

# 地盤変状の影響を小さくするための配慮をした新阿蘇大橋の計画及び設計 ～震災経験から得られた教訓を活かして～

宮原 史・今村隆浩・西田秀明・星隈順一

## 1. はじめに

熊本地震で崩落した国道325号の阿蘇大橋の周辺は地盤変状の影響に対して注意が必要な地形、地質条件にあることから、その復旧にあたっては、橋の性能に及ぼす影響が生じないように架橋位置を計画することが基本となる。しかしながら、新設の道路計画とは異なり、既設の路線を構成している一要素である橋の災害復旧であり、架橋位置の選定においては種々の制約条件が付帯する。それらの条件を含めて総合的な検討を行った結果、阿蘇大橋の復旧においてはやむを得ず地盤変状の影響が懸念される位置に新しい橋（以下「新阿蘇大橋」という。）を建設する計画となった。

そこで本稿では、熊本地震における震災経験から得られた教訓を踏まえた上で、地盤変状が生じた場合でも新阿蘇大橋の性能に及ぼす影響が可能な限り小さくなるよう、そのルート計画、構造計画、設計の各段階において、経済的な合理性を失わない範囲で採り入れた構造的な配慮や工夫を提示する。

## 2. ルート計画段階での配慮

活断層に関する既往の文献によると、架橋地点の周辺には布田川断層帯が位置していることが示され

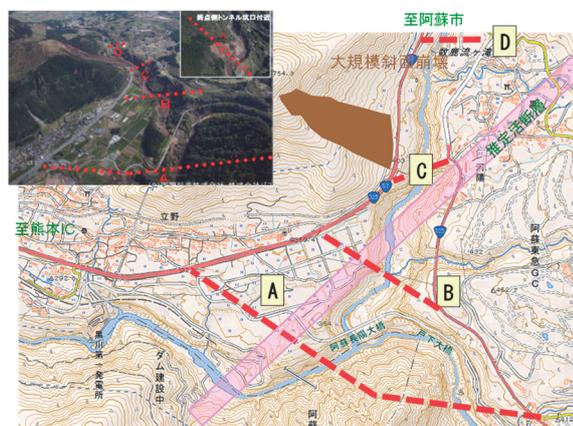


図-1 推定活断層の位置と架け替えルート案の設定

ている。そこで、地表地質踏査、ボーリング調査を行ったところ、文献に示されている断層位置とほぼ一致、あるいはその延長線上に横ずれの亀裂が分布していた。このため、ルート案の設定にあたっては、図-1に示すように、横ずれが支配的な活断層がつながって存在していると工学的に判断することとした（以下「推定活断層」という<sup>1)</sup>）。

道路は線的な施設であり、活断層が存在している地域においては、ネットワークを構成するいずれかの道路区間で活断層と交差せざるを得ない。このように、活断層の存在が判明している地域において道路のルート選定を行うにあたっては、活断層の影響によって道路機能に致命的な被災が生じにくくなるように交差箇所的位置選定に配慮するとともに、機能が低下したとしても回復を速やかに行うように交差箇所での道路構造形式の選定にも配慮する必要がある。例えば道路橋示方書<sup>2)</sup>では、橋の架橋位置は斜面崩壊や断層変位の影響を受けない位置にすることが標準とされており、活断層を橋で跨ぐこととなるようなルート選定は避けることが望ましい。

このような基本的な考え方がある中で、新阿蘇大橋の架橋ルートは既設ルートの中の一部区間だけの検討という制約条件も踏まえ、図-1に示す4通りのルート立案した<sup>1)</sup>。これらのルートの立案にあたっては、推定活断層の影響によって道路機能に生じる影響を少しでも小さくする観点から、以下の配慮を行った。

Aルートは、道路としての機能回復がしやすい平地で推定活断層を跨ぐように配慮した案である。4通りのルート案の中では最下流に位置し、国道57号と国道325号の交差点位置も地盤変状のリスクがある山側斜面とは離隔を確保したルートである。ただし、ルートの途上で山間部を通過するためトンネル工事が必要であり、当該の山は天然記念物である原始林であることから、協議や調査を含めると長期

間の工期を要することが想定される。

Bルートは、Aルートよりも上流側に設定することでトンネル工事を回避した案である。国道57号と国道325号の交差点位置についても、地盤変状のリスクがある山側斜面との離隔を確保することができる。推定活断層とは斜面となる箇所を跨ぐことにはなるが、断層変位の影響による道路の復旧が著しく困難とならないよう、V字谷の深い位置で推定活断層と交差させないように配慮して設定したルートである。なお、推定活断層を跨ぐAルートとBルートの立案にあたっては、断層変位が生じたとしても被災範囲が限定されるよう、ルートの線形は推定活断層となるべく直交に近い角度で交差させることにも配慮した。

Cルートは、推定活断層を既設の国道325号の平地となっている箇所を跨いだ上で、国道57号との交差点位置を可能な限り熊本市側に設定したルートである。推定活断層を橋で跨ぐことは回避できるが、国道57号と国道325号の交差点位置が地盤変状のリスクがある山側斜面だけでなく急峻な谷側斜面にも近接することになる。

Dルートは、Cルートと同様に既設の国道325号の平地の箇所を推定活断層を跨いだ上で、国道57号と国道325号の交差点位置を上流側に移すことで

地盤変状のリスクがある山側斜面からの離隔を確保できるように配慮した案である。4通りのルート案の中では最も上流の位置で黒川を渡河するが、主交通である熊本市と南阿蘇村を結ぶルートとして見れば、地盤変状のリスクがある山側斜面や急峻な谷側斜面を有する地点を通過するルート案であるという点はCルートと共通である。

なお、これら4案の中からルートの選定を行うにあたっては、上述したような地盤変状のリスクに関する技術的な観点だけでなく、次の4つの項目を基本的な考え方として設定した上で総合的な検討がなされた。

- 1) 熊本地震による震災を踏まえて安全性が高いルート
- 2) 可能な限り早期に復旧可能
- 3) 阿蘇観光の玄関口としての機能確保
- 4) 地域間交流の保持

具体的には、1)は推定活断層の影響、国道57号の大規模斜面崩落箇所やその前後区間に存している斜面のリスク等、ルート全体としての安全性の観点、2)はルートとして供用再開できるようになるまで期間の観点、3)は主交通方向である熊本市と南阿蘇村を結ぶルートとして迂回感のないルートであるという観点、さらに4)は南阿蘇村の中心部と同村立野地



図-2 新阿蘇大橋の架橋位置周辺の地形条件

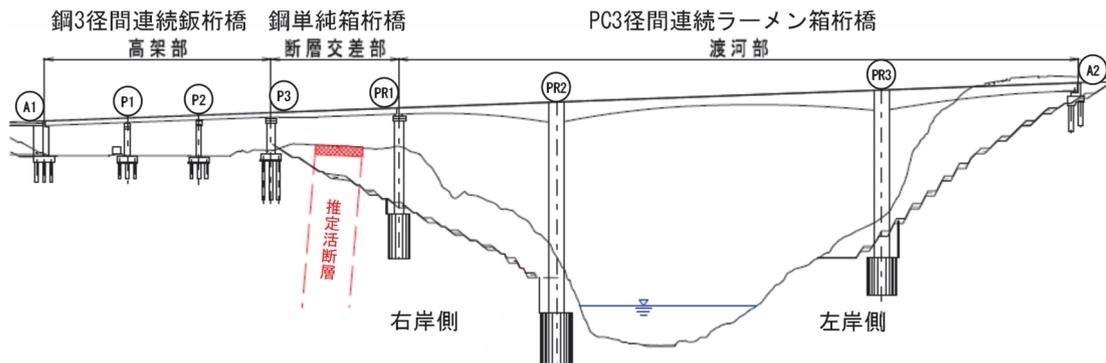


図-3 新阿蘇大橋 一般図

区のコミュニティー確保という観点で検討がなされた。そして、これらの観点が総合的に考慮された結果、最終的にBルートが選定された。

### 3. 道路構造の計画段階での配慮

#### 3.1. 構造形式選定の考え方と設計の基本方針

選定されたBルート沿いの地形条件は、図-2に示すように急峻なV字谷となっており、左岸側の標高が右岸側の標高よりも約40m高くなっている。また、兩岸の斜面では熊本地震に起因する地表面亀裂や柱状節理のトップリング崩壊が発生しており、一部の地層は不安定化した状態となっていることが想定される。

このような地形条件及び地層条件を踏まえ、左岸側となる既設の国道325号との接続部周辺については切土構造、右岸側の既設の国道57号との接続部周辺については盛土構造により現道部に擦り付け、それ以外の区間については地形的な条件から橋で計画するのが妥当と判断した。

橋の耐震設計は、道路橋示方書に基づいてレベル1地震動及びレベル2地震動のそれぞれに対して求められる耐震性能を確保した上で、断層変位が橋に及ぼす影響を最小化できるようにするとともに、橋に機能的な損傷が生じてでもできる限り早期に復旧できることを目標とした。ここで、地盤に生じる断層変位は、その作用特性としての不確実性が大きく、橋が保有する耐荷力や変形能によって耐えられるように設計するという従来の設計思想の適用は合理性に欠く。そこで本橋の設計では、設計地震力を大きく設定して耐荷力で断層変位に対峙するというような発想ではなく、想定外の断層変位が生じるような状況が生じたとしても橋としては致命的でなく、その機能回復もしやすくなるように橋の破壊形態を制御できるように設計する方針とした。すなわち、断層変位によって橋に生じようとする変形を受け流すことが可能となるような構造形式を選定した上で、機能回復のしやすさにも配慮して破壊させる部材を明確化し、目指した破壊形態が生じる可能性が高まるように設計を行うこととした。

このような観点から、Bルート内で橋として計画する区間内における構造形式の選定にあたっては、図-3に示すように断層変位の影響が避けられない断層交差部と、その前後区間となる渡河部、右岸側高架部の3区間に分割して構造形式を選定した。

#### 3.2. 渡河部の構造形式の選定

深いV字谷となっている渡河部の構造形式を選定するにあたっては、渡河部の右岸側に設置する下部構造が断層変位の影響を受けて変状が生じることを想定しておく必要がある。そのため、当該下部構造に不測の変位が生じたとしても、渡河部の構造本体にはその影響が波及しにくい構造形式を選定することとした。

実際の橋種選定においては、景観性（シンボル性）の観点も含め、PC3径間連続ラーメン箱桁橋、PC3径間連続エクストラードード橋、鋼中路式アーチ橋、鋼ニールセンローゼ橋の4案が抽出され、比較検討が行われた（図-4）。

その結果、まず、アーチ橋である鋼中路式アーチ橋、鋼ニールセンローゼ橋は推定活断層の動きによって端支点を支えるアーチアバットが移動したり沈下したりした場合に橋の安定性を確保する上で重要な部材に直接影響が生じ、橋として致命的な状態となることが避けられないことから採用しないこととした。

一方、PC3径間連続ラーメン箱桁橋及びPC3径間連続エクストラードード橋については、橋台の鉛直支持が無い状況でも自立可能となるように設計される片持ち架設工法により架設すれば、右岸側の下部構造（PR1）に不測の変位が生じたとしても、熊本地震で被災した阿蘇長陽大橋<sup>3)</sup>のように支承部で破壊を先行させることにより渡河部の構造本体に及ぶ影響を小さく抑えることが可能である。また、仮に断層変位による地盤のずれが右岸側の側径間（PR1-PR2間）の範囲で生じる状況となったとしても、右岸側下部構造（PR1）の支承部を先に破壊させれば渡河部の構造本体に及ぶ影響を小さく抑えることもできる。このように片持ち架設工法により架設されるPC橋であれば、支承部の破壊を先行させ



図-4 渡河部の橋種選定案

る構造とすることを前提として断層変位による不測の状況に対しても橋が致命的な状態に至りにくくすることができる。なお、渡河部の構造形式は、最終的には施工に要する期間の観点からPC3径間連続ラーメン箱桁橋が採用された<sup>1)</sup>。

### 3.3. 断層交差部

断層交差部における橋の構造選定においては、推定活断層の幅から下部構造の離隔を確保すること、また右横ずれが支配的な断層であることから、図-5に示すように、地盤にずれが生じた際には上下部接続部を先に破壊させることにより断層変位の影響を受け流すことができる構造とすることに重点を置いた。このような観点から、断層交差部は支承で支持された単径間の構造とした上で、できるだけ径間長を長く設定することとした。その検討の結果として、当該部では径間長65mの鋼単純箱桁橋を採用することとした。

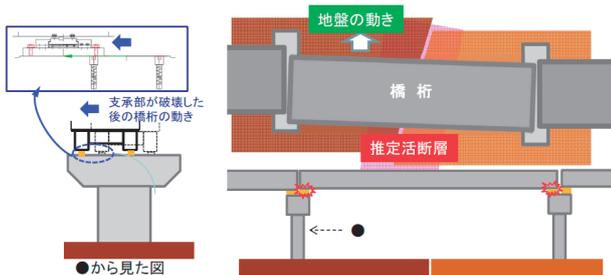


図-5 断層変位による変形を受け流す構造

### 3.4. 右岸側高架部

右岸側高架部の区間は、一般的な鋼3径間連続鉸桁橋とした。ただし、仮に断層変位による地盤の横ずれが右岸側高架部の範囲で生じて外桁の支点部が橋座部から脱落するような状態となったとしても、落橋には至りにくくすることに配慮して多主桁構造を採用した。

## 4. 断層変位に対する橋の安全性を高めるための配慮と工夫

### 4.1. 支承部が先行破壊するように耐力階層化

断層変位が生じた場合に橋に生じようとする変形を受け流せるよう、断層交差部の鋼単純箱桁橋と渡河部のPCラーメン橋の端支点部の具体的な破壊形態を計画する必要がある。破壊形態の選択肢として、大きくは構造部材の破壊を上部構造、下部構造、支承部のいずれかで先に生じさせるという選択肢がある中、本橋では前述したように支承部の破壊を先に

生じさせる計画とした。図-6は、上部構造—支承部—下部構造という一連の構造系において支承部の破壊を先に生じさせる場合の水平力に対する耐荷特性の概念図を示したものである。図-6に示すように、いずれの部材ともレベル2地震動を考慮する設計状況に対しては必要な耐力を確保した上で、レベル2地震動に対して考慮する水平力を上回る水平力が作用した場合には、まず先に支承部が破壊するように、上部構造や下部構造の耐力を支承部の耐力よりも大きく設定し差をつけておくという階層化を図っておくという考え方である。

このような耐力階層化を行うことで、断層変位が生じた際に、下部構造は自立した状態を保持しつつ、鋼単純箱桁は支承から脱落してはいるものの下部構造の頂部の橋座面で支持され、下部構造や隣接するPCラーメン橋の上部構造に不測な力を伝達させないようにした。

また、断層交差部の鋼単純箱桁橋では、目指した破壊形態が生じる可能性を高める観点から、耐荷力を喪失するときの耐力の評価の信頼性が積層ゴム支承と比較して相対的に高いと考えられる構造用鋼材で構成される支承が望ましいと考えた。このため、支承構造としては支承板支承（P3橋脚：固定、PR1橋脚：可動）を採用することとした。

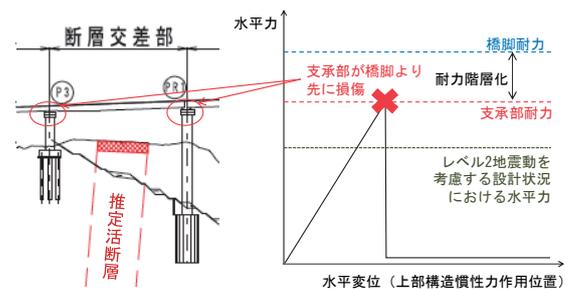


図-6 上部構造—支承部—下部構造の構造系における耐力の階層化

### 4.2. 断層交差部の橋における落橋防止対策への配慮

断層交差部の鋼単純箱桁橋では、断層変位に対して支承部が破壊することを想定した設計思想であることから、下部構造間に生じる横ずれの相対変位に対して鋼単純箱桁の支点部が下部構造の頂部から脱落しにくくする落橋防止対策がセットとして必須である。一方、鋼単純箱桁の横ずれの相対変位を落橋防止対策のための構造部材がいたずらに拘束してしまうと断層変位の影響を受け流せず、不測の力を上部構造や下部構造に伝達してしまい、結果的にこれ

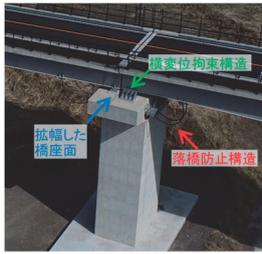


写真-1 断層交差部の落橋防止対策 (P3橋脚)

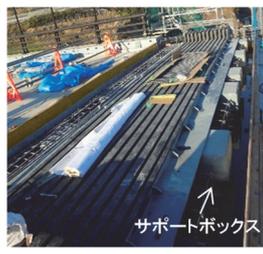


写真-2 断層交差部のモジュラージョイント

らの部材に損傷を誘発してしまうことが懸念される。本橋では、道路橋示方書の規定に基づいて桁かかり長、落橋防止構造及び横変位拘束構造を設置しているが、このうち落橋防止構造と横変位拘束構造は、上部構造の応答を拘束する際に生じる力に抵抗するために設置される構造部材である<sup>2)</sup>。このため、作用特性としての不確実性が大きい断層変位に対しては、これらの部材も破壊することを想定しておく必要がある。このとき、落橋防止構造と横変位拘束構造の破壊形態によっては、断層変位の影響を受け流すために重要な桁かかり長としての機能を担う橋座部に損傷を誘発してしまうことが懸念される。

そこで、落橋防止構造と横変位拘束構造は、鋼単純箱桁の横ずれの相対変位を過度な抵抗力で拘束せず、かつ、破壊する際には橋座部に損傷を誘発しないようにその形態を予め計画し、その計画した破壊形態となる信頼性が高まるように設計段階で配慮することとした。

具体的には、落橋防止構造には横ずれに対して追従が可能なPCケーブルを採用するとともに、道路橋示方書に示される上限値である桁かかり長の0.75倍の変位が橋軸方向に生じるまでは機能しないようPCケーブルを弛ませた構造とし、横ずれに対する追従性も確保した(写真-1)。また、横変位拘束構造は支承部の近傍に設置することで支承部が破壊した後にフェールセーフとして速やかに機能するようになっているが、落橋防止構造と同様に破壊が生じることを想定しておく必要がある。そのため、上下部構造よりも先にこれらに落橋防止構造や横変位拘束構造を取付けるための取付ボルトが破壊するように耐力の階層化を考慮して設計を行った。

さらに、横変位拘束構造と落橋防止構造が破壊した後、鋼単純箱桁の支点部が下部構造の頂部から脱落しにくくなるよう、橋軸直角方向の桁かかり長を通常よりも広く確保することとした。具体的には、

道路橋示方書に基づく設計で一般に必要なとなる橋軸直角方向の頂部幅に対して、熊本地震により架橋地点の近傍で生じた断層変位量を目安として、橋軸直角方向の必要桁かかり長を1,400mm大きく設定することとした。

#### 4.3. 隣接桁との相対変位を拘束しないようにするための伸縮装置への工夫

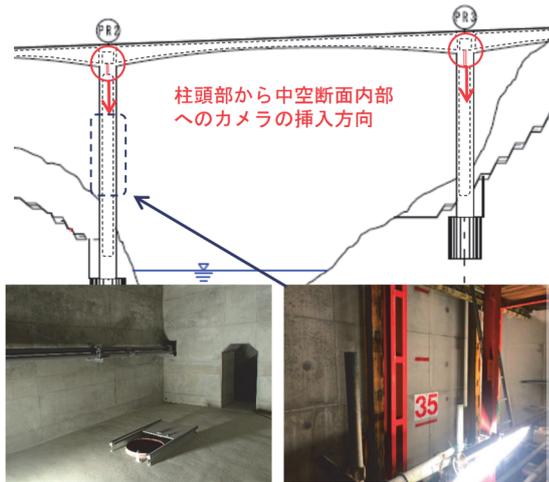
4.2に示したとおり、断層交差部の鋼単純箱桁とこれに隣接する橋の上部構造との間には、断層変位の影響によって橋軸直角方向に対して大きな相対変位が生じる状況が想定される。このように隣接桁端部の間で生じる橋軸直角方向の相対変位に対しては、伸縮装置の構造に注意が必要である。

そこで、本橋では、橋軸直角方向の変位が生じた場合に隣接する上部構造に不測の力を伝達しないよう伸縮装置の構造を改良した(写真-2)。写真-2に示すモジュラージョイントは、橋軸直角方向への相対変位に対して部材が干渉せずに変位追随できる許容値を従来構造よりも高めるため、輪荷重を支持する構造であるサポートボックスの形状を大きくする等の改良が施されている。

#### 5. 損傷後の橋としての性能回復を早めるための配慮と工夫

橋としての機能回復を速やかに行う観点からは、被災後の橋の状態を速やかに調査できるようにする必要がある。本橋の渡河部のPCラーメン橋に採用されているような中空断面の高橋脚は、外面側はUAV等を用いることで概ねの状態を把握することができる一方、中空断面内部へアクセスする手段は無いことが多く、内面側は状態を速やかに把握することが困難である。そこで、高橋脚を有する渡河部のPCラーメン橋に対して、前述した阿蘇長陽大橋の震災後の調査経験を踏まえて事前の配慮を施しておくこととした。

まず、地震後の調査を迅速にできるように、中空断面内部の状態把握をやすくするための配慮として、橋脚の柱頭部に中空断面内部の点検孔(直径600mm)を設置した(写真-3(a))。この点検孔があることで、地震後に柱頭部からカメラを下方向に挿入し中空断面内部の状態を把握することができる。また、カメラによる状態把握を行うにあたっては、撮影している箇所の高さを把握しやすくするために、中空断面内部に高さの表示をした(写真-3(b))。



(a)点検孔の設置 (b)中空断面内部への高さ表示

写真-3 中空断面内部を点検するために予め講じた配慮



写真-4 橋脚に設置した先施工のインサート

渡河部は高橋脚となることから、橋梁点検車では橋脚外面側の近接目視調査を行うことができない箇所がある。このため、少なくとも地震後の詳細調査や補修を行うために、阿蘇長陽大橋と同様にロープアクセスが必要となる状況もあることを想定しておく必要がある。ロープアクセスにあたっては、作業員がフックのインサートを橋脚に後施工で打ち込みながら調査箇所まで身を移動させていくため、調査に時間と労力を要する。そこで、写真-4に示すよう

に、ロープアクセスによる調査が必要となるフック用のインサートを橋脚の施工段階で予め設置した。

## 6. まとめ

本稿では、地盤変状のリスクがある地形・地質条件下において架橋された新阿蘇大橋について、地盤変状が橋の性能に及ぼす影響を可能な限り小さくしていく観点から、ルート設定、構造計画、設計及び施工の各段階で採り入れた様々な創意工夫とその技術的思考プロセスを述べた。本稿で示した技術的な成果で、今後、活断層や斜面崩壊等による地盤変状の影響が懸念される箇所で橋の計画、設計、工事を行う際に参考とすることができると考えられる。

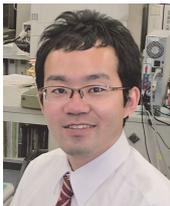
## 謝 辞

新阿蘇大橋のルート及び構造の選定については、九州地方整備局が設置した「国道325号ルート・構造に関する技術検討会」で助言を頂いた。また、調査・設計に係る検討の実施にあたっては、国土交通省九州地方整備局及び国土技術政策総合研究所、(国研) 土木研究所、熊本県等で構成されるプロジェクトチーム(橋梁PT)の委員から様々な助言を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 平敷健太、福原茂、湊康彦：推定活断層を踏まえた阿蘇大橋の橋梁設計について、平成30年度九州国土交通研究会、I部門、2018
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編、2017
- 3) 国総研資料第967号：平成28年(2016年)熊本地震土木施設被害調査報告、2017

宮原 史



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター熊本地震復旧対策研究室主任研究官 現 道路構造物研究部構造・基礎研究室主任研究官  
MIYAHARA Fumi

今村隆浩



研究当時 国土交通省九州地方整備局熊本復興事務所副所長 現 九州地方整備局道路部地域道路課長  
IMAMURA Takahiro

西田秀明



国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター熊本地震復旧対策研究室 室長  
NISHIDA Hideaki

星隈順一



研究当時 国土交通省国土技術政策総合研究所社会資本マネジメント研究センター熊本地震復旧対策研究室室長 現 中国地方整備局企画部長、博士(工学)  
Dr.HOSHIKUMA Jun-ichi