

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

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

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



茨城県小貝川一様生の数量調査

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
独立行政法人 土木研究所

発行 財団法人 土木研究センター

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 | (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) |



らに既設橋梁で斜材
落橋に至らなくても
と破断前と異なる応力
を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
の腐食以外にも、垂直
風や自動車荷重に起
きている。

引張部材のように橋
をみえる可能性が高い
留意し、健全性の判
断して橋の供用条件や部
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

編集委員
国土交通省土木技術政策総合研究所
独立行政法人 土木研究所
編集協力グループ 監査員
編集 主任 高岡賢吉

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

臨床研究

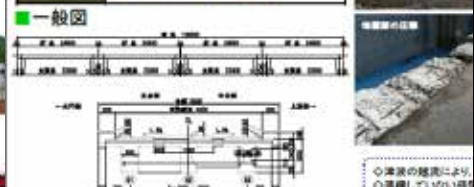
CAESARの臨床研究事例



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

普代水門管理橋(損傷を有する橋梁の全体像)

■ 橋梁諸元		■ 橋梁概観・損傷	
橋梁名	普代水門管理橋	損傷箇所	橋脚部分の亀裂
地名	岩手県下閉伊(しもへい)郡普代村	損傷箇所	橋脚部分の亀裂
橋梁形式	単純ポストテンション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		



■ 研究概要	
<p>◀研究目的▶ 震害により被災し、ひび割れの生じたPC桁の振動特性の変化を検証</p> <p>◀調査内容▶ ・震害下法による振動試験 ・その他(材料強度試験、非破壊検査技術の適用性)</p>	<p>◀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)</p>

各橋脚の各主桁上にて震害下法により、振動特性を確認

- ・健全時の観測後(梁セパン)に対して、第3位にて2-3割程度、第4位にて1-2割程度の振動数の低下を確認
- ・第3位数の曲げ2次の低すまが曲げ1次および3次に比べ小さいのは、橋脚位置が振動モードの節に該当するためと推測
- ・第4位節において、震害振動モードにて振動数の低下が顕著
- ・各支間上の振動数にて若干差異が確認され、概ね橋脚座の大小関係との相関を確認



関連資料 -「MEMS 型加速度計によるプレストレスコンクリート橋の振動測定」富岡社、土木学会全国大会、2013.9

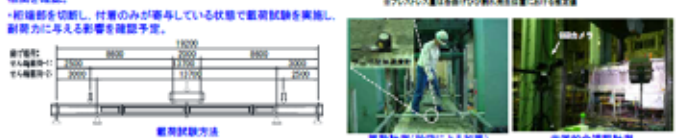
相見川海浜橋(劣化部材の耐荷性能の確認)

■ 橋梁諸元		■ 橋梁概観・損傷状態	
橋梁名	相見川(あいみがわ)海浜橋	損傷	橋脚部分の亀裂
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		

◀研究目的▶
地震により、コンクリートおよび鋼材に損傷が生じたポストテンションPCT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)

・グラウト充填状況は、一部充填箇所が確認されたが、比較的良好
・曲げひび割れ発生位置から推定した残存プレストレスは、割合により異なり、劣化の程度とプレストレスの低下量やせん断ひび割れ発生位置とある程度相関が認められた
・振動特性について、震害振動モードにて振動を確認できる可能性がある
・光学的全体観測にて、重要なひび割れの計測やひび割れとの相関を確認
・応荷荷重を調整し、付着のみが牽与している状態で載荷試験を実施し、耐荷力に与える影響を確認予定



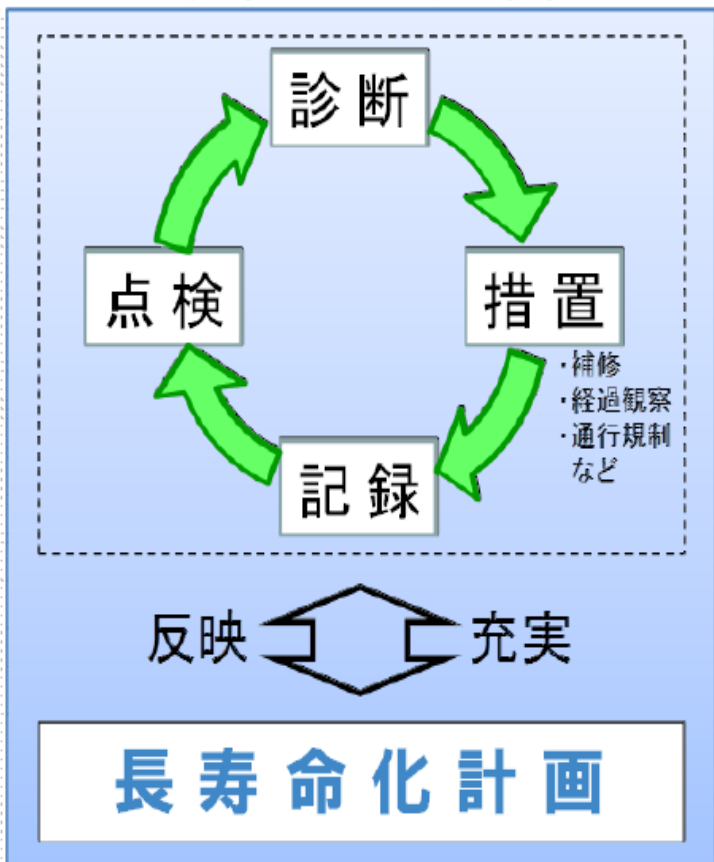
関連資料 -「地震を受けたポストテンションPCT桁の曲げせん断耐荷性状に関する載荷試験」松沢社、土木学会全国大会、2012.9



関連資料 -「MEMS 型加速度計によるプレストレスコンクリート橋の振動測定」富岡社、土木学会全国大会、2013.9

コンクリート橋の維持管理技術の開発

メンテナンスサイクル



1. 点検・診断技術：
 損傷部材の耐荷力評価
 - 1.1 鋼材腐食 非破壊検査
 - 1.2 コンクリートのひび割れ

2. 劣化予測手法：塩害

3. 補修・補強技術

4. モニタリング(の方向性：私見)

1. 損傷部材の耐荷力評価手法

載荷試験

破壊形態・進行過程の把握
耐荷力評価法



+

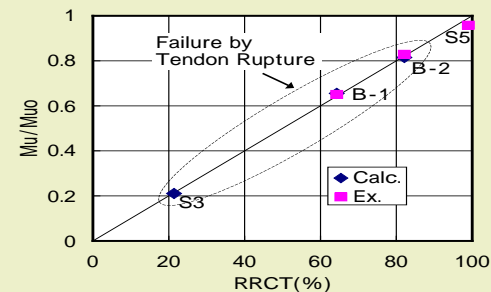
試験後の解剖調査、材料試験



撤去予定橋梁
(直轄、地方自治体)



損傷状況に応じた
耐荷力評価法



残存鋼断面積、付着力の低下等

1.1 鋼材腐食による影響（RC桁）

橋梁諸元

橋梁名	倉谷橋
路線, 地名	市道, 島根県江津市
橋梁形式	RC床版橋
橋長	10.2m
支間長	2@5.1m
竣工年	昭和34年(1959年)

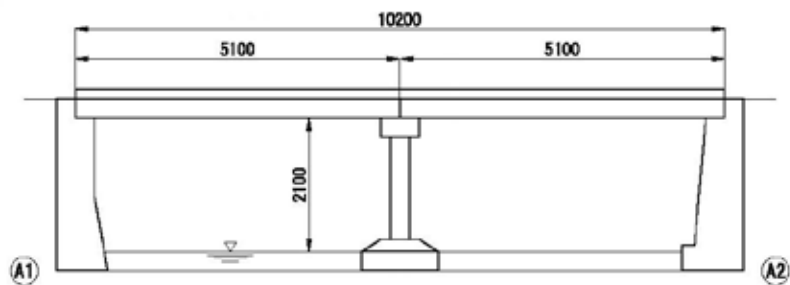
橋梁概観



床版下面の剥離



主筋の腐食



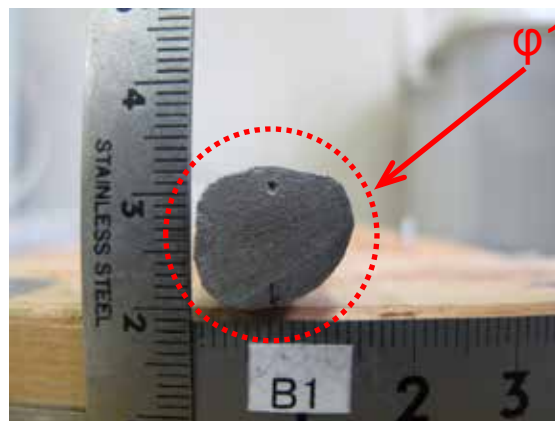
一般図



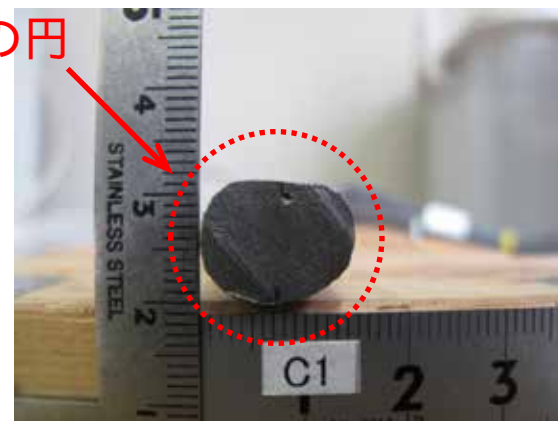
鉄筋の腐食状況



ほぼ健全な鉄筋 ($\phi 19$ 程度)



断面減少率 約52%



断面減少率 約48%

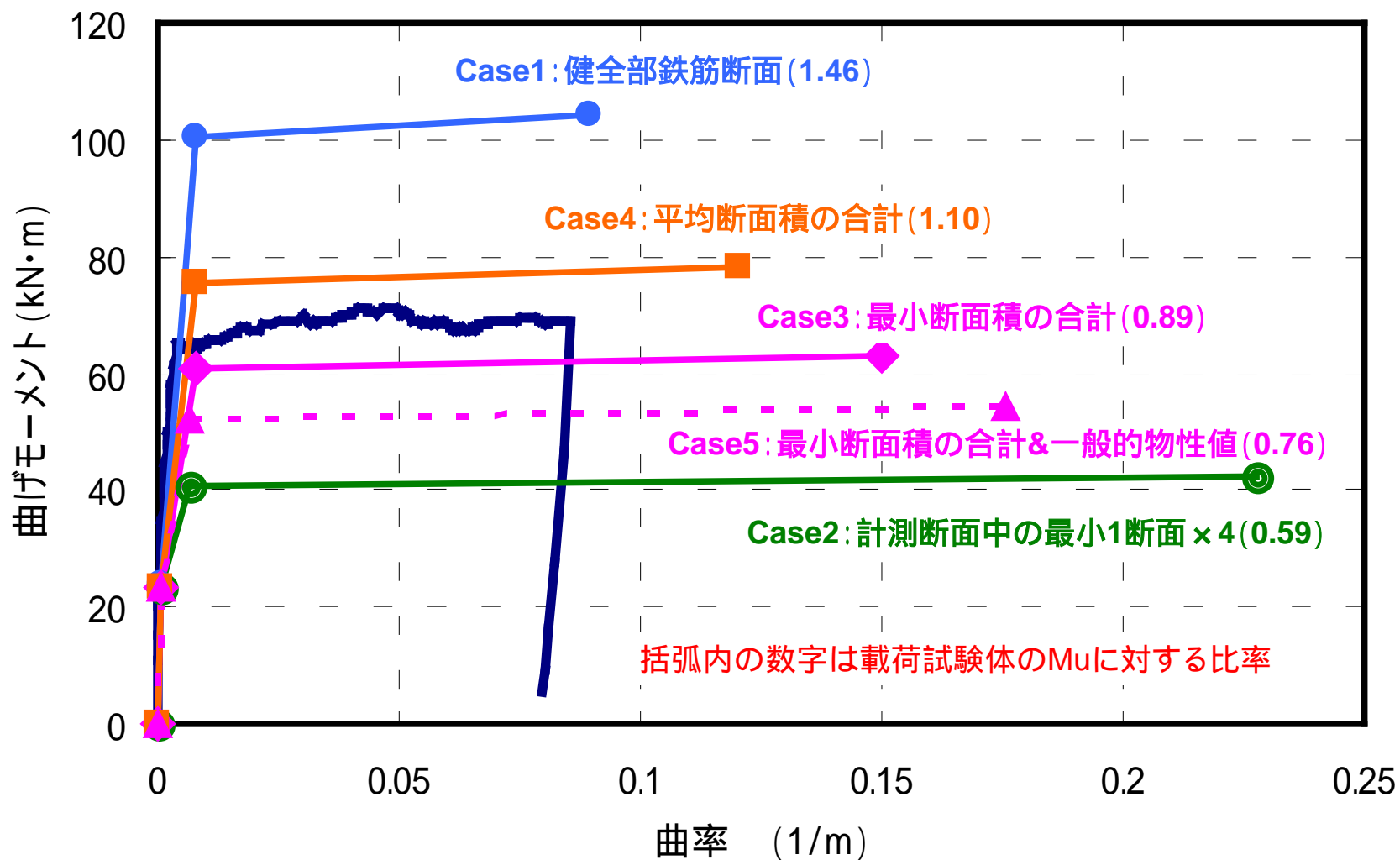


表面全体が激しく腐食



孔食が見られる腐食

耐荷力の評価



鋼材腐食による影響（PC桁）

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

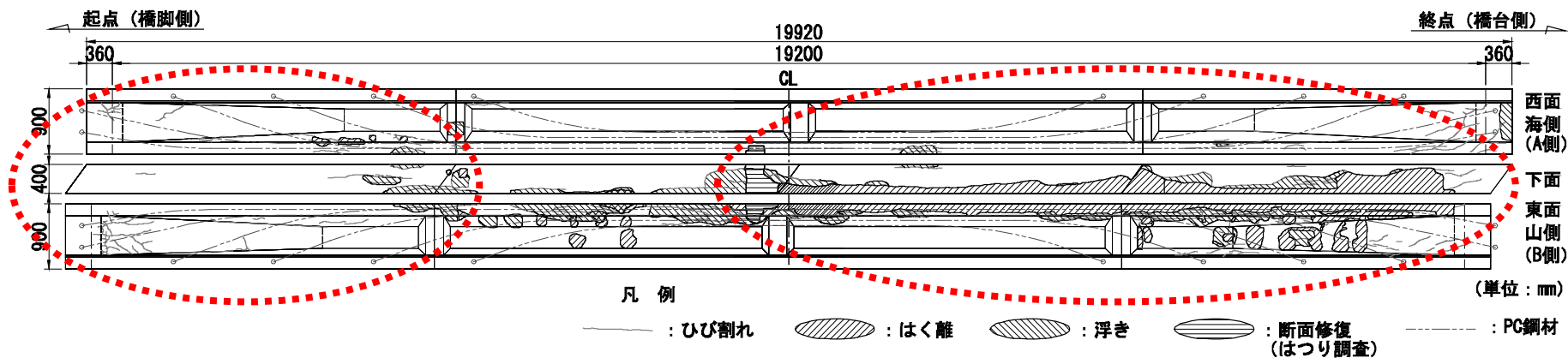
履 歴

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)



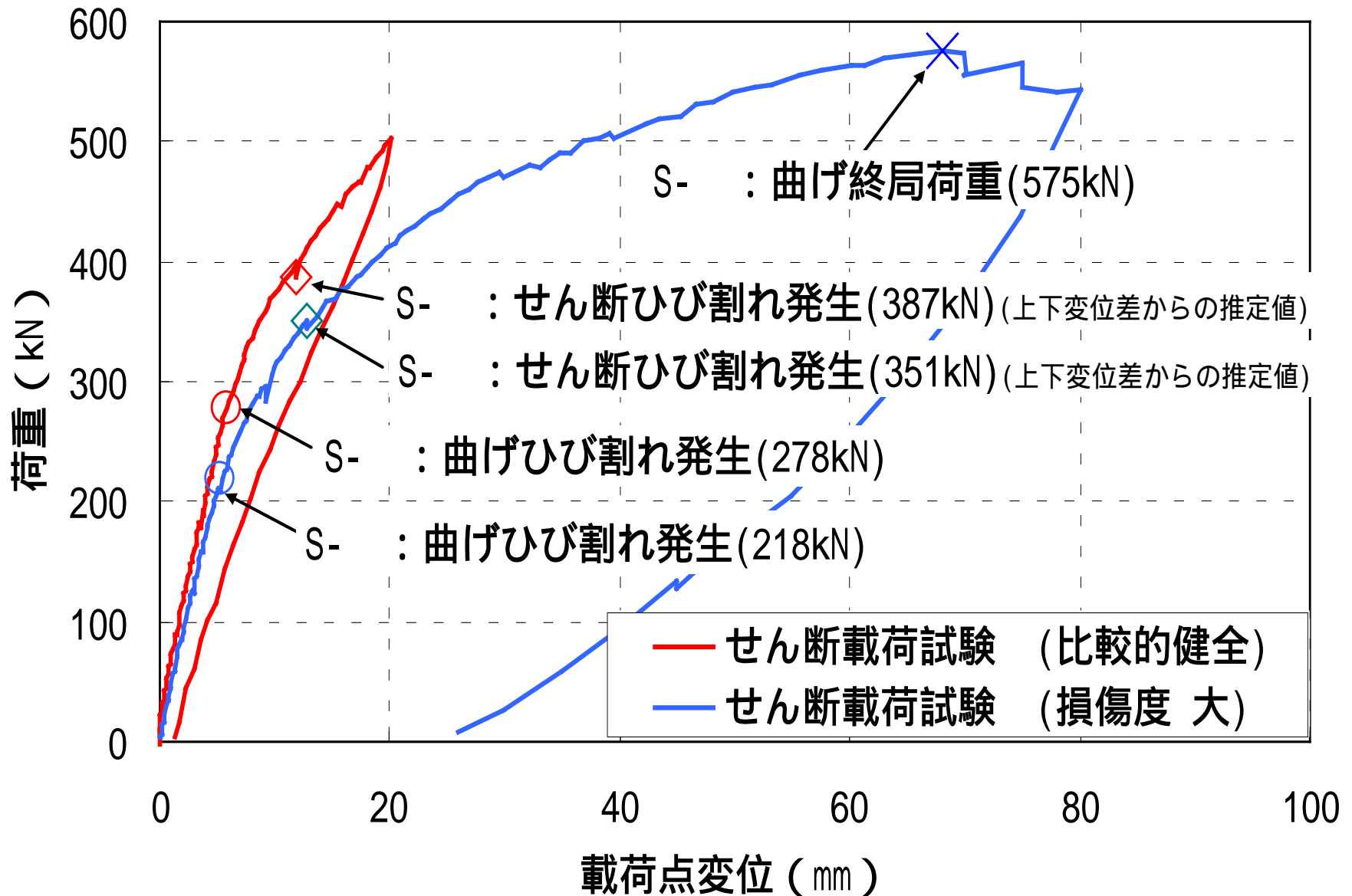
比較的損傷が軽微

損傷が顕著

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	958	906	5%	0%
せん断載荷	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	$P_{Vcr\text{cal}}$	513 (377) ²	430 (324) ²
	せん断破壊	$P_{Vu\text{cal}}$	707	601 ³
	曲げ破壊	$P_{Mu\text{cal}}$	702	572
実験値 (kN)	せん断ひび割れ	$P_{Vcr\text{exp}}$	387	351
	最大荷重	$P_{u\text{exp}}$	-	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)

診断の為の非破壊検査

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
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	<p>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。</p> <p>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</p>

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

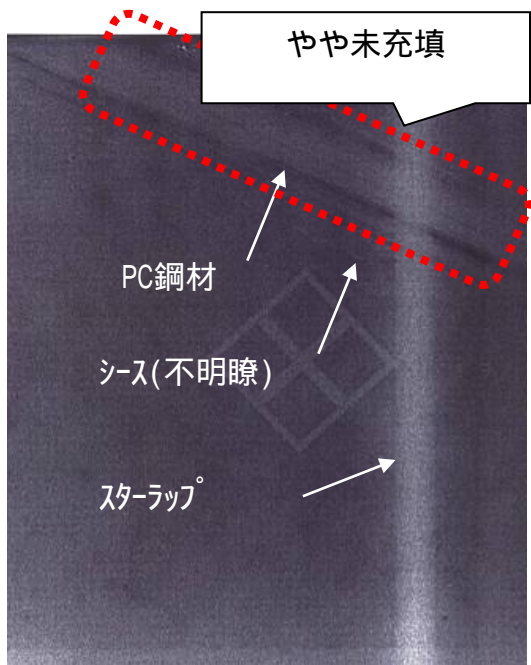
個別技術の議論

- ・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。

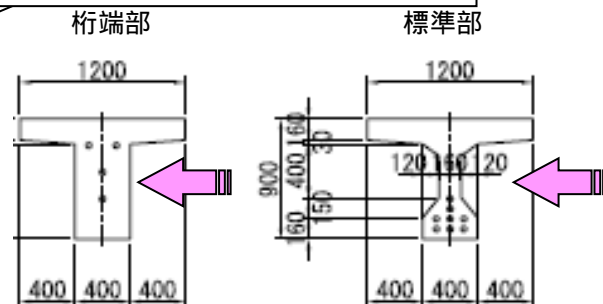
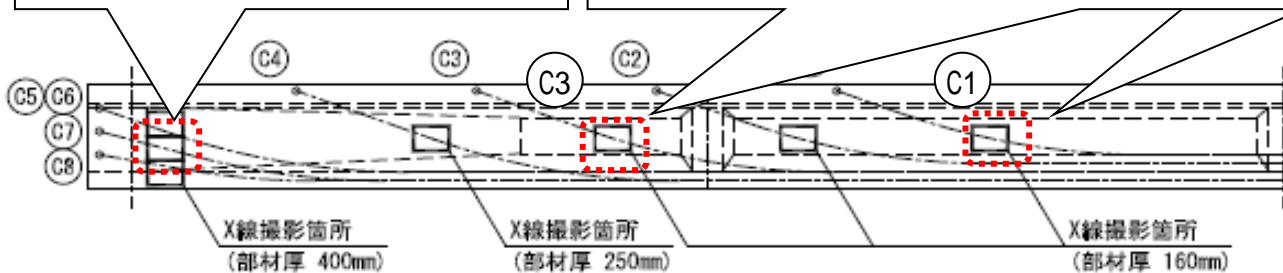
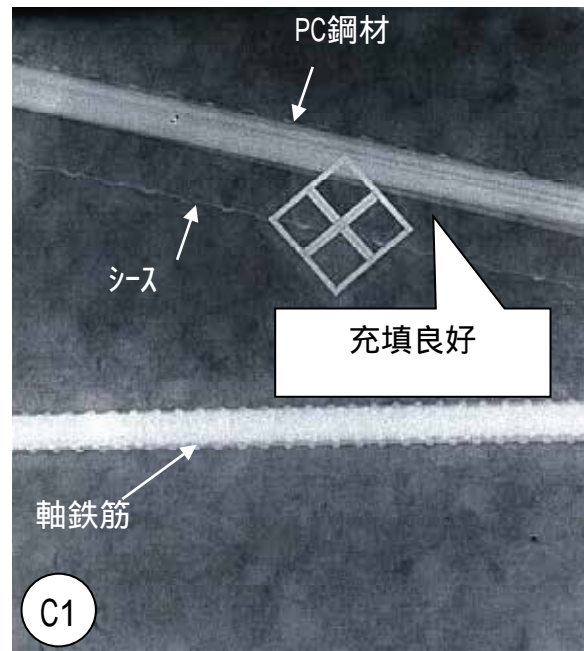
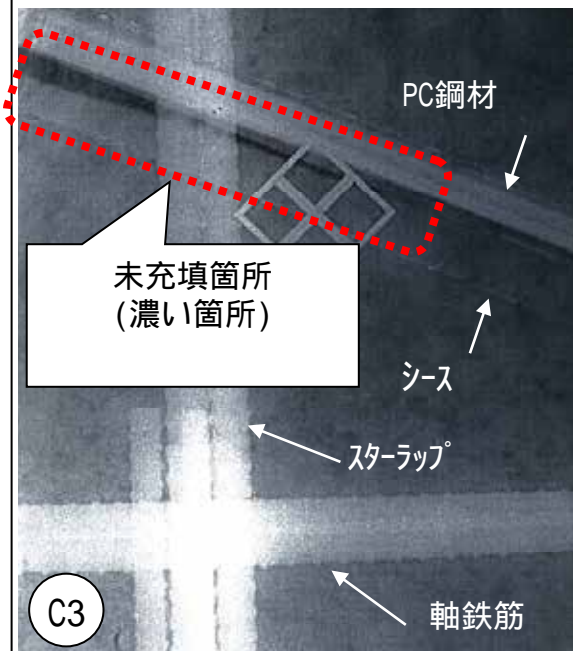
X線透過法によるPC鋼材調査



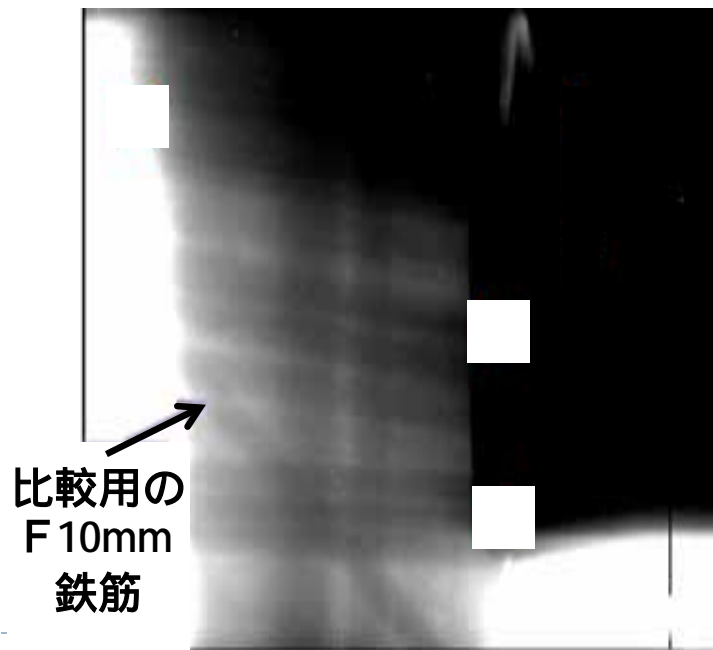
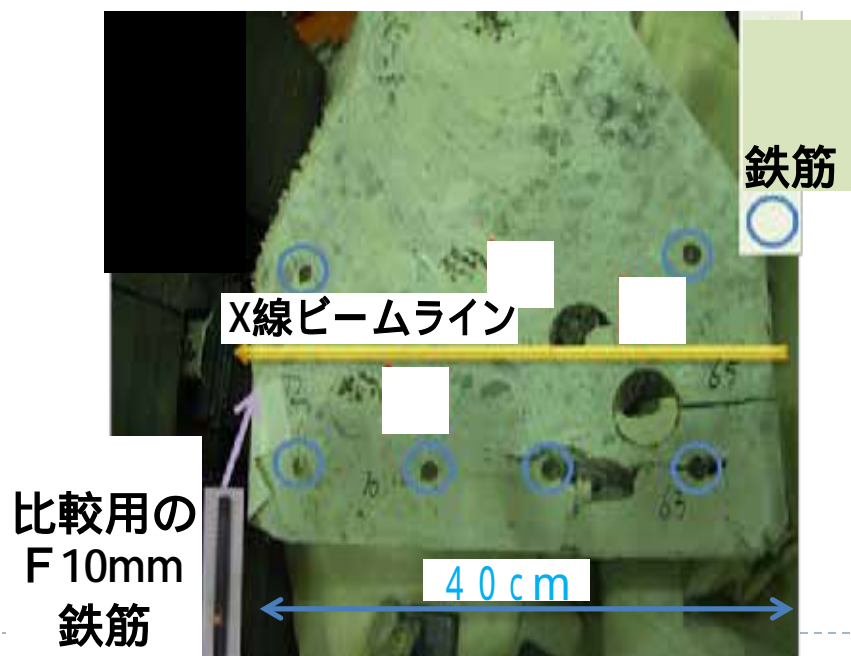
部材厚：400mm
(照射時間：約60min)



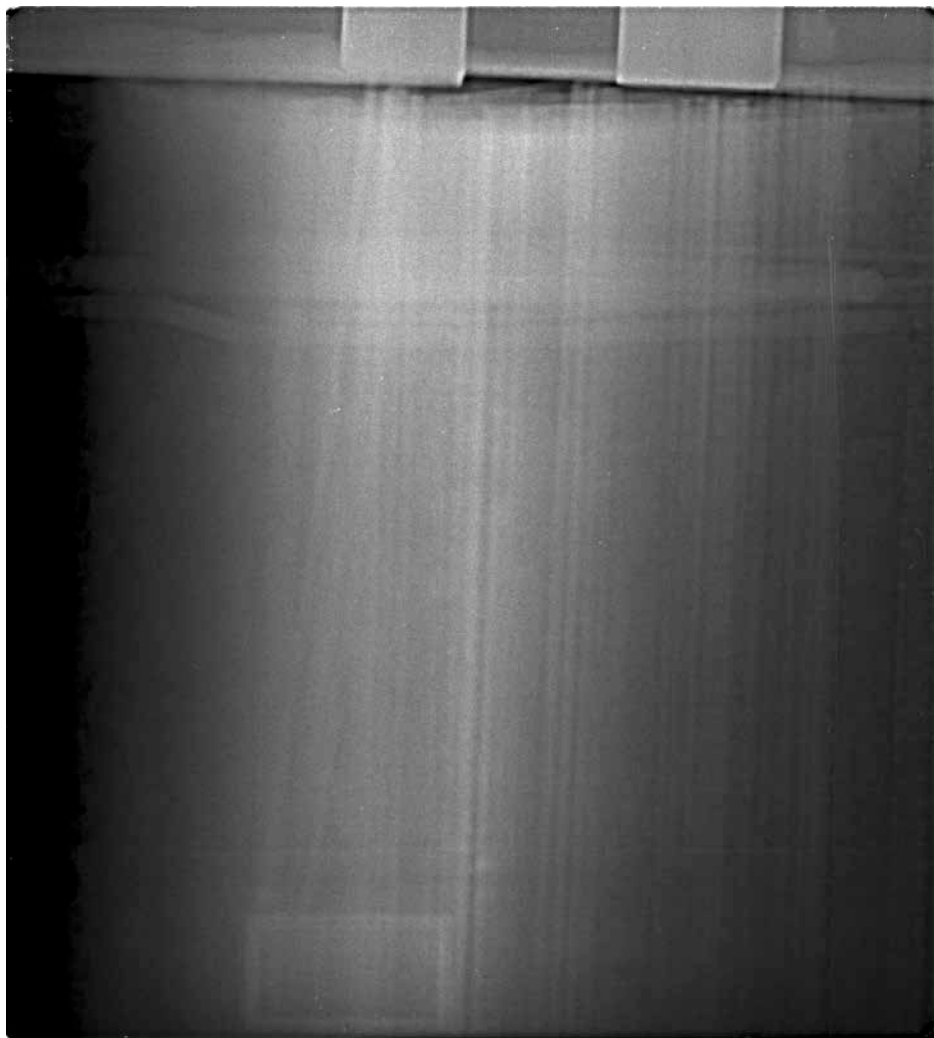
部材厚：160mm
(照射時間：約3min)



3.95MeV X線源による 橋梁非破壊検査



MIC1による撮影



撮影時間4分

下部のシース管内部の鋼線とクラックの様子が見える。

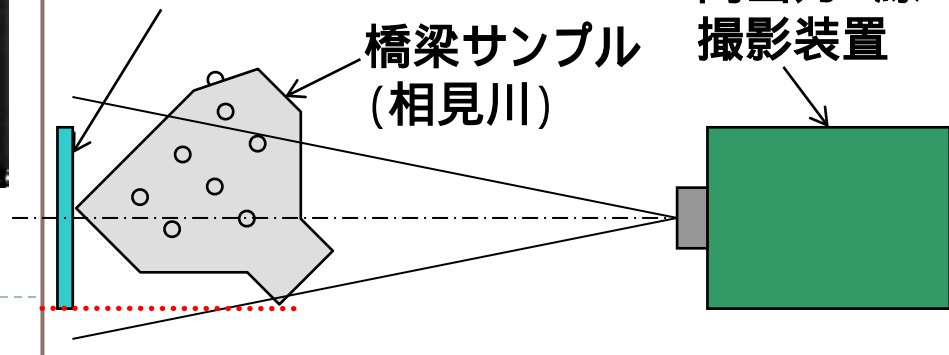


撮影時配置略図

イメージングプレート(IP)
FUJIFILM FCR

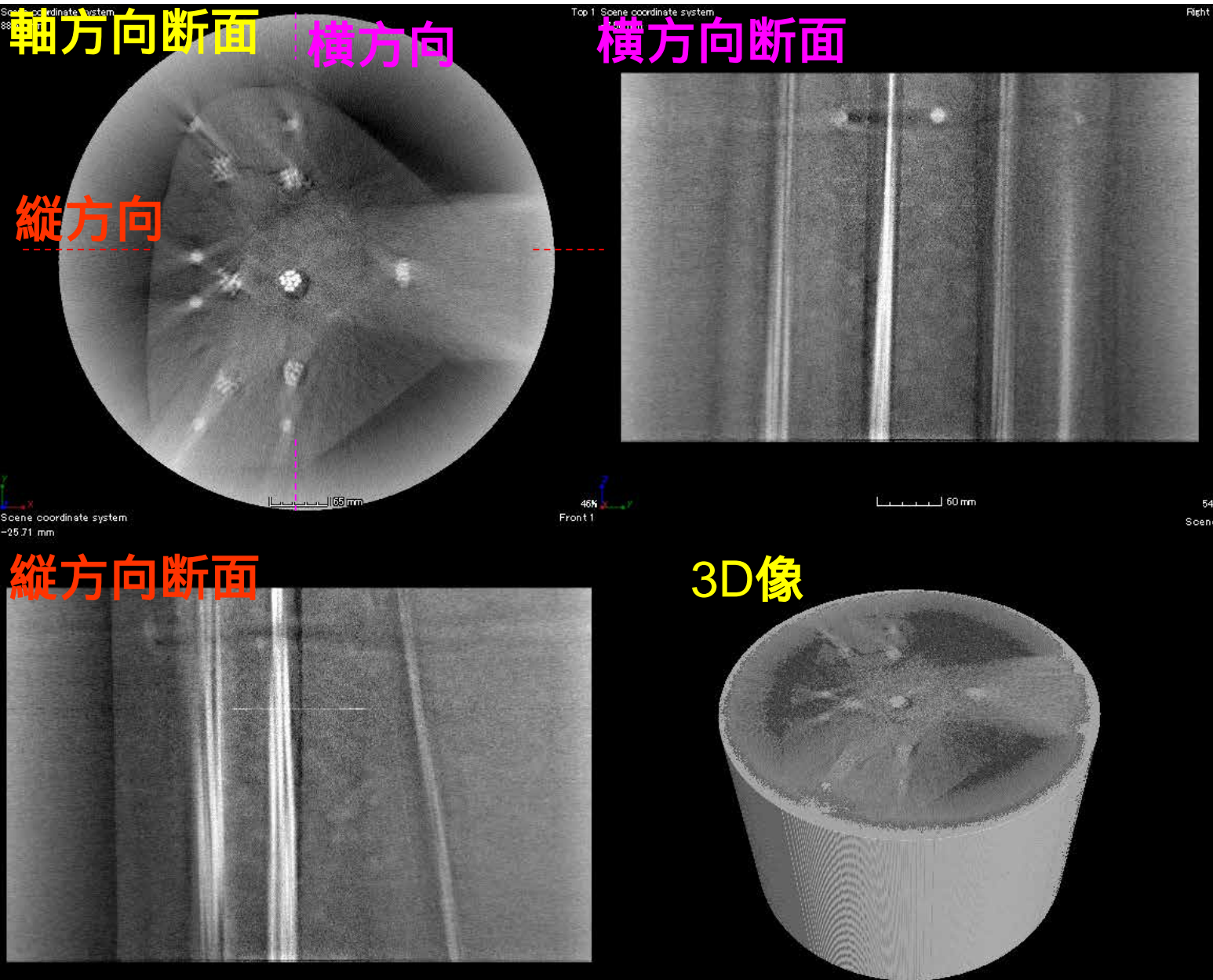
橋梁サンプル
(相見川)

高出力X線
撮影装置



X線CT撮影

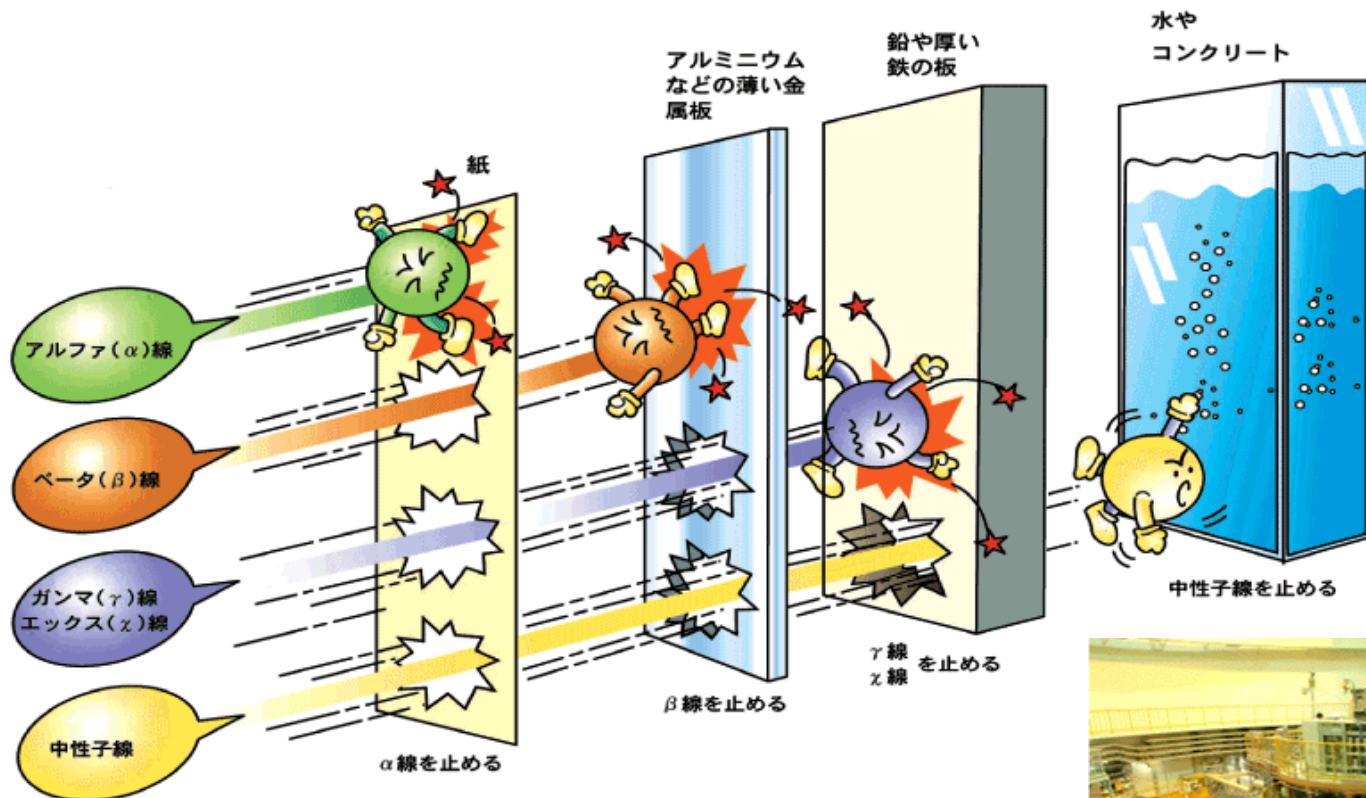
(中央のシース管部の断面を表示)



撮影時間:
30分

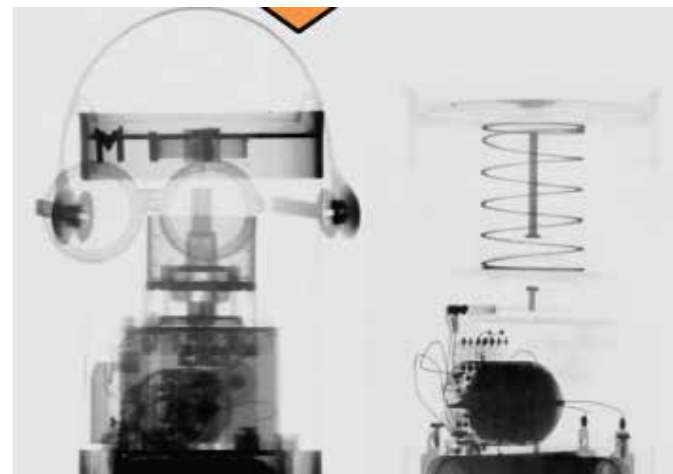
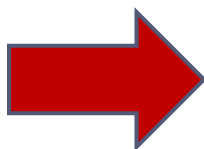
シース管
内部の鋼
線が一本
一本見え、
グラウトの
様子が良く
わかる。

期待される技術：中性子線



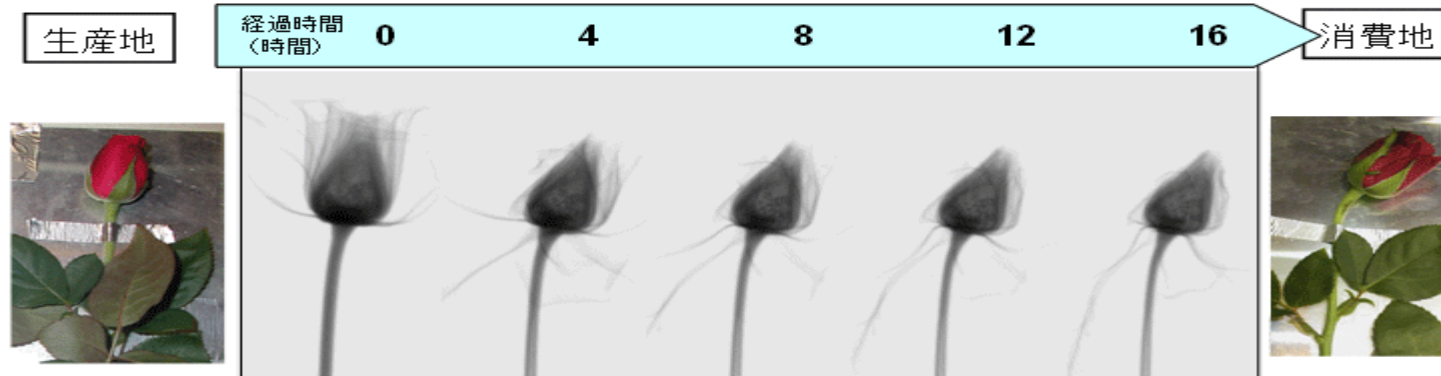
研究用原子炉

中性子線による透過画像例



中性子線

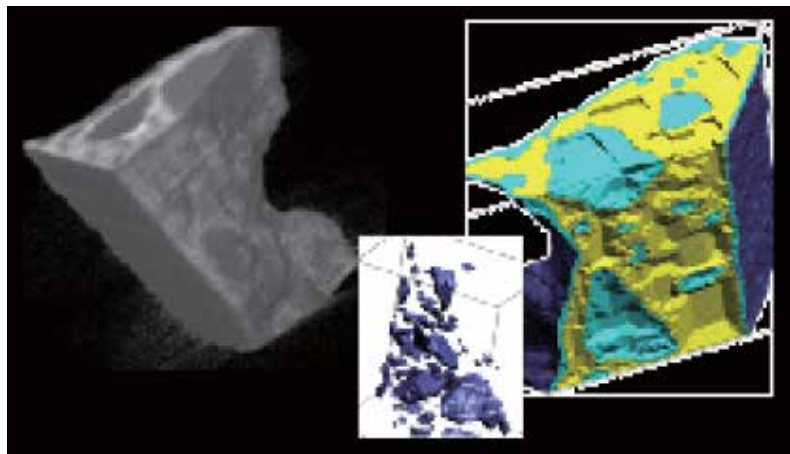
X線



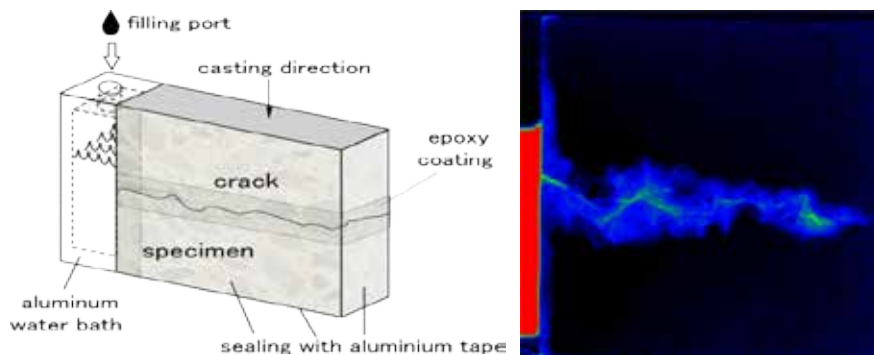
バラ切花の乾燥していく様子
 水を与えないと、花の中の水分も徐々に減少するが、
 茎の水分も減少しながら痩せ細っていき、首が垂れていく。

図7 バラ切花の乾燥過程観察
 [出典] 茨城県：中性子産業応用事例集2006、p.11

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

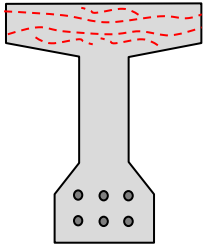
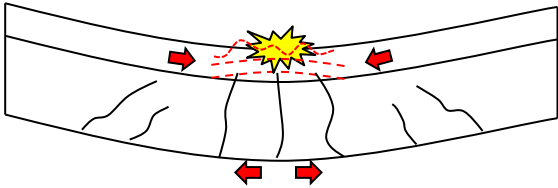
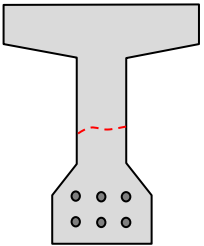
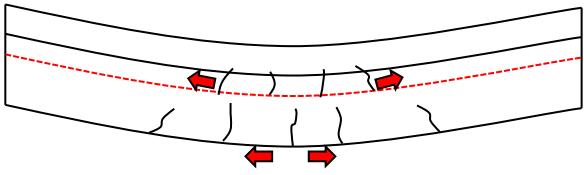
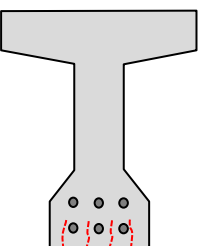
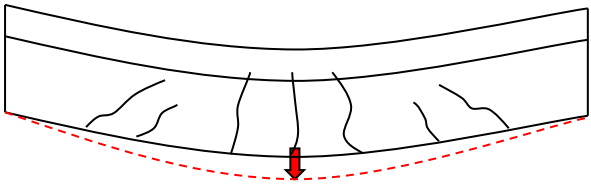


可搬型中性子イメージング装置

1 . 損傷部材の耐荷力評価法

1.2 コンクリートひび割れによる影響

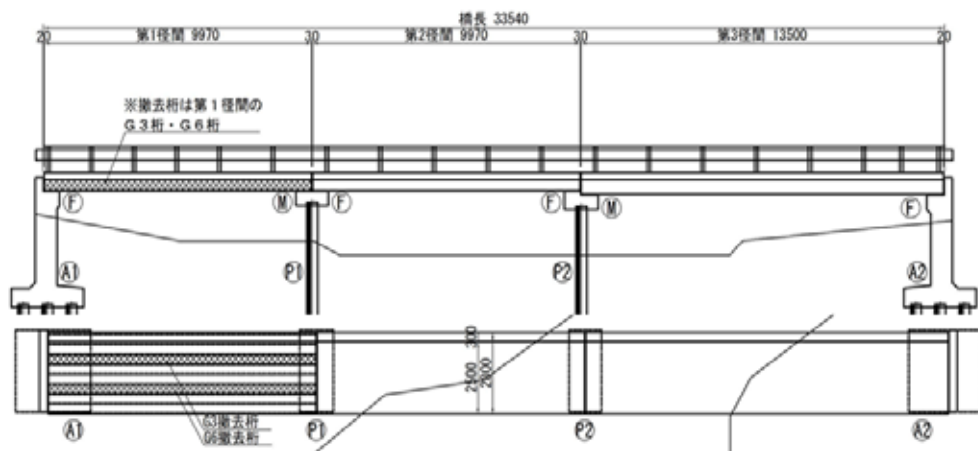


概要図	ひび割れによる懸念事項
<p data-bbox="774 372 975 415">上フランジ</p> 	<p data-bbox="1074 372 1580 415">コンクリートの強度低下？</p> 
<p data-bbox="817 708 929 751">ウェブ</p> 	<p data-bbox="1074 708 1437 751">重ね梁的な挙動？</p> 
<p data-bbox="774 1043 975 1086">下フランジ</p> 	<p data-bbox="1074 1043 1514 1086">鋼材腐食・付着切れ？</p> 

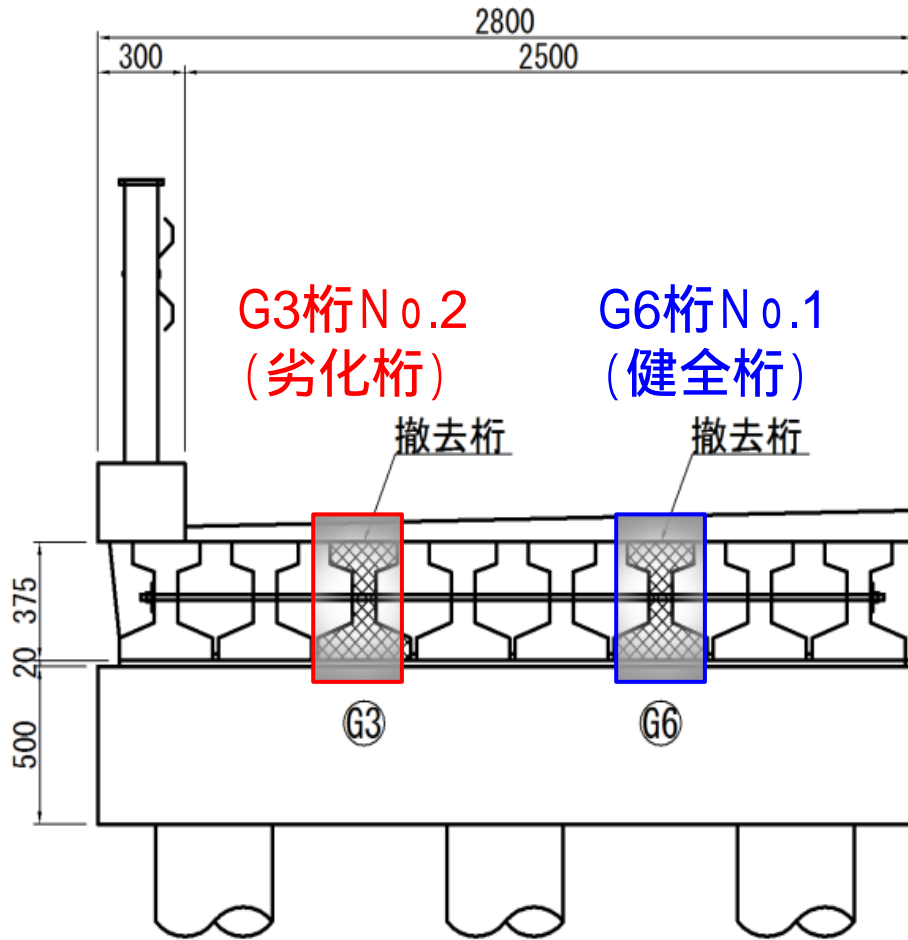
下フランジ下面のひび割れ

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)



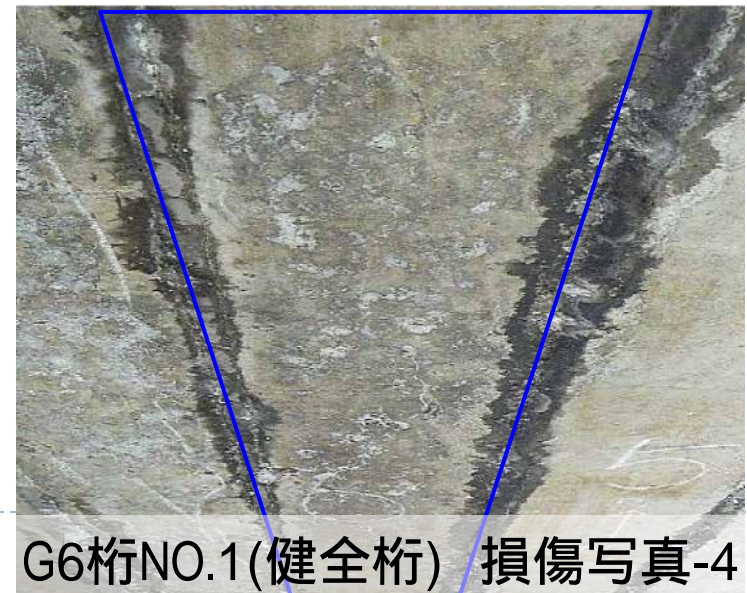
撤去桁の概要 第1径間(G3桁, G6桁)状況



断面図



G3桁NO.2(劣化桁) 損傷写真-1

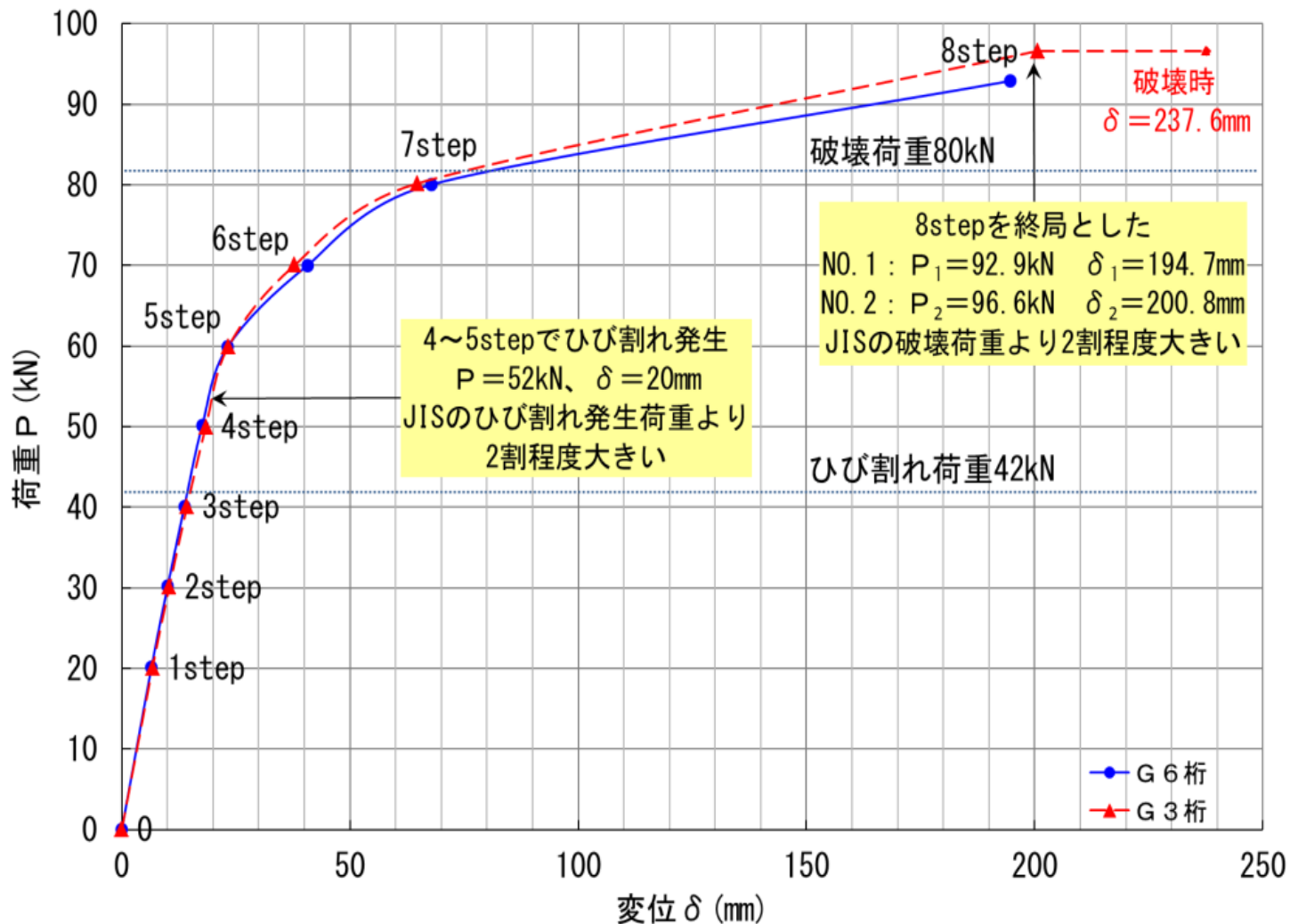


G6桁NO.1(健全桁) 損傷写真-4



▶ 終局 $P=96\text{kN}$ $d=237\text{mm}$

載荷試験の結果



ひび割れ深さおよび中性化深さ

ひび割れ深さ調査(G6桁-22断面)

: PC鋼材
材 - : ひび割れ



ひび割れ深さ調査(G3桁-22断面)

: PC鋼材
材 - : ひび割れ



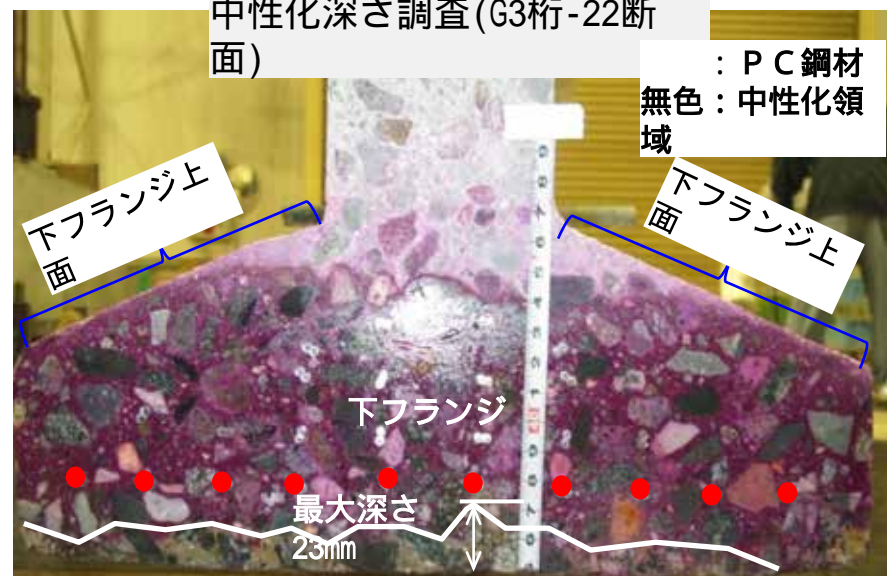
ひび割れ深さ調査(G6桁-22断面)

: PC鋼材
無色 : 中性化領域

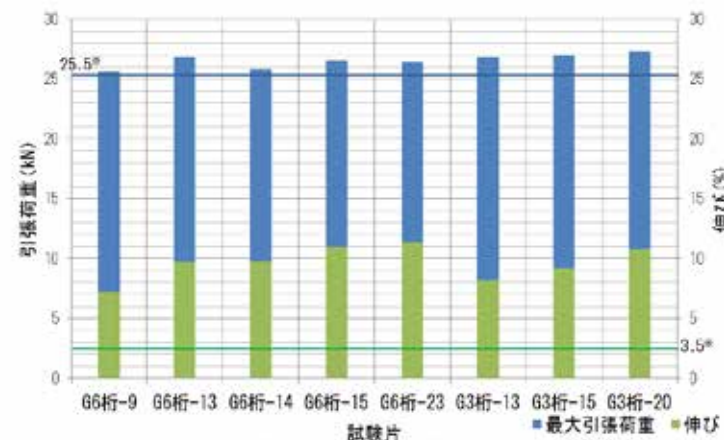
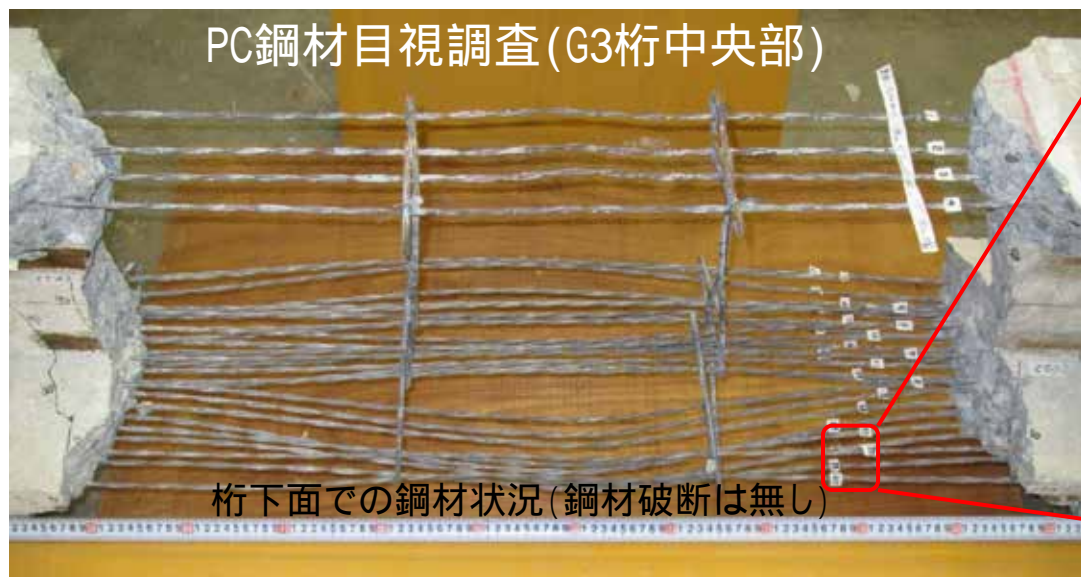


中性化深さ調査(G3桁-22断面)

: PC鋼材
無色 : 中性化領域



鋼材目視調査および引張試験結果



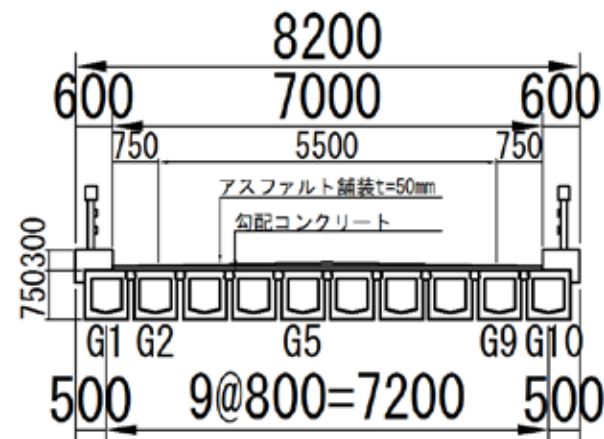
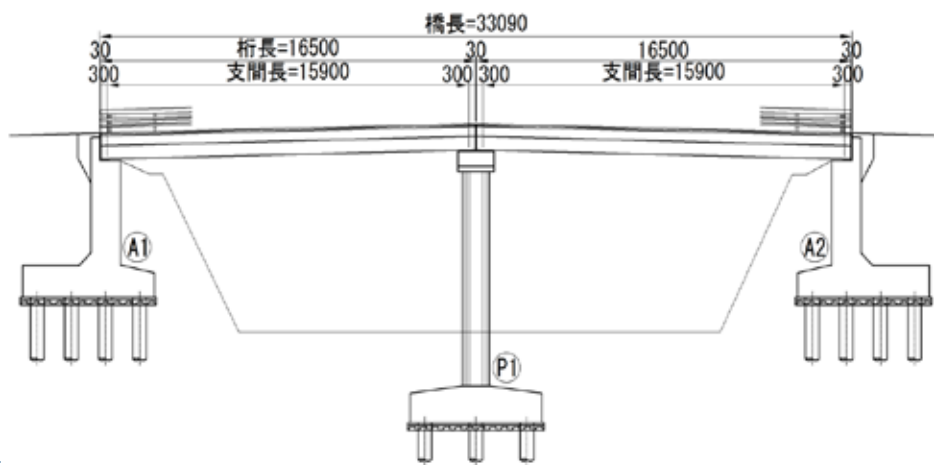
※PC鋼より線(SWPR2)の機械的性質を参照(引張荷重25.5kN以上、伸び3.5%以上)

各供試体から採取した試験片の機械的性質

ウェブひび割れ

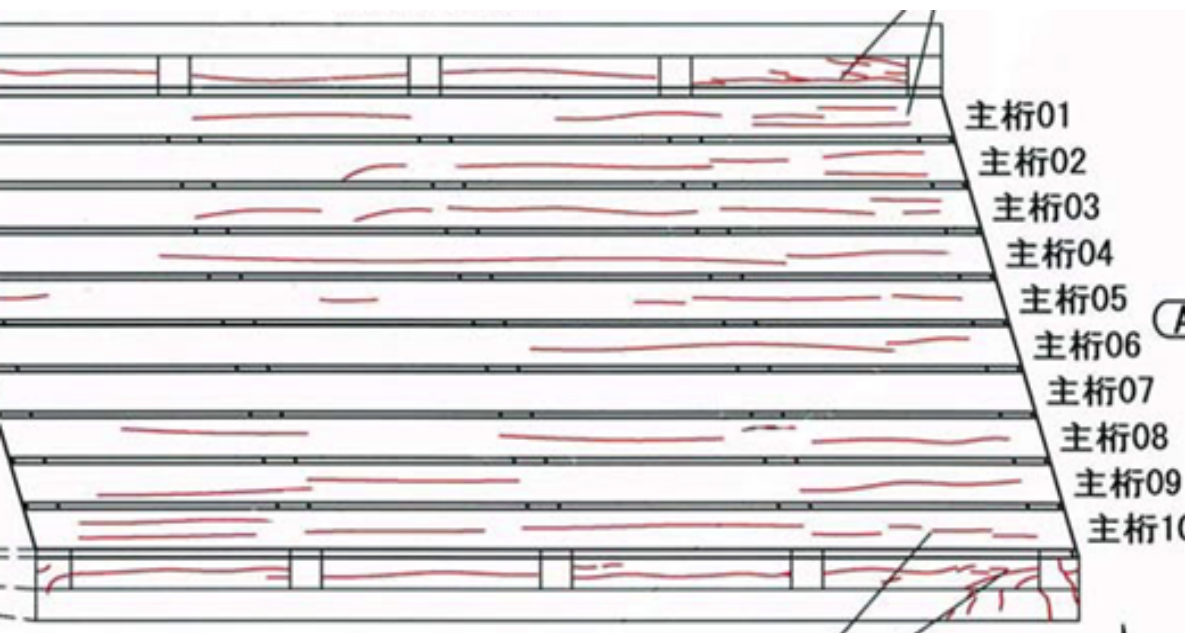
橋梁概要

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PC [°] レン中空床版橋(2連)
竣工年	1983年(昭和58年)11月 供用29年



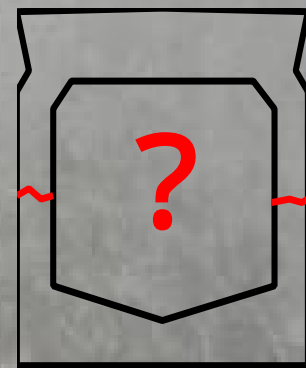
平成21年12月21日の橋梁点検

- P C 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）

桁全長にわたり、側面に1mmを超えるひび割れ



コア削孔調査結果

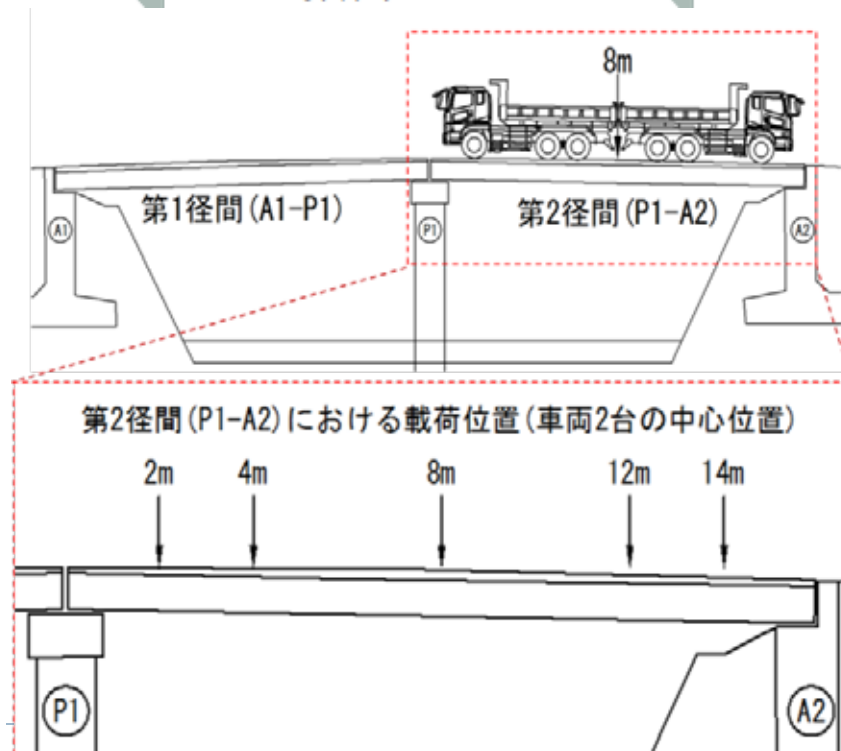
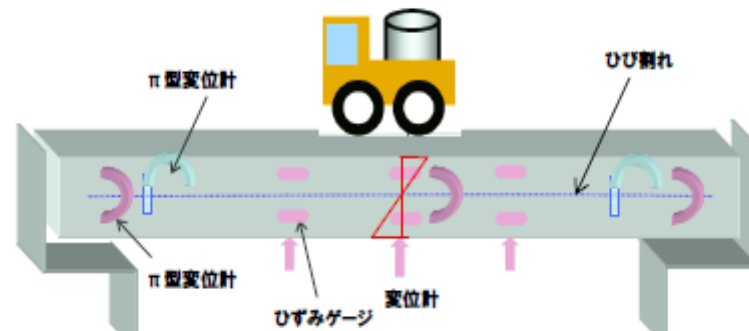
ひび割れ深さ



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	型ゲージ
軸方向ひび割れのズレ	型ゲージ

- ・ 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

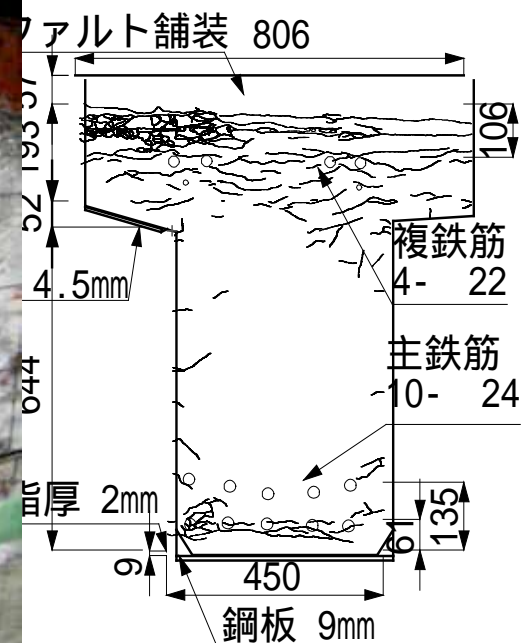


載荷状況 (第2径間)

上フランジの層状ひび割れ

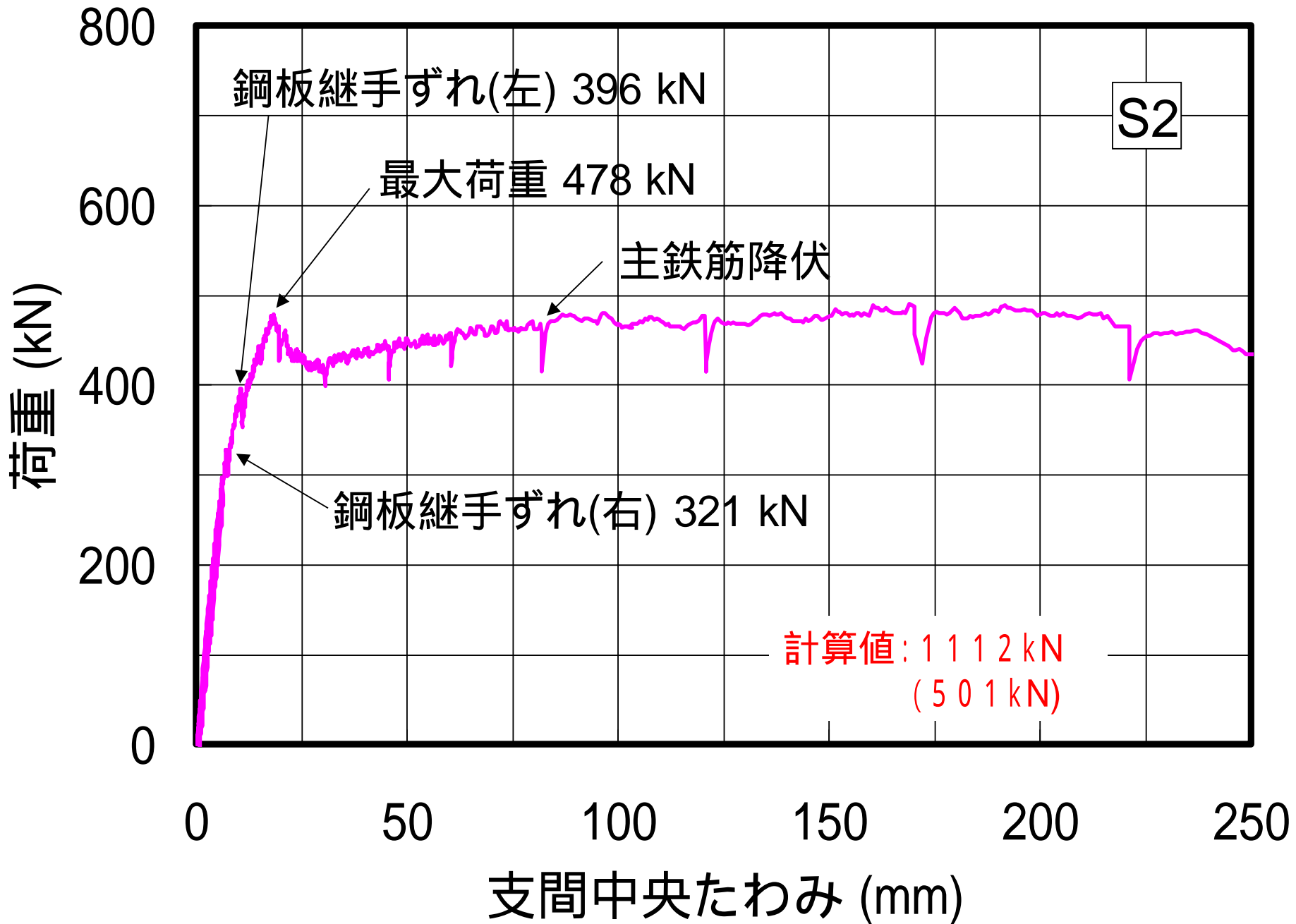
橋梁名	神戸(ごうど)橋
路線, 地名	松本環状高家線, 長野県松本市
橋梁形式	単純RC桁橋(一部PC橋)
橋長	127m
支間長	8@10m (RC桁部)+2@21m
竣工年	昭和10年(1935年)





圧壊付近の上フランジ側面の状況





2 . 劣化予測：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)

PC鋼材の腐食状況

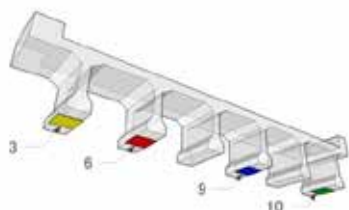
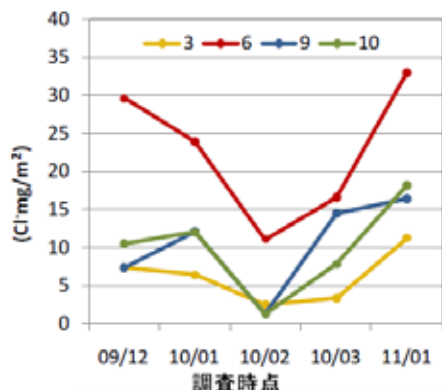


既設橋での塩分調査

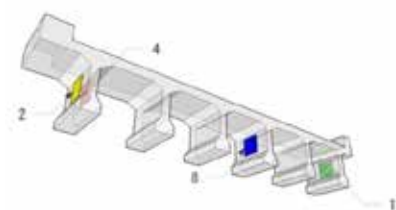
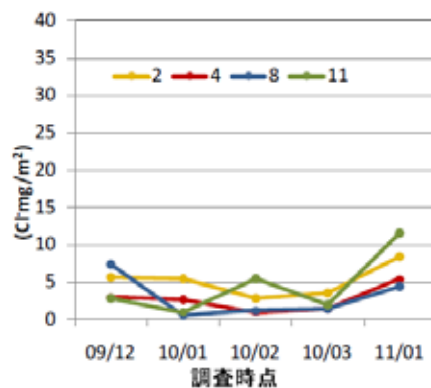
羽地奥武橋



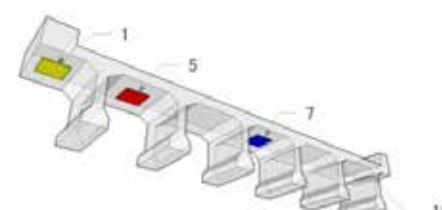
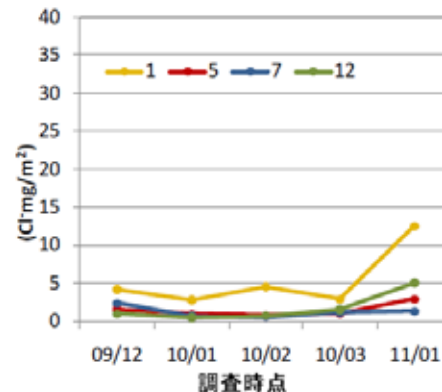
表面に付着した塩分の橋梁
部位毎の違いを調査



フランジ下面



ウェブ



床版

新設橋を用いた調査

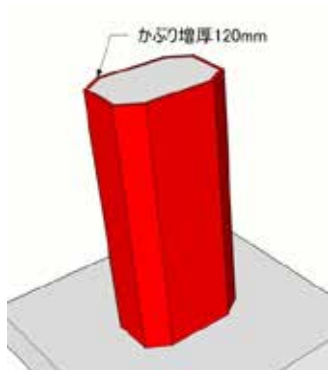
伊良部大橋



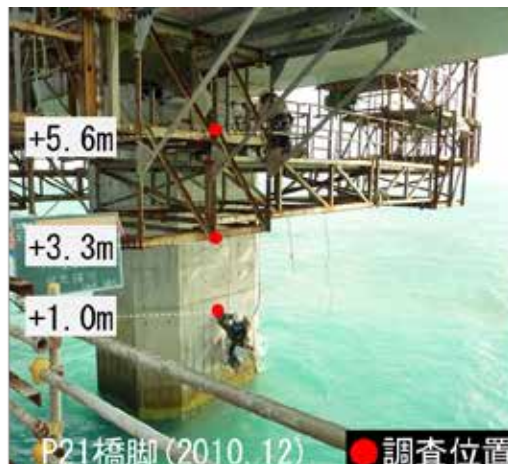
現在建設中の伊良部大橋



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



P21橋脚(2010.12) ● 調査位置



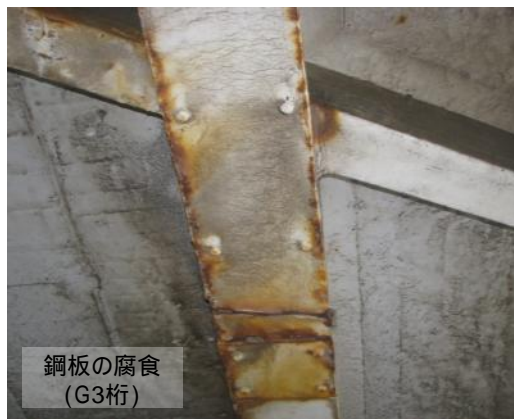
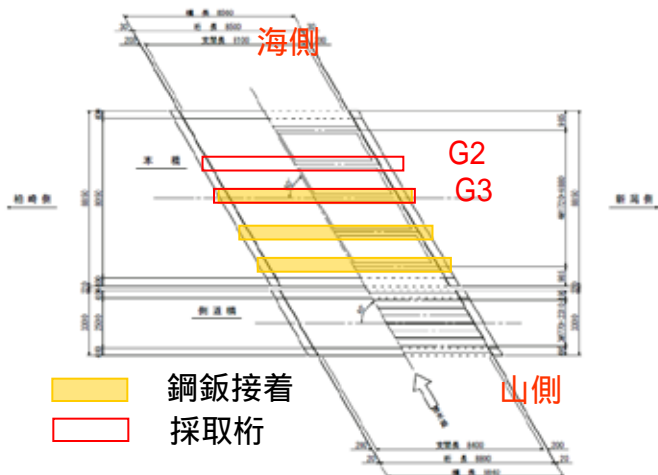
P41橋脚(2013.2) ● 調査位置

3 . 補修・補強工法

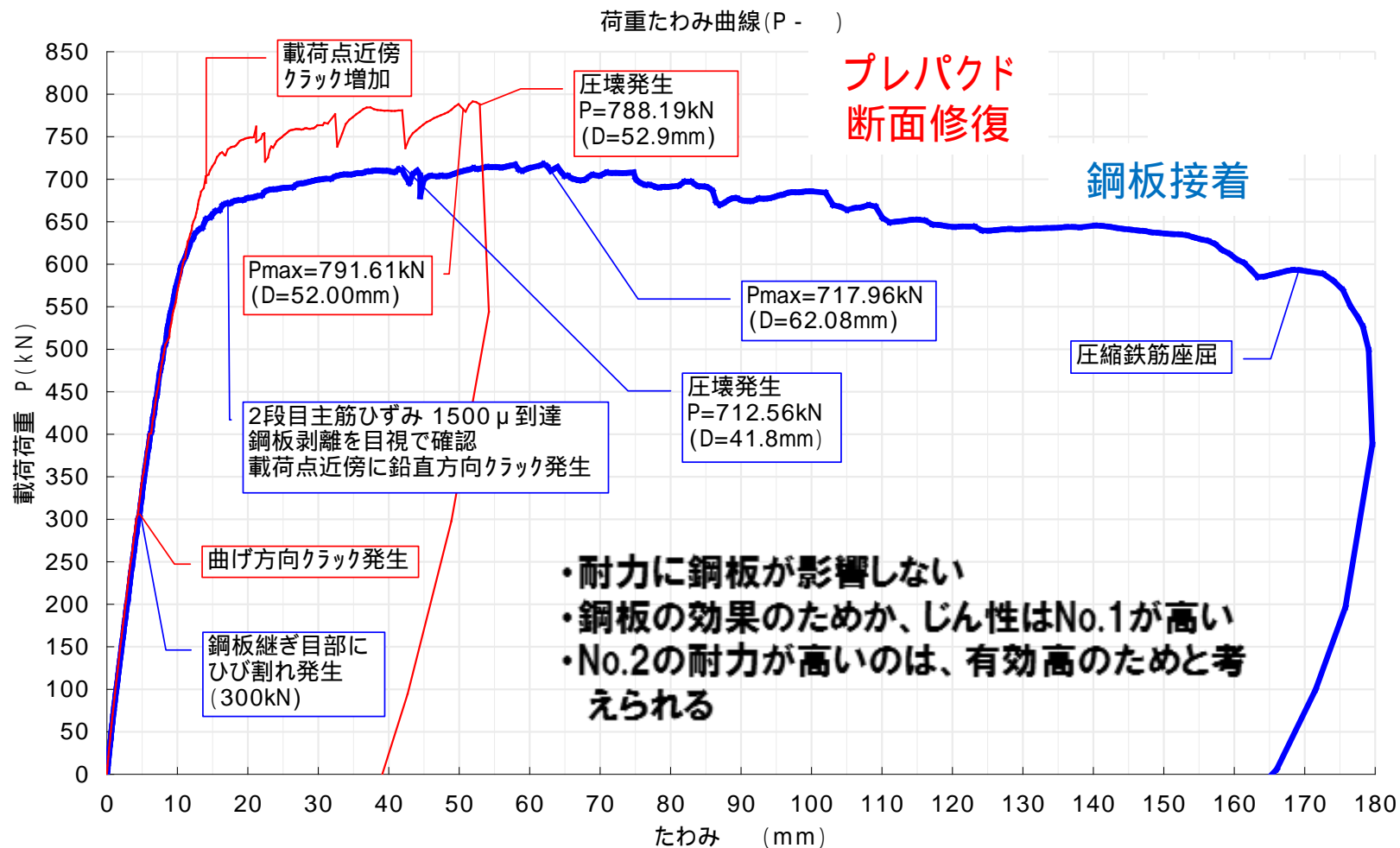
橋梁諸元

橋梁概観・損傷状態

橋梁名	長(おさ)橋
路線, 地名	国道352号, 新潟県柏崎市
橋梁形式	単純RCT桁橋
橋長	8.56m
支間長	8.1m
竣工年	昭和40年(1965年) 45年経過



載荷試験：補強効果の確認



塩害に対する補修工法

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



電気防食:

コンクリートの剥離

軸方向鉄筋の腐食

シーブス・PC鋼材の腐食

4 . 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

ICT成長戦略 (総務省、平成25年7月4日)

・2020年度には、道路や**橋梁の20%**でセンサーなどを活用。



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 スマートメンテナンス

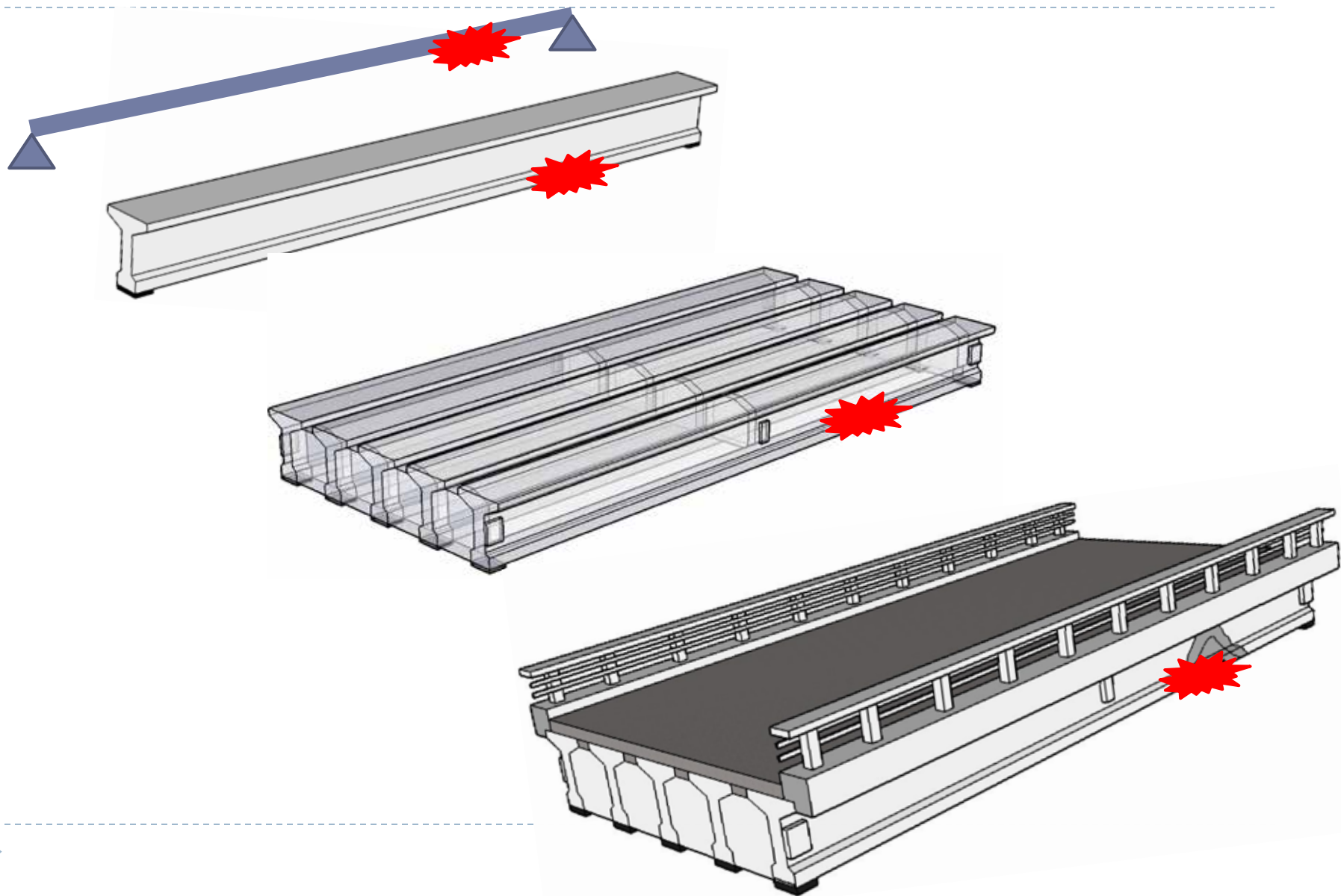
(定期点検の目視を補完、代替する手法)

- 多くの橋の中から異常な橋を見つける。定期点検の拡充
- 状態の変化を見つける

計測技術はあるが、何を計測すべきか？



橋梁における損傷の影響？



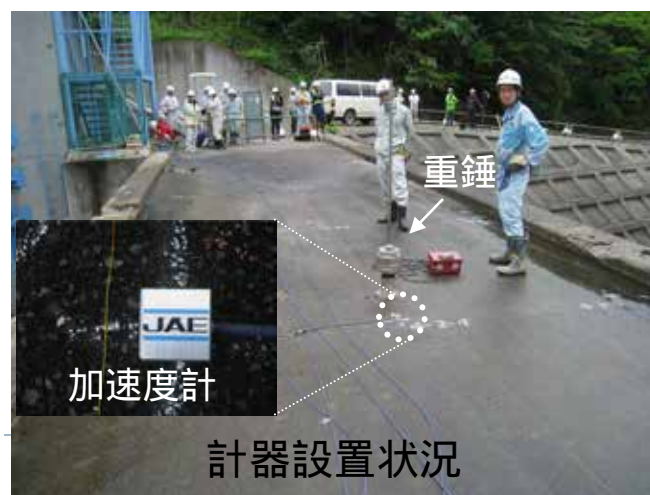
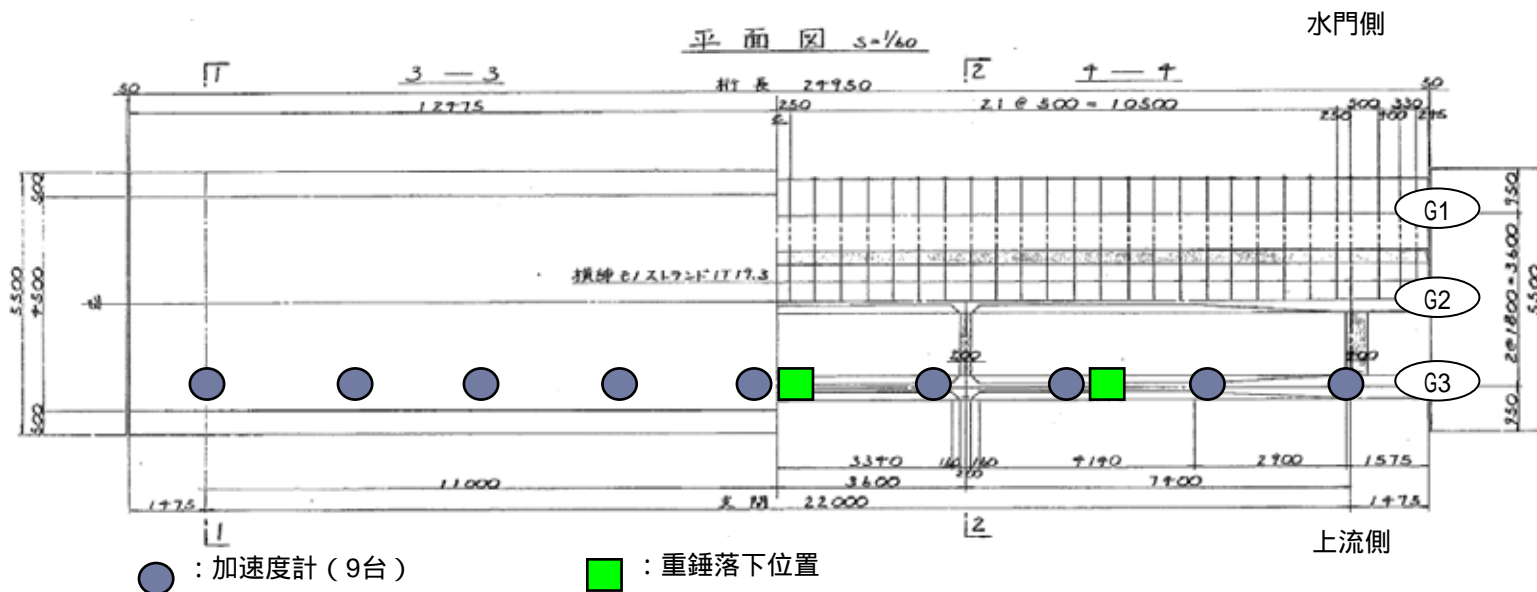
力学的損傷を大きく受けた PC橋での振動計測

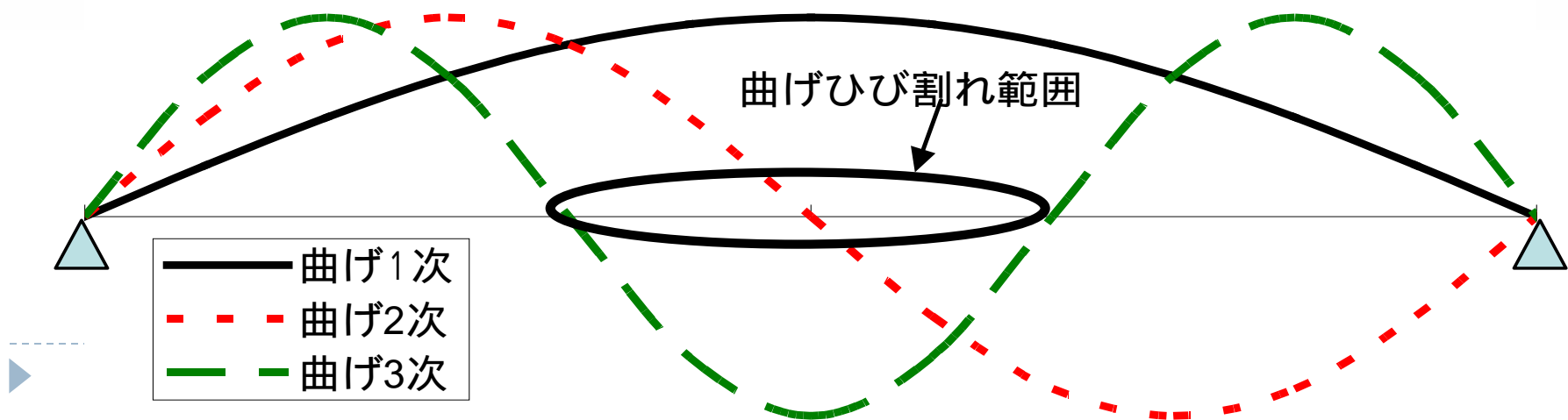
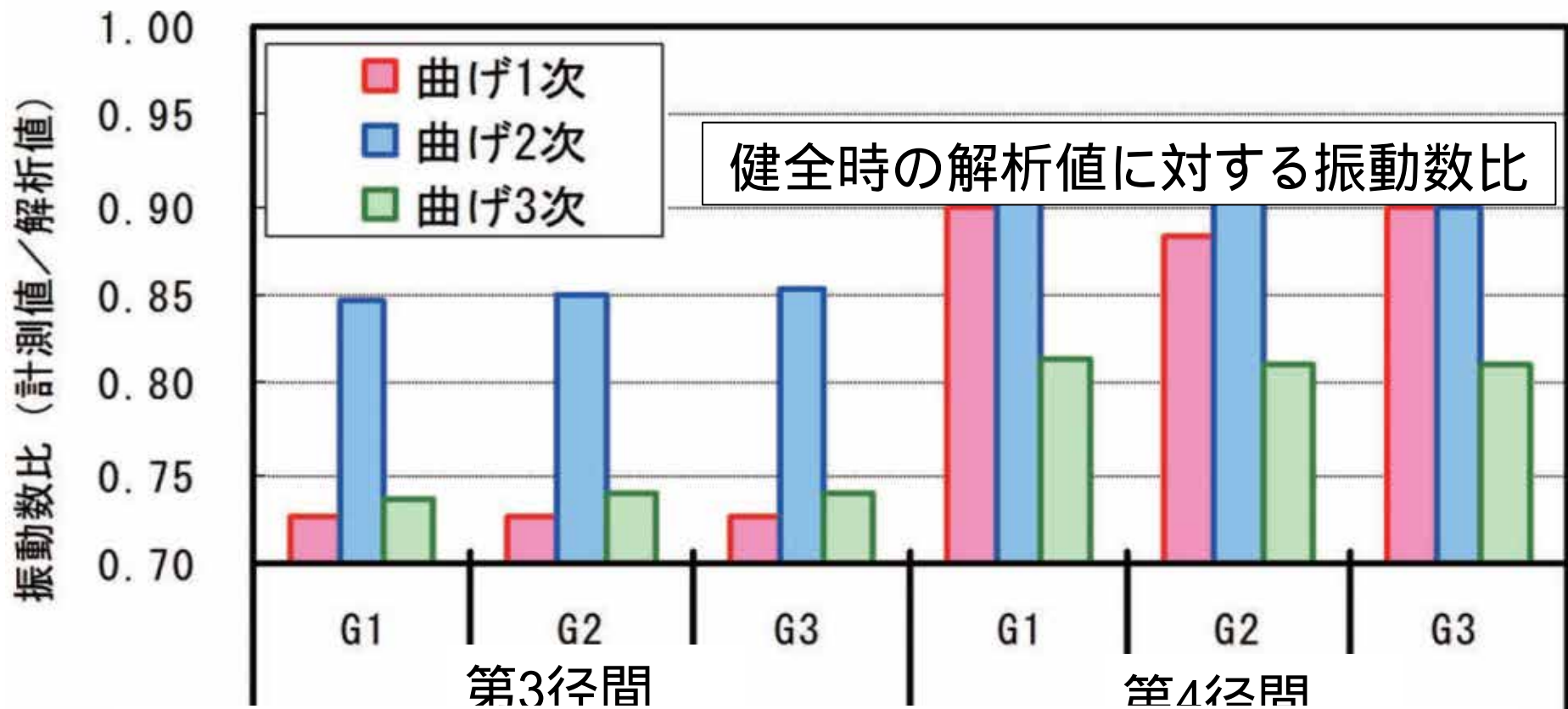
橋梁名	普代水門管理橋
地名	岩手県下閉伊(しもへい)郡普代村
橋梁形式	単純ポストテンションPCT桁橋 × 4連
橋長	100.05m
支間長	22.0m × 4
竣工年	昭和59年(1984年) 27年経過



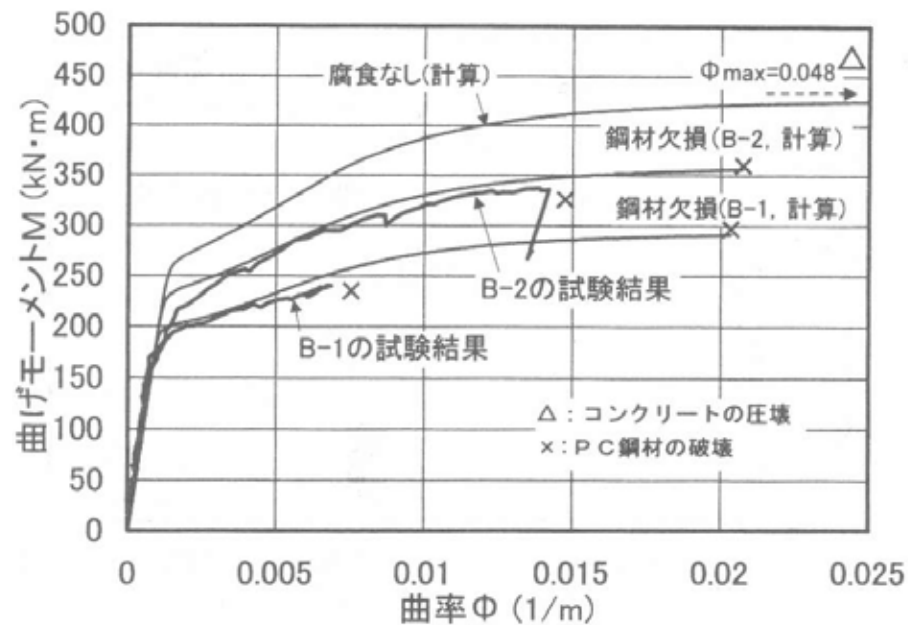
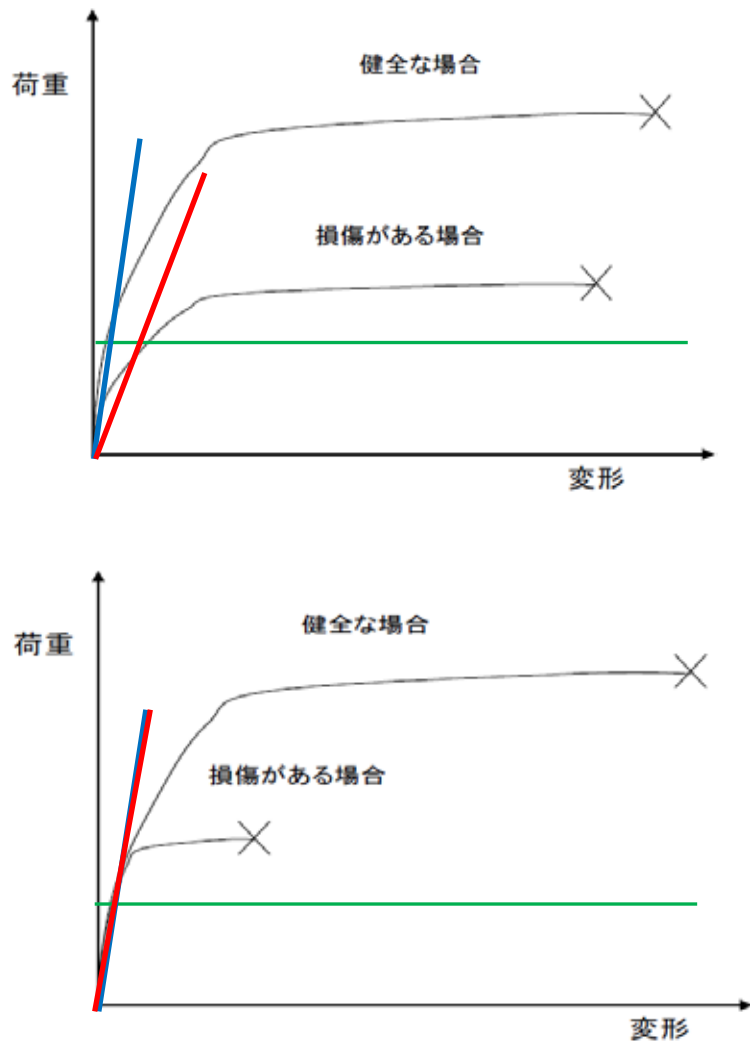
振動計測

重錘落下法【土研、PC建協、日本航空電子工業(株)】





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

対策後の再劣化監視



外ケーブル
電気防食
断面修復
表面被覆

定期点検の補完・代替

健康診断(50才男性)

- ・血液検査
- ・尿検査
- ・便潜血
- ・身体計測
(身長・体重・腹囲)
- ・血压測定
- ・体脂肪量
- ・視力検査
- ・聴力検査
- ・心電図
- ・胸部X線検査
- ・胃管内視鏡検査
- ・腹部超音波検査
- ・総合判定

橋梁定期点検

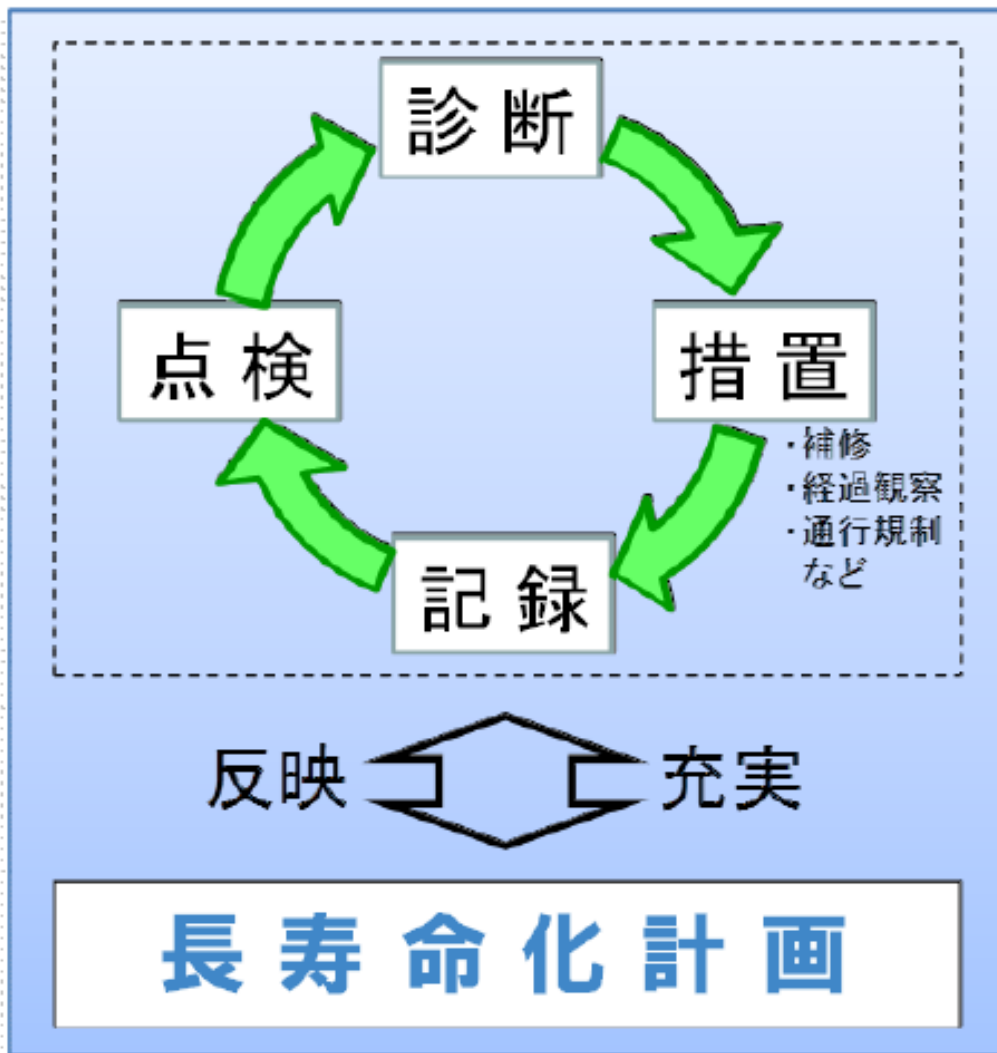
- ・近接目視 26項目
- ・打音検査
- ・対策区分判定

塩害特定点検

- ・かぶり調査
- ・塩化物イオン試験
- 第三者被害予防
- ・打音検査
- ・非破壊検査(サーモ)

道路メンテナンスサイクルの構築に向けて

メンテナンスサイクル



- 非破壊試験技術の開発・現存技術の掘り起し
- 構造物の劣化傾向把握・予測
- 長期的耐久性の研究
- 点検・調査結果の効率的な整理・保存
- 変状のモニタリング技術の開発
- 補修材料や補修補強技術の開発

「荒廃する日本」としないために

