

推定活断層を踏まえた阿蘇大橋 の橋梁設計について

平敷 健太¹・福原 茂²・湊 康彦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)

震度7を2度観測した2016年4月の熊本地震により、国道325号阿蘇大橋が落橋した。同橋の復旧に関しては、有識者等で構成される『国道325号ルート・構造に関する技術検討会』（以降、『技術検討会』）において、架け替え位置、橋梁形式、推定活断層への対応等が審議された。

推定活断層を跨ぐ本橋は、想定される破壊形態に確実に誘導されるよう損傷制御方針を立案し、レベル2地震動を上回る水平力が作用した場合は、支承部を先行して損傷させるよう設計を行った。本稿は、落橋した阿蘇大橋の復旧について架け替え位置の選定から橋梁形式の選定に至るまでの内容や推定活断層を踏まえた橋梁設計について概要を報告する。

キーワード 熊本地震、阿蘇大橋、推定活断層、損傷制御設計

1. はじめに

2016年4月14日と16日に連続して震度7を観測した熊本県熊本地方を震源とする地震により熊本地方において道路をはじめとするインフラに甚大な被害が発生した。特に阿蘇地域においては、国道57号斜面崩壊、国道325号、県道28号、村道栃の木～立野線などに被害が発生し、現在も国道57号や国道325号などの主要幹線道路は不通であり住民生活はもとより、物流や観光面においても大きな負担となっている。（図-1）

本稿は、落橋した阿蘇大橋（図-2）の復旧について架け替え位置の選定から橋梁形式の選定に至るまでの内容や推定活断層を踏まえた橋梁設計について概要を報告する。なお、本文に示している「推定活断層」とは、地質調査等の結果に基づき技術検討会での意見を踏まえて阿蘇大橋の設計用として個別に設定したものであるが、その後に国土地理院が公表した最新の文献情報との照合も行っている。

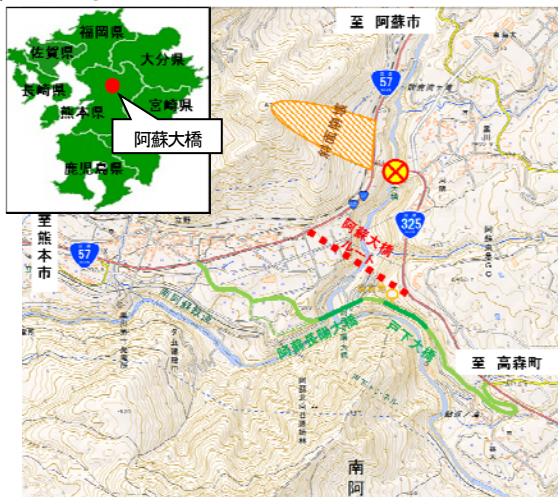


図-1 位置図



図-2 落橋した阿蘇大橋

2. 架け替え位置の選定

国道325号旧阿蘇大橋は、一級河川白川水系黒川を渡河する橋梁であり、斜面崩壊付近に位置していたが、4月16日の本震により落橋した。阿蘇大橋の架け替え位置については、有識者等で構成される技術検討会において審議され、旧阿蘇大橋架橋位置付近を中心に黒川の上流側、下流側にて検討を行った。また、推定活断層については既往の文献及び現地踏査により位置を推定した。

A案は最下流に位置し、B案はA案とC案の中間付近、C案は旧阿蘇大橋と同位置付近、D案は上流に位置し、各案について安全性、早期復旧、交通の円滑性・利便性に関する検討を行った。（図-3）

A案は斜面崩壊位置から最も離れており、国道57号の斜面には影響されないが、国立公園内の阿蘇北向谷原始林を通過するため協議等に時間を要し、環境に対する影響と同原始林の斜面崩壊に対する影響が伴った。B案は国道57号の斜面の影響が小さく国道325号と直線的

に結ばれるが、橋梁規模が大きくなり橋梁が推定活断層を跨ぐリスクがあった。C案は斜面崩壊の直近であり斜面の影響と橋梁の直近を推定活断層が通るため断層に対するリスクがあった。D案は推定活断層から最も離れており、断層に対するリスクは小さく橋梁規模も小さかったが、熊本方面から来た車両は斜面崩壊箇所を通過する必要があり国道57号斜面の影響が懸念された。

このようにどの案においてもリスクが伴っているが、架け替え位置の選定にあたっては次の観点を重視して評価を行った。一つ目は復旧の時期が不明確な斜面崩壊箇所や周辺斜面の影響を回避できること、二つ目は主交通方向（熊本⇄南阿蘇）を考慮した迂回感の無いルートであり南阿蘇中心部と立野地区のコミュニティー確保にも寄与することである。この二つ観点を踏まえ、架け替え位置はB案に決定した。



図-3 架け替え位置案

3. 橋梁形式の選定

架け替え位置 B 案に対し橋梁を計画するための条件は以下であった。

- 1.黒川右岸頂部で推定活断層と交差
- 2.黒川溪谷の深さは 100m 程度
- 3.黒川両岸の高低差は 40m 程度
- 4.黒川両岸間の距離は 330m 程度

なお、黒川渡河部は橋梁規模が大きくなることから技術検討会において橋梁形式も審議され、以下の安全性、施工性、景観性に着眼し検討を行った。

- 〈安全性〉・黒川右岸に想定される推定活断層を避けた下部構造の配置
- ・地盤変状が生じた場合でも落橋や倒壊に至りにくい構造
- 〈施工性〉・可能な限り工期の短い構造
- 〈景観性〉・阿蘇観光の玄関口としてシンボル性にも配慮

比較設計における評価の概要を（表-1）に示す。第1案と第2案のPC橋は主桁を主に支持する中間橋脚が推定活断層より離れているため断層変位が橋脚に与える影響が小さいと考えられる。また、斜面変状により端支点を消失状況となっても、落橋を免れた阿蘇長陽大橋（図-4）と同種な張出し架設工法の形式であれば崩落に

は至らないため、斜面変状の影響に対しては第3案又は第4案よりも優れた形式であると評価した。また、第1案は施工工期が最も短く、景観性においてもシンプルな構造であり周辺の阿蘇の風景になじむと評価され、総合的な判断によりPC3径間連続ラーメン箱桁橋（橋長 L=345m, 径間長 L=80m+165m+100m）を最適橋梁形式に選定した。なお、起点側の陸上部については断層変位が発生した場合の復旧性や渡河部に与える影響も考慮して、断層交差部は鋼単純非合成箱桁橋（橋長 L=65m）、起点側の高架部は鋼3径間連続非合成鋼桁橋（橋長 L=115m, 径間長 L=42m+2@36.5m）を最適橋梁形式に選定した。

表-1 比較評価

	推定活断層	地盤変状	工期	景観性	評価
第1案：PC3径間連続ラーメン箱桁橋	中間橋脚が推定活断層より100m程度の離隔がある断層交差部は単純桁	斜面上部の端支点が移動しても自立可能	◎	周辺になじむ	○ ○
第2案：PC3径間連続エクストラードスト橋	中間橋脚が推定活断層より100m程度の離隔がある断層交差部は単純桁	斜面上部の端支点が移動しても自立可能	○	橋面上にアクセントがある	○
第3案：鋼中跨式アーチ橋	橋脚が推定活断層と近い側径間が断層と交差	橋脚支点の移動が上部工に及ぼす影響が大きい	△	シンボル性が高い	◎
第4案：鋼二ルセンローゼ橋	橋脚が推定活断層と近い断層交差部は単純桁	橋脚支点の移動が上部工に及ぼす影響が大きい	△	シンボル性が高い	◎



図-4 落橋を免れた阿蘇長陽大橋

4. 推定活断層への対応

(1) 活断層の分布

地質調査やボーリング調査、物理探査なども併用して断層調査を実施し、技術検討会において一連性の見られる断層線として地表面の亀裂の状態などから活断層を推定（推定活断層）した（図-5青破線）。その後、国土地理院で公開された都市圏活断層図（阿蘇）¹⁾（図-5赤線）において、架橋位置には活断層は表示されていないものの概ね一致していることが確認できた。

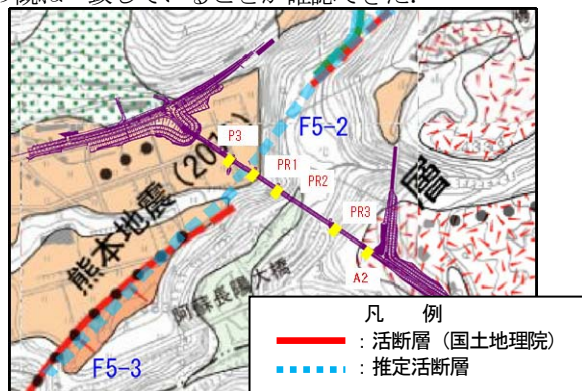


図-5 都市圏活断層図（阿蘇）¹⁾（平成29年10月31日：国土地理院）を元に熊本復興事務所作成

(2) 構造計画の基本方針

熊本地震で損傷を受けた県道28号の被災事例や平成28年9月13日事務連絡「平成28年熊本地震を踏まえた橋の耐震設計に関する留意点について」（道路局 国道・防災課）を踏まえ、推定活断層の影響による斜面変状及び断層変位が橋に及ぼす影響を最小化できるように、橋の架設位置や構造形式に配慮して構造計画を行う方針とした。

【断層変位が生じると考えられる場合の橋の構造計画及び橋の耐震設計に関する留意点】

- ・ 橋の位置、橋梁形式、構造の検討
 - i) 活断層を避ける橋の位置となるよう計画する。
 - ii) やむを得ず i) によれない場合には、断層変位の影響を受けにくくするとともに、仮に断層変位の影響によって橋に機能的な損傷が生じて、できる限り早期に復旧することが可能な橋梁形式・構造形式の選定、下部構造の設置位置等に配慮する。

平成28年9月13日事務連絡「平成28年熊本地震を踏まえた橋の耐震設計に関する留意点について」から一部抜粋

阿蘇大橋は、前述した通り推定活断層を跨ぐことを想定しているため、将来的な断層変位によるズレに対する配慮が必要となる。産業技術総合研究所の調査結果²⁾で示された、今回の熊本地震における架橋地付近の断層変位量は1.4m（図-6）であったことを踏まえ、想定される断層変位量を1.4mとし設計に反映させた。この変位レベルに対しては落橋しないように対応しつつ、それ以上の変位が生じても容易には落橋しにくくなるように、さらには復旧性も考えて構造的に配慮した。

断層変位が生じた際、構造体で抵抗するのは不可能であるため、一部の部材が損傷することを許容し、復旧性や渡河部への影響を考慮して断層交差部は単純桁とした。また、アプローチ部の下部工位置は、断層変位の影響を受けにくくするため、推定活断層を避けた配置とした。

（図-7）

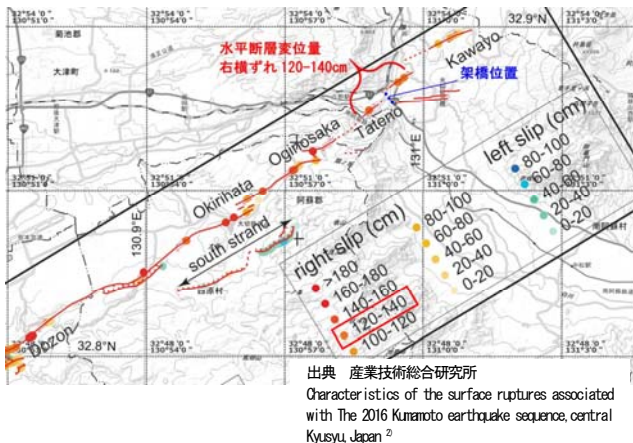


図-6 熊本地震の断層変位量

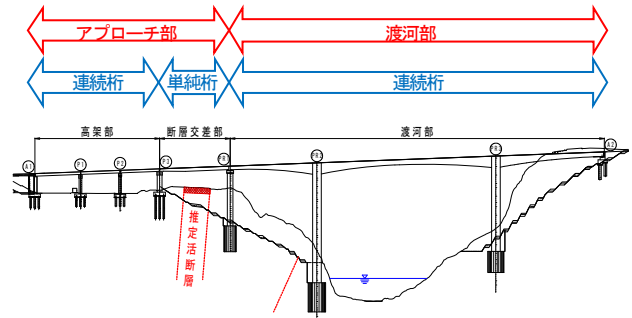


図-7 推定活断層に対する配慮

5. 損傷制御設計

(1) 想定する破壊形態と方策

断層変位が発生した際、構造体としての合理性を失わない範囲で対応できる対策には限界があるため、橋梁を構成する部材の損傷を許容することとし、本橋において望ましい復旧性に優れる破壊形態となるよう損傷を制御することとした。（図-8）

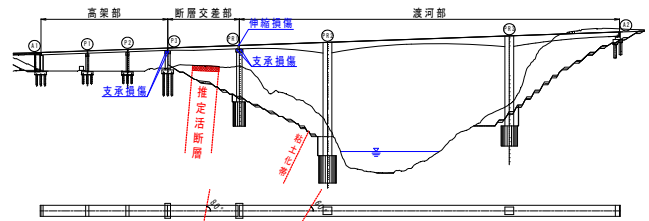


図-8 想定する破壊形態

【想定する破壊形態】

一部の部材に損傷が生じるが落橋には至らない。

【考え方】

上下部構造の損傷を防止できれば早期復旧の可能性が高まる。

【主な方策】

- ・ 支承部はレベル2地震動までは耐力を有するが、断層変位が生じた場合は、上下部構造が損傷するような力が伝わらないよう支承部を先に損傷させる。
- ・ 断層変位の力を隣接する上部工に伝達する恐れがある P3, PRI 上の伸縮装置を損傷させる。
- ・ 支承部が壊れても容易には落橋しないように P3, PRI 橋脚の沓座を拡幅する。

(2) 支承の壊し方

支承部は、レベル2地震動に対しては所定の耐力を有するが、レベル2地震動を超える断層変位が生じた場合は損傷するよう設計を行い、損傷誘導箇所を確実に損傷させるため、損傷させない部材は損傷を誘導する部材の1.3倍の耐力を有する設計とした。損傷箇所としては、復旧性を向上させるため断層変位発生後の上下部構造の段差量が最小となるよう支承部材のうちアンカー取付ボルトを損傷させる設計とした。（図-9）

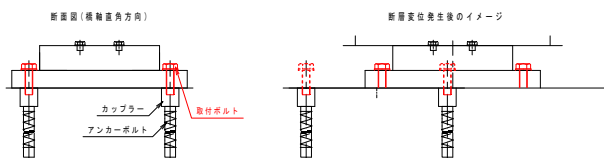


図-9 損傷箇所の検討

(3) 落橋防止対策

本橋は、断層変位に対して支承部を損傷させる計画であり、支承損傷後に落橋に至りにくくするよう配慮することとした。断層変位に対して壁のような力で抵抗する構造を用いた場合、上下部構造に力が伝達し支承部以外にも大きな損傷が生じることとなる。このため、橋軸直角方向の断層変位に対する対策は、推定活断層を跨ぐ径間を支持する橋脚（図-10）を対象に、変位追従性に着目し桁かかり長に余裕を持たせることを基本とした。

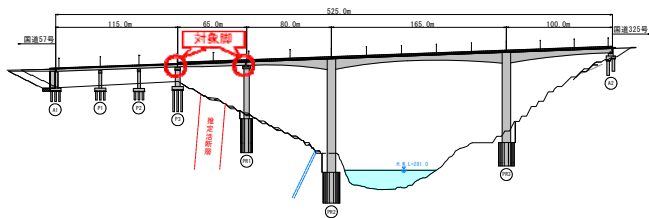


図-10 対象とする橋脚

1) 橋軸直角方向の沓座拡幅

架橋地点において熊本地震で生じた断層変位量（概ね阿蘇大橋に対して橋軸直角方向）が1.4mであったことを踏まえ、この断層変位量に対して支承部は破壊するものの橋桁は橋脚の橋座部で支持されている状態を確保するため、橋脚頂部の左右横梁を橋軸直角方向にそれぞれ1.4m拡幅した（図-11）。桁かかり長については、断層交差部の箱桁部は片方の箱桁が、鉸桁部は中桁が橋座より逸脱すると落橋に至ると考えられる。このため、箱桁部の桁かかり長は主桁内側ウェブから橋座端部、鉸桁部は中桁から橋座端部とし熊本地震より大きな断層変位に対しても落橋に至りにくくするよう配慮した。

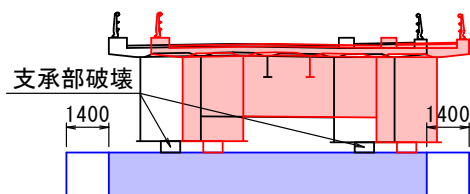


図-11 橋軸直角方向の沓座拡幅

(4) 支承部の復旧を容易にするための設計段階での配慮

本設計では支承が損傷することを想定する計画となっていることから、支承の復旧にも配慮した。支承損傷時の復旧性向上を目的に橋脚上にジャッキアップスペースを確保する計画としたことにより、予期しない大きな橋軸方向の変位が生じた際に、桁かかり長としても期待できる。（図-12）

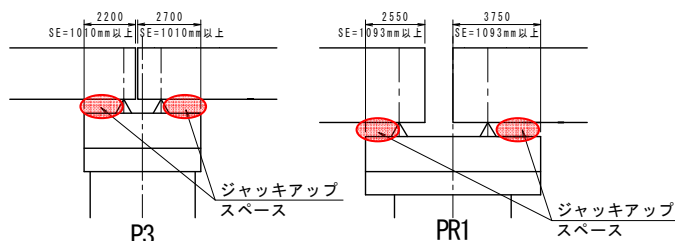


図-12 支承の復旧

6. おわりに

黒川下流から望む完成予想図は（図-13）の通りである。



図-13 阿蘇大橋完成予想図

阿蘇大橋の復旧は、現在、渡河部は仮設工に着手、アプローチ部は下部工がほぼ完成している状況であり、平成32年度の開通目標に向け鋭意推進しているところである。これまでの設計及び工事の実施にあたっては、技術検討会及び国土技術政策総合研究所や土木研究所ならびに設計コンサルタントや施工業者等の関係者が一体となって取り組んできた結果でありここに感謝の意を示すものである。

推定活断層を跨ぐ阿蘇大橋で取り入れた損傷制御設計が、今後同様の橋梁設計検討の一助となれば幸いである。

参考文献

- 1) 国土地理院：都市圏活断層図（阿蘇）
- 2) 産業技術総合研究所：Characteristics of the surface ruptures associated with The 2016 Kumamoto earthquake sequence, central Kyusyu, Japan (Earth, Planets and Space)