはならない。流動化剤を使用する場合でもベースコンクリートは 8cm とし、荷卸時でも 18cm を越えないようにしなければならない。
6.5 コンクリート工の施工
6.5.1　運搬
6.5.2　打込み
6.5.3　締固め
6.5.4　養生
6.5.5　打継ぎ目
(1)　一般
(2)　水平打継目の施工
(3)　鉛直打継目の施工
(4)　プレキャスト部材の打継目の施工
にて、コンクリート施工時の初期変状防止のための留意事項を記述

参考

管理者等による要領（各地整）
【中部地整】
マスコンクリートを施工する場合、事前にセメントの水和熱による温度応力及び温度ひび割れに対する十分な検討を行い必要に応じひび割れ誘発目地を設置するものとする。

管理者等による要領（NEXCO）
2 章　共通
3　使用材料
3-2 コンクリート
早強セメントは硬化熱が比較的大きいので、寸法の大きな部材を夏期に施工すると温度ひび割れが発生しやすい。このような場合は、経済性や工期、耐久性十分配慮し、普通セメントなど発熱性の低いセメントの使用を検討することが望ましい。
耐久性の向上や維持管理の低減を図るため、W/C=50%程度に抑えるのが望ましい。

学協会等の基準
コンシ【施工編】
材料、配合設計、製造、運搬、打込み、締固め、仕上げ、養生、継目、鉄筋工、型枠及び支保工についての施工時の初期変状防止のための留意事項を記述。

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【11】施工時における不具合防止対策

2) コンクリートエ（その２）

道示Ⅲ

20.6 コンクリートエ

(7) 打継目

打継目は、温度応力及び乾燥収縮によるひび割れが発生しないように考慮する。

(8) マスコンクリート

セメントの水和熱に起因する温度応力によるひび割れが懸念される場合は、材料、打ち込み方法、養生方法等についても検討を行い、構造物の機能上有害となるひび割れの発生を防止する。

道示【解説】

(7) 打継目は、水和熱や外気温による温度応力、乾燥収縮等によるひび割れが懸念されるため、新旧コンクリートの温度差を少なくし、また他の部分より密な配筋とする必要がある。

(8) 温度応力によるひび割れを防止又は制御するために、材料及び配合、打継目の位置、打込み時間、型枠の材料や構造、コンクリートの冷却、養生方法等、適切な選定が必要である。

【コンクリート橋施工便覧】

8.5 プレストレッシング

8.5.1 プレストレス導入時のコンクリートの圧縮強度

プレストレッシング直後に生じる最大圧縮応力度の 1.7 倍以上

8.5.2 早期にプレストレスを与える場合の注意事項

比較的強度の低い時期に導入される場合の対処方法

8.5.3 プレストレッシングの準備

(2) 緊張順序

(3) 緊張方向

にて、プレストレッシング時の初期変状防止のための留意事項を記述

参考

管理者等による要領（各地整）

特に記述無し

管理者等による要領（NEXCO）

特に記述無し

学協会等の基準コン示【施工編】

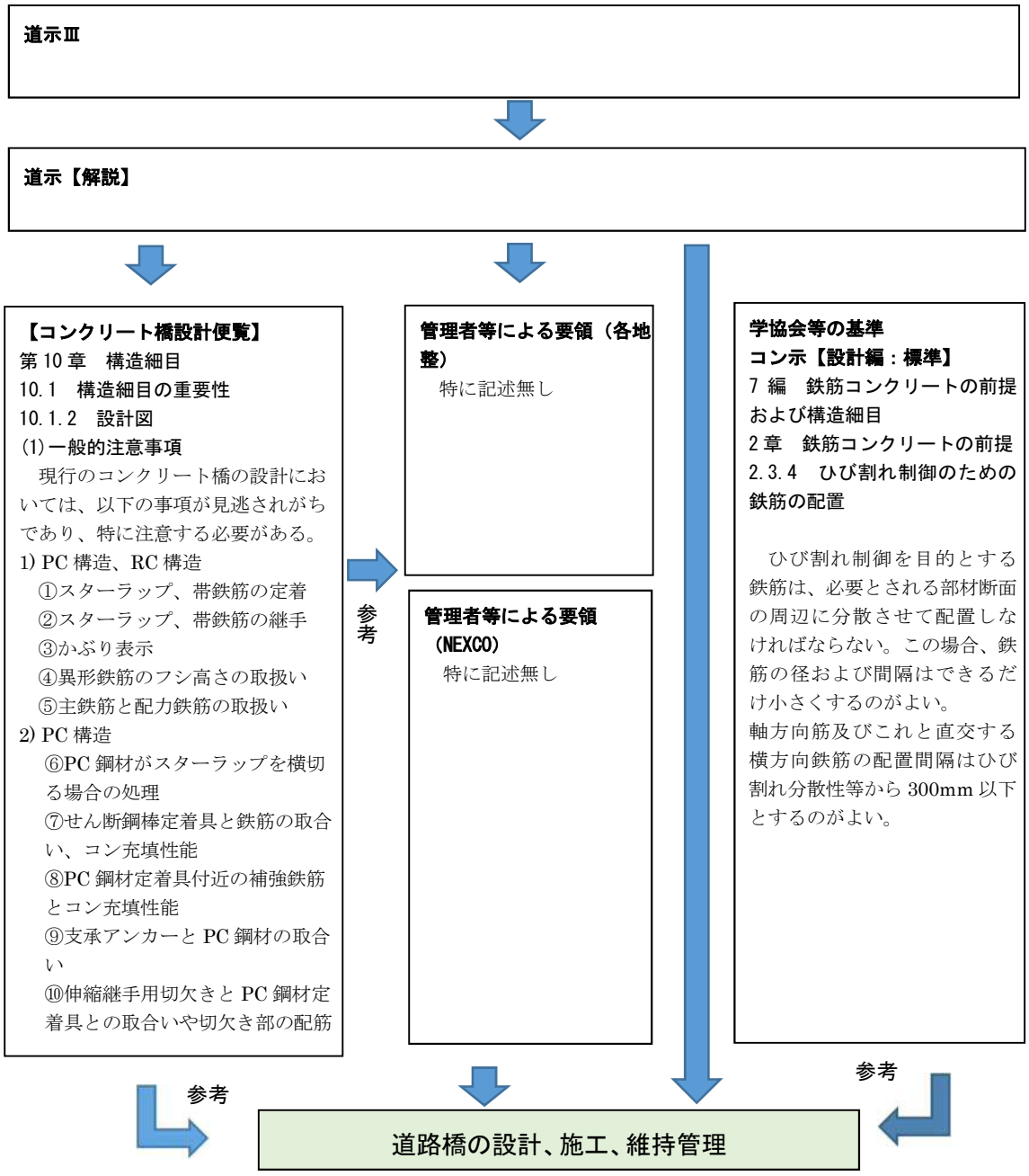
特に記述無し

参考

参考

道路橋の設計、施工、維持管理

【12】その他


道示Ⅲ
道示【解説】
【コンクリート橋設計便覧】
第 10 章　構造細目
10.1　構造細目の重要性
10.1.2　設計図
(1)一般的注意事項
現行のコンクリート橋の設計においては、以下の事項が見逃されがちであり、特に注意する必要がある。
1) PC 構造、RC 構造
①スターラップ、帯鉄筋の定着
②スターラップ、帯鉄筋の継手
③かぶり表示
④異形鉄筋のフシ高さの取扱い
⑤主鉄筋と配力鉄筋の取扱い
2) PC 構造
⑥PC 鋼材がスターラップを横切る場合の処理
⑦せん断鋼棒定着具と鉄筋の取合い、コン充填性能
⑧PC 鋼材定着具付近の補強鉄筋とコン充填性能
⑨支承アンカーと PC 鋼材の取合い
⑩伸縮継手用切欠きと PC 鋼材定着具との取合いや切欠き部の配筋
参考
管理者等による要領（各地整）
特に記述無し
管理者等による要領（NEXCO）
特に記述無し
学協会等の基準
コンシ【設計編：標準】
7 編　鉄筋コンクリートの前提および構造細目
2 章　鉄筋コンクリートの前提
2.3.4　ひび割れ制御のための鉄筋の配置
ひび割れ制御を目的とする鉄筋は、必要とされる部材断面の周辺に分散させて配置しなければならない。この場合、鉄筋の径および間隔はできるだけ小さくするのがよい。
軸方向筋及びこれと直交する横方向鉄筋の配置間隔はひび割れ分散性等から 300mm 以下とするのがよい。
参考
参考
道路橋の設計、施工、維持管理

4.2.2　諸基準の初期変状防止対策の分析

現在の諸基準における初期変状防止対策がどの程度のレベルとなっているか分析を行う。初期変状事例と現行の対策を照らし合わせることで、**図-3.5.1** に示す 6 項目に分類し、今後の初期変状防止対策の方向性について提案する。

初期変状防止対策の分類結果を**表-4.2.1** に示す。

表-4.2.1 分析結果一覧表（その1）

	抽出項目	規定					分類結果
		道路橋示方書	解説	設計便覧	管理者要領	学会等の基準	
1	【1】コンクリート材料の規定によるひび割れ防止対策	・品質が確かなものを使用する	・JIS適合品を用いる ・異なる種類を使用する場合の注意事項	・高炉セメントの原則禁止 ・硬化熱への配慮	・構造物に応じて検討すること ・硬化熱への配慮	・早強セメントの凝結の速さへ対する注意事項【コン示】	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
2	【2】コンクリートの引張応力度の制限によるひび割れ防止対策	・PC構造の許容値割り増しの禁止	条文に同じ	道示に同じ	・張出し施工時の主桁上縁に対する許容応力度の規定	・曲げひび割れ強度の規定【コン示】	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
3	【3】鉄筋の許容応力度の規定によるひび割れ防止対策 1)一般構造	・死荷重時の許容応力度は100N/mm^2 ・床版鉄筋の許容応力度は140N/mm^2	・床版は20N/mm^{2}程度余裕を持たせるのが望ましい	道示に同じ	道示に同じ	特になし	分類4 【コメント】 道路橋示方書に許容応力度が示されているが、全ての部材・荷重組合せに対して網羅されているわけではなく、あらたな留意事項の追加を図っていくことも必要と判断して『分類4』とした
4	【3】鉄筋の許容応力度の規定によるひび割れ防止対策 2)連結桁	・主桁連結部の連結鉄筋の重ね継手長は6.6.5に従い算出し25D以上	・連結鉄筋の許容値は160N/mm^{2}以下	道示に同じ	・中間支点上の曲げモーメントは道示による低減を行わない 【中部地整】【九州地整】 【近畿地整】【北海道】	特になし	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
5	【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策 1)最小鋼材量の規定	・断面積の0.15%以上配置 ・桁As≧0.005bw・d ・斜引張鉄筋を配置できない版 As≧0.01bw・d ・桁に配置する斜引張鉄筋 Aw≧0.002bw・a・sin θ	条文に同じ	道示に同じ	・プレテンの場合、PC鋼材も付着のある鋼材として考慮してよい 【NEXCO】	・断面積の0.1%以上配置【コン次】	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
6	【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策 2)引張鉄筋の規定	・PC鋼材に付着がない場合は活荷重を35%増しする ・引張鉄筋量As=Tc/ σ sa ・コンクリート断面積の0.5%以上	条文に同じ	道示に同じ	・PRC構造方法Bにおける引張鉄筋量の算出方法 ・ポステン部材の最小鉄筋量D13@300以上	・最小鋼材量 φ9@300以上【コン示】	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
7	【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策 3)圧縮鉄筋の規定	特になし	特になし	・引張鉄筋の1/3～1/2を配置するとよい	・引張鉄筋の1/2 【東北地整】【北陸地整】 【NEXCO】	特になし	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
8	【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策 4)スターラップ及び折り曲げ鉄筋の規定	・鉄筋径はD13以上 ・ピッチは有効高さ1/2以下、ctc300以下 ・計算から算出された場合、桁高の3/4以下かつctc400以下	条文に同じ	・スターラップの重ね継手長La+20 φ	特になし	・断面積の0.15%以上、ピッチは有効高の3/4倍以下かつ400mm以下【コン示】 ・計算上必要な場合のピッチは、有効高の1/2以下かつ300mm以下【コン示】	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。

表-4.2.1 分析結果一覧表（その2）

	抽出項目	規定					分類結果
		道路橋示方書	解説	設計便覧	管理者要領	学会等の基準	
9	【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策 5)ねじり鉄筋の規定	・鉄筋径はD13以上 ・横方向鉄筋ピッチは、長辺の0.4倍以下かつctc300以下 ・軸方向鉄筋は、隅角部に配置しctc300以下	条文に同じ	道示に同じ	道示に同じ	・軸方向鉄筋 Σ Atl=Mtud・u/(3・Am・fld) ・横方向鉄筋 Σ Atw=Mtud・s/(3・Am・fwd) ・上下左右対称に配置する 【コン示】	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
10	【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策 6)用心鉄筋の規定	・場所打ち桁のウェブ等の側面にD13ctc300以上の軸方向鉄筋を配置 ・打継目、開口部、床版、フランジに対して用心鉄筋を配置する	・PC鋼材分力により引張が発生する場合は腹圧力相当の鉄筋量を配置	・ウェブ面積の0.2%程度の軸方向鉄筋を配置 ・打継目付近の用心鉄筋の配置 ・架設時に対する用心鉄筋	・施工性とひび割れ分散性を考慮して配置する ・ポステン部材はD13ctc300以上を配置 ・最大鉄筋径はD25、最小間隔はctc100 ・ポステンはD13ctc300以上 【NEXCO】	同左	分類5 【コメント】 使用材料、養生方法および現場の環境などを考慮して、初期変状防止のための鉄筋量を定量的に示すことが望ましいが、設計手法の確立や部材寸法の影響の把握などの課題が考えられる。よって、ひび割れの発生自体を防止するためは更なる技術の向上が必要と判断し『分類5』とした。
11	【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策 7)連結鉄筋の規定	特になし	特になし	・RC連結方式 2段以下、D22以下、ctc100以上 プレテンではD19,ポステンではD22を150mmで配置 正曲げ鉄筋は、負曲げ鉄筋の半分以上配置	最小鋼材量、ピッチの規定	特になし	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
12	【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策 8)鉄筋の継手	特になし	特になし	・引張重ね継手は、鉄筋継手部にD13以上の横方向鉄筋2本以上配置する	特になし	・スターラップの継手にコンクリートとの付着を期待する重ね継手は原則用いない	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
13	【5】鋼材のかぶり規定によるひび割れ防止対策	・床版、地覆、高欄、床版橋(支間10m以下)=30mm ・工場製作のPC桁=25mm ・床版橋（支間10m以上）=35mm	条文に同じ	道示に同じ	・シースのかぶりは直径の1.0倍以上が望ましい【北海道】 ・床版、地覆、床版橋(支間10m以下)=40mm ・高欄=70mm ・工場製作のPC桁=30mm ・上記以外、支間10m以上=45mm 【NEXCO】	・柱:45±15mm ・はり:40±10mm ・スラブ:35±5mm ・橋脚:55±15mm 【コン示】	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
14	【6】鋼材のあき規定による充填不良防止対策	・40mm以上かつ粗骨材最大寸法4/3倍以上 ・プレキャスト部材は20mm以上かつ4/3倍以上	・50mm～60mm程度の内部振動機で容易に締め固めが出来るあき	道示に同じ	・シースの水平方向あきは60mm以上 【中部地整】【NEXCO】	・60mm以上 【コン示】	分類3 【コメント】 コンクリート打設は、示方書や指針など技術基準に従って確実な施工を行えば、初期変状の防止が可能であると考えられる。しかし、再発防止には施工者の技術レベルの向上に向けた教育・訓練が重要であると判断し、『分類3』とした。

表-4.2.1 分析結果一覧表（その3）

	抽出項目	規定					分類結果
		道路橋示方書	解説	設計便覧	管理者要領	学会等の基準	
15	【7】PC鋼材配置の規定によるひび割れ防止対策	・PC鋼材は部材縁において有害なひび割れが生じないように配置 ・支圧面から所定の区間直線上に配置 ・曲げ半径シース100D,鋼材40D ・正負交番点ではPC鋼材を分散	・直線区間400mm	道示に同じ	・プレテン横締めで斜角を有する場合の水平分力に対し対策を講じる【九州地整】	・グラウトを十分に充填できることを照査された配置とするのがよい 【コン示】	分類2 【コメント】 グラウトに関する技術は、古くからその時々に生じた問題や改良された材料・機材などを反映して改定がなされている。PC工学による指針においても新たな知見を取り入れた不具合防止対策が示されており、今後の橋梁点検で事例の確認がされるか否かを監視していく必要があるものと判断し、『分類2』とした。
16	【8】PC鋼材定着の規定によるひび割れ防止対策 1)PC鋼材の定着	・所定のプレが導入できるように、有害なひび割れが生じないように選ばなければならない ・部材中間に定着させる場合、応力変動の少ない断面図心に近い位置か、圧縮部に定着させる	・プレテンでボンドレス鋼材は全鋼材本数の1/2以下、範囲は支間の1/5以下が望ましい	道示に同じ ・補強筋配置の具体の計算方法	・原則として主桁全長に渡って連続的に配置する 【NEXCO】	・有害なひび割れが生じないように間隔及び緊張順序を定め、鉄筋で補強する ・中間定着の場合は、定着体をコンクリート中に埋め込む 【コン示】	分類4 【コメント】 定着工法ごとに示される技術資料には、定着位置の部材縁端距離、定着間隔および補強筋の配置などが示されている。しかし、温度応力などの影響に関しては、設計者の判断でその対策が行われており、新たな留意事項の追加などを示していくことも必要と判断し、『分類4』とした。
17	【8】PC鋼材定着の規定によるひび割れ防止対策 2)PC鋼材定着具の補強	・スターラップ、格子状の鉄筋、らせん鉄筋等で補強する ・中間定着する場合は付近のコンクリートを鉄筋で補強する	条文に同じ	・型枠・支保工はプレストレスを与えるとき、コンクリートを拘束しない構造を選ばなければならない	・外ケーブル定着部の設計においては適切な手法で評価した上で、耐荷・耐久性能を確保しなければならない ・FEM解析で得られたコンクリートの引張応力全てを鉄筋で受け持つものとして設計する 【NEXCO】	・定着具と緊張材は直角に配置 ・型枠・支保工はコンクリートが自由に収縮できるように計画する 【コン示】	分類4 【コメント】 定着工法ごとに示される技術資料には、定着位置の部材縁端距離、定着間隔および補強筋の配置などが示されている。しかし、温度応力などの影響に関しては、設計者の判断でその対策が行われており、新たな留意事項の追加などを示していくことも必要と判断し、『分類4』とした。
18	【9】床版 1)床版厚	・床版の最小厚の規定 ・ハンチには、内側にそってD13以上の鉄筋を配置する	条文に同じ	道示に同じ ・ハンチには主鉄筋の1/2程度以上の鉄筋を配置	特になし	・スラブの最小厚は80mm ・正鉄筋及び負鉄筋の中心間隔はスラブ厚さの2倍以下で300mm以下とする 【コン示】	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
19	【9】床版 2)鉄筋配置	・床版の鉄筋はD13～D19およびD22を標準 ・鉄筋の中心間隔はctc100～300、ただし床版支間方向の引張主鉄筋間隔は床版厚以下	条文に同じ	特になし	道示に同じ	特になし	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。

表-4.2.1 分析結果一覧表（その4）

	抽出項目	規定					分類結果
		道路橋示方書	解説	設計便覧	管理者要領	学会等の基準	
20	【10】構造形式別の防止対策 1)床版橋	・有害なひび割れを生じないように鉄筋を配置、断面は施工を容易な構造とする ・斜め床版橋に対しては、局部的に発生する応力に対して、補強を行う ・引張主鉄筋はD13ctc200以上、版の上下縁の主方向・横方向ともD13ctc300以上の鉄筋を配置する ・斜め床版橋の鈍角部の版下面にはD13ctc200以上の鉄筋を配置	・円孔の最大径は1000mm程度、1200mmを超える場合は別途検討	道示に同じ	特になし	特になし	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
21	【10】構造形式別の防止対策 2)T桁橋	・適切に荷重分配 ・床版に有害なひび割れ等の影響を及ぼさないような構造	・中間横桁の減少は、主桁間の荷重分配作用を低下させ、支間曲げモーメントに影響を与える	・主桁横断勾配の対処方法	条文に同じ ・ポストの横断勾配は6%未満はフランジと横断勾配を並行する 6%以上はフランジの傾き+舗装で調整する 【近畿地整】【九州地整 【中国地整】】	・突縁の厚さは80mm以上、腹部の厚さは100mm以上 ・温度変化、収縮によって腹部に生じる鉛直ひび割れに対し、腹部に水平な用心鉄筋（腹部の断面積の0.2%）を配置	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
22	【10】構造形式別の防止対策 3)箱桁橋	・開口部を設ける場合は、その周辺を補強する ・ウェブの橋軸方向と下フランジ上下面の橋軸方向および橋軸直角方向にはD13ctc250mm以上の鉄筋を配置する	・開口部に切断される鉄筋量以上の補強筋を配置する必要がある ・桁高変化がある場合には、下床版に配置されたPC鋼材によって腹圧力が作用するため、床版厚を確保し、十分な鉄筋で補強する	・補強鉄筋の長さは開口部の辺長に定着長2・Laを加えた長さ	特になし	・スラブの厚さは80mm以上、腹部の厚さは100mm以上 ・温度変化、収縮によって腹部に生じる鉛直ひび割れに対し、腹部に水平な用心鉄筋（腹部の断面積の0.2%）を配置	分類5 【コメント】 初期変状に対する技術は、施工方法のみの対策では不十分であったり、設計段階で対策を行なう場合に施工条件の設定が困難であったりするなど、多くの課題がある。さらに、ひび割れの発生自体を防止するためには更なる技術の向上が必要と判断して、『分類5』とした。
23	【10】構造形式別の防止対策 4)合成桁橋	・施工段階ごとの構造系の変化を考慮 ・架設時の安全性も考慮 ・スターラップは床版まで貫通させる ・ねじりを考慮する場合は、桁と床版の接合部に用心鉄筋を配置	・用心鉄筋はスターラップと用心鉄筋で接合面の断面積の0.2%以上を目安としてよい	・ずれ止め鉄筋はD13以上をctc10～50cmで配置 ・主桁と床版の結合の面積の0.2%以上	・ずれ止めは鉄筋はD13以上を50cm間隔以下で配置【東北地整】 ・コンクリートのクリープ係数、乾燥収縮度が±30%変動した状態も考慮して検討する 【NEXCO】	特になし	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
24	【10】構造形式別の防止対策 5)連続構造	・中間支点部付近には、ウェブ及び桁下縁側に用心鉄筋を配置する	条文に同じ	・一般的にはD16ctc150以上の事例が多い	・温度解析による検討、低発熱型セメントの使用、鉄筋・PC鋼材の追加配置の検討【東北地整】	特になし	分類5 【コメント】 使用材料、養生方法および現場の環境などを考慮して、初期変状防止のための鉄筋量を定量的に示すことが望ましいが、設計手法の確立や部材寸法の影響の把握などの課題が考えられる。よって、ひび割れの発生自体を防止するためは更なる技術の向上が必要と判断し『分類5』とした。

表-4.2.1 分析結果一覧表（その5）

	抽出項目	規定					分類結果
		道路橋示方書	解説	設計便覧	管理者要領	学会等の基準	
25	【10】構造形式別の防止対策 6)曲線構造	・PC鋼材はウェブコンクリートの剥離等上部構造の損傷が生じないようにしなければならない ・支承の拘束による上部構造への影響が少なくなるようにしなければならない ・PCと桁の図心が一致するようにする	・定着部近傍でやむを得ず配置方向を変える場合は、かぶりを十分にとり、局部的な腹圧力に対して補強する	特になし	特になし	特になし	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
26	【10】構造形式別の防止対策 7)ラーメン構造	・断面力が確実に伝達できるようにしなければならない ・ハンチを設け、鉄筋を配置する ・主鉄筋の継手を設けてはならない	特になし	特になし	特になし	・ハンチをつけることを原則としている【コン示】	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
27	【10】構造形式別の防止対策 8)プレキャストセグメント構造	・セグメント端部及び接合キー周辺は鉄筋または鉛直方向のPC鋼材により補強する	・継ぎ目付近のスターラップ間隔は、他の区間の1/2または100mm程度とし、その範囲は少なくとも300mm以上とするとよい	・継ぎ目付近のスターラップ間隔は、一体打設時の間隔の1/2又は10cm程度、その補強範囲は桁高の1/4程度または30cm程度	・継ぎ目付近は補強鉄筋を配置する、継目部はエポキシ樹脂接着剤を接合材料とする【東北地整】	・継目付近は十分に補強する ・水密性についての検討をしなければならない【コン示】	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
28	【10】構造形式別の防止対策 9)その他	・支承部は水平力に対して、上部構造端部がせん断破壊することのないように適切に補強しなければならない	特になし	・鉄筋により十分補強しなければならない	特になし	特になし	分類1 【コメント】 今回、変状事例の確認はなかった。 現状の対策技術を確実に施工することで初期変状は防止できると判断し、『分類1』とした。
29	【11】施工時における不具合防止対策 1)コンクリート工（その1）	・スランプは施工が確実に行える範囲でできるだけ小さく定める ・W/Cは配合強度・耐久性を考慮して定める ・強度、耐久性、水密性、ワーカビリティを持つ範囲で単位水量ができるだけ小さくなるように定める	・スランプ80mm標準 ・W/C=50%以下が望ましい ・Gmax=20～25mmの場合で単位水量175kg/m^{3}が望ましい	・流動化剤を使用する場合もベースは8cm、荷卸時でも18cmを越えないように ・初期変状のための留意事項を記述	・温度応力に対する検討を十分に行い、必要に応じて誘発目地を設置する【中部地整】 ・寸法の大きな部材を夏に施工する場合は普通セメントなど発熱性が低いセメントと使用を検討する ・W/C=50%程度に抑えるのが望ましい【NEXCO】	・初期変状のための留意事項を記載【コン示】	分類5 【コメント】 使用材料、養生方法および現場の環境などを考慮して、初期変状防止のための鉄筋量を定量的に示すことが望ましいが、設計手法の確立や部材寸法の影響の把握などの課題が考えられる。よって、ひび割れの発生自体を防止するためは更なる技術の向上が必要と判断し『分類5』とした。
30	【11】施工時における不具合防止対策 2)コンクリート工（その2）	・打継目は、温度応力及び乾燥収縮によるひび割れが発生しないように考慮する ・温度応力によるひび割れが懸念される場合は、材料、打ち込み方法、養生方法等についても検討を行い、有害なひび割れの発生を防止する	・新旧コンクリートの温度差を少なくし、密な配筋とする必要がある ・材料及び配合、打継目の位置、打ち込み時間、型枠の材料や構造、コンクリートの冷却、養生方法等適切な選定が必要	・プレ導入時のコンクリートの圧縮応力度は直後に生じる最大圧縮応力どの1.7倍以上 ・早期にプレを導入する場合は緊張順序、緊張方向に留意する	特になし	特になし	分類5 【コメント】 使用材料、養生方法および現場の環境などを考慮して、初期変状防止のための鉄筋量を定量的に示すことが望ましいが、設計手法の確立や部材寸法の影響の把握などの課題が考えられる。よって、ひび割れの発生自体を防止するためは更なる技術の向上が必要と判断し『分類5』とした。
31	【12】その他	特になし	特になし	・見逃されがちな留意点について記載	特になし	・ひび割れ制御を目的とする鉄筋は径と間隔が小さくするのがよい ・300mm以下とするのがよい	分類5 【コメント】 使用材料、養生方法および現場の環境などを考慮して、初期変状防止のための鉄筋量を定量的に示すことが望ましいが、設計手法の確立や部材寸法の影響の把握などの課題が考えられる。よって、ひび割れの発生自体を防止するためは更なる技術の向上が必要と判断し『分類5』とした。

4.2.3　初期変状防止対策の方向性

今回の調査範囲において変状事例が確認できなかったものは、分類 1 または分類 2 となる。【6】鋼材のあき規定による充填不良防止対策は、基準に従えば初期変状の防止が可能であると考えられるが、調査結果においてコンクリートの充填不要によるひび割れが確認されており、実務者への更なる周知の徹底が必要と考えられることから分類 3 とした。【3】鉄筋の許容応力度の規定（一般部）は、現行で定められているとおり鉄筋の応力度を制限すれば初期変状の防止が可能と考えられるが、すべての部材や荷重組合せに対して網羅されているわけではなく、今後個別のケースに対して検討が必要であると考えられることから分類 4 とした。また、【8】PC 鋼材定着の規定は、他の鉄筋との取り合いから所定の位置に配置できず期待する効果を発揮できていないことにより、初期変状が発生している可能性が懸念されるため、他の対策との組合せ方法について更なる検討が必要であると判断し分類 4 とした。分類 5 は、主に温度応力や乾燥収縮に対する対策である。これらは、施工方法のみの対策では不十分であったり、設計段階で対策を行う場合に施工条件の設定が困難であったりするなど、多くの課題があり対策の改善や追加が必要であると考えられる対策である。

諸基準における初期変状防止対策のレベルと更なる対策の方向を**図-4.2.4** に示す。

分類	初期変状の実態	初期変状防止レベル		分類結果	更なる初期変状防止に向けた対策の方向性
分類１	なし	初期変状防止対策がとれていると考えられるもの	高	【1】コンクリート材料の規定によるひび割れ防止対策 【2】コンクリートの引張応力度の制限によるひび割れ防止対策 【3】鉄筋の許容応力度の規定によるひび割れ防止対策 2)連結桁 【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策 1)最小鋼材量の規定 2)引張鉄筋の規定 3)圧縮鉄筋の規定 4)スターラップ及び折り曲げ鉄筋の規定 5)ねじり鉄筋の規定 7)連結鉄筋の規定 8)鉄筋の継手 【5】鋼材のかぶり規定によるひび割れ防止対策 【9】床版 1)床版厚 2)鉄筋配置 【10】構造形式別の防止対策 1)床版橋 2)T桁橋 4)合成桁橋 6)曲線構造 7)ラーメン構造 8)プレキャストセグメント構造 9)その他	今後、定期点検による初期変状事例が報告される場合を想定して継続した監視を行う
分類２		新たな初期変状防止技術であり、その効果の確認段階にあるもの		【7】PC鋼材配置の規定によるひび割れ防止対策	初期変状の防止効果を確認し、必要に応じて改善などの検討を行う
分類３	あり	変状事例が確認されたが、規準の見落としや不適切な施工が原因と考えられるもの		【6】鋼材のあき規定による充填不良防止対策	実務者への周知の徹底や教育により、人為的ミスを減らすための対策を講じる
分類４		初期変状防止技術はあるが、対策方法が標準化されていないもの		【3】鉄筋の許容応力度の規定によるひび割れ防止対策 1)一般構造 【8】PC鋼材定着の規定によるひび割れ防止対策 1)PC鋼材の定着 2)PC鋼材定着具の補強	個別の技術から標準化へ向けた対策を進める
分類５		初期変状対策技術の改善や追加が必要であると考えられるもの		【4】鋼材配置量の規定によるひび割れ防止対策 6)用心鉄筋の規定 【10】構造形式別の防止対策 1)箱桁橋 5)連続構造 【11】施工時における不具合防止対策 1)コンクリート工（その１） 2)コンクリート工（その２） 【12】その他	現状の技術で不十分な点を洗い出し、対策を講じることで技術レベルの向上を図る
分類６		初期変状の原因が不明であるため、初期変状防止技術を示すことが困難なもの	低		原因の究明と対策技術の確立を進める

図-4.2.4　分類結果による対策の方向性

4.3　初期変状防止対策に関する文献調査

初期変状を防止するために実施した設計上の工夫、施工上の工夫を、以下の文献から調査し、その概要をまとめる。

・調査文献

① 「プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集（以下、PC シンポジウムという）　プレストレストコンクリート工学会

② 「プレストレストコンクリート」　プレストレストコンクリート工学会

③ 「コンクリート工学」　日本コンクリート工学会

④ 「橋梁と基礎」　（株）建設図書

・調査期間

2012～2014 年　の 3 年間に発刊されたもの

・調査内容

初期変状防止のための方策とし、具体的には「温度ひび割れ防止」、「乾燥収縮ひび割れ防止」、「プレストレスに起因するひび割れ防止」、「施工全般的なひび割れ防止」、「その他」とした。

4.3.1　文献調査結果

(1)　初期変状防止対策に関する文献調査　（プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム 2012～2014）

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
1	中空床版橋のマスコンクリート部における解析的検討	札立、大久保	第 21 回 PC シンポジウム	2012.10	pp.41-44	ＰＣ連続中空床版橋の中間支点横桁について，温度差による引張力の発生レベルをつかむことを目的に，マスコン寸法（主に桁高）・打設時期をパラメータとした温度応力解析に結果、早強セメントの量を 400kg/m3 に特定した場合，ひび割れ指数 1.0 以下の領域における，温度応力の平均は 3N/mm2 程度である。また，この発生応力に対する補強の目安は，D19－125mm ピッチであることが確認された。	○				
2	片持ち架設 PC 箱桁橋のブロック施工に関する解析的検証	荻野目、中村 古賀、狩野	第 21 回 PC シンポジウム	2012.10	pp.45-48	片持ち架設工法で施工する PC 箱桁橋において、張出し床板先端付近の橋軸方向張力に着目し、拘束条件や材料特性がどのように温度応力に影響するかパラメータスタディを実施し、ブロック長や幅員の影響が特に顕著であり、打設温度や施工サイクルの影響は単体では影響が少ない結果を得られている。	○		○		
3	高橋脚・非対称張出しを伴う４径間連続ラーメン箱桁橋の施工－大坂谷川橋－	田邊、重越 豊島、鈴木	第 21 回 PC シンポジウム	2012.10	pp.171 -174	大坂谷川橋(ラーメン箱桁橋) の柱頭部(桁高 9.0m)では、下記の温度ひび割れ対策を実施 ①3 次元 FEM 温度応力解析を実施し，打設リフト割り(5 分割)と使用セメントを普通ポルトに変更 ②外ケーブル偏向管を用いたエアクーリング ③型枠存置期間の延長	○				
4	長支間を有する波形鋼板ウェブ箱桁橋の設計・施工	大房、和埼 能島	第 21 回 PC シンポジウム	2012.10	pp.179 -182	第二東名　生平橋では、柱頭部では、3 次元 FEM 温度応力解析結果に基づき、下記の温度ひび割れ対策を実施 ②　夏季施工時に外ケーブルダクトを用いたエアクーリング ②ひび割れ補強筋の設置	○				

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
5	さがみ縦貫相模原愛川 IC 上部（その１５）工事の施工	田中、池上	第 21 回 PC シンポジウム	2012.10	pp.195 -198	さがみ縦貫相模原愛川 IC 上部（その 15）橋(ラーメン箱桁橋)では、3 次元 FEM 温度応力解析結果に基づき、下記の温度ひび割れ対策を実施 ①断面分割部(ラーメン橋脚部、上床板、ウェブ)にひび割れ補強鉄筋の設置 ②ひび割れ補強筋の設置	○				
6	鉄筋配置が PC 構造物の持続荷重に及ぼす影響に関する研究	吉川、玉越北村、横井	第 21 回 PC シンポジウム	2012.10	pp.393 -396	持続荷重（クリープ）に影響を及ぼす要因の 1 つとして考えられる鉄筋配置に着目し、梁供試体による載荷試験に関する中間報告（約 6 か月間実施での評価）。プレストレス導入時のプレストレスロスは、軸方向鉄筋比に比例して生じ、持続荷重の大きさ、横方向鉄筋量の影響は顕著ではないなどの結果が得られている。					○
7	保水養生テープを用いたコンクリートの養生に関する実験的検討	天谷、原、濵岡、森本	第 21 回 PC シンポジウム	2012.10	pp.579 -536	設計基準強度 24N/mm2 のコンクリートに保水養生テープを用い、コンクリートの品質やひび割れの発生状況に与える影響について実施工で試験的に検討した結果、マット養生がひび割れ総延長 92.2m、平均ひび割れ幅 0.28 ㎜に対し、保水テープ養生はひび割れ総延長 86.7 ㎜、平均ひび割れ幅 0.15 ㎜と抑制効果が確認された。		○			
8	2 径間一括施工による PRC2 主版桁橋の設計　－第二東名高速道路樫山橋－	中井、後藤香川、大場	第 22 回 PC シンポジウム	2013.10	pp.1-4	表題に示す構造物では、温度応力解析等から以下の要因でひび割れが生じやすいことがわかった。 ・主桁幅が厚く、温度降下時に内部拘束が発生する ・固定支保工架設ではプレ二次力の作用と自重の作用バランスに配慮する必要がある。 ・主桁と床版の剛性差が大きいため、床版との温度差で主桁図心位置付近に引張り応力度が作用する。	○			○	

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
9	整備新幹線における馬桁一体PC連続桁について	下津、玉井跡部	第22回PCシンポジウム	2013.10	pp.13-16	中間支点の剛性を確保するため断面寸法が大きくなる、馬桁一体PC連続桁の馬桁の温度ひび割れ対策として、 1．桁の上面を防炎ｼｰﾄ、側面と下面を発泡スチロールで覆い、内外温度差を防ぎ内部拘束ひび割れを抑制。 2．緊張順序を事前に検討し、馬桁と主桁各々１次緊張、２次緊張を行うことで、馬桁に早期のプレストレスを導入。 を実施した。	○			○	
10	松山外環状道路　井門（いど）高架橋上部工事の緊張について	香田、圓尾太田、木村	第22回PCシンポジウム	2013.10	pp.75-78	広幅員（最大31.7m)を有する中空床版橋の緊張作業では、緊張力の与え方によっては反り上がりのあるウェブと無いウェブとに別れ、橋軸直角方向に引張応力が生じる懸念がある。そのためFEM解析によって緊張順序、本数を設定しひび割れが生じないように緊張作業を実施した				○	
11	港湾ふ頭内における PC４経間連続箱桁橋の施工報告	杉村、川上東田、田尻	第22回PCシンポジウム	2013.10	pp.79-82	支点上横桁(4.5m*2.3m*3.0m)のマスコン対策として、部材中心部から表面に向けクーリングパイプを配置し通水することで、コンクリートの全体温度を抑制するとともに内外温度差も抑制できる配温式パイプクーリングを実施。また、主桁(箱桁)2分割施工時の上床版との打継目に発生するひび割れ対策として、3次元FEM温度応力解析を実施し、ひび割れ補強鉄筋を配置。さらに、R=280m部の緊張管理は、鋼材の鉛直方向変化に加え、左右ウェブの曲線影響も考慮した3次元形状で緊張計算したデータに基づき管理を実施。	○			○	
12	第二東名高速道路 新戸川橋の設計と施工	藤岡、関井大嶋、河東	第22回PCシンポジウム	2013.10	pp.145-148	第二東名高速道路 新戸川橋(リブ付き床版波形鋼板ウエブ箱桁)では、床板の初期ひび割れ対策として下記の項目を実施。 ①初期被膜養生剤の散布 ②高機能養生マットの採用 ③塗布型収縮低減剤の塗布		○			

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
13	２径間連続ＰＣ箱桁ラーメン橋の施工報告 －川合高架橋 二期線－	岡、大柳豆 後藤、島津	第 22 回 PC シンポジウム	2013.10	pp.413 -416	川合高架橋二期線(箱桁ラーメン橋)では、上床板のひび割れ対策として下記の項目を実施。 ①温度応力解析結果に基づき膨張材の使用 ②コンクリート打設時に遮光ネットの設置 ③コンクリート圧送管への養生マット設置と散水	○	○			
14	PC 橋の持続荷重に及ぼす鉄筋拘束力の影響に関する研究	吉川、玉越 北村	第 22 回 PC シンポジウム	2013.10	pp.437 -440	設計における持続荷重の考慮方法の違いが、ひび割れ発生リスクなどに及ぼす影響を、鉄筋配置を変えた供試体の実験や解析により検討した結果、軸方向鉄筋比の相違がクリープ変形に差異が生じることが実験により確かめられ、解析結果よりひび割れなどの発生原因になりうることが示唆された。					○
15	ミスト養生を用いた PC 橋の継続養生（三遠南信 20 号橋）	國富、松尾 下貞、浅井	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.13-16	PC 橋梁の場所打ちコンクリート（移動作業車による張出施工）を対象に，材齢 3 日での脱枠後、7 日間ミスト養生を実施し、圧縮強度、質量変化、透気係数は水中養生に近い値を示し，水中養生と同程度の効果を得られることが確認された。		○			○
16	ヒートパイプを利用したパイプクーリングの施工報告	高須賀、船本 前田、伊吹	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.17-20	PC4 径間ラーメン連続箱桁橋の端部横桁(2.5m×1.95m×5.4m)に、あらかじめ冷却媒体を密封した「ヒートパイプ」を使ったパイプクーリングを適用し、温度上昇量の低減が可能であり，ひび割れ抑制対策として有効な手段であることが確認された。	○				
17	ＰＣＴ桁橋の桁腹部に発生したシース沿いひび割れ原因に関する解析的検討	小林、中西 北野、本間	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.91-94	グラウトの充填が良好である箇所で桁腹部シース沿いひび割れが発生原因の解明を目的とし、解析的検討を行い、 ・PC 鋼材の緊張により桁腹部に表面応力が発生し，その応力は曲上げ角度が大きいほど，曲上げ区間が長いほど大きくる。 ・コンクリートとグラウトの熱膨張係数の差により桁腹部に表面応力が発生する可能性がある。 ことが、推定された。					○

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
18	PRC 逆 L 字型橋脚のひび割れ進展挙動と構造性能評価	渡邊、中村上田、木曽	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.107 -112	一般に隅角部の挙動が設計上考慮対象になっていない逆 L 字型橋脚に関し、水分移動問題と時間依存挙動としての収縮・クリープを考慮可能な 3 次元非線形有限要素解析を用いて、健全な状態での荷重によるひび割れ進展挙動と，時間依存挙動としての収縮，クリープが構造性能に及ぼす影響について解析的検討を実施し、以下の結論を得た。 ①終局時に隅角部で斜めひび割れが発生，進展して最大荷重となる挙動を解析的に確認した。 ②施工から供用までの収縮・クリープの影響によって，構造物表面に引張初期応力が発生することで，曲げひび割れ発生荷重および耐力が低下する可能性を解析的に示した。また，相対湿度分布を考慮した収縮・クリープの影響を適切に評価することが重要である結果が示された。 ③上部工載荷後の時間依存挙動の進行によって，構造物に損傷が生じる可能性を解析的に示した。その際，構造物内部において構造物表面からでは確認できない損傷が生じている可能性を示唆する結果を得た。		○			○
19	小牧高架橋における温度追従養生システムを用いた緊張強度管理	片山、野島中島、頃安	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.203 -206	張出し架設部のコンクリートに使用するセメントを、コンクリート温度上昇量を低減し，初期ひび割れを抑制する目的で、早強セメントから普通セメントに変更。また、定着部近傍のコンクリートの強度管理手法に温度追従養生システムを採用することで，圧縮強度試験を行わず，温度追従養生システムによって精度を確認した強度推定式により対象構造物の緊張可能時期をタイムリーに把握できる管理手法を確立。	○			○	○

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
20	箱桁橋の中間支点部における温度ひび割れ抑制対策の検討	村上、岩渕橋、田中	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.207-210	張出架設する箱桁橋(音羽川橋)の中間支点部では、温度ひび割れ防止対策として以下の項目を実施。 ①施工前に実施した温度解析によるひび割れ抑制対策の最適化検討 ②3 リフト施工とし、早強セメントに替え、施工月が外気温 20℃未満となる 10 月～5 月では全リフト普通セメント，外気温 20℃以上となる 6 月～9 月では 1，2 リフト低熱セメント 3 リフト普通セメントを使用 ③パイプクーリングの実施（期間はコンクリート温度が最高温度に達した後 1.5 日後（クーリング終了後に，再度温度上昇しても最高温度を超えない期間）	○				

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
21	鉄筋による拘束がＰＣ橋の持続荷重の評価に及ぼす影響に関する研究	狩野、玉越 白戸	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.000 -000	鉄筋の拘束がクリープの評価に及ぼす影響に着目し，持続荷重の大きさや軸方向鉄筋量，横方向鉄筋量などをパラメータとした供試体のクリープ載荷実験についての長期計測の結果、以下の結論が得られている。 ①各基準のクリープ予測式で算出した値を比較すると，道示のクリープ値は，コン示(H8)の 2 倍以上であり，欧米基準は両者の中間である。 ②コンクリートのひずみは，軸方向鉄筋量が多いほど小さくなるが，横方向鉄筋量の影響は小さい。 ③鉄筋拘束の影響を控除したクリープ係数は，軸方向鉄筋量の違いにかかわらずほぼ同じであり，本実験の結果では，EN1992 または AASHTO のクリープ係数と近い値である。 ④実橋モデルにおける主桁応力に着目した場合については，配筋量が多い場合，鉄筋拘束の影響による応力度は無視できないレベルとなることがわかった。 ⑤実橋モデルにおいて，クリティカルになる断面の主桁応力に着目した場合については，実験値のクリープ係数と鉄筋拘束の組合せ，または，道示のクリープ係数かつ鉄筋拘束を考慮する組合せで計算した結果，後者が安全側の設計結果を与える。					○
22	PC 部材に用いる早強コンクリートのひび割れ抵抗性に与える骨材量の影響	佐々木、谷口 樋口	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.269 -274	上部工で用いられる設計基準強度 40 N/mm2 程度の早強コンクリートのひび割れ抵抗性に与える骨材量の影響について実験的に検討し、収縮によるひび割れに対する抵抗性を高めるためには，単位ペースト絶対容積を小さくするのが効果的であり，粗骨材量を大きくするとひび割れ発生材齢が大きくなる結果が得られている。		○			○

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
23	国内最大級スパン長を有する波形鋼板ウェブ橋の施工	内田、森田笠倉	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.319 -322	敦賀衣掛大橋(波形鋼板ウェブ箱桁ラーメン橋）の柱頭部では、下記の温度ひび割れ対策を実施 ①3 次元 FEM 温度応力解析を実施し，適切なコンクリート配合と打設リフト割りについて検討 ②4分割打設とし、1～3リフトに低熱ポルトを使用し、打設厚さの薄い4リフトには膨張コンクリートを採用。	○				
24	那智勝浦道路インターBランプ橋の施工	佐藤、前田倉富	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.323 -326	那智勝浦道路インターBランプ橋（ラーメン箱桁橋）の柱頭部では、下記の温度ひび割れ等の対策を実施 ①自己収縮、水和熱の低減を目的とし単位セメント量の低減 ②盛夏におけるコンクリート打設時の対策(生コンドラム散水、遮光ネット設置、ミスト噴霧、遅延型混和剤使用) ③3 次元温度応力解析に基づくパイプクーリング ④保水養生マットや養生テープによる暑中の養生対策	○	○			
25	由良川橋（A１～P３径間）の施工	鈴木、吉田森	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.327 -330	由良川橋（箱桁橋）の中間支点横桁部では、温度ひび割れ対策として、3 次元温度応力解析に基づき、リフト割と効率的なパイプクリーングの検討を行い実施	○				
26	東九州自動車道今川橋の設計・施工	中村、前原南上、保田	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.000 -000	東九州自動車道今川橋(波形鋼板ウェブ箱桁橋）の分割施工を行った固定支保工架設部では、他径間と閉合の後に外ケーブル緊張まで間があく上床版に、乾燥収縮によるひび割れ防止のため内ケーブルを１施工単位に最低２本配置。		○			

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
27	新鳴合橋新設工事における施工報告	荒渡、田村 岡本、白浜	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.335 -338	マスコンとなる新鳴合橋の A1 橋台に対し、下記の温度ひび割れ対策を実施 ①高性能ＡＥ減水剤を使用し単位セメント量を 13kg/m3 低減 ②収縮補償として膨張材を使用。 ③分割施工による新旧コンクリート打継の拘束度を低減。 ④隔壁などに誘発目地を設置して，外部拘束を低減。 ⑤上記対策後，温度応力解析によりひび割れ指数 1.45 を満たさない箇所に補強鉄筋の配置	○				
28	福知山道路堀高架橋の施工	岩垣、南部 楊村	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.339 -342	福知山道路堀高架橋（ラーメン箱桁橋）では、3 次元 FEM 温度応力解析結果に基づき、下記の温度ひび割れ対策を実施 ①柱頭部では、リフトの 2 分割打設、普通セメントへの変更、2 リフトへの膨張材使用、パイプクーリング、保温型枠（スタイロフォーム）の設置 ②分割施工目地部の拘束ひび割れ対策として，発生引張応力度に対する必要鉄筋量を配置と、表面のかぶり部分に FRP 格子筋を配置。なお，上床版における引張応力度の超過については，横締め PC 鋼材のプレストレスにより改善されることから FRP 格子筋による補強のみ実施。	○				
29	カウンターウェイトを有する PC 箱桁橋の施工報告 －伊南バイパス 2 号橋－	坪倉、今村 橋本、山本	第 23 回 PC シンポジウム	2014.10	pp.387 -390	153 号伊南バイパス 2 号橋(ラーメン箱桁橋)では、3 次元 FEM 温度応力解析結果に基づき、下記の温度ひび割れ対策を実施 ①張出し施工部のひび割れ対策として、ブロック長 2m 区間では膨張材の使用、2.5m 区間と 3.0m 区間では補強筋の追加 ②脚頭部では、空冷式パイプクーリング、膨張材添加、断熱型枠の設置、ガラス繊維ネットの設置 ③柱頭部では、空冷式パイプクーリング、膨張材添加、断熱型枠の設置、普通セメントへの変更	○				

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
30	能越道 中波2 号跨道橋工事の施工報告	田中、井上前田、草薙	第23回PCシンポジウム	2014.10	pp.547-550	中波2 号跨道橋(ポストテンPC 方杖ラーメン中空床版橋)では、下記のひび割れ対策を実施 ①橋脚基礎部の温度ひび割れ対策として、かぶり部のFRP格子筋を設置 ②橋台部では、分割打設による外部拘束ひび割れ対策として耐アルカリ性ガラス繊維補強材を設置、乾燥収縮ひび割れ対策として脱枠面に塗布型高性能収縮低減剤を塗布 ③壁式橋脚（方杖部）では、上部工主ケーブルの緊張計画の見直しにより、緊張作業によるひび割れを防止	○	○		○	
31	首都圏中央連絡自動車道 宮山高架橋の設計・施工	高岡、本庄實延、石田	第23回PCシンポジウム	2014.10	pp.555-558	首都圏中央連絡自動車道 宮山高架橋（PRC 連続箱桁橋）では、マスコンクリートとなる支点横桁で、温度ひび割れ対策として配温式パイプクーリングを実施	○				

(2) 初期変状防止対策に関する文献調査 （プレストレストコンクリート 2012～2014）

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
1	新東名高速道路佐奈川橋の施工 －高橋脚 PC 箱桁橋の施工－	盛田、南雲、川上、中井	プレストレストコンクリート	2012.9 Vol.54 No.5	p.8-13	片持ち張出架設工法にて施工する箱桁橋の脚頭部の部材厚が 80cm 以上であるため、マスコンクリートであり温度ひび割れが懸念される。 このため、温度応力解析の実施し、打設リフト割、およびセメント種別（中庸熱ポルトランドセメント、普通ポルトランドセメント）を決定した。	○				
2	桟１号橋の設計・施工 －曲線桁を有する上路式 RC 固定アーチ橋－	秋田、中嶋、玉置、内堀	プレストレストコンクリート	2013.5 Vol.55 No.3	p.23-30	上路式 RC アーチ橋のアーチアバットが、マスコンクリートとなるため、温度解析と配温式パイプクーリング（部材中心部の硬化熱を表面部に配熱）を実施した。	○				
3	関口高架橋他３橋（PC 上部工）南工事 －特徴的な形状を有する橋梁の設計・施工－	梶川、佐藤、松原、上田	プレストレストコンクリート	2013.5 Vol.55 No.3	p.37-45	連続多主版桁橋のマスコンクリートとなる支点横桁部には、事前温度解析の結果、コンクリート打設後の初期材齢時に横桁表面のひび割れ指数が 1.1 程度（ひび割れ発生確率）となることがわかった。 このため、部材内部の温度上昇を抑えて部材表面との温度差を低減する方法として、横桁内に冷水を通水するパイプクーリングを実施した。	○				
4	関口高架橋他３橋（PC 上部工）北工事 －版桁橋を中空としたU桁リフティング架設工法－	黒田、實延、西村、水田	プレストレストコンクリート	2013.9 Vol.55 No.5	p.16-23	現場内施工ヤードにて、U形のプレキャスト桁を製作して架設する工法を採用しているが、柱頭部については充実断面でありマスコンクリートとなる。 このため、事前に温度解析を行い、柱頭部に冷却水を通水しパイプクーリングを実施した。	○				
5	積雪寒冷地での幅員変化を有する PC 橋の施工 －東北中央自動車道　海老沢３号橋－	土田、吉田、大平、長尾	プレストレストコンクリート	2014.5 Vol.56 No.3	p.42-47	柱頭部が桁高 6.0m、横桁厚 4.0m のマスコンクリートとなっていることに加え、早強セメント使用、且つコンクリートの打設時期は平均気温の高い時期となっていた。 このため、事前に温度解析を行い、打設リフト割、養生方法を決定した。更に、コンクリートの硬化熱を抑える目的で、外ケーブル偏向管を利用したエアパイプクーリングを実施した。	○				

(3) 初期変状防止対策に関する文献調査 （コンクリート工学 2012～2014）

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
6	新東名高速道路「川下川橋」の施工 －部位に応じたコンクリートの検討とその施工実績－	岩島、波田、坂本、柳井	コンクリート工学	Vol.51, No.8, 2013.8	p.641-647	片持ち張出架設工法にて施工する箱桁橋の柱頭部がマスコンクリートとなる。 このため、低熱ポルトランドセメントの使用（上床版部は早強ポルトランドセメント＋膨張材）、打設リフト割（5 リフト）、温度応力解析の実施（最小ひび割れ指数 1.0 以上を満足）により配合を決定した。	○				
7	国内最長のフィンバック道路橋におけるコンクリートの施工 －各務原大橋上部工工事－	栃木、野村、長谷川、森下	コンクリート工学	Vol.51, No.10, 2013.10	p.801-806	移動架設桁を用いた張出架設工法にて施工するフィンバック箱桁橋の柱頭部がマスコンクリートとなり、温度応力による有害なひび割れの発生が懸念された。 このため、早強ポルトランドセメントを普通ポルトランドセメントに変更、暑中はエアクーリングを実施、打設リフト割と膨張材を使用（2 リフトのみ）。これらを、温度応力解析を実施（最小ひび割れ指数 1.0 以上を満足）して決定した。	○				
8	デザインビルド方式で発注された新東名高速道路青木橋（仮称）の設計および施工	古川、大谷、中安、岩崎	コンクリート工学	Vol.51, No.11, 2013.11	p.911-916	片持ち張出架設工法にて施工する箱桁橋の柱頭部がマスコンクリートとなり、温度ひび割れ防止が課題となった。 事前に温度応力解析を行い、打込みリフトを決定した。	○				
9	新名神高速道路　朝明川橋、小牧高架橋の下部工施工におけるひび割れ防止対策	野島、片山、細野、平野	コンクリート工学	Vol.52, No.6, 2014.6	p.534-539	橋脚躯体は形状寸法が大きくマスコンクリートとみなされる。このため、次のような対策を実施した。 ・温度ひび割れ対策：中庸熱ポルトランドセメントの使用、パイプクーリングの実施、保温・湿潤養生の実施、温度応力解析の実施、温度応力解析でひび割れ指数が 1.0 以上を満足していない部位へのガラス繊維ネットの設置。 ・収縮ひび割れ対策：収縮低減型高性能 AE 減水剤の使用、石灰石骨材の使用、保温・湿潤養生の長期間の実施、連続式 RI コンクリート水分計による計測。	○	○			

(4)　初期変状防止対策に関する文献調査　（橋梁と基礎 2012～2014）

No	表題	著者名	出展			概要	初期変状の分類				
			出展名	年月日	該当頁		温度応力	乾燥収縮	施工全般	緊張	その他
10	北陸新幹線 神通川橋りょうの設計・施工	杉原、木村、塚本、米谷、渡辺	橋梁と基礎	2013-11	p.5-10	片持ち張出架設工法にて施工する箱桁橋（エクストラドーズド）の柱頭部がマスコンクリートとなり、柱頭部が主塔の基部となるため過密配筋となる。このため、次のような対策を実施した。 ・マスコンクリート対策：打ち込みを 3 リフトに分割し、断熱型枠の使用と型枠設置期間を 11 日以上とし、温度応力解析を実施（最小ひび割れ指数の目標値 1.5）した。 ・過密配筋対策：高性能 AE 減水剤を使用し、スランプ 15cm のコンクリート（維持時間 2 時間）で施工した。	○				○
11	さがみ縦貫城山橋（仮称相模川橋）上部工事の施工	佐久間、大賀、古賀、平原、濱田	橋梁と基礎	2014-3	p.29-34	片持ち張出架設工法にて施工する箱桁橋の柱頭部がマスコンクリートとなる。 このため、普通ポルトランドセメント＋膨張材の使用、打設リフト割（3 リフト）、温度応力解析を実施（最小ひび割れ指数 1.0 以上を満足）した。	○				
12	海上ラーメン箱桁橋の計画・設計	林、岡田、渡辺、山本、島田	橋梁と基礎	2014-9	p.20-25	片持ち張出架設工法にて施工する箱桁橋の脚頭部および柱頭部がマスコンクリートとなる。このため、いくつかのケースで検討を行い次のような対策を実施した。 打ち込みを 5 リフトに分割し、低熱セメントを使用（上床版部のみ普通セメント使用）、暑中コンクリートとなる場合はプレクーリングを実施。これらを温度応力解析により決定した。	○				

4.3.2　文献調査結果のまとめ

文献調査結果より、以下のことが言える。

(1) 全体的な傾向

コンクリート硬化時に生じる水和熱に対する温度ひび割れ防止に関する文献が多く、柱頭部や中間支点上等のマスコン部材に対する温度上昇の防止対策や、分割施工による打継目部の外部拘束を低減するための工夫が多く示されている。調査結果から、ここでは温度ひび割れの防止対策とプレストレスに起因するひび割れの防止についてまとめる。

(2) 温度ひび割れ防止対策

コンクリート標準示方書［設計編：本編］2012　12 章 初期ひび割れに対する照査では、

> 12.1　一般
>
> (3)セメントの水和に起因するひび割れが問題となる場合には、実績による評価、または温度応力解析による評価のいずれかの方法により照査しなければならない。

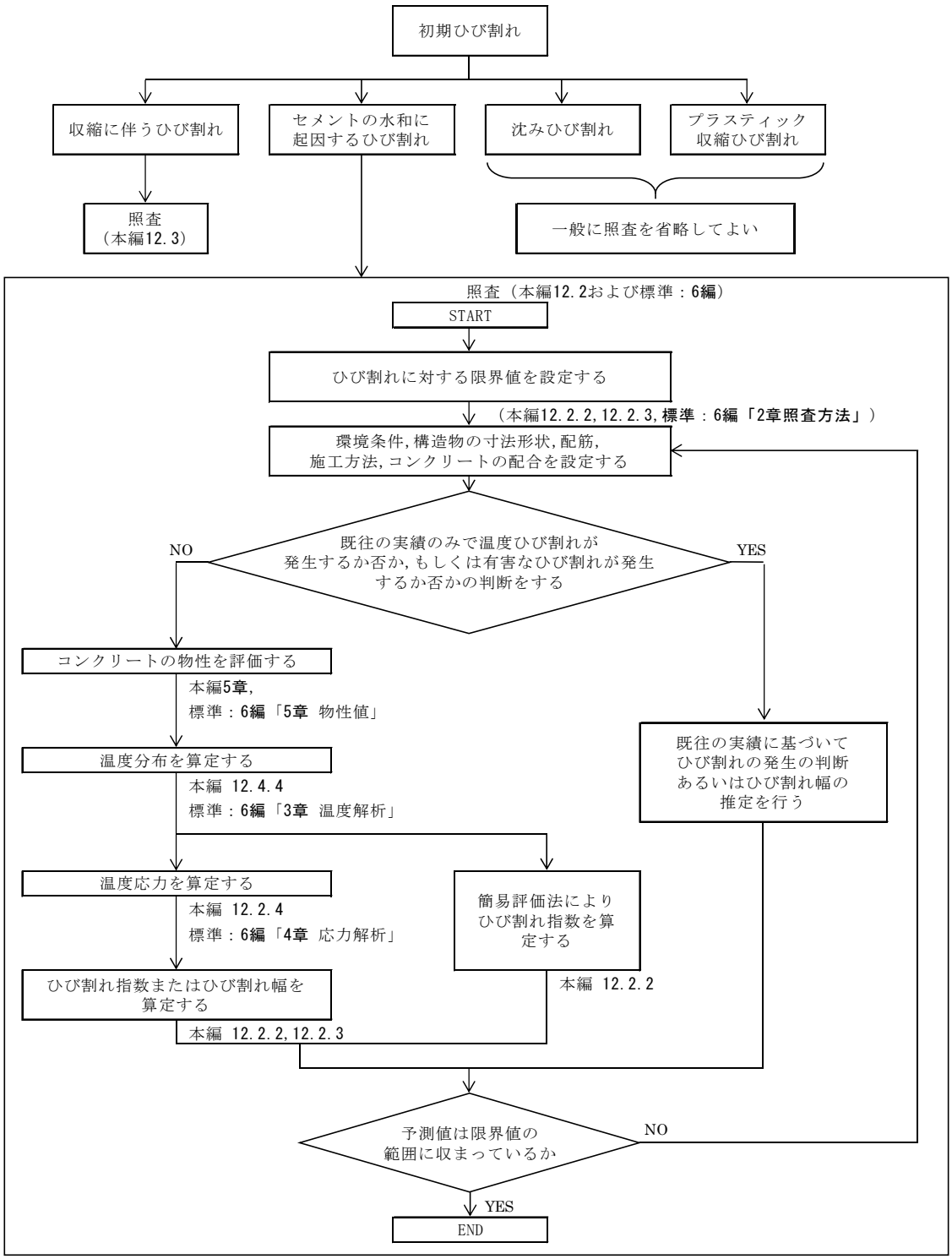
とし、初期ひび割れに対する照査フローを**図-4.3.1** のように示している。

このフロー図の中段に示す「既往の実績のみで温度ひび割れが発生するか否か、もしくは有害なひび割れが発生するか否かを判断する」の判定では、明確にひび割れの発生を判断することも困難であることから、近年では、電算技術の発展も有り、温度解析を実施するケースが増えてきている。

そして、調査した文献では、マスコン部材のセメントの水和熱に起因するひび割れ（温度ひび割れ）防止対策として、以下の様な手法を用いて解決に至った事例が示されている。

1) 設計的な工夫

- 多くのケースで三次元温度応力解析を実施し、施工前にその効果を検討している。
- 温度解析等で検討を行ない、柱頭部などでは打込み時のリフト割の変更し、1 回の打込み量を低減させている事例もある。
- 温度応力により引張応力が生じる箇所には、引張力に相当する補強鉄筋を配置し、有害なひび割れ発生を防いでいる。
- 二主版桁橋のように主桁と床版に剛性差の大きな断面形状では、温度差が生じひび割れが生じやすいとしている。事前に温度解析等を行ない、補強方法を検討した事例もある。
- 片持ち架設工法で施工する PC 箱桁橋では、張出し床板先端付近の橋軸方向引張力（目開き）に着目した場合、新設部のブロック長、全体幅員や張出し床版長の影響が顕著となり、打設温度や施工サイクルの影響は少ないとした検討結果もある（PC シンポジウム No.2）。



※コンクリート標準示方書［設計編：本編］2012 (公社)土木学会より

図-4.3.1 初期ひび割れに対する照査フロー

2) 施工的な工夫

・パイプクーリングやエアークーリングを実施し、コンクリート硬化時の発熱温度を低減させ、内部と外部の温度差を少なくし、ひび割れを防いだ事例もある。また、クーリングのダクトとしてシースや外ケーブルの偏向管を利用した事例もある。

・温度応力によりひび割れが発生しやすい箇所はかぶり内に FRP 補強筋やガラス繊維ネットを設置し、ひび割れを防いでいる事例もある。

・養生面では、急激な乾燥収縮を防ぐ目的とは別に内部温度と外部温度の差が少なくなるまで型枠の設置期間を延期しひび割れを防ぐ事例もある。

・通常の木製型枠以外にも保温型枠や保水養生テープを使用して乾燥収縮を防いでいる事例もある。

3) 使用材料の工夫

・打継目箇所のひび割れ防止対策として、膨張剤や収縮低減剤を利用し、収縮によるひび割れを防いでいる事例もある。

・早強コンクリートから普通コンクリートに材料変更している事例もある。更に、低発熱セメント（PC シンポジウム No23）を使用した事例もある。その他にも高性能 AE 減水剤を用いて単位セメント量を低減させた事例もある。

4) まとめ

・以上をまとめると、温度ひび割れについては、以下の点に着目しながら温度解析を実施して、ひび割れ防止に努めていることがわかった。

項目別	対処事例
設計的な工夫	・マスコン部材では 1 回の打込み量を減らしたり、リフト割りを変更し、発熱を防いでいる（特に発熱量が高くなるマスコン部材に多い）。 ・ひび割れ発生が予想される箇所では、補強鉄筋を配置しひび割れ幅を抑制している。 ・打継ぎ目箇所は、既設コンクリートからの拘束を少なくするような工夫を行なっている。
施工的な工夫	・クーリング養生を行ない、発熱量を抑制している（特に発熱量が高くなるマスコン部材に多い）。 ・表面の乾燥収縮によるひび割れ発生が予想される箇所には FRP 補強筋やガラス繊維ネットを設置している。 ・型枠の設置期間を延ばしたり、もしくは保温型枠、保湿養生テープなどを使用し、乾燥収縮を防いでいる。
材料的な工夫	・膨張剤や収縮低減剤を利用し、収縮によるひび割れ防止に努めている（特に打ち継ぎ目箇所で多い）。 ・発熱量の少ないセメントへ材料変更している（特に発熱量が高くなるマスコン部材に多い）。

(3) プレストレスに起因するひび割れ防止対策

プレストレスに起因するひび割れは、道路橋示方書Ⅲ H24 にその防止策が下記に示すようにいくつか示されているが、いずれも基本的なことが中心であり、特殊な事例まで示されたものではない。

・6 章　形状及び鋼材の配置
　6.6.6　ＰＣ鋼材の配置
　6.6.7　ＰＣ鋼材の定着
　6.6.8　定着具付近の補強
・10 章　箱桁
　10.5　開口部の補強及び下フランジとウェブの構造
・18 章　外ケーブル
　18.2　設計一般
・20 章　施工
　20.8　ＰＣ鋼材工および緊張工

また、近年では、電算技術の発展も有り、プレストレスによる局部応力を確認するため 3 次元 FEM 解析を実施するケースも増えてきている。

プレストレスの導入方法について工夫されている事例は以下のとおりである。

1) 設計的な工夫

・部材の途中に定着を行なう突起定着では、その部材周辺に局部的な作用が生じるためひび割れが生じやすい。また、大容量ケーブルの使用や複数本の定着もひび割れが生じやすい。３次元 FEM 解析等でその補強方法を検討している事例がある。

・広幅員の橋梁では、いずれかのウェブのみ集中してプレストレスを導入するとそのウェブのみが反り上がり、ウェブ同士のたわみ差から橋軸方向にひび割れが生じやすい。緊張時の施工性をも考慮し、ひび割れが発生しない順序を検討している事例もある。

2) 施工的な工夫

・コンクリートの打込み後、プレストレスを導入するまで時間を要する構造では、乾燥収縮等でひび割れが生じやすい。そのため、一部の PC 鋼材を先に 1 次緊張し、その後に最終的なプレストレスを導入しているケースもある。

・新幹線の馬桁の様に、橋軸方向、橋軸直角方向に同時に断面力が作用する構造では、どちらか一方だけにプレストレスを作用させないように、自重とプレストレスが適切に作用するように両方向の緊張順序を検討している事例もある。

・固定支保工架設では、自重とプレストレスの関係から支保工に固定され自重が作用しない状態のままでプレストレスを作用させるとひび割れが生じやすいとしている。導入したプレストレス力に適した支保工開放を行なった事例もある。

3) 使用材料の工夫

・プレストレスに起因するひび割れの防止対策として、使用材料まで工夫した事例は特には無かったが、大容量ケーブルで局部的な応力を作用させるより、応力を適切に分散できる容量の小さいケーブルを用いることは有効と考えられる。

・また早期にプレストレスを導入するためには早期強度が求められるが、逆に硬化熱が上昇することで温度ひび割れにつながる可能性が高いため、コンクリートの選定は慎重に行う必要がある。

4) まとめ

・以上をまとめると、以下の点に着目しながらプレストレスに起因するひび割れ防止に努めていることがわかった。

項目別	対処事例
設計的な工夫	・部材途中に定着を行なう突起定着や大容量ケーブルを複数本の定着させるような構造では3次元 FEM 解析等でその補強方法を検討している。 ・プレストレスによる応力を均等に主桁に作用させるとともに施工性も考慮しプレストレスの導入順序を決定している。
施工的な工夫	・プレストレスを導入するまで時間を要する構造では、乾燥収縮によるひび割れ防止のために一部の PC 鋼材を先に部分緊張する。 ・支持方向が複雑な構造では、自重とプレストレスが適切に作用するように緊張順序を検討している。 ・固定支保工の施工では自重とプレストレスが適切作用するようにプレストレス力に応じた支保工開放を行なっている。
材料的な工夫	・材料的な工夫は特に見あたらなかったが、応力を適切に分散できる容量の小さいケーブルを用いることは有効と考えられる。

4.3.3 まとめ

初期変状防止対策に関する文献調査結果から、コンクリート硬化時に生じる水和熱に対する温度ひび割れ防止対策とプレストレスに起因するひび割れの防止対策についてまとめた。温度ひび割れの防止対策については、コンクリート標準示方書にはその考えは記載されているものの、道路橋示方書では施工時の規定や留意事項として示されている程度である。そのため、主に施工者が各構造形式の特性を考慮した検討を行い、ひび割れの抑制に努めていることがわかった。

また、プレストレスに起因するひび割れの防止対策は、道路橋示方書の設計に関する章で示されている内容も多いが、失敗から学んだと思われる事例もあった。プレストレスに起因するひび割れの防止対策は PC 構造を理解して適切な設計が行われ、それが施工に反映されることではじめて有効になる。

4.4　初期変状防止のための提案事項

4.4.1　施工時および竣工後の弱材令時に生じやすいひび割れ事例

いままでに示した内容等から、施工時および竣工後間もない時期に生じやすい初期変状（初期ひび割れ）とは、PC 橋ではどのような部位で、どのような傾向であれば生じやすくなるのかを整理すると共に、その発生原因や防止対策の検討を行なった。なお、ここでは初期変状を対象としているため、供用後の荷重の影響や材料劣化の影響等による変状を除き、施工時および竣工後の弱材令時に生じやすいひび割れを対象としている。また、各々のひび割れに対し、「発生状況」、「特に発生しやすい箇所」、「発生原因」、「防止対策」、「防止のための基準類」、「ひび割れパターン事例」の 6 項目についてまとめた。

次ページ以降に 3.5 および 4.2 で整理した初期変状防止レベルの分類から主にひび割れが発生しやすい原因と考えられる(1)～(5)の項目について検討を行った結果を示す。

(1)　温度応力によるひび割れ
- ①　柱頭部
- ②　中間支点および端支点横桁

(2)　打継ぎ目箇所のひび割れ
- ①　プレキャスト桁の間詰めコンクリートとの打継ぎ目
- ②　プレキャスト桁と現場打ち張出し床版との打継ぎ目
- ③　固定支保工箱桁橋でウェブと上床版を２分割施工する打継ぎ目
- ④　連続形式の箱桁橋および中空床版橋で支間毎に分割施工を行なう場合の打継ぎ目
- ⑤　張出し架設するブロックの打継ぎ目
- ⑥　柱頭部で分割施工する打継ぎ目
- ⑦　地覆・壁高欄

(3)　後打ち箇所の不具合によるひび割れ
- ①　プレキャスト桁の横桁カバーコンクリート
- ②　定着具箱抜き後埋め

(4)　プレストレスによる影響のひび割れ
- ①　主桁端部の定着部
- ②　突起定着部
- ③　偏向部
- ④　プレストレスと自重の作用
- ⑤　箱桁下床版に配置した支間ケーブルの腹圧作用

(5)　コンクリートの施工要因に起因するひび割れ
- ①　かぶり不足

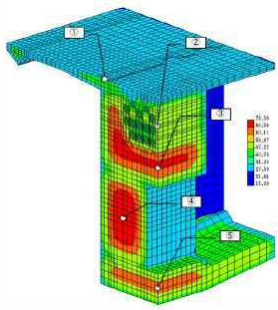
② 締め固め不良

③ 養生不良

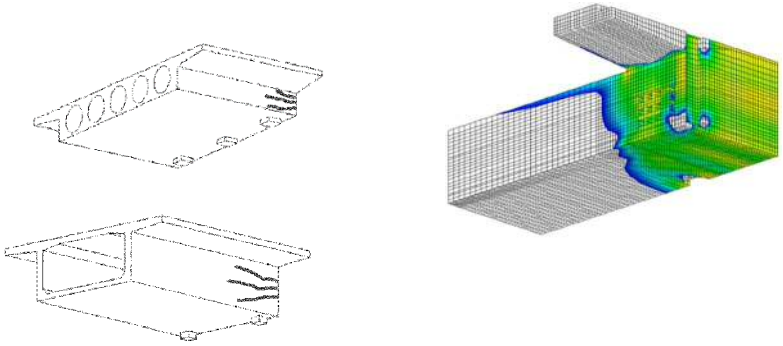
④ セグメント継手不良

(1) 温度応力によるひび割れ

① 柱頭部

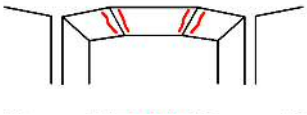
項　目	解　説
発生状況	・張出し架設の柱頭部のように桁高が高く、部材寸法が大きな箇所ではコンクリートの 1 回当たりの打込み量が多くなりコンクリート硬化時の温度発熱が高くなるため温度ひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・部材寸法が大きく 1 回の打込み量が多くなる場合。 ・暑中施工などコンクリート温度が高くなる場合。 ・早強セメントなど硬化時の発熱量が高い材料を使用した場合。
発生原因	・マスコンの温度発熱。
防止対策	・温度応力解析を実施し、有効な対策を検討する。 ・分割施工（リフト割）数を増加させ 1 回の打込み量を減少させる。 ・普通セメントにするなど使用材料を見直す。 ・練混ぜ前の材料クーリング、パイプクーリングやエアークーリングなどを行い、発生温度を抑制する。 ・ひび割れに対する補強鉄筋を配置する。
注意事項	・1 回の当り打込み量を減らし分割数を増やすと、逆に打継目箇所が増えるため外部拘束の影響を受けやすくなる。
防止のための基準類	**【道示】20.6　コンクリート工(8)** ・温度応力によるひび割れが懸念される場合は、材料、打ち込み方法、養生方法等について検討を行い、有害となるひび割れ発生を防止する。 ・【解説】、防止のために各種の検討が必要であるとし、具体的な制御方法には、「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008」－日本コンクリート工学会、「2012 制定　コンクリート標準示方書[設計編]」－土木学会　を準用するとよいとしている。
ひび割れパターン事例	・橋梁点検要領等には、この種のひび割れの記載無し。 ・4 回に分けて打込んだ解析事例を右図に示す。温度上昇が大きいため内部拘束によりひび割れが生じやすい。 

②　中間支点および端支点横桁

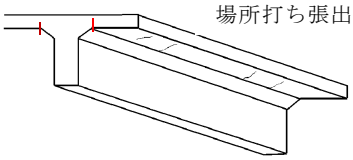
項　目	解　説
発生状況	・箱桁などの中間支点部や端支点部のように部材寸法が大きな箇所ではコンクリートの１回当たりの打込み量が多くなりやすく、コンクリート硬化時の温度発熱が高くなるため温度ひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・部材寸法が大きく１回の打込み量が多くなる場合。 ・暑中施工などコンクリート温度が高くなる場合。 ・早強セメントなど硬化時の発熱量が高い材料を使用した場合。
発生原因	・マスコンの温度発熱。
防止対策	・温度応力解析を実施し、有効な対策を検討する。 ・普通セメントにするなど使用材料を見直す。 ・練混ぜ前の材料クーリング、パイプクーリングやエアークーリングなどを行い、発生温度を抑制する。 ・ひび割れに対する補強鉄筋を配置する。
注意事項	・一般的には型枠の仕切り版の設置や打継ぎ処理に手間がかかり、他の主桁部と同時打込みするケースが多い。
防止のための基準類	**【道示】20.6　コンクリート工(8)** ・温度応力によるひび割れが懸念される場合は、材料、打込み方法、養生方法等について検討を行い、有害となるひび割れ発生を防止する。 ・【解説】防止のために各種の検討が必要であるとし、具体的な制御方法には、「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008」－日本コンクリート工学会、「2012 制定　コンクリート標準示方書[設計編]」－土木学会　を準用するとよいとしている。
ひび割れパターン事例	・橋梁点検要領等には、この種のひび割れの記載無し。 ・端支点横桁では、張出し床版下側の橋軸方向に生じやすく、プレストレスによるひび割れ（新分類【16】、橋梁点検要領 H26-(19)）と区別が困難となる。 

(2)　打継ぎ目箇所のひび割れ

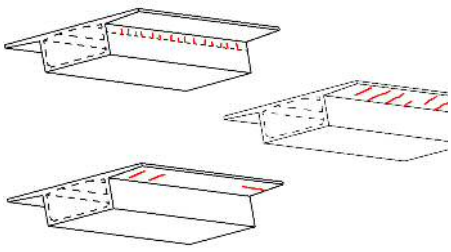
①　プレキャスト桁の間詰めコンクリートとの打継ぎ目

項　目	解　説
発生状況	・プレキャスト桁同士の間に打込まれる間詰めコンクリートは、主桁からの外部拘束により橋軸直角方向にひび割れが生じやすい。 ・乾燥収縮の影響で主桁と間詰めコンクリートとの隙間が生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・間詰め床版厚が薄く、主桁長（拘束範囲）が長い場合。
発生原因	・既設コンクリート面での外部拘束。 ・乾燥収縮。
防止対策	・付着性を高めるため継目部の目荒らし処理を行なう。 ・橋軸方向の補強鉄筋を配置する。 ・養生方法を工夫し乾燥収縮を防ぐ。
注意事項	・コンクリートの打込み量は多くないが、部材が薄くひび割れが貫通しやすいため、床版からの水漏れが生じる場合もある。
防止のための基準類	**【道示】6.6.13　用心鉄筋　(4)** ・「打継目付近には新旧コンクリートの温度差、乾燥収縮等に対し用心鉄筋を配置する。」としているが具体的な照査方法、鉄筋量は示されていない。 **【道示】20.6　コンクリート工(7)** ・「打継ぎ目は、温度応力及び乾燥収縮によるひび割れが発生しないように考慮する」とし、具体的な照査方法、鉄筋量まで示されていない。 ・本パターンに該当する項目とし、解説では以下の留意点が示されている。 3)水和熱や外気温による温度応力や、乾燥収縮によるひび割れが生じやすいため、新旧コンクリートの温度差を少なくする。また、打継目付近には配力鉄筋等を他の部分に比べ密に配置する。 4)洗い出し仕上げで遅延剤を用いる場合は、仕上げ具合のむらや骨材の緩みが生じないように適切な処理方法をあらかじめ確認する。
ひび割れパターン事例	・新分類【22】、橋梁点検要領無し　　新分類【23】、橋梁点検要領無し 

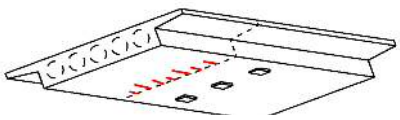
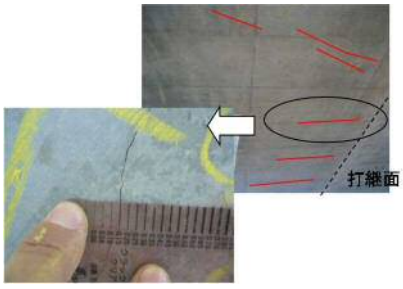
②　プレキャスト桁と現場打ち張出し床版との打継ぎ目

項　目	解　説
発生状況	・プレキャスト桁の外側に設置される張出し床版コンクリートは、主桁からの外部拘束の影響で橋軸直角方向にひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・主桁長（拘束範囲）が長い場合。 ・張出し床版が大きく、温度発熱の影響が大きい場合。
発生原因	・既設コンクリート面での外部拘束。 ・乾燥収縮の影響。 ・マスコンの温度発熱の影響。
防止対策	・普通セメントに変更するなど使用材料を見直し、発熱温度を抑制する。 ・付着性を高めるため継目部の目荒らし処理を行なう。 ・橋軸方向の補強鉄筋を配置する。 ・養生方法の工夫し、乾燥収縮を防ぐ。
注意事項	・プレキャスト桁の張出し床版は、一般的に橋軸方向にプレストレスが作用していないため、橋軸方向の補強筋が少ないケースではクリープと乾燥収縮の影響からひび割れは拡大しやすい。
防止のための基準類	【道示】20.6　コンクリート工(7) ・本パターンに該当する項目とし、解説では以下の留意点が示されている。 3)水和熱や外気温による温度応力や、乾燥収縮によるひび割れが生じやすいため、新旧コンクリートの温度差を少なくする。また、打継目付近には配力鉄筋等を他の部分に比べ密に配置する。 4)洗い出し仕上げで遅延剤を用いる場合は、仕上げ具合のむらや骨材の緩みが生じないように適切な処理方法をあらかじめ確認する。 5)打継目は塩分や水が浸透しやすいため、打継目を出来るだけ少なくするように計画をする。
ひび割れパターン事例	・橋梁点検要領には、記載は無いが、場所打ちの張出し床版に以下のようなパターンのひび割れが生じやすい 橋梁点検要領 H26-(22) 

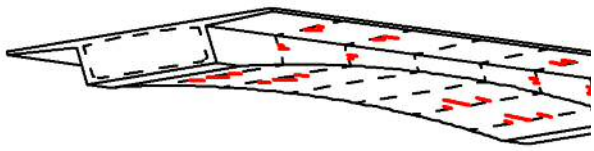
③　固定支保工箱桁橋でウェブと上床版を２分割施工する打継ぎ目

項　目	解　説
発生状況	・固定支保工で施工する場所打ち箱桁橋では、下床版・ウェブと上床版を 2 回に分けて分割施工することから、上床版側の打継ぎ目部ではウェブからの外部拘束の影響で橋軸直角方向にひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・ウェブとの材令差が大きい場合。 ・主桁長（拘束範囲）が長い場合。 ・打継目部の上床版が厚く、温度発熱の影響が大きい場合。
発生原因	・材令差や既設コンクリート面での外部拘束。 ・マスコンの温度発熱。
防止対策	・温度応力解析を実施し、有効な対策を検討する。 ・付着性を高めるため継目部の目荒らし処理を行なう。 ・橋軸方向の補強鉄筋を配置する。 ・養生方法の工夫し、乾燥収縮を防ぐ。
注意事項	・連続桁のように拘束範囲が大きいケースでは乾燥収縮の影響からひび割れは拡大しやすい。
防止のための基準類	【道示】20.6　コンクリート工(7) ・本パターンに該当する項目とし解説では以下の留意点が示されている。 1)打継目位置は、構造物の性質等をよく理解した上で、その位置、方向、構造及び施工方法を定める。 3)打継目付近には、配力鉄筋等を他の部分に比べ密に配置する。 4)洗い出し仕上げで遅延剤を用いる場合は、仕上げ具合のむらや骨材の緩みが生じないように適切な処理方法をあらかじめ確認する。 5)打継目は塩分や水が浸透しやすいため、打継目を出来るだけ少なくするように計画を検討する。
ひび割れパターン事例	・新分類【11】 

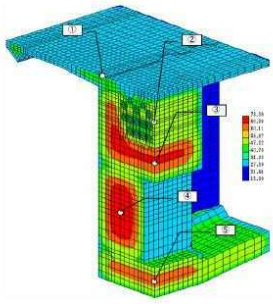
④　連続形式の箱桁橋および中空床版橋で支間毎に分割施工を行なう場合の打継ぎ目

項　目	解　説
発生状況	・連続形式の箱桁橋および中空床版橋で支間毎に分割施工を行なう打継目部では、既に施工された旧コンクリートによって外部拘束されることから、新設コンクリート側に橋軸方向のひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・既設コンクリートとの材令差が大きい場合。 ・既設コンクリートからの外部拘束が大きくなる広幅員主桁の場合。 ・打継目部の部材が厚く、温度発熱の影響が生じる場。
発生原因	・材令差や乾燥収縮。 ・既設コンクリート面での外部拘束。 ・マスコンの温度発熱。
防止対策	・温度応力解析を実施し、有効な対策を検討する。 ・付着性を高めるため継目部の目荒らし処理を行なう。 ・橋軸直角方向の補強鉄筋を配置する。 ・養生方法の工夫し乾燥収縮を防ぐ。 ・橋軸直角方向にプレストレス導入し圧縮力を与える。
注意事項	・従来からこのひび割れパターンは多く、特別な対策を行なわない場合、下床版下面にひび割れが生じている
防止のための基準類	**【道示】20.6　コンクリート工(7)** ・本パターンに該当する項目とし、解説では以下の留意点が示されている。 3)打継目付近は配力鉄筋等を他の部分と比較して密に配置する。 4)洗い出し仕上げで遅延剤を用いる場合は、仕上げ具合のむらや骨材の緩みが生じないように適切な処理方法をあらかじめ確認する。 5)打継目は塩分や水が浸透しやすいため、打継目を出来るだけ少なくするように計画する。 6)打込み量が大きい場合、コンクリートの種類及び品質、打込み終了までの経過時間、温度、締固め方法等の影響を考慮しコールドジョイントを防ぐ。 3)と同じように**【コンクリート道路橋設計便覧】**は以下のように記述。 ・一段目は 5～7.5cm の近接に配置する。 ・打継面から 50cm 程度の範囲で D13 以上を ctc10～15cm 配置する。 ・その 50cm の範囲では、断面積の 0.2%以上の鉄筋量を配置する。
ひび割れパターン事例	・新分類【13】  

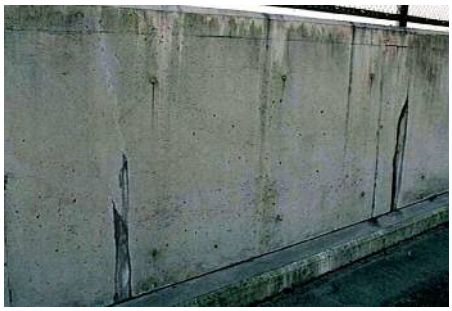
⑤　張出し架設するブロックの打継ぎ目

項　目	解　説
発生状況	・張出し架設を行なう箱桁橋の各ブロックの打継目部では、既に施工された旧コンクリートによって外部拘束されることから、新設コンクリート側に橋軸方向のひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・柱頭部と第１ブロックの打継目は、材令差が大きい、桁高が高い、部材が厚いことから、外部拘束と温度発熱の影響でひび割れが生じやすい。 ・外部拘束が大きい広幅員断面の上床版打継目部はひび割れが生じやすい。 ・材令差が大きく、両面拘束となる中央閉合部では上床版にひび割れが生じやすい。 ・特に床版幅員に比べ中央閉合部長が短いケースでは、外部拘束の影響を顕著に受ける。
発生原因	・既設コンクリート面での外部拘束。 ・マスコンの温度発熱。
防止対策	・温度応力解析を実施し、有効な対策を検討する。 ・橋軸直角方向の補強鉄筋を配置する。 ・養生方法を工夫し乾燥収縮を防ぐ。 ・打継目付近の床版横締め配置は、他の区間に比べ密に配置する。
注意事項	・コンクリート効果時の外部拘束だけでなく、新設側の床版横締めプレストレスも既設コンクリートで外部拘束されることから、既設側の横締め鋼材を２～3 本引き残しておき、新設側と同時に緊張するケースが多い。
防止のための基準類	**【道示】20.6　コンクリート工(7)** ・本パターンに該当する項目とし、解説では以下の留意点が示されている。 3)打継目付近は配力鉄筋等を他の部分と比較して密に配置する。 4)洗い出し仕上げで遅延剤を用いる場合は、仕上げ具合のむらや骨材の緩みが生じないように適切な処理方法をあらかじめ確認する。 5)打継目は塩分や水が浸透しやすいため、打継目を出来るだけ少なくするように計画する。 3)のと同じように**【コンクリート道路橋設計便覧】**は以下のように記述。 ・一段目は 5～7.5cm の近接に配置する。 ・打継面から 50cm 程度の範囲で D13 以上を ctc10～15cm 配置する。 ・その 50cm の範囲では、断面積の 0.2%以上の鉄筋量を配置する。
ひび割れパターン事例	・新分類　【13】 

⑥　柱頭部で分割施工する打継ぎ目

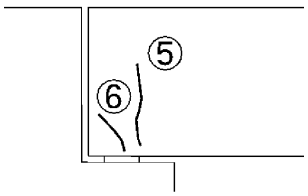
項　目	解　説
発生状況	・1)の①の注意事項でも示す内容でもあるが、柱頭部の打込み分割数を増やしてコンクリートを打込む場合、温度発熱の影響を抑制することは可能となるが、逆に打継ぎ目部の外部拘束により打継ぎ面にひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・材令差が大きいケース。 ・打継ぎ面の拘束面積が大きいケース。 ・特に柱頭部の部材寸法が大きく、1回当たりの打込み量が多いケース。
発生原因	・既設コンクリート面での外部拘束。 ・マスコンの温度発熱。
防止対策	・セメント材料の見直し発熱温度を抑制する。 ・打継面の直角方向の補強鉄筋を配置する。 ・養生方法を工夫し乾燥収縮を防ぐ。
注意事項	・1回の打込み可能量と分割施工による工程への影響を考慮し適切な分割数に設定する必要がある。
防止のための基準類	**【道示】20.6　コンクリート工(7)** ・本パターンに該当する項目とし、解説では以下の留意点が示されている。 1)打継目位置は、構造物の性質等をよく理解した上で、その位置、方向、構造及び施工方法を定める。 3)打継目付近は配力鉄筋等を他の部分と比較して密に配置する。 4)洗い出し仕上げで遅延剤を用いる場合は、仕上げ具合のむらや骨材の緩みが生じないように適切な処理方法をあらかじめ確認する。 5)打継目は塩分や水が浸透しやすいため、打継目を出来るだけ少なくするように計画する。 6)打込み量が大きい場合、コンクリートの種類及び品質、打込み終了までの経過時間、温度、締固め方法等の影響を考慮しコールドジョイントを防ぐ。
ひび割れパターン事例	・橋梁点検要領等には記載無し 

⑦　地覆・壁高欄

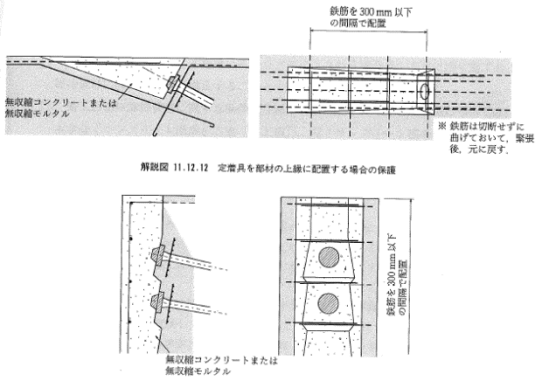
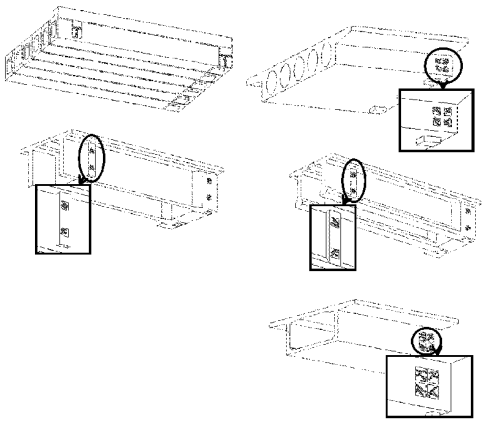
項　目	解　説
発生状況	・地覆・壁高欄のコンクリートは、既設の橋体コンクリートの外部拘束の影響を受け、鉛直方向にひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・橋体コンクリートと材令差が大きい場合。 ・外部拘束が大きくなる地覆・壁高欄が長い場合。
発生原因	・既設コンクリート面での外部拘束。 ・乾燥収縮。
防止対策	・Ｖカットや誘発目地を設置する。 ・コンクリートに膨張材を添加する。 ・軸方向の補強鉄筋を配置する。 ・養生方法の工夫し、乾燥収縮を防ぐ。
注意事項	・Ｖカットや誘発目地の追加設置は、防護柵の機能を失わないように適切な間隔に配置する必要がある。 ・Ｖカットや誘発目地から橋面水が地覆外側へ漏水しない対策が必要となる。
防止のための基準類	**【道示】20.6　コンクリート工(7)** ・本パターンに該当する項目とし、解説では以下の留意点が示されている。 4)洗い出し仕上げで遅延剤を用いる場合は、仕上げ具合のむらや骨材の緩みが生じないように適切な処理方法をあらかじめ確認する。 5)打継目は塩分や水が浸透しやすいため、打継目を出来るだけ少なくするように計画する。 6)打込み量が大きい場合、コンクリートの種類及び品質、打込み終了までの経過時間、温度、締固め方法等の影響を考慮しコールドジョイントを防ぐ。
ひび割れパターン事例	・橋梁点検要領等には記載無し 

(3) 後打ち箇所の不具合によるひび割れ

① プレキャスト桁の横桁カバーコンクリート

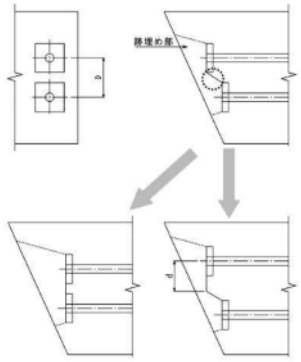
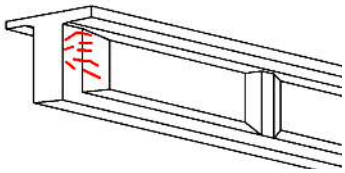
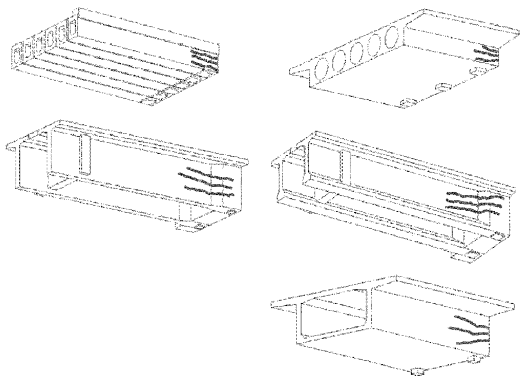
項　目	解　説
発生状況	・プレテン桁、ポステン桁に限らずプレキャストＴ桁などの横桁定着部を覆うカバーコンクリートにはひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・連結桁の中間支点部のカバーコンクリートは、応力が作用しないと仮定し、最小鉄筋量しか配置していない事例が多くひび割れが生じやすい。
発生原因	・既設コンクリート面での外部拘束、乾燥収縮。 ・鉄筋不足（カバーコンクリートには力が作用しないため最小鉄筋量しか配置されていない事例が多い）。
防止対策	・継目部の目荒らし処理を行なう。 ・コンクリートに膨張材を添加する。 ・補強鉄筋を配置する。 ・養生方法を工夫し、乾燥収縮を防ぐ。
注意事項	・橋梁点検では主桁本体のひび割れではないにも関わらず支点上の鉛直ひび割れと評価されるケースが多い。
防止のための基準類	**【道示】6.4　最小鉄筋量　(4)** 断面積の 0.15%以上の付着のある鋼材を配置する。 **【道示】6.6.13　用心鉄筋　(3)** 場所打ち桁では D13ctc300 以上の軸方向鉄筋を配置する。 連結桁の中間支点部のカバーコンクリートは、応力が作用しないものとして設計する事例が多いが、設置後は主桁との合成断面となることから曲げ応力が作用し、ひび割れが生じやすいことがどの基準にも記述されていない。
ひび割れパターン事例	・原因は違うが、橋梁点検要領 H26 では、(5)に分類されるケースもある。  連結部カバーコンクリート

② 定着具箱抜き後埋め

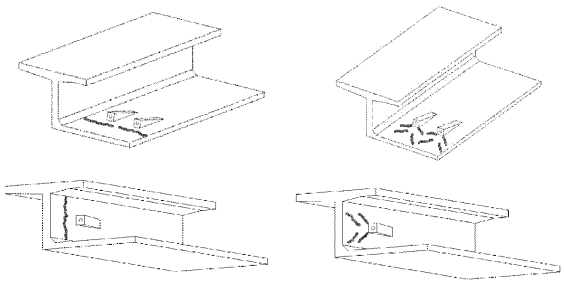
項　目	解　説
発生状況	・定着部の後埋めコンクリートにひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・特に桁端定着部、突起定着の箱抜き箇所。 ・横締め箱抜き定着の後埋箇所。
発生原因	・既設コンクリート面での外部拘束、乾燥収縮。 ・補強鉄筋不足（配置していない事例も多い）。
防止対策	・継目部の目荒らし処理を行なう。 ・無収縮モルタルもしくは膨張系の後埋め材を使用する。 ・補強鉄筋を配置する。 ・表面防水処理・表面塗装処理を実施する。
注意事項	・ひび割れ箇所から漏水し、PC 鋼材に達するケースもある。 ・横締め箱抜きでモルタル詰めの場合、欠落しているケースもある。
防止のための基準類	道示では特に示されていない。ただし、**【鉄道構造物等設計標準・同解説　コンクリート構造物】**11.12.3　**定着具および定着端の保護**　(2)　では以下のように記載あり。 「定着具の後埋めコンクリートの目地切れ、ひび割れ等によって定着具に腐食が生じないように、定着具切欠き形状、かぶり、施工方法等を定める。」とし、以下のような解説図を記載している。  解説図 11.12.12　定着具を部材の上縁に配置する場合の保護
ひび割れパターン事例	・新分類【27】、橋梁点検要領 H26-16-(イ) 

(4)　プレストレスによる影響のひび割れ

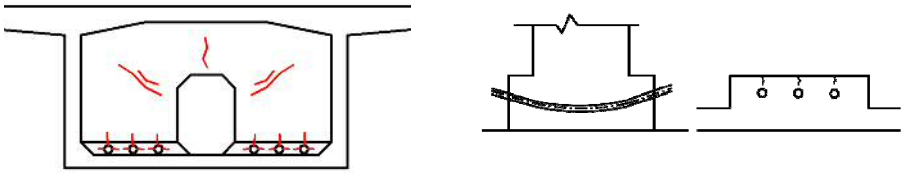
①　主桁端部の定着部

項　目	解　説
発生状況	・PC 鋼材が定着される端支点横桁は、マッシブな部材とは言え、定着具が集中配置されることから局部応力が発生しひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・定着具の縁端距離が短い場合。 ・定着具の間隔が狭く、集中的に配置されている場合。 ・斜角が小さい場合。 ・横締め箱抜き等と近接する場合。
発生原因	・局部応力の発生。 ・縁端距離および定着間隔不足。 ・補強鉄筋の配置不足。
防止対策	・十分な縁端距離および定着間隔を確保する。 ・補強鉄筋を適切に配置する。
注意事項	・各種定着工法の基準は有害なひび割れを防ぐように基準化されており、ひび割れが生じないとした設定ではないため注意が必要。 ・所定の中心間隔を確保して配置しても、斜角の影響で縁端距離を確保できない場合もある。
防止のための基準類	**【道示】6.6.7　PC 鋼材の定着** (1)定着具の位置は、部材に所定のプレストレスが導入できるように、また、部材に有害なひび割れが生じないように選ばなければならない。 (5)数多くの定着具を同一面内に配置する場合においては、定着具の数、引張力の大きさ、各定着具の必要最小間隔等を考慮して、定着部のコンクリートの断面寸法及び寸法を定める。 【解説】(5)、定着部が階段状になる場合の斜橋や、切欠き部を有する伸縮継ぎ手付近では、定着具の中心間隔や縁端距離が所定の寸法を確保しているのか確認することが重要としている。 FKK フレシネー工法施工基準より 
ひび割れパターン事例	・新分類【16】、橋梁点検要領 H26-(19)  

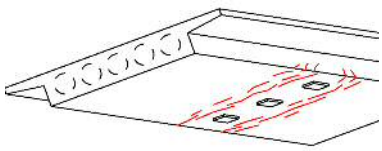
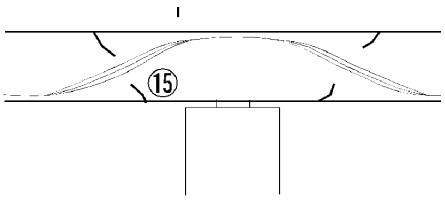
② 突起定着部

項　目	解　説
発生状況	・PC 鋼材が部材の途中に定着される突起定着部は、突起定着部および周辺部材の部材厚が薄いこともあり、各部材に曲げ応力や局部応力が発生しひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・引張領域に突起定着を設置した場合。 ・下床版など薄肉部材に突起定着を設けた場合。 ・PC 鋼材を複数本まとめて定着した場合。 ・大容量ケーブルを定着した場合。
発生原因	・局部応力の発生。 ・周辺部材も含めた耐荷力不足。 ・各種の補強鉄筋の配置不足。
防止対策	・FEM 解析を実施し、適切な対策を検討する。 ・周辺部材を含めた十分な耐荷力を確保させる。 ・補強鉄筋を適切に配置する。
注意事項	・下床版などの薄肉部材に単独で取り付けるのではなく、下床版とウェブのコーナー部など、作用力を分散できるように配置するとよい。
防止のための基準類	**【道示】6.6.7　PC 鋼材の定着** (1)定着具の位置は、部材に所定のプレストレスが導入できるように、また、部材に有害なひび割れが生じないように選ばなければならない。 (3)部材の中間に定着具を設ける場合、応力変動の大きな点から離れた断面の断面図心に近い位置か、圧縮部のコンクリートに定着するのがよい。 (4)定着具は、桁のウェブに設ける。やむを得ずフランジやウェブ側面に沿わせて定着する場合は 6.6.8 の規定により補強する。 **【道示】6.6.8　定着具付近の補強** (1)定着具付近は、定着具背面に生じる引張応力に対して十分抵抗できる構造としなければならない。 (4)部材中間に定着具を設ける場合、定着具付近のコンクリートに対して鉄筋で補強する。
ひび割れパターン事例	・新分類【29】、橋梁点検要領 H26-(16)-(ア) 

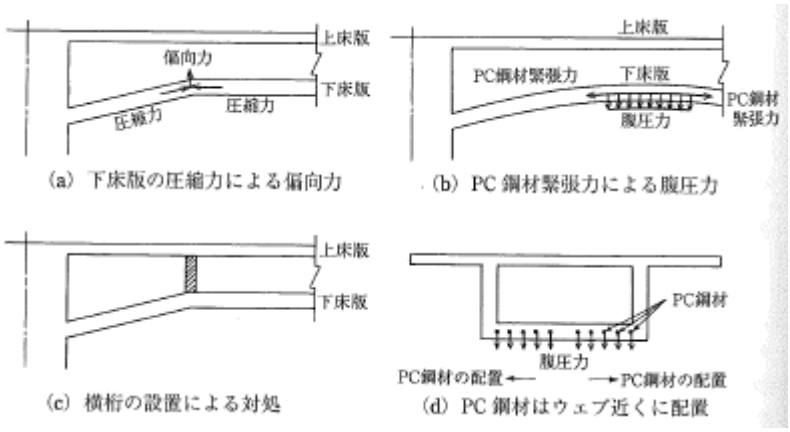
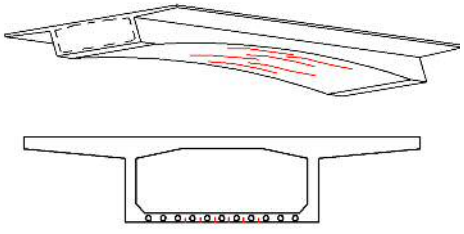
③　偏向部

項　目	解　説
発生状況	・外ケーブルを主桁方向の支間部で偏向させるために偏向部（偏向横桁・偏向突起）を設置するが、周辺部材も含め曲げ応力や局部応力が発生しやすくひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・偏向部がウェブから離れて配置される場合。 ・偏向部が下床版などの薄肉部材にサドル形式に設置される場合。 ・PC 鋼材を複数本まとめて偏向した場合。 ・大容量ケーブルを配置した場合。
発生原因	・局部応力の発生。 ・周辺部材も含めた耐荷力不足。 ・各種の補強鉄筋の配置不足。
防止対策	・FEM 解析を実施し、適切な対策を検討する。 ・周辺部材を含めた十分な耐荷力を確保させる。 ・補強鉄筋を適切に配置する。
注意事項	・偏向位置は出来るだけウェブに近づけて、ダイヤフラム形式、リブ形式に設置するのがよい。
防止のための基準類	**【道示】18.2　設計一般** (3)外ケーブルの定着部及び偏向部は、ケーブルの張力及び偏向することによって生じる局部応力に対して、鉄筋又は PC 鋼材によって補強しなければならない。 **【NEXCO 設計要領】2-4-3　偏向部の設計** (1)偏向部の設計においては、外ケーブルの腹圧力などの荷重によって各部材に発生する応力を適切な手法により評価した上で、所要な耐荷力及び耐久性を確保しなければならない。 【解説】「偏向部の設計は適当なモデル化を行いＦＥＭ解析等を実施し補強量を算出するものとする。ただし、表-8-2-9 に示す簡易設計法を用いてもよい。」としている。
ひび割れパターン事例	・新分類【26】、橋梁点検要領 H26-(16)-(エ) 

④　プレストレスと自重の作用

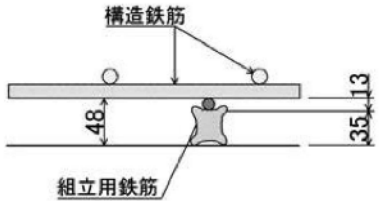
項　目	解　説
発生状況	・固定支保工で施工され、プレストレスを導入する場合、支保工の開放が適切でない場合、主桁に自重が作用せずプレストレスのみ導入されるためひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・連続桁の中間支点上のように主桁を押し下げる方向に PC 鋼材が偏心配置されている場合。 ・PC ケーブルの配置が適切に分散されていない場合。 ・箱桁橋の PC 床版のように部材が薄く、プレストレスによる曲げ応力度が敏感な部材の場合。
発生原因	・プレストレスと自重作用のバランスが崩れ、オーバープレストレスとなる。
防止対策	・プレストレスの導入量に見合った支保工の支持を開放し、適切に自重を作用させる。 ・設計計算に基づいたプレストレスの導入と自重の作用を図る。
注意事項	・横締め鋼材は摩擦管理しないため、必要以上のプレストレスはオーバープレストレスになる可能性もある。
防止のための基準類	**【道示】20.8　PC 鋼材工及び緊張工　(2)** 7)PC 鋼材を順次緊張する場合においては、各段階においてコンクリートに設計で想定しない応力が生じないようにする。 8)型枠及び支保工は、プレストレッシングにより設計で想定していない変形、沈下等が生じないようにする。 【解説】7)、緊張作業中は一部の PC 鋼材だけが緊張される状態となり、部材にねじりモーメント、横方向モーメント、不静定力等が生じることがあるため、コンクリートに有害な応力が生じないように緊張順序、方法ならびにこの引張力を定める必要がある。 【解説】8)、プレストレッシングよって弾性変形が生じ、この変形を拘束すると所定のプレストレスが与えられず支保工崩壊のおそれもある。緊張前に一部の型枠を取り外すなどプレストレスによる拘束を少なくするのが望ましい。 自重の作用については特に触れられていない。
ひび割れパターン事例	・橋梁点検要領記載無いが、以下のようなパターンのひび割れが生じやすい。 ・新分類【19】　および新分類【6】、橋梁点検要領 H26-(15)  

⑤　箱桁下床版に配置した支間ケーブルの腹圧作用

項　目	解　説
発生状況	・変断面の箱桁下床版に支間ケーブルを配置した場合、ウェブが支点となり下床版には下方向に腹圧が作用することから、橋軸方向にひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・支間ケーブルをウェブ付近ではなく、下床版中央付近に配置した場合。 ・箱桁のウェブ間隔が広く下床版支間の広い場合。 ・桁高の変化が大きく、支間ケーブルの曲率が小さい場合。
発生原因	・下床版に配置した PC ケーブルによる腹圧作用。
防止対策	・下床版の剛性を高め、適切な補強鉄筋を配置する。 ・偏向力が作用する箇所に剛な横桁を配置する。 ・PC ケーブルをウェブ周辺に配置する。
注意事項	・支間部の下床版は圧縮力が作用せず薄肉部材とする事例が多いため、プレストレスによる腹圧力、定着突起等に配慮し適切に計画する。
防止のための基準類	**【道示】10.5　開口部の補強及び下フランジとウェブの構造** (3)下フランジの最小厚さは、140mm としなければならない 【解説】桁高変化がある場合、下床版の軸線が変化するため圧縮力による偏向力が生じ、さらに PC 鋼材を配置した場合、その緊張力によって腹圧力が作用する。これらの力に対し、①必要な床版厚を確保し鉄筋で補強する、②偏向力作用箇所に横桁を設置、③PC 鋼材をウェブ近くに設置する　などの配慮が必要である。としている。 
ひび割れパターン事例	・新分類【4】、　橋梁点検要領 H26-(13) 

(5) コンクリートの施工要因に起因するひび割れ

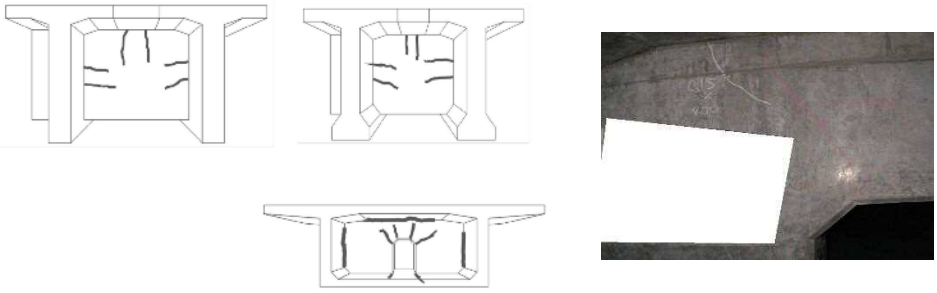
① かぶり不足

項　目	解　説
発生状況	・鋼材のかぶりが確保されていない場合、コンクリートの充填不良、鋼材の付着不足、鋼材の腐食などからジャンカや鉄筋に沿ったひび割れが生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・鉄筋が過密に配置されている場合。 ・適切にスペーサーや段取り鉄筋が配置されていない場合。
発生原因	・スペーサーの脱落、スペーサーの配置不足。 ・かぶり不足によるコンクリートの充填不良。
防止対策	・所定のスペーサーの数を堅固に固定する。 ・段取り鉄筋をかぶり内に配置せず、全ての鋼材でかぶりを確保する。
注意事項	・かぶり内に段取り筋として防錆鋼材を配置し主鋼材でかぶりを確保する設計もあれば、段取り筋でかぶりを確保しその分、主鋼材の配置位置を上げる設計もある。
防止のための基準類	**【道示】6.6.1 鋼材かぶり** 部材によって最小かぶりを規定している。 **【NEXCO 設計要領】2 章　1.かぶり** 基本的に場所打ち構造では、道示規定＋10mm プレキャスト部材では、道示規定＋5mm を標準としている。 **【地整の設計要領】2 章　1.かぶり** 上記の「注意事項」に示す段取り鉄筋の取扱いを下記のように記している地整もあり、かぶりの確保、コンクリートの充填性向上に役立っている。  ただし、設計で考慮していない場合、現場だけの対応では鋼材高さが変化するため設計時から考慮した設計が必要となる。また、示方書等に明確な基準として示されていない。
ひび割れパターン事例	

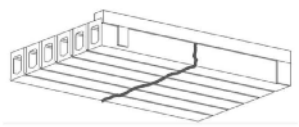
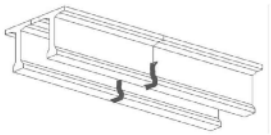
②　締め固め不良

項　目	解　説
発生状況	・コンクリート打込み時の締固め不良が生じるとジャンカが生じたり、配置鉄筋の周辺に十分コンクリートが行き届かなくなり、沈降クラック、そして打継ぎ目部にコールドジョイント等が生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・鉄筋が過密に配置され、棒状振動機が挿入できない場合。 ・鉄筋量に見合ったスランプを設定できていない場合。 ・桁高が高く、コンクリートを適切に充填できない場合。
発生原因	・締め固め不良。
防止対策	・棒状振動機の挿入スペースの確保。 ・鉄筋量に見合ったスランプの設定。 ・段取り鉄筋をかぶり内に配置せず、充填性を高める。
注意事項	・段取り筋を防錆鋼材とし、かぶり内に配置する場合、コンクリートの移動が制限されるため充填不良が生じやすい。
防止のための基準類	**【道示】6.6.2　鋼材のあき** 所定にあきを確保するとともに内部振動機が挿入できるようにする。 **【道示】20.4.2　コンクリート** 2)スランプは施工が確実に行なえる範囲内で出来るだけ小さくする。 **【コン示[施工編：施工標準]】4.5.2　スランプ** (3)打ち込みの最小スランプは、構造物の種類、部材の種類と大きさ、鋼材量や鋼材の最小あき等の配筋条件、締固め作業高さ等の施工条件に基づき、これらの条件を組み合わせた表からスランプ量を選定する。 とし、上記の条件から 5cm～16cm が選定できるようにしている。 **【道示】20.6　コンクリート工　(5)締め固め** 1)締固めは、内部振動機を用いることを標準とし、薄い部材は型枠振動機を併用する。 2)締固めにあたっては、コンクリートが鉄筋の周囲及び型枠の隅々までいきわたるようにする。 **【道示】20.6　コンクリート工　(7)打継目** 6)多層に分けて打込むときは、打重ね部において上層と下層のコンクリートの一体性を確保し、耐久性に悪影響を及ぼすようなひび割れ、コールドジョイントを生じさせないようにする。
ひび割れパターン事例	

③ 養生不良

項　目	解　説
発生状況	・コンクリートの養生状態が悪いと、脱型時の急激な温度変化、急激な乾燥収縮の促進につながり、ひび割れが生じやすい。 ・コンクリート硬化時に表面が乾燥し、水和反応に必要な水分が十分にない場合は、水和反応が促進されずにひび割れが生じやすい。 ・コンクリートは硬化時に水分が蒸発し乾燥収縮が生じる材料である。新旧コンクリートの打継目など外部拘束を受ける場合、ひび割れが更に生じやすくなる。
特に発生しやすい傾向	・寒中施工（内部温度と表面温度の差が生じやすい）の場合。 ・暑中施工（温度が高く、表面水が蒸発しやすい）の場合。 ・施工工程から早期脱枠が求められる場合。
発生原因	・急激な温度変化。 ・乾燥収縮の促進。 ・コンクリート表面の緻密化作用の停止。
防止対策	・コンクリート面を十分な期間、湿潤養生を行なう。 ・保湿マットやミスト養生など湿潤環境を保つ。 ・断熱型枠や保温養生等を行ない、内外温度差が生じないように努める。 ・膨張剤や収縮低減剤を用い、収縮による初期ひび割れを防ぐ。
注意事項	・養生の品質により、コンクリートの耐久性が決定するとも言え、施工者の施工能力が判断される。
防止のための基準類	**【道示】20.6　コンクリート工　(6)養生** 1)コンクリートは打込み後に、乾燥、低温、急激な温度変化による有害な影響を受けないように養生する。 3)養生方法は湿潤養生を行なうことを標準とする。普通セメントでは少なくとも 5 日間、早強セメントでも 3 日間以上養生を行なう。気温が低い時期に床版コンクリート等を施工する場合、15N/mm² 程度の強度に達するまで適当な保温設備のもとに養生を行なう。 4)寒中コンクリートでは、養生中に凍結しないようにする。 5)蒸気養生では、打ち込み後 2 時間以上経過してから加熱を始める。温度上昇は原則 15℃／1h 以下、最高でも 65℃以下とする。
ひび割れパターン事例	

④　セグメント継手不良

項　目	解　説
発生状況	・セグメントの継手部は面取りもなく、製造時、吊り上げ時、運搬時、組み立て時に角欠けが生じやすい。 ・継目面が平坦でないと、プレストレスにより局部的に応力が作用し角欠けが生じやすい。 ・製作時と異なる下越し量でセグメント組立てた場合、継目部が一律に接しないため、プレストレス導入時に角欠けが生じやすい。 ・接合キーや PC 鋼材位置が正確にセグメント同士で一致していないとプレストレス導入時に欠損等が生じやすい。
特に発生しやすい傾向	・吊上げ時にバランスがとりにくい非対称形状の場合は、吊上げ・運搬時に傾きが生じ、特に角欠けが生じやすい。
発生原因	・「発生状況」を参照
防止対策	・上記の発生状況が生じないように注意する。 ・角部には緩衝材を設置するなど養生を行なう。
注意事項	・工場で運搬する場合は、2 台の走行クレーンを用いるケースも多く、2 台が同様の動きをする必要がある。 ・吊り上げ専用治具を用いるとよい。
防止のための基準類	**【道示】20.9.2　部材の製作** (2)セグメントの形状寸法、継目部におけるシース、接合キー等の位置と寸法は、接合が正確に行なえるものでなければならない。 **【道示】20.9.3　運搬・保管** 部材の運搬、保管にあたっては、部材に過大な応力が生じないように支持するとともに、衝撃及びねじりを与えないように行なわなければならない。
ひび割れパターン事例	・新分類【14】、橋梁点検要領 H26-(13)  

4.5　まとめ

外力など構造的な要因でひび割れ等の変状が生じやすい事象は、その発生原因がこれまでに究明されているケースが多く、「**4.2　諸基準の動向調査**」にも示す分類 1 及び分類 2 のように道路橋示方書や各種の基準にその防止対策が示されている内容が多い。

しかし、実構造物においてはひび割れが少なからず発生している現状を鑑みると、これらに示された内容だけでは初期ひび割れを無くすことは困難と考えられ、主に施工者によって各構造形式の特性を考慮し、「**4.3　初期変状防止対策に関する文献調査**」に示すような検討を行い、ひび割れの抑制に努めてきている。その文献調査では、特に分類 5 のマスコン部材の温度ひび割れや分割施工時の外部拘束ひび割れ、そして分類 3 や分類 4 のプレストレスに起因するひび割れの防止対策が多く見受けられた。これらのひび割れ防止対策の内、プレストレスに起因するひび割れは、道路橋示方書の設計に関する章で示されている内容も多く、適切な設計が行われ、そして施工に反映されていれば防止対策に有効になる。しかし、マスコン部材や打継ぎ目のひび割れ防止対策は、「20 章　施工」内の「20.4 材料－20.4.2 コンクリート」、そして「20.6 コンクリート工」に施工時の規定や留意事項として示されている程度であり、設計に関する章（1～19 章）には示されていないことから設計段階にまでその防止対策が反映されているとは言いがたい。そのため、設計者の判断によりその検討内容も異なり、結果的に、技術者の力量で構造物の品質に差が生じてしまうことが想定される。

したがって、「**4.4　初期変状防止のための提案事項**」に示すような施工時に生じやすいひび割れ事例とその防止対策などを理解し、設計者、施工者がその防止対策を検討していくことが求められる。設計段階において、マスコンの温度応力や打継ぎ目などのひび割れ対策を検討することは、施工時の環境温度、配合計画、養生条件などを仮定しなければならず、詳細な検討を行なうことは現実的には難しい面もある。そのため、現状では、温度ひび割れに対する検討を工事発注前のコンサルタント設計段階で行なうことはほとんど無く、施工者が品質確保のために必要に応じてその対策を行っている。しかし、今後は、ひび割れを防止するために設計段階から一般的な条件下（もしくは温度ひび割れに厳しい条件）で基本検討を行ない、その後、施工者に施工条件変更に応じた詳細検討を申し送りする方法も考えられる。また、二重検討を防ぐために最初から設計段階では検討を行わず、ひび割れが懸念される箇所を注意喚起として設計者から施工者に示し、その検討を申し送ることもできる。以上のように設計段階から注意喚起することで橋梁管理者、設計者、施工者がひび割れ防止に対する共通認識をもつことができ、その結果、温度ひび割れ防止など品質向上につながっていく。

５章 実橋における施工時の挙動計測

5.1 検討概要

４章までの検討で、マスコン部材の温度応力や分割目地部の外部拘束等が、初期ひび割れの発生要因になっている可能性があると推察した。

そこで本章では、**表-5.1.1** に示す固定支保工架設と張出し架設の橋梁を１橋ずつ抽出し、施工中のＰＣ橋の挙動を計測して、温度応力や外部拘束によるひずみがどの程度発生するか、また断面上下縁の橋軸方向ひずみやウェブの主方向ひずみが設計計算値と乖離していないかを確認した。

表-5.1.1　計測橋梁の架設方法

橋梁名	架設方法	構造形式	計測時期
Ａ橋	支保工架設	ＰＣ４径間連続２室箱桁	H26.03～H26.05
Ｂ橋	張出し架設	ＰＣ４径間連続ラーメン１(～２)室箱桁	H26.09～H27.02

各橋梁の計測項目と検証内容を**表-5.1.2** に示す。

表-5.1.2　計測項目と検証内容

橋梁名 (架設方法)	計測項目	検証内容
Ａ橋 (支保工架設)	コンクリート温度 分割目地部の鉄筋ひずみ 主桁上下縁の鉄筋ひずみ 支保工反力	温度応力解析の妥当性 〃 設計計算の妥当性 〃
Ｂ橋 (張出し架設)	コンクリート温度 施工打継ぎ部の鉄筋ひずみ 主桁上下縁の鉄筋ひずみ ウェブのコンクリートひずみ	温度応力解析の妥当性 〃 設計計算の妥当性 〃

5.2 施工中の挙動計測（その１：支保工架設）

5.2.1 橋梁概要

(1) 構造概要

実橋の状況と設計計算との整合程度を検証するために、施工中のＰＣ橋の支保工反力や主桁内に埋設した鉄筋のひずみを計測する。

計測対象橋梁の概要は以下のとおりで、全体一般図を**図-5.2.1** に示す。

構造形式：ＰＣ４径間連続２室箱桁

施工方法：３分割施工の支保工分割架設

施工分割は、**図-5.2.2** に示す３分割で、Ａ１～Ｐ１径間（第１区間）、Ｐ１～Ｐ２径間（第２区間）、Ｐ２～Ａ２径間（第３区間）の順序で施工する。計測をおこなう第３区間のおもな施工イベントは、**表-5.2.1** のとおりである。

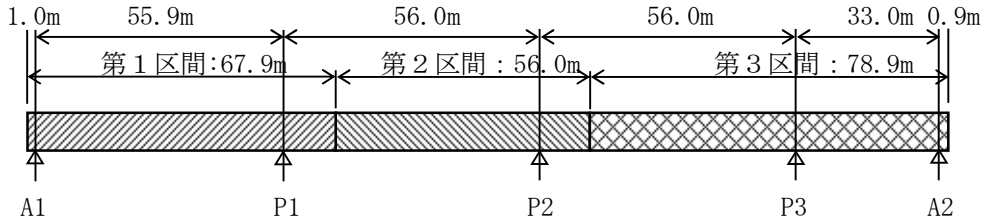


図-5.2.2　施工分割

表-5.2.1　第３区間の施工イベントと日付

施工イベント		日　付	備　考
第３区間	１リフトの生コン打設	H26.03/19	「自 1」
	２リフトの生コン打設	H26.04/23	「自 2」
	床版横締めの緊張	H26.04/26～04/27	
	主ケーブルの緊張	H26.04/28～04/29	「緊 1」・「緊 2」・「緊 3」
	支保工の解体	H26.04/30～05/07	

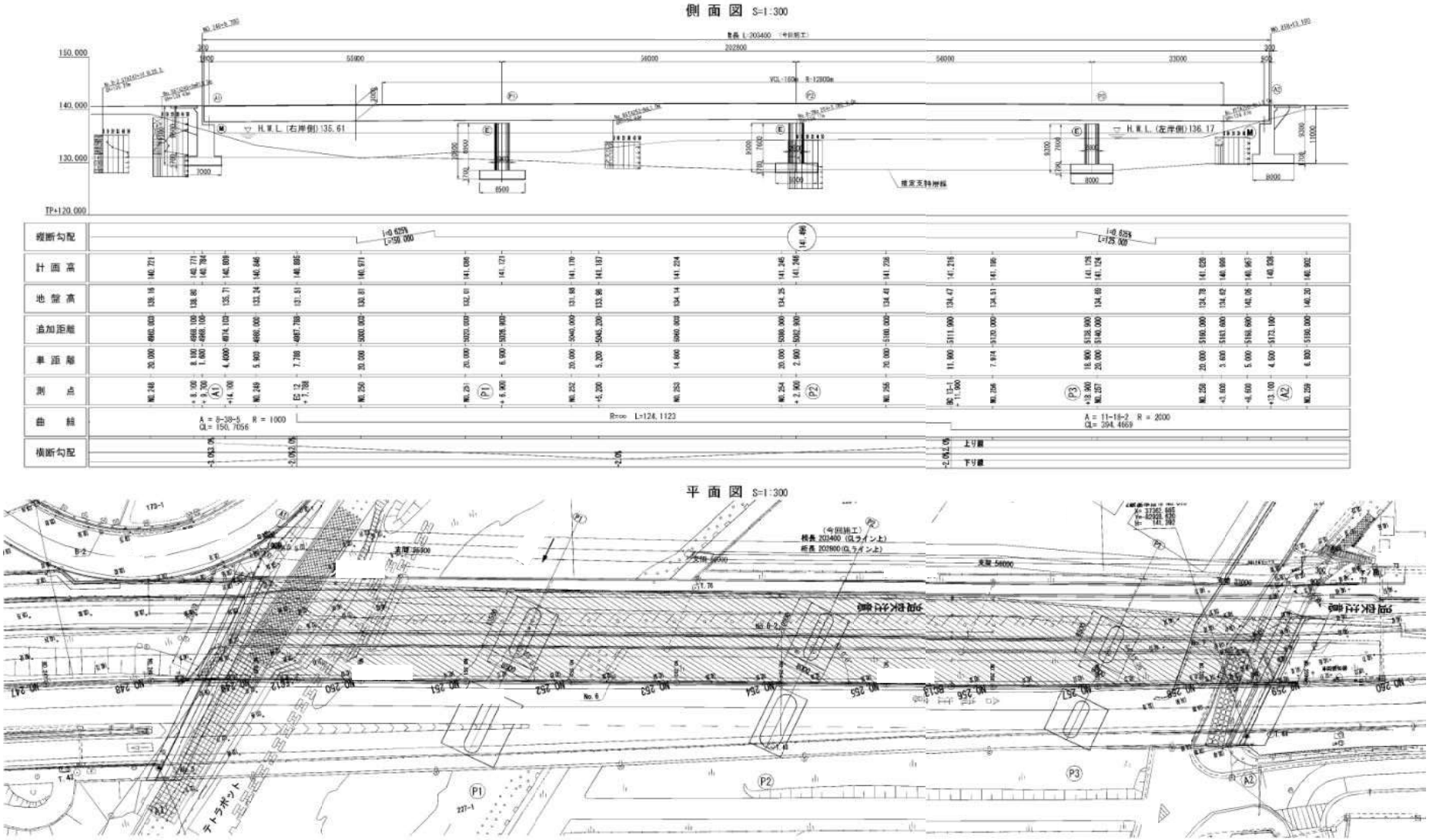

側面図 S=1:300
平面図 S=1:300
H.W.L.(右岸側)135.61
H.W.L.(左岸側)136.17
縦断勾配
計画高
地盤高
追加距離
単距離
測点
曲線
横断勾配
上り線
下り線

図-5.2.1　全体一般図

(2) 設計概要

本橋の設計概要は以下のとおり。

○主桁断面力：

・主桁を棒部材と仮定して、任意形平面骨組み解析により、**図-5.2.3** のようなモデルを計算

・支点は支承の水平バネを考慮

・プレ２次およびクリープ断面力は、構造系変化にともなうクリープ変形量をもとに変位法により計算

※斜角(65°)への対応については、斜角70°以下の多重箱桁橋なので、道示Ⅲ10.3(3)より橋面荷重・活荷重によるねじり断面力および反力は、平面格子解析で**図-5.2.4**のようなモデルを計算

○環境条件：

・相対湿度 70%、温度 20℃

○施工方法とステップ材齢：

・施工順序は**図-5.2.5** のようなステップで、クリープ係数算出用の工程として**表-5.2.2** のようなコンクリート材齢を想定

表-5.2.2　各ステップの経過日数

	施工内容	経過日数		備考（施工時期）
		設計	実施工	1ﾘﾌﾄ・2ﾘﾌﾄ
step1	第1径間施工	0 日	0 日	H25.03/15・04/17
step2	第2径間施工	30 日	310 日	H26.01/23・02/24
step3	第3･4径間施工	60 日	370 日	H26.03/19・04/23
step4	橋面施工	120 日	500 日	H26.06/下～09/上

実施工の経過日数は、各ステップの 2 リフト打設

実施工の step1→step2 間は、出水期に伴う工事中断

○配筋要領

・打継ぎ部の新ブロック側の橋軸直角方向鉄筋を、道示Ⅲ20.6(7)「打継目に、乾燥収縮によるひび割れが発生しないように配慮」して、5@100 の密配置

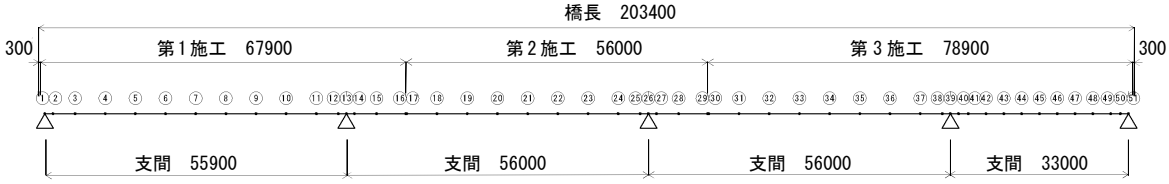


図-5.2.3　平面骨組み解析用のモデル

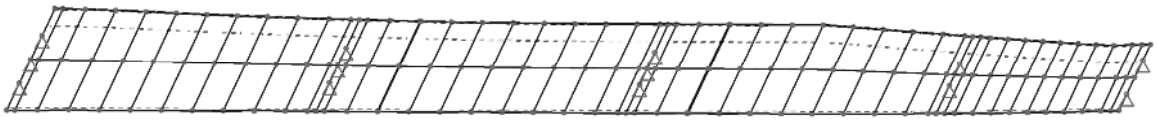
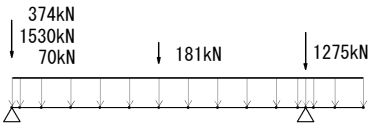
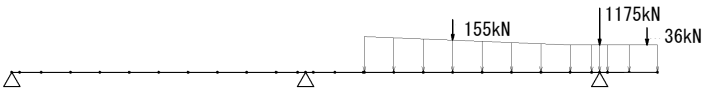


図-5.2.4　平面格子解析用のモデル

ＳＴＥＰ１（主桁自重は、電算により内部計算）



ＳＴＥＰ２（主桁自重は、電算により内部計算）



ＳＴＥＰ３（主桁自重は、電算により内部計算）

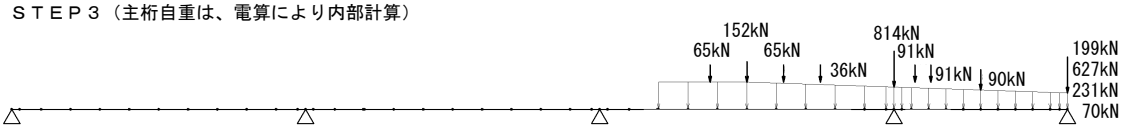


図-5.2.5　施工ステップ

5.2.2 支保工反力

(1) 支保工反力の計測計画

生コン打設や主ケーブル緊張時の支保工反力を計測し、主桁変位との相関性があるかを検証する。

計測箇所は、**図-5.2.6** と**図-5.2.7** に示すように、第３区間のＰ２～Ｐ３径間中央断面の各ウェブ直下の３支柱（支柱Ａ～Ｃ）とし、計測期間は、第３区間のコンクリート打設から主ケーブルを緊張して支保工を解体するまでの２ヶ月間（平成 26 年 3 月中旬～5 月初旬）、計測インターバルは 10 分間隔とする。

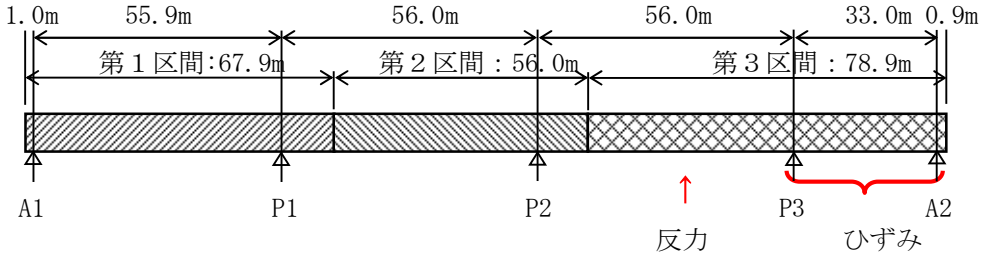


図-5.2.6　支保工反力の計測箇所

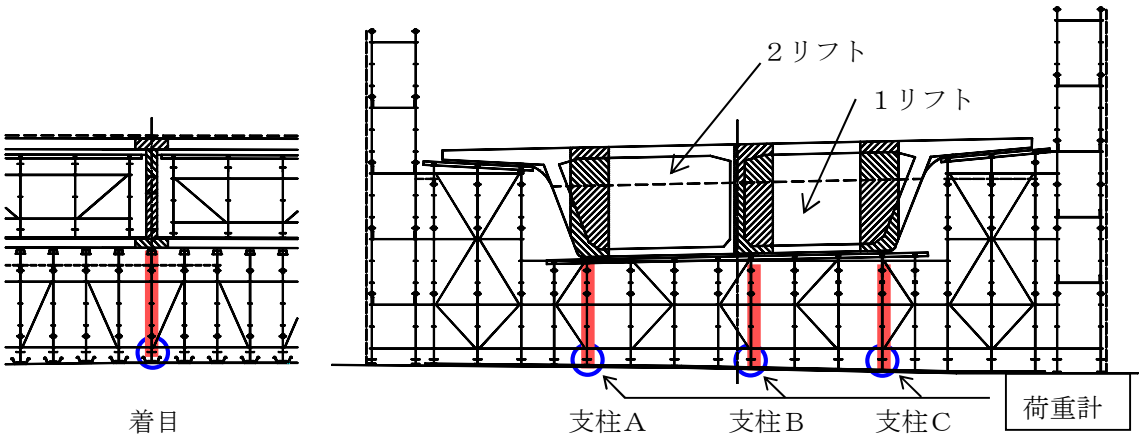


図-5.2.7　支保工反力を計測する支柱

(2) 支保工反力の計測結果

支保工反力の計測グラフは、**図-5.2.8** のとおりで、第３区間の１リフト打設時・２リフト打設時・主ケーブル緊張時の詳細を**図-5.2.9(1)～(3)**に示す。支保工反力が大きく変化するのは、**表-5.2.5** に示すように「自 1」・「自 2」・「緊 1」・「緊 2･3」の４段階で、その前後の計測結果の値を**表-5.2.3** に示す。( )内は、各段階での 6 時から 18 時の反力差を弾性変化として計算したもので、弾性変化が生じていない期間での反力差も同様に[ ]内に記す。

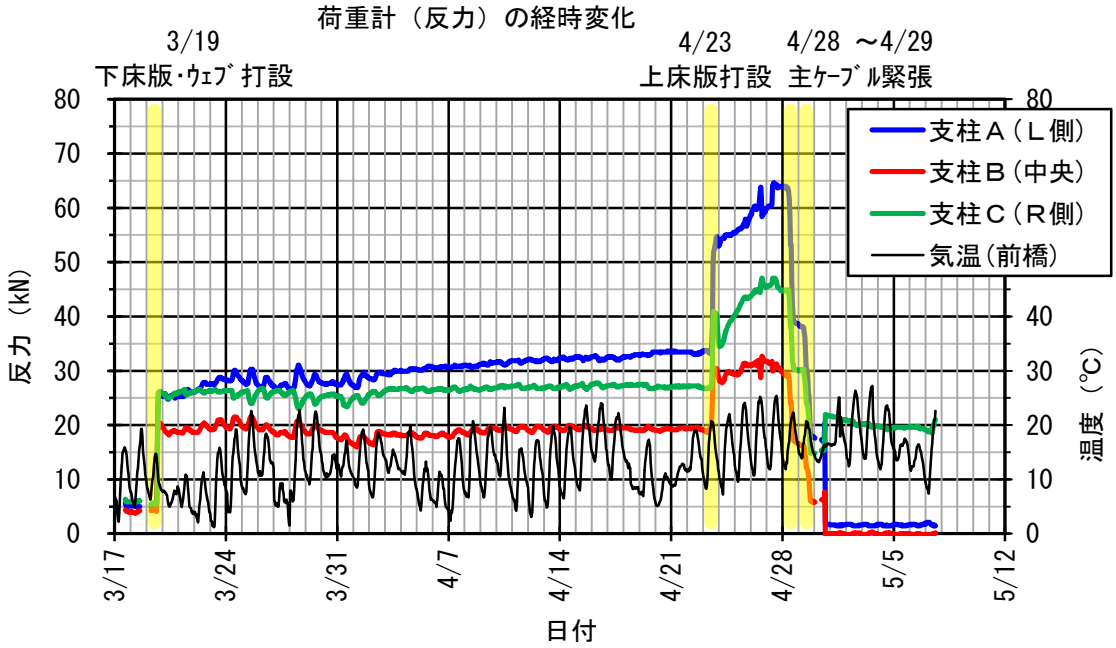


図-5.2.8　支保工反力の計測結果

表-5.2.3　支保工反力の計測結果　　（単位：kN）

		3/19「自 1」		･･･	4/23「自 2」		･･･	4/28「緊 1」		4/29「緊 2･3」	
		6:00	18:00		6:00	18:00		6:00	18:00	6:00	18:00
支柱A	変化量		(21)	[8]		(19)	[11]		(-25)		(-20)
	累計	5	26		34	53		64	39	38	18
支柱B	変化量		(15)	[0]		(11)	[-1]		(-12)		(-10)
	累計	4	19		19	30		29	17	16	6
支柱C	変化量		(21)	[1]		(13)	[5]		(-15)		(-15)
	累計	5	26		27	40		45	30	30	15
平均	変化量		(19)	[3]		(14)	[5]		(-17)	[-1]	(-15)
	累計	5	24		27	41		46	29	28	13

(　)内は弾性変化分、[　]内は弾性変化が生じていない期間での反力差

自重・緊張による支保工反力の増減について、計測結果と計算値の比較を以降で考察する。また、3 月 20 日から 4 月 22 日と、4 月 24 日から 4 月 27 日は、荷重増がない期間であるが、支保工反力が漸増しており、とくに支柱Ａの反力増が大きい。この要因についても考察する。

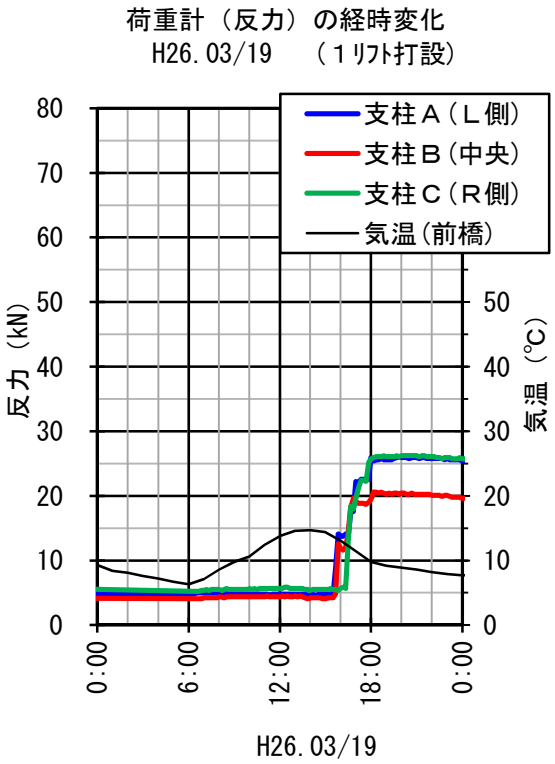


図-5.2.9(1)　支保工反力（3/19）

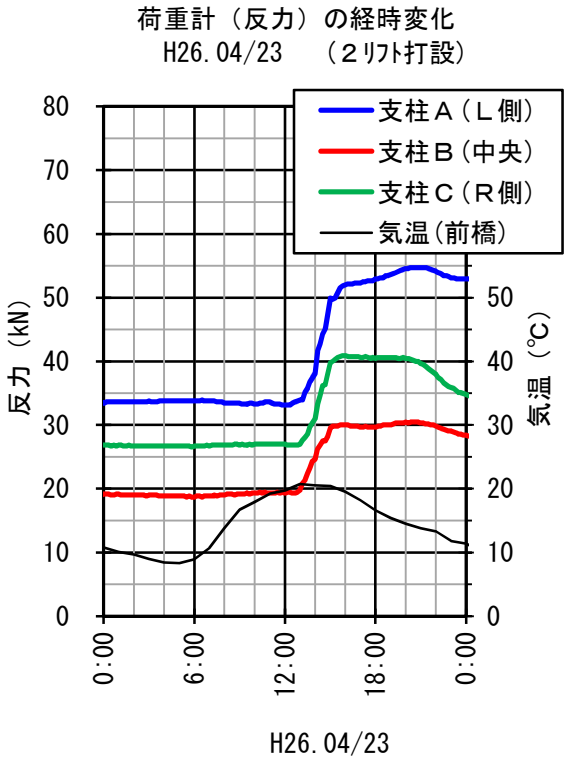


図-5.2.9(2)　支保工反力（4/23）

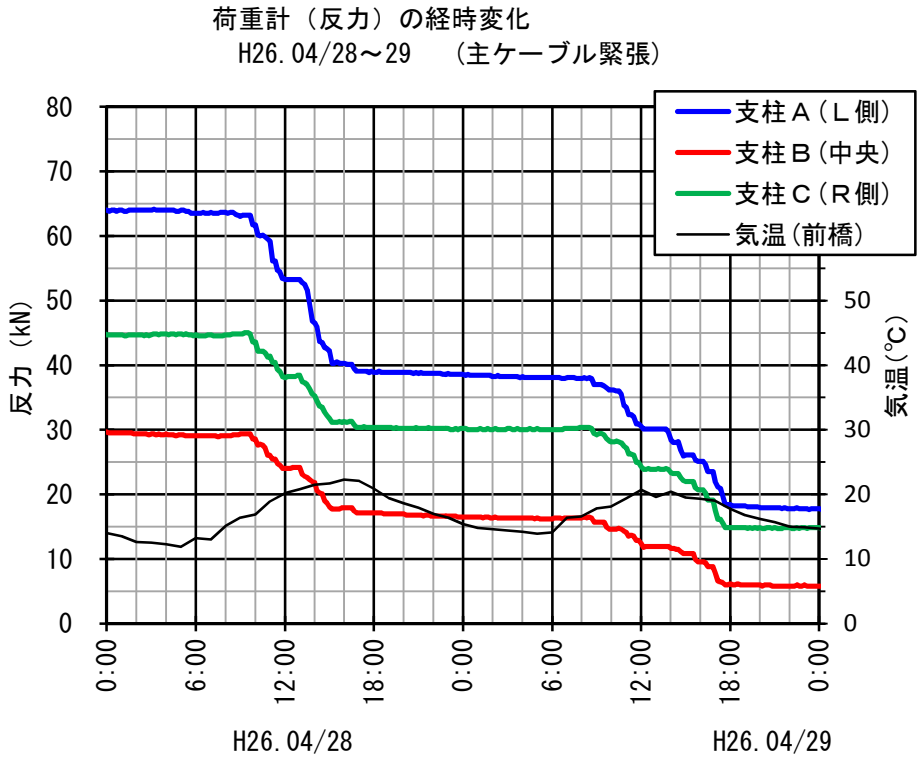


図-5.2.9(3)　支保工反力（4/28～29）

(3) 主桁変位の設計値

1) 変位量の設計値

施工が進むにつれての主桁の変位形状は、**図-5.2.10** に示すとおりである。これは、当該橋の設計計算書における主桁の変位量（たわみ）を集計して、クリープ終了時の主桁の変位がゼロになるように，あらかじめ型枠の設置高さを設定したものである。また、施工ステップごとの各径間主桁中央断面位置の変位を**表-5.2.4** に示す。

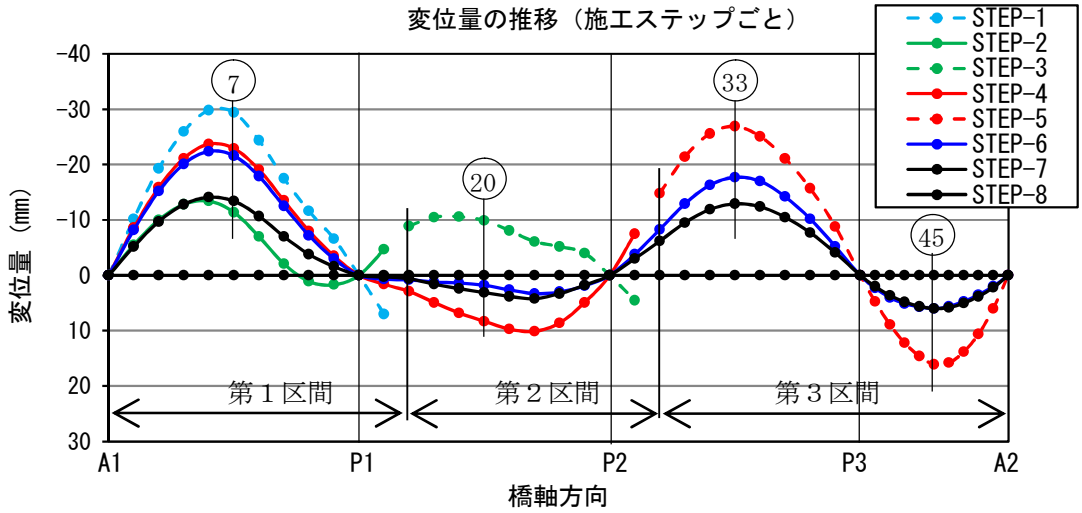


図-5.2.10　主桁の変位形状

表-5.2.4　主桁の各径間中央断面の変位の設計値　（単位：mm）

			第１径間	第２径間	第３径間	第４径間
			sec-7	sec-20	sec-33	sec-45
第１区間	型枠ｾｯﾄ	STEP-1	-29.4			
	自重		79.3			
	緊張		-70.2			
	打設･緊張	STP-2	-20.3			
第２区間	型枠ｾｯﾄ	STEP-3	-11.4	-9.9		
	自重		-20.9	49.1		
	緊張		12.8	-36.8		
	打設･緊張	STEP-4	-19.5	2.4		
第３区間	型枠ｾｯﾄ	STEP-5	-22.9	8.3	-26.9	16.1
	自重		4.5	-13.0	33.5	-2.5
	緊張		-3.1	9.0	-27.9	-3.0
	打設･緊張	STEP-6	-21.5	4.3	-21.3	10.6
橋面工	橋面		8.1	-1.2	8.4	-4.6
	橋面工	STEP-7	-13.4	3.1	-12.9	6.0
最終	ｸﾘｰﾌﾟ終了	STEP-8	0.0	0.0	0.0	0.0

2）施工イベントごとの変位量の算出

第３区間の施工を日付ごとにイベント分けすると、**図-5.2.11** と**表-5.2.5** に示すように、コンクリートを２回に分けて打設し、主ケーブルも２日に分けて緊張した。設計計算書では、第３区間主桁自重と主ケーブル緊張を各一式で計算しているので、骨組み解析によって各イベントでの変位量を算出する。

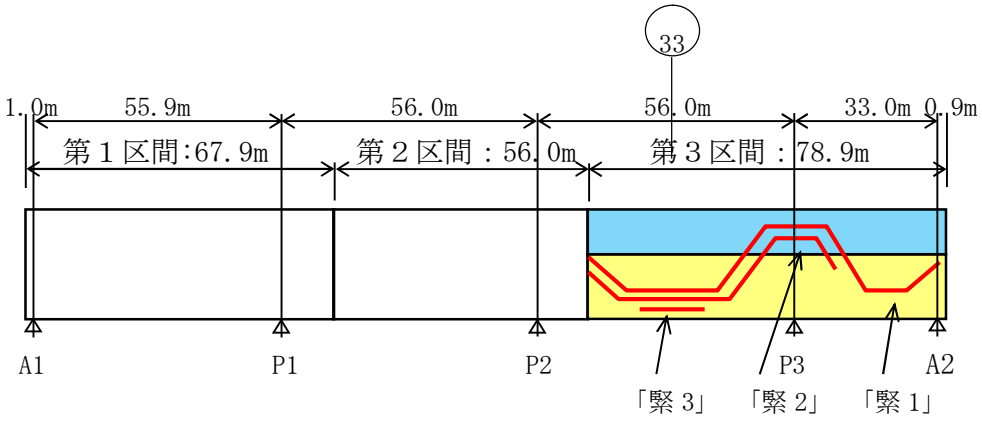


図-5.2.11　第３区間のイベント分け

表-5.2.5　第３区間の各施工イベントの日付

イベント	施工内容	日　付
「自 1」	第１リフトの打設	H26.03/19
「自 2」	第２リフトの打設	H26.04/23
「緊 1」	ウェブ配置２径間ケーブル（14 本）の緊張	H26.04/28
「緊 2」 「緊 3」	ウェブ配置１径間ケーブル（ 8 本）の緊張 下床版配置１径間ケーブル（ 4 本）の緊張	H26.04/29

第３区間の各リフトの主桁自重および各ケーブル群の緊張力による第３径間中央断面（sec-33）の変位量の算出結果は、**表-5.2.6** に示すとおりである。

表-5.2.6　各イベントの変位量の計算値（sec-33）　　（単位：mm）

	主桁自重		主ケーブル緊張		
	「自 1」	「自 2」	「緊 1」	「緊 2･3」	
	1 ﾘﾌﾄ	2 ﾘﾌﾄ	2 径間 ｳｪﾌﾞ配置	1 径間 ｳｪﾌﾞ配置	1 径間 床版配置
骨組み解析	20.1	13.4	-11.9	-10.5	-6.6
	33.5		-29.0		
(設計計算書)	(33.5)		(-27.9)		

3) ＦＥＭ解析との比較

本橋は、斜角が 65°で幅員が 18.5～12.5m に変化する橋梁なので、棒理論の骨組み解析のほかに、ＦＥＭ解析によって変位を計算し、骨組み解析結果の妥当性を検証する。ＦＥＭ解析のモデルは、**図-5.2.12** のように、３次元立体要素で全径間を構築し、支承位置を支持する。

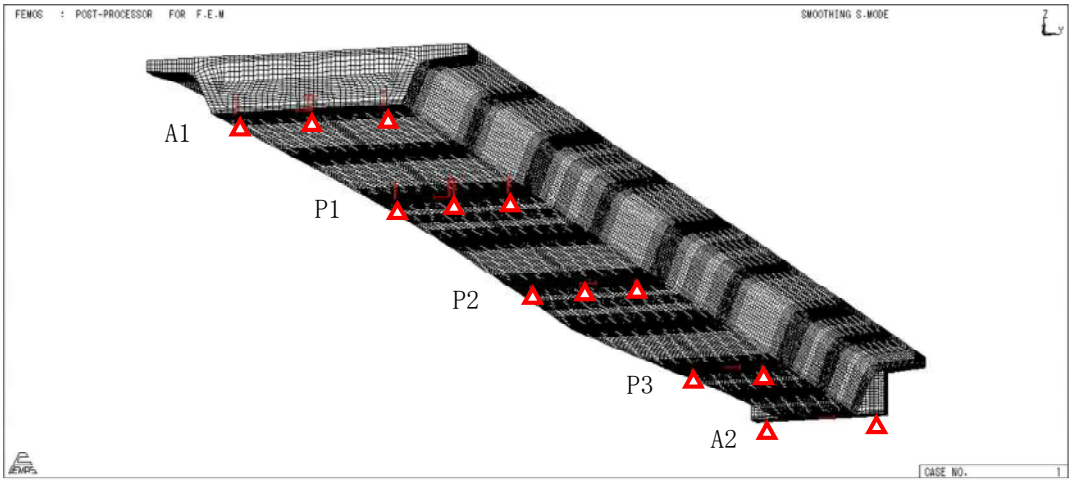


図-5.2.12　ＦＥＭ解析用の全径間モデル

第３区間の主桁自重による変位に着目し、主桁自重の載荷状態は、**図-5.2.13** のように、第１・第２区間の主桁重量は無載荷で、第３区間のみ載荷する。第３区間の弾性係数の予測値を**表-5.2.7** に示す。弾性係数を変化させた３パターンで、第３径間支間中央（sec-33）の中ウェブ位置での変位を比較したところ、材齢を考慮してリフト毎に弾性係数を設定したパターン２の変位は -31.2mm で、骨組み解析モデルと同じパターン１の変位の -32.5mm よりも約 4%小さい。

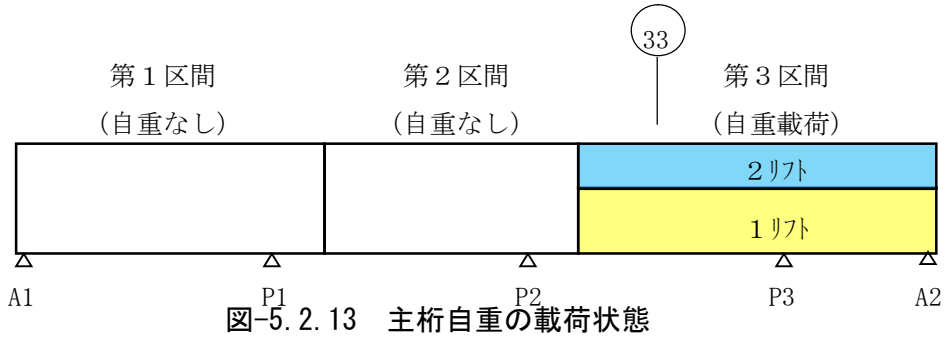


図-5.2.13　主桁自重の載荷状態

表-5.2.7　第３区間の主桁自重による変位（弾性係数の違い）

	弾性係数（kN/m²）				変位（mm）	備　考
	第１区間	第２区間	第３区間		sec-33 中ウェブ	
			１ﾘﾌﾄ	２ﾘﾌﾄ		
パターン１	29.80	29.80	27.36	27.36	-32.5	骨組み解析と同じ
パターン２	↓	↓	29.80	27.36	-31.2	
パターン３	↓	↓	29.80	29.80	-30.5	

パターン２（第３区間の２リフトのみ若材齢の弾性係数）の変位を、**図-5.2.14** に示す左ウェブ・中ウェブ・右ウェブの各位置で抽出すると、**表-5.2.8** および**図-5.2.15** のとおりである。ＦＥＭ解析のほうが若干小さいが、この理由として以下の２つが考えられる。

①低弾性係数域が狭い　（第３区間の２リフトのみ）

②見かけの支間長が短い（**図-5.2.14** の　Ｌ’）

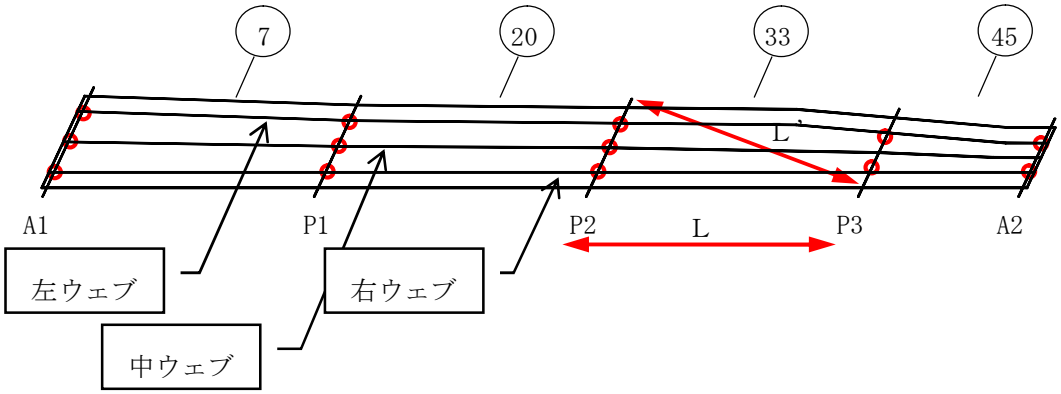


図-5.2.14　ＦＥＭ解析の変位着目位置

表-5.2.8　第３区間主桁自重による変位　（単位：mm）

		第１径間	第２径間	第３径間	第４径間
		sec-7	sec-20	sec-33	sec-45
骨組み解析		4.5	-13.0	33.5	-2.5
ＦＥＭ解析（パターン２）	左ウェブ	3.3	-11.8	30.8	0.5
	中ウェブ	3.1	-10.6	31.2	-0.2
	右ウェブ	2.9	-9.4	31.8	-0.9

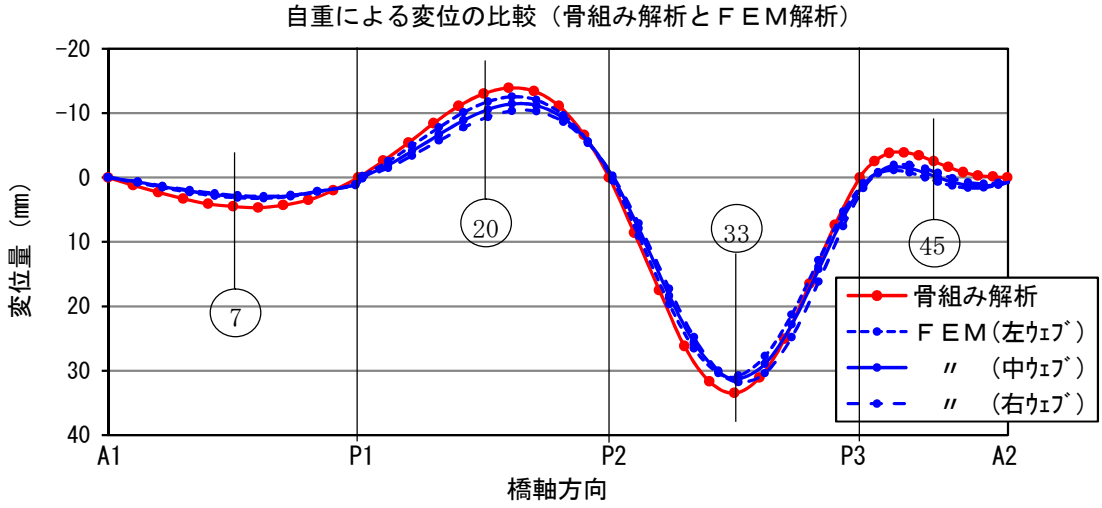


図-5.2.15　第３区間主桁自重による変位

(4) 支保工反力の算出

Ｐ２～Ｐ３径間中央の**図-5.2.16** に示す支柱Ａ～Ｃについて、中間横桁の荷重を直下の支柱のみで負担すると仮定して次式から支保工計画用の反力Ｒを算出すると、**表-5.2.9** のとおりである。

支保工計画用の反力：$R = R_{(主)} + R_{(横)}$

主桁自重分：$R_{(主)} = A_{(主)} \times L_{(主)} \times 24.5(kN/m^3)$

横桁自重分：$R_{(横)} = A_{(横)} \times L_{(横)} \times 24.5(kN/m^3)$

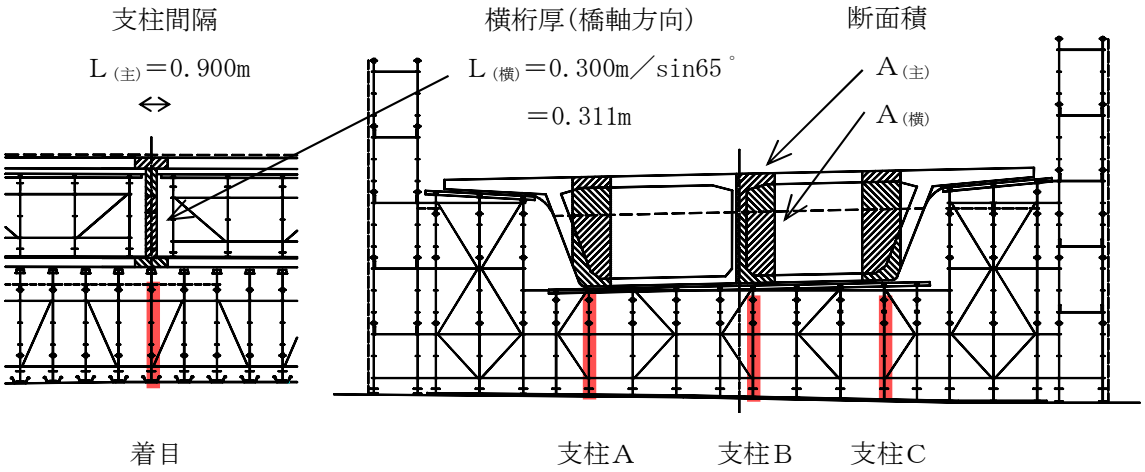


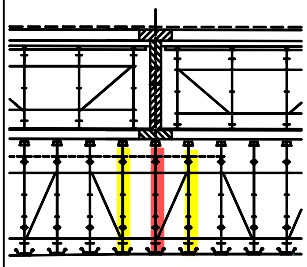
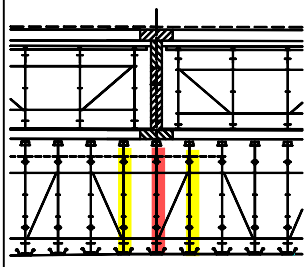
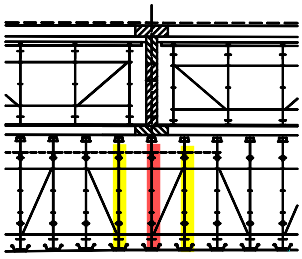
図-5.2.16　支柱が負担する主桁荷重

表-5.2.9　支保工計画用の反力

		断面積Ａ（m^2）			反力Ｒ（kN）			
		支柱Ａ	支柱Ｂ	支柱Ｃ	支柱Ａ	支柱Ｂ	支柱Ｃ	平均
２ﾘﾌﾄ	主桁	0.344	0.524	0.341	7.6	11.6	7.5	8.9
	横桁	0.759	0.579	0.762	6.2	4.7	6.2	5.7
１ﾘﾌﾄ	主桁	0.582	0.584	0.575	12.8	12.9	12.7	12.8
	横桁	1.403	1.463	1.410	11.4	11.9	11.4	11.6
合計					38.0	41.1	37.8	39.0

横桁荷重は、型枠や大引で橋軸方向に隣接する支柱に分散することが予想され、中間横桁直下の支柱が負担する横桁荷重を 100%・67%・50%の３パターンについて反力を試算すると、**表-5.2.10** のとおりである。

表-5.2.10　横桁直下の支柱の平均反力（分担率の仮定）

分担率	100%	67%	50%
分担比	 0：1：0	 1：4：1	 1：2：1
1ﾘﾌﾄ	12.8＋11.6×1.00 ＝24.4kN	12.8＋11.6×0.67 ＝20.6kN	12.8＋11.6×0.50 ＝18.6kN
2ﾘﾌﾄ	8.9＋5.7×1.00 ＝14.6kN	8.9＋5.7×0.67 ＝12.7kN	8.9＋5.7×0.50 ＝11.8kN
合計	39.0kN（1.00）	33.3kN（0.86）	30.4kN（0.78）

また、主桁自重による反力が主ケーブル緊張によって減少する割合を、主桁自重による下向き変位（33.5㎜）と主ケーブル緊張による上向き変位（11.9㎜＋17.1㎜＝29.0㎜）の比率から推定すると、以下のとおりで、主ケーブルを全て緊張することで 87%の反力が解放されると考えられる。

・「緊 1」　：　11.9／33.5＝36%
・「緊 2･3」　：　17.1／33.5＝51%
・合計　：　＝87%

(5) 支保工反力の考察

1) 弾性変化による支保工反力増減の考察

支保工反力の弾性変化分の計測結果（支柱Ａ～Ｃの平均値）と計算値を、**図-5.2.17** と **表-5.2.11** に示す。主桁自重反力の計測結果は、中間横桁直下の支柱が横桁荷重の 2／3（分担率 67%）を受け持つと仮定すると、計測結果と計算値がほぼ一致する。

計算値では、主ケーブル緊張によって反力が 87%解放されるが、支保工反力の計測結果では 97%（＝32kN／33kN）で、設計で想定している程度のプレストレスが主桁に導入されていると考えられる。

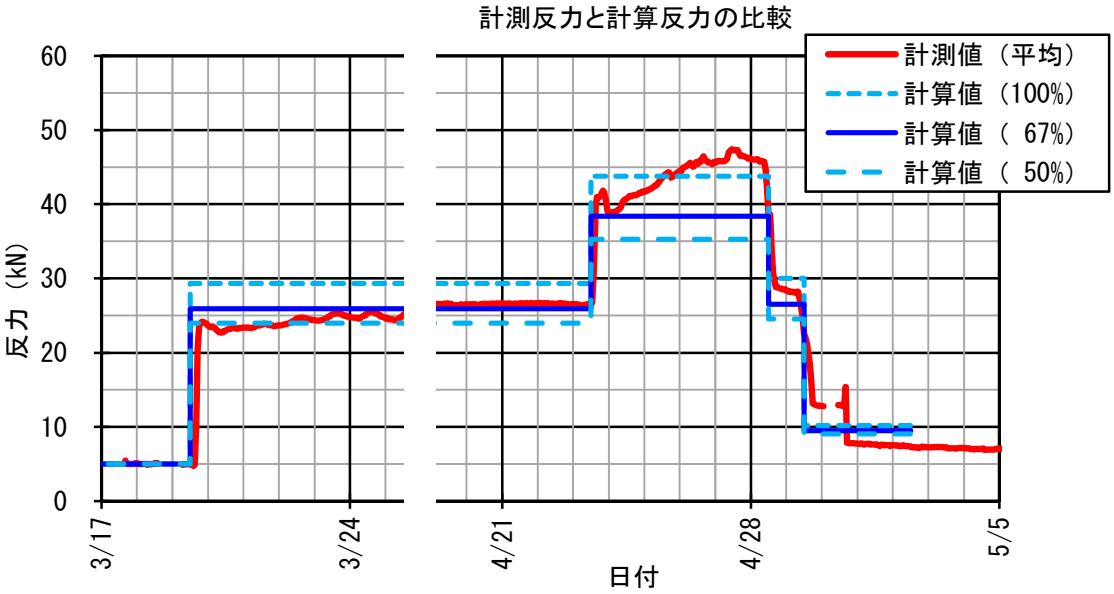


図-5.2.17　支保工反力の計測結果と計算値の比較

表-5.2.11　支保工反力の計測結果と計算値の比較　　（単位：kN）

		主桁自重			主ケーブル緊張		
		「自 1」	「自 2」	合計	「緊 1」	「緊 2･3」	合計
計測結果		19	14	33	−17	−15	−32
計算値（計測／計算）	分担率 100%	24.3 (0.78)	14.5 (0.97)	38.8 (0.85)	−13.8 (1.23)	−19.8 (0.76)	−33.6 (0.95)
	分担率 67%	20.5 (0.93)	12.7 (1.10)	33.2 (0.99)	−11.8 (1.44)	−16.9 (0.89)	−28.7 (1.11)
	分担率 50%	18.6 (1.02)	11.7 (1.20)	30.3 (1.09)	−10.8 (1.57)	−15.4 (0.97)	−26.2 (1.22)

2）弾性変化がない期間の支保工反力変化の考察

弾性変化がない期間（3 月 20 日～4 月 22 日、4 月 24 日～4 月 27 日）も、**図-5.2.8** や**表-5.2.3** のように反力の計測値が増加している。２リフト打設後の反力増は、**図-5.2.18** に示すように日平均気温の変化と類似（平均気温 5℃上昇で反力が 10kN 増）しており、これは、２リフトを打設することで主桁剛性が大きくなり、温度変化による支柱の伸びを拘束して支柱に圧縮力が付加したことが考えられる。

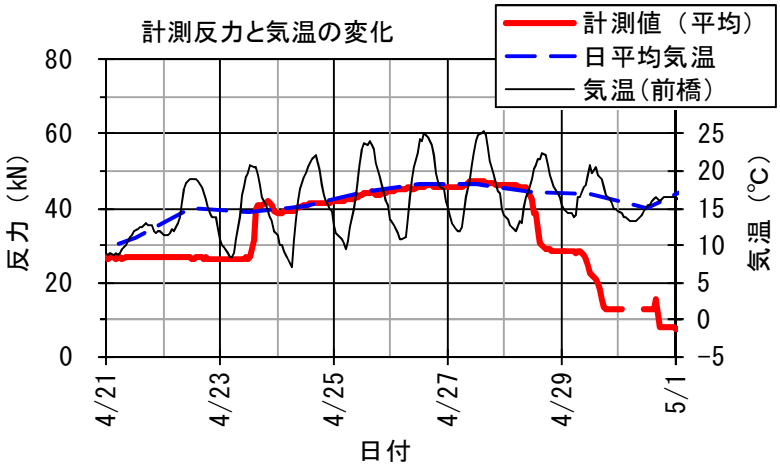


図-5.2.18　気温と日照時間の推移

しかし、支柱反力増の要因として以下の①から④を検証したが、いずれも要因に合わない現象が起きており、要因を確定するには至っていない。

①日平均気温の変化･･･**図-5.2.18** のように､各日とも 10℃以上の気温変化があるが、支柱反力は気温変化に追随していない。

②支柱Ａの温度膨張･･･図-5.2.19 のように、南面の支柱Ａには直射日光が照射したと思われるが、直射日光が当たらない支柱Ｃの反力も増加している。

③上床版の反り･･･図-5.2.19 のように、上床版が温度上昇で上反りしたことが考えられるが、支柱Ｂの反力が減少していない。

④資機材の搬入･･･高欄施工用の資機材を橋面上に搬入することで反力が増加するが、夜間も持続的に反力が増加している。

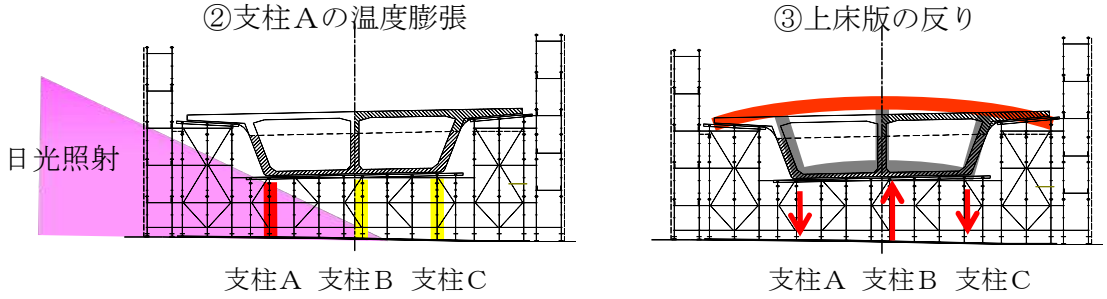


図-5.2.19　支柱反力増の要因

5.2.3 鉄筋ひずみとコンクリート温度

(1) 鉄筋ひずみとコンクリート温度の計測計画

生コン打設時や主ケーブル緊張時の鉄筋ひずみ・コンクリート温度を計測し、主桁自重や主ケーブル緊張で主桁に導入される応力レベルを設計計算で正しく把握できているか、また、コンクリートの硬化熱等で蓄積される初期応力がどの程度かについて検証する。

計測箇所は、**図-5.2.20** に示すＰ３～Ａ２径間の４断面（Ａ～Ｄ断面）の各部位で、計測期間は、第３区間のコンクリートの打設から主ケーブルを緊張して支保工を解体するまでの約２ヶ月間(平成 26 年 3 月中旬～5 月初旬)、計測インターバルは 1 時間間隔とする。

Ａ断面はＰ３支点部で、横締めＰＣ鋼材が配置されている支承線上をA_1断面、250㎜離れた横締めＰＣ鋼材間をA_2断面とし、A_2断面では張出床版先端付近の橋軸方向鉄筋２本（上筋と下筋）のひずみを計測した。

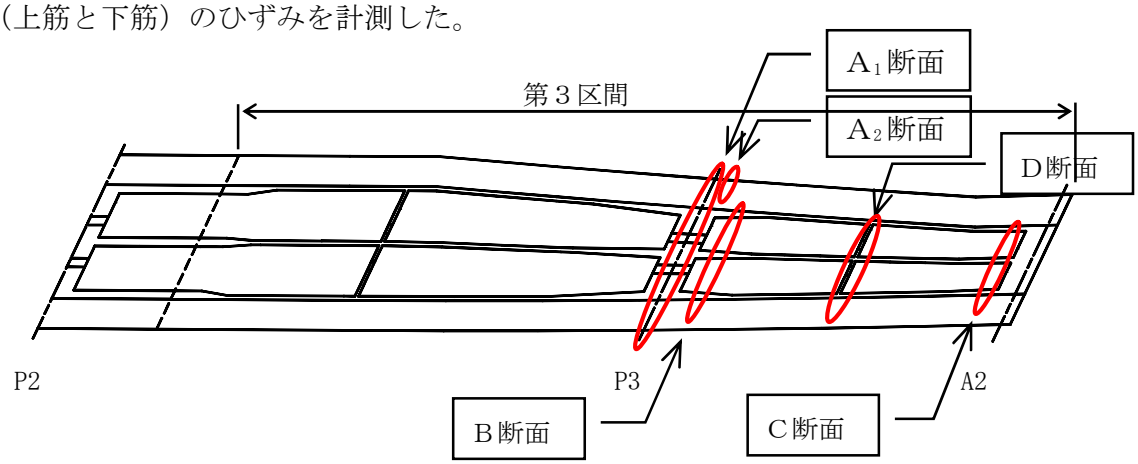


図-5.2.20　鉄筋ひずみの計測箇所

なお、気温については、気象庁ホームページの“過去の気象データ”で公開されている近隣観測所のデータを使用する。

支点部のA断面と支間部のB～D断面について、ゲージ・熱電対の設置概要を**図-5.2.21**に示す。A_1断面については、支点横桁に拘束される主桁上縁の橋軸方向鉄筋および張出床版先端付近の橋軸方向鉄筋にひずみゲージ設置し、その近傍に熱電対を設置した。A_2断面については、中間床版の橋軸直角方向鉄筋にひずみゲージとその近傍に熱電対を設置した。B～D断面については、主桁上下縁の橋軸方向鉄筋にひずみゲージを設置した。B断面に関しては、１リフトと２リフトの打継ぎ近傍に蓄積される橋軸方向鉄筋のひずみと近傍の温度も計測する。

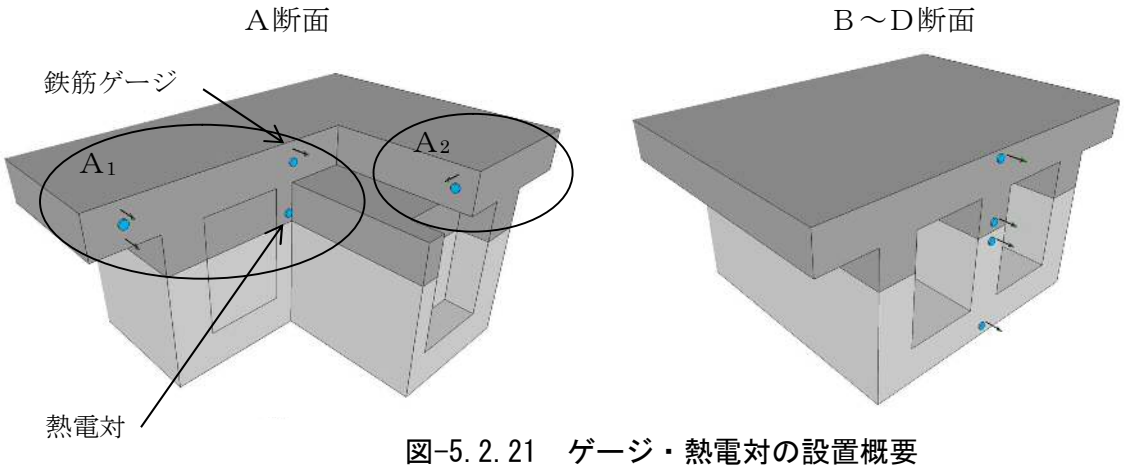


図-5.2.21　ゲージ・熱電対の設置概要

各断面の鉄筋ひずみ・コンクリート温度などの計測箇所数とチャンネル数の集計を**表-5.2.12**に示す。各断面の計測部位は、次頁以降の**図-5.2.22(1)～(4)**のとおりとする。

表-5.2.12　計測箇所数（チャンネル数）

計測項目	センサ	計測箇所数（チャンネル数）						備考
		A_1断面	A_2断面	B断面	D断面	C断面	合計	
鉄筋ひずみ	ゲージ※	5（10）	2（ 4）	12（24）	2（ 4）	4（ 8）	25（50）	
ｺﾝｸﾘｰﾄ温度	熱電対	4（ 4）	－	6（ 6）	－	－	10（10）	
合計		11（18）		18（30）	2（ 4）	4（ 8）	35（60）	

※：鉄筋ひずみゲージは、鉄筋の両面に貼り付ける

各ゲージ（鉄筋ひずみゲージと熱電対）の設置断面・部位を**表-5.2.13**に示す。なお、図-5.2.22の計測部位を示す印の内部を網掛けしたダミー鉄筋は、荷重等によるひずみを絶縁するために周囲に緩衝材を巻きつけた鉄筋で、温度の影響によるひずみを計測するためのものである。

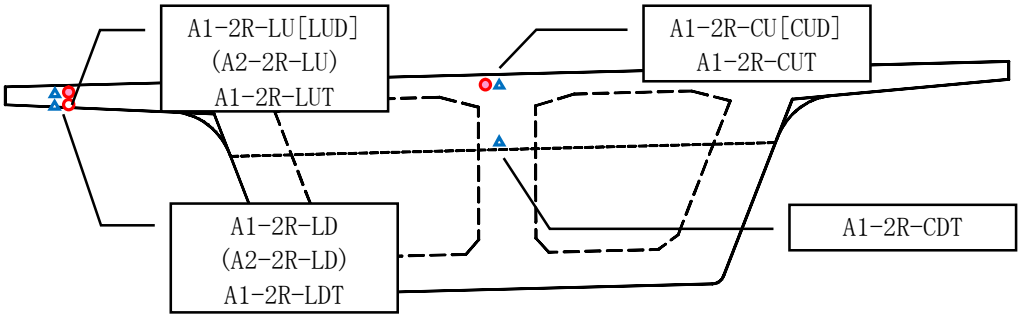


図-5.2.22(1)　A_1・A_2断面の計測部位

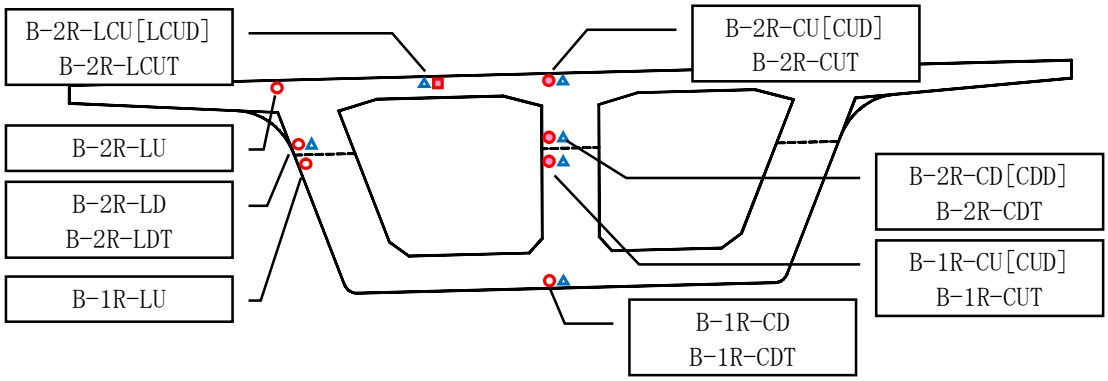


図-5.2.22(2)　B断面の計測部位

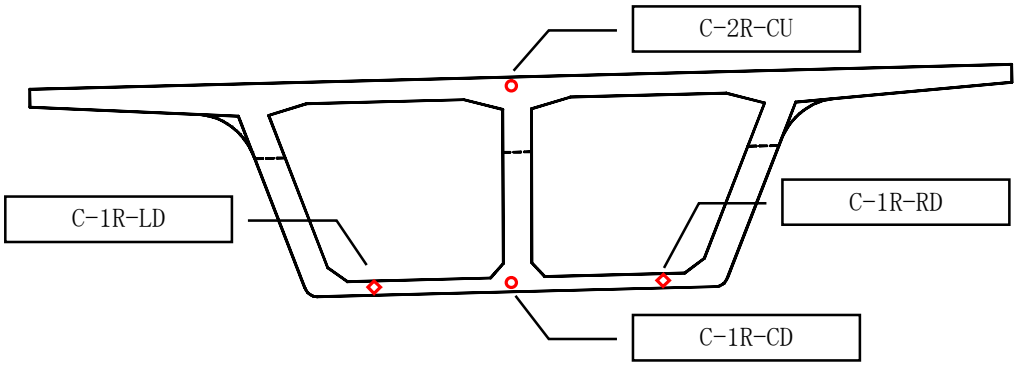


図-5.2.22(3)　C断面の計測部位

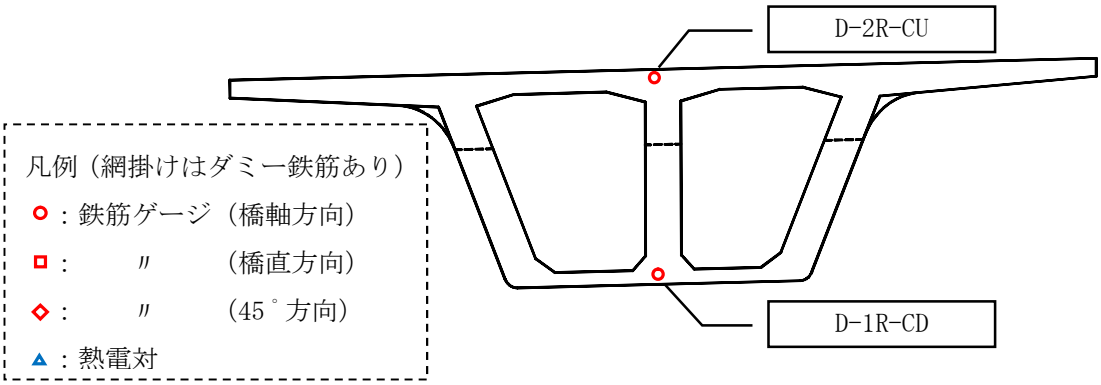


図-5.2.22(4)　D断面の計測部位

表-5.2.13　ゲージ名称と設置断面・部位

ゲージ名 称	種類		設置断面				打設リフト		設置部位			
	歪	熱	A	B	C	D	1L	2L	張出し床版	外桁	中桁	床版
D -2R-CU1,2	○					○		○			△	
D -1R-CD1,2	○					○	○				▽	
C -2R-CU1,2	○				○			○			△	
C -1R-LD1,2	◎				○		○					▽
C -1R-CD1,2	○				○		○				▽	
C -1R-RD1,2	◎				○		○					▽
A1-2R-LU1,2	○		①					○	△			
A1-2R-LUT		○	①					○	△			
A1-2R-LU1D,2D	●		①					○	△			
A1-2R-LD1,2	○		①					○	▽			
A1-2R-LDT		○	①					○	▽			
A1-2R-CU1,2	○		①					○			△	
A1-2R-CUT		○	①					○			△	
A1-2R-CU1D,2D	●		①					○			△	
A1-2R-CDT		○	①					○			◇	
A2-2R-LU1,2	○		②					○	△			
A2-2R-LD1,2	○		②					○	▽			
B -2R-LU1,2	○			○				○		△		
B -2R-LCU1,2	□			○				○				△
B -2R-LCUT		○		○				○				△
B -2R-LCU1D,2D	■			○				○				△
B -2R-CU1,2	○			○				○			△	
B -2R-CUT		○		○				○			△	
B -2R-CU1D,2D	●			○				○			△	
B -2R-CD1,2	○			○				○			◇	
B -2R-CDT		○		○				○			◇	
B -2R-CD1D,2D	●			○				○			◇	
B -2R-LD1,2	○			○				○		◇		
B -2R-LDT		○		○				○		◇		
B -1R-LU1,2	○			○			○			◇		
B -1R-CU1,2	○			○			○				◇	
B -1R-CUT		○		○			○				◇	
B -1R-CU1D,2D	●			○			○				◇	
B -1R-CD1,2	○			○			○				▽	
B -1R-CDT		○		○			○				▽	

ゲージ方向
○：橋軸方向
□：橋直方向
◎：斜め方向
●：橋軸ﾀﾞﾐｰ
■：橋直ﾀﾞﾐｰ

断面
①：A_1断面
②：A_2断面

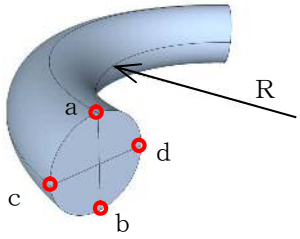
位置
△：上側
◇：中段
▽：下側

(2) 鉄筋ひずみとコンクリート温度の計測結果

鉄筋ひずみ・コンクリート温度の計測結果は、参考資料 1(2)、(3)のとおり。

鉄筋ゲージは、**図-5.2.23** のように、貼付け位置によっては鉄筋の曲がりの影響を受けるので、鉄筋の両側に貼った 2 点の測定値を平均することで曲げひずみ成分を排除し、鉄筋の軸ひずみ成分を算出する。ただし、**表-5.2.14** に示すように、一部のゲージのデータは有効ではないと考えられるため、その場合は片側の測定値のみを用い、平均値の場合は名称末尾を(a)、片方の場合は(1)または(2)とすることとした。

鉄筋軸ひずみの計算結果は、参考資料 1(4)のとおり。また、その代表例として、B断面の鉄筋ひずみ（計測値）を**図-5.2.24** に、鉄筋軸ひずみ（計算値）を**図-5.2.25** に示す。



a，b：曲げひずみ＝0
c　　：曲げ引張（＜0）
d　　：曲げ圧縮（＞0）
（c＋d）／2＝0

図-5.2.23　鉄筋ゲージ位置

表-5.2.14　ゲージデータの採否

ゲージ名 称	採否		備考	ゲージ名 称	採否		備考
	1	2			1	2	
D -2R-CU1, CU2	○	○	CU(a)	B -2R-LU1, LU2	○	○	LU(a)
D -1R-CD1, CD2	○	×	CD(1)	B -2R-LCU1, LCCU2	○	○	LCU(a)
C -2R-CU1, CU2	○	○	CU(a)	B -2R-LCU1D, LCU2D	○	○	LCUD(a)
C -1R-LD1, LD2	○	○	LD(a)	B -2R-CU1, CU2	×	○	CU(2)
C -1R-CD1, CL2	×	○	CD(2)	B -2R-CU1D, CU2D	○	○	CUD(a)
C -1R-RD1, RD2	○	○	RD(a)	B -2R-CD1, CD2	○	○	CD(a)
A1-2R-LU1, LU2	○	○	LU(a)	B -2R-CD1D, CD2D	○	○	CDD(a)
A1-2R-LU1D, LU2D	○	○	LUD(a)	B -2R-LD1, LD2	×	○	LD(2)
A1-2R-LD1, LD2	○	○	LD(a)	B -1R-LU1, LU2	○	×	LU(1)
A1-2R-CU1, CU2	○	○	CU(a)	B -1R-CU1, CU2	○	○	CU(a)
A1-2R-CU1D, CU2D	○	○	CUD(a)	B -1R-CU1D, CU2D	○	○	CUD(a)
A2-2R-LU1, LU2	○	○	LU(a)	B -1R-CD1, CD2	×	○	CD(2)
A2-2R-LD1, LD2	○	○	LD(a)				

B断面の１リフト鉄筋（B-1R-CU）と２リフト鉄筋（B-2R-CU）の各ひずみゲージの計測値を**図-5.2.24** に示す。

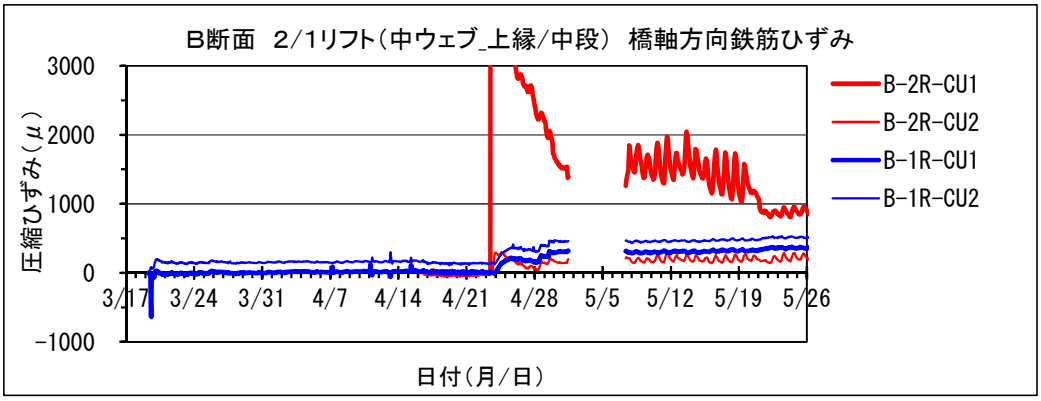


図-5.2.24　B断面の鉄筋ひずみの計測値

これらの鉄筋の軸ひずみは、以下のように算出することとした。その結果を**図-5.2.25** に示す。

・１リフト橋軸方向鉄筋（B-1R-CU）･･･B-1R-CU1 と B-1R-CU2 の計測値は 3 月 19 日 14 時から一定の差（約 150μ）があるが、平均して軸ひずみを算定（→B-1R-CU(a)）

・２リフト橋軸方向鉄筋(B-2R-CU)･･･2R-CU1 の計測値は、4 月 23 日に一時的に 20,000μ以上の値となっているので、B-2R-CU2 のみを使用（→B-2R-CU(2)）

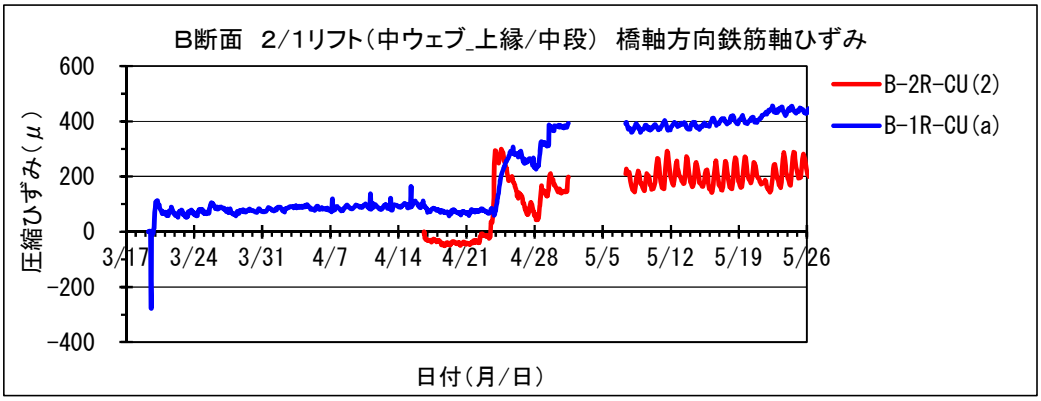


図-5.2.25　B断面の鉄筋軸ひずみの計算値

(3) 鉄筋応力度の算定

B断面２リフトに配置した橋軸方向鉄筋(B-2R-CU)の軸ひずみは、**図-5.2.26** のように、２リフト打設（4 月 23 日）までは「気温の日変化（5～20℃）に対してひずみは変動せず」で、コンクリート硬化後（5 月 8 日以降）は「コンクリート温度の日変化（15～30℃）とともにひずみが変動（150～300μ）」している。また、コンクリート温度（B-2R-CUT）については、気温（前橋）とほぼ同じ日変化で、線膨張係数を推定すると $10\times10^{-6}\,\mu$/℃である。

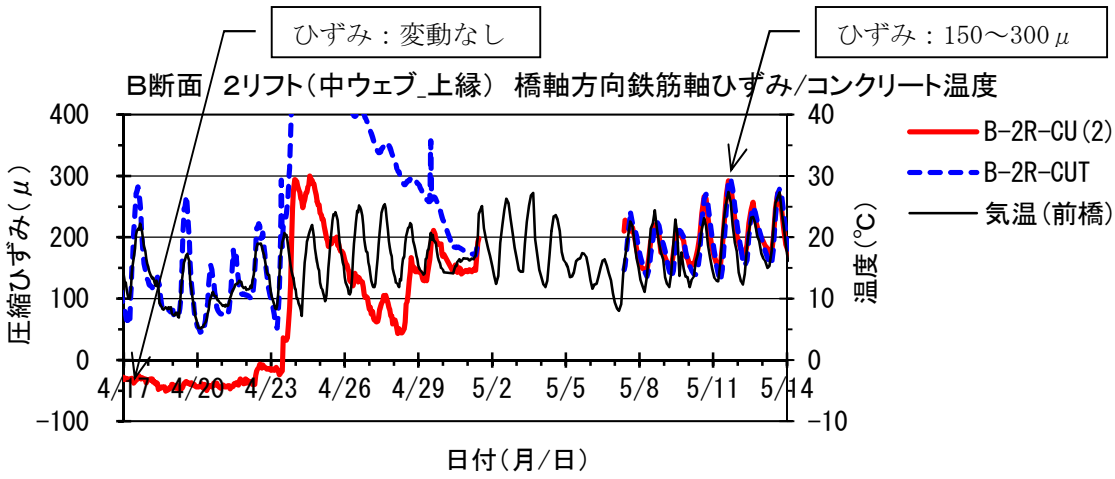


図-5.2.26　B断面２リフトの鉄筋ひずみと温度

ひずみには、**図-5.2.27** に示すように、全ひずみ・温度ひずみ・弾性ひずみの 3 種類があるが、ゲージの線膨張係数（11μ/℃）が鉄筋と同程度であるため、温度変化による自由膨張ひずみ（εt）は検出されず、弾性ひずみ（εe）が計測される。

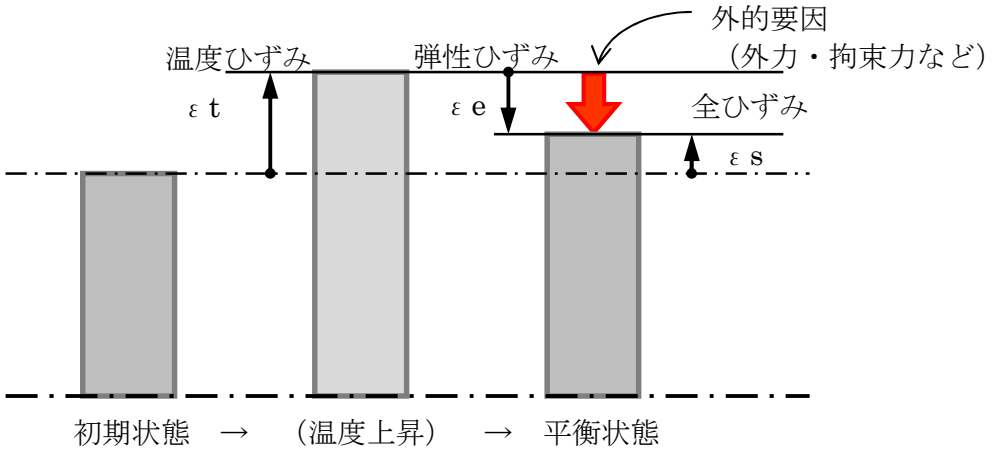


図-5.2.27　ひずみの概念

よって、鉄筋応力度（σs）は、次式のように、鉄筋の軸ひずみ（εe）にヤング係数（Es）を乗じて算定する。鉄筋応力度の算定結果は、5.5.1 節の(4)のとおり。

$$\sigma s = Es \times \varepsilon e$$

Es：鉄筋のヤング係数＝2.0×10^{5} N/mm^2

(4) コンクリート・鉄筋応力度の計算値

第３区間施工時のコンクリート応力状態を、鉄筋ひずみを計測する**図-5.2.28** のＡ～Ｄ断面について「設計計算書」から抽出すると、**表-5.2.15** のとおりである。

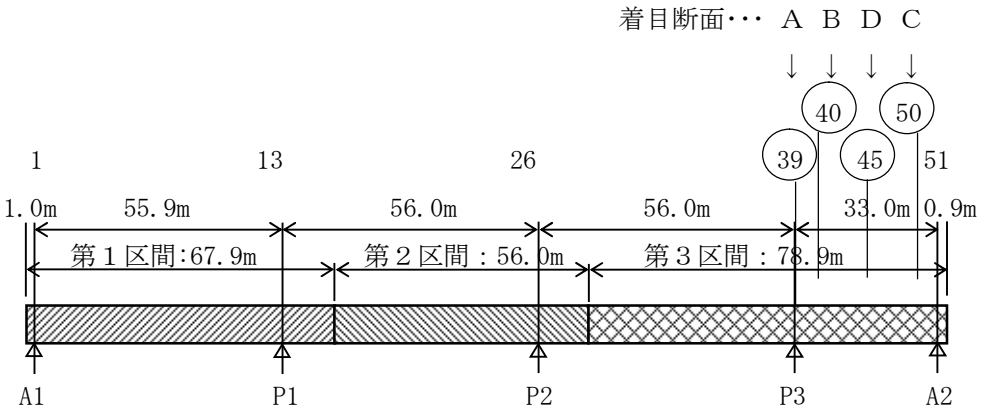


図-5.2.28　施工区間と着目断面

表-5.2.15　第３区間施工時のコンクリート応力度　（単位：N/mm²）

		A断面(sec-39)		B断面(sec-40)		D断面(sec-45)		C断面(sec-50)	
		上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁
荷重別応力度	主桁自重	-4.78	6.19	-4.65	5.98	-0.10	0.19	0.26	-0.48
	プレ２次	1.97	-2.55	1.92	-2.47	1.26	-2.46	0.12	-0.23
	直後プレ	5.71	-1.07	5.63	-0.99	0.48	8.42	1.03	6.23
	クリープ	-0.07	-0.07	-0.05	-0.09	0.03	-0.37	-0.03	0.02
合成応力度	施工直後	2.90	2.57	2.90	2.52	1.64	6.15	1.41	5.52
	60 日後	2.83	2.50	2.85	2.43	1.67	5.78	1.38	5.54

第３施工施工時の鉄筋応力度は、コンクリートと鉄筋の弾性係数比をｎ＝7 と仮定すると、**表-5.2.16** のとおりで、「クリープ」分は「施工直後」と「60 日後」の差から算出した。

表-5.2.16　第３区間施工時の鉄筋応力度　（単位：N/mm²）

		A断面(sec-39)		B断面(sec-40)		D断面(sec-45)		C断面(sec-50)	
		上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁
合成応力度	施工直後	20.3	18.0	20.3	17.6	11.5	43.1	9.9	38.6
	(ｸﾘｰﾌﾟ)	-0.5	-0.5	-0.3	-0.6	+0.2	-2.6	-0.2	+0.2
	60 日後	19.8	17.5	20.3	17.0	11.7	40.5	9.7	38.8

(5) 温度応力解析

1) 解析条件

３次元立体要素の全径間モデルで、**図-5.2.29** の第３区間の１リフトと２リフトのコンクリート打設時の温度応力解析をおこなった。

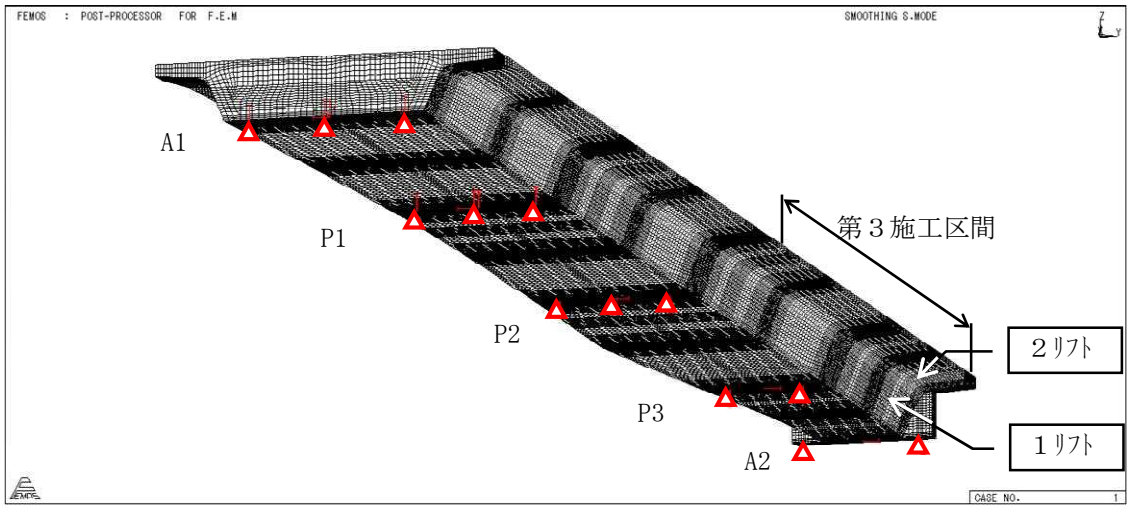


図-5.2.29　温度解析用の全径間モデル

温度解析の設定条件を**表-5.2.17** に、生コンの配合計画を**表-5.2.18** に示す。

表-5.2.17　温度解析の設定条件　　( )内は養生日数

				１リフト	２リフト	備考
打設条件	打設日			1 日	36 日	
	配合条件			表-5.2.18	表-5.2.18	
	生コン温度			15℃	20℃	
養生条件	養生温度			20℃	25℃	熱伝達率＝13W/m²K
	養生方法	外枠		鋼製(5 日)	鋼製(5 日)	熱伝達率＝14W/m²K
		内枠	床版下面	―	鋼製(5 日)	〃
			ｳｪﾌﾞ内面	木製(5 日)	―	熱伝達率＝ 7W/m²K
		妻枠		木製(5 日)	木製(5 日)	〃
		打設面	上床版	―	Qﾏｯﾄ(14 日)	熱伝達率＝ 2W/m²K
			下床版	Qﾏｯﾄ(45 日)	―	〃

表-5.2.18　生コンの配合計画

配合の設計条件	呼び方	ｺﾝｸﾘｰﾄ種類による記号	呼び強度	スランプ	粗骨材の最大寸法	ｾﾒﾝﾄの種類による記号
	36-15-25H	普通	36	15cm	25mm	H
配合表 (kg/m³)	セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	水ｾﾒﾝﾄ比
	384	169	658	942	3.46	44.0%

2）ひび割れ指数の解析結果

第３区間のコンクリート打設時のひび割れ指数解析結果を以下に示す。

主ひずみ方向の最小ひび割れ指数は、**図-5.2.30** のとおりで、横桁部の張出床版先端のひび割れ指数が小さい。

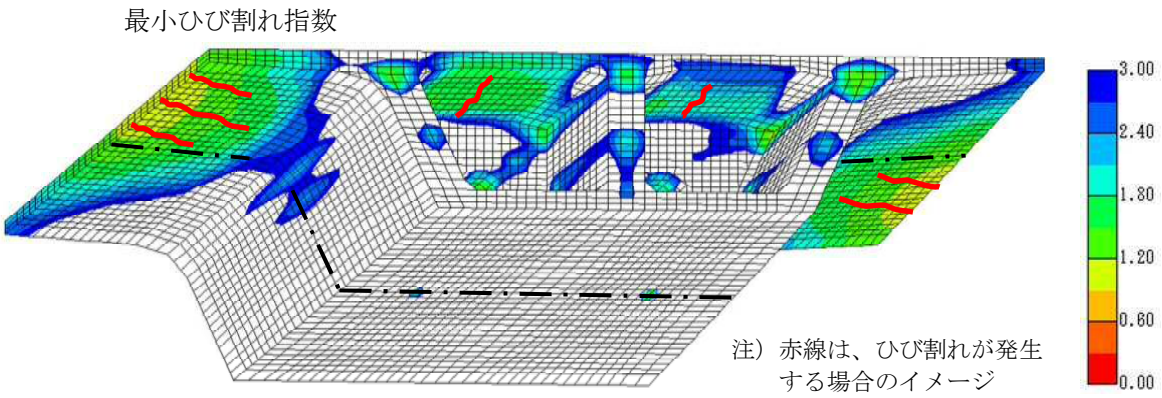


図-5.2.30　最小ひび割れ指数（主ひずみ方向）

Ｐ３横桁近傍の箱桁内部について、橋軸方向と直角方向のひび割れ指数を**図-5.2.31** に示す。箱桁内で橋軸方向のひび割れ指数が小さいのは、中ウェブの１リフト中間（⑤’）と中ウェブの２リフトハンチ付近（③’）で、直角方向のひび割れ指数が小さいのは、上床版下面（⑦’）である。

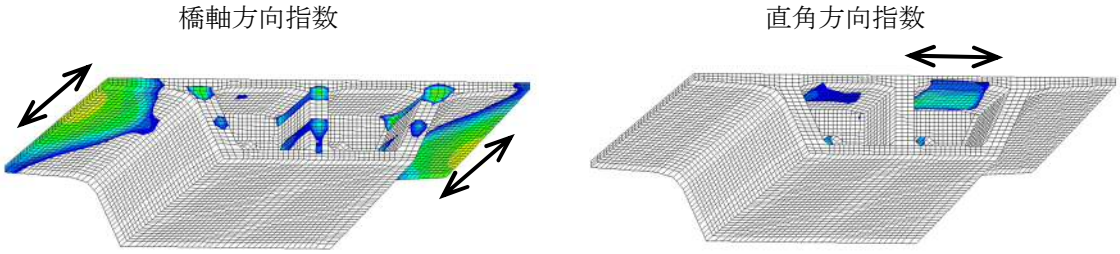


図-5.2.31　最小ひび割れ指数（橋軸・直角方向）

(6) 鉄筋応力度とコンクリート温度の考察

1) 張出床版と横桁（A断面）の温度

張出床版と横桁（A断面）のコンクリート最高温度を**図-5.2.32** に、コンクリート温度履歴を**図-5.2.33** に示す。

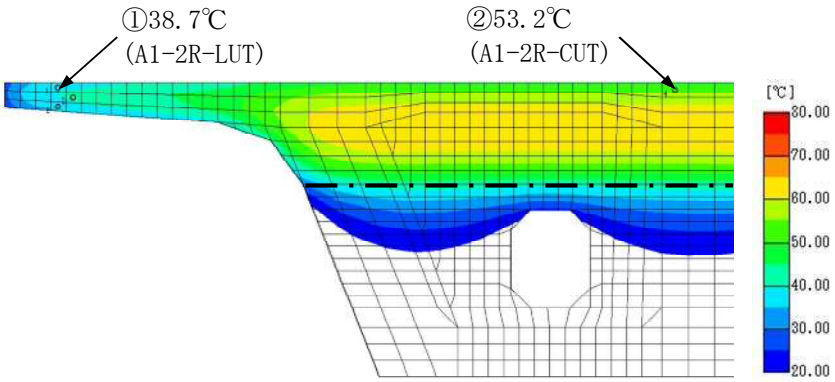


図-5.2.32　張出床版と横桁のコンクリート最高温度

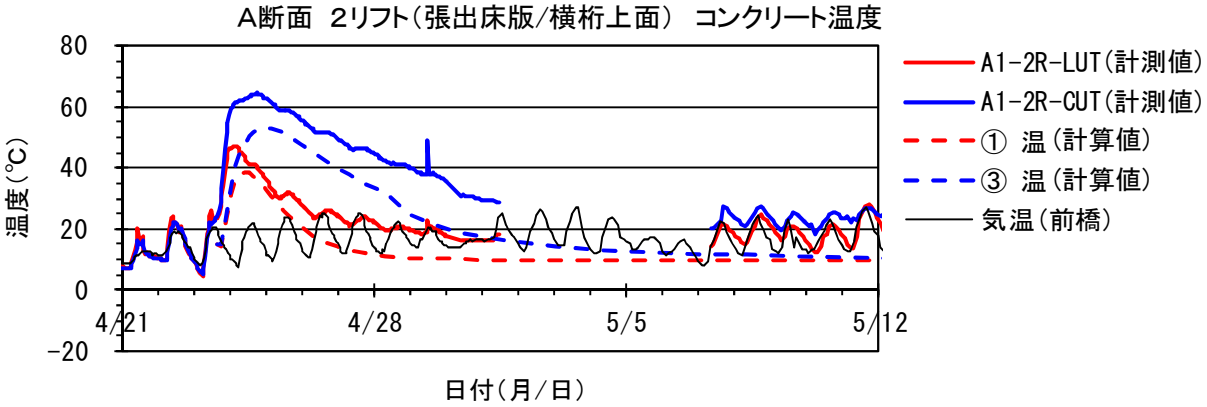


図-5.2.33　張出床版と横桁のコンクリート温度履歴

コンクリート最高温度の計測値と計算値を比較すると、**表-5.2.19** のように、計算値のほうが約 10℃低い結果であった。これは、実際の外気温が 10～20℃の日変動に対して解析では 10℃一定としたためと考えられる。

表-5.2.19　張出床版と横桁上面のコンクリート最高温度（計測値と計算値）

	A断面	
	張出床版	横桁上面
計測値	47.3	64.5
計算値	38.7	53.2
差	8.6	11.3

単位（℃）

2) ２リフト打設時の１リフトウェブ（Ｂ断面）の温度

２リフト打設時の１リフトウェブ（Ｂ断面）のコンクリート最高温度を**図-5.2.34** に、コンクリート温度履歴を**図-5.2.35** に示す。

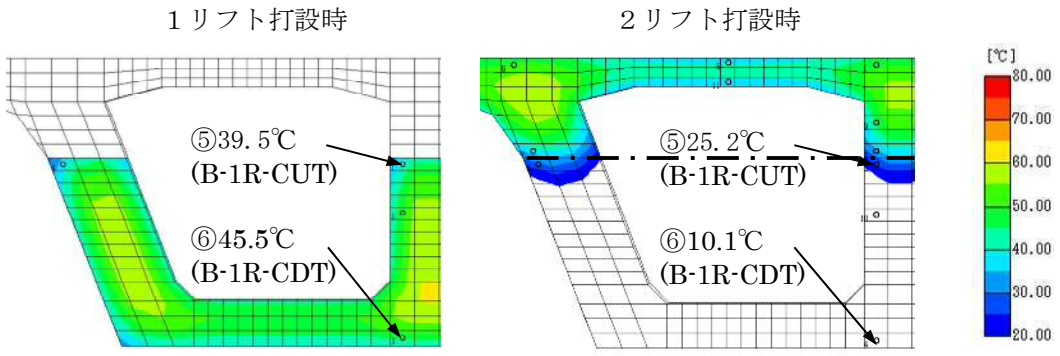


図-5.2.34　１リフトウェブのコンクリート最高温度

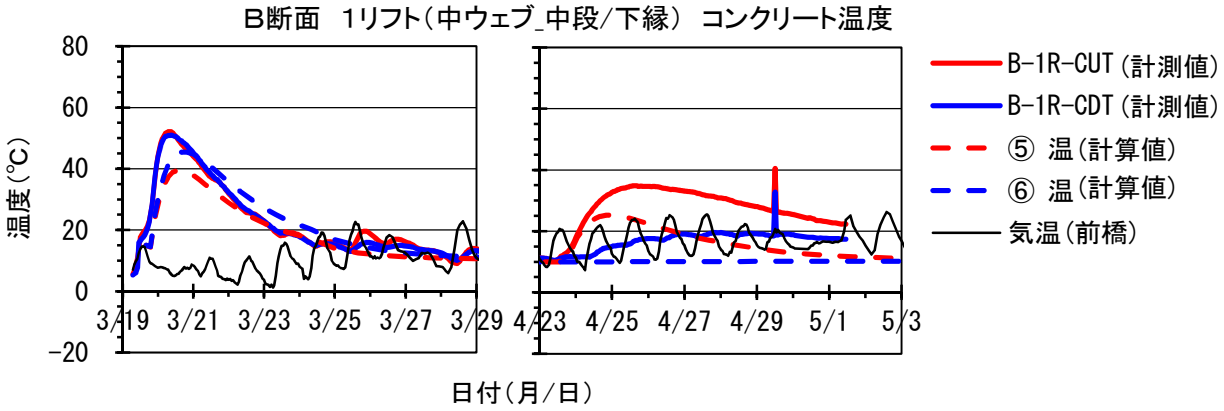


図-5.2.35　１リフトウェブのコンクリート温度履歴

コンクリート最高温度の計測値と計算値を比較すると、**表-5.2.20** のように、２リフト打設によって１リフトウェブの下面温度が 9.24℃上昇したが、その後も 20℃程度を持続しており、気温上昇の影響が大きいと考えられる。１リフトウェブの上面温度は 24.4℃上昇したが、気温上昇の影響が＋9.2℃（１リフト下面の温度上昇分）とすると、２リフトからの熱伝達の影響は＋15.2℃（＝24.4－9.2）で、計算値（＋15.2℃）と一致する。

表-5.2.20　１リフトウェブのコンクリート最高温度（計測値と解析値）

	１ﾘﾌﾄ打設時		２ﾘﾌﾄ打設時	
	１ﾘﾌﾄ上面 B-1R-CUT	１ﾘﾌﾄ下面 B-1R-CDT	１ﾘﾌﾄ上面	１ﾘﾌﾄ下面
計測値	52.1	51.0	10.4→34.8（＋24.4）	10.4→19.6（＋9.2）
計算値	39.5	45.5	10.0→25.2（＋15.2）	10.0→10.1（＋0.1）
差	12.6	5.5	9.6	9.5

単位（℃）

3) ２リフト打設時の箱桁内ウェブ（Ｂ断面）の温度

２リフト打設時の箱桁内ウェブ（Ｂ断面）のコンクリート最高温度を**図-5.2.36** に、コンクリート温度履歴を**図-5.2.37** に示す。

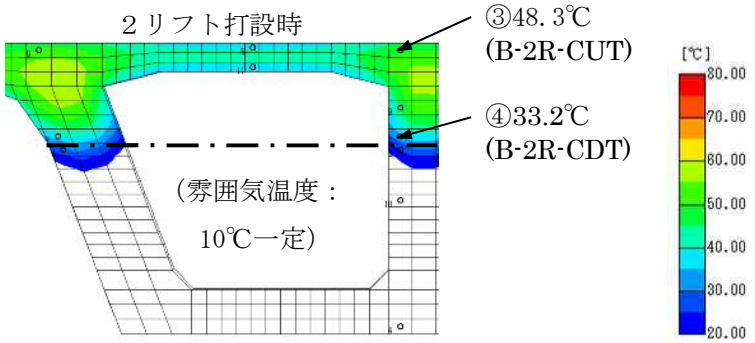


図-5.2.36　２リフトウェブのコンクリート最高温度

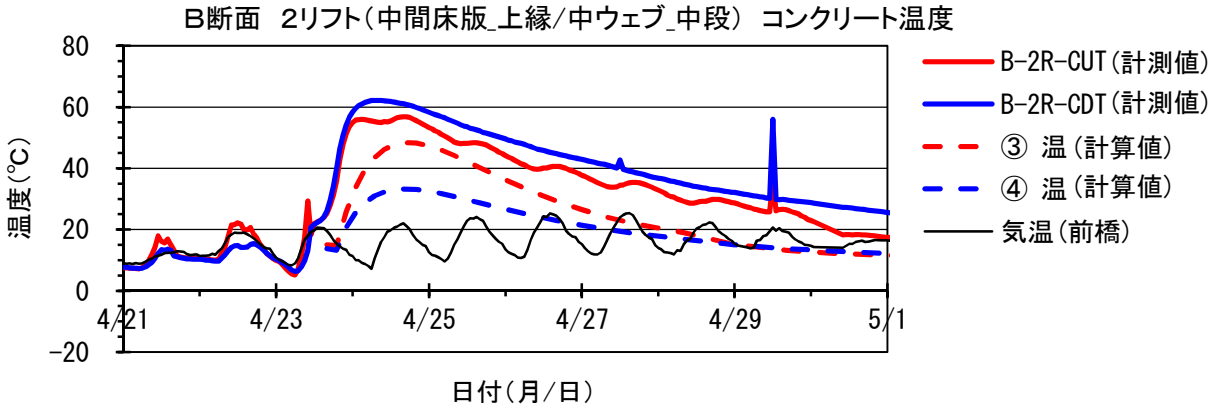


図-5.2.37　コンクリート温度履歴

コンクリート最高温度の計測値と計算値を比較すると、**表-5.2.21** のように、２リフト下面で解析値のほうが 29.0℃低い結果であった。これは、閉鎖空間である箱桁内の空気がコンクリート硬化熱で温められたことが原因と考えられ、解析で、箱桁内の雰囲気温度を 10℃一定ではなく 40℃程度に設定すれば、計測値と計算値が符合すると推察される。

表-5.2.21　箱桁内ウェブのコンクリート最高温度（計測値と計算値）

	２ﾘﾌﾄ打設時	
	２ﾘﾌﾄ上面	２ﾘﾌﾄ下面
計測値	56.8	62.2
計算値	48.3	33.2
差	8.5	29.0

単位（℃）

4）張出床版（Ａ断面）の橋軸方向鉄筋応力度

張出床版先端付近の橋軸方向鉄筋（**図-5.2.38**）の応力度履歴を**図-5.2.39** に示す。

4 月 23 日が２リフトの生コン打設日で、4 月 23 日 20 時から 25 日 0 時にかけて一時的に圧縮応力が導入されたのは、コンクリート硬化熱によると推察される。

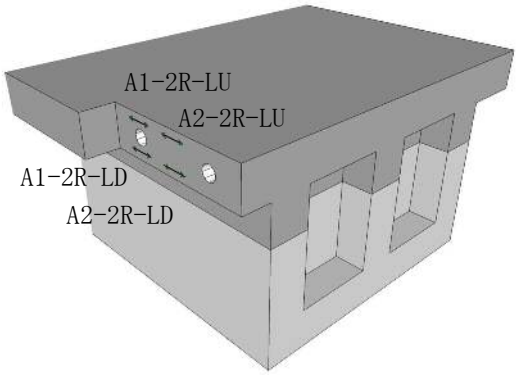


図-5.2.38　張出床版の橋軸方向鉄筋

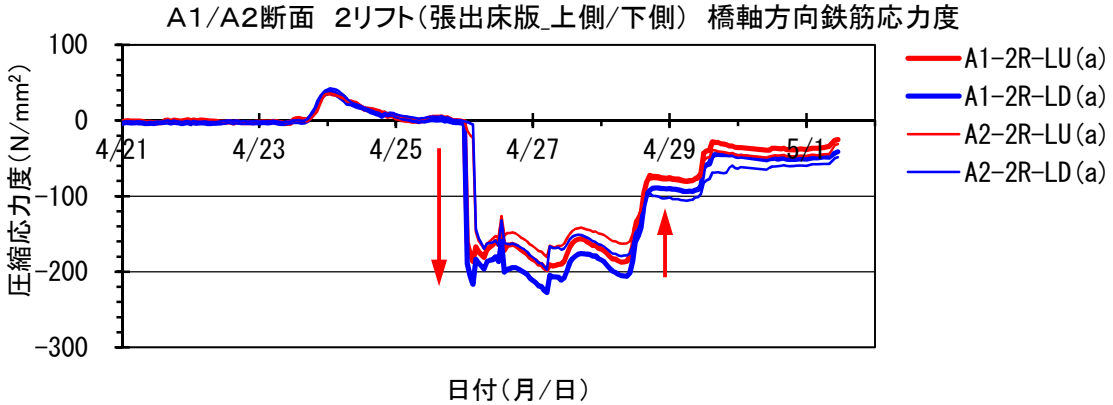


図-5.2.39　張出床版の橋軸方向鉄筋応力度

4 月 26 日 1 時に、張出床版上下縁の鉄筋に約 200N/mm² の引張応力が発生しており、床版が軸引張を受けた挙動である。4 月 28 日 10～16 時と 4 月 29 日 10～14 時には圧縮応力が導入されており、主ケーブルの緊張時期と一致はするものの、応力度レベルは以下で試算するように設計値の約 7.5 倍である。この理由として、橋軸直角方向にひび割れが発生したが、主ケーブルの緊張でひび割れが閉じたことが考えられ、ひび割れ発生のタイミング（4 月 26 日 1 時）は、**図-5.2.45** のひび割れ指数が最小になる時期と一致している。

主ケーブル緊張によって鉄筋に導入される圧縮応力度の試算

主ケーブルの緊張で主桁上縁に導入される応力度は、「設計計算書」より

$\sigma cu = 2.89 N/mm^2$　（sec-39 上縁）

鉄筋とコンクリートのヤング係数比を $n = 7$ として、鉄筋応力度を算出すると

$\sigma s = 2.89 \times 7 = 20.2 N/mm^2$

4 月 28～29 日に導入された圧縮応力度は

$\sigma \fallingdotseq (-200 N/mm^2 \rightarrow -50 N/mm^2) = 150 N/mm^2$

計測値と計算値の比率は

k ＝計測／計算＝150／20＝7.5

5）張出床版（Ａ断面）の鉄筋応力度の日変動

張出床版先端付近の橋軸方向鉄筋（図-5.2.40）の応力度履歴を図-5.2.41 に示す。

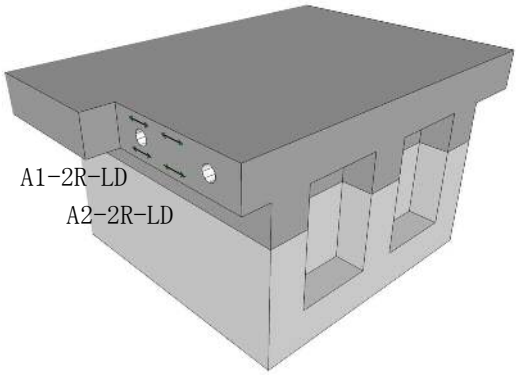


図-5.2.40　張出床版の橋軸方向鉄筋

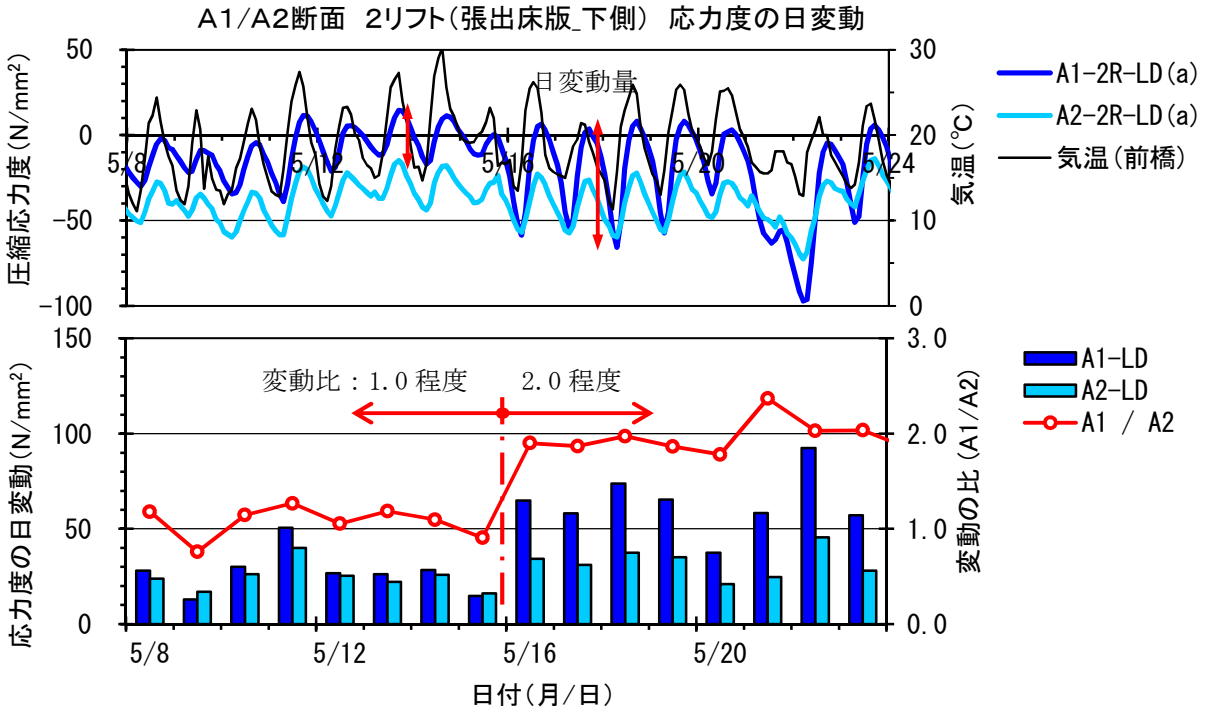


図-5.2.41　張出床版の鉄筋応力度の日変動

支保工を解体した（4 月 30 日から 5 月 7 日）後の 5 月 8 日からの約 2 週間の履歴で、主桁に荷重等が作用していない時期であるが、張出床版先端の橋軸方向鉄筋応力度が、日変動で 20～30N/mm² 程度振幅している。気温の変動に同調しており、次式に示すように気温の日変動の 10～15℃に相当する。

$$\Delta T = (20\sim30\ \mathrm{N/mm^2}) / (10\times10^{-6}) / (2.0\times10^{5}\mathrm{N/mm^2}) = 10\sim15℃$$

（応力振幅　　線膨張係数　　ヤング係数）

なお、5 月 16 日以降は、Ａ１断面の鉄筋応力度の日変動が約 2 倍になっており、張出床版の橋軸直角方向にひび割れが発生し、気温の日変動でひび割れが開閉することに連動して鉄筋応力度が大きく変動するようになったと推察される。

6）主桁上下縁（B～D断面）の考察

主桁上下縁の鉄筋（**図-5.2.42**）の応力度履歴を**図-5.2.43** に示す。また、鉄筋応力度の計算値と計測値を**表-5.2.22** に示す。

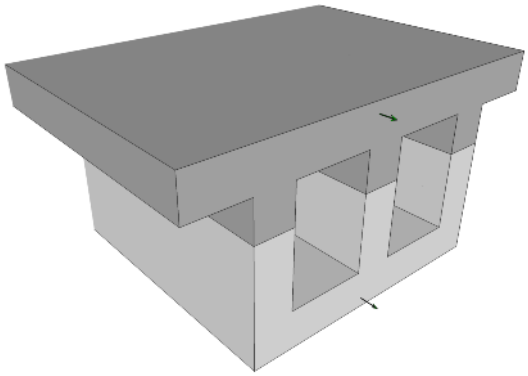


図-5.2.42　主桁上下縁の橋軸方向鉄筋

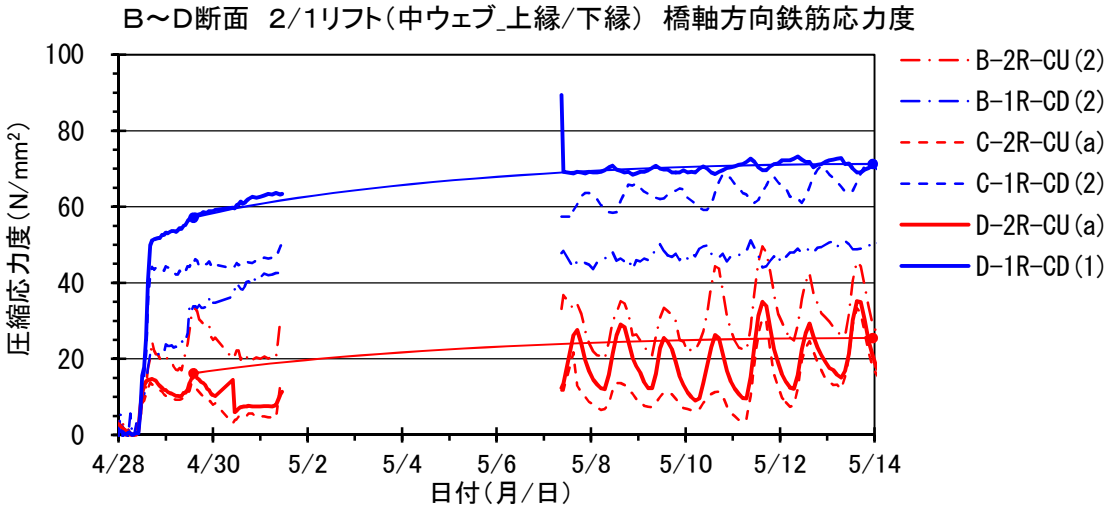


図-5.2.43　主桁上下縁の橋軸方向鉄筋応力度

表-5.2.22　鉄筋応力度の計算値と計測値　　（単位：N/mm²）

			計算値			計測値	
			緊張後	60 日後	ｸﾘｰﾌﾟ	緊張後 (4/29)	解体後 (5/14)
B断面 (P3 近傍)	sec-40	上縁	20	20	-0	33	+1
		下縁	18	17	-1	34	+16
D断面 (支間部)	sec-45	上縁	11	11	+0	16	+7
		下縁	43	40	-3	58	+13
C断面 (A2 近傍)	sec-50	上縁	10	10	-0	13	+8
		下縁	39	39	+0	46	+14

緊張後の鉄筋応力度を比較すると、計算値に比べて計測値のほうがやや大きい程度（1.2～1.9 倍）であるが、緊張後の応力漸増は計測値が 1 桁大きく、その理由は特定できていない。なお、主桁上縁の鉄筋応力度は、約 20N/mm² の日変動が生じており、気温変化と直射日光の影響と考えられる。20N/mm² の応力変動を温度変化量に換算すると、次式に示すように 10℃である。

$$T = 20\mathrm{N/mm^2} / (10\times10^{-6}\times2.0\times10^{5}\mathrm{N/mm^2}) = 10℃$$

7） Ｐ３張出床版部のひび割れ指数

主桁上面のひび割れ指数（Ｐ３支点付近）を**図-5.2.44** に、張出床版先端の橋軸方向のひび割れ指数履歴を**図-5.2.45** に示す。ひび割れが発生しやすい箇所は、横桁部直交方向（①*）の張出床版先端付近である。また、ひび割れが発生しやすい時期は、生コン打設（4月23日）の2～3日後の一時期で、その後、温度応力は圧縮応力に転じる。

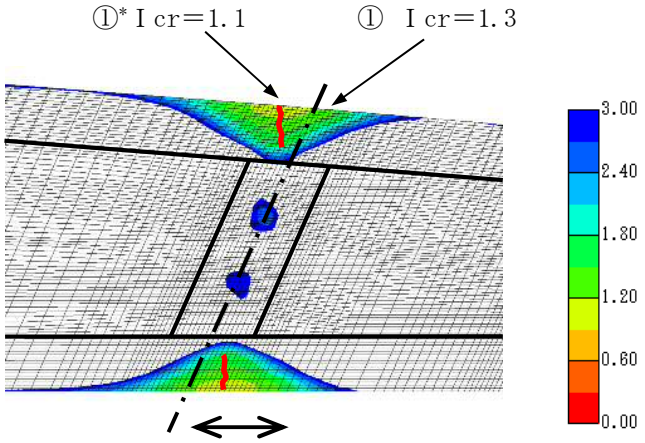


図-5.2.44　橋軸方向ひび割れ指数

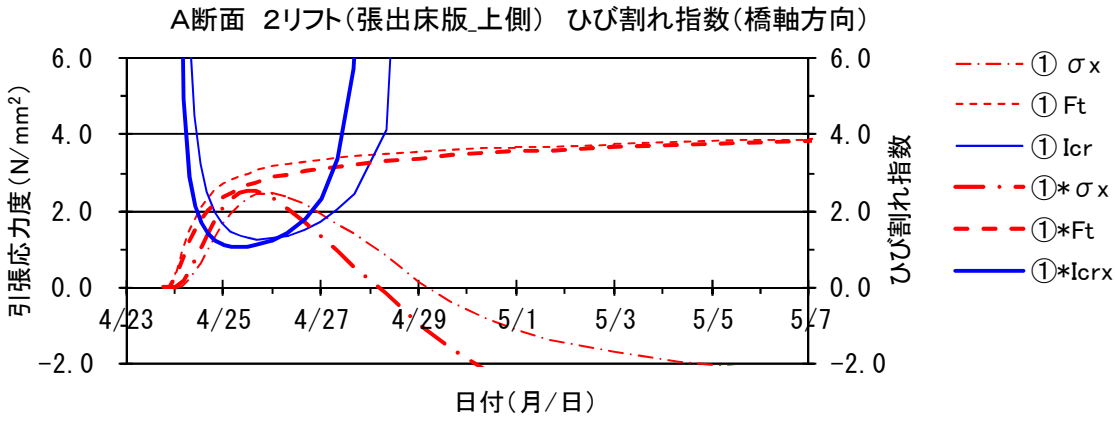


図-5.2.45　ひび割れ指数

実構造物に発生したひび割れは、**写真-5.2.1** に示すとおりで、張出床版先端に配置した床版横締め鋼材の支圧板がひび割れの起点となり、床版横締め鋼材に沿って斜角方向に伸展した。

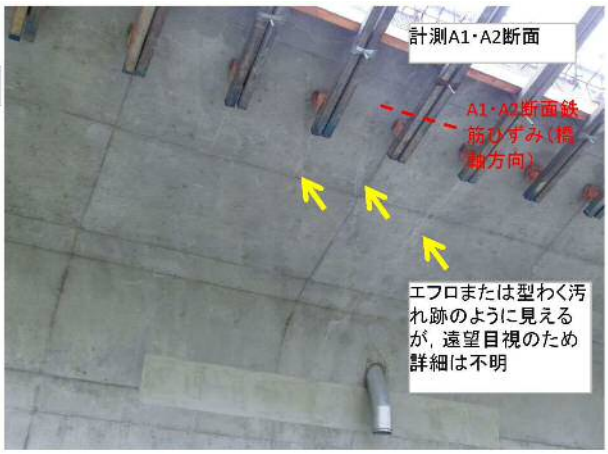


写真-5.2.1　張出床版のひび割れ

8） Ｐ３横桁近傍の箱桁内部のひび割れ指数

Ｐ３横桁近傍の箱桁内部について、橋軸方向と直角方向のひび割れ指数を図-5.2.46 に示す。

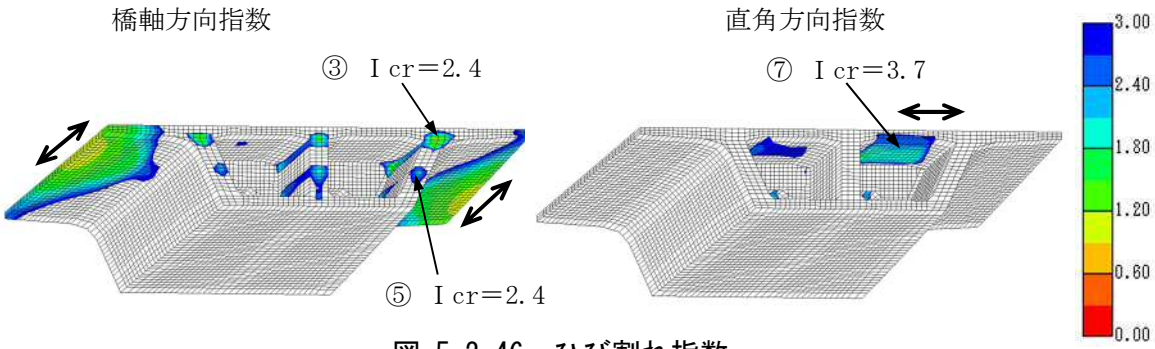


図-5.2.46　ひび割れ指数

外ウェブの橋軸方向のひび割れ指数履歴を図-5.2.47 と図-5.2.48 に示す。１リフト中間（⑤）は、生コン打設翌日の一時期にひび割れが発生しやすいが、長期的には圧縮応力状態となる。２リフトハンチ付近（③）は、温度降下時の収縮が１リフトに拘束されるために引張応力が残留する。

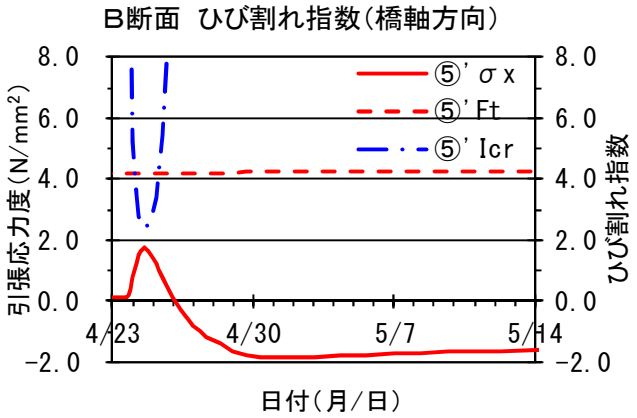


図-5.2.47　ひび割れ指数（１リフト）

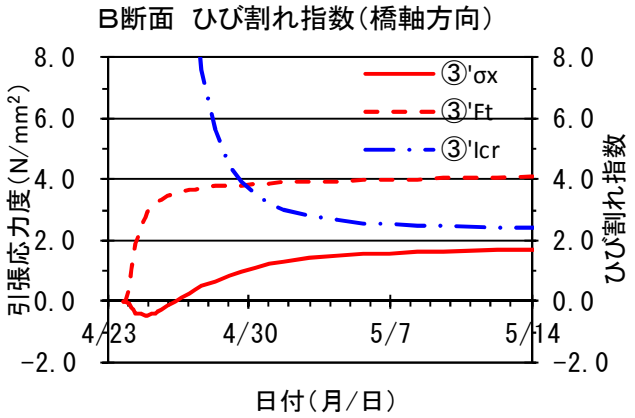


図-5.2.48　ひび割れ指数（２リフト）

実構造物に発生したひび割れは、写真-5.2.2 に示すとおりで、２リフトの上床版とウェブが橋軸方向に引っ張られたことを示唆している。ひび割れ指数からは、ひび割れが発生するとは考え難い。しかし、橋軸方向に 2.0N/mm2 近い引張応力が生じる結果となっており、箱桁内の雰囲気温度の設定違いや１リフトと２リフトの収縮差が１リフトで拘束されたことなどが、ひび割れ発生の要因となった可能性がある。

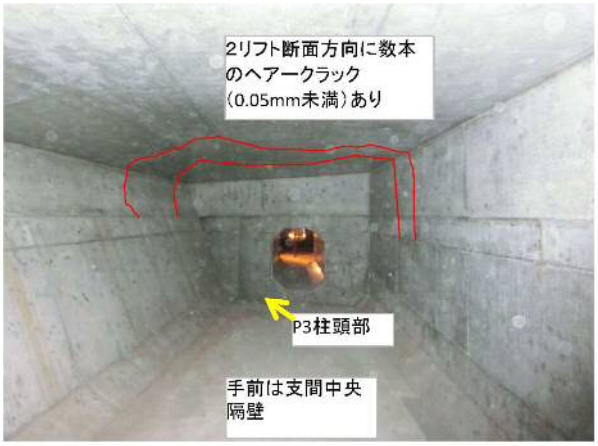


写真-5.2.2　箱桁内部のひび割れ

5.3 施工中の挙動計測（その２：張出し架設）

5.3.1 橋梁概要

(1) 構造概要

実橋の状況と設計計算との整合程度を検証するために、主桁内の鉄筋ひずみやウェブ側面のコンクリートひずみ、施工ブロックの目地開きを計測する。

計測対象橋梁の概要は以下のとおりで、全体一般図を**図-5.3.1** に示す。

構造形式：ＰＣ４径間連続ラーメン１(～２)室箱桁　　(計測対象は１室箱桁)

施工方法：片持ち張出し施工

Ａ１～Ｐ１径間は、Ｐ１柱頭部から移動作業車によって張出し工法で施工する。ブロック割りは、**図-5.3.2** に示すとおりで、各張出し施工のおもな施工イベントは、**表-5.3.1** のとおりである。

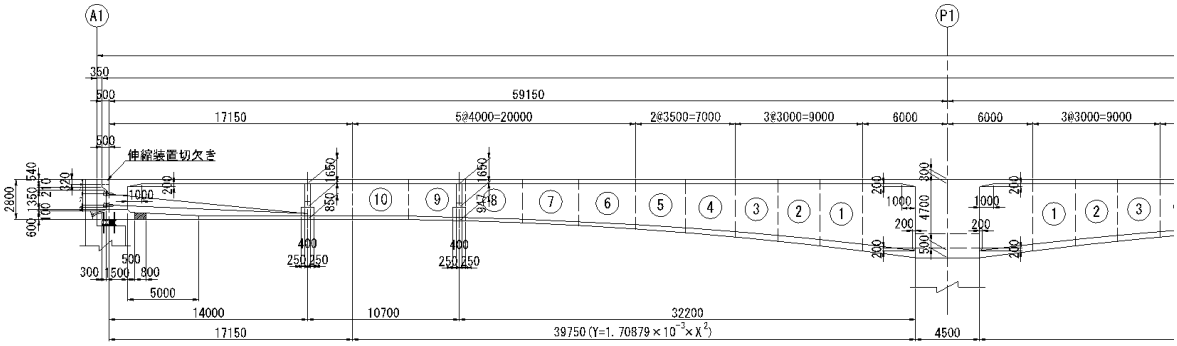


図-5.3.2　施工ブロック割り

表-5.3.1　Ｐ１張出しのイベント日付

	移動作業車 前進	生コン 打設	ＰＣ鋼材 緊張	備考
第１ブロック	－	－	－	
第２ブロック	H26.09/12	H26.09/22	H26.09/24	
第３ブロック	H26.09/24	H26.10/01	H26.10/03	
第４ブロック	H26.10/03	H26.10/09	H26.10/11	
第５ブロック	H26.10/11	H26.10/17	H26.10/20	
第６ブロック	H26.10/20	H26.10/24	H26.10/27	
第７ブロック	H26.10/27	H26.11/02	H26.11/05	
第８ブロック	H26.11/05	H26.11/10	H26.11/12	
第９ブロック	H26.11/12	H26.11/18	H26.11/20	
第１０ブロック	H26.11/20	H26.11/26	H26.11/28	

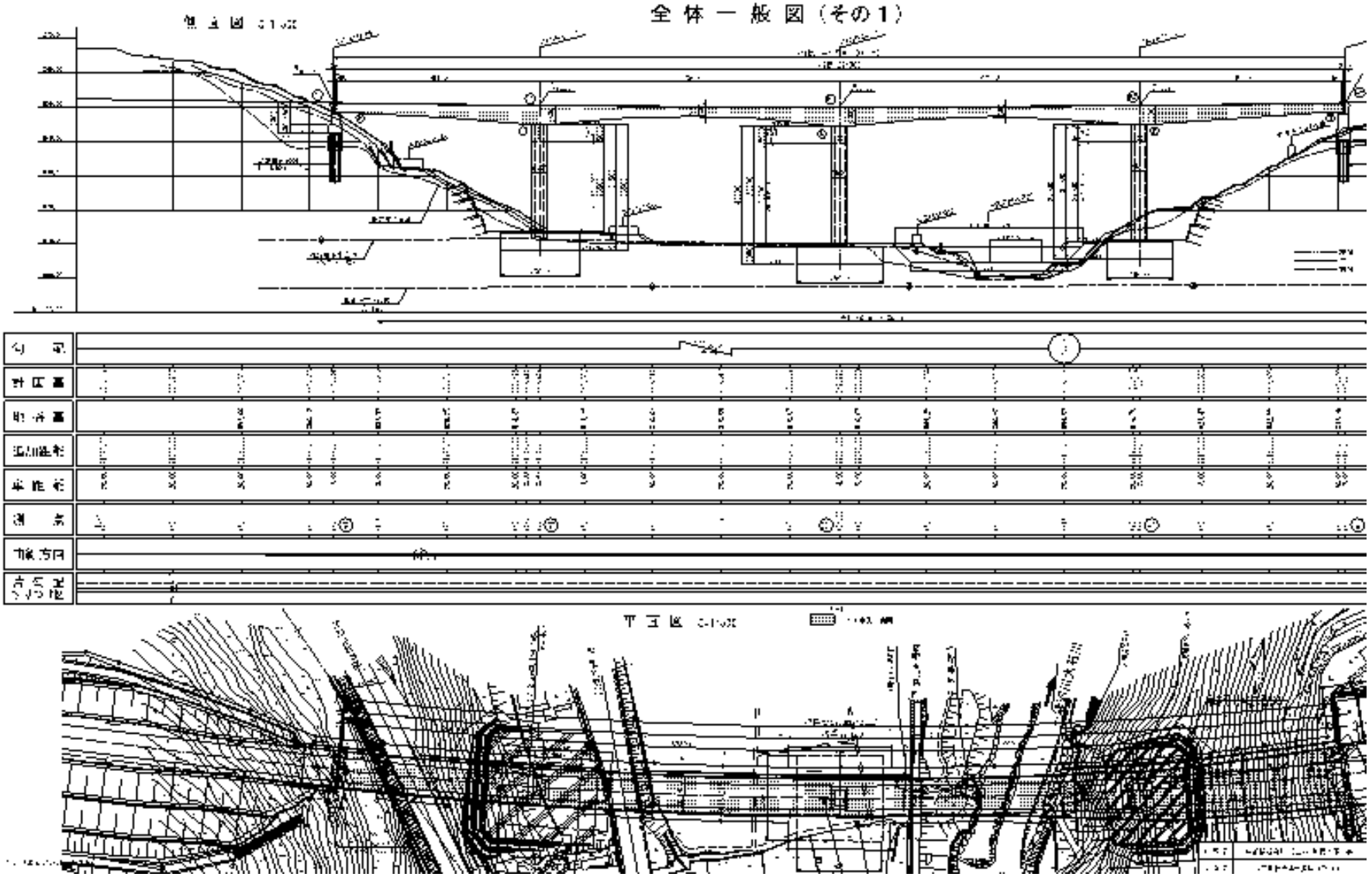


図-5.3.1　全体一般図

(2) 設計概要

本橋の設計概要は以下のとおり。

○主桁断面力：

・主桁（１～２室箱桁断面）を棒部材と仮定して、任意形平面骨組み解析により、**図-5.3.3** のようなモデルを計算

・骨組みは桁高変化による軸線の変化を無視し、径間中央での図心を通る直線

・橋脚基部は水平・鉛直・回転バネを考慮、端支点は支承水平バネを考慮

・プレ２次およびクリープ断面力は、構造系変化にともなうクリープ変形量をもとに変位法により計算

※平面曲線（Ｒ＝1400m）への対応については、各径間の交角が 5°以下なので、道示Ⅲ15.3(2)より曲線長を支間とする直線橋として算定

※多重箱桁部（２室箱桁）の対応については、幅員支間比＝17.41m／59.15m＝0.29＜0.5 なので、道示Ⅲ10.3(3)より全断面を１本梁とした梁理論により断面力を算定

○環境条件：

・相対湿度 70%、温度 20℃

○施工方法とステップ材齢：

・施工順序は**図-5.3.4** のようなステップで、設計計算ではクリープ係数算出用の工程として**表-5.3.2** のようなコンクリート材齢を想定している

表-5.3.2　Ｐ１張出しの主な経過日数

	施工内容	経過日数		備考（施工時期）
		設計	実施工	
step1	Ｐ１最大張出し	240 日	150 日	H26.04/01～11/30
step6	P1～P2 閉合	304 日	200 日	～H27.01/20
step8	A1 側径間施工	306 日	250 日	～H27.03/10
step9	P2～P3 閉合	308 日	230 日	～H27.02/20
step10	A2 側径間施工	310 日	280 日	～H27.04/10
step11	橋面施工	370 日	340 日	～H27.06/10

実施工の起算日は、Ｐ１柱頭部完成の H26.06/30

○配筋要領

・打継ぎ部の新ブロック側の直角方向鉄筋を、道示Ⅲ20.6(7)「打継目に、乾燥収縮によるひび割れが発生しないように配慮」して、5@100 の密配置

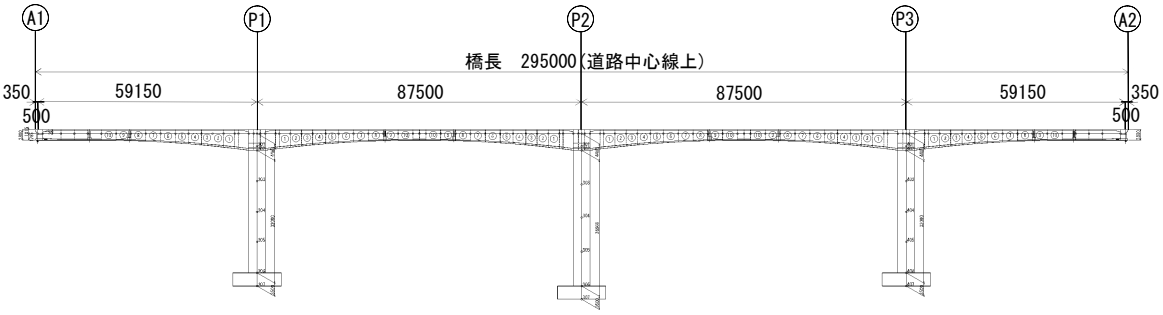


図-5.3.3　任意形平面骨組み解析用のモデル

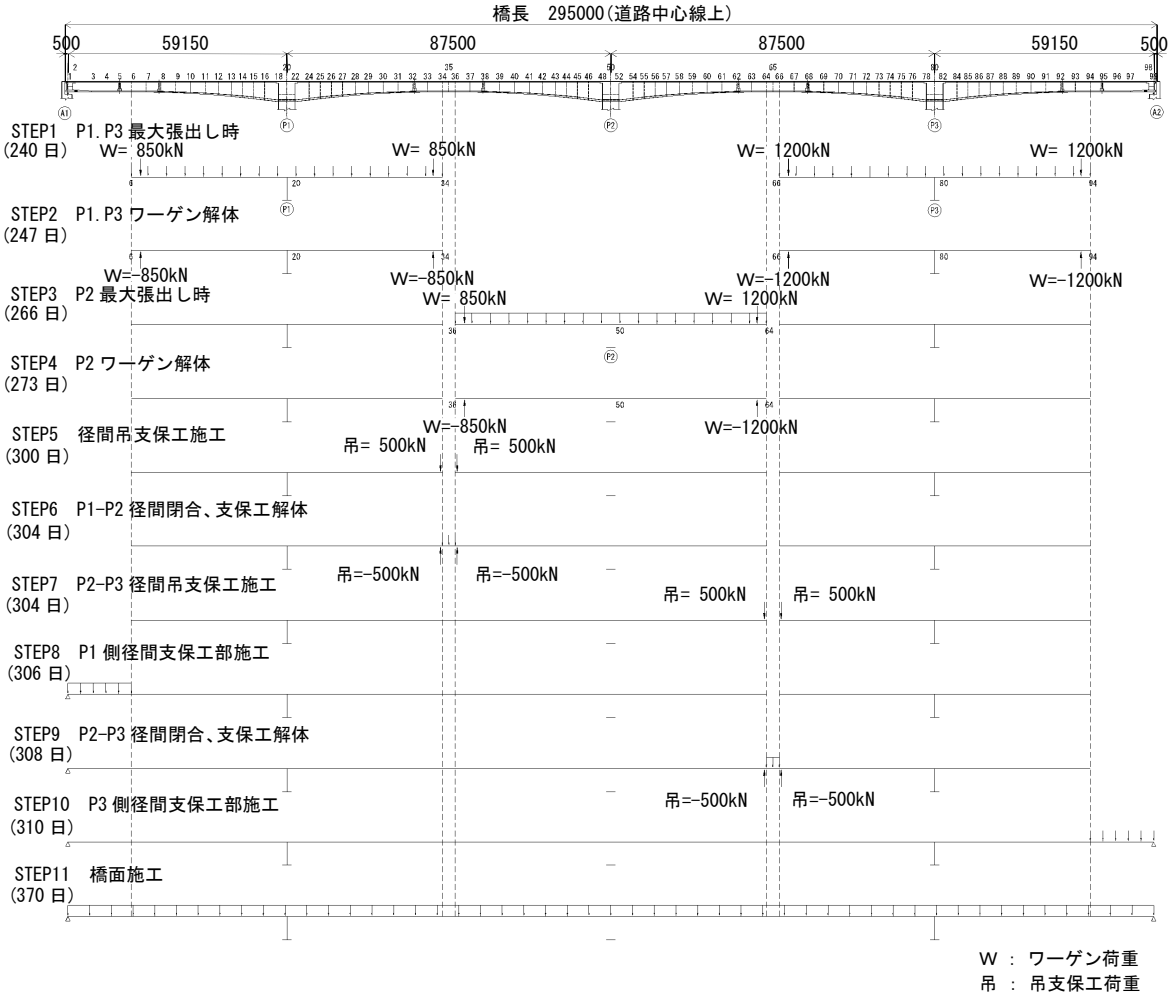


図-5.3.4　施工ステップ

5.3.2 鉄筋・コンクリートひずみとコンクリート温度

(1) 鉄筋・コンクリートひずみとコンクリート温度の計測計画

各ブロックの張出し施工の移動作業車前進時や生コン打設、ＰＣ鋼材緊張時の鉄筋ひずみ・コンクリート温度を計測し、各段階で主桁に導入される応力レベルを設計計算で正しく把握できているか、また、コンクリートの硬化熱等で蓄積される初期応力がどの程度かについて検証する。

計測箇所は、**図-5.3.5** に示すように、架設時の斜め引張応力度が大きくなる第２ブロック（せん断力は最大ではないが、桁高・ウェブ厚との兼合いがあるため）と、自重による下縁引張応力度が最大になる第１０ブロックとし、計測期間は、Ｐ１張出し施工の約３ヶ月間（平成 26 年 9 月下旬～12 月下旬）、計測インターバルは 1 時間間隔とする。

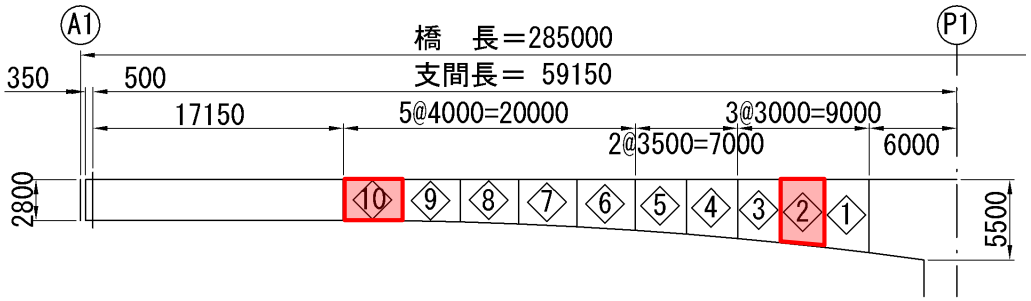


図-5.3.5　計測位置

なお、気温については、気象庁ホームページの“過去の気象データ”で公開されている近隣観測所のデータを使用する。

Ｐ１張出しの第２ブロックと第１０ブロックについて、ゲージ・熱電対・変位計の設置概要を**図-5.3.6** に示す。新ブロック側打継ぎ部については、旧ブロックに拘束される直角方向を計測し、先端寄りの橋軸方向も計測する。また、張出床版先端部の打継ぎ目地にパイ型変位計を設置し、目地開きが生じた場合の目地幅を計測する。

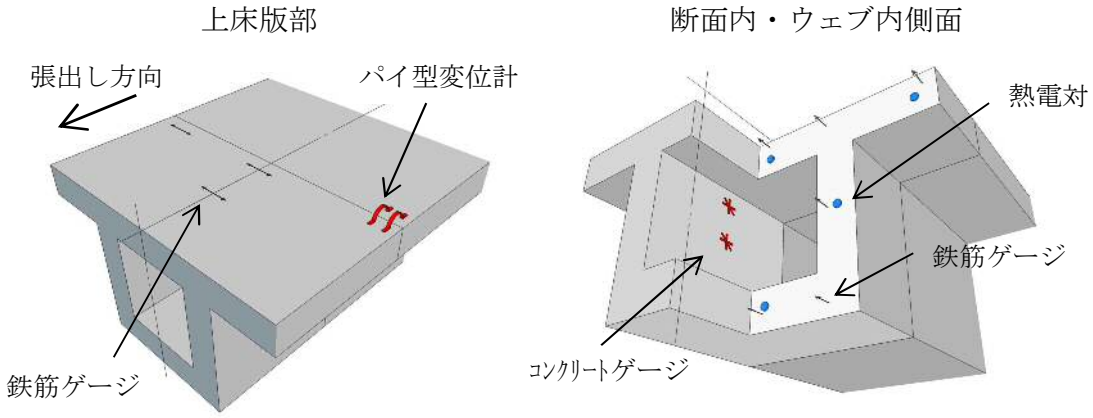


図-5.3.6　ゲージ・熱電対・変位計の設置概要

各断面の鉄筋ひずみ・コンクリート温度などの計測箇所数とチャンネル数の集計を**表-5.3.3** に示す。各断面の計測部位は、次頁以降の**図-5.3.7(1)～(3)** のとおりとする。

表-5.3.3　計測箇所数（チャンネル数）

計測項目	センサ	計測箇所数（チャンネル数）			備考
		第 10 ﾌﾞﾛｯｸ	第 2 ﾌﾞﾛｯｸ	合計	
鉄筋ひずみ	ひずみ計	8 (16)	12 (24)	20 (40)	１本の両面
ｺﾝｸﾘｰﾄひずみ	ひずみ計	2 (6)	2 (6)	4 (12)	３軸ゲージ
ｺﾝｸﾘｰﾄ温度	熱電対	4 (4)	4 (4)	8 (8)	
目地開き	パイ型変位計	2 (2)	2 (2)	4 (4)	
合計		16 (28)	20 (36)	36 (64)	

各ゲージ（各種ひずみゲージと熱電対、パイ型変位計）の設置断面・部位を**表-5.3.4** に示す。

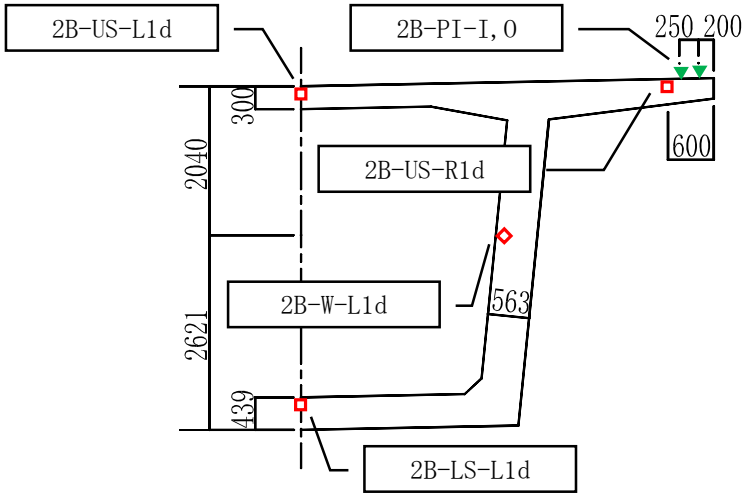


図-5.3.7(1)　第２ブロック付根の計測部位

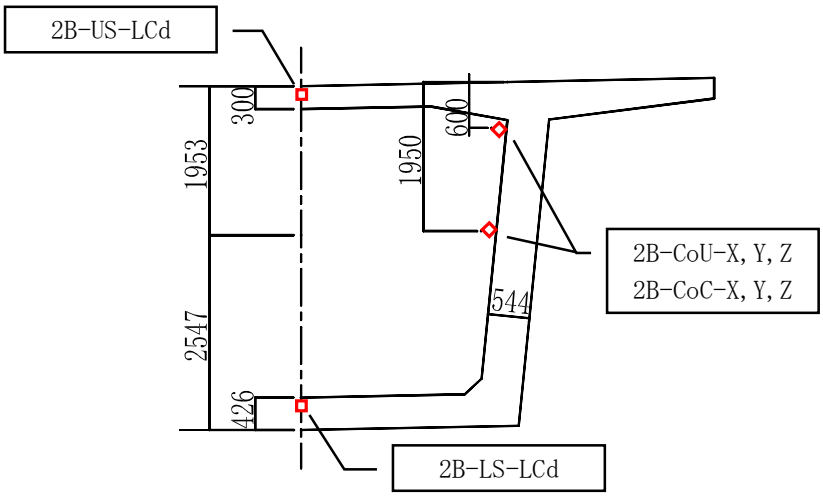


図-5.3.7(2)　第２ブロック中央の計測部位

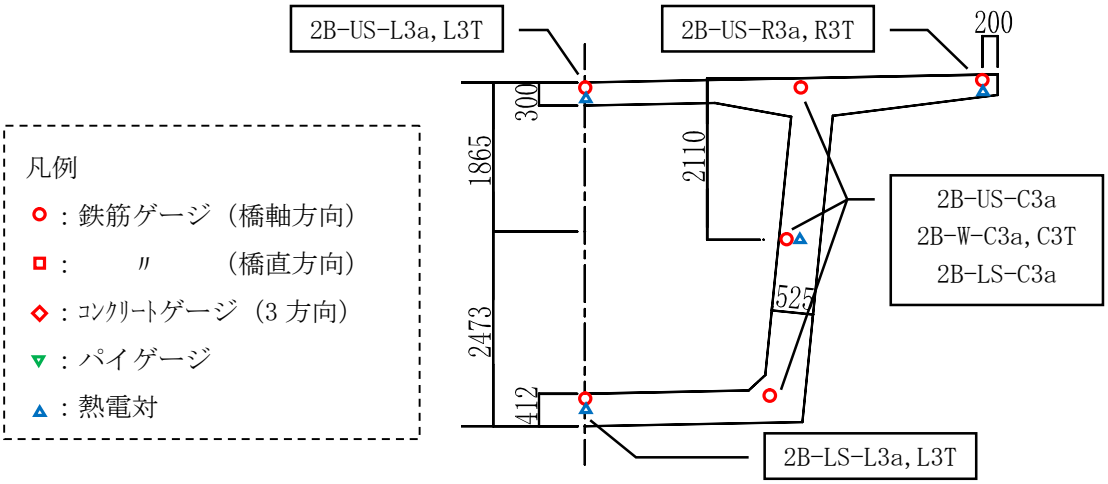


図-5.3.7(3)　第２ブロック先端の計測部位

表-5.3.4　ゲージ名称とチャンネル番号・設置断面・部位

ﾁｬﾝﾈﾙ	ゲージ名 称	種類			ﾌﾞﾛｯｸ		設置部位			方向･断面				備考
		歪	変	熱	2	10	上	中	下	軸	直	鉛	45	
0	2B-PI-O				○		△							先端から 0.20m
1	2B-PI-I				○		△							先端から 0.45m
2, 3	2B-US-L1d-U,L	○			○									
4, 5	2B-US-LCd-U,L	○			○						○			
6, 7	2B-US-L3a-U,L	○			○					△				
8, 9	2B-US-C3a-U,L	○			○		○			△				
10,11	2B-US-R1d-U,L	○			○		△							先端から 0.60m
12,13	2B-US-R3a-U,L	○			○		△			△				先端から 0.20m
14,15	2B-W-C1d-U,L	○			○			○						内側筋
16,17	2B-W-C3a-U,L	○			○			○		△				〃
18,19	2B-LS-L1d-U,L	○			○									上側筋
20,21	2B-LS-LCd-U,L	○			○						○			〃
22,23	2B-LS-L3a-U,L	○			○					△				〃
24,25	2B-LS-C3a-U,L	○			○				○	△				〃
26	2B-US-L3T			○	○					小口から 0.05m				
27	2B-US-R3T			○	○		△			小口から 0.05m				先端から 0.20m
28	2B-W-C3T			○	○			○		小口から 0.20m				
29	2B-LS-L3T			○	○					小口から 0.20m				
30-32	2B-CoU-X,Y,Z	◎			○			○		○		○	○	上縁から 0.60m
33-35	2B-CoC-X,Y,Z	◎			○			○		○		○	○	上縁から 1.95m
50	10B-PI-O					○	△							
51	10B-PI-I					○	△							
52,53	10B-US-L9d-U,L	○				○								
54,55	10B-US-L9r-U,L	●				○								
56,57	10B-US-L11a-U,L	○				○				△				
58,59	10B-US-R9d-U,L	○				○	△							
60,61	10B-US-R11a-U,L	○				○	△			△				
62,63	10B-W-C9d-U,L	○				○		○						
64,65	10B-W-C11a-U,L	○				○		○		△				
66,67	10B-LS-L9d-U,L	○				○								
68,69	10B-LS-L9r-U,L	●				○								
70,71	10B-LS-L11a-U,L	○				○				△				
72	10B-US-L11T			○		○								
73	10B-US-R11T			○		○	△							
74	10B-W-C11T			○		○		○						
75	10B-LS-L11T			○		○								
76-78	10B-CoU-X,Y,Z	◎				○		○		○		○	○	
79-81	10B-CoC-X,Y,Z	◎				○		○		○		○	○	

MEMO

ひずみｹﾞｰｼﾞ･･･　○：鉄筋用，　◎：ｺﾝｸﾘｰﾄ用，●：ﾀﾞﾐｰ鉄筋用

設置高･部位･･･　□：構造中心，○：ウェブ部，△：張出先端

方向･断面･････　△：先端側，　○：中央部，　□：付根側

(2) 鉄筋・コンクリートひずみとコンクリート温度の計測結果

鉄筋とコンクリートのひずみＳは、ひずみゲージと測定器の間のリード線を長く結線すると、リード線の線抵抗により見かけ上ゲージ率が低下するため、各ひずみゲージの計測値Ｓｏに以下の補正をおこなった値とする。各ひずみゲージの補正係数を**表-5.3.5** に示す。

Ｓ＝Ｃｏ×Ｓｏ

Ｃｏ：測定器の係数設定値

Ｓｏ：ひずみ計測値

Ｃｏ＝2.00／（Ｋ×Ａ）

Ｋ：ゲージ率（鉄筋ゲージ＝2.12，ｺﾝｸﾘｰﾄゲージ＝1.96）

Ａ：リード線の補正係数

Ａ＝Ｒ／（Ｒ＋γ・Ｌ/2）

Ｒ：ゲージ抵抗（＝120Ω）

γ：リード線 1m 当たりの往復の抵抗値（＝0.44Ω/m）

Ｌ：リード線の長さ（m）

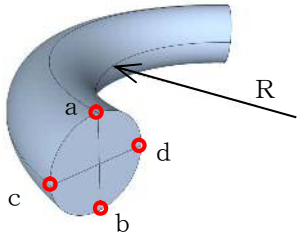
表-5.3.5　ゲージの補正係数

ﾁｬﾝﾈﾙ	ゲージ名 称	ﾘｰﾄﾞ線		ﾁｬﾝﾈﾙ	ゲージ名 称	ﾘｰﾄﾞ線	
		Ｌ(m)	Ａ			Ｌ(m)	Ａ
鉄筋ゲージ（2BL 用）				鉄筋ゲージ（10BL 用）			
2, 3	2B-US-L1d	25.5	0.9553	52,53	10B-US-L9d	20.2	0.9643
4, 5	2B-US-LCd	33.0	0.9430	54,55	10B-US-L9r	20.2	0.9643
6, 7	2B-US-L3a	44.5	0.9246	56,57	10B-US-L11a	32.4	0.9439
8, 9	2B-US-C3a	37.0	0.9365	58,59	10B-US-R9d	23.0	0.9595
10,11	2B-US-R1d	25.5	0.9553	60,61	10B-US-R11a	27.5	0.9520
12,13	2B-US-R3a	34.5	0.9405	62,63	10B-W-C9d	17.5	0.9689
14,15	2B-W-C1d	18.0	0.9681	64,65	10B-W-C11a	22.5	0.9604
16,17	2B-W-C3a	23.0	0.9595	66,67	10B-LS-L9d	17.5	0.9689
18,19	2B-LS-L1d	18.0	0.9681	68,69	10B-LS-L9r	17.5	0.9689
20,21	2B-LS-LCd	18.0	0.9681	70,71	10B-LS-L11a	22.5	0.9604
22,23	2B-LS-L3a	23.0	0.9595				
24,25	2B-LS-C3a	23.0	0.9595				
ｺﾝｸﾘｰﾄゲージ（2BL 用）				ｺﾝｸﾘｰﾄゲージ（10BL 用）			
30-32	2B-Co-U	15.0	0.9732	76-78	10B-Co-U	13.0	0.9767
33-35	2B-Co-C	15.0	0.9732	79-81	10B-Co-C	13.0	0.9767

第２ブロックと第１０ブロックの鉄筋ひずみ・コンクリートひずみ・コンクリート温度・目地開きの計測結果は、参考資料２のとおり。

鉄筋ゲージは、**図-5.3.8** のように、貼付け位置によっては鉄筋の曲がりの影響を受けるので、鉄筋の両側に貼った２点の測定値を平均することで曲げひずみ成分を排除し、鉄筋の軸ひずみ成分を算出する。ただし、**表-5.3.6** に示すように、一部のゲージのデータは有効ではないと考えられるため、その場合は片側の測定値のみを用い、平均値の場合は名称末尾を(a)、片方の場合は(U)または(L)とすることとした。

鉄筋軸ひずみの算定結果は、第２ブロックが参考資料 2.1(6)、第１０ブロックが参考資料 2.2(6)のとおり。また、その代表例として、第２ブロック上床版の鉄筋ひずみ（計測値）を**図-5.3.9** に、鉄筋軸ひずみ（算定値）を**図-5.3.10** に示す。



a，b：曲げひずみ＝０
c　　：曲げ引張（＜０）
d　　：曲げ圧縮（＞０）
（ｃ＋ｄ）／２＝０

図-5.3.8　鉄筋ゲージ位置

表-5.3.6　ゲージの有効データ

ﾁｬﾝﾈﾙ	ゲージ名 称	採否		備考	ﾁｬﾝﾈﾙ	ゲージ名 称	採否		備考
		U	L				U	L	
2, 3	2B-US-L1d-U,L	○	○	L1d(a)	52, 53	10B-US-L9d-U,L	○	○	L9d(a)
4, 5	2B-US-LCd-U,L	×	○	LCd(L)	54, 55	10B-US-L9r-U,L	○	○	L9r(a)
6, 7	2B-US-L3a-U,L	○	○	L3a(a)	56, 57	10B-US-L11a-U,L	○	○	L11a(a)
8, 9	2B-US-C3a-U,L	○	○	C3a(a)	58, 59	10B-US-R9d-U,L	○	○	R9d(a)
10, 11	2B-US-R1d-U,L	○	○	R1d(a)	60, 61	10B-US-R11a-U,L	○	○	R11a(a)
12, 13	2B-US-R3a-U,L	○	○	R3a(a)	62, 63	10B-W-C9d-U,L	○	○	C9d(a)
14, 15	2B-W-C1d-U,L	○	○	C1d(a)	64, 65	10B-W-C11a-U,L	○	○	C11a(a)
16, 17	2B-W-C3a-U,L	○	○	C3a(a)	66, 67	10B-LS-L9d-U,L	○	○	L9d(a)
18, 19	2B-LS-L1d-U,L	×	○	L1d(L)	68, 69	10B-LS-L9r-U,L	○	○	L9r(a)
20, 21	2B-LS-LCd-U,L	○	○	LCd(a)	70, 71	10B-LS-L11a-U,L	○	○	L11a(a)
22, 23	2B-LS-L3a-U,L	○	○	L3a(a)					
24, 25	2B-LS-C3a-U,L	○	○	C3a(a)					

第２ブロック上床版の橋軸方向鉄筋（2B-US-L3a）と直角方向鉄筋（2B-US-LCd）の各ひずみゲージの計測値を**図-5.3.9** に示す。

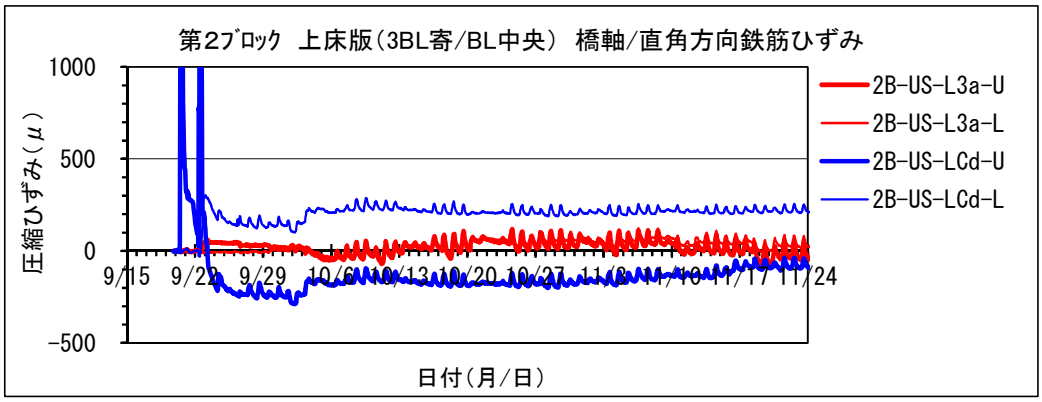


図-5.3.9　第２ブロックの鉄筋ひずみの計測値

これらの鉄筋の軸ひずみは、以下のように算出することとした。その結果を**図-5.3.10** に示す。

- 橋軸方向鉄筋（2B-US-L3a）･･･L3a-U と L3a-L の計測値がほぼ同じ値で、その２値を平均して軸ひずみを算定（→2B-US-L3a(a)）
- 直角方向鉄筋（2B-US-LCd）･･･LCd-U の計測値は、９月 20 日と９月 22 日に一時的に 1,000μ以上の値となっているので、LCd-L のみを使用（→2B-US-LCd(L)）

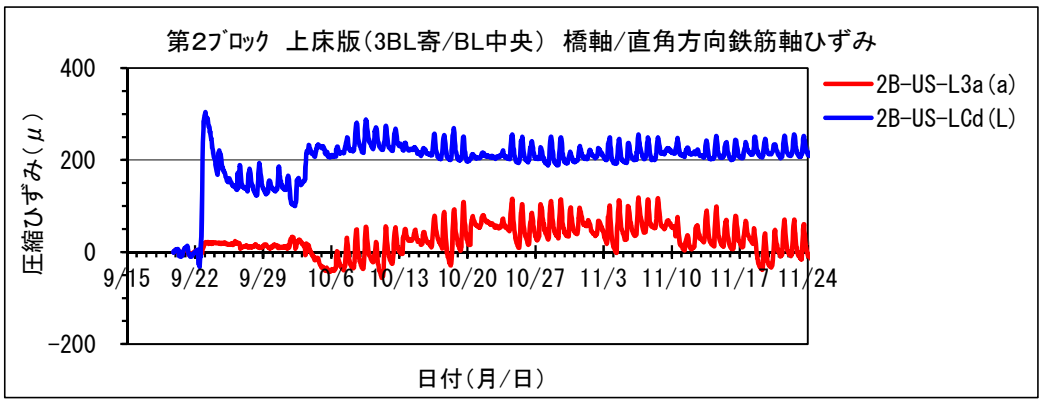


図-5.3.10　第２ブロックの鉄筋軸ひずみの算定値

(3) 鉄筋・コンクリート応力度の算定

1) 鉄筋応力度の算定

第２ブロックの３ブロック寄りに配置した橋軸方向鉄筋（2B-US-L3a）の軸ひずみは、**図-5.3.11** のように、第３ブロックを打設する 10 月 1 日までは定着長が短いために第２ブロック施工時の「コンクリート温度の日変化（15～20℃）に対してひずみは変動せず」で、第３ブロック打設後から「コンクリート温度の日変化（15～20℃）とともにひずみが変動（-50～50μ）」しているが、直角方向鉄筋（2B-US-LCd）の軸ひずみは、第２ブロック施工時から「コンクリート温度の日変化（15～20℃）とともにひずみが変動（150～200μ）」している。また、コンクリート温度（2B-US-L3T）については、気温（佐久）の日変化（10～25℃）の半分程度の変動で、線膨張係数を推定すると 10×10-6μ/℃である。

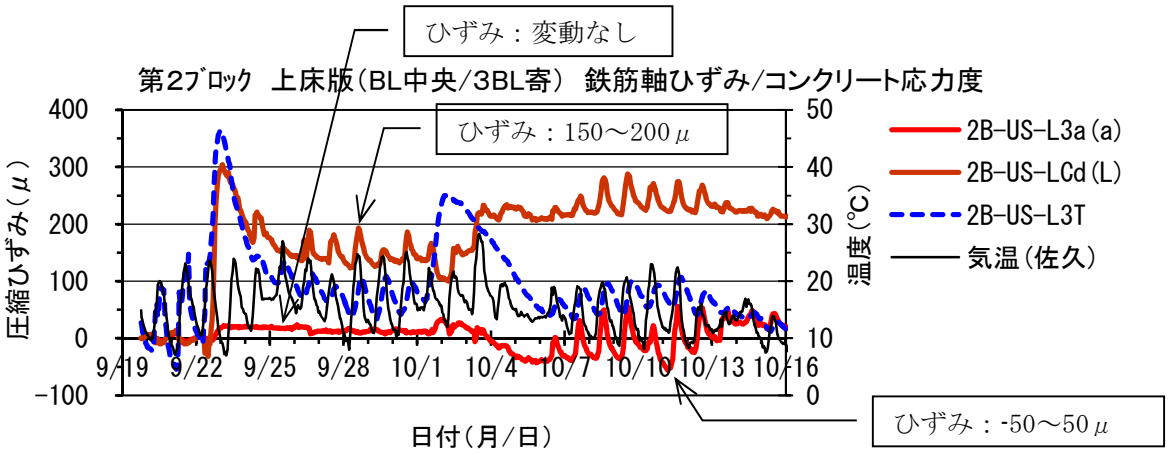


図-5.3.11　第２ブロックの鉄筋ひずみと温度変化

ひずみには、**図-5.3.12** に示すように、全ひずみ・温度ひずみ・弾性ひずみの 3 種類があるが、ゲージの線膨張係数（11μ/℃）が鉄筋と同程度であるため、温度変化による自由膨張ひずみ（εt）は検出されず、弾性ひずみ（εe）が計測される。

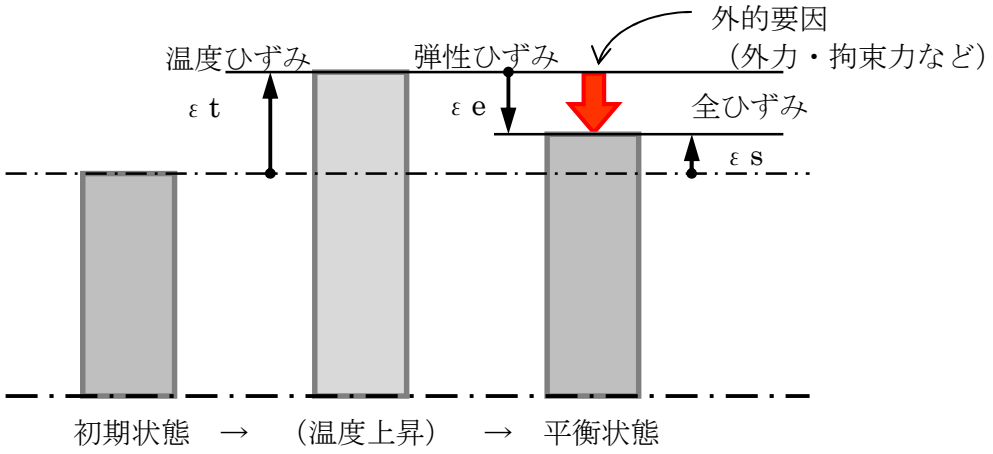


図-5.3.12　ひずみの概念

よって、鉄筋応力度（σs）は、次式のように、鉄筋の軸ひずみ（εe）にヤング係数（Es）を乗じて算定する。鉄筋応力度の算定結果は、参考資料１と参考資料２の(7)のとおり。

$$\sigma s = Es \times \varepsilon e$$

Es：鉄筋のヤング係数＝2.0×10^{5} N/mm^{2}

2) コンクリート斜め引張応力度の算定

コンクリートゲージを、コンクリートウェブ内側側面に**図-5.3.13** に示すような３方向に貼り付け、ロゼット解析の計算法から主ひずみや主応力を算定する。

コンクリート主ひずみ・主ひずみ方向と主応力の算定結果は、5.5.2 節と 5.5.3 節の(7)と(8)のとおり。

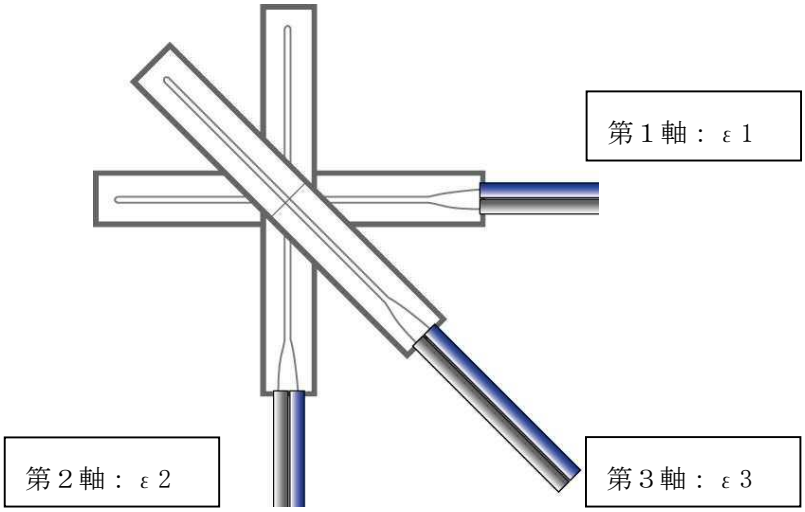


図-5.3.13　ロゼットゲージ図

最大主ひずみ

$$\varepsilon_{max}=1/2\times\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2+\sqrt{[2\times\{(\varepsilon_1-\varepsilon_3)^2+(\varepsilon_2-\varepsilon_3)^2\}]}\right)$$

最小主ひずみ

$$\varepsilon_{min}=1/2\times\left(\varepsilon_1+\varepsilon_2-\sqrt{[2\times\{(\varepsilon_1-\varepsilon_3)^2+(\varepsilon_2-\varepsilon_3)^2\}]}\right)$$

最大せん断ひずみ

$$\gamma_{max}=\sqrt{[2\times\{(\varepsilon_1-\varepsilon_3)^2+(\varepsilon_2-\varepsilon_3)^2\}]}$$

最大主ひずみ方向までの角度（第１軸から時計回り方向）

$\varepsilon_1>\varepsilon_2$ ： $\phi_P=1/2\times\tan^{-1}[\{2\times\varepsilon_3-(\varepsilon_1+\varepsilon_2)\}/\{\varepsilon_1-\varepsilon_2\}]$

$\varepsilon_1<\varepsilon_2$ ： $\phi_P=1/2\times\tan^{-1}[\{2\times\varepsilon_3-(\varepsilon_1+\varepsilon_2)\}/\{\varepsilon_1-\varepsilon_2\}]+90^\circ$

最大主応力

$$\sigma_{max}=E/(1-\gamma^2)\times(\varepsilon_{max}+\gamma\times\varepsilon_{min})$$

最小主応力

$$\sigma_{min}=E/(1-\gamma^2)\times(\varepsilon_{min}+\gamma\times\varepsilon_{max})$$

最大せん断応力

$$\tau_{max}=E/[2\times(1+\gamma^2)]\times\gamma_{max}$$

第１軸のひずみゲージから主ひずみ方向までの角度と斜め引張応力度の計算結果を、図-5.3.14 と図-5.3.15 に示す。

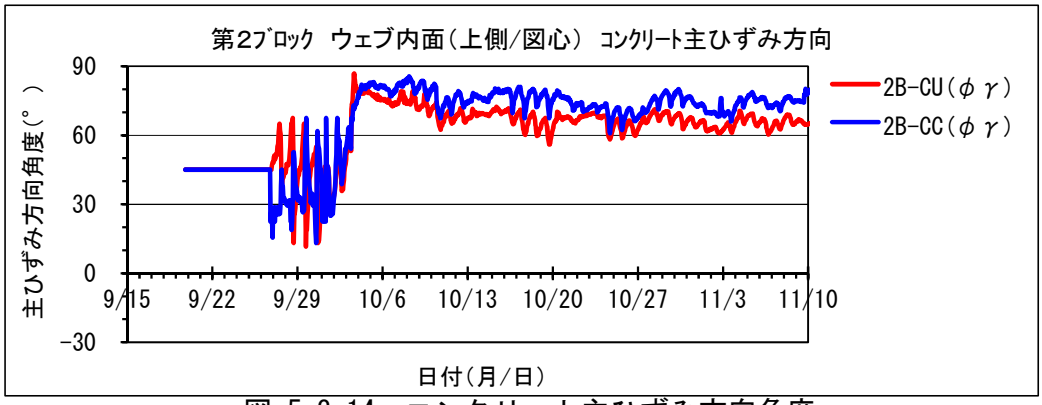


図-5.3.14　コンクリート主ひずみ方向角度

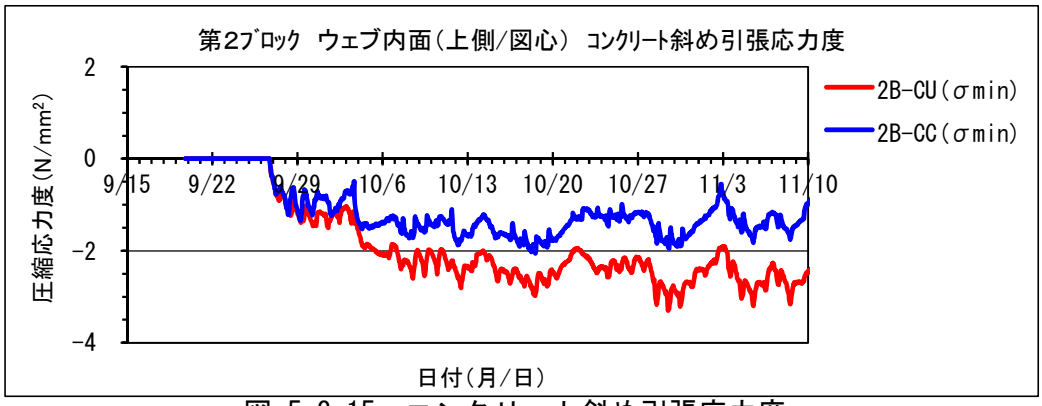


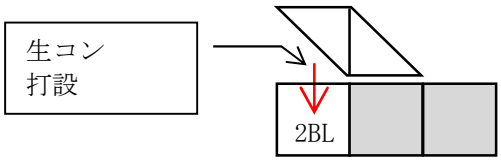
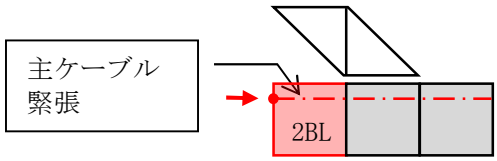
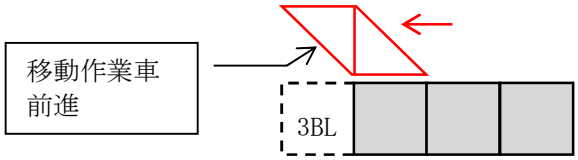
図-5.3.15　コンクリート斜め引張応力度

(4) 鉄筋・コンクリート応力度の計算値

1) 上下縁応力度と斜め引張応力度の計算値

各ステップの施工では、**表-5.3.7** に示す「移動作業車前進」・「生コン打設」・「主ケーブル緊張」の３サイクルが繰り返される。

表 5.3.7　施工サイクル

ステップ	サイクル	施工概要
第２ブロック施工	生コン打設	
	主ケーブル緊張	
第３ブロック施工	移動作業車前進	

「上げ越し計算書」では、「移動作業車前進」後と「生コン打設」後の主桁上下縁応力度（σ_U、σ_L）が計算されているので、移動作業車が前進することによる応力度変動（σtr）を次式から求め、次ステップの「移動作業車前進」後から差し引くことで、移動作業車が前進する前の「主ケーブル緊張」後の応力状態を算出する。

$$\sigma tr = P \times L / Z$$

P：移動作業車重量＝1,000kN

L：ブロック長（1～3BL：3.0m、4～5BL：3.5m、6～10BL：4.0m）

Z：断面係数（「上部工計算書」P.3-273 の換算断面より）

また、**図-5.3.16** の各位置の斜め引張応力度（σi）を、「上げ越し計算書」に記載のせん断力（S）から、次式を用いて算出する。

$$\tau = (S \cdot Q) / (B \cdot I)$$

$$\sigma i = 1/2 \times \{\sigma x - \sqrt{(\sigma^2 + 4\tau^2)}\}$$

σx：着目位置の橋軸方向応力度

（σ_U、σ_Lから算出）

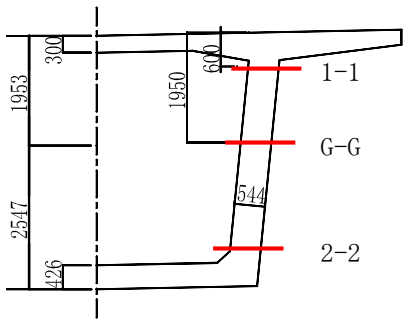


図-5.3.16　斜め引張応力度の着目位置

図-5.3.17 に示す第２ブロック先端（sec-14）の橋軸方向応力度の計算値は、**表-5.3.8** のとおりで、サイクル工程を８日間とした場合のグラフを**図-5.3.18** に示す。

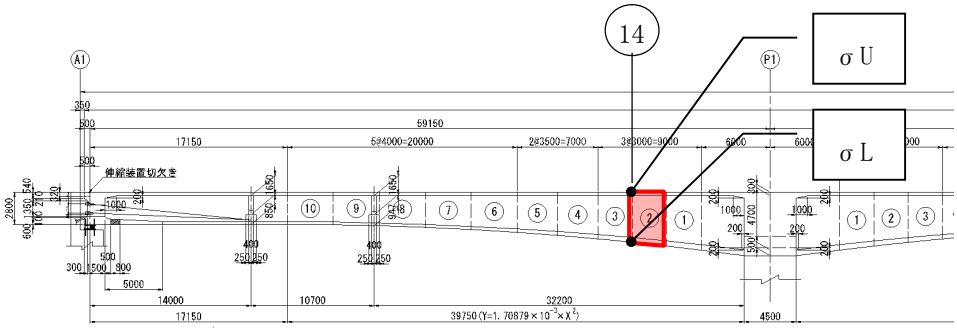


図-5.3.17　第２ブロック橋軸方向応力度の設計断面

表-5.3.8　張出し架設時の計算応力度（橋軸方向応力度）　（単位：N/mm²）

Sec-14		第 3BL 施工			第 4BL 施工			第 5BL 施工		
サイクル		移動	打設	緊張	移動	打設	緊張	移動	打設	緊張
第 3～5BL 施工	σU	—	—	0.33	0.13	-0.12	0.64	0.44	0.02	0.83
	σL	—	—	0.07	0.34	0.67	0.53	0.80	1.33	1.15
		第 6BL 施工			第 7BL 施工			第 8BL 施工		
		移動	打設	緊張	移動	打設	緊張	移動	打設	緊張
第 6～8BL 施工	σU	0.60	-0.03	0.75	0.52	-0.25	0.58	0.31	-0.60	0.23
	σL	1.46	2.27	2.13	2.44	3.44	3.25	3.61	4.81	4.61
		第 9BL 施工			第 10BL 施工					
		移動	打設	緊張	移動	打設	緊張	撤去		
第 9～10BL 施工	σU	-0.04	-1.22	-0.40	-0.67	-1.91	-1.11	0.68		
	σL	4.97	6.54	6.35	6.71	8.36	8.17	5.76		

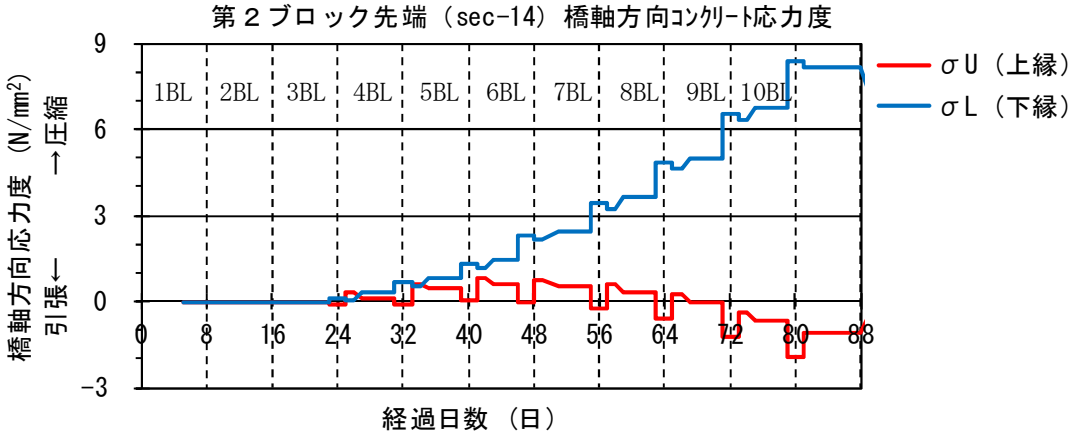


図-5.3.18　第２ブロック先端寄（sec-14）橋軸方向ｺﾝｸﾘｰﾄ応力度

図-5.3.19 に示す第２ブロック中央（sec-14 と 15 の平均）の斜め引張応力度の計算値は、表-5.3.9 のとおりで、サイクル工程を 8 日間とした場合のグラフを図-5.3.20 に示す。

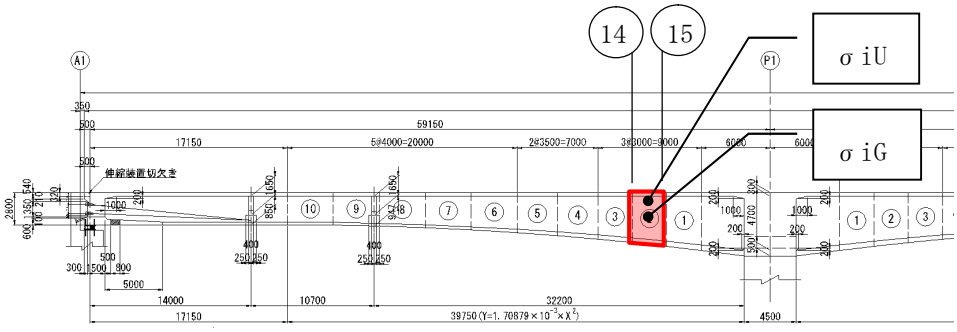


図-5.3.19　第２ブロックの設計断面

表-5.3.9　張出し架設時の計算応力度（斜め引張応力度）　（単位：N/mm²）

Sec-(14+15)/2		第 3BL 施工			第 4BL 施工			第 5BL 施工		
サイクル		移動	打設	緊張	移動	打設	緊張	移動	打設	緊張
第 3～5BL 施工	σ iU	-0.14	-0.35	-0.17	-0.32	-0.57	-0.35	-0.39	-0.65	-0.43
	σ iG	-0.16	-0.34	-0.24	-0.36	-0.55	-0.43	-0.43	-0.59	-0.49
		第 6BL 施工			第 7BL 施工			第 8BL 施工		
		移動	打設	緊張	移動	打設	緊張	移動	打設	緊張
第 6～8BL 施工	σ U	-0.47	-0.79	-0.57	-0.61	-0.96	-0.71	-0.77	-1.17	-0.89
	σ L	-0.49	-0.66	-0.57	-0.57	-0.72	-0.63	-0.63	-0.77	-0.69
		第 9BL 施工			第 10BL 施工					
		移動	打設	緊張	移動	打設	緊張	撤去		
第 9～10BL 施工	σ U	-0.96	-1.49	-1.17	-1.25	-1.83	-1.48	-0.81		
	σ L	-0.69	-0.84	-0.76	-0.76	-0.89	-0.82	-0.64		

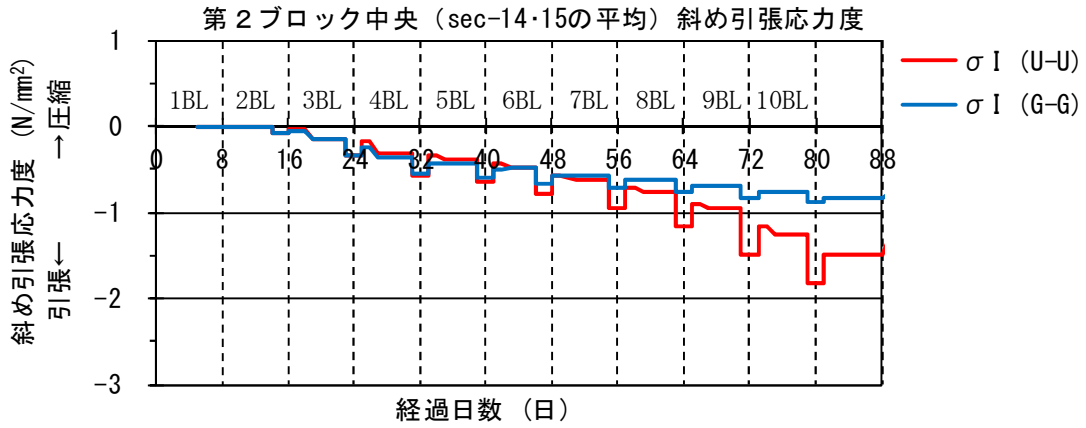


図-5.3.20　第２ブロック中央部（sec-(14+15)/2）斜め引張応力度

2) 床版応力度の計算値

横方向の設計応力度（第５ブロック先端の sec-11）は、「上部工計算書」より**表-5.3.10**のとおりである。

表-5.3.10　横方向の設計応力度（sec-11）

			張出し床版				中間床版				備考
			先端付近(27)		付根断面(2)		付根断面(4)		中央断面(6)		
			上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	上縁	下縁	
荷重別応力度	自重		-0.02	0.02	-0.48	0.48	-0.56	0.56	0.49	-0.49	
	橋面		-0.21	0.21	-0.61	0.61	-0.21	0.21	-0.10	0.10	
	ﾌﾟﾚ	直後	5.08	2.71	5.57	-0.89	5.57	-0.89	1.56	6.24	
	ｽﾄﾚｽ	有効	4.53	2.42	5.03	-0.80	5.02	-0.80	1.38	5.54	
	ﾌﾟﾚ	直後	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.10	0.10	-0.29	0.29	
	２次	有効	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.09	0.09	-0.26	0.26	
	活荷重	max	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.78	-4.78	
		min	0.00	0.00	-1.82	1.82	-2.80	2.80	0.00	0.00	
合成応力度	導入直後		5.06	2.73	5.10	-0.41	4.91	-0.23	1.77	6.03	
	死荷重時		4.30	2.65	3.94	0.29	4.16	0.06	1.52	5.40	
	設計時	max	4.30	2.65	3.94	0.29	4.16	0.06	6.31	0.61	
		min	4.30	2.65	2.12	2.11	1.36	2.86	1.52	5.40	

張出床版の先端付近と中間床版の中央断面で、導入直後の計測位置（上側鉄筋：かぶり70㎜）での応力度は、

張出床版：$\sigma = 5.06 \times 260 / 330 + 2.73 \times 70 / 330 = 4.6 \mathrm{N/mm^2}$

中間床版：$\sigma = 1.77 \times 230 / 300 + 6.03 \times 70 / 300 = 2.8 \mathrm{N/mm^2}$

(5) 温度応力解析

1) 解析条件

Ｐ１張出し施工部の３次元立体要素モデルで、**図-5.3.21** の各ブロックの生コン打設による温度応力の解析をおこなう。

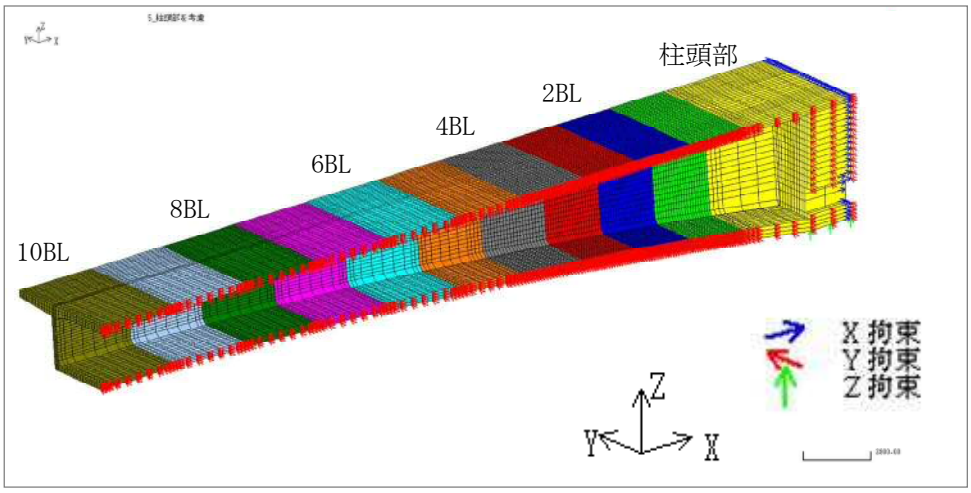


図-5.3.21　温度解析用の１０ブロック張出しモデル

温度解析の設定条件を**表-5.3.11** に、生コンの配合計画を**表-5.3.12** に示す。

表-5.3.11　温度解析の設定条件　　( )内は養生日数

				1BL	2BL/3BL/4BL/･･･	備考
打設条件	経過日数			0 日	8 日/16 日/24 日/･･･	
	配合条件			表-5.3.12	表-5.3.12	
	生コン温度			25℃	25℃	
養生条件	養生温度			20℃	20℃	熱伝達率＝13W/m^{2}K
	養生方法	外枠		鋼製(2 日)	→	熱伝達率＝14W/m^{2}K
		内枠	上床版	鋼製(2 日)	→	〃
			ウェブ	木製(2 日)	→	熱伝達率＝ 7W/m^{2}K
		妻枠		木製(2 日)	→	〃
		打設面	上床版	保温ｼｰﾄ(7 日)	→	熱伝達率＝ 2W/m^{2}K
			下床版	保温ｼｰﾄ(7 日)	→	〃

表-5.3.12　生コンの配合計画

配合の設計条件	呼び方	ｺﾝｸﾘｰﾄ種類による記号	呼び強度	スランプ	粗骨材の最大寸法	ｾﾒﾝﾄの種類による記号
	40-12-20H	普通	40	12cm	20mm	H
配合表 (kg/m^3)	セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤	水ｾﾒﾝﾄ比
	400	174	839	892	5.56	43.5%

2）最高温度と温度履歴の解析結果

第２ブロックの温度の解析結果を以降に記す。**図-5.3.22** は最高温度のコンター図で、ウェブ直上の上床版の温度が高い。**図-5.3.23** は３ブロック寄りの温度履歴で、打継ぎ目地に隣接する要素は第３ブロックの打設で温度が若干上昇する。

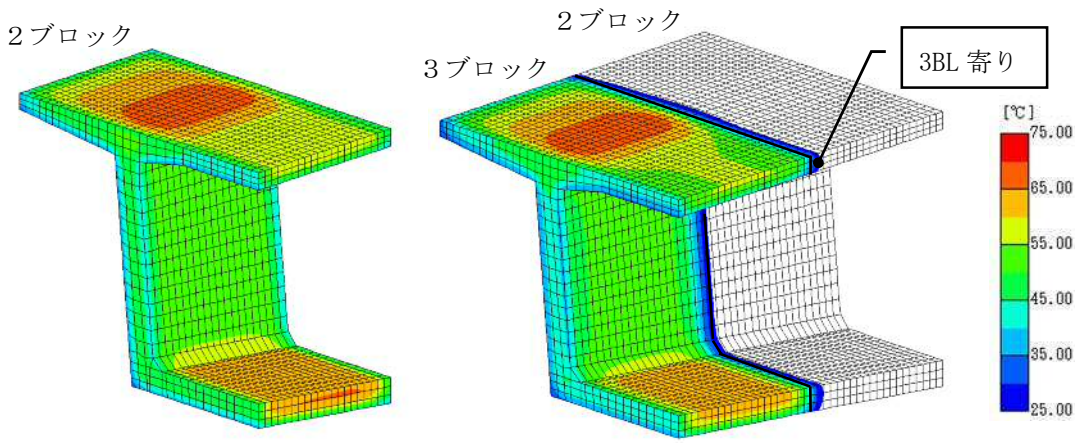


図-5.3.22　第２ブロックの温度コンター

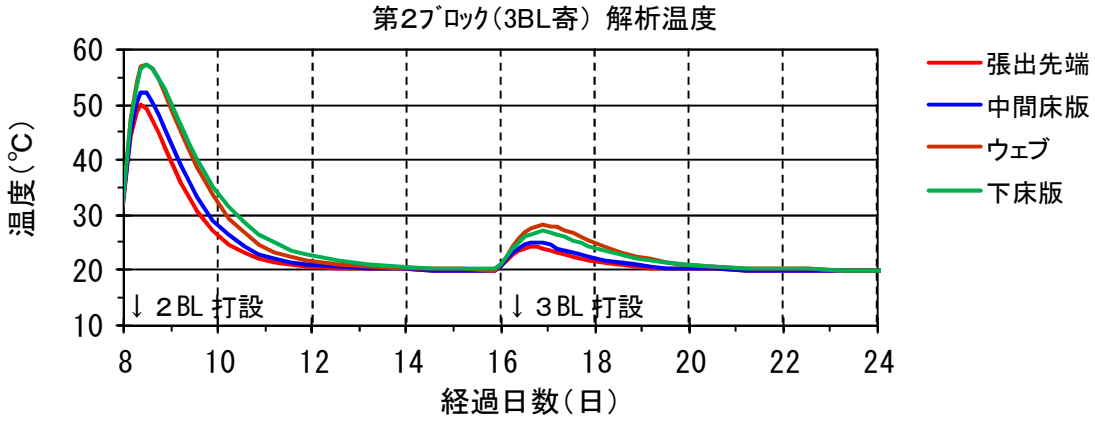


図-5.3.23　第２ブロックの温度履歴（３BL 寄り）

3）引張応力度の解析結果

第２ブロックの引張応力度の解析結果を以降に記す。**図-5.3.24** は最大引張応力度のコンター図で、中間床版と下床版の直角方向の引張応力度が大きい。**図-5.3.25** は１ブロック寄りと３ブロック寄りの打継ぎ近傍の応力度履歴で、張出し付根側は、既設ブロックの拘束を受けるため、打設直後に圧縮応力度が導入されて、その後のコンクリート温度降下とともに引張応力度が蓄積され、1N/mm^{2}程度以下の引張応力度が残留する。張出し先端側は、付根側とは反対で若干の圧縮応力状態となる。

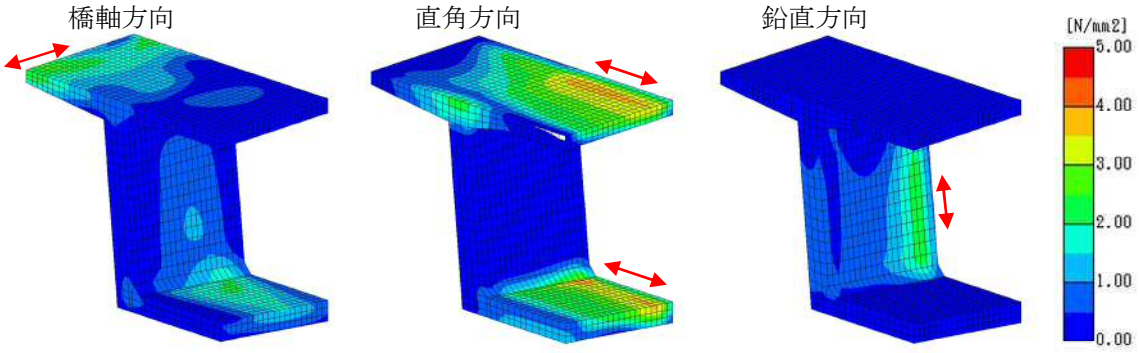


図-5.3.24　第２ブロックの最大引張応力度コンター

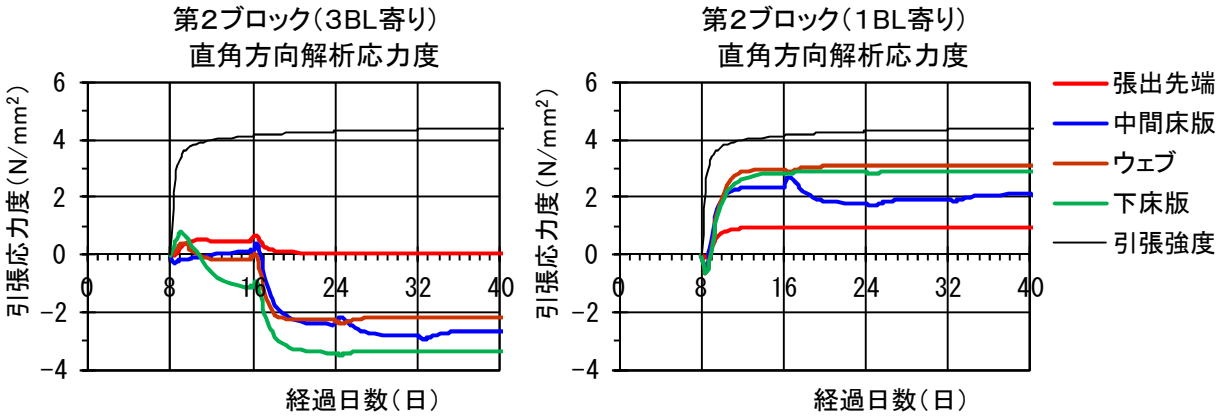


図-5.3.25　第２ブロック打継ぎ近傍の直角（鉛直）方向応力度

図-5.3.26 は橋軸方向の最小ひび割れ指数のコンター図で、柱頭部に近い張出床版先端が小さくなる傾向にある。ひび割れ指数は、図-5.3.27 に示すように残留し、第１ブロックの最小ひび割れ指数は I cr＝1.8 で、自ブロックや次のブロックの温度降下や乾燥収縮による橋軸方向の短縮が引張応力度として蓄積されて生じると考えられる。

張出床版が長い場合、張出床版先端付近ではウェブによる拘束が小さいために大きな挙動が伝搬して、引張応力度の累加によって打継ぎ目地にひび割れ（目地開き）が生じる可能性が高くなる。

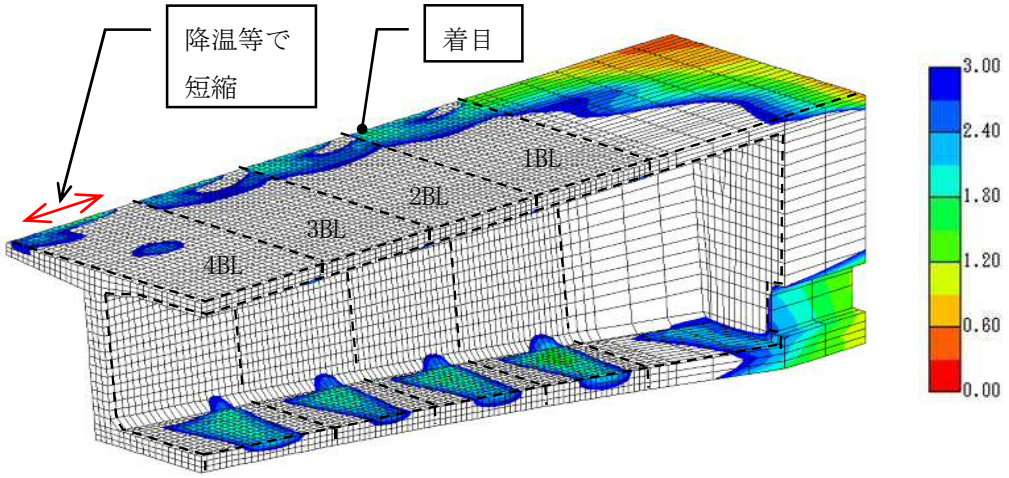


図-5.3.26　橋軸方向のひび割れ指数コンター

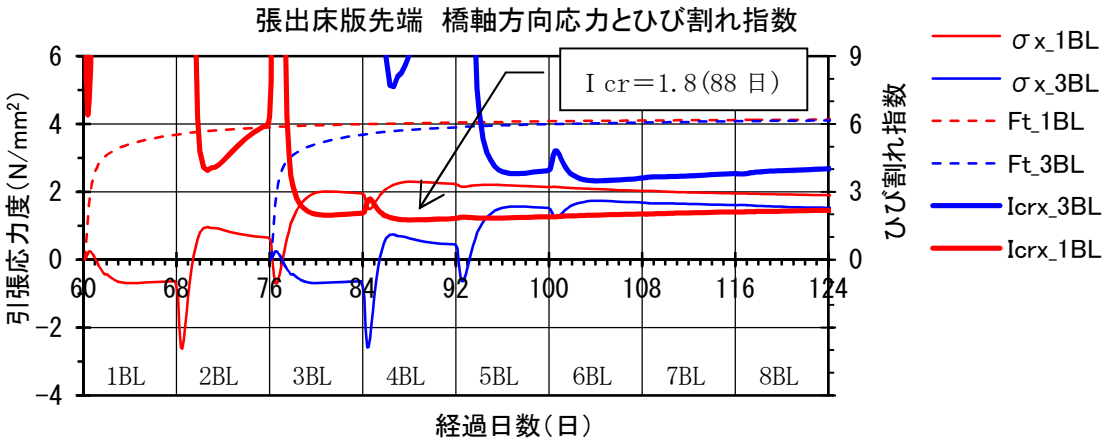


図-5.3.27　張出床版先端の橋軸方向応力とひび割れ指数

(6) 鉄筋・コンクリート応力度とコンクリート温度の考察

1) コンクリート温度

第２ブロックの３ブロック寄りに、図-5.3.28 のように熱電対を埋め込んでコンクリート温度を計測した。

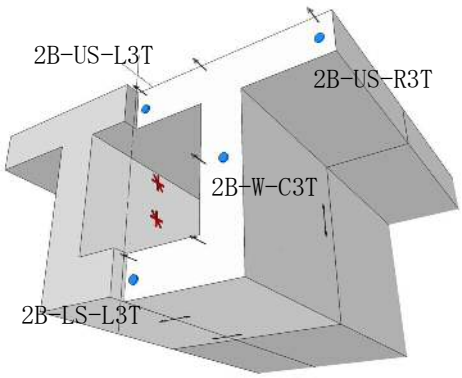


図-5.3.28　熱電対の位置

第２ブロックのコンクリート温度を図-5.3.29 に示す。温度の計測箇所が目地部に近いために型枠や打継ぎ部の境界条件の影響を大きく受け、解析上の熱伝達条件との違いで計測温度と解析値に 5～10℃の差異が生じたと考えられる。

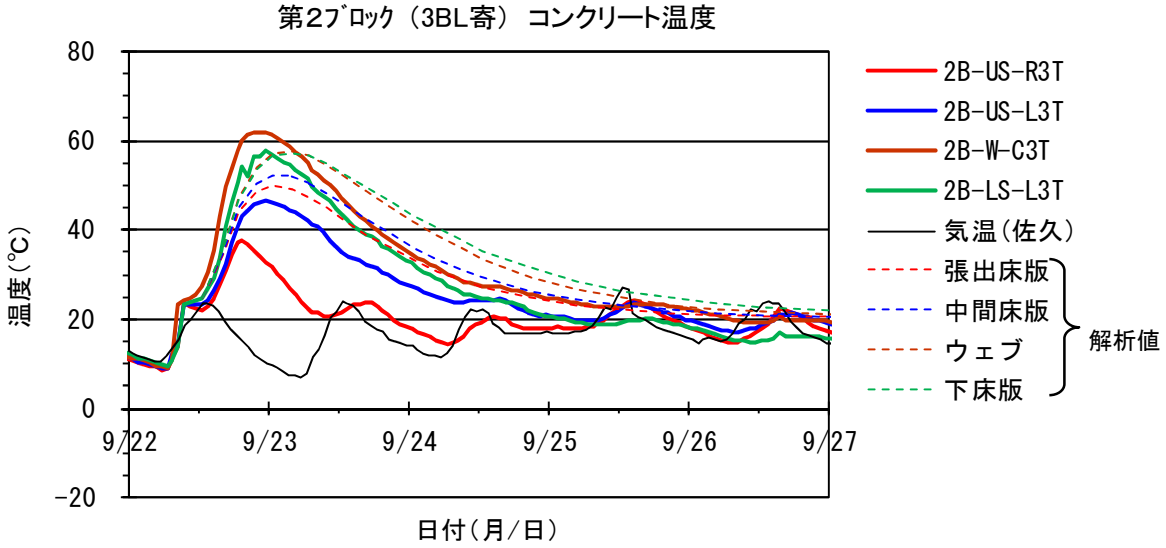


図-5.3.29　第２ブロック（３BL 寄り）のコンクリート温度

2) 目地部近傍の応力度

目地部近傍（図-5.3.30）のコンクリート応力度を図-5.3.31 に示す。実構造物のコンクリート応力は鉄筋ひずみからの推定（ヤング係数の発現を想定して試算）であるが、コンクリート温度が定常化したときに、直角方向に 1～2N/mm^2 の引張応力度が残留すると推測される。

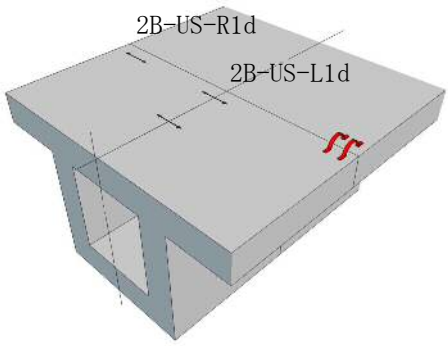


図-5.3.30　着目鉄筋

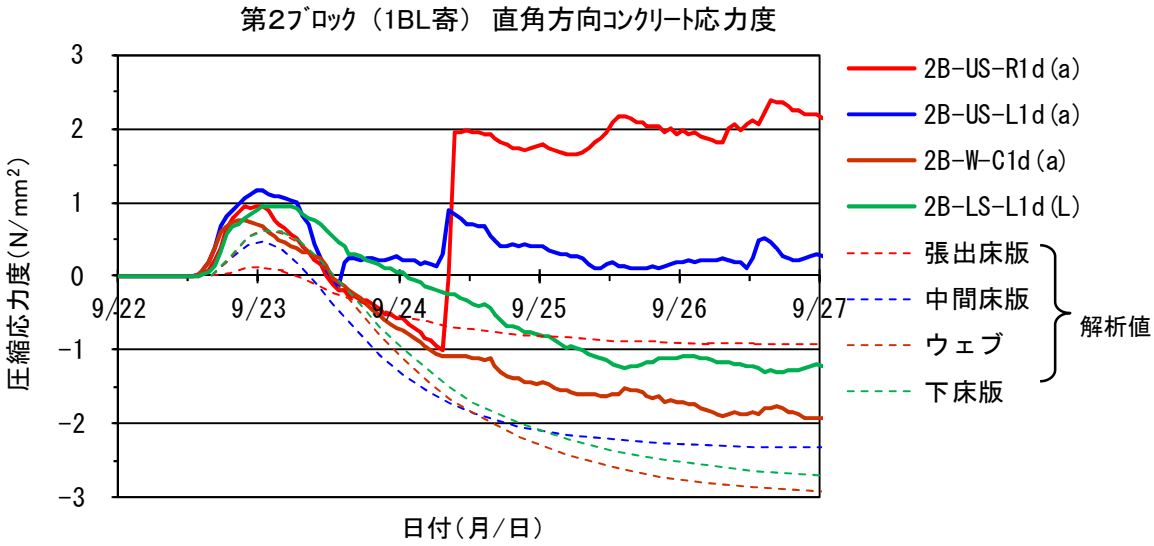


図-5.3.31　第２ブロック（１BL 寄り）の直角方向コンクリート応力度

9 月 24 日の圧縮応力導入（赤実線は中間床版、青実線は張出床版）は、床版横締め鋼材の緊張によるものである。横方向の設計応力度（第５ブロック先端の sec-11）は、「上部工計算書」より図-5.3.32 の（ ）内のとおりで、計測位置（上側鉄筋かぶり 70mm）での応力度は、計測値の方がやや小さい。

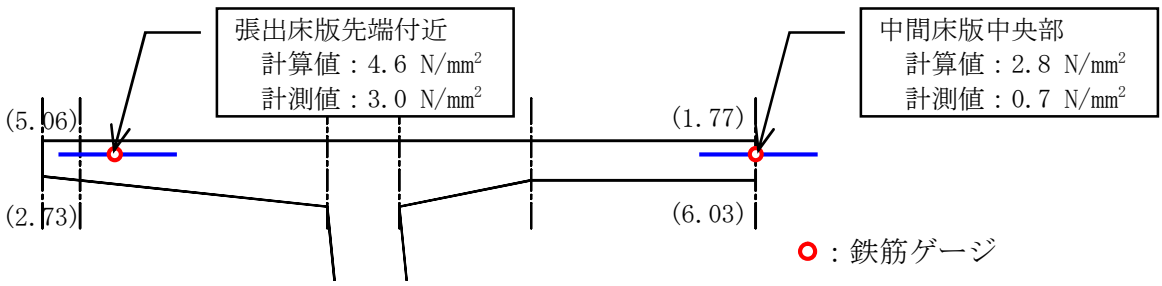


図-5.3.32　横方向の応力度（導入直後）

3）上下縁応力度

主桁上下縁の橋軸方向鉄筋ひずみを、**図-5.3.33** に示す 4 本について比較すると、**図-5.3.34** のとおりで、上縁鉄筋（US）のひずみは 2 本でほぼ同じである。下縁鉄筋（LS）のひずみは 9 月末から 10 月始めにかけて差が拡大するが、その後の圧縮ひずみの増加度は同じである。

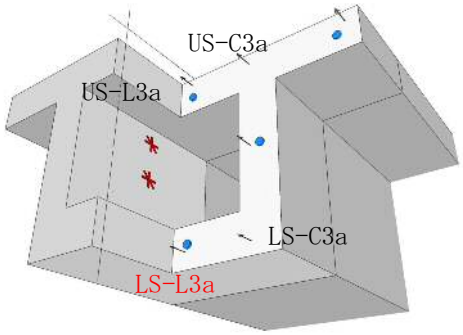


図-5.3.33　着目鉄筋

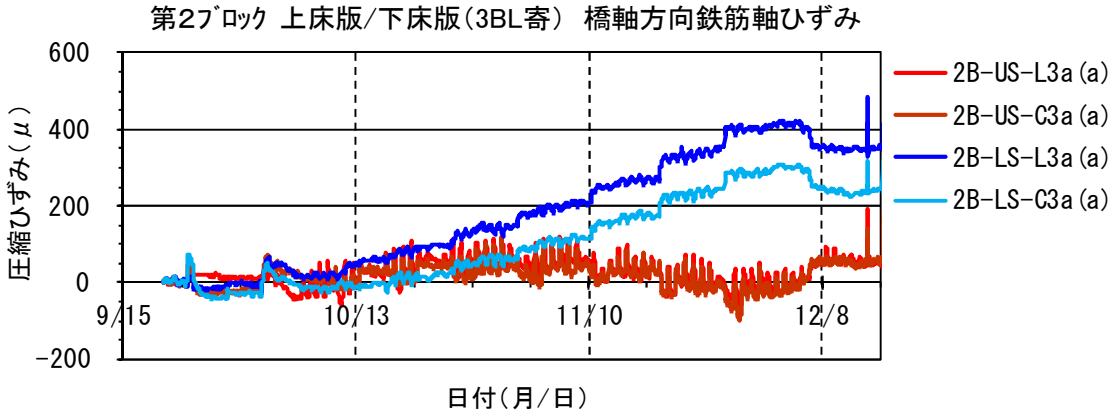


図-5.3.34　上下縁の橋軸方向鉄筋軸ひずみ

鉄筋ひずみにコンクリートのヤング係数（3.1×10^4N/mm^2）を乗じて主桁上下縁のコンクリート応力度を算出し、設計値と比較すると**図-5.3.35** のとおりで、LS-L3a を除いてほぼ合致しており、設計計算が実構造物の状態を精度よく評価できている。

下床版中心の橋軸方向鉄筋（2B-LS-L3a）のゲージごとのひずみ履歴は、巻末の参考資料の**参図 2.1.2.11** のとおりで、9 月 27 日 15 時（第 2 ブロック生コン打設(9 月 22 日)の 5 日後）に鉄筋に大きな曲げが作用しており、温度応力あるいは作業中の衝撃などで鉄筋の近傍に微細なひび割れ（や鉄筋の滑り）が発生した可能性が考えられる。

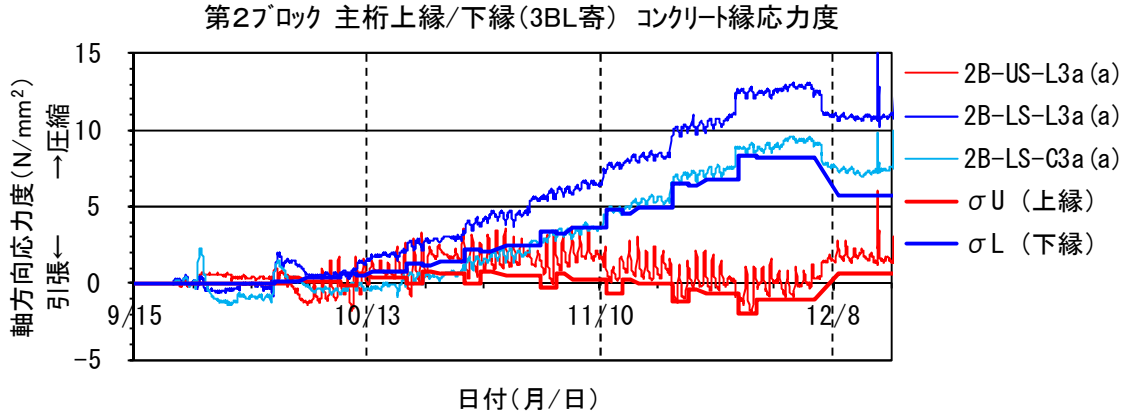


図-5.3.35　上下縁応力度の比較

4）斜め引張応力度

ウェブ側面コンクリートの３方向（水平・鉛直・45°）のひずみ（図-5.3.36）から主引張応力度を算出して、計算値と比較すると、図-5.3.37 のとおり。

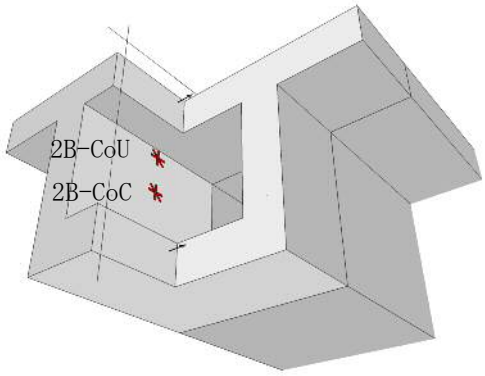


図-5.3.36　斜め引張応力度の算出位置

第 3～第 4 ブロック施工時の応力度増加の割合が設計値よりも大きいが、その後の推移は設計値と同程度に落ち着いた。測点 2B-CU で初期の応力度が大きく増加した原因としては、・箱桁横方向曲げの付加、・ハンチ隅角部近傍で応力流れの乱れ、・移動作業車反力による局部応力などが推察されるが、さらなる検証が必要である。

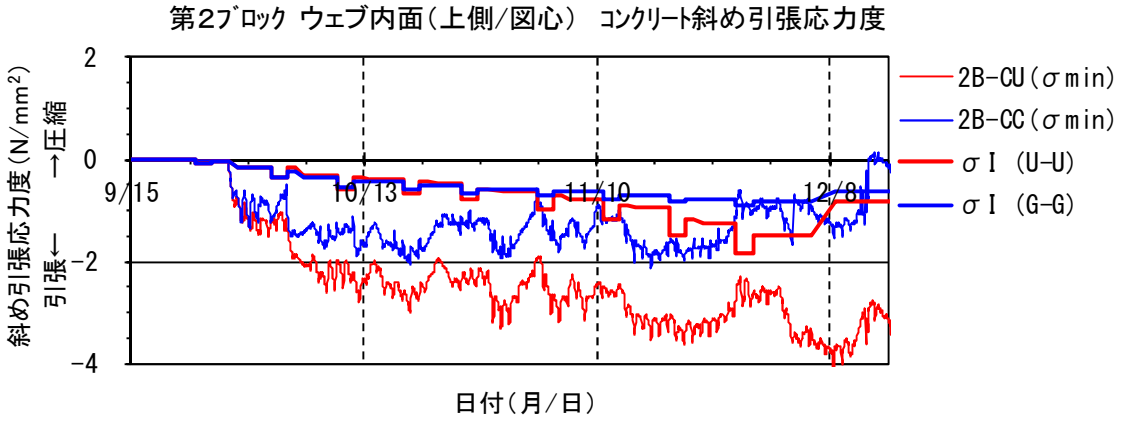


図-5.3.37　斜め引張応力度

移動作業車反力の作用位置は、第 3 ブロック施工時と第 4 ブロック施工時で、それぞれ図-5.3.38 のとおりである。

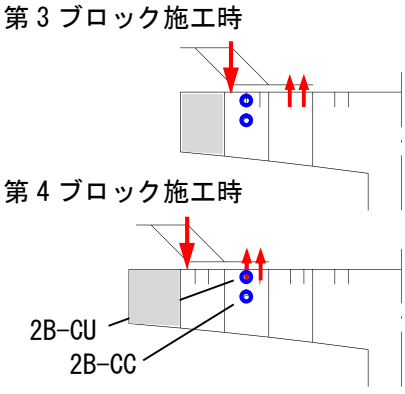


図-5.3.38　移動作業車反力の作用位置

5）目地部近傍の応力度と目地開き

第２ブロック張出床版先端の打継ぎ目地部に発生する引張応力度の履歴を**図-5.3.39** に、橋軸方向の最大引張応力度のコンターを**図-5.3.40** に示す。目地開きの計測値は**図-5.3.41** のとおりで、第６ブロックの生コンを打設した 10 月 24 日の翌日の 10 月 25 日 23 時に 0.6mm の目地開きが計測された。温度応力解析でのひび割れ指数は Ｉcr＝1.9 で目地開きが起こる確率は小さい（Ｐ＝4.4%）が、生コン荷重によって上縁に引張応力が発生し、また気温の日変化で外気温が下がったタイミングであり、いくつかの要因が複合したことで目地開きが発生したと考えられる。なお、この目地開きは張出し施工の進捗とともに閉じた。

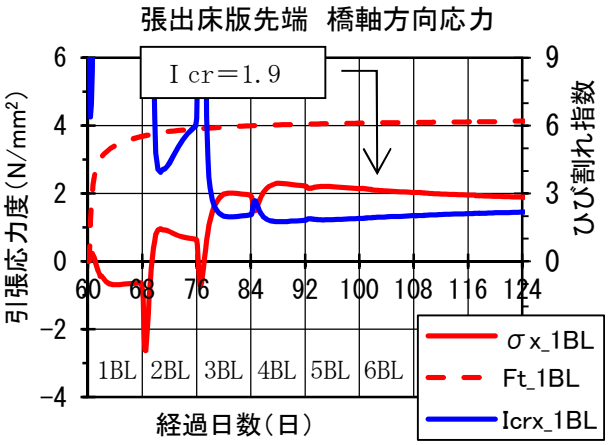


図-5.3.39　張出床版先端のひび割れ指数

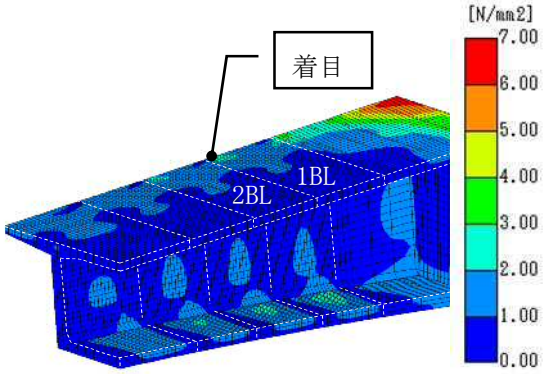


図-5.3.40　最大引張応力度コンター（橋軸方向）

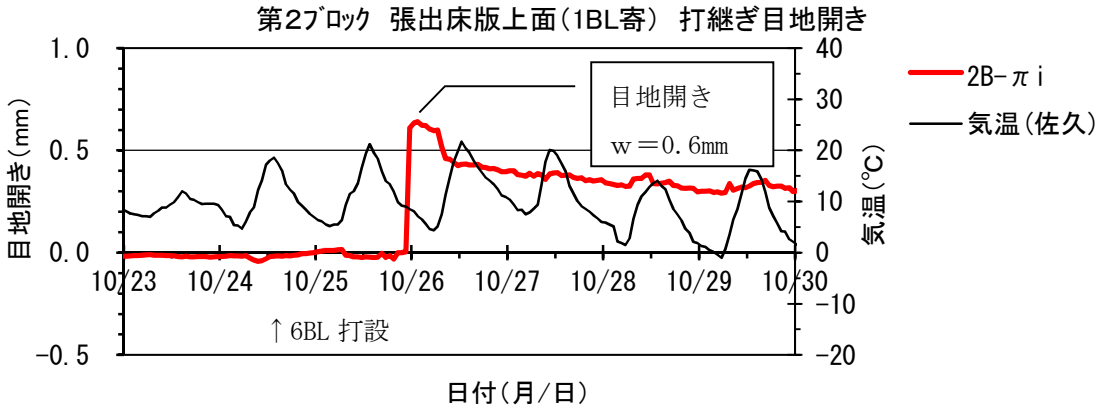


図-5.3.41　第２ブロック張出床版先端の目地開き

5.4 まとめ

本章では、固定支保工架設と張出し架設の橋梁を１橋ずつ抽出し、施工中のＰＣ橋の挙動を計測して初期状態を把握し、それが設計計算で考慮されているか、また乖離していないかを確認した。その結果の概要を**表-5.4.1** に示す。

表-5.4.1　検証結果の概要

橋梁名 (架設方法)	計測項目	検証結果	考察
A橋 (支保工架設)	支保工反力	打設時、緊張時の反力変動は計算どおり	設計計算の妥当性を確認
		養生中の反力漸増は要因未確定	更なる原因追究が必要
	コンクリート温度	打設時の温度上昇はほぼ解析どおり	温度解析の妥当性を確認
		中間支点部張出し床版に大きな引張発生	道示Ⅲ20.6(8):マスコン温度応力対策の充実
	分割目地部の 鉄筋ひずみ	上床版に直角方向ひび割れ発生	道示Ⅲ20.6(7):目地拘束対策の充実
	主桁上下縁の 鉄筋ひずみ	緊張による変化は概ね設計計算どおり 緊張後の応力漸増は要因未確定	設計計算の妥当性を確認 経時変化については更なる原因追及が必要
B橋 (張出し架設)	コンクリート温度	打設時の温度上昇はほぼ解析どおり	温度解析の妥当性を確認
	施工打継ぎ部の 鉄筋ひずみ	直角方向に若干の引張が残留	道示Ⅲ20.6(7):目地拘束対策の充実
	主桁上下縁の 鉄筋ひずみ	ほぼ設計計算どおり ただし、計測では温度応力や施工時の衝撃が要因と考えられる引張が一時的に発生している	道示Ⅲ3.2(2)：架設時許容値の再検討
		張出床版先端に橋軸方向ひずみが蓄積	
	ウェブの ｺﾝｸﾘｰﾄひずみ	移動作業車反力により局部応力が発生	道示Ⅲ3.2(3)：架設時斜引張の追加

以上のように、コンクリート温度や目地拘束の影響が大きくなる条件は、相対的に初期変状の原因になる可能性が特に大きくなることが判明した。ただし、パラメータが多く関わっているため、パラメータ（部材寸法・環境条件等）を変えた解析を行い、影響度が大きくなるパターンをシミュレーションすることにより、初期変状発生リスクを合理的に低下できる方法を考える必要があると考えられる。

６章　まとめ

H26 年度までの研究成果について、以下にまとめを記載する。

○２章では、各地方整備局において 2008 年から 2012 年度に実施された橋梁定期点検結果からひび割れパターンの分類を実施した。ひび割れパターンの「その他」に分類される数が非常に多いことから、初回点検結果に絞り、個々の点検調書を確認して再分類を実施した。その結果、以下のひび割れが多いことが判明した。

・主桁下面のシースに沿ったひび割れ（シースのかぶり不足、グラウト不良、ＰＣ鋼材の腹圧力等が考えられる）

・箱桁の１リフトと２リフトの継ぎ目、分割施工の鉛直打継ぎ目等ひび割れ（新旧打継ぎ目の外部拘束に起因するものと考えられる）

・桁端部におけるひび割れ（ＰＣ鋼材定着圧力による割裂とマスコンの水和熱による内部拘束が複合して発生するものと考えられる）

この結果より、これらのひび割れ防止の対策を検討し実施することが必要であることが判明した。

この他、プレテン桁とポステン桁に区分した損傷事例と原因分析、急曲線の平面線形を有したＰＣ橋の損傷事例と原因分析を実施した結果より、本研究で検討の対象とする設計・施工において配慮すべき事項を整理した。

○３章では、初期変状に着目した設計および施工に関する技術の変遷調査を行った。点検調書で報告があった変状事例をもとに現状の初期変状防止レベルを分析した結果、実務者への周知により対策が行えるものもあるが、個別に対応していた技術の標準化や更なる技術レベルの向上が望まれるものもあり、現状の基準への反映や内容の見直しによって、更なる初期変状防止対策に繋がる可能性を確認した。

○４章では、初期変状防止について、諸基準に示される対応策、設計や施工で工夫した事例等の文献調査を行った。発表されている文献は、主に施工者が各構造形式や施工法の特性を考慮した諸検討を行い、ひび割れの抑制を図った報告が多い。特に、マスコン部材の温度ひび割れや分割施工時の外部拘束ひび割れ、プレストレスに起因するひび割れの防止対策が多く見受けられた。これらのうち温度応力に起因する事項は、各示方書等には明確に規定がなされていないのが現状である。このため、温度応力に関する事項は、解析条件が未確定である設計段階では行われておらず、施工者が行っているのが現状であり、検討結果について技術者の力量に左右されている可能性がある。今後は、設計段階から標準的な条件を仮定して解析を行い、条件を仮定したことを発注図書に申し送り事項として記載するなどの配慮が必要である。設計段階から注意喚起を行うことで、管理者、設計者、施工者が初期変状に対する共通認識をもつことができ、防止につながるものと考える。

○５章では、固定支保工架設と張出し架設の橋梁を１橋ずつ抽出し、施工中のＰＣ橋の挙動を計測して初期状態を把握し、設計計算との整合性を確認した。この結果、コンクリート温度

や目地拘束の影響が大きくなる条件は、相対的に初期変状の原因になる可能性が特に大きくなることが判明した。ただし、部材寸法や環境条件等に影響を受けると考えられるため、これらをパラメータとした解析を行い、影響度が大きくなるパターンをシミュレーションすることにより、初期変状発生リスクを合理的に低下できる方法を考える必要があると考えられる。

報告書（その２）においては、これまでの研究成果をもとに追加検討を実施し、初期変状に対する対策を整理する予定である。

参考資料

- 資料-1　施工中の挙動計測データ（その１：支保工架設）
- 資料-2　施工中の挙動計測データ（その２：張出し架設）

資料-1　施工中の挙動計測データ（その１：支保工架設）

(1) 計測箇所

参表-1.1　ゲージ名称と設置断面・部位

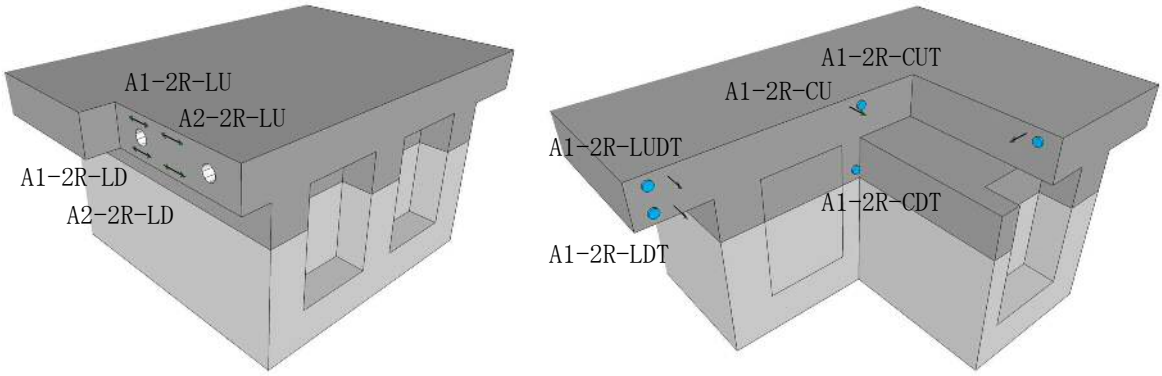
ﾁｬﾝﾈﾙ	ゲージ名 称	種類		設置断面				リフト		設置部位				備　考
		歪	熱	A	B	C	D	1L	2L	張	外	中	床	
0, 1	D -2R-CU1,2	○					○		○			△		
2, 3	D -1R-CD1,2	○					○	○				▽		
4, 5	C -2R-CU1,2	○				○			○			△		
6, 7	C -1R-LD1,2	◎				○		○					▽	
8, 9	C -1R-CD1,2	○				○		○				▽		
10,11	C -1R-RD1,2	◎				○		○					▽	
30,31	A1-2R-LU1,2	○		①					○	△				
32	A1-2R-LUT		○	①					○	△				
33,34	A1-2R-LU1D,2D	●		①					○	△				
35,36	A1-2R-LD1,2	○		①					○	▽				
37	A1-2R-LDT		○	①					○	▽				
38,39	A1-2R-CU1,2	○		①					○			△		
40	A1-2R-CUT		○	①					○			△		
41,42	A1-2R-CU1D,2D	●		①					○			△		
43	A1-2R-CDT		○	①					○			◇		
44,45	A2-2R-LU1,2	○		②					○	△				
46,47	A2-2R-LD1,2	○		②					○	▽				
48,49	B -2R-LU1,2	○			○				○		△			
50,51	B -2R-LCU1,2	□			○				○				△	
52	B -2R-LCUT		○		○				○				△	
53,54	B -2R-LCU1D,2D	■			○				○				△	
55,56	B -2R-CU1,2	○			○				○			△		
57	B -2R-CUT		○		○				○			△		
58,59	B -2R-CU1D,2D	●			○				○			△		
60,71	B -2R-CD1,2	○			○				○			◇		
62	B -2R-CDT		○		○				○			◇		
63,64	B -2R-CD1D,2D	●			○				○			◇		
65,66	B -2R-LD1,2	○			○				○		◇			
67	B -2R-LDT		○		○				○		◇			
68,69	B -1R-LU1,2	○			○			○			◇			
70,72	B -1R-CU1,2	○			○			○				◇		
73	B -1R-CUT		○		○			○				◇		
74,75	B -1R-CU1D,2D	●			○			○				◇		
76,77	B -1R-CD1,2	○			○			○				▽		
78	B -1R-CDT		○		○			○				▽		

MEMO

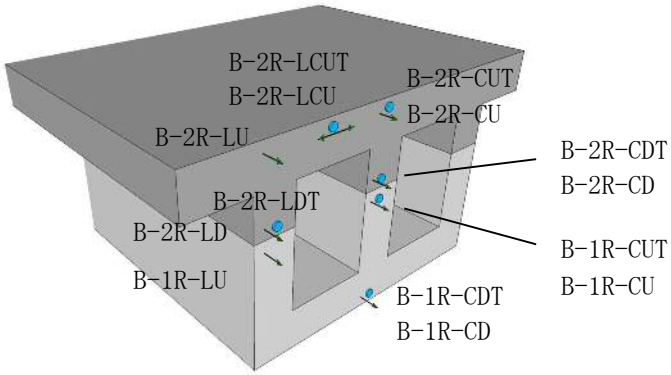
ゲージ方向
○：橋軸方向
□：橋直方向
◎：斜め方向
●：橋軸ﾀﾞﾐｰ
■：橋直ﾀﾞﾐｰ

断面
①：A_1断面
②：A_2断面

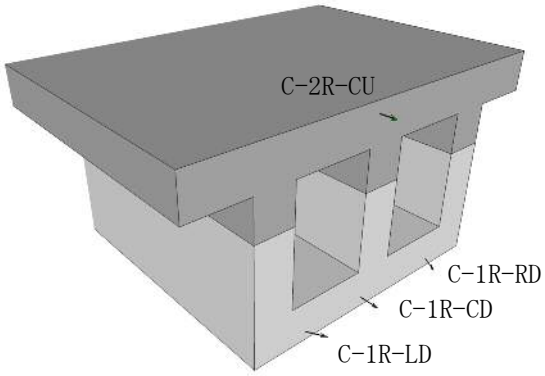
位置
△：上側
◇：中段
▽：下側



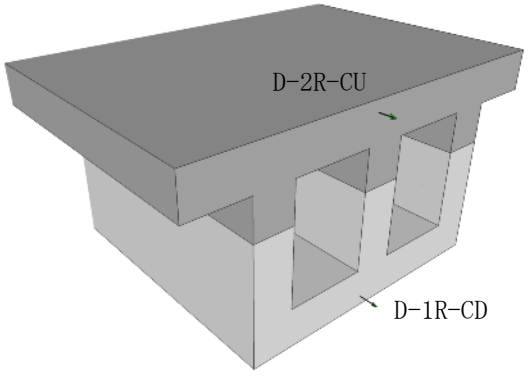
参図-1.1.1　A断面の計測部位



参図-1.1.2　B断面の計測部位

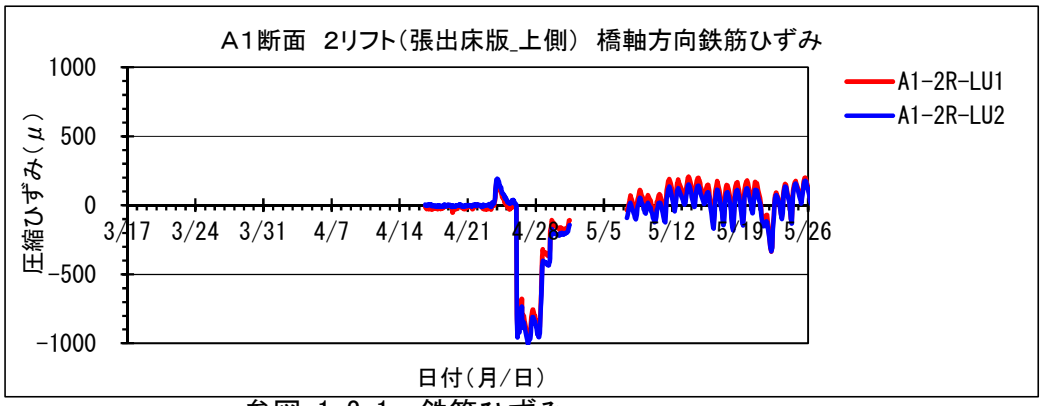


参図-1.1.3　C断面の計測部位

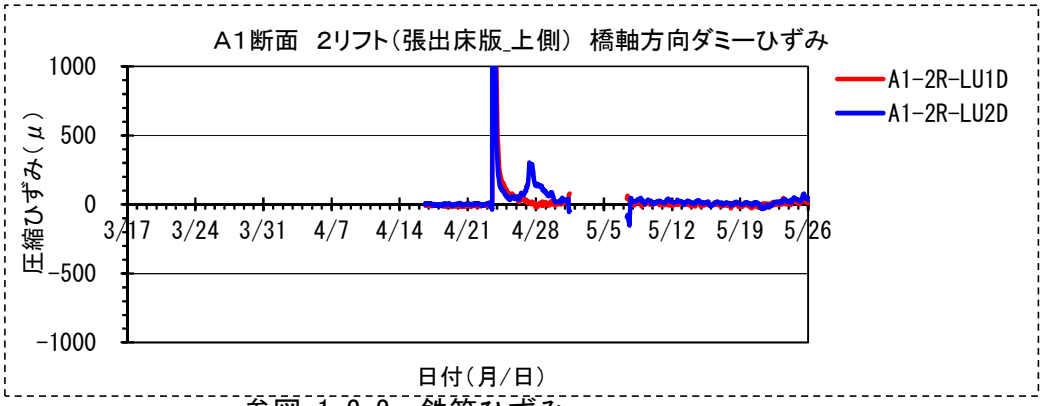


参図-1.1.4　D断面の計測部位

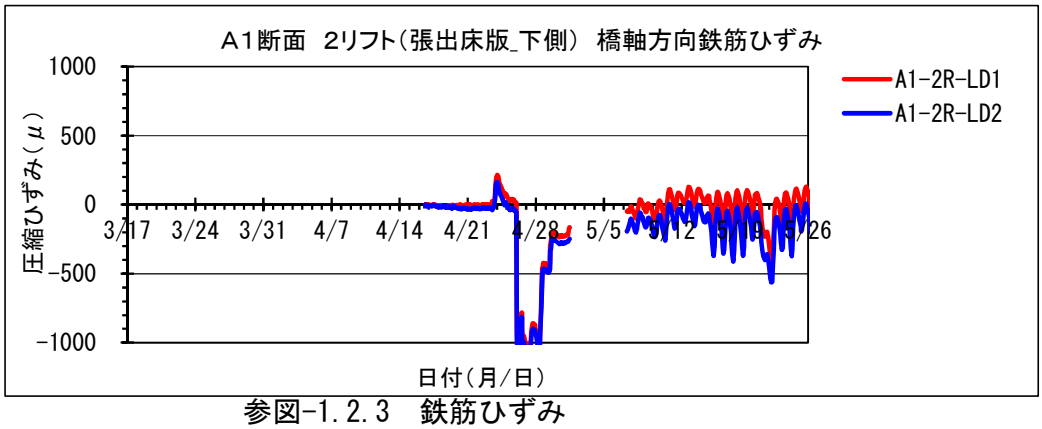
(2) 鉄筋ひずみの計測値



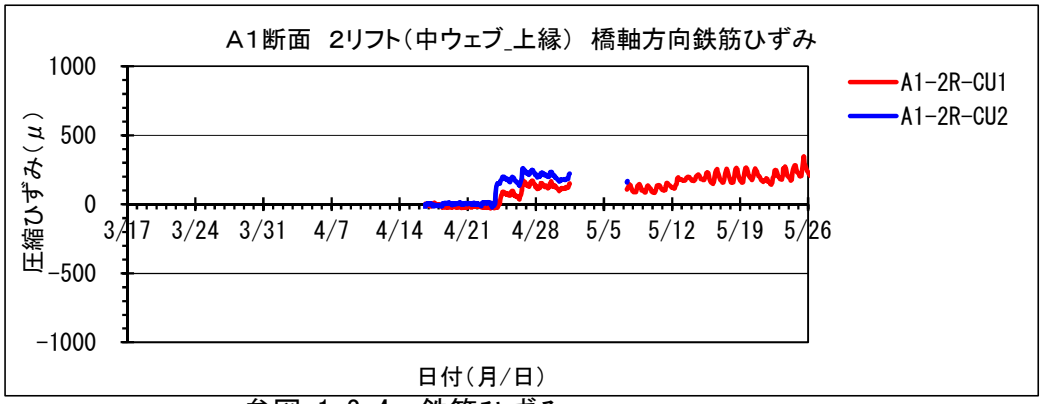
参図-1.2.1　鉄筋ひずみ



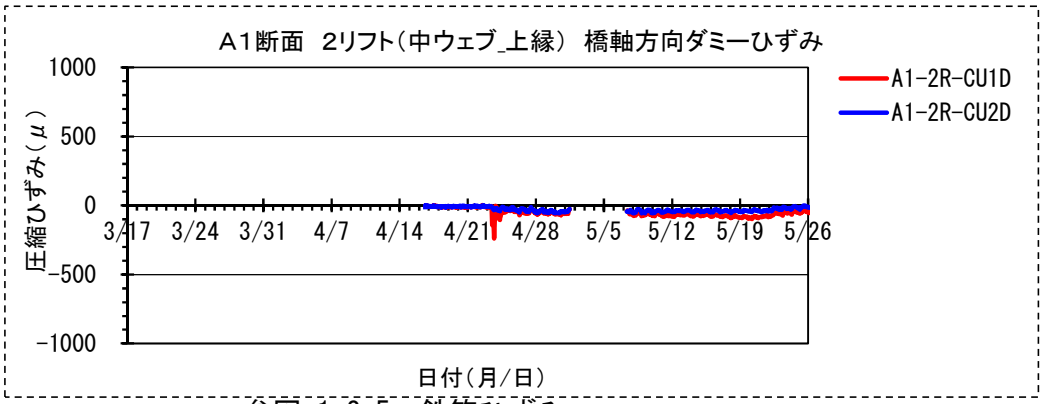
参図-1.2.2　鉄筋ひずみ



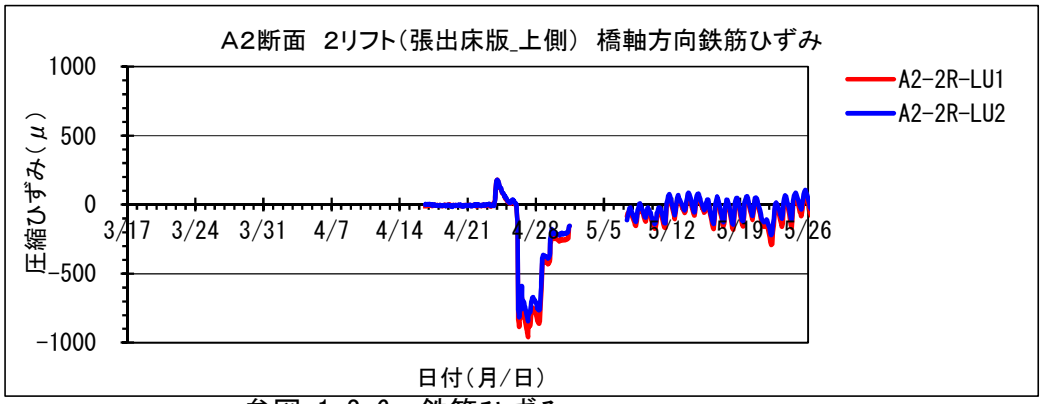
参図-1.2.3　鉄筋ひずみ



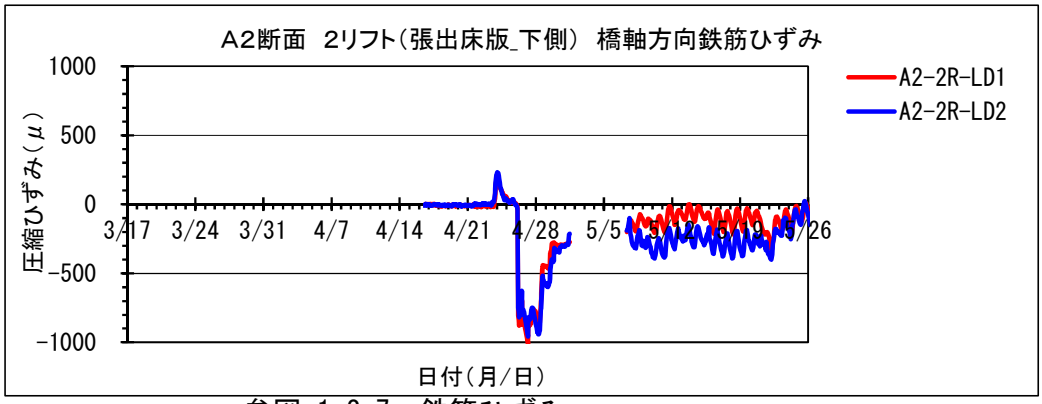
参図-1.2.4　鉄筋ひずみ



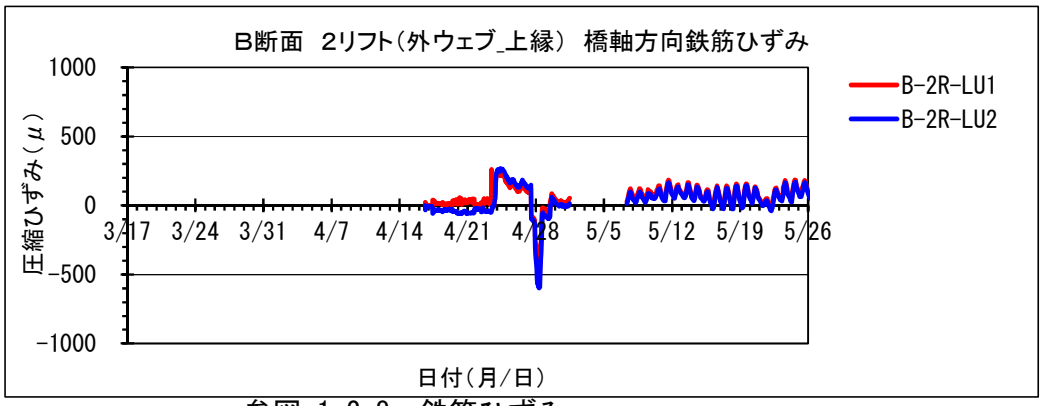
参図-1.2.5　鉄筋ひずみ



参図-1.2.6　鉄筋ひずみ



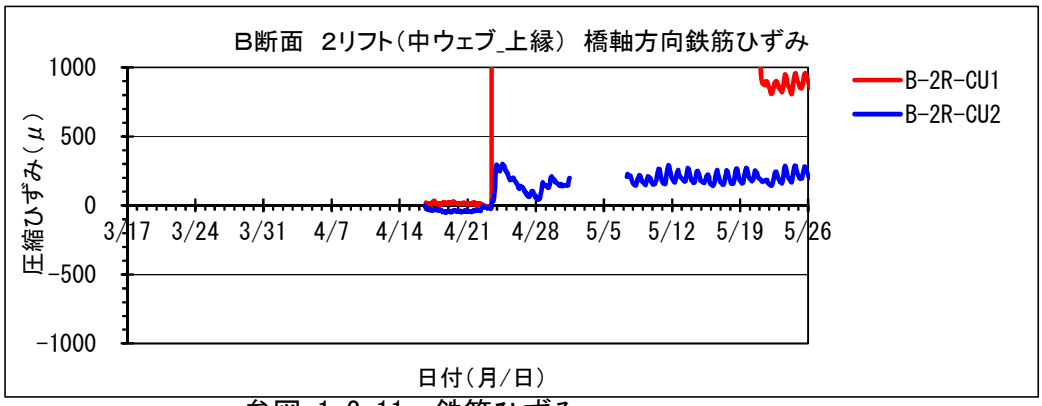
参図-1.2.7　鉄筋ひずみ



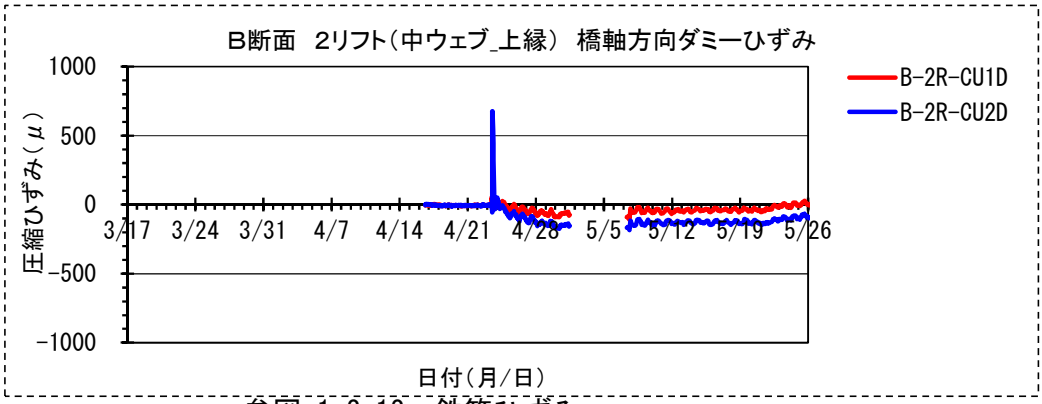
参図-1.2.8　鉄筋ひずみ

参図-1.2.9　鉄筋ひずみ

参図-1.2.10　鉄筋ひずみ

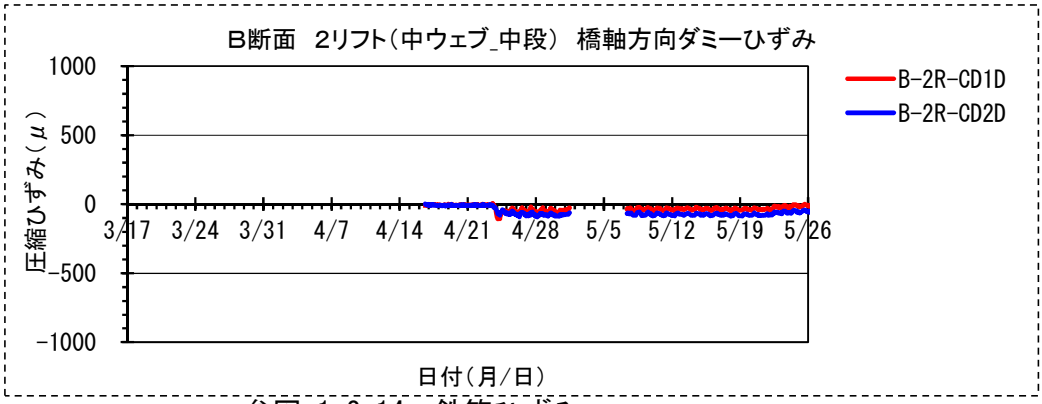


参図-1.2.11　鉄筋ひずみ



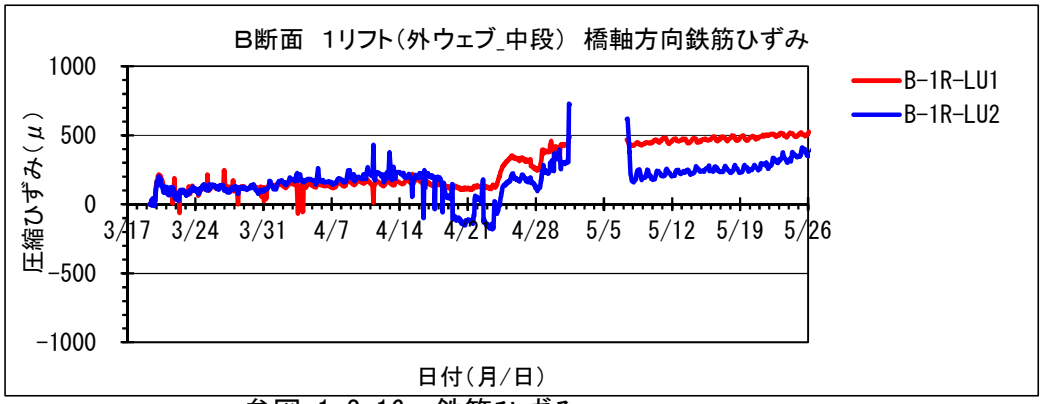
参図-1.2.12　鉄筋ひずみ

参図-1.2.13　鉄筋ひずみ

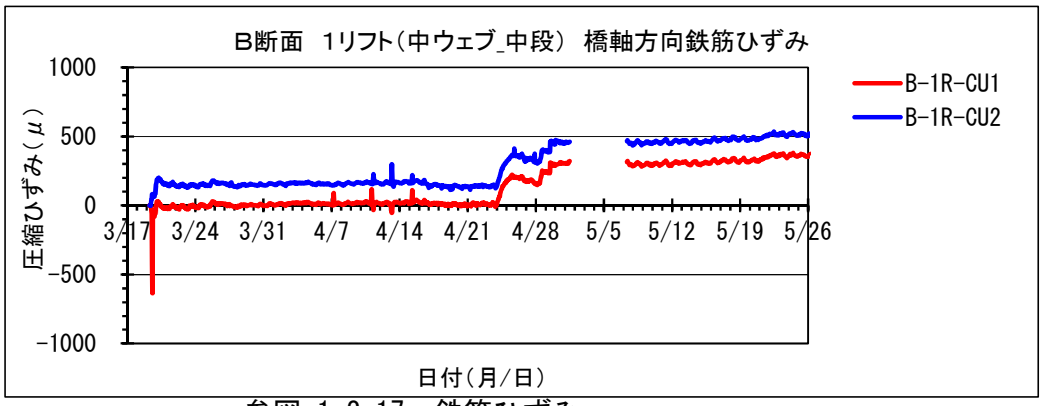


参図-1.2.14　鉄筋ひずみ

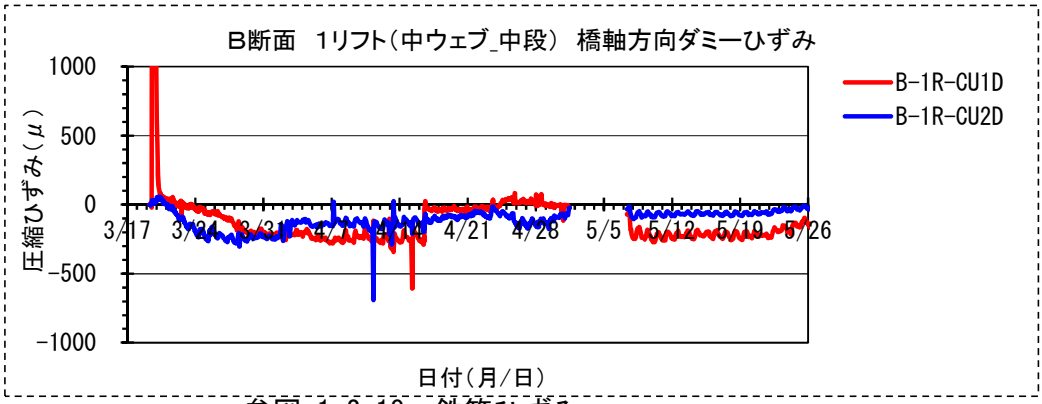
参図-1.2.15　鉄筋ひずみ



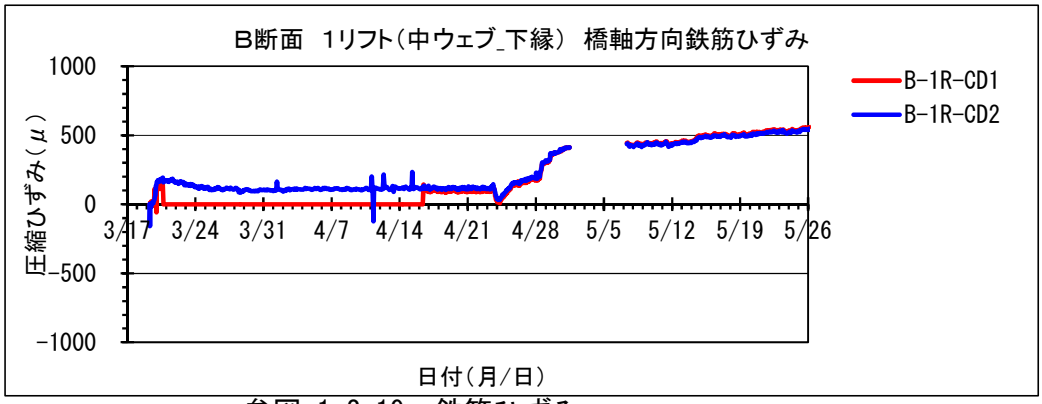
参図-1.2.16　鉄筋ひずみ



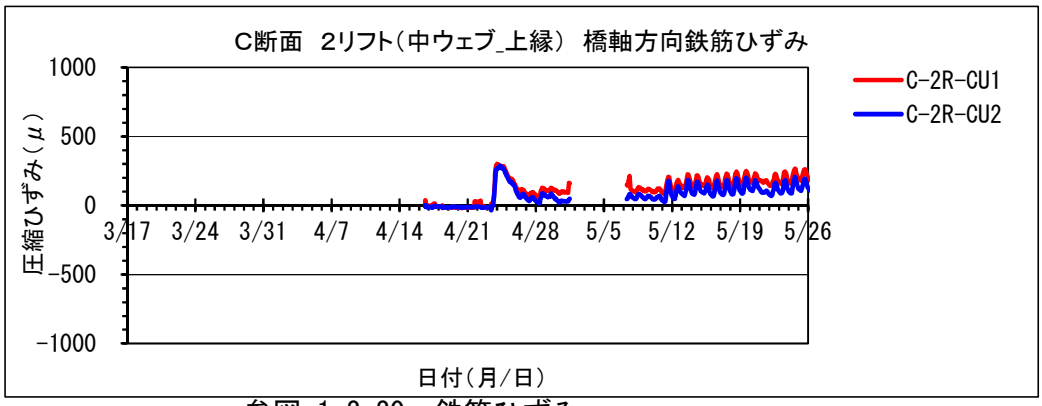
参図-1.2.17　鉄筋ひずみ



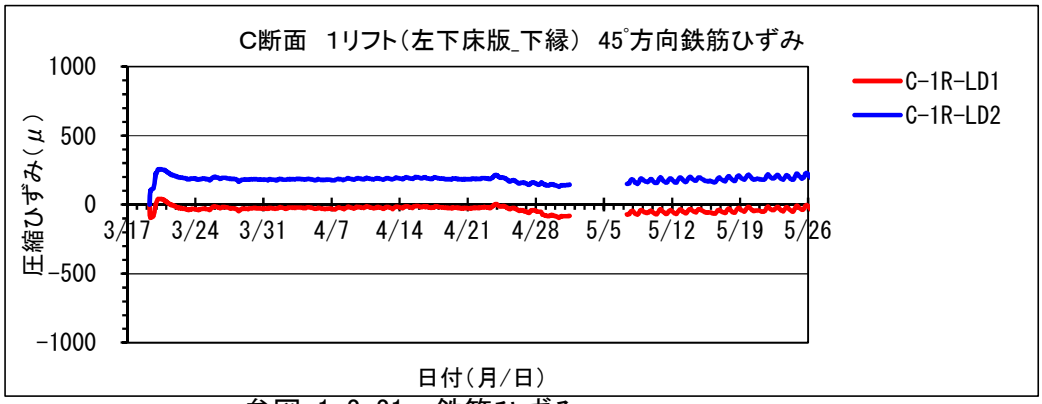
参図-1.2.18　鉄筋ひずみ



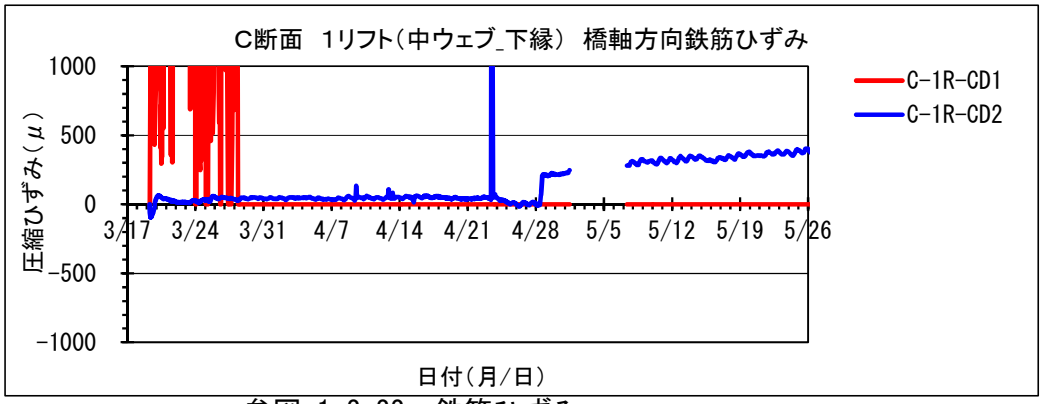
参図-1.2.19　鉄筋ひずみ



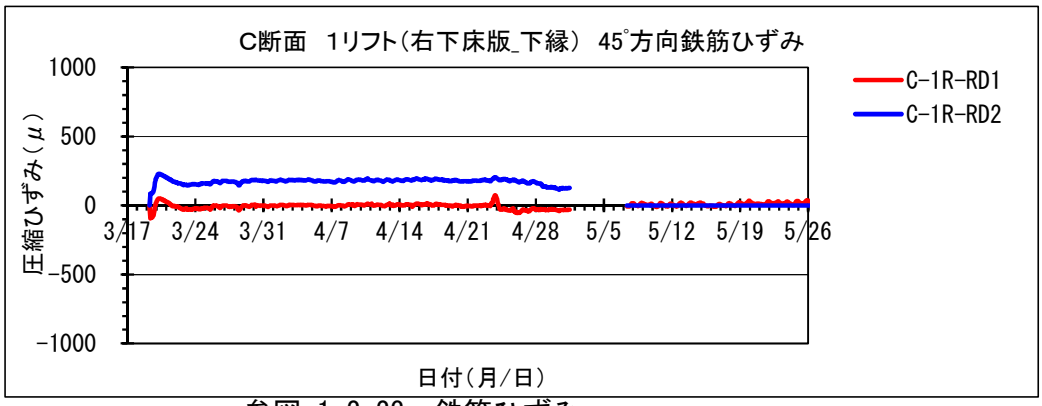
参図-1.2.20　鉄筋ひずみ



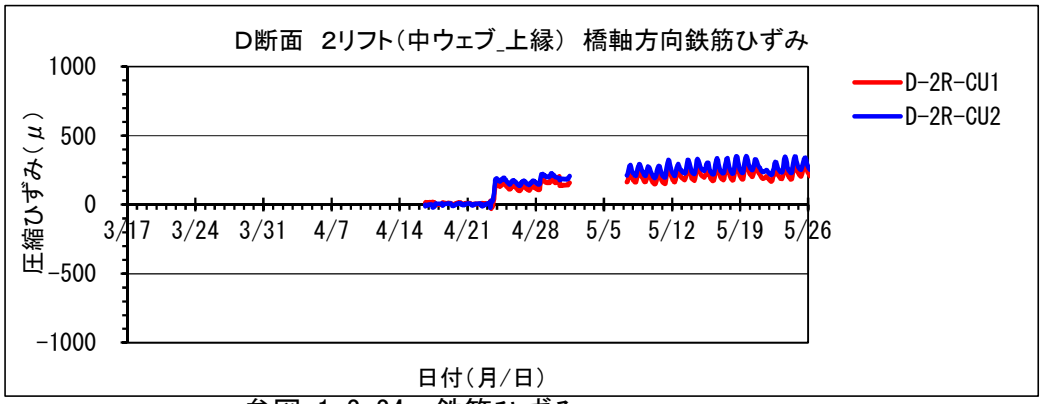
参図-1.2.21　鉄筋ひずみ



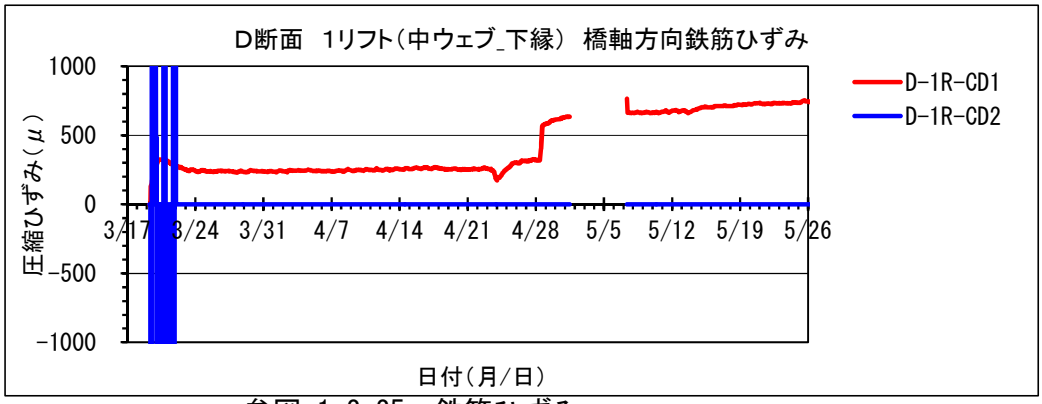
参図-1.2.22　鉄筋ひずみ



参図-1.2.23　鉄筋ひずみ

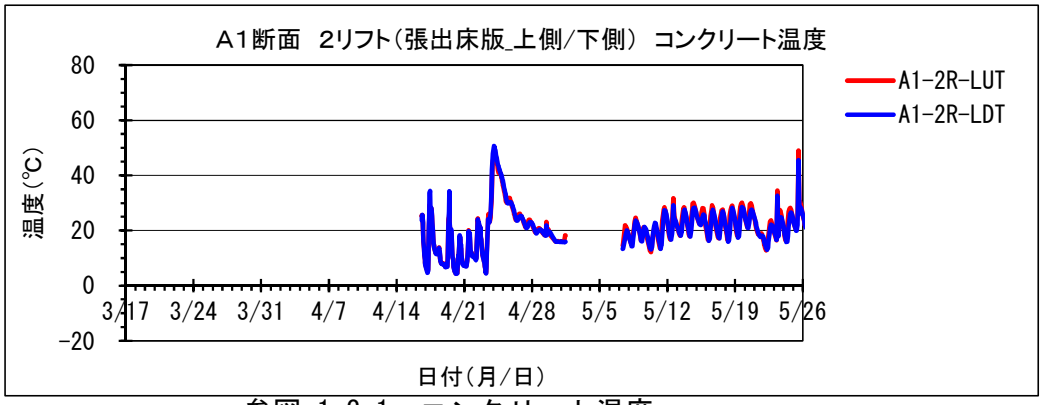


参図-1.2.24　鉄筋ひずみ

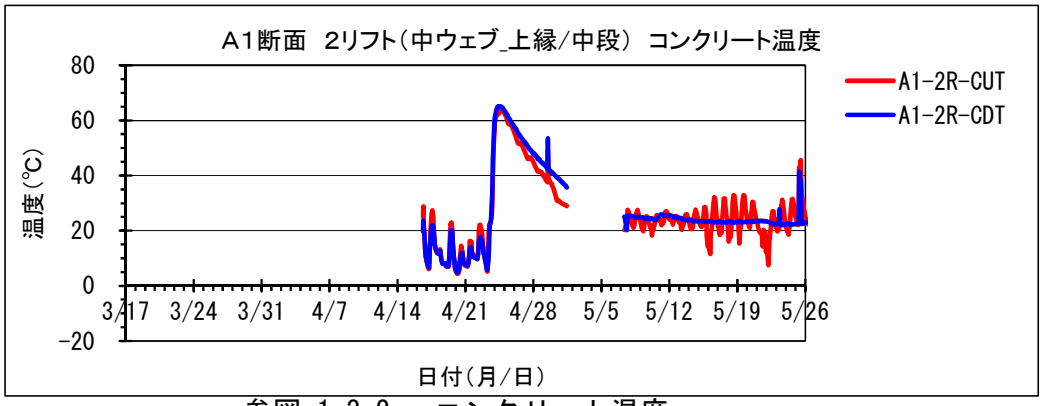


参図-1.2.25　鉄筋ひずみ

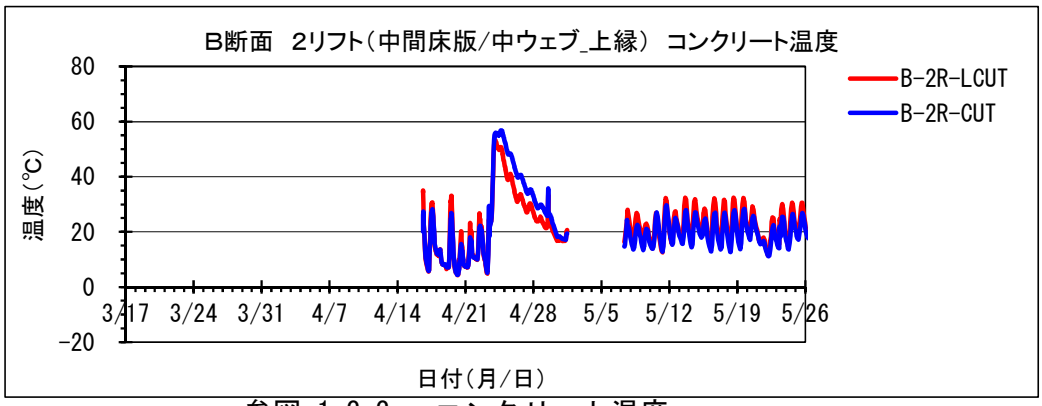
(3) コンクリート温度の計測値



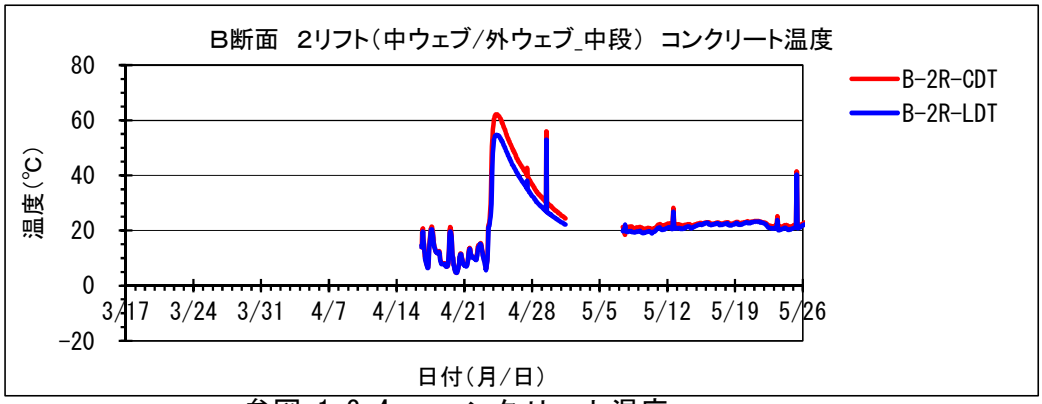
参図-1.3.1　コンクリート温度



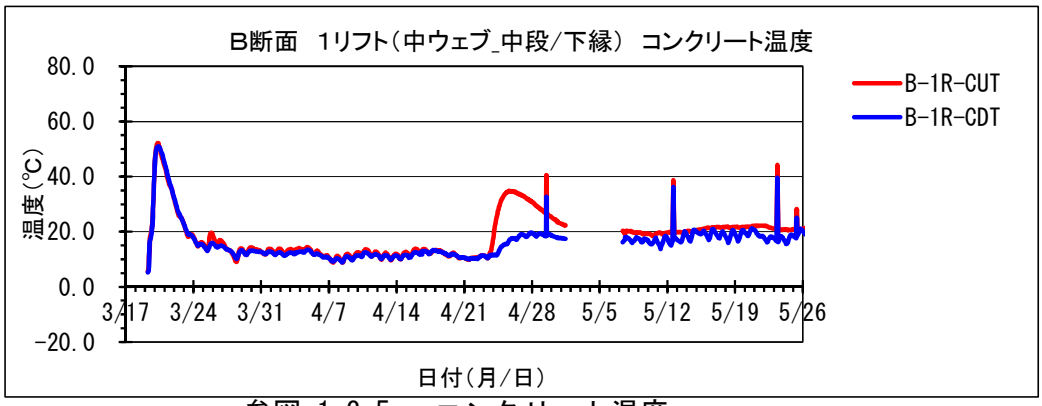
参図-1.3.2　コンクリート温度



参図-1.3.3　コンクリート温度

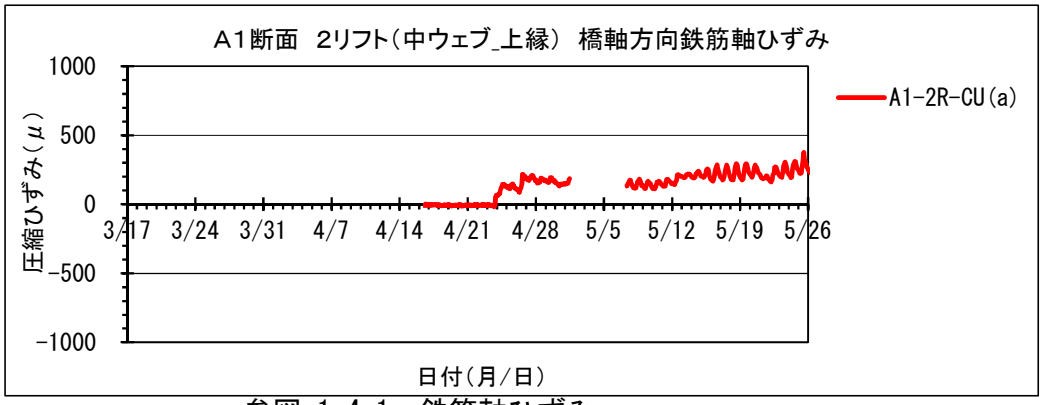


参図-1.3.4　　コンクリート温度

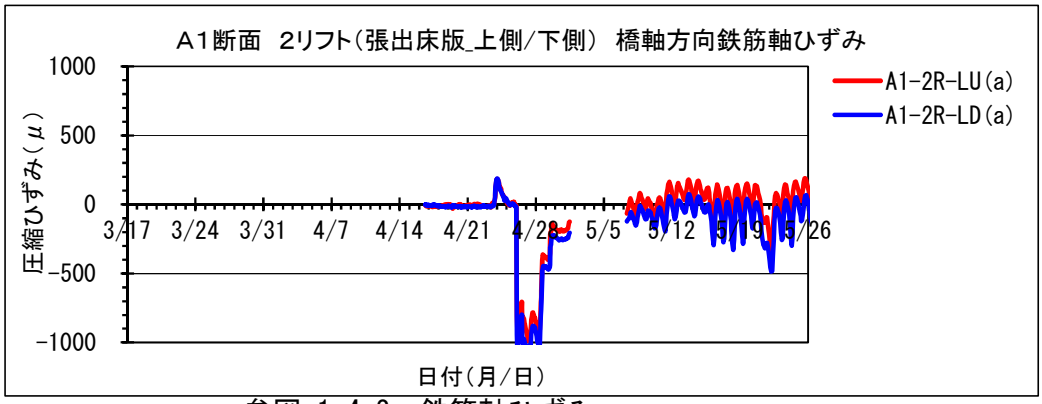


参図-1.3.5　　コンクリート温度

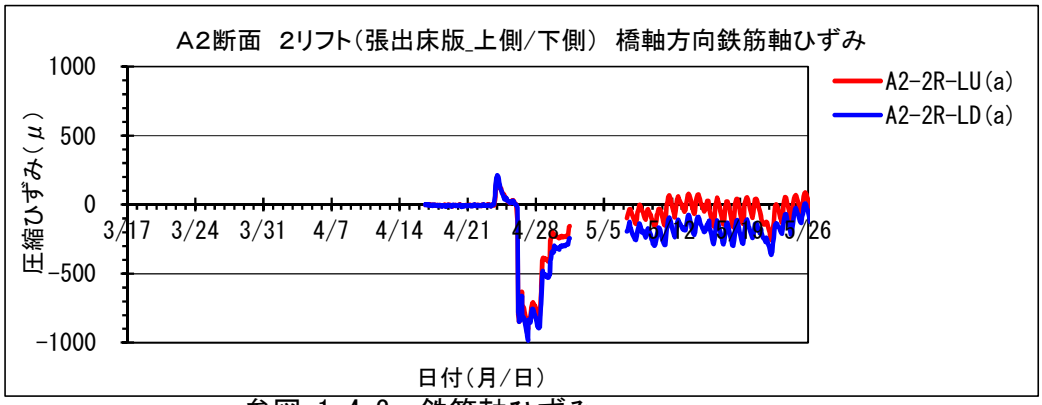
(4) 鉄筋軸ひずみの計算値



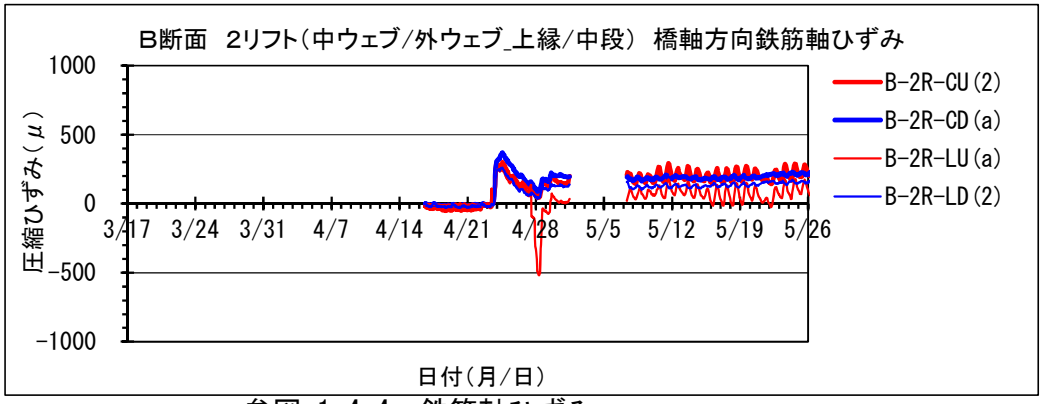
参図-1.4.1　鉄筋軸ひずみ



参図-1.4.2　鉄筋軸ひずみ

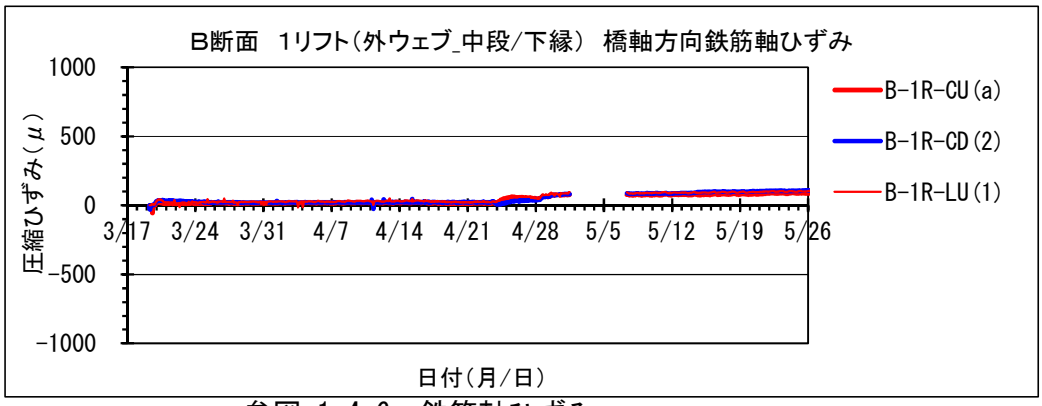


参図-1.4.3　鉄筋軸ひずみ

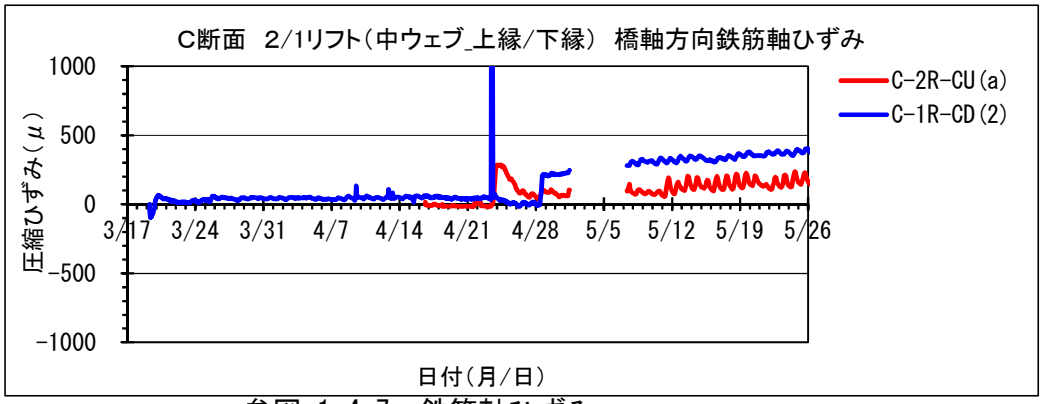


参図-1.4.4　鉄筋軸ひずみ

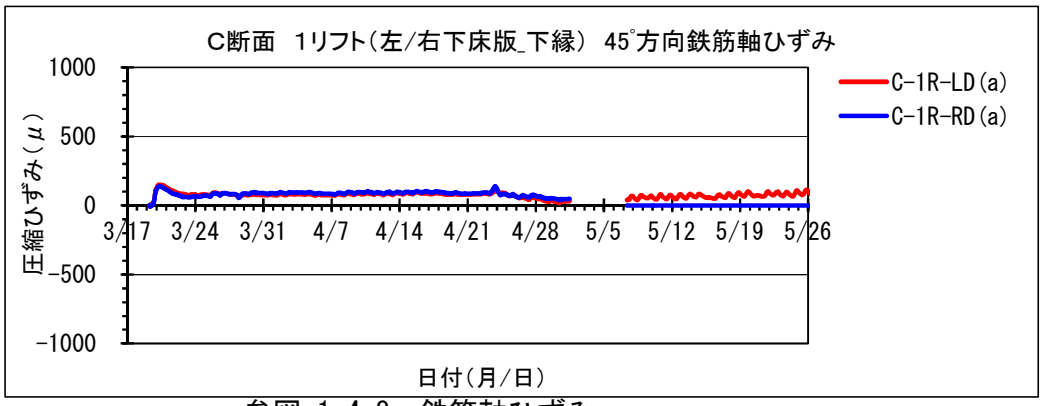
参図-1.4.5　鉄筋軸ひずみ



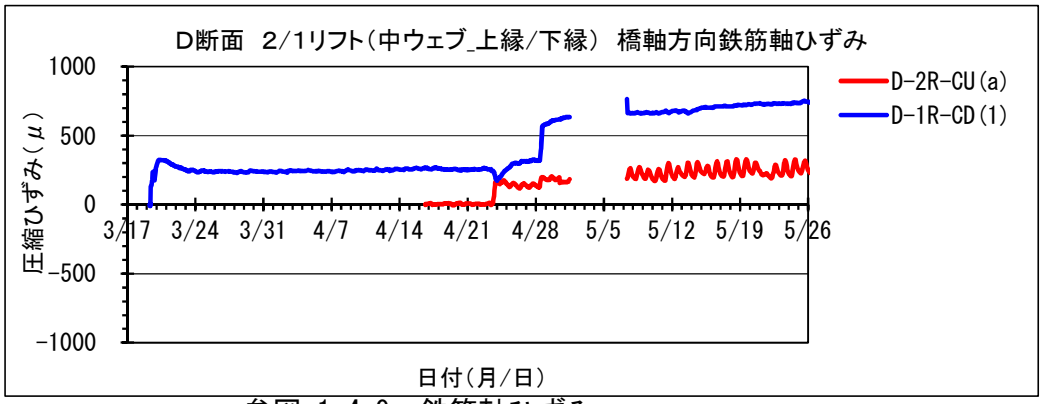
参図-1.4.6　鉄筋軸ひずみ



参図-1.4.7　鉄筋軸ひずみ

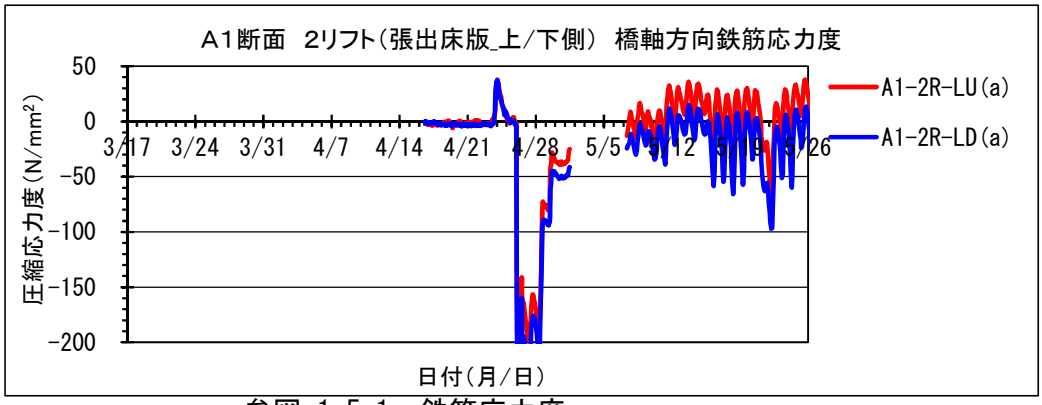


参図-1.4.8　鉄筋軸ひずみ



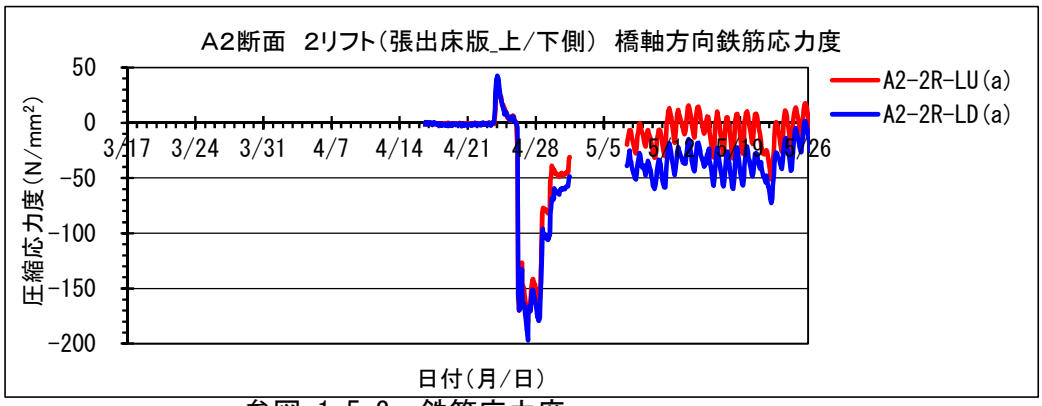
参図-1.4.9　鉄筋軸ひずみ

(5) 鉄筋応力度の計算値

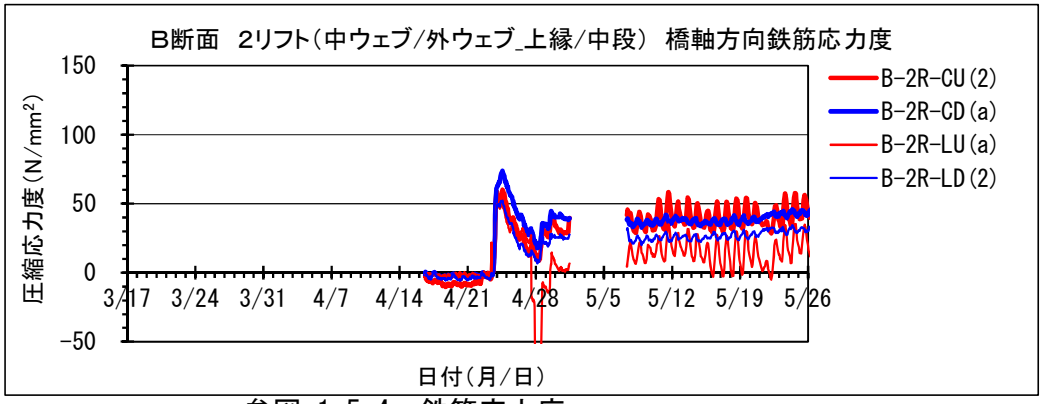


参図-1.5.1　鉄筋応力度

参図-1.5.2　鉄筋応力度

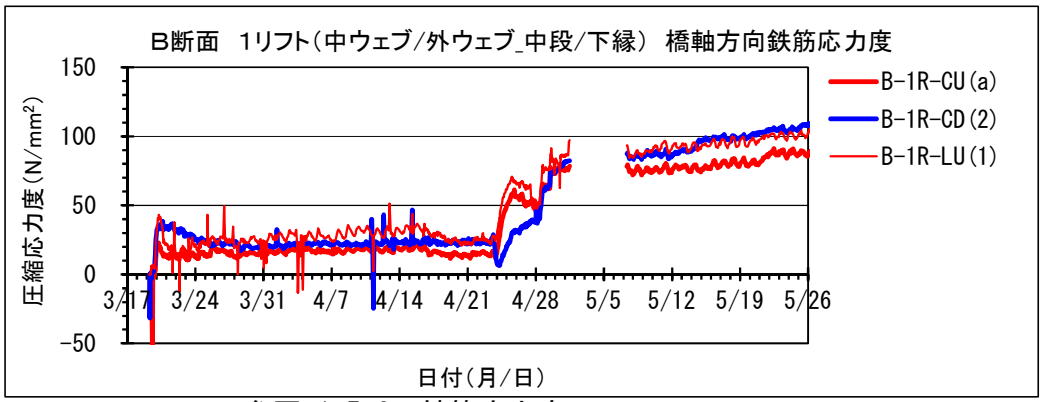


参図-1.5.3　鉄筋応力度

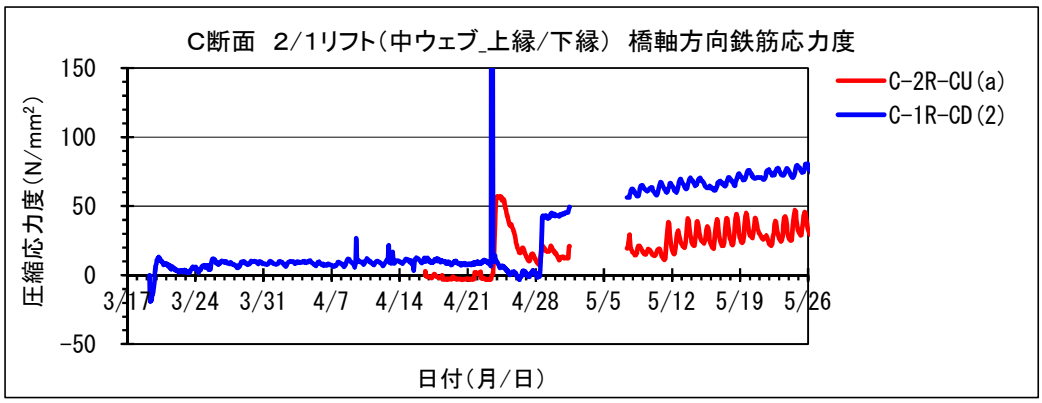


参図-1.5.4　鉄筋応力度

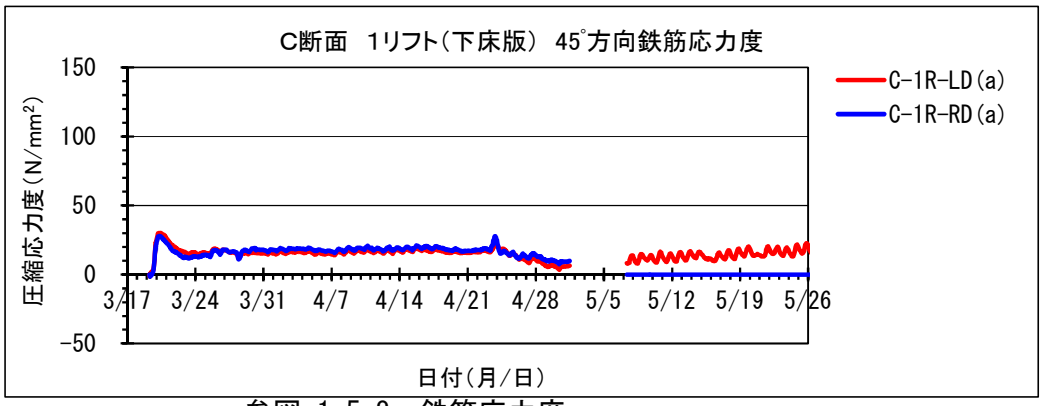
参図-1.5.5　鉄筋応力度



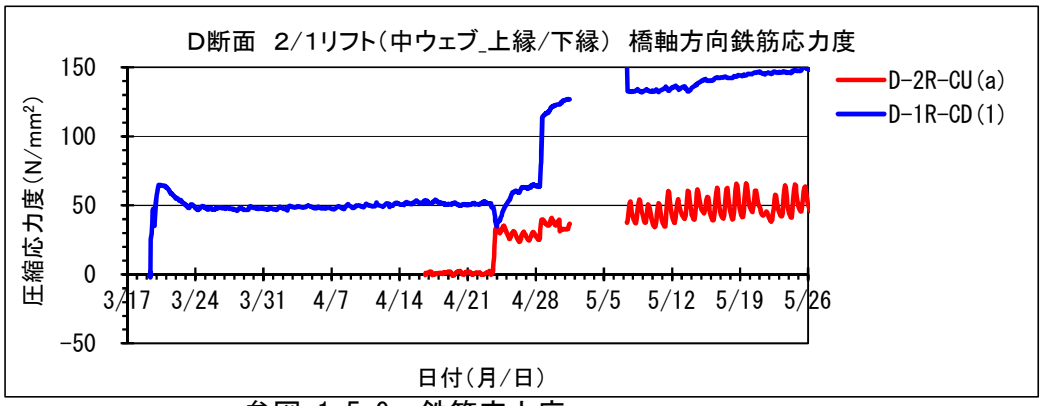
参図-1.5.6　鉄筋応力度



参図-1.5.7　鉄筋応力度



参図-1.5.8　鉄筋応力度



参図-1.5.9　鉄筋応力度

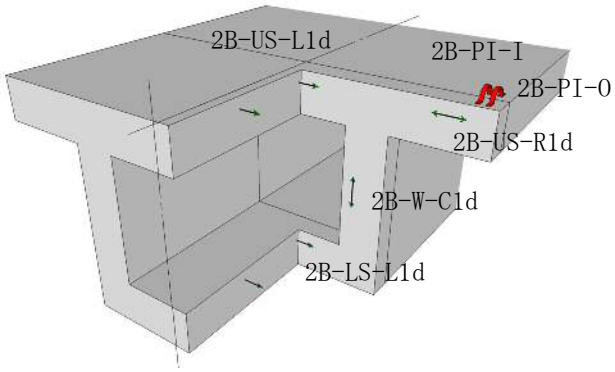
資料-2　施工中の挙動計測データ（その２：張出し架設）

2.1 Ｐ１第２ブロック

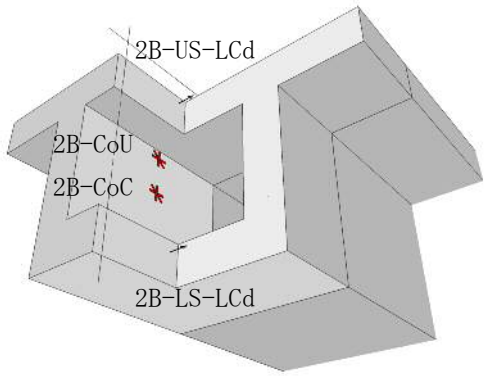
(1) 計測箇所

参表 2.1.1　ゲージ名称とチャンネル番号・設置断面・部位

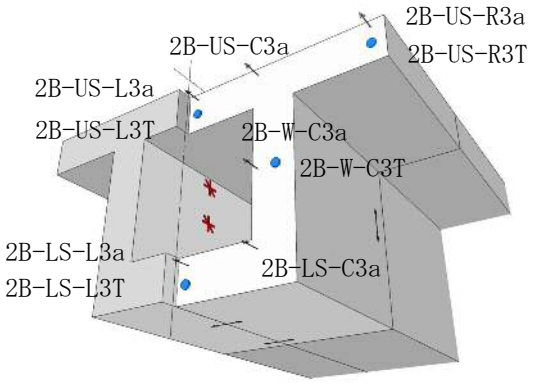
ﾁｬﾝﾈﾙ	ゲージ名 称	種類			ﾌﾞﾛｯｸ		設置部位			方向･断面				備考
		歪	変	熱	2	10	上	中	下	軸	直	鉛	45	
0	2B-PI-O				○		△							先端から 0.20m
1	2B-PI-I				○		△							先端から 0.45m
2, 3	2B-US-L1d-U,L	○			○									
4, 5	2B-US-LCd-U,L	○			○						○			
6, 7	2B-US-L3a-U,L	○			○					△				
8, 9	2B-US-C3a-U,L	○			○		○			△				
10,11	2B-US-R1d-U,L	○			○		△							先端から 0.60m
12,13	2B-US-R3a-U,L	○			○		△			△				先端から 0.20m
14,15	2B-W-C1d-U,L	○			○			○						内側筋
16,17	2B-W-C3a-U,L	○			○			○		△				〃
18,19	2B-LS-L1d-U,L	○			○									上側筋
20,21	2B-LS-LCd-U,L	○			○						○			〃
22,23	2B-LS-L3a-U,L	○			○					△				〃
24,25	2B-LS-C3a-U,L	○			○				○	△				〃
26	2B-US-L3T			○	○					小口から 0.05m				
27	2B-US-R3T			○	○		△			小口から 0.05m				先端から 0.20m
28	2B-W-C3T			○	○			○		小口から 0.20m				
29	2B-LS-L3T			○	○					小口から 0.20m				
30-32	2B-CoU-X,Y,Z	◎			○			○		○		○	○	上縁から 0.60m
33-35	2B-CoC-X,Y,Z	◎			○			○		○		○	○	上縁から 1.95m
MEMO		ひずみｹﾞｰｼﾞ･･･ ○：鉄筋用, ◎：ｺﾝｸﾘｰﾄ用, ●：ﾀﾞﾐｰ鉄筋用 設置高･部位･･･ □：構造中心, ○：ウェブ部, △：張出先端 方向･断面･････ △：先端側, ○：中央部, □：付根側												



参図-2.1.1.1　第２ブロック付根の計測部位

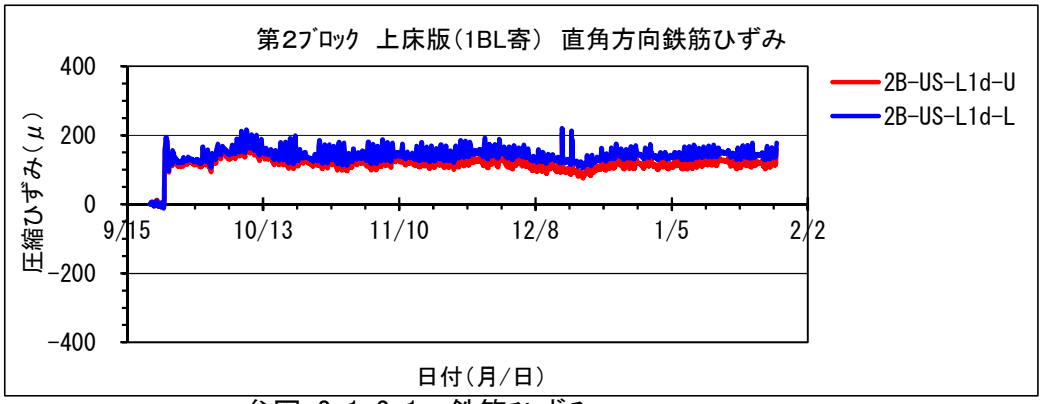


参図-2.1.1.2　第２ブロック中央の計測部位

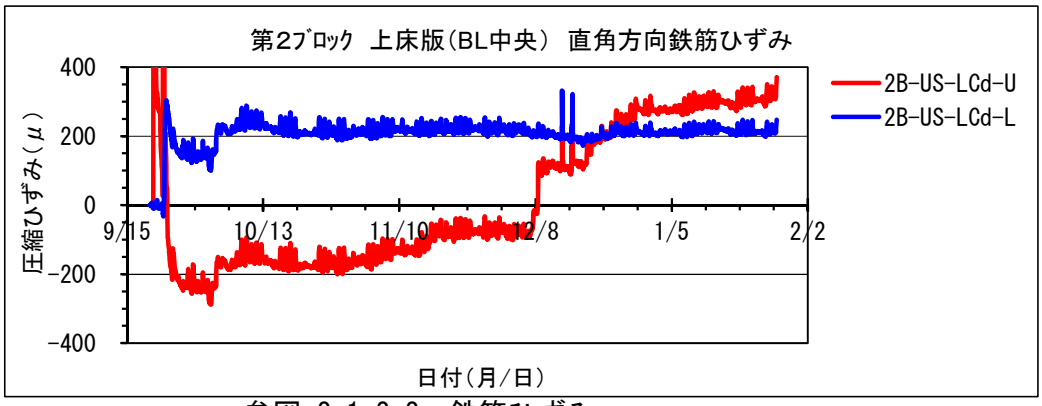


参図-2.1.1.3　第２ブロック先端の計測部位

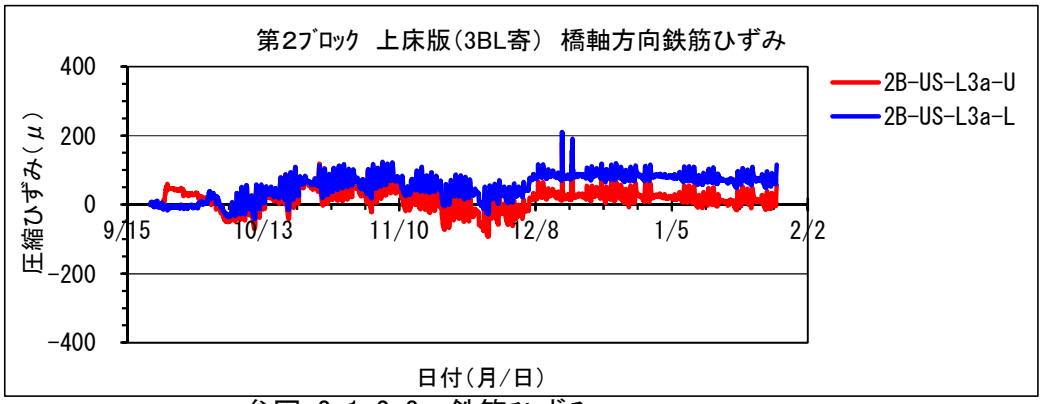
(2) 鉄筋ひずみの計測値



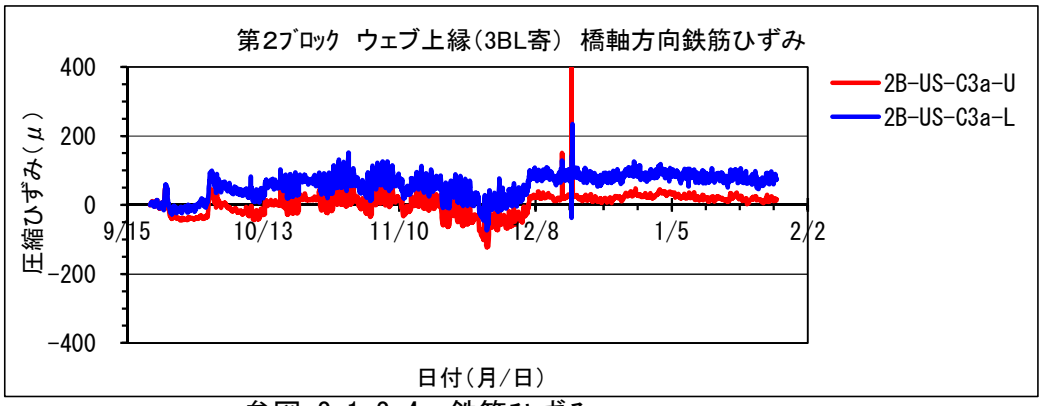
参図-2.1.2.1　鉄筋ひずみ



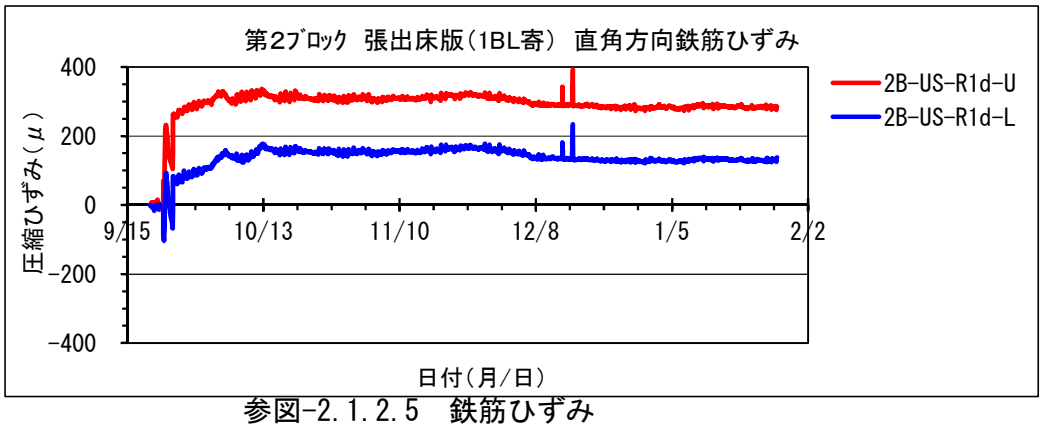
参図-2.1.2.2　鉄筋ひずみ



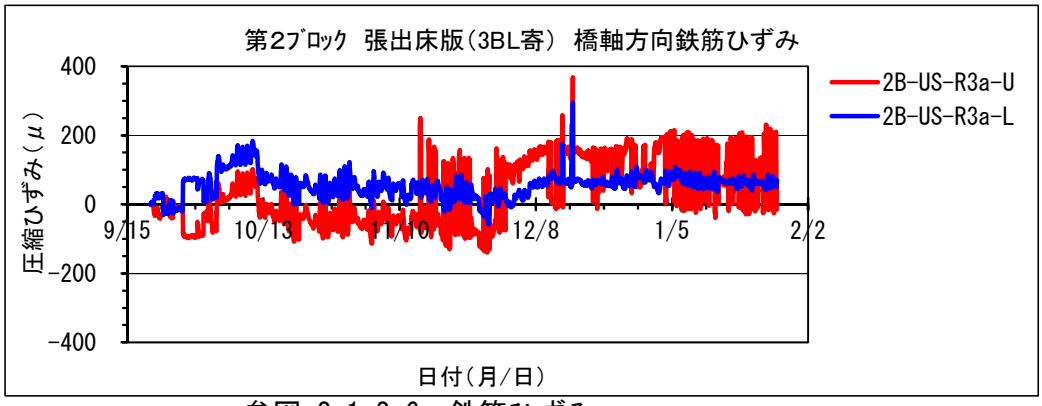
参図-2.1.2.3　鉄筋ひずみ



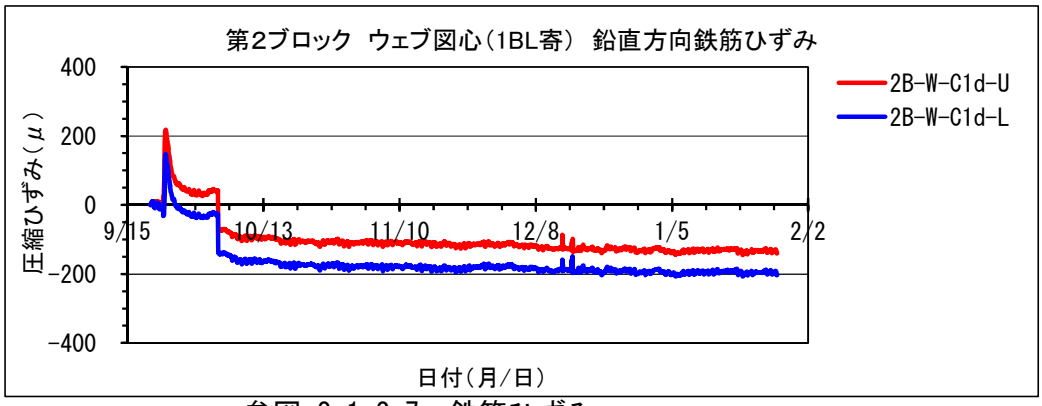
参図-2.1.2.4　鉄筋ひずみ



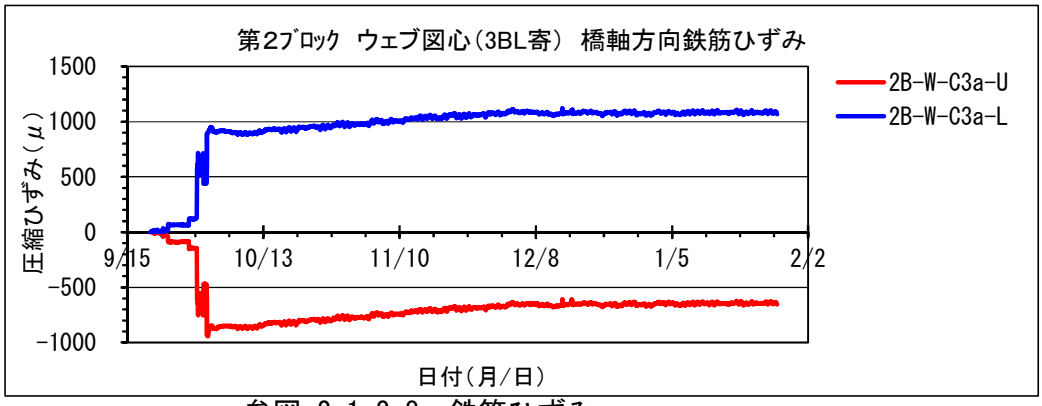
参図-2.1.2.5　鉄筋ひずみ



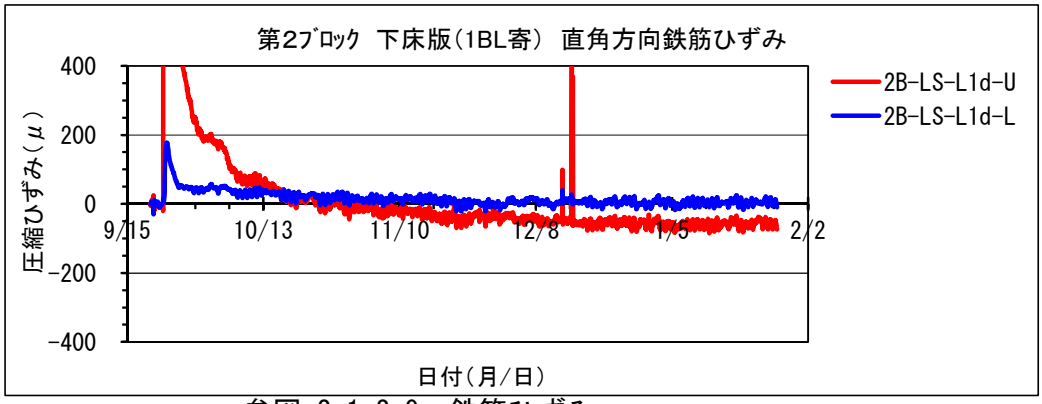
参図-2.1.2.6　鉄筋ひずみ



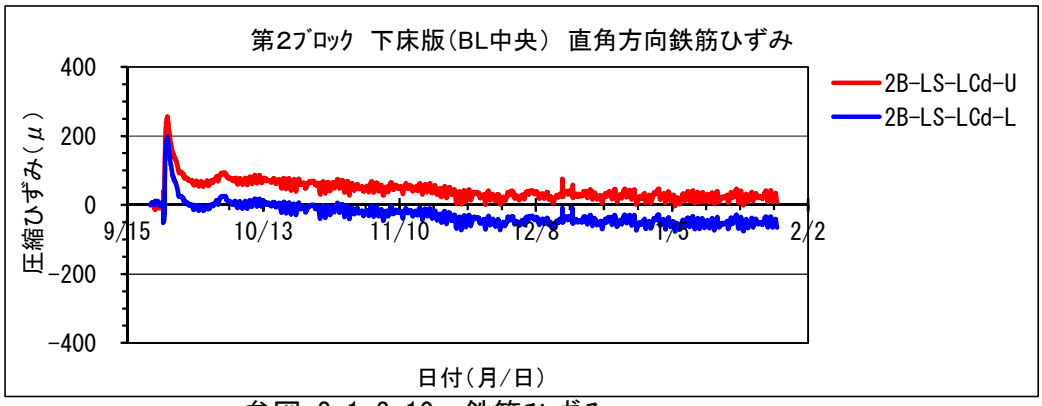
参図-2.1.2.7　鉄筋ひずみ



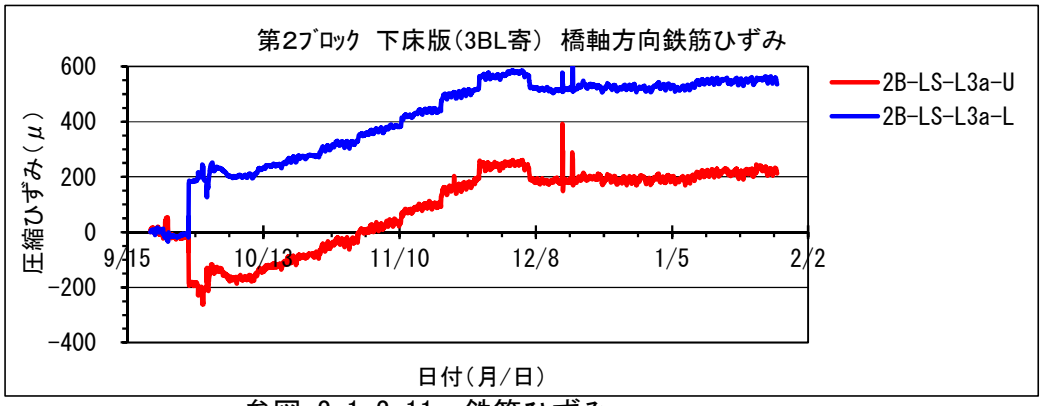
参図-2.1.2.8　鉄筋ひずみ



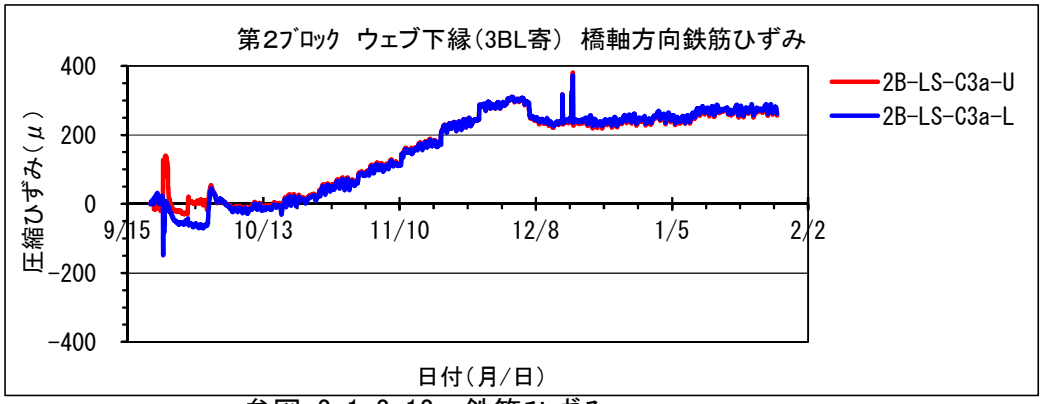
参図-2.1.2.9　鉄筋ひずみ



参図-2.1.2.10　鉄筋ひずみ

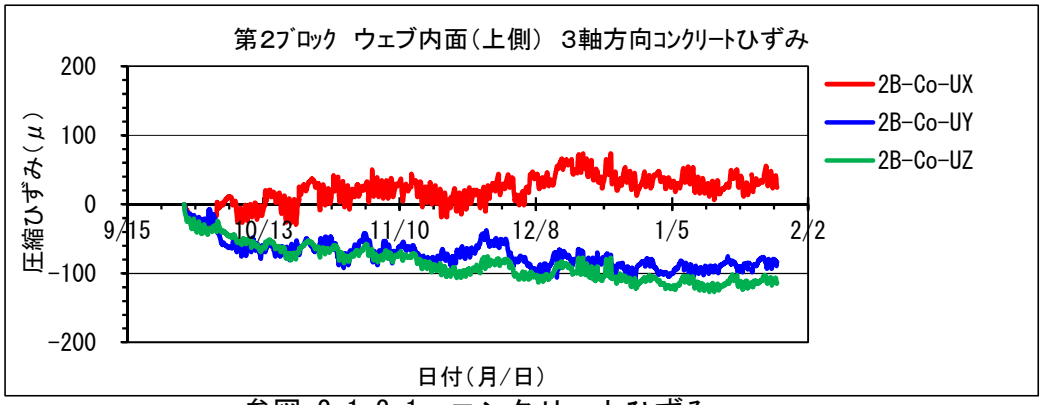


参図-2.1.2.11　鉄筋ひずみ

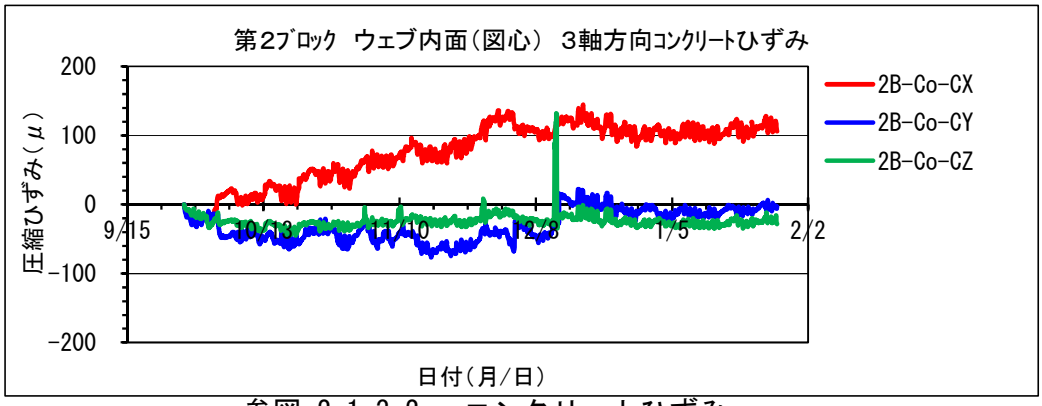


参図-2.1.2.12　鉄筋ひずみ

(3) コンクリートひずみの計測値

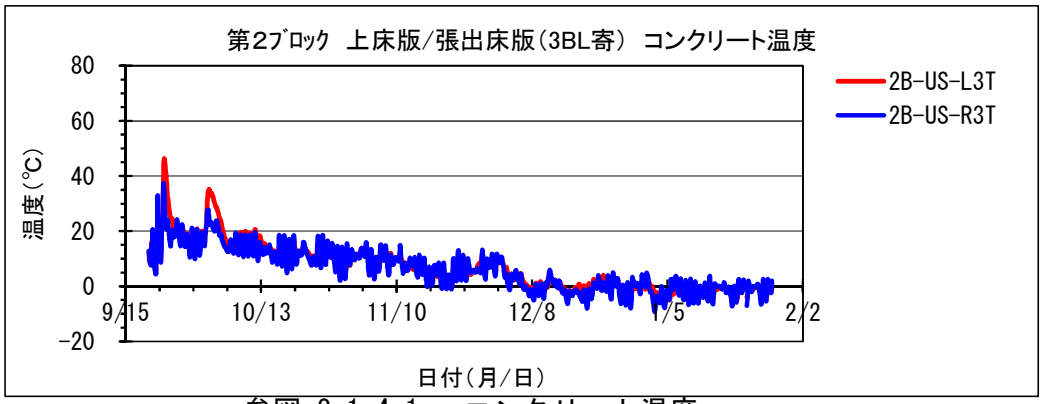


参図-2.1.3.1　コンクリートひずみ

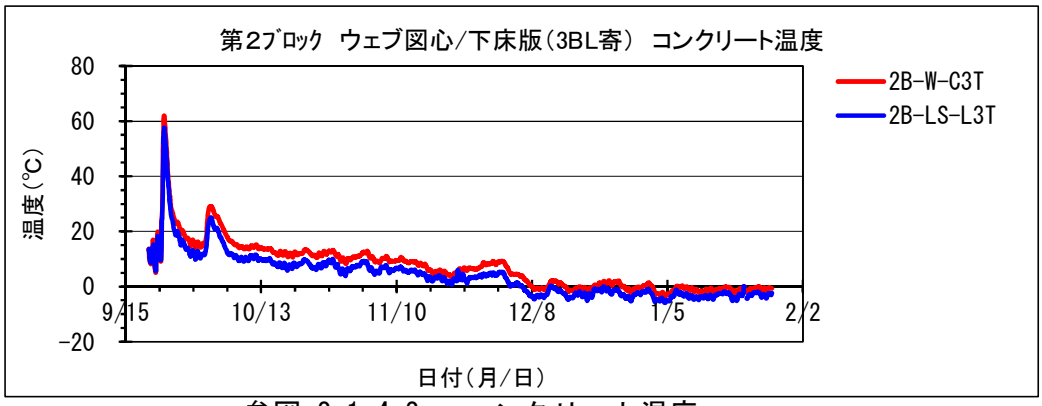


参図-2.1.3.2　コンクリートひずみ

(4) コンクリート温度の計測値

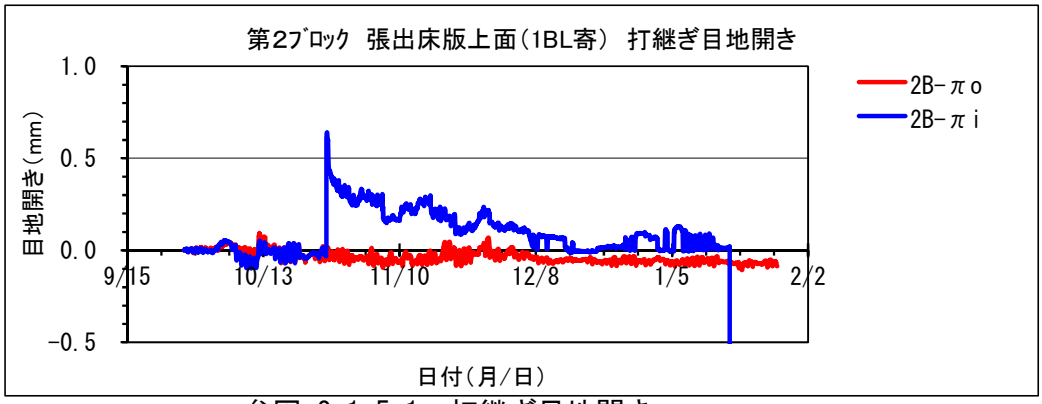


参図-2.1.4.1　コンクリート温度



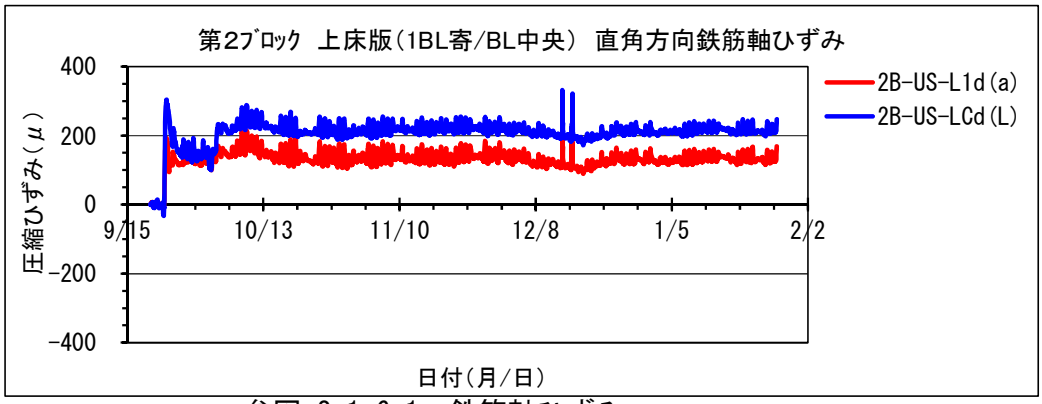
参図-2.1.4.2　コンクリート温度

(5) 打継ぎ目地開き

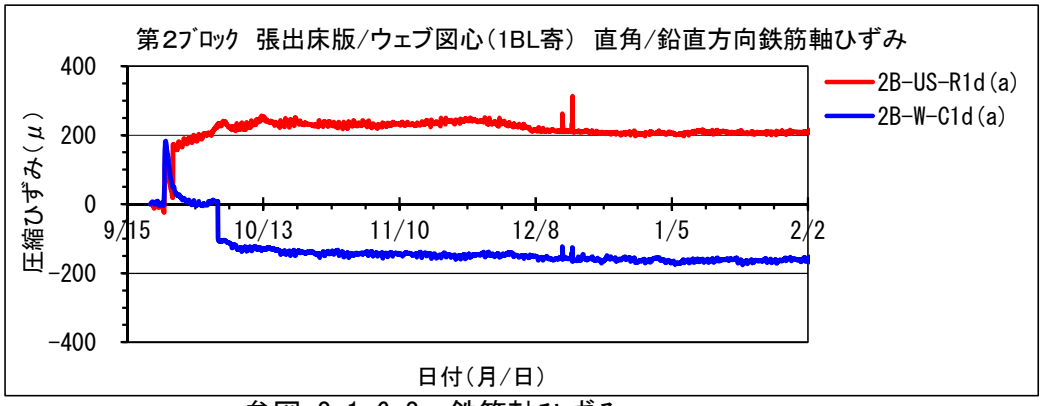


参図-2.1.5.1　打継ぎ目地開き

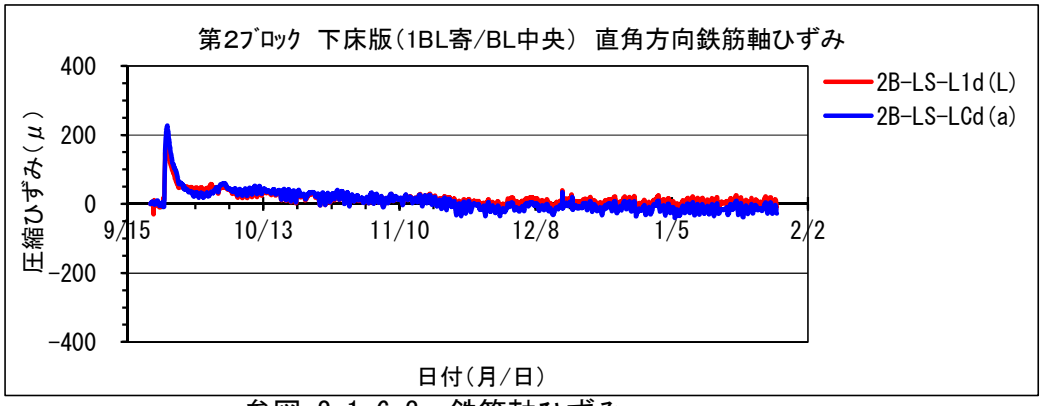
(6) 鉄筋軸ひずみの計算値



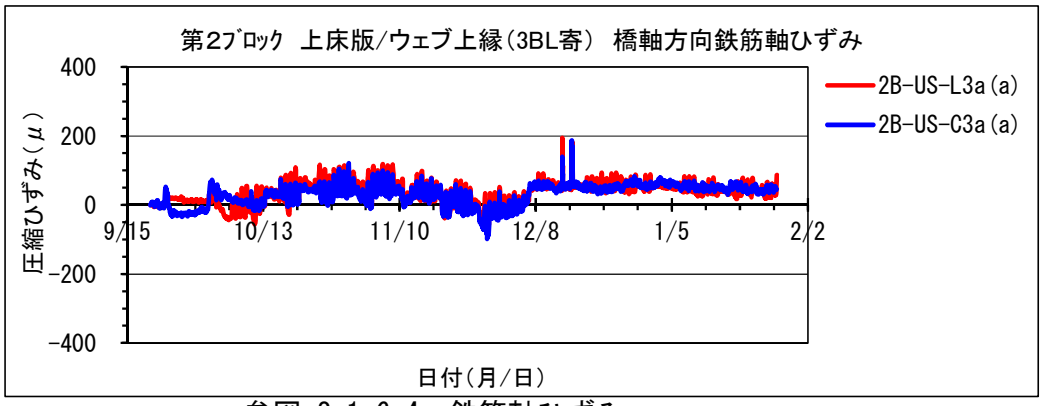
参図-2.1.6.1　鉄筋軸ひずみ



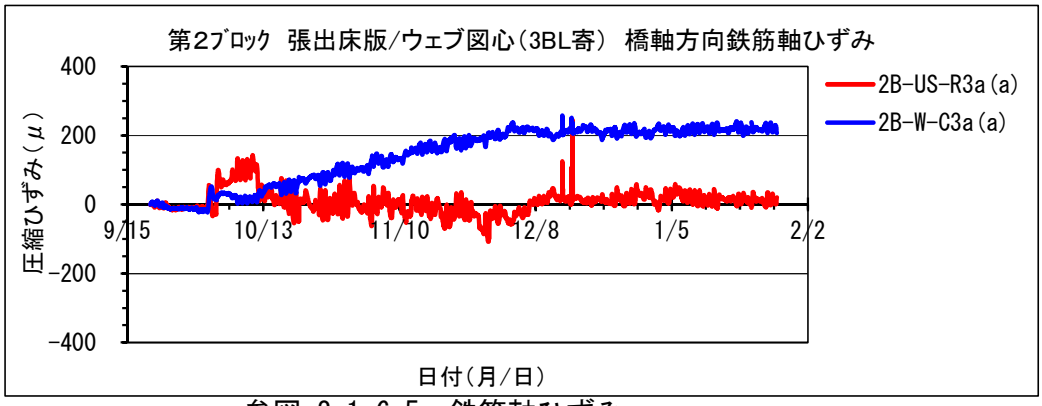
参図-2.1.6.2　鉄筋軸ひずみ



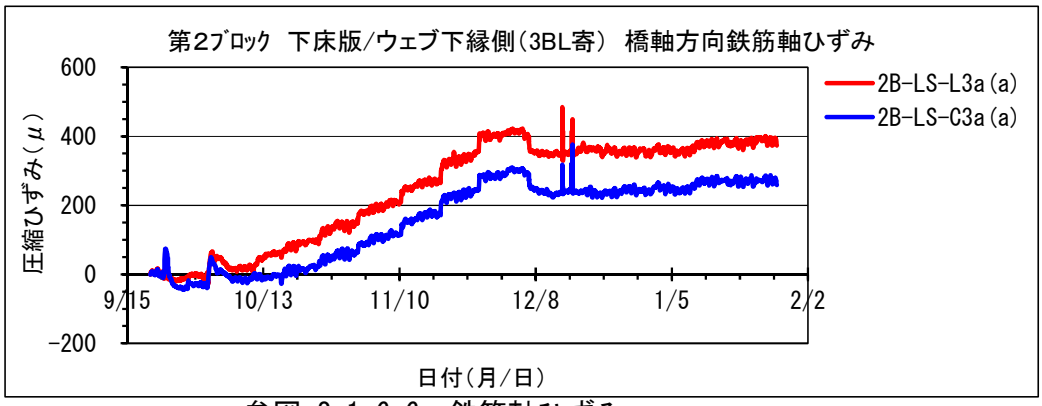
参図-2.1.6.3　鉄筋軸ひずみ



参図-2.1.6.4　鉄筋軸ひずみ

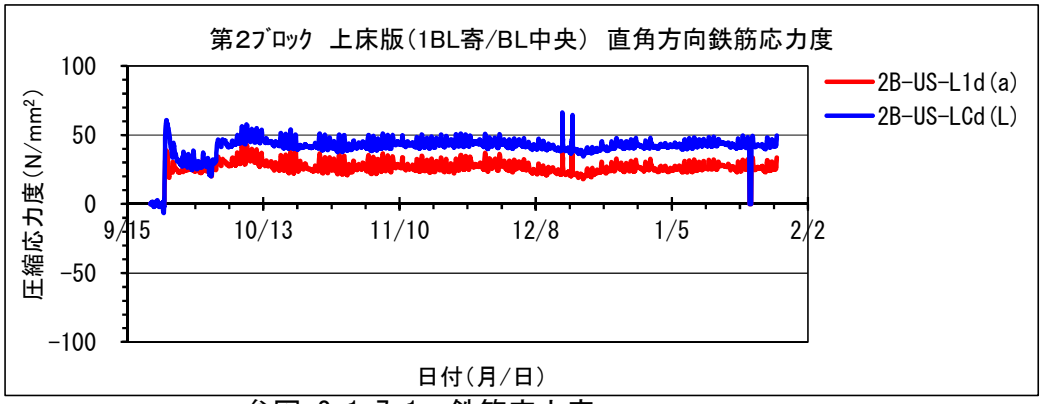


参図-2.1.6.5　鉄筋軸ひずみ

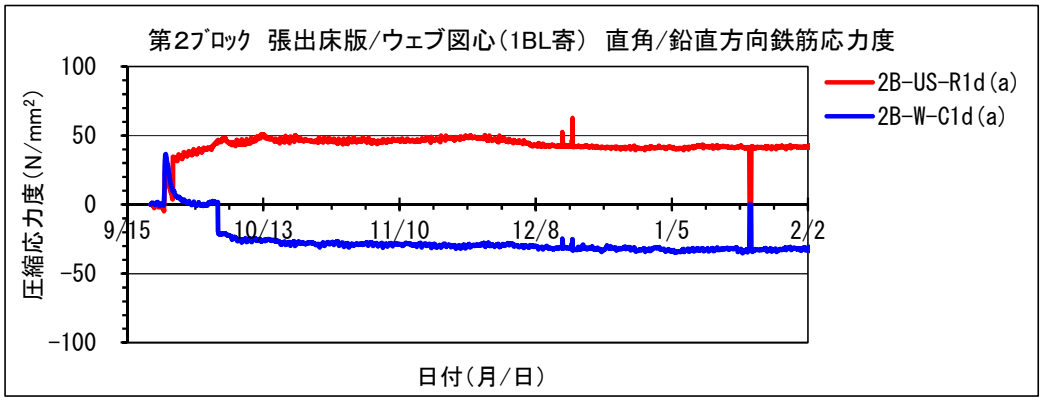


参図-2.1.6.6　鉄筋軸ひずみ

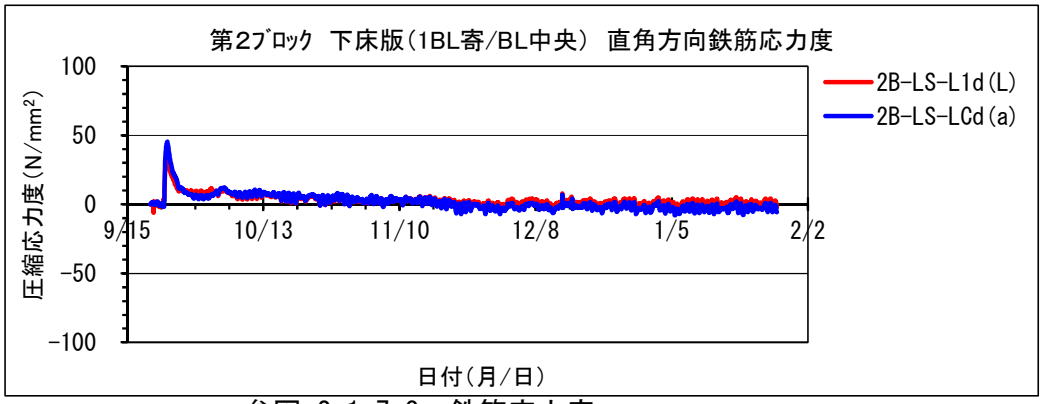
(7) 鉄筋応力度の計算値



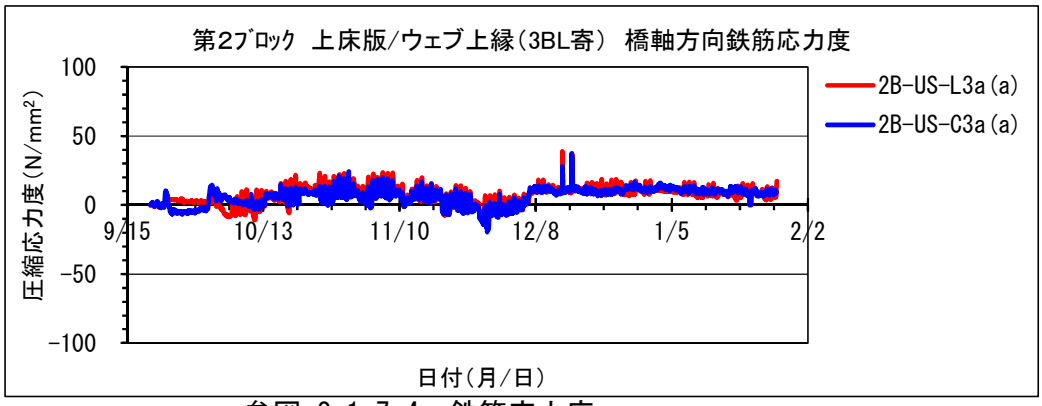
参図-2.1.7.1 鉄筋応力度



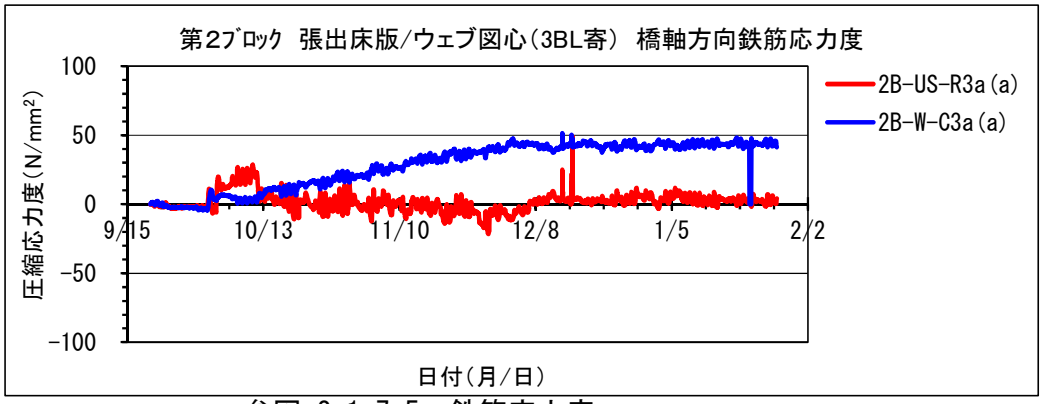
参図-2.1.7.2 鉄筋応力度



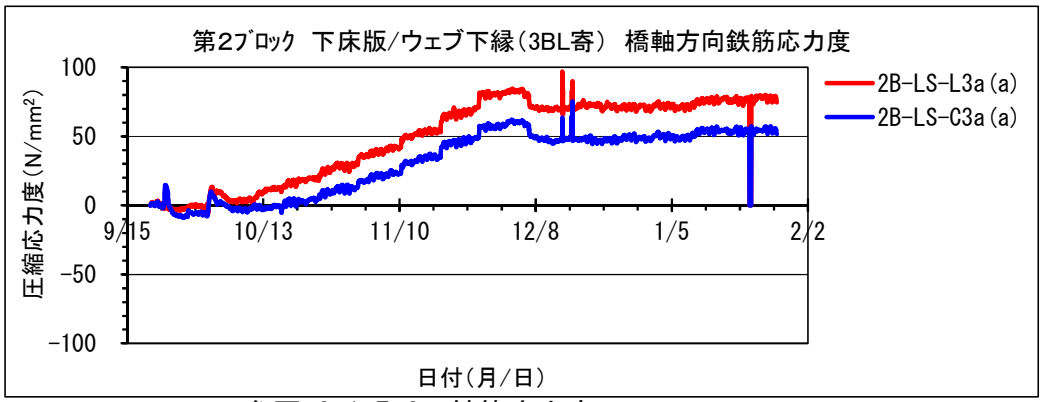
参図-2.1.7.3 鉄筋応力度



参図-2.1.7.4　鉄筋応力度

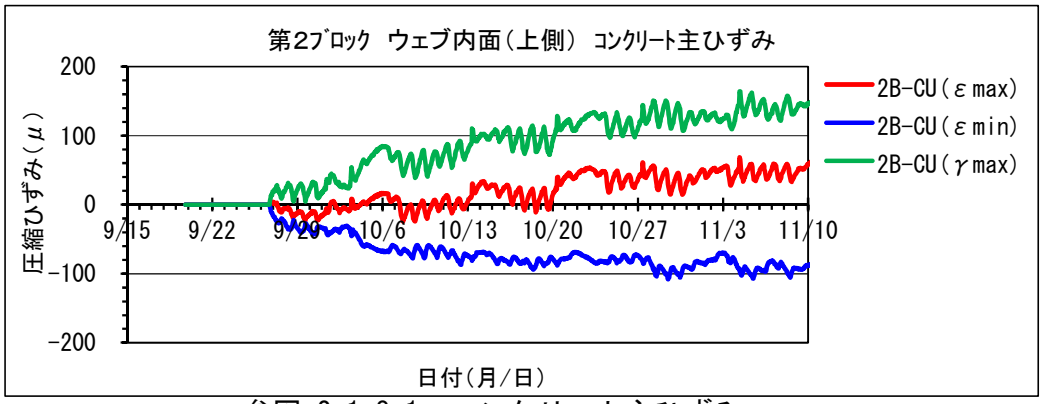


参図-2.1.7.5　鉄筋応力度

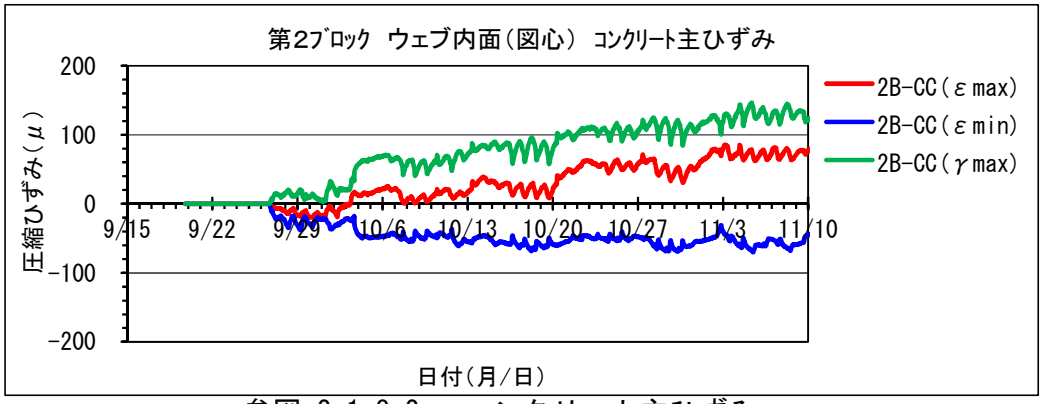


参図-2.1.7.6　鉄筋応力度

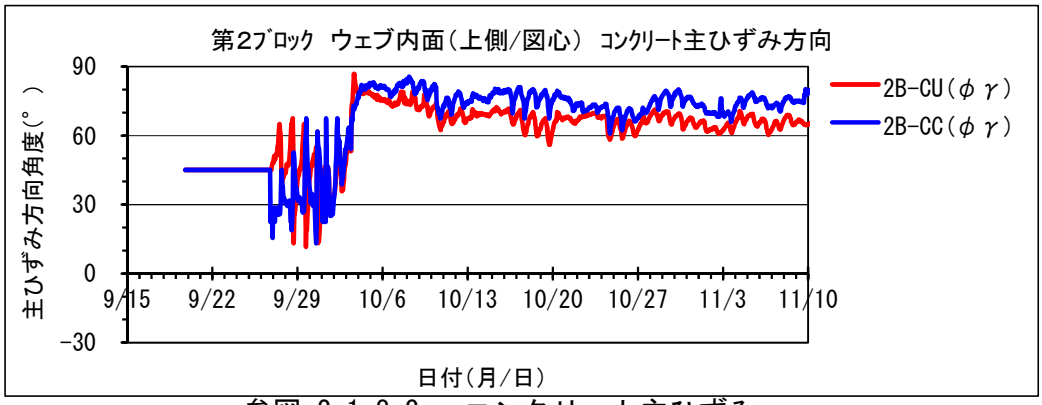
(8) コンクリート主ひずみの計測値



参図-2.1.8.1　コンクリート主ひずみ

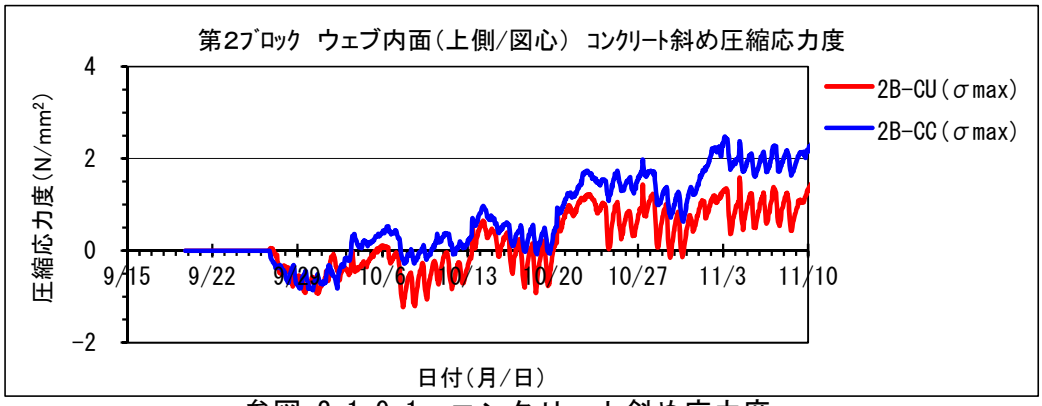


参図-2.1.8.2　コンクリート主ひずみ

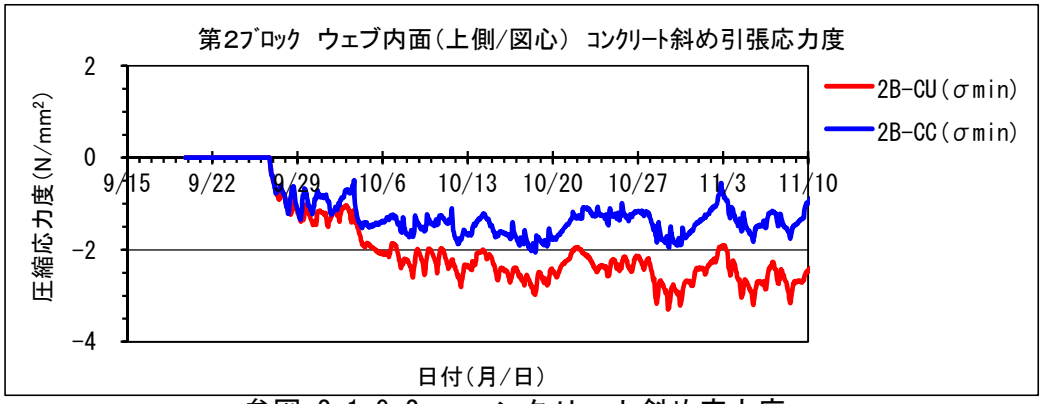


参図-2.1.8.3　コンクリート主ひずみ

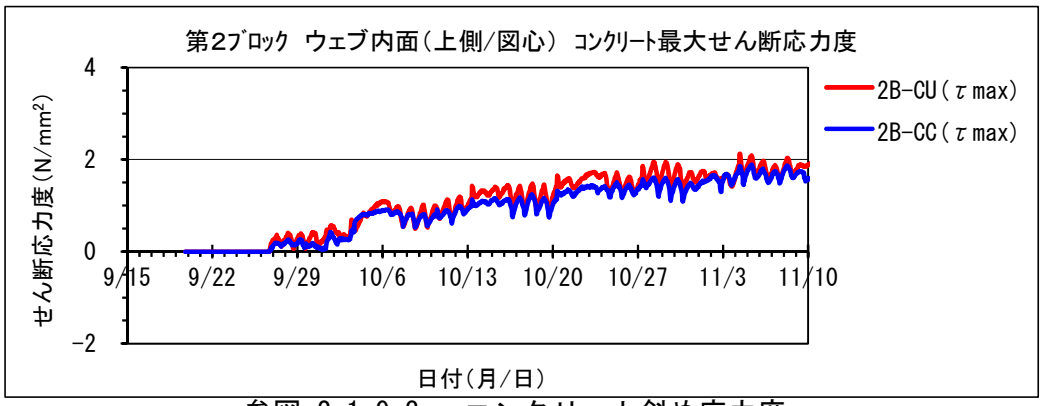
(9) コンクリート斜め応力度の計算値



参図-2.1.9.1　コンクリート斜め応力度



参図-2.1.9.2　コンクリート斜め応力度



参図-2.1.9.3　コンクリート斜め応力度

2.2 Ｐ１第 10 ブロック

(1) 計測箇所

参表-2.2.1　ゲージ名称とチャンネル番号・設置断面・部位

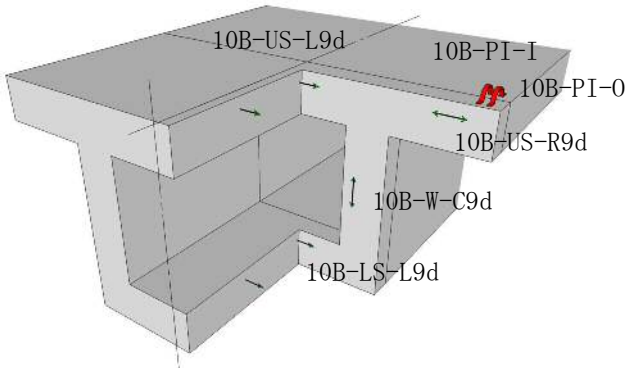
ﾁｬﾝﾈﾙ	ゲージ名 称	種類			ﾌﾞﾛｯｸ		設置部位			方向･断面				備考
		歪	変	熱	2	10	上	中	下	軸	直	鉛	45	
50	10B-PI-O					○	△							
51	10B-PI-I					○	△							
52,53	10B-US-L9d-U,L	○				○								
54,55	10B-US-L9r-U,L	●				○								
56,57	10B-US-L11a-U,L	○				○				△				
58,59	10B-US-R9d-U,L	○				○	△							
60,61	10B-US-R11a-U,L	○				○	△			△				
62,63	10B-W-C9d-U,L	○				○		○						
64,65	10B-W-C11a-U,L	○				○		○		△				
66,67	10B-LS-L9d-U,L	○				○								
68,69	10B-LS-L9r-U,L	●				○								
70,71	10B-LS-L11a-U,L	○				○				△				
72	10B-US-L11T			○		○								
73	10B-US-R11T			○		○	△							
74	10B-W-C11T			○		○		○						
75	10B-LS-L11T			○		○								
76-78	10B-CoU-X,Y,Z	◎				○		○		○		○	○	
79-81	10B-CoC-X,Y,Z	◎				○		○		○		○	○	

MEMO

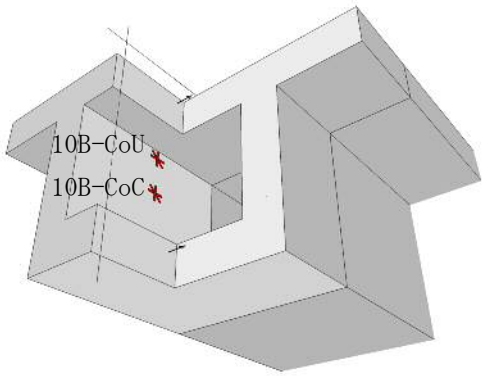
ひずみｹﾞｰｼﾞ･･･　○：鉄筋用，　◎：ｺﾝｸﾘｰﾄ用，●：ﾀﾞﾐｰ鉄筋用

設置高･部位･･･　□：構造中心，○：ウェブ部，△：張出先端

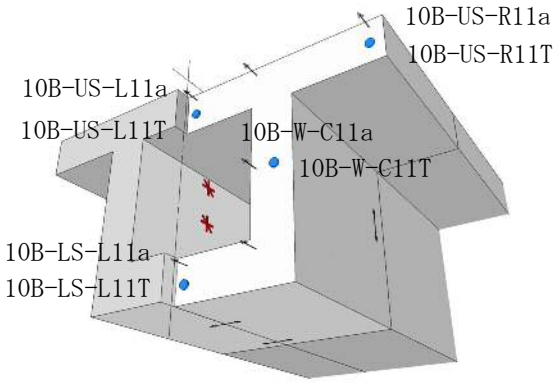
方向･断面･････　△：先端側，　○：中央部，　□：付根側



参図-2.2.1.1　第 10 ブロック付根の計測部位

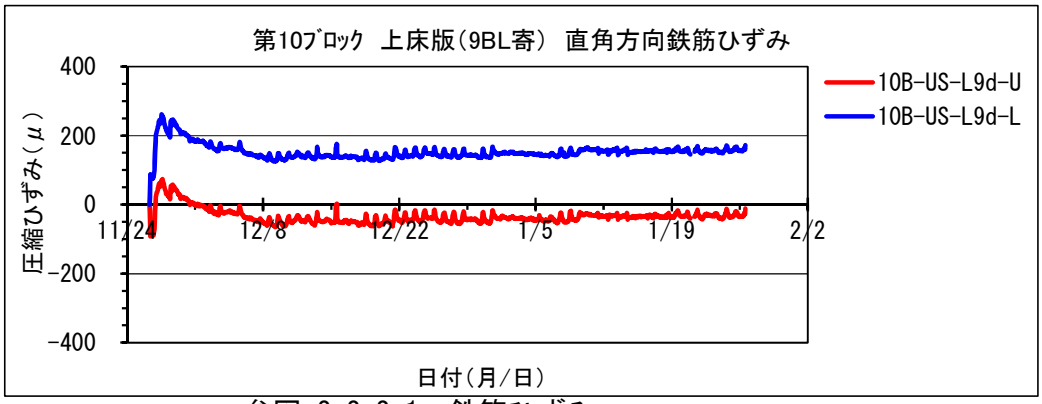


参図-2.2.1.2　第 10 ブロック中央の計測部位

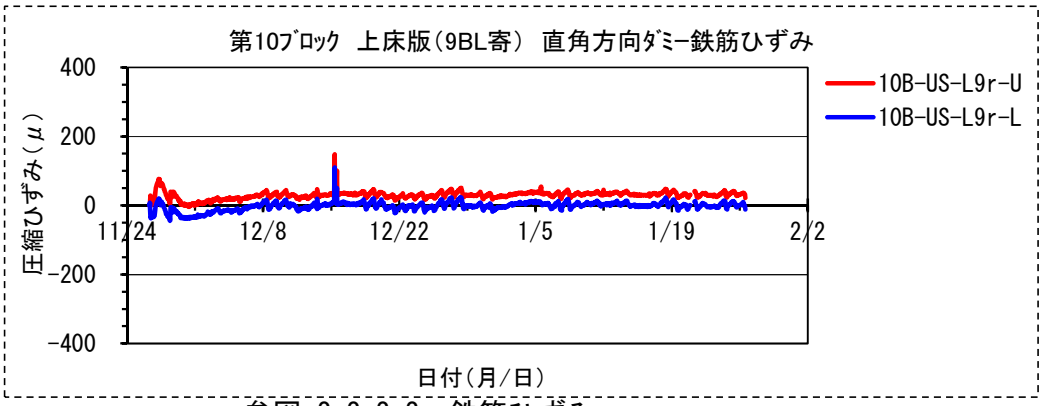


参図-2.2.1.3　第 10 ブロック先端の計測部位

(2) 鉄筋ひずみの計測値

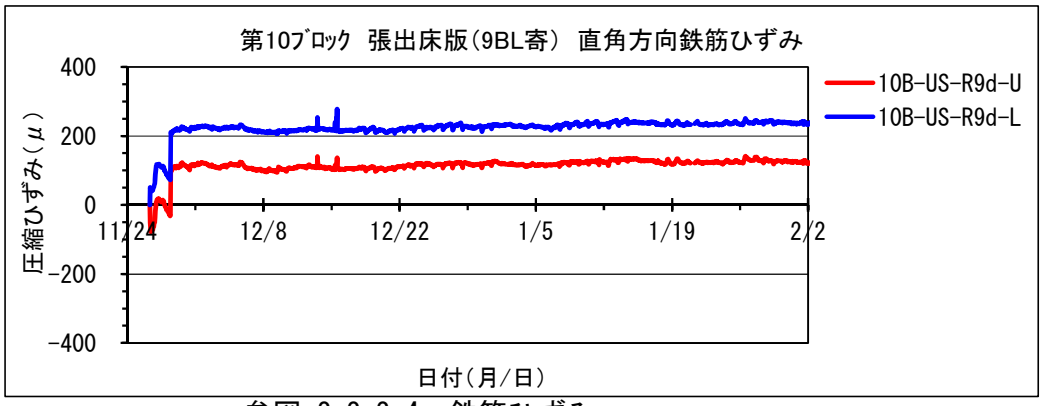


参図-2.2.2.1 鉄筋ひずみ

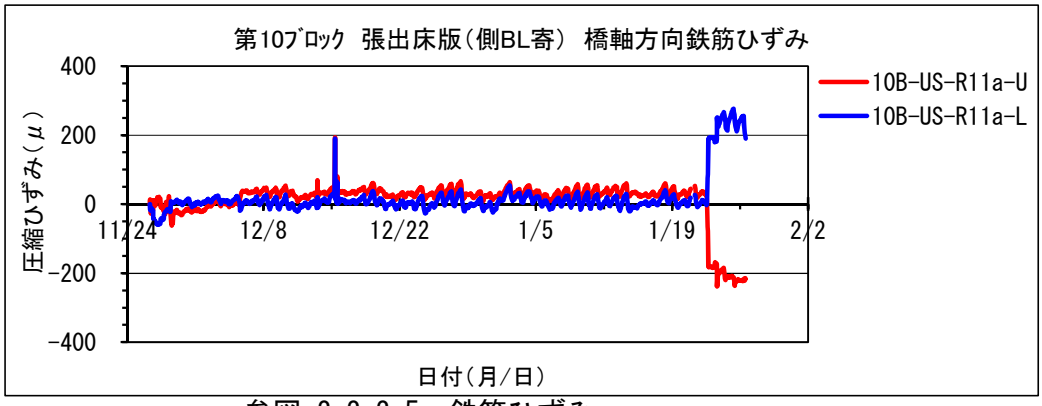


参図-2.2.2.2 鉄筋ひずみ

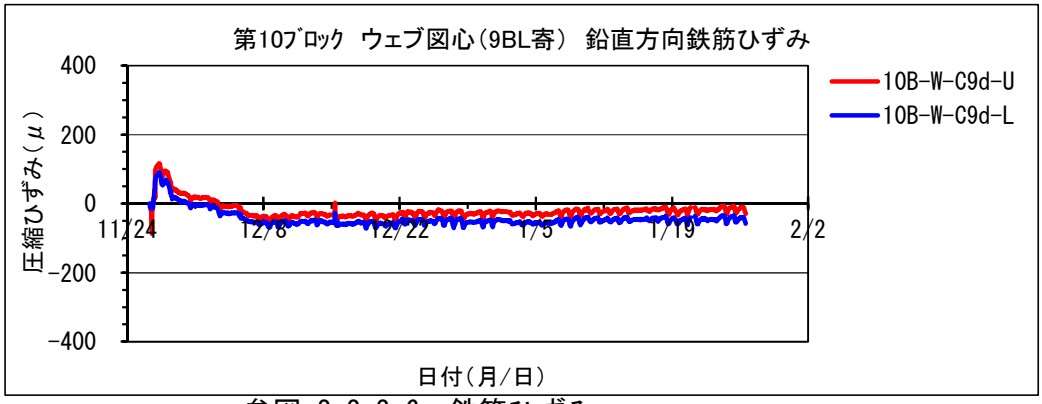
参図-2.2.2.3 鉄筋ひずみ



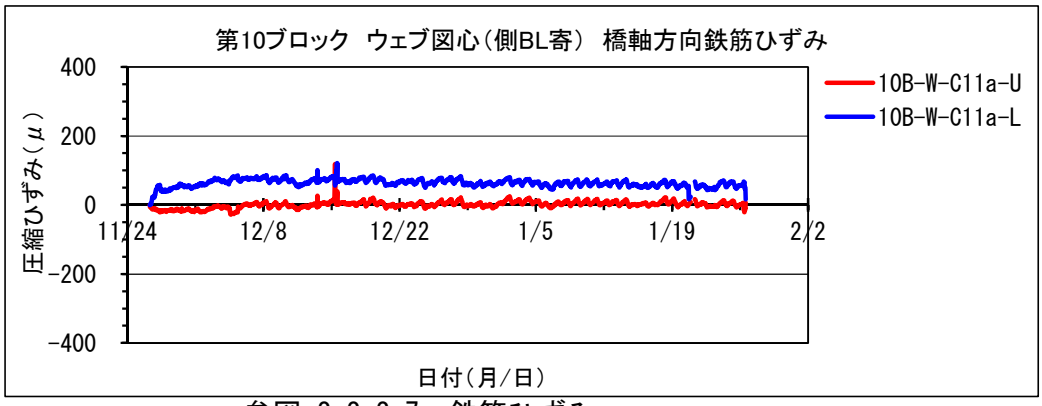
参図-2.2.2.4　鉄筋ひずみ



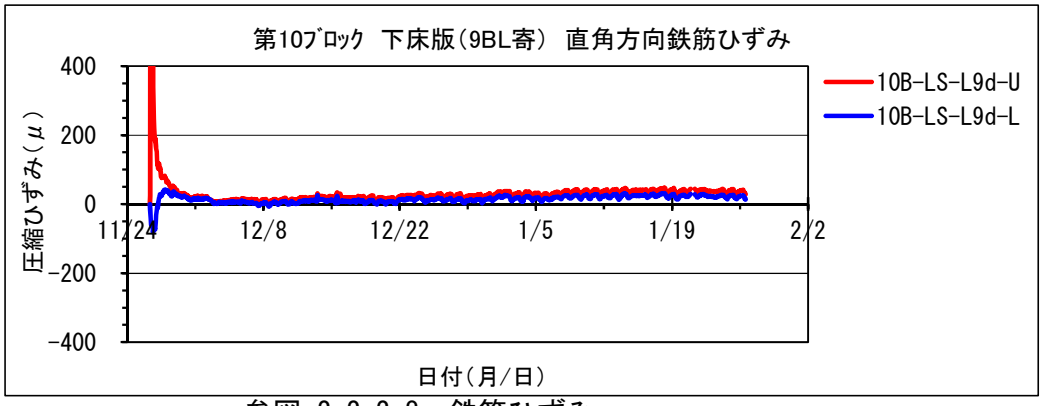
参図-2.2.2.5　鉄筋ひずみ



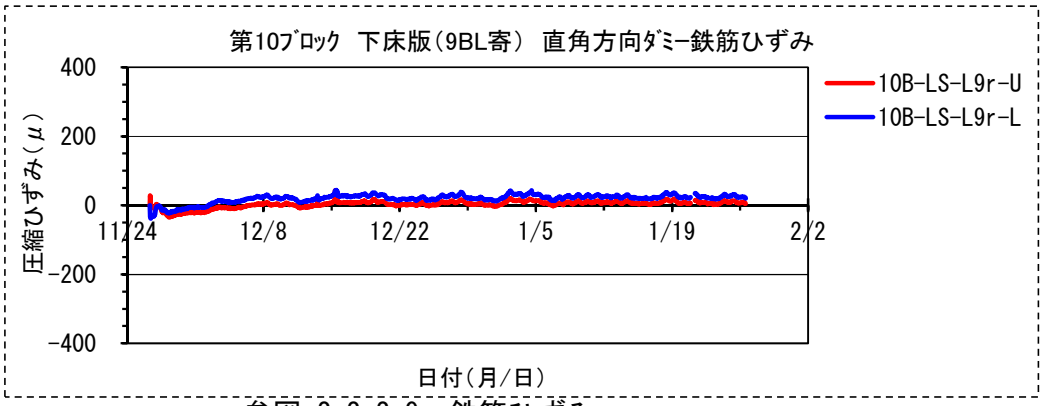
参図-2.2.2.6　鉄筋ひずみ



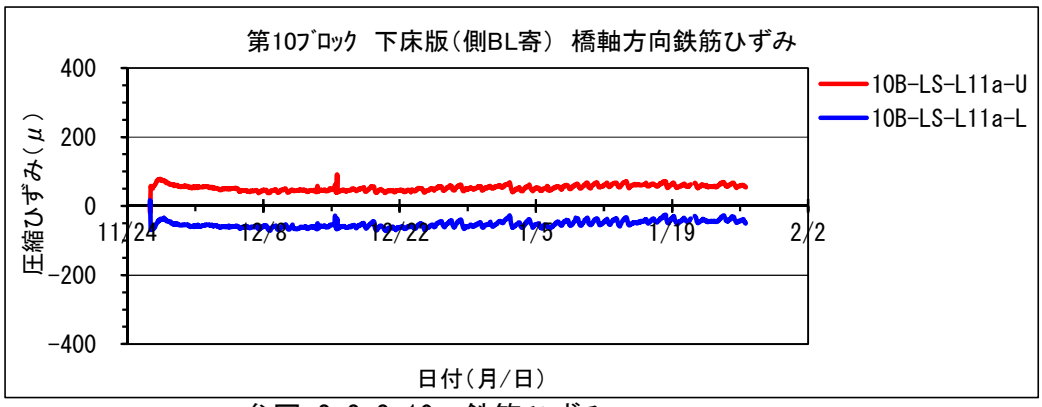
参図-2.2.2.7　鉄筋ひずみ



参図-2.2.2.8　鉄筋ひずみ

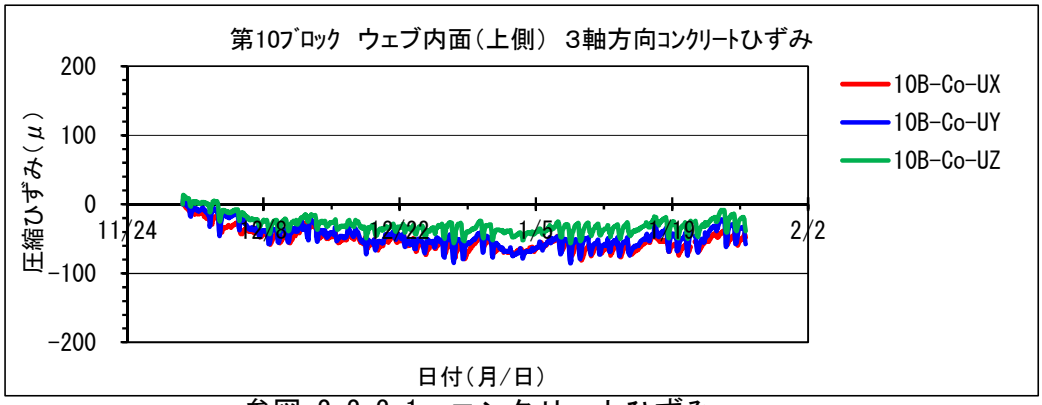


参図-2.2.2.9　鉄筋ひずみ

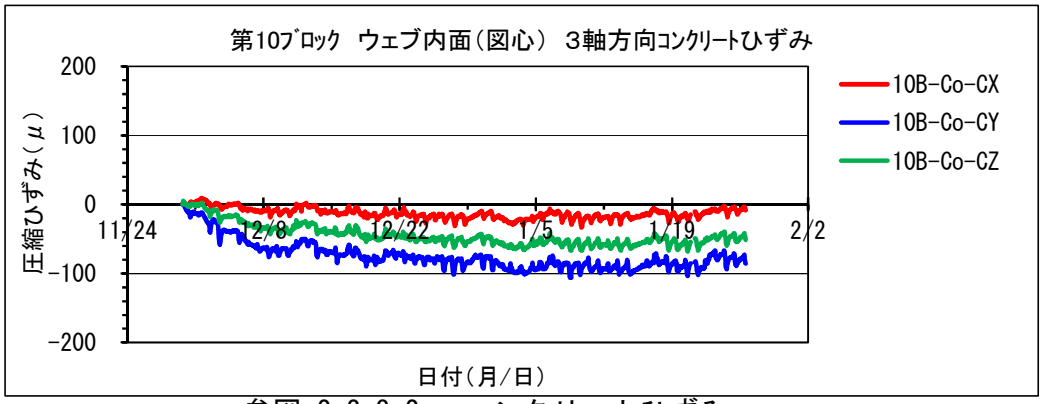


参図-2.2.2.10　鉄筋ひずみ

(3) コンクリートひずみの計測値

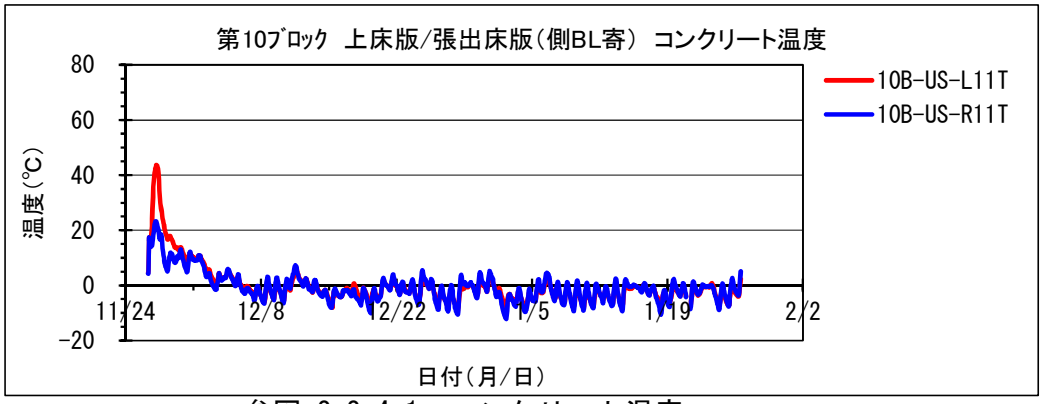


参図-2.2.3.1　コンクリートひずみ

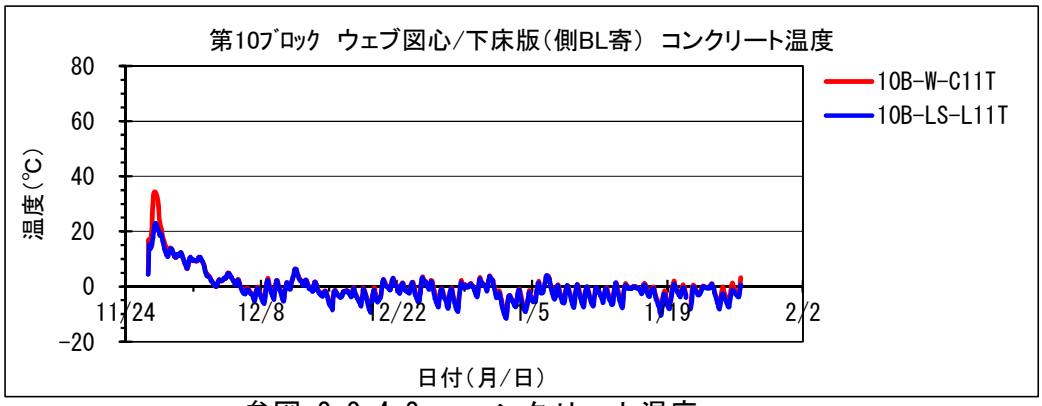


参図-2.2.3.2　コンクリートひずみ

(4) コンクリート温度の計測値



参図-2.2.4.1 コンクリート温度

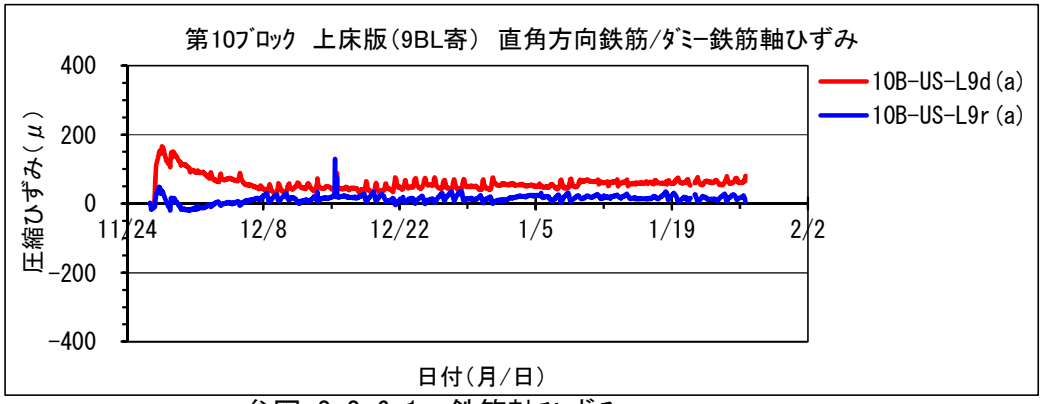


参図-2.2.4.2 コンクリート温度

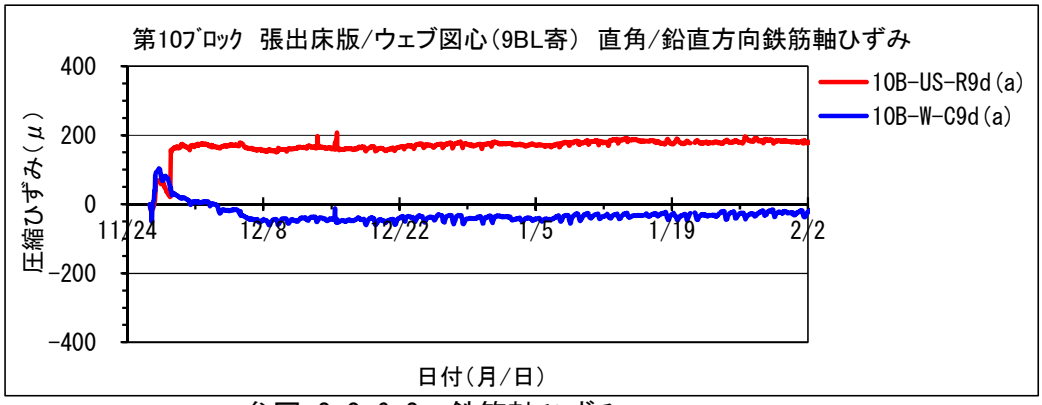
(5) 打継ぎ目地開き

参図-2.2.5.1 打継ぎ目地開き

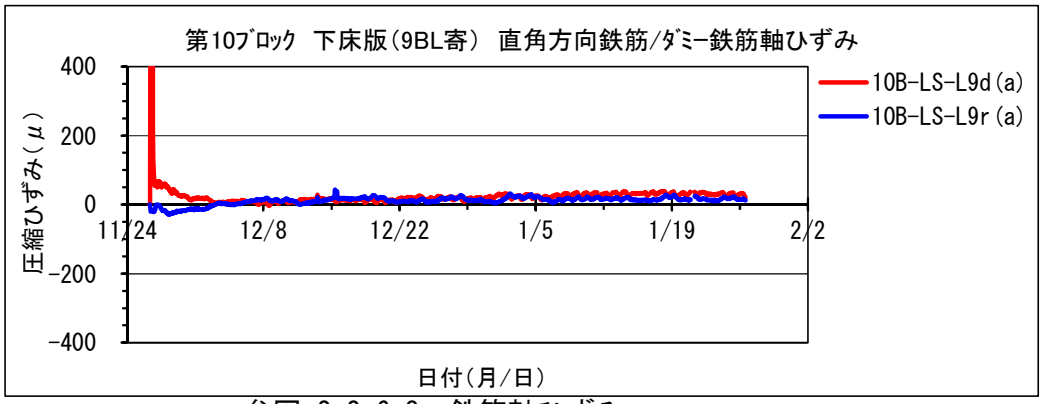
(6) 鉄筋軸ひずみの計算値



参図-2.2.6.1　鉄筋軸ひずみ

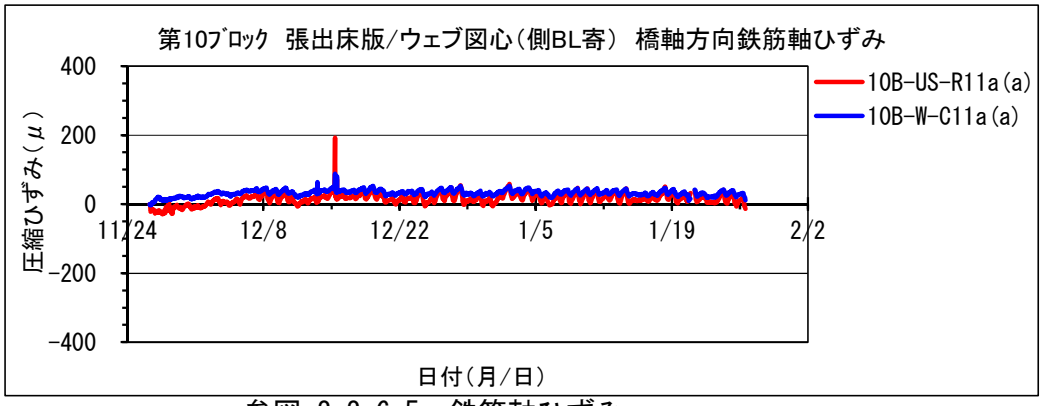


参図-2.2.6.2　鉄筋軸ひずみ

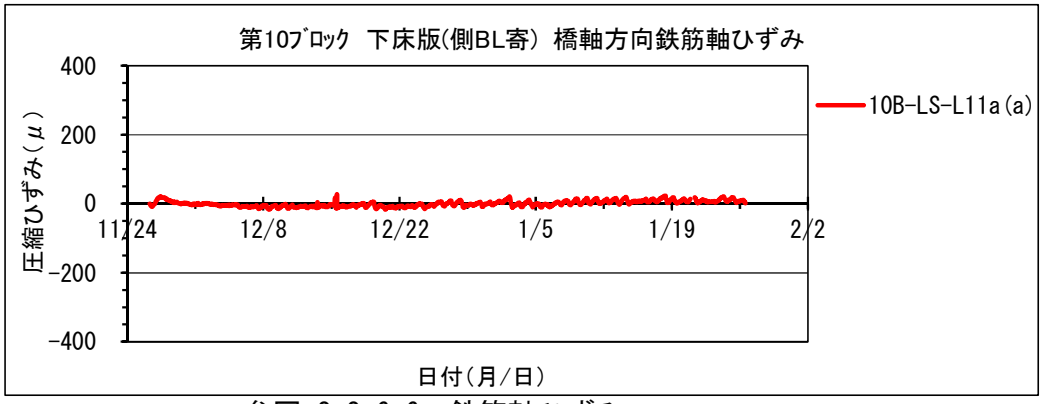


参図-2.2.6.3　鉄筋軸ひずみ

参図-2.2.6.4　鉄筋軸ひずみ

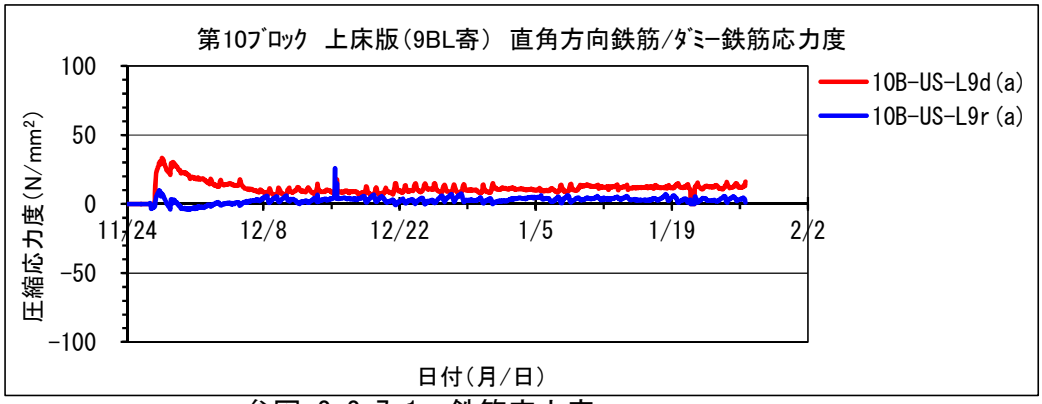


参図-2.2.6.5　鉄筋軸ひずみ

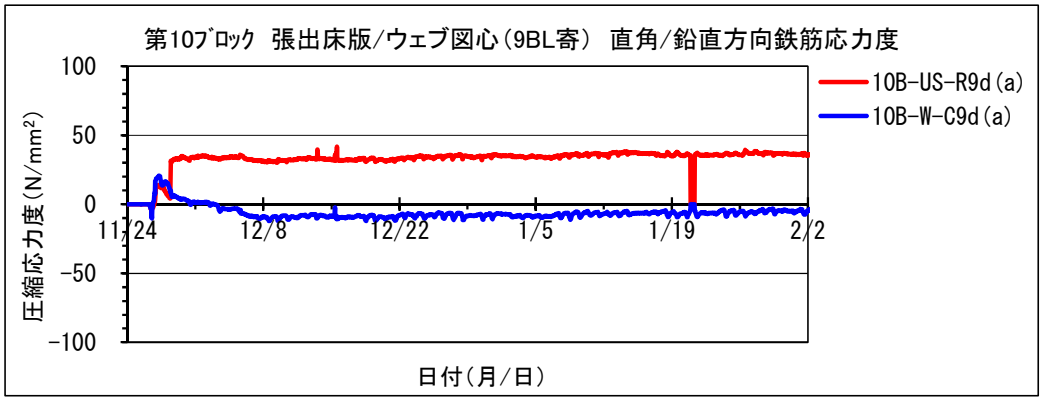


参図-2.2.6.6　鉄筋軸ひずみ

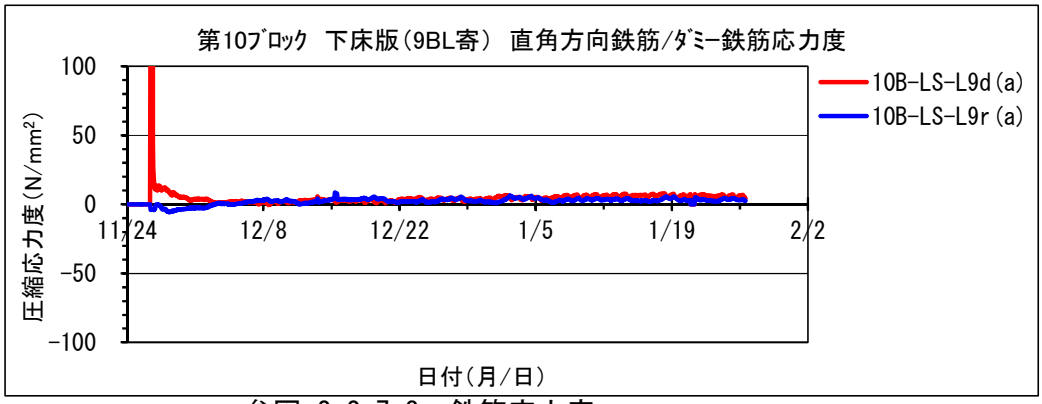
(7) 鉄筋応力度の計算値



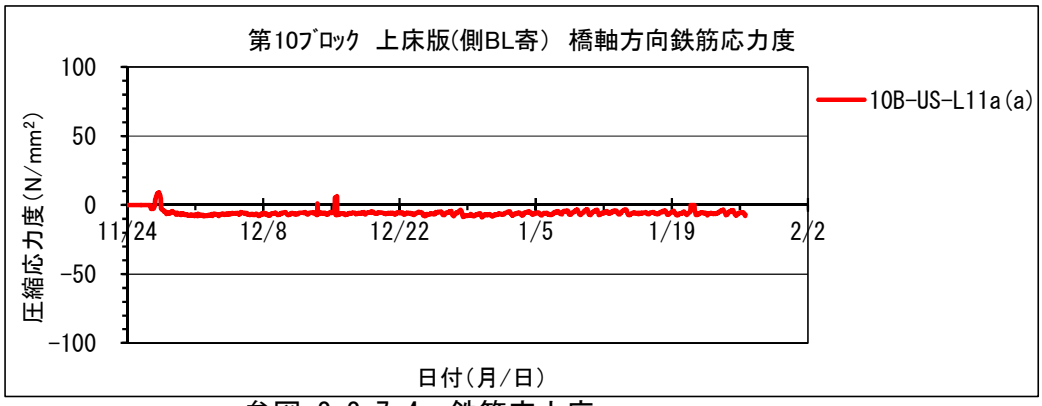
参図-2.2.7.1　鉄筋応力度



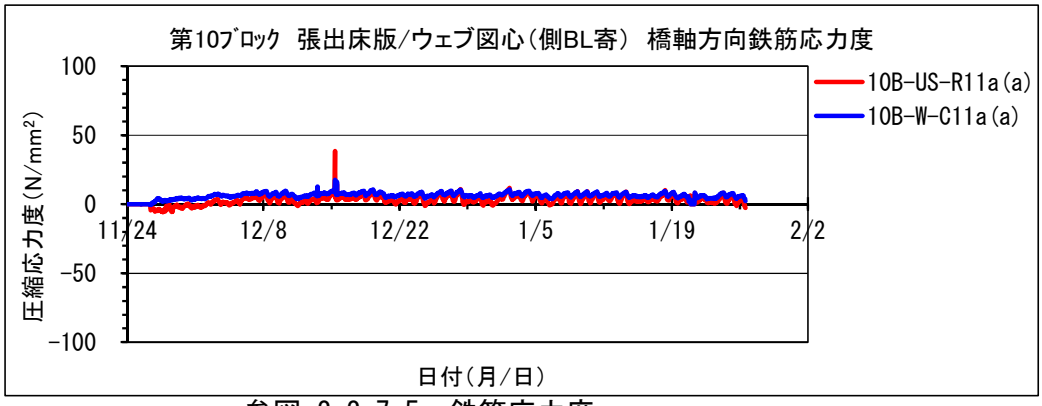
参図-2.2.7.2　鉄筋応力度



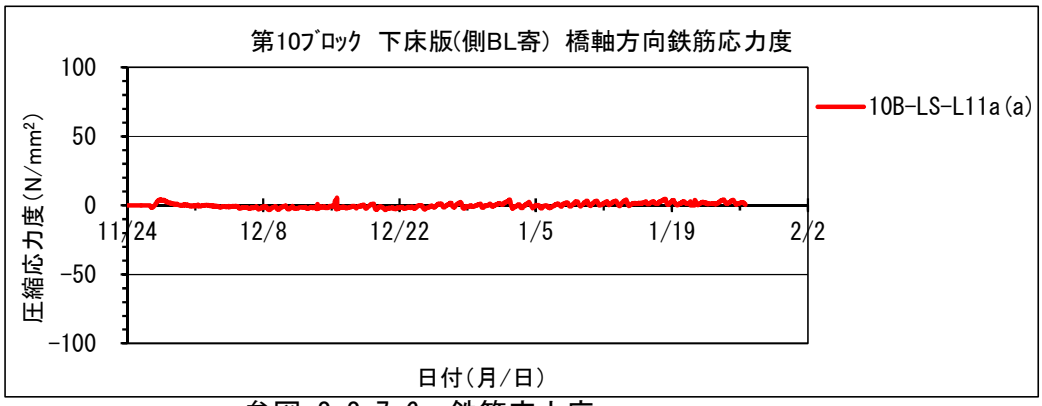
参図-2.2.7.3　鉄筋応力度



参図-2.2.7.4　鉄筋応力度

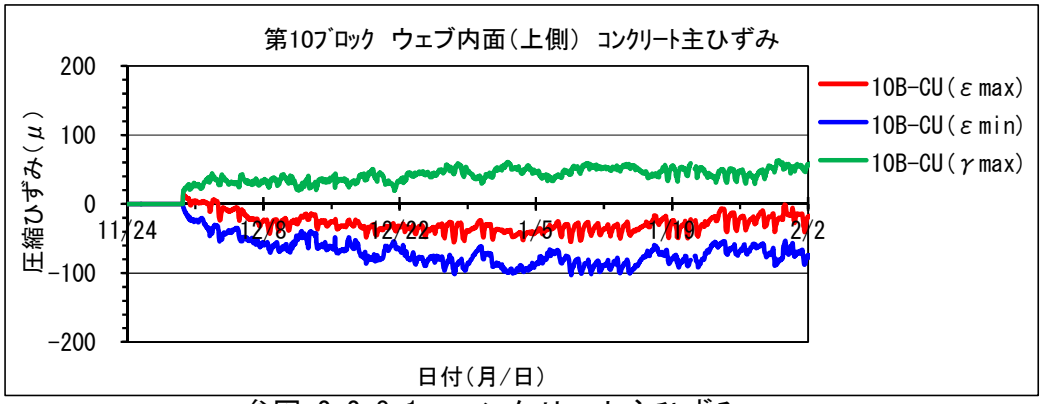


参図-2.2.7.5　鉄筋応力度

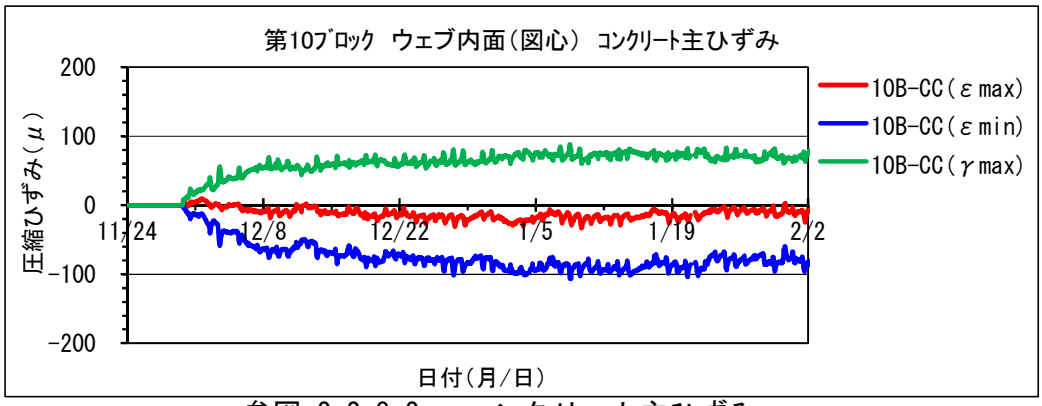


参図-2.2.7.6　鉄筋応力度

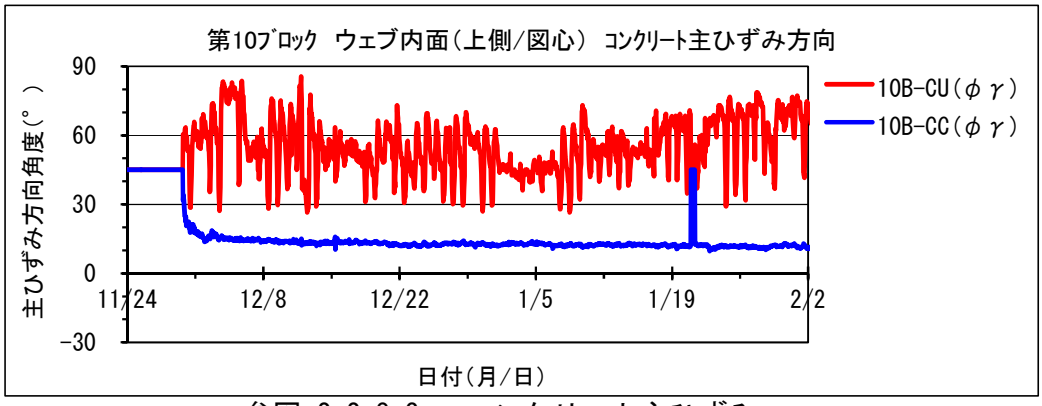
(8) コンクリート主ひずみの計測値



参図-2.2.8.1　コンクリート主ひずみ

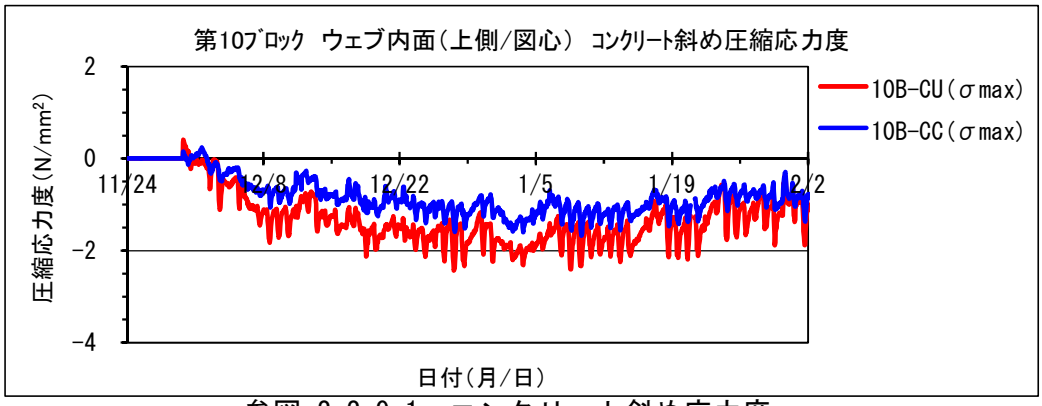


参図-2.2.8.2　コンクリート主ひずみ

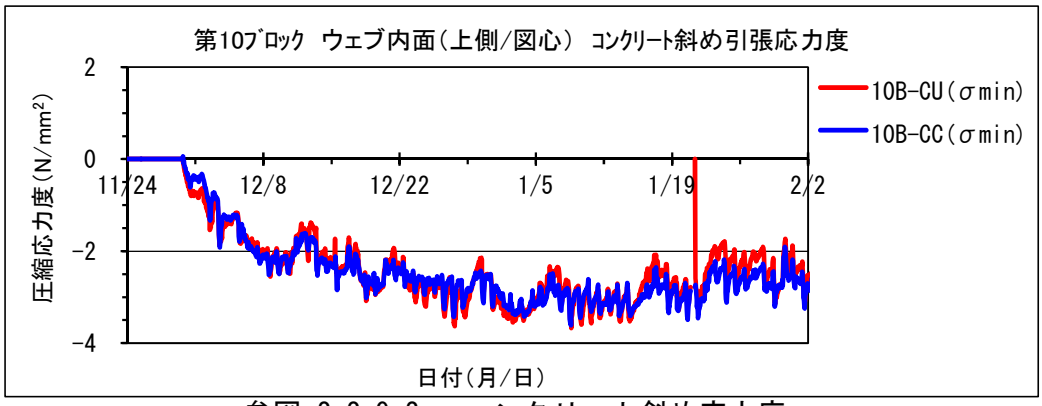


参図-2.2.8.3　コンクリート主ひずみ

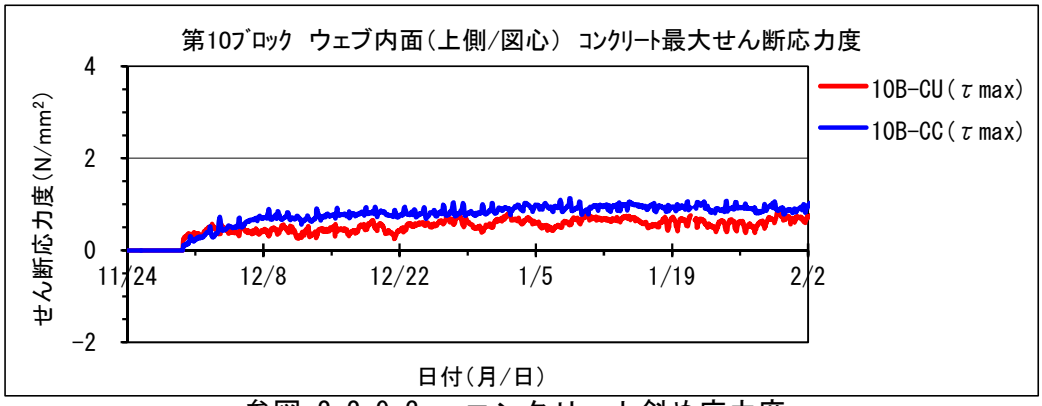
(9) コンクリート斜め応力度の計算値



参図-2.2.9.1　コンクリート斜め応力度



参図-2.2.9.2　コンクリート斜め応力度



参図-2.2.9.3　コンクリート斜め応力度

－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－
国土技術政策総合研究所資料
TECHNICAL NOTE of NILIM
N o.910 March 2016
土木研究所共同研究報告書
Cooperative Research Report of PWRI
N o.468 March 2016

編集・発行　©国土技術政策総合研究所
©国立研究開発法人土木研究所

－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－－
本資料の転載・複写の問い合わせは

国土技術政策総合研究所 企画部 研究評価・推進課
〒305-0804 茨城県つくば市旭 1 番地 電話 029-864-2675
独立研究開発法人土木研究所 企画部 業務課
〒305-8516 茨城県つくば市南原 1-6 電話 029-879-6754