

道路インフラの維持管理に関する最近の話題

九州地方整備局での道路橋の災害対応
— 平成28年(2016年)熊本地震の例 —

国土交通省 九州地方整備局
道路保全企画官 鋤 淳司

道路の老朽化対策について

道路の老朽化対策に関する取組みの経緯

○ 笹子トンネル天井板落下事故[H24.12.2]

○ トンネル内の道路附属物等の緊急点検実施[H24.12.7] : ジェットファン、照明等

○ 道路ストックの集中点検実施[H25.2~] : 第三者被害防止の観点から安全性を確認

○ 道路法の改正[H25.6] : 点検基準の法定化、国による修繕等代行制度創設

○ 定期点検に関する省令・告示 公布[H26.3.31] : 5年に1回、近接目視による点検

○ 道路の老朽化対策の本格実施に関する提言[H26.4.14]

○ 道路メンテナンス会議 設立[H26.4~] : 地方公共団体の取組みに対する体制支援

○ 定期点検要領 通知[H26.6.25] : 円滑な点検の実施のための具体的な点検方法等を提示

○ 定期点検に関する省令・告示 施行[H26.7.1] : 5年に1回、近接目視による点検開始

○ 定期点検要領 通知[H31.2.28] : 定期点検の質を確保しつつ、実施内容を合理化

○ 定期点検要領 通知[R6.3.27] : 定期点検の質の確保(健全性の診断に係る技術的根拠、記録の合理化)

H16 直轄道路橋の定期点検(近接目視、5年毎、対策区分の判定、損傷程度の評価)



山添橋(国道25号)亀裂、木曾川大橋、本荘大橋の斜材破断など重大損傷

H19 長寿命化修繕計画策定補助事業・・・「基礎データ収集要領(案)※」の提示



H24 中央自動車道 笹子トンネル天井版落下事故

H25 インフラ長寿命化基本計画・・・インフラメンテナンス元年

H26 道路法改正・・・道路構造物の定期点検の義務化



(概ね1巡)

(近接目視、5年毎、健全性の診断の区分、知識と技能)
技術的助言「定期点検要領等」の発出

H31



(概ね2巡)

・・・技術的助言等の見直しによる合理化

(目視困難箇所(水中部など)や溝橋等の点検方法における合理化)
(点検支援技術の積極的な活用が可能であることの明確化)

R5 3巡目に向けた総括と対応の検討(社整審道路分科会道路技術小委員会など)

○法令および技術的助言の内容は概ね妥当

ただし、

- ▲外観のみからの機械的な評価(措置方針を決定)が散見 → 点検品質のばらつき
- ▲記録すべき所見の内容にばらつき → 記録品質とデータとしての有用性に課題
- ▲重要性の低い情報まで機械的に取得する不合理が散見 → 自治体に負担感

R6 (3巡目)～ 定期点検の質の確保(健全性の診断に係る技術的根拠)、記録の合理化

目 次

1. 熊本地震の概要
2. 事例① 阿蘇長陽大橋
3. 事例② 桑鶴大橋
4. 事例③ 大切畑大橋

熊本地震の概要と被害

- ①発生日時：前震：平成28年4月14日21時26分，本震：4月16日1時25分
- ②規模：最大震度7（前震 M6.5，本震 M7.3）
- ③特徴：顕著な断層変位の発生，最大規模の地震動の続発

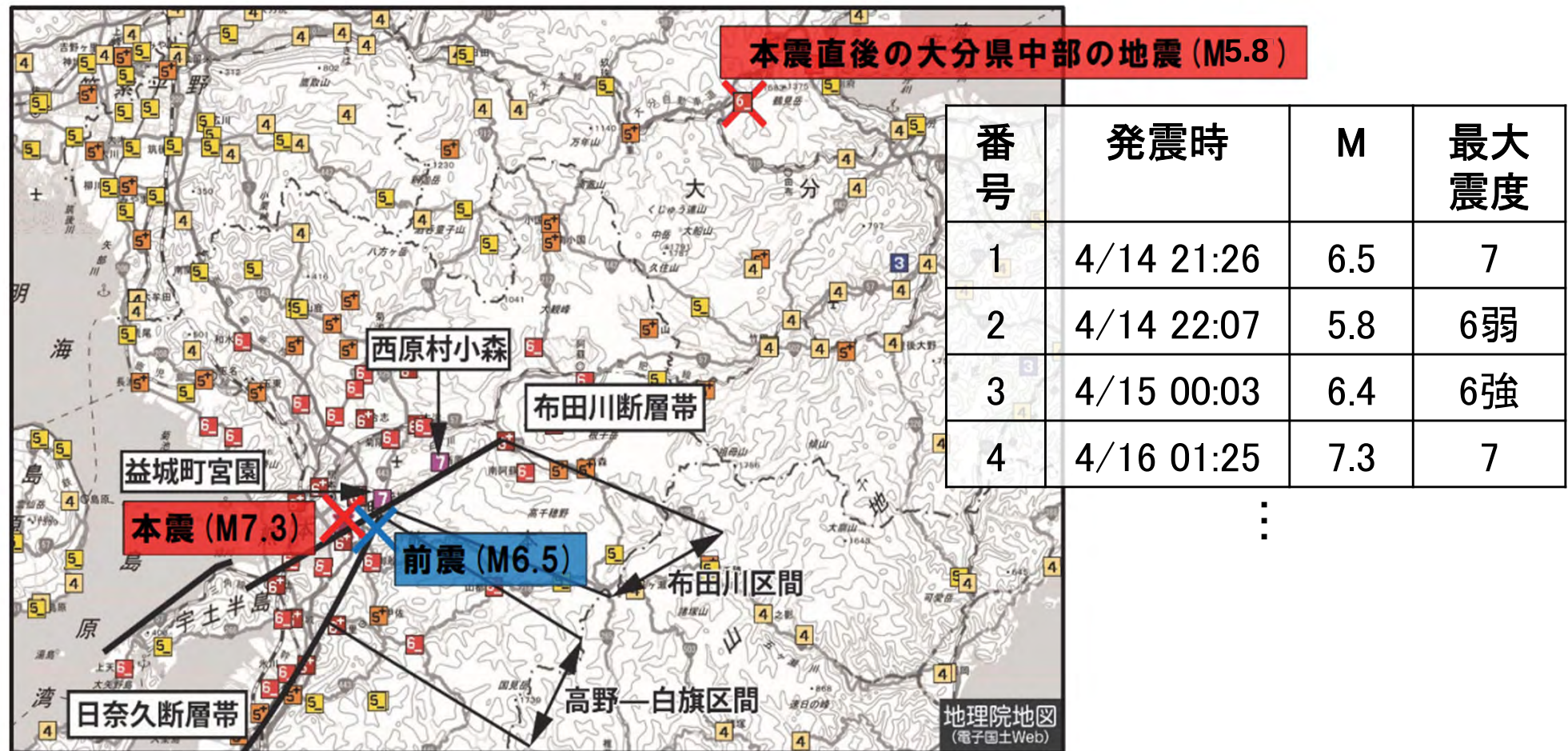


図-2.1.2 前震及び本震の震央と活断層

熊本地震の概要と被害

① 橋梁被害: 影響地域内の約15,700橋うち、182橋(※1)で被害

※1 地方公共団体が管理する橋梁の被災は国交省所管施設災害申請ベース(平成28年5月31日時点)



【凡例】

- 被災なし
- 被災あり

熊本地震の概要と被害

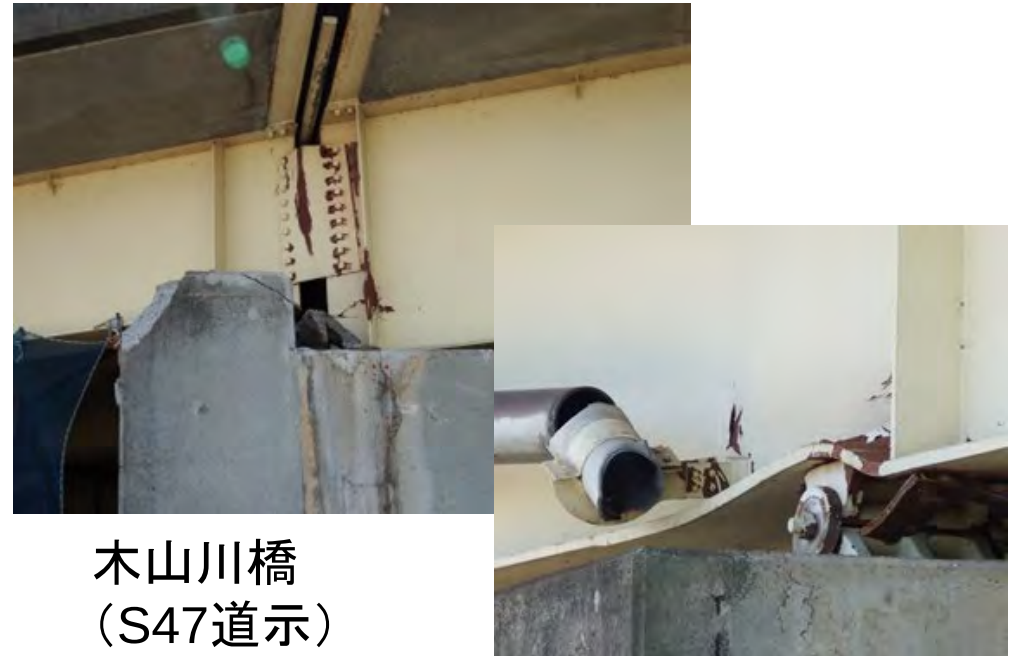
■道路橋の主な被害パターン①

- ・耐震補強前の古い基準の橋における深刻な被害



中央線陸橋
(適用基準不明)

- ・帯鉄筋の間隔が広い
- ・鉄筋量が少ない



木山川橋
(S47道示)

- ・古い鋼製支承
- ・古いタイプの桁間連結

↑ 最新の道路橋示方書では、概ね解決済み
耐震対策未完了の橋梁では被災リスクが高い

熊本地震の概要と被害

■道路橋の主な被害パターン②

・構造的リダンダンシーの乏しい橋の倒壊 ……府領第一

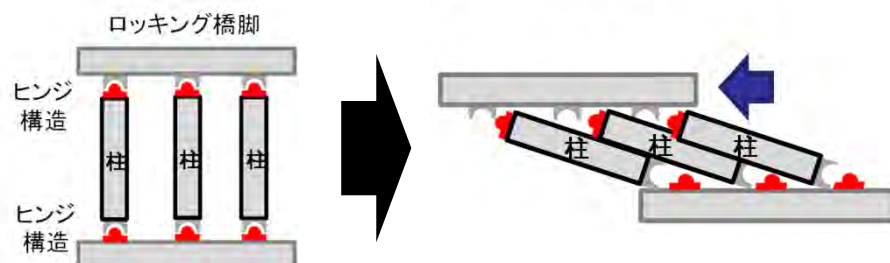
・上下ピボットの支承の中間ロッキング橋脚の倒壊に伴う落橋



府領第一橋 (S47道示)



参考: 同形式橋



↑ 震後に全国注意喚起 + 道示の改定に反映
「支承部の破壊で下部構造が不安定化しない配慮を要求」

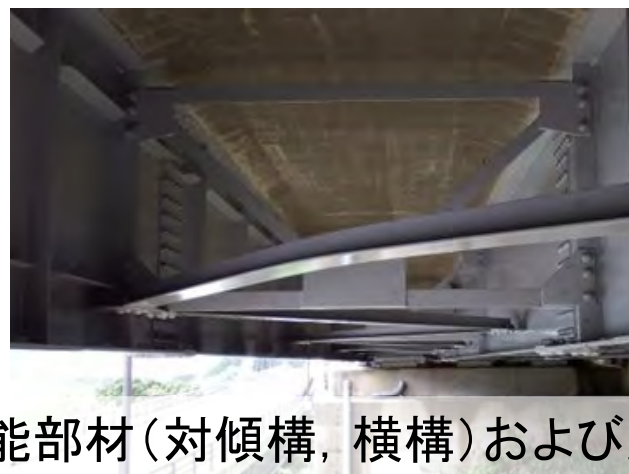
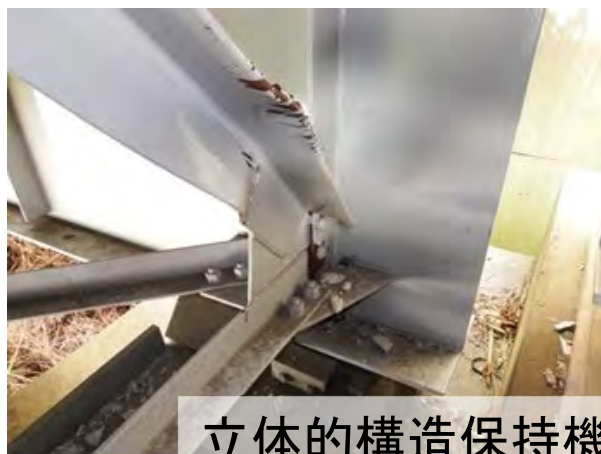
熊本地震の概要と被害

■道路橋の主な被害パターン③

・強い地震動の影響による様々な形態の破壊が発生 ……南阿蘇他多数



上下部接続部(支承部, 変位制限装置, 減衰付加装置など)の損傷



立体的構造保持機能部材(対傾構, 横構)および支点部主桁の損傷

↑ 設計モデルや荷重条件とは、「必ず一致しない」作用を受けることになるため、全ての橋梁について緊急調査が行われる。

■道路橋の主な被害パターン③

- ・強い地震動の影響による様々な形態の変状が発生



大型のトラス橋の橋門構等の塑性化



下部構造の沈下，傾斜，液状化など



熊本地震の概要と被害

■ 道路橋の主な被害パターン④

- ・斜面崩壊や地盤変状の影響による被害
- ・戸下, 阿蘇大橋,



↑ ハードでの対策には限界があり、
震後の道示改定では、架橋位置への配慮について充実された

■道路橋の主な被害パターン⑤

・強い地震動の影響による橋全体の致命的被害

事例① 阿蘇長陽大橋

事例② 桑鶴大橋

事例③ 大切畑大橋

阿蘇長陽大橋の被害と復旧：橋梁概要

上部構造形式	PC4径間連続ラーメン箱桁橋
下部構造形式	逆T式橋台，壁式中空橋脚
適用示方書	昭和55年 道路橋示方書
架設年次	平成5年(1993年)



阿蘇長陽大橋の被害と復旧①: 主な被害(橋脚) 1

中空断面の高橋脚に多数のひび割れが発生



- 貫通していると、耐荷性能の深刻な低下も
→ 内部調査の実施
- ひび割れは特定の断面に集中
→ 構造的特徴との関係を調査
- ひびわれの性状や性向は多様で複雑
→ 設計で考慮していない複雑な挙動の可能性



ひびわれは、貫通しており脆性的な破壊への移行も懸念



→ 断面性能の回復だけでなく、同様の被害が生じないためには、
靱性の向上が必要

(参考) 中空断面橋脚に対する構造細目

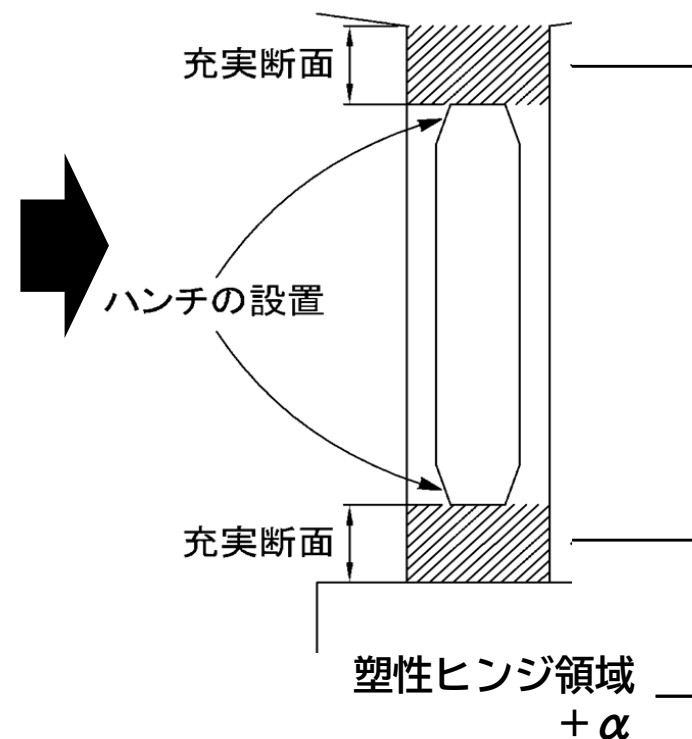
充実断面を前提とした照査基準を中空断面に適用する危険性

鉄筋量や断面積のみを一致させ中空化
→ ひびわれが貫通し強度の急激な低下



大型供試体による実験により検証

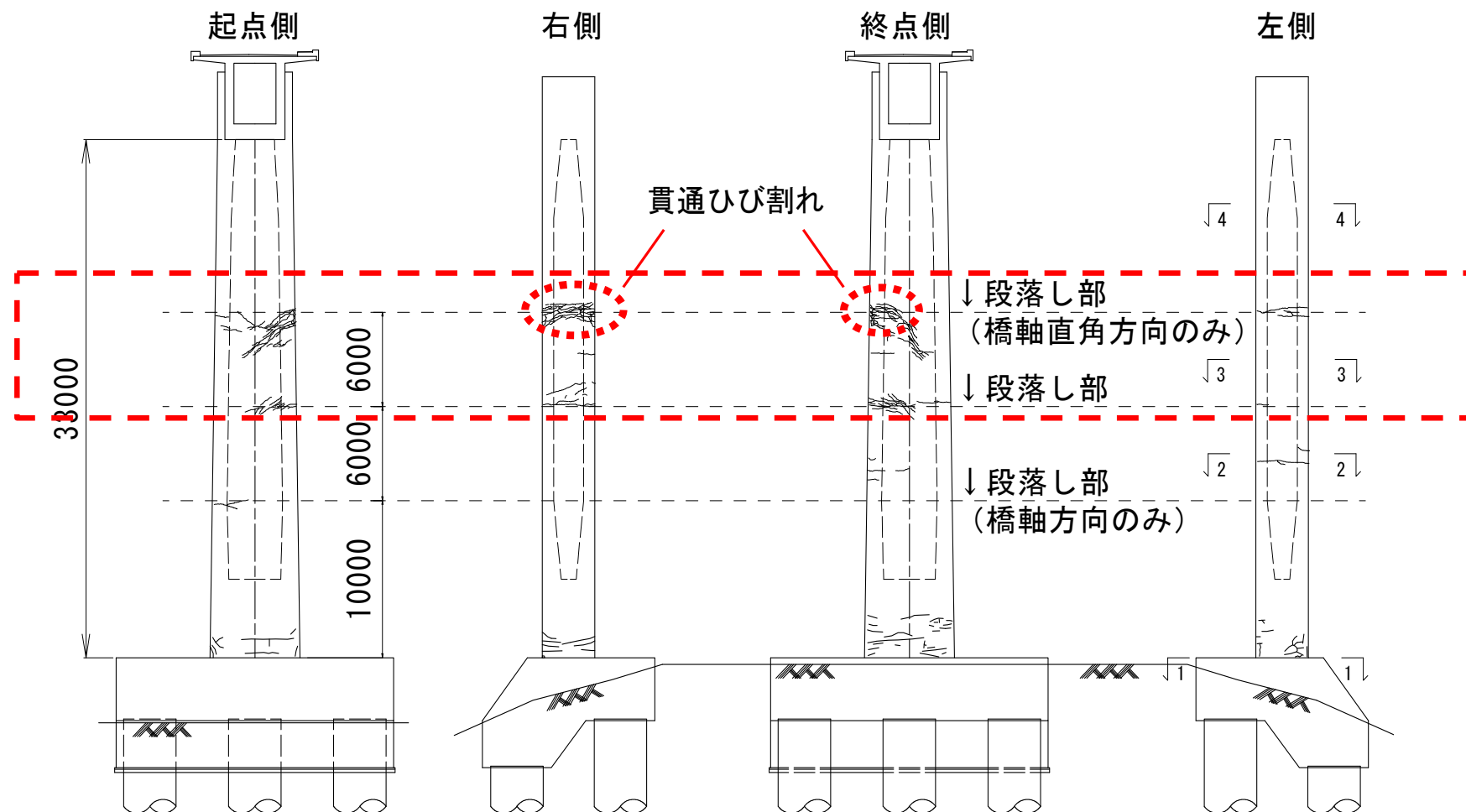
H24道示にて細目を規定



阿蘇長陽大橋の被害と復旧①: 主な被害(橋脚)3



ひびわれ集中箇所は、段落とし部に概ね一致

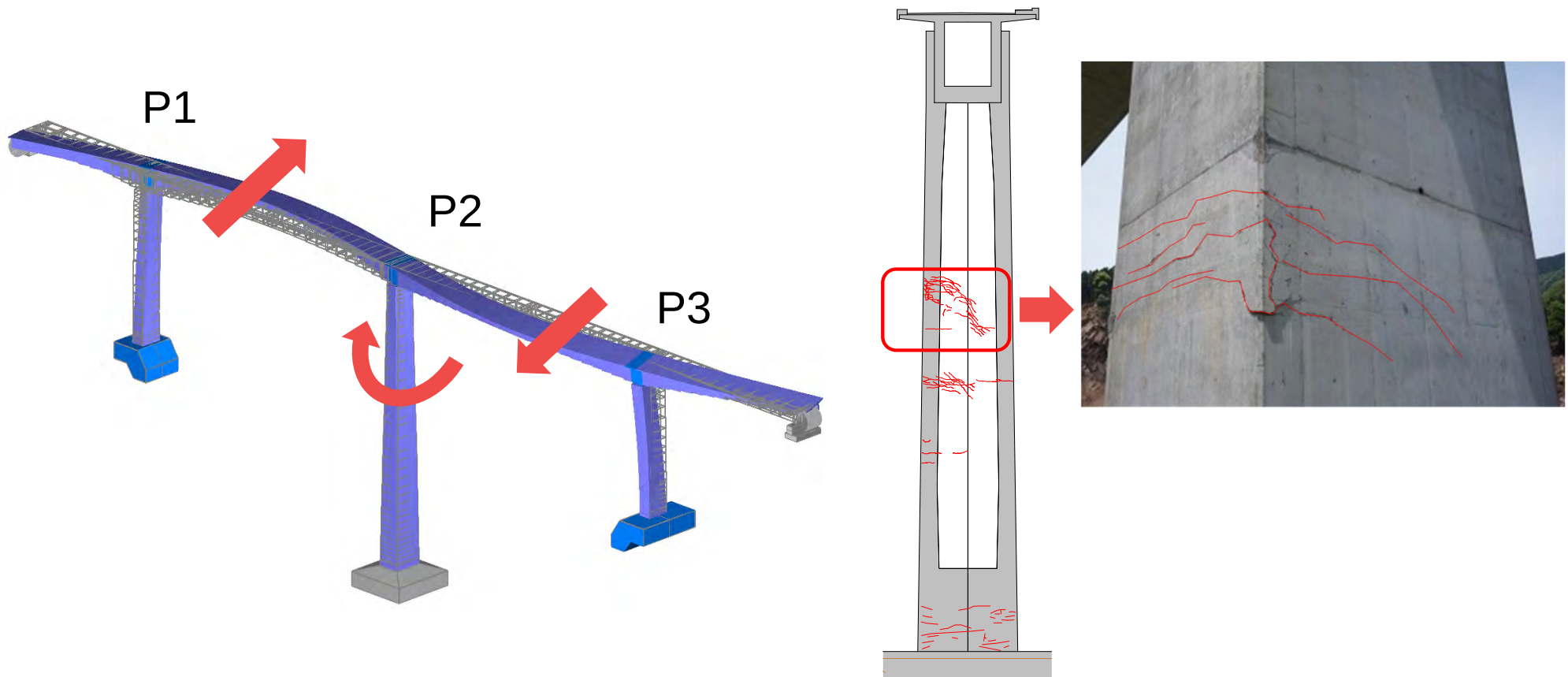


→ 段落としによる弱点改善・解消が期待できる補強が対策が必要

阿蘇長陽大橋の被害と復旧①: 主な被害(橋脚) 4



地震動によって、長支間の上部構造ともども高橋脚は複雑に挙動した可能性



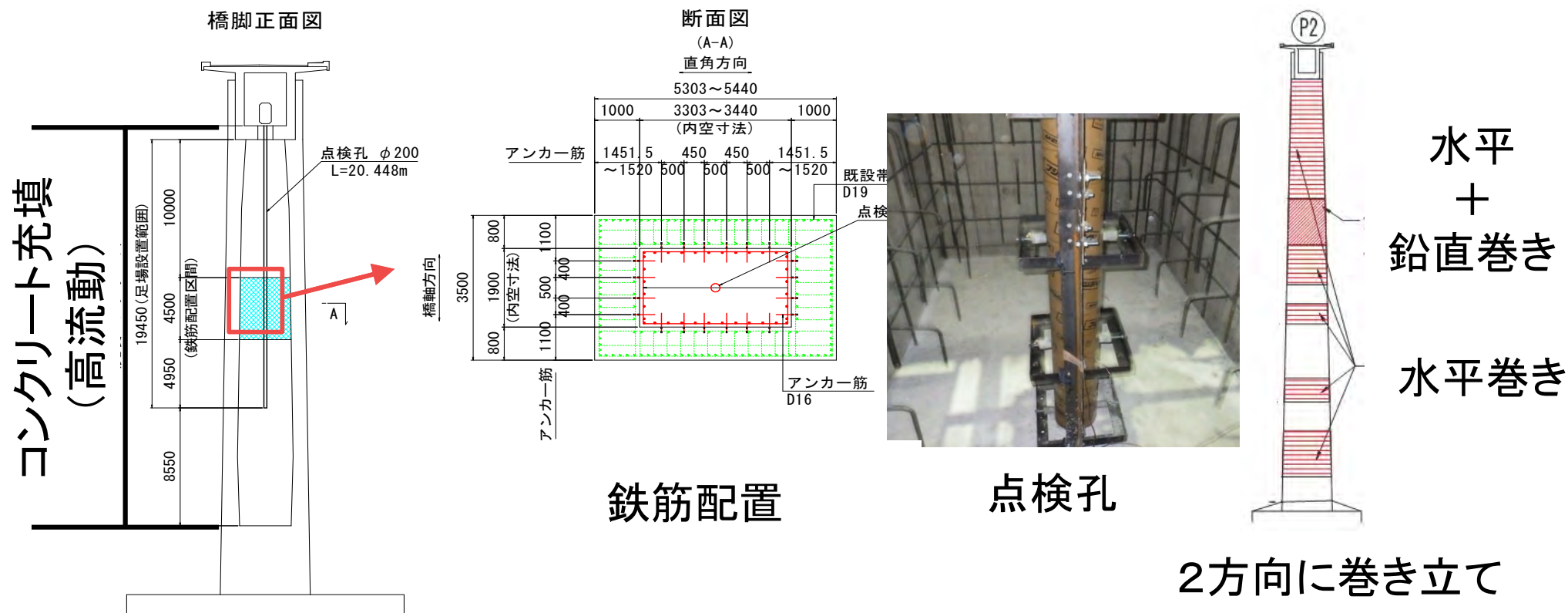
→ 直交2方向以外の多方向の複雑な挙動にも有効な対策が必要

阿蘇長陽大橋の被害と復旧①: 橋脚の復旧

対策の概要

制約条件

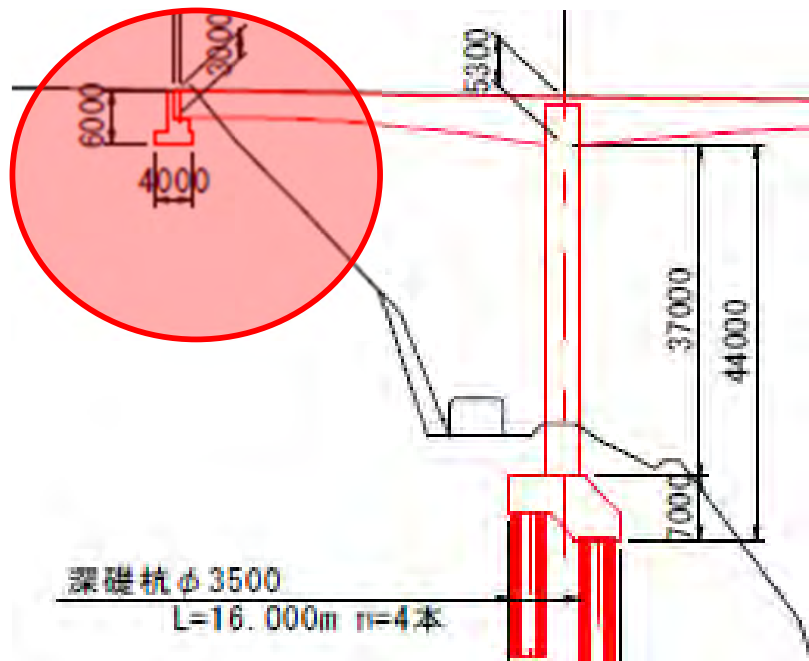
- ・死荷重増による基礎への影響が懸念
 - ・同様の地震の際の内部の健全性の把握
 - ・既設コンクリートとの一体化
 - ・複雑な挙動に対する対策
- 問題ないことを確認
 - 点検孔の設置
 - 鉄筋の配置
 - 炭素繊維の巻立て方の工夫



完成状況(参考)



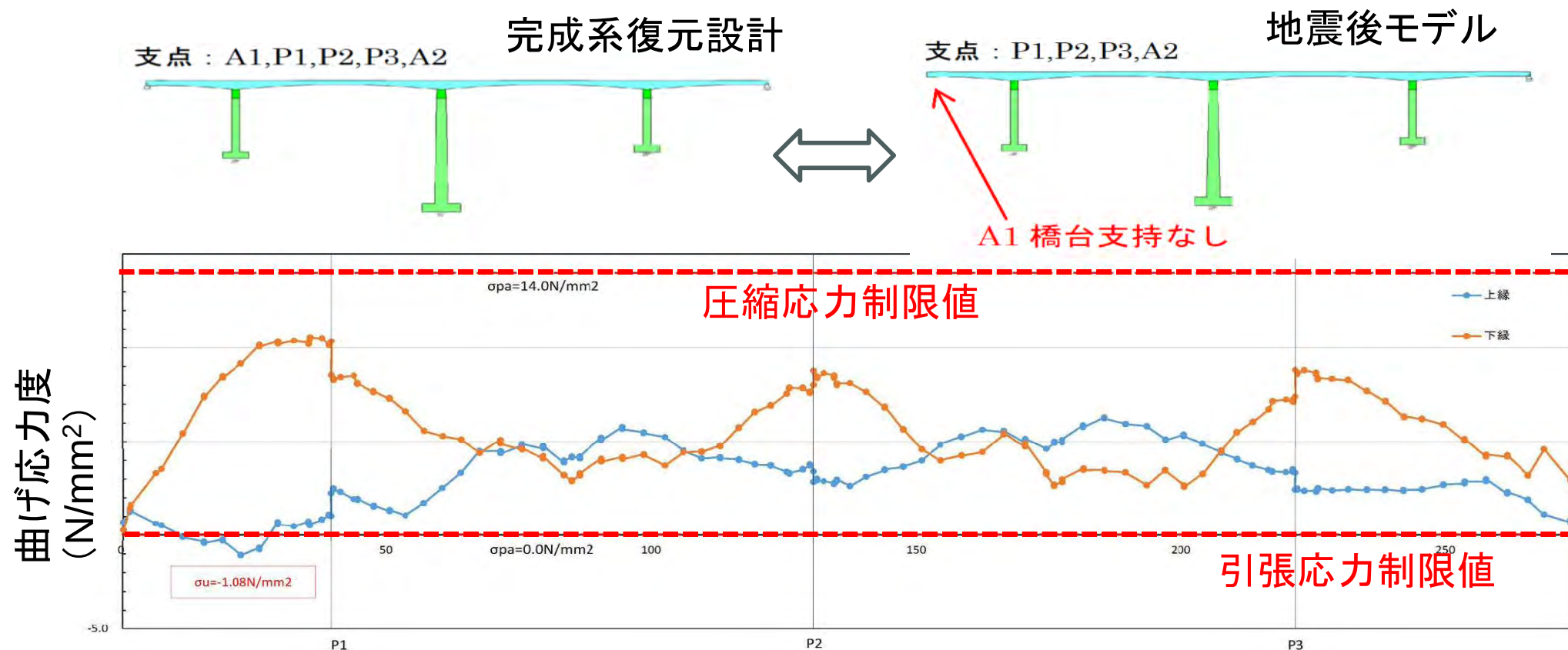
支持地盤部の崩壊に伴う橋台の沈下



阿蘇長陽大橋の被害と復旧②：上部構造の状態

- 桁端部で下部構造による支持が完全に失われており，主桁への影響が懸念
- 大規模PC橋であり，完成形の応力状態には架設の影響が無視できない。

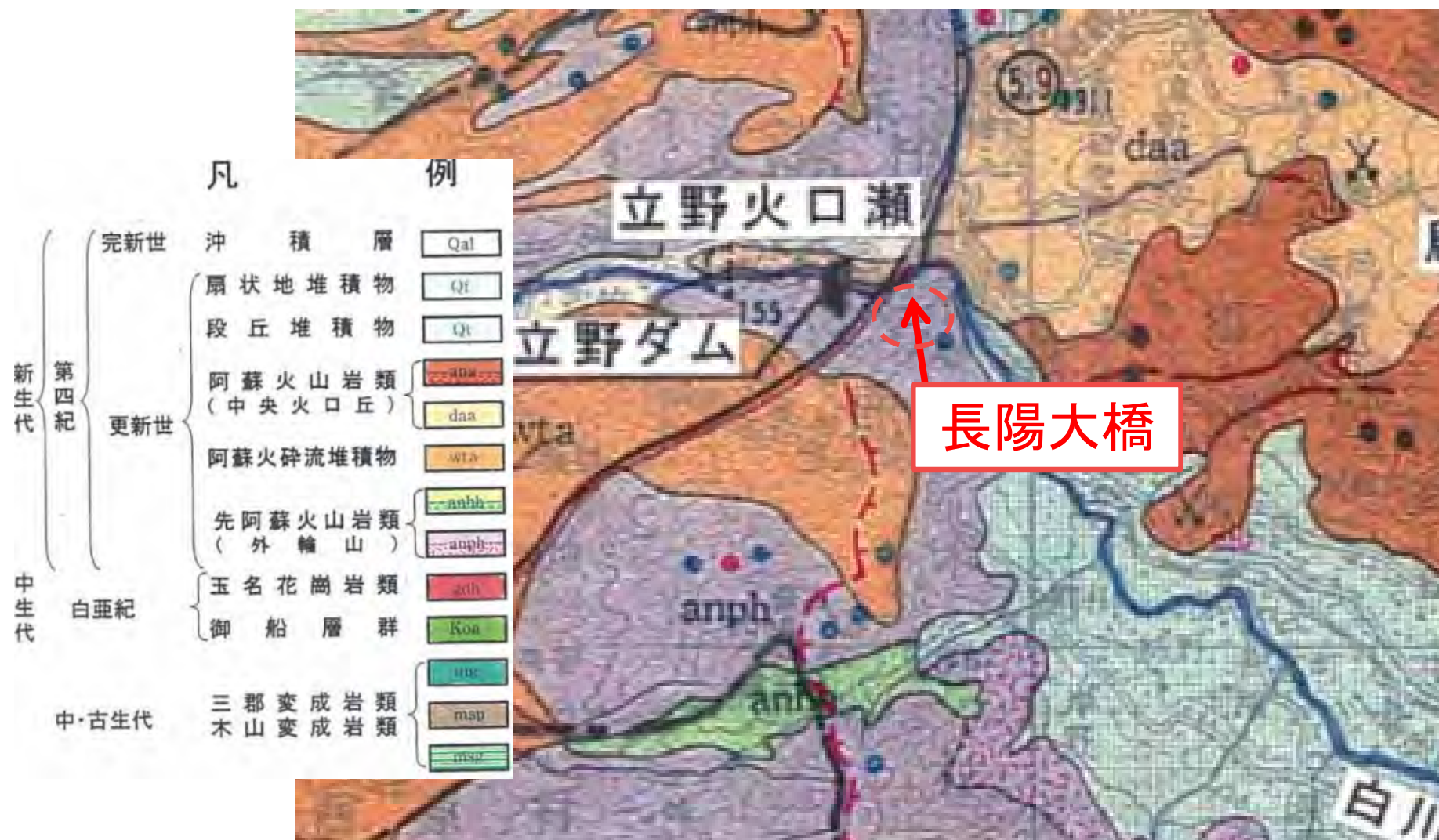
張り出し施工の手順の再現解析による完成系の復元を実施



→ 張出し施工の連続ラーメン橋であり，橋台喪失の上部構造への影響は限定的
地盤変状の影響を受ける橋の形式選定の重要性→阿蘇大橋はこの形式で再建

阿蘇長陽大橋の被害と復旧②：周辺の地層

架橋位置は阿蘇火砕流堆積物であり、今後も脆弱化リスクが相対的に高い地質



(国交省九州地方整備局「立野ダム建設事業の検証に係る検討」より)

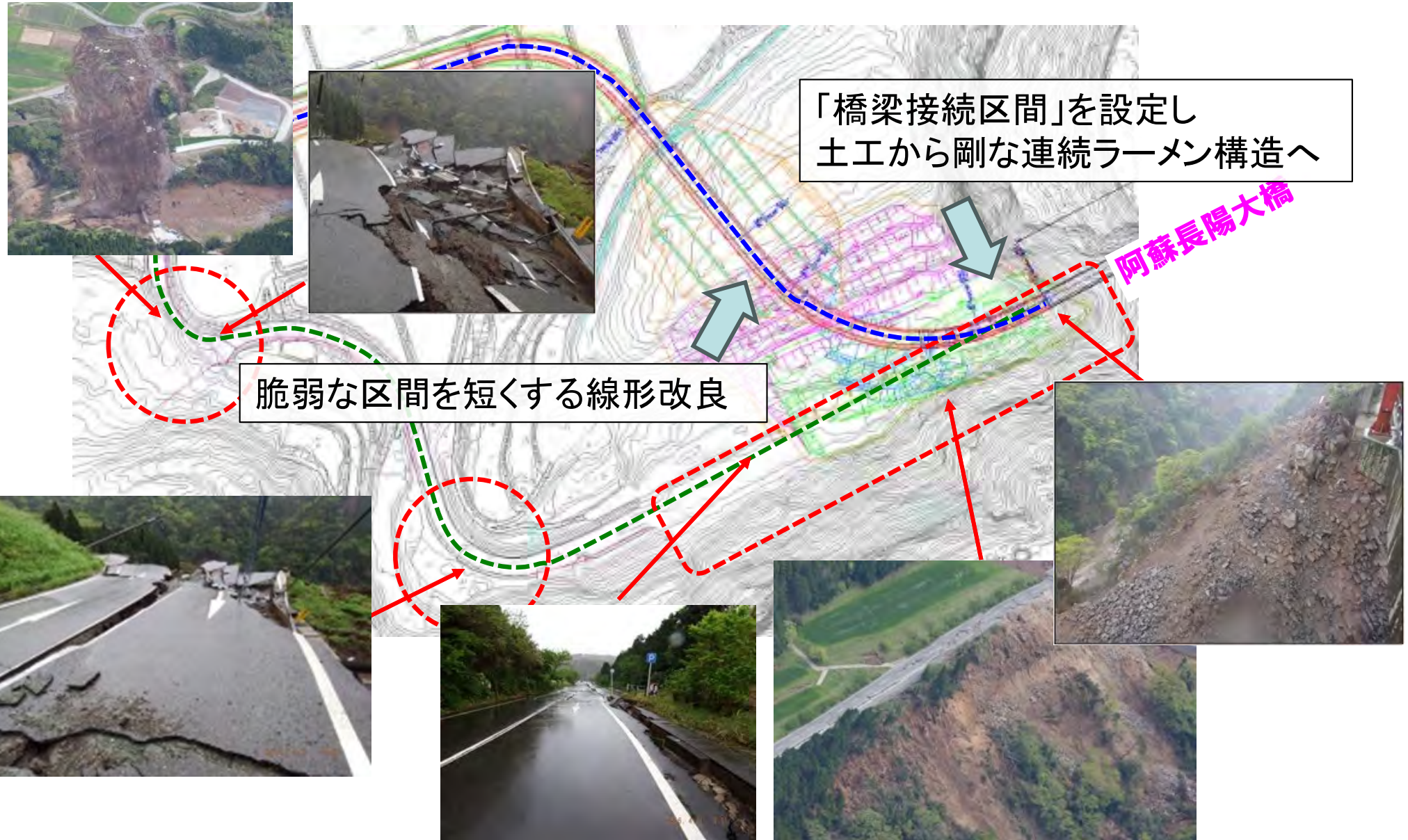
阿蘇長陽大橋の被害と復旧②: 周辺の断層

架橋位置の近くに断層が存在しており、今後も同種の地震が生じる可能性あり

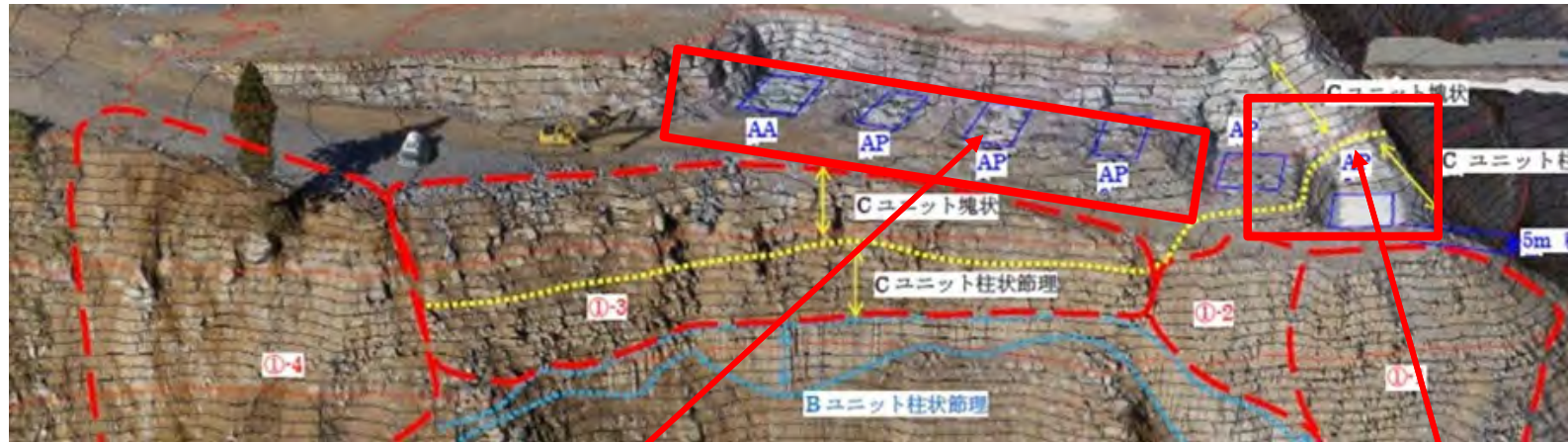


阿蘇長陽大橋の被害と復旧②: 道路の線形の見直し

- ・地盤の風化・劣化防止には限界があり, 類似地震で再度崩壊のリスクが懸念
⇒ 再度の地盤変状も視野に, 道路機能の確保ができるだけ期待できる対策



なお、橋台は柱状節理が露頭し脆弱化のリスクのある地盤が避けられない



⇒ 人力による丁寧な弱部(緩んだ岩)の除去・清掃

⇒ 表面からのセメントミルク注入とモルタル被覆による雨水の浸入防止策

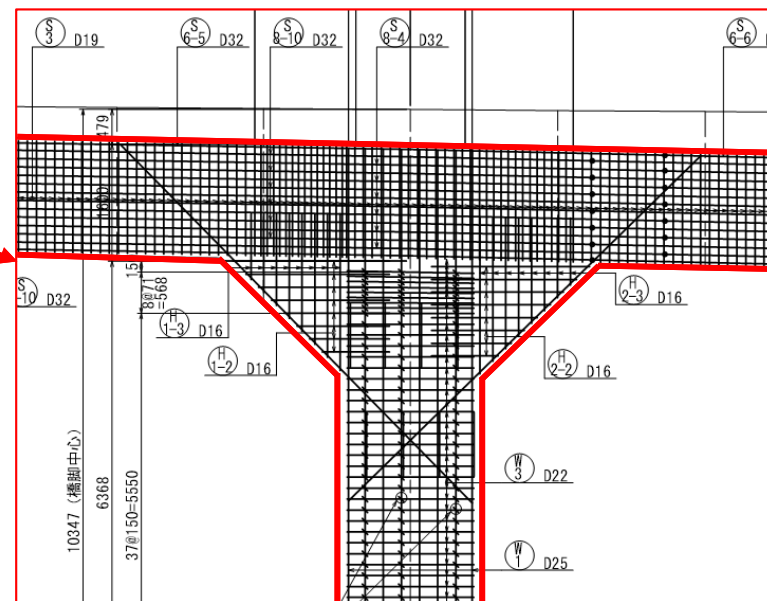


- ・支持地盤が崩れても構造が一体で挙動し，路面の連続性が確保できる工夫
 - 剛なコンクリート製の一体構造物(連続ラーメン構造)
 - 「橋梁接続区間」として，橋や土工構造物に拘らず目的にかなう設計



例えば，

- ・十分な部材厚さの確保
- ・大型ハンチと密な鉄筋の配置

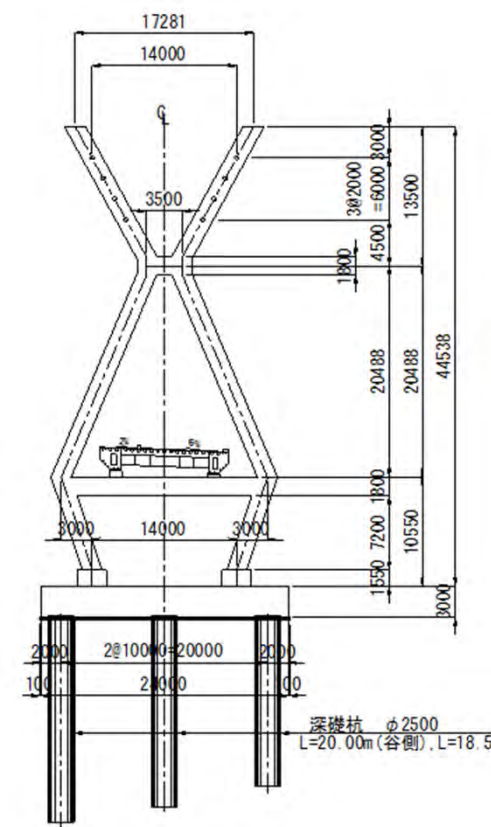
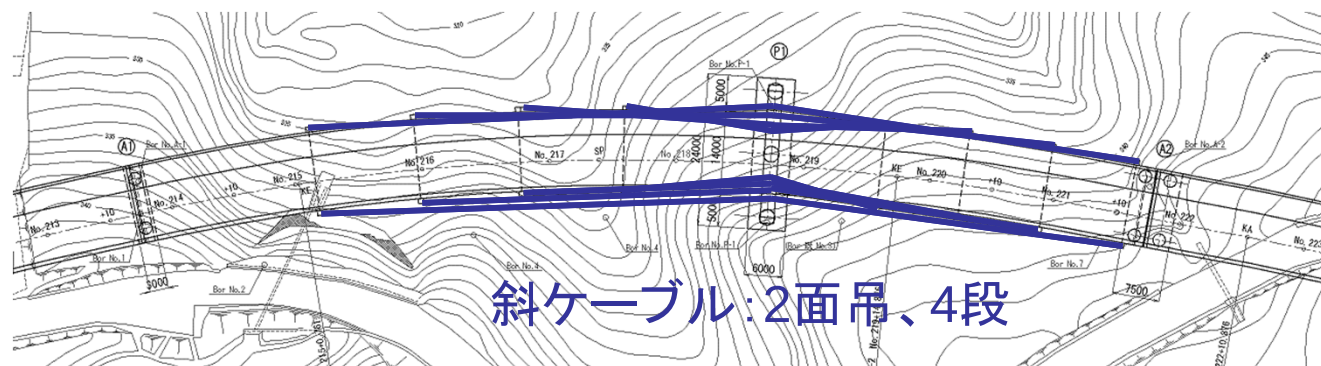


阿蘇長陽大橋の被害と復旧②：復旧状況

措置の実施と結果

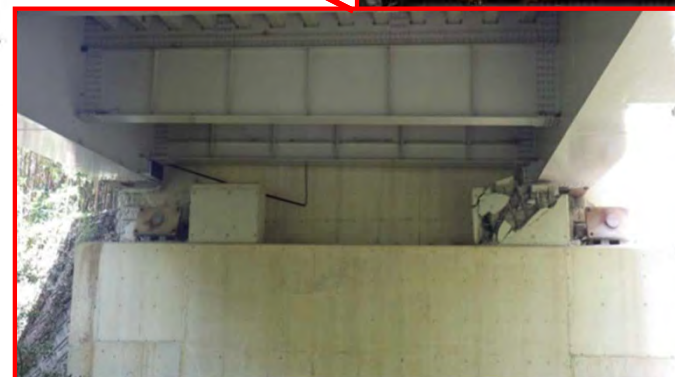
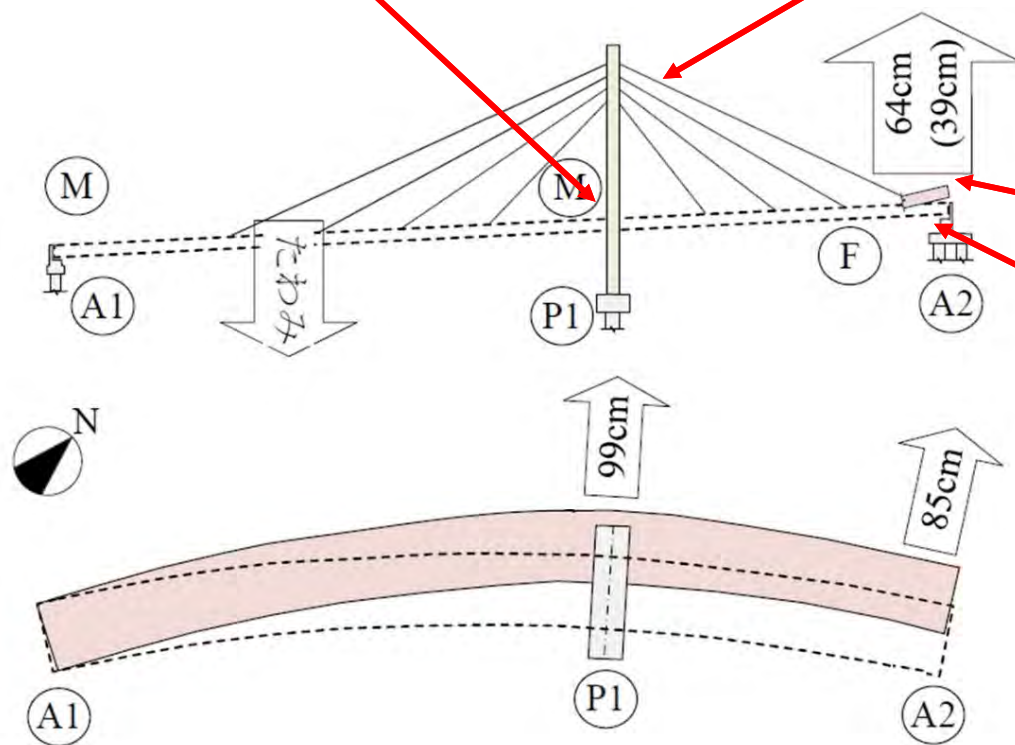
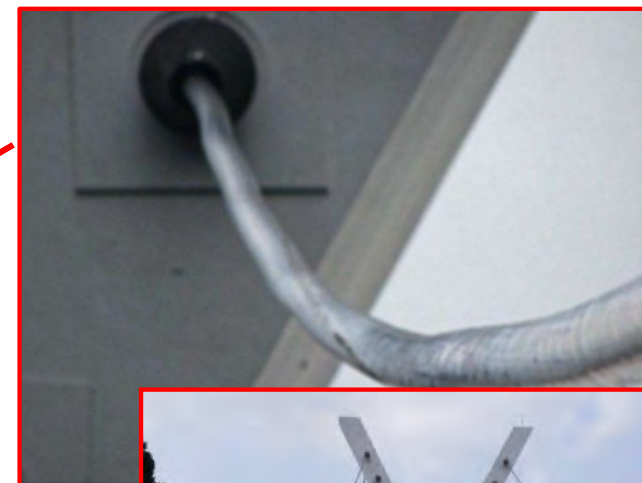


- | | |
|--------|--------------|
| 上部構造形式 | 鋼2径間連続斜張橋 |
| 下部構造形式 | 逆T式橋台，鋼製橋脚 |
| 基礎工形式 | 深礎杭基礎 |
| 適用示方書 | 平成6年 道路橋示方書 |
| 架設年次 | 平成10年(1998年) |



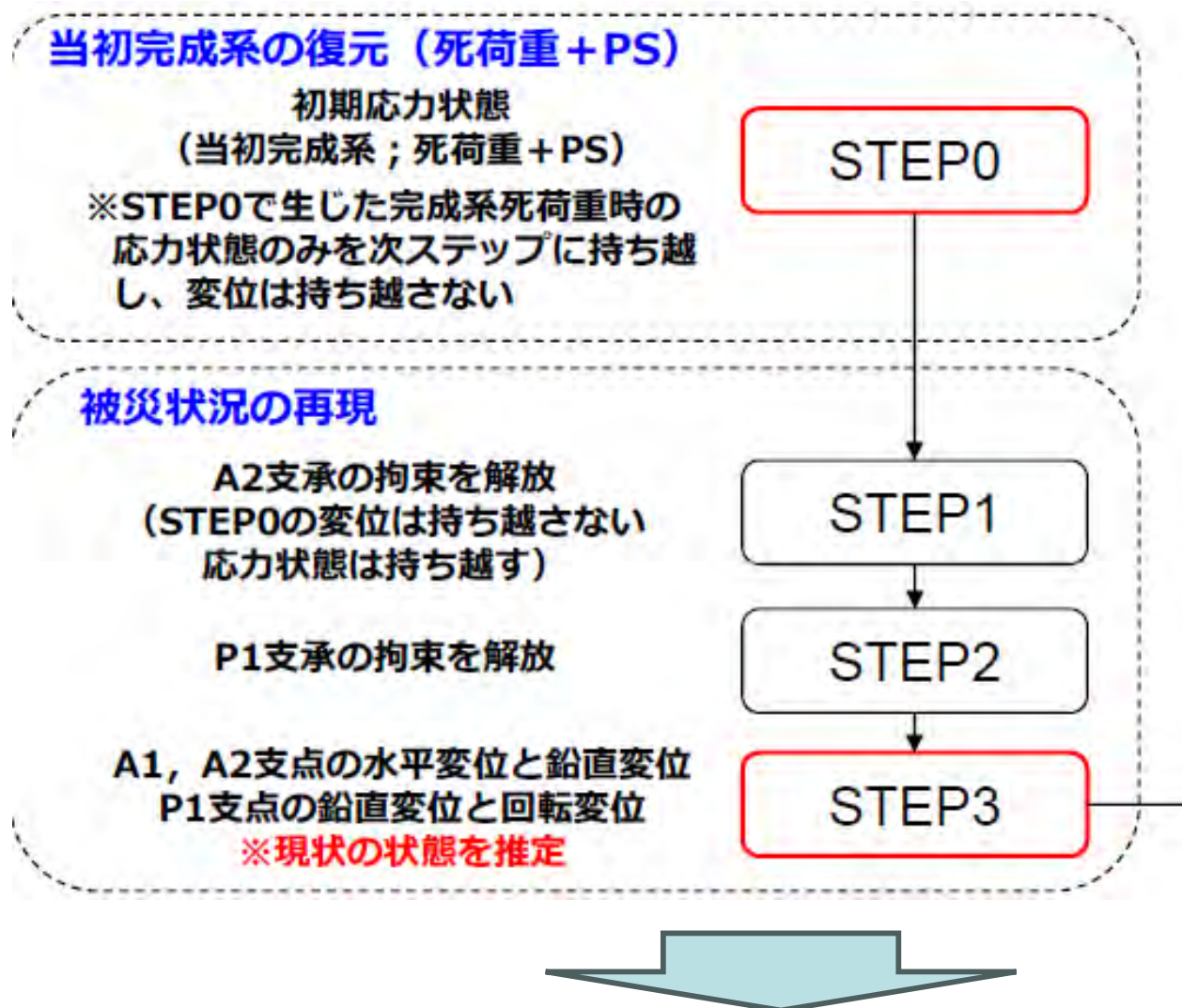
桑鶴大橋の被害と復旧①: 主な被害(橋梁の異常変位) 1

- ・支承の破損に伴って桁端部が浮き上がり、桁全体が曲線外側へ移動するとともに、ケーブルによれが発生



桑鶴大橋の被害と復旧①:被災前の状態の復元

- 斜張橋は、施工手順によっても、完成系の応力状態は大きく異なる可能性
- 施工手順を遡って完成系を推定したうえで、被災後の状態を推定する必要

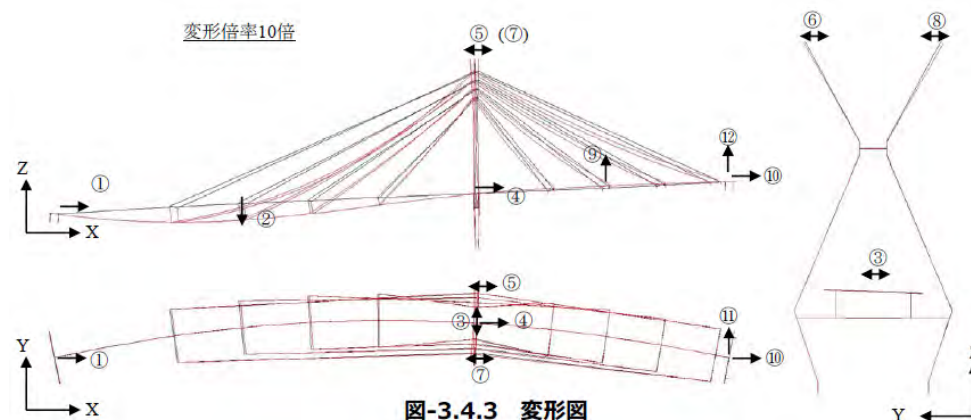


まず、完成時の推定を行ったのち、架設を再現して、現状を幅をもって推定。

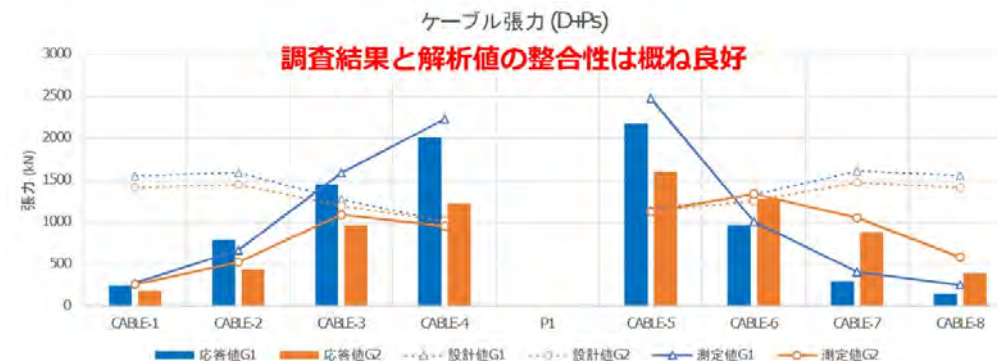
それに対して、補修補強手順を追って所要の性能に回復できるか推定する

桑鶴大橋の被害と復旧①:被災前の状態の復元

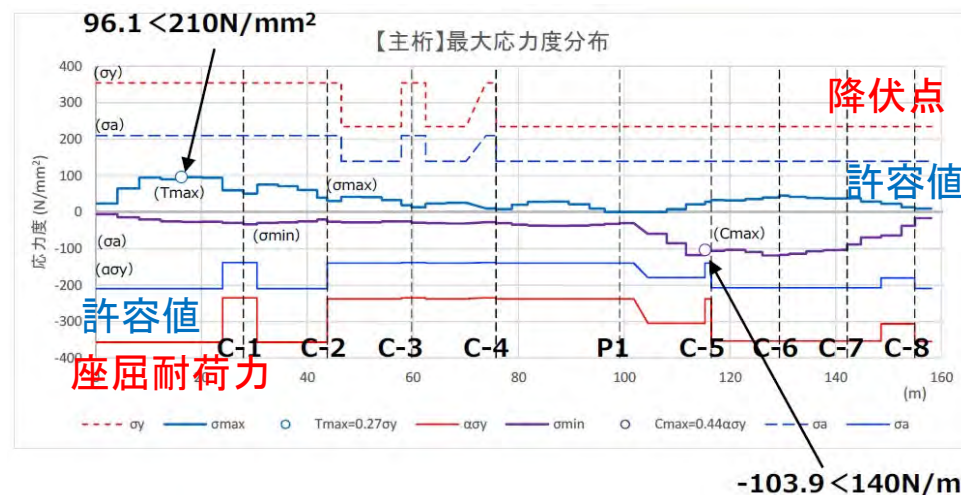
変形の再現



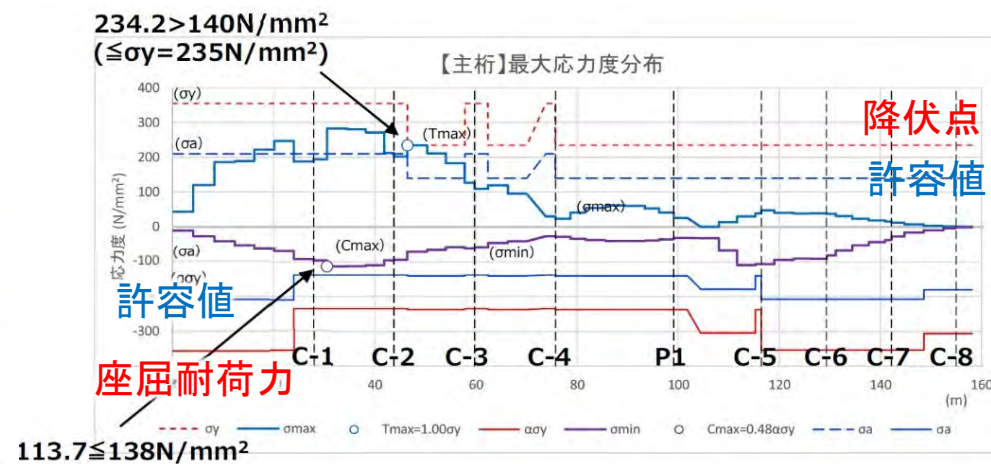
ケーブル張力



初期応力状態



被災後の応力状態



- 主塔と主桁の応力超過は限定的
- 今後の地震で同様の被災懸念があり, 支承構造, 負反力対策は見直し

■ 定着部の抜けや「よれ」などの異常がみられるケーブルには地震時に過大な応力が発生している可能性が高い

→ 健全性の推定は困難につき、顕著な異常の見られたケーブルは交換

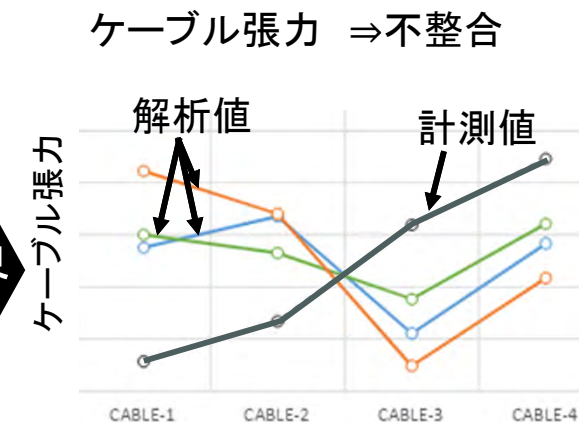
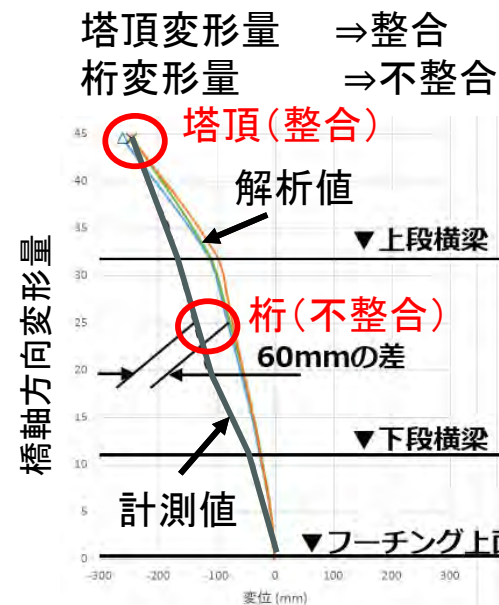
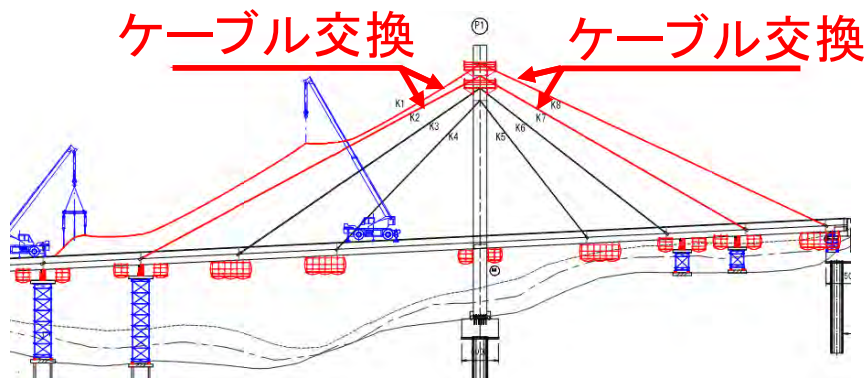
■ 斜張橋の耐荷性能に決定的なケーブルの張力が不明

→ 再現解析と主塔・主桁の変形との照合による推定(信頼性には限界)

再現解析を実施したケースの例

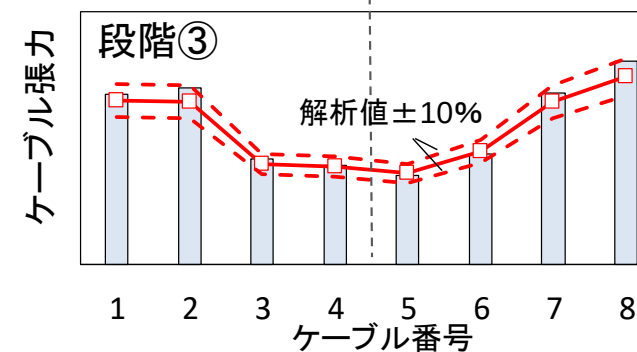
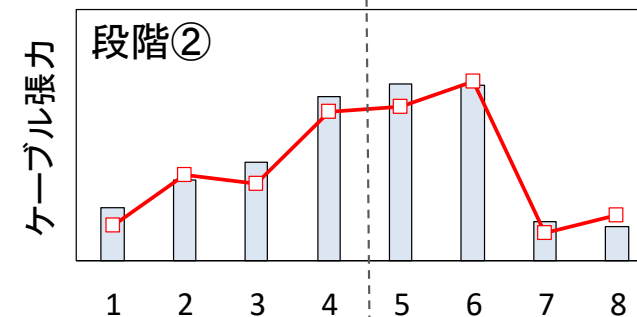
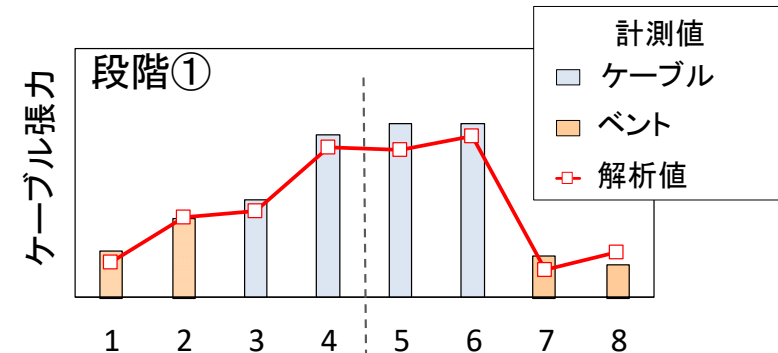
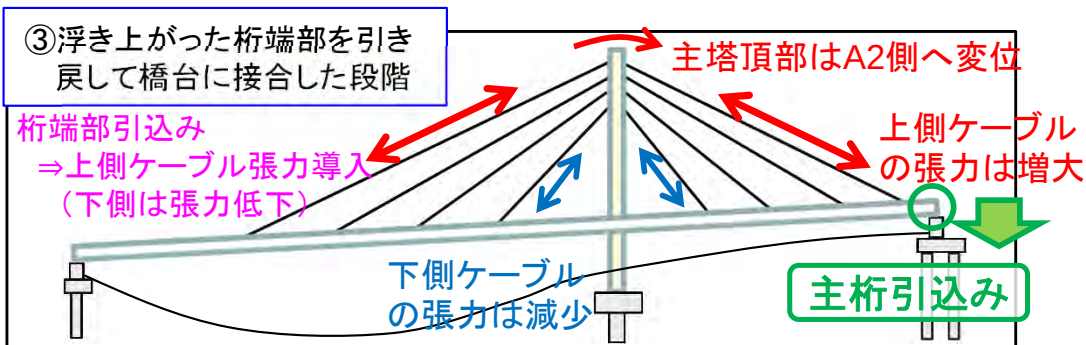
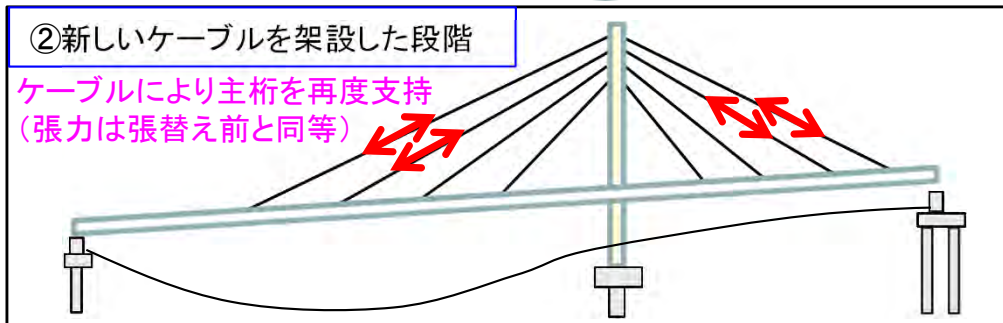
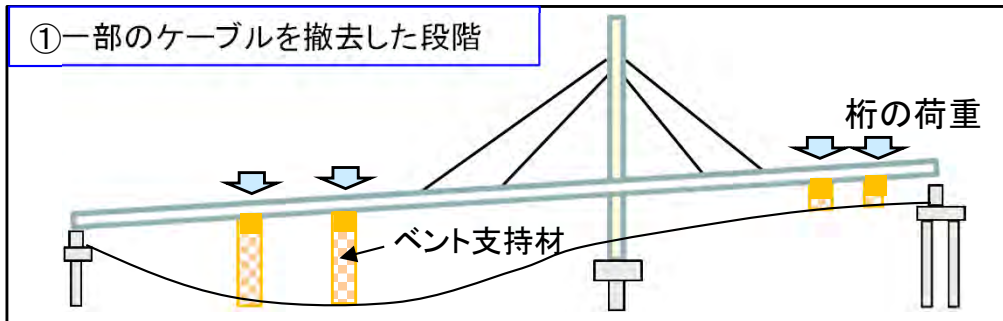
- 1) ケーブル張力を調整して塔頂の変形量を再現
- 2) 設計時の完成系モデルから支点拘束を開放
- 3) 2) のケースで桁の移動を橋台で阻害

ケース1)の例



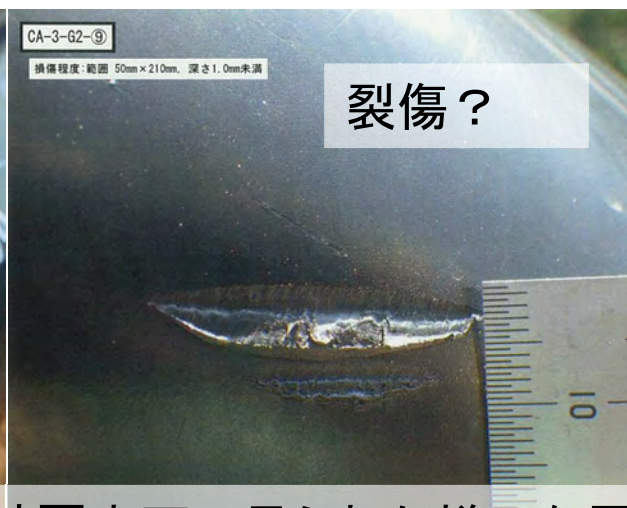
桑鶴大橋の被害と復旧①：施工時のモニタリング

- 地震によりよれが生じたケーブルを取り外して交換
- 立体的なシュミレーションにより施工の各ステップごとの部材の応力状態や主塔の傾斜等を事前に把握した上で、実施工ではモニタリングによりその挙動を確認しながら実施



桑鶴大橋の被害と復旧②: ケーブルの損傷

- 一部のケーブルで被覆の損傷がみられ、内部への雨水の侵入も懸念
→ 全ケーブルの被覆の詳細調査により被覆内部の状態を把握



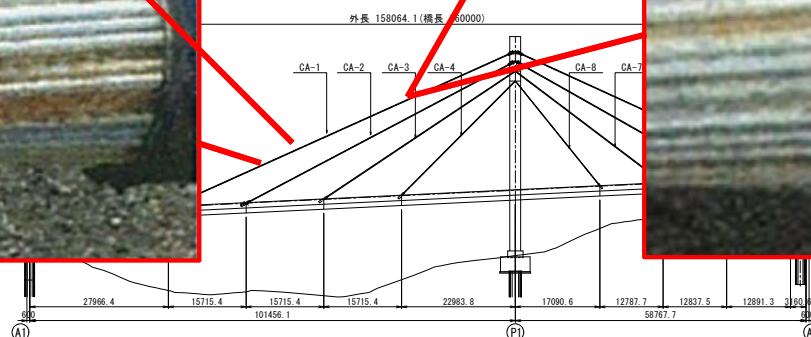
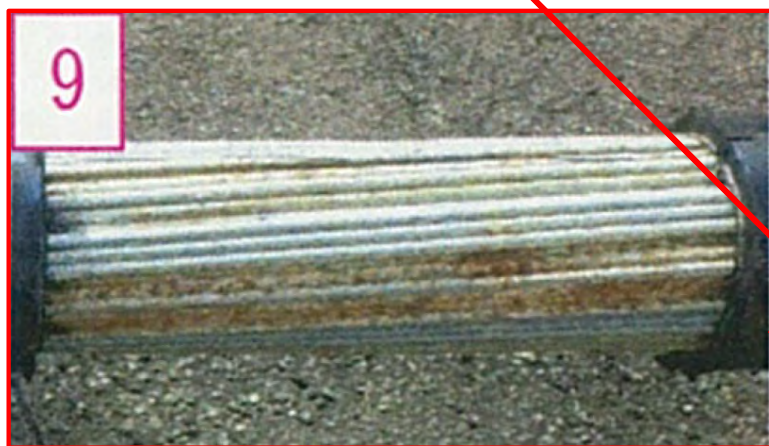
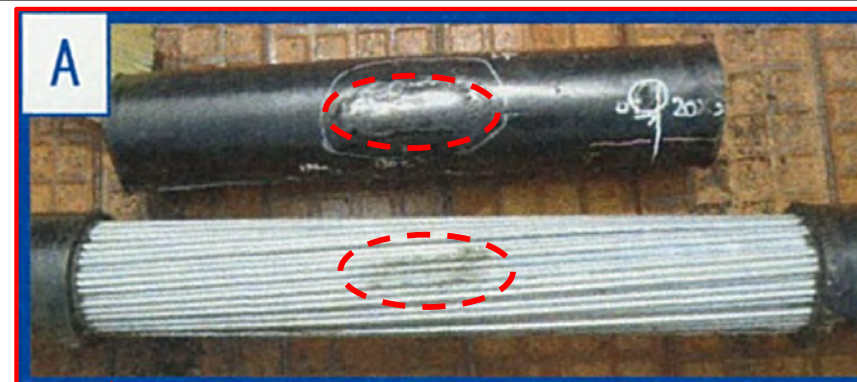
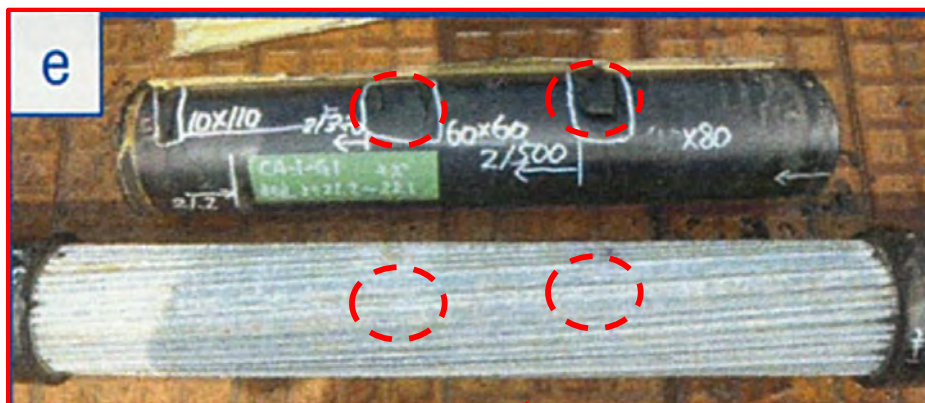
被覆表面に見られた様々な異常



桑鶴大橋の被害と復旧②: ケーブルの損傷

■ 被覆を除去して内部を確認

- 明らかなメッキの劣化, 一部素線では腐食も発生しているものがあった
- 腐食は概ね下側の方が進んでいるが, 被覆の異常位置との対応は不明確

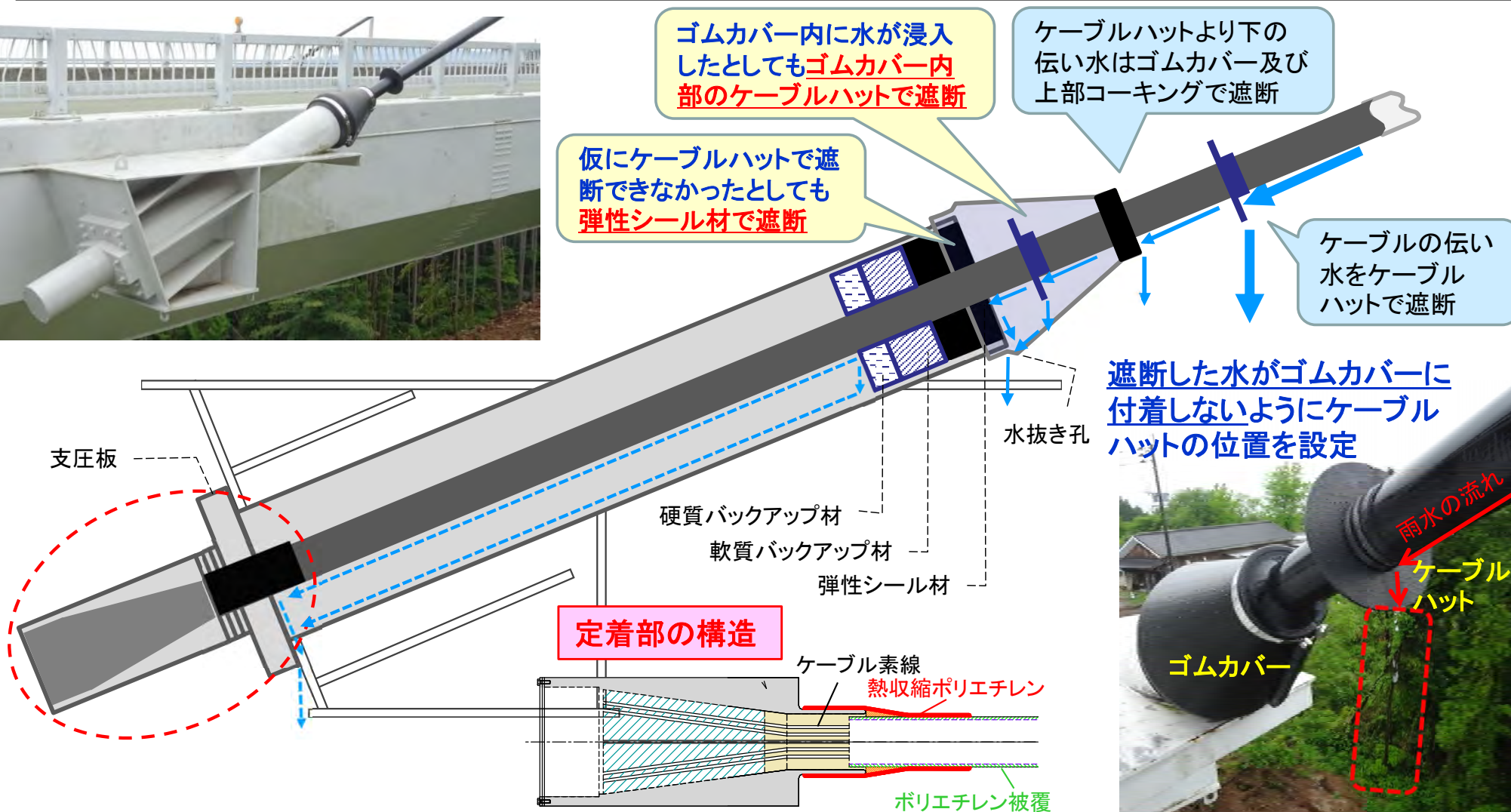


↑ 被覆を回復しても侵入水があると腐食が進行する可能性がある
懸念が否定できないケーブルは交換を検討

桑鶴大橋の被害と復旧②: 耐久性向上のための構造的配慮

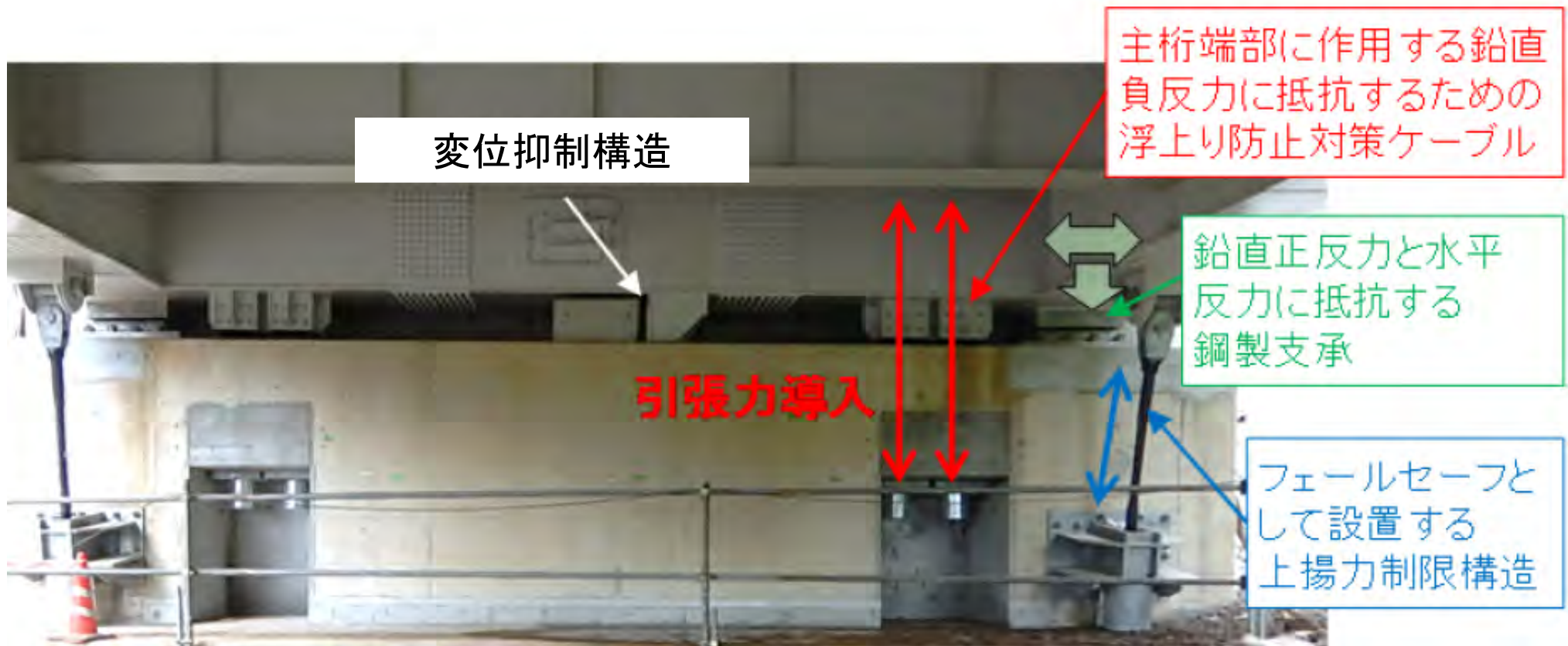
■ 定着部への雨水の侵入防止に万全を期すため、最新の知見を反映した
ケーブル定着部の仕様を採用

⇒ 定着カバーの内外の二段水切り, カバー底部水抜き穴, シール材による
口元止水



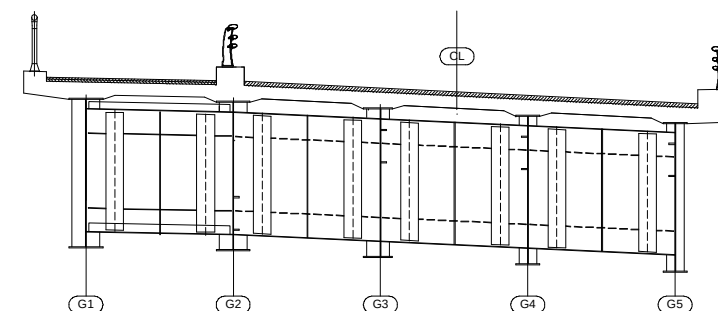
桑鶴大橋の被害と復旧③: 変位抑制構造

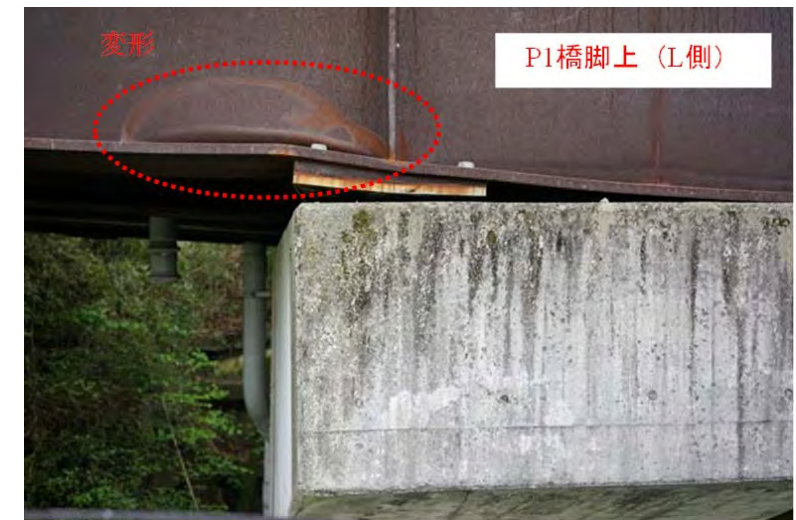
- 挙動の推定からは、支承部の破壊により、負反力で浮き上がった桁が地震時に激しく動いた可能性が高い。
- 構造的にカウンターウエイト等の負反力キャンセルは困難
 - 支承部の破壊時の影響を受けない位置に浮き上がり防止ケーブルを設置
 - + 浮上がり防止ケーブルの不測の機能不全のフェールセーフも設置



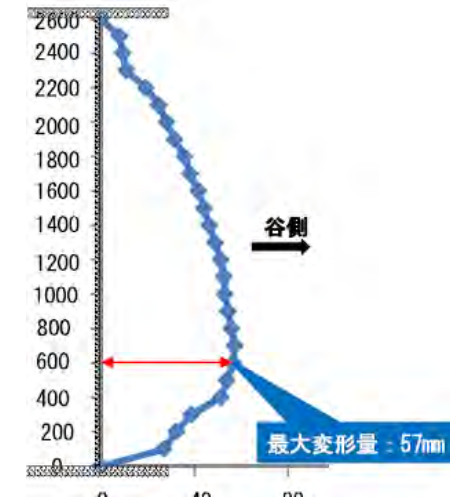
大切畑大橋の被害と復旧：橋梁概要

上部構造形式	鋼5径間連続鈑桁橋
下部構造形式	逆T式橋台，張出し式橋脚
基礎工形式	深礎杭基礎、場所打ち杭基礎
適用示方書	平成8年 道路橋示方書
架設年次	平成13年(2001年)





- ・主桁に一部の塑性化が生じて変形し、主桁・主構機能及び立体的構造保持機能は低下



- 部材には残留応力が存在しているが、定量的な評価は困難
- 矯正や取替え時の他の部材への影響が不明
- 少なくとも死荷重応力は負担できている
→切断等せずに、残置して部材を追加することで上部構造全体として耐荷性能を回復
- 面外方向の変形により立体的構造保持機能が低下
→再度の地震に対する立体的構造保持機能の強化

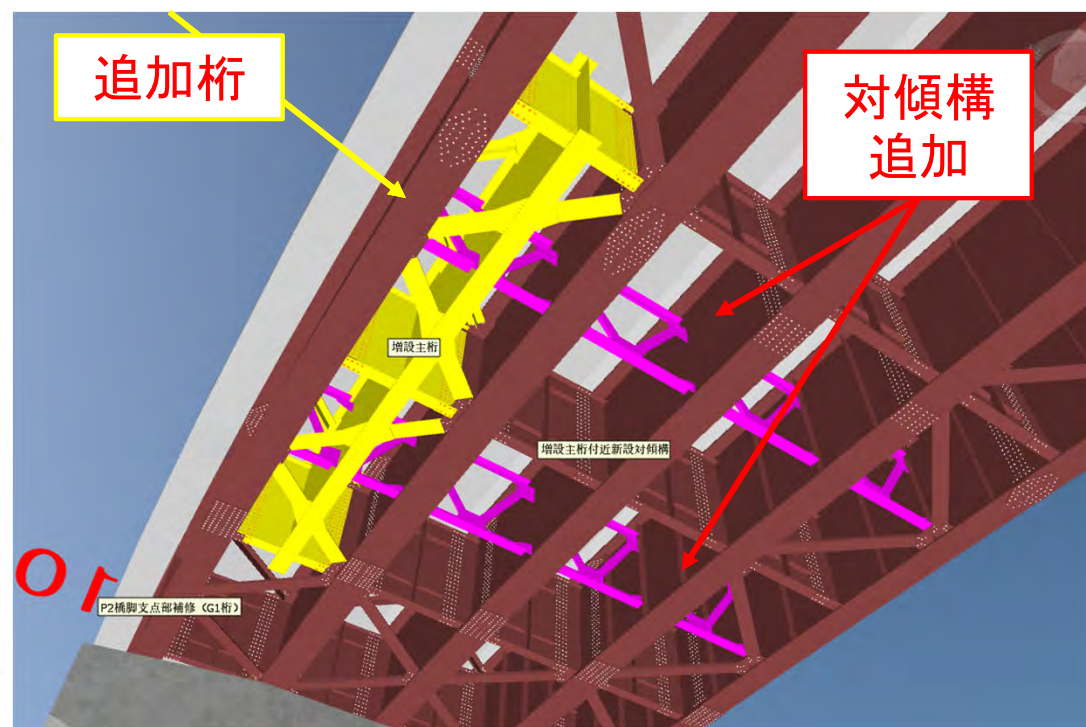
大切畑大橋の被害と復旧：上部構造の復旧



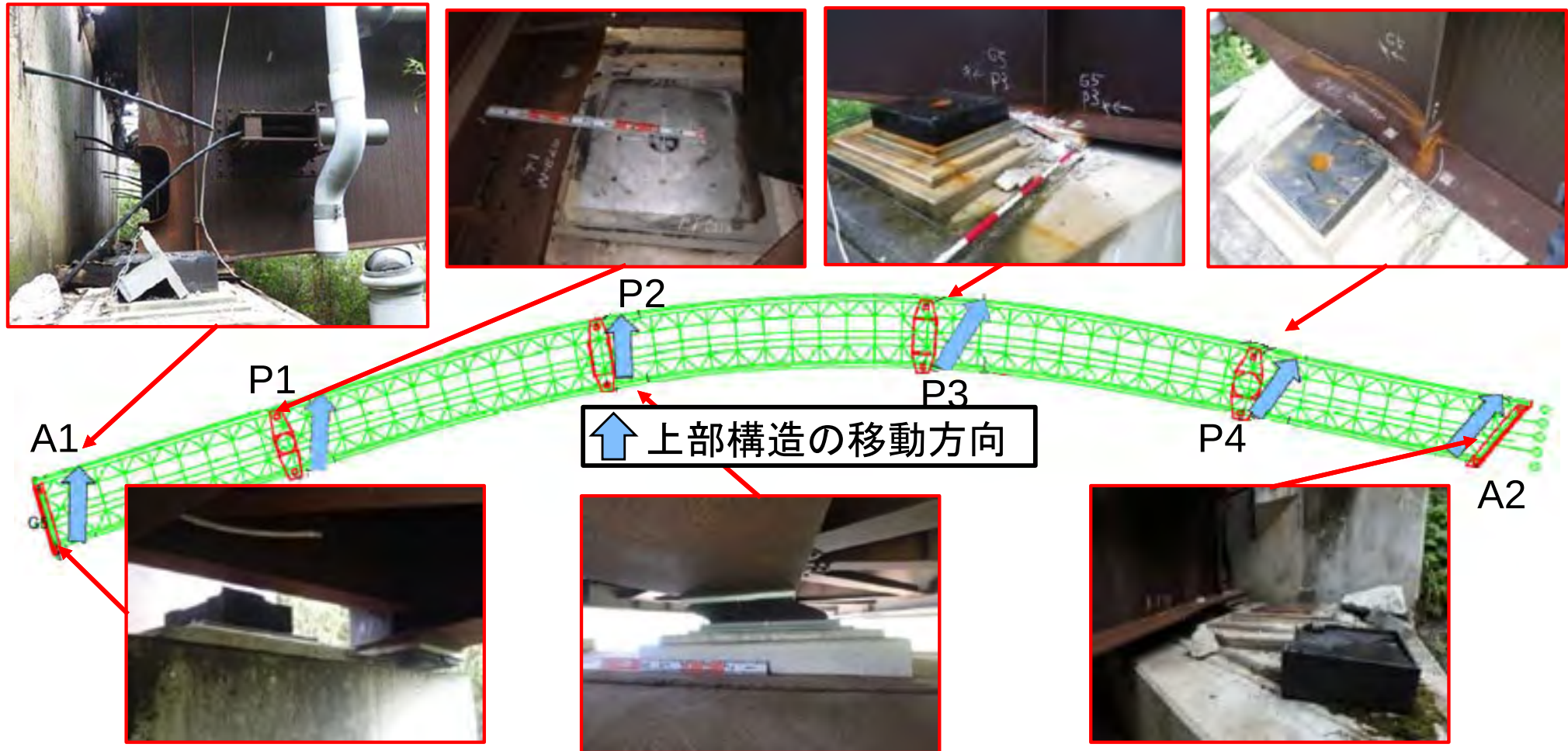
現位置での主桁の一部更新は、上部構造の応力状態が大きく変化する可能性
 そのため、**敢えて原型復旧せず**，

→ 現応力負担ままに損傷主桁は残置 + 主桁を追加（一部区間）

→ 同様の地震に対して、同様の被災リスクを軽減するため対傾構の追加

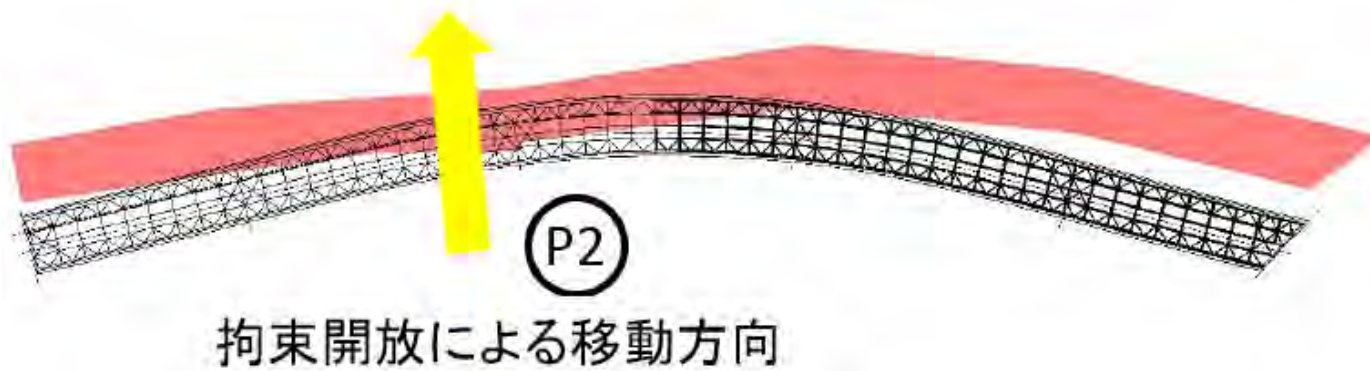


- ・ほぼ全ての支承が破壊し、上部構造が横方向に移動
- ・落橋防止システムに一定の効果があり下部構造上に着地



→元の位置に戻す必要があるが、着地した桁がどう拘束されて平衡し、どのような応力状態であるかは不明

ジャッキアップ時に拘束が解放される可能性の考慮が必要
→ 水平2方向に2つのジャッキで固定、ベントが倒れないように既設橋脚と固定し、慎重に施工



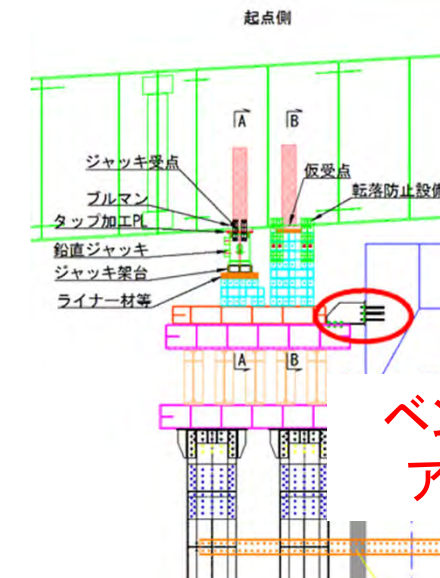
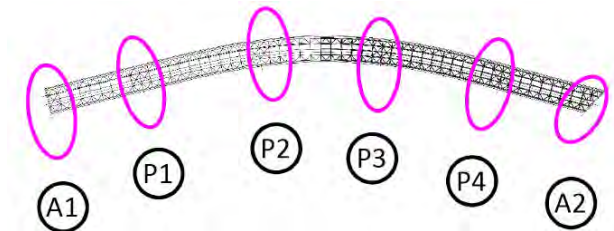
水平方向固定装置



ベント



全ての橋脚・橋台上で
橋軸・橋軸方向に固定



ベント固定
アンカー

本日は、熊本地震における道路橋の被災と復旧の事例をご紹介します。今回の事例からは、基準への適合だけでなく、構造特性や地盤条件、不確実性を踏まえた総合的な判断の重要性が改めて示されたと考えています。また、復旧に際しては原型復旧にこだわるのではなく、将来を見据えた道路機能の確保という視点が重要であることも、多くの事例から学ぶことができました。

本日の内容が皆さまの実務の参考となれば幸いです。ご清聴ありがとうございました。

ご清聴、ありがとうございました。