

熊本地震からの創造的復興を目指して — 国総研初の現場密着型研究室の軌跡 —

令和3年12月20日

社会資本マネジメント研究センター
熊本地震復旧対策研究室

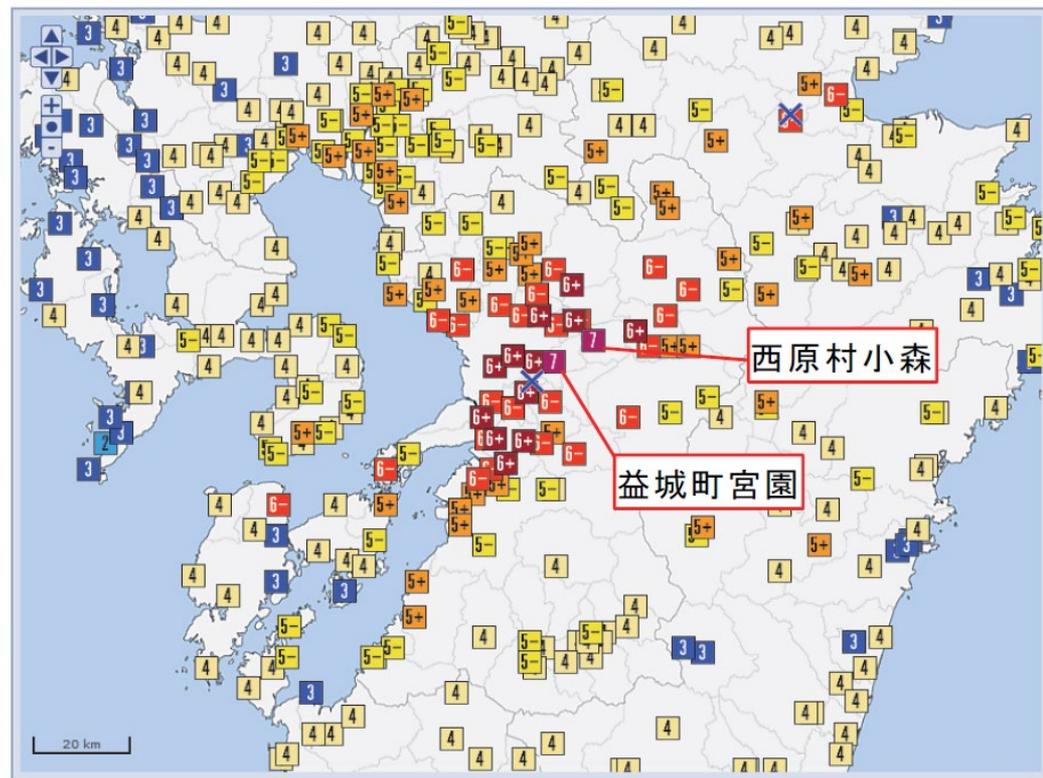
室長 西田 秀明

平成28年熊本地震の震度分布



前震

平成28年4月14日21時26分頃
M=6.5 D=11km



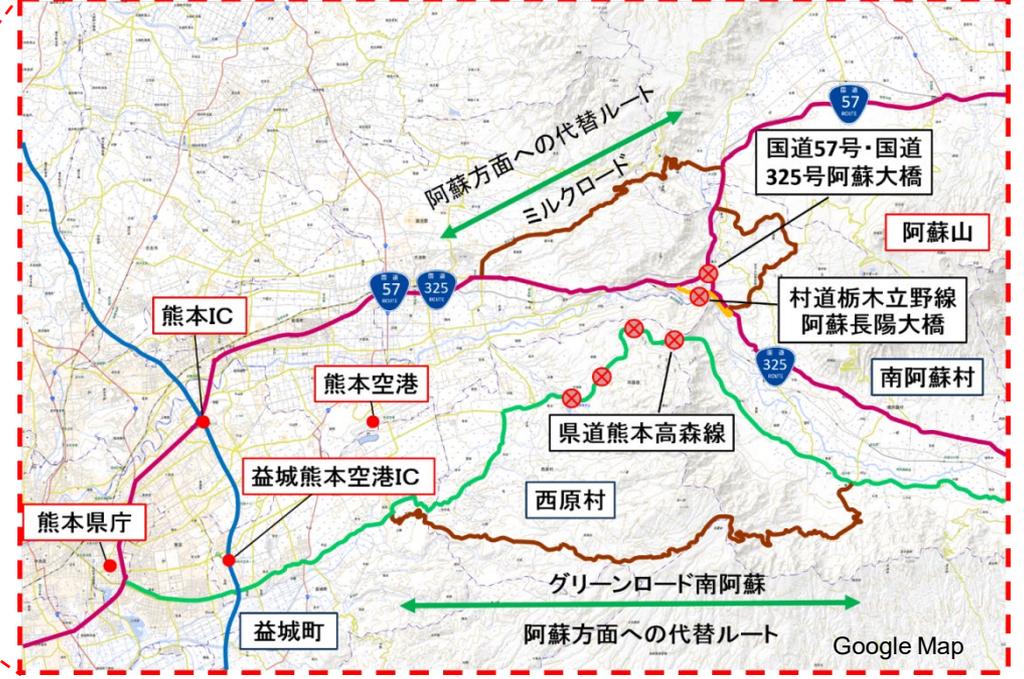
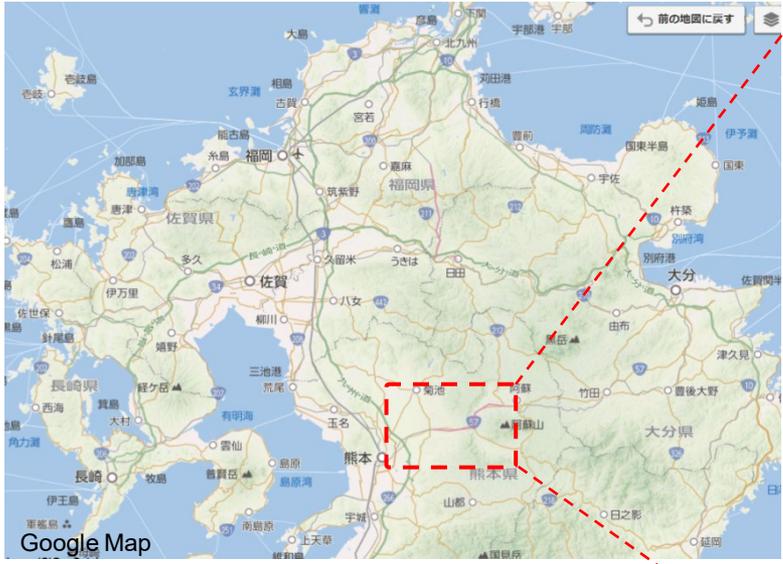
本震

平成28年4月16日01時25分頃
M=7.3 D=12km

出典: 気象庁ウェブサイト: 震度データベース検索(各地の震度に関する情報)
(※観測地点名を加筆)

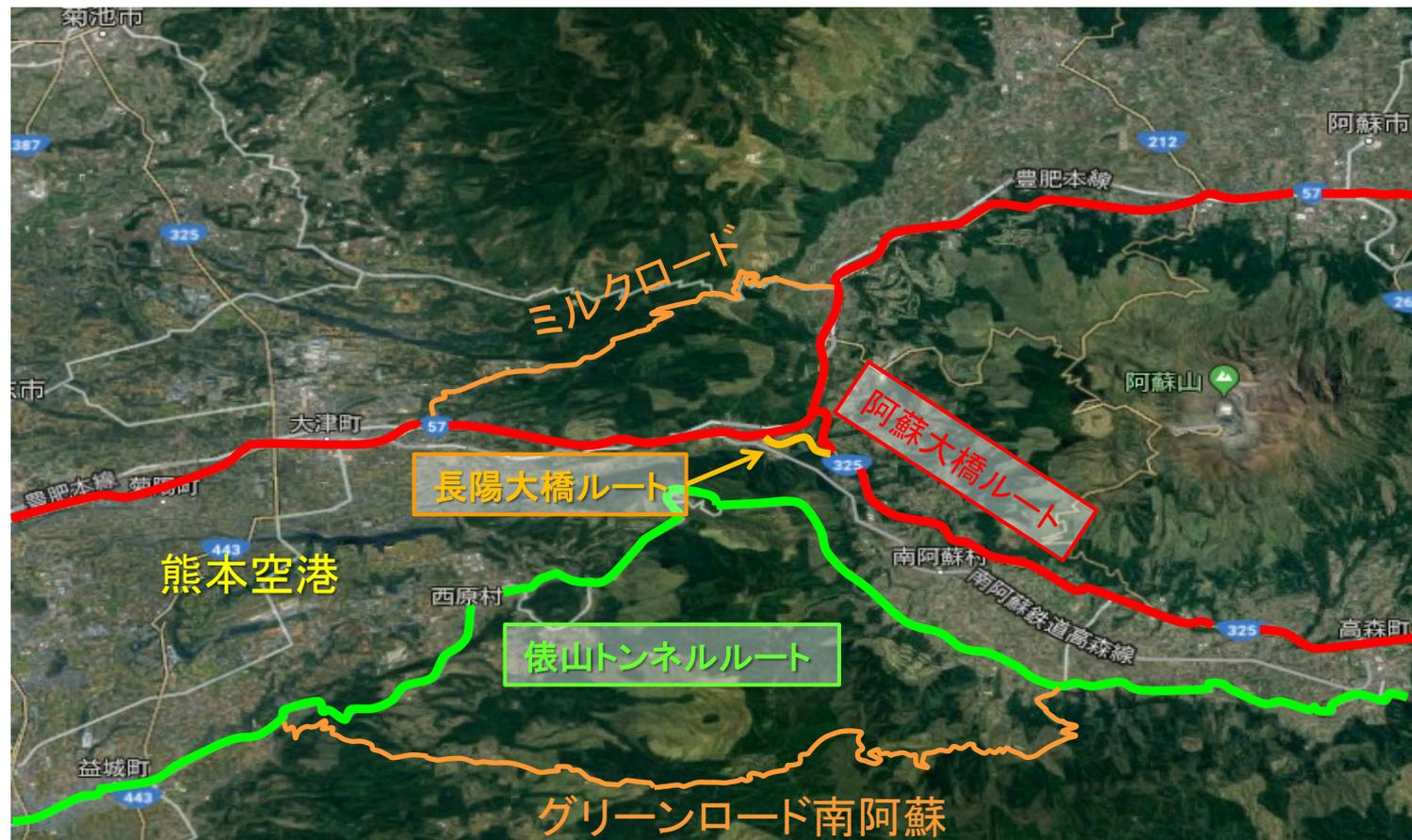
熊本市街地と阿蘇地域への道路ネットワークの被害

- 橋の被災や斜面崩壊により、熊本市街地と阿蘇地域を結ぶ主要ルートが全て寸断
- 地形・地質条件や橋の構造条件の特殊性、被災規模の大きさから、復旧には高度な技術力が必要



技術的に高度な復旧を早期に実施するために国が災害復旧を代行

- 熊本市街地と阿蘇地域を結ぶ代替ルートは外輪山越えのルートであり、阿蘇地域の復興には主要ルートの早期復旧が必要
- 県道、村道の災害復旧は、大規模災害復興法に基づく直轄代行を初めて適用
- 国土交通省九州地方整備局が南阿蘇村に熊本復興事務所を設置
(平成29年4月)

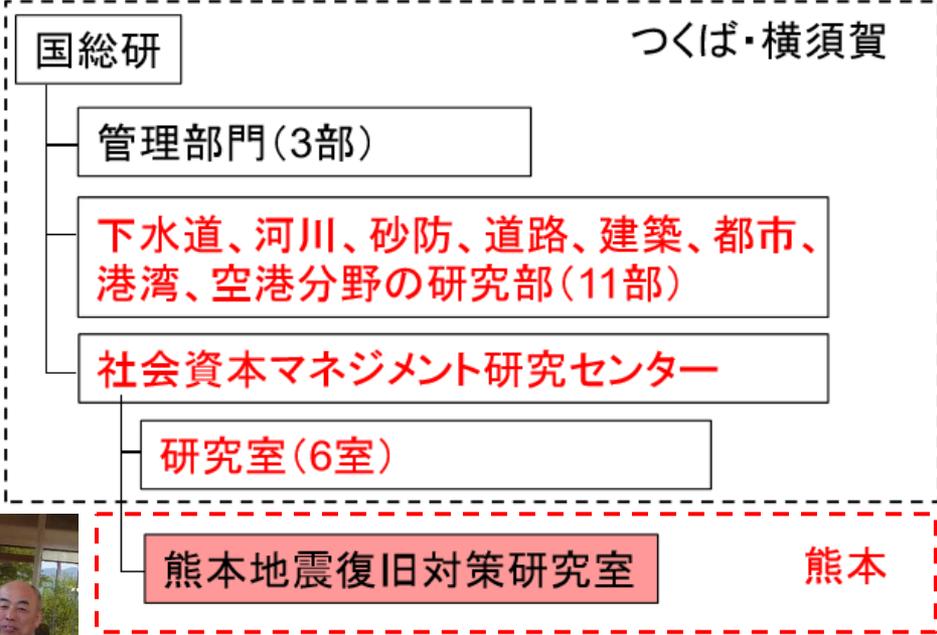
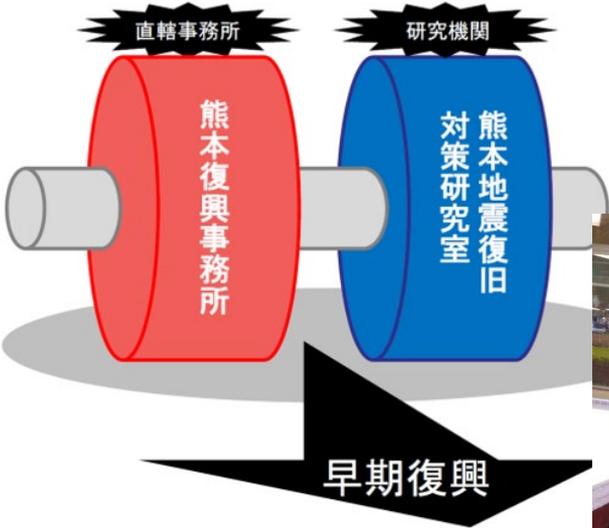


国総研 熊本地震復旧対策研究室の設置

- 国総研は、技術的に高度な熊本地震の復旧・復興事業をより加速化させるため、**初めて災害復旧現場に研究室を設置**（平成29年4月）
- **大規模災害復興法等に基づく直轄代行事業の主旨を踏まえ、国総研の各研究部と連携しながら、熊本復興事務所と車の両輪となって早期復興に向けた活動を実施**

設置のねらい

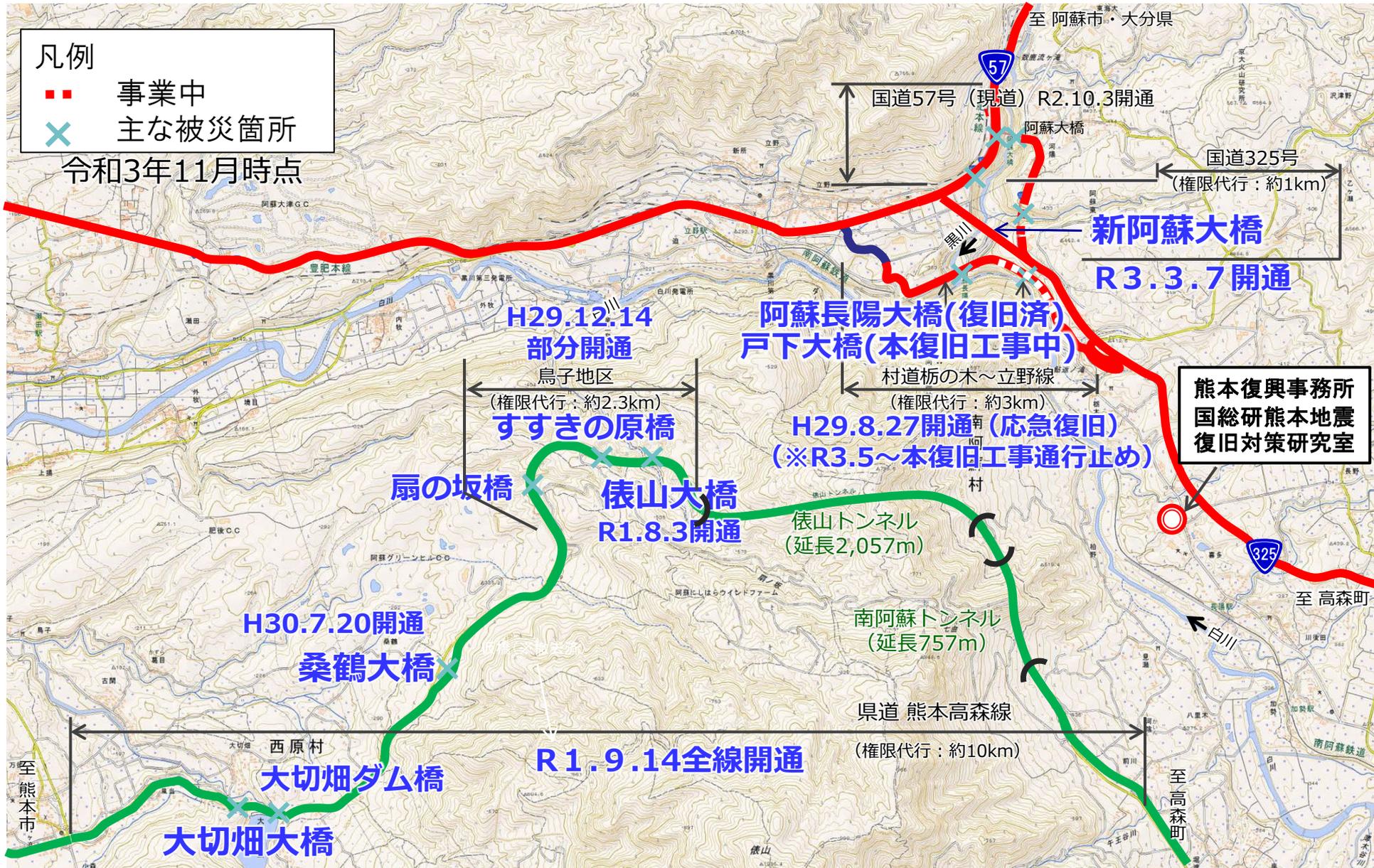
- ① 高度専門技術を要する課題の解決
- ② 技術的な知見の収集と国等の技術基準類等への反映



直轄代行事業の実施箇所(道路橋)



凡例
 ■ 事業中
 × 主な被災箇所
 令和3年11月時点

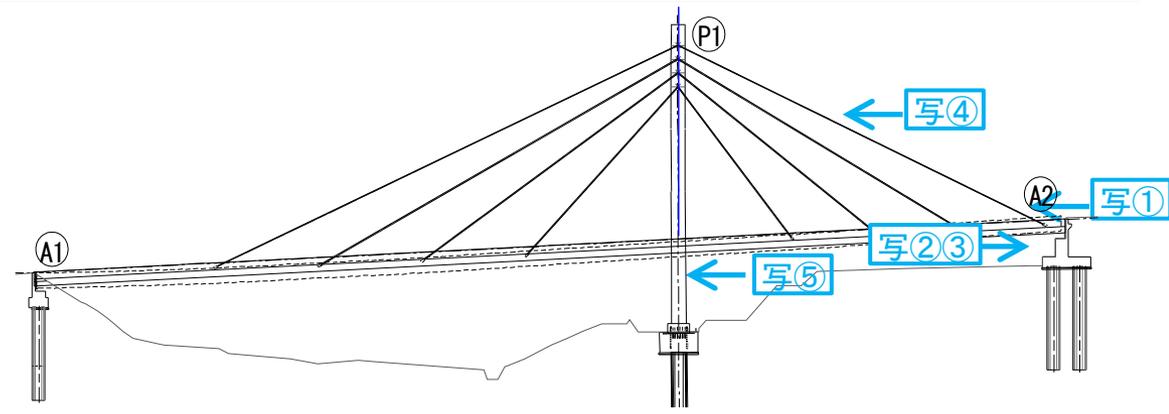
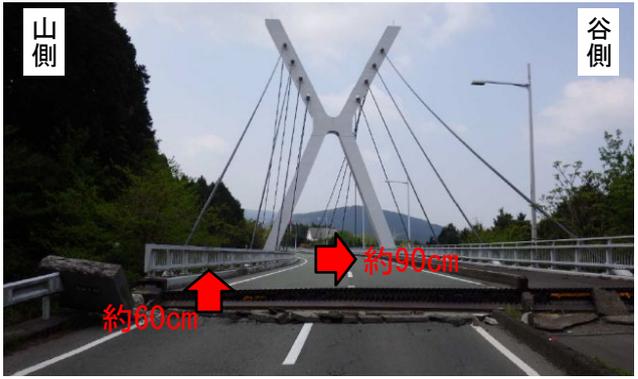


熊本復興事務所
 国総研熊本地震復旧対策研究室

斜張橋(桑鶴大橋)の復旧(①被災状況)

- 主塔の左右で橋の長さが異なる曲線の桁を有する**特殊な斜張橋**
- 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**
- 主塔本体は損傷が生じなかったが、**主塔を支える杭にひび割れが発生**

①桁端部の浮き上がりと曲線桁の横ずれ



②桁端部のA2橋台との衝突及び浮き上がり



③A2橋台の支承部の破損



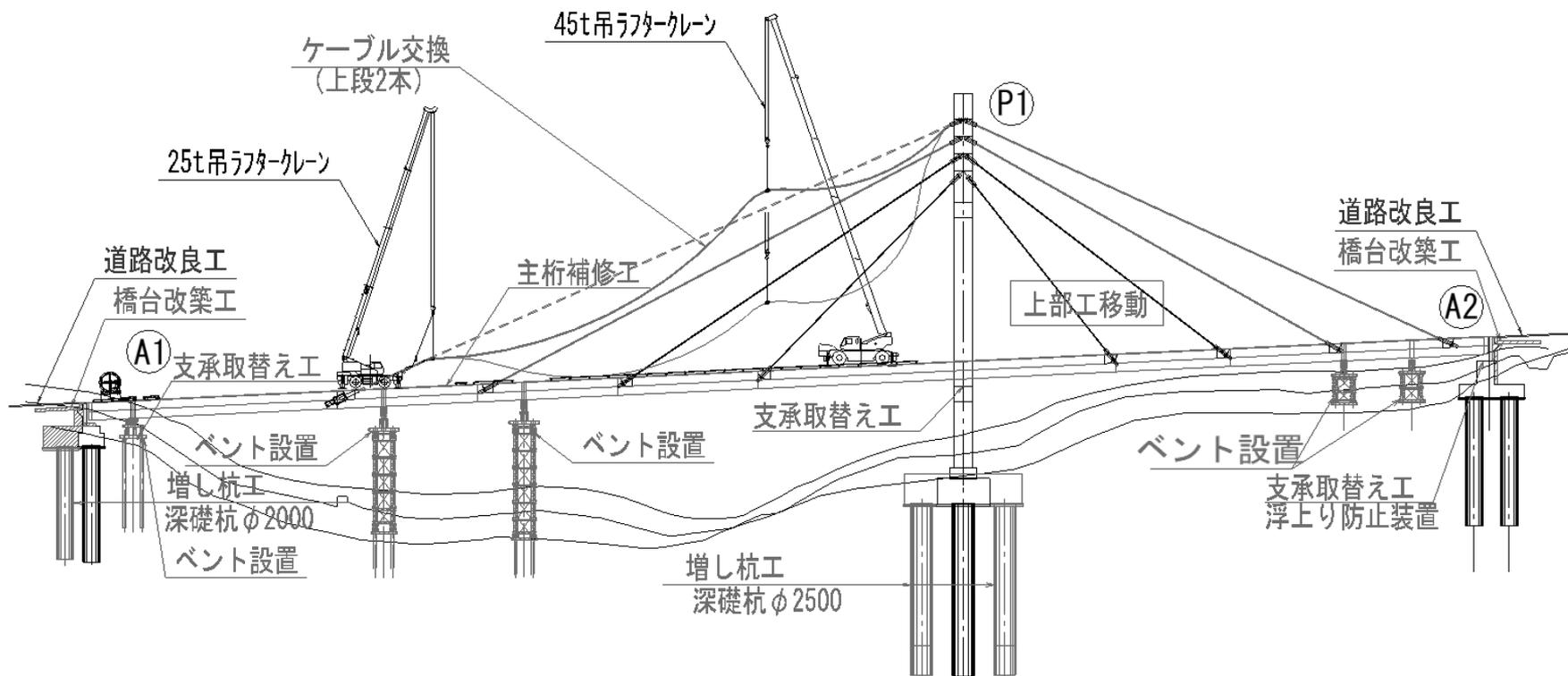
④ケーブルのよれ



⑤P1支承部の破損



斜張橋(桑鶴大橋)の復旧(②復旧の概要)



ベントを設置してジャッキアップ後に上部構造の横移動



ケーブル交換の状況

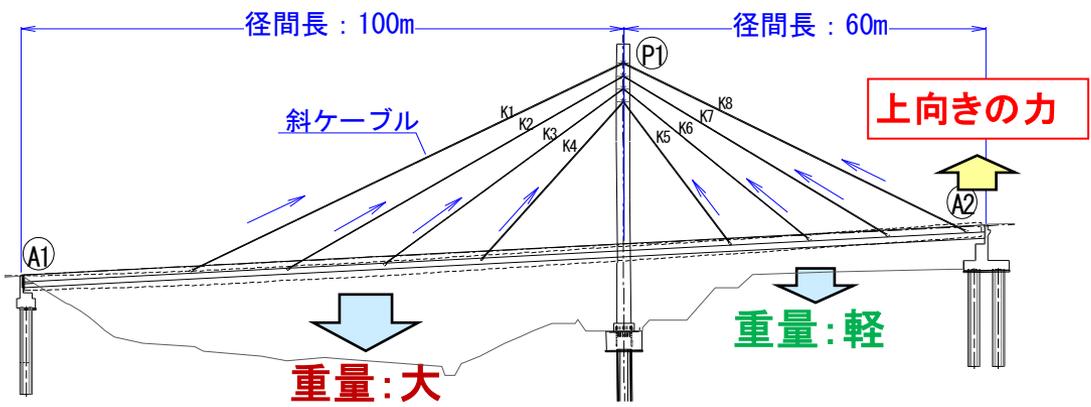


A2橋台改築



P1増杭(深礎杭)施工

- A2橋台の支承部が破壊すると桁端部が浮き上がり復旧が困難となるため、**上向きの力に抵抗する部材は水平力に抵抗する部材とは独立した支承部構造を採用**
- さらに、万一これらの部材が破壊しても桁端部が容易には浮き上がらないよう、**別系統の部材を設置してフェールセーフの機能を実装**

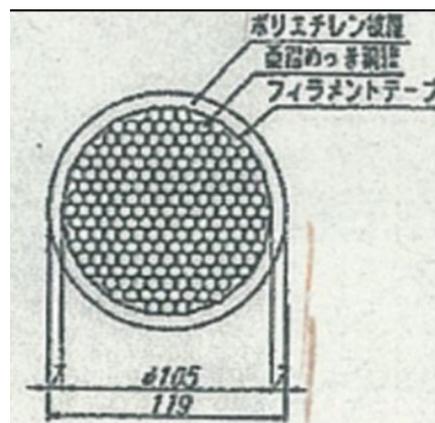


地震前のA2橋台の支承部の構造

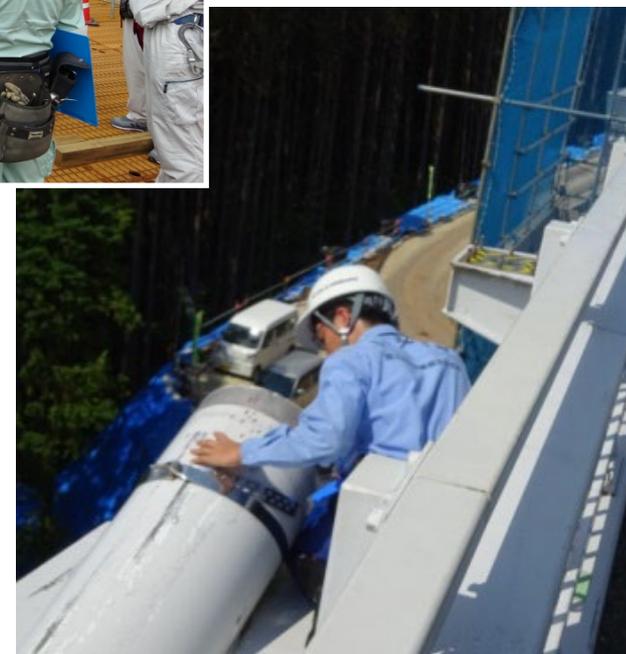


撤去したケーブルを復旧や今後の橋の設計・管理に活かす

- 道路橋の斜張橋としては国内で初となるケーブルの交換
- 撤去されるケーブルを活用して残置ケーブルの健全性(耐荷, 耐久)立証に係る技術的根拠としても活用するとともに今後の点検や診断に資する知見を取得

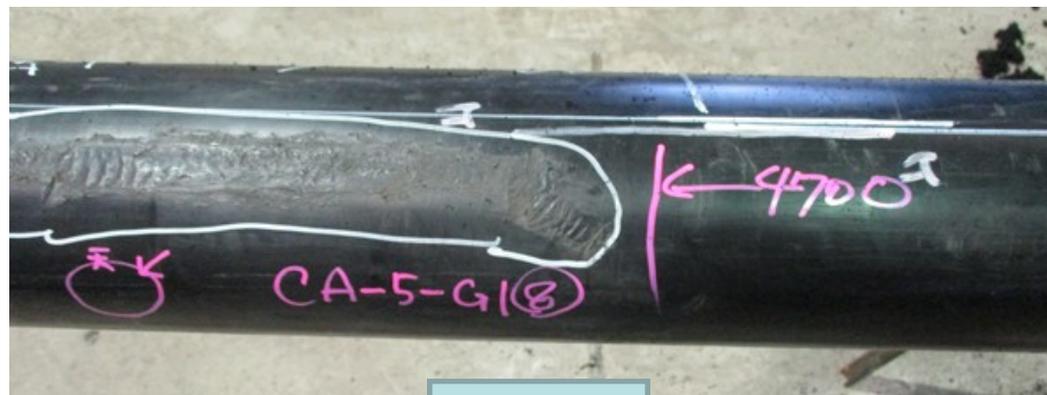


ケーブル断面

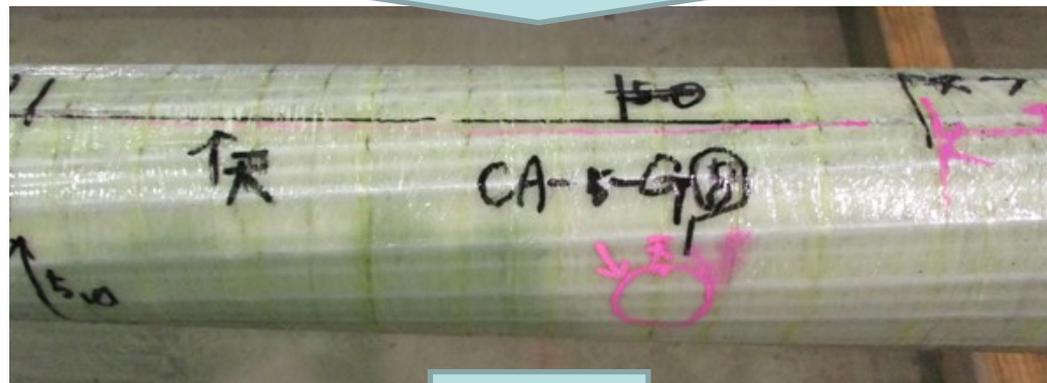


撤去部材を活用した健全度評価に関する調査(耐久性)

PE(ポリエチレン)
被覆表面の擦傷痕



PE被覆を剥がして
フィラメントテープ
の表面を露出させた
状態

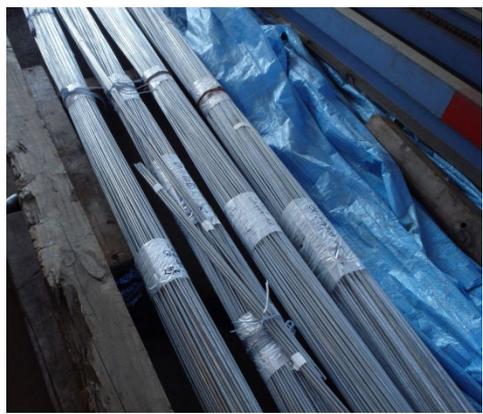
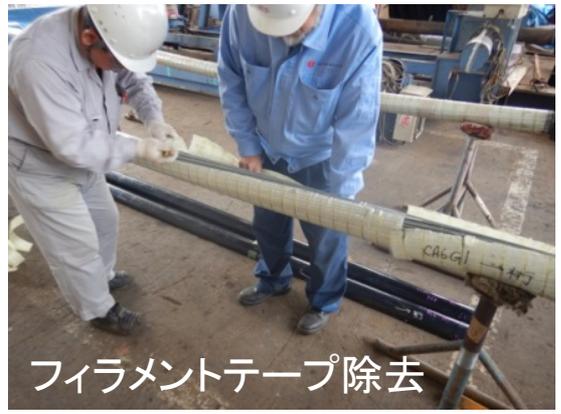


フィラメントテープ
を剥がして内部の
鋼線を露出させた
状態



ケーブルの解体調査によるPE被覆に確認された擦傷痕と
内部鋼線の状態の調査

撤去部材を活用した健全度評価に関する調査(耐荷力)

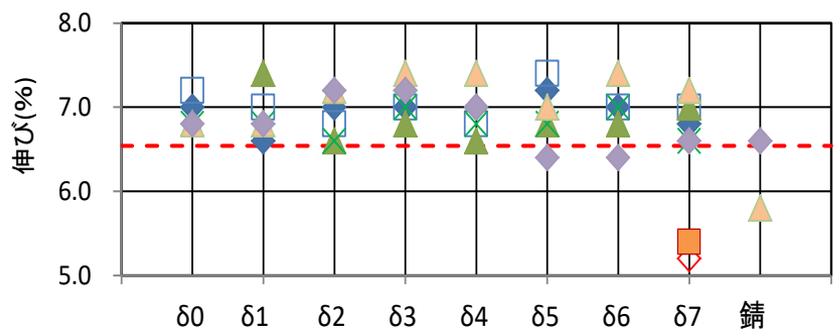


内部素線の状況確認



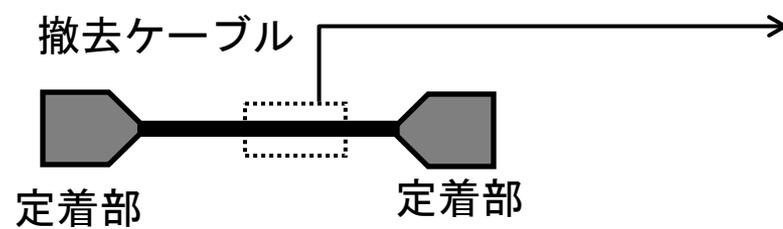
引張試験の実施

- ◆ よれたケーブル①
- ▲ 健全なケーブル①
- ▲ よれ+錆ケーブル
- - - 同製品の納品時の試験実績の平均
- 新品素線(再載荷)
- よれたケーブル②
- × 健全なケーブル②
- ◆ 錆びたケーブル
- ◇ 塑性化させたケーブル(再載荷)



引張試験により得られた伸び特性

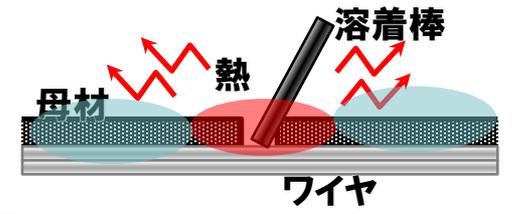
PE被覆の補修方法の検討(①耐水試験による検証)



試験体製作



試験体



補修状況

耐水試験

外気温の変化を補修試験体に付与して高水圧下で密閉性を検証



水筒状の試験水槽

試験結果の確認



浸水した場合の例
※予め水に着色しておく



残置ケーブルの内部素線の状態
確認のための調査孔

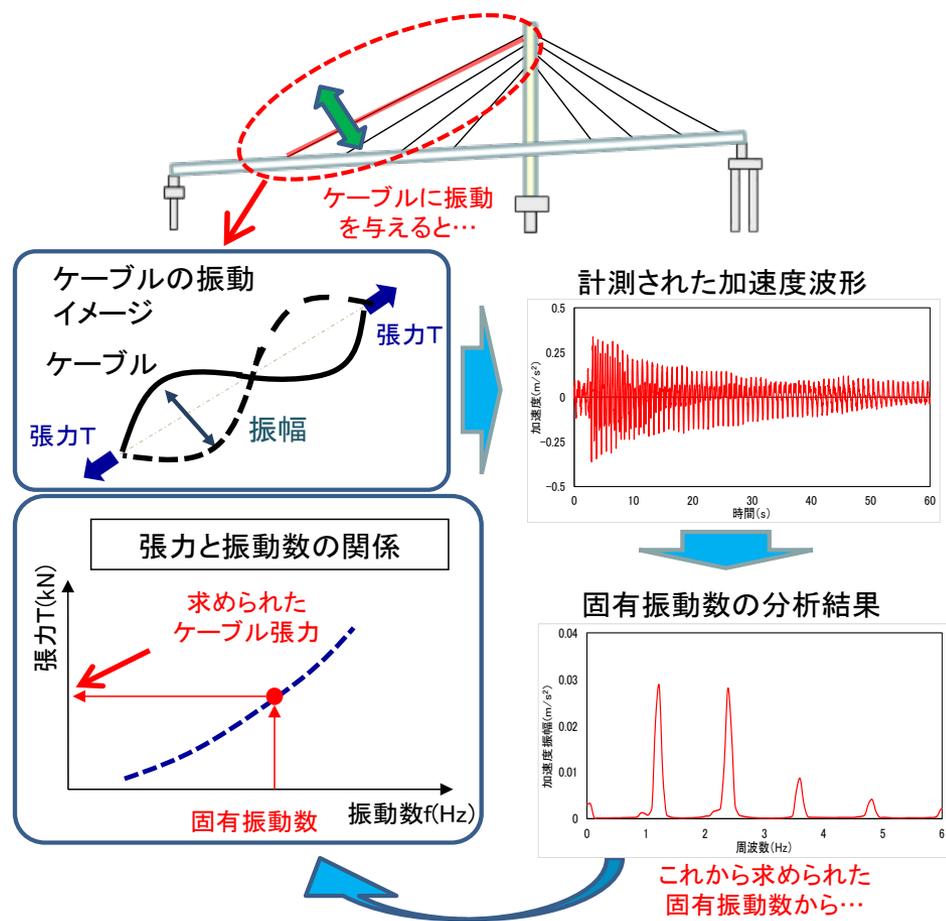


調査孔のPE被覆の補修状況

補修した橋の維持管理に資する情報の取得

- ケーブル張力、上向き反力対応用ケーブル、橋の固有振動数や減衰定数等、本橋の構造特性を踏まえ、**供用再開後の維持管理段階において橋の状態変化の把握に活用できる情報を取得**
- 維持管理に活用されやすくするため、これらのデータは**簡単な原理で容易に実施できる方法を選定**

ケーブルの振動計測



阿蘇大橋地区の被災状況

50万m³に及ぶ斜面崩壊

被災後の阿蘇大橋

左岸



至熊本

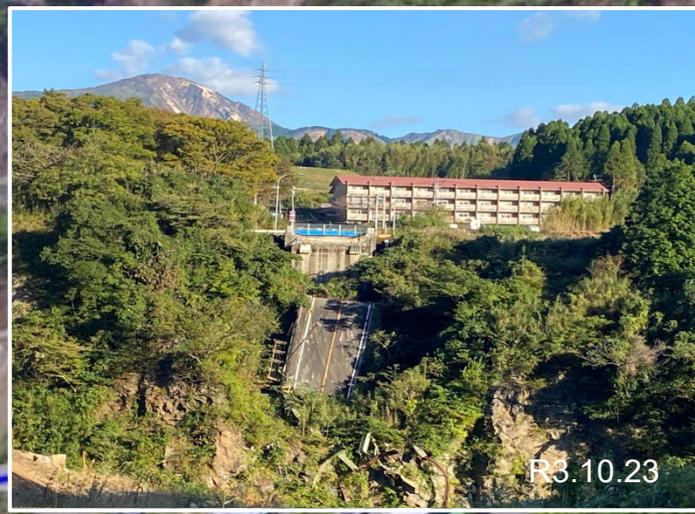
JR豊肥線

右岸

阿蘇大橋

左岸

至大分

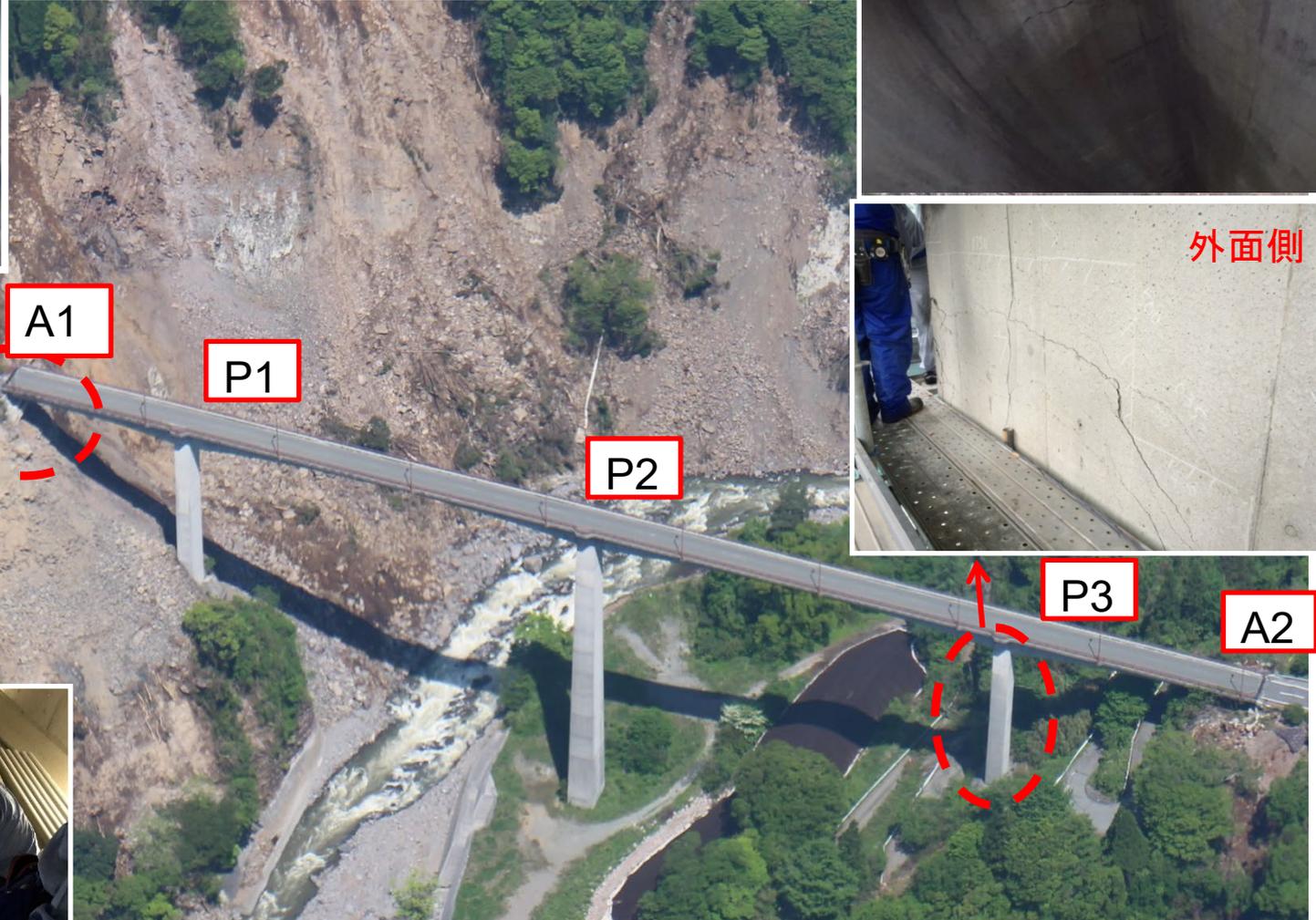


至宮崎

R3.10.23

被災前の阿蘇大橋





内面側



外面側





地盤変状の影響を考慮した橋の復旧(①架替位置周辺の状況)



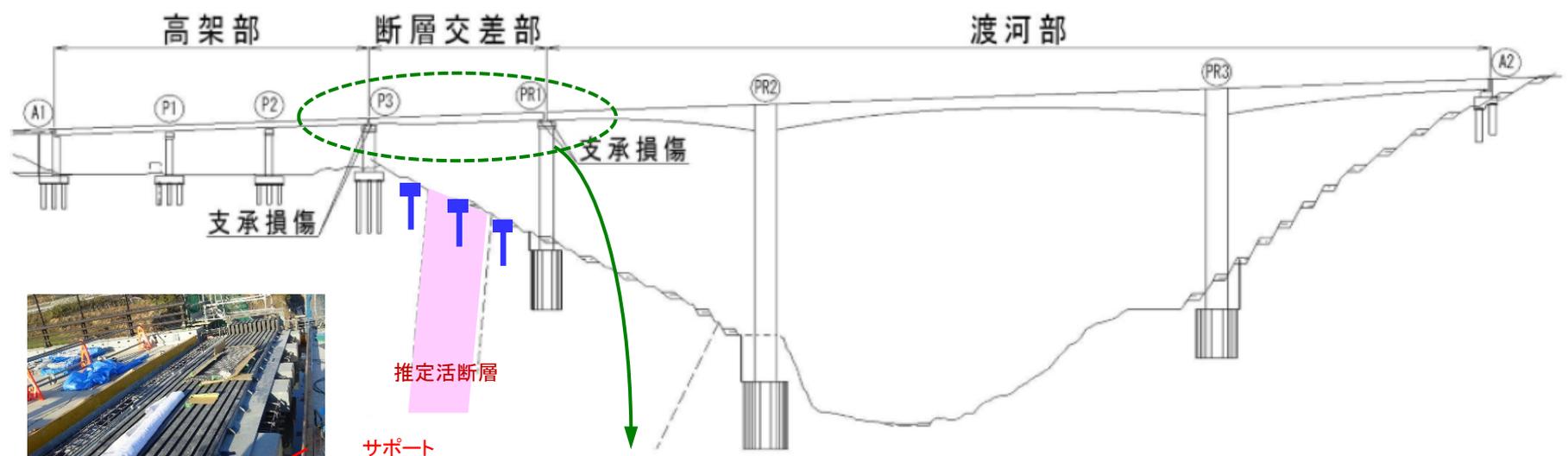
柱状節理による
トップリング



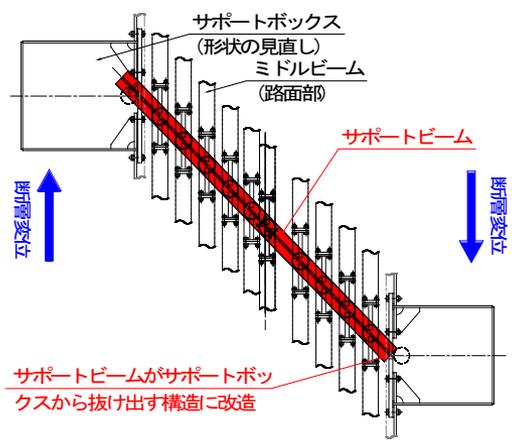
- 将来の地震により、**推定活断層の付近で地盤変状が生じた場合でも橋への影響を最小化するため、阿蘇長陽大橋の経験に学び、V字谷を跨ぐ復旧が容易にはできない渡河部は片持ち架設工法によるPCラーメン橋を採用**
- **推定活断層を跨ぐ区間は単径間構造とし、当該径間は橋脚から脱落しにくいように構造的な対策を講じた上で、最終的には**支承を破壊させて断層変位に力で抵抗しない設計**を採用**
- さらに、**機能挽回シナリオを構築し、その復旧がしやすくなるように設計段階から配慮**



支承を先に破壊させて断層変位に対して力で抵抗しないようにすることで、補修・復旧がより困難な渡河部のPCラーメン橋を守る



サポートボックス

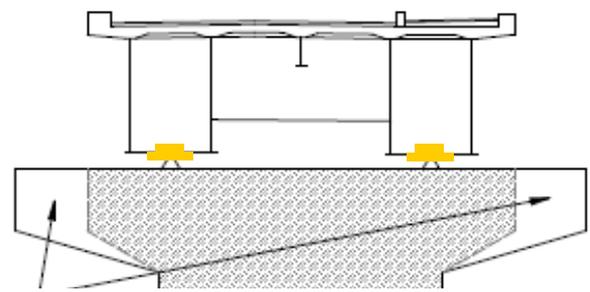


横ずれ断層を単純桁で直交に近い角度で交差

隣接橋への影響を最小化

隣接桁間の相対変位を拘束しない伸縮装置構造を選定

構造リダンダンシーを高めるための配慮(②断層変位に力で抵抗しない)



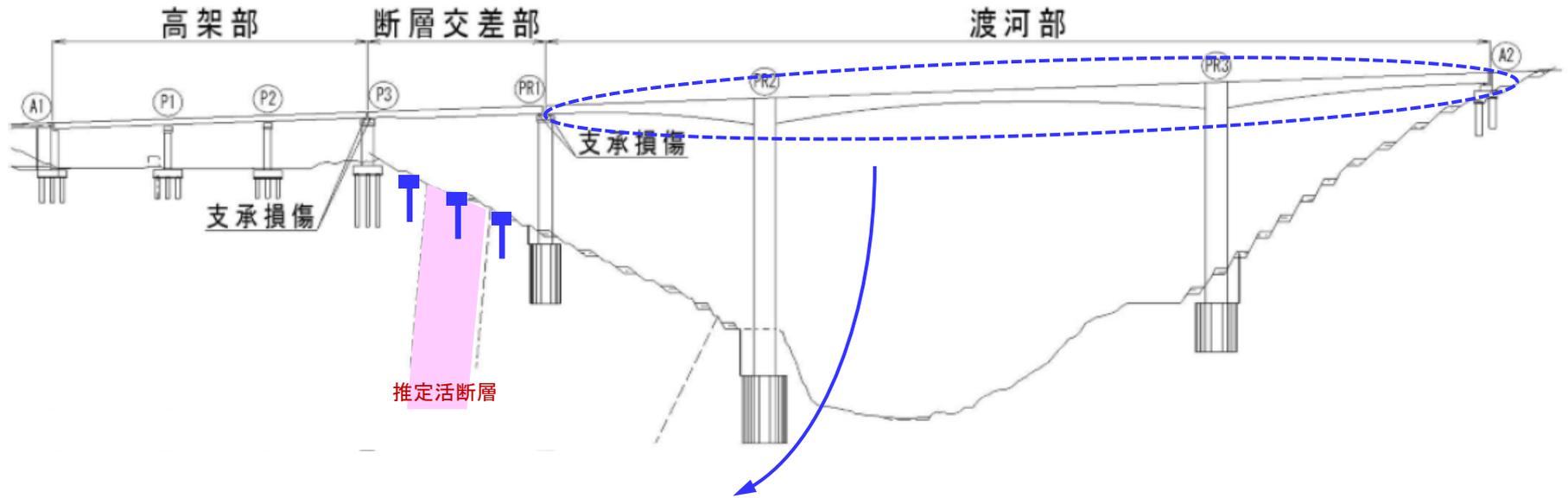
橋軸直角方向へ桁かかり長を拡幅

支承が破壊しても容易には落橋させない



橋軸直角方向に桁かかり長が拡幅されたP3橋脚

構造リダンダンシーを高めるための配慮(③潜在する構造特性を活用)



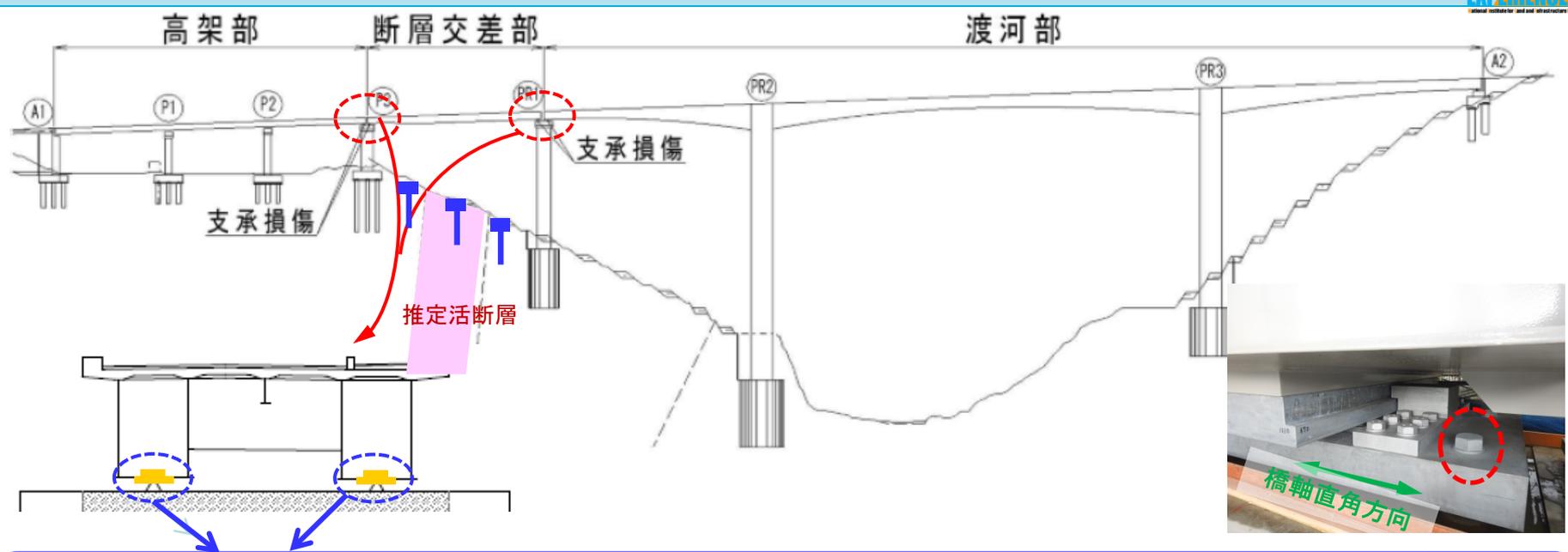
片持ち架設工法のPCラーメン橋を選定

仮に端支点の支持機能を失っても自立可能

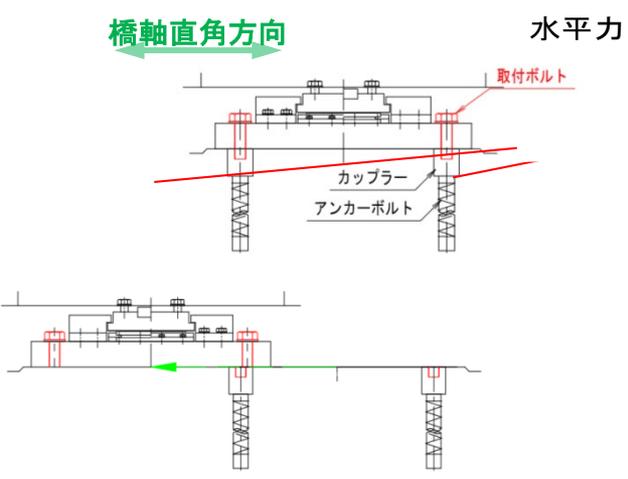


(2020年8月撮影)

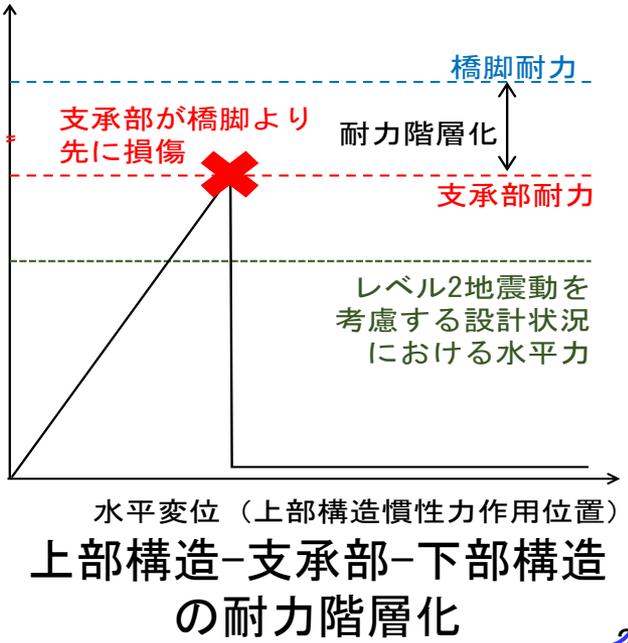
機能回復性を高めるための配慮(①桁端部での段差を小さくする)



- 最終的な破壊を支承で先行**
- ➡ **上部構造と下部構造への不測な力の伝達を遮断**
- ↓
- 部材間で耐力を階層化**
- ➡ **破壊形態の信頼性を確保**
- ➡ **破壊部位を支承下面の取付ボルトに誘導**

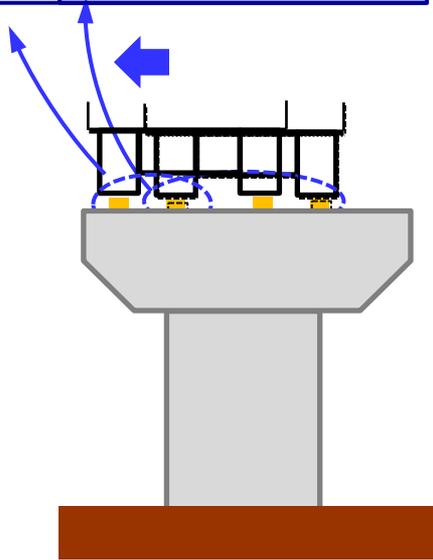
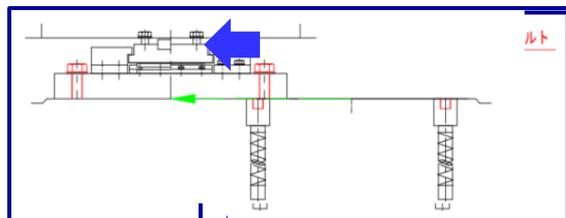


➡ **段差、桁への衝撃を抑制**

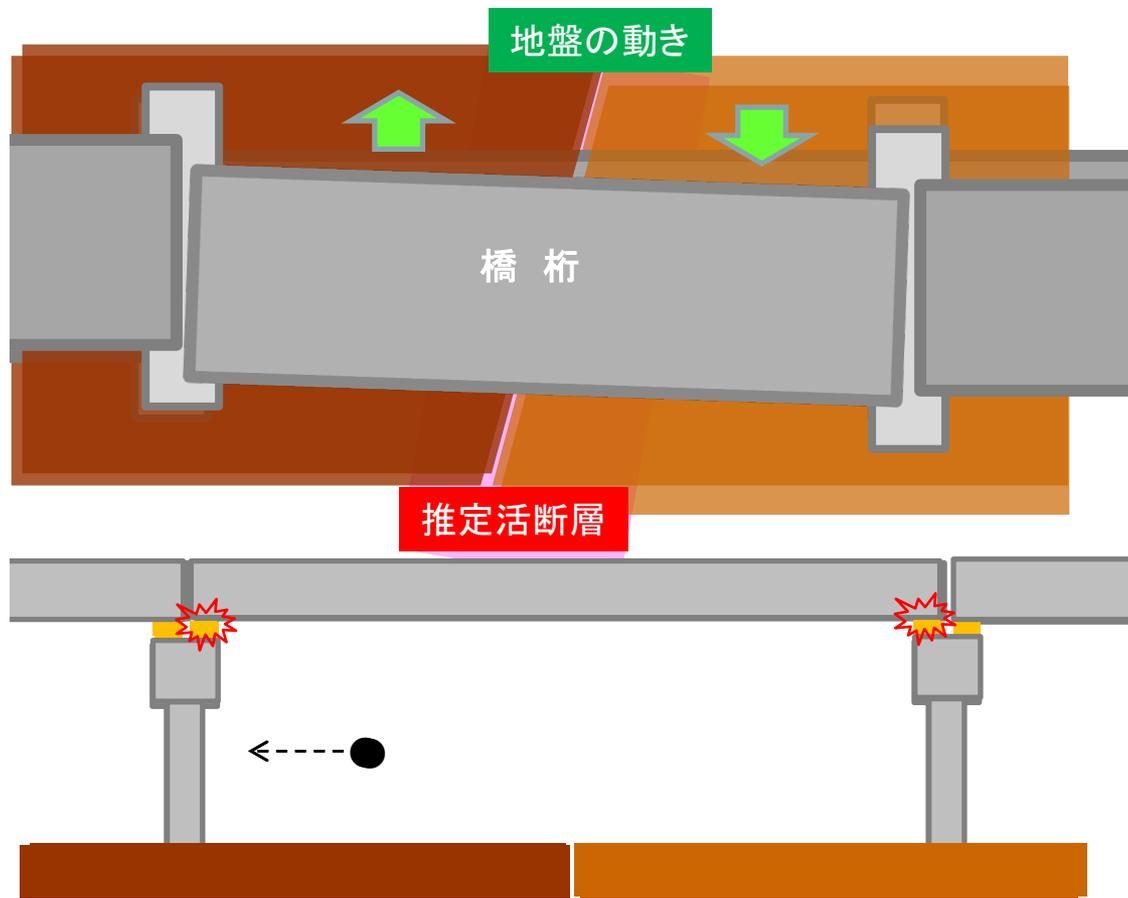


断層変位が生じた時の橋の状態のイメージ

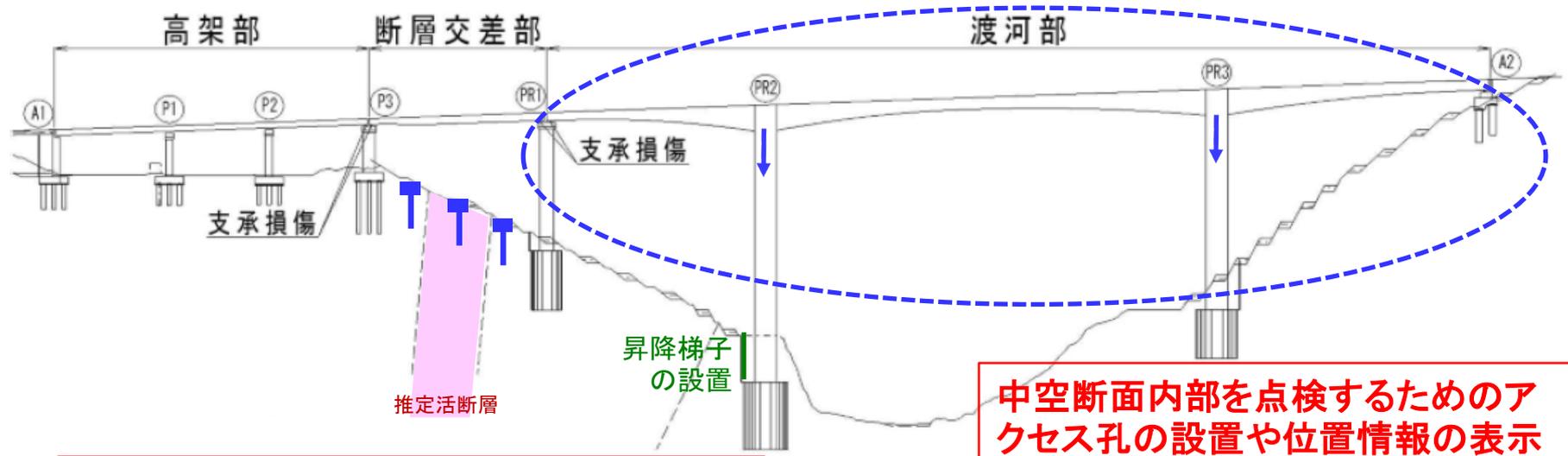
断層変位が生じた時



●から見た図



機能回復性を高めるための配慮(②状態把握を迅速に行う)



中空断面内部を点検するためのアクセス孔の設置や位置情報の表示

ロープアクセスによる橋脚の点検に必要なインサートを先施工で橋脚に設置

中空断面内面の損傷状況の点検の迅速化

高さの高い橋脚に対する近接目視による調査の迅速化



阿蘇長陽大橋の調査の例



詰め栓 先施工インサート(詰め栓がない状態)

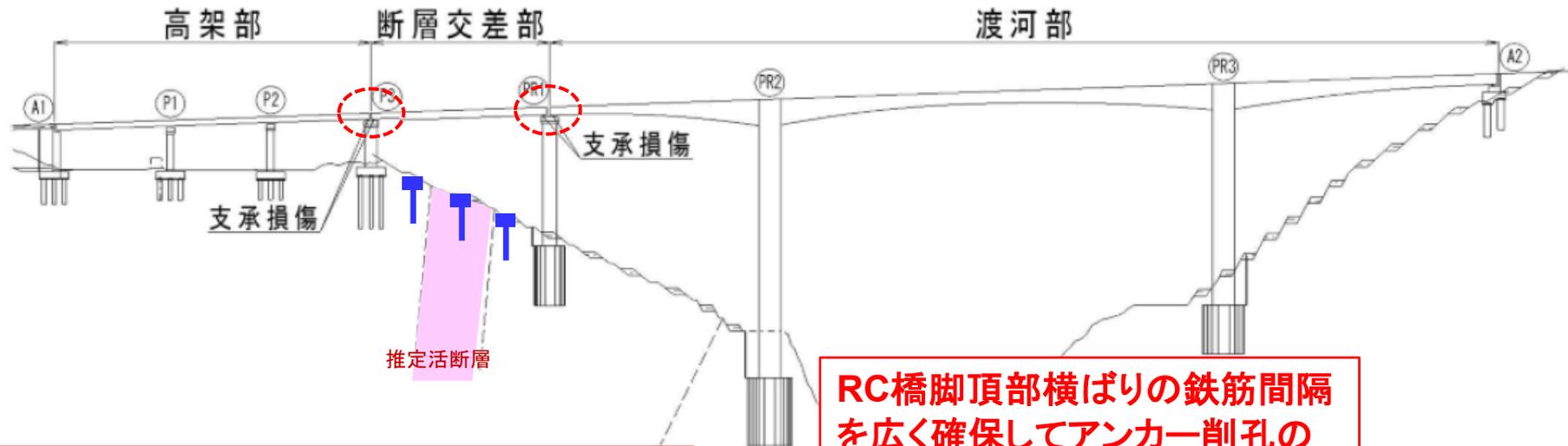


点検孔



高さ情報の表示

機能回復性を高めるための配慮(③応急措置を迅速かつ確実にを行う)



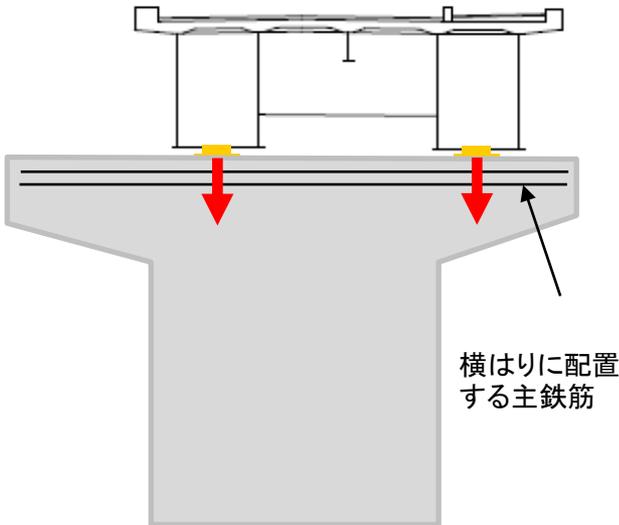
一定の横ずれ量は考慮して横ばりを設計

RC橋脚頂部横ばりの鉄筋間隔を広く確保してアンカー削孔のスペースを確保、記録

(一般 125~150mm → 本橋脚 200~300mm)

→ 応急的な通行機能の速やかな回復を可能

→ 上部構造がずれた際の応急仮設支承の設置を確実に速やかに施工

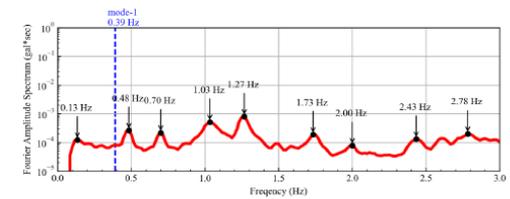


P3橋脚天端橋座部の配筋

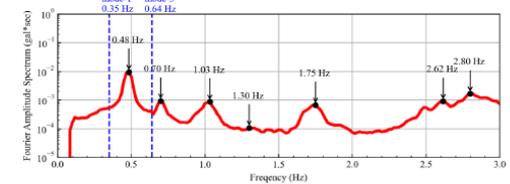
- 震災の教訓を踏まえて**維持管理**で活用できる情報(橋の固有振動数)を取得。
- 情報は、道路管理者が取得方法や活用方法を理解し、**維持管理**に活かすことができるように**工事主体—道路管理者—学**で共同して取得。



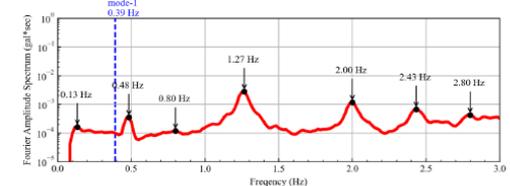
加速度センサー



(a) 横軸方向 LG



(b) 横軸直角方向 TR



(c) 鉛直方向 UD

取得した橋の振動特性に関する情報
(フーリエスペクトル図)

震災復旧における国総研の技術的支援内容について、現地での説明看板を通じて地元や観光で訪れる一般の方に情報提供
(熊本復興事務所や地元自治体と連携して実施)



QRコードからリンクされる情報

新阿蘇大橋の構造における技術的な工夫

断層の動きに力で抵抗せず「受け流す」構造計画

- 新阿蘇大橋は、右横ずれが推定される活断層(推定活断層)を跨ぐことから、予測が困難で不確実性が大きい断層の動きに対して、将来大規模地震が起きたとしても橋全体が崩壊しにくくなるような工夫をしています。
- 道路を作る位置及び橋の構造は、断層の位置や向きに対してできるだけ直交するような位置とすることや、橋全体を3つの区間に分けて断層を跨ぐ区間の構造を独立させることで、断層が動いたときに橋が影響を受ける範囲を限定するようにしています。
- 断層を跨ぐ区間では、断層の動きにより2つの橋脚が異なる方向に移動した場合には、橋桁や橋脚より先に支承部が破壊するように設計しています。これにより、橋桁と橋脚の間の地震力の伝達を遮断します。そのうえで、橋脚の上部の幅を広くし、支承部が破壊した後も橋桁が橋脚の上から落ちにくいような構造としています。

断層の動き

支承部が破壊した後の橋桁の動き

●から見た図

橋桁が橋脚の上から落ちにくいように橋脚の上部を拡張

※右横ずれ、断層を正面に見て断層の向こう側の地盤が右方向にずれるもの
※支承部：橋桁と下部構造(橋脚・橋台)の間にある部分。橋桁からの荷重を下部構造に伝えた後、相対的な変位に適應する役割を持つ。

橋桁に設置するインサートを確認する際、高橋脚では、ロープアクセスを確保するための器具を取り付ける

橋脚に設置したインサートを確認する際、高橋脚では、ロープアクセスを確保するための器具を取り付ける

2021.7

橋脚をジャッキで一時的に支えているイメージ

資料提供: 国土交通省 九州地方整備局 熊本復興事務所
国土交通省 国土技術政策総合研究所 熊本地震復旧対策研究室

2021.7

復旧完了し通行が再開した道路橋(開通当日の様子)



阿蘇長陽大橋・戸下大橋(H29.8開通)



俵山大橋(R1.8開通)



大切畑大橋(R1.9開通)



新阿蘇大橋(R3.3開通)

ご清聴ありがとうございました



熊本地震復旧対策研究室

<http://www.nilim.go.jp/lab/pgg/index.htm>

