

## 13.8 道路橋桁端部における腐食対策に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：橋梁構造研究グループ

研究担当者：木村 嘉富，村越 潤，田中 良樹，  
花井 拓，本間 英貴，吉田 英二

## 【要旨】

道路橋の桁端部は、鋼橋、コンクリート橋ともに、伸縮装置からの塩化物を含んだ排水により、厳しい腐食環境にある事例が多く見られる。本研究では、桁端部の腐食を中心に、原因除去による予防保全、腐食発生後の迅速、適切な調査方法及び補修・補強方法を提示する。平成 24 年度は、コンクリート道路橋に用いる簡易排水装置の試作と実橋での試験施工、PC 定着体付近におけるドリル削孔が周囲の応力状態と破壊性状に及ぼす影響に関する載荷試験、及び鋼道路橋桁端部の腐食断面欠損に対する当て板補強の実橋での試験施工を実施した。

キーワード：腐食、PC 定着部、応力集中、ドリル削孔、支圧強度、ボルト接着継手

## 1. まえがき

道路橋に見られる主要な劣化現象として、鋼部材、コンクリート部材ともに腐食(塩害)が挙げられる。鋼部材の腐食は、鋼道路橋の主な架替え理由の1つに挙げられており、長期にわたって維持管理していくためには、定期的な塗替えに加えて、腐食原因除去などの腐食環境の改善と、腐食により断面欠損が生じた部位への適切な補修、補強が重要である。特に、橋桁端部は、狭隘なため湿気がこもりやすい上に、場合により塩分を含む水が伸縮装置から漏水すること等により、腐食しやすい部位である(図-1)<sup>2)</sup>。このため、鋼橋の場合には、桁端部の断面欠損やウェブ等に孔が開く状況に至る事例も見られる<sup>2),3)</sup>。一方、コンクリート橋の塩害については、国内では沿岸部の飛来塩分に起因した塩害が著しい劣化をもたらす事例が多く見られるが、今日、凍結防止剤の散布に起因した塩害事例の報告も徐々に増加しつつある(写真-1)。コンクリート橋の場合も、桁端部周辺の厳しい腐食環境は鋼桁と同様である。特に、プレストレストコンクリート(PC)桁では、桁端部にPC鋼材の定着部が集中していて、高い圧縮応力を含む、複雑な応力状態である(図-1)。調査のコア採取や補修のはつりを行うためには、安全に配慮した調査、補修方法の検討が必要である。

以上を踏まえて、本研究では、a) 桁端部の腐食環境を迅速に改善するための腐食環境改善方法の提示、b) 安全に配慮した PC 橋桁端部の調査、補修方法の提示、c) 施工性に優れた鋼橋桁端部の補修方法の提示を目的としている。本文では、a)～c)に関連して平成 24 年度に実施した検討の概要を報告する。

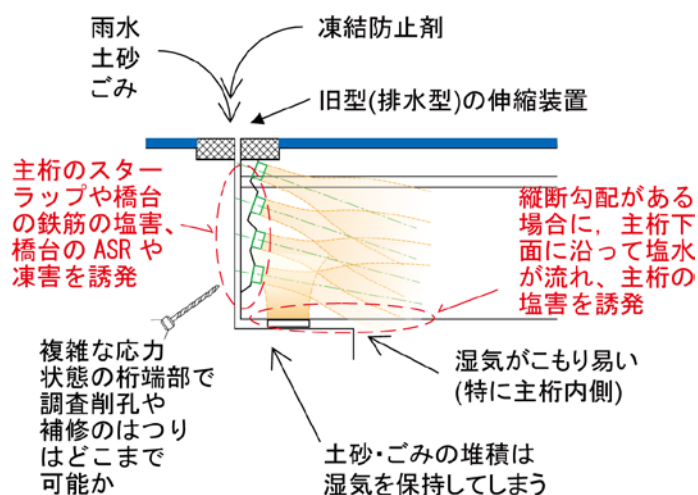


図-1 PC 橋桁端部の腐食環境と主応力分布 (概念図)



写真-1 PC 箱桁橋、桁端部の塩害事例(桁端部下面)

## 2. コンクリート道路橋桁端部の腐食環境改善に関する調査

### 2.1 概要

比較的遊間の小さいコンクリート橋の桁端部について腐食環境を改善するため、23年度より、東拓工業(株)、(株)ビービーエムそれぞれとの共同研究において、簡易排水装置の開発を目指している。24年度は、試作を検討する一方、試験施工を行うための橋梁選定を兼ねて、実際のコンクリート道路橋 21 橋の桁端部の実遊間等のディテール及び腐食環境に関する実態調査を行った。また、試験施工の対象とした 2 橋のコンクリート橋については、詳細ディテールを測定するとともに、効果確認のための塩分拭き取り調査を行った。

### 2.2 調査結果

PC 橋桁端部の実態調査では、みかけ上シールされた伸縮装置であっても路面からの漏水が少なからず見られた。漏水を改善するために簡易な排水装置を遊間に挿入することを検討しているが、調査した橋の多くは、写真-2 に示すように、施工時に横桁の型枠として使用されたと考えられる発泡スチロールが遊間に存知

されているとともに、高压電線、ガス、通信ケーブルなどのライフラインや落橋防止装置の PC 鋼が遊間を跨いで配置されており、同装置の設置に際してそれらに対する準備や配慮が必要であることがわかった。なお、調査対象橋として、土木研究所の近くの橋でも調査を行ったが、橋台の傾斜などのために遊間が設計値よりも小さい箇所が見られた。秋田県及び島根県で実施した調査では、図-2 に示すとおり、概ね設計値どおりの橋が多く見られた。

写真-3 に、簡易排水装置の試作を設置する PC 橋における桁端部の漏水状況を示す。また、図-3 に、その橋の橋台前面で塩分拭き取り調査を行った結果を示す。この橋は比較的内陸に位置するが、路面凍結防止のため凍結防止剤が散布される。橋台前面の漏水は路面から伸縮装置を通じて流れる水であると考えられ、このことから塩化物が検出されたと考えられる。その後、右岸側に簡易排水装置を設置したことから、今後、継続的に同様の調査を行い、漏水の有無、塩化物量の変化を調査する予定である。



写真-2 PC 橋桁端部とその遊間の測定状況

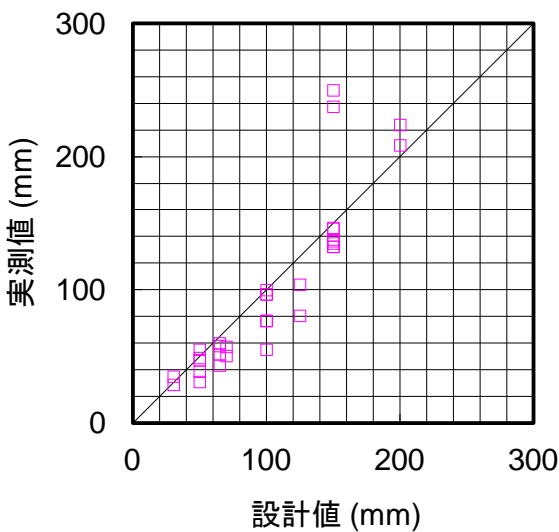


図-2 コンクリート橋の遊間の測定結果



左岸橋台前面



右岸橋台前面

写真-3 遊間からの漏水状況

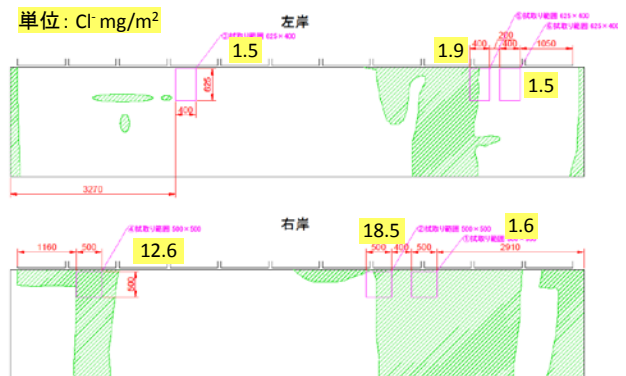


図-3 橋台前面の塩分拭き取り調査結果

### 3. ドリル削孔がPC 定着体付近の破壊に及ぼす影響に関する調査

#### 3.1 目的

PC橋の黎明期である 1950～60 年代に、PC鋼材の定着部付近のひび割れ事例が多く見られたため、定着部付近の応力解析やひび割れ防止のための配筋方法に関する研究が行われた<sup>4),5)</sup>。それらの研究成果や経験による知見を踏まえて、定着体周囲の配筋やディテールが改善された。しかし、PC桁端部で塩害が懸念される場合、主因となる塩化物イオンの浸入状況を調査するため、ドリル削孔や補修・補強のためのはつりが必要となることが想定される。その際、作業員の安全の確保及び橋自体の安全の確保が不可欠であるが、PC桁端部における削孔やはつりがそれらの安全に及ぼす影響は明確でない。平成 24 年度は、23 年度に試験を行った 3 体の供試体のうち、比較用の断面欠損のないコンクリート供試体が破壊に至らなかったため、その 1 体に今度はドリル法による塩分調査を模してドリル削孔を行い、再度荷重試験を行った。

#### 3.2 試験方法

23 年度の供試体とともに、表-1 に供試体の種類を示す。また、図-4 に供試体の形状寸法と外観を示す。供試体の幅 600mm、荷重面積 200mm×200mm は、それぞれ支間 30m 程度の PCT 桁の端部の幅と PC の定着板を実寸で模擬した。また、帯鉄筋の径と間隔も、同 PC 桁の桁端部付近のスターラップ(D10, SD295A)を模擬した。23 年度の供試体 N は、円孔のない供試体であり、2000kN まで荷重したが外見上の変化は見られなかった。なお、本文では再荷重時の供試体を NR と記す。

再荷重を行うに先立ち、図-4 に示した 4 箇所にてφ14.5mm のドリル削孔を行った。写真-4 に削孔した箇所の外観を示す。強度管理用のコアの残りがなかったため、荷重試験後に供試体 NR の下面からφ100mm のコアを削孔して、圧縮強度試験を行った。表-2 に、コンクリートの材料試験結果を示す。

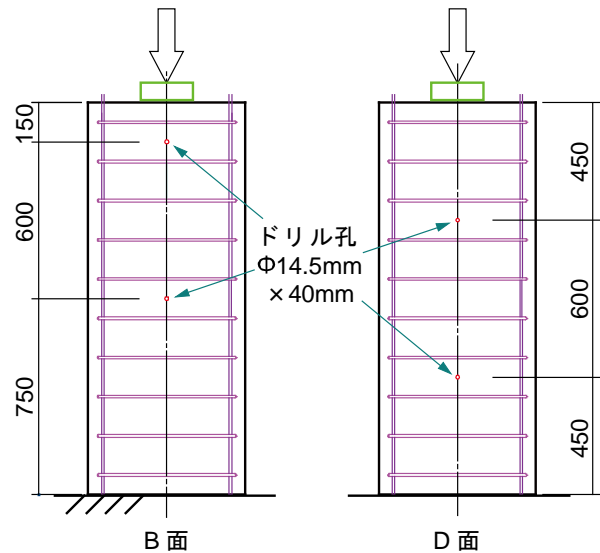
試験は、図-4 に示したとおり、上端の中央に 200mm×200mm の正方形の鋼板を配置して、鉛直方向に荷重を静的に荷重した。荷重には 30MN 万能試験機を用いた。荷重中、荷重点における変位をはじめ、各部の変位とひずみを測定した。写真-5 に、荷重点付近の変位計設置状況を示す。荷重点の変位は、荷重点四辺の各中央側面にカンチレバー変位計を設置して、その実測値の平均値とした。荷重点の設置に際しては、上端面の不陸を調整するため、厚さ 1～2mm 程度の石膏を

表-1 供試体の種類と最大荷重, 破壊状況

| 供試体       | 円孔                        | 円孔位置* (mm)                          | 最大荷重 (kN) | 破壊状況  |
|-----------|---------------------------|-------------------------------------|-----------|---|
| N         | 円孔なし                      | —                                   | (2000)    | 外見上の損傷なし                                      |
| NR<br>再荷重 | ドリル削孔<br>φ14.5mm<br>×40mm | B 面<br>150, 750<br>D 面<br>450, 1050 | 3430      | 荷重板の押し込みとともに、四方の側面に鉛直方向のひび割れ                  |
| O-1       | コア削孔<br>φ100mm<br>の貫通孔    | A 面, C 面<br>150                     | 1790      | 円孔の上下から鉛直方向のひび割れ、円孔を中心に斜め方向の放射状ひび割れ、荷重板に沿った陥没 |
| O-2       | コア削孔<br>φ100mm<br>の貫通孔    | A 面, C 面<br>300                     | (2000)    | 円孔の上下から鉛直方向のひび割れ                              |

注 1) \*円孔中心の位置, 上端からの距離

2) 括弧内は終局破壊なし, 試験機最大能力による。



注) 供試体 N の再荷重前にドリル削孔した

図-4 供試体 NR の形状寸法

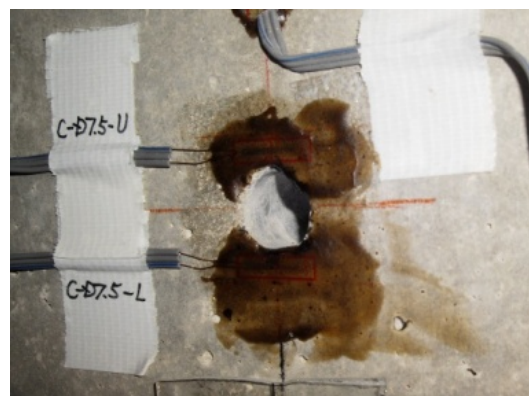


写真-4 ドリル削孔(供試体 NR)



表-2 コンクリートの強度試験結果

|      | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾性係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | ポアソン比 | 割裂引張<br>強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 材齢<br>(日) |
|------|------------------------------|-------------------------------|-------|------------------------------------|-----------|
| 載荷前  | 32.4                         | 21.8                          | 0.147 | 2.6                                | 131       |
| 載荷後  | 32.1                         | 22.4                          | 0.162 | 2.8                                | 140       |
| 再載荷後 | 39.3                         | 27.9                          | 0.198 | 2.5                                | 470       |

注) 試験前及び試験後のデータは、供試体と同じ養生によるコア3本の平均値、再載荷後のデータは試験後の供試体Nの底面から採取したコア3本の平均値

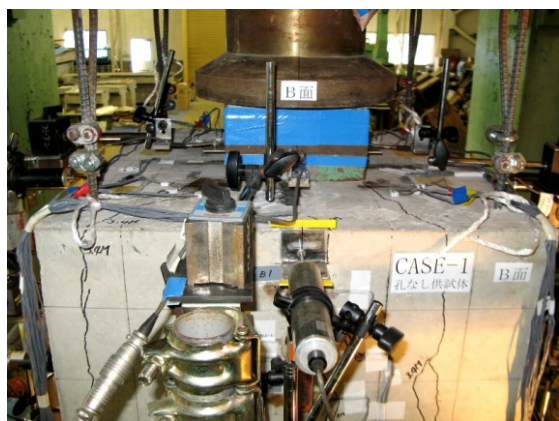


写真-5 載荷点付近の状況

載荷板と供試体の間に敷いた。

### 3.3 結果

図-5 に、荷重-載荷点変位の関係を 23 年度の試験結果とともに示す。また、図-6 にひび割れ図を示す。図中のひび割れ発生荷重は、目視により確認したときの荷重である。供試体 NR は、3000 kN で上縁から 150 mm 位置のドリル孔の近くに概ね鉛直方向のひび割れが発生し、若干の荷重の低下が見られた。その後、さらに荷重が増加して、3430 kN で側面、鉛直方向のひび割れが急激に進行して、急激に荷重が低下するとともに、変位が増加した。さらに載荷を続けたが、1 回目のピーク荷重を超えることはなかった。

3000 kN で発生したドリル孔付近のひび割れは、表面のドリル孔縁から数 mm 離れていたが、ドリル孔の奥に鉛直方向のひび割れが発生していた(写真-6)。このことから、ドリル孔先端(奥)における応力集中が、このひび割れ発生に影響したことが考えられる。また、この位置でのひび割れ発生は、荷重-変位に若干の影響を及ぼしていると考えられる。有効プレストレスへの影響を含めて、さらに測定データの分析を進める予定である。

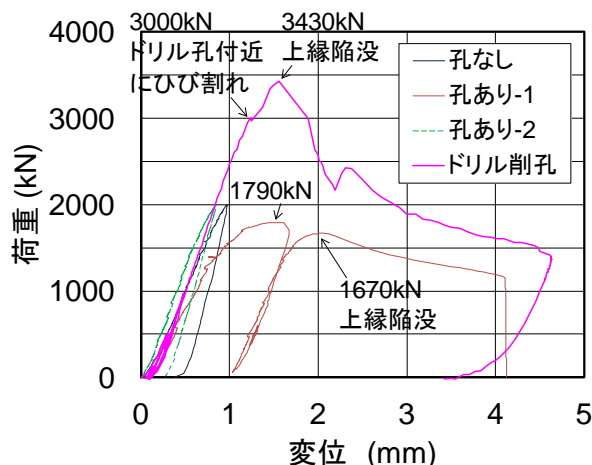


図-5 荷重-変位の関係

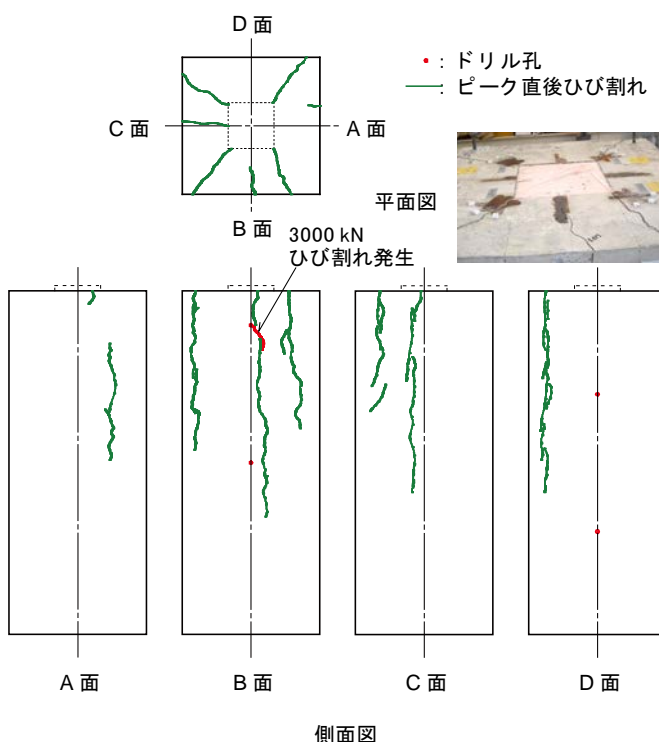


図-6 供試体 NR のひび割れ図  
(右上の写真は上縁の陥没状況を示す)



写真-6 ドリル削孔付近のひび割れ

#### 4. 鋼道路橋桁端部の腐食断面欠損に対する当て板補強の試験施工

##### 4.1 目的

鋼道路橋の桁端部で腐食による断面欠損が生じた場合、所要の強度や剛性を確保するため部材交換や当て板補強等が必要となる<sup>6)</sup>。これまで行った断面欠損部を有する鋼桁の荷重試験では、当て板補強をすることで、断面欠損部の応力集中が大きく改善されることを確認した<sup>6)</sup>。引き続き、桁端部における応急対策としての当て板補強の施工性を確認するため、桁端部が腐食している鋼道路橋で試験施工を行った。対象橋梁は、日本海の海岸線から4.7kmに位置し、1970年に架設された単純鋼合成鉄桁橋(7径間×支間長32.1m)である。1998年に塗装の塗替えが行われたが、その後の塗装の劣化、腐食が著しく、特に、桁端部ではウェブ及び下フランジに孔が開く状況に至っていた(写真-7)。本試験施工にあわせて、当て板の効果を確認するため、当て板の施工前後に大型車による走行荷重試験及び24時間応力頻度測定を実施した。

##### 4.2 当て板補強の施工

写真-7のとおり、対象とした桁端部は、上流側(写真に示す側)の腐食が著しく、特に、下フランジでは上流側の半分近くの断面が欠損していた。また、ウェブには下フランジ及び補剛材に沿うように断面を貫通する腐食が見られた。図-7, 8に、当て板補強の概要、当て板補強の施工フローをそれぞれ示す。腐食による凹凸が著しいことから、当て板と鋼板の隙間にエポキシ樹脂系パテ材(低温用、以下、樹脂という)を充填して、ボルト接着継手<sup>7)</sup>とした。また、ウェブの当て板は、樹脂の接着効果を期待して、高力ボルトの本数を4本とした。写真-8に、当て板補強の作業状況を示す。接合面は、腐食再発を防止するため、また所要の接着強度を得るため、グリットブラスト及び電動たがねにより錆の除去を行った。現場で支承との取り合いを確認した上で、当て板の切欠き等の部分加工を行った。鋼板を貫通する断面欠損部は、応力集中を軽減させるため、耐力低下に影響しない範囲で、ホールソー、グラインダを用いて整形した。樹脂は、充填不足を防ぐため、主桁側及び当て板側の両接合面に塗布した。当て板は、接合面に樹脂が行きわたるように仮ボルトと高力クランプ(仮設用挟締金具)で軽く押えた上で、ずれないように仮止めして、24時間以上(この施工では36時間)の養生を行った。樹脂の引張せん断接着強度(JIS K6850)は、22.1MPa(20℃、7日養生)であった。当て板の周囲及びボルト孔にはみ出た樹脂は、塗装の弱点

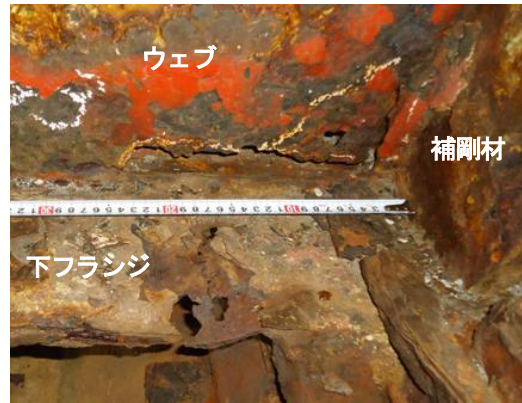


写真-7 桁端部の腐食状況

図-7 断面欠損部の当て板補強

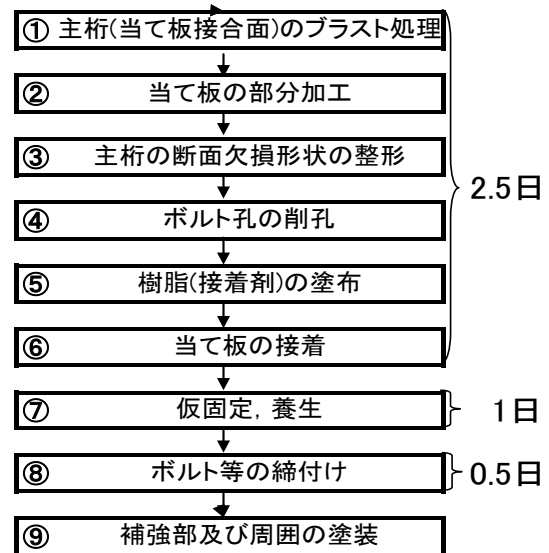


図-8 当て板補強の施工フロー

や軸力導入の妨げとならないように硬化前に除去した。なお、接着及び養生時の気温は、0.2～6.2℃であった。樹脂の硬化後、ウェブ面は高力ボルトを用いて、下フランジ面及び補剛材面は高力クランプを用いて、目標導入軸力に相当するトルクで締め付けて、当て板を固



(a) 当て板設置前



(b) 当て板設置後

写真-8 当て板補強の作業状況(上流側から撮影)

定した(1回目 60%の二度締め)。

#### 4.3 試験方法

図-9 に、桁端部におけるひずみ測定位置を示す。L形に切り欠いた断面欠損部は、緑の応力集中が生じる箇所にはひずみゲージを貼り付けた。比較のために、当て板補強した主桁 G3 の支承から支間 1/4 点の下フランジ下面のひずみも計測した(図-10)。当て板の施工前と施工後で、荷重車(総重量 20t のダンプ車、中後軸の合計重量 13.6t)による走行載荷試験を実施し、G3 桁端部を中心に各部のひずみを測定した。また、当て板の施工前、施工後ともに、走行載荷試験後、24 時間応力頻度測定を行った。

#### 4.4 試験結果

表-3 に、走行載荷試験におけるひずみ測定結果を示す。補強部-1~4 のひずみは、当て板施工後に大幅に減少しており、当て板を施工することによる補強の効果が明確に見られた。支間 1/4 点のひずみは、施工前後での増減がほとんどなく、荷重車の走行位置の影響は軽微であったと考えられる。表-4 に、24 時間応力頻度測定における最大ひずみ範囲(レインフロー法)を示す。応力頻度測定でも、走行載荷試験の結果と同様に、補強部-1~4 のひずみが、ともに顕著に減少していた。各部のひずみは、走行載荷試験時の値より 2 倍程度大きくなった。これは、トレーラ等の荷重車の重量を超える大型車両の走行によるものと考えられる。

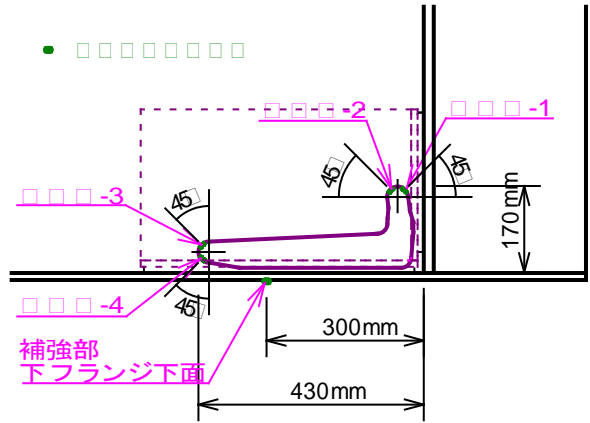


図-9 桁端部におけるひずみ測定位置

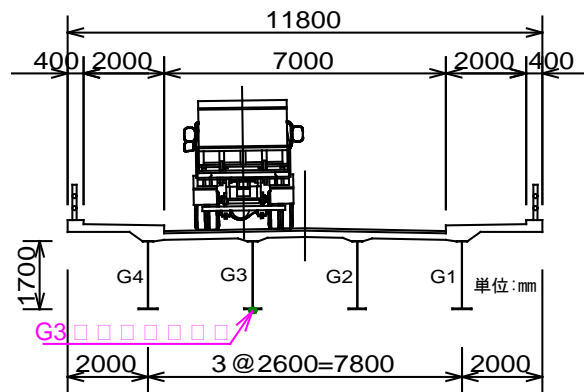


図-10 対象橋の断面図と荷重車の走行位置 (支間 1/4 点)

表-3 走行載荷試験における各部のひずみ

|            | 補強部-1<br>( $\mu$ ) | 補強部-2<br>( $\mu$ ) | 補強部-3<br>( $\mu$ ) | 補強部-4<br>( $\mu$ ) | 補強部<br>下フランジ下面<br>( $\mu$ ) | G3支間1/4点<br>下フランジ下面<br>( $\mu$ ) | 鋼板温度<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 当て板<br>設置前 | -705               | 93                 | 368                | -113               | -35                         | 64                               | 2.7                            |
| 当て板<br>設置後 | -52                | -29                | 24                 | 20                 | -33                         | 61                               | 6.8                            |

※(+)は引張、(-)は圧縮 ※試験車両のみ載荷した、計測3回の平均ひずみ

表-4 24 時間応力頻度測定による最大ひずみ範囲

|            | 補強部-1<br>( $\mu$ ) | 補強部-2<br>( $\mu$ ) | 補強部-3<br>( $\mu$ ) | 補強部-4<br>( $\mu$ ) | 補強部<br>下フランジ下面<br>( $\mu$ ) | G3支間1/4点<br>下フランジ下面<br>( $\mu$ ) | 鋼板温度<br>( $^{\circ}\text{C}$ ) |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| 当て板<br>設置前 | 1350               | 225                | 675                | 550                | 180                         | 135                              | 2.0~8.1                        |
| 当て板<br>設置後 | 90                 | 95                 | 90                 | 55                 | 70                          | 140                              | 4.5~8.8                        |

なお、補強部下フランジ下面のひずみは、走行載荷試験では当て板施工前後の差が見られなかったが、24 時間応力頻度測定では半分以下に減少した。その理由について、現時点では特定できていない。

当て板施工後の断面欠損部のひずみは、施工前に比べ、走行載荷試験、24 時間応力頻度測定ともに大幅に

減少する結果となり、比較的ボルト本数が少なく、仮設用の高力クランプを併用した当て板固定であっても、活荷重に対する補強効果が見られた。試験施工した当て板補強は、経過観察を行うとともに、地震時の水平荷重に対する効果について室内試験により確認する必要がある。

## 5. あとがき

本文では、まえがきで記した a)~c)それぞれの目的に関連して、平成 24 年度に実施した主な検討内容を示した。特に、コンクリート橋桁端部の腐食環境改善技術として、民間 2 社と実施している簡易排水装置の開発では、両者ともに試作の製作と実橋における試験施工を行うことができ、それぞれ開発目標に大きく近付くことができた。これらの検討のほか、鋼桁ウェブへの鋼板接着補強の設計法に関する載荷試験、撤去された鉄筋コンクリート桁の載荷試験及び桁端部解体調査、排水管に用いられる塩化ビニル、ゴム、ポリエチレンの機械的性質に関する材料試験を実施した。

**謝辞：**現地調査及び試験施工にご協力いただいた秋田県、茨城県及び島根県の関係各位に感謝致します。

## 参考文献

- 1) 西川和廣, 村越潤, 上仙靖, 福地友博, 中島浩之: 橋梁の架替に関する調査結果(Ⅲ), 土木研究所資料第 3512 号, 1997.10.
- 2) 田中良樹, 村越潤: 道路橋桁端部における腐食環境の評価と改善方法に関する検討, 土木技術資料, Vol.50, pp.16-19, 2008.11.
- 3) 村越潤, 田中良樹, 船木孝仁: 鋼橋桁端部の腐食対策に関する研究, 土木研究所資料第 4142 号, 2010.3.
- 4) 藤井学: PC に対する設計上の諸問題(静定構造), プレストレストコンクリート最近の進歩, 昭和 41 年度講習会テキスト, 土木学会関西支部, pp.37-56, 1966.11.
- 5) 六車熙, 岡本伸: 局部荷重を受けるコンクリートの支圧強度に関する研究, プレストレストコンクリート, 5-5, pp.22-29, 1963.10.
- 6) 村越潤, 田中良樹, 船木孝仁: 鋼橋桁端部の腐食対策に関する研究, 土木研究所資料, 4142 号, 2010.3.
- 7) 村越潤, 田中良樹, 船木孝仁: 接合面にエポキシ樹脂を塗布したボルト継手の力学的挙動に関する実験的研究, 構造工学論文集, No.54A, pp563-574, 2008.3.

## RESEARCH ON RETROFITTING FOR CORRODED GIRDERS AROUND EXPANSION JOINTS

**Budget :** Grants for operating expenses,  
General account

**Research Period :** FY2011-2015

**Research Group :** Bridge and Structural  
Engineering Research Group

**Authors :** KIMURA Yoshitomi,  
MURAKOSHI Jun,  
TANAKA Yoshiki,  
HANAI Taku,  
HONMA Hidetaka,  
YOSHIDA Eiji

### **Abstract :**

Both steel and concrete girders near expansion joints in highway bridges often suffer from severe corrosion due to drainage and leakage water containing deicing salts. To reduce the corrosion issues near the expansion joints, the measures for removing major factors inducing the corrosion, and the investigation and retrofitting methods are examined. In FY2012, the development and field tests of new drainage systems for the expansion of existing concrete bridges, the loading test of the local anchorage zone of concrete girders with drilled holes, and the field test of a strengthening method using bolted and adhesively-bonded splice plates for the severely corroded end of steel girders were carried out.

**Key words :** corrosion, anchorage zone, stress concentration, drilling, bearing capacity, bolted and adhesively-bonded joint