

## 測量結果に基づく大切畑大橋の被災原因に関する一考察

松崎 裕<sup>1</sup>

<sup>1</sup>正会員 博(工) 東北大学助教 大学院工学研究科土木工学専攻  
(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-06)

### 1. はじめに

2016年熊本地震により、震源断層近傍を中心に多数の橋梁に被害が発生した。本稿で取り上げる主要地方道熊本高森線(熊本県道28号線)の大切畑大橋も、それら被災橋梁のうちの一つである。土木学会地震工学委員会・性能に基づく橋梁等構造物の耐震設計法に関する研究小委員会(矢部正明委員長)では、熊本地震による橋梁被害分析WG(高橋良和WG主査、葛西昭WG副主査)を設置し、被災橋梁について、WGメンバーそれぞれが考えられる複数の観点から橋梁の被災原因を分析している。

地震時に発生した事象を推定し、また被害の再現解析における有効な着眼点を見出すためには、地震後における各部材の変形状態・変形の痕跡に基づいて考えることが重要である。そこで、本稿では、地震後の残留変位等の国土交通省による測量結果を踏まえながら、大切畑大橋の被災原因について考察する。

### 2. 大切畑大橋の概要

大切畑大橋の一般図<sup>1)</sup>を図-1に示す。大切畑大橋は、A1橋台の位置における接線方向が概ね東西方向に対応した橋長265.4mの曲線橋であり、A2橋台側で斜角を有する5径間連続非合成鈹桁橋である。平成2年の道路橋示方書<sup>2)</sup>に基づいて当初の設計がなされた後、平成8年の道路橋示方書<sup>3)</sup>に基づいて修正設計がなされ、2001年に竣工している。地盤種別はII種地盤<sup>3)</sup>である。

特にP2橋脚とP3橋脚について、耐震設計上の地盤面から橋脚天端までの高さがそれぞれ27.5mと33.0mと比較的高橋脚となっている。P2～P4の各橋脚は、修正設計時に中空断面橋脚として設計されている。

なお、基礎形式としては、P1とP4の各橋脚とA2橋台は深礎杭であり、P2とP3の各橋脚とA1橋台は場所打ち杭基礎となっている。

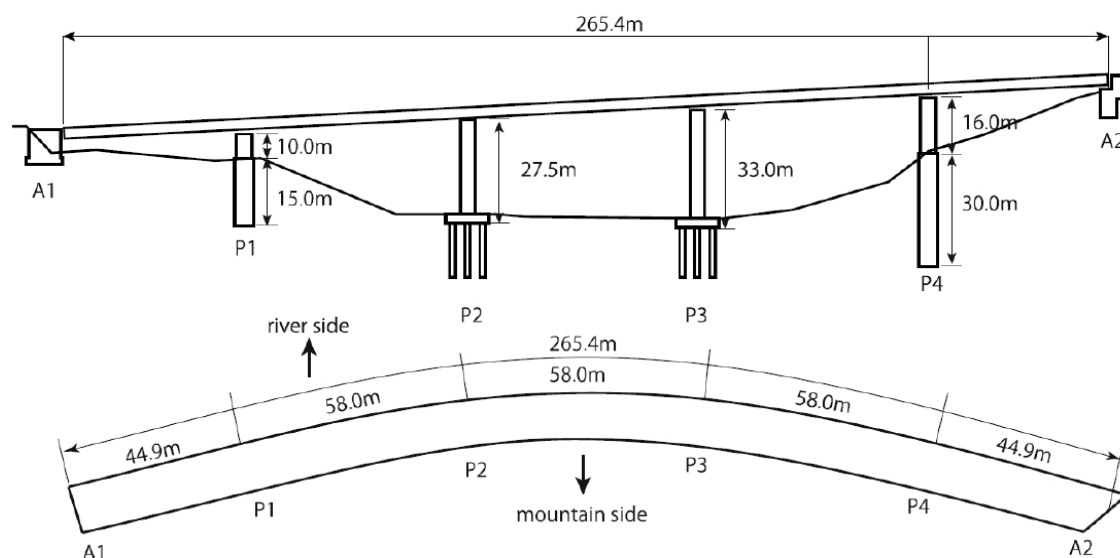


図-1 大切畑大橋の一般図<sup>1)</sup>



写真-1 A1橋台における支承の破断



写真-4 A2橋台における落橋防止ケーブルの状況



写真-2 A1橋台側から見た桁の橋軸直角方向へのずれ



写真-5 P2橋脚の山側におけるひび割れ状況

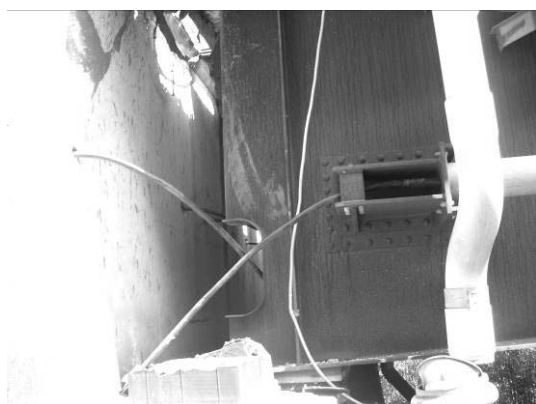


写真-3 A1橋台における落橋防止ケーブルの破断



写真-6 P4橋脚の山側端部の支承

### 3. 大切畑大橋における主な地震被害

本橋における代表的な被害としては、2011年東北地方太平洋沖地震における東部高架橋<sup>4)</sup>の例と同様に、積層ゴム支承が破断したことが挙げられる。写真-1に示すように、A1橋台およびA2橋台では、全ての支承が図-1の川側に向かって破断しており、それに伴って桁は写真-2に示すように川側に向かって1m程度の変位を生じていた。積層ゴム支承は、いずれもゴム部分あるいはゴムと鋼板の接着層で破断していた。なお、A1橋台における落橋防止ケーブルは、写真-3に示すように、全数が破断していた

が、斜角を有し、橋台との衝突により桁が橋軸直角方向に移動しやすい<sup>5)</sup>A2橋台における落橋防止ケーブルは、写真-4に示すように、緊張していたものの、破断はしていなかった。

写真-5に示すように、橋脚にひび割れが生じたP2橋脚上の支承については、端部ではない支承の一部が損傷していたものの、残留変形を伴いながら桁を支持した状態であった。P2橋脚を除く橋脚では、写真-6に示すように、取り付けボルトが破断していた。道路橋示方書<sup>2), 3)</sup>では、支承は弾性応答させ、橋脚基部を塑性化させることが基本的な設計思想であるが、設計思想通りの挙動とはなっておらず、そ

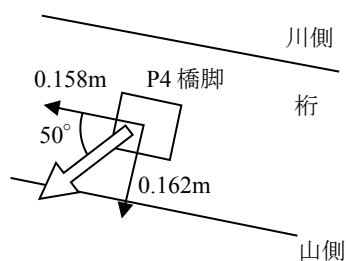


図-2 P4橋脚梁下端の橋脚基部に対する  
残留変位の模式図

のような損傷に至った原因を考える必要がある。なお、P2橋脚の杭基礎については、杭体が損傷しており<sup>6)</sup>、増杭補強が実施されている<sup>7)</sup>。

#### 4. 残留変形および測量結果に基づく被災原因に関する考察

##### (1) 橋台における積層ゴム支承の破断

現地調査結果からも明らかのように、桁は橋脚に対して、川側に向かって1m程度の残留変位を生じていた。山側およびA2橋台を含む斜面上では、斜面崩壊等の地盤変状が生じていた。山側の斜面崩壊が橋梁被害に影響を与えているならば、桁に対して橋脚が基礎から川側に向かって相対的に変位を生じるはずである。桁が橋脚に対して川側に向かって残留変位を生じるようにA1橋台やA2橋台における支承が破断していることについては、地震動による橋梁の振動が支配的な影響を及ぼしていると考えるのが自然である。

##### (2) P4橋脚の挙動

(1)の橋台上の支承や桁の残留変位には、地震動に伴う橋梁の振動の影響が卓越している一方で、地盤変状の影響が卓越したことを示唆する結果が測量結果により得られているので、順に述べていく。なお、以降で述べるP1橋脚とP4橋脚については、橋脚の鉛直方向位置の変化が測量結果として得られているが、P2橋脚とP3橋脚については、土中埋設のため、それらは計測されていない。

橋脚の中で、橋脚梁下端の残留変位が唯一、桁の残留変位方向とは大きく異なっていたのがP4橋脚である。P4橋脚梁下端の橋脚基部に対する残留変位の状況を図-2に示す。P4橋脚の残留変位について、さらに特筆すべきは、回転角が橋脚躯体・基礎のいずれも橋軸方向に1/82rad、橋軸直角方向に1/57radとそれぞれが等しく、橋脚天端における水平変位の主

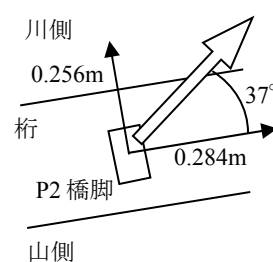


図-3 P2橋脚梁下端の橋脚基部に対する  
残留変位の模式図

たる要因が基礎の回転に伴って生じている点である。また、橋脚の鉛直方向の位置が鉛直上向きに165mmの変化を生じていることも特筆される点である。

P4橋脚は、図-1に示されるように、斜面上に位置する深礎杭を有する構造である。桁全体の移動方向とは逆の方向に、基礎からの回転に伴う残留変位を生じていることを踏まえると、P4橋脚は地盤変状の影響を強く受けながら挙動したと推察される。

##### (3) P1橋脚の挙動

P1橋脚は、前記したように、支承は取り付けボルトで破断していた。P1橋脚も(2)で述べたP4橋脚と同様に斜面上に位置する深礎杭を有する構造である。P1橋脚の鉛直方向位置は、橋脚基部の位置で、測量平均値として鉛直下向きに290mmの変化が生じている。前記したP4橋脚は逆に鉛直上向きに165mm変化していることを踏まえると、個々の橋脚が鉛直方向にそれぞれ異なった変位を生じたことを示唆している。連続桁であるが故に、P1橋脚の位置では、桁と橋脚天端が相応に開いた結果として、それに伴う引張力に耐えられず、取り付けボルトが破断した可能性が考えられる。なお、大切畑大橋の東側の大切畑ダム-大切畑ダム橋付近を震源断層が右横ずれの形で横切っており、大切畑大橋付近は、北東方向に変位が生じている<sup>8)</sup>。そのため、P1橋脚とP4橋脚の鉛直方向位置が差異を伴って上下していることについては、周辺地盤の変状の影響を強く受けていると考えられる。

##### (4) P2橋脚の挙動

P2橋脚は、前記したように、端部ではない支承に損傷が見られたものの、多くの支承が橋桁を支持する形で残留変位を伴う状態であった。その上で、橋脚基部の特に山側で最大4mm程度のひび割れが生じており、地震動に伴う橋梁の振動によって、相応に橋脚に地震力が作用したことが確認できる。P2橋脚梁下端の橋脚基部に対する残留変位を図-3に示す。

橋軸方向について、基礎の回転角は $1/117\text{rad}$ であり、 $284\text{mm}$ の残留変位のうち、 $186\text{mm}$ は基礎の回転に伴う水平変位である。従って、橋軸方向に関する橋脚躯体の残留変位は、 $0.45\%$ ドリフト相当である。橋軸直角方向について、基礎の回転角は $1/99\text{rad}$ であり、 $256\text{mm}$ の残留変位のうち、 $220\text{mm}$ は基礎の回転に伴う水平変位である。従って、橋軸直角方向に関する橋脚躯体の残留変位は、 $0.17\%$ ドリフト相当である。

## 5. おわりに

地震後における橋梁の残留変位状況や国土交通省による測量結果を用いて、地震後の状況から被災原因について考察を行った。各橋脚の挙動の差異が橋梁全体としての地震時挙動に及ぼした影響など、更なる検討が必要であるが、本検討の結果は次のようにまとめられる。

- 1) 桁が橋脚に対して川側に向かって残留変位を生じるようにA1橋台やA2橋台における支承が破断していることについては、地震動による橋梁の振動が支配的な影響を及ぼしていると考えるのが自然である。
- 2) P4橋脚は、桁全体の移動方向とは逆の方向に、基礎からの回転に伴う残留変位を生じていることを踏まえると、地盤変状の影響を強く受けながら挙動したと推察される。
- 3) P1橋脚の鉛直方向の位置は、橋脚基部の位置で、測量平均値として鉛直下向きに $290\text{mm}$ の変化が生じていた。P4橋脚は逆に鉛直上向きに $165\text{mm}$ 変化していることを踏まえると、P1橋脚の位置では、桁と橋脚天端が相応に開いた結果として、それに伴う引張力に耐えられず、取り付けボルトが破断した可能性が考えられる。
- 4) 端部ではない支承に損傷が見られたものの、多くの支承が橋桁を支持する形で残留変位を伴う状態であったP2橋脚は、橋脚基部にひび割れが生じており、相応の地震力を橋脚が負担したと考えられる。なお、基礎の回転角に伴う残留変位が大きく、橋脚躯体の変形に伴う残留変位の大きさは橋軸方向に $0.45\%$ ドリフト相当、橋軸

直角方向に $0.17\%$ ドリフト相当である。

## 謝辞

本稿は、土木学会地震工学委員会・性能に基づく橋梁等構造物の耐震設計法に関する研究小委員会(矢部正明委員長)における熊本地震による橋梁被害分析WG(高橋良和WG主査、葛西昭WG副主査)の活動の一環としてとりまとめたものであり、同WGにおいて各種資料を収集・共有するとともに、貴重なご意見を頂いた。測量結果は国土交通省九州地方整備局熊本河川国道事務所に提供頂いた。また、現地調査は、科学研究費基盤研究(C)(課題番号：26420452、研究代表者：松崎裕)により実施した。ここに記して関係各位に謝意を表する。

## 参考文献

- 1) Akiyama, M., Takahashi, Y., Hata, Y. and Honda, R.: Lessons from the 2016 Kumamoto earthquake based on field investigations of damage to bridges, *International Journal of Earthquake and Impact Engineering*, Vol. 1, No. 3, pp. 225-252, 2016.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，1990.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，1996.
- 4) 曾田信雄，山田金喜，木水隆夫，広瀬剛，鈴木基行：東北地方太平洋沖地震により破断した積層ゴム支承の性能試験，*構造工学論文集*，Vol. 59A, pp. 516-526, 2013.
- 5) 平井良幸，川島一彦，松崎裕：地震時における斜橋の回転特性，*土木学会論文集 A1(構造・地震工学)*，Vol. 68, No. 4, pp. I\_432-I\_443, 2012.
- 6) 日経コンストラクション：追跡 熊本地震 写真で見る復旧最前線，2017年4月24日号，2017.
- 7) 国土交通省九州地方整備局 HP：  
[http://www.qsr.mlit.go.jp/kumamoto/fukkyuu/tawara/170609/170609\\_tawara.html](http://www.qsr.mlit.go.jp/kumamoto/fukkyuu/tawara/170609/170609_tawara.html) (2017年6月14日閲覧)
- 8) Shirahama, Y. et al.: Characteristics of the surface ruptures associated with the 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyushu, Japan, *Earth, Planets and Space*, Vol. 68, 191, 2016.