

震災復旧工事における施工段階での情報取得と維持管理への活用

西田秀明・鈴木慎也・瀧本耕大・星隈順一

1. はじめに

国土交通省では、橋梁事業を対象に調査・測量から設計、施工、検査、維持管理までのあらゆるプロセスにおいてICT技術を活用し、生産性・安全性を向上させる「i-Bridge」を推進しており、熊本地震による一部の復旧工事でその試行がなされている^{1),2)}。この試行に関連して、国土技術政策総合研究所熊本地震復旧対策研究室では、震災復旧工事後の橋の維持管理段階における点検や診断、あるいは不具合発生時の原因究明における検討の信頼性を向上させる観点から、復旧工事の施工プロセスで得ておくべき情報とその保存及び活用方法等に関する研究を行っている。

本稿では、道路橋の震災復旧工事を対象として、復旧後の維持管理に活用できる施工段階での情報取得の観点を概述するとともに、本誌先月号で紹介した桑鶴大橋の復旧工事³⁾を対象に、維持管理への活用を考慮し施工段階で取得した情報の事例を報告する。

2. 維持管理で活用するために震災復旧工事の施工段階で得る情報とその取得方法

2.1 道路橋の維持管理に必要な情報と現状の課題

道路橋が所要の性能を発揮するためには、設計、施工だけでなく維持管理も適切に行う必要がある。そのためには、維持管理を行う者が設計の前提となる維持管理の条件や施工段階で得る情報等を把握し、維持管理に反映できるようにしておくことが重要である。

設計の前提となる維持管理の条件としては、例えば、取替えを想定している部材の点検とその状態把握などがある。これらは、橋が所要の性能を確保するために設計で前提としている条件であることを踏まえて、適切な維持管理を行う必要がある。施工段階で得る情報としては、例えば支持層の深さがある。支持層の深さは、予め行う地盤調

査の結果を踏まえて設計で想定はするものの、施工を行うプロセスにおいて局所的な地層の変化などが確認されることがある。この結果、橋の完成時の杭の長さが当初設計から変わる場合もある。

このような施工段階で判明する情報も適切に記録、保存し、維持管理に反映させることが重要である。しかしながら、所要の性能が確保されるように道路橋をより合理的に維持管理していく観点から、建設工事の段階や補修補強工事の段階におけるどのような情報が有用であるのかが必ずしも明確になっていないのが現状である。

2.2 震災復旧工事の施工段階で得る情報

前述した現状と課題を踏まえ、既設橋に対する補修補強では、その目的と適用する工法の特性に応じて、その後の維持管理への活用を見据えた適切な情報を取得しておくことが重要である。

本研究で対象とする道路橋の震災復旧工事の過程では、損傷の状況と適用する補修補強の工種に応じて様々な情報がある。例えば、橋本体やこれを支持する地盤の当初位置からの移動量を把握するための座標データ、コンクリートのひび割れや剥離、鋼材の座屈、変形などの損傷・変状の発生位置や程度、杭施工時における支持層の深さや土質に関する情報などである。

また、何らかの損傷・変状が生じている橋に対する復旧においては、新設の橋に対する設計にはない残留応力や残留変位が生じている場合もあり、復旧工事の施工プロセスにおいてこれらの残留応力や残留変位も変化する。したがって、所要の性能を有する橋に復旧するためには、新設の橋を設計する時には生じない復旧工事特有の不確実性があることを考慮した上で、補修補強の効果が得られるようにする必要がある。しかし、復旧設計前の調査で得る情報だけでは、復旧の工事前及び工事の施工プロセスにおける応力状態の変化に関する不確実性は必ずしも解消できない場合もある。このような復旧設計における残余の不確実性への対応としては、実際の施工プロセスで生じる応力や変形に関するデータの変化をモニタリングによ

り取得し、設計での見立てとの間に相違がないかを確認しながら施工を行うことが有効である。

2.3 維持管理への活用の観点

震災復旧工事の過程で得る様々な情報の中から、復旧設計の前提となっている維持管理の条件に該当する情報、これに関連した施工プロセスで得ることができる情報等を下記の観点からの的確に抽出し、データとして得ておくことが維持管理への活用の観点から有効と考えられる。

- ・補修補強を行った部材の状態確認に関する観点
- ・補修補強した部位に想定される再損傷の要因・メカニズムの推定に関する観点

例えば、コンクリート部材にひび割れや剥離、剥落が生じた場合は、断面剛性の確保、内部鋼材の腐食の防止などを目的にひび割れ充填を行った上で、炭素繊維シート巻立てによる補強等が行われる場合がある。この場合、補修前のひび割れの位置、炭素繊維シートの施工時における既設部材との接着状態などの情報は、当該補修を行った部材の状態確認を行う上で重要な情報となる。

3. 桑鶴大橋の震災復旧工事とモニタリングによる情報の取得事例

3.1 被災状況と主な復旧工事の概要

ここでは平成28年熊本地震で被災した桑鶴大橋において、維持管理段階での活用を見据えて復旧工事の施工段階で行った情報取得事例を紹介する。

桑鶴大橋は、平成10年に架設された橋長160mの2径間連続鋼斜張橋である。本橋は、径間長が主塔よりA1側とA2側で40m異なる構造で、さらにA1側からA2側に向けて上り勾配を有する曲線橋という特徴がある。このため、斜ケーブルの配置は同一面内上になく、また、A2側支点部には死荷重が作用する状況において上向きの反力が生じる特殊な構造となっている。このような構造特性をもつ本橋では、熊本地震によりA2側の支承が破壊し、これに伴い桁端部が約60cm浮き上がるとともに、桁全体が曲線外側へ約90cm移動した(写真-1)。また、斜ケーブルのよれや主塔の傾き、主塔の基礎杭にひび割れ等も発生した^{3),4)}。

本橋の復旧工事の概要を図-1に示す。本橋の復旧では、外側2段(合計8本)の斜ケーブルを交換した。交換に先立ち、これらの斜ケーブルが主

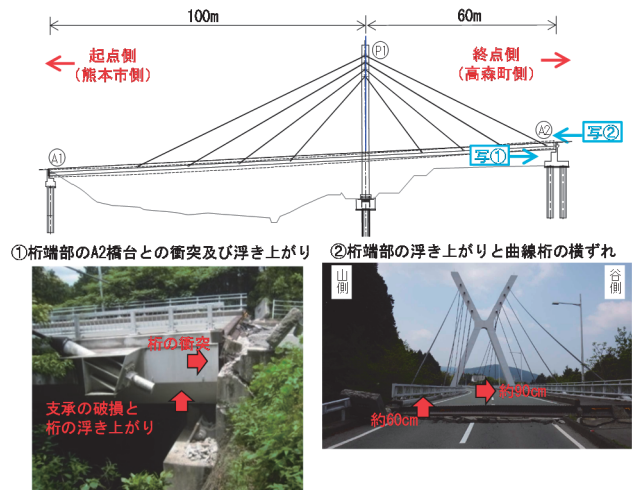


写真-1 桑鶴大橋の主な被災状況

桁に定着されている位置付近にベントを設置し、桁の自重を一旦仮支持させた。そして桁をジャッキアップした上で横移動し、所定の位置に戻した(写真-2)。次に、8本の斜ケーブルを交換し、ベントを撤去して斜ケーブルに張力を与えた。そして、浮き上がったA2側桁端部をジャッキで引き込みA2橋台の新しい支承部構造と接合した上で、全ての斜ケーブルの張力とA2橋台の支承部の上向き反力が復旧設計で想定した目標値となるように張力を調整した。復旧プロセスにおける斜ケーブルの張力状態の変化の概略を図-2に示す。

なお、本橋でのA2側支承部の被災状況を踏まえ、支承部の復旧にあたっては水平力に抵抗する部材と上向きの反力に抵抗する部材を別部材とし、地震の影響によって水平抵抗機能が喪失したとしても上向き反力の抵抗機能に影響しないように構造的な配慮を施した(写真-3)。その上で、仮に上向き反力の抵抗機能が喪失する状態となったとしても容易には桁端部が浮き上がらないよう、別系統の浮き上がり防止のための部材も設置した。また、損傷が確認された主塔(P1)の基礎は増し杭、パラペットが損傷した単列の杭基礎で構築されていたA1橋台は増し杭と橋台躯体の改築、パラペットが損傷し桁端部の浮き上がりが生じたA2橋台は橋台躯体の改築をそれぞれ行った。

3.2 維持管理の活用を考慮して取得した情報の例

前述したような構造的特徴を有する本橋では、各々の斜ケーブルに作用する張力は異なる。さらに斜ケーブルの張力はA2側支承部に設置されたPCケーブルの張力によっても変化する。した

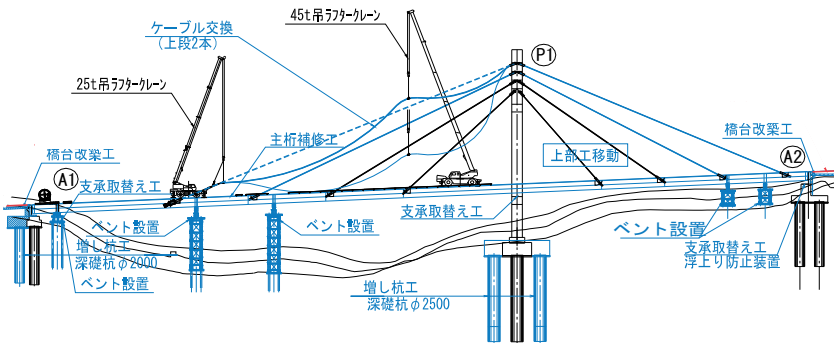


図-1 桑鶴大橋の復旧工事の概要

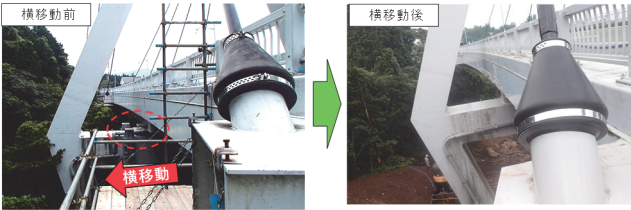


写真-2 主桁の横移動

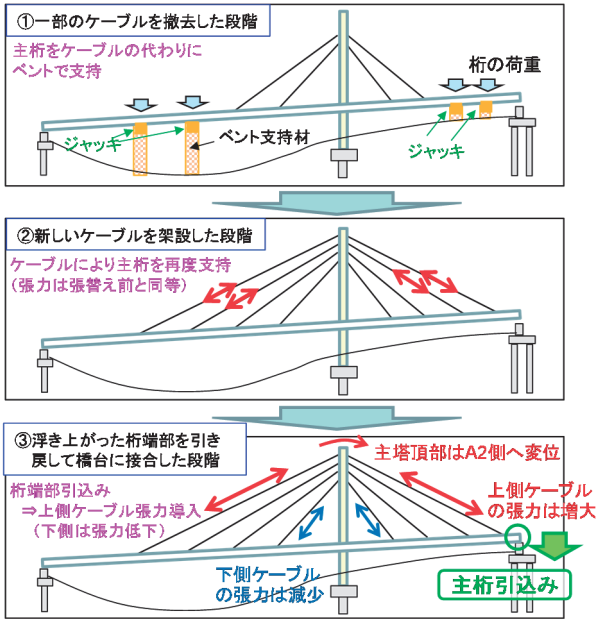


図-2 桑鶴大橋の上部構造の復旧施工プロセス



写真-3 A2側支承部の構造

がって、復旧後の維持管理段階で本橋の状態を把握する上では、これらのケーブルの張力状態を把握できるようにすることが重要となる。

また、橋を構成する部材の損傷・変状や斜ケーブルの張力抜けなどが生じると、橋全体の振動特性も変化する。このため、復旧の完成系において



写真-4 A2橋台支承部に設置された上向き反力に抵抗させるPCケーブルの加振状況

実測した橋全体の固有振動数のデータを今後の維持管理におけるリファレンスとして活用できるようにしておくことも有用である。

そこで本橋では、主塔の傾きや主桁や下部構造の位置等の基本情報に加え、上記の観点からケーブル張力や完成系における固有振動数の情報を取得するためのモニタリングを行った。なお、これらの情報の取得にあたっては、管理者が実施しやすいようにする観点から簡単な原理で容易に取得できる方法を選定し、維持管理への活用が実効性を伴うようにも配慮した。

3.3 ケーブル張力のモニタリング

ケーブルの張力の推定は、張力が固有振動数と相関関係があることに着目し、固有振動数を計測することにより行った。

A2側支承部において上向き反力に抵抗する部材として設けられている計4本のPCケーブルは、死荷重が作用する状態で1本当たり約1500kNの張力が生じるように調整されている。このケーブルの固有振動数は、写真-4に示すように橋台天端の直上位置でケーブルをハンマーで叩いて振動させ、その時にケーブルに生じる時刻歴加速度を周波数解析して求めた。この固有振動数からPCケーブルの張力を推定できるようにするため、ケーブルの張力調整段階において、ロードセルによる張力の実測値とハンマーで振動を与えた時の固有振動数の関係を調査し、相関関係を把握した。また、主桁を支持する斜ケーブルについても、ケーブルに人力で振動を与え、その時に計測された時刻歴加速度から周波数解析を行ってケーブルの固有振動数を導出した³⁾。

いずれも、施工段階で得たデータを基に、舗装や附属物などが設置された復旧の最終系の構造条件において張力が推定できるように、固有振動数との関係式を整理した。これにより、固有振動数

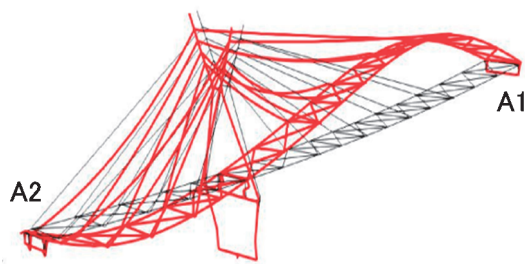


図-3 桑鶴大橋の振動モード図(1次)

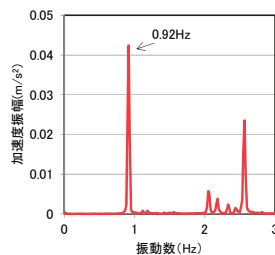


図-4 周波数解析結果

施工段階で得ておく情報を具体化するために、(一社)日本橋梁建設協会、(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会との共同研究に着手したところである。この共同研究では、維持管理に資する施工段階で得る情報の記録の様式や保存方法についても検討を行う

をモニタリングすることで、復旧直後の状態からの強力変化の有無を容易に確認することができる。

3.4 橋全体の振動特性のモニタリング

橋の振動特性の変化の把握は、橋全体の固有振動数から確認する方法により行った。橋の固有振動数は、本橋の橋面上において角材でつくった段差から車両を着地させて人工的に橋に小さい振動を与え(表紙写真)、主塔頂部や橋桁に設置した加速度計で計測された時刻歴加速度を周波数解析して求めた。加振位置は、本橋の全体系に対する固有値解析の結果を踏まえ、主桁が鉛直方向に大きく振動する1次モード(図-3)を再現するように主塔とA1橋台の中間位置とした。加振位置近傍で計測された鉛直加速度波形の周波数解析(図-4)より、本橋の復旧の完成系における1次モードの固有振動数は0.92Hzであった。

4. まとめ

本報では、桑鶴大橋の復旧への対応事例を通じて、維持管理に活用できる情報の取得について紹介した。ただし、橋に生じた損傷状態と適用する補修補強の考え方によって、その施工段階で得ておくべき情報は変わってくる。そこで国土技術政策総合研究所では、橋の地震災害復旧で適用される様々な補修工種に対して、維持管理の観点から

予定である。

謝辞

桑鶴大橋の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及び国土技術政策総合研究所、(国研)土木研究所、熊本県等で構成されるプロジェクトチーム(橋梁PT)の委員から助言を頂きました。また、桑鶴大橋に関する計測データ等は、国土交通省九州地方整備局熊本復興事務所から資料の提供を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) i-Construction推進コンソーシアム(企画委員会)、http://www.mlit.go.jp/tec/tec_fr_000033.html、2017.3.
- 2) 澤田守、今村隆浩、中川量太、星隈順一：熊本地震で被災したPCラーメン橋の復旧とモニタリングの活用、土木技術資料、第60巻、第2号、pp.36～39、2018
- 3) 星隈順一：桑鶴大橋の復旧対策技術の現地説明会を開催～復旧プロセスで得たデータを今後の維持管理に活用～、土木技術資料、第60巻、第9号、pp.42～43、2018
- 4) 国土技術政策総合研究所、土木研究所：平成28年(2016年)熊本地震土木施設被害調査報告、国総研資料第967号、土研資料第4359号、2017.3

西田秀明



国土交通省国土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
Hideaki NISHIDA

鈴木慎也



国土交通省国土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 交流研究員
Shinya SUZUKI

瀧本耕大



国土交通省国土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 研究官
Kodai TAKIMOTO

星隈順一



国土交通省国土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長、博士(工学)
Dr. Jun-ichi HOSHIKUMA