# CAESARの臨床研究事例

CAESAR

国立研究開発法人土木研究所
構造物メンテナンス研究センター

# CAESAR 臨床研究事例　目　次


CAESAR における臨床研究 …… 1

旧築別橋（塩害により損傷した PC 橋の現地載荷試験）New …… 2
伊良部大橋（沖縄県離島架橋での臨床研究）Revised …… 3
五福 4 号橋（老朽化により撤去された RCT 桁の疲労載荷実験）New …… 4
和瀬川橋（塩害により損傷した PC 橋の振動測定と耐荷力評価）New …… 5
大石川橋（施工時の応力計測）New …… 6
プレキャストカルバートに作用する土圧計測 New …… 7
宮古橋（津波の影響を受ける橋梁の挙動分析）New …… 8
神戸橋（床版コンクリートの水平ひび割れの原因調査）New …… 9
扇の坂橋（痕跡調査による橋梁の損傷メカニズムの分析，熊本地震）New …… 10
俵山大橋（痕跡調査による橋梁の損傷メカニズムの分析，熊本地震）New …… 11

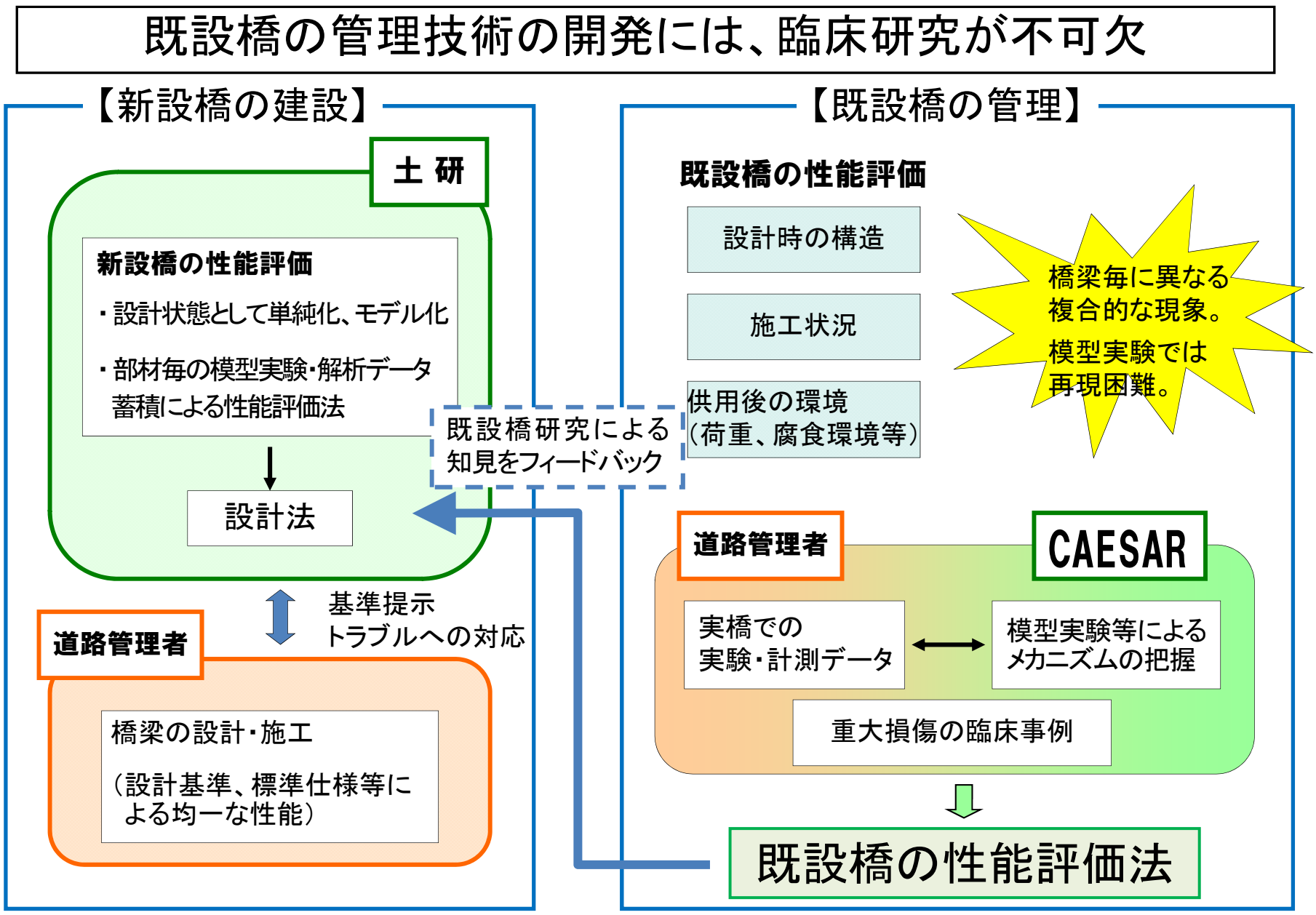
被害実態を踏まえた津波が橋梁に及ぼす影響の検討 New …… 12
ゴム支承の経年劣化による特性変化からみる耐久性能の検証 New …… 13
既製 RC 杭の耐荷性能検証 New …… 14
電気防食を実施している橋梁の調査結果 New …… 15
鋼床版疲労き裂の超音波探傷法の開発 Revised …… 16
超音波を利用した鋼床版 U リブ内滞水調査法 Revised …… 17
撤去 RC 杭の調査（ひび割れ、鋼材の腐食）New …… 18
RC 床版上面の土砂化に関する調査 New …… 19
コンクリート橋桁端部用排水装置の開発 Revised …… 20

CAESAR 臨床研究に関する文献リスト …… 21

# 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。





## 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。

表紙の説明

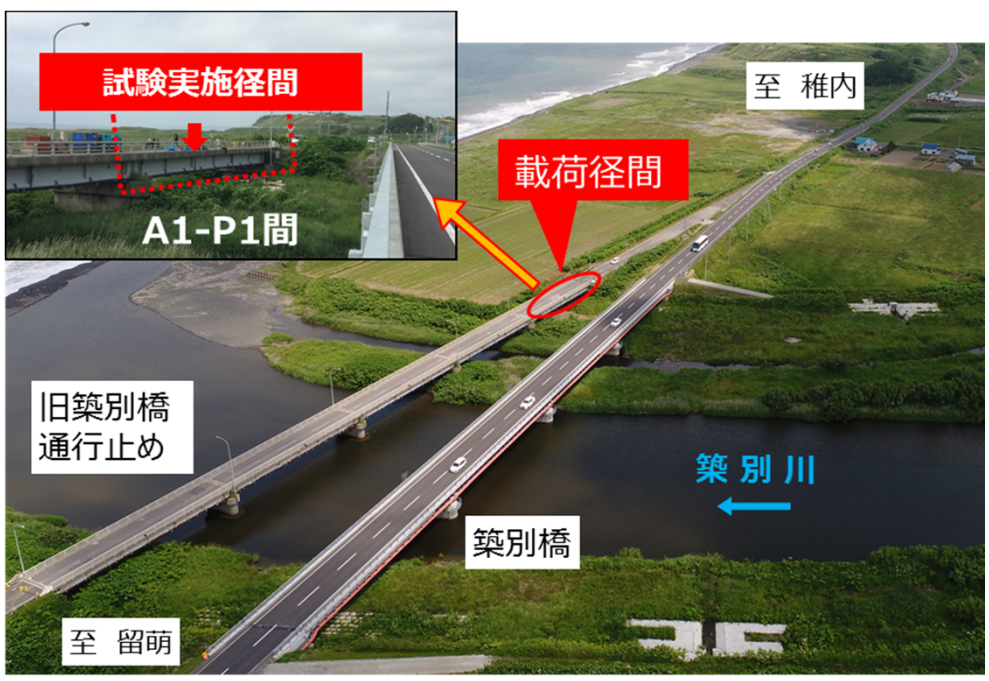
地図上の記号は、CAESARがこれまでに臨床研究の対象とした橋の位置を示します。撤去された部材の一部は、つくばの撤去部材保管施設（右写真）などに搬入して、臨床研究における試験、調査や、維持管理技術の研修に役立てています。

# 旧築別橋（塩害により損傷したPC橋の現地載荷試験）

## ■橋梁諸元

| | |
|---|---|
| 橋梁名 | 旧築別(ちくべつ)橋 |
| 路線，地名 | 国道232号，北海道苫前郡羽幌町 |
| 橋梁形式 | 単純PCポステンT桁橋 |
| 橋長 | 180.3m（支間割　34.3m@5径間） |
| 支間長 | 34.3m |
| 竣工年 | 昭和35年(1960年) |

## ■橋梁概観

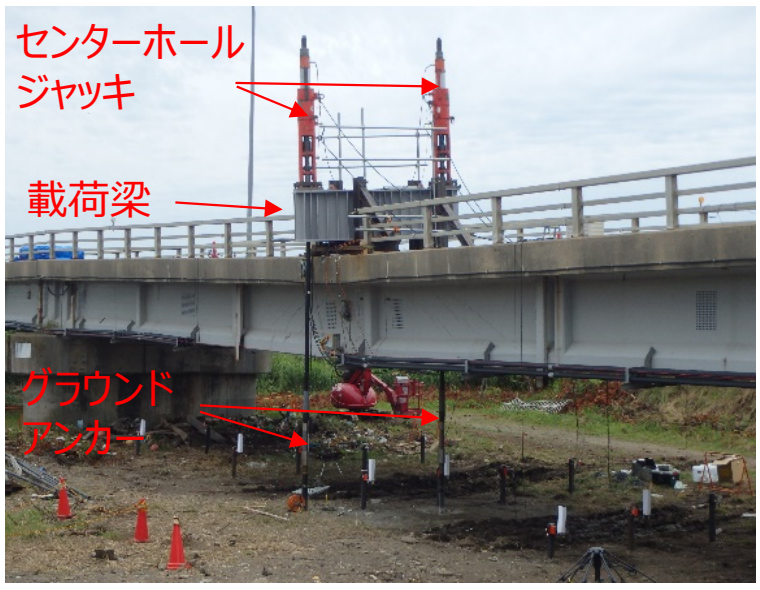



## ■研究概要

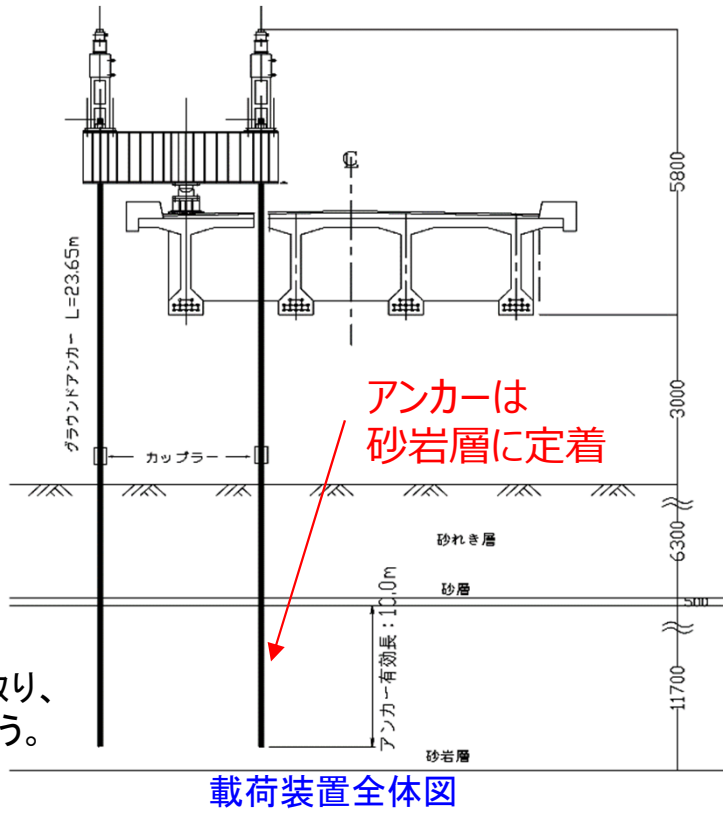
**≪研究目的≫**
橋梁全体の耐荷力、終局状態の力学性能の検証を行う。

**≪調査内容≫**
実橋載荷試験を実施し、耐荷力確認、終局に至るまでの全体挙動の確認を行う。

・終局荷重の確認
・複数主桁間での荷重分配効果の把握（各主桁のたわみ、ひずみから）
・終局時の破壊性状の確認
・各載荷段階での復元性の確認

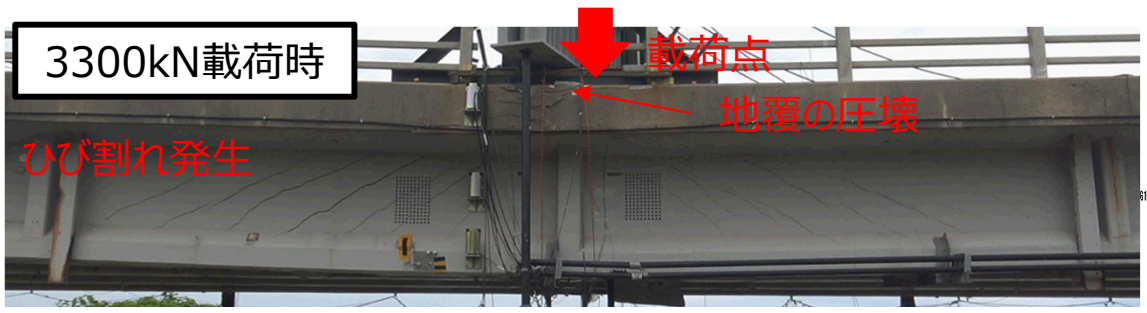


載荷装置の全景

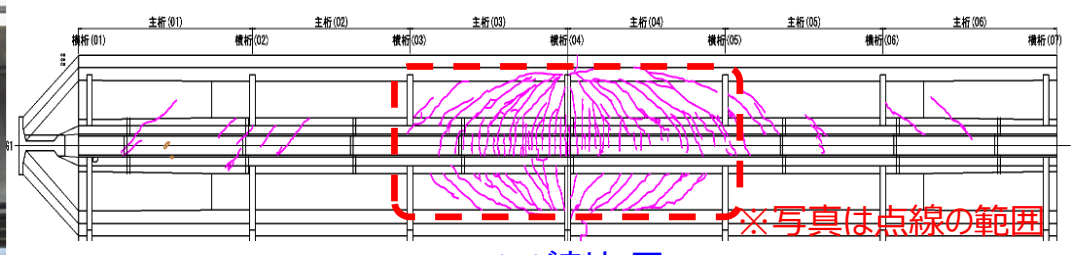


載荷装置全体図

耐力2500kNのグラウンドアンカー2本で載荷反力を取り、2台の3000kNセンターホールジャッキにより載荷を行う。

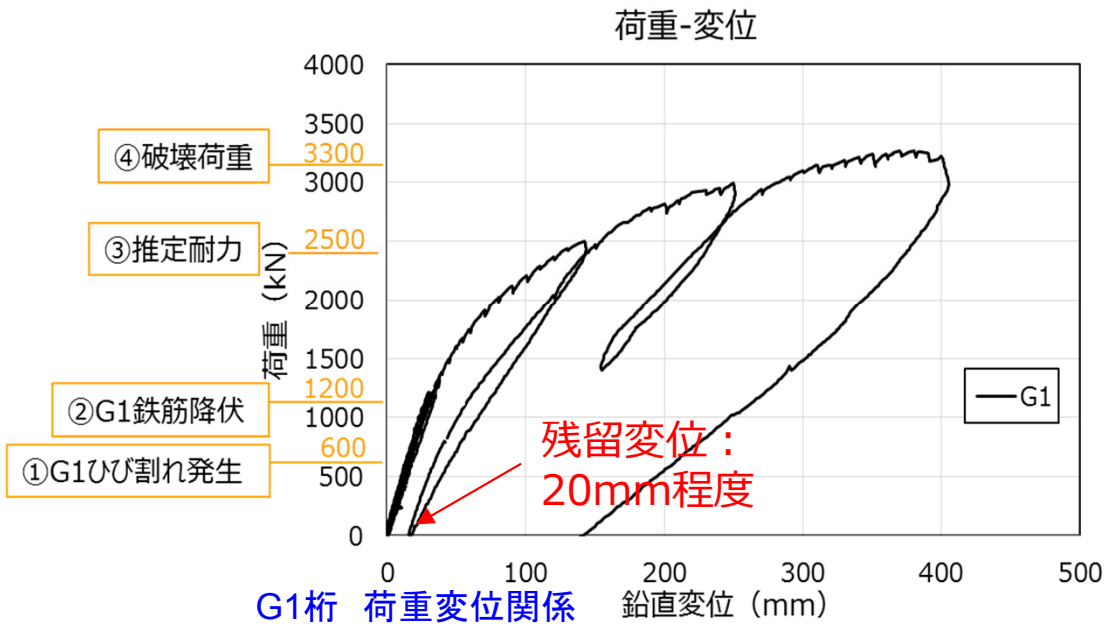


最大荷重時：ひび割れ状況

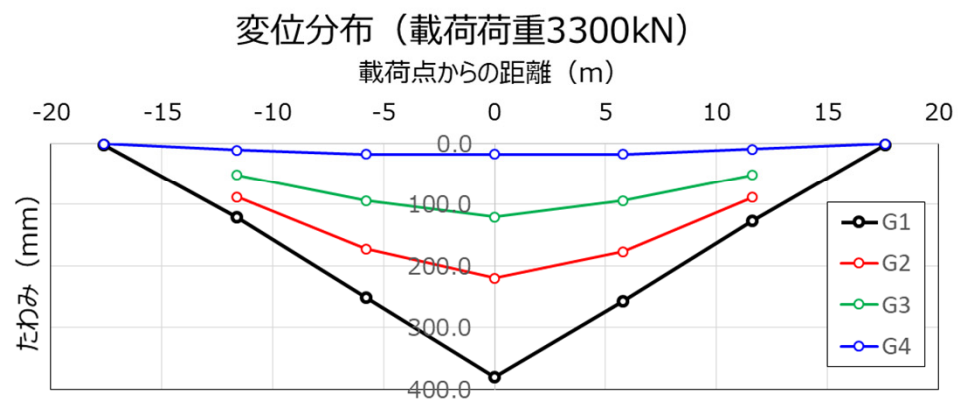


ひび割れ図

・橋梁は推定耐力の1.3倍以上の耐力をもつ。
・支間中央の横桁～隣接する横桁間を中心に，ウェブにせん断によるものと思われるひび割れが発生。



G1桁　荷重変位関係



最大荷重載荷時の各桁変位

・2500kN載荷後の除荷時においてもG1桁の残留変位は20mm程度であり，PC構造特有の高い復元性を維持。
・G1が終局に至った後においても、G1桁に載荷された荷重が横桁を介して他の主桁に分配され，橋梁全体はすぐさま破壊には至らない。

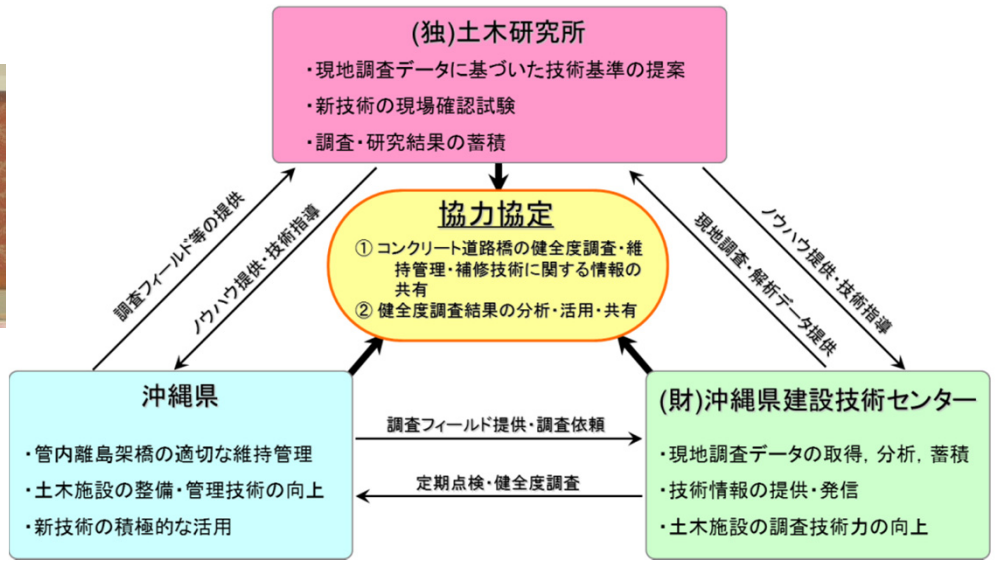
※本試験は共同研究「撤去橋梁を用いた既設PC橋の補修補強技術の高度化に関する研究（2017～2020年度）」および
SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の研究開発課題「異分野融合によるイノベーティブメンテナンス技術の開発」の一環として実施した。

# 伊良部大橋（沖縄県離島架橋での臨床研究）

## ■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。

協力協定締結式の様子



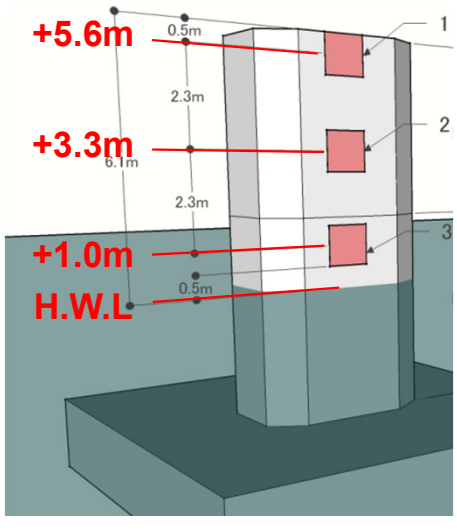

協力体制イメージ

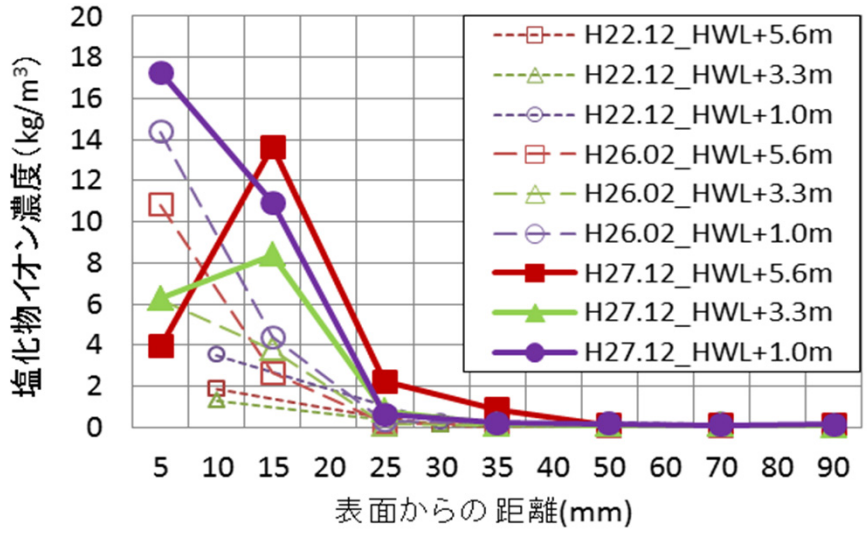
## ■新設橋を用いた臨床研究

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

伊良部大橋




P21橋脚における調査結果

沖縄県に架設された離島架橋

### 調査計画概要

| | 作用の評価（土研） | 抵抗の評価 | |
|---|---|---|---|
| | | 実橋梁試験（土研） | 暴露試験（沖縄県） |
| 普通セメント配合 | ・調査内容：飛来塩分量調査<br>・調査方法：薄型モルタル試験体による暴露試験<br>・調査項目：<br>1年間の飛来塩分量<br>季節変動（3ヶ月毎）の飛来塩分量等 | ・調査内容：塩分浸透調査<br>・調査方法：実橋コア削孔穴を利用したコア埋込による暴露試験<br>・頻度：検討中 | ・調査内容：塩分浸透調査<br>・調査方法：暴露試験<br>・頻度：5年間隔で100年間 |
| フライアッシュセメント配合（実橋配合） | | ・調査内容：塩分浸透調査<br>・調査方法：実橋コア採取<br>・頻度：2～10年間隔で100年間 | ・調査内容：塩分浸透調査<br>・調査方法：暴露試験<br>・頻度：5年間隔で100年間 |
| 調査状況写真 | <br>薄型モルタル試験体暴露状況 | <br>普通セメント配合コア供試体暴露状況 | <br>実橋配合供試体暴露状況 |

関連資料　・土木技術資料，2011.2.，同2013.10.　・土木研究所資料，第4235号，2012.8.　・橋梁と基礎，2014.10.

# 五福4号橋（老朽化により撤去されたRCT桁の疲労載荷実験）

## ■橋梁諸元

| | |
|---|---|
| 橋梁名 | 五福4号橋 |
| 路線，地名 | 富山県富山市 |
| 橋梁形式 | RCT桁橋 |
| 橋長 | 12.7m |
| 支間長 | 5.95m＋5.95m |
| 竣工年 | 昭和2年(1927年) |

橋梁の外観

## ■研究概要

**≪研究目的≫**
・劣化が進行した橋梁に対するモニタリングの適用性を確認する。

**≪調査内容≫**
・疲労載荷試験により主桁の構造劣化とセンサからモニタリングデータとの間の対応を検証する。

たわみと振動特性のモニタリングにより、本実験試験体の終局過程におけるモニタリングデータの変化が検出され、部材の終局に向かう破壊の進行をモニタリングすることができることが実証された。

### 実施した試験内容

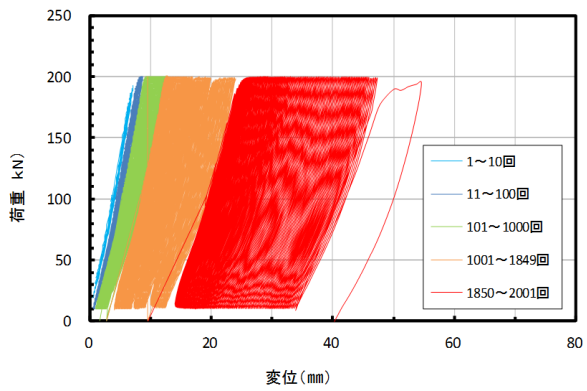
| 載荷名称 | 載荷方法 | 載荷の目的 |
|---|---|---|
| **疲労載荷** | 疲労載荷試験機により、Pmin～Pmaxの荷重振幅で、1Hz周期の動的疲労繰り返し載荷を行う<br>Pmin=10kN<br>Pmax=200kN | 車両走行による経年劣化を模擬した疲労載荷により、主桁を劣化させる。 |
| **静的載荷** | 以下の回数において0kNからPmaxまでの静的載荷を行う<br>1,10,100,1000･･･,終局後 | 静的載荷により細かい荷重ステップで計測を行う。ひび割れ状況や変状有無等の観察を併せて行う。 |
| **振動加振** | 主桁中央を5kNで上方に引張った後に除荷し、主桁に自由振動を与える加振を5回繰り返す | 振動計測を行うために主桁を自由振動させる。車両通行後の自由振動の計測に相当する。 |
| **振動センシング** | インパクトハンマー加振を行って振動計測を行う | 振動センシング技術による振動姿態解析を実施することを目的とする。 |

### 検証したモニタリング技術

| 実証対象 | 技術名 | センサ機器名 | 計測対象 | | | | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 静的載荷 | 振動加振 | 振動センシング | 疲労載荷 | |
| たわみ | 変位計測 | 変位計 | ○ | ○ | | ○ | ひずみゲージ式変位変換器<br>不動点に固定して梁の変位を測定 |
| | ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞﾓｱﾚ | ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞﾓｱﾚｶﾒﾗ | ○ | | | | 非接触遠望測定<br>測定対象に格子シールを添付し、カメラで撮影、分析 |
| 振動 | 加速度計測 | サーボ型加速度計 | | ○ | | | サーボ機構による加速度計 |
| | 固有振動数分析技術 | 無線加速度センサ | | ○ | | | 電池駆動、無線マルチホップ通信で配線フリー |
| | 低周波加速度特徴解析 | 加速度・傾斜センサ | | ○ | | ○ | 3軸加速度センサ<br>回転角も測定可能、活荷重たわみも算出可能 |
| | 振動可視化分析 | 加速度センサ | | | ○ | | 高感度センサにより対象構造物の動特性を測定 |

載荷試験の様子

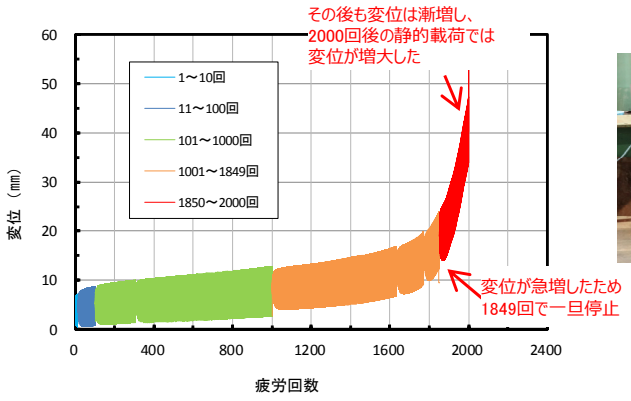
加振試験の様子




疲労載荷試験の荷重-変位関係

載荷回数1849回時点重ね継手部より発生したせん断ひび割れ

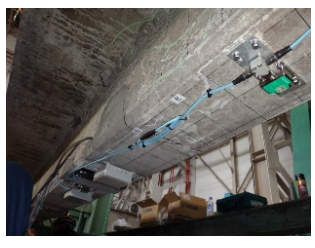
### ■ 変位計によるモニタリング



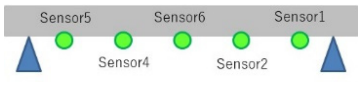

### ■ サンプリングモアレによるたわみモニタリング

変位計の測定たわみとサンプリングモアレの測定たわみはよく一致した。

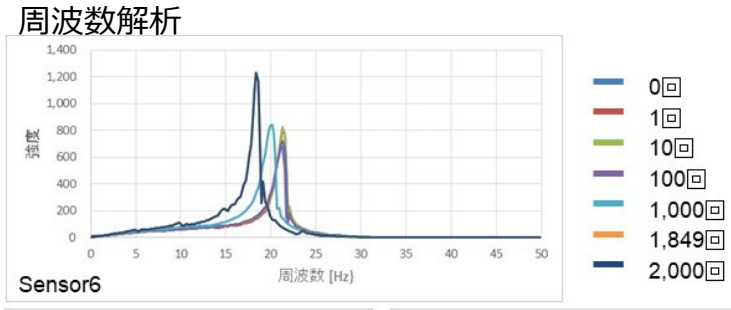
### ■ 加速度計による振動モニタリング

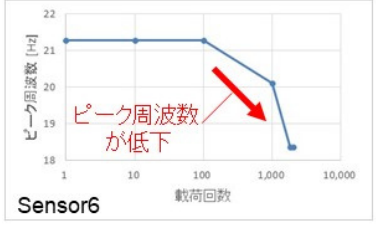


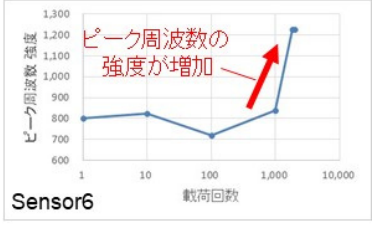
桁下面に設置した加速度センサ




周波数解析




本研究は，モニタリングシステム技術研究組合（RAIMS）が実施した研究であり，内閣府の「SIP インフラ維持管理・更新・マネジメント技術」の一環として国土交通省が実施する「社会インフラへのモニタリング技術の活用推進に関する技術研究開発」委託事業研究の成果を含む。

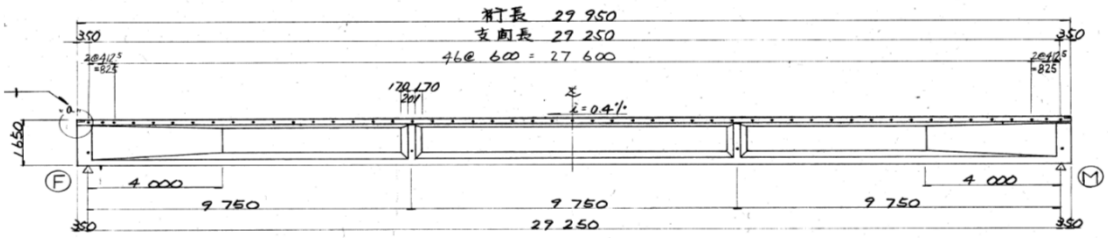
関連資料　・第73回土木学会年次学術講演会、CS9-8～10、2018
・モニタリングシステム技術研究組合平成30年度活動報告会資料

# 和瀬川橋（塩害により損傷したPC橋の振動測定と耐荷力評価）

## ■橋梁諸元

| | |
|---|---|
| 橋梁名 | 和瀬川橋（下り） |
| 路線，地名 | 国道1号線，静岡県静岡市 |
| 橋梁形式 | PC単純ポストテンションT桁橋 |
| 橋長 | 30.0m |
| 支間長 | 29.25m |
| 竣工年 | 昭和53年(1978年) |
| 補修履歴 | H20：ひび割れ注入，断面修復，表面保護，橋面防水<br>H23：外ケーブル補強(G1, G4)，ひび割れ補修，待受けベント設置 |

橋梁全景（海側より撮影）



平面図

載荷試験の様子

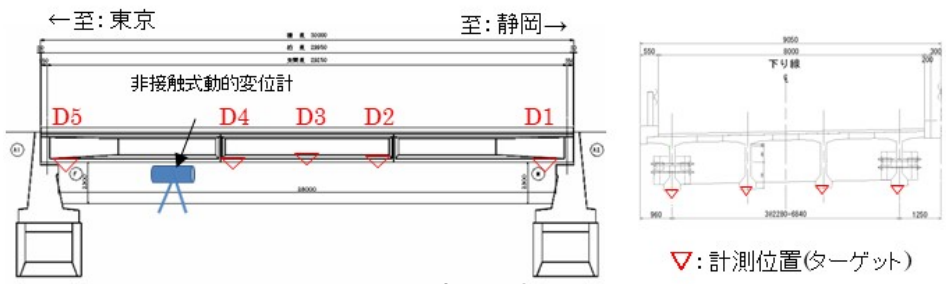
非接触式動的変位計の設置

## ■研究概要

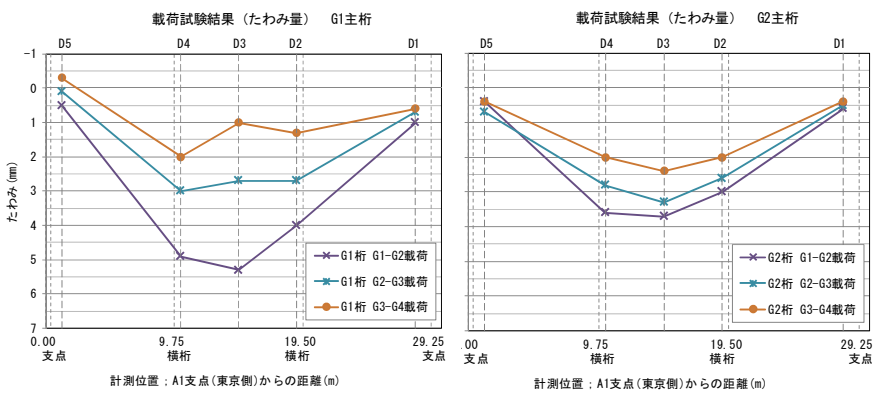
**≪研究目的≫**
塩害による損傷を受けたポストテンションPCT桁の外ケーブル補強効果の確認と残存耐荷力や損傷度の評価

**≪調査内容≫**
・重錘落下試験による振動測定
・現地載荷試験と仮想損傷モデルによる解析

・振動測定により、外ケーブル補強による主桁剛性の回復と効果の継続が確認できた。
・現地載荷試験の結果をもとに、損傷度判定手法を提案した。

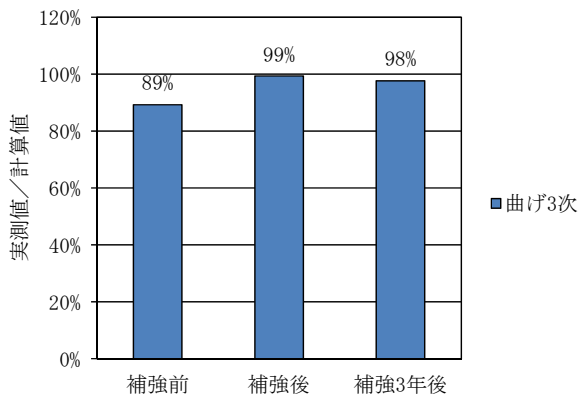



たわみ計測位置

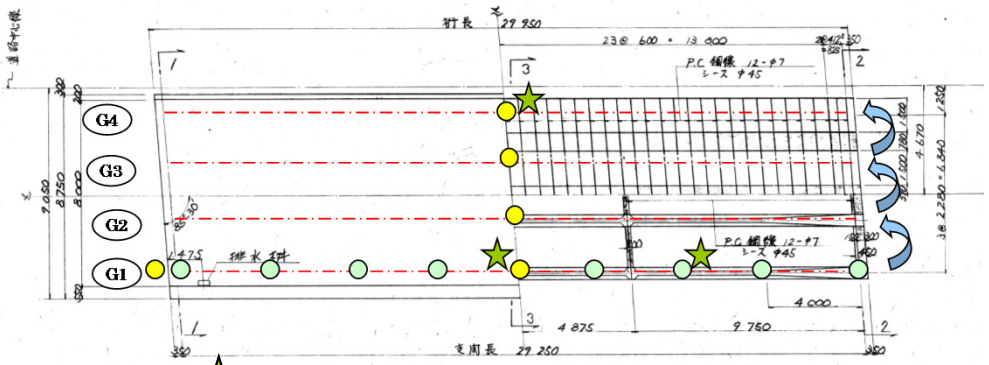



計測位置－たわみ曲線

G1主桁（G3-G4載荷時）のたわみは、支間中央部よりも横桁部の方が、横桁部の比較においてはD2よりもD4が大きな値を示している。A1橋台側の損傷の方が大きいことが一因であると推定できる。



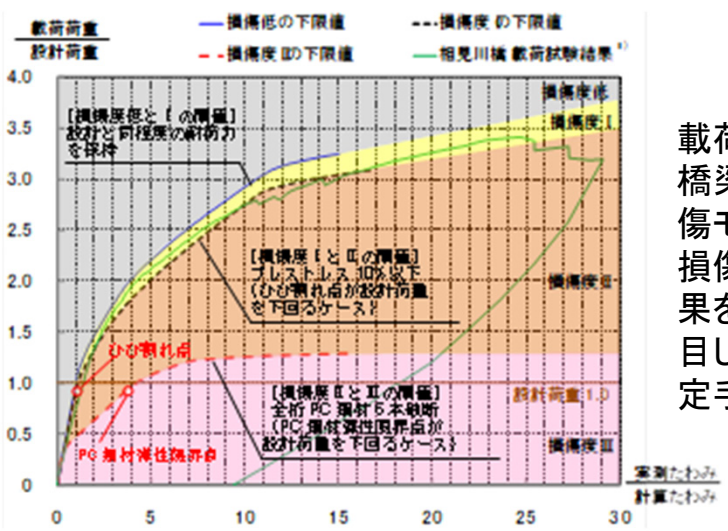

振動計測の様子　　曲げ3次振動数の推移（G4桁）




★：重錘落下位置
○：加速度計設置位置，重錘落下位置
●：加速度計設置位置，重錘落下位置（定点）

平成23年度の外ケーブル補強前後に実施された振動計測と平成26年度の撤去前に実施された振動計測の結果を比較（G4桁、加振点6/8点）

曲げ3次の外ケーブル補強前後、補強3年後の振動数の推移から、補強効果は撤去時点まで継続していることを確認。




仮想損傷モデルによる荷重-変位の関係

載荷試験結果をもとにこの橋梁をモデル化し、仮想損傷モデルを作成した。仮想損傷モデルによる解析の結果を荷重-変位の関係に着目してグラフ化。損傷度判定手法を提案した。

関連資料　・第71回土木学会年次学術講演会Ⅴ-577, 2016　　・共同研究報告書第466号,2015

# 大石川橋（施工時の応力計測）

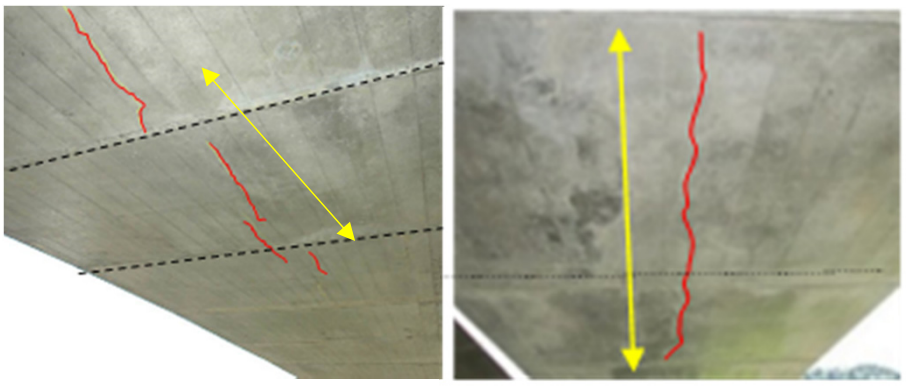
## ■研究概要

**≪研究背景≫**

•近年、一部のPC橋において、施工初期段階の応力の影響を正しく評価しなかったために、完成後間もない段階で、想定しないひび割れが生じる事例が散見される。

•施工時から構造物完成後の若材齢を対象とした施工初期段階で生じる応力の影響を総合的・客観的に評価する方法がなく、設計者の判断で個別の要因に対して、影響評価と対策の要否を判断しているのが現状である。

## 施工初期段階のひび割れ状況写真例



**≪研究目的≫**

コンクリート橋に多い施工初期段階に発生する変状の要因究明のため、張出し架設により施工されたコンクリート橋に対して、施工中における温度応力や外部拘束等によるひずみの計測を行い、初期変状の主要因の特定と変状発生リスクを低減させる対策を確立することを目的としている。

**≪研究内容≫**

・施工中の主桁上下縁主桁鉄筋ひずみ、ウェブのコンクリートひずみ、コンクリート温度、施工目地開きを1時間毎に計測し、施工中の挙動傾向を把握した。その結果、施工中の温度変化の影響が発生応力に及ぼす影響が大きいことが分かった。

・よって、計測結果と施工中の荷重や温度応力の変動を考慮した解析結果と対比することで、ひび割れ要因推定と対策を検討した。

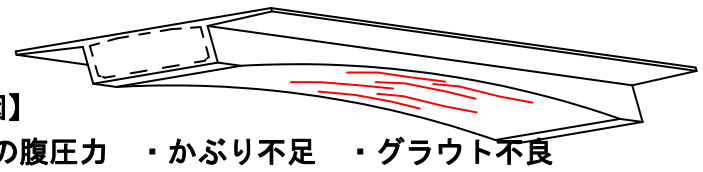
**≪研究成果≫**

・施工初期段階は、若材齢でありコンクリートの引張強度が低いため、施工時荷重や温度変化の影響が重複した場合、発生した引張応力が、引張強度を超えるとひび割れが生じる。

・よって、施工中の材齢等時系列の影響を考慮したコンクリート許容応力度を、規定することにより施工中の応力度を制限することで、ひび割れ発生リスクを低減できる提案を行った。

## ■施工初期段階のひび割れの要因（一例）

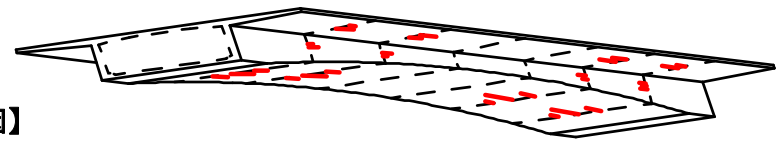
【主桁下面の橋軸方向のひび割れ】



【発生要因】

・PC鋼材の腹圧力　・かぶり不足　・グラウト不良

【主桁鉛直打継目の橋軸方向ひび割れ】



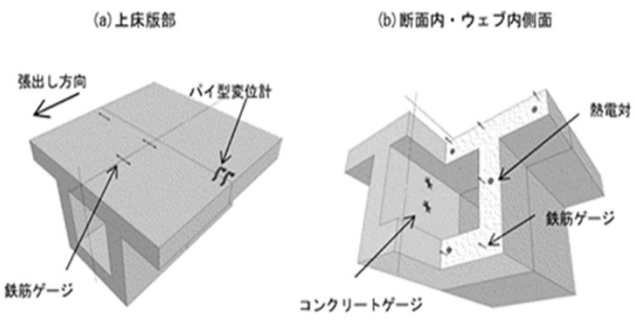
【発生要因】

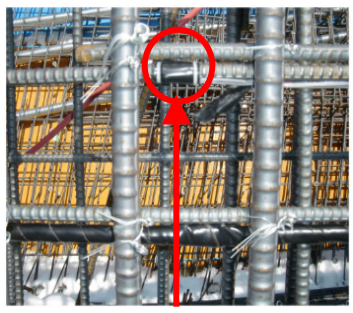
・外部拘束（打継目）　・養生時の温度差、養生不足

## ■実橋計測の橋梁概況

| 橋梁名 | 大石川橋 |
|---|---|
| 橋梁形式 | PC4径間連続ラーメン箱桁橋 |
| 架設工法 | 張出し架設 |
| 計測時期 | H26.9～H27.2 |

## ■計測機器配置

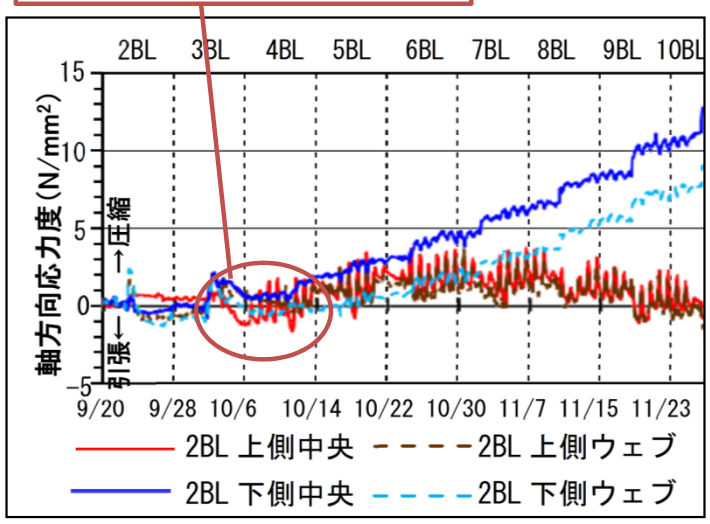


鉄筋ゲージ

コンクリートゲージ

施工初期段階で発生した引張応力のため、ひび割れ発生リスクが高くなっている。日毎に応力変動が大きく、温度変化の影響を受けている。




鉄筋ゲージの計測結果をコンクリート応力に換算した結果
(2ブロック先端側の計測結果)

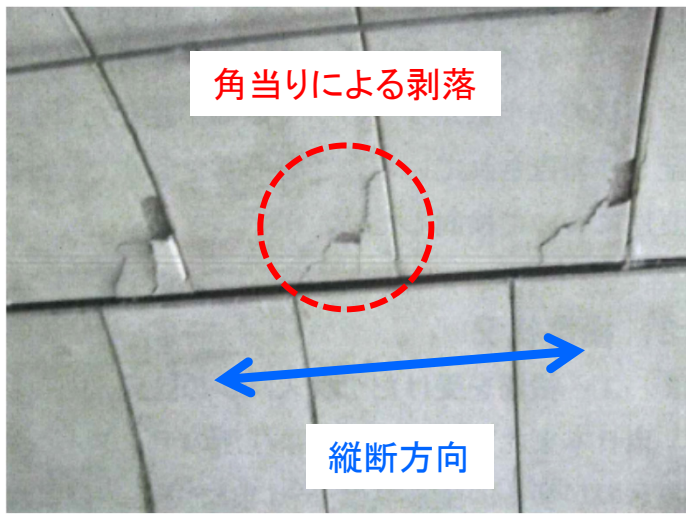
関連資料　・土木研究所共同研究報告書　第468号、2016.3.
・第24回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集、pp.189-192、2015.10.

# プレキャストカルバートに作用する土圧計測

## ■プレキャストカルバートの諸元

| | |
|---|---|
| 函渠名 | 主要地方道大船渡綾里三陸線赤崎地区第2号函渠 |
| 構造形式 | 3ヒンジ式プレキャストアーチカルバート |
| 内空断面 | 内幅10.700m × 内空高5.900m |
| 土被り | max:8.500m，min:2.000m |
| 縦断勾配 | 1.806% |

## ■主な損傷事例




## ■研究概要

**≪研究目的≫**
平成23年東北地方太平洋沖地震において，3ヒンジ式プレキャストアーチカルバートが損傷した。
この損傷のメカニズムを解明し、補強方法を提案する。

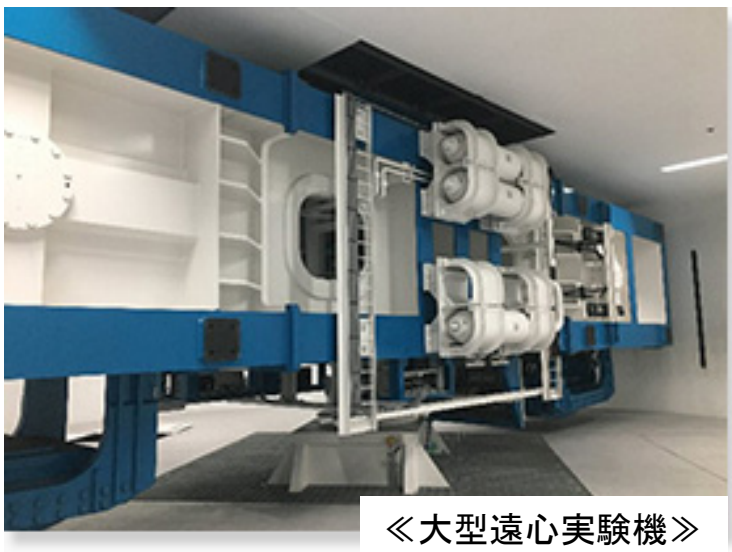
**≪動的遠心模型実験≫**
調査・分析により、カルバート縦断方向（函軸方向）の荷重が主な原因であると推定できたため、1/50モデルによる動的遠心模型実験により、これを確認したところ、推定通りであることが分かった。

**≪調査目的≫**
動的遠心模型実験では模型が小さく、カルバート縦断方向に作用する土圧を計測することが困難であるため、実構造物での計測を行うこととした。なお、鉛直土圧および縦断方向に作用する土圧を計測することとした。

・鉛直土圧は汎用型の土圧計を用いて計測する。
・縦断方向に作用する土圧は、周面摩擦計を用いて計測する。
・土圧計および周面摩擦計は、頂部ビームおよび脚部ビーム位置に設置する。

鉛直土圧と縦断方向土圧の比から補正係数αを算出することにより、簡易式を作成する。この簡易式を用いて、既設アーチカルバートの補強設計を行う。

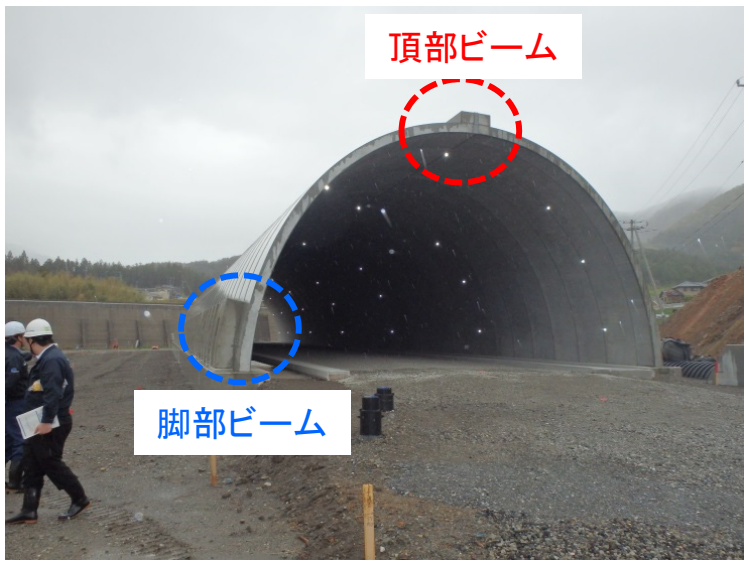
## ■動的遠心模型実験


≪大型遠心実験機≫

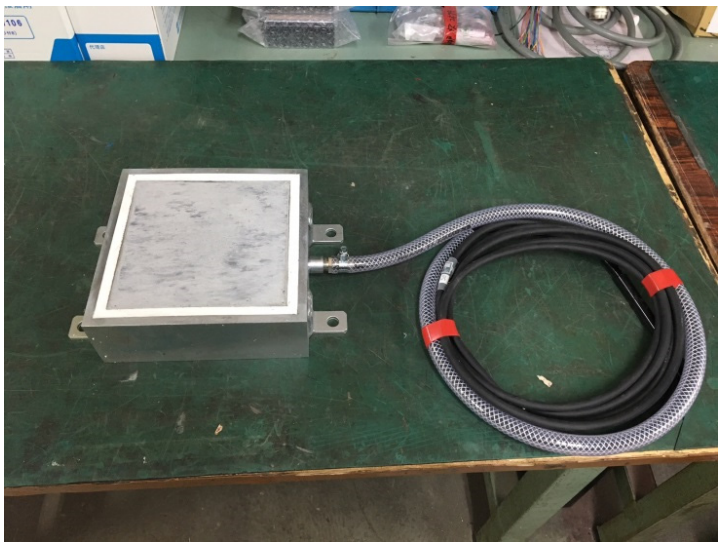
≪加振後の内部状況≫

動的遠心模型実験により、縦断方向への加振により角当りが再現できた。これにより損傷メカニズムが解明できた。

## ■対象とするアーチカルバート

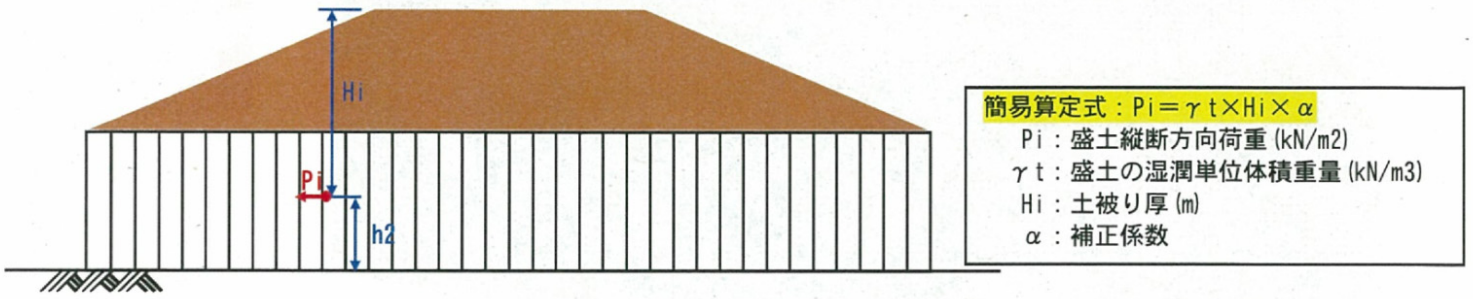



## ■周面摩擦計



## ■補強設計

■盛土縦断方向荷重の算定イメージ




本研究の対象は既設アーチカルバートであるため、カルバート内面からの補強方法を検討する。また、カルバート内面道路の建築限界を侵さないよう、繊維補強シートによる補強を確立する。

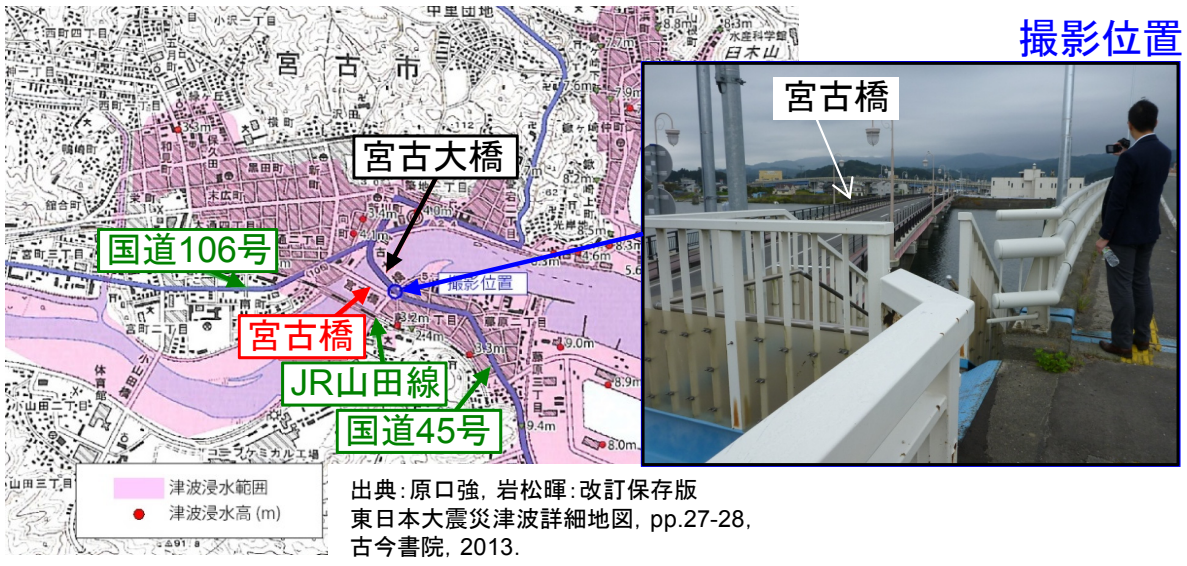
関連資料　・「動的遠心模型実験による3ヒンジ式プレキャストアーチカルバートの地震時縦断方向挙動」
土木学会第73回年次学術講演会，2018.8.

# 宮古橋（津波の影響を受ける橋梁の挙動分析）

## ■橋梁諸元

| | |
|---|---|
| 橋梁名 | 宮古橋 |
| 路線，地名 | 旧国道45号，岩手県宮古市 |
| 橋梁形式 | RCゲルバーT桁橋 |
| 橋長 | 195.6m |
| 支間長 | 22.5m+5@30.0m+22.5m |
| 竣工年 | 昭和9年(1934年) |

## ■宮古橋周辺の地図



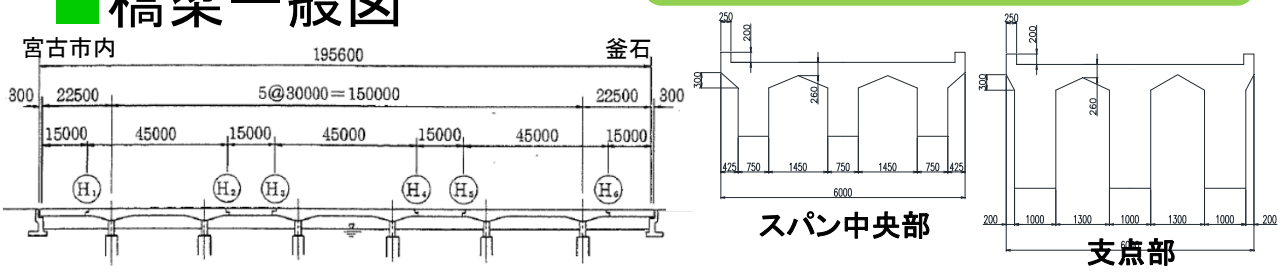

出典：原口強，岩松暉：改訂保存版
東日本大震災津波詳細地図，pp.27-28，
古今書院，2013.

## ■調査概要

**≪調査目的≫**
上部構造に作用する津波の特性と上部構造の挙動メカニズムを把握

**≪調査内容≫**
鮮明な映像で記録されていた橋周辺の津波の映像から津波特性の推定．これらを基に，上部構造の挙動を解析から検討．

## ■橋梁一般図




津波が宮古橋に作用している様子

撮影：堂園健志氏（日本鉄塔工業株式会社）

## ■宮古橋に津波が作用している様子と再現解析

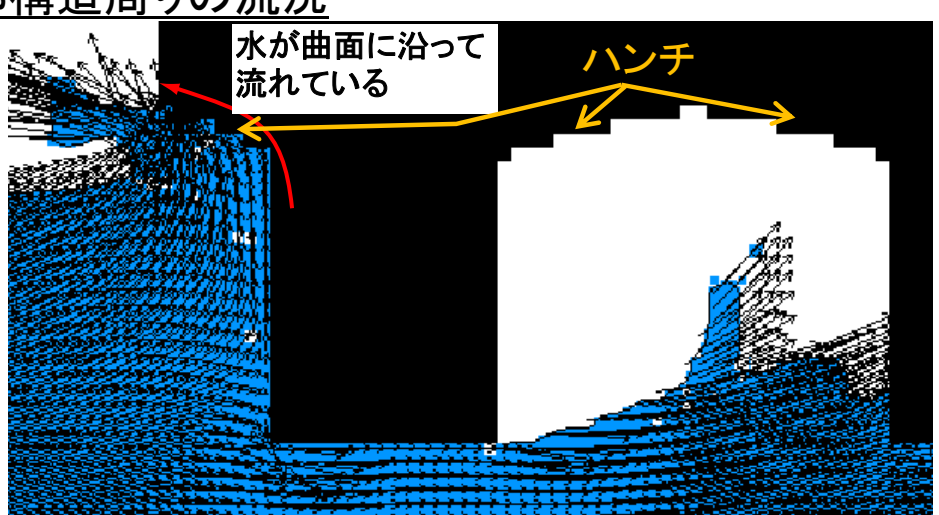
段波状の津波ではなく，波先端の水位勾配が小さい波が到達

撮影：堂園健志氏（日本鉄塔工業株式会社）

→津波が作用している様子を再現可能

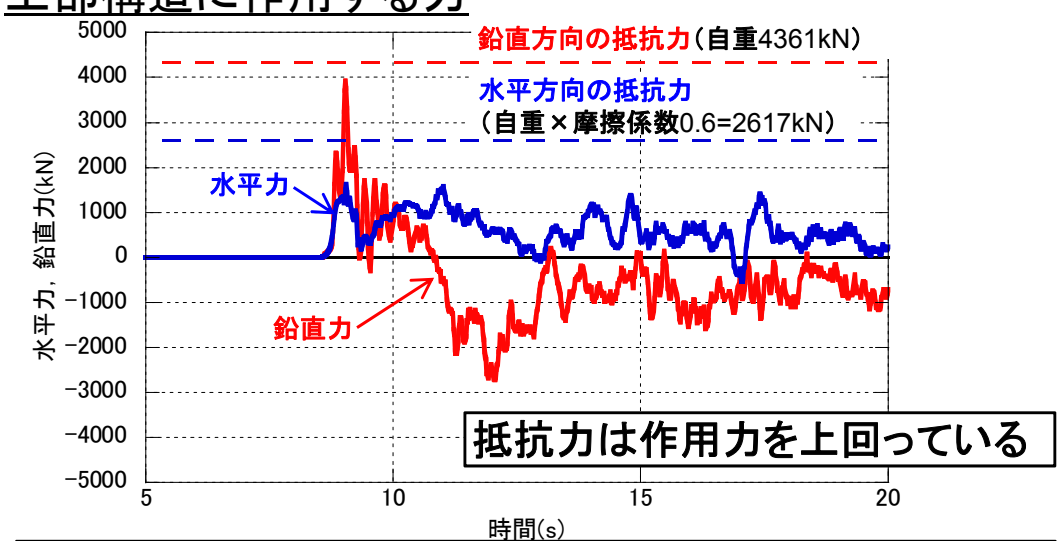
## ■上部構造の挙動メカニズムの推定

上部構造周りの流況




実際に宮古橋の上部構造は流出しなかった

上部構造に作用する力




抵抗力は作用力を上回っている

橋梁周辺の津波の映像を基に再現解析を行った結果，上部構造の挙動を推定することができた

関連資料　・土木学会論文集A1，71，p.I_317-I_328，2015.

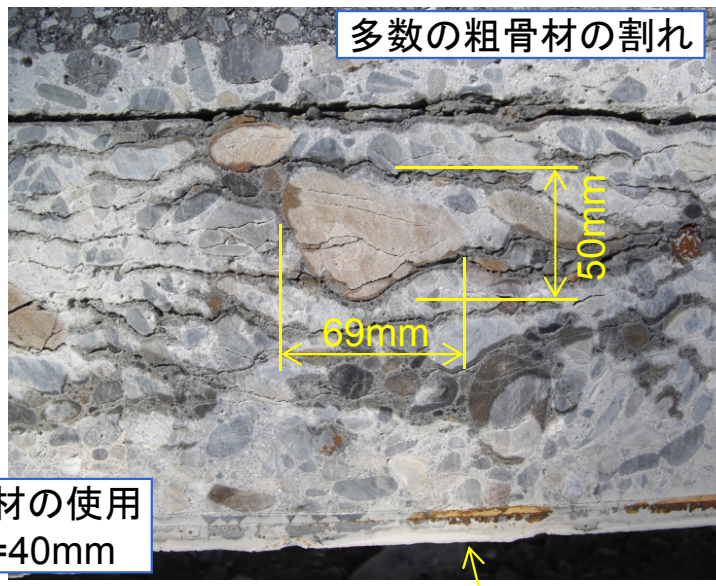
# 神戸橋（床版コンクリートの水平ひび割れの原因調査）

## ■橋梁諸元

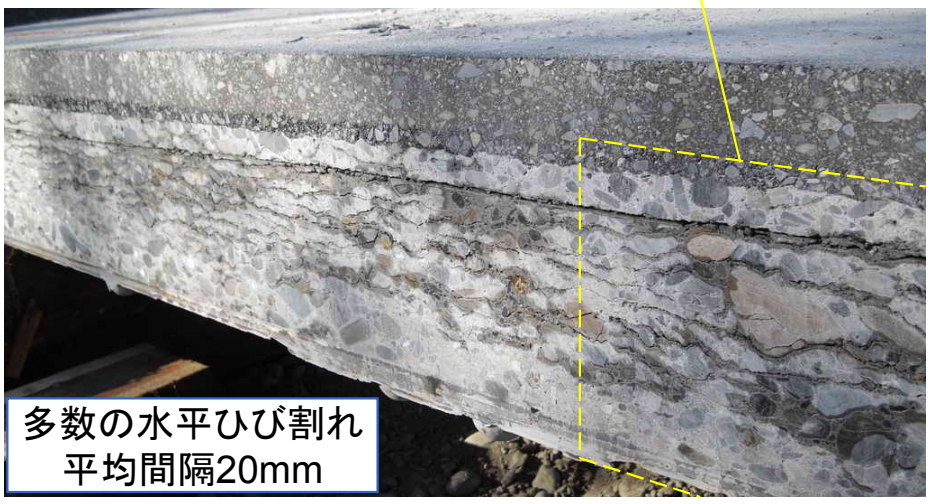
| | |
|---|---|
| 橋梁名 | 神戸(ごうど)橋 |
| 路線，地名 | 松本環状高家線，松本市 |
| 橋梁形式 | 単純RC桁橋(一部PC橋) |
| 橋長 | 127m |
| 支間長 | 8@10m (RC桁部)+2@21m |
| 竣工年 | 昭和10年(1935年) |

## ■橋梁概観

著しい漏水




大きい粗骨材の使用
推定$G_{max}$=40mm




床版のほぼ全域に見られた複数の水平ひび割れ

## ■研究概要

**≪研究目的≫**
鉄筋コンクリート床版に見られた多数の水平ひび割れの発生状況を把握するとともに，劣化原因の調査を行う。

**≪調査内容≫**
材料諸元と劣化に関する解体調査
取り出した粗骨材の材料調査

床版に見られた水平ひび割れの原因について，次の結果が得られた。

- ASRの反応性骨材が含まれ，一部にASRの兆候が見られた。
- 材料，含水状態，気象条件，凍結防止剤の使用の状況から，ASRの他に，凍結融解繰返しによる粗骨材の割れの可能性があることがわかった。
- 凍結融解繰返しによる粗骨材の割れに関する劣化調査の着目点を提示した。

凍結融解繰返しによる粗骨材の割れの可能性

| 影響因子 | 着目点 | 対象床版の調査結果 |
|---|---|---|
| 材料 | 凍結融解の繰返しに弱い空隙構造を持つ粗骨材が用いられているか。粗骨材の最大寸法が大きいか。 | 砂利の中に凍結融解抵抗性の低い骨材粒子が含まれる。粗骨材の推定最大寸法は 40mm。（寸法が大きいほど凍結融解抵抗性が低い傾向にある。） |
| 含水状態 | 供用中にコンクリートが飽水状態に近い環境に置かれることがあるか。 | アスファルト舗装の劣化と床版下面の鋼板接着により、床版全体が飽水に近い状態の期間があった可能性が高い。 |
| 気象条件 | 凍結融解繰返しを受ける気象環境に置かれているか。 | 冬季に氷点を跨ぐ温度変化の繰返しがある。従来の凍害危険度は 2(軽微)。 |
| 塩化物の影響 | コンクリート中への塩化物の浸入があるか。 | 凍結防止剤の散布量が比較的多い。路面から舗装下への塩分浸透が認められた。 |
| 総合評価 | 材料、含水状態、気象条件が満たされているか。塩化物の影響があるか。 | いずれの条件も満たされており、凍結融解繰返しによる粗骨材の割れの可能性が高い。 |
| 備考 | 遅延膨張性 ASR の反応性鉱物が比較的多く含まれる。nonAE コンクリートのため、モルタル部の凍結融解抵抗性が低い。 | |

小片欠け（GC1）

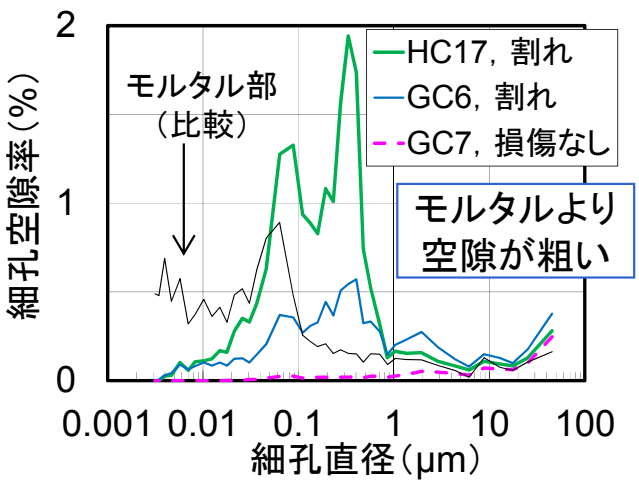
表層破壊（GD18）

割れ（HC17）

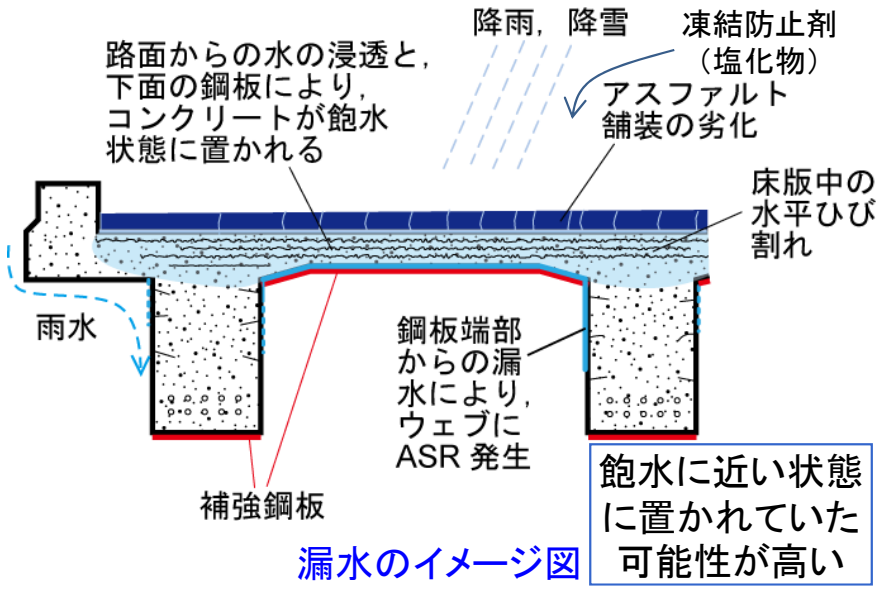
全体崩壊（HC18）

取り出した骨材粒子の水中凍結融解試験での破壊形態（左が試験前，右が試験後）

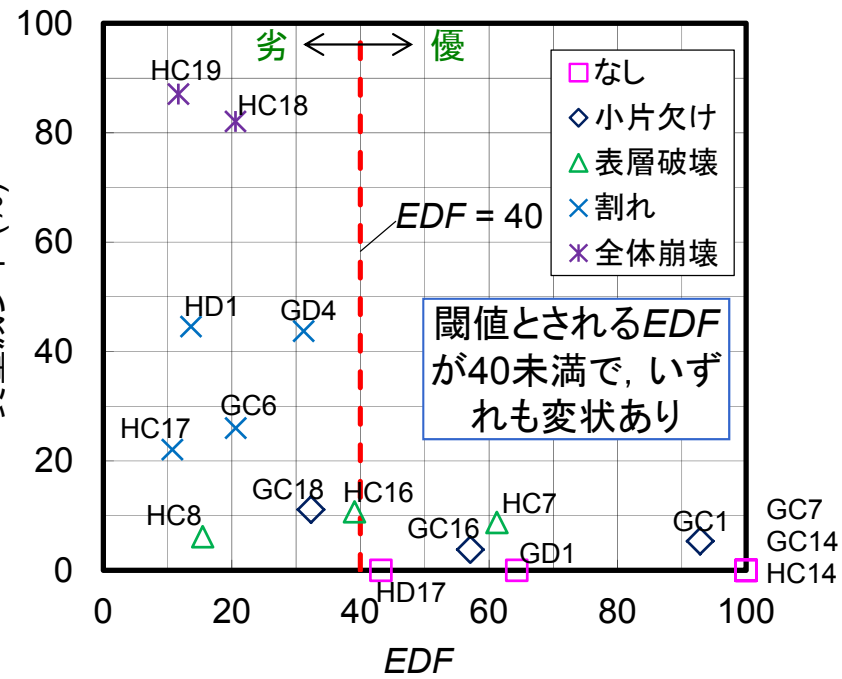
注）コンクリート中での試験より厳しい条件
HC，HDは他の橋梁の粗骨材




骨材粒子の細孔径分布
（損傷なしと割れが生じた骨材粒子の例）




漏水のイメージ図




（*EDF*：細孔径分布から算出される粗骨材の凍害抵抗性を表す指標の一つ，Kaneuji et al., 1980）

*EDF*と骨材粒子の水中凍結融解試験における質量減少率と破壊形態の関係

関連資料 ・土木学会論文集E2，72，pp. 214-233，2016.7. ・土木技術資料，pp.49-50，2017.6.

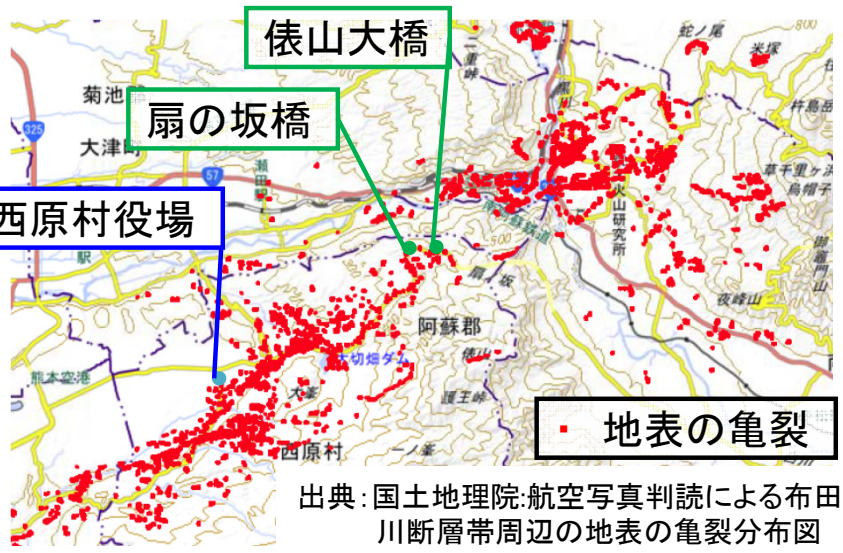
# 扇の坂橋（痕跡調査による橋梁の損傷メカニズムの分析，熊本地震）

## ■調査概要

**≪調査目的≫**
なぜこのような被害が生じたのか？損傷痕から損傷メカニズムを解明する.

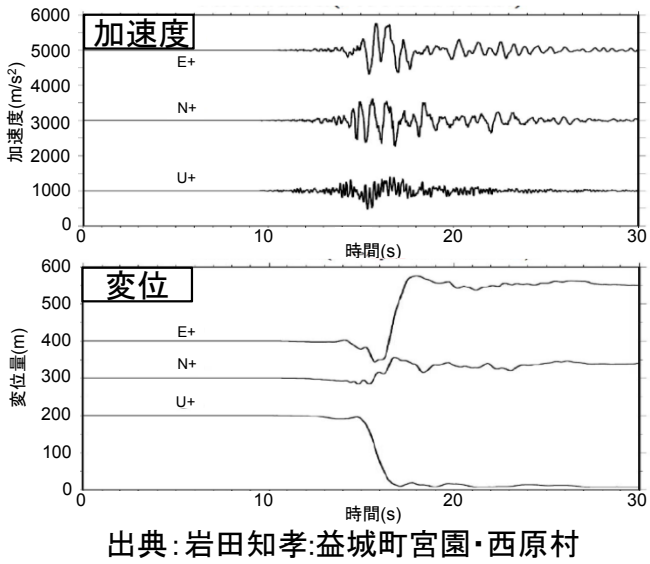
**≪調査内容≫**
損傷要因に地盤変位が影響しているかどうか分析

## ■調査対象橋梁




出典：国土地理院:航空写真判読による布田川断層帯周辺の地表の亀裂分布図

## ■西原村小森で観測された地震動

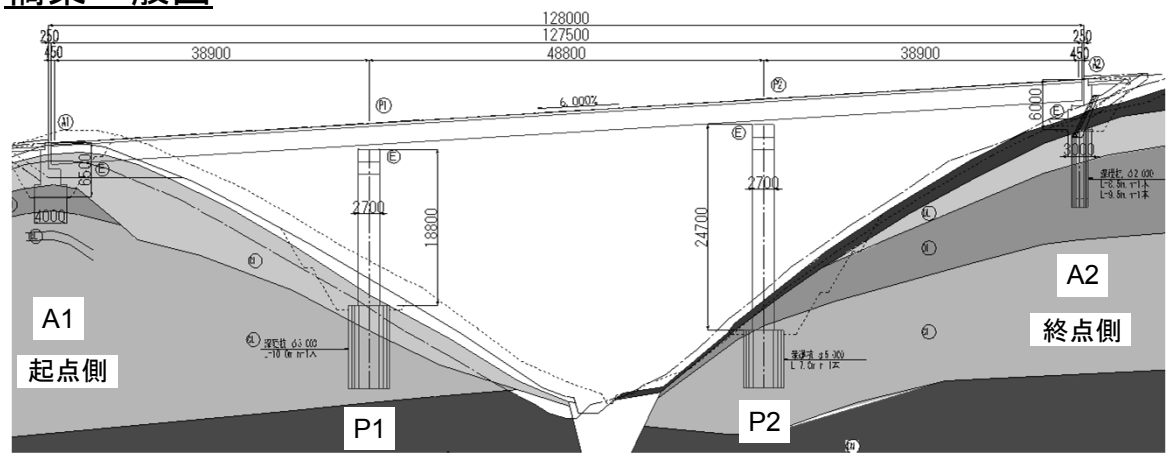



出典：岩田知孝:益城町宮園・西原村小森本震記録の解析

## ■橋梁諸元

| | |
|---|---|
| 橋梁名 | 扇の坂橋 |
| 路線，地名 | （主）熊本高森線，阿蘇郡西原村 |
| 橋梁形式 | 3径間鋼鈑桁橋 |
| 橋長 | 128.0m |
| 支間長 | 38.9m+48.8m+38.9m |
| 竣工年 | 平成12年(2000年) |

橋梁一般図

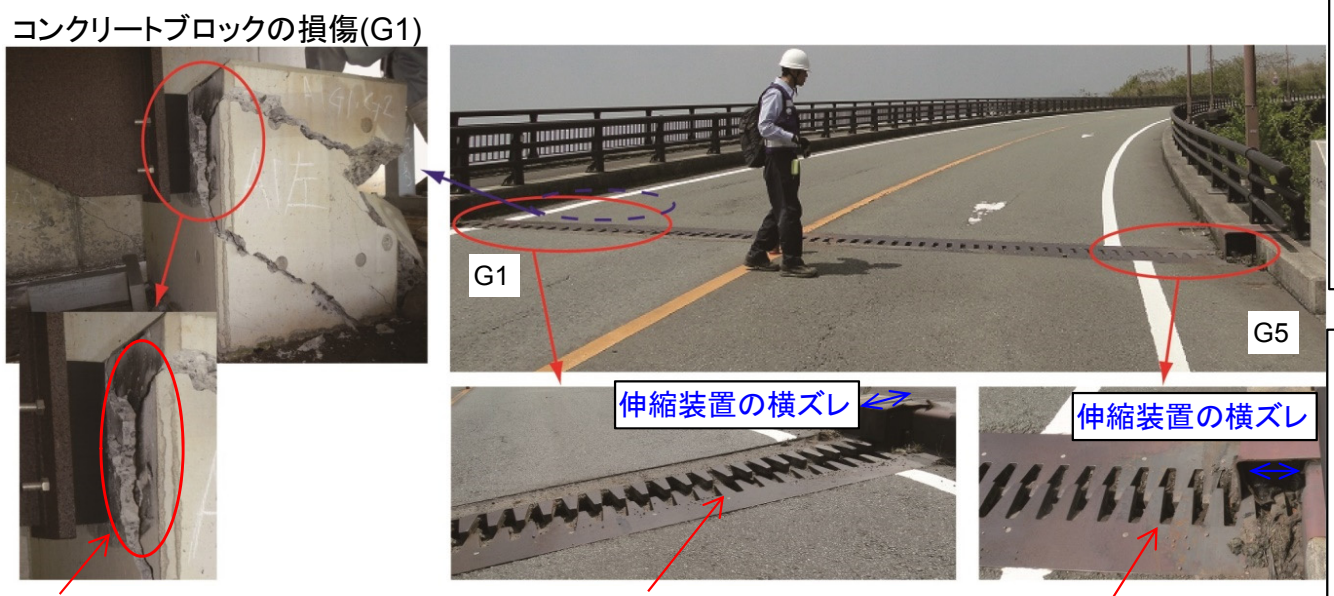



## ■支承の残留変位から推定される挙動メカニズム

→：下部構造の移動　→：支承の残留変形

支承の残留変位が左右交互になっている
→下部構造間の相対的地盤変位がなければ生じ得ない

## ■伸縮装置から推定される挙動メカニズム(A1橋台)

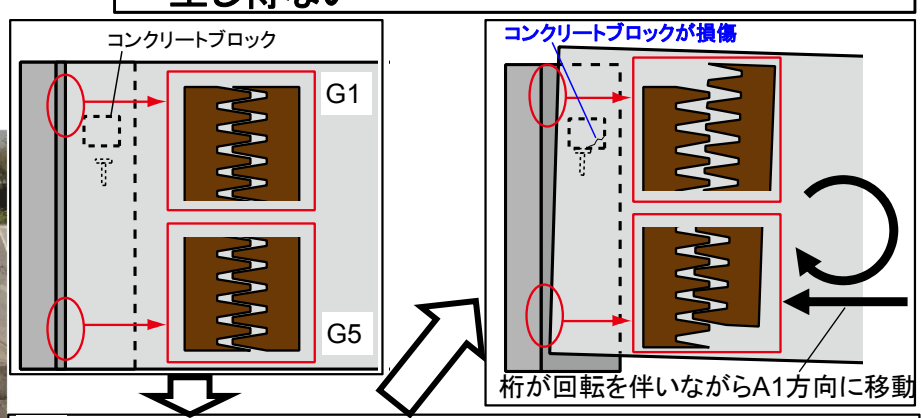


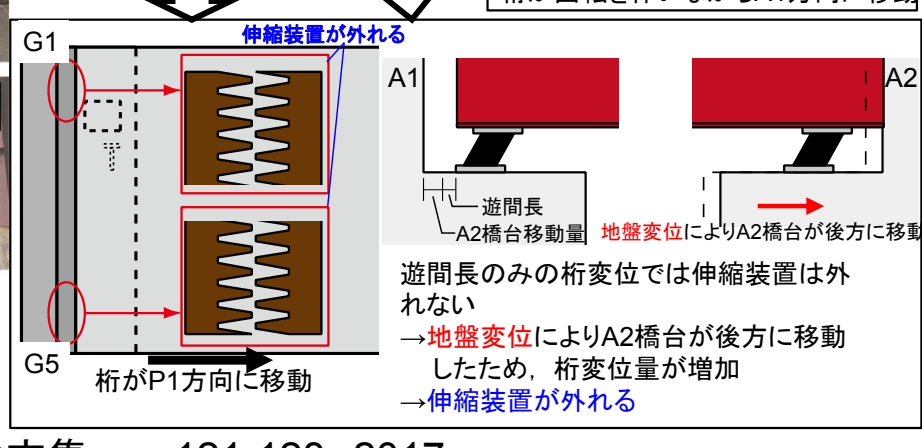

擦れた痕
（想定している衝突位置に比べて，P1側にズレている）

伸縮装置が開いた状態

伸縮装置が閉じた状態

（但し，両者とも伸縮装置は損傷していない）




遊間長のみの桁変位では伸縮装置は外れない
→地盤変位によりA2橋台が後方に移動したため，桁変位量が増加
→伸縮装置が外れる

**地盤変状と地震動により損傷したと推定**

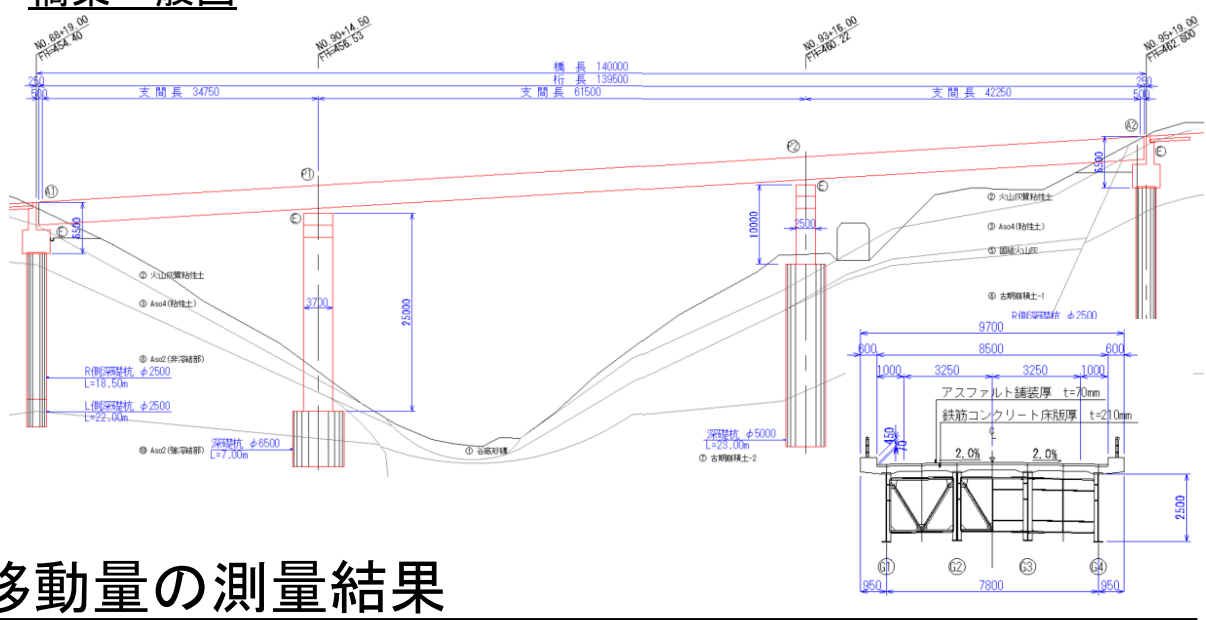
関連資料　・性能に基づく橋梁との耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.121-128，2017.

# 俵山大橋（痕跡調査による橋梁の損傷メカニズムの分析、熊本地震）

## ■橋梁諸元

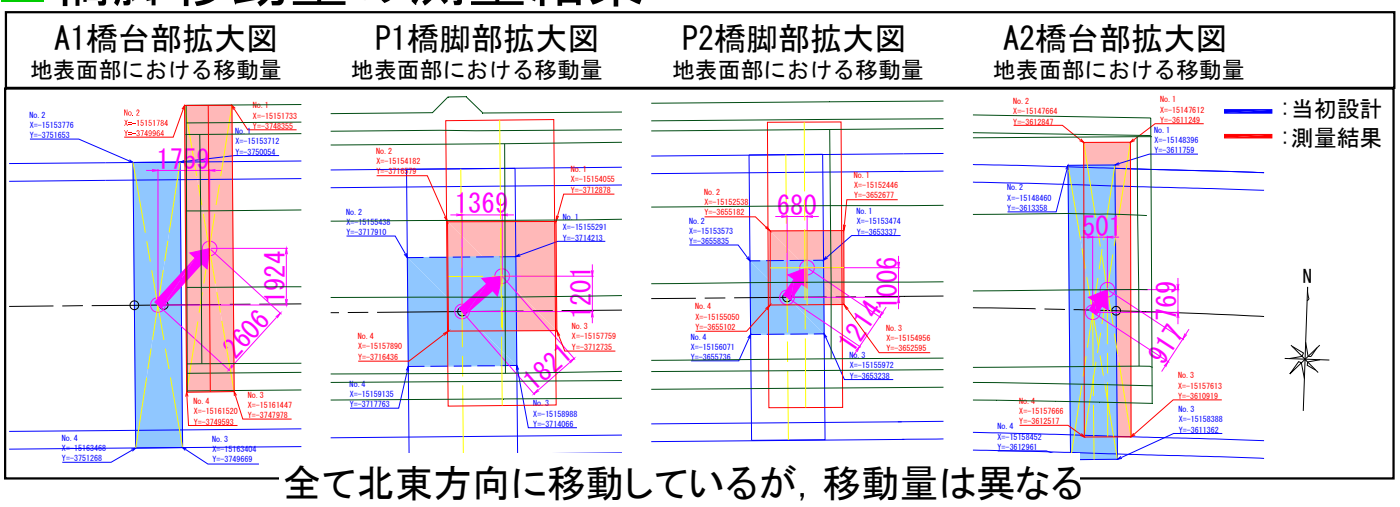
| | |
|---|---|
| 橋梁名 | 俵山大橋 |
| 路線，地名 | （主）熊本高森線，阿蘇郡西原村 |
| 橋梁形式 | 3径間鋼鈑桁橋 |
| 橋長 | 140.0m |
| 支間長 | 34.75m+61.5m+42.25m |
| 竣工年 | 平成13年(2001年) |

橋梁一般図



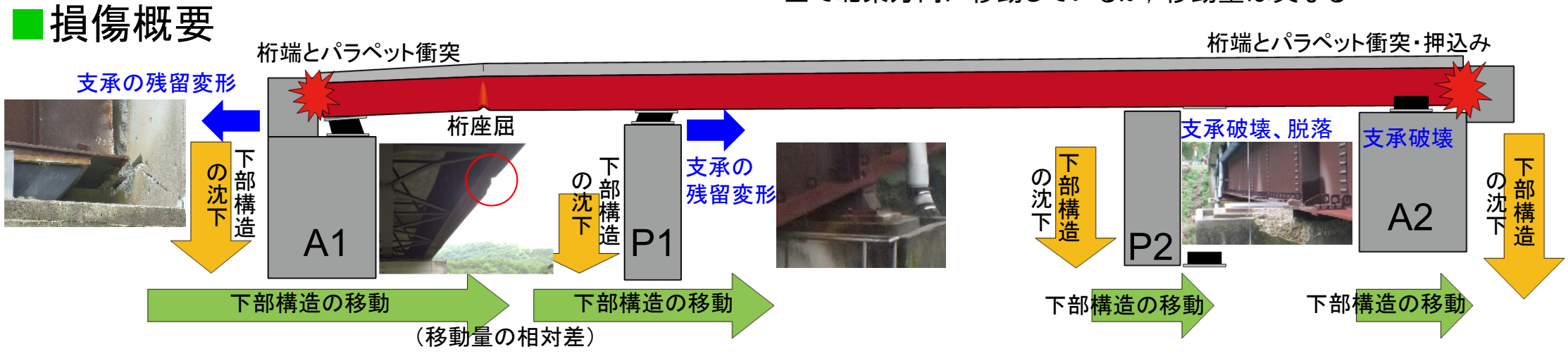

## ■調査状況(A2橋台付近)

## ■橋脚移動量の測量結果



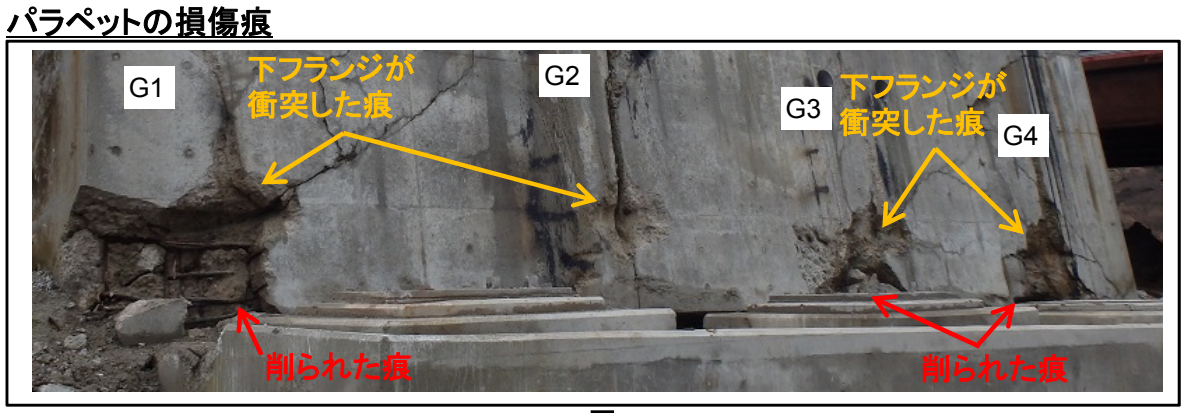

全て北東方向に移動しているが，移動量は異なる

## ■損傷概要




## ■パラペットに残った桁の衝突痕から推定される損傷メカニズム(A2橋台)

パラペットの損傷痕

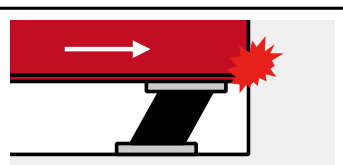



支承の損傷状況

✕：損傷箇所

推定される損傷メカニズム

支承は破断していない状態で桁がパラペットに衝突



支承が破断した状態で桁が橋座に落下

| G1 | G2 | G3 | G4 |
|---|---|---|---|
| 橋台から逸脱したために，桁が落下 | 下フランジが支承から離れなかったために，桁が落下せず | 下フランジが支承から離れたために，桁が落下 | |
| パラペットが削られる | パラペットが削られない | パラペットが削られる | |

⇨ A1,P1の支承は残存しているにもかかわらず復元力が働いていない ⇨ 地盤変状が影響して損傷したと推定

関連資料　・性能に基づく橋梁との耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.121-128，2017.

# 被害実態を踏まえた津波が橋梁に及ぼす影響の検討

## ■研究概要

**≪調査目的≫**
本研究は，津波が橋の機能に及ぼす影響を評価する手法を構築

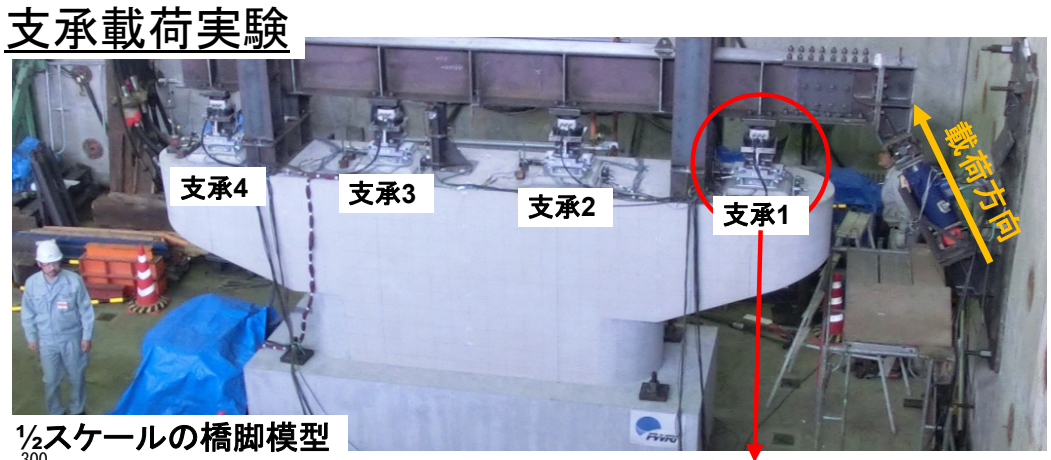
**≪調査内容≫**
- 津波の影響を受けた橋梁の調査により，支承部の損傷状態および上部構造の流出状態を検討
- 支承載荷実験により支承部の耐力を評価
- 水路実験により津波が上部構造に作用したときの支承部に生じる力および推定方法を提案
- 実際に津波の影響を受けた橋の被災状況との比較を通じて提案した評価手法の有用性を検証

## ■支承部耐力（抵抗側）の調査・評価

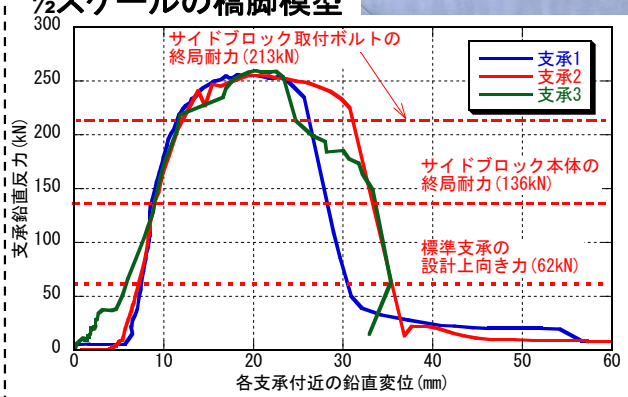
### 流出した橋梁の調査

支承の損傷形態の把握

### 支承載荷実験




½スケールの橋脚模型



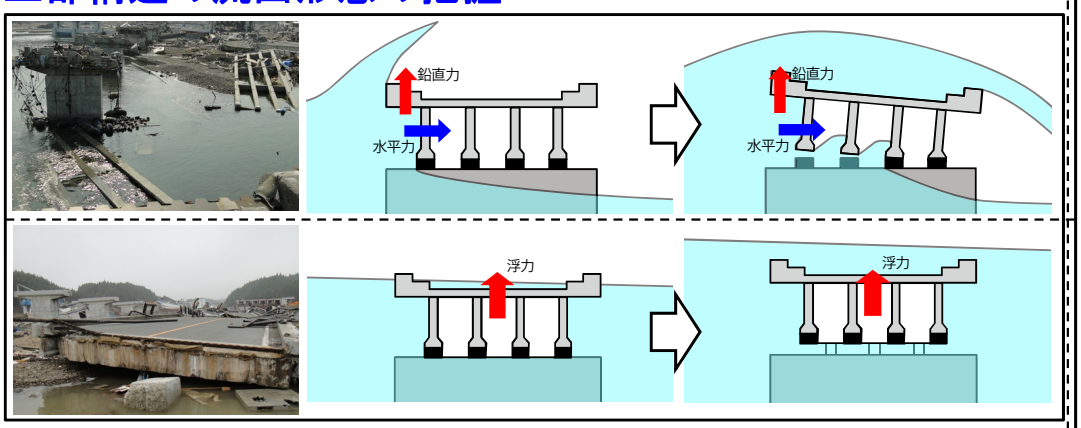

実験終了後

**支承部の耐力（抵抗側）を評価**

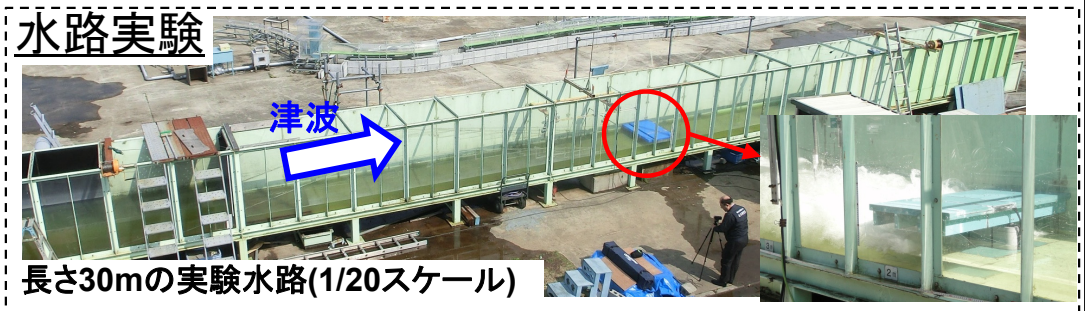
## ■上部構造に作用する力（作用側）の推定

### 流出した橋梁（上部構造）の調査

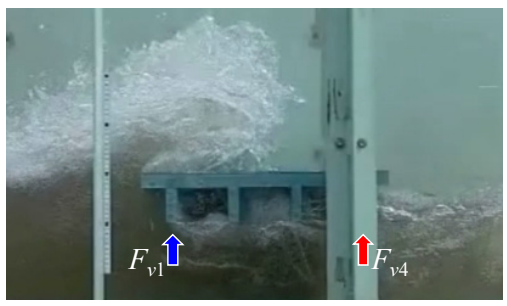
上部構造の流出形態の把握



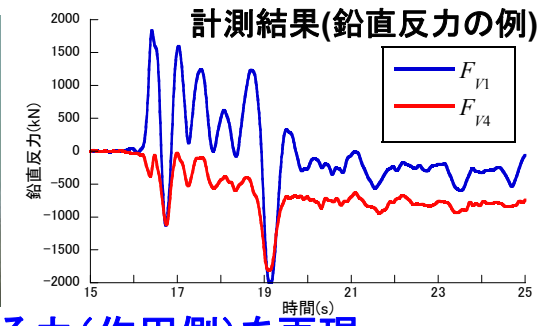

### 水路実験




長さ30mの実験水路(1/20スケール)




計測結果(鉛直反力の例)

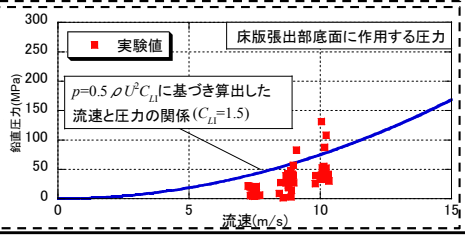



**上部構造に作用する力（作用側）を再現**

**水路実験**　津波特性を変化させた場合の検討
構造条件を変化させた場合の検討

**数値解析**　上部構造に生じる圧力の検討

**上部構造に作用する力を推定する方法の検討**




**支承耐力の評価手法を提案**

**支承に作用する津波力の推定手法を提案**

## ■津波が橋に及ぼす影響の評価

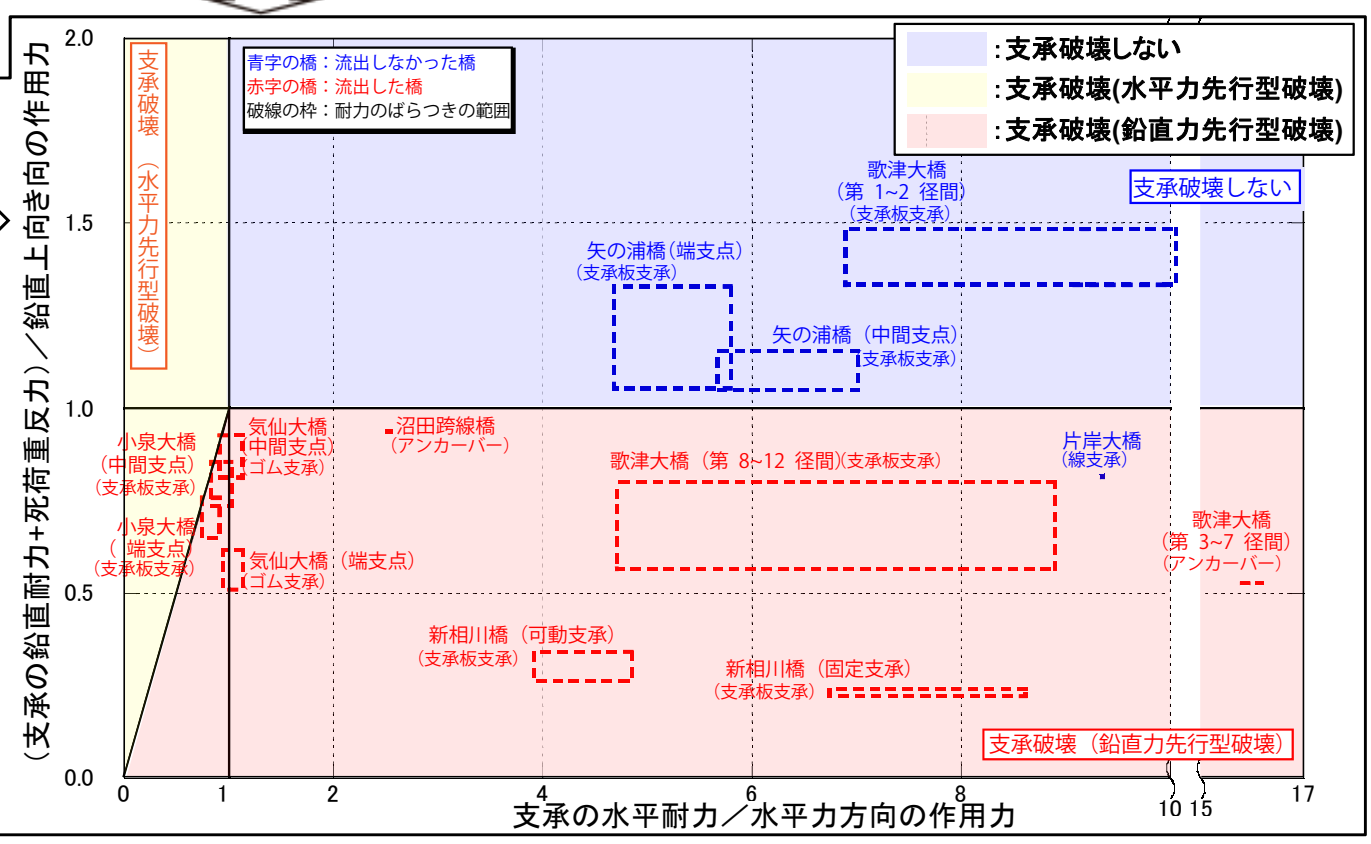
支承構造，津波特性（津波速度）の情報が正確に分かっている9橋を対象
→提案した手法を用いて**津波が橋の上部構造に及ぼす影響**を評価

図より

縦軸・横軸共に1.0を上回れば，支承が破壊しない評価になる

流出しなかった橋：大半の橋が1.0を上回っている
流出した橋：全ての橋において，どちらかの軸が1.0を下回っている

津波により**流出しなかった橋**と**流出した橋**を**精度よく区分して評価することができた**




関連資料　・土木学会論文集A1，73，pp.413-423，2017.

# ゴム支承の経年劣化による特性変化からみる耐久性能の検証

## ■ゴム支承諸元

| 橋梁名 | 宮川橋 | 扇の坂橋 |
|---|---|---|
| ゴム支承の平面寸法 | 350×350mm | φ520mm |
| ゴム層の厚さ×層数 | 9mm×14層 | 17mm×9層 |
| 内部鋼板の厚さ×層数 | 3.2mm×13層 | 3mm×8層 |
| 竣工年 | 平成3年(1991年) | 平成13年(2001年) |

## ■研究概要

**≪研究目的≫**
ゴム支承の経年劣化による実態の把握

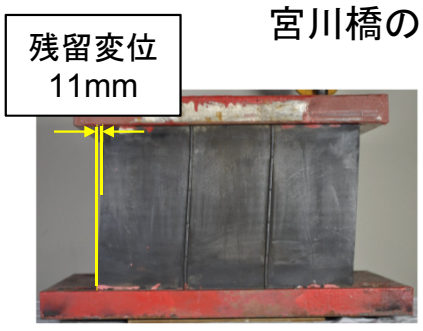
**≪調査内容≫**
・日本で最初に使用された宮川橋の鉛プラグ入りゴム支承に対して外観調査を実施。また、力学特性試験を行い、出荷当時と比較
・地震により被災した扇の坂橋のゴム支承に対して観察調査を実施。また、力学特性試験を行い、出荷当時と比較

【宮川橋】
・11mmの残留変位が生じていたが、き裂等の損傷は生じていなかった
・等価剛性が大きく、等価減衰定数が小さくなったが、エネルギー吸収量に大きな差はなかった
【扇の坂橋】
・被災後約3か月経過時点では、232mmの残留変位が生じていた
・撤去した際に応力開放した後約2か月経過時点では、9mmの残留変位に減少した。また、支承表面に膨らみが見られた
・せん断ばね定数と圧縮ばね定数に大きな変化が生じていないことが分かった

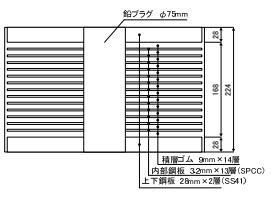
## ■橋梁概観

宮川橋の全景

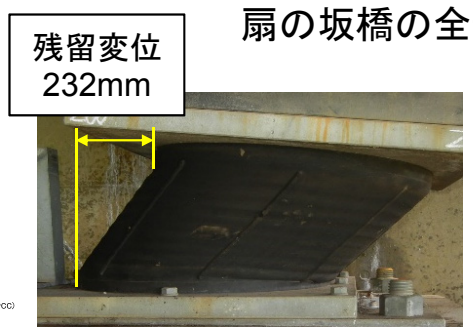
扇の坂橋の全景



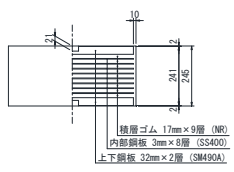

宮川橋のゴム支承



断面図

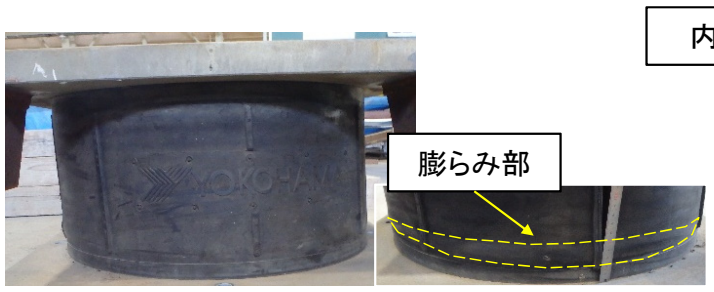



扇の坂橋のゴム支承

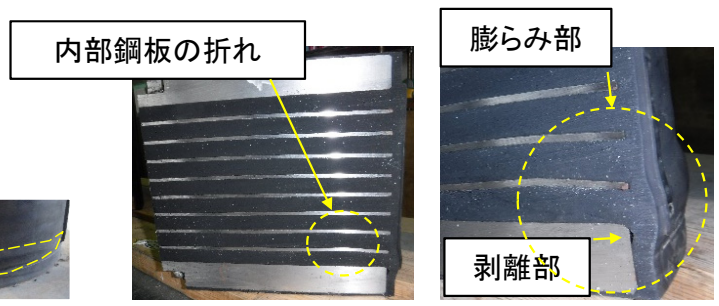


断面図

## ○観察調査(扇の坂橋)

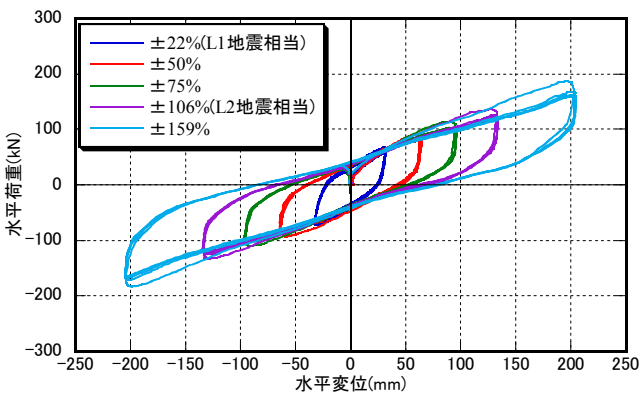



外観(右:膨らみ部)

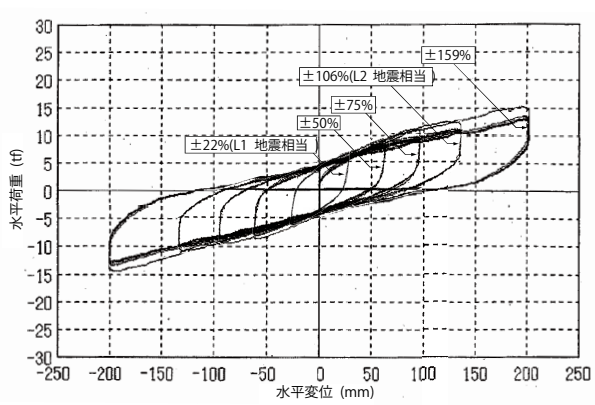



切断面(右:膨らみ部拡大)

## ○力学特性試験(水平力載荷試験)(宮川橋)

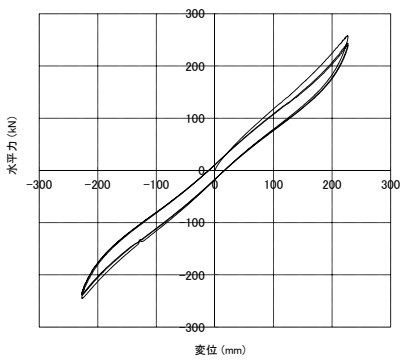



撤去支承



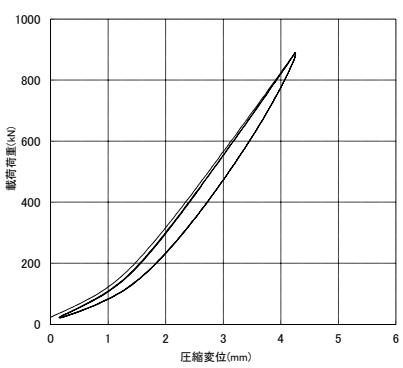

作製時(平成2年)の試験結果

## ○力学特性試験(扇の坂橋)




| せん断ばね定数(kN/mm) | | | 対製品 |
|---|---|---|---|
| 試験結果 | 製品検査時 | 設計値 | 検査時(%) |
| 1.05 | 1.05 | 1.03 | 0.0 |

水平力載荷試験




| 圧縮変位(mm) | | | 対製品 |
|---|---|---|---|
| 試験結果 | 製品検査時 | 変位差 | 検査時(%) |
| 4.3 | 3.4 | 0.9 | 26.5 |

鉛直力載荷試験

関連資料
・第20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, 2017.7.
・第21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, 2018.7.
・土木学会全国大会, Ⅰ-308, 2018.8.

# 既製RC杭の耐荷性能検証

## ■既製RC杭諸元

| 橋梁名 | 里川橋 | 有路下（ありじしも）橋 |
|---|---|---|
| 杭径 | 300mm | 450mm |
| 軸方向鉄筋 | φ8mm×11本 | φ19mm×16本 |
| スパイラル筋 | φ4mm ctc 100mm | φ6mm ctc 100mm |
| 竣工年 | 昭和31年(1956年) | 昭和30年（1955年） |

## ■研究概要

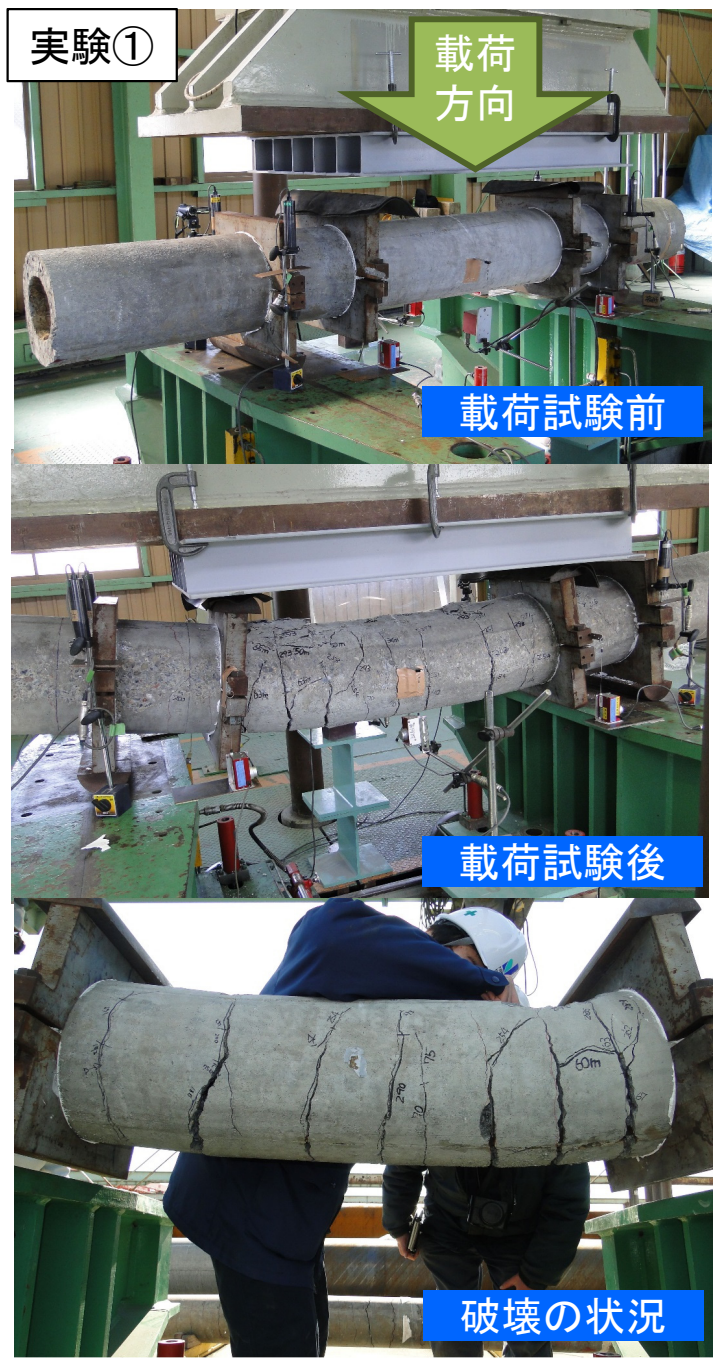
**≪研究目的≫**
・古い基準で設計された道路橋基礎のより適切かつ合理的な耐震性評価方法の検討
・実橋部材における破壊形態及び限界状態の確認

**≪調査内容≫**
・撤去杭を用いた載荷試験
・材料強度試験

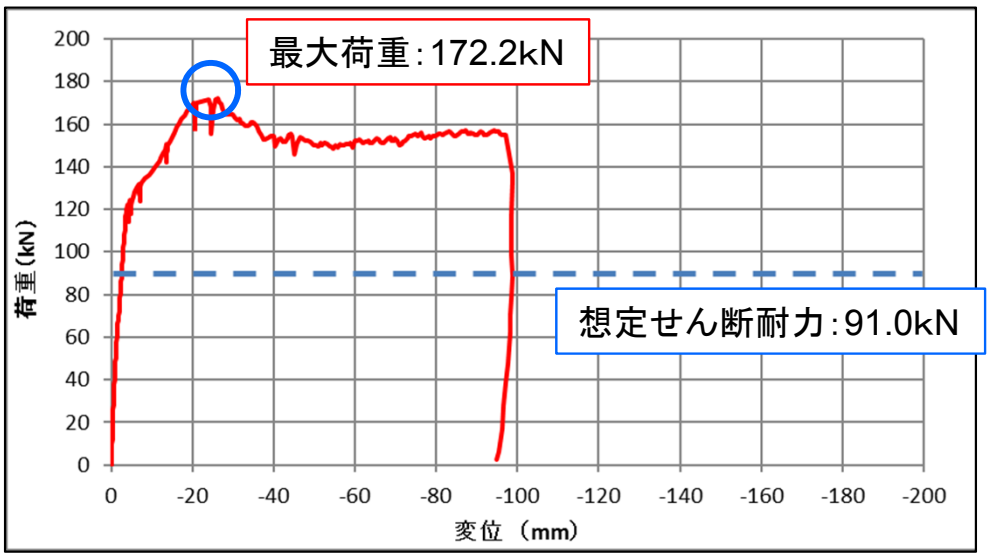
・実験①では、せん断破壊と想定された試験体が曲げ破壊となった。
・実験②では、想定通りせん断破壊した試験体と曲げ破壊となった試験体を確認した。

・道路橋示方書による想定よりも高いせん断耐力を有していることを確認。

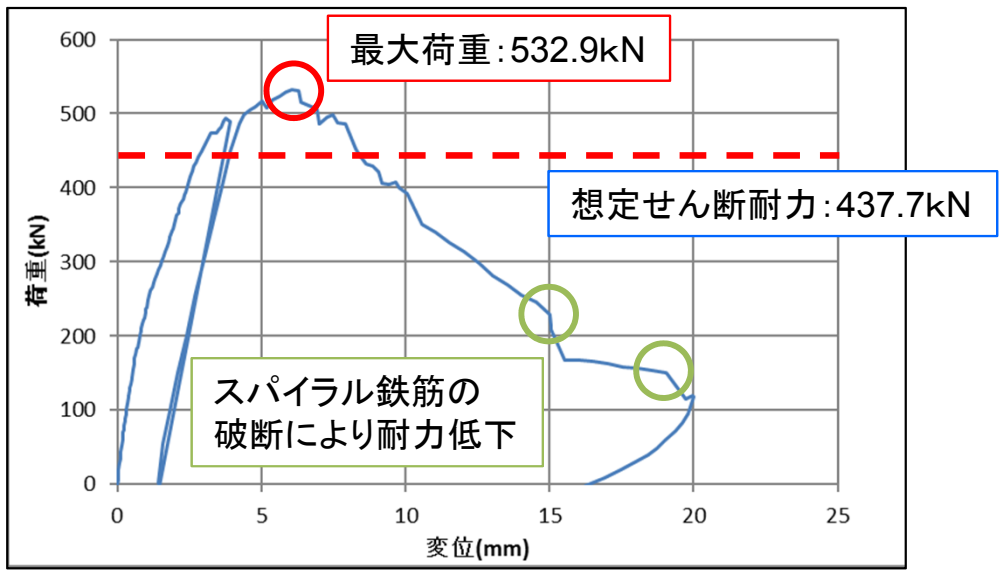
・定式化へ向けて他の事例も検証中



実験①：せん断破壊想定であったが、曲げ破壊となった




実験②：せん断破壊となった




関連資料　・第18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，pp.21-26，2013.7.
　　・第21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，2018.7.

# 電気防食を実施している橋梁の調査結果

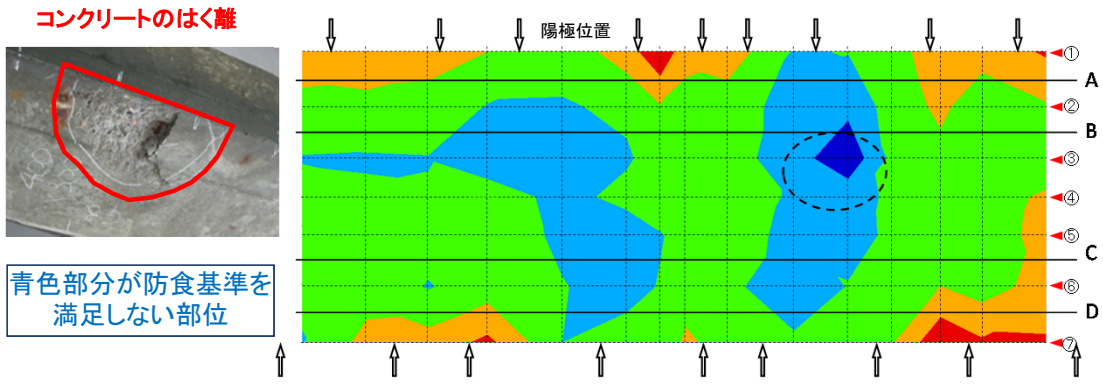
## ■橋梁諸元と電気防食工法

| | 橋梁名 | A　　橋 | B　　橋 | C　　橋 |
|---|---|---|---|---|
| 橋梁諸元 | 所在地 | 東北地方 日本海沿岸 | 北陸地方 日本海沿岸 | 九州地方 太平洋沿岸 |
| | 竣工年月 | 1976（昭和51）年10月 | 1974（昭和49）年4 月 | 1963（昭和38）年4月 |
| | 構造形式 | 2径間単純PCT桁橋 | 17径間単純PCT桁橋 | 2径間単純RCT桁橋 |
| | 橋長L・全幅員W | L=39.2m・W=10.8m | L=340.02m・W=11.35m | L=30.0m・W=9.2m |
| | 桁下状況 | 河川（約4.2m下） | 砂浜（約5.2m下） | 河川および砂浜（約2.8m） |
| | 海岸からの距離 | 約800m | 約20～40m | 約20m |
| | 全景写真 | | | |
| 電気防食工法 | 適用年度 | 1999（平成11）年 | 1996（平成8）年 | 2006（平成18）年 |
| | 適用箇所 | 主桁下フランジ | 主桁下フランジ（第8径間） | 主桁，床版，橋脚 |
| | 電防方式 | チタンロッド（点状）方式 | a：チタンメッシュ方式<br>b：チタングリッド方式<br>c：亜鉛シート方式 | チタンリボンメッシュ（縦置き線状）方式 |

## ■研究概要

**≪研究目的≫**
電気防食の維持管理における課題や留意点を抽出する

**≪調査内容≫**
電気防食適用橋梁におけるアンケート調査や実橋調査



A橋の鉄筋分極量測定結果とコンクリートの損傷

A橋：コンクリート剥落箇所の防食効果の低下
B橋：コンクリートの剥落，被覆モルタルの浮き，亜鉛シートのそり
C橋：配管材の脱落，橋脚部の変状の発生

・不具合事例の整理
・必要な点検項目の整理
・電気防食工法を適用した道路橋の維持管理マニュアル（案）の策定

B橋のチタンメッシュ方式
コンクリート剥落

B橋のチタングリッド方式
被覆モルタルの浮き

B橋の亜鉛シート方式
亜鉛シートの反り返り

C橋の配管剤の脱落状況

C橋の橋脚の陽極部の変状

B橋の亜鉛シート方式　亜鉛シート残存量調査

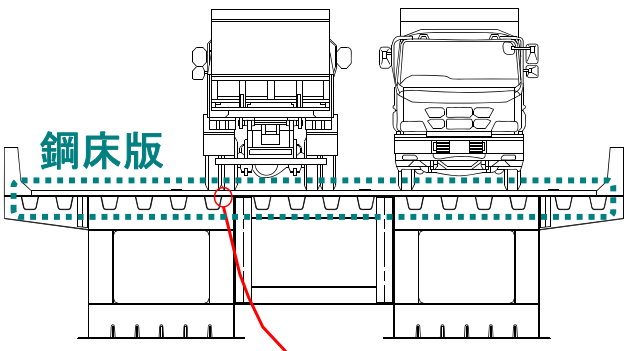
※日本エルガード協会，CP工法研究会，東北大学との共同研究に基づき実施

# 鋼床版疲労き裂の超音波探傷法の開発

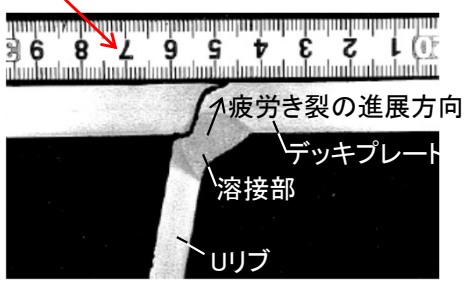
## ■背景

重交通の鋼床版橋に**目視困難な部位の疲労き裂**の発生。進展すると、路面陥没など**第三者被害**につながるおそれ

・安全に管理し、適切な対策の実施には、き裂を早期に確実に見つけることが重要
・**信頼性と作業性**を備えた非破壊技術は未確立



路面陥没の事例




鋼床版橋の断面構成とき裂の模式図

鋼床版表面のき裂

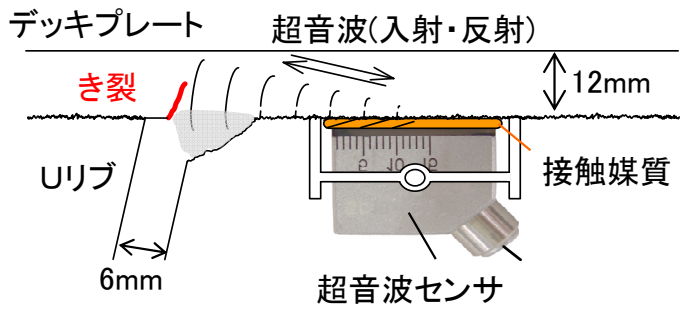
## ■研究概要

### ○非破壊調査法の開発

・**塗装の影響の補正**が可能であり、**初期段階の小さなき裂の検出**が可能な技術を開発

菱電湘南エレクトロニクス(株)および三菱電機(株)と共同研究を実施

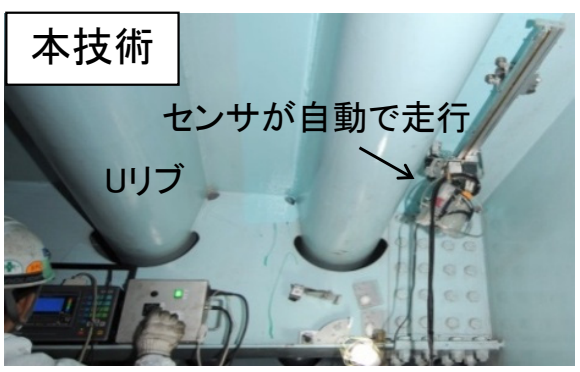
超音波センサ



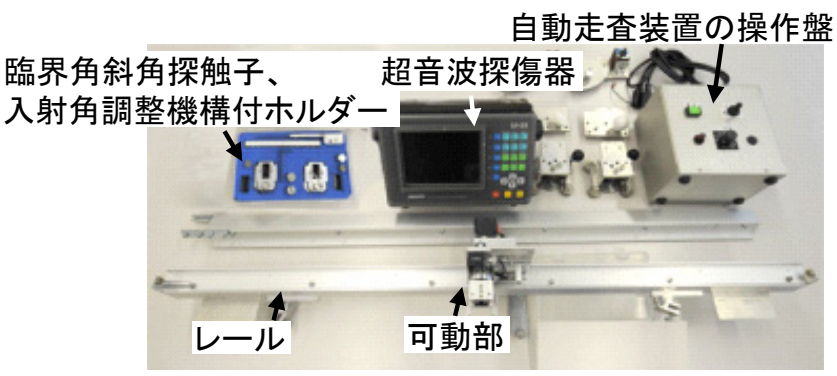

超音波センサによるき裂検出模式図

従来技術との比較

| | 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**<br>・技術者の**技量差の影響あり** | ・塗装の影響の補正が**可能**<br>・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<br>(作業性・信頼性に課題あり)<br>溶接長**最大約120m/日** | **自動**探傷<br>( 探傷結果を位置情報とともに自動記録)<br>溶接長**最大約80m/日** |



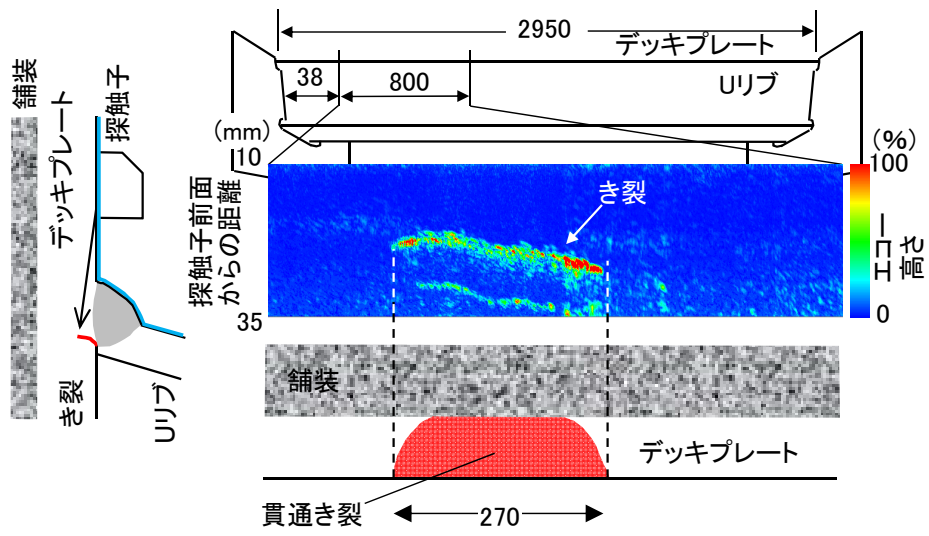

探傷状況(従来技術と本技術)




開発した自動探傷装置

## ■現場での適用実績(試行を除く)

| 実橋名 | 建設年次 | 走査方式 | 調査長(m) | き裂検出の有無 | 貫通き裂の有無 |
|---|---|---|---|---|---|
| G橋 | S52 | 自動 | 74.2 | 無 | 無 |
| SH橋 | H5 | 自動 | 22.3 | 有※ | 有 |
| C橋(山側) | S50 | 自動 | 195.0 | 有※ | 有 |
| SK橋 | H4 | 手動+自動 | 422.0 | 有 | 未確認 |
| K橋 | S53 | 自動 | 62.4 | 有 | 無 |
| SW橋 | S53 | 手動+自動 | 28.0 | 有 | 無 |
| ST橋 | S54 | 手動+自動 | 132.0 | 有 | 無 |
| M橋(山側) | S57 | 手動+自動 | 121.0 | 有 | 未確認 |
| T橋 | S54 | 自動 | 193.0 | 有※ | 有 |
| I橋 | S55 | 自動 | 25.3 | 有※ | 有 |
| SJ橋 | S56 | 自動 | 109.5 | 無 | 無 |
| M橋(海側) | H1 | 自動 | 465.5 | 有 | 未確認 |
| SW橋(上り側) | S53 | 自動 | 28.0 | 無 | 未確認 |
| NK橋 | H12 | 自動 | 155.6 | 無 | 未確認 |
| NR橋 | S54 | 自動 | 41.6 | 有 | 未確認 |
| KH橋(海側) | S59 | 自動 | 228.0 | 有※ | 有 |




実橋の探傷結果の例

※ 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

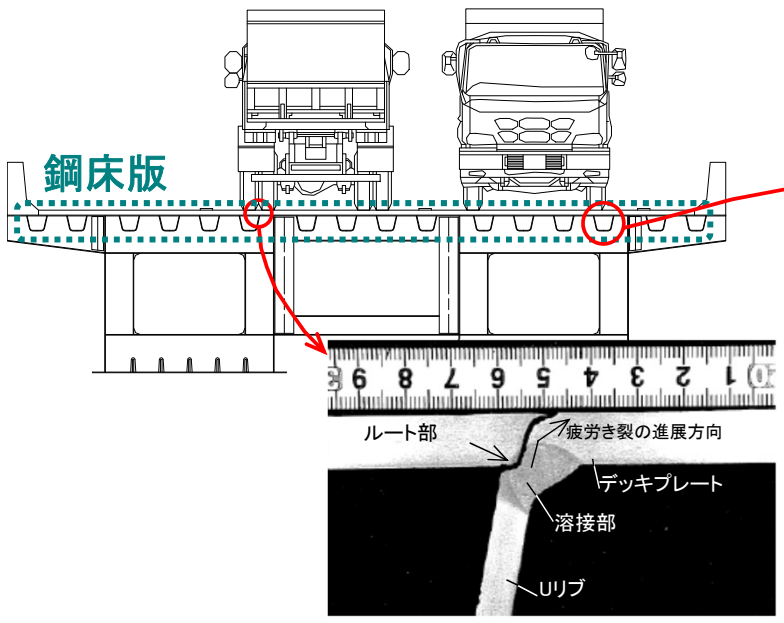
注) 点検、詳細調査により、き裂発生が報告されている、もしくは疑われている鋼床版橋を対象として調査範囲を限定して実施

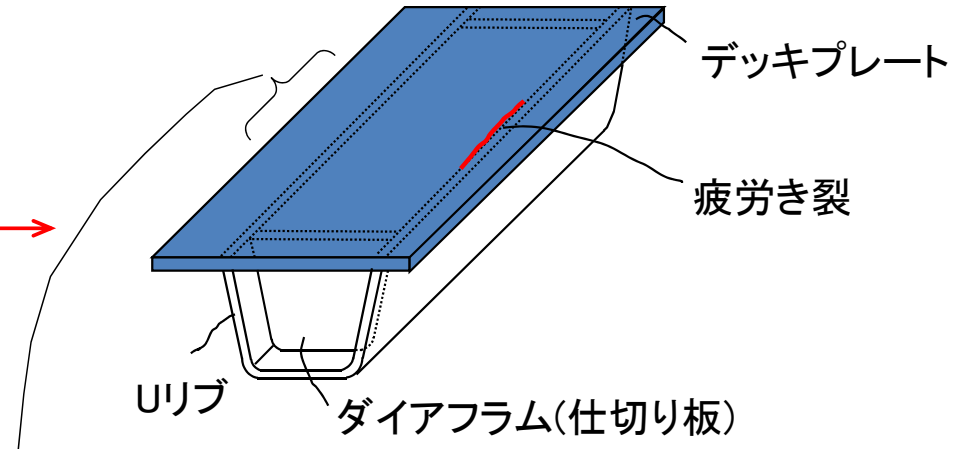
関連資料 ・土研資料, 第4138号, 鋼床版デッキプレート進展き裂の調査のための超音波探傷マニュアル(案), 2009.3.
・共同研究報告書, 第452号, 2013.5.

# 超音波を利用した鋼床版Uリブ内滞水調査法

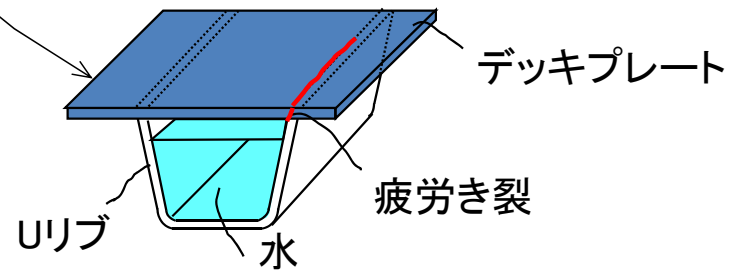
## ■背景

○ 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、緊急対応の必要な貫通き裂を発見するための調査技術が必要。
○ き裂がデッキ表面を貫通した場合に、路面から雨水がUリブ内に浸入・滞水することに着目。
なお、貫通き裂の発生している鋼床版については、将来的に貫通き裂となり得るデッキ進展き裂の発生状況の確認も必要(別途、超音波探傷法を開発済)。

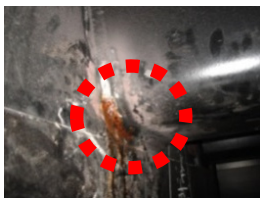



※現場架設のブロック毎に密閉構造とするため、ダイアフラム(仕切り板)を設置。路面から貫通き裂を通してUリブ内に浸入した雨水がダイアフラム間に滞水。



デッキ貫通き裂から浸入したUリブ内堆積物



デッキ貫通き裂から浸入した雨水がUリブの疲労き裂から漏水

**Uリブ内滞水調査法(超音波法)**
き裂の進展を間接的に把握する技術として、新しい非破壊調査法を提案

## ■研究概要

### ○非破壊調査法の開発

・Uリブ内滞水を調査することにより間接的に貫通き裂の発生を検出

・Uリブ内に滞水した雨水の有無によってUリブを伝わる超音波が弱まる(減衰)することを利用した調査方法を提案
・Uリブの塗装を除去せずに、高い性能で簡単に検出できる方法を提案

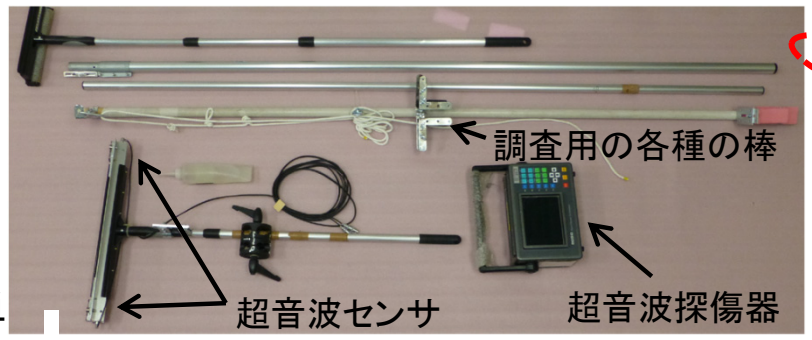
5mm程度以上の深さの滞水を確実に検出

菱電湘南エレクトロニクス(株)および三菱電機(株)と共同研究を実施

### ○現場での適用性の調査

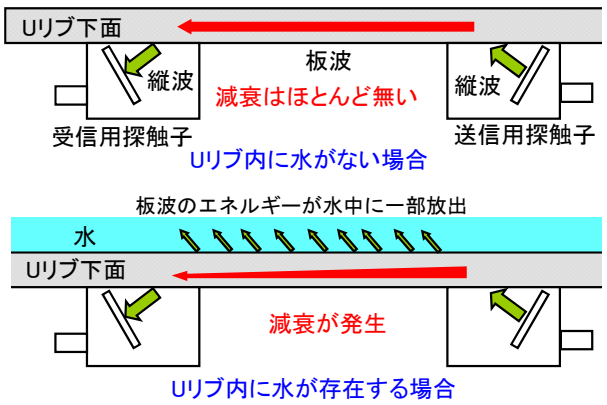
・調査時間は、1箇所当たり約5秒
・滞水の有無の調査と同時に深さの計測が可能(調査限界水深5mm程度)

・一般的な超音波パルス反射法による計測方法(多重エコー方式等)では、Uリブ表面の塗装がエコーに及ぼす影響により誤検出の可能性あり。
・赤外線サーモグラフィ法では、日照条件・調査時刻、水の深さ、被調査物の表面汚れや粗さ、放射率、放射角度等の影響により、計測の制約や検出性能に限界あり。

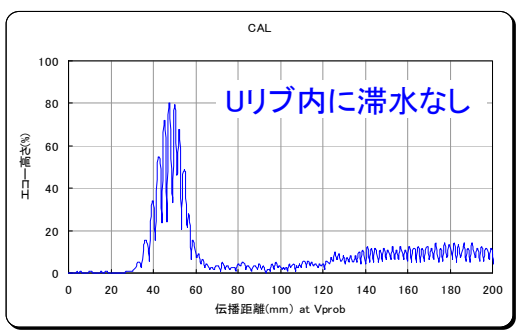


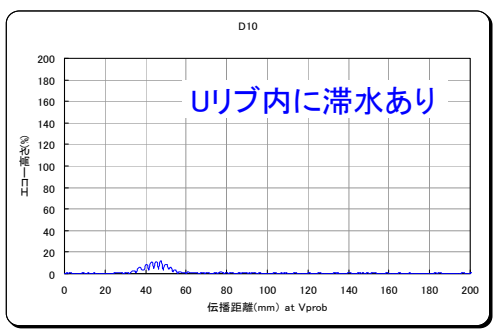

開発した超音波装置

現場における適用事例




＜板波透過法の原理＞
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を判定する。背面が水の場合、板波の振幅の大きさは、探触子間隔に比例して著しく減衰する。




Uリブ底面を透過させた超音波の振幅の変化によりUリブ内滞水を調査

# 撤去RC杭の調査（ひび割れ、鋼材の腐食）

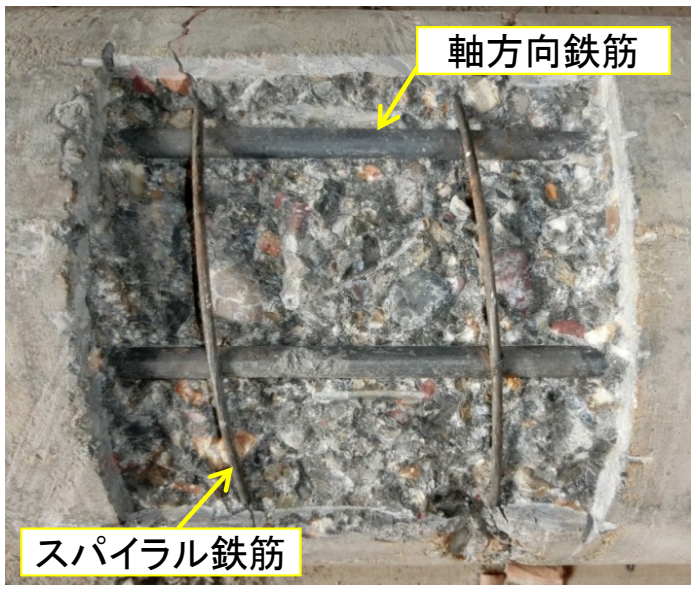
## ■撤去RC杭

## ■研究概要

**≪研究目的≫**
地中に埋設させた既製コンクリート杭の耐久性に関する調査が少ないことから、橋梁撤去時に収集した既設RC杭を調査することとした。

**≪調査内容≫**
ひび割れ状況の調査
杭体の腐食環境の調査（自然電位法）
鋼材の腐食状況の調査
コンクリートの中性化状況の調査

自然電位測定状況



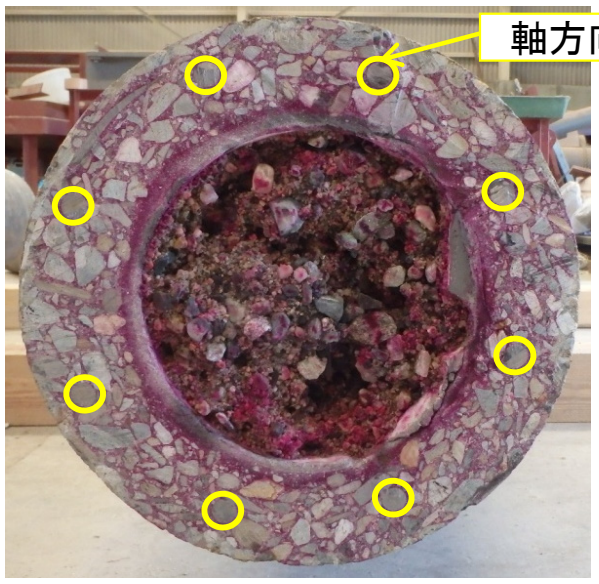

鋼材のはつり出し調査（No.2）

- 鋼材の腐食状況を調査した結果、ひび割れに沿って、一部の軸方向鉄筋およびスパイラル鉄筋の表面に錆が見られたが、断面欠損になるほどの腐食は生じていなかった。なお、この表面の錆が供用中に生じたものか、撤去後に生じたものかは不明である。
- コンクリートの中性化状況を調査した結果、一部の杭で軸方向鉄筋にまで達する箇所もあったが、軸方向鉄筋に腐食は生じていなかった。

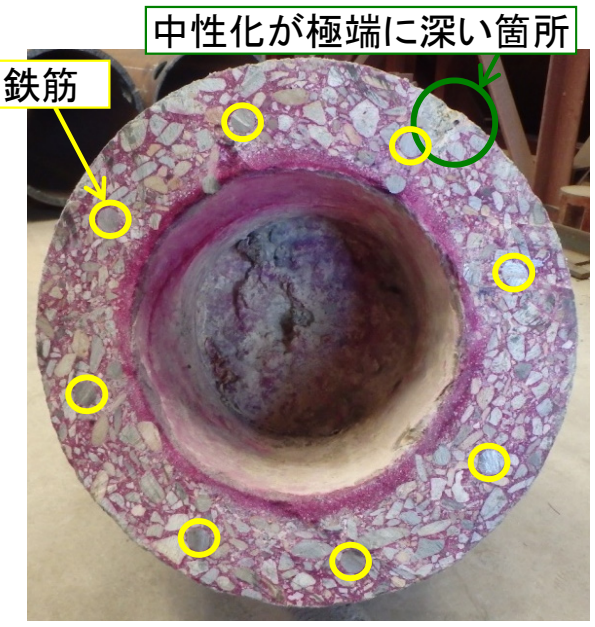
自然電位による腐食判定基準

| 自然電位E（mV：CSE） | 腐食判定基準 |
|---|---|
| -350≧E | 90%以上の確率で腐食あり |
| -200≧E＞-350 | 不確定 |
| E＞-200 | 90%以上の確率で腐食なし |

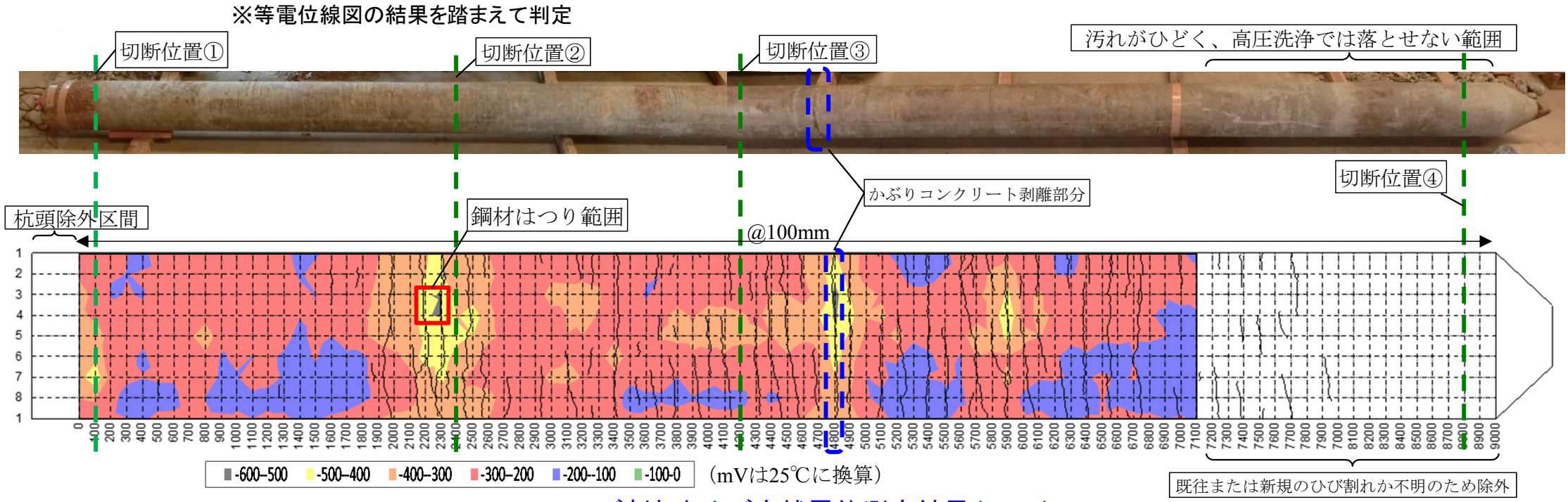
※等電位線図の結果を踏まえて判定




中性化状況（No.2-切断位置②）




中性化状況（No.2-切断位置④）




ひび割れおよび自然電位測定結果（No.2）

# RC床版上面の土砂化に関する調査

## ■橋梁諸元

| | |
|---|---|
| 橋梁名 | K橋 |
| 路線，地名 | 国道7号，秋田県能代市 |
| 橋梁形式 | 非合成連続鋼箱桁橋 |
| 橋長 | 264m |
| 支間長 | 5@52.3m |
| 竣工年 | 昭和53年(1978年) |

## ■橋梁概観 （撤去前の路面状況）

舗装部分補修前の状況
管理者提供

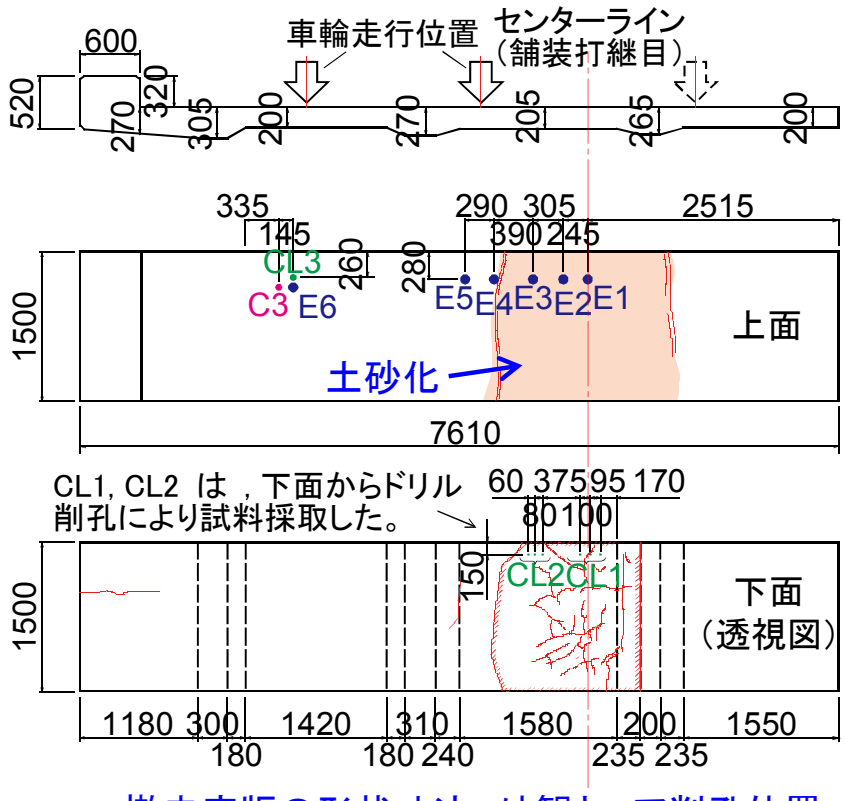
## ■調査概要

**≪調査目的≫**
補修時に，土砂化周囲の脆弱部（中間層）を残さないための調査法確立に向けて，土砂化周囲のコンクリートの物性を明らかにする。

**≪調査内容≫**
撤去床版の土砂化部と健全部からコアを採取して，コンクリートの弾性係数等の物性試験を実施

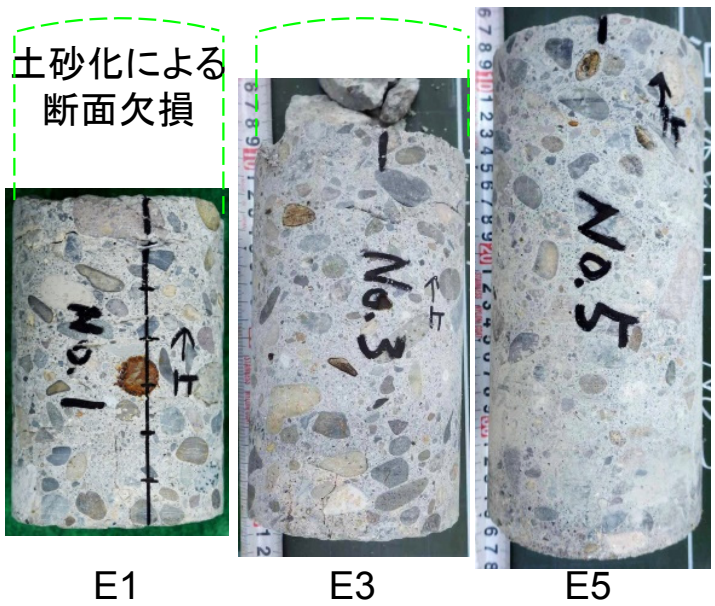
- 土砂化と健全の中間的な物性のコンクリート，ここでいう中間層が存在することを確認した。
- 中間層は，コア外観やたたきではわからない場合があり，静弾性係数の低下や付加ひずみの発生が認められた。
- 塩化物イオン濃度が高い部位で，付加ひずみが大きくなる傾向が見られた。

舗装を剥いだところ

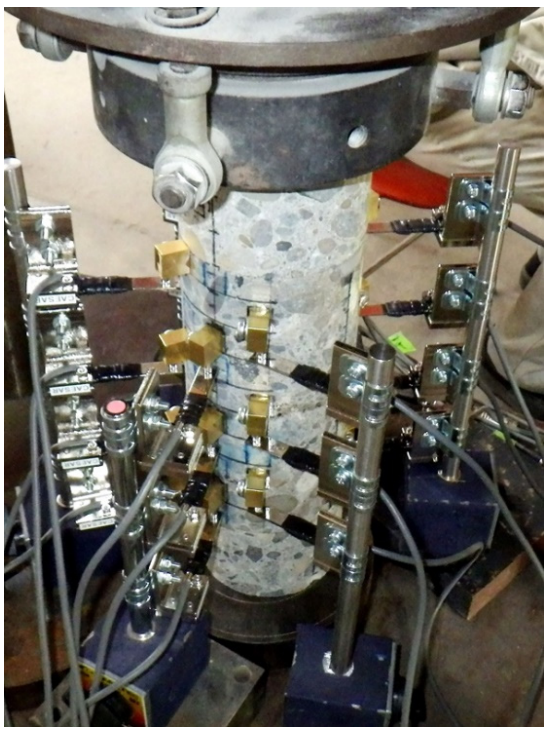



撤去床版の形状寸法，外観とコア削孔位置

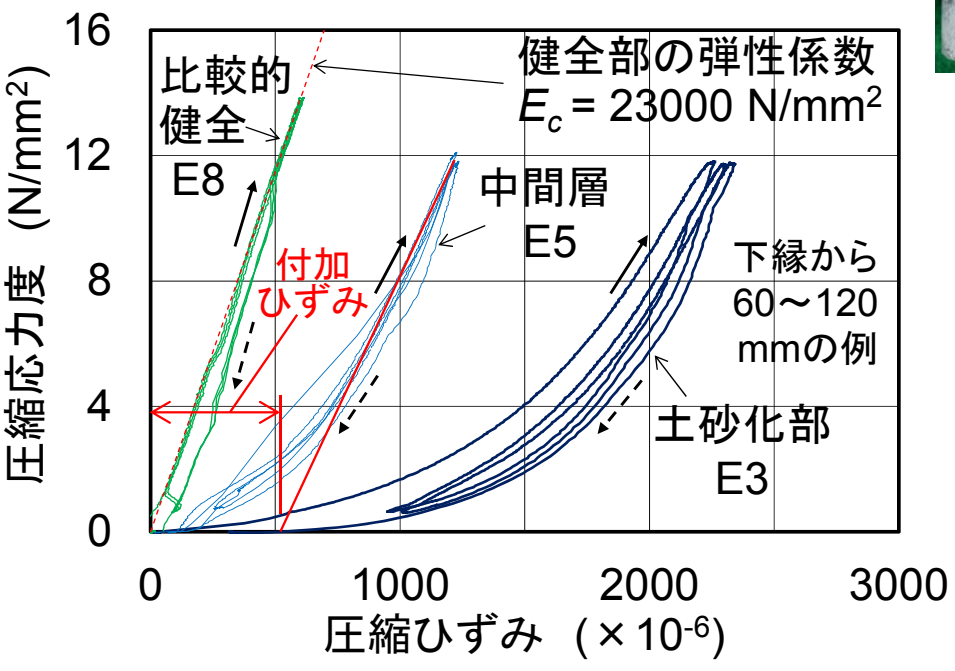
撤去床版の土砂化の状況



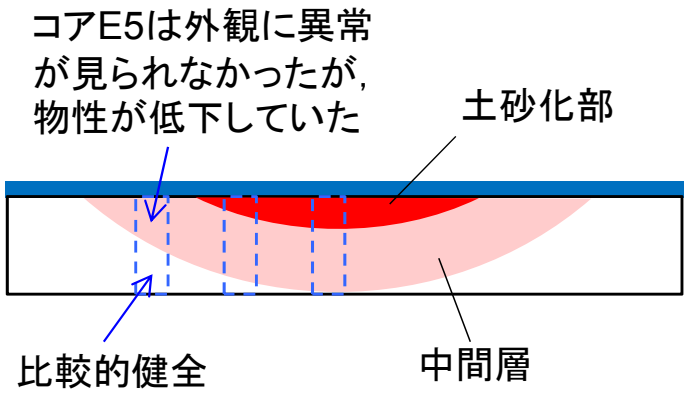

コアの外観の例



深さごとの静弾性係数の測定




応力－ひずみ関係において見られた
載荷初期の大きいひずみ（付加ひずみ）




土砂化の中間層の概念図
この床版の場合，土砂化部の直下のコンクリートはほとんど健全ではなかった

関連資料 ・JCI年次論文集，40-2，pp.1315-1320，2018.7. ・土木学会全国大会，V-404，2018.8.

# コンクリート橋桁端部用排水装置の開発

## ■概要

**≪目的≫**
コンクリート道路橋桁端部の漏水による塩害等の著しい劣化を予防するため，伸縮装置からの漏水対策が必要
予防保全のため，「できるだけ多くの橋で，かつできるだけ早期に，コンクリート橋桁端部の腐食環境を改善する手法」の開発が必要

**≪内容≫**
遊間の狭いコンクリート道路橋を対象に，桁端部用排水装置を試作して，実橋で試験施工を実施
漏水，付着塩分等の経過観察，適宜，装置や施工法を修正

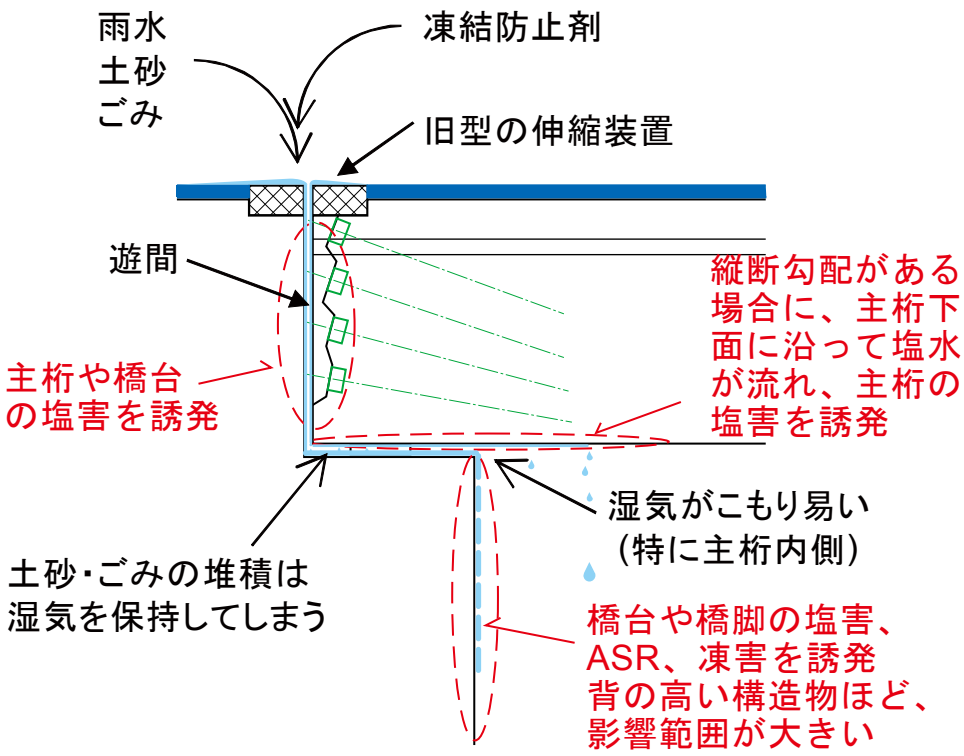
## ■コンクリート道路橋桁端部の劣化事例

路面からの塩水により，PC箱桁の桁端部や橋台・橋脚に著しい塩害が生じる

塩水はコンクリートの凍害を著しく促進する

これらの劣化が凍結防止剤の散布量と散布期間に概ね依存すると考えると，ある時期を過ぎると多くの橋に路線単位で急激に発生することが懸念される。

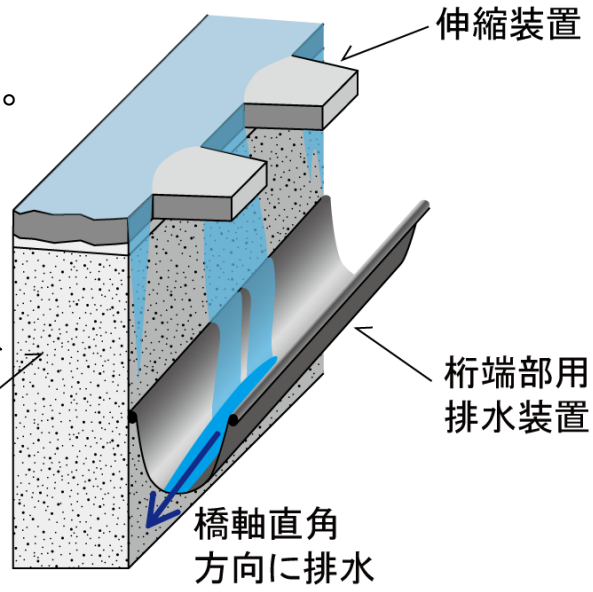
## ■コンクリート道路橋桁端部の腐食環境




- ポリエチレン製，ゴム製，2種類の排水装置を開発，実用化した。
- 遊間の発砲スチロールの削孔による除去技術を開発，実用化した。

## ■具体策の提案

桁端部用の排水装置とは，既設橋の側面から遊間に樋状のものを挿入して，伸縮装置を通じて流れる路面の水を受けて，橋の側面に排水するものを想定している。




## ■経過観察，効果の確認

### ポリエチレン製排水装置

遊間 50mm の例

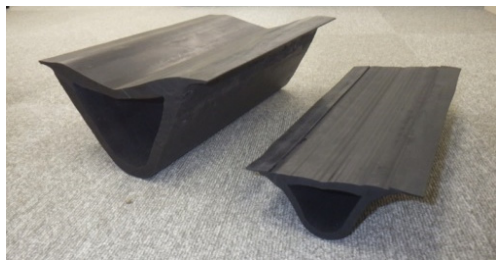
下の2枚は，いずれも撮影の前日から明け方にかけて雨

排水装置を設置した後は，橋台上の漏水が見られなかった。

設置前　　設置から約2箇月後

### ゴム製排水装置

遊間 70mm の例



下の2枚は，排水装置設置から約1年後，観察前の夜に雨

左岸側，排水装置なし

排水装置を設置した側では漏水が見られなかった。

右岸側，排水装置あり

CAESARと，東拓工業(株)，(株)ビービーエムそれぞれとの共同開発による。

関連資料　・土木技術資料，pp.29-34，2013.11.　・土木技術資料，pp.36-41，2015.6.

# CAESAR臨床研究に関する文献リスト


P3-1） 花井拓，仲嶺智，砂川勇二，木村嘉富，田中良樹：離島架橋を塩害から守る，土木技術資料，pp.36-39，2011.2.

P3-2） 木村嘉富，田中良樹，花井拓，岡智彦：海洋環境下に建設されたコンクリート橋脚の初期物性調査－伊良部大橋 P21 橋脚－，土木研究所資料，4235 号，2012.8.

P3-3） 本間英貴：沖縄県伊良部大橋における初期塩分調査，土木技術資料，p.53，2013.10.

P3-4） 石田雅博，廣江亜紀子，本間英貴，青柳聖：伊良部大橋―離島架橋の初期物性調査―，橋梁と基礎，pp.41-44，2014.10.

P4-1） 松尾健二，山口岳思，廣江亜紀子，小原孝之，杉谷真司：撤去桁の疲労載荷試験におけるモニタリング技術検証（その１）～疲労載荷試験概要と試験結果～，土木学会第 73 回年次学術講演会概要集，CS9-008，2018.8.

P4-2） 木下翔平，葛西茂，清川裕，小原孝之，松尾健二：撤去桁の疲労載荷試験におけるモニタリング技術実証（その２）実験モード解析による疲労損傷評価，土木学会第 73 回年次学術講演会概要集，CS9-009，2018.8.

P4-3） 皆川翔輝，遠藤義英，山岸貴俊，小原孝之， 松尾健二：撤去桁の疲労載荷試験におけるモニタリング技術検証（その３）低周波３軸加速度の多点同期計測による疲労損傷解析，土木学会第 73 回年次学術講演会概要集，CS9-010，2018.8.

P4-4） モニタリングシステム技術研究組合平成 30 年度活動報告会資料 https://raims.or.jp/release/h30_raims.html

P5-1） 吉田英二，石田雅博，宇佐美惣，林克弘，関口斉治：塩害による損傷を受けた PC 主桁の耐荷力評価手法の提案，土木学会第 71 回年次学術講演会概要集，Ⅴ-577，2016.

P5-2） CAESAR，プレストレスト・コンクリート建設業協会：撤去橋梁を用いた既設 PC 橋の診断技術高度化に関する共同研究報告書－振動測定による既設 PC 橋の異状検知に関する研究－，共同研究報告書，466 号，2015.9.

P6-1） 国土技術政策総合研究所，CAESAR，プレストレスト・コンクリート建設業協会：プレストレストコンクリート橋における初期変状の影響評価と対策に関する共同研究報告書（その１），共同研究報告書，468 号，2016.3.

P6-2） 林克弘，石田雅博，中山良直，狩野武：施工中における PC 箱桁橋（張出し架設・支保工分割架設）のひずみ計測，第 24 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.189-192，2015.10.

P7-1） 山崎旬也，吉田英二，石田雅博：動的遠心模型実験による３ヒンジ式プレキャストアーチカルバートの地震時縦断方向挙動，土木学会第 73 回年次学術講演会概要集，Ⅲ-576，2018.8.

P8-1） 中尾尚史，森屋圭浩，榎本武雄，星隈順一：宮古橋周辺での津波の特性と橋に及ぼした影響の評価，土木学会論文集 A1，Vol.71，No.4（地震工学論文集第 34 巻），pp.I_317-I_328，2015.

P9-1） 田中良樹，石田雅博，村越潤：道路橋における凍結融解と ASR の影響を受けたコンクリートの劣化調査，土木学会論文集 E2，72-3，pp. 214-233，2016.7.

P9-2） 田中良樹，石田雅博，玉越隆史：道路橋における凍結融解の繰返しによるコンクリート中の粗骨材の割れ～コンクリートの著しい損傷が見られた撤去床版の劣化調査～，土木技術資料，pp.49-50，2017.6.

P10-1） 大住道生，星隈順一：熊本地震により被害を受けた道路橋の損傷痕に基づく要因分析：性能に基づく橋梁との耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，pp.121-128，2017.

P11-1） 同上

P12-1） 中尾尚史，炭村透，森屋圭浩，星隈順一：津波の影響を受ける既設橋における支承部の評価技術に関する研究，土木学会論文集 A1，Vol.73，No.2，pp.413-423，2017.

P13-1） 髙野真，岡田太賀雄，大住道生：地震により残留変形が生じたゴム支承の残存性能に関する検討，第 20 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，pp.171-176，2017.7.

P13-2） 高野真，大住道生：地震により残留変位が生じたゴム支承の状態変化が力学特性に及ぼす影響，第 21 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，pp.97-102，2018.7.

P13-3） 大住道生，中尾尚史，高野真：経年劣化がゴム支承に与える影響に関する事例検討，土木学会第 73 回年次学術講演会概要集，Ⅰ-308，2018.8.

P14-1） 鬼木浩二，岡田太賀雄，河野哲也，末崎将司，星隈順一：既設橋梁から撤去した既製 RC 杭を用いた耐震性能に関する実験的研究，第 18 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，pp.21-26，2013.7.

P14-2） 河口大輔，鬼木浩二，澤田守，大住道生：撤去杭を用いた既製ＲＣ杭のせん断破壊に着目した実験的検討，第 21 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，pp.17-22，2018.7.

P16-1） 村越潤，木村嘉富，高橋実：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），土木研究所資料，4138 号，2009.3.

P16-2） CAESAR，菱電湘南エレクトロニクス（株），三菱電機（株）情報技術総合研究所：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法に関する共同研究報告書，共同研究報告書，452 号，2013.5.

P19-1） 田中良樹，玉越隆史，村井啓太，藤本圭太郎：道路橋コンクリート床版の土砂化部周辺の変状に関する調査，コンクリート工学年次論文集，40-2，pp.1315-1320，2018.7.

P19-2） 田中良樹，玉越隆史，村井啓太，藤本圭太郎：劣化したコンクリートコアの高さごとの弾性特性測定，土木学会第 73 回年次学術講演会概要集，V-404，2018.8.

P20-1） 村越潤，田中良樹，藤田育男，坂根泰，田中健司，植田健介：既設コンクリート道路橋桁端部の腐食環境改善への取り組み，土木技術資料，pp.29-34，2013.11.

P20-2） 田中良樹，村越潤，石田雅博，吉田英二：道路橋桁端部の腐食環境調査～橋台，橋脚の調査事例～，土木技術資料，pp.36-41，2015.6.


注） 文献番号の P**は，関連するページを示します。

CAESARの土木研究所資料及び共同研究報告書はCAESARホームページでご覧いただけます。

http://www.pwri.go.jp/caesar/profile/04-02.html

国立研究開発法人土木研究所
**構造物メンテナンス研究センター(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

2018.9