

布田川断層帯における橋梁被害に学ぶ耐震設計の新視点

大塚久哲¹・崔準ホ²・園田東二³・鯉川匡史³・松永昭吾⁴

¹ フェロー 工博 (株)大塚社会基盤総合研究所 (〒814-0012 福岡市早良区昭代 3-6-23-601)

² 正会員 博(工) 九州大学大学院工学研究院社会基盤部門 (〒814-0012 福岡市西区元岡 744)

³ 大日本コンサルタント(株) (〒812-0013 福岡市博多区博多駅東 2-10-35)

⁴ 正会員 博(工) (株)共同技術コンサルタント (〒814-0012 福岡市東区千早 4-15-12-307)

1. はじめに

震度7を2回観測した平成28年熊本地震は、中央構造線の西側を構成する九州の断層群の一部、布田川断層帯と日奈久断層帯を震源域とする直下型地震であった。阿蘇地方のように脆弱な地質・岩質が分布する地域において、阿蘇大橋の崩落に代表される橋梁被災が発生した。本稿は、断層帯で被災した橋梁の現地調査結果から、学ぶべき耐震設計の新視点について考察した。

2. 被災橋梁と地表断層の位置について

図-1は、現地調査の折に入手した阿蘇地方の観光地図¹⁾に、国道325号の阿蘇大橋・南阿蘇橋、村道の阿蘇長陽大橋・戸下大橋、県道28号の大切畑大橋・桑鶴大橋・俵山大橋などをプロットしたものである。(観光地図における道路の位置は正確であることを確認している。) 図中の赤い破線は、阿蘇大橋に至る国道325号沿いの道路・畑の地割れと大切畑ダム湖北側の道路周辺の地割れを示しており、この2つの地割れは地表断層と言われている。

今回の熊本地震では地表断層以外に数多くの地割れと地表のずれが発生しているが、地表断層によって直接的な被害を被った橋梁は、少なくとも著者らが調査した阿蘇地域の橋梁にはないようである。

本稿では、橋台滑落や支承損壊が生じても自立し続けている阿蘇長陽大橋・桑鶴大橋と、橋台周辺の地盤変位によって損傷が拡大したと思われる俵山大

橋について考察する。なお、断層帯上、かつ脆弱な地層において発生した、今回の地震による橋梁被害を補遺において類型化している。

3. 各橋梁の被害の概要

(1) 阿蘇長陽大橋(黒川と白川の合流地点に架かる4径間連続PCラーメン箱桁橋、1994年竣工)

国道57号を熊本側から東進し図-1③の交差点から右折して村道に入ると阿蘇長陽大橋に至る前に写真-1のような地割れが多数見られた。



写真-1 阿蘇長陽大橋 A1 に向かう道路上の亀裂



写真-2 A1 側桁端を望む位置での道路の状況



図-1 地元の観光地図と合成した橋梁と地表断層の概略位置

写真-2に見られるように、橋台付近の地盤の変位は下方に約 1.7m、右に約 2m 程度である。A1 は地盤崩壊に伴って滑落しているが、パラペット部には桁が激しく衝突したと思われる衝突痕が残っており、本橋は地震動によって橋軸方向に振動したことが分かる（写真-3）。A2 橋台では支承板支承が箱桁下にあるが、元の位置から 20cm ほど橋軸直角方向にずれており、下流側の箱桁腹板の鉄筋の露出状況から見て直角方向にも激しく揺れ、A2 橋台は下流側に変位したと考えられる（写真-4,5）。写真-6 は阿蘇長陽大橋の遠景であるが、橋台崩壊後に自立し続けている橋梁形式として印象に残る。



写真-3 崩壊後の A1 橋台の損傷状況



写真-4 A2 上の支承と露出鉄筋



写真-5 A2 横の擁壁の崩落

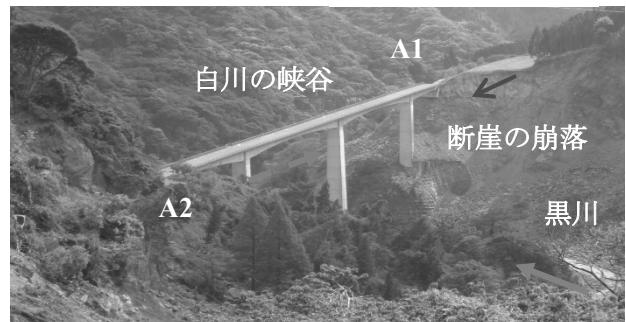


写真-6 阿蘇長陽大橋（1993 年竣工、橋長 276m）

(2) 俵山大橋（3 径間連続鋼鈹桁橋、2001 年竣工）

県道 28 号に架かる本橋の A1 側では次のような変状が見られた。

- ・背面が陥没して側方に移動（写真-7）.
- ・橋台は前方に移動し、桁端に衝突してパラペットは後方に傾斜（写真-8）.
- ・伸縮装置は迫り上がる（写真-9）.
- ・ゴム支承は橋軸・橋直両方向に変形（写真-8）.
- ・G1-G2間の橋台亀裂、G1下の深礎杭頭が露出。
また、P1橋脚上では、G1側へ桁移動が確認され、P2橋脚上のゴム支承は下の側道に落下、桁はG1側へ移動していた（写真-10）.

さらにA2側では、次のような変状が見られた。

- ・橋台パラペットが桁端に衝突し後方に傾斜。G1桁腹板は座屈（写真-11）.
- ・ゴム支承は破断し、桁は沓座から脱落。桁はG1側に移動（写真-12）.
- ・A2桁端部は沈下し、橋台背面は迫り上がった（写真-13）.
- ・A2前面の斜面に亀裂と滑りが発生した。

以上の変状から推察して、地震動による支承の破断と桁の直角方向移動が生ずるとともに、橋台が移動し桁遊間が狭められ、桁と橋台との衝突、桁腹板座屈が発生したものと思われる。その対策としては、背面土の変状に対応できて復旧も容易となるような橋台構造の開発が課題と思われる。また、本橋の架かる谷は深く、急斜面である。特にA1側では



写真-7 A1 背面土の崩落



写真-8 A1 橋台の前面への移動・桁衝突



写真-9 A1 側背面土の状況と段差



写真-10 P2 上の支承のずれと落下した G4 支承



写真-11 A2-G1 端部の変状



写真-12 G1 側への桁の移動と支承の回転



写真-13 A2 桁端部の沈下

この急斜面のすべりが橋台の変状に影響を及ぼしたことは間違いなく、復旧性を考えた場合、橋台を水平な地盤層に構築するなどの配慮が今後必要となると考える。

(3) 桑鶴大橋（2 径間連続曲線鋼斜張橋）

同じく県道 28 号にかかる本橋は竣工 1998 年である。スパン割りは 99.4m+59.4m で、A2 側が短い。主ケーブルは片側 4 段（写真-15）。桁端部の支承周りの落防システム及び主塔部の桁の移動制限装置は 2011 年に耐震補強として施工された（写真-16）。



写真-15 桑鶴大橋（2011.3 撮影）



写真-16 支承の 4 隅に設置された桁変位制限装置（主塔横梁上）（2011.3 撮影）



写真-17 A1 側支承・落防システム



写真-18 A1 側桁変位制限装置

本橋には次のよう被災状況が見られた。

A1 側：支承は台座上に残置・橋軸直角方向変位制限用コンクリートブロックは無傷であったが衝突によりゴムバッファは擦れて落下・落防チェーンは変状なし（写真-17）、橋軸方向移動制限装置（桁と橋台パラペットを連結）の取り付けボルトは変形したが脱落せず（写真-18）・桁の上下移動はほとん

どなし・橋面は良好。

主塔：外曲側に移動・支承板支承は台座から逸脱・桁変位制限装置の鉛直ボルトは破断・外曲側の桁は上方向に移動・内曲側桁はほぼ水平移動のみ（写真-19）

A2 側：ピン支承のセットボルトが破断して桁上昇・橋面上昇・橋直方向移動制限用コンクリートブロックがせん断破壊・桁は外曲局側にも移動かつパラペットにも衝突（写真-20, 21）。

主ケーブル：上側 2～3 段に緩み発生（写真-22）



写真-19 主塔横梁上の変状



写真-20 A2 橋台支承部（変位制限ブロック破壊）



写真-21 A2 橋台に衝突・上方へ移動した桁



写真-22 主ケーブルの緩み

本橋の被害は主に地震動によるものと思われ、被害の防止対策としての教訓は、桁変位制限装置の損傷防止・ピン支承ボルトの設計強度向上・コンクリートブロックのせん断強度増強・上下方向の落橋防止対策などが挙げられる。

本橋も被災後、アップリフトが生じたにも拘わらず、桁に大きな損傷はなく自立している。設計時の鉛直反力が小さければ、支承が損傷しても桁の変形や背面土との段差は生じず、速やかな復旧が可能となることを考えると、今後の斜張橋の耐震設計の方向性を示唆しているように思われる。

4. おわりに

熊本地震で被災した橋梁のうち、橋台滑落や支承損壊によって、支承に支持されない橋梁として自立した PC ラーメン連続橋や斜張橋が、地震後に姿を現した。また地盤変位に伴う橋台の移動により被災した桁橋もある。本稿ではこれらの橋梁に焦点を当てて被災状況と今後の耐震設計の方向性について考察した。

今回の地震では、落防システムによって落橋を免れた橋も多く（補遺参照）、阪神淡路大震災を教訓として改善されてきた落防システムの効果を検証することができたといえるが、新たな視点から橋梁設計を考えることの必要性も示唆されたと考える。すなわち、桁の落橋を防止する観点のみならず、橋台の移動などによる桁の支持機能の喪失に対処しうる橋梁設計を考えることが必要となろう。これは地震後の復旧性を容易にする視点からの耐震設計の改善策と言える。

補遺

平成 28 年熊本地震における阿蘇地方の橋梁被害は、以下のように分類される。代表的な橋梁とその被害写真を示す。

- (1) 山腹土砂または岩塊崩壊により崩落した橋梁—阿蘇大橋・戸下大橋
- ・阿蘇大橋（上路式トラス逆ランガー桁橋、1970

年竣工、写真-H1 は被災前の写真。座屈拘束ブレースが耐震補強として施工済み）

両橋台のみ現地に残存していた。左岸側側径間の単純桁橋は橋台前に落下（写真-H2）。右岸側 3 径間連続橋と主構造は架設地点では発見できず、例えば黒川と白川の合流地点付近（阿蘇長陽大橋の架橋地点）にトラス部材が散見された。

・戸下大橋（多数の PC 単純桁橋より構成される、1995 年竣工） 岩塊の崩落より 2 径間分の上部工と T 字型橋脚が谷底に崩落（写真-H3）。

(2) 支承周りの落防システムが機能して、強震動に対して落橋が免れたと考察される橋—大切畑大橋・扇の坂橋・すすきの原橋・南阿蘇橋など

・大切畑大橋（5 径間連続非合成曲線鋼桁橋、2001 年竣工、橋長 265.4m）は、P2 橋脚上の支承を除いて全て破断（写真-H4）、支承サイドブロック止めのボルト破断、A1 側落防ケーブル破断、桁は外曲側（沓座外）へ移動、P2 橋脚は外曲側へ傾斜し、橋脚基部で最大幅 4mm 程度のひび割れが発生していたが、落橋は免れる（写真-H5）。

・扇の坂橋（4 径間連続鋼桁橋、1999 年竣工、橋長 128m） ゴム支承残留変形甚だしく、A1 上は外曲側（写真-H6）、A2 上は内曲側へ変形。A1 上の橋直方向移動制限用コンクリートブロックはせん断破壊した。A2 側は内曲側に桁が移動したためブロックは機能しなかった。落防ケーブルは未破断。

・南阿蘇橋（上路式ランガー桁橋、1971 年竣工、橋長 110m）は橋軸方向ダンパーと、座屈拘束ブレースが耐震補強として施工済み。ダンパー取り付け部のコンクリートは A1 側ではひび割れ程度であったが、A2 側では両サイドとも破壊して下方に垂れ下がっていた（写真-H8, H9）。橋軸直角方向変位制限用ゴムバッファーが無傷であったことから本橋の卓越振動方向は橋軸方向と推測され、ダンパーは地震動に対して作動したと思われる。

(3) 橋台崩落に対して自立した橋梁—阿蘇長陽大橋

(4) ピン支承の離脱で桁が上方に移動するが自立している橋梁—桑鶴大橋

(5) 地盤変位に伴う橋台の移動により支承と桁が損傷した橋梁—俵山大橋 ((3)~(5)は本文にて論考)



写真-H1 被災前の阿蘇大橋 (2011.3 撮影)



写真-H2 阿蘇大橋の単径間部の転落状況



写真-H3 戸下大橋の崩落



写真-H4 大切畑大橋のゴム支承破断状況



写真-H5 大切畑大橋の桁移動と P2 の傾斜状況



写真-H6 扇ノ坂橋 A1 上のゴム支承の変形



写真-H7 南阿蘇大橋の全景 (奥が A2)



写真-H8 A1 側のダンパー



写真-H9 A2 側のダンパー

参考文献

- 1) みなみあそ村観光協会：南阿蘇村観光マップ
- 2) 大塚久哲：断層地帯における橋梁の耐震設計の考え方，土木構造・材料論文集，第 30 号，2014.12