

# 熊本地震により被災した大切畑大橋の復旧について

岩下 光司朗<sup>1</sup>・増尾 明彦<sup>2</sup>・橋爪 隆介<sup>3</sup>

<sup>1</sup>〜<sup>3</sup>九州地方整備局 熊本復興事務所 工務第二課 (〒869-1404 熊本県阿蘇郡南阿蘇村大字河陽3574番地)

2016年4月に発生した熊本地震により被災した鋼5径間連続非合成鈹桁橋「大切畑大橋」は、上部工の横ずれや下部工の移動、主桁の座屈や床版のひび割れ等の複雑な損傷を受けた。座屈した主桁の復旧にあたっては、損傷部材を取り替える方法ではなく、座屈した主桁を撤去せず横に主桁を追加する方法を用いている。また、施工時には、損傷箇所の応力状態を計測しながら復旧を行った。本稿では、追加主桁の効果について考察し報告する。

キーワード 主桁の座屈、主桁の追加、モニタリング、震災復旧

## 1. はじめに

熊本市～阿蘇郡高森町を結ぶ主要地方道「県道28号熊本高森線」の山間部に点在する橋梁群は、2016年4月に発生した熊本地震により被災し、通行不能となった。橋梁群の中には、甚大な被害を生じている箇所があり、復旧には、原因究明、対策検討、及び効果確認等、多岐にわたり高度な技術が必要であった。

2016年5月10日、熊本地震を大規模災害復興法の定める「非常災害」に指定する閣議決定が行われ、同年5月13日に熊本県知事から要請を受け、国が代行して「県道28号熊本高森線」の災害復旧事業に取り組むこととなった。被災した橋梁およびトンネル・土工の復旧方針については、それぞれ国土技術政策総合研究所や土木研究所から成るプロジェクトチームを設置し、その中で技術支援を受けるとともに、必要に応じて学識経験者の意見をj得て決定した。

ここで、県道28号熊本高森線の復旧状況を図-1に示す。

2016年12月24日に、復旧に時間を要する橋梁部を避けトンネル・本線土工部と旧道迂回路を利用した暫定供用を、翌年12月14日には、復旧が完了した橋梁と仮橋を利用した鳥子地区の交通切替を行い、段階的に着実に復旧を行ってきた。その後も、2018年7月20日に桑鶴大橋の

復旧、2019年8月3日に俵山大橋の復旧、2019年9月14日に大切畑大橋の復旧が完了し、「県道28号熊本高森線」の全線復旧が完了した。

本稿で報告する大切畑大橋は、橋長265.4mの鋼5径間連続非合成鈹桁橋である。同橋は、地震の影響で上部工の横ずれ等大きな被害を受けた。特に、P2橋脚付近では、主桁の座屈や下部工の損傷など被害が集中しており、慎重な復旧方針の検討が求められた。

中でも、座屈した主桁は、主桁の変形の程度が大きく、床版にも損傷を生じており、変形矯正等が難しく地震後の残留応力も不明であることから、主桁を撤去した場合に他の部位に変形を生じる可能性があった。また、座屈した主桁は、損傷しているものの、主桁としての耐荷力を少なからず保有していると考えられた。したがって、座屈桁を撤去せずに存置させたまま新設主桁を追加することで、応力を分担する復旧工法を採用した。また、施工段階毎の部材の応力変化を計測し、その応力状態を確認することで、追加した新設主桁が座屈桁の応力を分担して受け持っていることを確認し、復旧設計に内在する不確実性を補完しながら復旧を進めてきた。本稿では、このような計測（以下、モニタリング）を実施しながら復旧を行った大切畑大橋の追加主桁の効果について、考察し報告する。

## 2. 被災の特徴と復旧内容

### (1) 大切畑大橋の諸元

本橋の諸元は、下記のとおりである。

支間長 : 44.9m+3@58.0m+44.9m

上部工形式 : 鋼5径間連続非合成鈹桁

下部工形式 : 逆T式橋台、張出し式橋脚

架設年次 : 2001年3月

適用示方書 : 平成8年道路橋示方書

図-2 に大切畑大橋の復旧後の橋梁一般図、図-3 に大切畑大橋の上部構造平面図を示す。

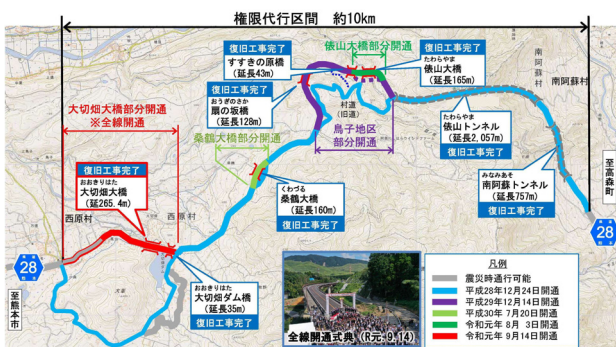


図-1 県道28号熊本高森線の復旧状況

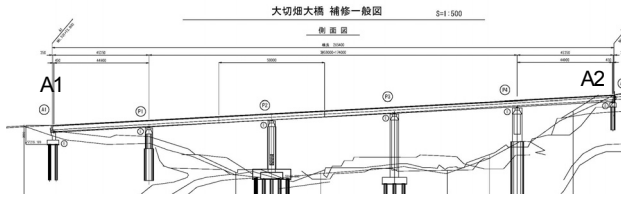


図-2 大切畑大橋橋梁一般図

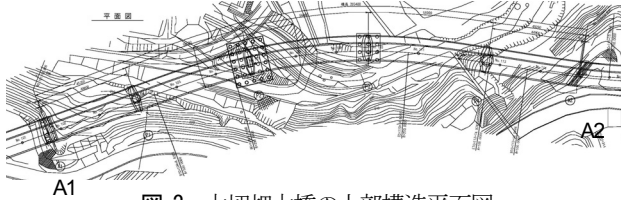


図-3 大切畑大橋の上部構造平面図

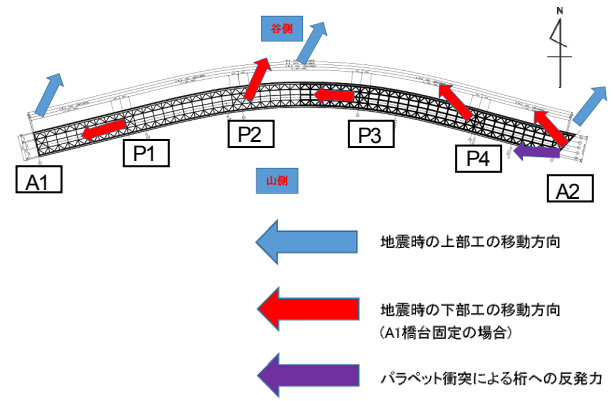


図-4 上下部工の各々の移動方向

## (2) 被災状況 [地盤変状による上下部工の移動]

上下部工の各々の移動方向を図-4に示す。

下部工の移動量については、大座標系により座標管理した被災前のデータがなく、被災前後での移動量を正確に計測できないため、地震による移動が最も小さいと推定されたA1橋台を基準として、相対移動量で計測した。結果として、P1橋脚が28cm～32cm、P3橋脚が25cm～45cm、P4橋脚が50cm、A2橋台が29cm～52cmといずれも地盤変動に合わせてA1橋台側に詰まるように移動していた。一方で、P2橋脚は、A1橋台から反対方向の北東側へ21cm～25cm移動していた。

また、上部工は、P2橋脚上を除く支承の破断により水平方向の力に抵抗できなくなった主桁が支承から脱落したことで、最大で約1.1m北東側へ移動した。

## (3) 被災状況 [P2橋脚付近における各損傷]

特に被害が集中したP2橋脚付近の損傷状況は、下記 [i]～[iv]の通りである。

- [i] 基礎工（場所打ち杭）に最大幅10mmのひび割れ
- [ii] P2橋脚柱部（中空断面）に貫通ひび割れ
- [iii] 床版にP1-P2間で最大幅1.5mm、P2-P3間で最大幅3.0mmひび割れ（写真-1参照）
- [iv] P1-P2間の主桁腹板で最大74mm、下フランジで最大52mmの面外変形を伴う座屈（写真-1参照）

## (4) 被災状況による損傷要因の考察

図-4より、上部工は、同じ北東方向に移動しているが、下部工の移動方向は、同じではないことが確認できる。また、前述 (3) のようにP2橋脚付近に被害が集中した要因は、前述 (2) のように上下部工の動きに関連していると推測される。つまり、P2橋脚の支承のみが破断せず、上下部が支承を介して連結されたまま移動したことで、P2橋脚付近に大きな応力が作用し、主桁や脚部に損傷等が集中したものと推測される。



写真-1 大切畑大橋の被災状況

(左：P2橋脚付近の床版ひび割れ、右：P1-P2間の座屈)

## (5) 主桁の座屈箇所付近における復旧課題と工法検討

P1～P2間の座屈した主桁については、構造上重要な部材であり、迅速かつ安全な復旧が求められた。また、座屈した主桁は、耐荷力が大きく喪失していると考えられるが、損傷箇所の部分的な耐荷力の低下の程度を正確に把握することは困難であり、どのように復旧設計を行うかが課題であった。

工法については、橋梁の性能を地震前の状態まで回復させることを目的として検討した。まず、座屈した主桁を撤去しパイパス材で代替させながら主桁を交換する工法を検討した。しかし、座屈桁が現存し落橋等していない点から何らかの残留応力が座屈桁に生じていると考えられるが、その応力が不明であること、ならびに座屈桁を切断後、死荷重によるひずみが他の部材に集中し、変形を生じることが懸念された。そこで、座屈桁を撤去せずに復旧させる方法を検討することとし、災害復旧への迅速性、経済性、施工性、及び安全性の観点から総合的に判断した結果、座屈桁を撤去せずに、横に主桁を追加する工法を採用した（写真-2、写真-3参照）。加えて、追加主桁近傍に対傾構及び横桁を追加して補強を行うこととした。図-5に本橋における座屈箇所の復旧方法（追加主桁及び追加補強材）の概要を示す。



写真-2 追加主桁設置状況について



写真-3 追加主桁設置後のP2橋脚付近の航空撮影

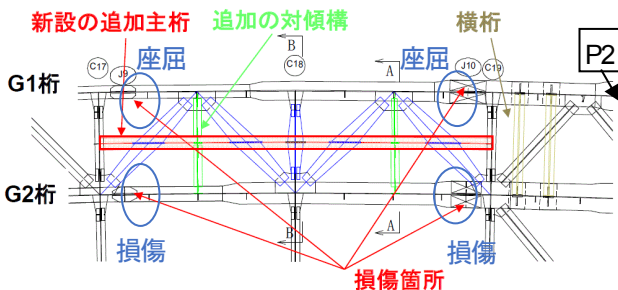


図-5 本橋における座屈箇所の復旧方法の概要図

### (6) 鈹桁橋における追加主桁の優位性について

追加主桁は、座屈により鉛直方向に対する耐荷力が著しく低下し剛性が低下したと推測される主桁（G1-J9～J10）を存置させたまま、G1、G2桁間に主桁を追加し、応力を追加主桁に代替させることで橋梁全体の性能を回復させることを目的に設置した。

追加主桁は、座屈した主桁を撤去しないことから、現状で残っている応力を解放させることがない。そのため、橋梁全体の応力バランスが崩れず、施工性や安全性に優れ、復旧設計特有の不確実性も排除できる。また、損傷桁の撤去時に主桁の代わりとして必要となる仮設材（バイパス材）も不要なため、経済性にも優れる。

## 3. モニタリング調査

### (1) モニタリングの目的

追加主桁による復旧方法は、今までにない知見が必要であるため、各施工段階においてモニタリングを行い、追加主桁や損傷部材の応力状態を「見える化」することで、安全性を確認しながら施工を進めることとした。

### (2) モニタリングの概要

モニタリングは、各施工段階において実施している。本稿では、追加主桁の設置による効果に着目するため、「追加主桁等の補強部材設置時」と「部材設置後に行うP2橋脚部のジャッキダウン時」のモニタリング結果を比較する。なお、ジャッキダウンとは、施工用に持ち上げた桁を所定の位置に降ろす作業であり、主桁に応力変化が現れる施工段階である。

図-6にて、モニタリング調査位置及び計測断面（A～D）を示す。ここで、追加主桁をNG（New Girder）と称する。

### (3) 事前解析と施工時モニタリングによる確認項目

まず、格子モデル解析を行い、各施工段階の各部材の応力状態を事前に把握した。その後、実施施工段階でのモニタリングによる各部材の応力変化と比較することで、想定した解析通りに追加主桁で応力を負担できているかを確認した。本工事では、モニタリングしたひずみ量を基に応力換算を行い、各計測点の変化（応力方向）について確認した。

### (4) 追加主桁設置前後のモニタリング結果

モニタリングした応力値の評価は、計測前段階の値から計測時のひずみの変化量を応力換算して行った。本項では、追加主桁設置時のひずみゲージを基準として、追加主桁設置後の施工段階（ジャッキダウン時）のひずみゲージの差分を求め、ひずみ量を応力換算することにより考察する。また、解析値については、G1、G2桁の「損傷あり」、及び「損傷なし」の両方の解析値を算出し、モニタリングで実測した挙動が、どちらの挙動に近似するかを確認する。

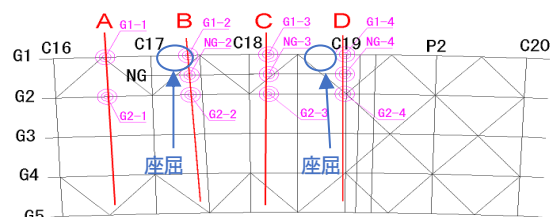


図-6 モニタリング調査位置及び計測断面図

ここで、「損傷あり」の解析値とは、G1、G2桁の損傷を考慮することで、損傷断面を抵抗断面としない場合の解析値である。また、「損傷なし」の解析値とは、G1、G2桁の損傷を考慮しないことで、損傷断面を抵抗断面とする場合の解析値である。

#### a) 格子モデルによる解析結果

格子解析によるP2橋脚部ジャッキダウン時の応力の変化を示す。図-7に「損傷あり」の解析値、図-8に「損傷なし」の解析値を示す。

図-7の結果より、損傷断面を抵抗断面としない場合は、座屈桁（G1桁）に応力の変化がほとんど現れないことが分かる。

#### b) モニタリングによる調査結果

次に、モニタリングによる各断面位置の応力の変化を図-9に示す。

図-9の結果より、追加主桁（NG）に応力が伝達していることを確認できた。さらに、損傷したG1、G2桁でも応力の変化が見られることを確認できた。

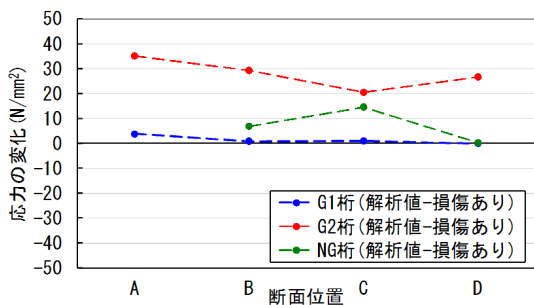


図-7 P2橋脚部ジャッキダウン時の解析値（損傷あり）

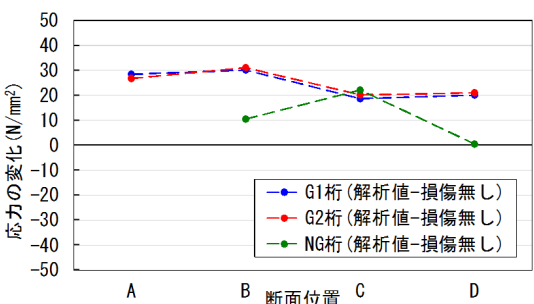


図-8 P2橋脚部ジャッキダウン時の解析値（損傷無し）

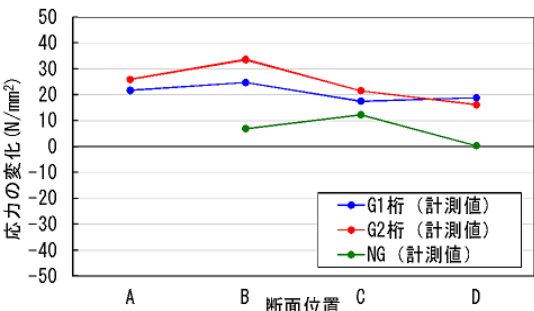


図-9 P2橋脚部ジャッキダウン時のモニタリング結果

## 4. 考察

3章(4)のモニタリング結果より、下記の点を確認できた。

- 1) モニタリング結果より、座屈桁（G1桁）の応力を補うように追加主桁に応力が発生していること
- 2) 解析値と計測値との比較により、「損傷無し」（G1、G2桁の損傷を考慮しない場合）の解析値とモニタリング結果の発生応力の傾向が近似しており、G1桁は座屈しているものの幾分の耐荷力を有すること

以上により、損傷桁も幾分の応力を負担しているが、追加主桁の設置により応力が分担されたため、損傷桁の負担が軽減されたと考えられる。

## 5. 結論

本稿では、熊本地震で被災を受けた大切畑大橋の座屈した主桁の復旧にあたり、変形した主桁を存置させたまま新設主桁を追加設置し、性能の回復を図る施工を実施した事例についてまとめた。

モニタリング結果より、追加主桁（NG）が座屈桁（G1桁）の応力を分担していること、ならびに存置した座屈桁（G1桁）も、抵抗断面として幾分の機能を有していることを確認できた。

さらに、万が一G1桁の損傷が進行して抵抗断面として機能しなくなっても、追加主桁（NG）のみで耐荷力を確保できるように構造設計を行っており、橋梁全体としては安全側に働くものと考えられる。

以上により、本橋の復旧対策が設計の目的に沿った役割を果たしていることを確認でき、機能回復として確実に安全確保を図れたと言える。

## 6. 今後の展望

熊本地震では、構造物の損傷が多く見られ、広域にわたり甚大な被害を生じた。我が国は世界有数の地震大国であり、今後同様の被害が各地で生じることも想定され、災害復旧でより迅速性、安全性が求められている。本稿で示した追加主桁による復旧は、確実に安全性を確保したことが確認された事例であり、今後、同様の鉸桁橋の災害復旧及び維持修繕に対して、主桁が損傷した場合の補修方法を検討するうえで、参考事例の一つとなれば幸いである。

謝辞：これらの設計および工事の実施にあたっては、国土技術政策総合研究所や土木研究所より多大な技術支援、並びに設計コンサルタントや施工業者等の関係者の努力により遂行されたものであり、ここに感謝の意を示す。