

熊本地震から早期復興に向けて ～長陽大橋ルートの開通と ICT 技術を用いたモニタリングの活用～

国土交通省 国土技術政策総合研究所 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 主任研究官

さわだ まもる
澤田 守
いまむら たかひろ
今村 隆浩

国土交通省 九州地方整備局 熊本復興事務所 副所長

1. はじめに

平成 28 年 4 月に発生した熊本地震による橋やトンネル等の構造物の被災や斜面崩落等により、熊本市街地と阿蘇地域を結ぶ主要ルートが寸断された。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となり、阿蘇地域の復興には主要ルートの早期復旧が必要であった（図－1）。また、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であり、県道、村道の災害復旧は、これら管

理者の要請を受けて、大規模災害復興法に基づき、国土交通省が代行して事業を実施している。

発災直後より国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」という）は、国立研究開発法人土木研究所（以下、「土研」という）等と連携して復旧に向けた調査・検討を行ってきた。そして、平成 29 年 4 月に熊本地震復旧対策研究室を南阿蘇村に設置し、研究職員が常駐することで、技術支援を現地で迅速かつきめ細やかに行う体制を構築するとともに、国総研の各研究部や土研との連携による総合的な技術力により、事業を担う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してきている。

本稿では、平成 29 年 8 月 27 日に応急復旧工事の完了に伴い開通した、熊本市街地と阿蘇地域を結ぶルートの 1 つである長陽大橋ルート（村道栃の木～立野線）について、復旧における技術的な要点と、施工中に実施した ICT 技術を用いたモニタリング等を紹介する。



図－1 熊本地震直後の道路ネットワークの状況

2. 長陽大橋ルートへの復旧

(1) 損傷概要と復旧検討に考慮した観点

長陽大橋ルートには、南阿蘇村が管理する阿蘇長陽大橋と戸下大橋の2つの橋がある。両橋は、熊本地震により、写真-1に示すような大きな損傷が生じた。阿蘇長陽大橋のA1橋台は、斜面が崩れたことで約2m沈下した。また戸下大橋は、橋梁の上側の斜面が崩落して、一部区間は上部構造と下部構造が流出するとともに、下部構造が傾くなどの損傷が生じた。地震の揺れによる影響だけでなく、斜面変状の影響により損傷が生じており、復旧にあたってはこのような地盤変状等の不確実性の高いリスクが橋に及ぼす影響を軽減する観点が重要であった。

また、熊本地震による被災の教訓を踏まえ、平成28年9月に国土交通省道路局から「平成28年熊本地震を踏まえた橋の耐震設計における留意点について」の事務連絡が通知された。本通知では、斜面変状が橋に及ぼす影響については、その影響を最小化できるように、橋の架設位置や構造形式に配慮して構造計画等を行うことが明確化されている。また、その主旨は平成29年7月に改定された道路橋示方書にも反映されている。

このような背景を踏まえ、長陽大橋ルートの復

旧においては、斜面変状による橋への影響をできるだけ軽減するための技術的な工夫を取り入れている。また、大規模かつ広範囲な損傷が生じており、さまざまな不確実性が潜在する中で、復旧の信頼性をより高める観点も含めて復旧の工法を決定しており、それらについて以下に紹介する。

(2) 阿蘇長陽大橋の復旧

① 橋台の構造形式と線形の見直し

橋長276m、PC4径間連続ラーメン箱桁橋の阿蘇長陽大橋は、斜面が崩れA1橋台が大きく沈下した。上部構造はPCラーメン橋であり、桁端部を支持する橋台前面側の平面的な位置を変更することは困難であるが、斜面変状のリスクを抑えるため、支持層の位置の見直しを行った。支持層の見直しに際しては、被災後の地盤の破壊性状の観察結果も踏まえ、橋台位置だけでなく、その周辺についても範囲を広げて調査を行う等、地盤調査を慎重に行った。

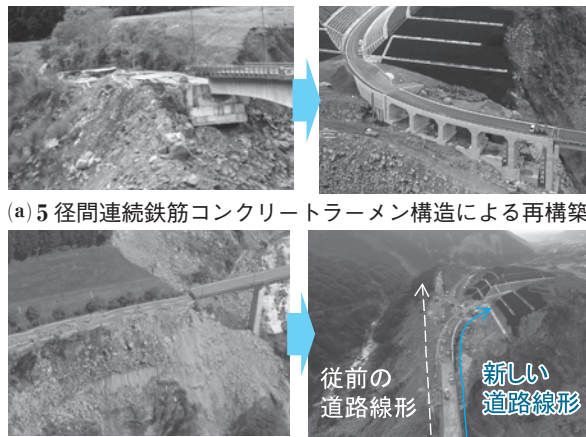
そして、不安定となった地盤は掘削除去した上で、再び大規模な地震が発生し斜面が変形しても構造全体が変位しにくく、仮に全体的に変位が生じても構造安全性を保持し、できるだけ通行機能が保持されるように配慮する観点から、構造全体が一体で挙動できるような極めて剛性の高い連続ラーメン構造で再構築した。また、橋台前面の斜面は、再度崩れるリスクを抑えるため、アンカー



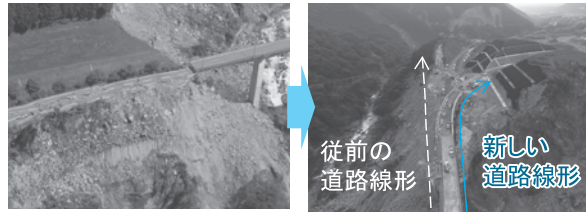
写真-1 長陽大橋ルートの代表的な損傷

等による対策も行っている。

阿蘇長陽大橋アプローチ部の道路の復旧においては、側方の斜面の変形や崩落が生じたことから、斜面の変形・崩落の影響を受けにくくなるように、斜面から離れる方向へ道路線形の見直しを行った（写真－2）。



(a) 5 径間連続鉄筋コンクリートラーメン構造による再構築

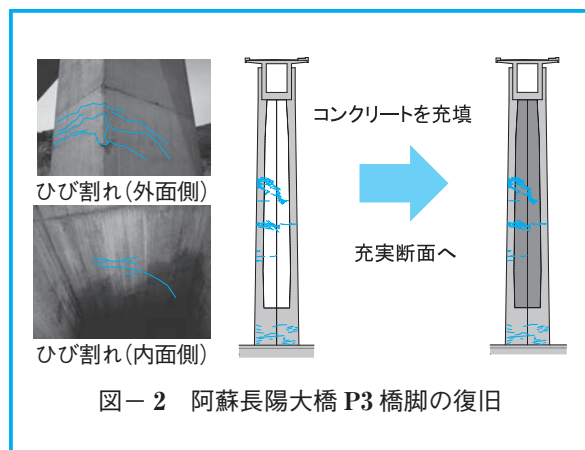


(b) 道路線形の見直し

写真－2 阿蘇長陽大橋 A1 橋台の復旧

② 中空断面橋脚へのコンクリート充填

P3 橋脚では、調査の結果、中空断面となっている中間高さ位置に断面を貫通するひび割れが生じていることがわかった（図－2）。国総研・土研に蓄積されている中空断面 RC 橋脚の地震時損傷メカニズムに関する研究成果を踏まえると、貫通ひび割れが生じている中空断面ではコンクリートによるせん断抵抗機能が失われている状態と評価され、これを回復させるための補修が必要とな



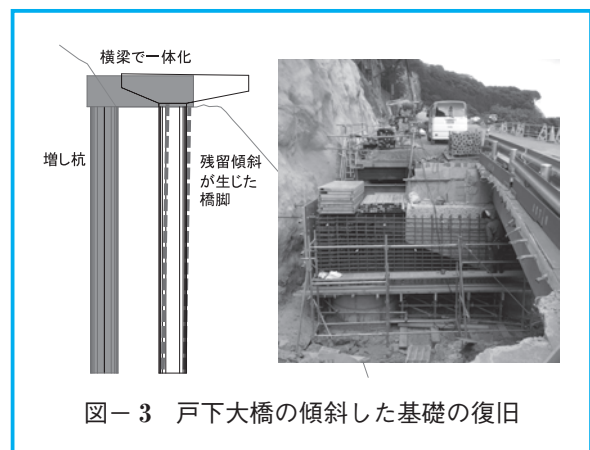
図－2 阿蘇長陽大橋 P3 橋脚の復旧

った。そこで、今回の復旧では、中空部に流動性の高いコンクリートを充填し、充填したコンクリートでせん断抵抗機能を回復させることとした。その上で、炭素繊維巻き立てを併用し、耐荷力の回復とともに変形性能の改善を両立させることを復旧設計の方針とした。

なお、中空部へのコンクリートの充填により自重が増加するため、慣性力の増加や基礎への影響についても照査をし、本橋では悪影響が生じないことを確認している。

(3) 戸下大橋の復旧

戸下大橋は、橋長 380 m、単純プレテンション桁構造であり、橋面より上方の斜面の崩落により、一部径間の上部構造と 1 基の橋脚が崩落した。その崩落した径間は、仮橋により応急復旧した。その他の一部の橋脚では、調査の結果、残留傾斜が生じている状態であった。国総研・土研に蓄積されている既設基礎や RC 柱部材の水平耐力や変形能に関する知見を踏まえると、1.0 度以上の傾斜が残留している橋脚については、当初保有していた水平耐力が低下していることが懸念される状態と考えられた。一方で、地中部の基礎には一定の耐荷性能が残存していると考えられたことから、現有耐荷力を保持させたまま、十分に性能を有する基礎を山側に増設して一体化させることで、全体としてより信頼性の高い構造となるよう復旧した（図－3）。



図－3 戸下大橋の傾斜した基礎の復旧

3. ICT 技術を用いた モニタリングの活用

(1) モニタリングの目的

阿蘇長陽大橋のような特殊な損傷が生じた橋の復旧では、さまざまな不確定要素が含まれるため、その施工の各プロセスで、モニタリングを実施しながら工事を進めた。

復旧工事においてモニタリングを実施する目的は、補修効果を確認すること、施工の各プロセスでの橋の状態を把握すること、復旧後の維持管理において有用となるデータを得ておくことの3つが挙げられる。ここでは、振動計測により補修効果を確認した事例を紹介する。

(2) 阿蘇長陽大橋のモニタリングと補修効果

阿蘇長陽大橋では、P3 橋脚の中間高さに断面を貫通するひび割れが生じたため、コンクリートを充填することにより図-4に示すように橋脚の振動モードに変化が生じる。そこで、補修効果を確認するためのモニタリングでは、橋脚の振動モードの変化に着目した。そして、微少な揺れでも正確に測定できる加速度計を図-5のように橋脚に設置し、補修の前後それぞれで橋の振動を計測した。

図-6は、計測結果の一例として、段差から車両を落下させて橋に振動を与えた時のP3橋脚に生じる水平変位の高さ方向分布を、コンクリートを充填する前後で比較して示したものである。横軸は、橋脚に生じた水平変位の値を補修前の状態

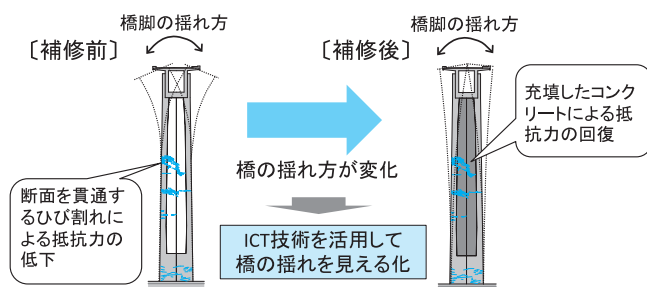


図-4 P3 橋脚の補修効果を確認する原理

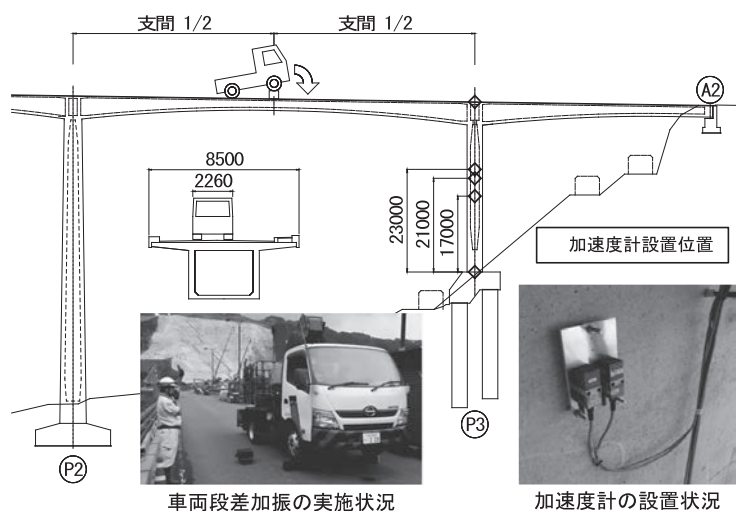
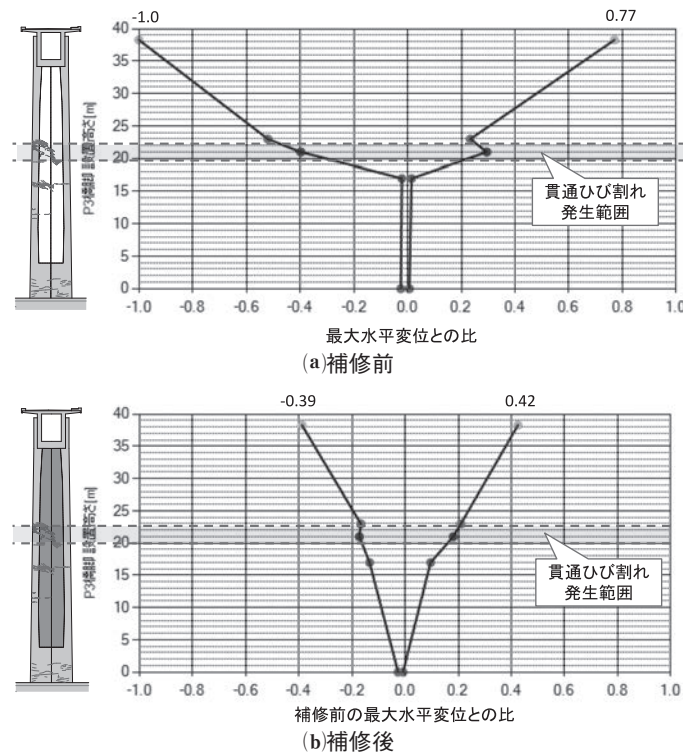


図-5 加速度計設置位置と載荷位置

(計測機器選定協力：モニタリングシステム技術研究組合 RAIMS)



図ー6 コンクリートの充填による橋脚の振動モードの変化
(作図協力：モニタリングシステム技術研究組合 RAIMS)

における振動試験で得られた橋面位置での最大水平変位の値で無次元化した値としている。

コンクリートの充填前は橋脚中間高さ位置を基点としたような振動モードとなり、それより下の断面では振動による水平変形がほとんど生じていない。このような振動モードとなるのは、ひびわれの貫通によってその断面のせん断耐力が低下している状態であるためと考えられる。一方、コンクリートを充填した後は、橋脚基部を基点とした振動モードに移行しており、貫通ひび割れが生じた断面での水平変位の急増も見られない。すなわち、充填したコンクリートがせん断力を負担していると評価することができる。なお、よりわかりやすく示すために、振動のアニメーションを作成しており、熊本地震復旧対策研究室のホームページ (<http://www.nilim.go.jp/lab/pgg/index.htm>) で公開している。

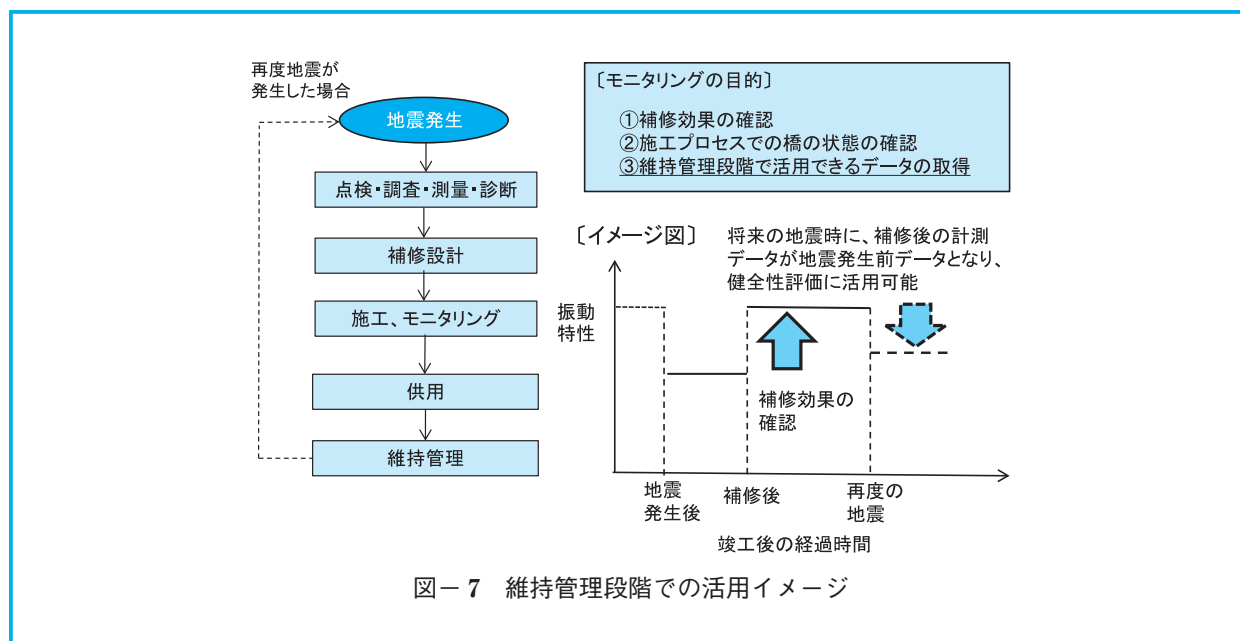
また、中空部へのコンクリート充填は、3基の

橋脚のうち P3 橋脚 1 基のみに行っているが、橋全体の挙動への影響について検討するために、橋全体に加速度計を設置して固有振動数や振動モードを計測し、解析では生じていない不規則な振動モードが生じていないことも確認した。

(3) 復旧後におけるモニタリングデータの活用

国土交通省では、平成 29 年度より橋梁分野における生産性向上 (i-Bridge) に取り組んでいる。阿蘇長陽大橋でのモニタリングについても、維持管理の段階における i-Bridge の取組みとして位置付けられている。今回計測した補修後の橋の振動特性のデータは、図ー7に示すように、今後の橋の維持管理や次に大地震が起きた際にも活用することができる。これらの計測したデータは、維持管理の段階での活用方法とセットで記録し、保存されるようにしていく予定である。

また、モニタリングに限らず、復旧に至るまで



図ー7 維持管理段階での活用イメージ

にはさまざまなデータが取得されながら施工が行われており、それらのデータの中には維持管理に資すると考えられるデータもある。i-Bridge は、調査～設計～施工～維持管理の各段階のデータをまとめて記録・保存し、全体の生産性や信頼性を高めていく取組みであり、その考え方を具現化し実効性を高めていく上では、システムの構築・改善とともに、橋の維持管理を行う上でのニーズを適切に把握することが重要である。本稿の事例は地震被害に対する橋の補修工事ではあるが、維持管理を効率的に進めていく観点から、橋の架橋条件や構造条件を踏まえ、モニタリングに限らず施工段階でどういうデータをどのような形で記録として残しておくべきかについても検討しているところである。

4. おわりに

熊本地震からの早期復興に向けて、県道 28 号熊本高森線の桑鶴大橋、大切畑大橋、俵山大橋や国道 325 号阿蘇大橋等の復旧工事も進めており、熊本地震による橋の被災からの教訓を踏まえ、また、関係機関と連携しながら創造的な復興につなげていきたい。

謝 辞

復旧に係る検討の実施にあたっては、国土交通省九州地方整備局および国総研、土研、熊本県等で構成されるプロジェクトチーム（橋梁 PT）の委員からさまざまな助言をいただいております。深く感謝申し上げる次第である。