
第 6 回 CAESAR 講演会

開催日：平成 25 年 9 月 11 日(水)

会 場：一 橋 講 堂

独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)

目 次

■ 基 調 講 演

人口減少社会と次世代インフラの課題	3
-------------------------	---

日本学術会議会長

大西 隆 氏

■ 報 告 「CAESAR の 5 年間の活動及び今後の取り組み」

インフラ高齢化と CAESAR の活動	7
CAESAR 橋梁構造研究グループ長	松浦 弘

道路橋の損傷と現場への支援	17
CAESAR 上席研究員	石田 雅博

鋼橋の劣化損傷と技術開発	35
CAESAR 上席研究員	村越 潤

コンクリート橋の劣化損傷と技術開発	53
CAESAR 上席研究員	木村 嘉富

性能目標に応じた橋の耐震対策と津波の影響への対応	81
CAESAR 上席研究員	星隈 順一

道路橋基礎における地震時被害等への対応	103
CAESAR 上席研究員	七澤 利明

基 調 講 演

**人口減少社会と次世代インフラの課題
ーインフラとまちづくり**

第6回 CAESAR 講演会

2013 年 9 月 11 日（水） 13:05-14:00

大西隆 慶應大学特別招聘教授

日本学術会議会長

1 時代の変化を展望する

- バックキャスティングによる、2050 年、2030 年の日本。
- 人口減少社会、アジアの時代、低炭素社会、分権・参加型ガバナンス、安全安心社会の構築が変化の鍵。

2 人口減少が国土に及ぼす影響

- 無居住地域の拡大
- サービス支持人口の減少によるサービス供給の停滞

3 科学技術イノベーションとインフラ

- 科学技術イノベーション総合戦略の柱
- 世界に先駆けた次世代インフラ
 - ー効果的かつ効率的なインフラ維持管理・更新の実現
 - ー自然災害に対する強靱なインフラの実現
 - ー高度交通システムの実現
 - ー次世代インフラ基盤の実現

4 低炭素型まちづくり

- 低炭素政策その構造
- お茶の水、丸の内、北九州等の取組

5 コンパクトなまちづくり

- コンパクトシティのアイデア
- 富山市の考え方

6 中心市街地活性化

- 長岡と高松の取組

7 まとめ

報 告 「CAESAR の 5 年間の活動及び今後の取り組み」

平成25年9月11日

CAESAR講演会

インフラ高齢化と CAESARの活動

独立行政法人土木研究所
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長
松浦 弘

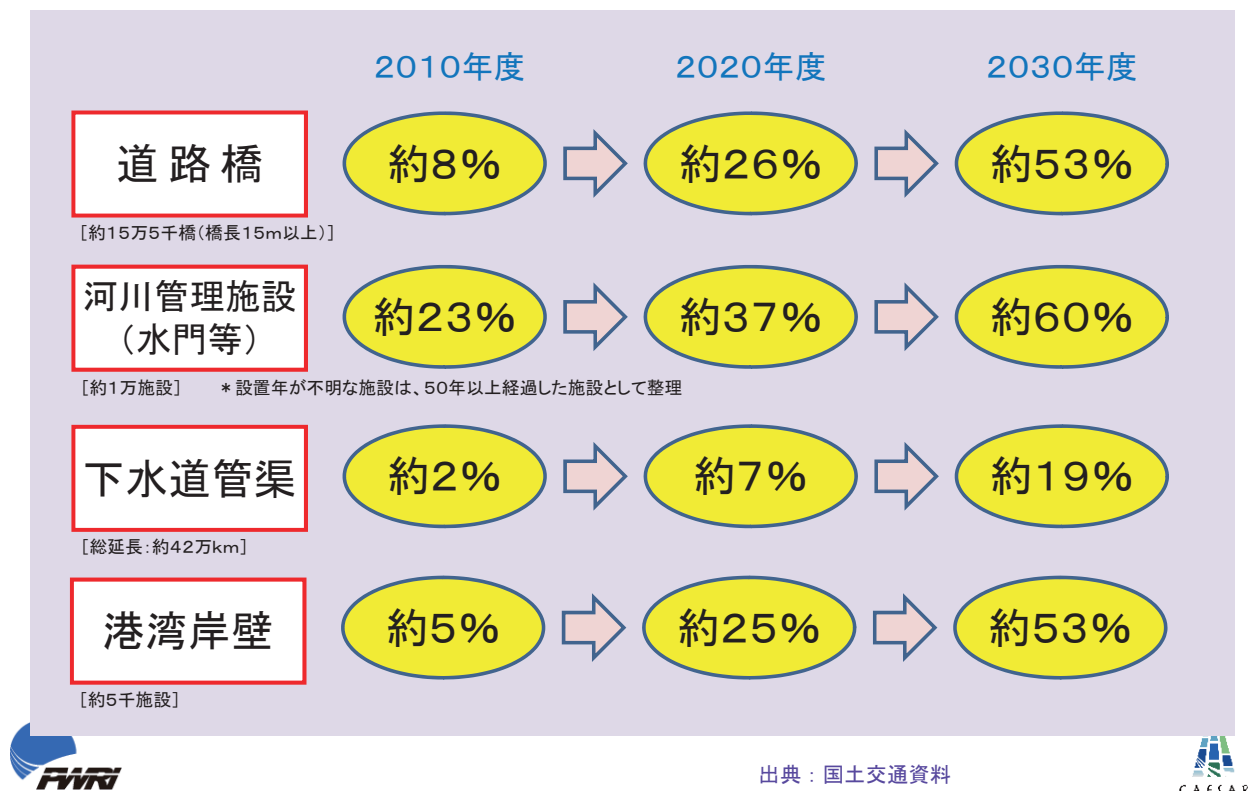


インフラ高齢化とCAESARの活動

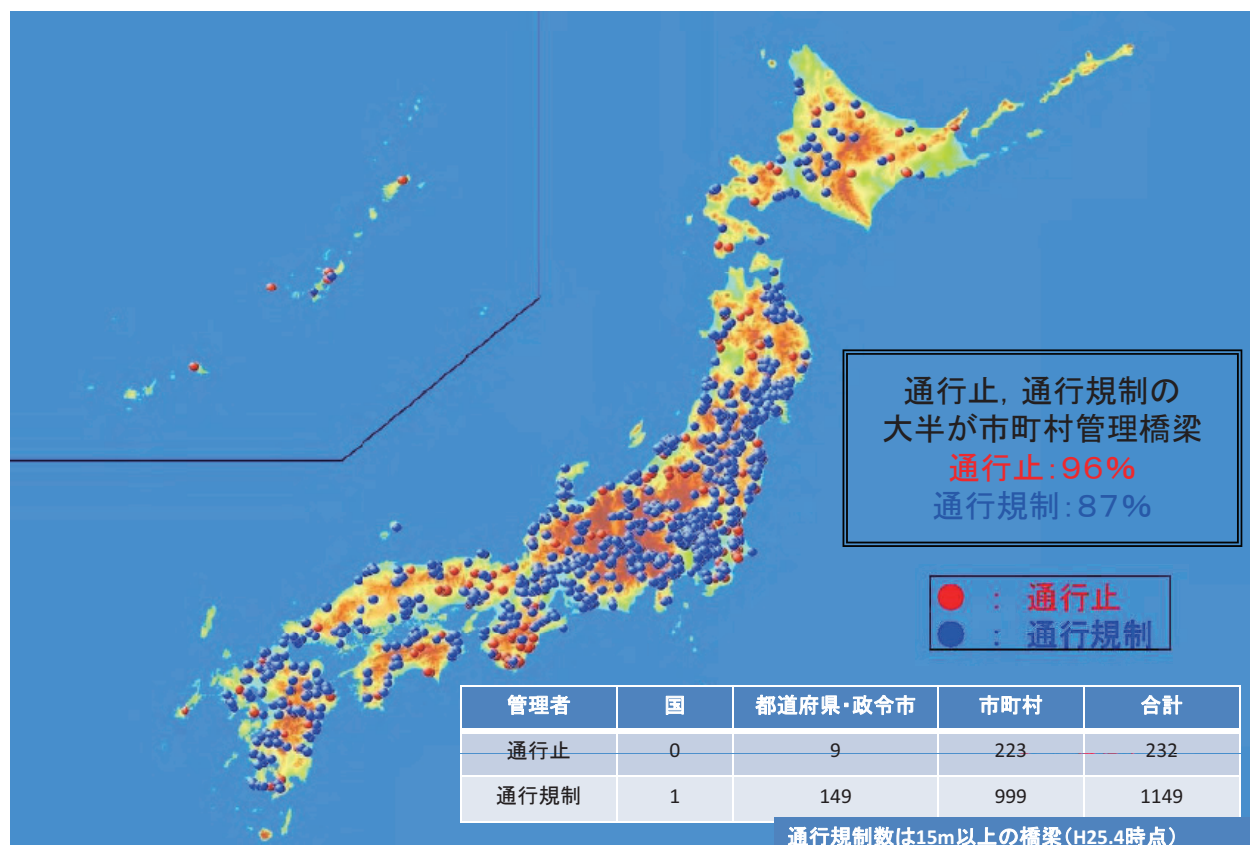
- 1. インフラの高齢化とその対応
- 2. CAESARの担う役割



建設後50年以上経過する社会資本の割合

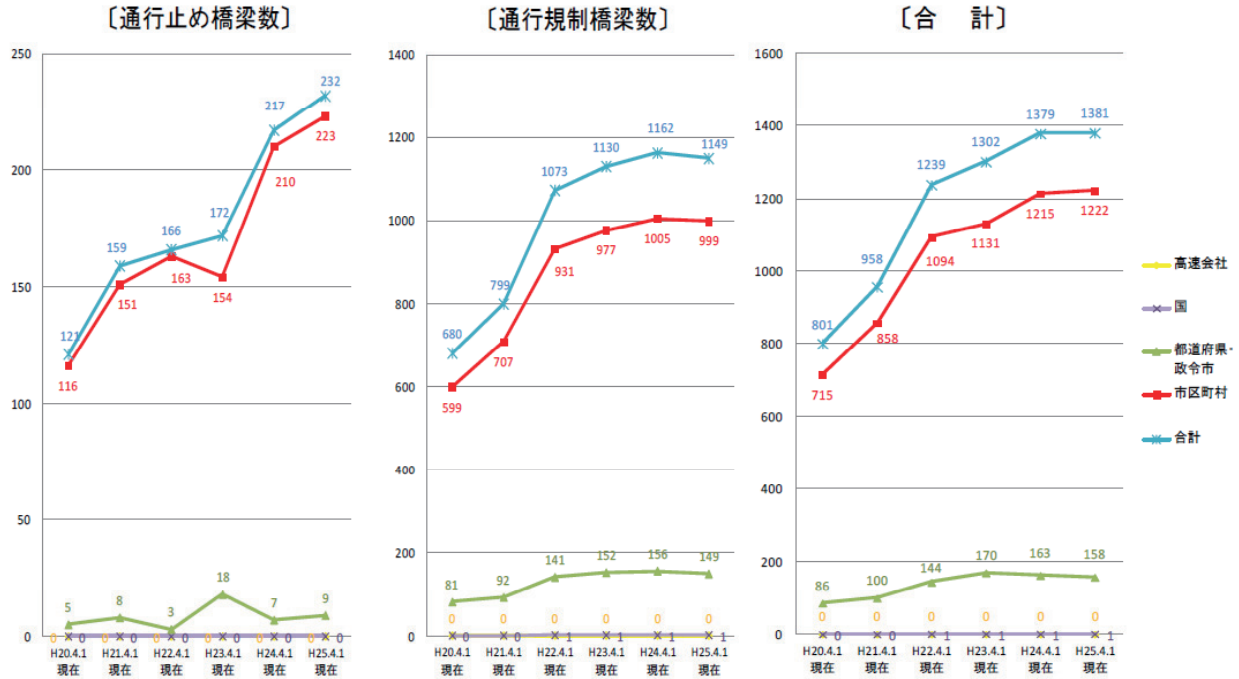


通行止め・通行規制橋梁位置 (H24.4 時点、橋長25m以上)



全国橋梁の通行規制等橋梁の推移(15m以上)

▶ 橋梁の通行止め・通行規制数は年々増加。5年で約1.7倍に



※高速・直轄・地方公共団体が管理する道路橋の合計。
 ※通行規制等には、老朽化による損傷や旧設計条件の使用等に伴う重量制限や通行止め。
 ※対象橋梁は15m以上。
 ※H25.4調査では岩手県陸前高田市、福島県広野町、橋本町、富岡町、川内村、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村、飯館村は調査実施困難なため、H22.4時点調査の数値。

CAESAR

中央自動車道笹子トンネルの事故(H24.12)

天井壁100m崩落か

事故発生時にトンネル内にいた乗客の状況。トンネル入り口から救出された様子。

中央道トンネル崩落

大月・笹子
車巻き込み事故、火災
複数台下敷きか

詳細はあすの山
お申し込みは
7-11 0120-111111

平成24年12月2日(日)

笹子トンネルで崩落

中央道上り線 女性2人脱出

火災発生、車複数巻き添え

MSN新聞ニュース <http://news1.jp/news>

天井板落下状況写真

笹子トンネル(上り線) 東京方面

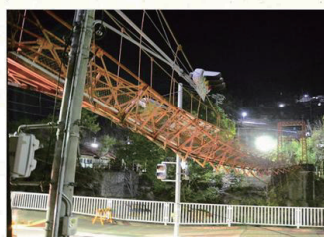
走行車線 追越車線

事故の状況と新聞報道

天井板落下状況図

イメージ図

走行車線 追越車線

[illegible]

事故橋つり
緊急点検1年経過せず
浜松市、修繕不要と判断

浜松市で発生した交通事故の発生原因の調査結果、浜松市消防局、橋上1台の故障が原因と判断された。同日、浜松市消防局は、浜松市消防局の調査結果を公表した。同日、浜松市消防局は、浜松市消防局の調査結果を公表した。同日、浜松市消防局は、浜松市消防局の調査結果を公表した。

[illegible][illegible]

いことと語た。
市井年貢、段々
田舎町の一ツルが、原
安富町の一ツルが、第
した開港を待て、第
一、井ノ浦は市街の
約一ツル、約十萬石
つて幾んど十萬石
に増殖せり。二、町田
の鹽は、全的に町の
一ツルはあつた。三、
必要、新鮮な水があつた
ため、そのまゝたつた
の鹽の鹽が、さき
に本國と東京
に賣渡され、町田と
てつり物の再興を企て
みられた。



社会資本メンテナンス戦略小委員会の緊急提言(H25.1)

主旨

中央自動車道笹子トンネル事故を契機に、これまでの「社会資本メンテナンス戦略小委員会」での議論等を踏まえつつ、社会資本の安全性に対する信頼の確保するため、国土交通省等が講ずべき維持管理・更新の当面の取組等について、**緊急提言を実施**

提言(案)の概要

- ▶ 「インフラの健全性診断のための**総点検**」等を**緊急的に実施**
- ▶ 社会資本の**点検・診断等に関する考え方と仕事の仕組みの改善を図るべく**、戦略的な維持管理・更新に向けた**取組を推進**

①「インフラの健全性診断のための総点検」等の緊急実施

②インフラの健全性等に関するカルテの整備

③インフラの健全性等の国民への公表

④長期的視点に立った維持管理・更新計画の策定

⑤地方公共団体等への支援

可及的速やかに実施すべき諸方策

⑥維持管理・更新に係る予算の確保

⑦維持管理・更新に係る情報の収集・蓄積

⑧維持管理・更新をシステムチックに行うための実施プロセスの再構築

⑨組織・制度の変革と人材育成

⑩効率的・効果的な維持管理・更新のための技術開発の推進

出典：国土交通省 http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/sogo03_sg_000018.html

道路メンテナンス戦略小委員会の中間答申

「道路のメンテナンスサイクルの構築に向けて」(H25.6)

1. 道路構造物の適切な維持管理に向けて

(1)維持管理の基本的な考え方

安全安心等を確保するため、点検⇒診断⇒措置⇒記録⇒(次の点検)の業務サイクルを通して、長寿命化計画等の内容を充実し、予防的な保全を進める
メンテナンスサイクルの構築を図るべき

(2)メンテナンスサイクルの構築に求められる重要な視点

- ① 各道路管理者における点検の適切かつ確実な実施がなされるよう、点検の制度化を行うべき
- ② **長寿命化計画の策定**について、
 - ・ 高速道路や国管理の道路では、先導的に取り組むべき
 - ・ 地方公共団体管理の道路では、国が財政的、技術的支援で策定を促すべき

(3)メンテナンスサイクルを支える基準類のあり方

- ① 国は、各道路管理者による適切な維持管理の実現を図るため、メンテナンスサイクルの構築に必要な**基本的な事項**を法令上に位置づけるとともに、要領やマニュアル等を含む基準類全体の充実を図るべき

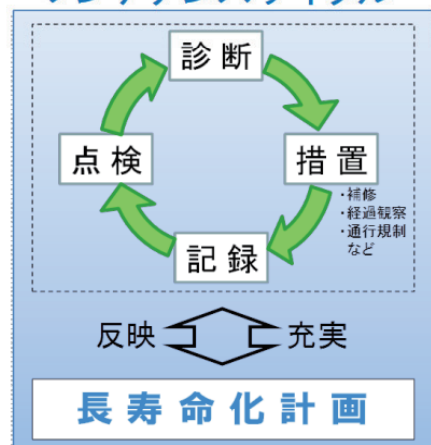
<基本的な事項>

- ・ 予防的な保全を目指した維持管理
- ・ 予めその頻度を定めた計画的な点検の実施
- ・ 構造物の健全度を一定の尺度で診断
- ・ 点検、診断、措置の記録の作成、保存 など

<その他重要事項(基準類全体の中で規定)>

- ・ 点検における盲点を作らないよう、非構造部材や道路附属物も含めた構造物(橋・トンネル等)単位で点検を実施
- ・ 修繕等に際して、フェールセーフ構造の採用等の積極的検討や、耐震補強等による機能確保の一体的な実施 など

メンテナンスサイクル



- ② 基準類は、定期的な見直しや事故を回避するための緊急的な見直し等にも速やかに対応できる構成とすべき

- ③ 各道路管理者は、国が示す基準類を踏まえ、個々の道路の状況を勘案し、必要な維持管理の内容を具体化すべき

道路メンテナンス戦略小委員会の中間答申

「道路のメンテナンスサイクルの構築に向けて」(H25.6)

2. メンテナンスサイクルの充実に向けて

(1)メンテナンスサイクルの段階的な充実と確実な実施

- ① PDCAサイクルの導入により、メンテナンスサイクルに基づく維持管理を段階的に充実すべき
- ② メンテナンス分野の産業育成や大学等との連携によるメンテナンスエンジニアの育成
- ③ 地勢・気象等による共通的な課題に対し、広域的な単位で対応する専門的組織や地方公共団体支援拠点の強化
- ④ 高規格幹線道路等の重要な幹線道路については、点検の実施や長寿命化計画の策定及び措置状況を定期的に国が取りまとめる仕組み・体制の充実

(2)全国の道路構造物を対象としたデータベースの構築と活用

- ① 全国の道路構造物から得られる技術的知見を国が把握・蓄積し、基準類の見直し等に取り組むべき
- ② 技術的知見を蓄積し、技術基準類や研究開発に活かすための研究機関の体制の充実
- ③ 点検結果や構造物の健全度に関する情報の共有及び積極的な発信(見える化)により、維持管理に対する関心と国民理解の醸成

(3)不具合情報の収集と啓発の仕組みづくり

- ① 不具合情報について、速やかに収集し、各道路管理者に的確に注意喚起等を実施する体制・仕組みの充実
- ② 事故等の重大な不具合については、原因究明と再発防止策の検討を行う専門家組織を構築

(4)点検・診断等をサポートする技術開発や技術評価の推進

- ① 非破壊試験、構造物の劣化予測、長期的耐久性、ICTの活用、補修・補強等の技術開発について、産学官連携した取組の充実
- ② 民間が開発した新技術等の評価や認証制度の充実

3. 地方公共団体でのメンテナンスサイクル導入に向けた支援

- ① 総点検後の情報共有、高度な診断等、国、都道府県による技術支援体制の確立
- ② 地方公共団体の維持管理に対する集中的な財政支援

CAESAR

道路法改正の概要(H25.6施行)

○国土交通大臣による点検結果の調査（技術開発等への活用）

○国土交通大臣による「道路の維持又は修繕の実施状況」（＝点検の実施状況を含む。）に関する調査を規定

【第77条（道路に関する調査）】

○一定の構造物を対象とした国土交通大臣による修繕等の代行

○都道府県道又は市町村道を構成する一定の構造物について、地方公共団体からの要請に基づき、国土交通大臣が修繕等を代行できる制度を規定 【第17条（管理の特例）】

※要請を受けて国土交通大臣が代行する場合の要件

- ・ 地方公共団体の工事の実施体制等を勘案して、必要と認められること
- ・ 一定の道路構造物であって、修繕等に高度の技術や機械力が必要であること 等

※費用負担割合は、補助事業として地方公共団体が実施する場合と同じ



平成26年度 科学技術重要施策アクションプラン(案)

- アクションプランにより総合科学技術会議が重要と考える課題・取組を概算要求前に示すことにより、政府全体の科学技術関係予算の重点化に向けて、関係府省の施策の誘導を図る。
- 効率・効果的な取組推進、着実なPDCAプロセス実施により、科学技術イノベーションを強力に推進し、経済再生、及び、あるべき経済社会を実現。

平成26年度アクションプランのテーマ

科学技術イノベーション総合戦略第2章に掲げる5つの政策課題を重点対象として設定

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. クリーンで経済的なエネルギーシステムの実現 | 2. 国際社会の先駆けとなる健康長寿社会の実現 |
| 3. 世界に先駆けた次世代インフラの整備 | 4. 地域資源を‘強み’とした地域の再生 |
| 5. 東日本大震災からの早期の復興再生 | |

平成26年度アクションプランの特徴(進化点)

- 1. 具体的な工程表を示し、課題達成に向けた取組を促進**
具体的な工程表により、関係府省から課題達成に向けた施策の提出を促す。また、施策特定後はPDCAプロセスのため成果の検証が可能となる数値などを含む達成目標とその達成時期、目標の達成に向けて取り組むべき具体的取組や中間目標を工程表に更に明示。
- 2. 施策の積極的なプログラム化(いわゆる大括り化)の促進**
各省からの施策の提案に先立ち、専門家の意見を踏まえた社会的課題達成の観点を示すことで、連携により効率・効果的に成果が期待できるよう、積極的にプログラム化を促す。
- 3. マネジメント体制の明確化**
アクションプラン対象施策に対して、プログラム全体の研究開発の進捗管理のみならず、社会実装に向けた進捗管理・調整も含めた明確なマネジメント体制を求める。



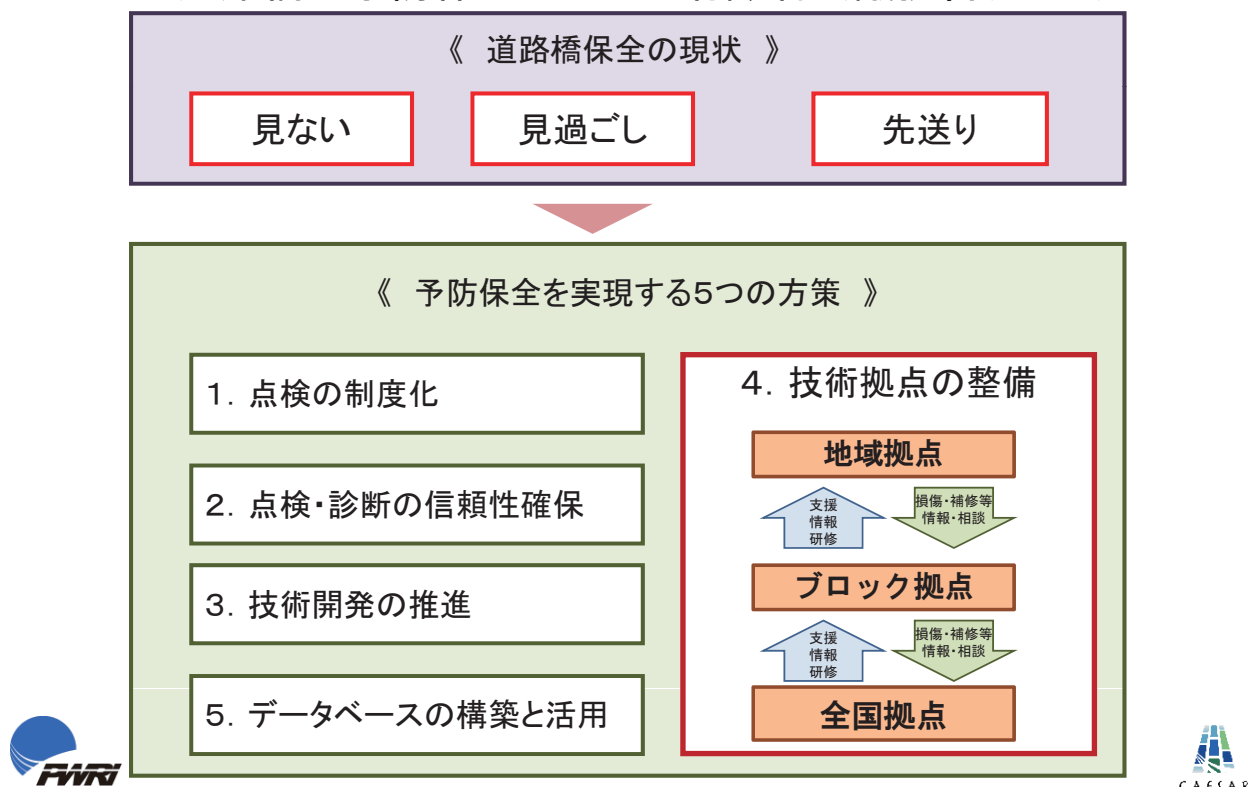
インフラ高齢化とCAESARの活動

- ・ 1. インフラの高齢化とその対応
- ・ 2. CAESARの担う役割

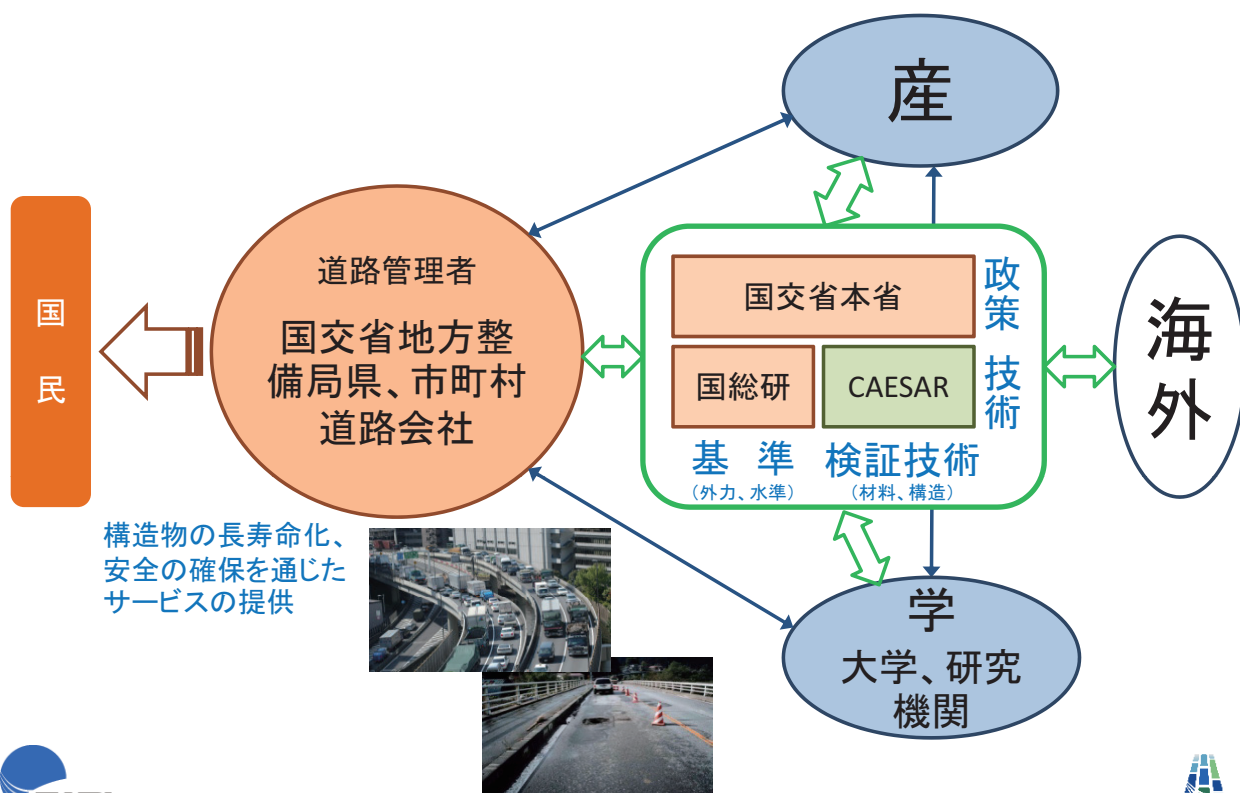


CAESARの位置付け(1)

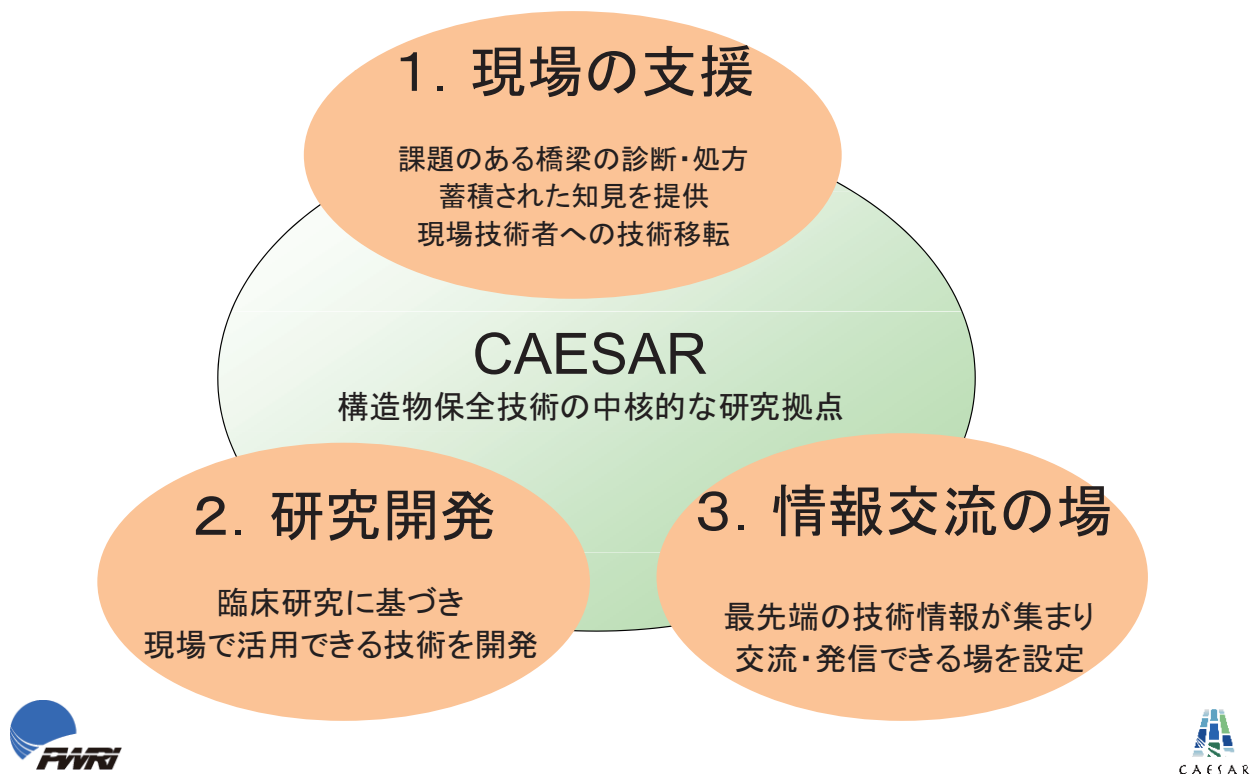
道路橋の予防保全に向けた有識者会議提言(H20.5)



CAESARの位置付け(2)



CAESARの担う役割



土木研究所の重点的研究開発

科学技術基本計画

4つの目標

ア)安全・安心な
社会の実現

イ)グリーンイノベーション
による持続可能な社会の
実現

ウ)社会資本の戦略的な
維持管理・長寿命化

エ)土木技術による国際
貢献

6つの重点的研究開発課題

①激甚化・多様化する自然災害の防止、軽減、早期復旧に関する研究

②社会インフラのグリーン化のためのイノベーション技術に関する研究

③自然共生社会実現のための流域・社会基盤管理技術に関する研究

④社会資本ストックの戦略的な維持管理に関する研究

⑤社会資本の機能の増進・長寿命化に関する研究

⑥我が国の優れた土木技術によるアジア等の支援に関する研究

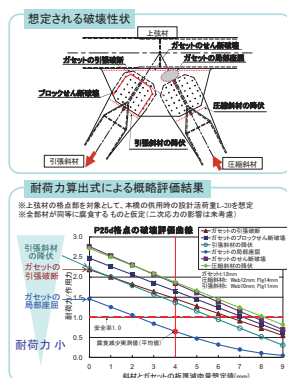
プロジェクト研究(H18~H22)の成果

道路構造物の維持・管理技術の高度化に関する研究 (抜粋)

	調査・点検手法の開発	診断・評価技術の開発	補修・補強技術の開発	マネジメント技術の開発
既設鋼床版の疲労耐久性向上技術に関する研究 (H16-20 CAESAR)			○	
既設コンクリート道路橋の健全性評価に関する研究 (H20-22 CAESAR)		○		
既設鋼橋の致命的な損傷を防ぐための状態評価に関する研究 (H20-22 CAESAR)		○		
道路橋の診断・対策事例ナレッジDBの構築に関する研究 (H20-22 CAESAR)		○		

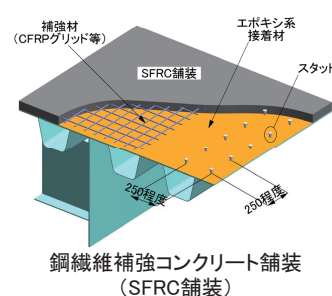
「トラス橋を主な対象とした主部材の耐荷性能評価手法の提案」

鋼トラス橋の主構部材(斜材及び格点部)を対象に腐食を模擬したパラメータ解析を行い、残存耐荷力を概略推定する方法を提示した。



「既設鋼床版の補修補強方法の提案」

デッキプレートとUリブ間の溶接部のき裂など、鋼床版溶接部に顕在化している疲労損傷に対して、損傷原因の解明と補修・補強工法の提案を行った。



※本研究を通じて特許1件取得済み(鋼床版の補強構造)、1件審査中(鋼床版の補強構造および補強方法)。



取り組んでいるプロジェクト研究（H23～H27）

社会資本をより永く使うための
維持・管理技術の開発と体系化に関する研究

	1.管理手法に応じた調査・点検手法の確立	2.健全度・安全性に関する診断・評価技術の確立	3.多様な管理水準・構造条件・損傷状態に応じた効率的な補修・補強技術の確立	4.管理水準を考慮した社会的リスク評価技術と、これを活用したマネジメント技術の確立
(1)土木機械設備のストックマネジメントに関する研究 (H23-27 先端技術)				○
(2)擁壁等の土工構造物の管理水準を考慮した維持管理手法の開発に関する研究 (H23-27 施工技術)	○	○	○	
(3)コンクリート構造物の長寿命化に向けた補修対策技術の確立 (H23-27 新材料、基礎材料、耐寒材料)			○	
(4)ダム の長寿命化のためのダム本体維持管理技術に関する研究 (H23-25 水工構造物)		○		○
(5)既設舗装の長寿命化手法に関する研究 (H23-27 舗装)	○	○	○	
(6)道路トンネルの合理的な点検・診断手法に関する研究 (H23-26 トンネル)	○	○		
(7)落橋等の重大事故を防止するための調査・診断技術に関する研究 (H23-27 橋梁構造)	○	○		
(8)道路橋桁端部における腐食対策に関する研究 (H23-27 橋梁構造)			○	
(9)橋梁のリスク評価手法に関する研究 (H23-27 橋梁構造)				○

平成25年9月11日

CAESAR講演会

道路橋の損傷と 現場への支援

独立行政法人土木研究所
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

上席研究員 石田雅博



落橋など、安全性や供用性に影響する損傷の発生

- 近年、国内外で落橋や通行止めを伴う重大な損傷などが発生
⇒ 道路利用者の安全を確保し、通行を妨げないため、適切な管理が必要

鋼トラス橋の崩落(2007年, 米国)



出典: CNNホームページ

コンクリートゲルバー橋の崩落(2006年, カナダ)

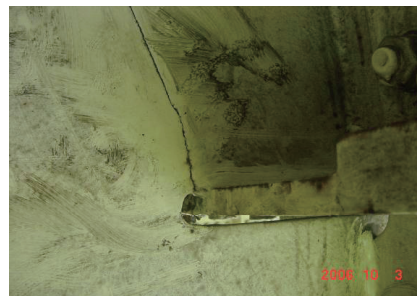


出典: デラコンコルド跨道橋事故調査委員会報告書

鋼トラス斜材の破断(2007年, 国道23号木曽川大橋)



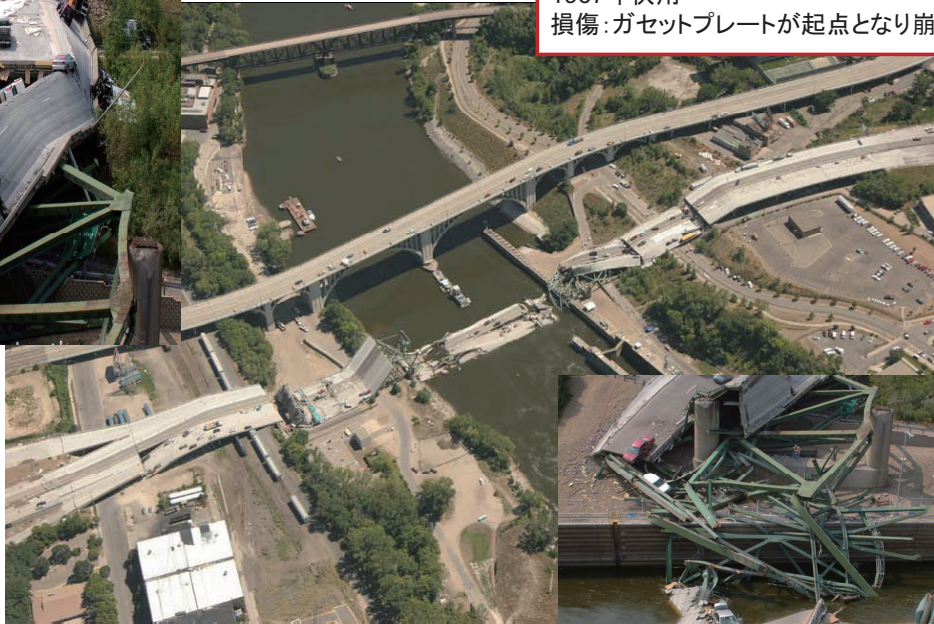
鋼げた橋のき裂(2006年, 国道25号山添橋)



落橋事例：米国ミネソタ州 I-35W橋



I-35W橋(アメリカ、ミネソタ州)
鋼上路トラス橋
L=581m
1967年供用
損傷：ガセットプレートが起点となり崩落



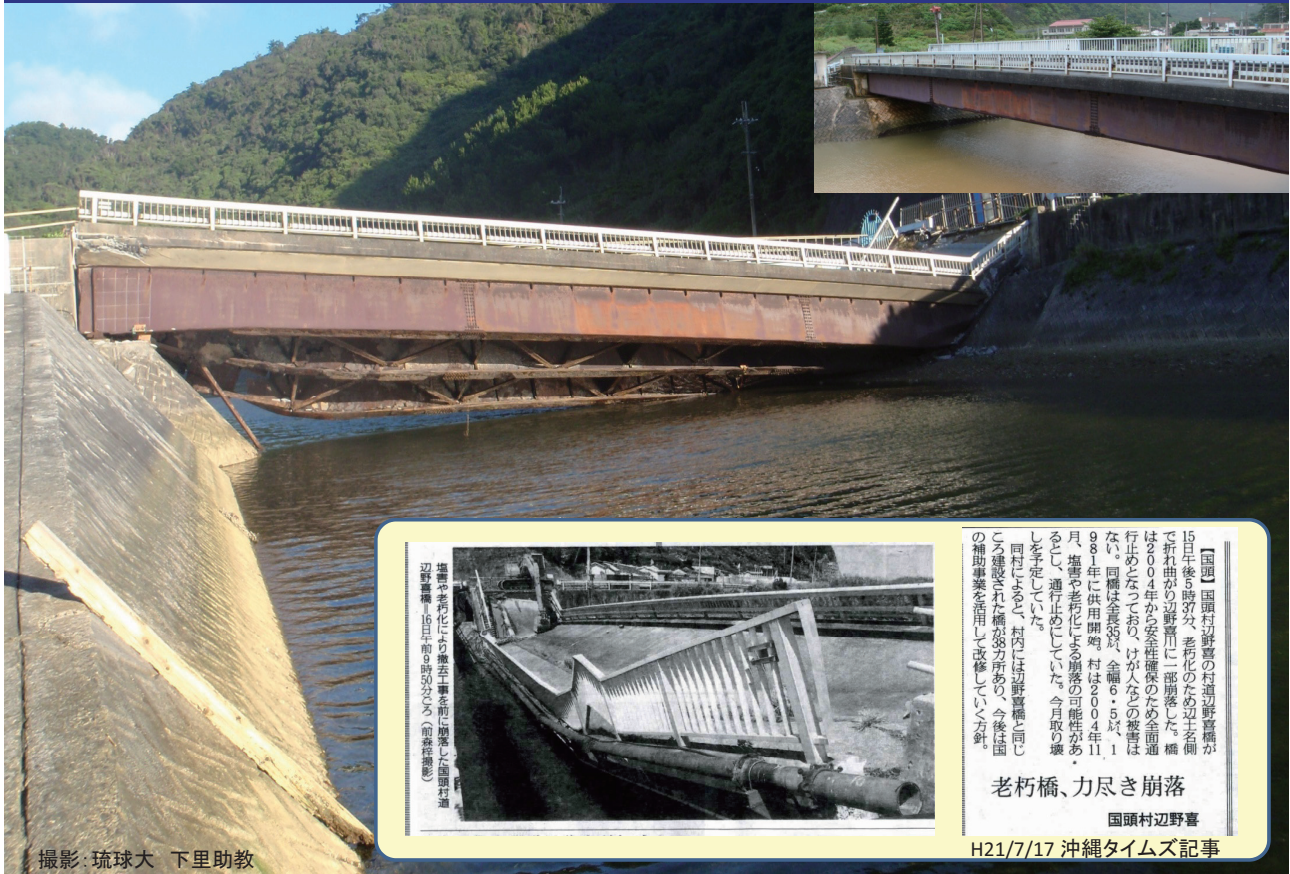
落橋事例：コンクリート橋



主桁1段目の鉄筋は腐食により消失。2段目鉄筋も露出し、腐食。



落橋事例：鋼橋

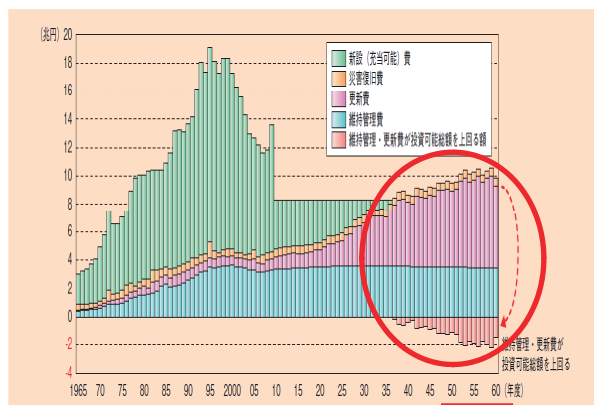


維持管理コストの増大

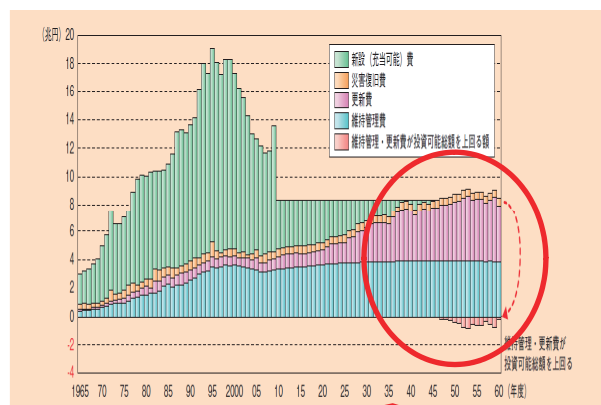
- 今後、維持管理・更新費が財政を圧迫
⇒ 予防保全型管理の導入などにより、管理コストの低減・平準化が必要

維持管理・更新費の推計【従来型／予防保全型】 (国土交通白書)

図表66 維持管理・更新費の推計（従来通りの維持管理・更新をした場合）



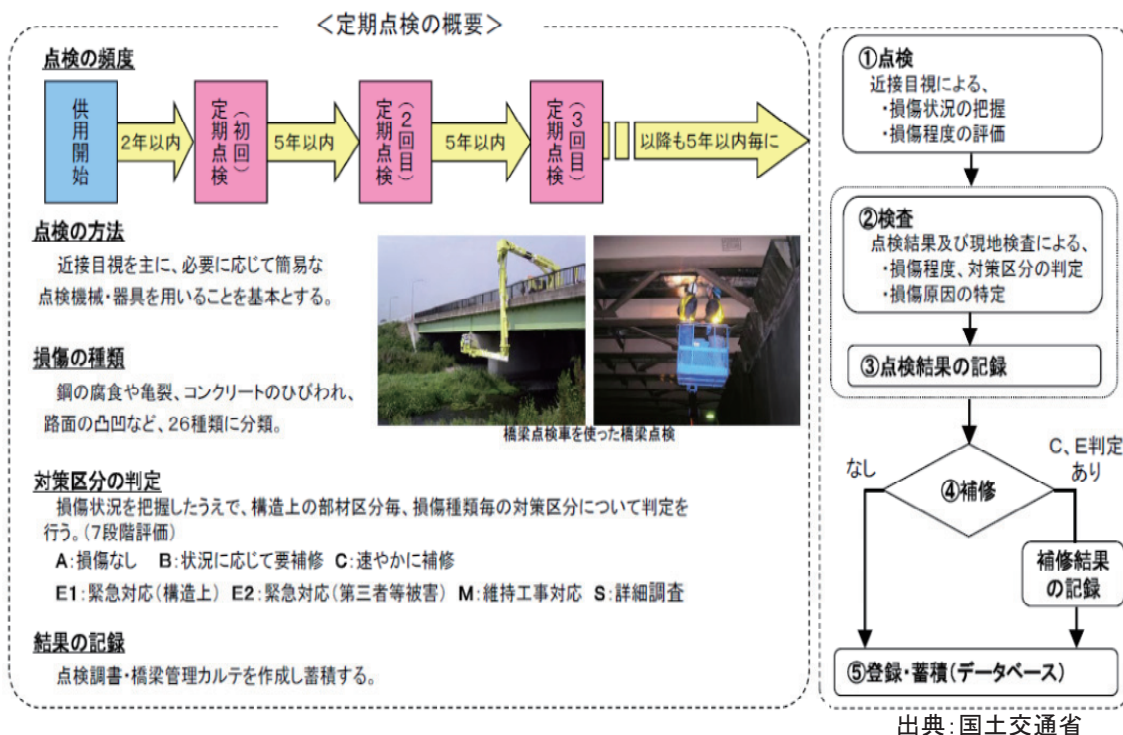
図表67 維持管理・更新費の推計（予防保全の取組みを先進地方公共団体並みに全国に広めた場合）



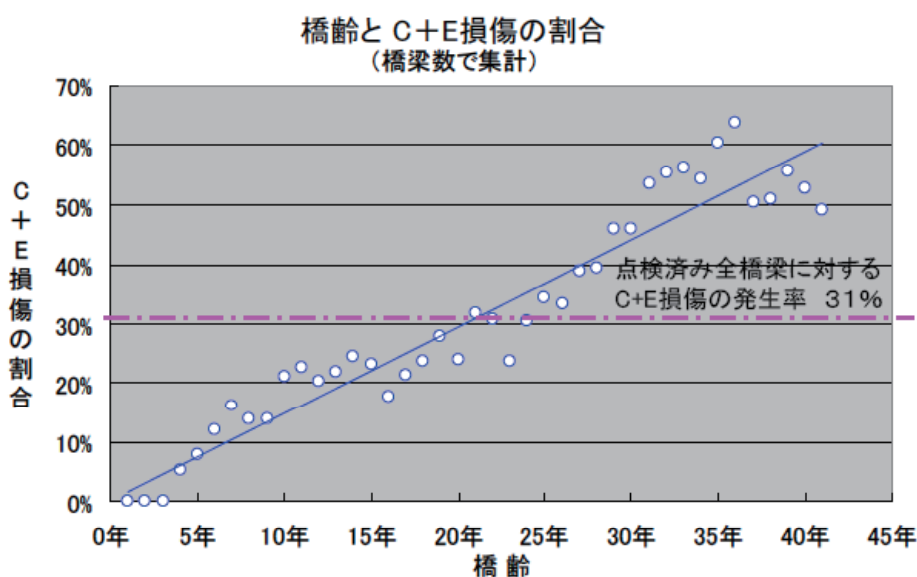
予防保全の導入などによる
管理費縮減が必要

直轄国道の橋梁点検

- 直轄国道では、供用後2年以内に初回点検を実施
- 2回目以降は、5年に1回の頻度で定期点検を実施

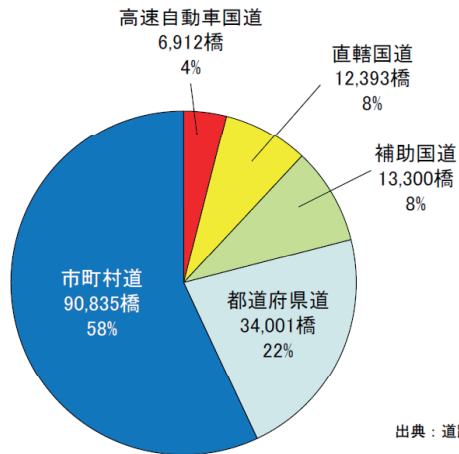


橋梁点検によるC+E損傷の割合



地方自治体管理橋梁

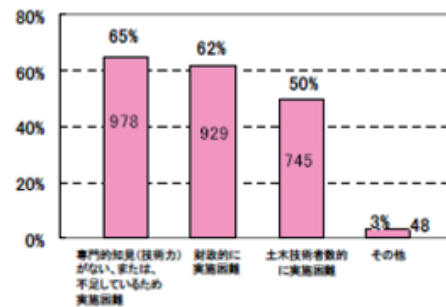
多くの橋梁が地方自治体、
とりわけ市町村で管理



出典：道路統計年報2011

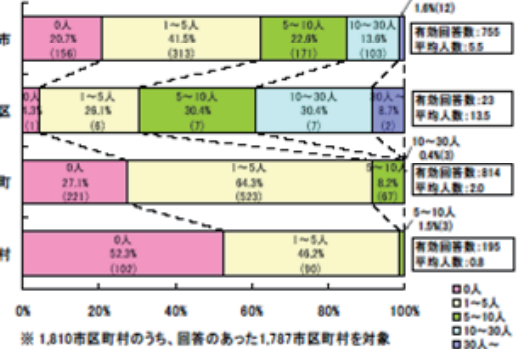
【市区町村の状況】

定期点検を実施していない主な理由



※ 回答のある1,799市区町村のうち、定期点検を実施していない1,500を対象
※ 複数回答有

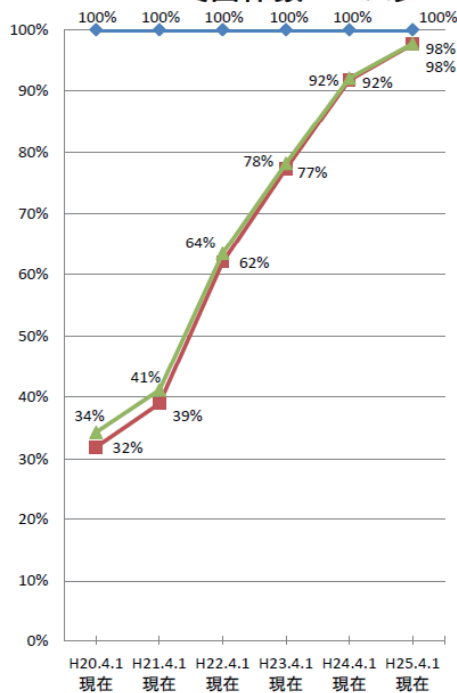
自治体の土木技術者数



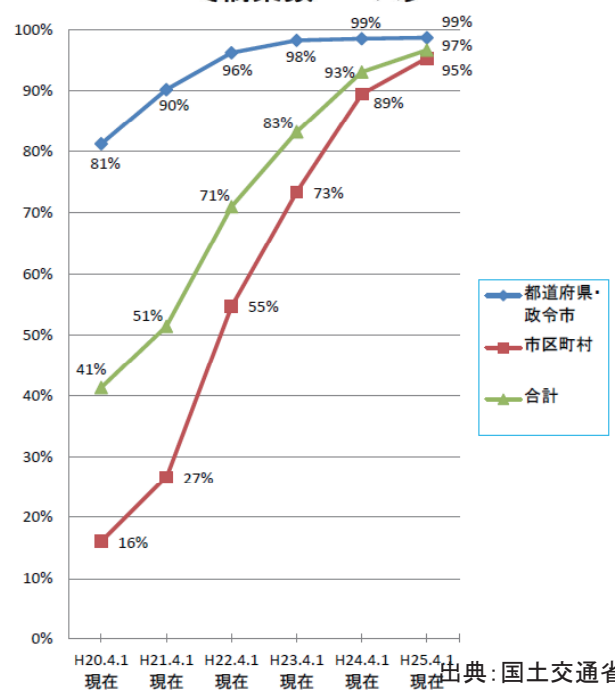
※ 1,810市区町村のうち、回答のあった1,787市区町村を対象

地方公共団体管理橋梁の点検状況の推移

〔団体数ベース〕



〔橋梁数ベース〕



出典：国土交通省

※橋梁点検：長寿命化修繕計画の策定に必要な基礎データを把握するため、橋梁定期点検要領等に基づく橋梁点検を実施したもの。
※団体数ベース：橋長15m以上の橋梁を管理する団体で、橋梁点検に着手している団体の割合。
※橋梁数ベース：橋長15m以上の橋梁で、点検が行われた橋梁の割合。
※H25.4調査では岩手県陸前高田市、福島県広野町、橋本町、富岡町、川内村、大熊町、双葉町、浪江町、葛尾村、飯館村は調査実施困難なため、H22.4時点調査の数値。

自治体管理橋梁の状況と課題

➤ 劣化損傷により、通行止め等を必要とする深刻な状態の自治体管理橋梁も多い



予防保全実現の方策とCAESARの設立

道路橋の予防保全に向けた有識者会議提言, 平成20年5月

《 道路橋保全の現状 》

見ない

見過ごし

先送り

《 予防保全を実現する5つの方策 》

1. 点検の制度化

2. 点検・診断の信頼性確保

3. 技術開発の推進

5. データベースの構築と活用

4. 技術拠点の整備

地域拠点

支援
情報
研修

損傷・補修等
情報・相談

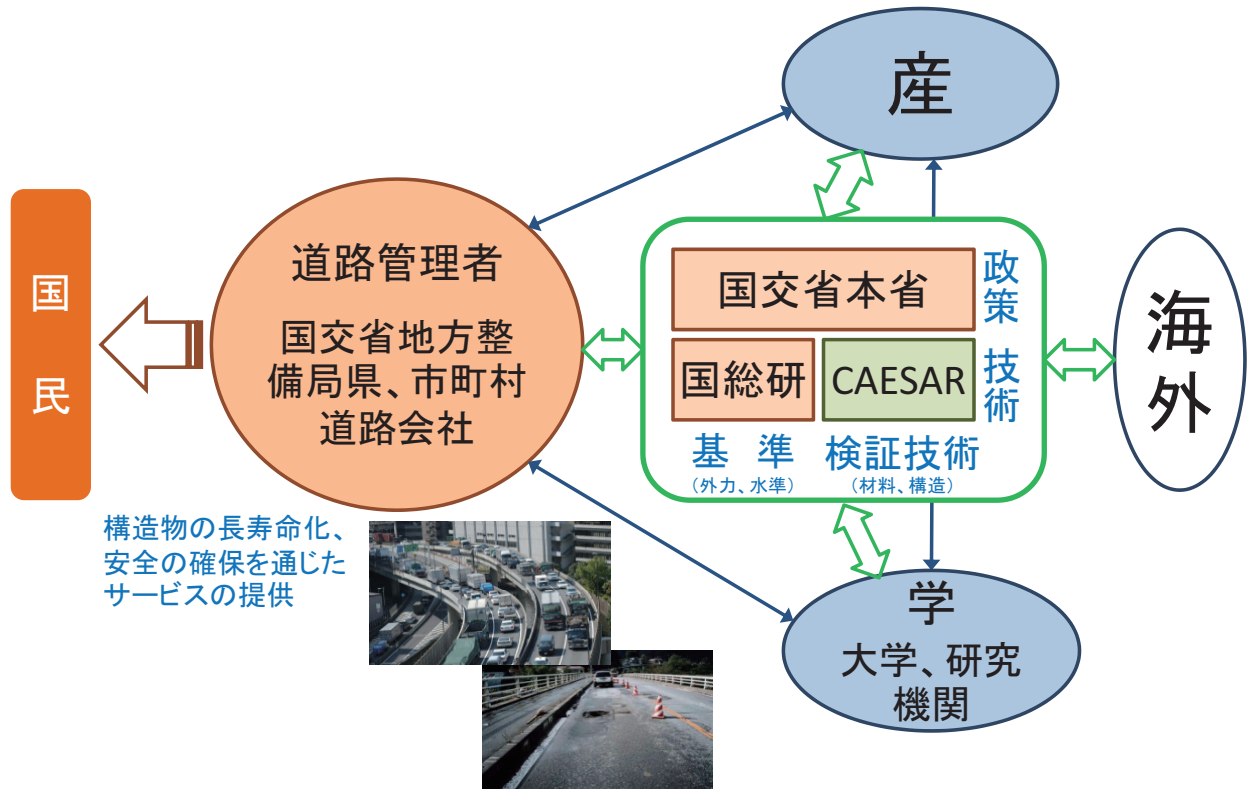
ブロック拠点

支援
情報
研修

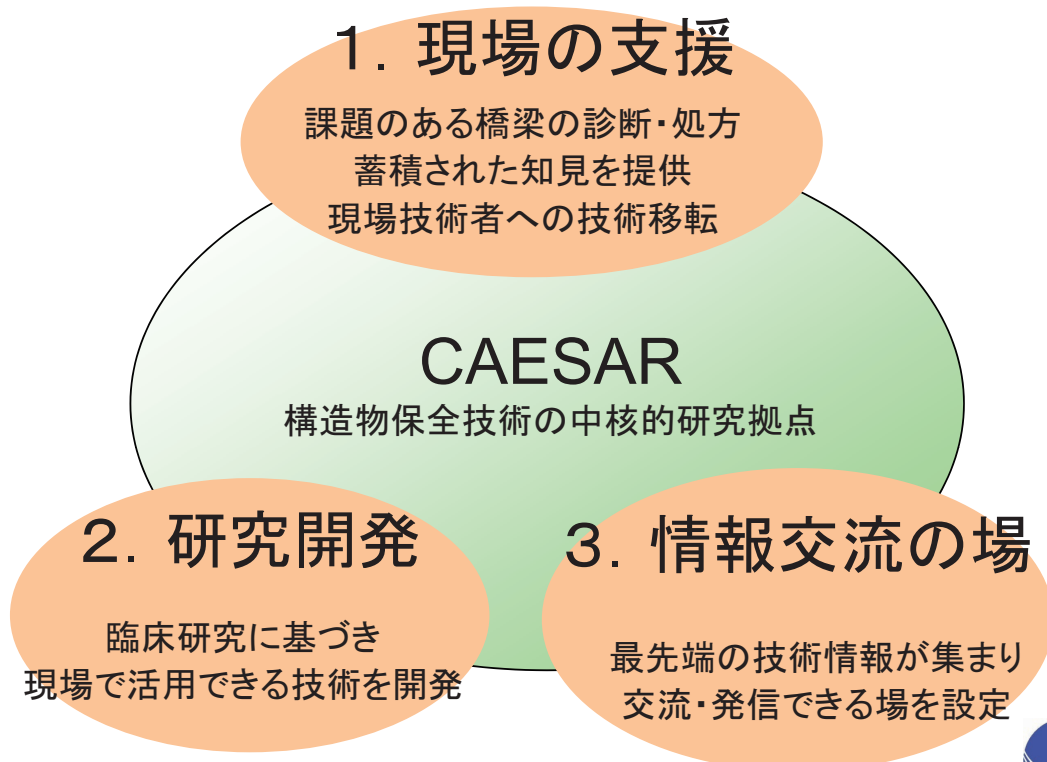
損傷・補修等
情報・相談

全国拠点

CAESARの位置付け



CAESARの活動

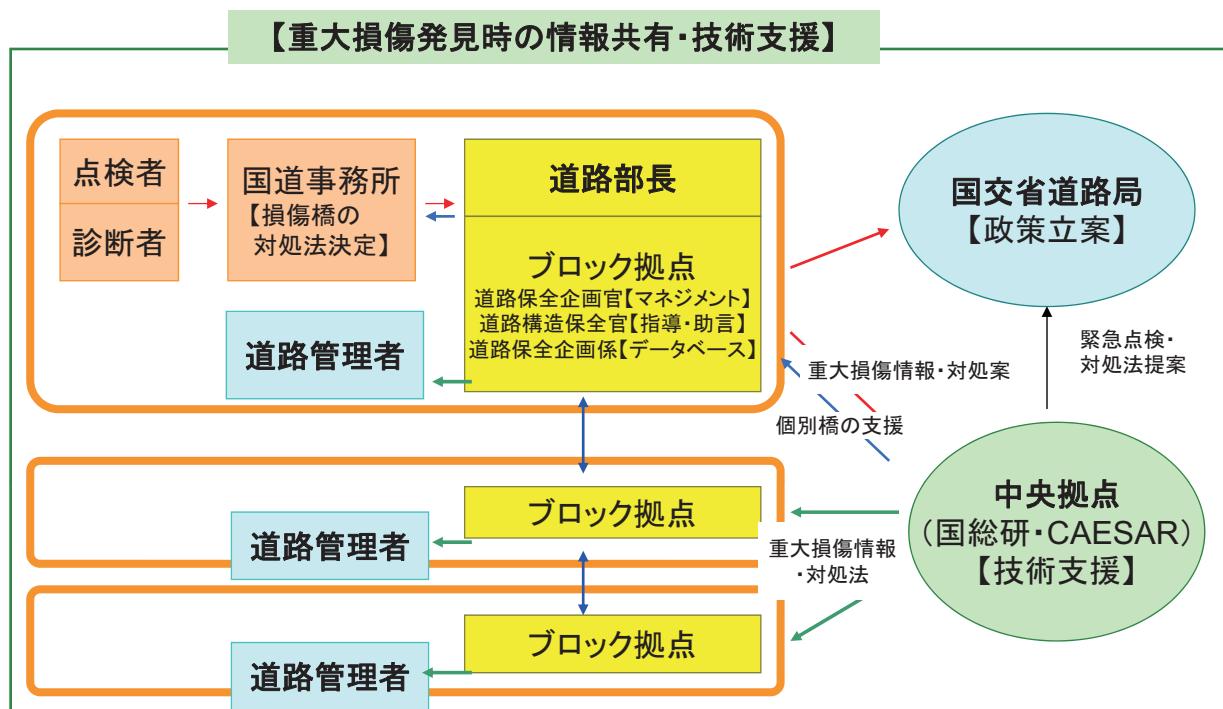


現場の支援

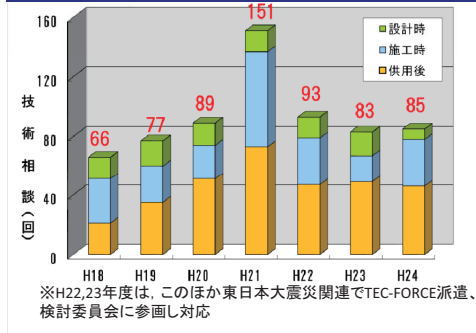
- ・技術支援
- ・技術者育成支援



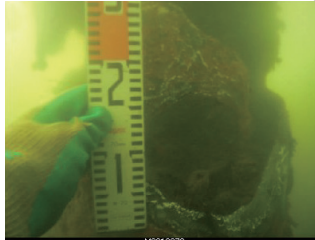
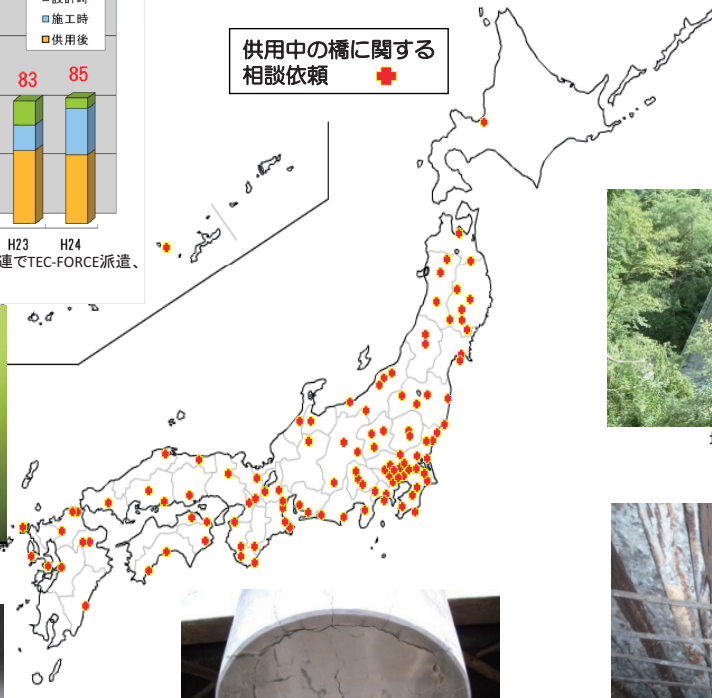
橋梁における重大損傷情報の共有



現場の支援:技術相談



供用中の橋に関する
相談依頼



パイルベントの腐食・断面欠損



鋼床版で発見された亀裂



ASRによる損傷



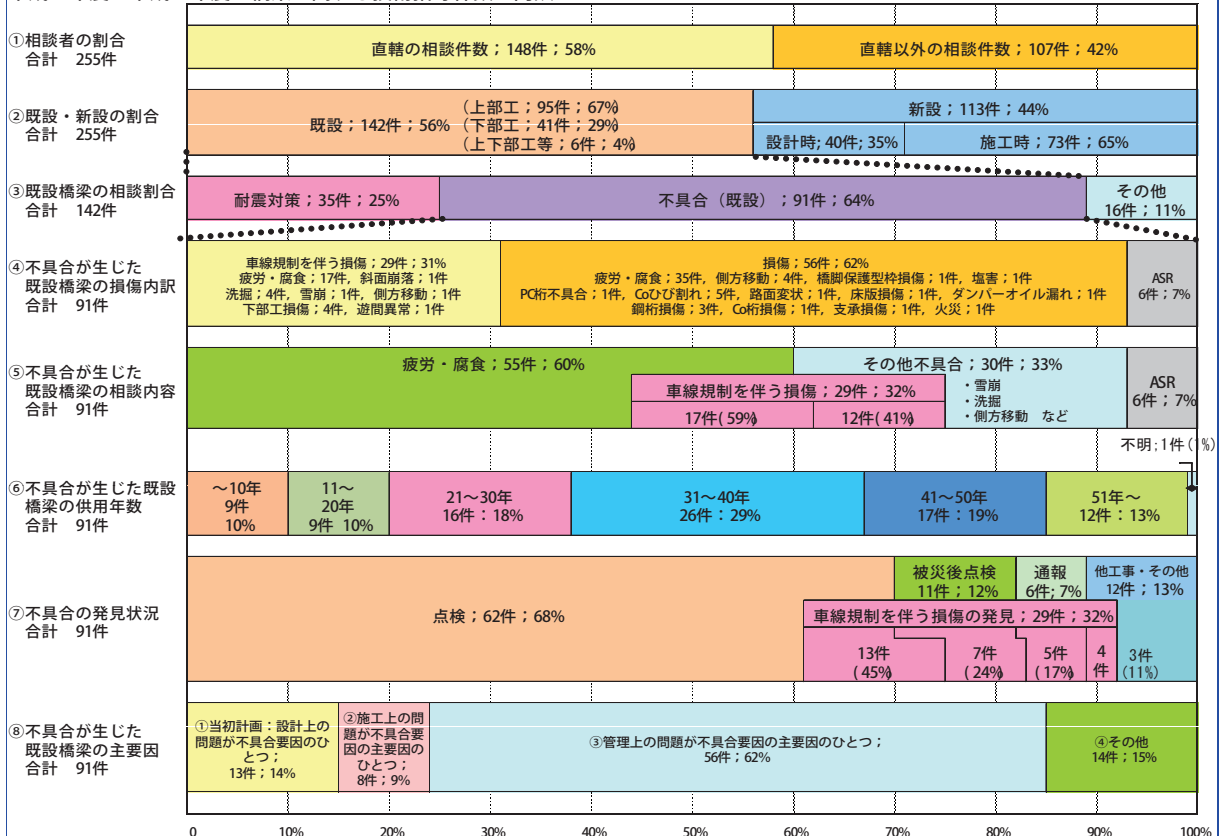
地震による落橋



コンクリート橋におけるPC鋼線の破断

CAESAR設立以降 (H20～H24) の技術相談内容の割合

平成20年度～平成24年度 橋梁に関する技術指導件数の内訳

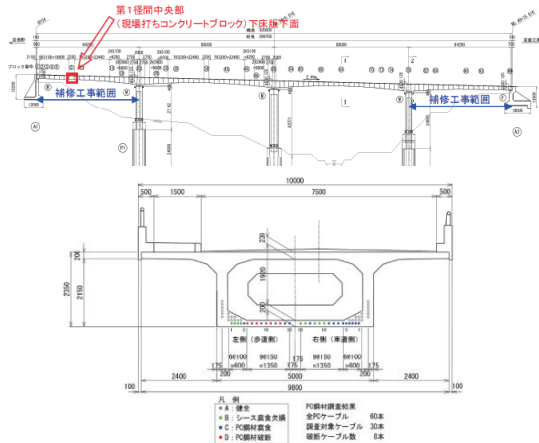


技術相談事例 PCケーブル破断【妙高大橋】



みょうこう
橋 梁 名: 妙高大橋(高田河川国道)
橋梁形式: 4径間連続PC箱桁橋(プレキャストブロック)
橋 長: L=300.0m
竣 工 年: 1972年
橋の等級: 1等橋(TL-20)

下床版下面・箱桁内定着部付近のPC鋼線の腐食・破断
・下床版下面コンクリート補修工事の際、発見
・グラウト充填不足、排水処理への配慮不足



技術相談事例 PC吊りケーブル【雪沢大橋】



橋 梁 名: 雪沢大橋(秋田県)
橋梁形式: 3径間連続エクストラードードPC箱桁橋
橋 長: L=177.1m
竣 工 年: 2001年
橋の等級: B活荷重

桁側定着部近傍でPC鋼線の腐食による破断
・桁側定着部から水が内部に浸入
・熱収縮チューブに架設前からの傷を確認

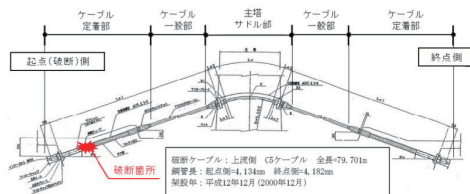


図-1-5-1 ケーブル全体図

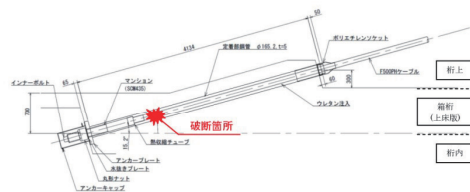
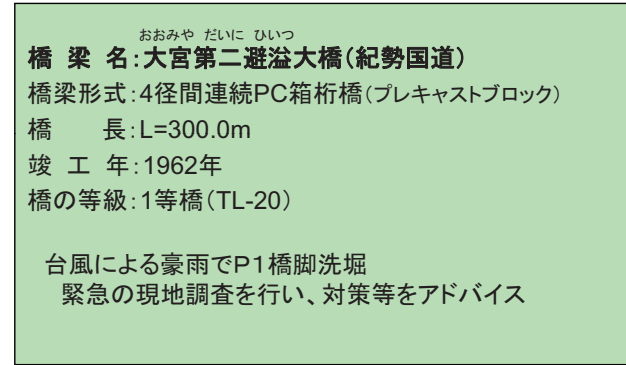


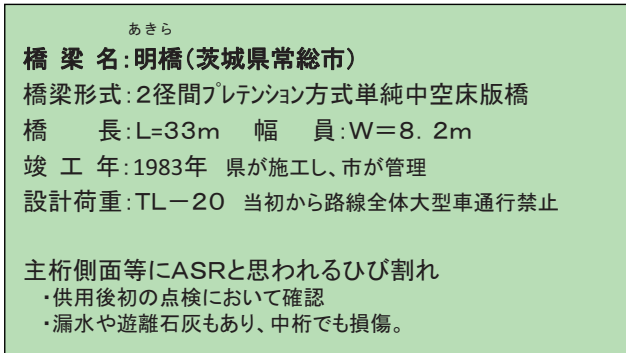
図-1-5-2 ケーブル定着部の寸法・形状(起点側)



技術相談事例 洗堀【大宮第二避溢橋】



技術相談事例 アルカリ骨材反応【明橋】



桁間での漏水

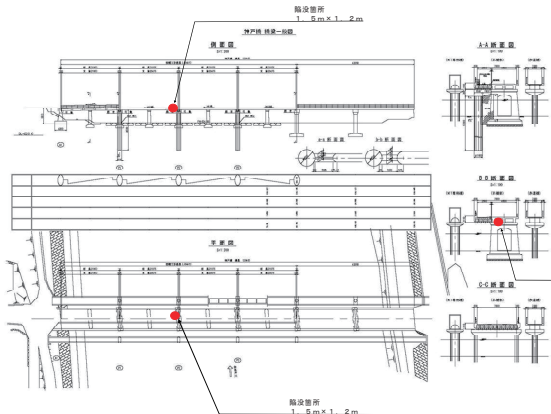
技術相談事例 RC床版疲労劣化【神戸橋】



橋梁名: 神戸橋(長野県)
 橋梁形式: 8径間RCT桁橋+2径間PC床版橋
 橋 長: L=126.5m
 竣 工 年: 1935年、1985年拡幅

床版の抜け落ち

- ・雨水浸透による疲労劣化促進。
- ・下面鋼板接着補強のため、確認できず。



技術相談事例: 吊り橋ケーブル破断



ケーブル4/6が完全破断
 (素線148/222
 破断)

ケーブル破断状況

ラッピングワイヤーの状況

出典: 国土交通省中部地方整備局資料

災害時の支援: 東日本大震災

CAESAR技術者が、被災した道路橋の調査を実施し、道路管理者へ技術的助言。

調査エリア



○調査対象橋梁(これまでに200橋以上)

- ・地震動の影響により被災した道路橋
- ・津波の影響を受けた道路橋
- ・液状化が生じた地盤周辺の道路橋

○調査体制

- ・国総研、土研CAESARで連携して実施



過去の災害調査結果を道路橋示方書へ反映

橋台背面アプローチ部(8.9)

- ・地震時等で橋台背面に著しい段差が発生，通行ができず結果的に橋としての機能の回復に影響

⇒橋と背面側の盛土等との間を橋台背面アプローチ部と定義し，路面の連続性を確保できる構造とすることを規定



(左: 国総研報告27号・土研報告第203号，右: 国総研資料646号・土研資料第4202号より引用)

過去の災害調査結果を道路橋示方書へ反映

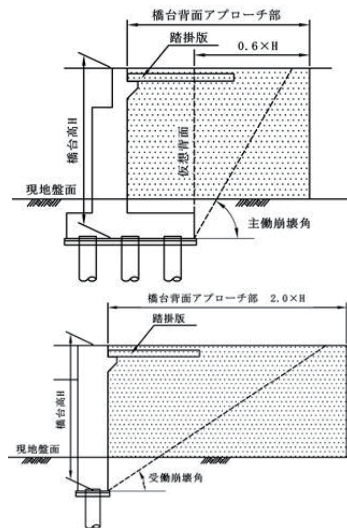
橋台背面アプローチ部(8.9)

- 良質な材料を用い、次を考慮して設計・施工を行う

- 1)常時・地震時の基礎地盤の安定性
- 2)常時・地震時のアプローチ部本体の安定性
- 3)降雨時の排水性

→材料, 排水工の例は巻末
参考資料5。

- 震後の避難路・緊急輸送
路等通行機能の確保が必要
な橋は、踏掛版の設置
等適切な対策を講じることが望ましい。



(a)一般の橋台の場合

(b)背面地盤抵抗を考慮する橋台の場合（インテグラルアバット構造）

図-解8.9.1 橋台背面アプローチ部の範囲

土木技術資料を通じた損傷情報の発信

土木技術の
総合情報誌 **土木技術資料**
CIVIL ENGINEERING JOURNAL

鋼トラス橋のコンクリート埋込み部材の腐食へ

現場に学ぶメンテナン

1. はじめに

鋼部材をコンクリートや地中に埋込んだ境界

【現場に学ぶメンテナン

- 21年 8月 現場からの警鐘 ～深刻化する劣化・損傷の実態と教訓～
鋼トラス橋のコンクリート埋込み部材の腐食への対応事例
- 21年10月 鋼部材の疲労き裂について(その1)―道路橋の主桁―
- 21年12月 鋼部材の疲労き裂について(その2)―鋼製橋脚隅角部―
- 22年 7月 吊材破断時の安全対策―PCアーチ橋の事例―
- 23年 1月 橋脚基礎の洗掘への対応事例
- 23年 3月 橋台基礎の洗掘への対応事例
- 23年 5月 軸方向鉄筋にSD490を用いるRC中空断面橋脚の耐震性について
- 23年 8月 鋼材部の疲労き裂について(その3)―鋼床版―
- 23年11月 アルカリ骨材反応により劣化した橋台の補修事例
- 23年12月 橋台基礎の震災復旧対応事例
- 24年 2月 地震により変形したゴム支承の震災復旧対応事例
- 24年 5月 PC鋼材の腐食損傷への対応事例
―妙高大橋のグラウト未充填と鋼材腐食の調査―
- 24年 8月 橋脚基礎の洗掘への緊急復旧対応事例
- 25年 1月 ゲルバー・ヒンジ部補強吊り部材脱落の対応事例
- 25年 6月 アルカリ骨材反応が生じたPC橋の調査、診断と対応事例

特集 水域生態系の保全・再生

土木技術講座 社会基盤経済論 第8回
マクロ経済上の特性と工学の役割(最終回)

編集協力 国土交通省土木技術政策総合研究所
発行 国土交通省 土木研究センター

地方における技術者の育成

国立高等専門学校機構との連携・協力の推進に関する協定を締結

平成23年12月7日、土木研究所は、国立高等専門学校機構と連携・協力に関する協定を締結。

協定締結により、両法人の協力可能な全ての分野における人材育成・産学共同教育の相互支援、研究開発などの具体的な連携・協力を効果的に推進することにより、我が国の学術及び産業技術の振興に寄与するとともに、社会基盤の整備と維持管理を通じて地域社会に貢献して参ります。



協定書に署名した両理事長（高専機構林理事長（右）、魚本理事長（左））



今年1月19日に舞鶴高専が主体で活動を行っている技術研修会において講義を実施



情報交流

- ・CAESAR講演会
- ・国際貢献
- ・CAESARメンテナンス技術交流会



国際協力活動

<活動例>

東北地方太平洋沖地震被災地の日米合同調査(平成23年6月)



・UJNRの作業部会Gの活動として実施。
米国より6名の専門家が参加。

※UJNR
(天然資源の開発利用に関する日米会議
U.S.-Japan Conference on Development and
Utilization of Natural Resources)



<活動例>

タイ運輸省地方道路局と技術協力協定を締結(平成23年6月)



・技術や研究に関する情報交換、
研究者の相互派遣、さらに将来に
おける共同研究の実施

※タイ運輸省地方道路局
タイの地方道に関する実務を所掌し、道路の建設
や維持管理に関する研究開発、技術基準の策定、
定期点検の実施、他機関への技術指導などを
行っている機関



CAESAR ～情報交流の場としての機能～

CAESARメンテナンス技術交流会

全体交流会

ニーズとシーズの出会いの場

参加者	提供情報例
道路管理者	損傷事例、技術的課題
民間・研究機関	開発技術(非破壊検査、耐荷力評価、補修・補強工法等)
CAESAR	橋梁の現状 研究情報(载荷試験予定等)

道路管理者

・技術ニーズ
・実構造物、撤去部材

民間・研究機関

・シーズ技術

実務で活用

技術開発

共同で研究

△△橋撤去部材活用WG

□□橋挙動計測WG

補修工法追跡調査WG

特定テーマWG

個別技術の議論

・土研で実施する载荷試験や実橋計測等の調査に合わせ、
適宜設置。
・各参加者が自主的に調査し、議論。

CAESAR ～情報交流の場としての機能～

CAESARメンテナンス技術交流会

■全体交流会を開催

当日は道路管理者より、管理橋梁の概要、損傷事例、技術ニーズ等について紹介され、参加者間で議論を行いました。



全体交流会の様子



全体交流会終了後、CAESARが保有している撤去部材を用いた载荷試験を見学



CAESAR ～情報交流の場としての機能～

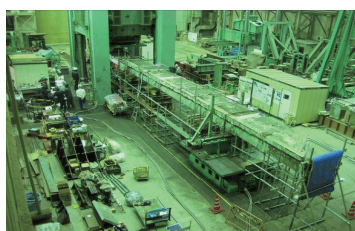
技術フィールドの提供

会員が保有する各種技術の適用性検証の機会として、CAESARが実施する撤去部材の载荷試験、供用中の橋梁での計測機会を、技術フィールドとして提供。実施状況を、会員へ公開。

Field-1 塩害撤去PC桁の载荷試験

Field-2 軸方向ひび割れの生じたPC橋の調査

Field-3 津波により甚大な損傷を受けた橋梁の調査



「CAESARの5年間の活動及び今後の取り組み」 鋼橋の劣化損傷と技術開発

独立行政法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
CAESAR

上席研究員 村越 潤

報告内容

1. はじめに ー鋼橋の損傷事例と課題ー
2. 鋼床版の疲労への対応
3. 鋼 I 桁橋の疲労への対応
4. トラス橋の主構部材の腐食への対応
5. おわりに ー今後の研究開発の取り組みー

鋼橋の損傷事例と課題

○鋼橋の主な劣化損傷は、腐食と疲労

- ・急速な高齢化に伴い、劣化損傷の著しい事例の増加
- ・目視点検だけでは診断困難な損傷事例の増加
- ・構造形式・発生部位により影響度も対処法も大きく異なる

る。

点検、診断、対策の技術開発が必要な事例

(1) 橋全体系の致命的損傷に至るおそれのある重大損傷

- ・トラス主構の腐食による耐力低下
- ・桁橋の主桁の疲労による部分破断
- ・吊橋等のケーブル定着部の腐食等による破断

(2) 損傷原因、対応方法の知見の充実が必要

- ・鋼部材の疲労全般

(第三者被害)

- ・鋼床版のデッキ陥没(デッキ進展き裂)

- ・RC床版の疲労以外の要因も含めた複合的な劣化損傷

(3) 現場条件に応じた対策技術の充実、標準化が必要な事例

(各種制約条件下での信頼性の高い、合理的な対策)

- ・桁端部の腐食による耐力低下 等

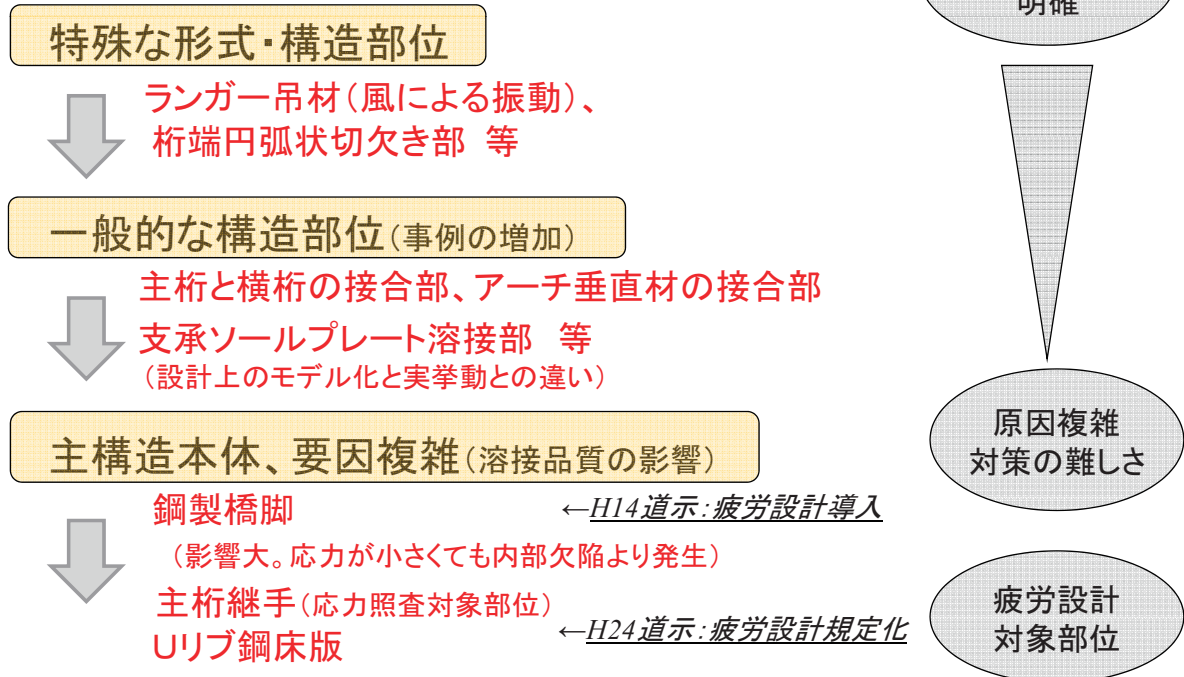
⇒維持管理の信頼性向上、負担軽減のための技術開発の必要性
(技術の体系化、要素技術の開発)

鋼床版の疲労への対応

※詳細については、臨床研究パンフレット中の参考文献、CAESARのHP公表の報告書を参照

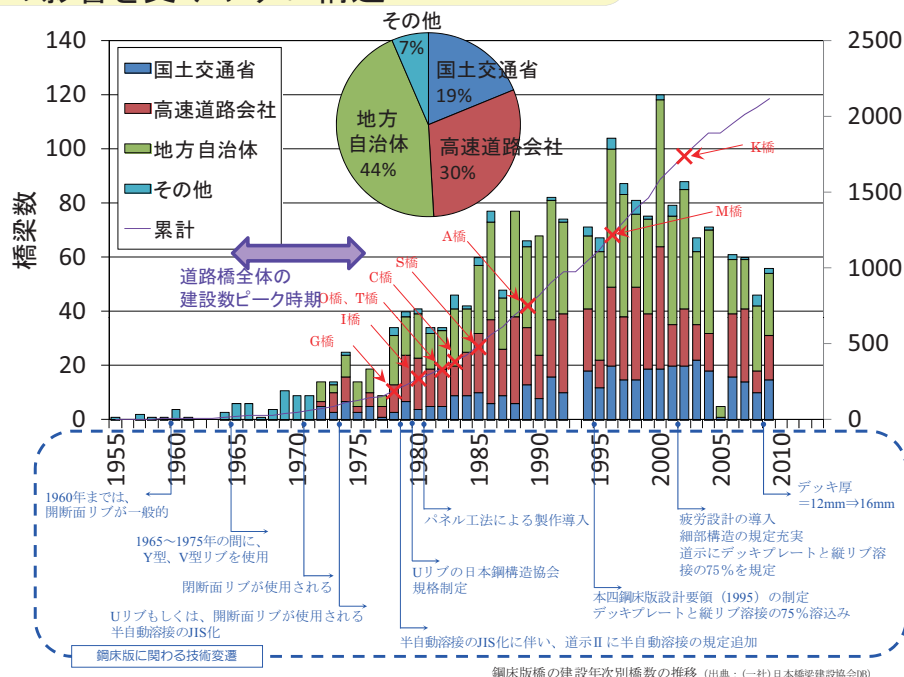
鋼橋の疲労損傷事例の変遷

○道路橋では1980年頃より報告事例あり。



鋼床版の概要と建設年次

- 鋼板を溶接により集成した構造
- 軽量のため、長大橋や都市内高架橋に広く適用
- 床版として輪荷重を直接支持
⇒疲労の影響を受けやすい構造



鋼床版の疲労対策のための取組み

- 各部位のき裂に対して原因究明、対策工法を検討
- 影響度の大きいき裂(デッキ進展き裂)を優先

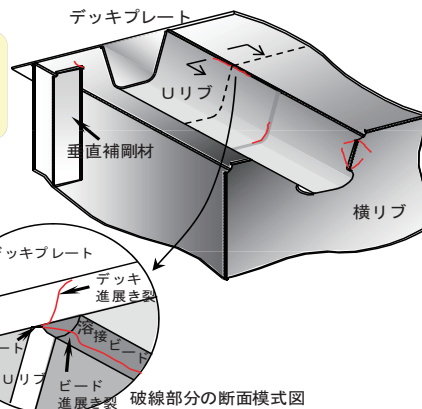
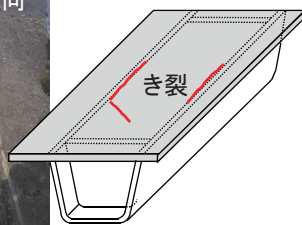
＜デッキ進展き裂の課題＞

- (1) 設計・施工上の問題点が不明
⇒**損傷原因説明、耐久性向上策**
- (2) き裂は、目視点検では検出困難
⇒**非破壊検査技術による調査法**
- (3) き裂進展時には路面陥没による第3者被害に
⇒**補修・補強方法、予防保全策**

※それぞれ共同研究を実施



舗装下に貫通したき裂(デッキ進展き裂)



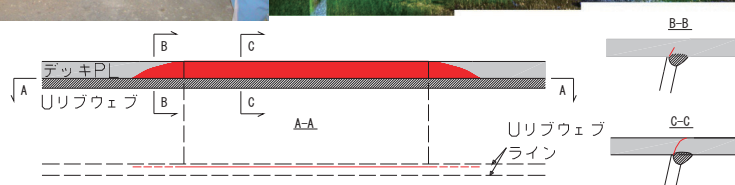
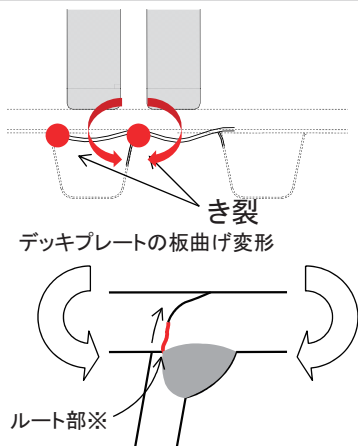
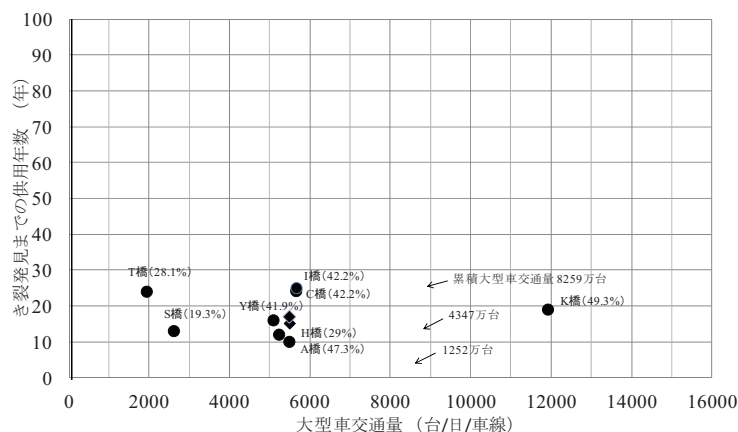
溶接に沿って長く進展したき裂(ビード進展き裂)

デッキ進展き裂の発生傾向

- 供用から10～30年程度で発生
(累積大型車交通量では1200
(万台/車線)程度以上)

- 損傷箇所は輪荷重が常時載荷される位置直下の溶接部
(概ねダブルタイヤが跨ぐ位置)

- 損傷箇所はデッキ厚12mm。
構造諸元との関係は不明確。

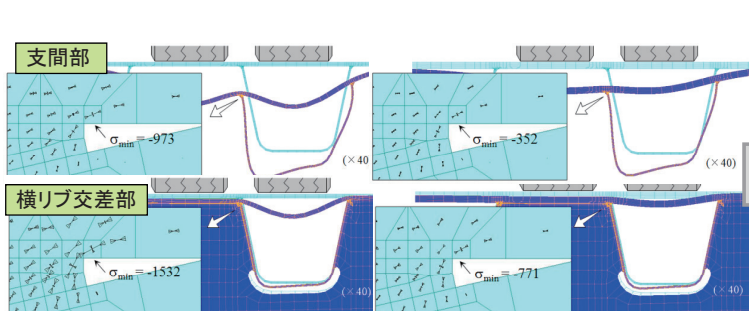


新設鋼床版の耐久性向上策 ―デッキ厚板化―

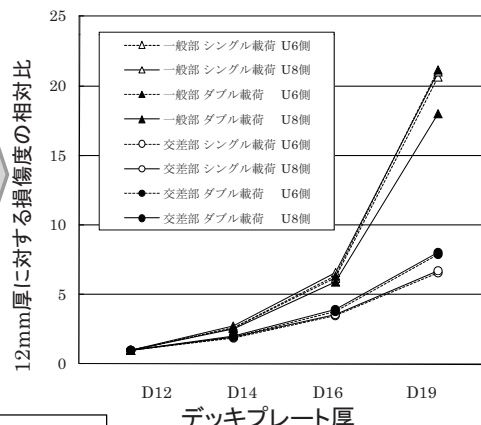
※国総研、橋建協と共同研究

○デッキ厚板化による応力軽減効果やき裂進展の遅延効果を確認

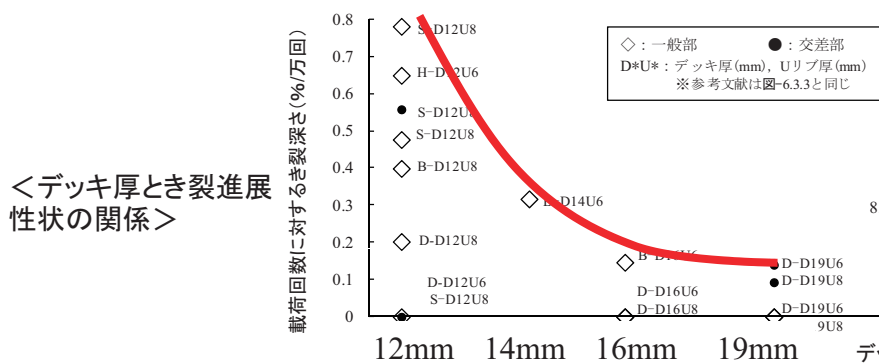
○疲労耐久性を確保するためにデッキ厚を12mmから16mmに増厚 (H21事務連絡、H24道示)



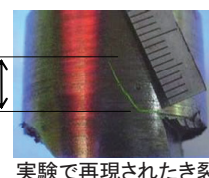
デッキ厚12mm デッキ厚19mm
＜デッキ厚を変えた場合の変形図と主応力＞



＜デッキ厚別の損傷度の比較＞



＜デッキ厚とき裂進展性状の関係＞

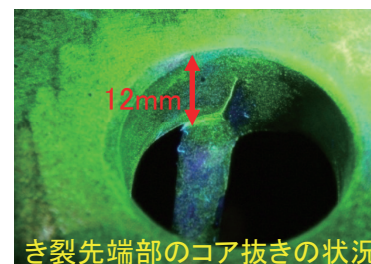


実験で再現されたき裂

疲労き裂の非破壊検査技術 ―要求性能―

■超音波探傷法の適用上の留意点

- 超音波の種類や探触子の種類により探傷方法は様々
- き裂の小さい段階から(精度の確保)、見逃し・誤検出することなく(信頼性の確保)、とらえるには利用目的に応じたカスタマイズが必要
- 一方では要求性能も明確に示せる知見はない。



き裂先端部のコア抜きの状況

■要求性能の設定

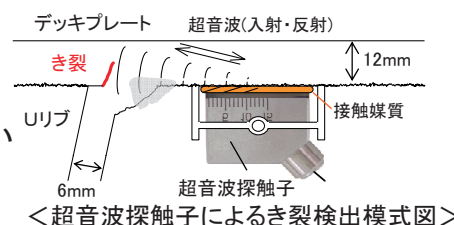
○深さ3mm程度のき裂の検出性能の確保

- ※深さ2mm程度までのき裂を他の反射源との識別は困難
- ※SFRC舗装施工後では内在き裂(7mm程度)は進展しないという試験報告。深さ3mmは対処可能なき裂と仮定。

○現場作業性の確保

- ・塗膜を除去せずに、塗膜上から探傷可能
- ・デッキプレートの下面側から比較的簡易に探傷可能(仕様)

- ・一探触子パルス反射法を採用。新たに塗膜の影響を除去する感度補正方法を提案
- ・検査技術者の技量に依存しないように自動走査化(探触子の走査と探触子位置の座標及びエコー高さのデータ収録が自動的に行えるもの)



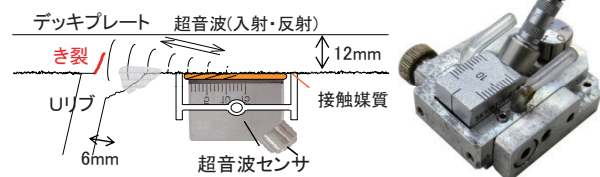
＜超音波探触子によるき裂検出模式図＞

疲労き裂の非破壊検査技術

※菱電湘南エレクトロニクス(株)および三菱電機(株)と共同研究

ー臨界屈折角探傷法ー

- 初期のき裂の検出可能な技術を開発
- 5橋で試行し、調査のための超音波探傷マニュアル案をとりまとめ
- 11橋での調査に適用。
⇒き裂の深さ計測のさらなる精度の向上、診断技術の高度化に取組中



<超音波探触子によるき裂検出模式図> <超音波探触子>

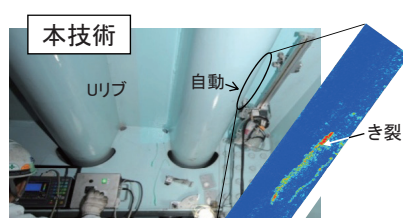
※浅いき裂の検出に適した屈折角が90度に近い探触子の超音波伝搬特性を活用した新たな感度補正法の開発
※超音波の反射波とき裂深さとの対応付けによるき裂の評価手法の開発

	従来技術(70度斜角探触子)	本技術
信頼性	・塗装の影響の補正が 困難 ・技術者の 技量差の影響あり	・塗装の影響の補正が 可能 ・技量差による き裂の誤検出を排除
精度	深さ 6mm 以上のき裂の有無を検出	深さ 3mm 以上のき裂の有無を検出
作業性	手動 探傷 (作業性・信頼性に課題あり)	自動 探傷 (探傷結果を位置情報とともに自動記録)



従来技術

上向き姿勢で手動

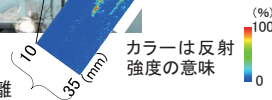


本技術

(効果)

- ・点検の信頼性向上に貢献
- ・合理的な対策の検討に活用
- ・対策実施までの監視や対策効果の検証に活用

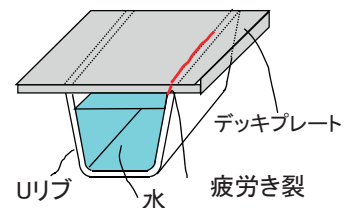
センサからき裂までの距離



デッキ貫通き裂を見つけるための非破壊検査技術

ーUリブ内の滞水状況から間接的にき裂を検知する技術ー

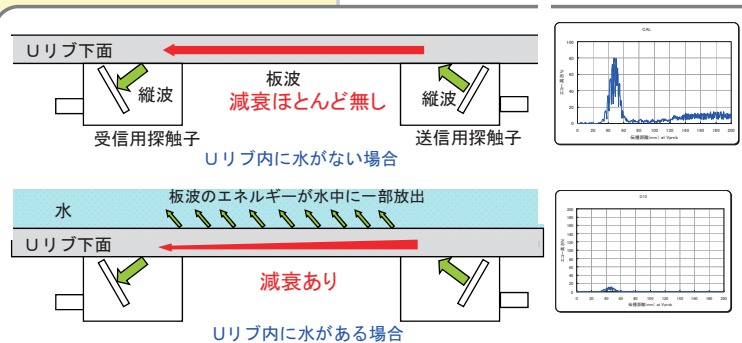
- 既にき裂が発生している場合の対策実施までの状況把握(安全性確保)
- 他の汎用手法では課題あり
 - ・汎用型UTでは、塗膜の影響により誤検出の可能性
 - ・赤外線カメラでは、日照条件、測定時刻、水深により計測に制約や限界あり。
- Uリブ内の雨水の有無によりUリブを伝わる超音波が減衰することを利用した調査方法を提案
- 3m程度離れた距離から1箇所5秒程度で滞水の有無と深さ(数mm)の計測が可能



※現場架設のブロック毎に、ダイヤフラム(仕切り板)が設置されており、その間に縦断勾配に応じて滞水



<現場における適用事例>



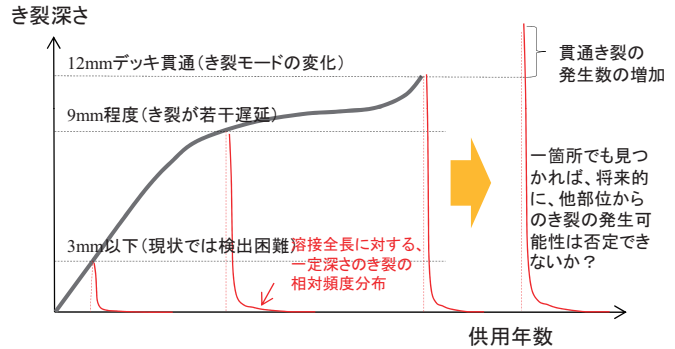
※対向させたセンサ(探触子)の間のUリブ内に超音波(板波)を伝搬させ、超音波の振幅の大きさの変化により裏面の滞水の有無を検知

※菱電湘南エレクトロニクス(株)および三菱電機(株)と共同研究

非破壊検査技術の開発・評価に際しての課題

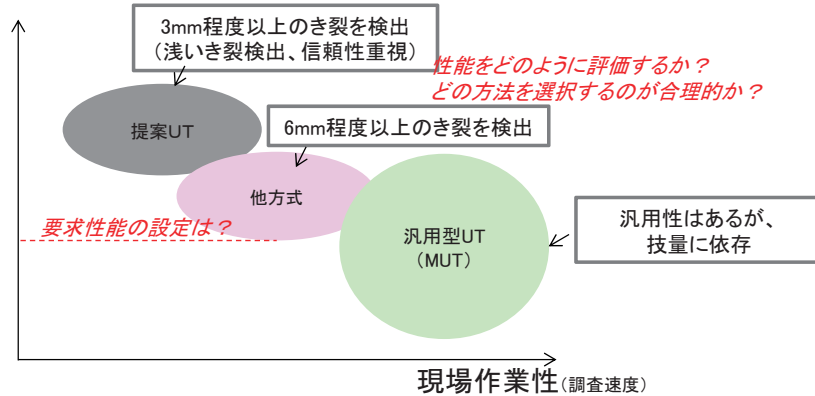
○非破壊調査事例は未だ少なく、き裂の発生・進展性状の全容の把握が必要
⇒調査結果の評価方法の提示へ

○技術の活用方法、要求性能の明確化と、性能評価方法の検討が必要



精度・信頼性

＜同一条件の溶接部からのき裂の発生傾向の想像図＞



＜技術の性能の関係イメージ＞

既設鋼床版の対策技術

○き裂が発見された場合、未だ発生していない箇所も含めて、鋼床版全体の応力軽減を図ることのできる対策が必要となる可能性大

⇒可能性の高い、鋼繊維補強コンクリート(SFRC)舗装について検証

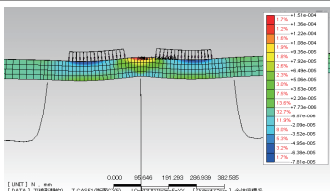
○研究成果、施工実績等による知見を踏まえ、適用の基本的な考え方、使用材料、構造細目、耐久性検証方法、施工方法等についてマニュアル作成

【補強工法に求められる性能】

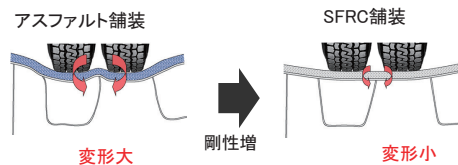
- ・デッキの局部変形の抑制とデッキとUリブの溶接部の局部応力軽減
- ・活荷重載荷等に対する疲労耐久性
- ・水の浸入やデッキ面の温度変化に対する耐久性

【検証の必要な内容】

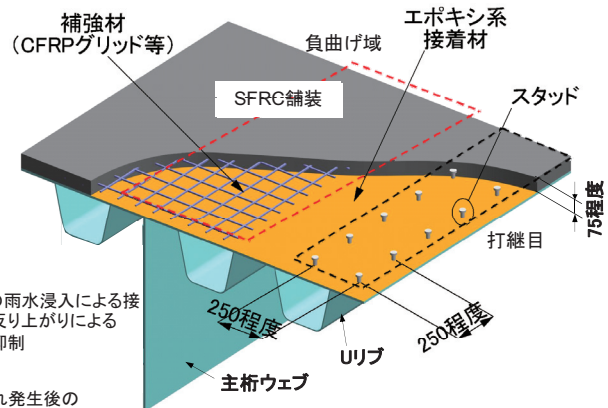
- ひび割れ発生は前提として、
- ・ひび割れ発生後の応力軽減効果の持続性
- ・水浸入の影響も含めたSFRC、接着材接合部の耐久性



＜主桁上の負曲げによる舗装ひずみ＞



＜補強効果模式図＞



(スタッド)
打継目や端部からの雨水浸入による接着材劣化や端部の反り上がりによる接合面の剥離等の抑制

(補強材)
負曲げ域にひび割れ発生後のSFRC舗装の一体化の保持

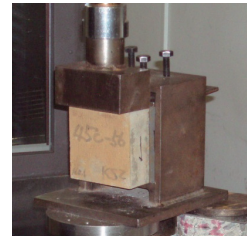
＜補強構造の概要＞

既設鋼床版の対策技術

○SFRCの基本物性(配合変動による物性変化)、乾燥収縮拘束率、ひび割れ抵抗性等の試験を行い、材料の配合条件の検討に反映

○SFRC舗装の耐久性の検証を行うとともに、他の工法の適用も視野に、性能評価のための試験項目を整理

項 目		試験概要		
		材料の選定及び施工条件	環境負荷条件	試験方法及び試験結果の評価
強度特性	接合面の強度	以下の材料の組合せを考慮して確認 ・接着材 ・SFRCの配合	【養生】 28日間 【試験温度】(恒温室に1日置く) -10℃, 20℃, 50℃	a)せん試験 SFRCでの破壊の面積割合が90%以上
		材料(接着材, SFRCの配合仕様)の組合せは上記と同一とした上で、工事毎に以下の施工条件を考慮 ・デッキプレートの温度 ・SFRC打設までの時間間隔 ・SFRCの配合	【養生】 28日間 【試験温度】 20℃	b)引張試験 SFRCでの破壊の面積割合が90%以上
耐久性	接合面の温度変化と水に対する耐久性	以下の材料の組合せを考慮 ・接着材 ・SFRCの配合	【養生】 28日間 【環境負荷】 50℃の水中に28日間浸漬した後、1日気中で乾燥 【試験温度】 20℃	a)せん試験 SFRCでの破壊の面積割合が90%以上
	接合面及びSFRC舗装の疲労耐久性	以下の材料の組合せを考慮 ・接着材 ・SFRCの配合	【養生】 28日間 【試験温度】 20℃	c)輪荷重走行試験 (SFRC舗装及び接合面の作用力を適切に反映できる載荷条件を考慮) 供用性, 安全性に支障を来すおそれのある損傷が生じないこと



環境負荷下でのせん断試験



現場個別条件下での引張試験



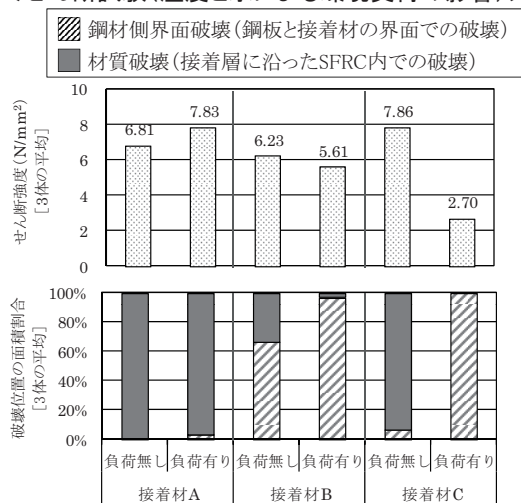
輪荷重走行試験

既設鋼床版の対策技術

○デッキと舗装の接合面及び舗装体の耐久性を確保するための適切な接着材と舗装材料の選定が重要

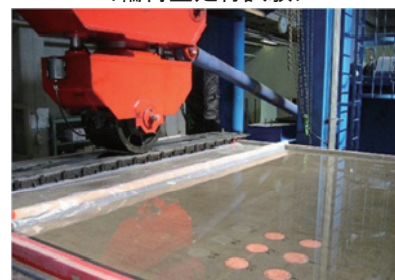
○特に大型の自動車の繰返し走行, 温度変化及び水の影響に伴う経年的な劣化に対して耐久性を有することを、使用状況を模擬した試験により確認することが必要

＜せん断試験(温度と水による環境負荷の影響)＞



○エポキシ系接着材に対して、接着材の性状及び硬化樹脂の物性だけでは、接合面としての性能が確保されるとは限らず、接着材接合面を模擬した試験が必要

＜輪荷重走行試験＞



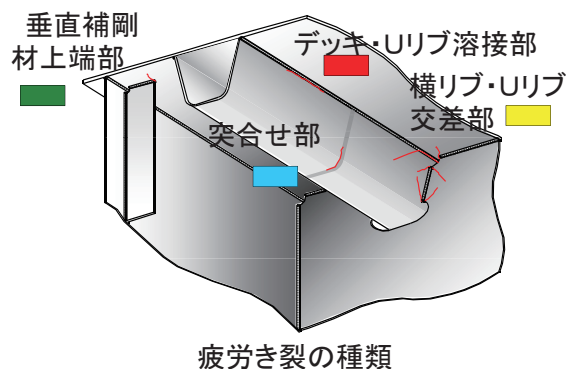
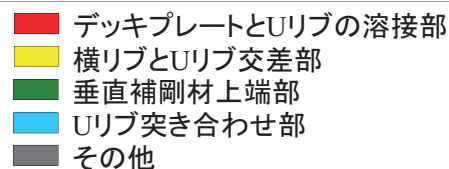
○水張り状態で輪荷重150kNの200万回の負曲げ載荷に対して供用安全性に支障を来す変状は発生せず

- ・主桁ウェブ上にひび割れがみられ、デッキ面までのひび割れの貫通を確認
- ・ひび割れの顕著な進行、鋼床版のひずみの大幅な変化、接着強度の低下は見られず。

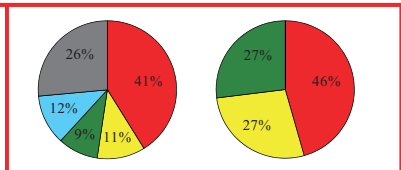
- 接着材の材料、施工条件によっては界面剥離が発生
- ・剥離の進行とともに、スタッドのみでせん断力を負担するモードに移行、スタッドの疲労破壊へ
- ・舗装に外観上の損傷はみられなかった
- ・鋼床版の応力低減効果も持続

き裂の発生部位の傾向の調査事例

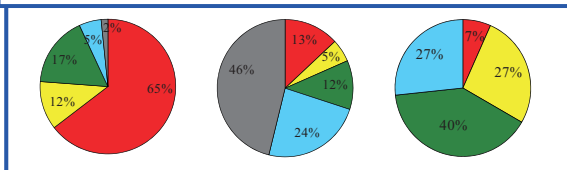
- 種類は、“その他”を除き類似
- 同一路線でも橋梁毎に発生傾向は異なる。
- ⇒今後のデータ蓄積と分析が必要



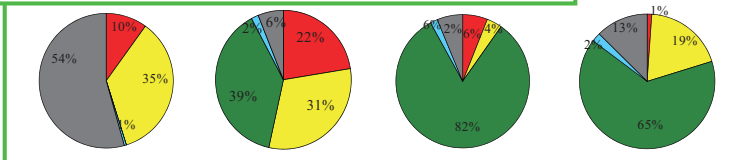
路線1, 2(累積大型車交通量:1.0億台程度)



路線3(累積大型車交通量:1.5億台程度)



路線4(累積大型車交通量:2.0億台程度)



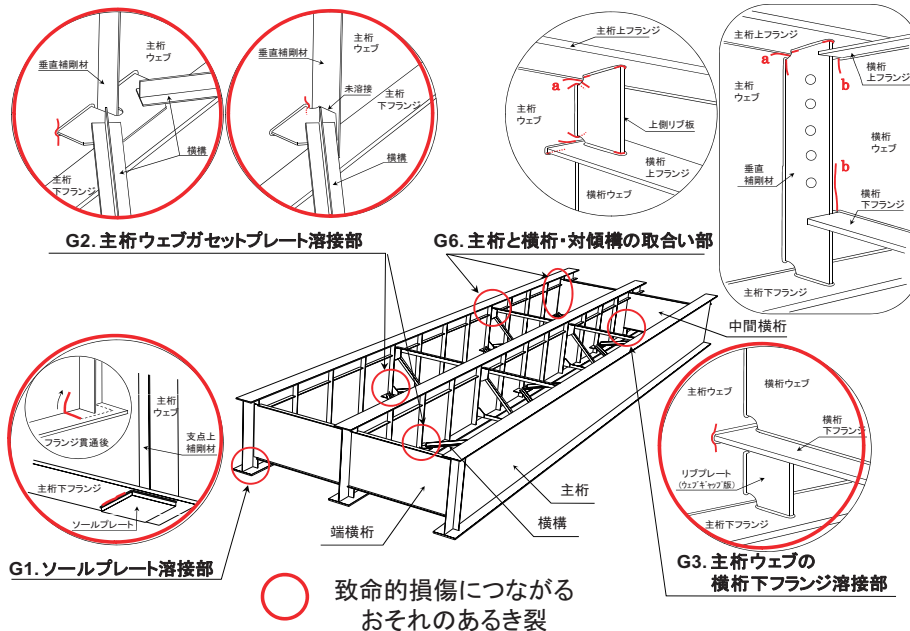
鋼 I 桁橋の疲労への対応

鋼 I 桁橋の疲労損傷部位

○定期点検結果を基に、損傷発生部位を整理

- ・主桁と横桁・対傾構接合部のき裂が大半を占める。
- ・主桁の致命的損傷につながるおそれのあるき裂の報告事例あり。

鋼I桁橋における主な損傷発生箇所(点検時に留意すべき部位)



疲労への取組み

○疲労による主桁の部分破断事例の発生

- ・疲労設計の対象主部材の溶接継手からのき裂
- ・疲労指針では適用しない方がよい継手に区分

○き裂の発生の可能性や時期の予測は困難

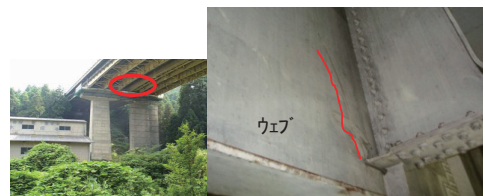
- ・各種要因が影響、点検時にき裂を確実に発見し、適切な対処が重要

○管理の信頼性向上の観点から、主桁継手の疲労耐久性を調査

- ・き裂の発生可能性
- ・き裂発生後の脆性破壊への移行危険性
⇒点検頻度、部位、優先度等の検討の基礎資料

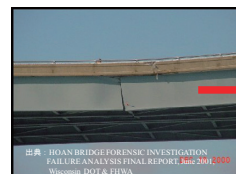
- ・古い年代の鋼部材の材料・強度特性の分析
⇒脆性破壊移行のき裂長評価

- ・実橋計測(供用下応力頻度計測)データの分析
- ・再現設計による損傷度と構造条件の関係の分析
⇒き裂の発生し易さを相対評価する手法の検討



主桁ウェブ溶接部より、1mを超えるき裂が発生

山添橋の桁破断事例(2006年)



海外の桁破断事例(米国、2000年)

3主桁のうち2主桁のウェブ溶接部より脆性破壊、桁破断、架替え

<き裂発生・進展の影響因子>

◇疲労き裂の発生・進展

- ・主桁溶接部の疲労強度
- ・構造条件(作用応力、振動特性)
- ・荷重条件(大型車交通量、荷重分布)

◇疲労き裂の脆性破壊への移行

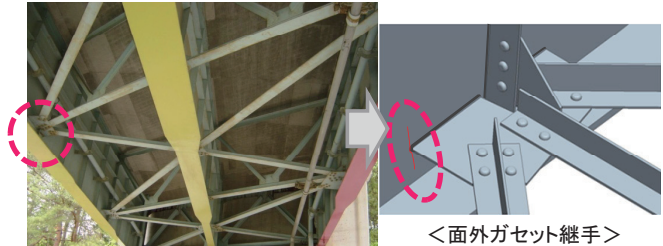
- ・構造条件(作用応力、動的応答特性)
- ・材料特性(破壊靱性値)

古い年代の鋼部材の限界き裂長の検討

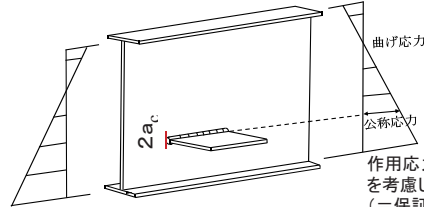
○CTOD試験の結果と、シャルピー衝撃試験結果(既往のデータ含む)から推定した値を基に破壊靱性値(き裂に対する材料抵抗値の下限側の値を整理

○鋼 I 桁橋の面外ガセット継手を対象に、実橋の交通条件や環境条件の中で、き裂が脆性破壊に移行する可能性のあるき裂長(限界き裂長)の下限側の値を試算

⇒き裂の早期発見・対処の重要性



＜面外ガセット継手＞



作用応力は、面外ガセット溶接継手位置を考慮して下フランジ位置の許容応力度(=保証降伏点/約1.7)の90%と仮定

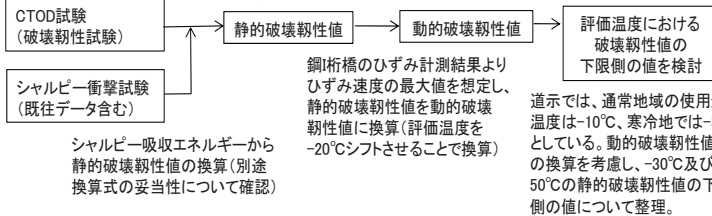
CTOD試験の概要

初期き裂(疲労き裂)を導入した試験片に対して3点曲げ試験を行い、脆性破壊した際のき裂開口変位量(限界CTOD値)を計測

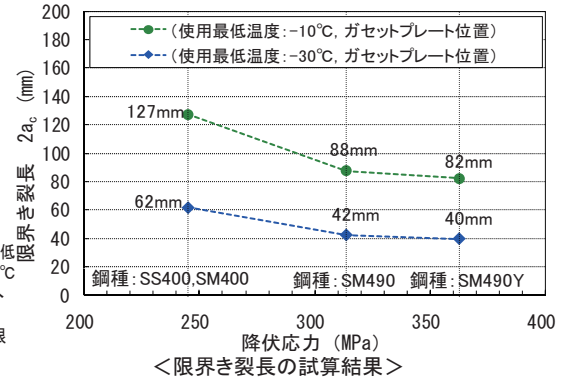


CTOD試験の概要

＜破壊靱性値の検討フロー＞



＜対象溶接継手とき裂＞



＜限界き裂長の試算結果＞

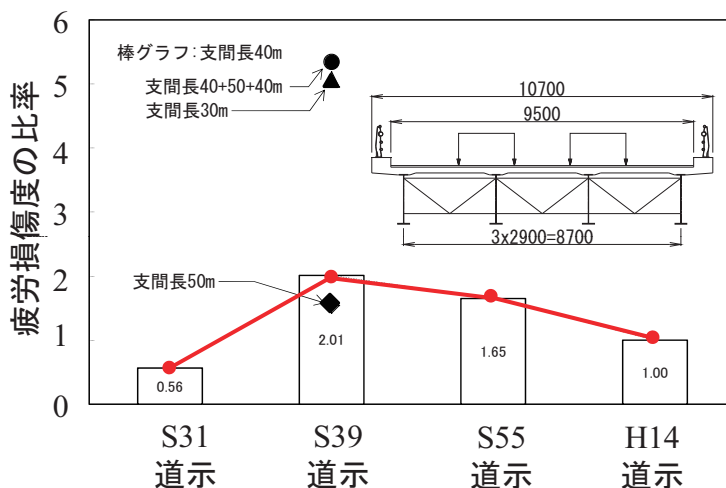
年代別の鋼 I 桁橋の疲労耐久性

○既設橋の再現設計を行い、適用基準、構造条件と損傷度の関係を分析

⇒S39道示が相対的に厳しい傾向

- ・使用鋼材の許容応力度の変化の影響
- ・設計活荷重応力度の変化(TL-20→B活荷重)
- ・床版等の基準変遷に伴う、死活荷重応力度の増加

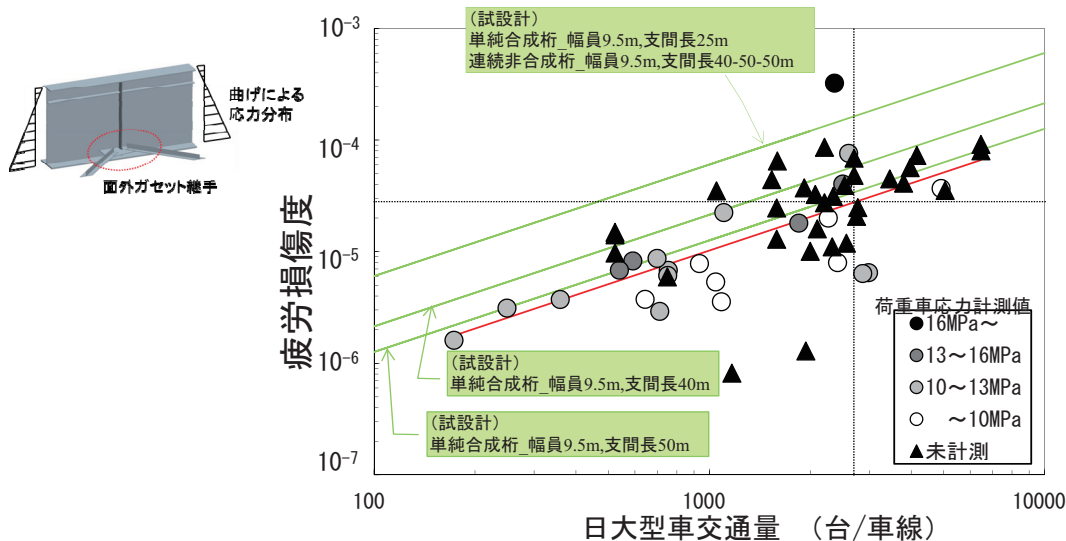
⇒T荷重振幅の大きい構造では厳しい傾向(短支間、連続桁、幅員小)



支間中央位置における疲労損傷度の比率
(H14道示の支間長40mの場合を1とする)

既設橋の応力実態

- 鋼桁橋の応力頻度計測結果と既往データによる損傷度を分析
- 損傷度の相対的に高い橋では疲労の影響も厳しい。
⇒日大型車交通量が多く、構造上、活荷重載荷時の応力が大きい橋ほど、疲労損傷度は相対的に大きくなる傾向



既設橋計測データに基づく疲労損傷度と日大型交通量の関係

※損傷度は、各橋梁の最大応力が発生した主桁の24時間応力頻度計測データ (計測箇所: 支間中央下フランジ) を用いて、累積損傷被害則より算出
 ※面外ガセット継手 (ガセット位置を考慮し計測値に0.85を乗じた値を使用) を対象に計測時間内 (24時間) の値を算出

トラス橋の主構部材の 腐食への対応

※詳細については、臨床研究パンフレット中の参考文献を参照

損傷事例と研究の背景

○トラス橋において、橋全体の安全性に直結する、主部材の損傷や不具合事例が相次いで発生

致命的損傷を防ぐための調査・診断方法

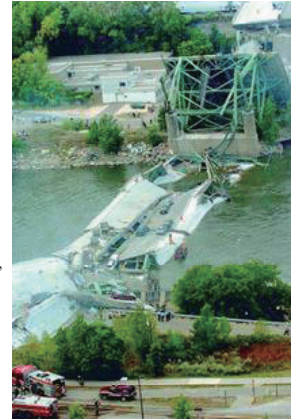
- ・損傷しやすい部位は？
- ・腐食による耐荷力の低下はどの程度か？
(どの程度の交通供用に耐えられるか？)
- ・どのように耐荷力の評価を行うのが良いか？

安全性(耐荷性能)の評価手法



(出典:NTSB Highway Accident Report, Collapse of I-35W Highway Bridge)

3径間連続上路トラス
(供用40年)



米国I-35W橋の崩落事故(2007年8月)



12連単純トラス(供用44年)

トラス橋の斜材の腐食・破断(2007年6月)



3径間連続トラス(供用41年)

トラス橋の斜材の腐食・破断(2007年8月)



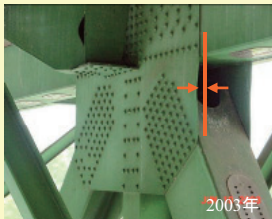
(出典:国土交通省資料)

ミネアポリス I-35W橋の崩落事故 NTSB報告 -鋼トラス橋におけるガセットプレートの維持管理の重要性-

《格点部の維持管理に係わる指摘事項》

これまで認識されてこなかった格点部の腐食欠損や変形等の損傷に対する点検・状態評価の重要性を指摘

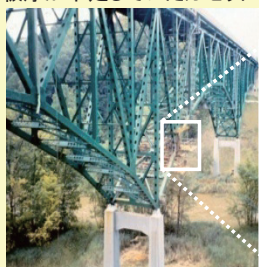
⇒点検研修、点検マニュアル等への反映を勧告



崩壊の起点とされた
板厚が不足していたガセット



ガセットの局所腐食欠損の例



直上のジョイントからの漏水に伴う断面欠損による座屈

出典:NTSB Highway Accident Report Collapse of I-35W Highway Bridge



ガセット部の滞水、土砂堆積、腐食事例

研究の全体像

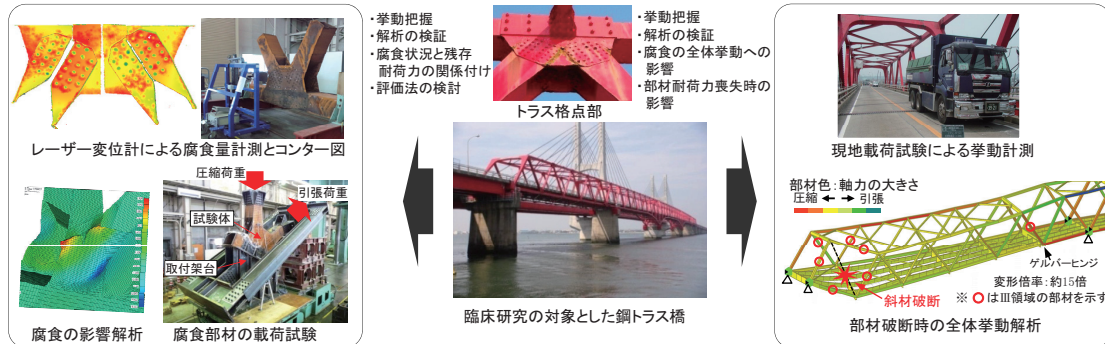
部材レベルのアプローチ

- 腐食部材の残存耐荷性能評価手法の開発
⇒ 腐食状況の調査、載荷試験、構造解析
 - 腐食状況と部材耐力の関連付け
 - 腐食状況に応じた残存耐荷性能の評価
 - 錆層上からの非破壊検査手法の適用性評価と実用的な調査手法の考案
 - 腐食状況の調査手法の提示

全体系レベルのアプローチ

- 橋全体系の耐荷性能評価のためのモデル化手法の開発
⇒ 実橋計測、全体構造解析
 - 全体挙動の把握
 - 実務レベルモデルの適用性評価
 - 部材耐力喪失前後の耐荷性能の評価

- 維持管理実務への反映
 - 維持管理上の留意点、耐荷力評価の考え方
 ⇒ 技術相談、研修等に活用、情報提供

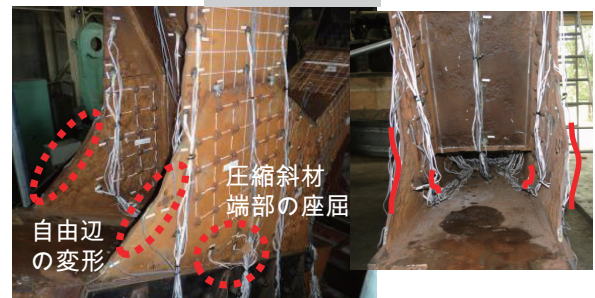


圧縮を受けるトラス格点部の残存耐荷力

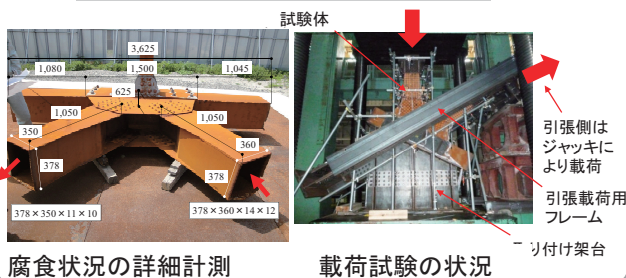
腐食量計測、載荷試験、腐食を考慮した弾塑性FEM解析により腐食時の挙動を検討

- 実際の腐食を想定した場合の破壊挙動、耐荷力の低下度合を把握
- 平均残存板厚より、耐荷力を概略評価可能

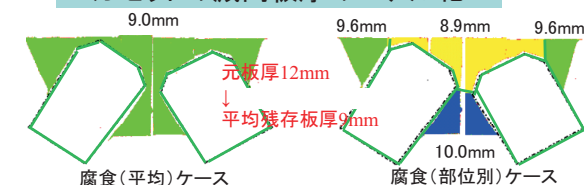
破壊性状



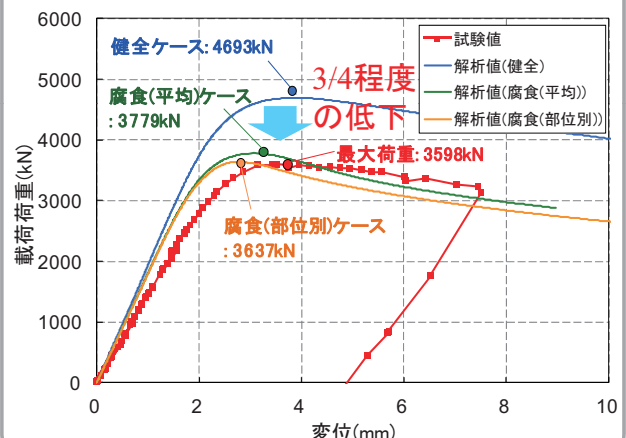
腐食量計測と載荷試験状況



ガセットの減肉板厚のモデル化



圧縮荷重－載荷点鉛直変位関係

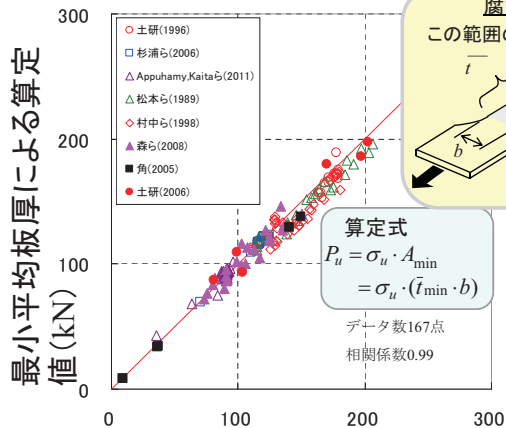


引張を受ける主構部材の残存耐荷力

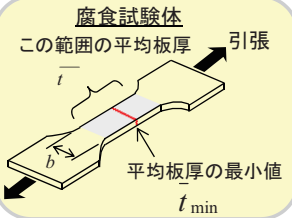
- ・腐食鋼板の引張試験、既存の試験結果の収集(167体)を行い、残存強度と減肉量との関係を分析

- ・作用力に対し、概ね、直角方向の最小断面で破壊。
- ・最小断面積(最小平均板厚)による耐荷力評価式の妥当性を検証

既存の耐荷力評価式とその検証



引張強度の実験値と算定値の関係



引張部材(H断面)の破壊性状

引張荷重の載荷過程において、腐食による応力集中部より、き裂が発生、進展



フランジ縁端の応力集中部からの複数き裂の発生



最小断面で破壊が進展

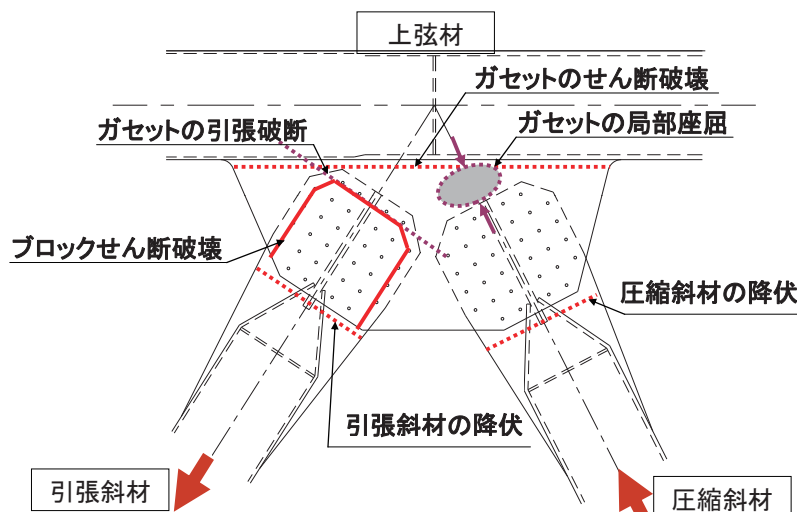


第一リベット孔引き部での部分破断

トラス格点部の耐荷力評価手法の検討

- ・腐食時に想定される破壊性状を整理。それぞれの耐荷力評価式を検討中
- ・腐食状況や構造諸元によっては、斜材接合部の引張降伏等がクリティカルとなる可能性

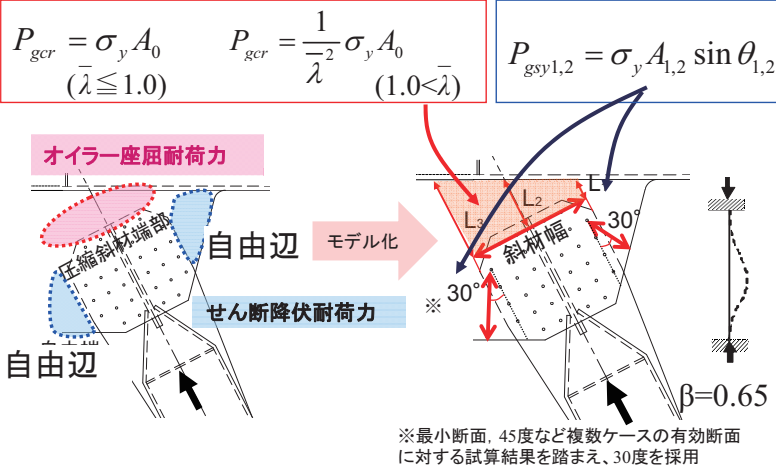
<想定される破壊性状>



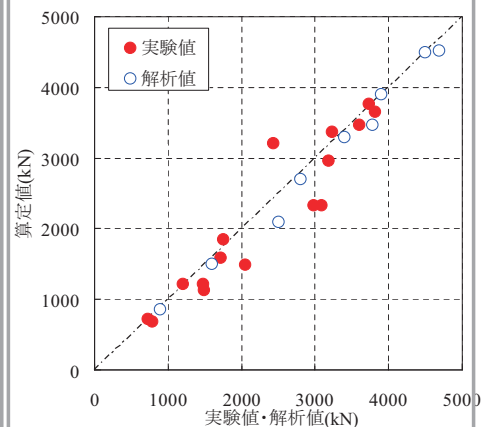
トラス格点部の耐荷力評価手法の検討

- 弾塑性FEMによりガセットの幾何学的形状が破壊性状、耐荷力に及ぼす影響を分析、評価式を提案
- 既往の試験・解析結果等を踏まえ、評価式を検証
※既存の試験結果(健全体)に対し、試験値と評価式算定値は概ね一致

圧縮軸力に対する提案する評価式



実験値・解析値との比較

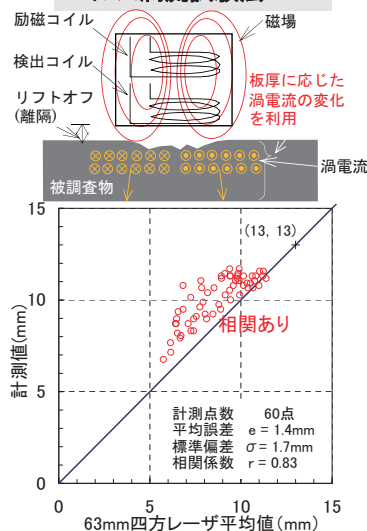


非破壊検査技術の腐食量計測への適用性評価

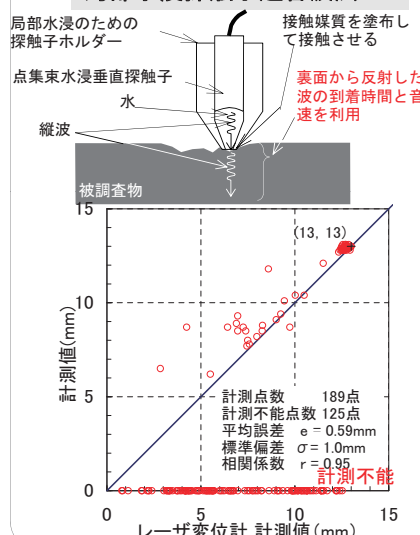
- 他分野を含め既往非破壊技術を調査、可能性のある技術を抽出 ※厚い錆層上からの適用性を前提とした技術でないものも含む。
- 腐食部材を用いた性能確認試験を行い、錆層上からの適用性を評価



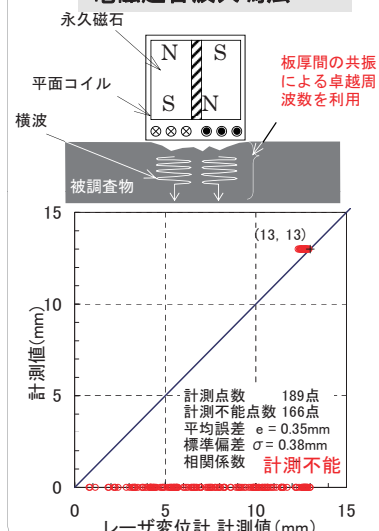
パルス渦流試験法



局部水浸探触子超音波法



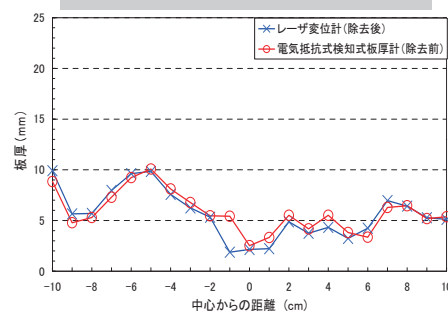
電磁超音波共鳴法



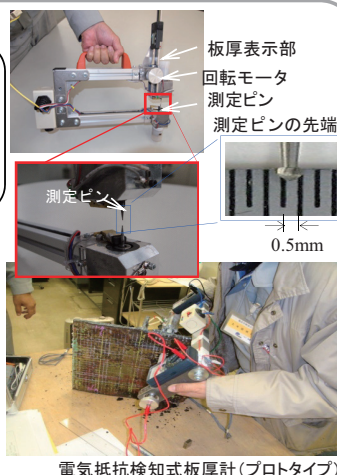
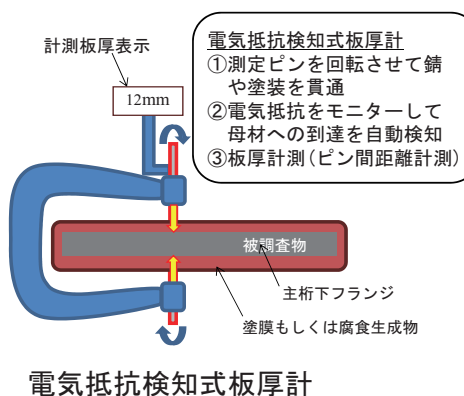
非破壊検査技術の腐食量計測への適用性評価

- ・既存技術では錆層上からの板厚計測には課題あり。
- ・残存板厚を簡易に直接的に計測する手法として、電気抵抗検知式の板厚計を提案、実験により検証

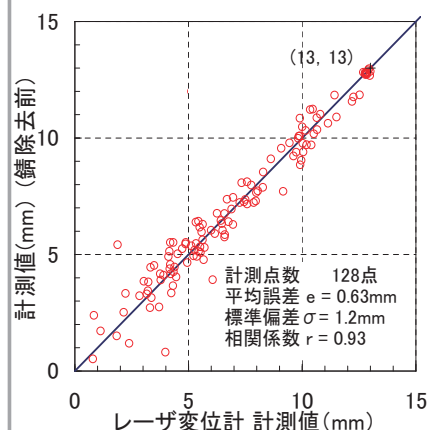
一断面内の腐食量の計測例



提案する計測手法



真値と計測値の関係



橋全体系の挙動評価のためのモデル化の検討

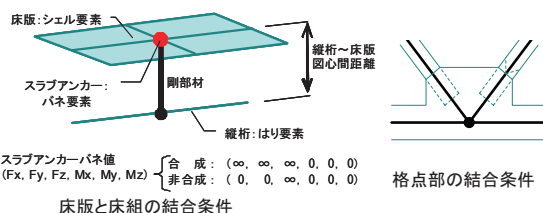
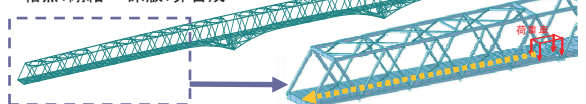
実橋計測(荷重車載荷試験)を行い、主構部材やトラス格点の挙動を把握するとともに、解析結果と比較

橋全体系の挙動(応答値)を算定するための実務レベルの解析モデルの適用性を検証

- ・主構部材の軸力は概ね一致
- ・格点部、床版と縦桁の結合条件や鋼材の腐食が軸力に与える影響は小さい

解析モデル

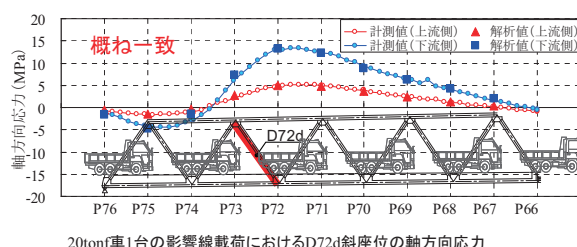
主構: 線形はり要素+床版: 線形シェル要素
格点: 剛結 床版: 非合成



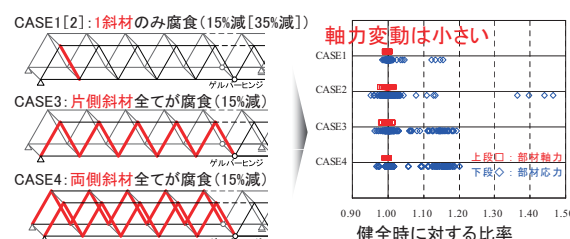
静的載荷試験

動的載荷試験

計測値と解析値の比較例



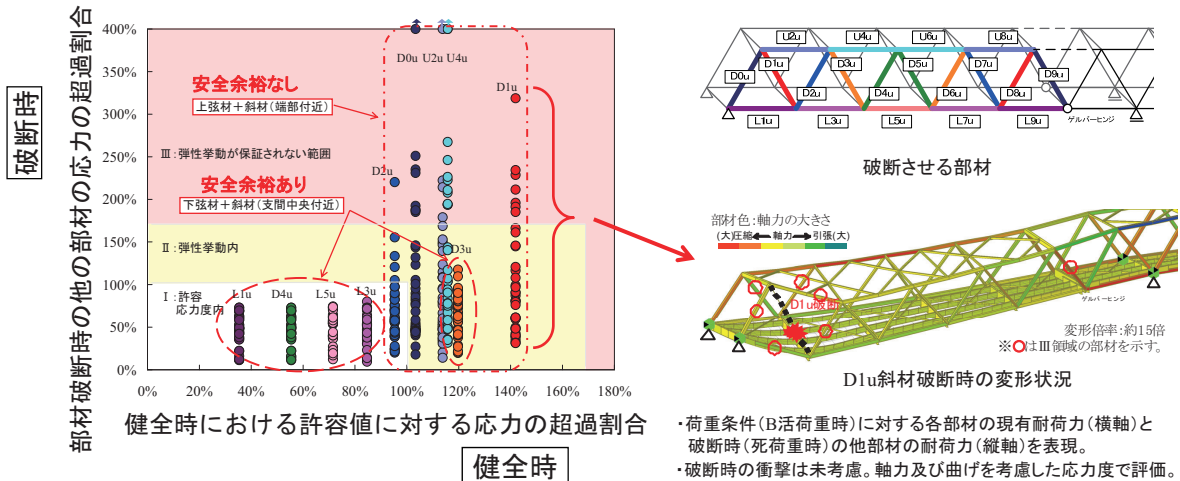
腐食の全体挙動への影響



橋全体系の耐荷性能の評価

- ・各主構部材の破断が橋の全体挙動(他部材の安全性)に与える影響を評価
- ・各部材の腐食欠損時の安全余裕を評価
(横組部材、床版とトラス主構との協同作用が耐荷性能に与える影響を把握)

主構部材の耐荷性能評価のケーススタディ



おわりにー今後の研究開発の取組みー

- 各構造の損傷事例に対する、調査から対策に至るまでの技術の体系化
- 維持管理の各段階を支える要素技術の開発、検証、標準化
- 新設橋へのフィードバック(耐久性の高い構造へ)

- ・点検・診断を支援する非破壊検査技術 ※必要とされる精度・信頼性を確保した技術
 - ・目視困難な部位の損傷の状態把握
(吊材・定着部、埋込部、床版内部等の状態把握)
 - ・点検しにくい部位の点検の効率化
(近接可能な点検機材、遠隔計測、塗膜下・錆層下の状態把握)
 - ・外観以外の診断に有用な状態把握(応力状態等)
- ・腐食への対応
 - ・主 構: 損傷状態と健全度との対応付け、対応の優先性の評価方法、調査、診断、対策の各段階での留意事項の提示
 - ・桁端部: 現場制約条件を考慮した対策技術の充実
 - ・補強設計法、施工品質の確保のための方法
- ・疲労への対応
 - ・詳細調査データと構造条件、交通条件による傾向分析⇒点検、診断に活用
 - ・調査、診断、対策の各段階での留意事項の提示
 - ・対策技術の充実(耐久性に対する信頼性の高い工法)
- ・知見の充実の必要な事例への対応 (RC床版の複合的な劣化損傷・・・)

コンクリート橋の劣化損傷と 技術開発

独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
上席研究員 木村嘉富



第6回CAESAR講演会
2013年9月11日

コンクリート橋での損傷事例

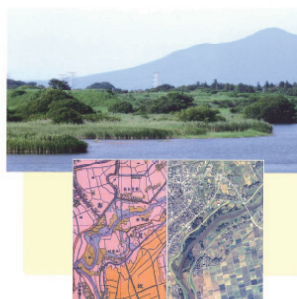


土木技術資料での対応事例紹介



土木技術の
総合情報誌

CIVIL ENGINEERING JOURNAL



特集 水域生態系の保全・再生

土木技術講座 社会基盤経済論 第8回
マクロ経済上の特性と工学の役割(最終回)

編集協力 国土交通省国土技術政策総合研究所
監行 監行人 土木研究所
発行 発行所 土木研究所

No.
Vol.51

現場に学ぶメンテナンス 鋼トラス橋のコンクリート埋込み部材の腐食へ

現場に学ぶメンテナンス

【現場に学ぶメンテナンス】

鋼トラス橋のコンクリート埋込み部材の腐食	(H21.8)
鋼部材の疲労き裂(その1)主桁	(H21.10)
〃 (その2)鋼製橋脚	(H21.12)
吊材破断時の安全対策—PCアーチ橋—	(H22.7)
橋脚基礎の洗掘	(H23.1)
橋台基礎の洗掘	(H23.3)
軸方向鉄筋にSD490を用いる中空断面橋脚の耐震性	(H23.5)
鋼部材の疲労き裂(その3)鋼床版	(H23.8)
ASRにより劣化した橋台	(H23.11)
橋台基礎の震災復旧	(H23.12)
地震により変形したゴム支障の震災復旧	(H24.2)
PC鋼材の腐食損傷—妙高大橋—	(H24.5)
橋脚基礎の洗掘への緊急復旧	(H24.8)
ゲルバーヒンジ部補強吊り部材脱落	(H25.1)
アルカリ骨材反応が生じたPC橋	(H25.7)

ように既設橋梁で斜材
落橋に至らなくても
は破断前と異なる応力
と適切に評価して対策
を打つことになるた
だ、また、アーチ橋や
腐食以外にも、垂直
風や自動車荷重に起
こっている。
引張部材のように腐
食とみえる可能性が高
い留意し、健全性の判
断に橋の供用条件や部
材、工事等に伴う状態
を十分な検討を行い、
事故を防ぐためには

編集協力
国土交通省国土技術政策総合研究所
監行 監行人 土木研究所
発行 発行所 土木研究所

コンクリート橋の維持管理技術の開発



安全管理:

- 落橋に至る致命的な損傷を見逃さない。
- 損傷状態を評価し、交通規制等、適切な措置を行う。
 - ・ 致命的な損傷の検知技術
 - ・ 通行規制等判断のための耐荷性能評価法
 - ・ 耐荷性能の回復法
 - ・ 変状モニタリング手法

計画的な保全:

- 橋梁の状態を評価・予測し、適切な時期に、適切な補修を行う。
 - ・ 劣化状況の調査技術
 - ・ 劣化の進行予測手法
 - ・ 適切な補修工法

加藤橋

船生大橋

長橋

和歌川海溝橋

長橋

保岡

豊谷橋

津波橋

伊賀新大橋

近野新橋

CAESAR
独立行政法人土木研究所

独立行政法人土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

橋梁諸元	
橋梁名	菅代水門管理橋
地名	岩手県下閉伊(しもへい)郡菅代村
橋梁形式	単純ポステンションPCT桁橋×4連
橋長	100.05m
支間長	22.0m×4
竣工年	昭和59年(1984年) 27年経過

■一般図

研究概要

・その他(材料強度試験、非破壊検査技術の適用性)

各経間の各主析

- ・健全時の解析値(変モデル)に対して、第3区間に2~3割程度、4区間に1~2割程度の振動数の低下を確認
- ・第3区間の曲げ2次の低下度が曲げ1次および3次に比べ小さいの換算位置が振動モードの形に該当する点とみえ確認
- ・第4区間において、高次振動モードにて振動数の低下が顕著
- ・各主桁上の振動数に対して若干差異が確認され、概ね残留自由率の大抵値と見做され確認

.....

橋梁諸元	
橋梁名	相見川(あいみがわ)高浜橋
路線、地名	能登海浜自転車道、石川黒羽岬市
橋梁形式	単純ポストテンションPCT桁橋×2連
橋長	44.0m
支間長	19.2m+23.24m
竣工年	昭和47年(1972年) 38年経過

研究概要

・研究目的
 塩害により、コンクリートおよび鋼材に損傷の生じたポストテンションPC桁の耐荷力の確認

・調査内容
 ・グラウト充填調査
 ・載荷試験による耐荷力の確認
 ・その他(材料強度試験、非破壊検査技術の適用性)

2019年12月15日

・「ゆびの先端の状況は、一般末充満期が確認されたが、比較的良好にゆびの先端の発育が確認した誘存プレストレスは、部位に異なり、外側の発達の程度とプレストレスの低下やせみ断ひゆびの発育に異なる程度相関が認められた。

・運動特性について、高次運動モードにて協調を演出できる可能性あり。

・光学的全視野計測にて、面的なひきずみ率の計測やひき断れとの相関を確認。

・指根部を切断し、付着のみが寄与している状態で載荷試験を実施し筋力に与える影響を確認予定。

18300

貸付期間:	
世人融資費-1:	2800
世人融資費-2:	3000

載荷試験前の損傷状況

関連資料「塩害を受けたポストテンションPCT析の曲げ
2012.9.




割れ計測
 (3)

デジタルカメラによるひび割れ計測
 (首都高技術(株))

土木学会全国大会, 2013.9

[illegible]

轉錄阻

※X線透視法によるグロウト充填部 荷重一変位(せん断荷重試験)

曲げひび割れ発生荷重から推定したプレストレスト減少率と断面損傷率

	プレストレスト減少率 [※]			断面損傷率
	健全 (補修済)	崩壊部	減少率	
自由断端	1565	1105	245	27%
せん断断端①	955	900	55	6%
せん断断端②	975	725	250	22%

※プレストレストは各曲げひび割れ発生位置における推定値

Figure 1 is divided into four panels illustrating the measurement of the center of gravity of the whole body. The top-left panel shows a person standing on a force plate with a coordinate system overlaid. The top-right panel shows a person standing on a force plate with a camera system above. The bottom-left panel is a graph titled '重心計測結果(砂袋による加重)' (Center of Gravity Measurement Results (Weighting by Sand Bag)). The bottom-right panel is a graph titled '重心計測結果(せん断載荷試験①)' (Center of Gravity Measurement Results (Shear Load Test ①)).

第一 次	第二 次	固有運動数 (Hz)	
		常時運動	震動時
0.004	0.004	0.004	0.004

図 10-10-10 鋼管のひび割れ発生状況 (単位: mm)

位置	ひび割れ長さ (mm)	ひび割れ幅 (mm)
1	0.450	0.050
2	0.95	0.09
3	21.201	21.578
4	21.130	21.047
5	0.99	0.09
6	0.99	0.09
7	0.99	0.09
8	0.99	0.09
9	0.99	0.09
10	0.99	0.09
11	0.99	0.09
12	0.99	0.09
13	0.99	0.09
14	0.99	0.09
15	0.99	0.09
16	0.99	0.09
17	0.99	0.09
18	0.99	0.09
19	0.99	0.09
20	0.99	0.09
21	0.99	0.09
22	0.99	0.09
23	0.99	0.09
24	0.99	0.09
25	0.99	0.09
26	0.99	0.09
27	0.99	0.09
28	0.99	0.09
29	0.99	0.09
30	0.99	0.09
31	0.99	0.09
32	0.99	0.09
33	0.99	0.09
34	0.99	0.09
35	0.99	0.09
36	0.99	0.09
37	0.99	0.09
38	0.99	0.09
39	0.99	0.09
40	0.99	0.09
41	0.99	0.09
42	0.99	0.09
43	0.99	0.09
44	0.99	0.09
45	0.99	0.09
46	0.99	0.09
47	0.99	0.09
48	0.99	0.09
49	0.99	0.09
50	0.99	0.09
51	0.99	0.09
52	0.99	0.09
53	0.99	0.09
54	0.99	0.09
55	0.99	0.09
56	0.99	0.09
57	0.99	0.09
58	0.99	0.09
59	0.99	0.09
60	0.99	0.09
61	0.99	0.09
62	0.99	0.09
63	0.99	0.09
64	0.99	0.09
65	0.99	0.09
66	0.99	0.09
67	0.99	0.09
68	0.99	0.09
69	0.99	0.09
70	0.99	0.09
71	0.99	0.09
72	0.99	0.09
73	0.99	0.09
74	0.99	0.09
75	0.99	0.09
76	0.99	0.09
77	0.99	0.09
78	0.99	0.09
79	0.99	0.09
80	0.99	0.09
81	0.99	0.09
82	0.99	0.09
83	0.99	0.09
84	0.99	0.09
85	0.99	0.09
86	0.99	0.09
87	0.99	0.09
88	0.99	0.09
89	0.99	0.09
90	0.99	0.09
91	0.99	0.09
92	0.99	0.09
93	0.99	0.09
94	0.99	0.09
95	0.99	0.09
96	0.99	0.09
97	0.99	0.09
98	0.99	0.09
99	0.99	0.09
100	0.99	0.09

図 10-10-11 鋼管のひび割れ発生状況 (単位: mm)

位置	ひび割れ長さ (mm)	ひび割れ幅 (mm)
1	0.450	0.050
2	0.95	0.09
3	21.201	21.578
4	21.130	21.047
5	0.99	0.09
6	0.99	0.09
7	0.99	0.09
8	0.99	0.09
9	0.99	0.09
10	0.99	0.09
11	0.99	0.09
12	0.99	0.09</

せん断耐荷性状に関する載荷試験

破壊形態・進行過程の把握 耐荷力評価法

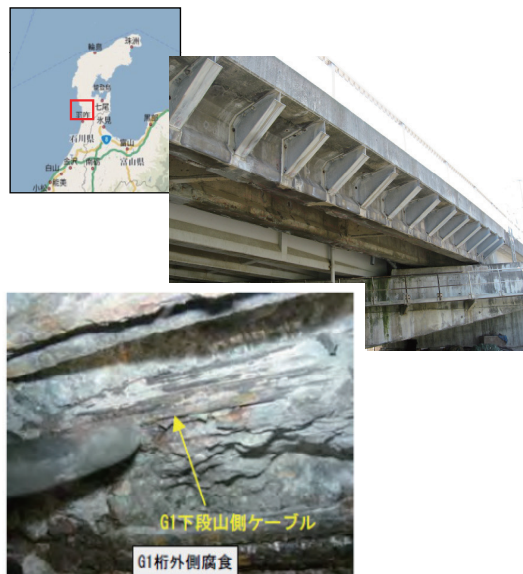


残存鋼断面積、付着力の低下等

鋼材腐食による影響

橋梁概要

橋梁名	相見川(あいみがわ)海浜橋
路線、地名	能登海浜自転車道, 石川県羽咋市
橋梁形式	単純ポストテンションPCT桁橋×2連
橋長	44.0m
支間長	19.2m+23.24m
竣工年	昭和47年(1972年) 38年経過



全PC鋼材8本のうち2本にて一部素線破断を確認

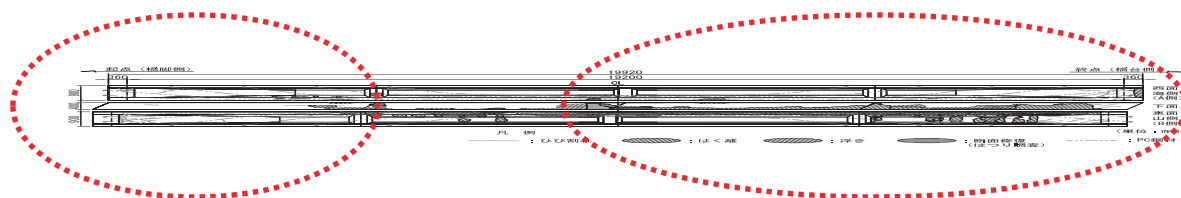
履 歴

昭和47年 竣工
(適用示方書: 昭和43年PC道路橋示方書)
平成19年 点検・調査
平成21年 詳細調査
平成22年 撤去
(架設後, 補修履歴はなし)

■ 損傷図(載荷試験前)

(北側)

(南側)



比較的損傷が軽微

損傷が顕著

■曲げ載荷試験

- 残存プレストレス量の検討を目的として、ひび割れ発生荷重まで載荷
載荷方法は支間中央にて載荷(2点単純支持、2点載荷による静的載荷)



■せん断載荷試験

- せん断耐荷力評価を目的として、載荷方法は $a/d \approx 3.0$ ※にて載荷(1点静的載荷)
(せん断ひび割れが確認されるように設定)

- 載荷試験実施前および載荷試験後に加振により振動特性の確認を実施

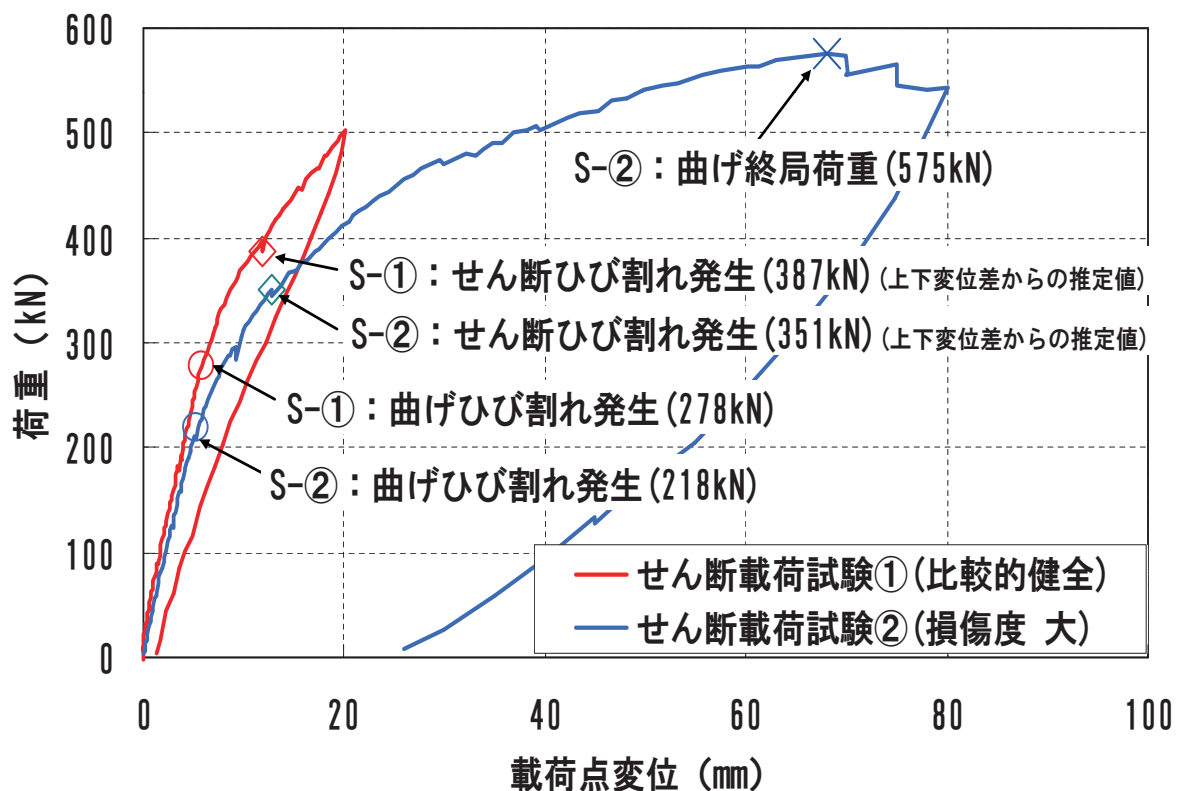
※既往研究「既設コンクリート道路橋の健全度評価に関する研究(H20～H22)」



■載荷試験状況



■せん断載荷試験



■曲げひび割れ発生荷重によるプレストレス減少量の推定値

	プレストレス(kN)			表面 損傷度
	健全※1 (計算値)	実験値	減少率	
曲げ載荷	1568	1188	24%	27%
せん断載荷①	958	906	5%	0%
せん断載荷②	970	738	24%	22%

※1 プレストレスは各ひび割れ位置での推定値

※2 各載荷区間における上フランジを除いた桁の表面積に対する損傷(浮き・剥落)の比率

■各耐荷力における実験値と計算値の比較

			せん断載荷試験 －1	せん断載荷試験 －2
計算値※1 (kN)	せん断ひび割れ	$P_{Vcr_{cal}}$	513 (377)※2	430 (324)※2
	せん断破壊	$P_{Vu_{cal}}$	707	601※3
	曲げ破壊	$P_{Mu_{cal}}$	702	572
実験値 (kN)	せん断ひび割れ	$P_{Vcr_{exp}}$	387	351
	最大荷重	$P_{u_{exp}}$	－	575
比率 (実験値/計算値)		P_{Vcr}	0.75 (1.03)※2	0.82 (1.08)※2
		P_{Vu}	－	0.96
		P_{Mu}	－	1.01

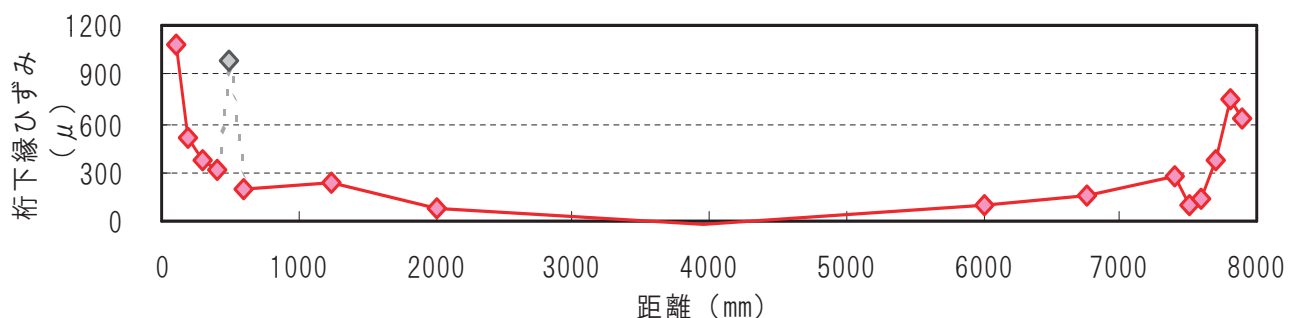
※1 計算値は自重による断面力を控除した値

※2 (－)内は V_{pv} を考慮しない場合の値

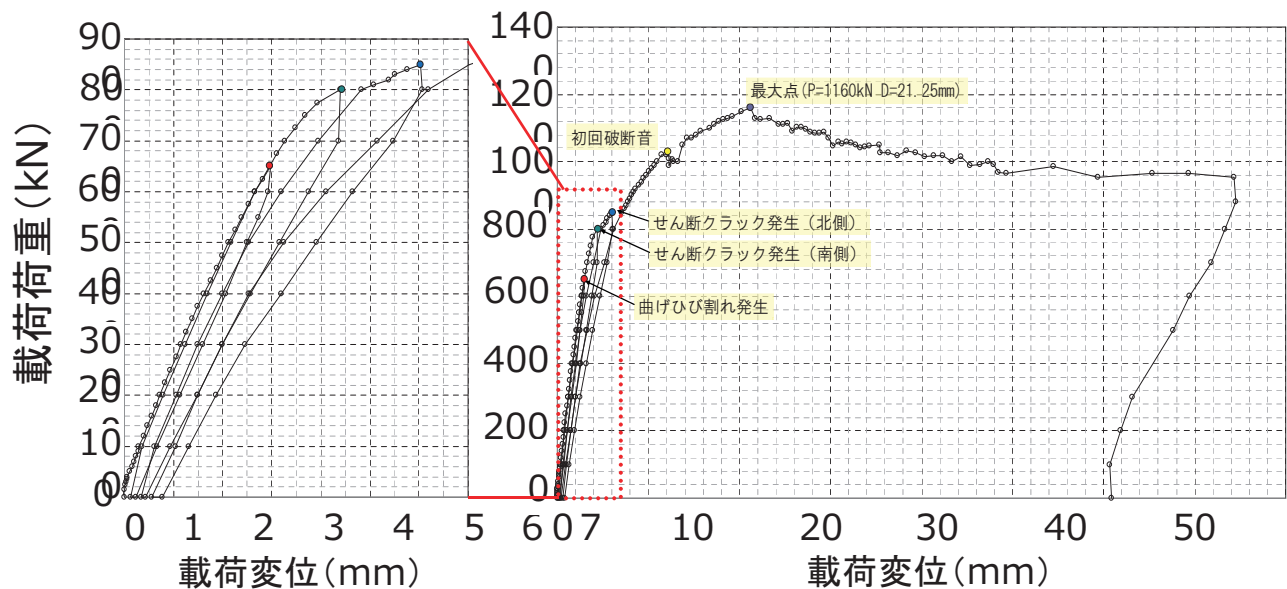
※3 山側のせん断補強鉄筋の断面減少率測定:24%(海側:健全)

桁切断によるプレストレス減少

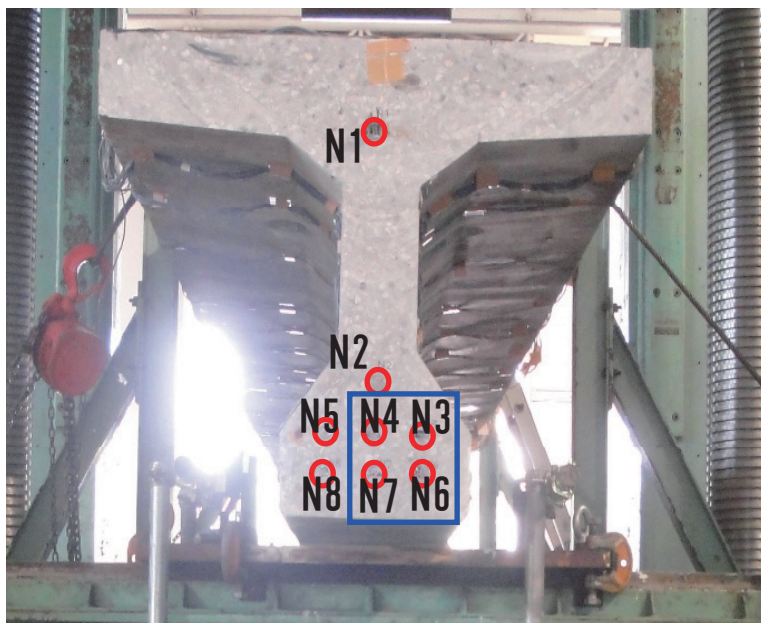
■ひずみゲージによるプレストレス減少量の推定



■荷重一変位曲線(支間中央部)



■端部PC引込み計測結果

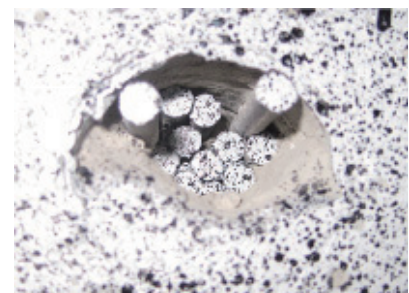


※N3, N4, N6, N7は長崎大にて全視野計測
(載荷試験直前にスプレー塗布)

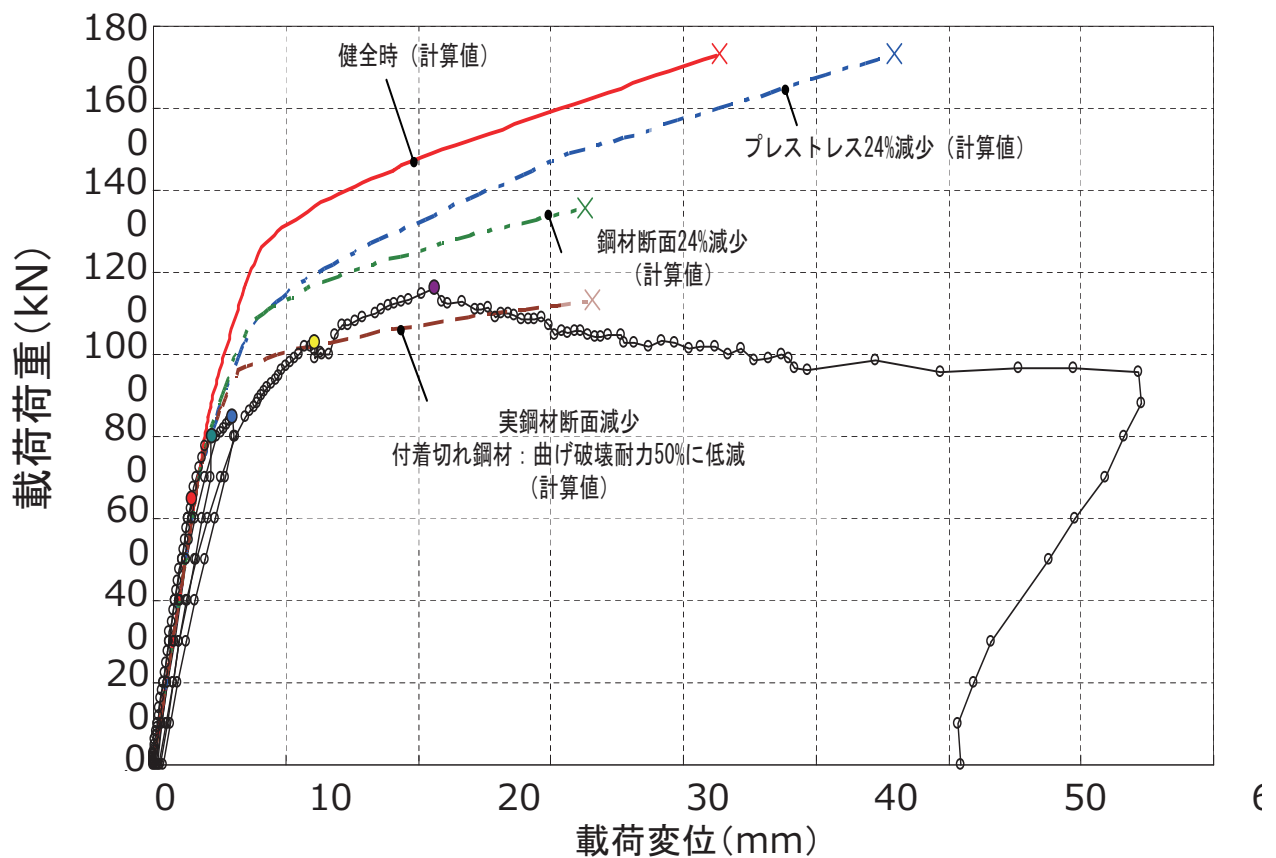
PC鋼材 N4



○載荷試験前



○載荷試験後



社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置

(国土交通省 平成25年3月21日) CAESAR



課 題	主な対応
非破壊検査等による点検・診断技術等の開発・導入等の促進	非破壊検査等による点検・診断技術等について、研究開発の促進に加え、新技術情報提供システム(NETIS)等を活用し、既存技術も含め、現場への試行的な導入を促進。 その際、分野横断的な情報共有を徹底し、技術の適用性、効果等を確認し、評価結果の公表、認証する制度の充実を図るなど、更なる普及を推進

CAESARメンテナンス技術交流会

全体交流会

ニーズとシーズの出会いの場

参加者	提供情報例
道路管理者	損傷事例、技術的課題
民間・研究機関	開発技術（非破壊検査、耐荷力評価、補修・補強工法等）
CAESAR	橋梁の現状 研究情報（载荷試験予定等）

道路管理者

・技術ニーズ
・実構造物、撤去部材

民間・研究機関

・シーズ技術

実務で活用

技術開発

共同で研究

△△橋撤去部材活用WG

□□橋挙動計測WG

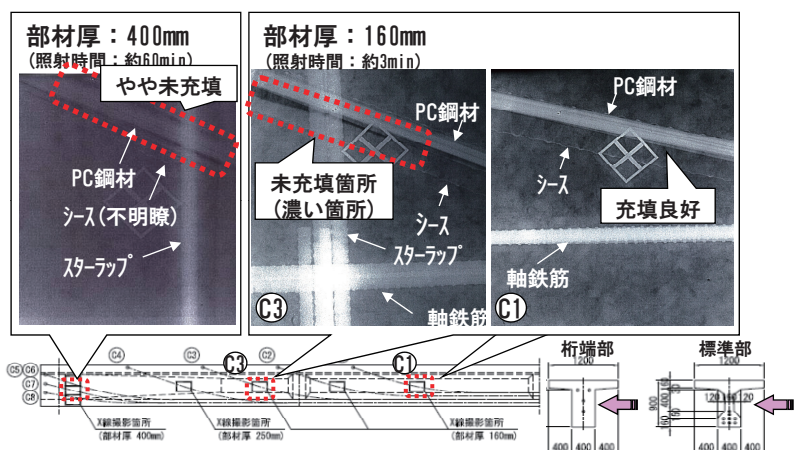
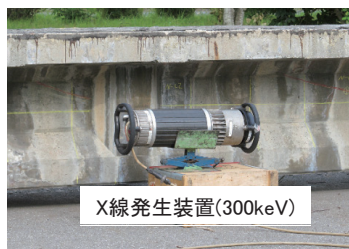
補修工法追跡調査WG

特定テーマWG

個別技術の議論

- ・土研で実施する载荷試験や実橋計測等の調査に合わせ、適宜設置。
- ・各参加者が自主的に調査し、議論。

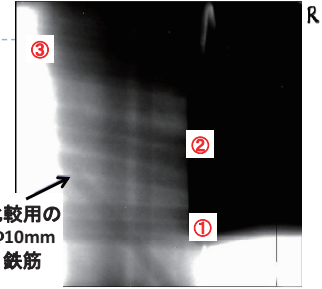
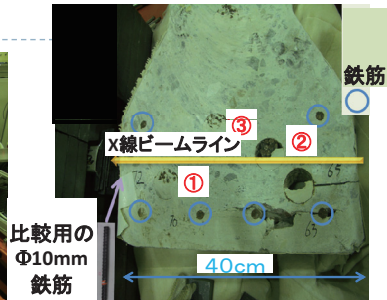
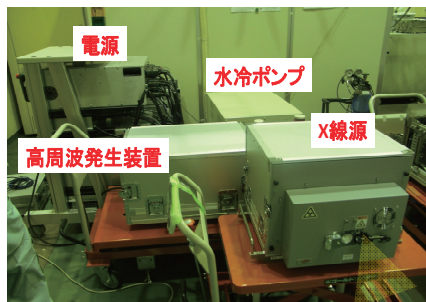
X線透過法によるPC桁調査



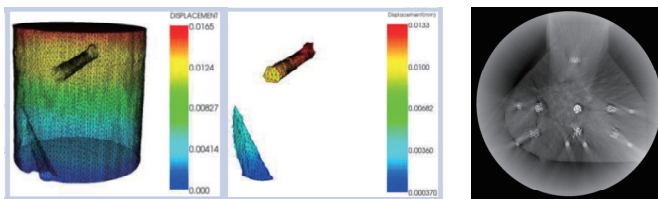
高出力X線源による橋梁非破壊検査



3. 95MeV X線源



撮影時間: 1時間(従来装置) → 1秒

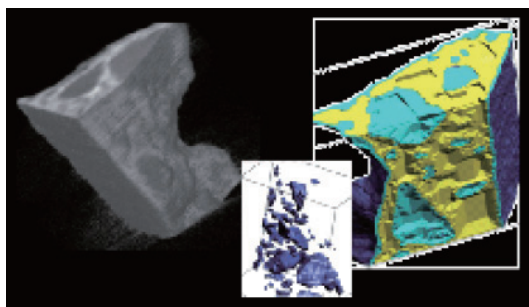


透過画像のCT画像化 → 鋼材腐食量の把握

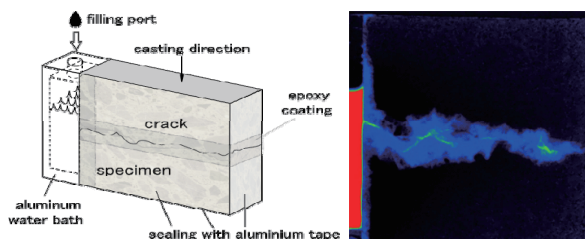
コンクリート橋の耐荷力評価



中性子線による橋梁非破壊検査



理化学研究所との連携協定:
小型中性子イメージングシステムの研究



コンクリート中の水分挙動の可視化

可搬型中性子イメージング装置

PC鋼材の腐食状況



実構造物でのデータ蓄積

沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクト

既設橋



既往の多数の実橋梁に関する実態データの集積と分析

新設橋(伊良部大橋)



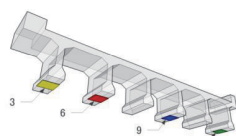
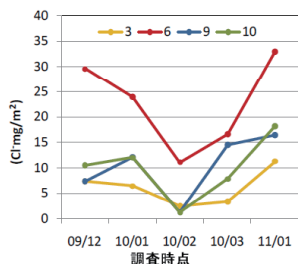
各橋脚やコンクリート桁において、コンクリート中への塩分浸透状況や鋼材の腐食状況を長期計測(建設時に、測定装置を設置)

既設橋での塩分調査

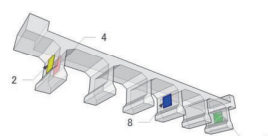
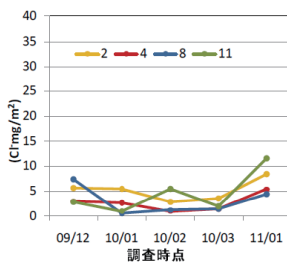
■羽地奥武橋



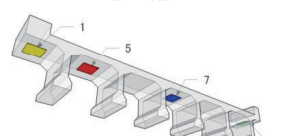
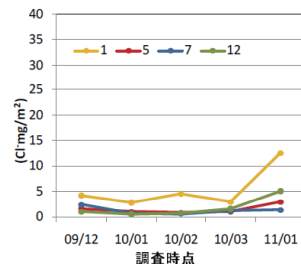
表面に付着した塩分の橋梁
部位毎の違いを調査



フランジ下面



ウェブ



床版

新設橋を用いた調査

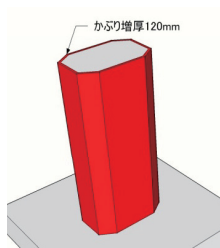
■伊良部大橋



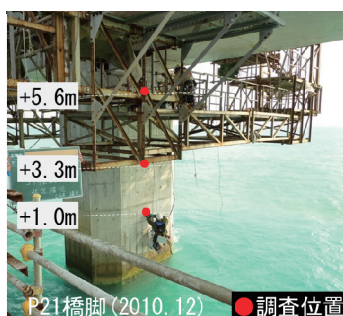
現在建設中の伊良部大橋



現地暴露供試体(181体)
実際の下部工に使ったコンクリートと
同じ材料・同じ配合



将来のサンプリング用に
かぶりを厚くした橋脚



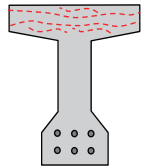
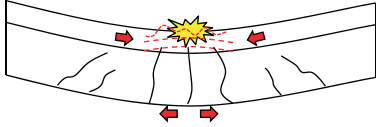
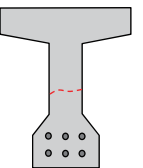
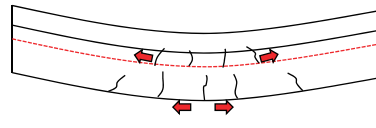
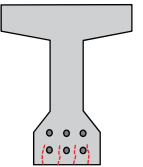
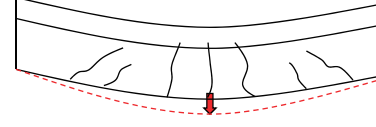
塩害に対する補修

期待する効果	工法例
腐食因子の供給量低減	表面処理
腐食因子の除去	断面修復, 電気化学的脱塩
腐食進行を抑制	表面処理, 電気防食, 断面修復, 防錆処理
耐荷力を向上	FRP接着, 断面修復, 外ケーブル, 巻立て, 増厚



コンクリートひび割れによる影響

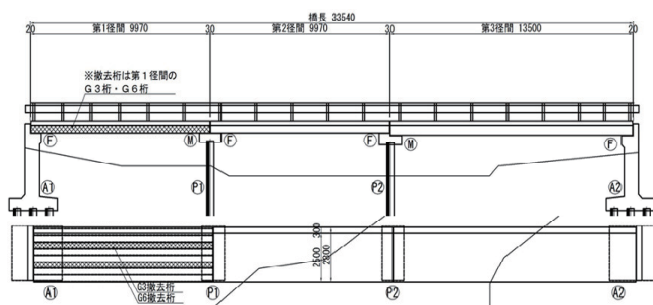
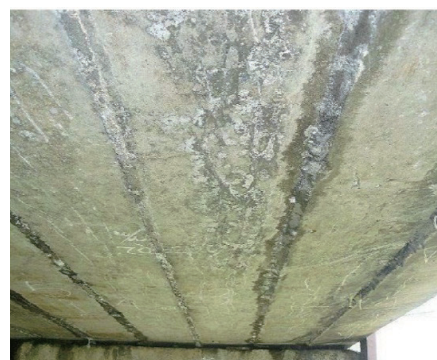


概要図	ひび割れによる懸念事項
上フランジ 	コンクリートの強度低下? 
ウェブ 	重ね梁的な挙動? 
下フランジ 	鋼材腐食・付着切れ? 

下フランジ下面のひび割れ

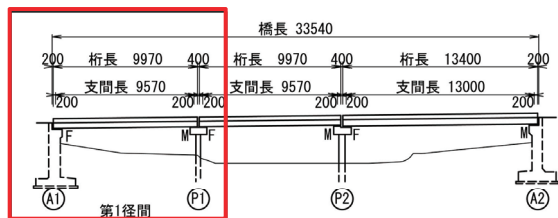
橋梁概要

橋 梁 名	中川橋側道橋
路 線 名	国道8号
橋 梁 形 式	単純PCプレテン床版橋(3連)
橋長・支間長	33.54m (9.57m+9.57m+13.0m)
竣 工 年	昭和52年(竣工後33年経過)

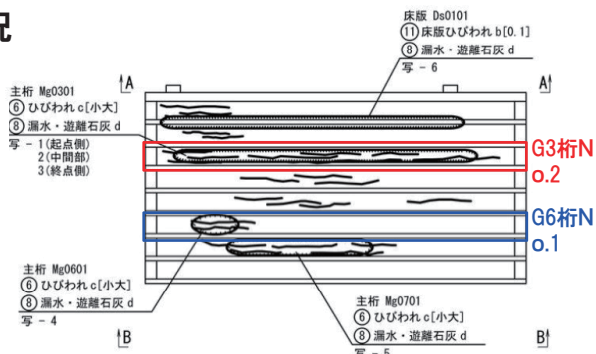


撤去桁

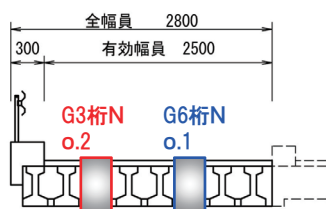
■撤去桁 第1径間(G3桁, G6桁)状況



側面図



主桁下面損傷図



断面図

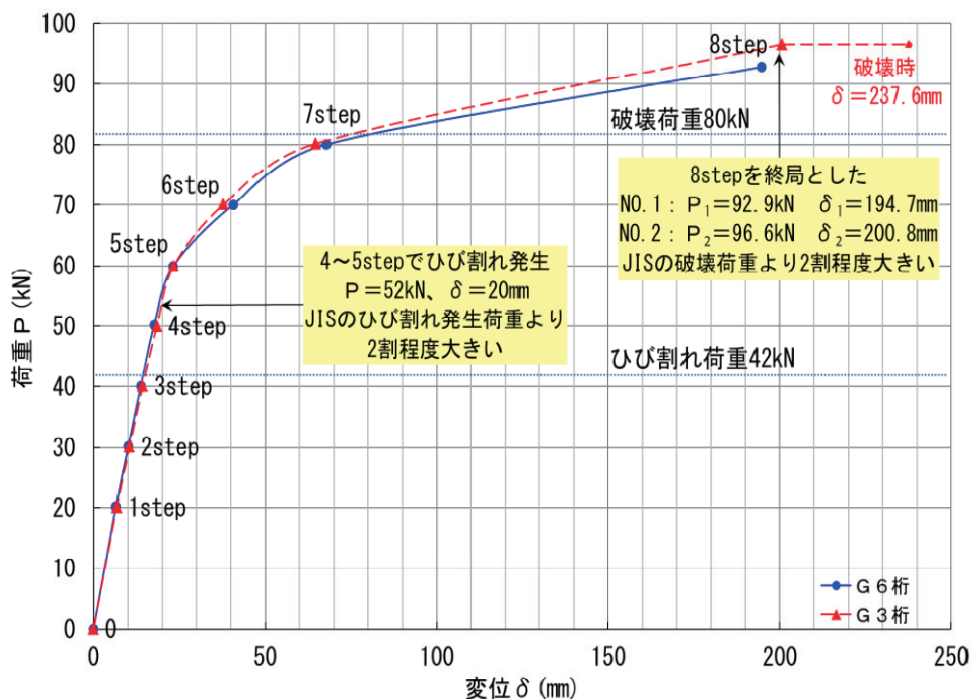


G3桁NO.2 損傷写真-1

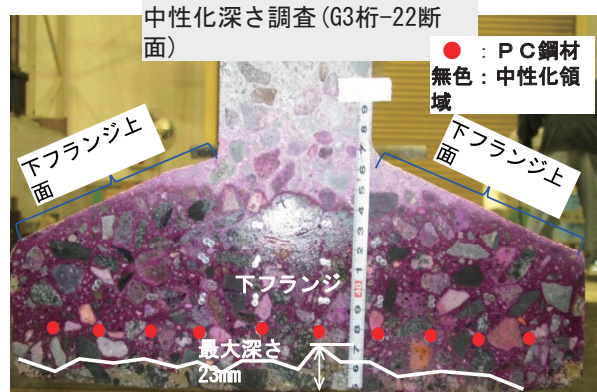
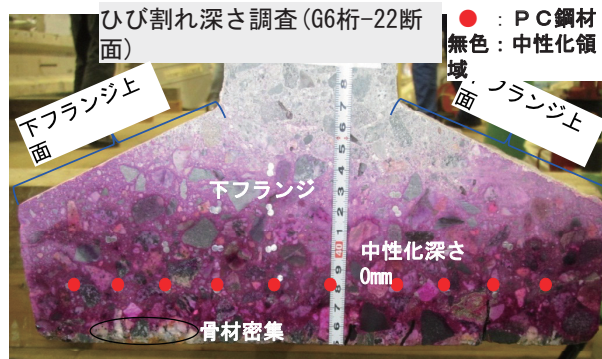


G6桁NO.1 損傷写真-4

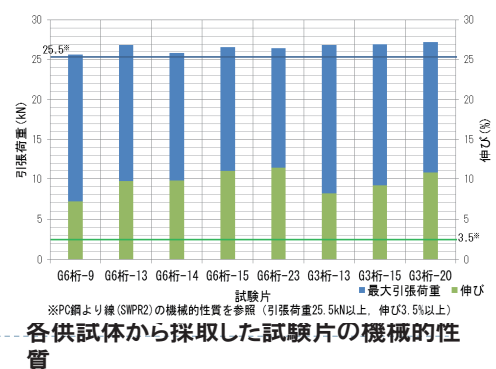
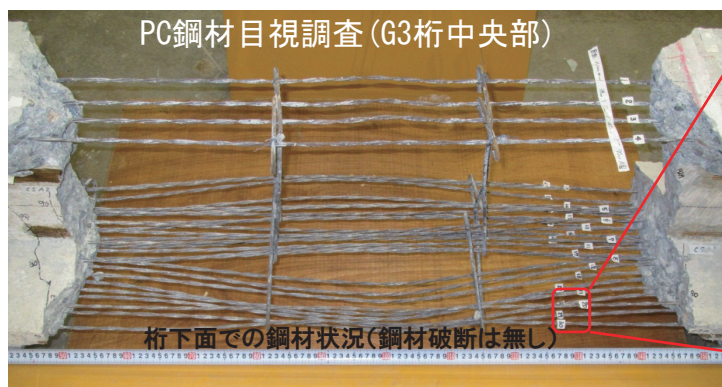
■載荷試験の結果



ひび割れ深さおよび中性化深さ



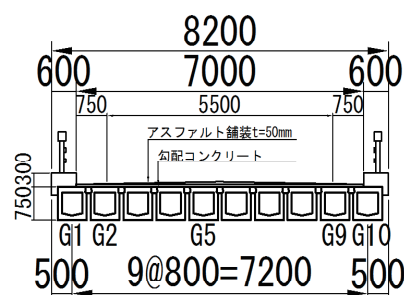
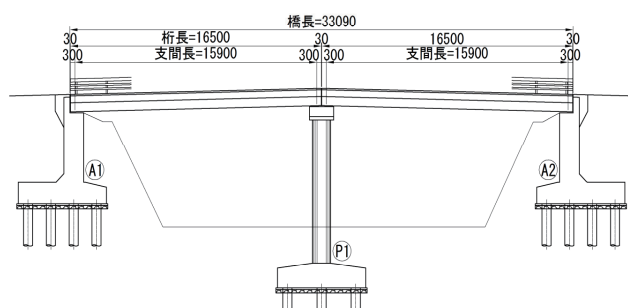
鋼材目視調査および引張試験結果



ウェブひび割れ

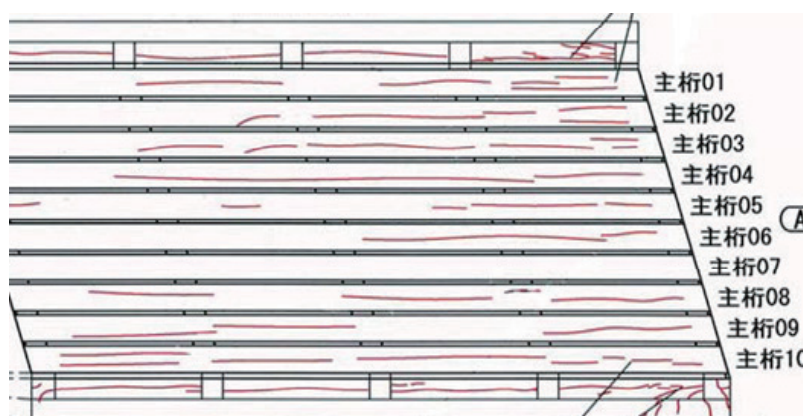
■ 橋梁概要

橋 梁 名	明（あきら）橋
路 線 名	市道1-0111号線（管理者：常総市）
架橋位置	常総市水海道橋本町
橋 長	33.09m（支間 2×15.9m）
橋梁形式	単純PC7'レテ中空床版橋（2連）
竣 工 年	1983年（昭和58年）11月 供用29年

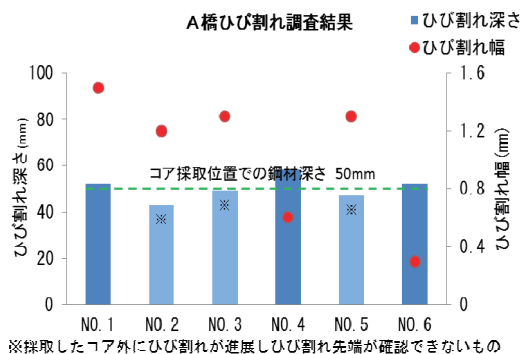
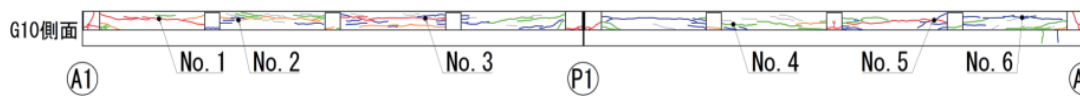


平成21年12月21日の橋梁点検

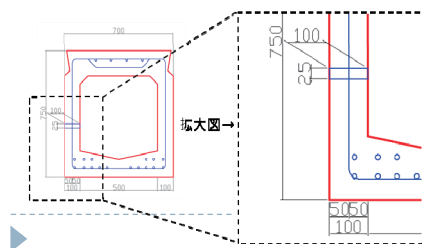
- ・ PC桁の全体的に軸方向ひび割れ外桁側面にひび割れが多く発生
- ・ 桁のひび割れのほかにも、桁端部から漏水や遊離石灰



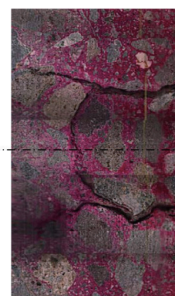
▶ 橋梁点検における損傷図（第2径間）



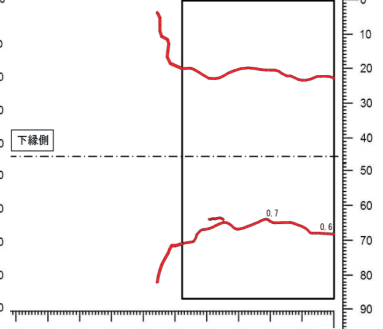
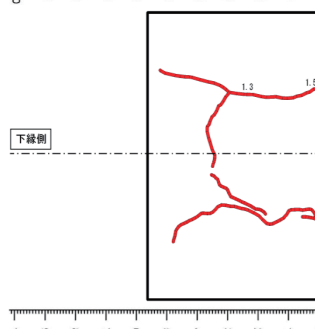
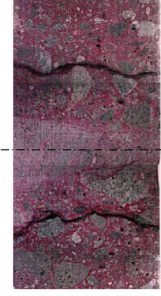
- ・ ひび割れ開口深さは52～58mm
- ・ 中性化深さは表面付近 (1mm未満)



No. 1棒状スキャナ



No. 4棒状スキャナ



※削孔先端から30mmの範囲は棒状スキャナーの構造上撮影不可のためコアより測定

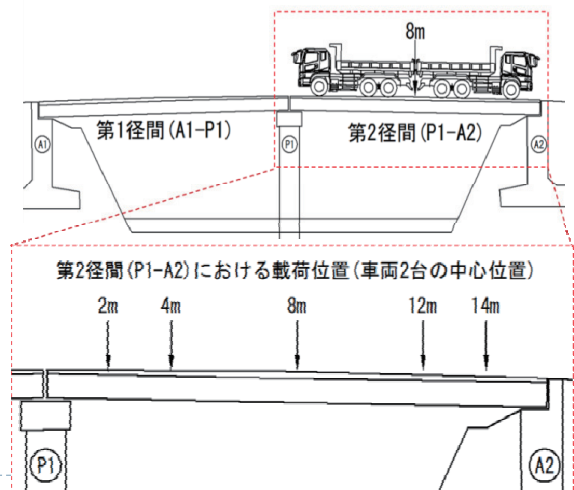
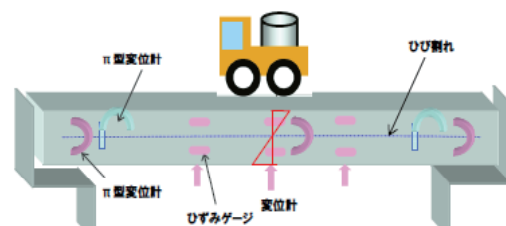
■ 載荷試験の概要

計測内容	計測方法
桁の剛性	鉛直方向のたわみ
桁側面での平面保持	歪みゲージ
軸方向ひび割れの開き	π型ゲージ
軸方向ひび割れのズレ	π型ゲージ

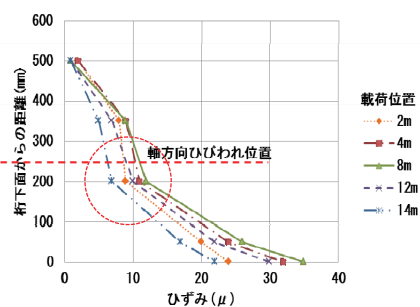
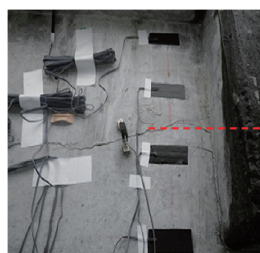
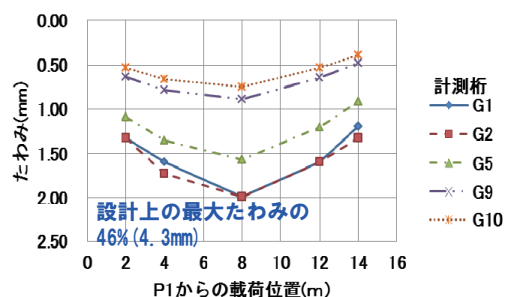


載荷状況 (第2径間)

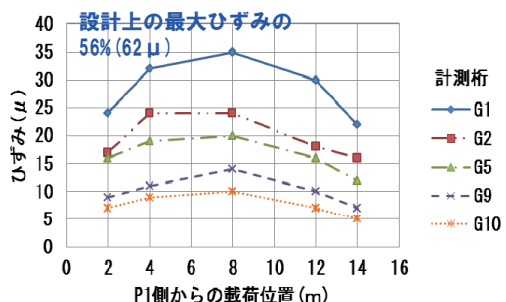
- ・ 載荷試験は、ひび割れが多い第2径間で実施
- ・ 事前に荷重車1台による載荷確認



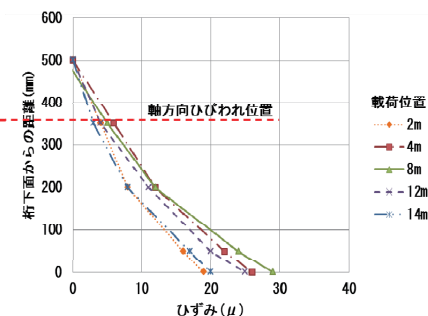
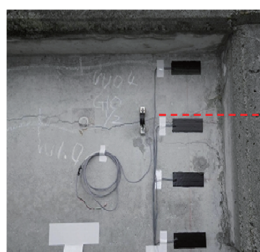
■ 載荷試験の結果



G 1 桁側載荷位置における支間中央たわみ



G 1 桁側載荷時 G 1 桁側面のひずみ分布



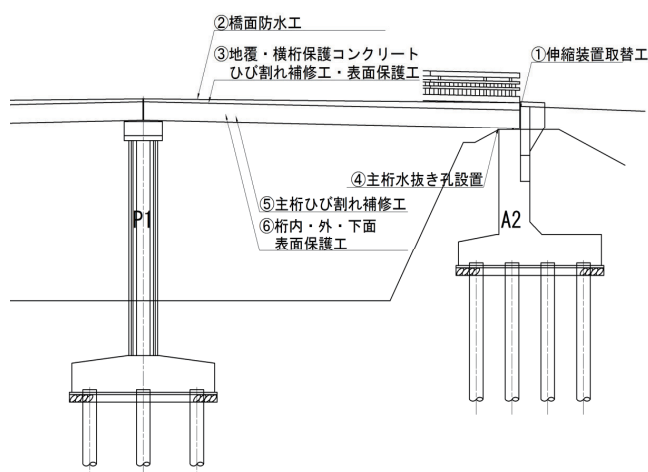
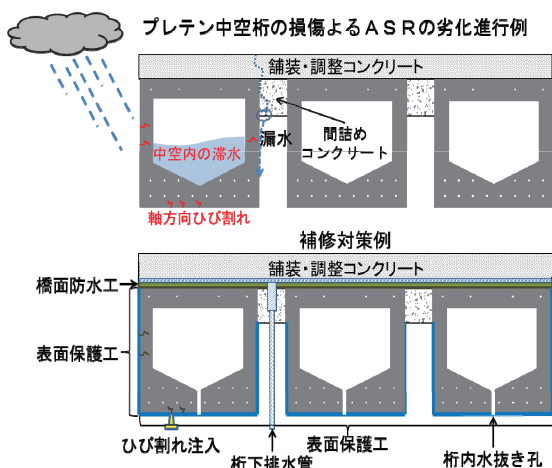
G 1 桁側載荷位置における支間中央ひずみ

G 1 0 桁側載荷時 G 1 0 桁側面のひずみ分布

対 策

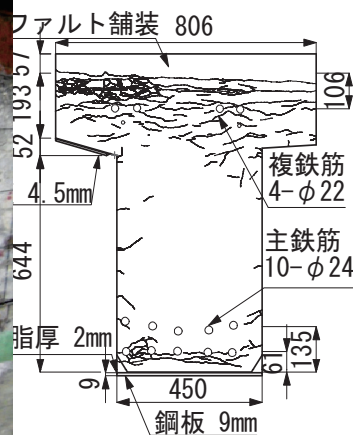


- | | |
|----------------|-----------------------------|
| ① 桁端部からの漏水対策 | : 伸縮装置取替工 |
| ② 橋面からの漏水対策 | : 橋面防水工 (複合型防水) |
| ③ 外面の防水対策 | : 地覆・横桁保護コンクリートひび割れ注入・表面保護工 |
| ④ 中空部の排水対策 | : 主桁水抜き孔設置 |
| ⑤ 鋼材保護対策 | : 桁外面・下面のひび割れ注入工 |
| ⑥ 桁内外面・下面の防水対策 | : 表面保護工 |

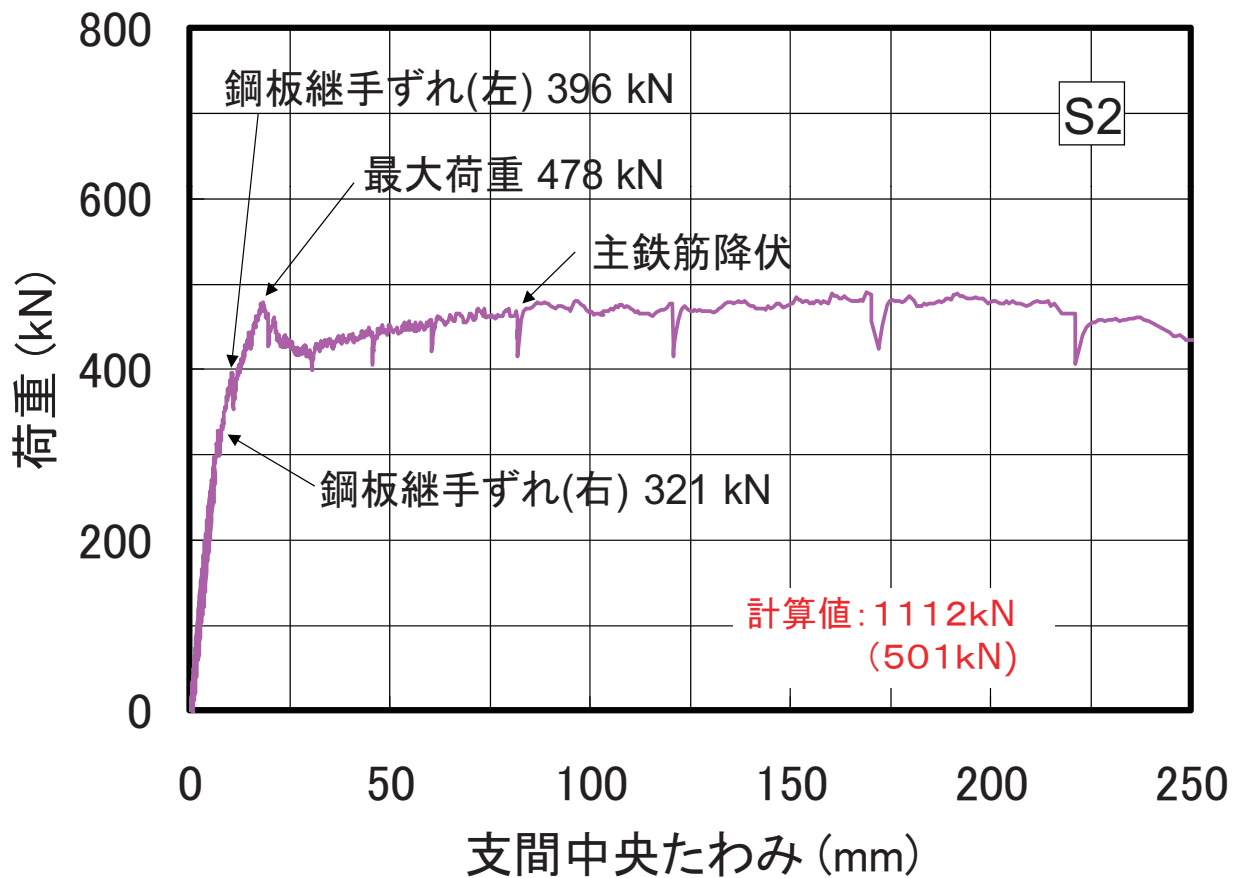


上フランジの層状ひび割れ

橋梁名	神戸(ごうど)橋
路線, 地名	松本環状高家線, 長野県松本市
橋梁形式	単純RC桁橋(一部PC橋)
橋長	127m
支間長	8@10m (RC桁部)+2@21m
竣工年	昭和10年(1935年)



圧壊付近の上フランジ側面の状況



モニタリング技術



社会資本の維持管理・更新に関し当面講ずべき措置 (国土交通省、平成25年3月21日)

課題	主な対応
IT等を活用した維持管理イノベーション	モニタリング技術等について、平成25年度から維持管理等に対するニーズを踏まえたIT等の先端的技術の適用性等の検討を行い、インフラでの実証等により検証

モニタリングの位置づけ

▶ 損傷橋梁のモニタリング

(次の行動のタイミング)

- ▶ 損傷進行
- ▶ 対策後の再劣化

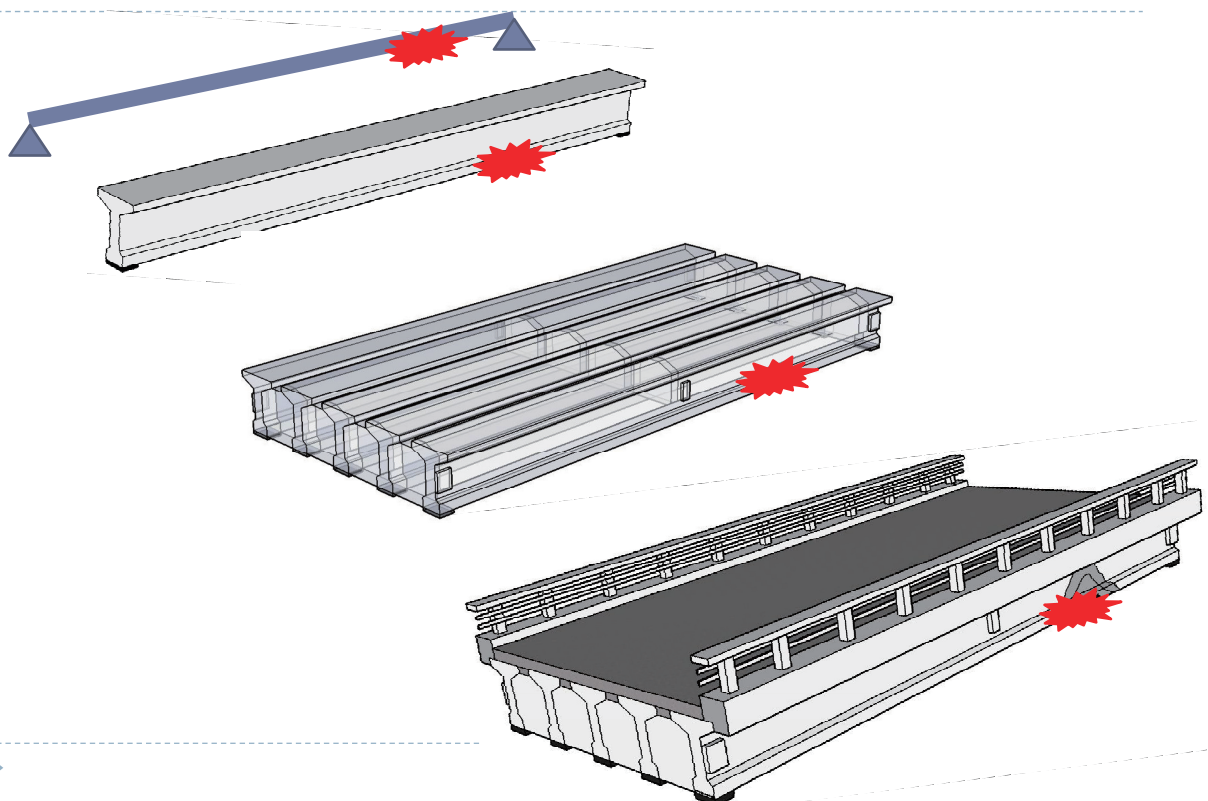
▶ ヘルスモニタリング

(定期点検の目視を補完、代替する手法)

- ▶ 多くの橋の中から異常な橋を見つける。定期点検の拡充
 - ← 何を計測すべきか？ 閾値の設定は？
 - 大量のデータ分析が必要
- ▶ 状態の変化を見つける
 - ← 長期連続監視は必要か？



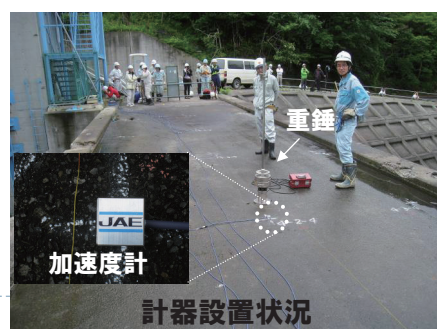
橋梁における損傷の影響？

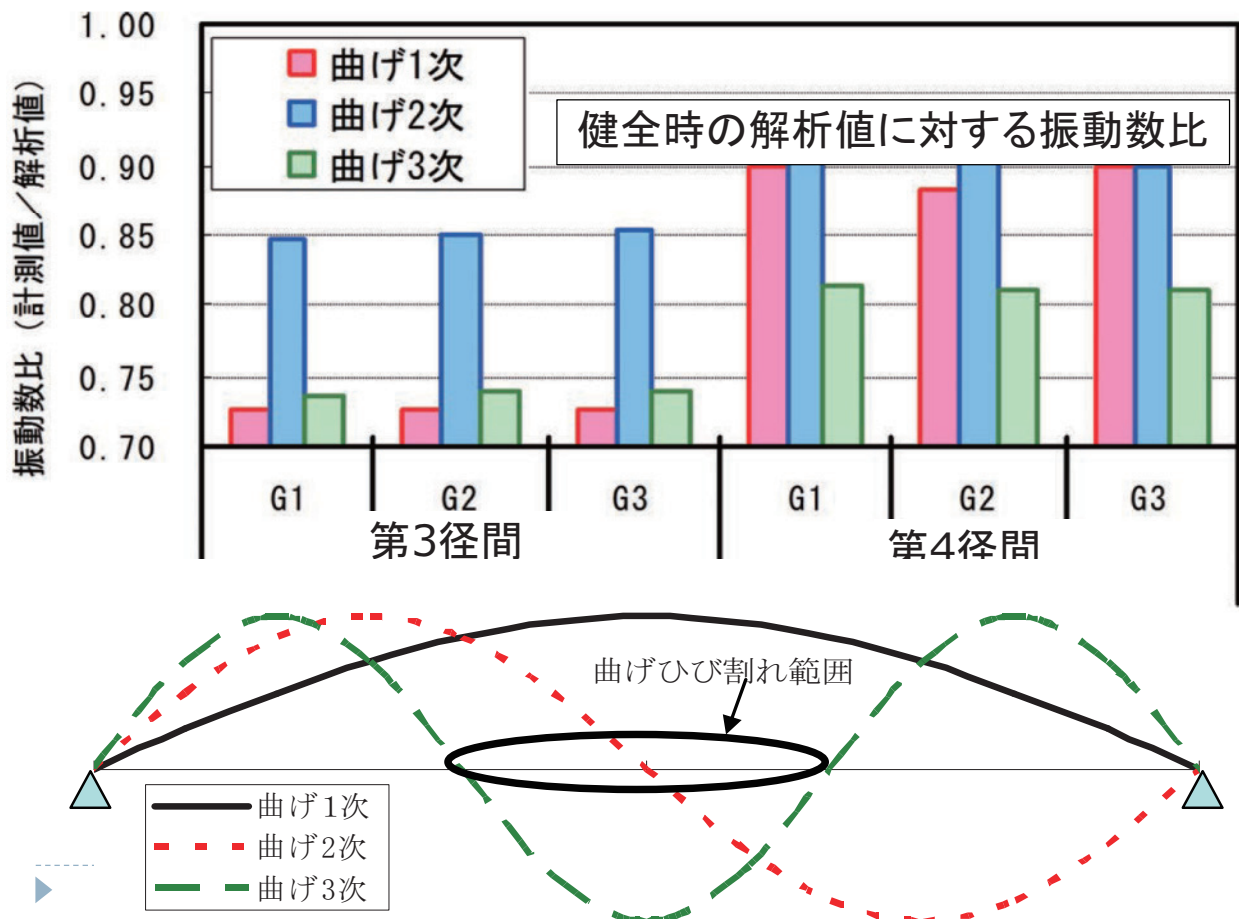




主桁のひびわれ、たわみ

CAESAR

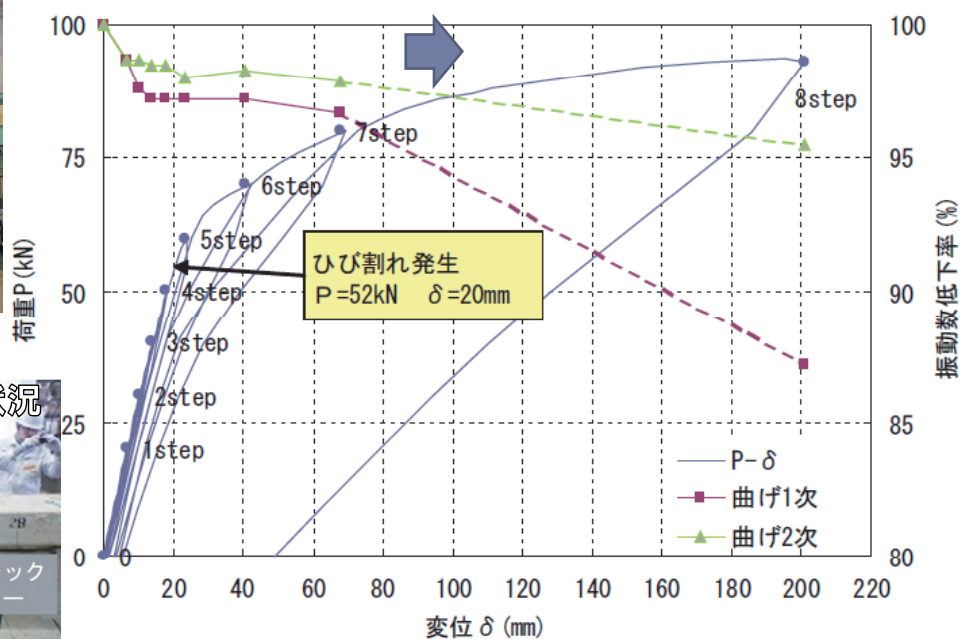




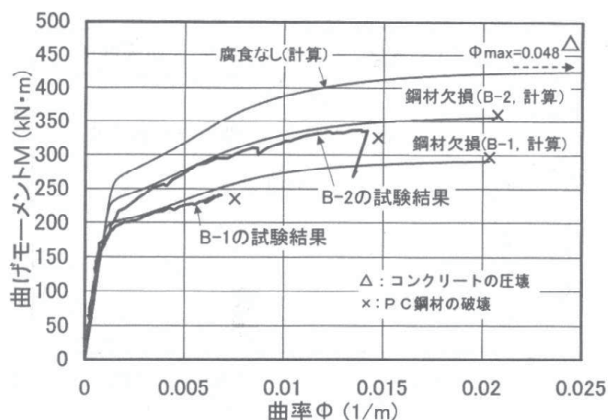
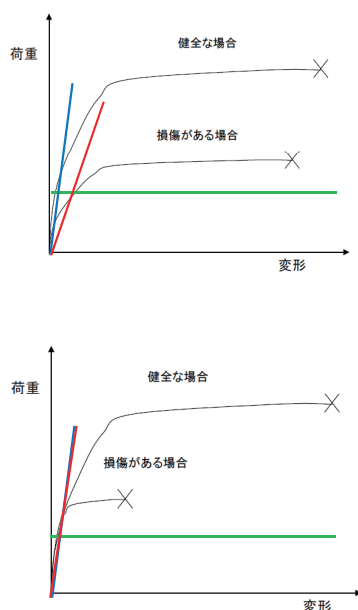
載荷試験中の振動特性変化



■プレテンション桁(中川橋側道橋)



損傷の現れ方の違い？



塩害により損傷を生じたPC梁部材の載荷試験結果例

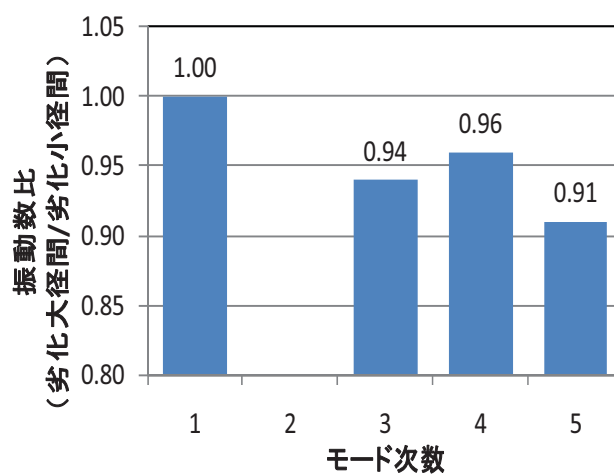
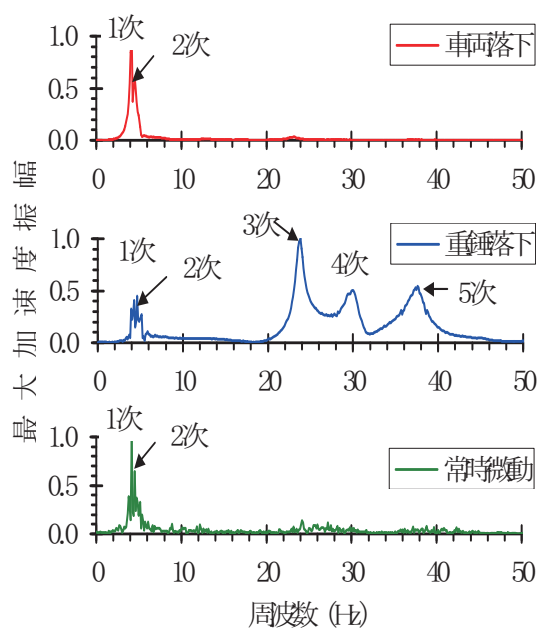


材料劣化を生じた PC橋での振動計測

橋梁名	能生(のう)大橋
路線, 地名	一般国道8号, 新潟県糸魚川市
橋梁形式	単純PC桁橋(5径間)
橋長	141.0m
支間長	28.1m × 5
竣工年	昭和41年(1966年)



劣化による振動特性の変化？



劣化の大きい第1径間と劣化の小さい第2径間の振動数の比率 (重錘落下法)

「荒廃する日本」としないために



性能目標に応じた橋の耐震対策と 津波の影響への対応



独立行政法人 土木研究所
構造物メンテナンス研究センター
上席研究員 星隈順一

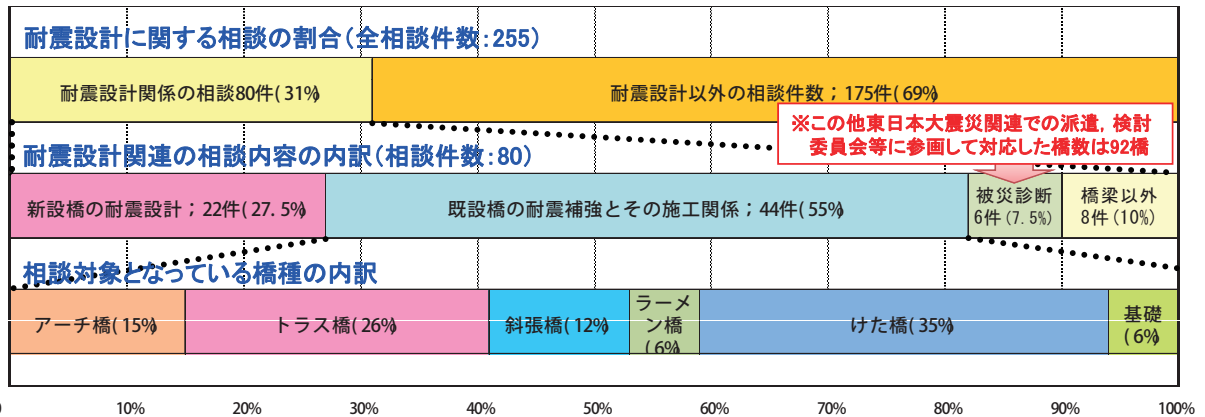


講演の内容

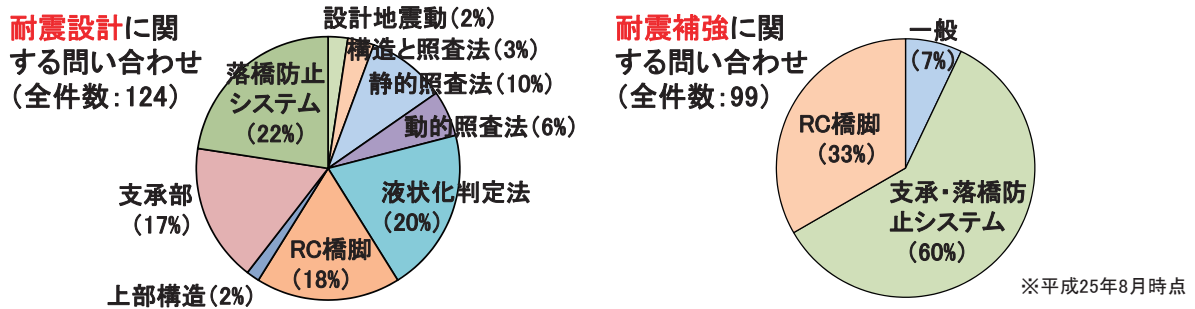
- ✓ 耐震設計関係の技術相談等への対応
- ✓ 橋の耐震性能の評価に関する近年の取り組み
 - ・橋の耐震性能と橋を構成する部材の限界状態の設定
 - ・実験等に基づく部材の限界状態とその評価
 - ・耐震主部材の耐久性
- ✓ 津波の影響を受ける橋に関する近年の取り組み
- ✓ 今後の展望と必要とされる研究・技術開発

耐震設計関係の技術相談や質問対応の状況

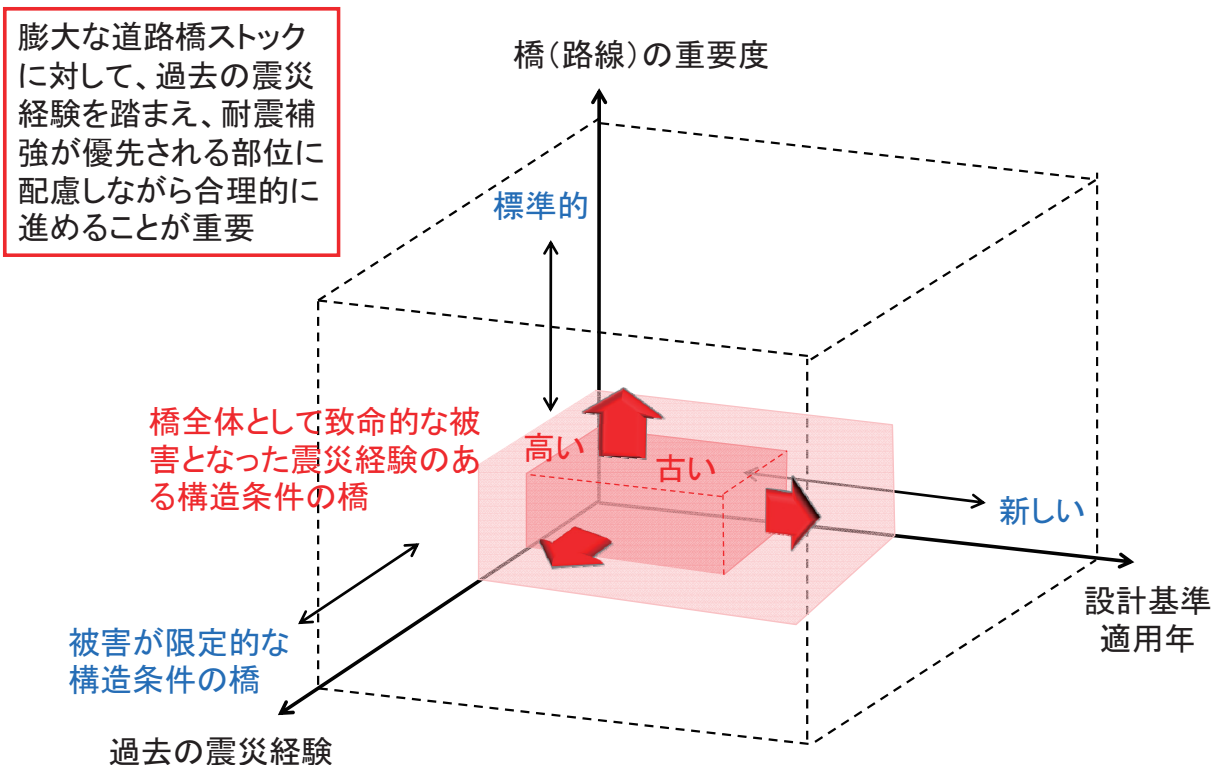
○平成20年度～24年度までの耐震設計・耐震補強に関する個別の技術相談



○平成24年道路橋示方書改定後の耐震設計・耐震補強に関する質問

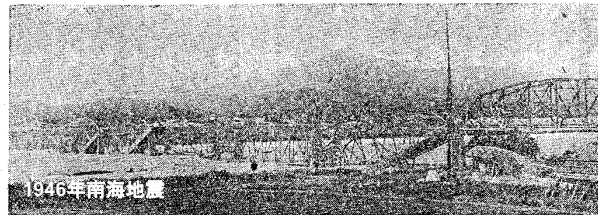
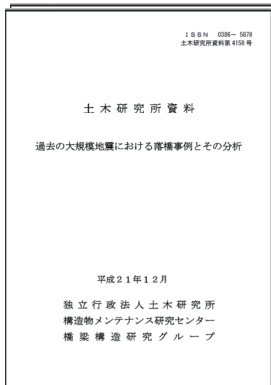
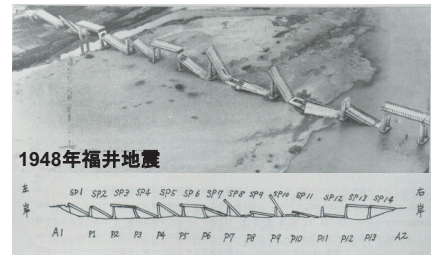
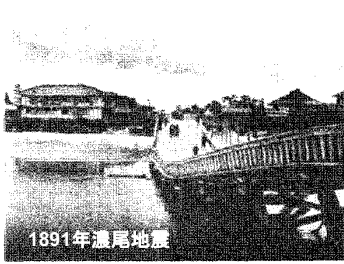


道路橋の耐震補強における3つの軸



過去の大地震による落橋事例から学ぶ

1891年濃尾地震から最近までの地震による落橋事例を集約



過去の大地震による落橋事例から学ぶ

1891年濃尾地震から最近までの地震による落橋事例を集約



シナリオ	被害原因	橋数	径間数
A	下部構造が倒壊	23	200
B	下部構造が大変位	6	15
C	上部構造の橋軸方向への変位	7	11
D	上部構造の直角方向への変位	5	7

致命的な落橋を防止するという観点からは、まず

- ✓ 上部構造を支持する下部構造自身の耐震性の向上
- ✓ 支承破壊後の桁の下部構造天端からの逸脱防止対策

過去の大地震による落橋事例から学び取った相場感

①過去の震災で地震動により落橋・倒壊につながった橋の構造条件

- ✓ 昭和55年道路橋示方書よりも古い基準を適用した段落し部のある鉄筋コンクリート製単柱橋脚
- ✓ 昭和55年道路橋示方書よりも古い基準を適用した鋼製単柱橋脚
- ✓ 昭和55年道路橋示方書よりも古い基準を適用した段落し部のある鉄筋コンクリート製単柱橋脚以外の橋脚（壁式橋脚・ラーメン橋脚）で連続橋の固定橋脚
- ✓ 両端が橋台でない単純桁
- ✓ ゲルバー桁
- ✓ パイルベント橋脚・基礎
- ✓ 液状化または流動化のおそれのある地盤にあり、かつ、支持層に達していない基礎

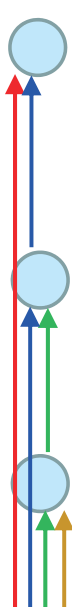
②落橋や倒壊には至っていないが大がかりな補修を要するような損傷が生じるおそれのある橋の構造条件

- ✓ 昭和55年道路橋示方書よりも古い基準を適用した曲げ破壊型の鉄筋コンクリート製橋脚
- ✓ 頂版とケーソン本体の接合が不十分なケーソン基礎
- ✓ 液状化のおそれのある地盤や軟弱地盤にある既製コンクリート杭

道示に規定されている目標とする耐震性能とその観点

橋の耐震性能	安全性	供用性	修復性	
			短期的修復性	長期的修復性
耐震性能1: 健全性を損なわない性能	落橋に対する安全性を確保	地震前と同じ橋としての機能を確保	機能回復のための修復を不要	軽微な修復
耐震性能2: 地震による損傷が限定的で、機能の回復が速やかに行い得る性能	落橋に対する安全性を確保	地震後橋としての機能を速やかに回復	機能回復のための修復が応急修復で対応可能	比較的容易に恒久復旧を行うことが可能
耐震性能3: 地震による損傷が致命的とならない性能	落橋に対する安全性を確保	—	—	—

既設橋の耐震補強で目標とする耐震性能の設定の例



橋の耐震性能	安全性	供用性	修復性	
			短期的修復性	長期的修復性
地震による損傷が限定的で、機能の回復が速やかに行い得る性能	落橋に対する安全性を確保	地震後橋としての機能を速やかに回復	機能回復のための修復が応急修復で対応可能	比較的容易に恒久復旧を行うことが可能
地震により <u>損傷が生じる部位があり、その恒久復旧は容易ではないが、</u> 橋としての機能の回復は速やかに行い得る性能	落橋に対する安全性を確保	地震後橋としての機能を速やかに回復	機能回復のための修復が応急修復で対応可能	<u>恒久復旧を行うことが可能</u>
地震による損傷が致命的とされない性能	落橋に対する安全性を確保	—	—	—

致命的な被害となった震災経験のある構造条件の橋

橋の耐震性能評価に関する最近の研究の取り組み

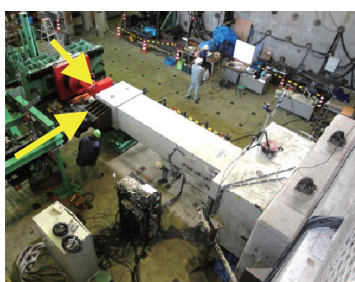
	新設橋	既設橋
上部構造	特殊橋上部構造部材の地震時限界状態の評価	制震装置を用いた特殊橋の地震応答評価
支承部	ゴム支承、制震装置の性能評価試験方法	変状が生じたゴム支承の診断技術
落橋防止システム	震災経験に基づく落橋防止構造の要件分析	
橋脚	地震時限界状態の評価技術 配筋の合理化	震災経験に基づく耐震補強効果の検証 橋脚躯体、橋座部の応急復旧技術 耐震補強部位の耐久性の検証
橋台	地震時土圧の評価 新形式構造(軽量盛土、補強土壁)	
基礎		既設基礎の耐震性判定技術 動的解析による基礎の耐震照査技術 液状化判定手法の高度化

地震の影響を支配的に受ける部材の限界状態の評価

5. 5 地震の影響を支配的に受ける部材の基本（道示V）

- (1) 地震の影響を支配的に受ける部材については、実験等の検証により次の事項を満たすことが明らかでなければならない。
- 1) 破壊形態が明らかであり、破壊形態に応じて破壊に対する安全性が確保できること
 - 2) 耐震設計で設定する限界状態までの範囲においては、供用期間中に発生する地震による作用に対して安定して挙動すること
- (2) 地震の影響を支配的に受ける部材については、地震による作用を考慮した実験等の検証により、部材の抵抗特性を評価する方法が明らかでなければならない。

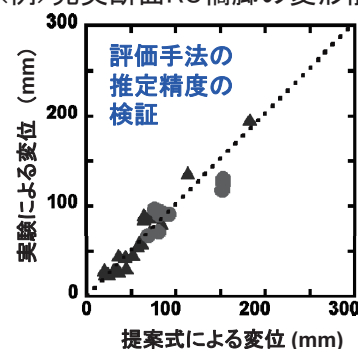
RC橋脚の正負交番载荷実験による限界状態とその評価の検証



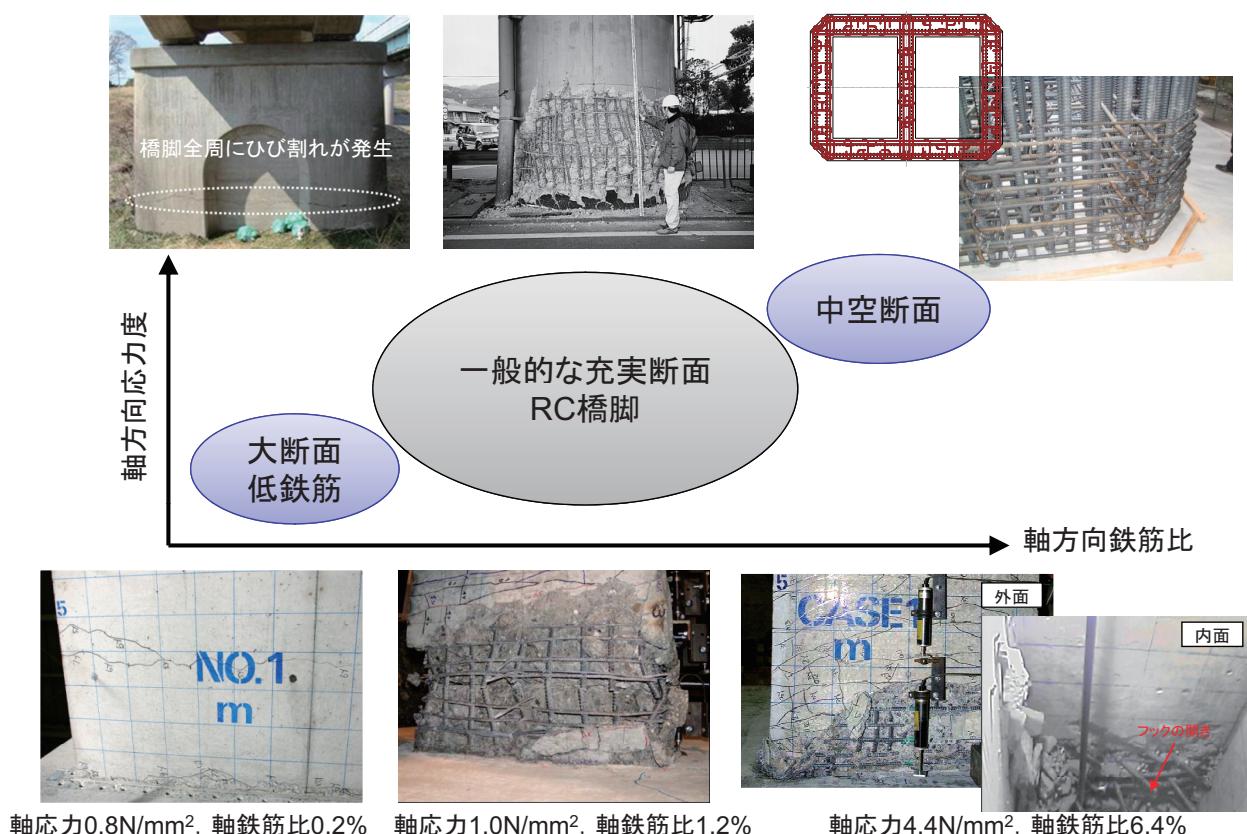
＜例＞中空断面橋脚の最終的な破壊形態



＜例＞充実断面RC橋脚の変形能



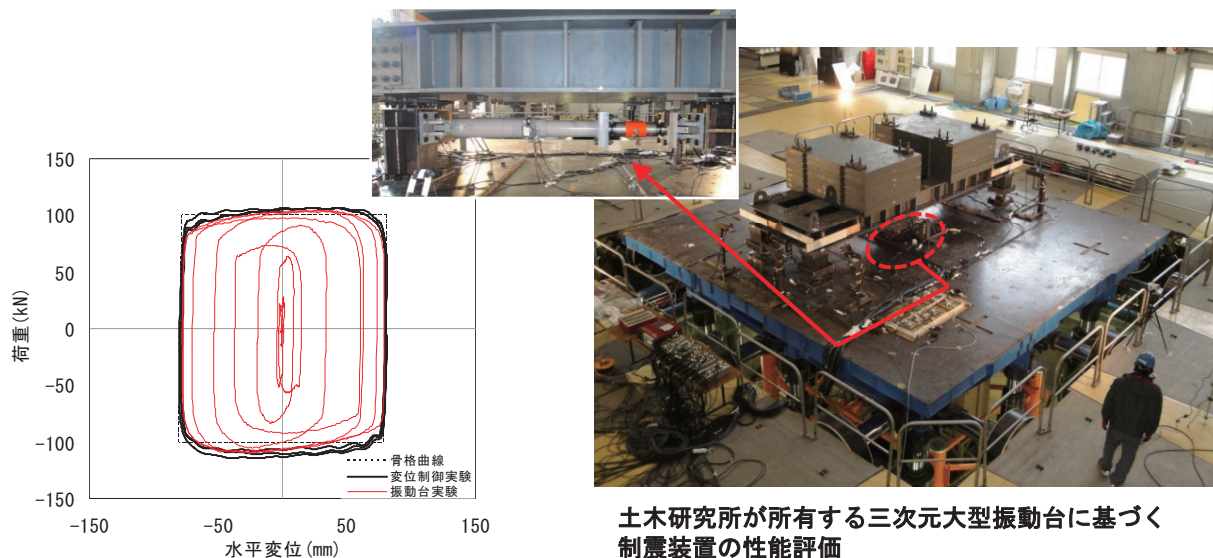
構造条件によって変わってくるRC橋脚の地震時限界状態



民間の技術力を適切に橋に活用できるようにするための 共同研究の実施

橋梁に用いる制震ダンパーの性能検証法及び設計法に関する共同研究

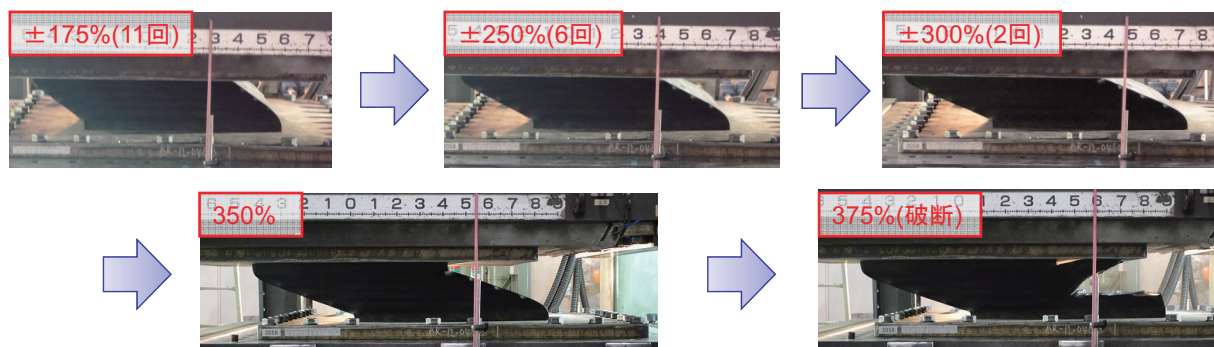
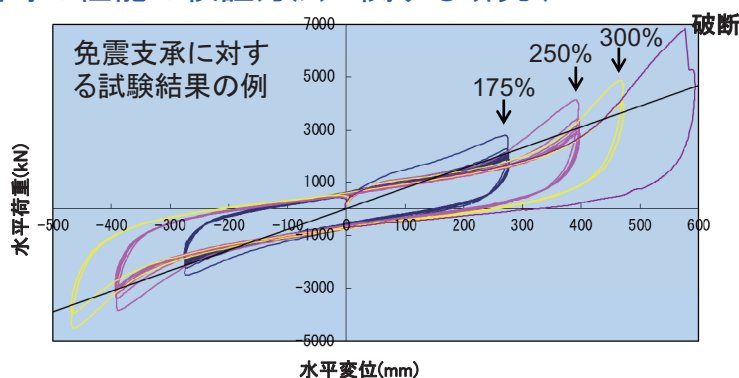
- ✓ 制震装置の地震時応答特性を踏まえた橋の耐震設計への反映のさせ方
- ✓ 制震装置が取り付けられた側の部材の耐震設計
- ✓ 制震装置の維持管理の条件



民間の技術力を適切に橋に活用できるようにするための 共同研究の実施

ゴム支承の地震時の性能の検証方法に関する研究(H25～H26.3)

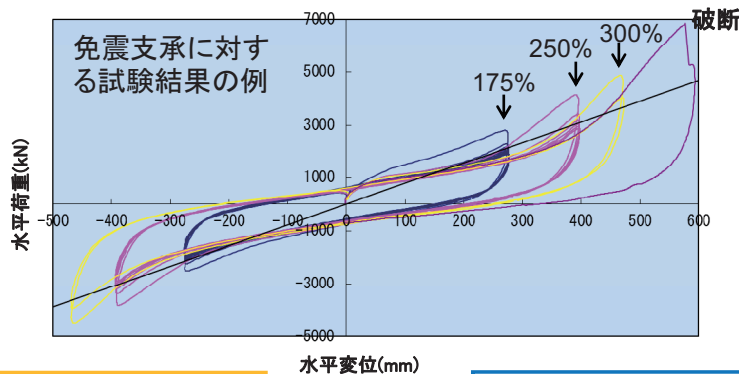
せん断変形能
の評価



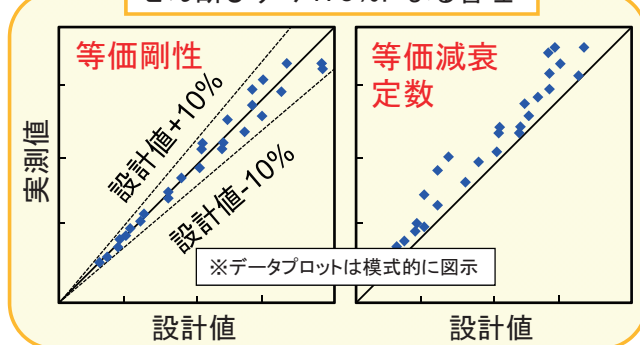
民間の技術力を適切に橋に活用できるようにするための 共同研究の実施

ゴム支承の地震時の性能の検証方法に関する研究(H25～H26.3)

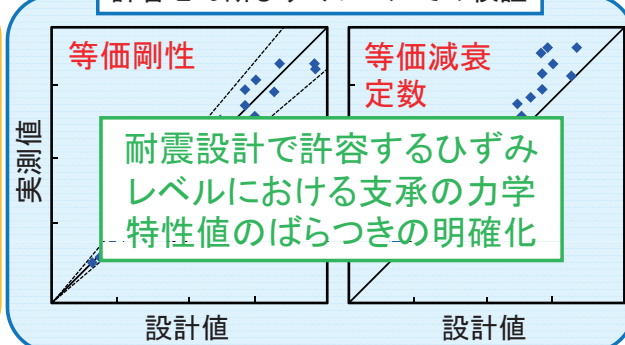
剛性, 減衰
特性の評価



せん断ひずみ175%による管理



許容せん断ひずみレベルでの検証



支承部に生じた変状や損傷に対する耐震診断技術

経年劣化
の影響に
よる変状



地震動の
影響によ
る損傷



求められている研究項目

- ✓ 支承の材料特性に応じた経年変化のメカニズム
- ✓ 経年劣化や地震による部分的な損傷が耐荷力や変形能に与える影響
- ✓ 支承の変状や損傷状態に応じた点検・診断方法、補修方法

撤去部材を活用した耐震補強効果の持続性の検証

厳しい塩害環境下に長期間曝されてきた耐震補強済みのRC橋脚を対象として耐荷力試験等を実施



研究対象橋梁の全景(1967年竣工)

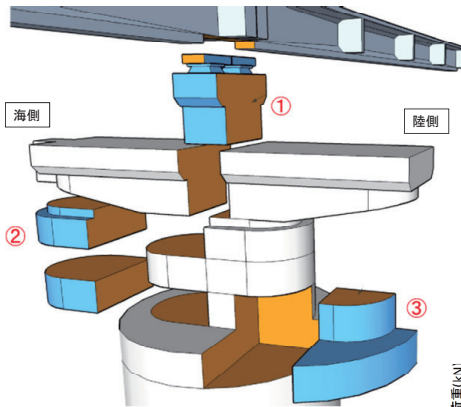


塩害による損傷を受けた主桁



塩害による損傷を受けたRC橋脚

- ① 沓座部の縁端拡幅補強部(施工後35年)
- ②, ③ 躯体部のRC巻立て補強部(施工後8年)

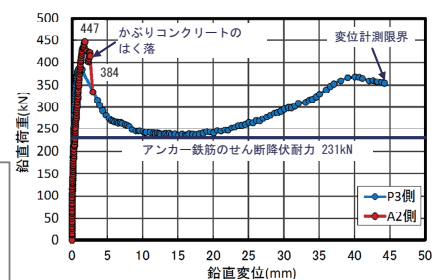


採取部材と主な検証項目

- ①: 縁端拡幅部の耐荷性能
- ②: RC巻立て部と既設部の健全性
- ③: RC巻立て部の軸方向鉄筋の定着性能



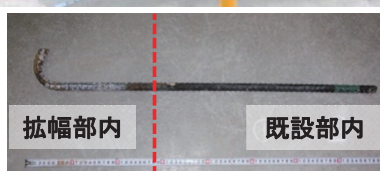
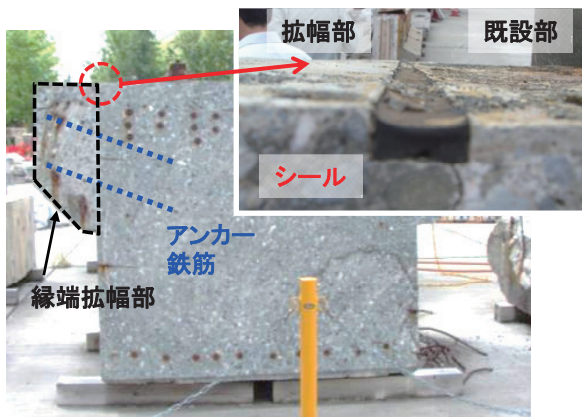
縁端拡幅部の載荷試験の状況



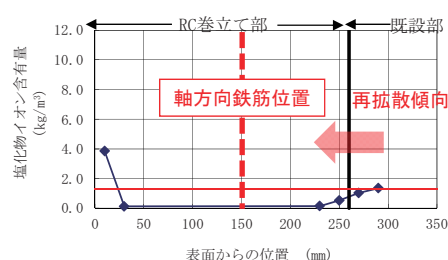
荷重—鉛直変位関係

撤去部材を活用した耐震補強効果の持続性の検証

- ◆ 縁端拡幅部: 既設部と縁端拡幅部の境界上面のシーลに機能低下をもたらすような損傷が生じてなく、アンカー鉄筋の保護に貢献
- ◆ RC巻立て部: 適切なかぶりと鉄筋にエポキシ樹脂鉄筋の使用
→ 塩害環境下における耐震補強効果の持続性の観点から検証



はつり出したアンカー鉄筋



塩化物イオン含有量(柱基部)



はつり出したエポキシ樹脂鉄筋

腐食発生限界濃度 (1.2kg/m³)

津波の影響を受けるリスクのある橋の構造計画

2. 1 耐震設計の基本方針

(2) 耐震設計にあたっては、地形・地質・地盤条件、立地条件、**津波に関する地域の防災計画等を考慮した上で構造を計画するとともに**、橋を構成する各部材及び橋全体系が必要な耐震性を有するように配慮しなければならない。

構造計画の考え方の例

- ・津波に関する地域の防災計画等を参考にしながら津波の高さに対して桁下空間を確保する
- ・**津波の影響を受けにくいような構造的工夫を施す**
- ・**上部構造が流出しても復旧しやすいように構造的な配慮をする**



構造計画を検討する上での課題

- ・津波により橋が受ける影響度合いの評価手法
- ・津波による影響低減のための構造的な配慮の具体策

津波の影響を受けた時の橋の挙動に関する課題

○数値解析シミュレーション

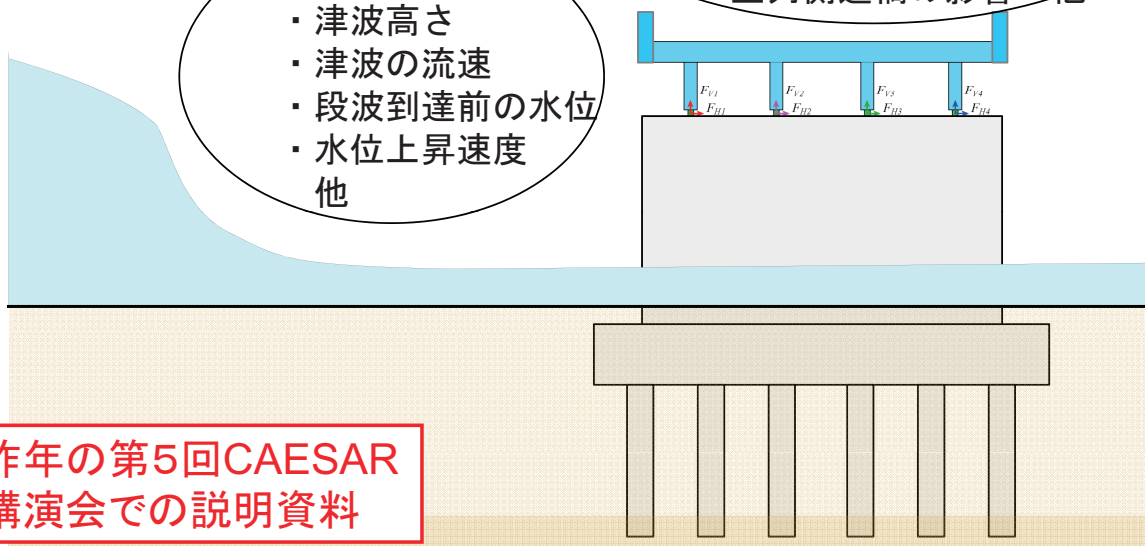
- ・橋梁構造への適用性

○津波の与え方

- ・津波高さ
- ・津波の流速
- ・段波到達前の水位
- ・水位上昇速度
- ・他

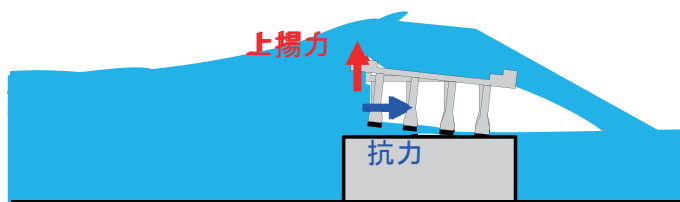
○構造特性による影響

- ・桁高さと幅員、高欄
- ・耳桁からの床版張出し長
- ・主桁間隔（本数）
- ・桁間の空気溜まりの影響
- ・並列側道橋の影響 他



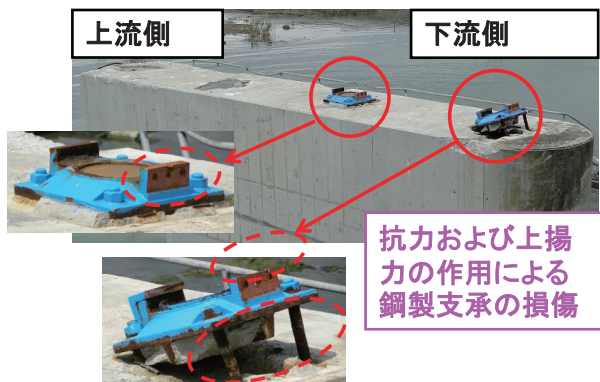
被害状況から想定される上部構造の流出形態

1) 津波による流体力の影響が大きい場合 (段波状の津波)

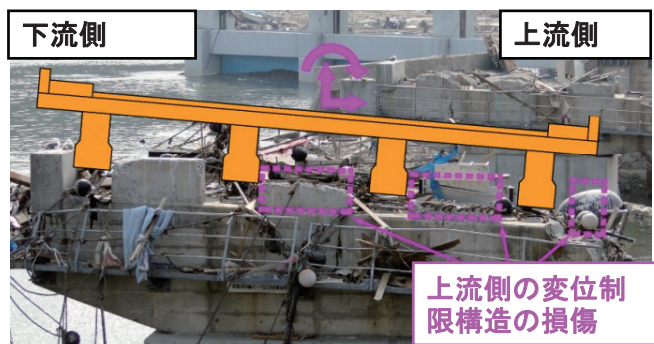


出典: 九州工業大学 幸左研究室

小泉大橋(国道45号)

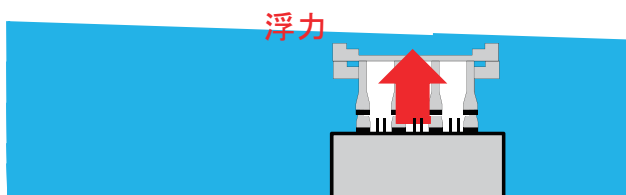


歌津大橋(国道45号)



被害状況から想定される上部構造の流出形態

2) 浮力の影響が大きい場合 (津波により水位が徐々に上昇する場合)



出典: 幸左ほか, 映像解析による歌津大橋の流出メカニズムの推定, 第15回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム, 2012

歌津大橋(国道45号)



上部構造が裏返しにならずに流出

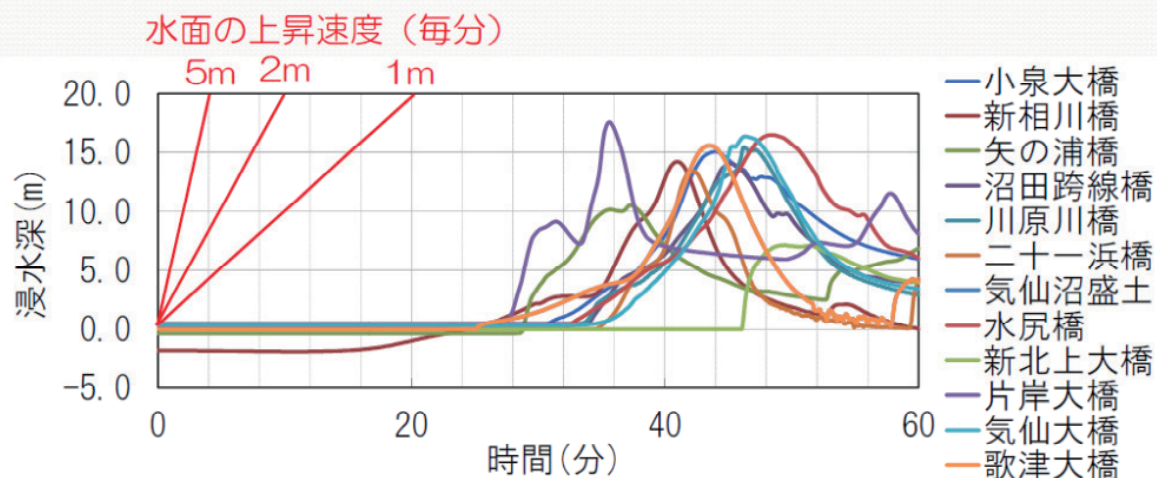
沼田跨線橋(国道45号)



損傷痕跡のない変位制限構造
(アンカーバーはほぼ真直ぐの状態)

津波の影響を受けた道路橋に作用した津波の特性

水位上昇

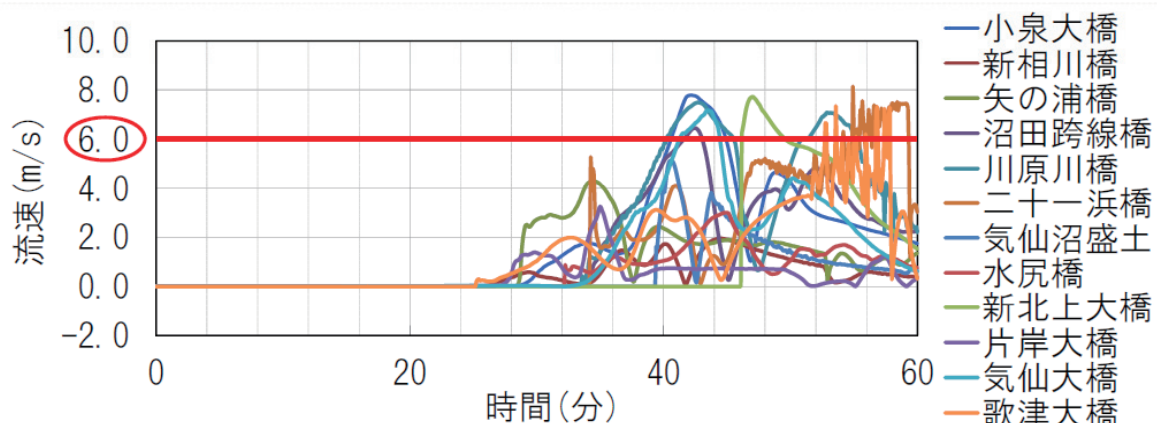


○比較的にゆっくりと水面が上昇している地点が多い

【出典】国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室：
構造物に対する津波作用の研究と今後の展望，東日本大震災報告会～震災から2年を経て～
平成25年3月19日

津波の影響を受けた道路橋に作用した津波の特性

津波の流速



○流速は大きいところで6～8m/s

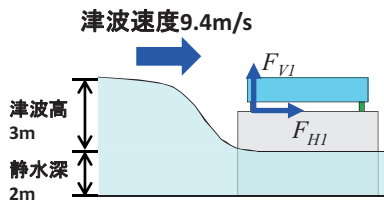
○漂流物のビデオ計測による陸域での津波遡上速度

平均6.0m/s (Kosa, 2012)とも整合

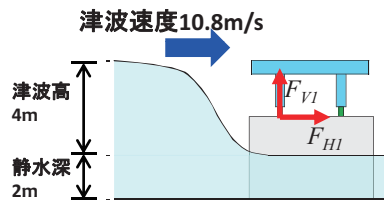
【出典】国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室：
構造物に対する津波作用の研究と今後の展望，東日本大震災報告会～震災から2年を経て～
平成25年3月19日

上部構造の断面形式の違いが支承反力に及ぼす影響

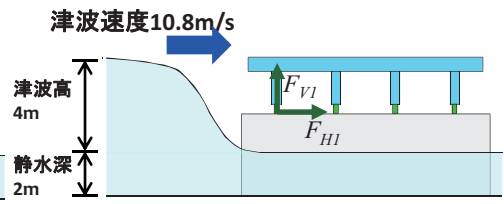
長方形断面



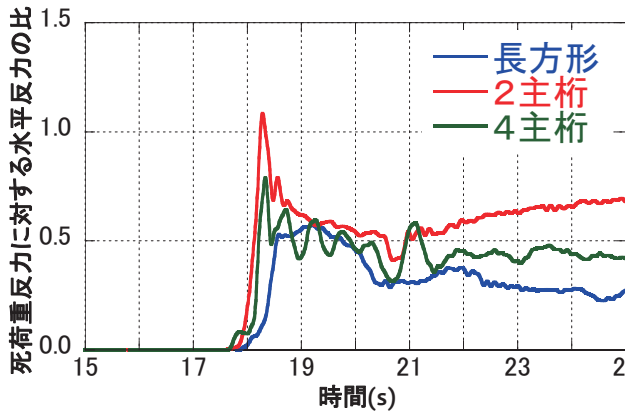
2主桁断面



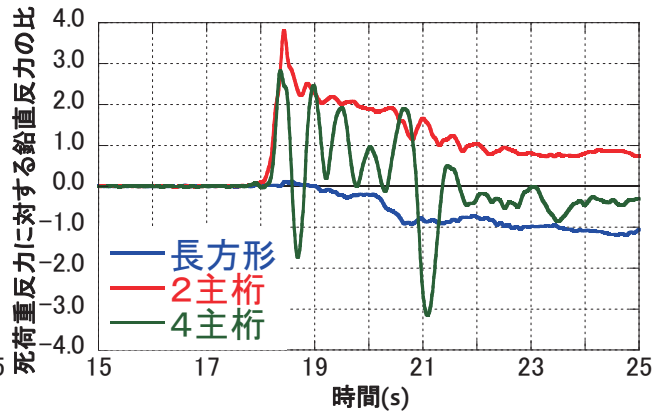
4主桁断面



支承部に生じる水平反力

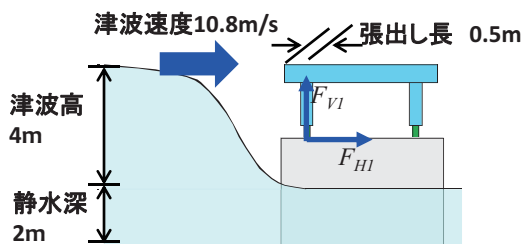


支承部に生じる鉛直反力

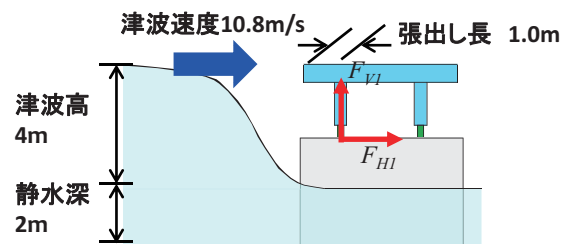


床版の張出し長さが支承反力に及ぼす影響

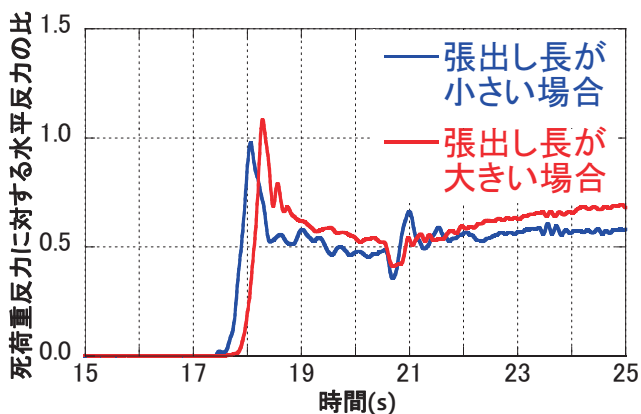
張出し長が小さい場合



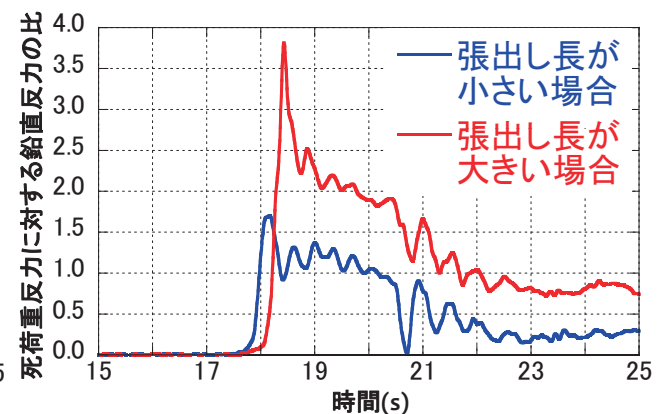
張出し長が大きい場合



支承部に生じる水平反力

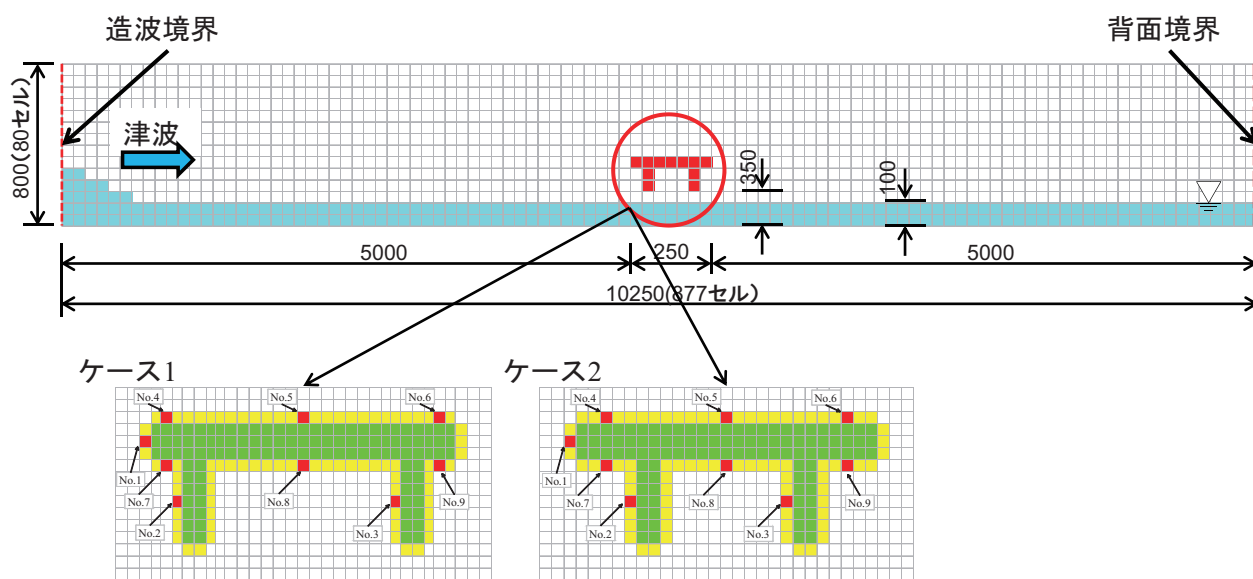


支承部に生じる鉛直反力



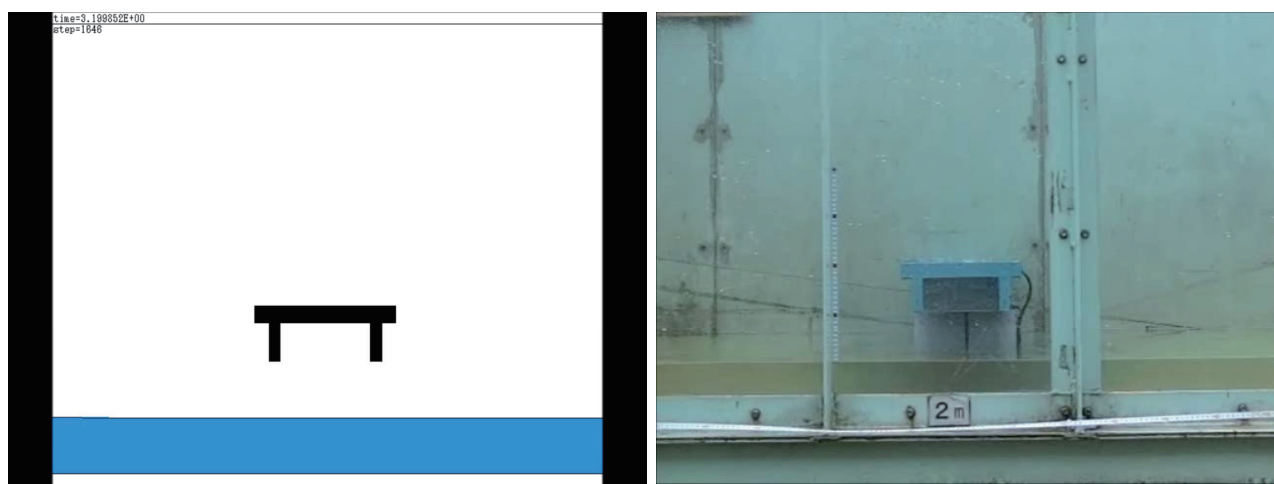
水路実験データを活用した数値解析技術 の適用性の検証

解析モデル

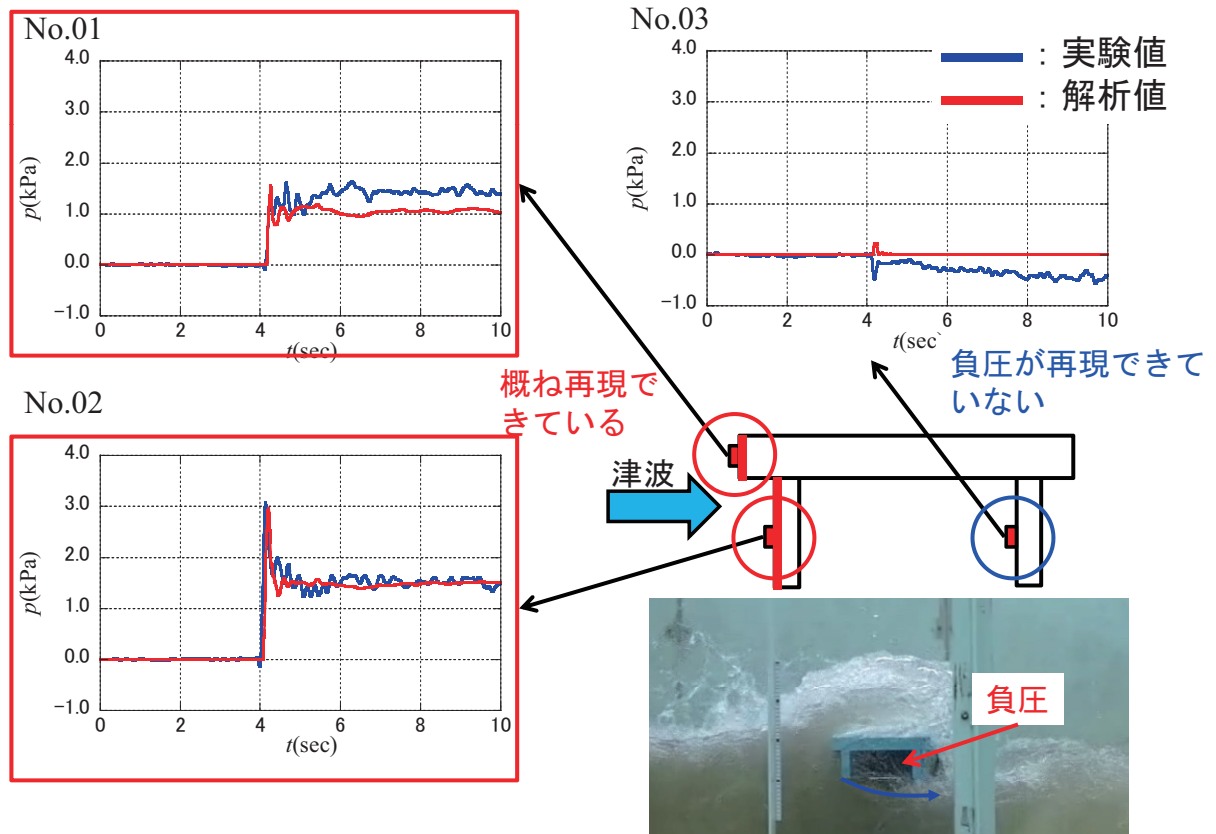


流体解析ソフトCADMAS-SURF/3D

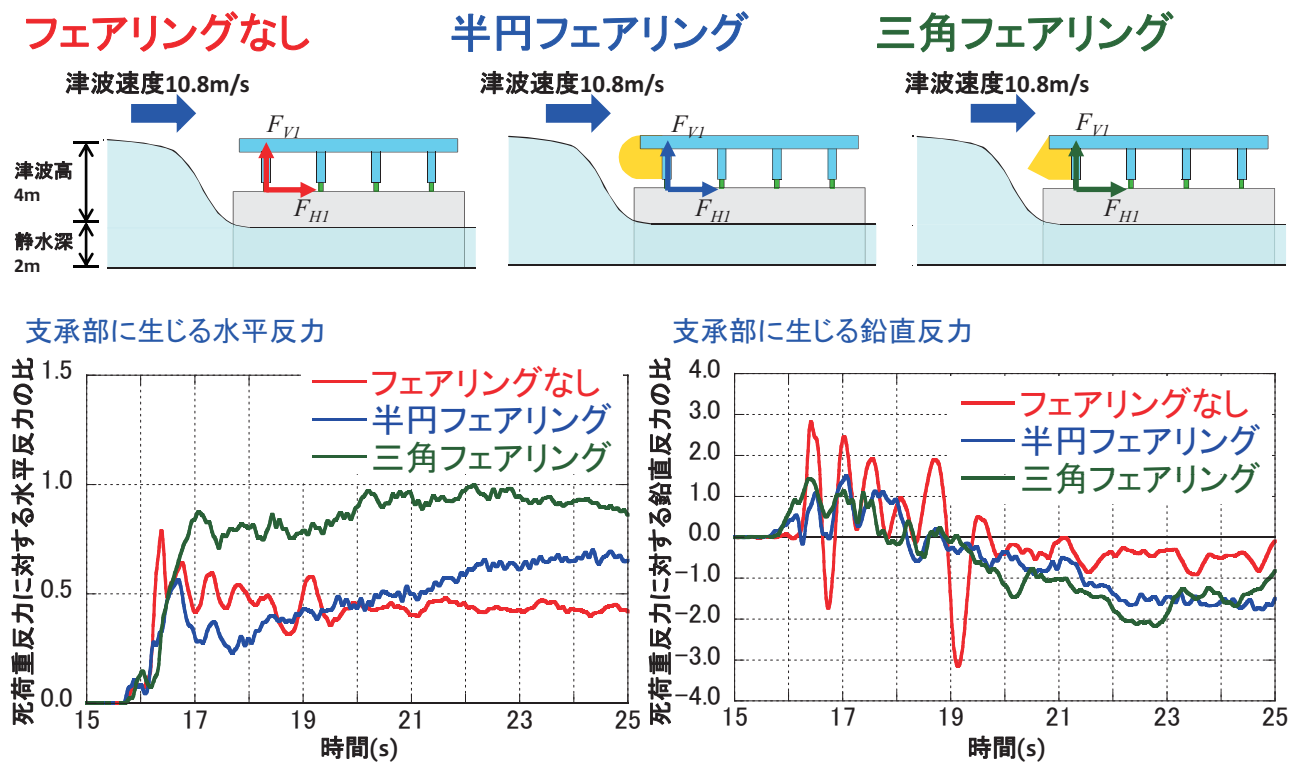
橋桁周辺の流況解析結果との比較



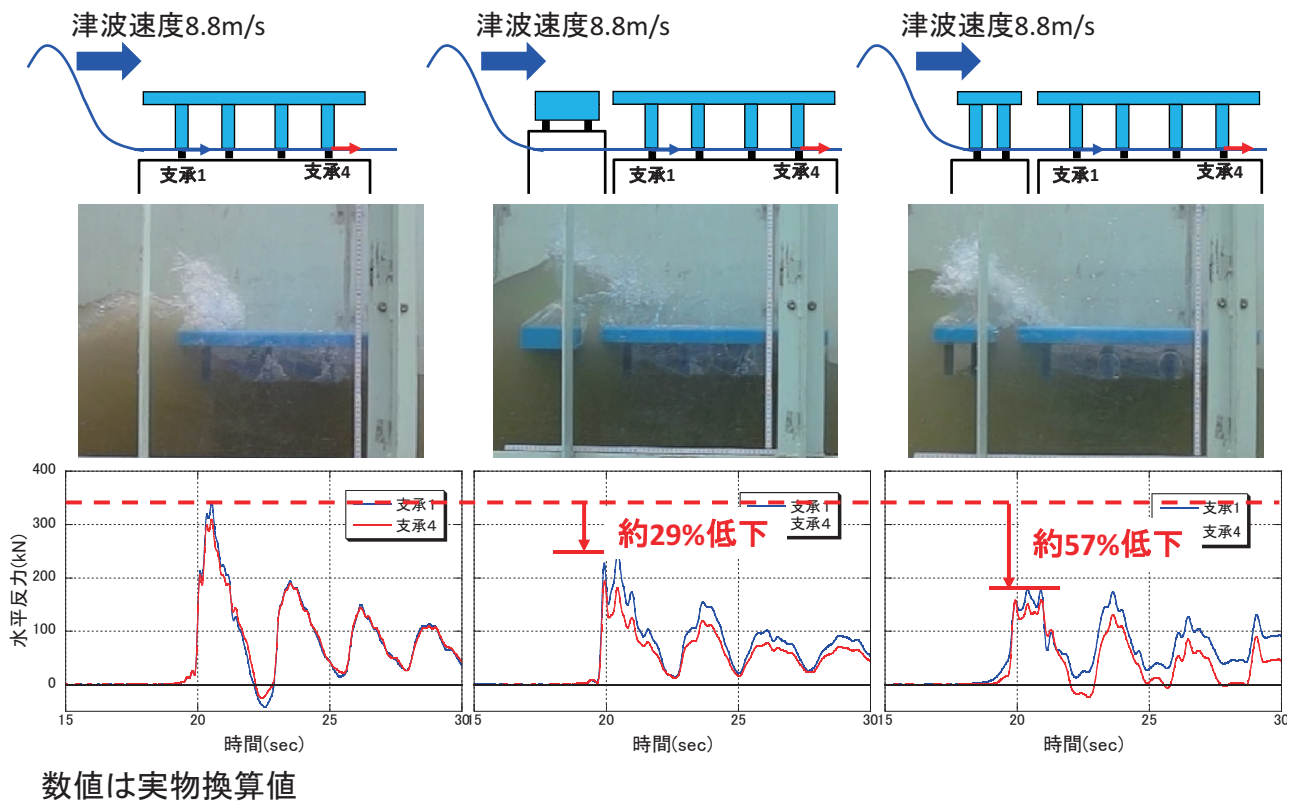
橋桁に作用する圧力の計測値と解析結果との比較



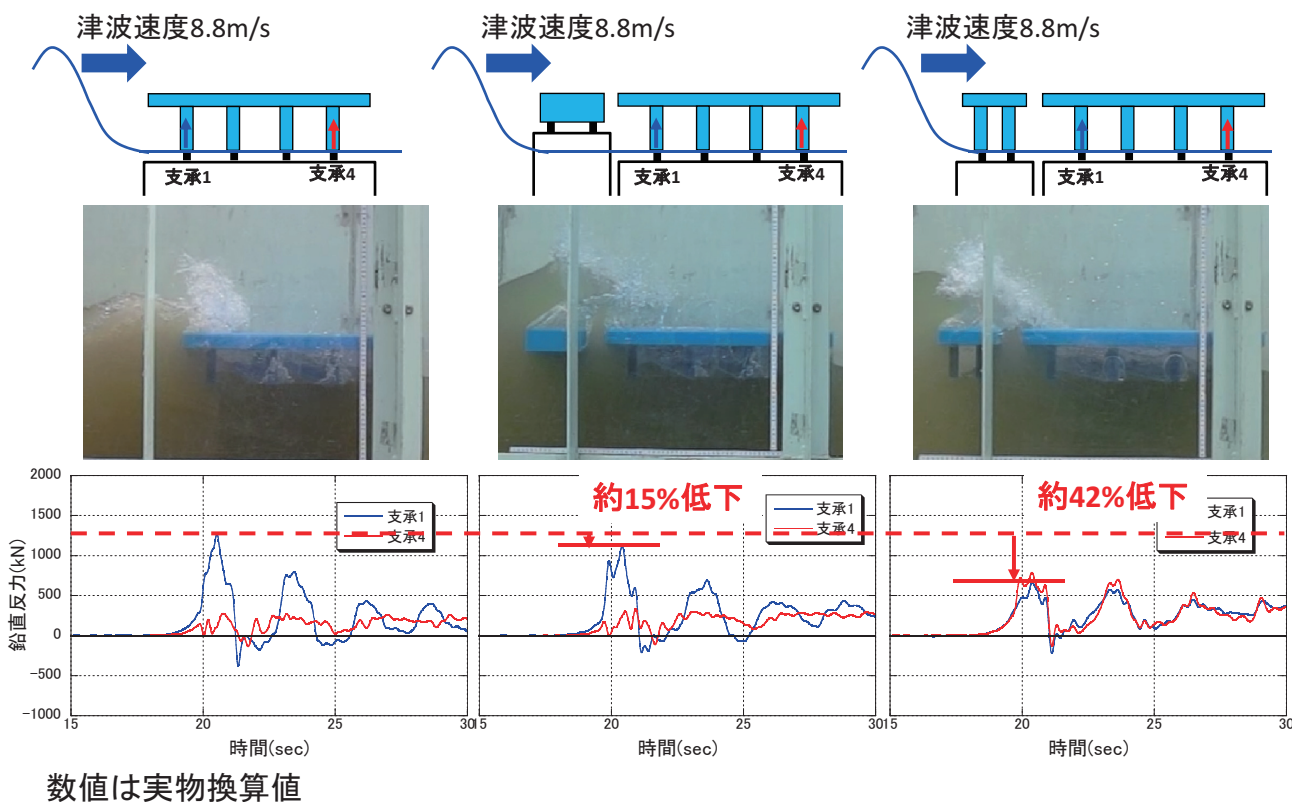
フェアリングの取り付けによる支承反力の軽減効果



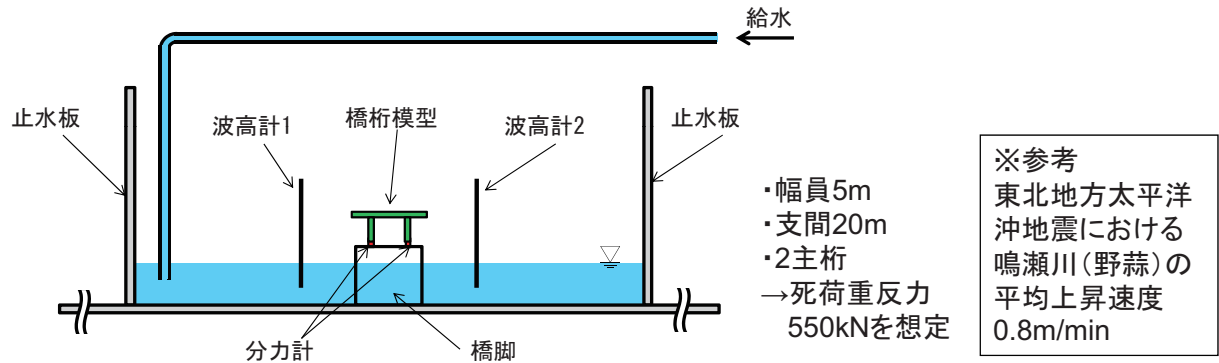
側道橋が本線橋の挙動に及ぼす影響



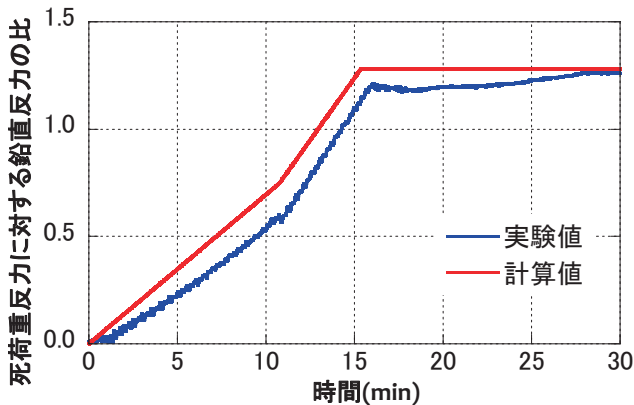
側道橋が本線橋の挙動に及ぼす影響



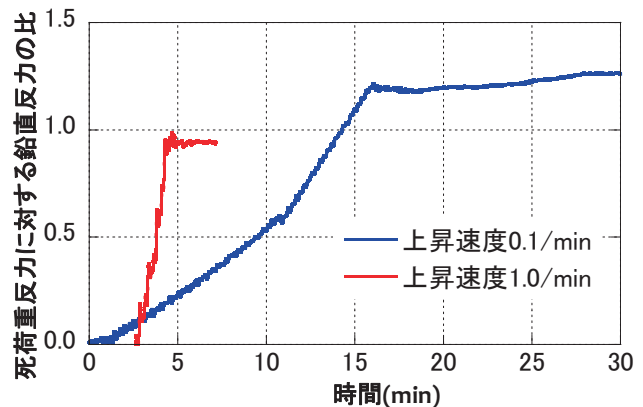
水位が徐々に上昇して橋が浸水する時に受ける影響



水位上昇速度0.1/minの実験結果



水位上昇速度による比較



津波の影響を受ける一般的な 桁橋における構造計画の考え方(案)

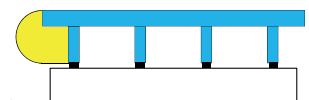
防災

津波により橋に生じる作用力に対する抵抗を高める観点

- ・地震の揺れで支承部に損傷したとしても上向き抵抗力を確保できる機能分散機構
- ・支点を多く確保した構造(短支間, 一支承線上の支承数を多くした構造)

津波の影響を低減させる観点

- ・主桁数を多くし、桁高さを小さくした構造形式
- ・最外縁の主桁から床版を大きく張出した構造としない
- ・通気等により浸水時の床版底面での空気溜まり(浮力の発生)を抑制
- ・フェアリングの取り付け等により水圧が橋に作用しにくくする構造的工夫
- ・他の施設との協働により、橋の立地位置に到達する際の津波の水位、流速を抑制



機能回復のための応急復旧のしやすさの観点

- ・応急復旧計画を考慮した構造計画
応急復旧橋の設置を念頭に置いた支間割の計画, 直橋で計画
応急復旧のしやすさの観点から最終的な破壊部位を設計で制御

減災

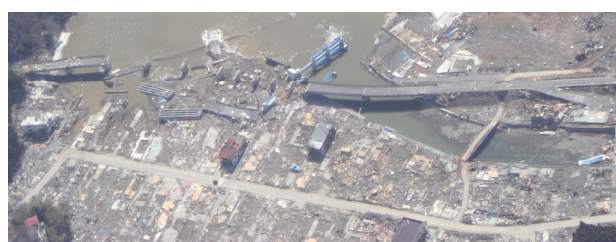
応急的な機能回復を速やかにするための復旧対応 ＜応急復旧では機能の観点から最速な方法を選択＞

迂回路の確保

沼田跨線橋の例



歌津大橋の例



写真・図提供: 国土交通省東北地方整備局

橋桁や橋台背面土が流出した橋の応急復旧 ＜構造条件がマッチする応急復旧橋を速やかに架設＞

応急復旧橋の緊急架設

水尻橋の例

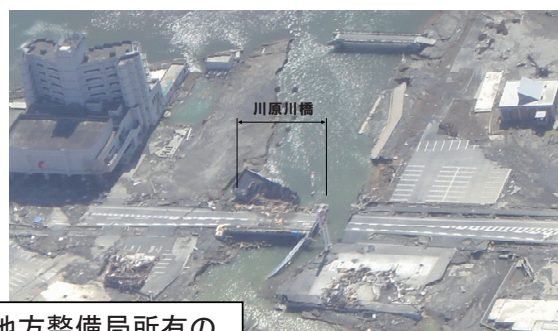
自衛隊の架橋機材の活用
による短時間での架設
(3月19日に1車線確保)



仮橋の架設
(7月6日に2車線確保)



川原川橋の例

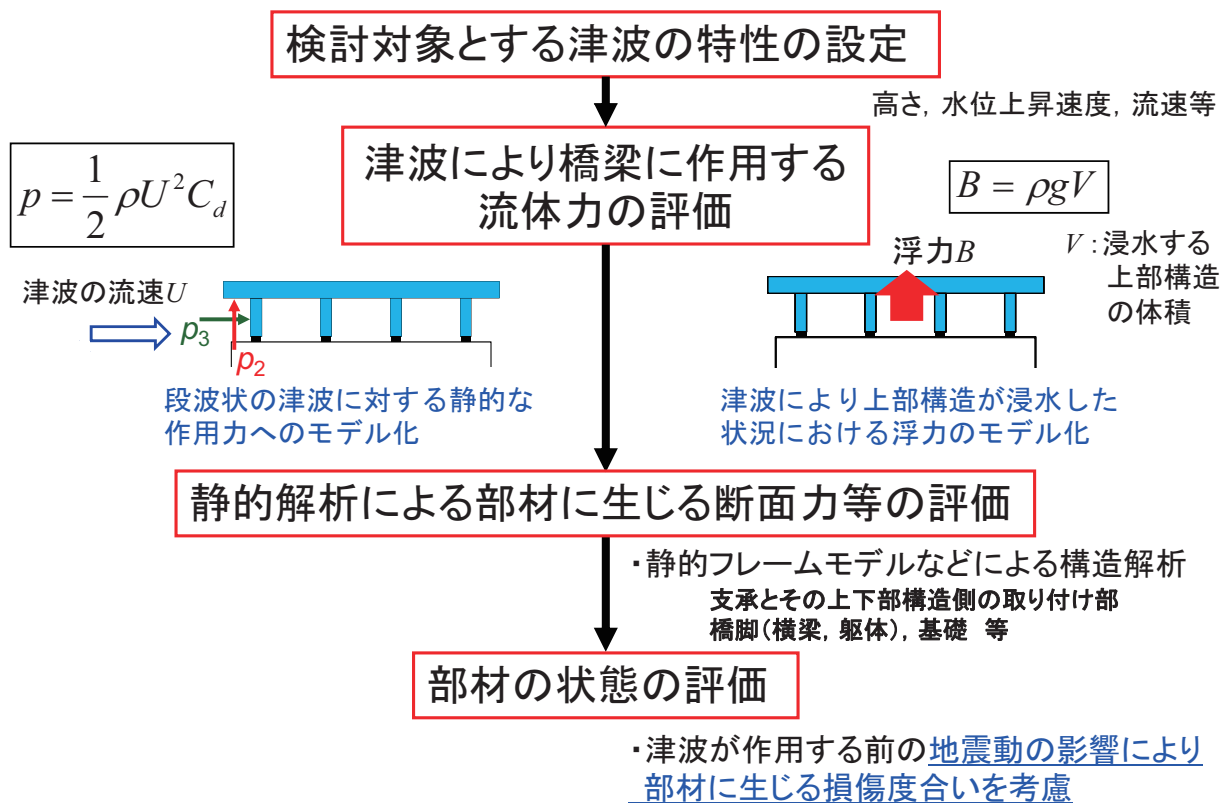


北陸地方整備局所有の
応急復旧橋の活用による
短期間での架設
(3月25日に2車線確保)



写真・図提供: 国土交通省東北地方整備局

津波により橋が受ける影響の評価手法の流れ

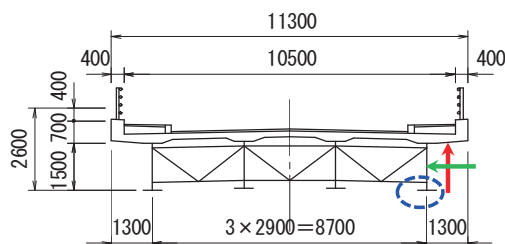


実橋に対する試算と実際の被害状況との関係

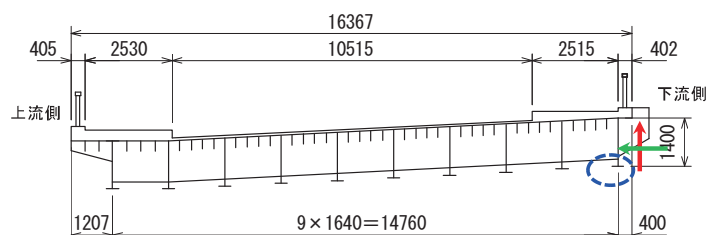
津波により橋桁が流出した小泉大橋
(気仙沼市)



津波により橋桁高さまで浸水したが流出しなかった矢の浦橋(釜石市)



2連3径間連続鋼鈑桁橋(1径間長: 約30m)



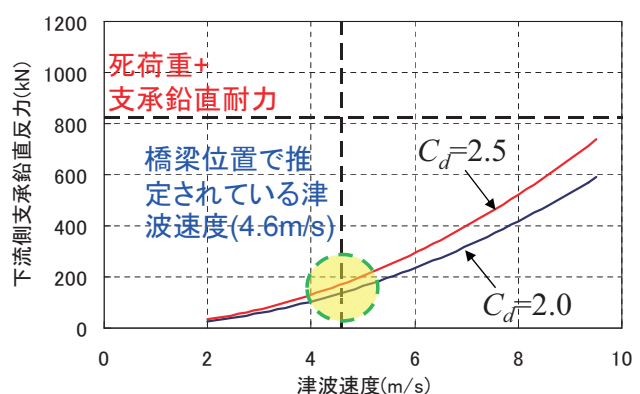
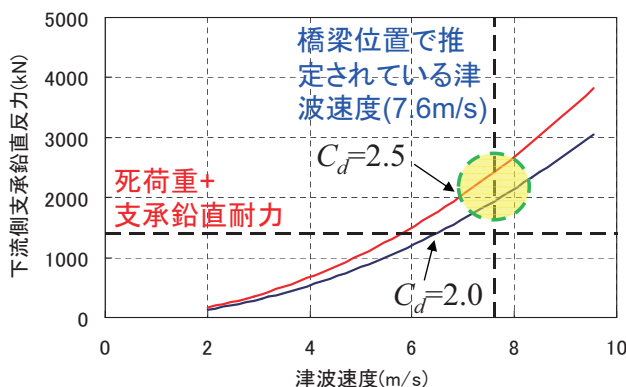
3径間連続鋼床桁I桁橋(1径間長: 約36m)

実橋に対する試算と実際の被害状況との関係

津波により橋桁が流出した小泉大橋
(気仙沼市)



津波により橋桁高さまで浸水したが
流出しなかった矢の浦橋(釜石市)



CAESARにおける今後の研究の取り組みの方向性

1. 既設橋の耐震性能とその評価技術

① 東日本大震災における被災データのマクロ分析

被災橋の分析だけでなく、強震地域に架かる橋で耐震性能が確保できていた既設橋からも学ぶ

- ・震災経験の観点から、古い既設橋でも大きな被害が生じていない橋とその構造条件、地盤条件等との関係
- ・従来の計算式による性能評価との違いの分析
- ・既設橋が保有している耐震性能のレベルの多段階化と既設橋用の評価手法

② 既設橋脚の部材特性を考慮した耐力, 変形能評価技術と対策

- ・大断面低鉄筋比橋脚
- ・高軸力、高鉄筋比となった薄肉RC中空断面橋脚

③ 既設基礎の構造特性を踏まえた橋の耐震性能評価技術

(→ 次の報告)

CAESARにおける今後の研究の取り組みの方向性

2. 津波の影響に対する評価技術と対策技術

① 津波の影響を受ける既設橋の流出判定手法の構築

- ・東日本大震災における実橋での被災及び被災の生じなかったメカニズム, 模型による水路実験結果等を踏まえた判定手法を構築

② 津波の影響を受けにくくするための構造的工夫

- ・津波により橋に力が作用するメカニズムに応じた構造的工夫の考え方の提示とその実証

③ 既設橋への対策技術に求められる事項の明示

- ・対策後の構造系における最終的な破壊部位
→減災(復旧のしやすさ)の観点から最終的な破壊モードを制御可能な技術
- ・地震動の影響によって生じる損傷が原因で対策効果が低下する機構でない
- ・削孔箇所, アンカー一定着箇所数が少ない工法

道路橋基礎における 地震時被害等への対応

構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)

上席研究員 七澤 利明

1

本日の講演内容

- I. 道路橋基礎の不具合と要因
- II. 道路橋基礎の地震時被害への対応
 - ・近年の大地震における基礎の被災事例
 - ・基礎の地震時被害を防ぐためのCAESARの取組み
- III. 今後の取組みの方向性

2

I. 道路橋基礎の不具合と要因

II. 道路橋基礎の地震時被害への対応

- ・近年の大地震における基礎の被災事例
- ・基礎の地震時被害を防ぐためのCAESARの取組み

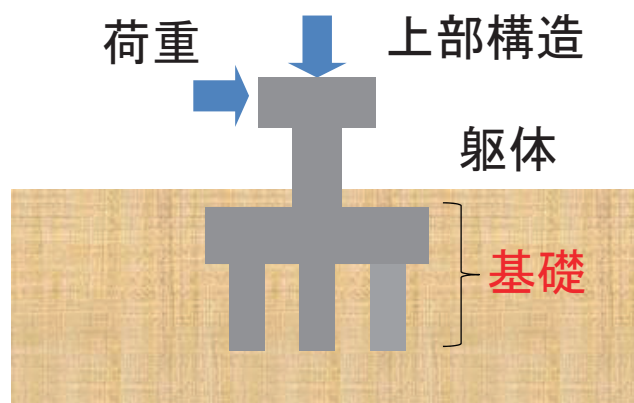
III. 今後の取組みの方向性

3

道路橋の基礎とは...

上部構造・下部構造躯体(橋脚/橋台)からの荷重を支え、支持地盤に伝達

⇒所要の強度, 剛性, 安定性が求められる



4

強度の不足

既製Co杭せん断破壊(下水処理施設)
(1995年兵庫県南部地震)



安定性の不足

パイルベント橋の倒壊(昭和大橋)
(1964年新潟地震)



5

基礎の特徴と留意点

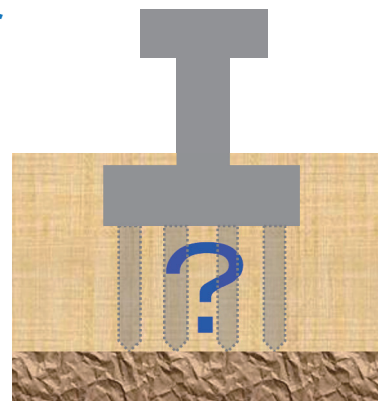
上部構造等と比較して、大きく異なる点として、

1. 自然の一部である地盤とともに機能

- 1-① 地盤の安定が機能に大きく影響(斜面, 軟弱層, 液状化)
↑設置位置が悪ければ, 地盤変状に伴い機能不全に
- 1-② 調査による地盤の性質把握が不可欠
↑調査不足が, 性能の不足に直結

2. 地中に存在

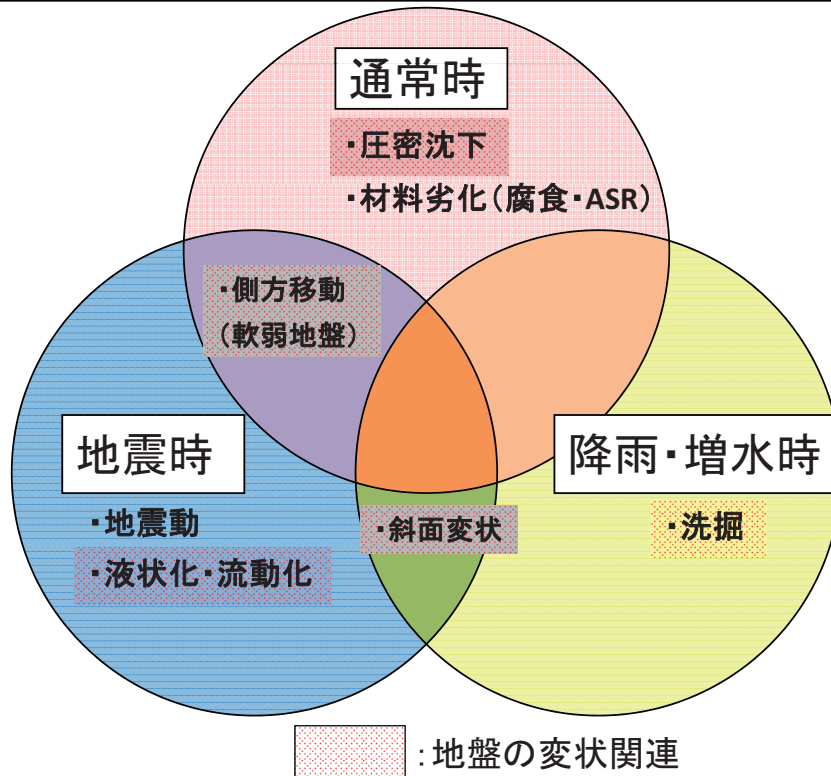
- 2-① 施工時の品質管理が困難
↑プロセス管理, 記録などによる
補完が必要
- 2-② 供用中の状態把握が困難
↑安全余裕度を高めるなどの配慮が必要



6

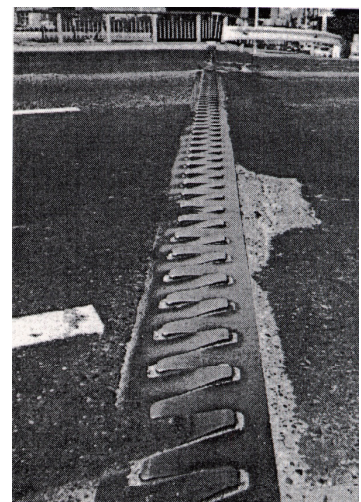
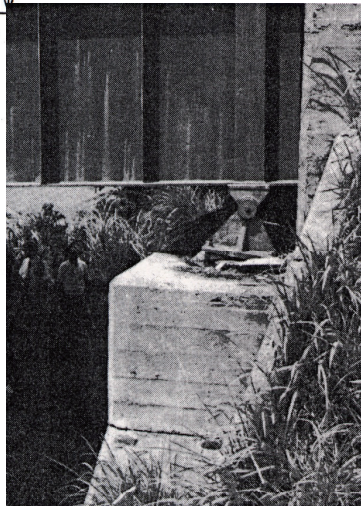
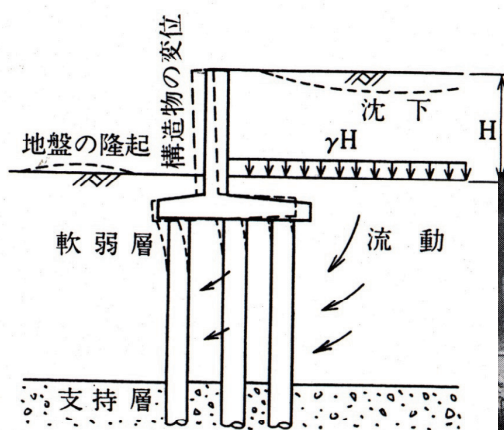
基礎の不具合の主要要因

- **地盤変状**が基礎の安定に大きく影響



7

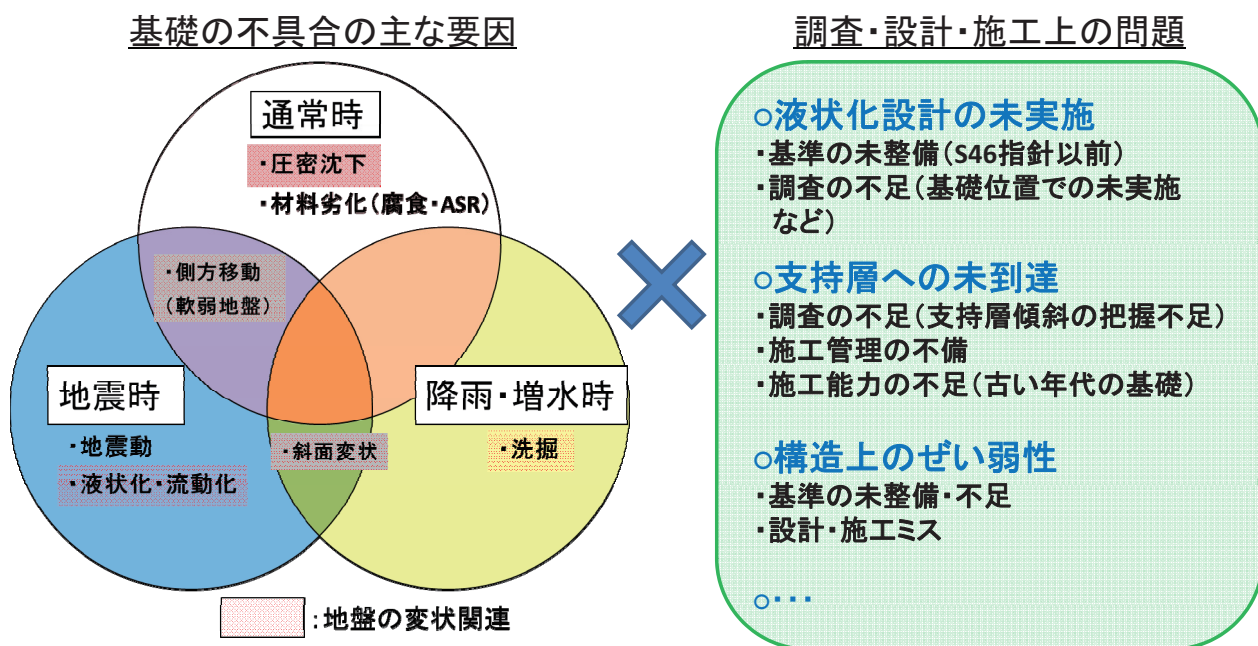
供用中の不具合(側方移動)



8

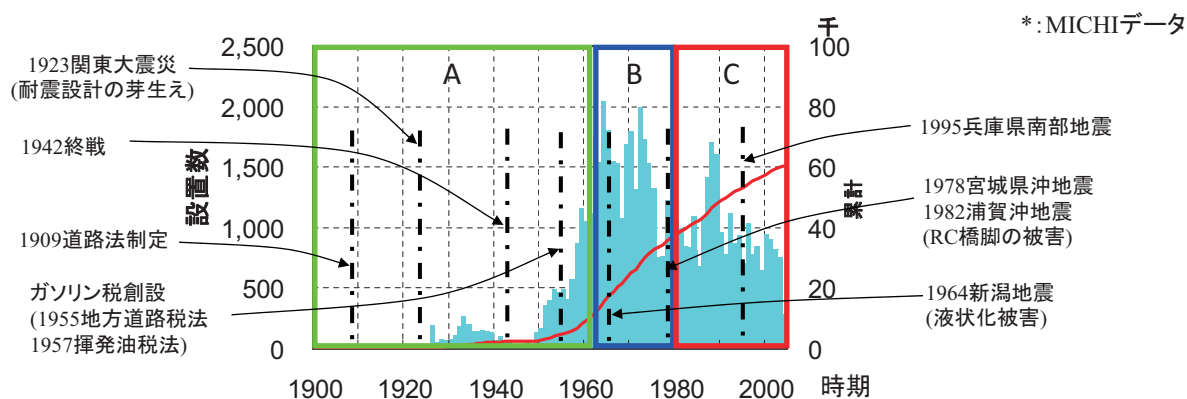
基礎の不具合に影響する調査・設計・施工上の問題

- ・ 地盤変状などの不具合要因に調査・設計・施工上の問題が絡んで不具合が発生



9

道路橋基礎の数量*と主な基準の変遷



A: 基準のない時代(~1964)

- 1923(T12) : 関東大震災によりRC構造に脚光
- 1931(S 6) : 鉄筋コンクリート標準示方書

B: 下部構造指針の時代(1964~1980)

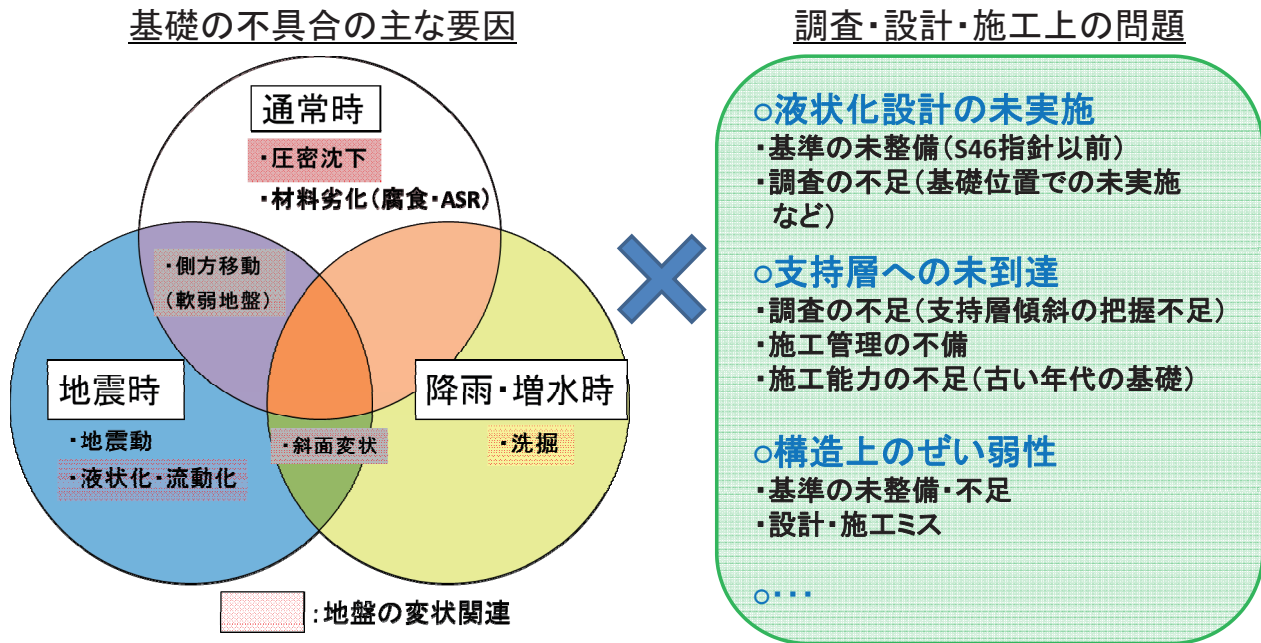
- 1964(S39) : <くい基礎の設計篇(慣用法)>
- 1964(S39) : 新潟地震(液状化被害)
- 1972(S47) : 道路橋耐震設計指針(液状化に対する設計法導入)
- 1976(S51) : <くい基礎の設計篇(支持力推定式、変位法の導入)>

C: 道路橋示方書の時代(1980~)

- 1980(S55): 下部構造編(8篇の指針を統合、中掘り杭に関する規定、コンクリートの許容せん断応力低減)
- 1990(H 2): 下部構造編: 限界状態設計法(弾性限界)の導入、耐震設計編: RC橋脚の地震時保有水平耐力法導入
- 1995(H 7): 兵庫県南部地震
- 1996(H 8): 耐震性向上(L2地震時の照査)
- 2002(H14): 性能規定化
- 2012(H24): 維持管理性向上、新たな知見・技術の反映

10

基礎の不具合に影響する調査・設計・施工上の問題



- では、このような問題にどのように対処するか？
⇒以降では、地震時被害への対応について説明。

11

I. 道路橋基礎の不具合と要因

II. 道路橋基礎の地震時被害への対応

- ・近年の大地震における基礎の被災事例
- ・基礎の地震時被害を防ぐためのCAESARの取り組み

III. 今後の取組みの方向性

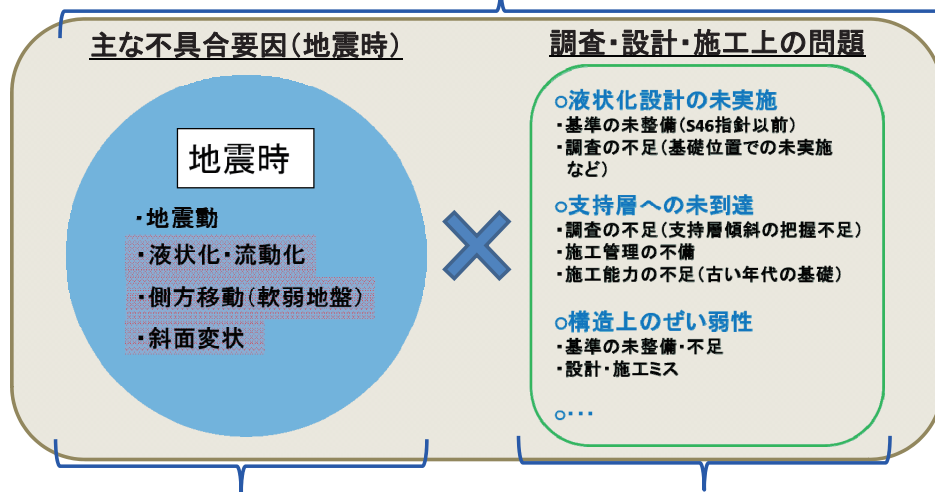
12

基礎の地震時被害を防ぐためのCAESARの取組み

取組み①: 既設基礎の耐震性評価の合理化

→膨大な数の既設基礎の耐震補強優先度を明確化

取組み②: 既設基礎の耐震補強技術の開発



取組み③: 地盤変状への対応

- ・液状化・流動化
- ・側方移動(軟弱地盤)
- ・斜面変状

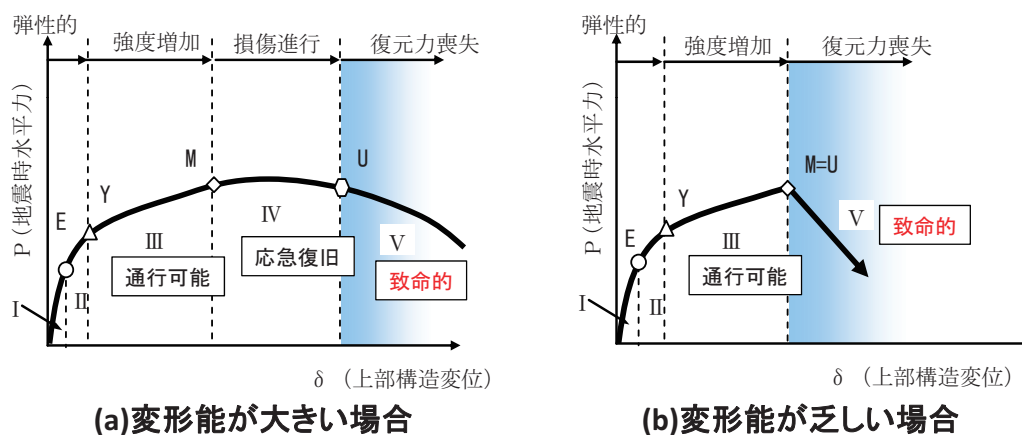
取組み④: 調査・設計・施工上の問題への対応

13

取組み①: 既設基礎の耐震性評価の合理化 ～耐震性能の簡易評価手法の開発～

- ・地震時の基礎の損傷度を安全性・供用性・修復性の観点から定義(I～V)。
 - ・被災事例分析, 既設構造の解析・実験および液状化推定手法の検討結果に基づき, **基礎の耐震性簡易判定フローを作成**。
- ⇒**既設基礎耐震補強の優先順位付け**に活用。

地震時の基礎の耐力～水平変位関係と損傷度(I～V)



14

被災事例からみた注意すべき基礎

①落橋事例がある基礎

- ・パイルベント橋脚・基礎
- ・液状化・流動化地盤中にあり、支持層に達していない基礎

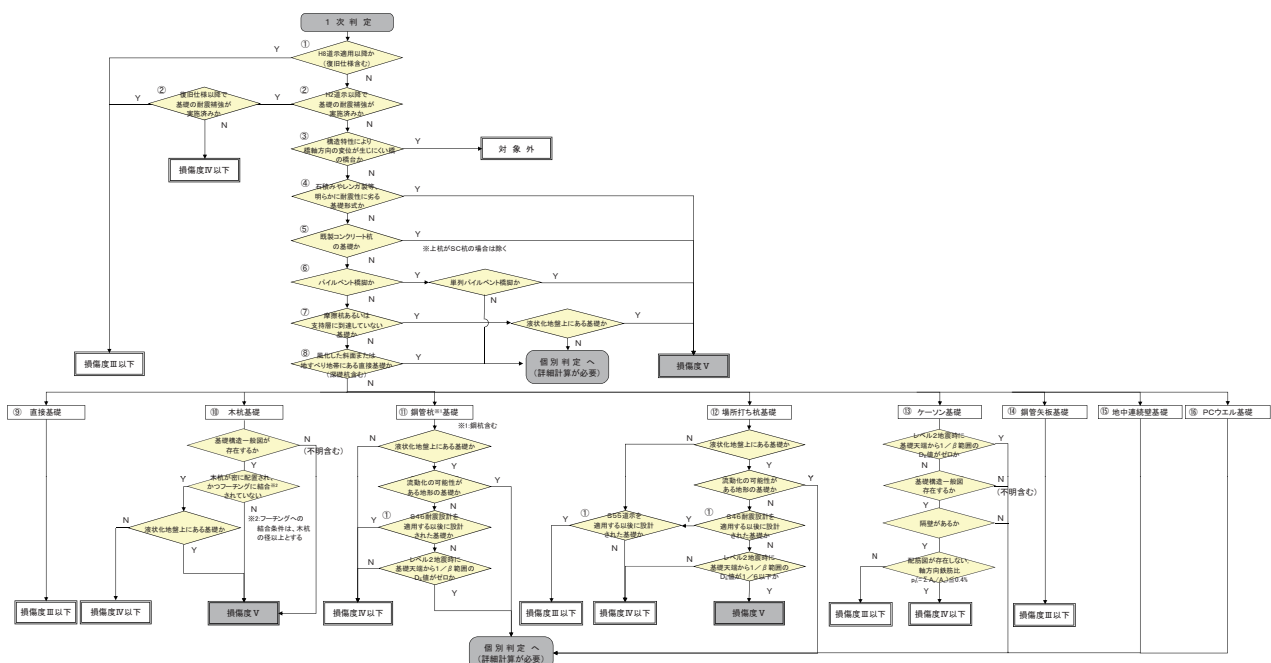
②通行止めなど致命的な損傷を生じた事例がある基礎

- ・軟弱地盤中の古い既製コンクリート杭基礎
- ・その他(頂版と本体の接合が不十分なケーソン基礎)



15

既設道路橋基礎の耐震性簡易判定フロー



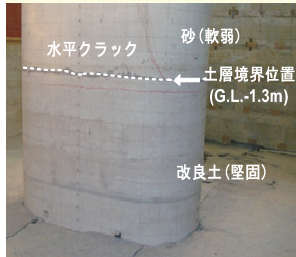
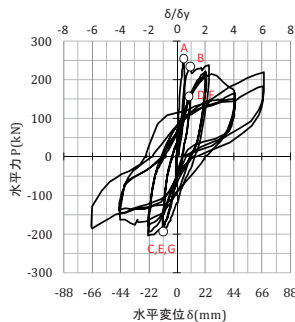
↑ 詳細については、[土研資料第4168号「既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究」](#)(平成22年5月)をご覧ください。

取組み①: 既設基礎の耐震性評価の合理化 ～耐震性能が不明な古い基礎の評価～

- 古いケーソン基礎, 木杭基礎など, 大地震時の耐震性が不明な基礎の実験・解析等を行い, 耐震性を評価。

古いケーソン基礎の耐震性 (H8道示以前は軸方向鉄筋が少)

- 地盤中模型の水平載荷実験・再現解析

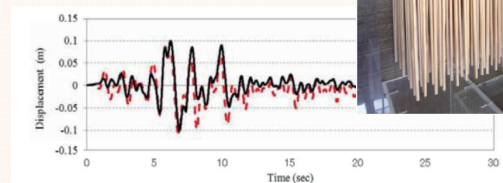


試験後の損傷状況

⇒ひび割れ断面で変位するものの、地震後は変位が戻るため、鉛直荷重を保持。(せん断破壊先行の場合は要検討)

木杭基礎の耐震性

- 過去の設計事例の収集・分析
- 模型実験・再現解析



実験結果と解析結果の比較

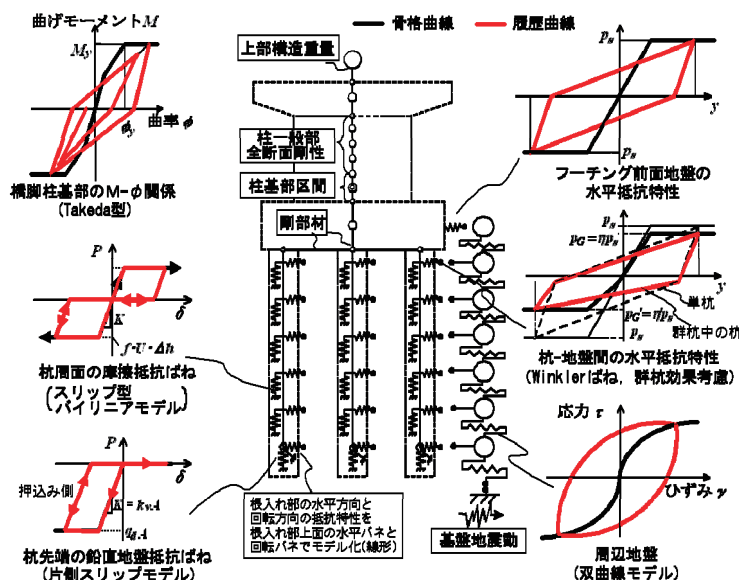
⇒木杭基礎の構造特性を反映した動的FEM解析手法を開発。地震時の性能評価が可能に。

17

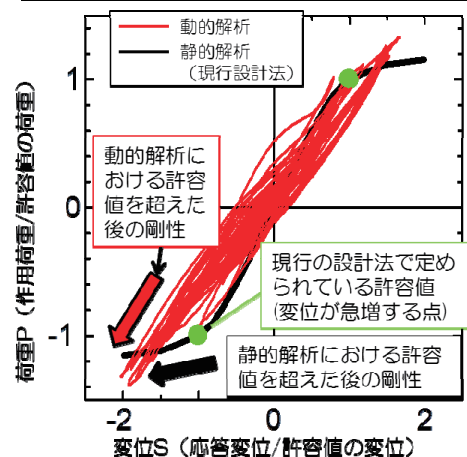
取組み①: 既設基礎の耐震性評価の合理化 ～動的解析による耐震性能評価手法の開発～

- 地盤の動的挙動・相互作用を評価できる解析モデルを提案。
⇒従来の手法よりも合理的な評価が可能に。(検討中)

動的解析モデル



既製コンクリート杭基礎の解析



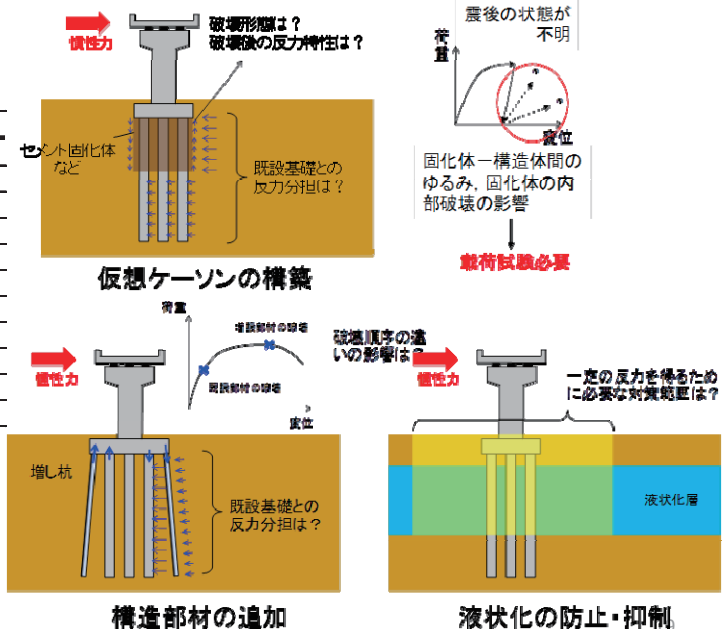
・静的解析での許容値を超えても剛性低下せず。
⇒より大きな許容値も可能に。

取組み②: 既設基礎の耐震補強技術の開発 ～補強工法の選定・性能評価手法～

- 補強工法を工学的観点から分類のうえ、各工法で求められる検証項目や適用性等を整理。(検討中)

補強工法の分類と検証項目

大分類	中分類	小分類
構造系 補強工法	(a) 構造部材の追加	杭の増設 アンカーの増設
	(b) 部材補強	拘束圧入 矢板
	(c) 仮想ケーソンの構築	矢板+固化 固化
	(d) 地盤強化	固化
地盤系 補強工法	(e) 液状化対策	締固め せん断変形抑制 排水 注入固化

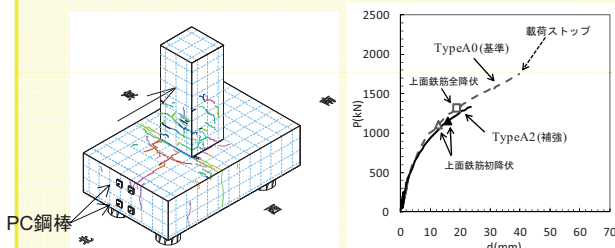


取組み②: 既設基礎の耐震補強技術の開発 ～合理的な補強技術の開発・評価～

- 従来の補強工法では適用できない条件での、あるいは従来より合理的・経済的な補強技術の開発・評価を実施。

フーチングの補強技術

- フーチングの寸法拡大が困難な条件での補強技術(繊維シート接着, 水平プレストレス導入, 鉛直プレストレス導入)の補強効果を載荷実験で検証。

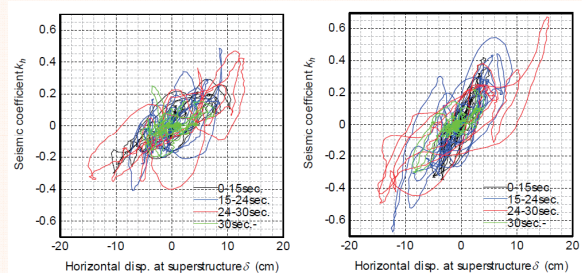


水平プレストレスを導入した供試体の載荷試験(P～δ関係)

⇒耐力や変形能の向上を確認。また、施工時の留意点を整理。

液状化地盤対策(検討中)

- 杭基礎模型の動的遠心載荷実験により、液状化地盤対策(締固め)の効果を検証。



(a) 液状化対策なし

(b) 液状化対策あり(全域)

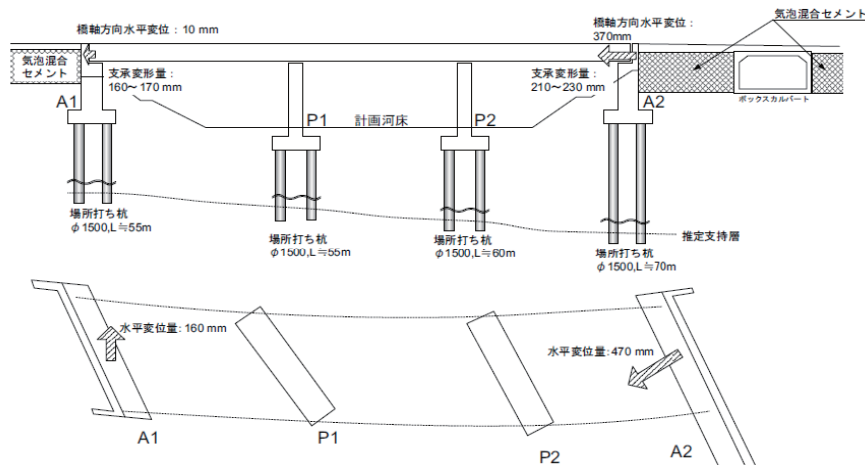
水平震度 k_h ～ 水平変位 δ 関係の比較例

⇒地盤条件・対策範囲によっては、対策前よりも大きな加速度や地盤反力を受ける可能性あり。

取組み③：地盤変状への対応 ～橋台の側方移動対策ガイドラインの策定～

- ・ 軟弱地盤上の側方移動事例や対策事例を収集・分析し、側方移動判定や対策の考え方等をガイドラインにとりまとめ。

ガイドライン記載例：地震時に橋台の移動が確認された事例



土木研究所資料第4174号「橋台の側方移動対策ガイドライン策定に関する検討(その2)」(平成22年6月)より

⇒設計地盤面の取り扱い、背面に軽量材料を用いた場合の留意点を整理。

21

取組み③：地盤変状への対応 ～斜面変状への対応～

- ・ 傾斜地等の下部構造が地盤変状に伴い移動する事象に対し、①地震時に不安定となる地盤条件、②地盤変状が橋の安全性に及ぼす影響を明確化し、対応策を提示。(検討中)

・地震による斜面地盤変状事例を分析し、変状パターンを特定。(地質T)



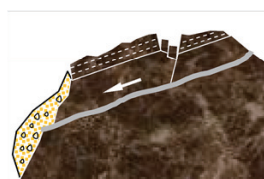
崩壊土のすべり・崩壊



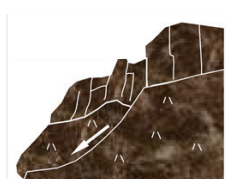
風化層のすべり・崩壊



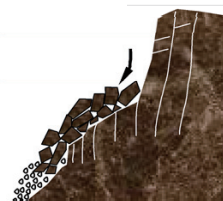
未固結層のすべり・崩壊



流れ盤の層理面・節理面・断層面・薄い脆弱層によるすべり・崩壊



下部の脆弱層の変形による岩盤の変形・崩壊



柱状節理面からの変状・崩壊

22

取組み④：調査・設計・施工上の問題への対応 ～技術基準類の改定・策定～

- 調査・設計・施工上の問題に対応するため、基準類の規定・解説等の記述を見直し・充実。

○道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編（平成24年3月改定）

～地震時の不具合対応など，調査から設計・施工まで全般にわたり改定

○斜面上の深礎基礎設計施工便覧（平成24年4月策定）

～地震時の斜面変状等に対応するための調査・設計の考え方を提示



23

H24道路橋示方書の改定例 斜面上の基礎の変状への対応



橋台周辺の土塊の沈下と橋台等の傾斜



斜面上の基礎における前面地盤の流出

- ⇒ ・山地部で**地盤変状が生じうる地形地質に対する調査**に関する記載の充実（2章）
- ・斜面上の基礎は，十分な調査の結果をふまえて**安定した地盤に設置，根入れ**させることを基本とするとともに，その他対策や配慮に関する記載を充実（9. 3, 9. 4）

24

既設基礎の耐震性に関する研究成果の公表

文献名	書籍名	巻号・ページ
既設道路橋基礎の耐震性簡易判定フローの開発	第28回日本道路会議論文集	40051
既設ケーソン基礎の耐震性能評価(その1)	日本地震工学会大会2009	pp.352-353
既設ケーソン基礎の耐震性能評価(その2)	日本地震工学会大会2009	pp.354-355
既設ケーソン基礎の耐震性能評価(その3)	日本地震工学会大会2009	pp.356-357
大型模型載荷実験による既設ケーソン基礎の耐震性能評価	第13回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集	pp.267-274
地盤の層構成の違いが群杭基礎の地震時挙動に与える影響に着目した加振実験	第13回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集	pp.325-332
場所打ち杭を用いた道路橋基礎への動的照査法の適用に関する基礎的検討	第13回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集	pp.315-324
既設ケーソン基礎の耐力に関する模型実験	土木技術資料	第52巻第5号, pp.34-37
既設道路橋基礎の耐震性能簡易評価手法に関する研究	土木研究所資料	第4151号
基礎の耐震補強法の性能検証に関する課題	土木技術資料	第52巻第7号, pp.34-37
道路橋基礎の耐震性簡易判定法に関する研究	土木技術資料	第52巻第7号, pp.38-41
低鉄筋既設ケーソン基礎の耐力・変形能評価におけるファイバー解析の適用性	土木学会第65回年次学術講演会概要集	I-678 pp.1355-1356
SEISMIC PERFORMANCE ASSESSMENT METHOD FOR EXISTING HIGHWAY BRIDGE FOUNDATIONS	PROCEEDINGS OF THE 26th U.S.-JAPAN BRIDGE ENGINEERING WORKSHOP	pp.61-74
既設木杭基礎の非破壊検査による諸元探査事例	土木技術資料	Vol. 53, No. 12, pp.56-57
RC杭を有する既設道路橋基礎の動的照査における照査項目に関する一検討	第15回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集	pp.413-418
動的解析による既設道路橋の既製コンクリート杭基礎の耐震性に関する一検討	土木学会第67回年次学術講演会講演概要集	I-136 pp.751-752
既設木杭基礎の遠心場における加振実験	土木学会第67回年次学術講演会講演概要集	III-037 pp.73-74
既設フーチングに対する補強効果の確認実験	第21回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	pp.371-376
動的解析による既製コンクリート杭を有する既設道路橋基礎の耐震性評価に関する検討	構造工学論文集	Vol.59A pp.504-515
既設道路橋基礎の耐震性	橋梁と基礎	Vol.47 No.8 pp.60-62

I. 道路橋基礎の不具合と要因

II. 道路橋基礎の地震時被害への対応

- ・近年の大地震における基礎の被災事例
- ・基礎の地震時被害を防ぐためのCAESARの取り組み

III. 今後の取組みの方向性

今後の取組みの方向性

①土研での今後の取組み

- ・既設基礎の耐震性能評価法・補強設計法の開発
 - 動的解析による耐震性能評価手法の確立
 - 地盤特性に係るモデル化の精査
 - 被災事例の再現解析等による提案モデルの検証
 - 信頼性・部分係数に基づく既設基礎評価法の開発
- など

②産学に求められる技術開発

- ・不明基礎の調査技術の開発
 - ・合理的・経済的な補強技術の開発
- など

27

①土研での今後の取組み

信頼性・部分係数に基づく既設基礎評価法の開発

- ・信頼性理論に基づき、既設基礎をより合理的に評価するための部分係数設計法を検討。

- ・既設橋に対する調査を実施し、性能に影響するパラメータを確定値として扱うことなどにより、新設時の設計と部分係数等を差別化して合理的に性能を評価。

[パラメータの例]

材料強度：コア抜きした供試体の強度試験等により設定

地盤定数：載荷試験・室内試験など精度の高い調査に基づき設定

部分係数書式のイメージ

$$(\psi_1 \cdot \boxed{\psi_2} \cdot \psi_3 \cdot Q) \leq (\phi_1 \cdot \boxed{\phi_2} \cdot \phi_3 \cdot R)$$

Q: 荷重 (応答値)

ψ_1 : 下記以外の要因による荷重係数

ψ_2 : 調査法の精度に応じた荷重係数

ψ_3 : 施工法の精度に応じた荷重係数

R: 耐力

ϕ_1 : 下記以外の要因による抵抗係数

ϕ_2 : 調査法の精度に応じた抵抗係数

ϕ_3 : 施工法の精度に応じた抵抗係数

28

②産学に求められる技術開発 不明基礎の調査技術の開発

- 古い年代の基礎では、基礎形式が不明であることが多い。
 - 図面に推定で示している場合でも、調査に基づかないものも。
- ⇒不明基礎の種類や諸元(幅, 長さなど)を合理的に把握する技術が必要(非破壊検査技術等)。



- 基礎形式は？
- 長さ(支持層への根入れ)は？

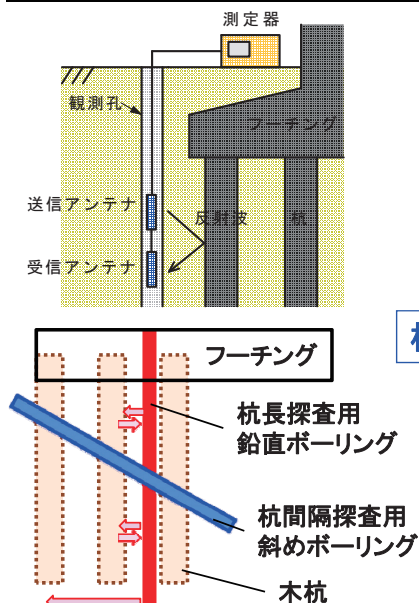
29

非破壊検査の適用性検証の例(杭基礎)

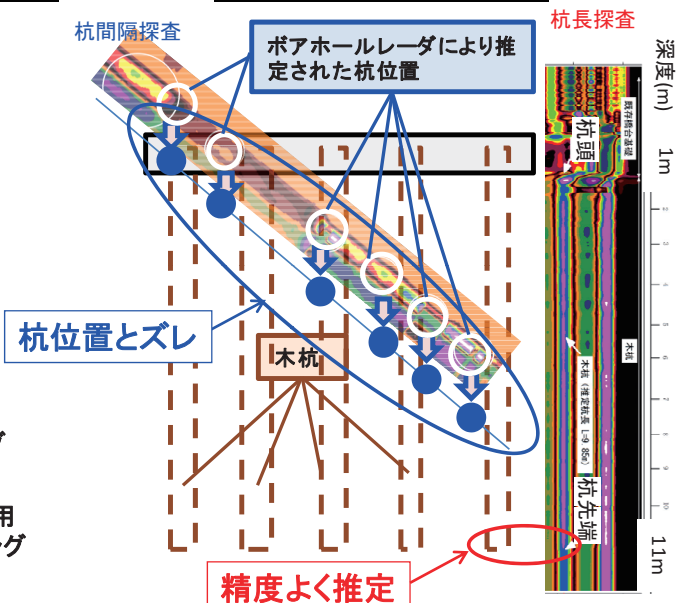
- 既設木杭基礎に対して非破壊検査法を適用

⇒杭長の推定は可能, 杭間隔・本数の推定は困難。
(杭間隔・本数はフーチング下まで掘削して確認)

調査方法(ボアホールレーダ)



調査結果(コンター図)



②産学に求められる技術開発 合理的・経済的な補強技術の開発

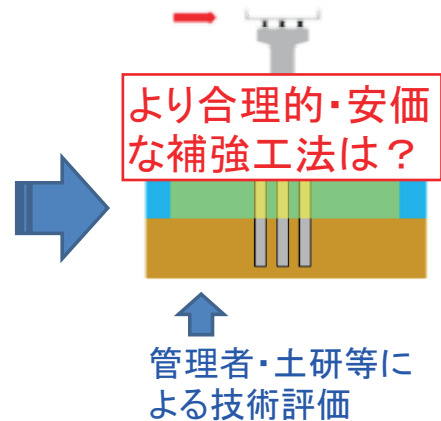
- 一般に基礎の補強は高価であるため、基礎の耐震補強を迅速に進める上での障害(数億円/基となる場合も)。

⇒合理的・経済的な補強技術の開発が急務。

→管理者や土研等による技術評価や基準化を経て普及へ。

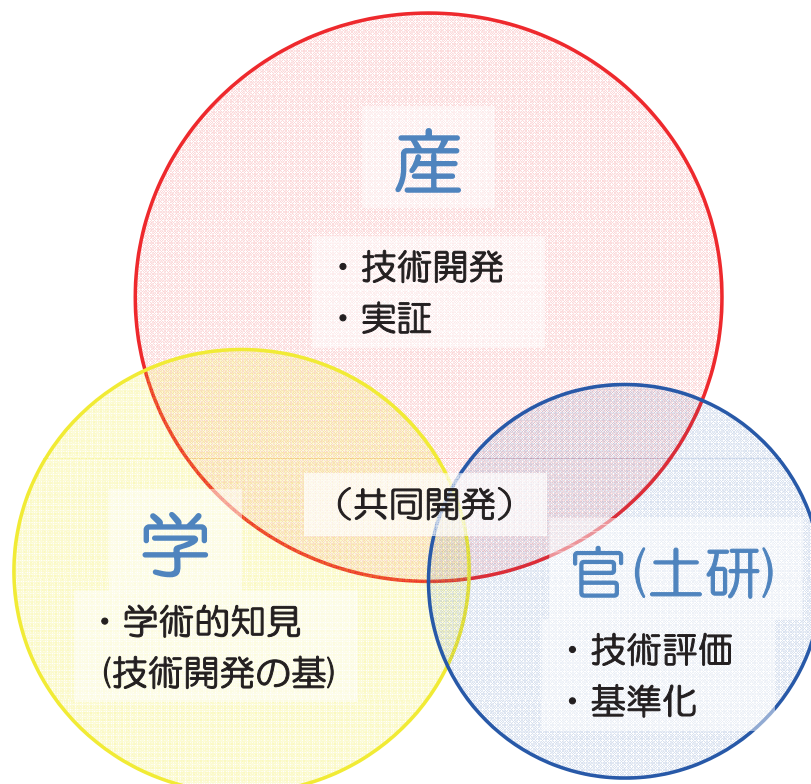
一般的な補強工法の例(杭基礎)

	マイクロパイル以外による増杭	マイクロパイルによる増杭
概要図 (河川内)		



31

さいごに 技術開発の構図



32