

### 3. 熊本地震で被災した道路構造物の復旧技術支援に関する取り組み

#### 3.1. 復旧の経緯

熊本市街地と阿蘇地域を結ぶ寸断されたルート<sup>1)</sup>の復旧の経緯の概略を表-3.1<sup>1)</sup>に示す。

直轄権限代行で実施した俵山トンネルルート、長陽大橋ルート、阿蘇大橋ルートのうち、ルートとして最初に供用を再開したのは俵山トンネルルートである。このルートには被災した橋、トンネルが多数あったが、覆工が剥落するなどの被害があった俵山トンネルとこれに続く南阿蘇トンネルの復旧をする<sup>2)</sup>とともに、旧道である既存の村道を活用しつつ、一部区間の道路の改築等を行った迂回路で平成 28 年 12 月に開通した。このルートは標高が最高で 510m と、標高が 1000m を超え凍結による冬期通行止めのおそれのある迂回路であるグリーンロード南阿蘇に比べて低いことから、冬期の安全な通行が確保された<sup>2)</sup>。

発災から 1 年 4 ヶ月である平成 29 年 8 月には、長陽大橋ルートの阿蘇長陽大橋及び戸下大橋の応急復旧が完了し供用を再開した(写真-3.1(a))。このルートの復旧により、南阿蘇村の立野地区と村役場等がある地域が結ばれた。

その後、俵山トンネルルートでは橋の復旧の進捗に伴い順次部分開通し、このルートの最後になった大切畑大橋の復旧が完了した令和元年 9 月に全線供用再開した(写真-3.1(b))。

のちに「数鹿流(すがる)崩れ」と命名された阿蘇大橋地区の大規模斜面崩落箇所は、国の権限代行事業として復旧が行われた。この復旧が完了した後、この斜面の前面にあった JR 豊肥本線が令和 2 年 8 月に、また国道 57 号(現道部)が同年 10 月に開通した。国道 57 号現道部の開通と同日には、二重峠トンネルを含む北側復旧ルートも開通した。こののち、令和 3 年 3 月には阿蘇大橋ルートの新阿蘇大橋が開通し(写真-3.1(c))、熊本地震で被災した国道・県道は全て開通した。

平成 29 年 8 月の開通時点で応急復旧となっていた長陽大橋ルートは、新阿蘇大橋開通後の令和 3 年 5 月の連休明けから通行止めし、最後に残っていた戸下大橋の本復旧が行われ令和 4 年 3 月に開通したことで国が権限代行で実施した全てのルートの復旧が完了した。

表-3.1 国の権限代行事業で実施した平成 28 年熊本地震の復旧にかかる主な出来事<sup>1)</sup>を一部加筆、修正

平成 28 年 4 月 14 日、16 日	熊本地震発生(2 度の震度 7 を観測)
平成 28 年 5 月 9 日	国道 325 号阿蘇大橋が道路法に基づき国の権限代行事業による復旧実施が決定
平成 28 年 5 月 13 日	県道 28 号熊本高森線(約 10km 区間)、村道栃の木～立野線(約 3km 区間)が大規模災害復興法に基づき国の権限代行事業による復旧実施が決定
平成 28 年 7 月 1 日	九州地方整備局に熊本地震災害対策推進室が設置される (国総研職員も併任で参画)
平成 28 年 12 月 24 日	俵山トンネルルート(県道 28 号熊本高森線)、復旧に時間を要する橋梁部を避け、一部旧道を通る迂回路にて開通
平成 29 年 4 月 1 日	災害現場(熊本県阿蘇郡南阿蘇村)に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を設置 同日設置された復旧工事を担う九州地方整備局熊本復興事務所と同一庁舎で業務開始
平成 29 年 8 月 27 日	長陽大橋ルート(村道栃の木～立野線)応急復旧完了・開通 (阿蘇長陽大橋・戸下大橋応急復旧)
平成 29 年 12 月 14 日	俵山トンネルルート、鳥子(とりこ)地区部分開通 (扇の坂橋・すすきの原橋復旧)
平成 30 年 7 月 20 日	俵山トンネルルートの桑鶴大橋復旧完了・開通
令和元年 8 月 3 日	俵山トンネルルートの俵山大橋復旧完了・開通
令和元年 9 月 14 日	俵山トンネルルート復旧完了・全線元のルートで開通(大切畑大橋復旧)
令和 2 年 10 月 3 日	国道 57 号北側復旧ルート(※熊本河川国道事務所が実施)及び現道部開通
令和 3 年 3 月 7 日	阿蘇大橋ルート(国道 325 号)新阿蘇大橋完成・開通
令和 4 年 3 月 11 日	戸下大橋の本復旧完了、長陽大橋ルート全線本復旧完了・交通開放



(a)長陽大橋ルート (H29.8 開通)



(b)俵山トンネルルート(R1.9 全線開通)



(c)新阿蘇大橋(R3.3 開通)

写真-3.1 開通当日の状況

## 3.2. 復旧技術支援

### 3.2.1. 災害復旧現場での復旧研の対応

地震により被災した構造物の復旧は、損傷・変状の程度が様々であるうえ、所要の性能を確保するための方法もこれらの状態に応じて個別に判断して行う必要があることから、新たに構造物を構築する場合とは異なる高度専門技術を要する。そして、復旧のための技術的判断は、被災後から復旧設計までの調査・計画段階で行えるものもあれば、復旧工事の進展に伴い課題が明らかになって判断が必要となることもある。

復旧研は、復興事務所と共に災害復旧現場に常駐している特性を発揮して、調査・設計段階はもとより、工事の進展に伴って新たに損傷等が発見された場合には、速やかに現地に赴いて確認し、補修方法などの対応案をその場で復興事務所に助言し、必要に応じて復旧設計へのフィードバックできるように技術支援した(写真-3.2、写真-3.3)。そして、復興事務所等の橋梁設計・施工への技術支援、並びに、研究データの取得を目的とした現地調査・診断・協議は、その開催頻度は研究室設立初年度(平成29年度)では1週間で3日という高いものであった(写真-3.4)。このような高頻度できめ細かな対応ができたのは、復旧現場に研究室があつてこそ可能であったことであり、早期復旧に資する対応であったと言える。また、復旧にあたって技術的に解決すべき課題は橋の構造だけでなく、地盤や地質など多岐にわたることから、つくばにある国総研道路構造物研究部並びに土研構造物メンテナンス研究センター(CAESAR)や地質・地盤研究グループなどの関係部署と連携することで対応にあつた(写真-3.5)。この対応においても、復旧研が現地で課題を認識し、復興事務所とともに整理したうえでつくばの関係者と連携して対応にあつたことで、円滑な技術支援が可能となった。



写真-3.2 道路橋の復旧現場での復旧研の技術支援状況例



写真-3.3 復旧研若手研究官による斜張橋ケーブルの調査の様子



写真-3.4 復旧研(右側)と復興事務所との打合せの様子



(a) 中空断面 RC 橋脚の確認状況  
(土研 CAESAR と連携して対応)



(b) 斜面の安定性の確認状況  
(地質・地盤研究グループと連携して対応)

写真-3.5 土研と連携して対応した復旧現場での技術支援状況例

### 3.2.2. 特徴的な復旧技術支援事例

復旧技術支援にあたっては、単に被災前の状態に戻すだけでなく橋に要求される性能をよりよい形で確保すること、この際、地震に対して強いだけでなく、耐久性や維持管理の確実性や容易さなども考慮することを念頭に、技術基準の策定に関する様々な研究やその策定における議論に携わり、技術基準が要求することの本質に精通している国総研であるからこそ可能である技術的判断に基づいた支援を行った。

本節では、主にこのような観点を踏まえて行った特徴的な技術支援事例を示す。

#### (1) 桑鶴大橋の復旧

2 径間連続鋼斜張橋である桑鶴大橋は、主塔の左右で径間長が異なるうえ、縦断勾配を有する曲線橋である特徴を有している。本橋では、支承の破損に伴って桁端部が浮き上がり、桁全体が曲線外側方向へ移動するとともに、主ケーブルによれが生じた。主塔本体には損傷は生じなかったものの、主塔を支える杭にはひび割れが生じた。この橋の主な復旧内容は、主塔基礎の増し杭、曲線外側方向に移動した桁全体を元の位置に戻すための横移動、よれが生じた上から2段のケーブルの撤去張替、支承部の再構築である。このうち、ケーブルの交換については、道路橋の斜張橋としては国内初の事例であった。

以下に、本橋において技術支援を行ったもののうち特徴的な事例を示す。

A2 橋台支点部では、鉛直上向きの力及び水平方向の力に抵抗する機能を同一の部材で備えていた支承が破壊し、桁端が浮き上がり早期の道路機能回復に支障を来した。このような桁端の浮き上がりによる重大な損傷に至りにくくするための対策として、鉛直力も水平力も同一の支承で負担する構造であった支承を、鉛直上向きの力に抵抗する部材は水平方向に抵抗する部材と独立した支承構造に変更し、さらに万が一これらの部材が破壊しても桁端が容易に浮き上がらないように別系統の部材を設置することを提案した（図-3.1）。

また、復旧後の橋の管理は元々の道路管理者（本橋は熊本県）が行うことになる。そこで、道路管理者が供用再開後の維持管理段階において再び大地震が生じた際などに橋の状態の変化の把握に活用できるような情報の取得を取得方法の提示と合わせて行った。ケーブル張力に関する情報は、張力と振動のしかた（振動数）に一定の関係性があることを踏まえて、ケーブルの振動数から張力を推定できる方法を選定した。このとき、ケーブルの振動数は、ケーブルにロープを引っかけて人力で振動させた時に生じる振動を利用して得ることができる。また、橋体の固有振動数も、車両を角材などの段差から落下させたときに生じる振動を利用することで比較的簡便に得ることができる。このような情報を取得するための試験の方法や試験データの維持管理への活用方法、本橋の振動特性について、熊本県に引き継ぐために供用再開前に現場説明会を行って示した（図-3.2）。

さらに、本橋では、構造上重要な役割を持つケーブルの耐久性を確保する観点から、定着部への水の浸入防止対策として、従来の弾性シール材による止水に加え、ケーブルハット（止水板）を二段配置する構造とし、さらに先端に取り付けるケーブルハットは、ケーブルを伝ってきた水が確実に落下するようにケーブルの角度に応じてケーブルゴムカバーとの間隔を変えて取り付けること（図-3.3）等の技術支援を行った。

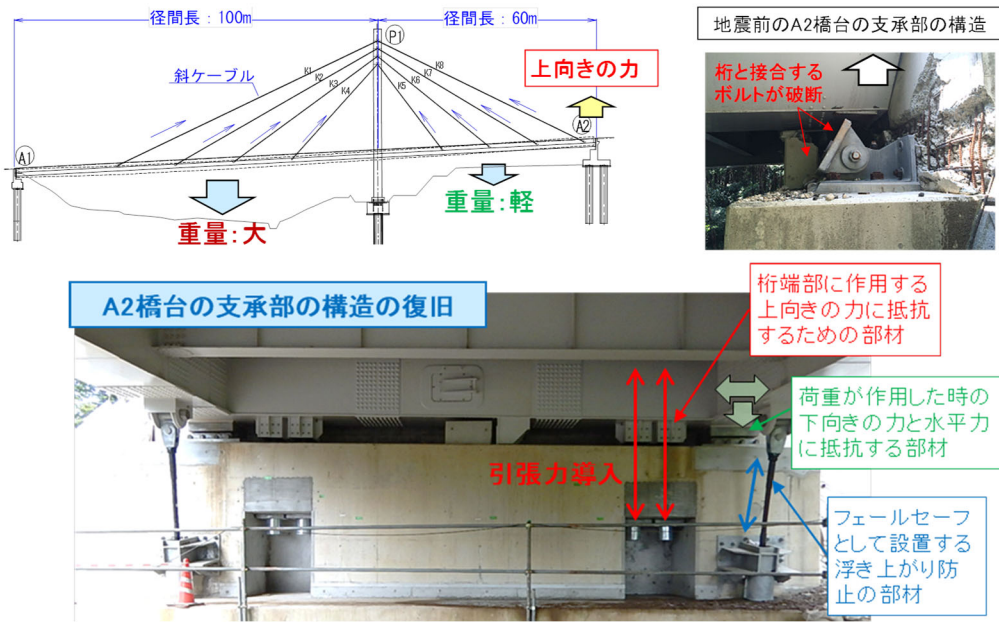


図-3.1 桁端が容易に浮き上がらないようにした支座位部の構造



(1) ケーブル張力の確認試験状況

(2) 管理者に対する施工段階で取得したデータの維持管理への活用に関する説明

図-3.2 管理者(熊本県)に対して行った桑鶴大橋の現地説明会の様子

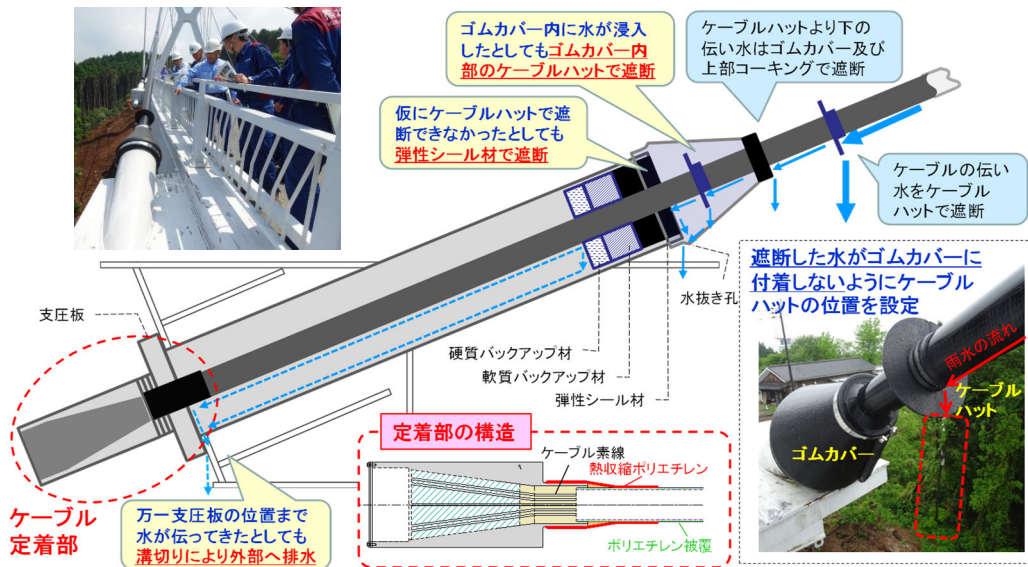


図-3.3 ケーブルの定着部の耐久性を高めるための配慮

(2) 大切畑大橋の復旧

鋼 5 径間連続非合成曲線鋼桁橋である大切畑大橋では、支承部が P2 橋脚の支点上を除き全て損傷し上部構造が下部構造に対して最大で 1m ほどの移動や、鉄筋コンクリート橋脚にひび割れが生じた。さらに、径間部で主桁が座屈するという既往の震災では見られなかった損傷が生じ、特に P1-P2 間では主桁のウェブと下フランジに座屈が生じ、この周辺の床版でもひび割れが多数確認された。この橋の主な復旧内容は、P2 橋脚における RC 巻立て及び増し杭、桁全体を元の位置に戻すための横移動、P1-P2 径間部の主桁の座屈箇所への桁の追加である。

以下に、本橋において技術支援を行ったもののうち特徴的な事例を示す。

本橋の復旧にあたっては、橋全体として被災前と同等の耐荷性能に戻すという基本方針に基づき、部材単位で形状を元に戻す等により性能を確保するのではなく、上部構造としての耐荷性能を挽回するという視点から、座屈により低減した主桁の機能を補完する方法として、損傷した主桁残置したまま当該断面内に新たに桁や対傾構を追加設置する方策を考案した（図-3.4）。この方策は、部材としてではなく橋としての性能を求めているという道路橋示方書の本質を熟知していればこそ考案できたものである。がことをこの上部構造の補修設計の妥当性を確認するための検証方法を考案し、新たに追加した桁が荷重を分担することを、施工過程での支点条件の変化等に伴い上部構造に作用する荷重の変化に伴い桁に生じる応力（ひずみ）をモニタリングすることで確認した。

また、耐荷性能を元に戻すための補修方法に応じて、個々の下部構造の耐荷力が確保されることの信頼性に相対的に差があることに配慮して、補修後の下部構造に作用する地震時水平力の負担割合がより信頼性の高い下部構造に大きくなるように支承部を設計する考え方を考案した。

なお、本橋の補修における取り組みが評価され、(一社) 全日本建設技術協会の令和元年度全建賞を受賞した。

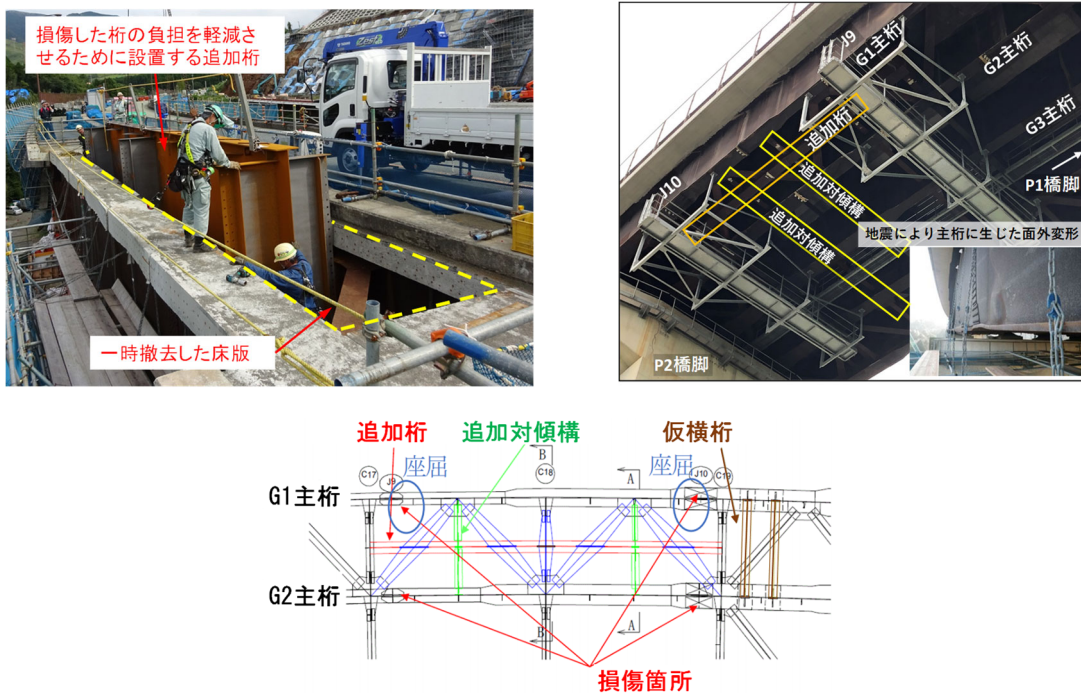


図-3.4 座屈した主桁を残置したまま新たな桁等を追加して補修した上部構造

### (3) 阿蘇長陽大橋の復旧

3 径間連続 PC ラーメン橋である阿蘇長陽大橋では、A1 橋台を支える斜面の崩落に伴い約 2m の橋台の沈下や、中空断面である鉄筋コンクリート橋脚の断面を貫通するほどのひび割れ (P3 橋脚) が生じた。その他、PC 桁は断面を貫通するほどではないがひび割れなどが生じた。この橋の主な復旧内容は、橋台の再構築、P3 橋脚の内空部へのコンクリート充填、PC 桁の繊維シート貼付である。

以下に、本橋において技術支援を行ったもののうち特徴的な事例を示す。

斜面が崩落して沈下した A1 側の橋台の再構築に際しては、斜面崩落等により地盤が不安定化しても、同様の被害が生じないようにするために、不安定地盤を除去したうえで、斜面の一部が不安定になっても構造全体として沈下しにくい構造とすることを提案し、剛性の大きな 5 連の RC ラーメン構造となった。また、橋の背後の新しい道路の線形は、白川沿いの斜面が再び崩落した場合でも道路機能に及ぼす影響を受けにくくするために、白川沿いの斜面から離していくように改めた (図-3.5)。

軸方向鉄筋の段落し部で断面を貫通するひび割れが生じせん断抵抗力が低下した P3 橋脚は、中空部にコンクリートを充填して補修した。この補修にあたっては、コンクリートを充填による自重の増加に伴う基礎の支持力や地震時の慣性力の増加などの影響を確認することや、コンクリートの充填等のために柱頭部に開口部を設置する際に橋の有する性能を低下させないようにするために考慮すべき事項、充填したコンクリートと既設コンクリートを一体化するための鋼材の設置に関する留意点などについて助言をした (図-3.6)。また、コンクリート充填による補修効果について、充填高さが貫通ひび割れを跨ぐ前後で P3 橋脚の振動が卓越する固有振動数が増加 (剛性が増加) していることを車両落下試験、常時微動計測により確認する方法を提案し、実施した (図-3.7)。

なお、本橋の補修における取り組みが評価され、(公社) 土木学会の平成 29 年度田中賞 (作品部門) を授賞した。

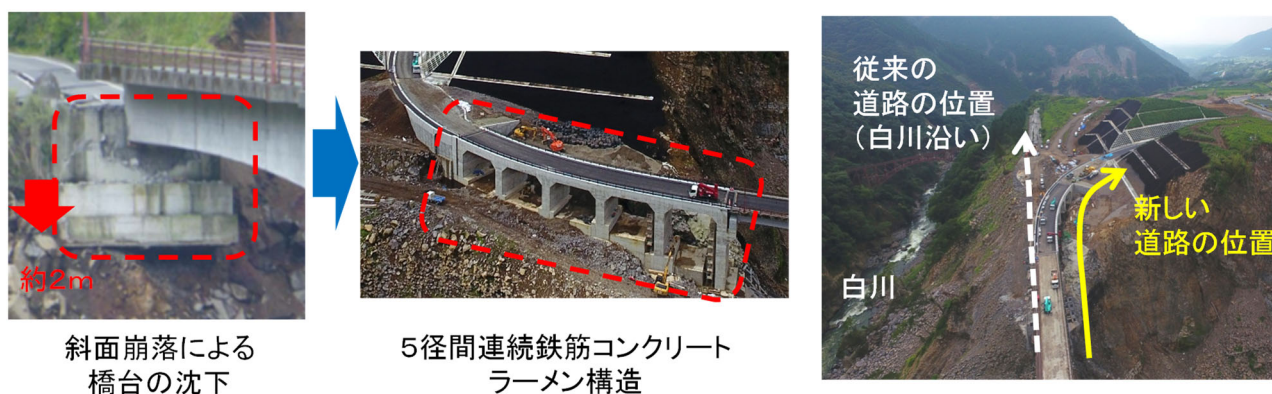


図-3.5 斜面崩落により沈下した A1 橋台の構造及び橋台背面に取付く道路の線形の見直し



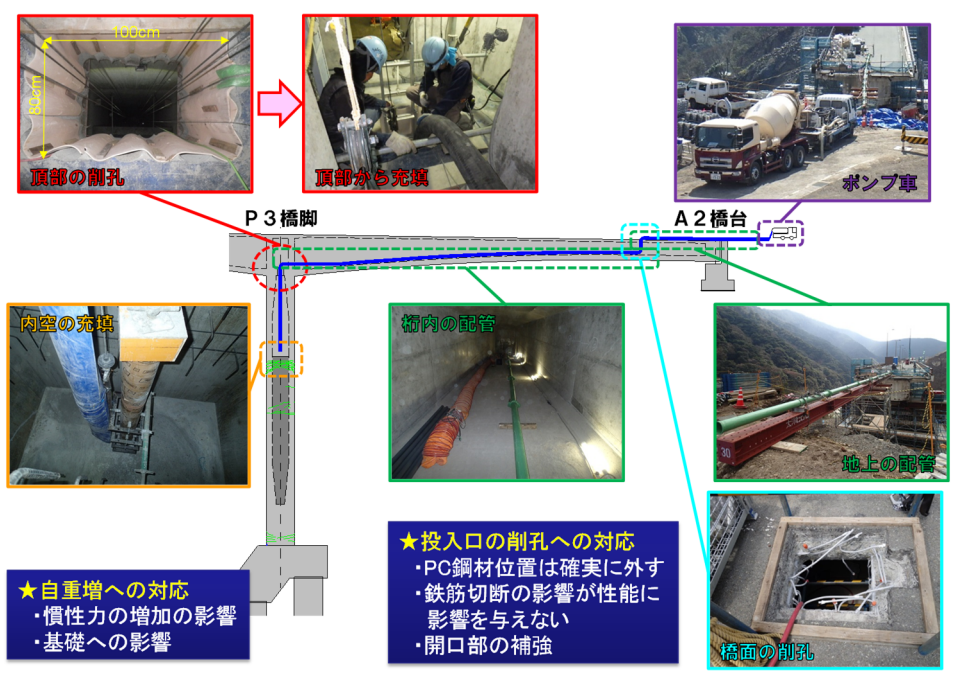
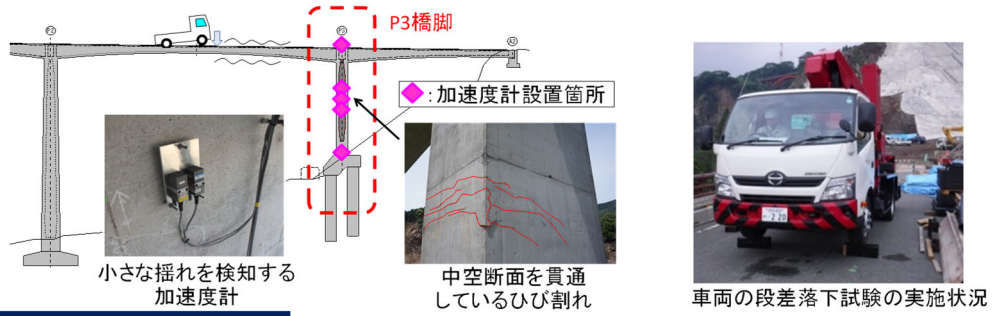


図-3.6 貫通ひび割れが生じた P3 橋脚における内空部へのコンクリート充填による補修

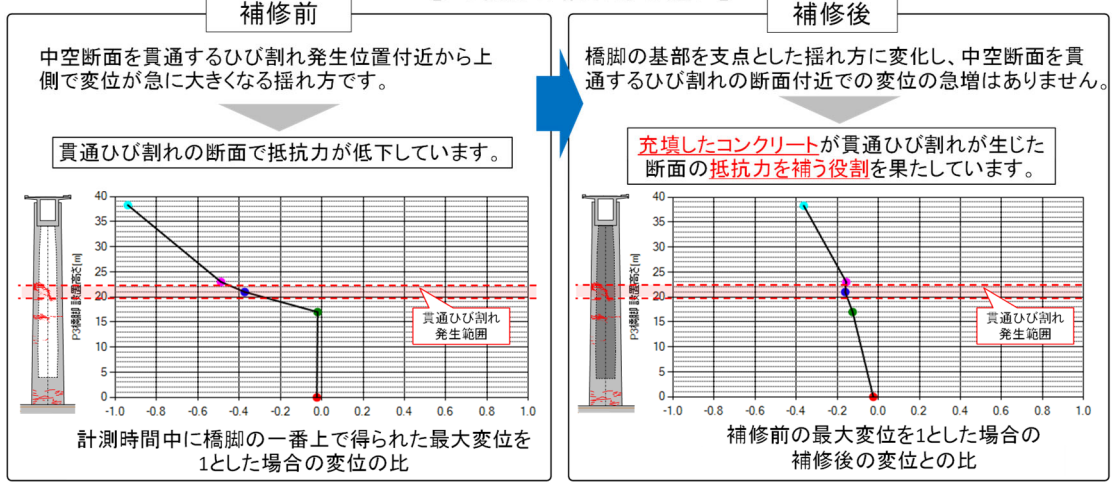
### 橋の揺れ方を確認する方法(振動試験)

- ① 車両を段差から落とし、橋に小さな振動を与えます。
- ② 橋脚の高さ方向に複数とりつけた加速度計を用いて、補修の前後での橋の揺れ方の違いを計測します。計測した加速度から位置の変化量(変位量)を把握します。



### 計測結果(補修効果)

【P3橋脚の揺れ方の違い】



※プラス(+)とマイナス(-)は揺れの方向が反対であることを示す ※計測結果作図協力: モニタリングシステム技術研究組合 (RAIMS)

図-3.7(a) 橋の揺れ方の計測結果に基づく P3 橋脚の補修効果の確認(1)

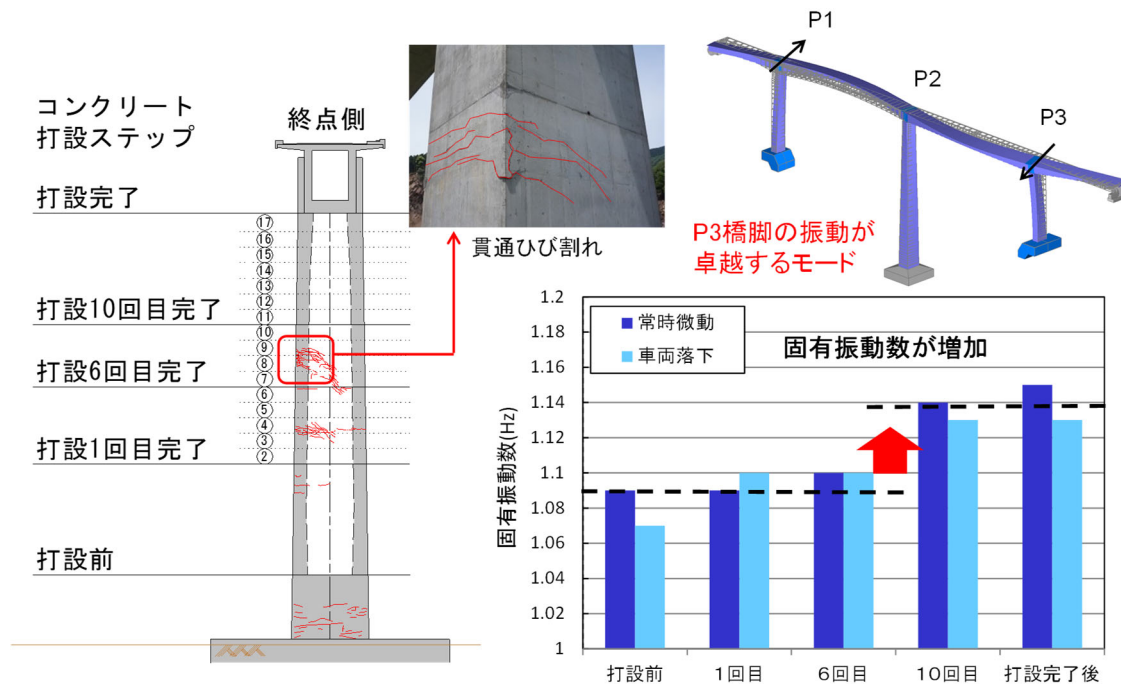


図-3.7(b) 橋の揺れ方の計測結果に基づく P3 橋脚の補修効果の確認 (2)

#### (4) 阿蘇大橋の復旧(新阿蘇大橋の建設)

地震により落橋した阿蘇大橋（アーチ橋）から約 600m 下流に建設された新阿蘇大橋では、熊本地震での被災の教訓を踏まえて計画から設計、施工の各段階において様々な技術的配慮に関する提案を行った。

新たな架橋位置は、4 つのルート案を総合的に勘案した結果として、やむを得ず推定活断層を跨ぐなどの厳しい条件がある位置となったが、再び大きな地震が生じたとしても熊本地震で生じたような致命的な状態にさせないこと、さらに地震の後に早期に道路機能を回復できるようにすることを実現すべく復旧を行った。計画時点での復旧イメージを図-3.8 に示す。

渡河部の構造は片持ち架設工法で施工された PC ラーメン橋を選定したが、これに隣接する位置に推定活断層がある。横ずれが想定される断層を跨ぐ区間は単径間の鋼桁橋とし、断層の変位に伴う下部構造の移動により桁が動いたとしても、隣接する区間の上部構造に支障を来さないような配慮を行うとともに、断層を跨ぐ径間についても落橋しにくくすることに加えて早期道路機能回復も考慮した技術的配慮に関する提案を行った。具体的には、断層活動に伴う地盤変位に伴い上下部構造に相対変位が生じる際に、力で抵抗せずに受け流せるように、最終的な破壊が支承で先に生じるようにし、上部構造と下部構造への不測な力の伝達を遮断することで下部構造が倒壊するようなことを避け、落橋させないような設計を行った。この方法として橋の破壊を支承部に誘導するように支承部とその取付け部で耐荷力に差をつけた設計の考え方を提案した。この際、路面に生じる段差をできるだけ小さくすることや、桁が橋脚に落ちた衝撃で桁が破壊することをできるだけ避けるようにする観点から、支承部の中でも先行して破壊させる部材を支承の下側にある取付ボルトに限定することを、被災の教訓も踏まえた検討に基づいて提案した。また、支承部が破壊したあとに下部構造天端からすぐに落橋することがないように橋脚天端幅を確保すること提案した。以上の断層変位に対して力で抵抗せずに受け流す構造計画のイメージを図-3.9 に示す。この他にも、断層を跨ぐ区間に関する提案として、移動した後に桁の仮支持を行いやすくするための橋脚天端スペースの確保や、アンカーボルトの設置をあらかじめ想定した天端内の配筋の

工夫、隣接する桁との間に生じる相対変位を拘束しない伸縮装置の選定の提案も行った。

本橋は、渡河部の中空橋脚が最も高いもので97mに達することから、近接目視の際に必要なロープアクセスのためのインサートを施工段階での設置や、中空内部が確認できるように柱頭部への点検孔の設置、内空部への高さ情報の表示によりあらかじめ橋の状態を把握しやすくすること、さらに維持管理に活用できる情報の取得やBIM/CIMによる記録・保存など、維持管理の確実性や容易さにも配慮した方策についても提案した（図-3.10、図-3.11）。

なお、本橋での一連の取り組みが評価され、（公社）土木学会の令和2年度田中賞（作品部門）を授賞した。



図-3.8 復旧する阿蘇大橋のイメージ図（計画段階）

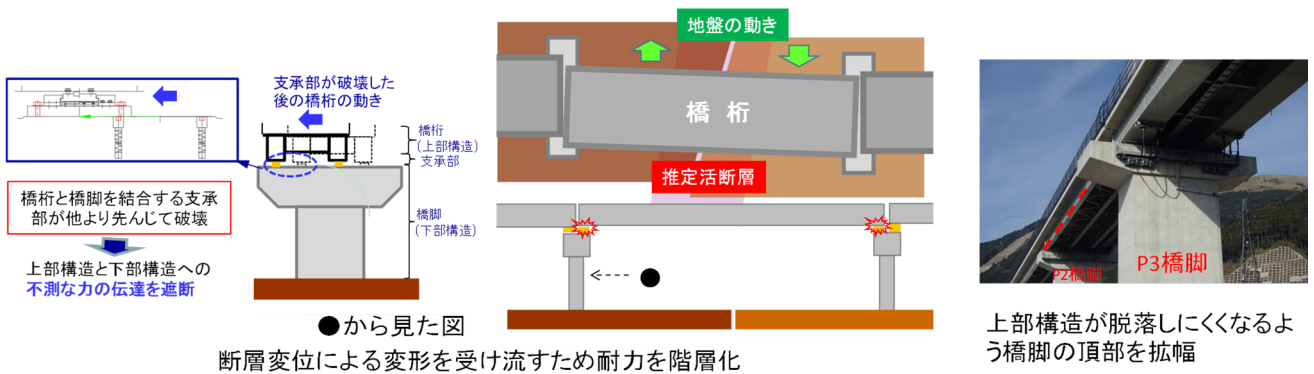


図-3.9 断層変位に力で抵抗せず受け流す構造計画

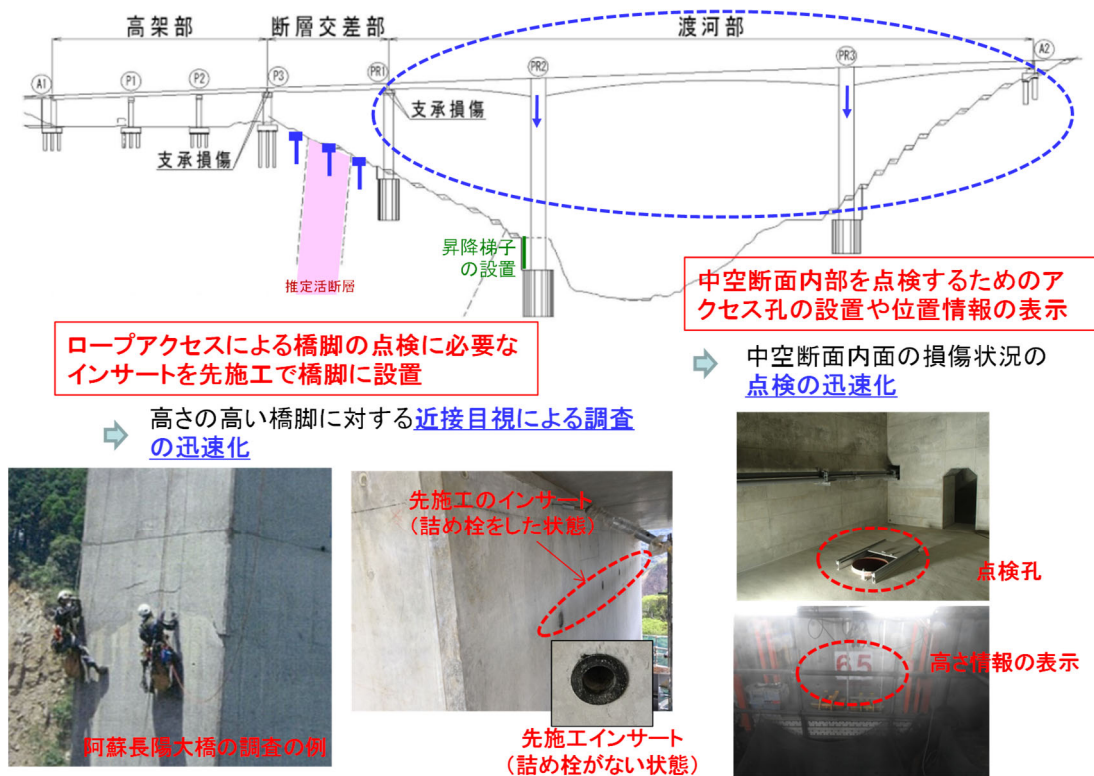


図-3.10 渡河部の橋脚における状態把握を迅速に行うための配慮

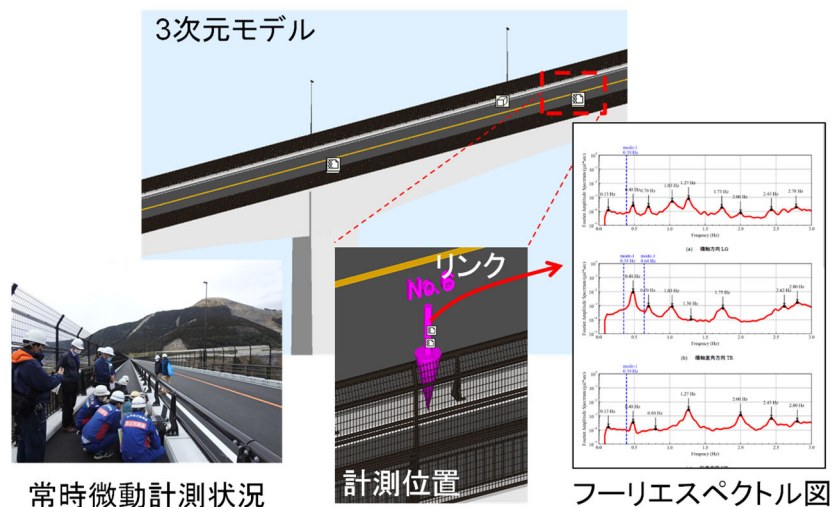


図-3.11 維持管理に活用できる情報の取得と BIM/CIM による記録・保管

参考文献

1) 国土交通省国土技術政策総合研究所：国総研 20 年史、2021. 7.  
 2) 国土交通省道路局・九州地方整備局・熊本河川国道事務所：俵山トンネルルート(県道熊本高森線)が12月24日に開通～トンネルと旧道を活用した東西方向の通行を確保～、平成 28 年 12 月 13 日記者発表資料  
[http://www.qsr.mlit.go.jp/site\\_files/newsttopics\\_files/20161213/1481589087.pdf](http://www.qsr.mlit.go.jp/site_files/newsttopics_files/20161213/1481589087.pdf)