

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¹・増尾 明彦²・橋爪 隆介³

¹～³九州地方整備局 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、及び主桁の座屈や床版のひび割れ等複雑な損傷を受けた。座屈箇所への復旧に当たっては、損傷部材の取り替えではなく、座屈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、橋梁の状態を計測しながら復旧を進めている。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 道路非合成鈹桁橋、主桁の座屈、主桁の追加、モニタリング

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、甚大な被害が生じている箇所があり、構造解析等に高度な技術が必要であるため、熊本県知事からの要請を受け、大規模災害復興法に基づき国が代行して、2016年5月13日より「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。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、2018年7月20日にも復旧が完了した橋梁の供用と、これまで段階的に着実に復旧工事を行ってきた。現在は、2019年秋の全線供用に向けて大切畑大橋及び俵山大橋の復旧工事を進めている。



図-1 県道28号熊本高森線の復旧状況

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橋脚付近においては、下部工の損傷や床版のひび割れ、主桁の座屈等の被害が集中しており、現在も鋭意復旧工事を進めている。

特に、座屈した主桁は、変形矯正等が難しく地震後の応力状態が不明であり、主桁を撤去した場合に橋梁全体の応力均衡が崩れるリスクがあることから、座屈主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方針を取り入れた。また、施工段階毎の応力状態を計測し、その応力変化を解析することで、新設主桁が座屈した主桁の応力を受け持ち耐力を発揮し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いる。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進めている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

本橋の諸元を、下記のとおり示す。

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。

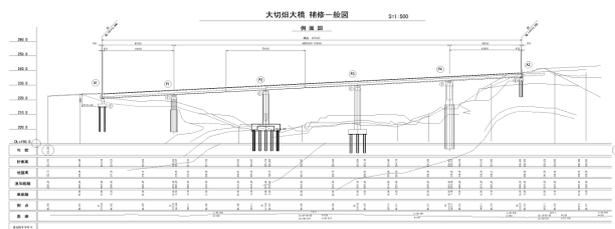


図-2 大切畑大橋橋梁一般図

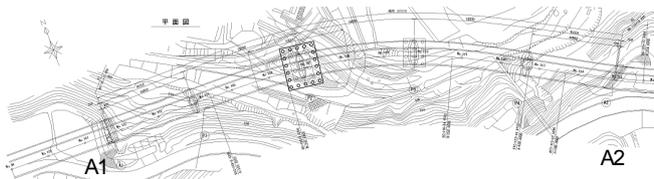


図-3 大切畑大橋の上部構造平面図

(2) 被災状況 [地盤変状による上下部工の移動]

下部工において、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、相対移動量を計測した。結果として、下部工は、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、支承から脱落し谷側へ移動した。

図-4に上下部工の各々の移動方向を示す。

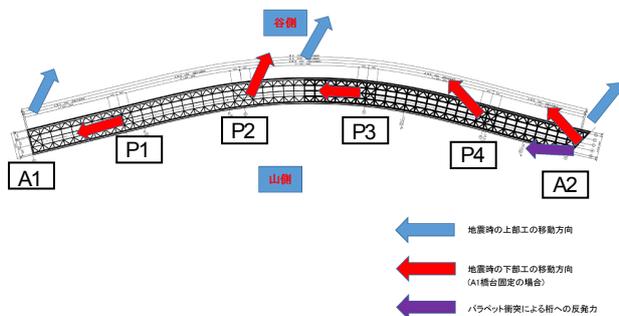


図-4 上下部工の各々の移動方向

(3) 被災状況 [P2橋脚付近における各損傷]

P2橋脚の損傷状況は、下記[i]～[iv]の通りである。

- [i] 基礎工（深礎杭）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] 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-2参照）



写真-1 大切畑大橋P2橋脚付近の床版ひび割れ状況



写真-2 大切畑大橋P1-P2橋脚間の座屈状況

(4) 被災状況による損傷要因の考察

図-4より、上部工の移動方向は一定であるが、下部工の移動方向はそれぞれ異なっていると確認できる。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橋脚では支承が破断されず、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、主桁の座屈や脚部に損傷等が集中したものと推測される。

特に、P1～P2間の主桁の座屈については、構造上も重要な部材であるが、その復旧には費用、時間を費やす可能性があることが懸念された。

(5) 主桁の座屈箇所付近における復旧課題と工法検討

座屈した主桁は、主桁の機能を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。

復旧方針は、橋梁全体に必要とされる「耐力を復旧させる」ことを目的に、災害復旧への迅速性、及び経済性、施工性の観点から総合的に工法検討を行って決定した。結果として、中間支点近傍に横桁及び対傾構を追加補強することに加えて、座屈した桁を撤去せずに横に追加で桁を設ける方法を採用した。図-5に部材番号及び追加主桁の配置を示す。また、図-6に本橋における追加主桁及び追加対傾構の概要を示す。

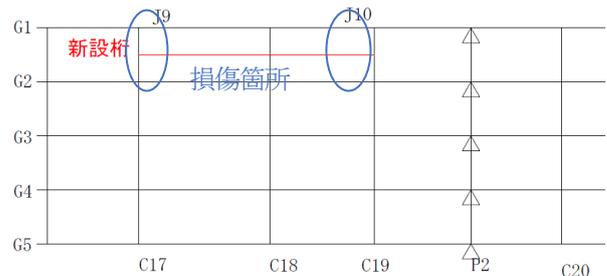


図-5 部材番号及び追加主桁の配置図

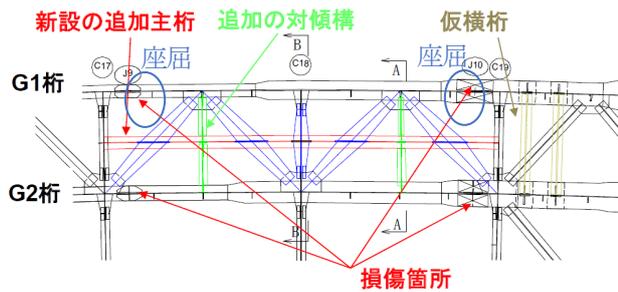


図-6 本橋における追加主桁及び追加対傾構の概要図

(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力が著しく低下し剛性が低下した主桁（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耐力を回復させることを目的とした。

復旧設計においては、まず、座屈主桁を撤去しバ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、G1桁が現存し落橋等していないことから、何らかの応力がG1桁に生じていると考えられるが、その残留応力が不明であり、かつ塑性化したG1桁を切断後、死荷重によるひずみが増加し他の部材に集中し、変形を生じることが懸念された。そこで、損傷桁を撤去せずに復旧させる方法として、主桁を追加する工法を検討した。

追加桁では、座屈した主桁を撤去しないことから、現状で残っているせん断応力や横倒れ座屈に対する耐力を施工時に低下させることがないため、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。しかし、今までにない知見が必要であり、施工方法・手順などによる現場でのリスクも潜在するため、各施工段階においてモニタリングを行いながら、応力の変化を確認することとした。

現地では追加桁の設置を完了し、各施工段階でのモニタリング調査を実施している。（写真-3参照）



写真-3 追加主桁設置状況について

3. モニタリング調査

(1) 事前解析と施工時モニタリングによる計測項目

まず、格子モデル解析を実施し、各施工ステップの各部材の応力状態を事前に把握した。その後、実施工段階でモニタリングにより、各部材の応力（ひずみ）値を確認することで、追加主桁の効果を検証した。本工事では、各施工段階におけるひずみ量をモニタリングし、各計測点の変化（応力方向、曲げモーメントの正負、応力換算値）について確認した。

(2) モニタリング調査の時期

モニタリング調査は各施工段階において行っているが、本稿では、追加主桁設置前後の結果に着目するため、「追加主桁等の補強部材設置前」と「ジャッキダウン後」のモニタリングデータ比較を行う。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。

(3) モニタリング調査結果及び考察

前述のモニタリング結果を下記1)、2)に示す。また、モニタリングで計測した応力（ひずみ）値の評価においては、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評価を行った。また、解析値については、推定応力値に加え、G1、G2の「損傷を考慮した解析値」、及び「損傷を考慮しない解析値」の両方を算出し、どちらの挙動に近似するかを確認することで、G1、G2の実際の挙動も確認した。

1) 追加主桁設置前

図-7にて、モニタリング調査位置及び計測断面を示す。追加桁をNG桁（New Girder）と表す。

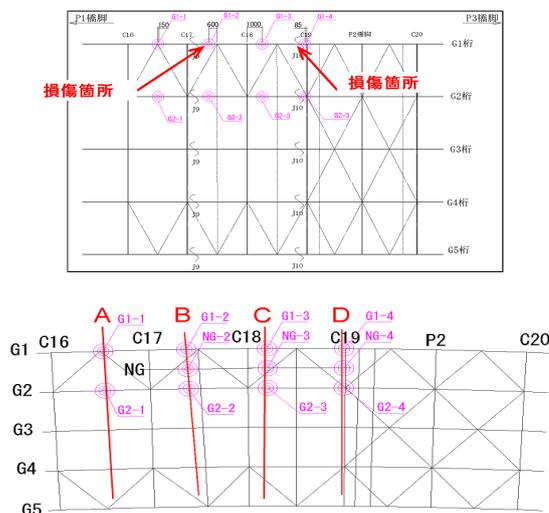


図-7 モニタリング調査位置及び計測断面図

追加主桁設置前のひずみゲージを基準として、次項の施工段階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、応力の変化を考察する。

2) 追加主桁設置後

主桁設置後に現地で実施するP2橋脚ジャッキダウン時における各断面位置の応力の変化を図-8に示す。

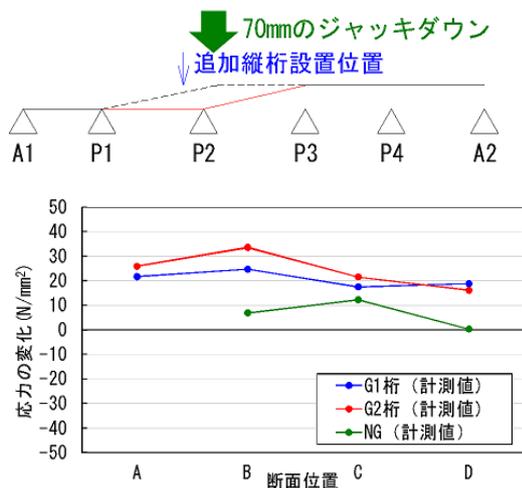


図-8 P2橋脚ジャッキダウン時の測定結果

調査結果より、追加桁に応力の変化が見られたこと、さらに、損傷した桁でも応力の変化が見られたことを確認できた。

また、計測時点の損傷ありと損傷なしでの解析上の各断面位置における応力の変化を図-9に示す。

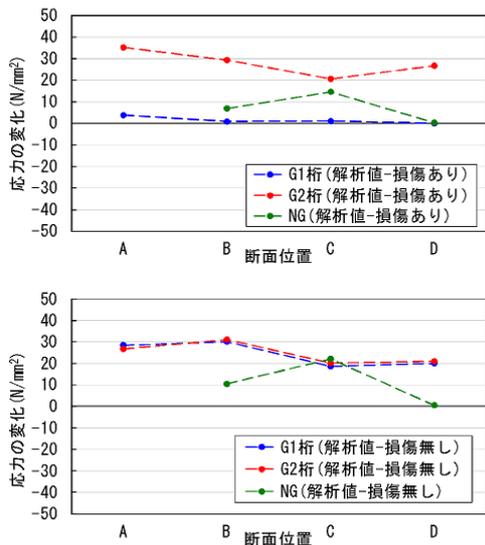


図-9 P2橋脚ジャッキダウン時の解析値

解析値においては、上段が損傷を考慮した（損傷断面は抵抗断面としない）結果、下段が損傷を考慮しない（損傷断面も抵抗断面とする）結果である。

解析値と計測値を比較すると、G1桁、G2桁ともに、損傷を考慮しない（損傷断面も抵抗断面とした）解析値と計測値が近似する結果となった。

4 考察

3章(3) 1)～2)の結果から、追加主桁においても応力が発生しており、座屈したG1桁の応力を分担していることを確認した。加えて、G1桁の計測値が解析値（損傷を考慮しない）に近似したことから、G1桁は座屈しているものの幾分の耐力を有することも確認した。

撤去しないG1桁は、設計上の耐力を見込んでおらず、実橋では応力を負担することが確認された為、橋梁全体では安全側に働くものと考えられる。

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、耐荷力向上を図る施工を進めている現状をまとめた。そして、モニタリング調査結果より、追加主桁が座屈したG1桁の応力を受け持ち、耐力を発揮出来ていることを確認できた。さらには、撤去しないG1桁も抵抗断面として機能していること、仮にG1の損傷が進行したとしても追加桁がその応力を負担出来ること、また、モニタリングにより実測値としてその裏付けデータがあることにより、本橋の復旧が効率的、着実に実施され、確実に安全な橋梁となったと考えられる。

6 今後の展望

本橋は、ここに記載した設計と施工により、2019年秋の供用に向けて鋭意工事を進めている。今後は、橋面舗装後に最終のモニタリング計測を実施し、橋梁構造上安全であることを確認したうえで、橋梁補修を完了させる。

熊本地震では、構造物の破損が多く見られ、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、経済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、あらゆる鉸桁橋の災害復旧に対する参考となるのではないかと期待している。

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、なら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るものであり、ここに感謝の意を示す。