

CAESARの臨床研究事例



長橋



旭橋



能生大橋



相見川海浜自転車道橋



桜橋



普代水門管理橋



銚子大橋



倉谷橋



神戸橋



津波橋



辺野喜橋



佐野橋



CAESAR

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 臨床研究事例 目 次

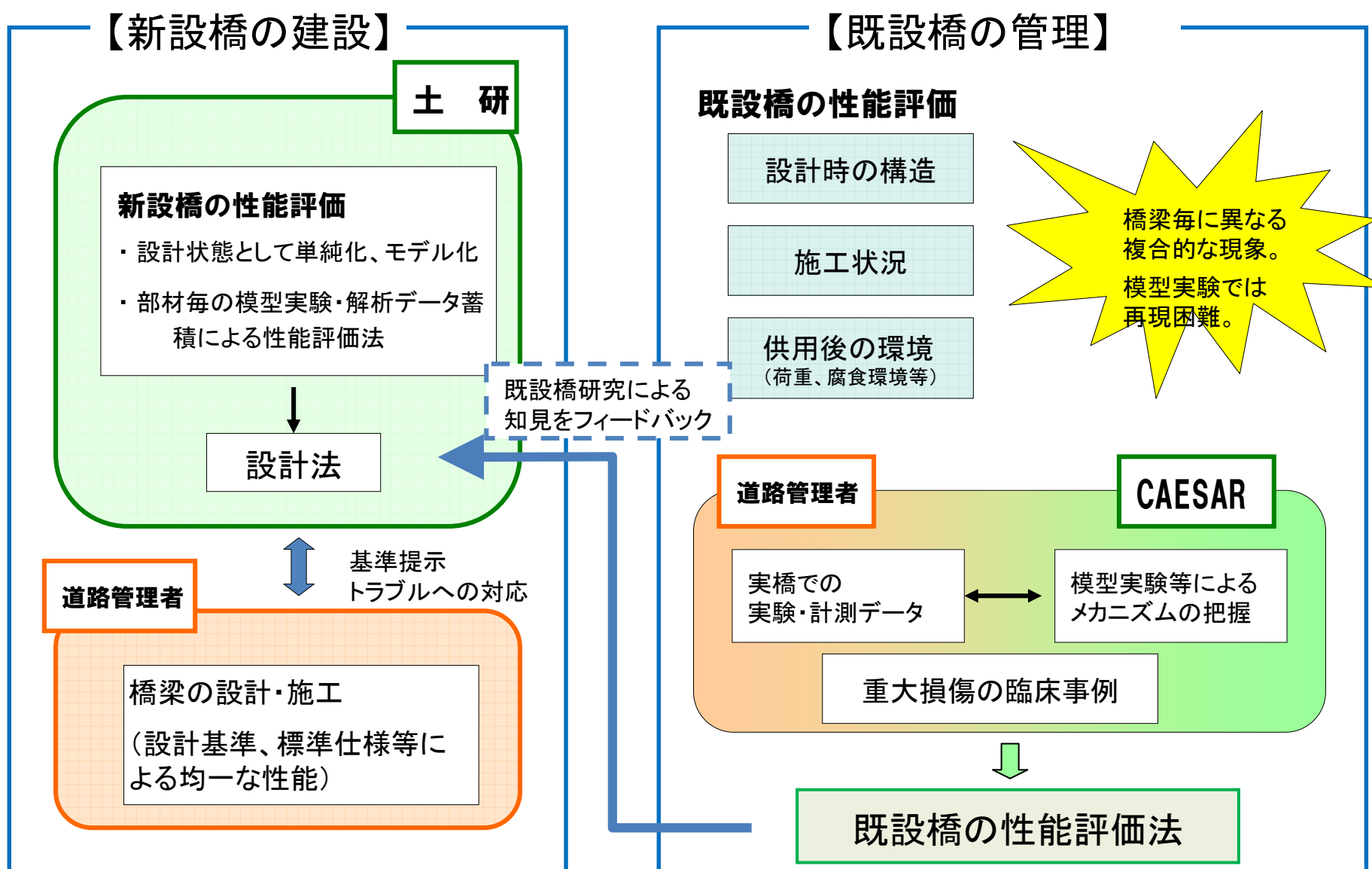
CAESAR における臨床研究	1
旭橋（損傷を有する橋梁の全体挙動評価） <i>Revised</i>	2
銚子大橋（損傷を有する橋梁の全体挙動評価） <i>Revised</i>	3
銚子大橋（劣化部材の耐荷性能の確認） <i>New</i>	4
長橋（劣化部材の耐荷性能の確認、補強効果の検証）	5
能生大橋（損傷を有する橋梁の全体挙動評価）	6
能生大橋（塩害劣化した橋梁の解体調査） <i>New</i>	7
桜橋（損傷を有する橋梁の全体挙動評価） <i>Revised</i>	8
神戸橋（補強効果の検証、劣化原因の調査）	9
倉谷橋（劣化部材の耐荷性能の確認）	10
津波橋（落橋した橋梁の解体調査）	11
辺野喜橋（監視技術の適用性検討）	12
相見川海浜自転車道橋（劣化部材の耐荷性能の確認） <i>New</i>	13
普代水門管理橋（損傷を有する橋梁の全体挙動評価） <i>New</i>	14
鋼床版疲労き裂の非破壊調査法の開発および適用性調査 <i>Revised</i>	15
ポストテンション PC 橋のグラウト充填調査	16
沖縄県離島架橋での臨床研究	17
アルカリ骨材反応で劣化した橋梁の調査	18
RC 床版の舗装損傷先行型疲労損傷の調査	19
非破壊検査技術の適用性調査（鋼板接着で補修された RC 床版）	20
軸方向ひび割れが発生したプレストレストコンクリート橋の調査 <i>New</i>	21
古い年代の鋼材の材料・強度特性調査 <i>New</i>	22
撤去 RC 床版を用いた路面からの水の浸透に関する調査 <i>New</i>	23
RC 橋脚の発錆限界塩化物イオン濃度に関する調査 <i>New</i>	24
CAESAR 臨床研究に関する文献リスト	25

CAESAR における臨床研究

土木研究所では、これまでも、既設橋の耐荷力評価や載荷試験、撤去部材の調査を行ってきましたが、近年の計画的保全技術の開発や安全管理に関する保全技術の開発をより一層促進するため、これまで以上に、実橋での調査、研究（CAESAR がいうところの臨床研究）が重要であり、幅広く実施していく必要があります。

実際の橋梁の性能は、設計時の構造、施工の状況、供用後の周辺環境・荷重条件によって大きく異なります。模型実験におけるメカニズムの解明だけでなく、実橋において、特に損傷を受けた橋梁について、その性能を評価する手法の開発が非常に重要となっています。また、これらの既設橋の性能評価で得られた知見は、新しい橋梁の設計にも活かされます。

既設橋の管理技術の開発には、臨床研究が不可欠



謝 辞

各橋梁の管理者の方をはじめ、CAESAR の臨床研究にご協力いただいた関係各位に感謝いたします。

旭橋(損傷を有する橋梁の全体挙動評価)



■ 橋梁諸元

橋梁名	旭橋
路線, 地名	一般国道452号, 北海道芦別市
橋梁形式	鋼3径間連続非合成I桁橋
橋長	82.7m
支間長	24.6m+32.8m+24.6m
竣工年	昭和28年(1953年)

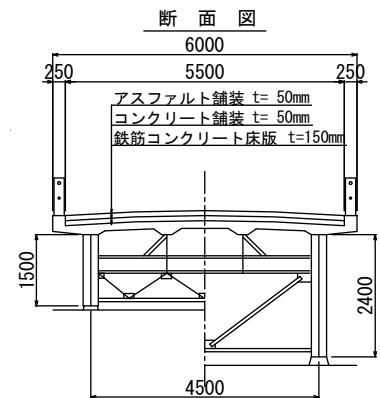
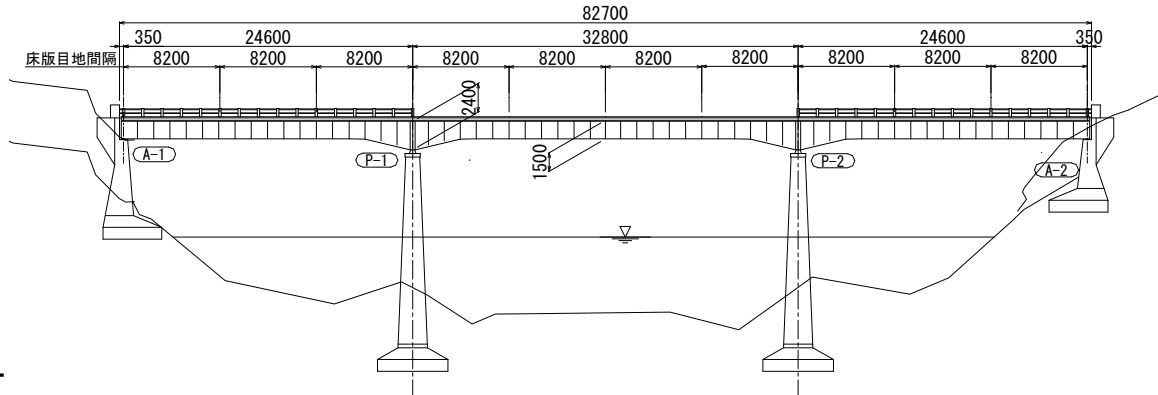
■ 橋梁概観



床版目地の漏水、遊離石灰

49年間供用, 2主桁, 約8m間隔に床版目地, 劣化

■ 一般図



■ 研究概要

《研究目的》

鋼橋の大半を占める鋼桁橋のうち、構造的特徴(床版目地、2主桁、非合成)を有する鋼桁橋(49年供用)の全体挙動の把握と構造解析モデルの検討

《調査内容》

- 荷重車を用いた現地载荷試験
- その他(材料強度試験、非破壊検査技術の適用性調査)

- 実橋の計測結果(ひずみ, 変位, 振動特性)と解析結果との比較により、全体挙動を把握(概ね合成桁に近い挙動)。
- 活荷重応答を概ね再現できる解析モデルを把握。
 - 実橋計測において、床版と鋼桁間の相対変位は、荷重車の載荷・除荷に対して弾性的な挙動を示すものの、床版の目地をモデル化せず、完全合成を仮定したFEMモデルで概ね挙動を再現できることを確認した。

《解析モデル》

◆ 格子モデル(非合成、合成)

主桁・縦桁・横桁: はり要素

◆ FEMモデル

主桁・縦桁・横桁: はり要素

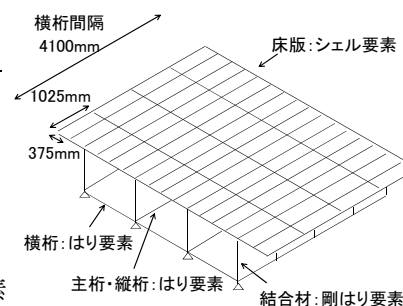
床版: シェル要素

◆ FEMモデル(詳細モデル)

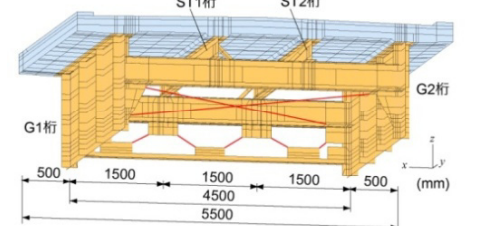
主桁・縦桁・横桁: シェル要素

対傾構: はり要素

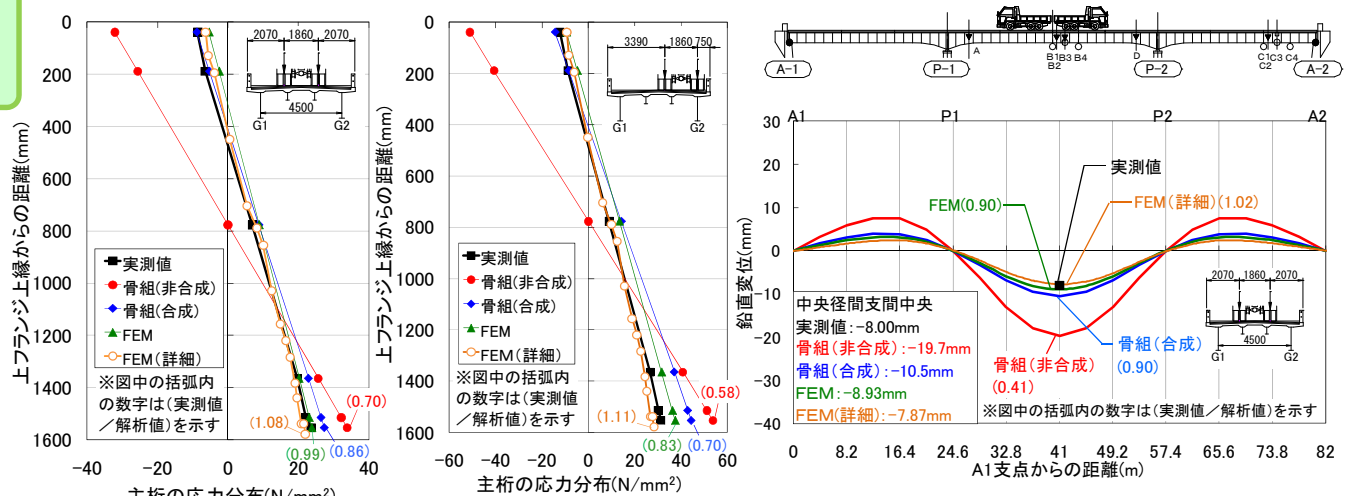
床版・橋脚: ソリッド要素※室蘭工大と連携



FEMモデル



FEMモデル(詳細モデル)



構造解析と载荷試験結果との比較



荷重車を用いた現地载荷試験



人力加振による振動試験



コンクリートの非破壊検査技術の適用性調査(超音波伝播速度測定)

関連資料 ・土研資料, 4175号, 2010.7. ・鋼構造シンポジウム2010 2010.10. pp.431~436 ・構造工学論文集, Vol.56A 2010.3. pp.710~721
 ・コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第9巻, 2009.10. pp.45~50

銚子大橋(損傷を有する橋梁の全体挙動評価)



■ 橋梁諸元

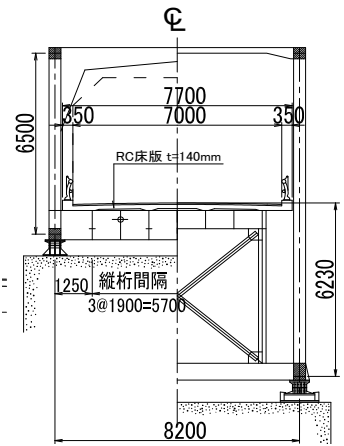
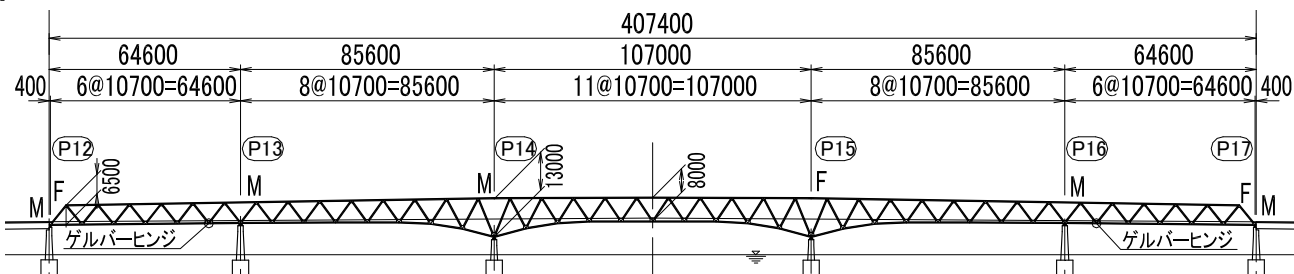
橋梁名	銚子大橋
路線, 地名	国道124号, 銚子市, 神栖市
橋梁形式	鋼5径間ゲルバートラス桁
橋長	407m(トラス部のみ)
支間長	64.6m+85.6m+107m+85.6m+64.6m
竣工年	昭和37年(1962年)

■ 橋梁概観



トラス格点部の腐食
47年供用, 各所に著しい腐食損傷

■ 一般図



■ 研究概要

《研究目的》

腐食劣化の生じた鋼トラス橋を対象とした橋全体系の耐荷性能評価のためのモデル化手法の開発

《調査内容》

・荷重車を用いた現地载荷試験



格点部载荷



影響線載



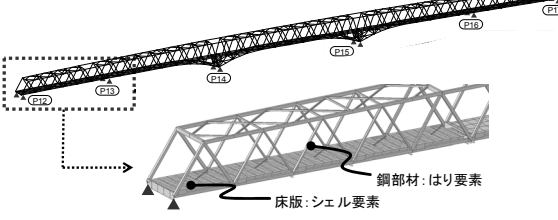
ひずみゲージ貼付状況

《载荷試験の実施状況》

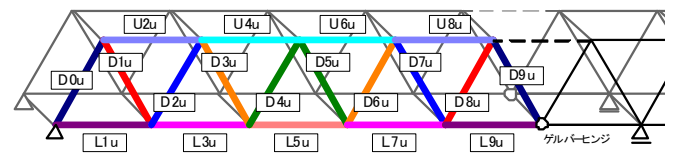
- ・活荷重応答を概ね再現できる解析モデルを把握。
- ・主構部材の軸方向応力による挙動に関しては、はり要素を主体とした解析モデルで概ね再現できること、主構部材が破断していない状況では、腐食欠損の状況が各主構部材の断面力分担に及ぼす影響は小さいことを把握した。
- ・橋全体系への影響を考慮した各部材の耐荷性能の評価方法の提示。
- ・鋼トラス橋の斜材破断事例を例に、現行基準に対する耐荷性能評価と、一主構部材が破断した場合のその他の主構部材の状態への影響に基づく耐荷性能評価を組み合わせることにより、各部材の破壊時の相対的な影響度をわかりやすく評価する方法を示した。

《解析モデル》

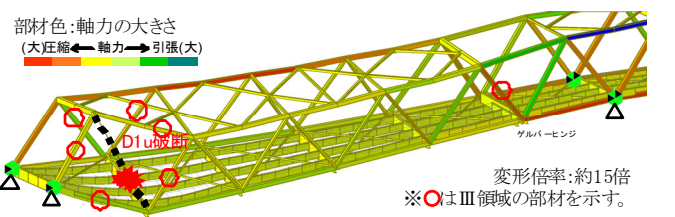
床版をシェル要素、その他部材をはり要素でモデル化



床版と縦桁間や格点部の結合条件、腐食条件等をパラメータとした解析を実施し、これらの影響を把握

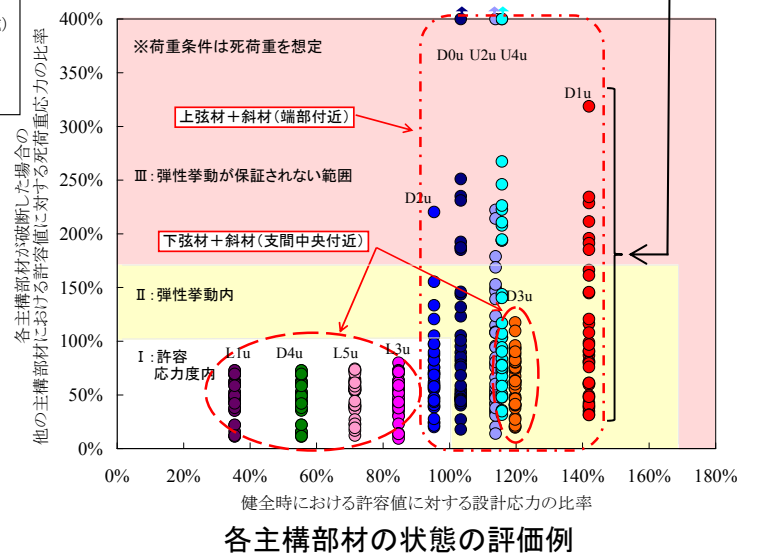
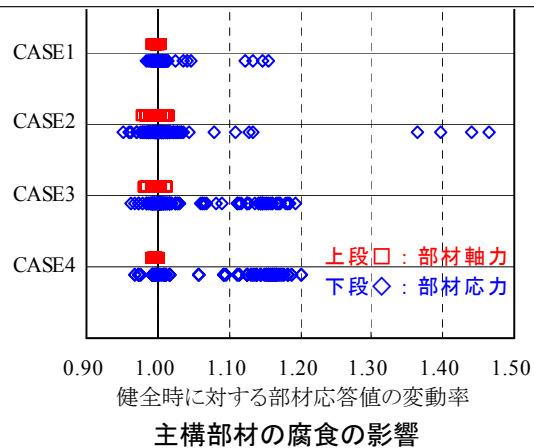
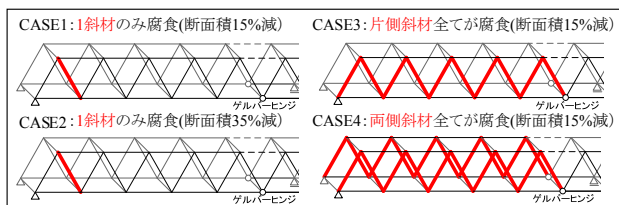
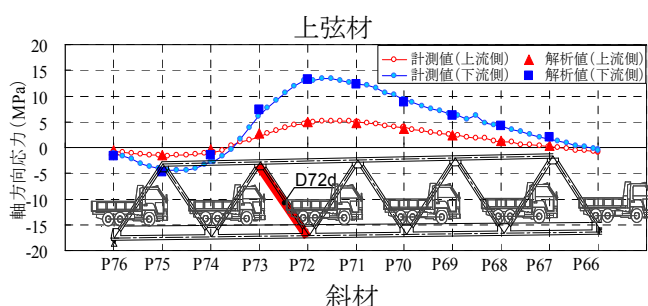
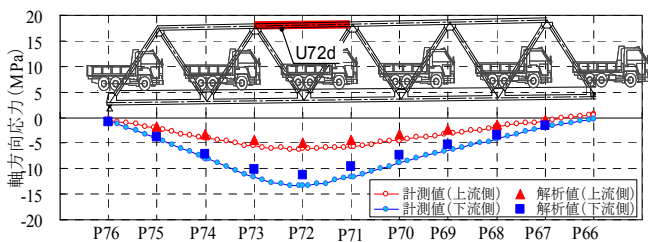


破断させる部材



変形倍率: 約15倍
※○はIII領域の部材を示す。

D1u破断時の変形状況の例



関連資料 ・土木技術資料, 2011.2.

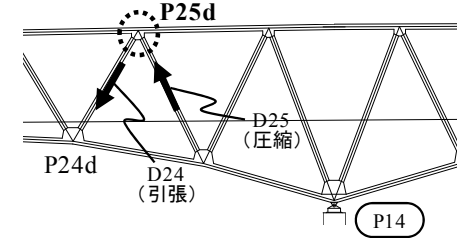
銚子大橋(劣化部材の耐荷性能の確認)



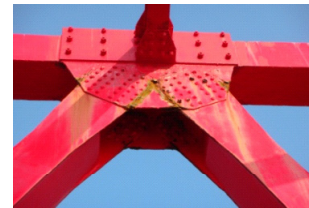
■ 橋梁諸元

橋梁名	銚子大橋
路線, 地名	国道124号, 銚子市, 神栖市
橋梁形式	鋼5径間ゲルバートラス桁
橋長	407m(トラス部のみ)
支間長	64.6m+85.6m+107m+85.6m+64.6m
竣工年	昭和37年(1962年)

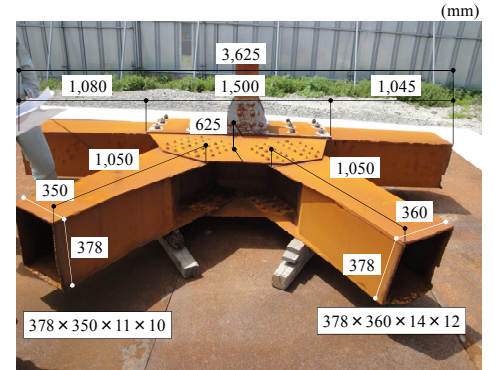
■ 対象橋梁と試験体



試験体採取位置



塗膜除去前



塗膜除去後

■ 研究概要

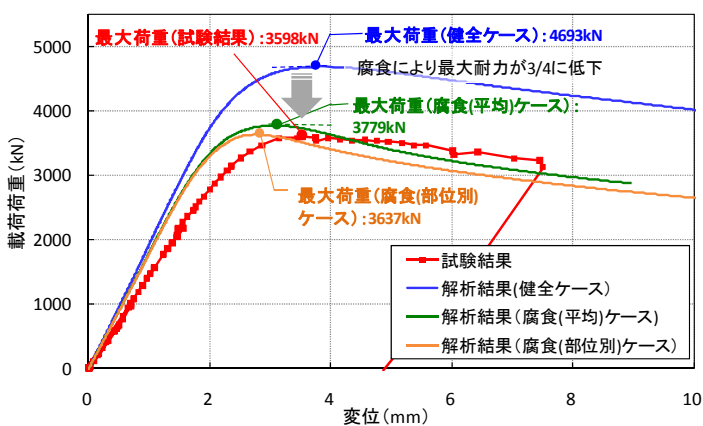
《研究目的》

腐食劣化の生じた鋼トラス橋を対象とした腐食部材の残存耐荷性能評価手法の開発

《調査内容》

・撤去格点部の腐食量計測、載荷試験

- ・載荷試験により残存耐荷力と破壊性状を把握。
 - ・対象試験体は、ガセットの斜材先端部と自由端に面外変形が進行し最大耐力に達した。
- ・健全時及び腐食をモデル化したFEM解析を行い腐食による耐力低下の程度やモデル化手法の違いが耐荷力評価に与える影響を把握。
- ・試験及び解析結果、既往の試験データとの比較分析を行い、格点部の圧縮耐荷力を概ね推定できる実用的な評価式を提示。



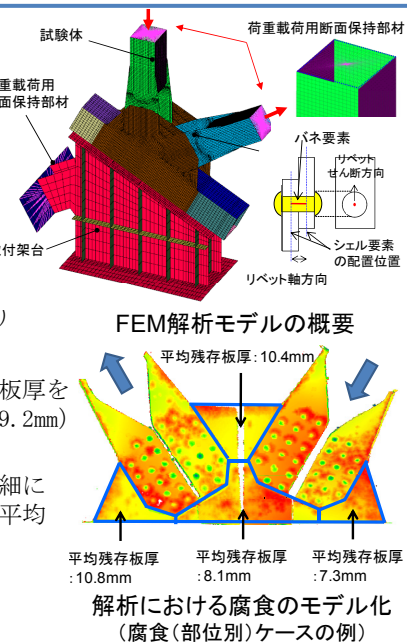
《荷重-載荷点変位曲線(試験・解析結果の比較)》

《解析モデル》

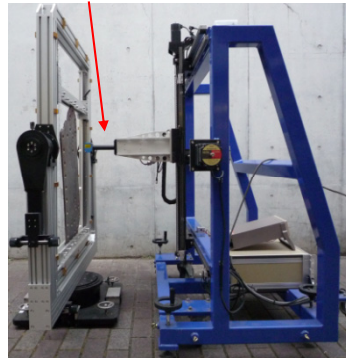
鋼部材(試験体及び載荷治具)をシェル要素、リベット接合部を線形パネ要素でモデル化

《解析ケース》

- ◆健全ケース: 竣工時の条件(腐食無し)
- ◆腐食(平均)ケース: ガセット全面の平均残存板厚を考慮(元厚12mmに対して9.2mm)
- ◆腐食(部位別)ケース: ガセットの腐食をより詳細にモデル化(4つの部位の平均残存板厚を考慮)



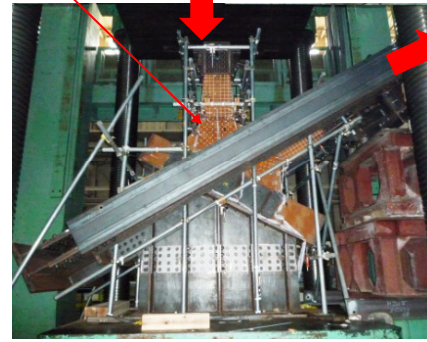
レーザー変位計



腐食形状計測装置

《トラス格点部の試験体》

試験体



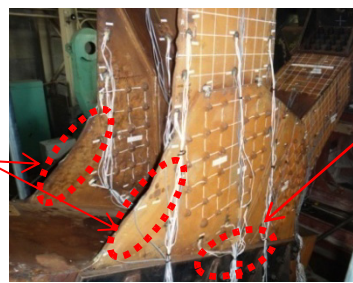
試験体及び試験治具の設置状況



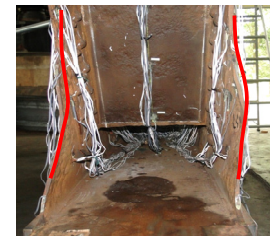
30MN試験機による公開試験の状況

《試験機及び試験実施状況》

ガセットプレート外側自由端の湾曲



ガセットプレート斜材先端の面外変形



ガセット外側自由端

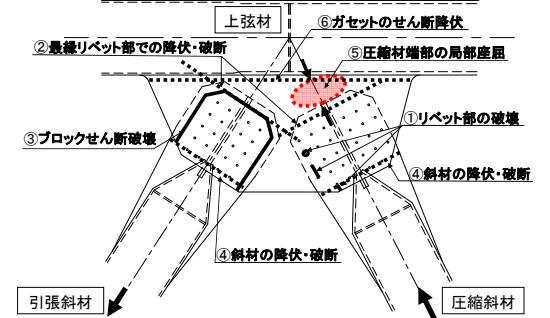


ガセット内面

《試験体の破壊性状》

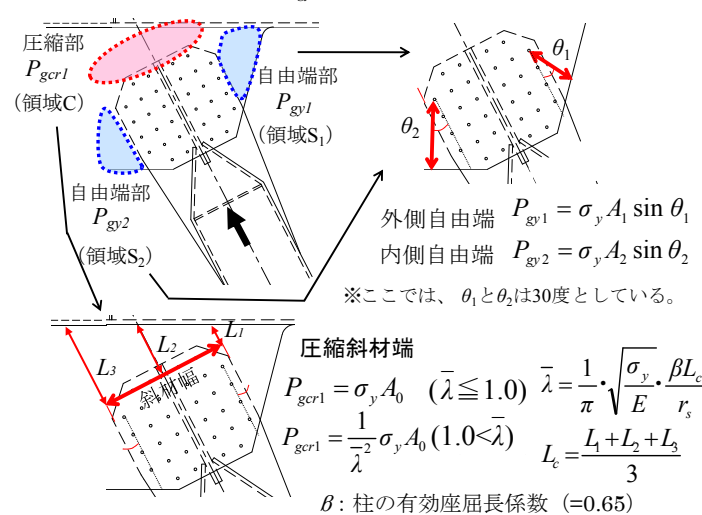
《耐荷力評価式の検討》

- ・米国FHWAのリベット接合されたトラス格点部の耐荷力評価のガイダンス等を参考にすると格点部の破壊性状として右図が想定される。
- ・それぞれの破壊に対して耐荷力を試算した場合、相対的に⑤の場合が厳しい状況になる傾向があり、かつ、腐食劣化の生じやすい箇所でもあるため、特に圧縮力を受ける場合のガセットの耐荷力評価式について検討を実施。



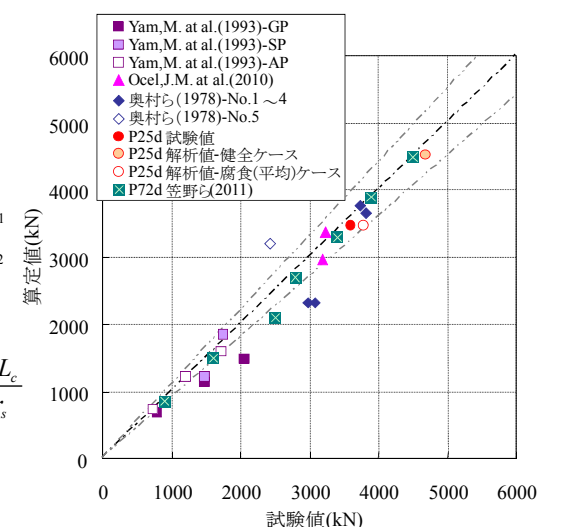
耐荷力評価式:

$$P_{max} = P_{gcr1}(\text{圧縮斜材端}) + P_{gv1}(\text{外側自由端}) + P_{gv2}(\text{内側自由端})$$



耐荷力評価式(試算)

格点部において想定される破壊性状



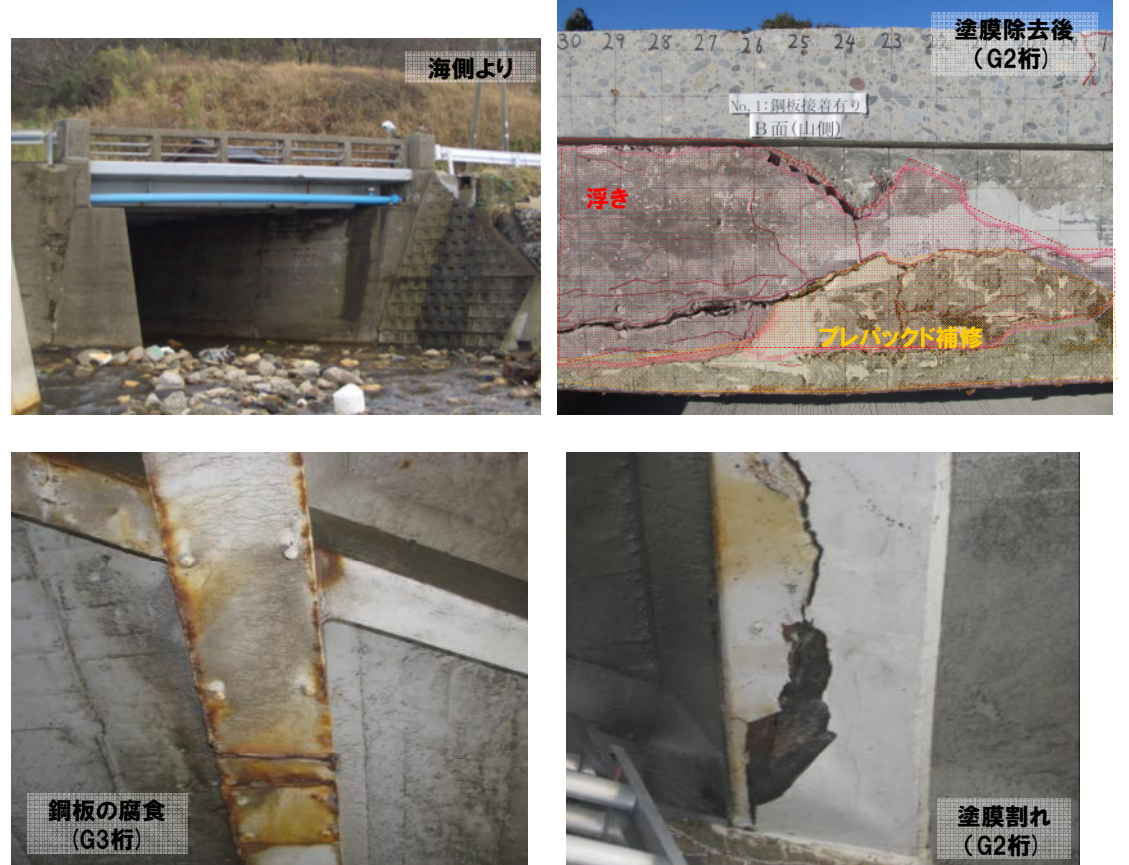
長橋(劣化部材の耐荷性能の確認、補強効果の検証)



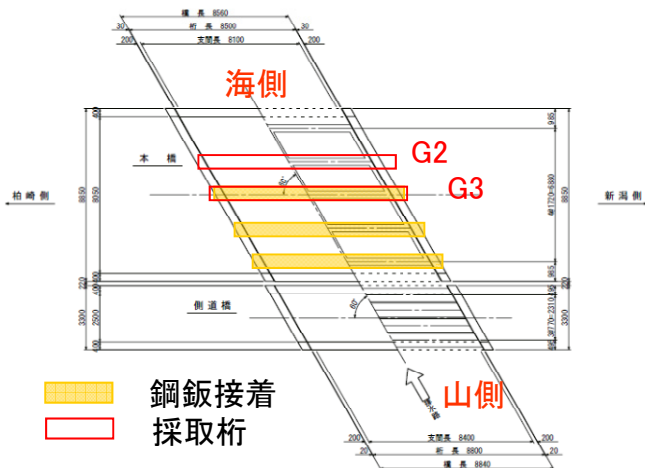
■ 橋梁諸元

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

■ 橋梁概観・損傷状態



■ 一般図



◇プレパックド断面修復・鋼板接着・表面保護するも、再劣化
 ◇LCCの比較により撤去
 ◇鋼材位置塩化物イオン量: 5.7kg/m³

■ 研究概要

《研究目的》

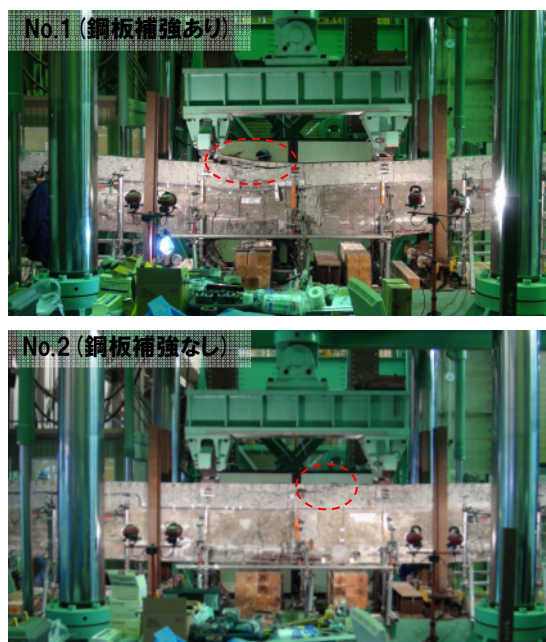
塩害により劣化し、複数回の補修履歴を有するRC桁の耐荷力評価

《調査内容》

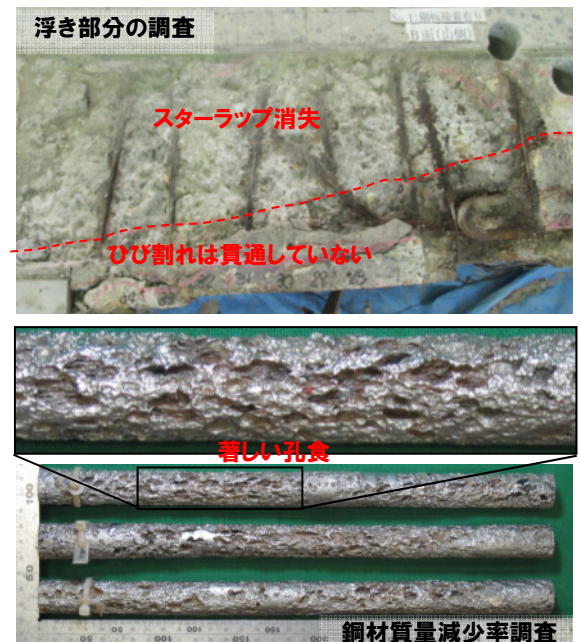
載荷試験、解体調査

主桁(鋼板補強桁: No.1、無補強桁No.2)の載荷試験を実施。載荷試験後、コンクリートの物性、鋼材の物性・腐食量、塩分量、アルカリシリカ反応、配筋等を解体調査により確認を行い、鋼板、プレパックド補修の効果、腐食の影響を把握する。

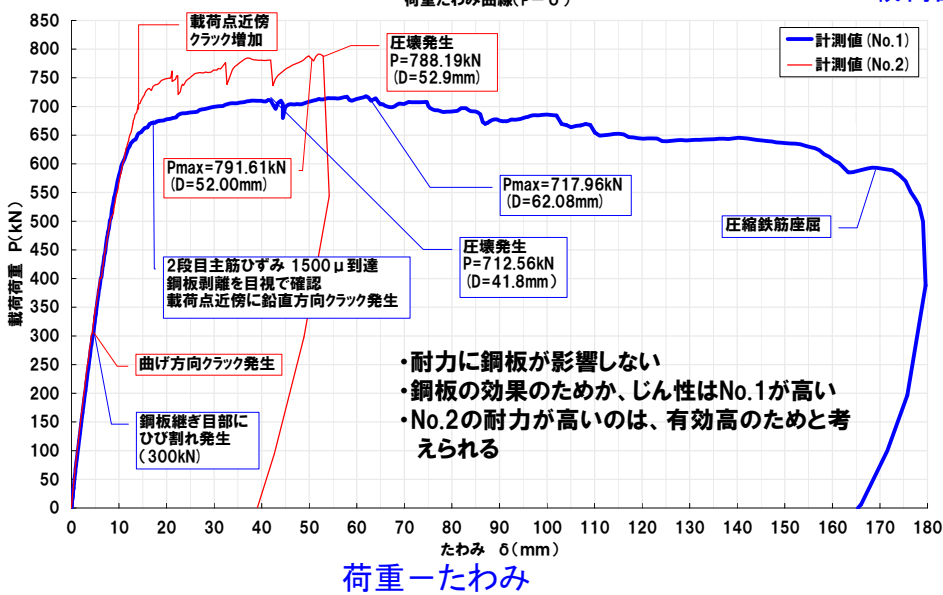
- ・鋼板接着に耐荷力増加の効果がない
 →鋼板の接着方法に問題
- ・プレパックド、鋼板に剛性を高める効果



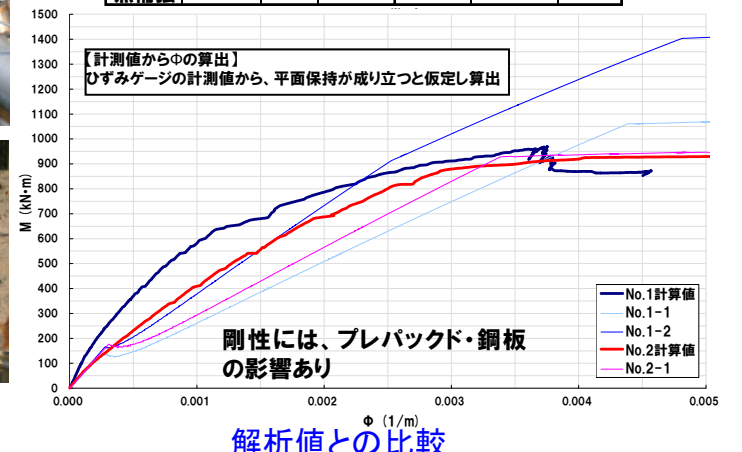
載荷試験後の破壊状況



部材の解体調査



試験体	検討ケース	鋼板	腐食率 (%)	計測値 (kN)	計算値 (kN)	比率
No.1 鋼板補	No.1-1	無視	7.47	717.9	819.1	0.88
	No.1-2	考慮	7.47		1071.9	0.67
No.2 無補強	No.2-1	なし	4.13	791.5	726.1	1.09



関連資料 ・土研資料, 4233号, 2012.8.

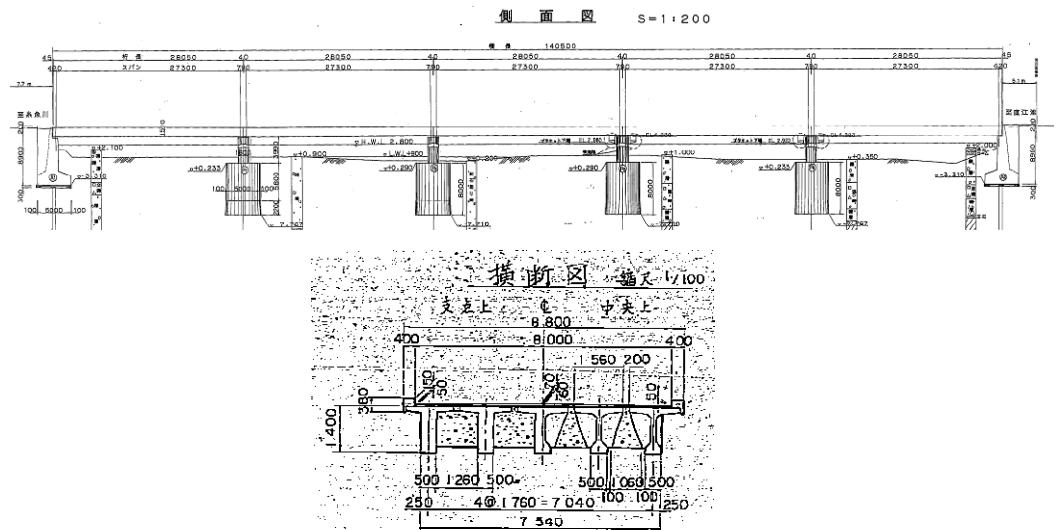
能生大橋(損傷を有する橋梁の全体挙動評価)



■ 橋梁諸元

■ 一般図

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)



■ 橋梁概観



■ 研究概要

《研究目的》

塩害劣化により、鋼材腐食やひび割れの生じたPC桁の動的特性の変化を確認

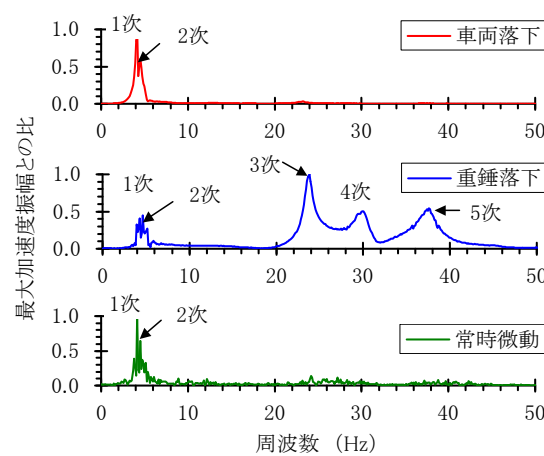
《調査内容》

現地動的特性確認試験
解体調査

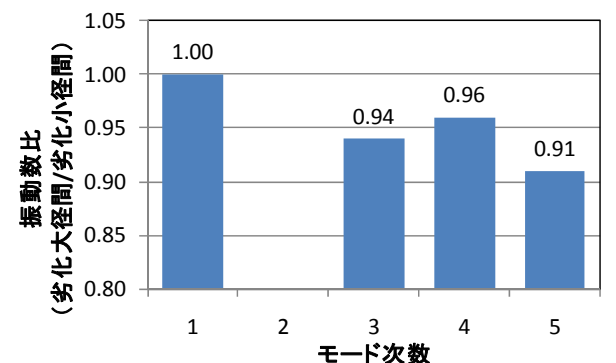
撤去前に、車両落下法、重錘落下法などにより、動的特性を確認



・劣化が激しい径間で、高次振動モードの振動数が低下することを確認



加振法毎のスペクトル



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)



車両落下法



重錘落下法



撤去桁下桁の解体調査
PC鋼線の腐食による断面減少の状況

関連資料 ・「プレストレストコンクリート道路橋の振動計測(一般国道8号能生大橋)」北野他, 土木学会全国大会, 2011.9.

※(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会との共同研究に基づき実施

能生大橋(塩害劣化した橋梁の解体調査)



■ 橋梁諸元

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)

■ 橋梁外観



■ 研究概要

《研究目的》

塩害劣化コンクリート橋の外的損傷と、内部鋼材腐食度の関係性の把握

《調査内容》

解体調査、鋼材腐食量計測

撤去した桁を解体し、内部鋼材の腐食度を質量減少率として計測



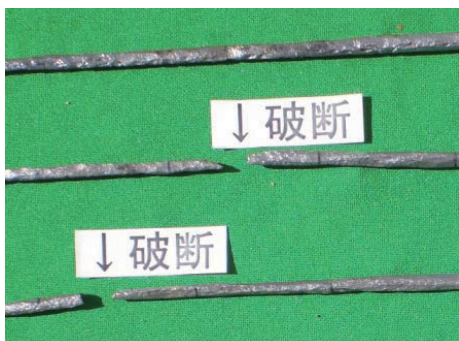
破断の確認されたようなケーブルでは高い腐食率を示す一方、近傍の他のケーブルでは腐食率はそれほど高くはない。



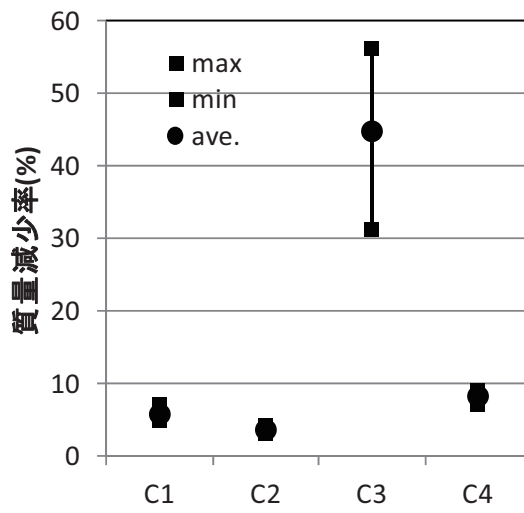
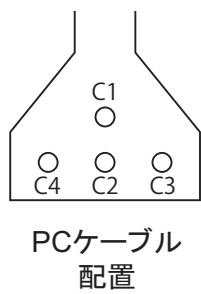
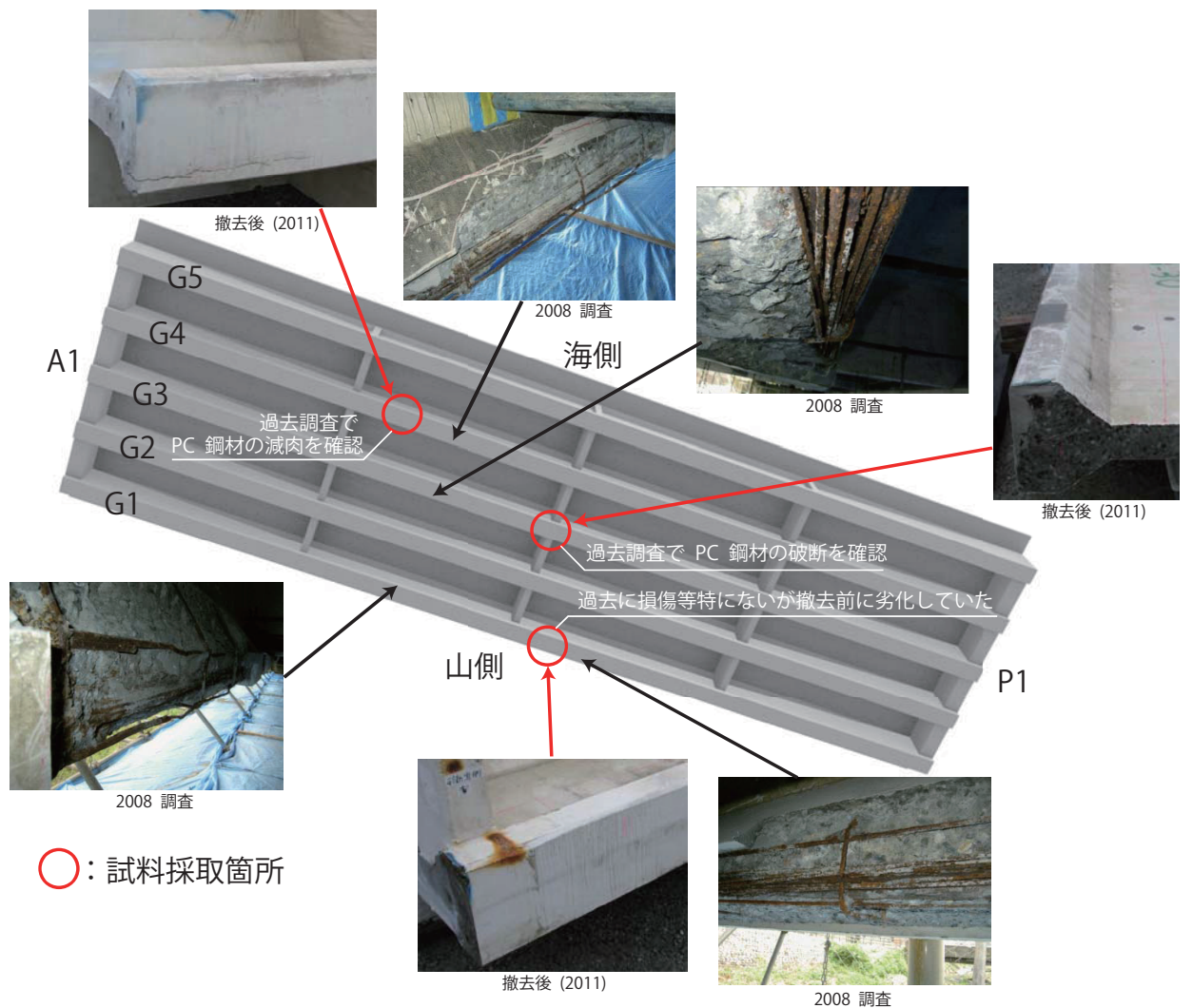
解体調査状況



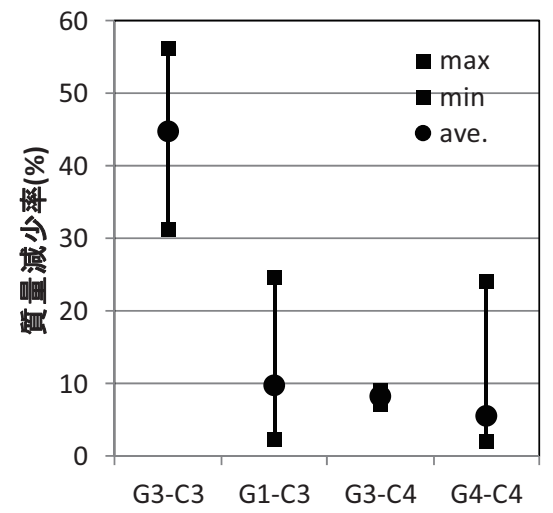
除錆前(G3-C3)



除錆後(G3-C3)



G3のケーブル毎の質量減少率
過去に破断が確認されたC3で平均45%、
その他のケーブルは平均10%以下



桁の損傷と質量減少率
過去に破断が確認されたG3-C3
C3以外は平均10%程度

桜橋(損傷を有する橋梁の全体挙動評価)



橋梁諸元

橋梁名	桜橋
路線, 地名	国道8号, 福井県南越前町
橋梁形式	鋼上路式アーチ橋
橋長	135m
支間長	30.0m+75.0m+30.0m
竣工年	昭和38年(1963年)

橋梁概観



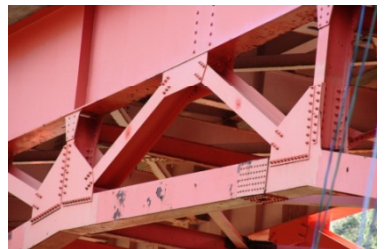
46年間供用, 疲労・腐食損傷に対し補強対策を実施



橋面上

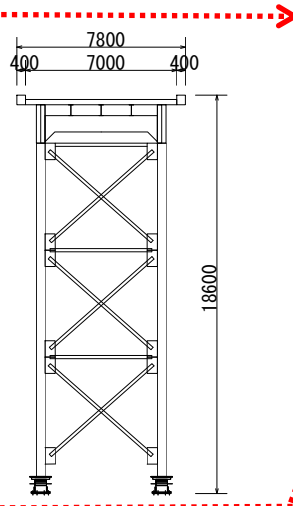
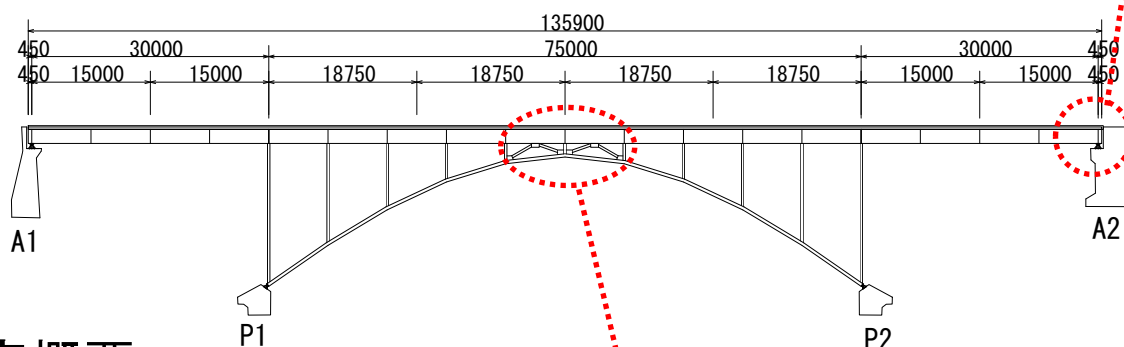


桁端部のあて板補強とゴム支承への取り替え



アーチクラウン部の斜材増設

一般図



研究概要

《研究目的》

長期間供用され損傷・補修履歴のある鋼上路アーチ橋の全体挙動の把握と、構造解析モデルの検討

《調査内容》

- ・荷重車を用いた現地載荷試験
- ・起振機による振動試験、常時微動計測



荷重車を用いた静的載荷試験



荷重車を用いた走行試験
＜載荷試験の実施状況＞

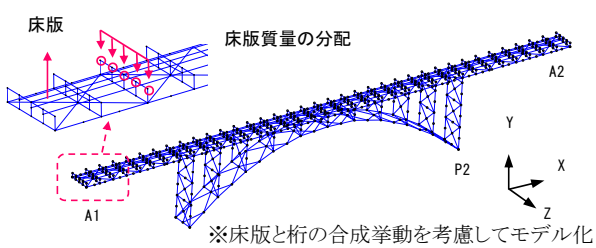


起振機による振動試験

- ・実橋の挙動計測結果及び解析結果との比較により全体挙動を把握(床版と補剛桁の合成挙動等を確認)。
- ・活荷重応答を概ね再現できる解析モデルを把握。
- ・全体挙動(変位や主構造の応力度)については、FEMモデルで概ね再現。ガセットの応力度評価は詳細FEMモデルが望ましいことを確認。
- ・振動試験の結果により振動特性(固有振動数や減衰等)を把握。

＜解析モデル(振動特性)＞

部材をはり要素でモデル化(床版は1本のはりでモデル化)



※床版と桁の合成挙動を考慮してモデル化

解析の次数	振動数(Hz)	
	起振機による試験結果	解析結果
1	1.18	1.385

＜試験及び解析結果の比較＞

＜解析モデル(活荷重応答)＞

◆FEMモデル

床版: シェル要素
その他部材: はり要素

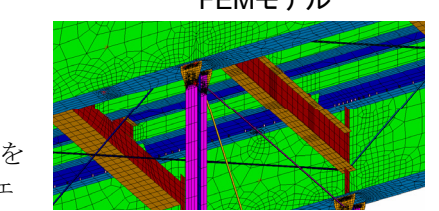
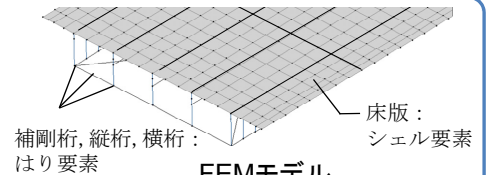
◆詳細FEMモデル

横構・対傾構: はり要素
その他部材: シェル要素

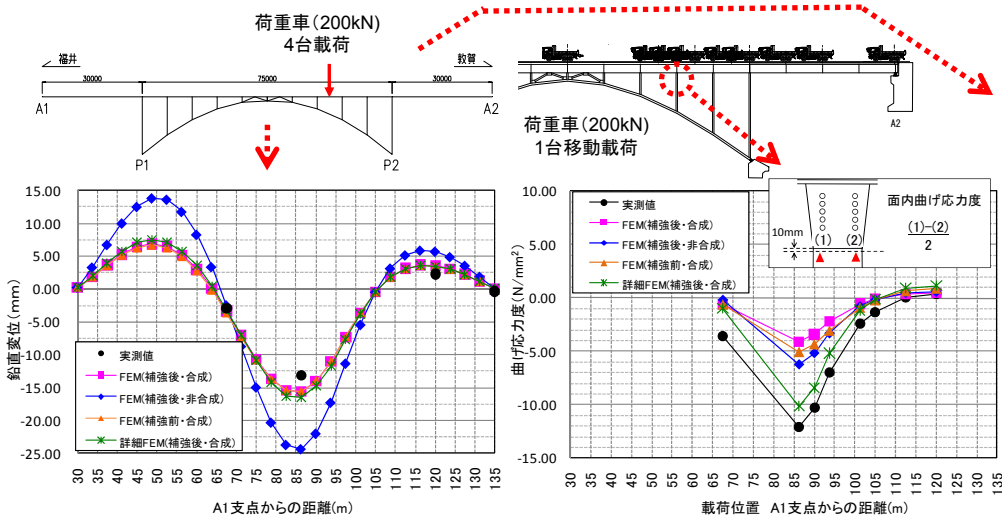
- ・FEM(補強後・合成)ケース
- ・FEM(補強後・非合成)ケース
- ・FEM(補強前・合成)ケース
- ※補強後: 斜材増設等の補強を考慮
- ※※合成: 床版と桁との合成挙動を考慮

- ・詳細FEM(補強後・合成)

FEMモデルを用いて、床版と補剛桁との合成・非合成、補強前後等をパラメータに応答値の違いを検討。あわせて、ほぼ全ての部材をシェル要素で詳細にモデル化した詳細FEM解析結果と比較。



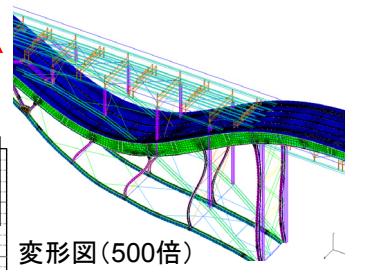
詳細FEMモデル



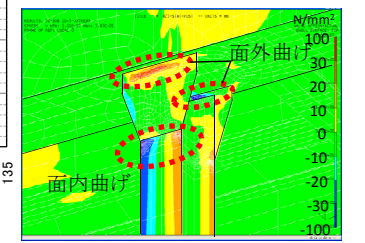
鉛直変位

垂直材上端部の面内曲げ応力度

＜載荷試験及び解析結果の比較＞



変形図(500倍)



垂直材上端部付近の直応力度コンター図

関連資料 ・土研資料4207号

神戸橋(補強効果の検証、劣化原因の調査)



■ 橋梁諸元

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)

■ 橋梁概観



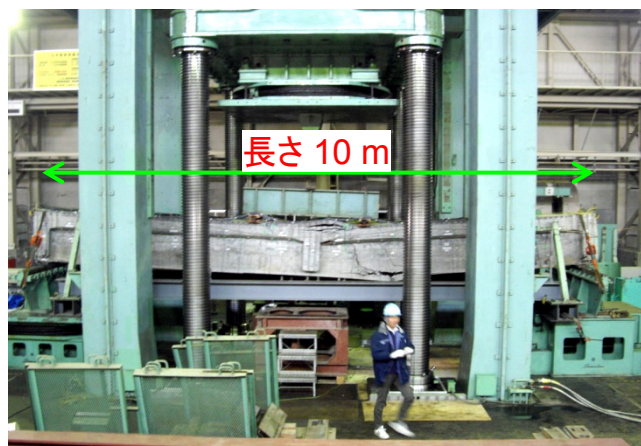
■ 研究概要

《研究目的》

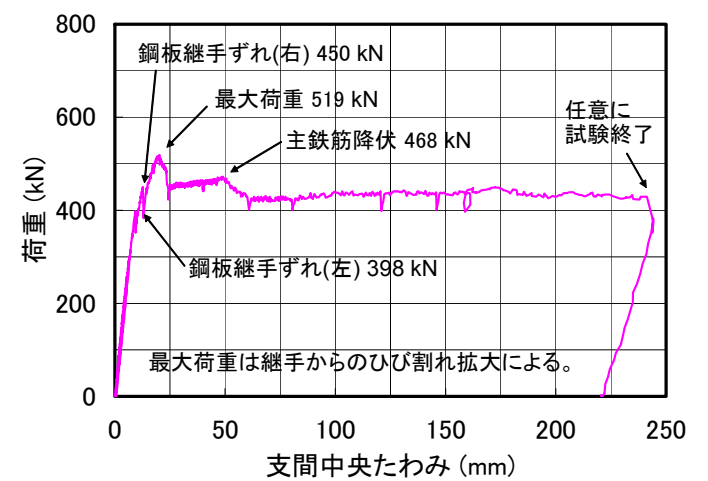
RC主桁の鋼板接着の効果を確認するとともに、著しい劣化が耐荷力に及ぼす影響を把握する。また、劣化原因の調査を行う。

《調査内容》

載荷試験による耐荷力確認
材料諸元と劣化に関する解体調査



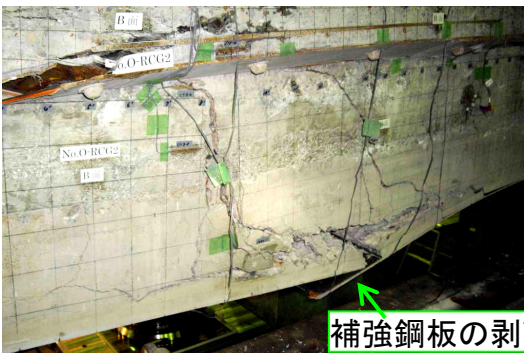
載荷試験後の破壊状況



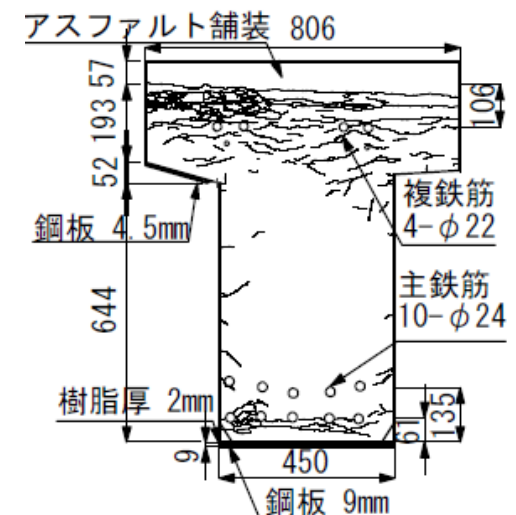
荷重-たわみ

主桁2体の載荷試験の結果

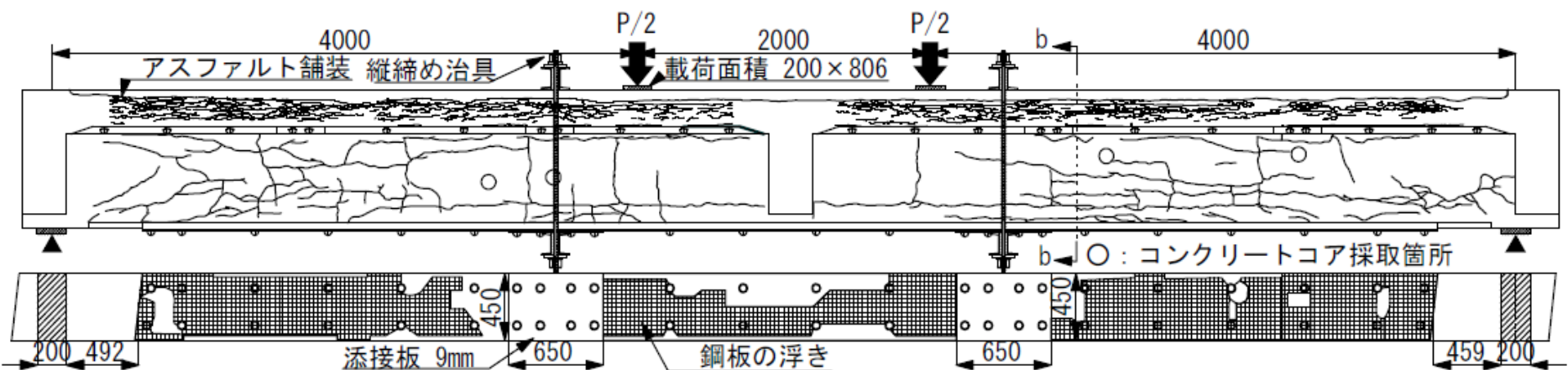
- ・添接板の破壊により鋼板接着の補強効果が発揮されなかった
 - ・劣化により、RC桁の曲げ耐荷力が計算値の90%に低下していた
- 劣化調査等、引き続き調査中



圧壊付近の上フランジ側面の状況



主桁断面 (b-b断面)
上フランジ(床版)の劣化が著しい。



注) 横桁付近の床版のひび割れは省略した。

供試体 S2 (第1 径間外桁)

主桁の劣化によるひび割れ

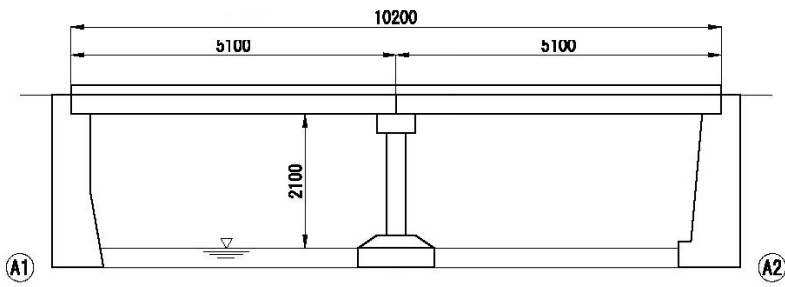
関連資料 ・吉田ほか, 劣化した鋼板接着補強RC桁の耐荷力試験, 土木学会全国大会, 2011.9.

倉谷橋(劣化部材の耐荷性能の確認)



■ 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)



一般図

■ 橋梁概観



床版下面の剥離

主筋の腐食

■ 研究概要

《研究目的》

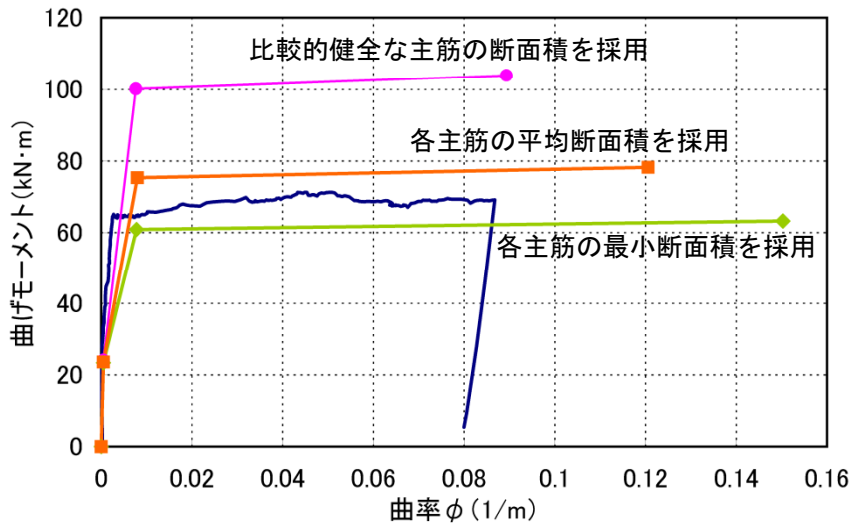
塩害により、鋼材、コンクリートに損傷の生じた床版桁の耐荷力の確認

《調査内容》

載荷試験による耐荷力確認
コンクリートおよび鉄筋の劣化調査

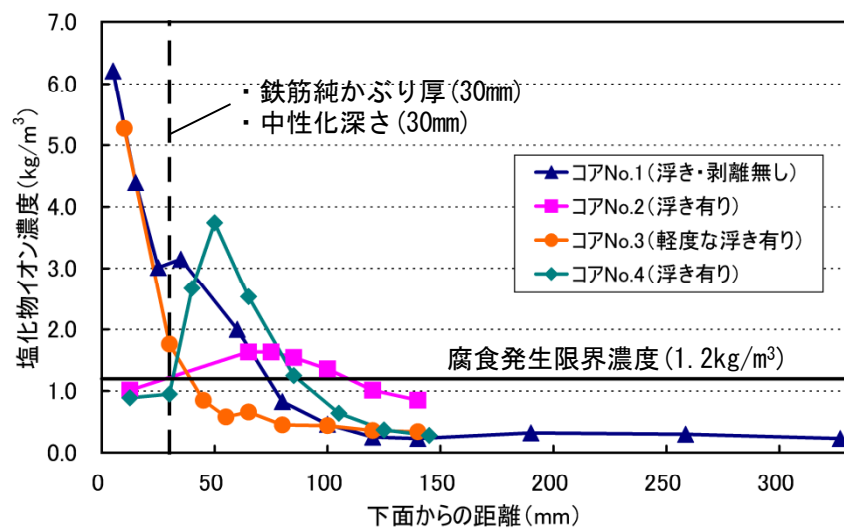
塩害損傷を受けたRC床版の耐荷力を確認するため載荷試験を実施。劣化調査による腐食鉄筋の断面積に注目した耐荷力算出を行い、載荷試験結果との耐荷力評価を実施。

- ・鉄筋付近では、塩化物イオン濃度は概ね腐食発生限界濃度と同程度かそれ以上であった。
- ・主筋は最大45%の断面減少があった。
- ・浮きがあってもかぶりが残存していれば断面積の減少が抑制される。(鉄筋A、D)
- ・健全体を想定した耐荷力の68%程度であった。
- ・各主筋の最小断面積による計算が安全側の評価となった。

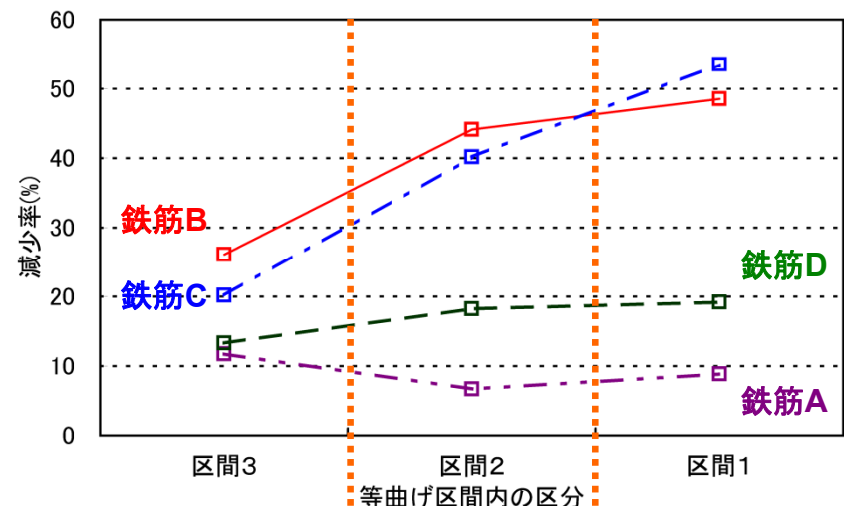


主桁の劣化によるひび割れ

関連資料 ・土木技術資料, 2011.2. ・土研資料, 4234号, 2012.8.



塩化物イオン濃度分布



主筋の平均断面減少率と床版下面の相関

津波橋(落橋した橋梁の解体調査)



■ 橋梁諸元

橋梁名	津波(つは)橋
路線, 地名	旧国道58号, 沖縄県大宜味村
橋梁形式	RCT桁橋(3主桁)
橋長	10.2m
支間長	9.4m
竣工年	昭和6年(1931年)

■ 橋梁概観



■ 研究概要

《研究目的》

古い年代に建設され、長期間に渡り塩害環境にさらされて落橋に至った橋梁の材料物性、劣化度の把握

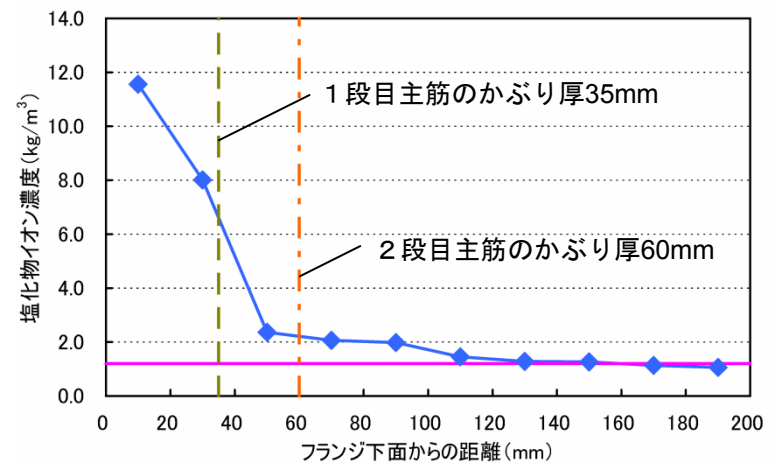
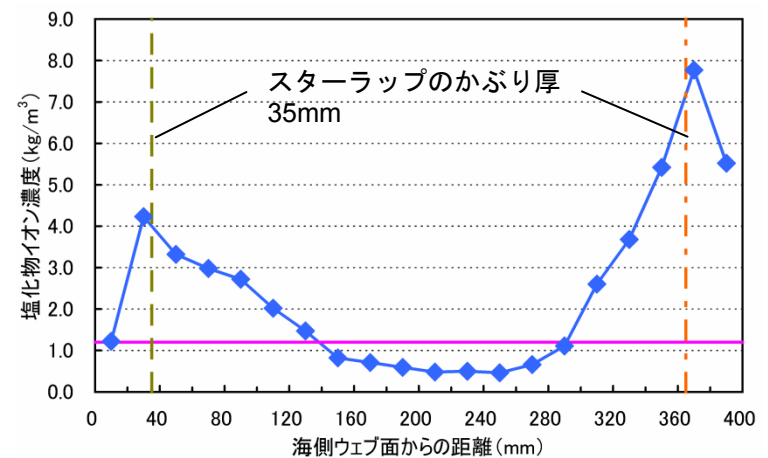
《調査内容》

塩害により落橋した桁部材の材料調査
(コンクリートおよび鉄筋の物性、塩化物イオン濃度)

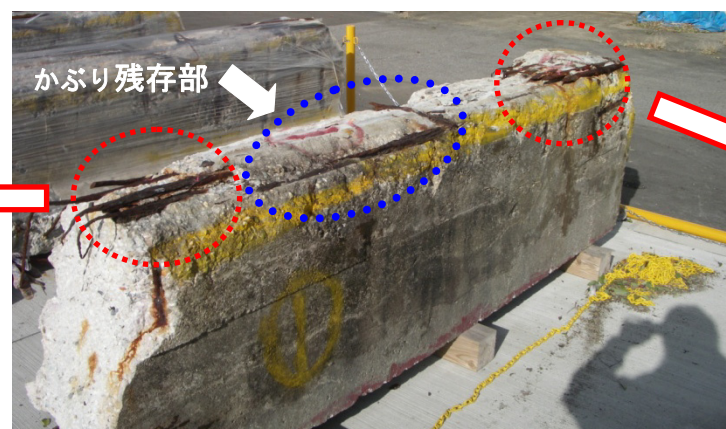
落橋に至った桁に残る鉄筋の材料調査を実施。RC構造物の耐力に大きく影響する鉄筋の断面減少を把握する。



- ・海側の外桁では内側ウェブ面の方が塩化物イオン濃度が高い。
- ・鉛直方向の塩化物イオン濃度は1段目鉄筋付近と2段目鉄筋で差が大きい。
- ・桁内部の塩化物イオン濃度は表面から150mm程度で腐食発生限界濃度(1.2kg/m³)以下となった。
- ・1段目の鉄筋はほとんど消失していた。
- ・2段目の鉄筋はかぶり残存箇所ではほぼ健全な断面。
- ・断面減少率は露出部では著しかった。



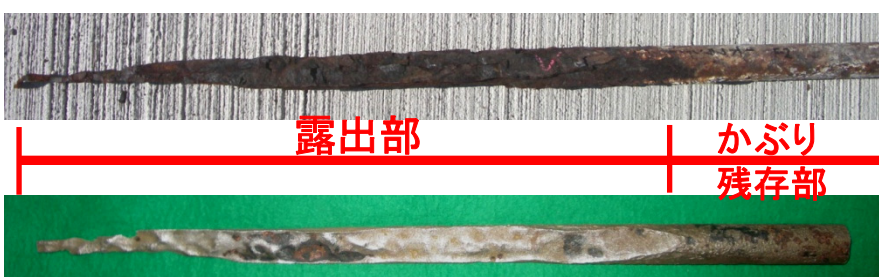
露出した鉄筋



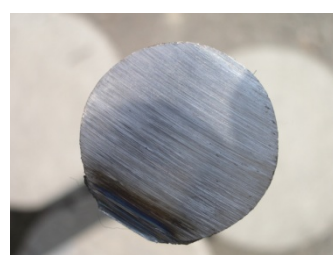
解体調査用撤去桁



支承部の鉄筋



除錆前後の鉄筋状況



Φ25程度
比較的健全な鉄筋



Φ18程度
断面減少率49%



Φ12程度
断面減少率77%

辺野喜橋(監視技術の適用性検討)



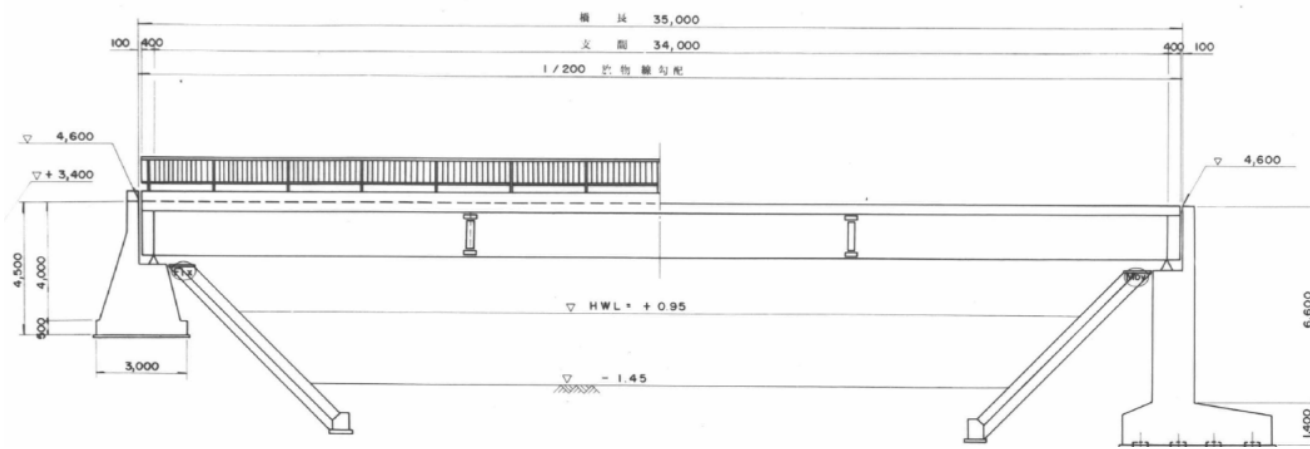
■ 橋梁諸元

橋梁名	辺野喜(べのき)橋
路線, 地名	辺野喜辺奈原支線, 沖縄県国頭村
橋梁形式	鋼単純合成桁橋
橋長	35m
支間長	35m
竣工年	昭和56年(1981年)

■ 橋梁概観



■ 一般図



28年供用, 各所に著しい腐食損傷, 2009年に崩落

■ 研究概要

《研究目的》

崩落過程に係る挙動把握と、汎用技術による実用的な計測技術の仕様検討・課題抽出

《調査内容》

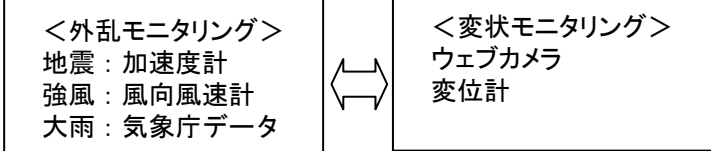
・遠隔監視ウェブカメラ等による連続計測

著しい損傷が発生しており、地震、強風、常時微動等の外乱により、予定されていた撤去前に崩壊する可能性があったため、管理者、琉球大、土研の3者によるリアルタイムモニタリングを実施。

- ・崩壊3週間前の集中豪雨時の変状進行を即座に情報共有し、崩落時の事前対応を実施
- ・モニタリングの試行により、技術面・運用面の課題を抽出(計測設置場所の確保と計測環境、地域に応じた情報通信の方法、環境条件に対応したセンサ機器の仕様)



崩落の瞬間のカメラ画像



- ・遠隔監視ウェブカメラによるモニタリング
：琉球大、土研CAESAR、管理者
- ・変位、加速度、風速
：琉球大で遠隔モニタリング

緊急対策、周辺住民へ通報

モニタリングの概要



崩落後の状況

関連資料 ・橋梁と基礎, 2009.11.

相見川海浜自転車道橋(劣化部材の耐荷性能の確認)



■ 橋梁諸元

橋梁名	相見川(あいみがわ)海浜自転車道橋
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

■ 研究概要

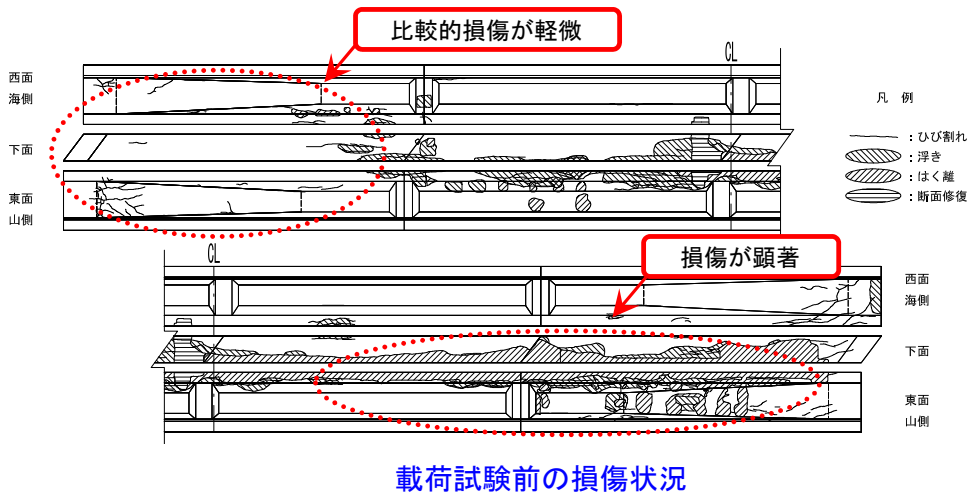
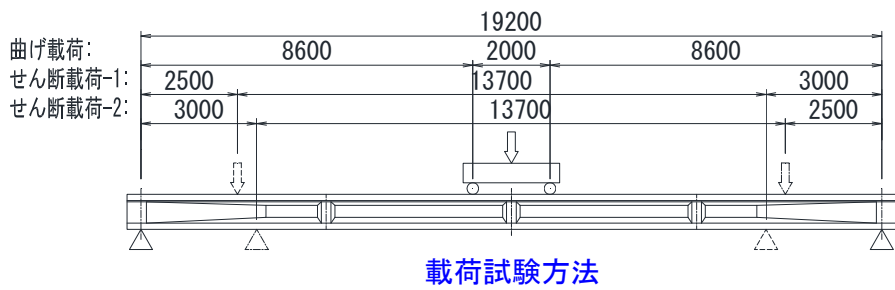
《研究目的》

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

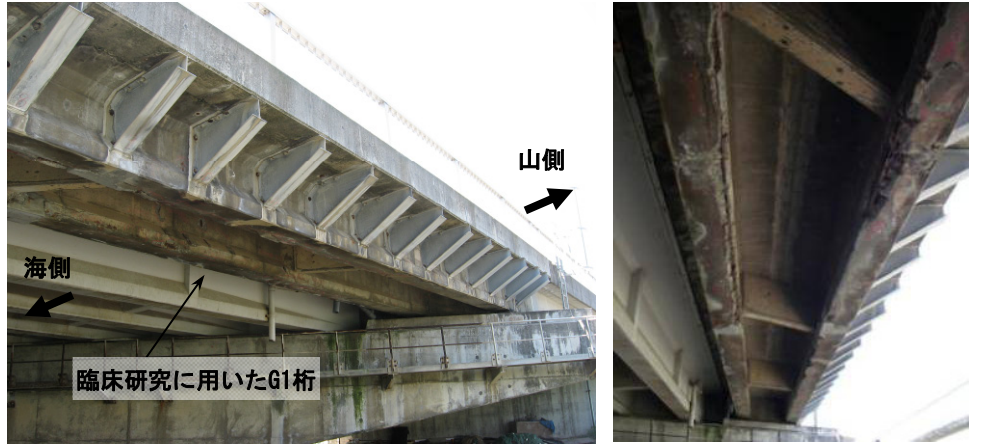
《調査内容》

- ・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)

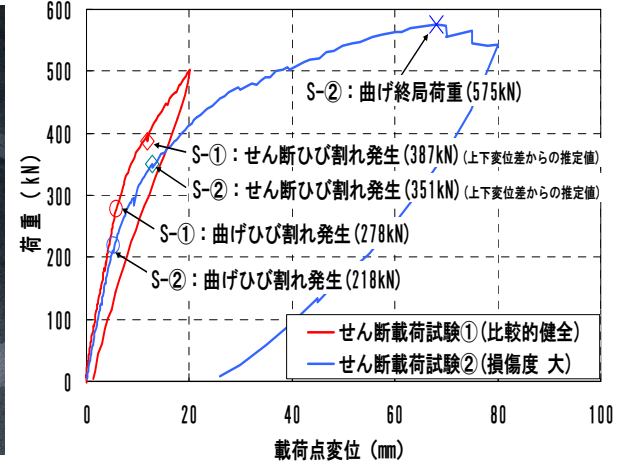
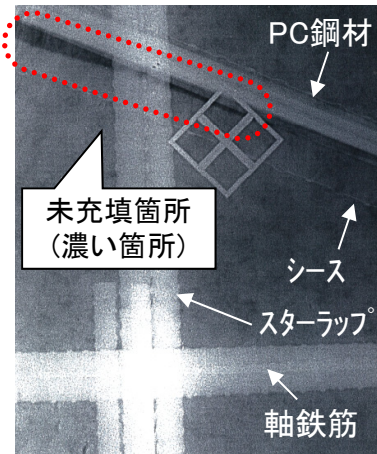
- ・グラウト充填状況は、一部未充填箇所が確認されたが、比較的良好。
- ・曲げひび割れ発生荷重から推定した残存プレストレスは、部位により異なり、外観の損傷の程度とプレストレスの低下量やせん断ひび割れ発生荷重にある程度相関が認められた。
- ・振動特性について、高次振動モードにて損傷を検出できる可能性がある。
- ・光学的全視野計測にて、面的なひずみ挙動の計測やひび割れとの相関を確認。
- ・桁端部を切断し、付着のみが寄与している状態で載荷試験を実施し、耐荷力に与える影響を確認予定。



■ 橋梁概観・損傷状態



- ◇塩害による鉄筋腐食により剥落し、全体的に断面損傷
- ◇詳細調査(H21)により、PC鋼材の素線破断(8本のうち2本)を確認
- ◇LCCの比較により撤去



X線透過法によるグラウト充填確認

荷重-変位(せん断載荷試験)

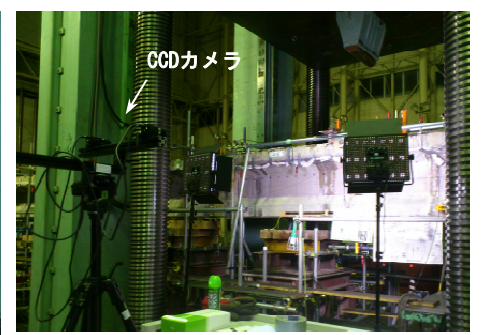
曲げひび割れ発生荷重から推定したプレストレス減少量と表面損傷度

	プレストレス (kN) *			表面損傷度
	健全(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%

*プレストレス量は各曲げひび割れ発生位置における推定値



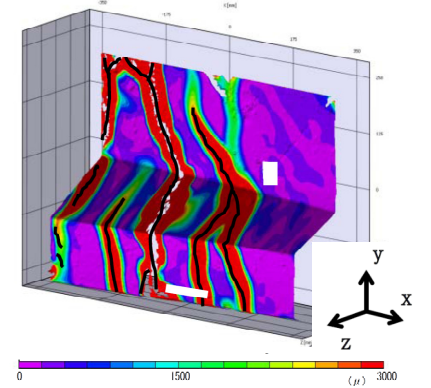
振動計測(砂袋による加振)



光学的全視野計測

振動計測結果(せん断載荷試験①)

モード次数	載荷試験	固有振動数 (Hz)	
		常時微動	衝撃加振
1	前	6.694	6.378
	後	6.458	6.353
	比率	0.95	1.00
2	前	21.301	21.276
	後	21.130	21.047
	比率	0.99	0.99
3	前	判定不能	57.363
	後	判定不能	52.953
	比率	-	0.92



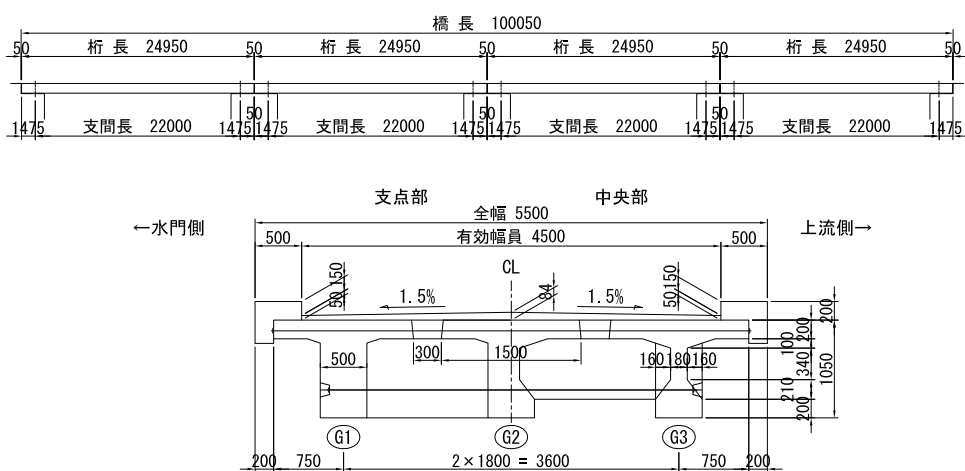
全視野計測によるひずみ分布(黒線は載荷時のひび割れ)

関連資料 ・「塩害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」松沢他, 土木学会全国大会, 2012.9.

■ 橋梁諸元

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

■ 一般図



■ 研究概要

《研究目的》

津波により被災し、ひび割れの生じたPC桁の振動特性の変化を確認

《調査内容》

- ・重錘落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)

各径間の各主桁上にて重錘落下法により、振動特性を確認

- ・健全時の解析値(梁モデル)に対して、第3径間にて2~3割程度、第4径間にて1~2割程度の振動数の低下を確認
- ・第3径間の曲げ2次の低下度が曲げ1次および3次に比べ小さいのは、損傷位置が振動モードの節に該当するためと推測
- ・第4径間において、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て若干差異が確認され、概ね残留曲率の大小関係との相関を確認



重錘落下法による加振



計器設置状況

■ 橋梁概観・損傷状態



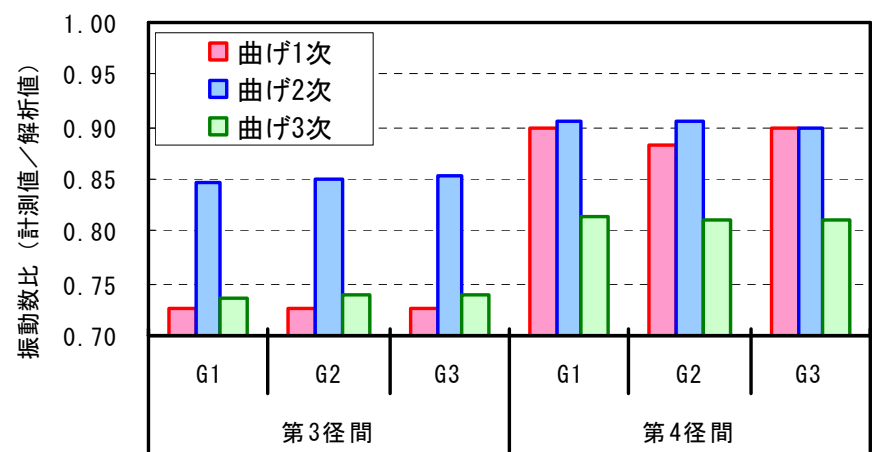
地覆部の圧壊



主桁に多数の曲げひび割れ

3径間目の損傷状況

- ◇津波の越流により、4径間のうち2径間が落橋
- ◇落橋していない径間のうち、3径間目の損傷が顕著



健全時の解析値に対する固有振動数比(振動モード:曲げ)【速報値】
 (解析値(梁モデル):1次 4.22Hz, 2次 16.88Hz, 3次 37.98Hz)

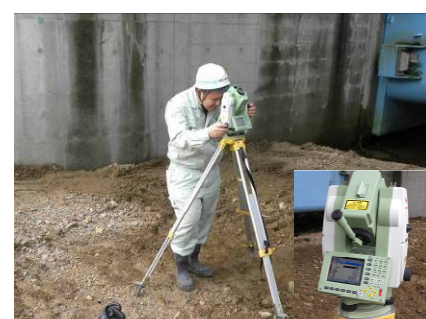
【CAESARメンテナンス技術交流会メンバーへのフィールド提供】



振動計測(かけや打撃による加振)
(愛媛大学)



弾性波速度測定(橋軸方向)
(社) iTECS技術協会



光波測量器によるひび割れ計測
(関西工事測量(株))



デジタルカメラによるひび割れ計測
(首都高技術(株))

鋼床版疲労き裂の非破壊調査法の開発および適用性調査

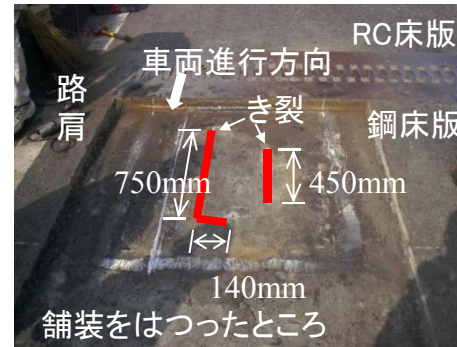
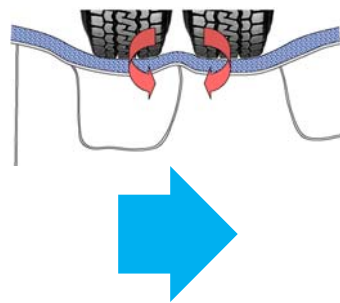


背景

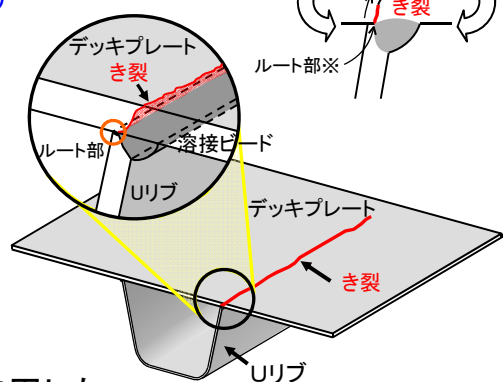
- 重交通路線の鋼床版橋において、U型リブの溶接部からデッキプレートに進展するき裂の報告事例あり。
- 目視では確認困難な部位に発生しており、早期に発見するための非破壊調査技術が必要。



き裂が進展するとデッキプレートの破断し、舗装の損傷や路面陥没を引き起こし車両走行に影響を与える恐れあり



Uリブの両側の溶接部に発生



※応力集中部であるルート部(溶接金属と母材の境界部であり、熱影響部でもある部分)が起点となり、デッキ内にき裂が進展

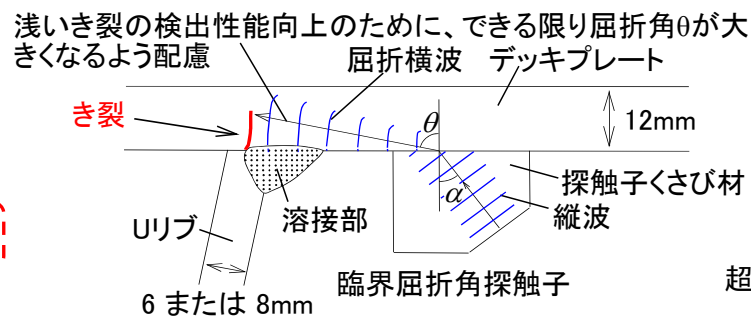
研究概要

○非破壊調査法の開発

斜角90度に近い超音波探触子を使用した調査法を開発

- ・塗膜を除去せずに精度良く探傷可能な感度調整方法の提案
- ・エコー高さによるき裂検出方法の提案

4mm程度の深さの浅いき裂を確実に検出



き裂に対する超音波探傷イメージ



超音波探傷器 自動走査装置の操作盤
現場における探傷事例

○現場での適用性の調査

《調査目的》

現場における適用性確認

《調査内容》

- ・実橋鋼床版での試行
- ・実橋からの切出部との照合による精度確認
- ・現場試行を踏まえた探傷装置・方法の改善

・検出性能を確認

・作業効率性の向上 (溶接長最大約80m/日)

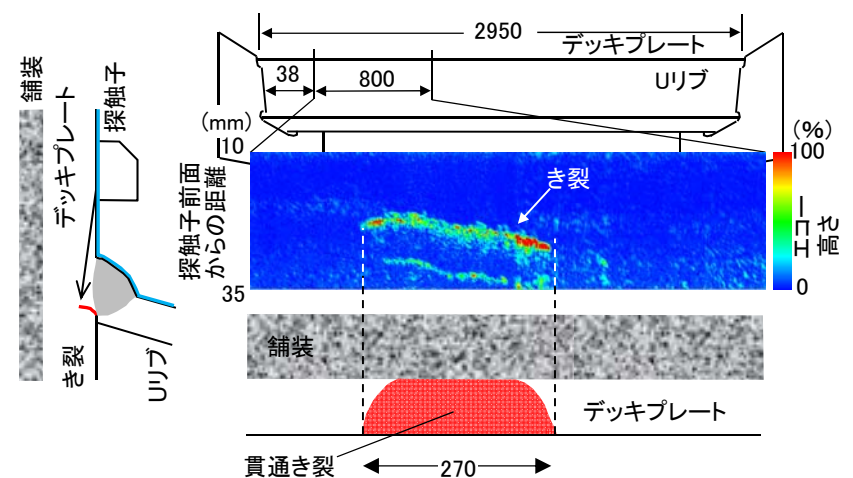


開発した自動探傷装置

調査結果

実橋名	建設年次	走査方式	調査長(m)	き裂検出の有無
G橋	S52	自動	74.2	無
SH橋	H5	自動	22.3	有※
C橋	S50	自動	195.0	有※
SK橋	H4	手動+自動	422.0	有
K橋	S53	自動	62.4	有
SW橋	S53	手動+自動	28.0	有
ST橋	S54	手動+自動	132.0	有
M橋(山側)	S57	手動+自動	121.0	有
T橋	S54	自動	193.0	有※
I橋	S55	自動	25.3	有※
SN橋	S56	自動	109.5	無
M橋(海側)	H1	自動	465.5	有

※ デッキプレート貫通き裂の有無は、舗装を剥がして磁粉探傷試験(MT)により確認
注) 点検、詳細調査により、き裂発生が報告されている、もしくは疑われている鋼床版橋を対象として調査範囲を限定して実施



実橋の探傷結果の例

関連資料 ・土研資料, 第4138号, 鋼床版デッキプレート進展き裂の調査のための超音波探傷マニュアル(案), 2009.3.
・土木技術資料, 2012.5.

ポストテンションPC橋のグラウト充填調査



■ 橋梁諸元

橋梁名	佐野橋	能生(のう)大橋	羽咋川(はくいがわ)海浜橋	T橋
路線地名	特15号線 兵庫県丹波市	国道8号 新潟県糸井川市	能登海浜自転車道線 石川県羽咋市	北海道
橋梁形式	単純T桁橋	単純T桁橋	単純T桁橋	PC中空床版橋
橋長	117.7m	136.5m	90.0m	28.7m
支間長	5@22.8m	5@27.3m	3@29.2m	28.7m
竣工年	昭和40年(1965年)	昭和41年(1966年)	昭和47年(1972年)	昭和53年(1978年)
橋梁外観				

■ 研究概要

《研究目的》

部材の一体化、鋼材の防錆に重要な役割を果たすグラウト充填の実態を確認

《調査内容》

ポストテンションPC橋のグラウト充填状況の調査

ポステンPC桁のグラウトが充填されていない箇所の鋼材が腐食している事例が報告されている。この現状を把握するため桁切断面よりグラウト充填状況を調査した。



- ・調査箇所の90%はグラウトの充填が良好
- ・上縁定着ケーブルでウェブ内に未充填が見られた。
- ・未充填箇所の鋼材腐食は見られなかった。



桁切断面の調査状況

橋梁	佐野橋	能生大橋	はくい 羽咋川海浜橋	T橋
充填状況一例	 未充填(ウェブ)	 充填不足(ウェブ)	 未充填(ウェブ)	 未充填
充填不足調査箇所	$\frac{16}{342}$ (4.7%)	$\frac{2}{64}$ (3.1%)	$\frac{8}{145}$ (5.5%)	$\frac{0}{16}$ (0%)
未充填調査箇所	$\frac{4}{342}$ (1.2%)	$\frac{0}{64}$ (0%)	$\frac{1}{145}$ (0.7%)	$\frac{1}{16}$ (6.3%)

調査結果一覧

※(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会との共同研究に基づき実施

研究目的・概要

非常に厳しい自然環境である沖縄において、沖縄県が整備・管理する離島架橋を100年余供用するための維持管理手法・技術基準の確立を目指し、「沖縄県離島架橋100年耐久性検証プロジェクト」を開始。実際の離島架橋を用い、臨床研究的手法により研究を進めている。これにより、塩害橋の予防診断手法の高度化を進めていく。

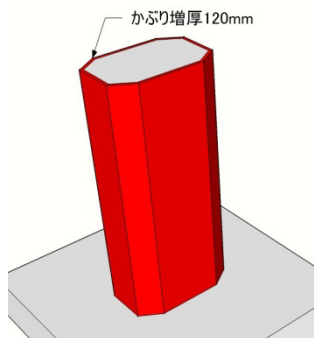
新設橋を用いた臨床研究

材料物性の変化、コンクリート中への塩分の浸透、鋼材の腐食などを長期的に計測できるように、新設橋の建設時に計測環境を整備。

伊良部大橋



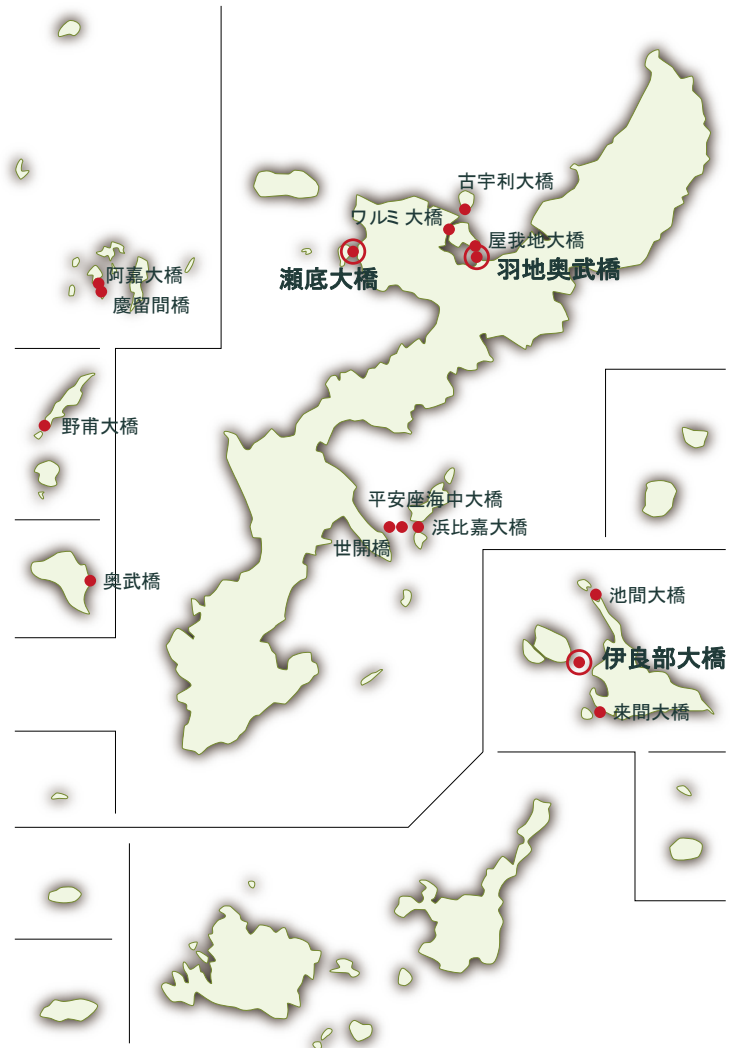
現在建設中の伊良部大橋



将来のサンプリング用にかぶりを厚くした橋脚



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



沖縄県の整備した(整備中の)離島架橋

既設橋を用いた臨床研究

既設橋梁の劣化状態などに関するデータの集積と分析

瀬底大橋

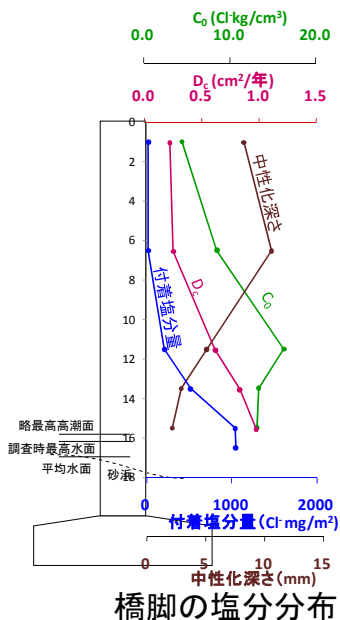
既設橋脚内の塩分濃度などの高さ方向等の分布、鋼材の腐食状況などを調査



瀬底大橋



橋脚調査状況



橋脚の塩分分布



耐震補強工事時に鉄筋の腐食度を調査

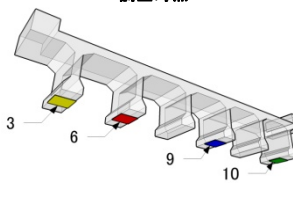
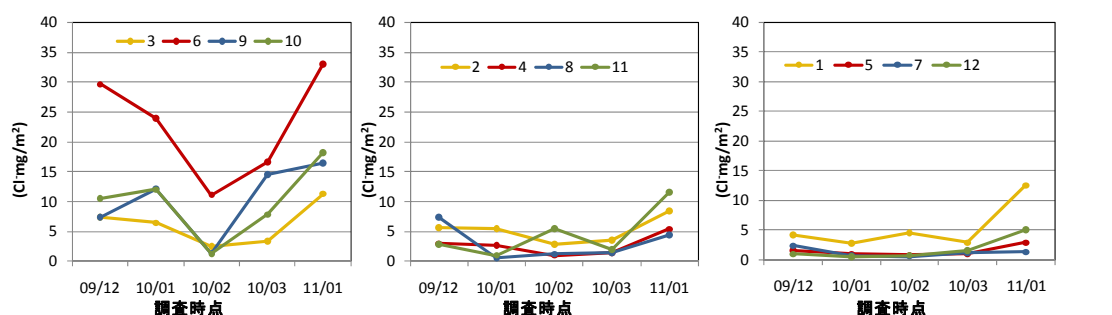
羽地奥武橋ほか

表面に付着した塩分の橋梁部位毎の違いを調査

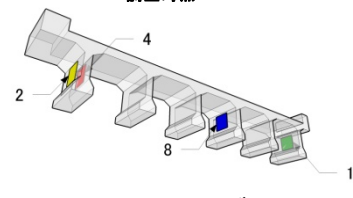


調査位置

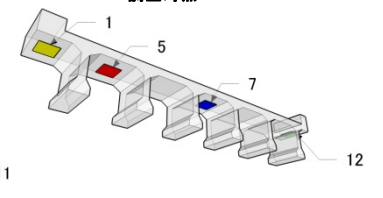
羽地奥武橋



フランジ下面



ウェブ



床版

アルカリ骨材反応で劣化した橋梁の調査



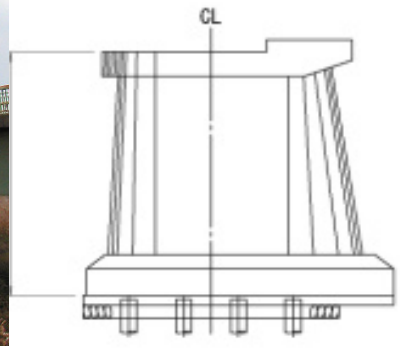
■ 橋梁諸元

橋梁名	K橋
橋梁形式	単純鋼合成箱桁橋(5径間)
橋長	258m
支間長	51.6m × 5
竣工年	昭和39年(1964年)

■ 橋梁概観・損傷状態



橋梁全景



P1橋脚

■ 研究概要

《研究目的》

ASR劣化の程度を弾性波(超音波)伝播速度の測定で把握可能か検討

《調査内容》

弾性波伝播速度測定
ひび割れが顕著な部位のはつり調査

- ・表面のひび割れ幅は大きいですが、連続したひび割れは概ねかぶりの範囲にとどまった。
- ・ただし、内部も弾性波伝播速度が低下することを確認
- ・ひび割れ幅が特に大きい部位は配筋のディティールが適切でなかった

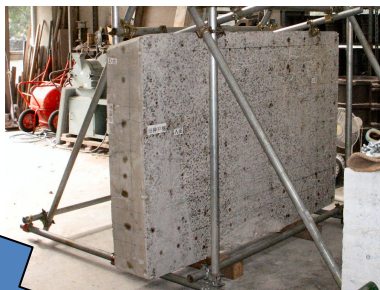
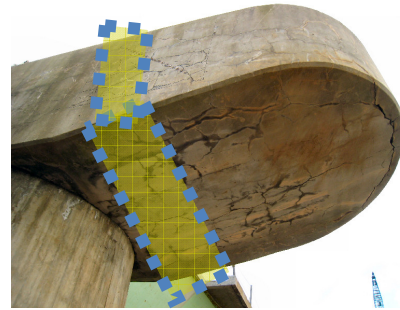


橋脚はり部(歩道橋側)

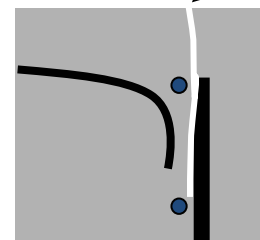


アルカリ骨材反応によるゲルの滲出

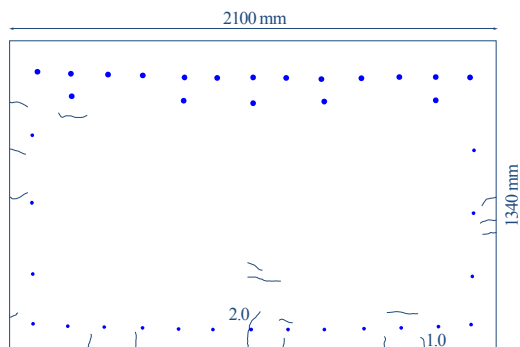
厚さ300mmの
部位を切り出し



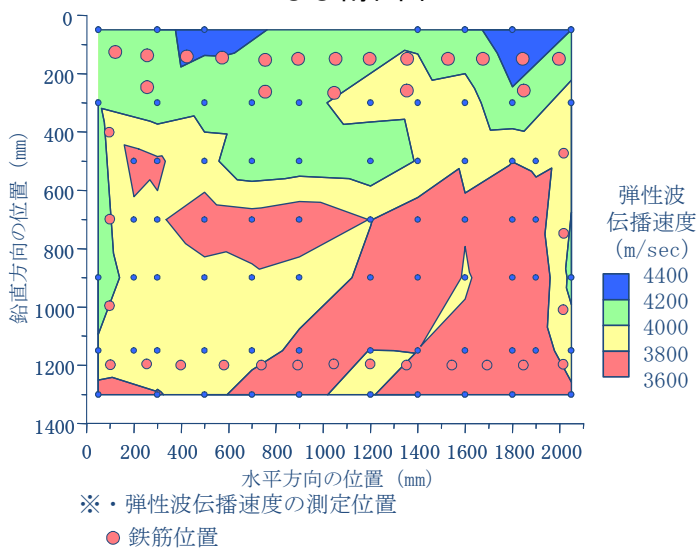
ひび割れ
位置



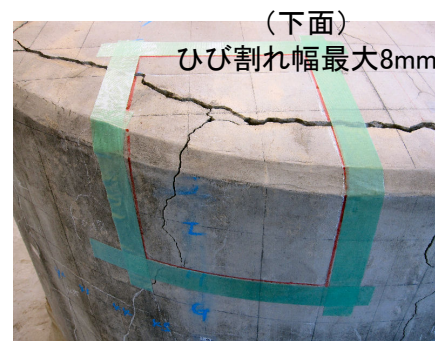
鉄筋破断は
認められず



ひび割れ図



弾性波伝播速度の分布



ひび割れが顕著な部位のはつり調査

関連資料 「ASRで劣化した実橋部材を用いた超音波法の適用性に関する検討」古賀他, 日本非破壊検査協会平成23年度春期講演大会講演概要集, 2011.5.

RC床版の舗装損傷先行型疲労損傷の調査



■ 橋梁諸元

橋梁名	S橋
路線, 地名	国道4号, 福島県白河市
橋梁形式	単純合成鉄桁橋
橋長	160m
支間長	5@31.5m
竣工年	昭和31年(1956年)

■ 橋梁概観 (補修前の路面)



■ 研究概要

《研究目的》

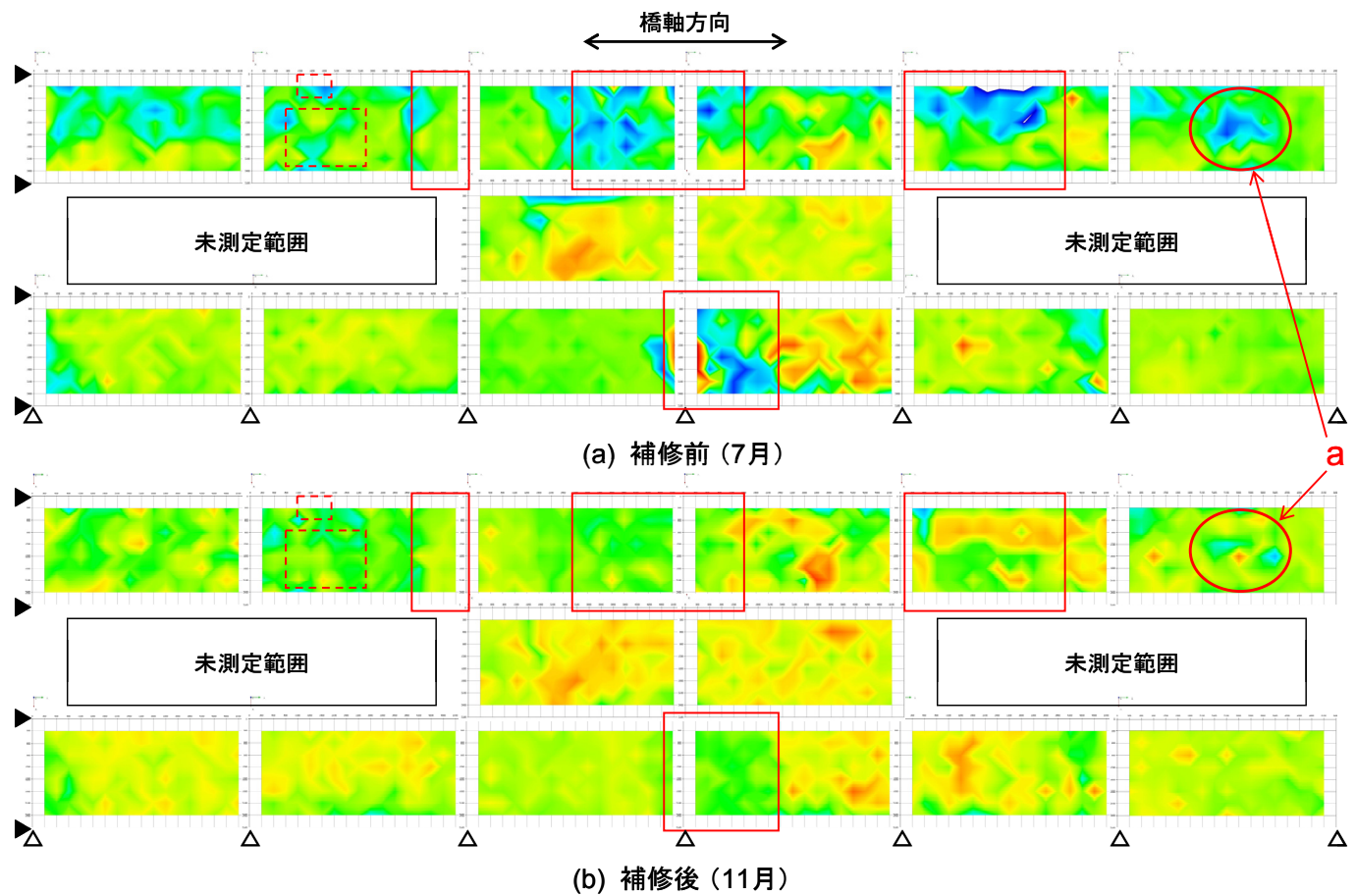
RC床版の疲労損傷が局部的に発生する事例の原因を調査する。

《調査内容》

床版下面の状況と橋面アスファルト舗装の経過観察
撤去部材を用いた材料諸元や水分の浸透性に関する調査

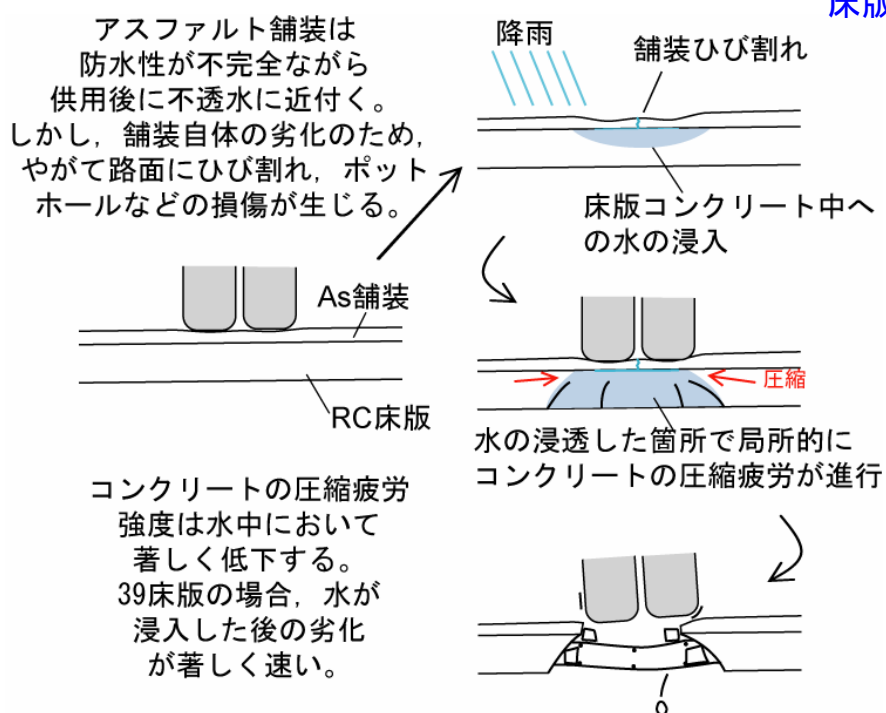
床版と舗装の経過観察の結果

- ・舗装のひび割れ箇所、床版下面の漏水が確認された
 - ・舗装全面打換え後、RC床版の含水状態が改善された
- 撤去部材の調査は継続調査中

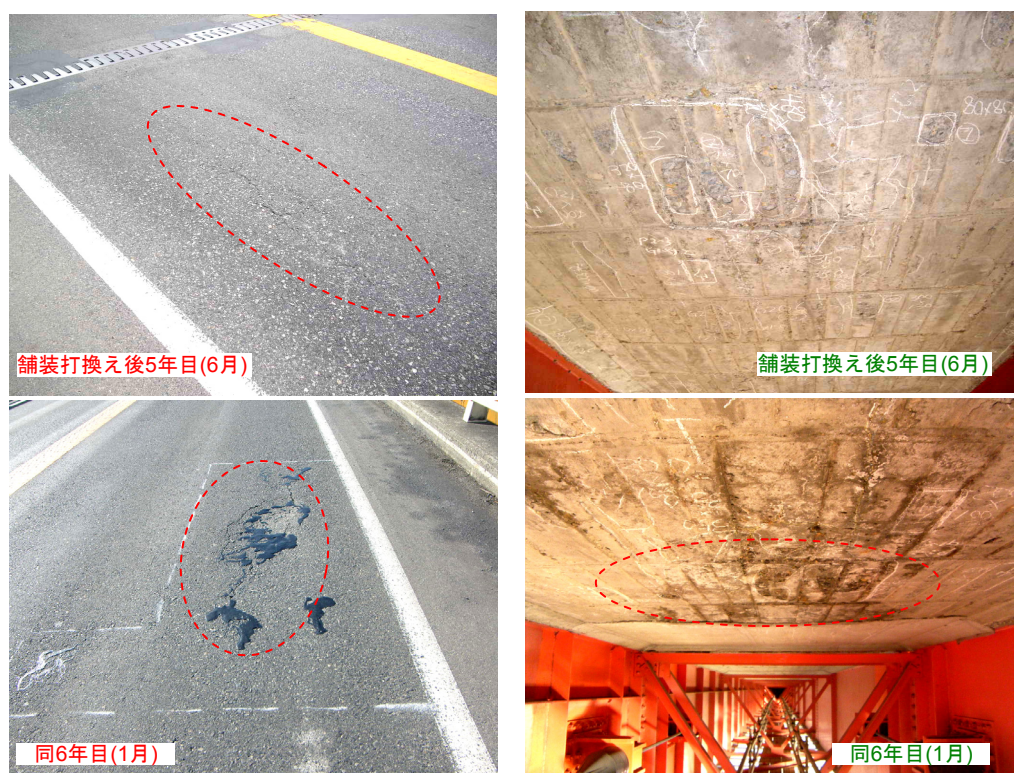


□: 床版部分打換え範囲、□: 床版上面パッチング範囲 ▲: 主桁位置(3@2.7m)、△: 対傾構位置(6@5.25m)
注 1) 含水分布は上からの透視図で示す。青が濃いほど(橙、黄、緑、青の順に)、水分が多いことを示す。
2) 8月に、床版部分打換え、床版上面の剥離箇所パッチング、防水層設置、全面舗装打換えが行われた。

床版及び舗装の補修前後における床版コンクリート下面の含水分布



舗装損傷先行型のRC床版の疲労イメージ



a点における橋面舗装と床版下面の変化

1月の写真は事務所提供

関連資料 ・橋梁と基礎, 2008.11-12. ・土木技術資料, 2011.2.

非破壊検査技術の適用性調査(鋼板接着で補修されたRC床版)



■ 橋梁諸元

橋梁名	神戸(ごうど)橋
路線, 地名	松本環状高塚線, 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)

■ 橋梁概観



床版の抜け落ち

■ 調査概要

《調査目的》

鋼板接着により補修されたRC床版の劣化に対する非破壊検査技術の適用性確認

《調査内容》

- ・鉄筋コンクリート部材に用いられている各種非破壊検査を用い、床版等を測定
- ・撤去時に床版を切断し、劣化状況を調査



- ・床版コンクリートに多数の層状のひび割れが発生。一部は土砂化。
- ・著しく劣化している部位は、電磁波レーダ法、超音波法により把握可能。

解体調査：CAESAR

床版切出し → 解体調査(協力:長野県)



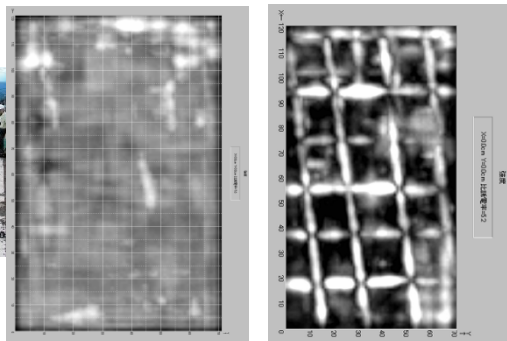
適用性
確認

床版非破壊検査：日本非破壊検査工業会

電磁波レーダ法



調査状況



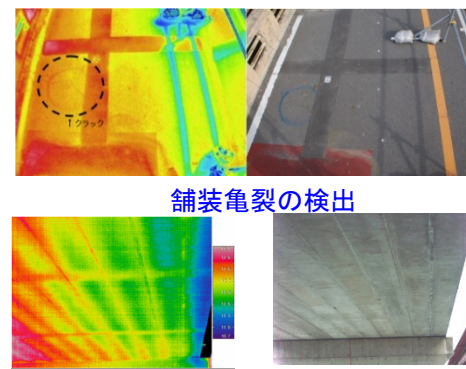
不明瞭なデータ例

明瞭なデータ例

赤外線サーモグラフィ法



調査状況

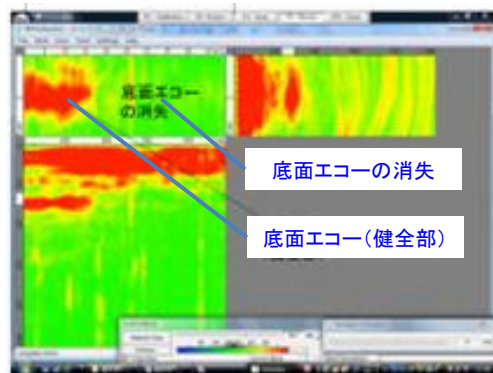


PC桁の中空部

超音波法



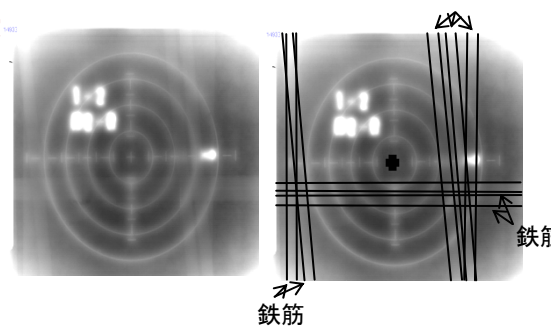
調査状況



エックス線法



調査状況



鉄筋

電圧 300kV 照射時間 6分
部材厚 65mmAs+170mmRC+6mm鋼板

関連資料 ・第7回日本非破壊検査工業会技術討論会討論概要集, 2011.7.

軸方向ひび割れが発生したプレストレストコンクリート橋の調査



橋梁概要

橋梁名	A 橋	B 橋 (歩道橋)
路線名	市道	市道
交差条件	河川	県道
橋長	33.09m (支間長 2×15.9m)	52.10m (支間長 18.3+33.0m)
橋梁形式	単純PCプレテン中空床版橋 (2連)	2径間連続PCポステン中空床版橋
竣工年	1983年11月 (供用29年)	1980年5月 (供用32年)
構造図		
桁側面写真断面図		

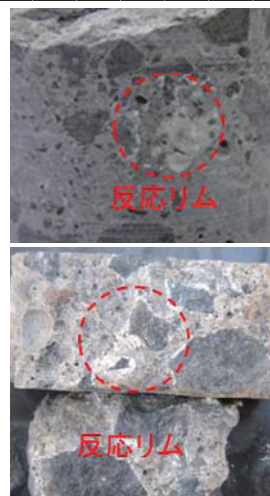
研究概要

《研究目的》

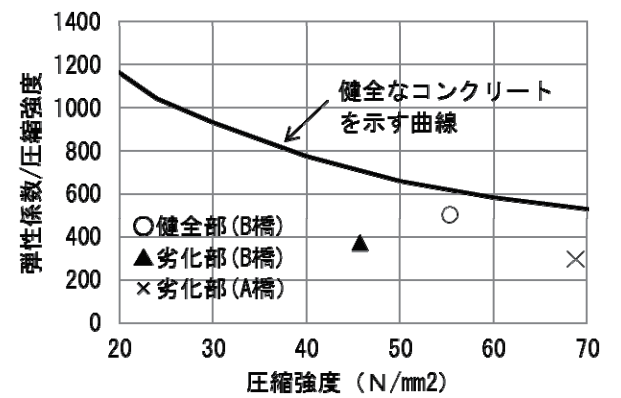
軸方向ひび割れが発生したPC桁について、ひび割れ性状とひび割れが構造に及ぼす影響を確認

《調査内容》

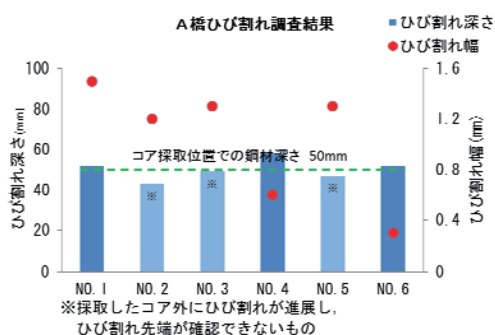
調査項目	A 橋	B 橋
ひび割れ位置・幅・深さ	目視, クラックスケール, コア削孔箇所にて棒状スキャナ	
圧縮強度/静弾性係数	コア採取による圧縮強度試験	
ASR調査	コア表面の目視調査	
	SEMによる反応性骨材観察, EDSによる構成元素の定性分析	
静的載荷試験	荷重車両による静的載荷	



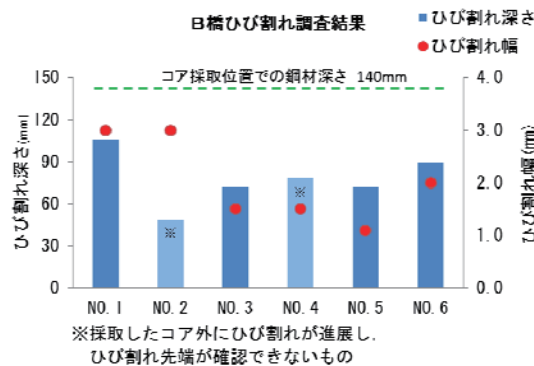
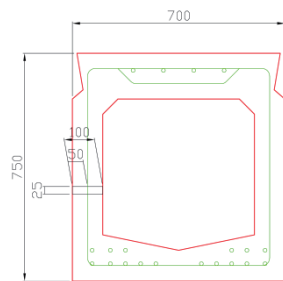
コア表面 (上:A橋, 下:B橋)



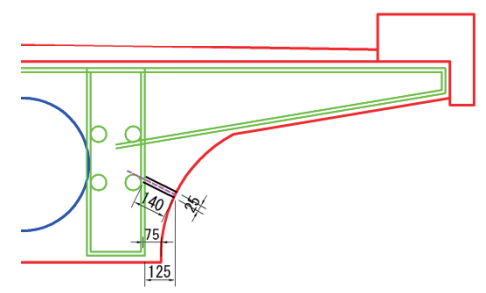
圧縮強度-静弾性係数



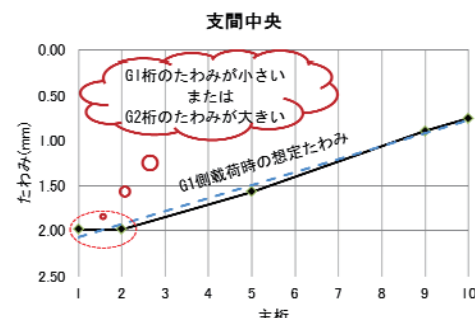
A 橋ひび割れ調査結果と配筋概要図



B 橋ひび割れ調査結果と配筋概要図



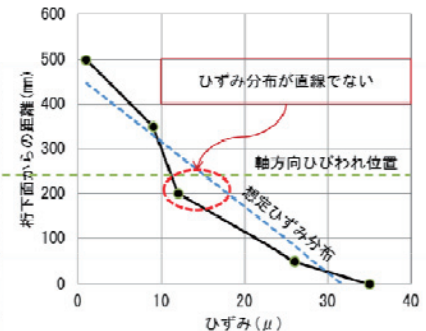
A 橋載荷試験状況



橋軸直角方向たわみ分布



G1桁側面ひずみ分布



- 軸方向ひび割れの深さは、概ねせん断補強鉄筋程度で、部材を貫通したひび割れまでは至っていない。
- 骨材周辺の滲出物や静弾性係数の低下より、ひび割れの発生原因としては、ASRが考えられる。
- 載荷試験よりG1桁とG2桁の劣化による微妙な違いが計測された。ただし、載荷重量範囲内においては、橋梁全体系として大きな剛性低下までは至っていない。

関連資料 「軸方向ひび割れが発生したプレストレストコンクリート橋の調査(その1・その2)」土木学会全国大会, 2012.9.

古い年代の鋼材の材料・強度特性調査



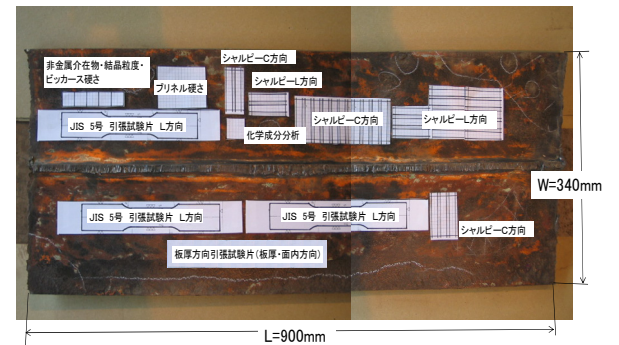
研究背景・目的

- 古い年代に建設された橋梁に用いられている鋼材は、現在の鋼材と異なる面があり、既設橋の診断や補修時において材料強度特性に配慮が必要。
 - 重交通路線では疲労による鋼主桁の破断事例が報告されており、重大損傷を未然に防ぐために、既設橋の鋼材特性を踏まえた疲労損傷に対する維持管理手法の構築が必要。
- ⇒古い年代の鋼材の材料・強度特性の把握と、これに基づく疲労損傷に対する緊急性判断の目安となる指標の検討。



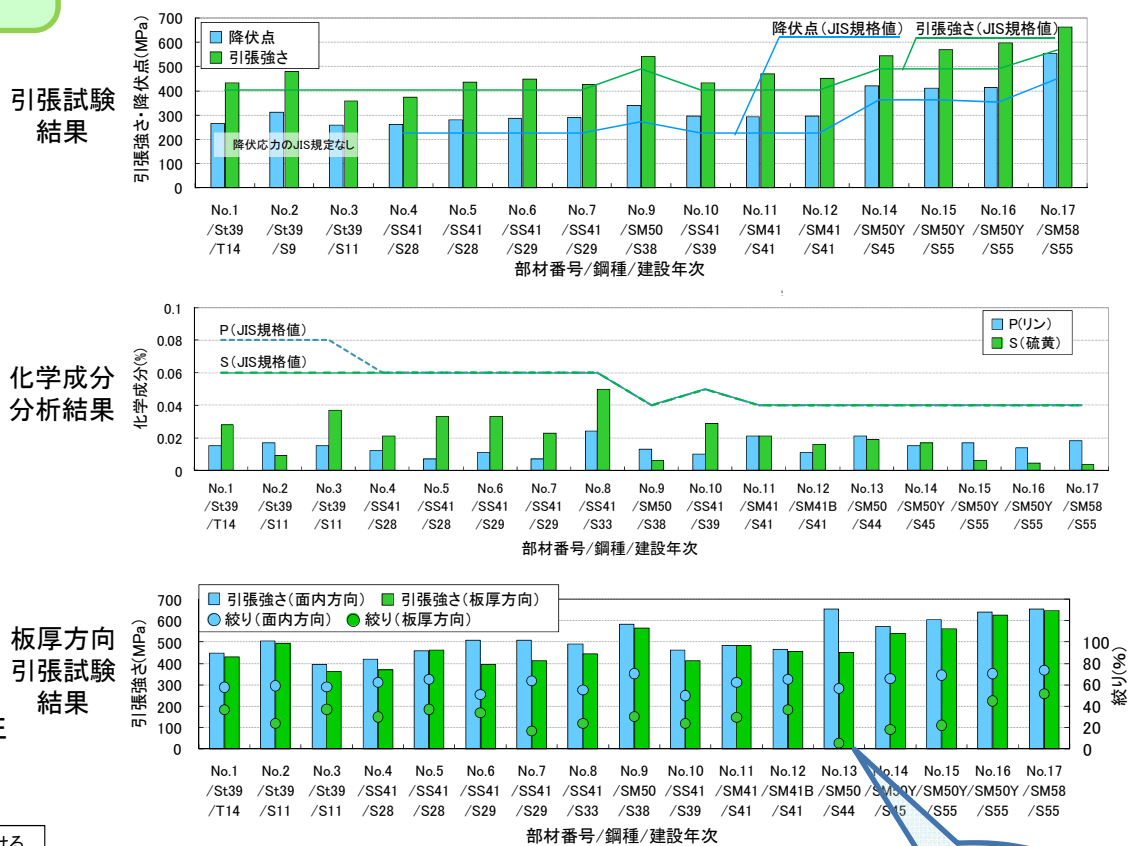
調査内容

- 古い年代に建設された鋼橋の撤去部材を基に、各種材料試験を実施
- ◇調査対象
大正10年代～昭和50年代の撤去橋梁部材(15橋,17鋼材)を年代毎に選定
- ◇調査項目
静的強度(引張試験, 板厚方向引張試験)
破壊靱性値(CTOD試験, シャルピー試験)
化学成分分析等



調査結果

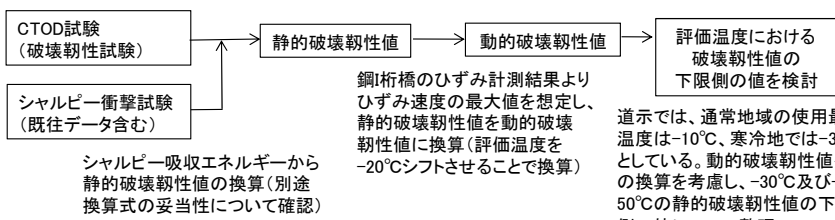
- 既設鋼材の材料・強度特性の基礎データの把握、蓄積(年代毎の傾向, 診断・補修 補強時の留意事項の把握)
- 化学成分や機械的性質(引張強さや降伏点等)JIS規格は概ね満足するものの、板厚方向の強度特性(絞り値)が極端に低い鋼材が存在
⇒補修溶接の適用困難



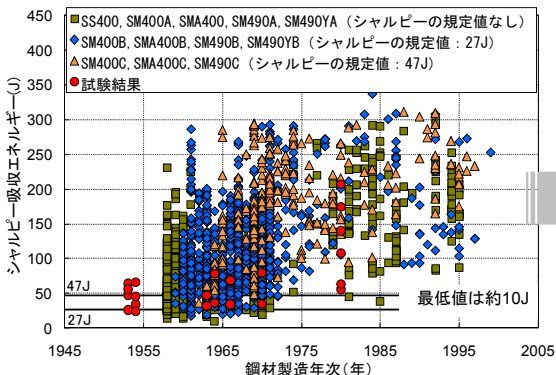
限界き裂長の検討

- 破壊靱性値(き裂に対する材料抵抗値)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下限側の値を整理
- 鋼桁橋の面外ガセット溶接継手を対象に、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限界長さ(限界き裂長)を試算
⇒点検における主桁継手のき裂の早期発見・対処の重要性

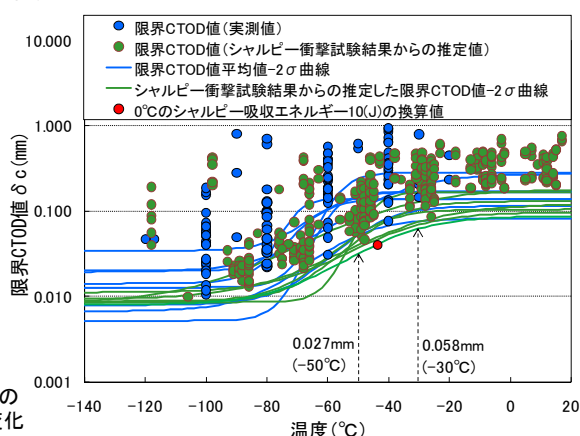
<破壊靱性値の検討フロー>



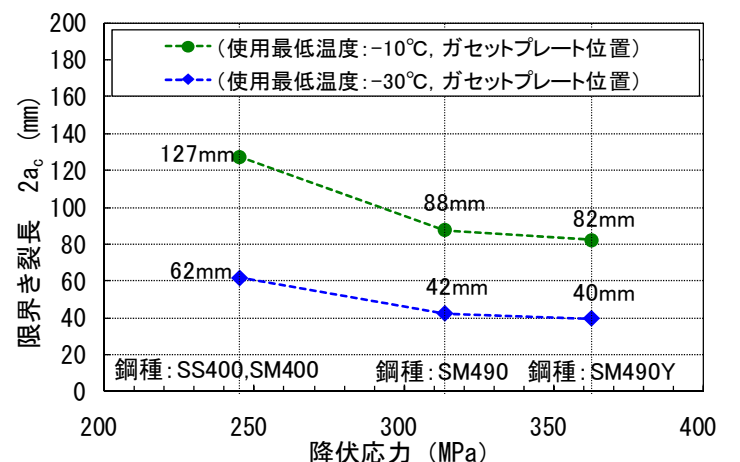
<シャルピー衝撃試験結果>



<CTOD試験結果>



対象溶接継手とき裂



既往データの出典: 一宮充他: 既設構造物の鋼材の年代的な特徴とその溶接性について(その2) - 鋼材のシャルピー吸収エネルギーの年代変化 - 土木学会第58回年次学術講演会講演概要集, I-485, 2003.9.

関連資料・鋼構造論文集 第19巻 第73号 2012.3. pp.53~64

<限界き裂長の試算結果>

撤去RC床版を用いた路面からの水の浸透に関する調査



■ 橋梁諸元

橋梁名	K橋
路線, 地名	国道9号, 島根県出雲市
橋梁形式	単純鋼合成箱桁橋
橋長	258m
支間長	5@51.6m
竣工年	昭和39年(1964年)

■ 橋梁概観 (撤去前の路面と床版下面)



床版の顕著な劣化は見られなかった



撤去床版の提供 ↓

■ 調査概要

《調査目的》

RC床版中への水の浸透は、床版の疲労損傷や塩害などを引き起こす(あるいは促進する)ことから、その浸透過程と調査方法を把握する。

《調査内容》

水張り試験を行い、打継目の影響を含めて、床版下面の含水状態を経時的に調査

- ・アスファルト(As)舗装の有無が、水の浸透に大きく影響すること、特にAs舗装のない打継目の漏水は水張り開始直後に生じることを確認
- ・水分計による測定結果は、既設橋の調査結果と合わせて報告予定



As舗装あり (green) As舗装なし (red)

水張り後3カ月目, 打継目の内部

舗装あり側は、舗装の微粒分で黒い部分が多かった。舗装なし側は、微粒分が洗われていた。

関連資料 ・土木技術資料, 2012.7.

RC橋脚の発錆限界塩化物イオン濃度に関する調査



■ 橋梁諸元

橋梁名	旧温海川橋
路線, 地名	国道7号, 山形県鶴岡市
橋梁形式	単純ポストテンションPC橋
橋長	70m
支間長	3@23.3m
竣工年	昭和46年(1971年)

■ 橋梁概観 (調査対象の橋脚)



撤去直前の状況
(供用後34年)

■ 調査概要

《調査目的》

RC橋脚は上部構造に比べてかぶり
が厚いことが多く, その場合に発
錆限界塩化物イオン濃度が大きい
と言われることから, 実証データの
蓄積を行う。

《調査内容》

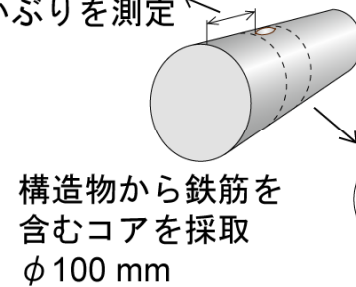
塩害を受けた橋脚の四方八方から,
鉄筋が中心となるようにコアを採取
して, 個々の鉄筋の周囲のコンク
リート中の塩化物イオン濃度, かぶり,
鉄筋の腐食程度を測定する。

・同程度の塩化物イオン濃度であって
も, かぶりの違いによって, 腐食の程
度が異なる, という結果が得られた。



コア採取状況

コア側面
かぶりを測定



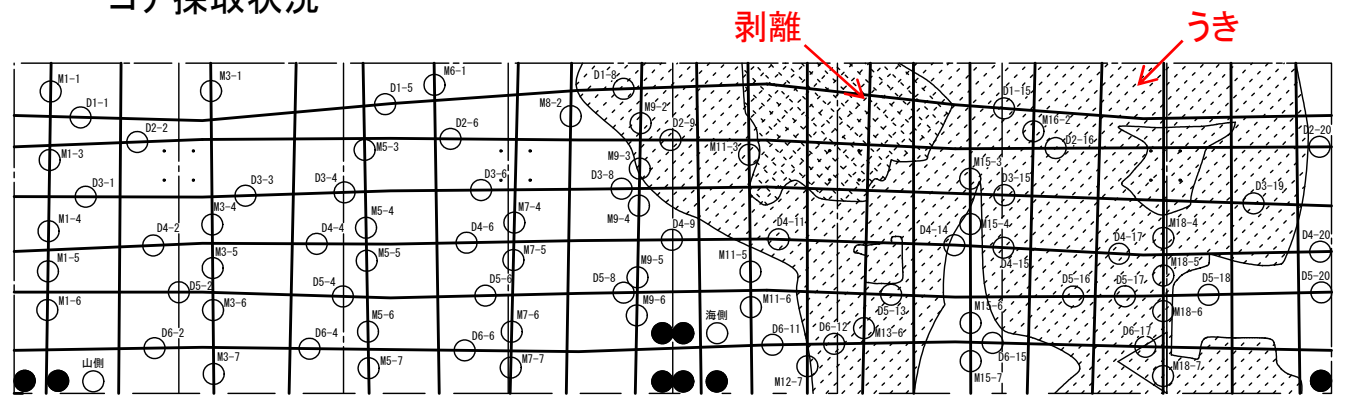
構造物から鉄筋を
含むコアを採取
φ 100 mm



鉄筋の観察,
除錆前後の質量測定

鉄筋周囲の
コンクリート中
の塩分分析

試料採取の概要



橋脚の配筋, 浮きとコアを採取した位置(柱側面の展開図)



採取したコア

錆落とし後
の鉄筋

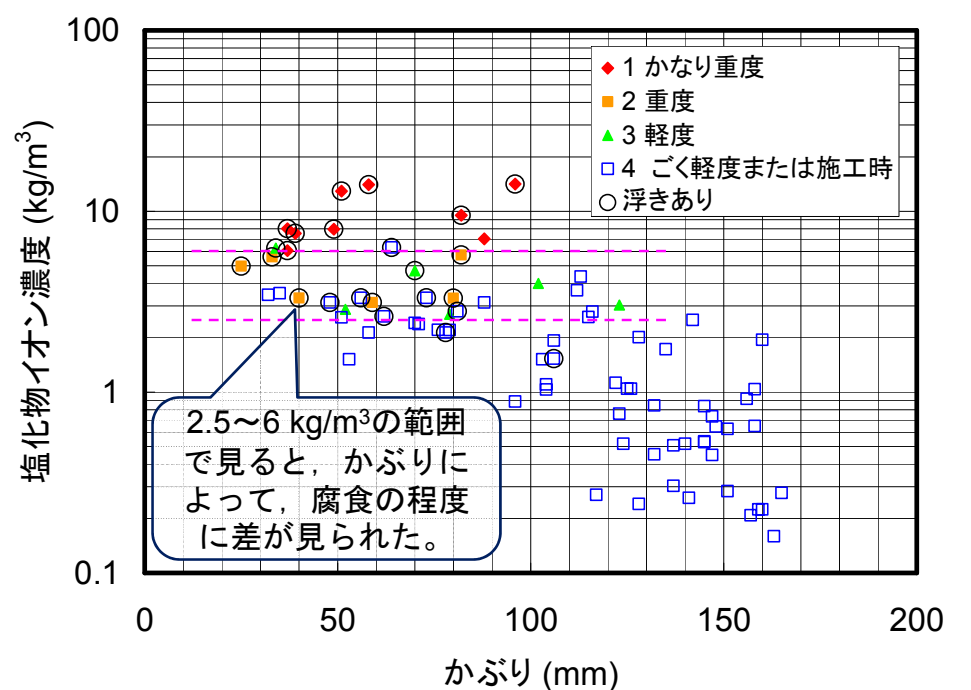
錆落とし前

ほとんど
腐食なし

軽度の
腐食

重度の
腐食

撤去橋脚の鉄筋の腐食程度



撤去橋脚のコア抜き調査結果
(鉄筋周囲の塩化物イオン濃度, かぶりと鉄筋
の腐食状況の関係)

CAESAR臨床研究に関する文献リスト



● 損傷メカニズム・損傷要因

試験・調査内容		参考資料
鋼部材の腐食	塗装鋼材のさび層内の塩分量調査	・土研資料, 4142号, 2010.3. ・鋼道路橋塗装・防食便覧資料集, 道路協会, 2010.9
	鋼コンクリート境界部の腐食状況調査	・土木技術資料, 2010.4.
	鋼橋桁端部の腐食の耐荷力への影響に関する調査	・土研資料, 4142号, 2010.3.
鋼部材の腐食疲労等	古い年代の鋼材の材料・強度特性調査	・鋼構造論文集第19巻第73号, pp.53~64, 2012.3
PC橋のひび割れ	軸方向ひび割れが発生したPC橋の調査	・「軸方向ひび割れが発生したプレストレストコンクリート橋の調査(その1, その2)」, 土木学会全国大会, 2012.9.
RC床版の疲労	路面からの塩分浸透に関する調査	・橋梁と基礎, 2008.11-12. ・土研資料, 4160号, 2010.1.
	SFRC補強されたRC床版の解体調査	・土研資料, 4160号, 2010.1.
	橋面アスファルト舗装の透水性に関する調査 既設RC床版の含水状態に関する調査	・橋梁と基礎, 2008.11-12. ・土研資料, 4160号, 2010.1. ・土木技術資料, 2011.2. ・土木技術資料, 2012.7.

● 診断技術(損傷を有する橋梁の全体挙動の評価、モデル化手法)

橋梁名	試験・調査内容	参考資料
旭橋	・現地載荷試験(荷重車) ・その他(材料強度試験、非破壊検査技術の適用性調査)	・土研資料, 4175号, 2010.7. ・土木技術資料, 2010.7. ・構造工学論文集, Vol.56A 2010.3. pp.710~721. ・鋼構造シンポジウム2010 2010.10. pp.431~436. ・コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第9巻, pp.45-50, 2009.10.
銚子大橋	・現地載荷試験(荷重車)、 ・撤去格点部腐食量計測、載荷試験 ・SFRC床版上面増厚部の付着試験	・土木技術資料, 2011.2. ・共同研究報告書, 429号, 2012.1
長橋	・撤去RCT桁の載荷試験 ・解体調査	・土研資料, 4233号, 2012.8.
能生大橋	・現地動的的特性確認試験(車両落下、重錘落下、常時微動) ・解体調査	・「プレストレストコンクリート道路橋の振動計測(一般国道8号能生大橋)」北野他, 土木学会全国大会, 2011.9.
桜橋	・現地載荷試験(荷重車、起振機)	・土研資料, 4207号, 2011.10 ・第14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 2011.7. pp.65~70.
神戸(ごうど)橋	・撤去RC主桁の載荷試験 ・材料諸元と劣化に関する解体調査	・「劣化した鋼板接着補強RC桁の耐荷力試験」, 吉田他, 土木学会全国大会, 2011.9.
倉谷橋	・撤去RC床版桁の載荷試験 ・材料諸元と劣化に関する解体調査	・土木技術資料, 2011.2.
相見川海浜 自転車道橋	・撤去PC桁の載荷試験 ・解体調査	・「塩害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」松沢他, 土木学会全国大会, 2012.9.

● 調査技術(目視困難な損傷の非破壊検査技術、監視技術の適用性、適用方法)

試験・調査内容	参考資料
鋼床版デッキプレート進展き裂の超音波探傷法の適用性調査	・土研資料, 4138号, 2009.3. ・土木技術資料, 2012.5.
腐食部位の板厚減少量に関する調査	・土研資料, 4142号, 2010.3.
崩落に至るまでの変状モニタリング(辺野喜橋、損傷状況)	・橋梁と基礎, 2009.11. pp.55~60.



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)
<http://www.pwri.go.jp/caesar/>

305-8516
茨城県つくば市南原 1-6
電話 029-879-6773
FAX 029-879-6739
e-mail caesar@pwri.go.jp