

断層破砕帯を横過する橋梁の橋梁計画－三遠南信自動車道 8 号橋－

(株) オリエンタルコンサルタンツ

○ 篠原 一輝

(株) オリエンタルコンサルタンツ

田中 誠

(株) オリエンタルコンサルタンツ

安藤 誠

(株) オリエンタルコンサルタンツ

正会員 林 克弘

キーワード：断層破砕帯，橋梁計画，落橋防止対策

1. はじめに

本業務は一般国道 475 号三遠南信自動車道の愛知県新城市名号地区において橋梁予備設計を実施したものである。（発注者：国土交通省中部地方整備局浜松河川国道事務所）

本橋は中央構造線を横過する位置に架橋されることから，学識経験者へのヒアリングを踏まえて，断層変位を考慮した橋梁計画を行った。本稿においては主に「断層変位を考慮した橋梁形式決定方法」について報告する。

2. 架橋位置付近の地質概要

日本の活断層に示される架橋位置付近の断層を図-1に，当該断層破砕帯に対する文献，地質調査結果を表-1に示す。8号橋架橋位置の中央構造線は，確実度Ⅲ（活断層の可能性のあるもの），活動度C（変位は千年で10cm未満）であり，活動性の低いリニアメント（線上に続く谷地形や崖により，地形の境目が直線的に現れる箇所）と評価されている。8号橋周辺の地質分布を図-2に示す。断層破砕帯とは交差角10度で交わり，空中判読に基づく研究結果より，図-3に示す逆断層，右横ずれ断層である。そのため，図-2に示すようにP1～P2間，P2～A2間が拮がる方向に変位する可能性が高い。周辺の岩盤は破砕が顕著な「破砕帯」と地下深部で形成され固結性を保持した「カタクレーサイト帯（破砕帯が固結）」とに区分される。破砕帯内で物性調査を行い，破砕部の変形係数は $E_o=100\text{MN/m}^2$ 以上の堅固な岩盤であるため橋梁の基礎地盤として問題ないと評価した。

図-1 8号橋付近の断層（日本の活断層¹⁾を基に作成）

表-1 当該断層破砕帯に対する文献，地質調査結果

項目	調査結果
断層名	中央構造線
活動地帯名	水窪セグメント
長さ	53km
破砕帯幅	15m～45m
断層型	右横ずれ断層(第四紀以降の変位履歴より) 逆断層(山地起伏の変位履歴継承より)
確実度	Ⅲ(活断層の可能性のあるもの)
活動度	C級(0.001m/千年オーダー)
破砕帯の強度	変形係数 $E_o=100\text{MN/m}^2$ 以上
傾斜	南東 $70^\circ \sim 80^\circ$
最大変位量	5.4m～7.2m(栗田式 1999より)
変位方向	橋軸方向に広がる向きに変位が卓越

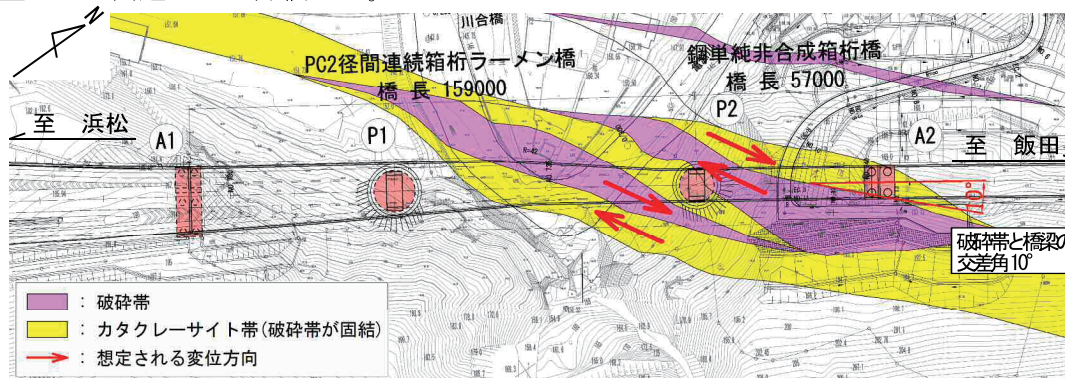


図-2 8号橋周辺の地質分布図

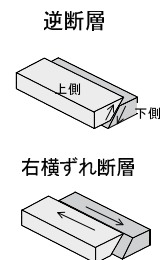


図-3 断層型

3. 橋梁計画

3.1 断層変位発生時における要求性能

断層変位量は 5.4m～7.2m と推定されることから、この大変位が発生した場合は、道路橋示方書の示す致命的な状態（橋全体が崩壊するような状態、落橋や崩壊には至っていないものの、落橋に至る可能性がある損傷が生じている状態、または落橋に至る可能性がある損傷の存在が疑われる状態）に至る可能性が高い。したがって、本橋の断層変位に対する要求性能は「道路利用者の人命を確保」できる性能とした。本橋の致命的な状態は図-4のような状態となる。

3.2 基本方針

本橋は断層変位時に橋軸方向に大変位を生じる可能性が高いという特殊な条件であることに留意し、通常の条件では検討対象としない橋梁形式も検討した。また、本断層は確実度Ⅲ、活動度Cの活動性の低い断層のため、経済的合理性を著しく損なわない範囲で、よりリスクの少ない橋梁形式を検討した。

3.3 橋台、橋脚位置

断層破砕帯との交差角が10度と小さいため、破砕帯内に橋脚を設置しないと表-2に示すように支間長が150m程度となり、経済性を著しく損なうことから破砕帯内に下部工を設置した。また、破砕帯内に複数基設置した場合、断層変位箇所や方向が限定できず、橋梁の破壊形態が想定不可能なため、破砕帯内への下部工設置は1基のみとした。

3.4 橋梁形式選定評価指標

橋梁形式定にあたっては断層破砕帯の大変位に対する橋梁の破壊シナリオを明確にしたうえで、「致命的な状態」への至りにくさ、破壊シナリオの通りに破壊しやすさ、応急復旧性について評価する。断層変位に対する評価指標を表-3に示す。

5.4m～7.2mの変位が生じた場合、橋そのものの機能が保たれず、復旧は困難であることから、橋の経済的合理性を損なわない1～2m程度の変位が生じた場合について評価した。

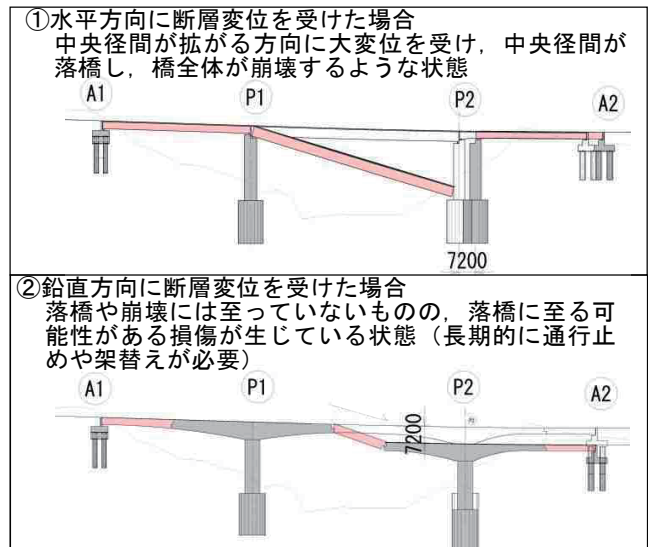


図-4 本橋の致命的な状態

表-2 橋台位置、橋脚位置の比較

第1案：破砕帯内に下部工を設置しない場合 	支間長が150m程度のため斜張橋などの特殊橋梁となり、経済的合理性を著しく損なう。
第2案：破砕帯内に下部工を1基設置した場合 	断層変位箇所や方向が限定でき、橋梁の破壊形態に応じた復旧方法を検討できる。
第3案：破砕帯内に下部工を複数基設置した場合 	断層変位箇所や方向が限定できず、橋梁の破壊形態が想定不可能である。
経済性	34億円(2.0) △
経済性	17億円(1.0) ○
経済性	— ×

※ ○ 破砕帯外に設置する下部工
● 破砕帯内に設置する下部工

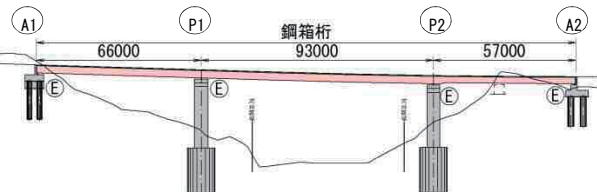
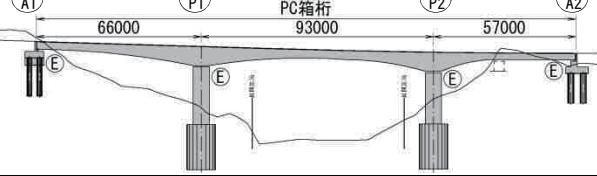
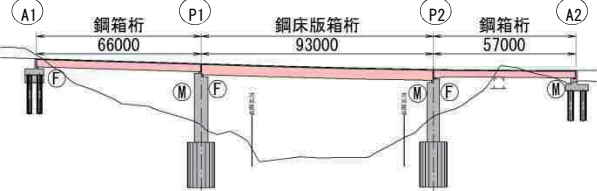
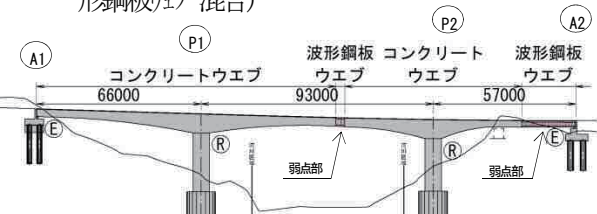
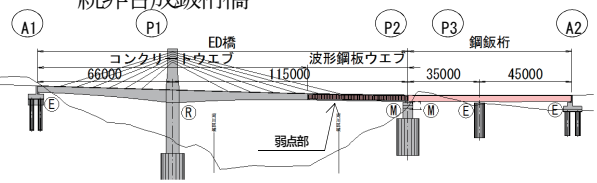
表-3 橋梁形式選定評価指標

(1) 断層変位に対して致命的な状態に至りにくさ	適応構造例
◎ 連続桁のように掛け違いがなく、断層変位に対して落橋する可能性が低い。また、致命的な状態に至りにくい構造。	・連続桁
○ 断層変位に対して部分的に落橋または破壊する可能性があるが、長径間が落下落橋に至る可能性が低い構造。	・短径間が単純桁
△ 1+1+1 径間のように掛け違いが多く、断層変位に対して長径間が落橋に至る可能性が高い構造。または、鉛直方向に大変位を受け、長期間通行止めとなる構造。	・弱点を設ける構造 ・長径間が単純桁 ・鉛直方向に大きな段差ができる構造
(2) 破壊シナリオどおりに破壊しやすさ	適応構造例
◎ 静定構造で破壊形態がわかりやすく、破壊箇所が明確	・静定構造
○ 弱点部が破壊することにより静定構造となる構造で、断層変位時に確実に壊れるように工夫が必要	・弱点部が破壊後静定となる構造
△ 断層変位に対して想定した箇所が破壊するかどうか不確定	・不静定構造
(3) 応急復旧性（1～2m程度の変位に対する評価）	適応構造例
◎ ジャッキアップ、仮橋などで応急復旧が容易にできる	・静定構造
○ 破壊形態が◎に比べ複雑で、応急復旧に時間がかかる可能性がある	・弱点を設ける構造
△ 破壊形態が複雑なため、想定外の変位で損傷を受けた場合、応急復旧できない可能性がある	・不静定構造

3.5 橋梁形式選定

橋梁形式選定表を表-4に示す。各案にて破壊シナリオを想定し、最も致命的な状態に至りにくく、かつ破壊シナリオ通りに壊れ、復旧が容易な「第4案：PC2径間Tラーメン橋＋鋼単純非合成箱桁橋」を採用した。第4案の破壊シナリオは、P1～P2間またはP2～A2間が離れる場合、P2橋脚が沈降または隆起する場合が考えられるが、いずれの場合においても長支間部は自立するため致命的な状態に至らない。

表-4 橋梁形式選定表

比較案	破壊シナリオ	構造的性 (断層変位時)			総合評価
		致命的な状態への至りにくさ	破壊シナリオの通りに破壊しやすさ	応急復旧性	
第1案：鋼3径間連続非合成箱桁橋 	水平方向 鉛直方向	◎掛け違いがないため、中央径間が変位しても、落橋に至りにくい。 ◎A2 側側径間が桁かかり長を超える断層変位を受けた場合も、A2 橋台前面の桁下盛土上に落橋するため、中央径間が落下するような大規模な落橋に至らない。 ○2m 程度の変位に対して追従する。	連続桁 不静定構造	不静定構造	
第2案：PC3径間連続箱桁橋 	水平方向 鉛直方向	◎掛け違いがないため、中央径間が変位しても、落橋に至りにくい。 ◎A2 側側径間が桁かかり長を超える断層変位を受けた場合も、A2 橋台前面の桁下盛土上に落橋するため、中央径間が落下するような大規模な落橋に至らない。 ○1m 程度の変位に対して追従する。	連続桁 不静定構造	不静定構造	
第3案：鋼単純非合成箱桁橋×3連 	水平方向 鉛直方向	△中央径間が桁かかり長を超える断層変位を受けた場合、中央径間が落下するような大規模な落橋 (致命的な状態) に至りやすい。 ◎A2 側側径間が桁かかり長を超える断層変位を受けた場合、A2 橋台前面の桁下盛土上に落橋するため、中央径間が落下するような大規模な落橋に至らない。 ◎変位を拘束しないため、破壊しにくい。	長支間が単純桁	静定構造 静定構造	
第4案：PC2径間Tラーメン橋＋鋼単純非合成箱桁橋 	水平方向 鉛直方向	◎中央径間が桁かかり長を超える変位を受けた場合、T ラーメン部で自立する。 ◎A2 側側径間が桁かかり長を超える断層変位を受けた場合も、A2 橋台前面の桁下盛土上に落橋するため、中央径間が落下するような大規模な落橋に至らない。 ○1m 程度の変位に対して追従する。	短径間が単純桁	静定構造 静定構造	採用
第5案：PC3径間連続ラーメン箱桁橋 (コンクリートウェブ、波形鋼板ウェブ混合) 	水平方向 鉛直方向	◎中央径間、A2 側側径間が桁かかり長を超える変位を受けた場合、ヒンジ支や弱点部が破壊し T ラーメン部で自立する。 ◎弱点部が破壊し、変位を拘束しないため、落橋しにくい。 △弱点部が破壊した場合、弱点部で大きな段差ができ、長期間通行止め (致命的な状態) となる。	鉛直方向に大きな段差がでる構造	弱点部破壊後静定構造	不静定構造
第6案：PC2径間連続エクストラード箱桁橋＋鋼2径間連続非合成箱桁橋 	水平方向 鉛直方向	◎P1-P2 径間が桁かかり長を超える変位を受けた場合、弱点部が破壊しエクストラード橋部で自立する。 ◎P2 側終点側径間が桁かかり長を超える断層変位を受けた場合、P2-P3 の桁下盛土上に落橋するため大規模な落橋に至らない。 ◎弱点部が破壊し、変位を拘束しないため、落橋しにくい。	連続桁	不静定構造	弱点部を設ける構造

4. 想定以上の被災を受けた場合の対応

破壊形態を想定し、構造的に優れる橋梁形式選定を行ったが、想定を超える事態は起こり得る。本路線は全線開通後、第一次緊急輸送道路として指定されるため、被災後2、3日以内に広域支援ルートの確保のために、道路啓開を行う必要がある。このため、被災後の復旧方法を検討した。8号橋復旧までの期間は、図-5のような広域なネットワークにて代替路を想定した。

4.1 発災時の復旧用工事用道路、緊急点検における配慮

被災後8号橋が通行不可能となった場合の復旧工事用道路ルートを図-6に示す。当該ルートの橋梁を調査した結果、耐震補強済みであり、断層を跨がないため、大規模地震発生時においても工事用車両の通行は可能である。また、8号橋前後の土工部には緊急点検時に駐車できるスペースを設け、非常時の点検経路を確保した。



図-5 本線路の代替路

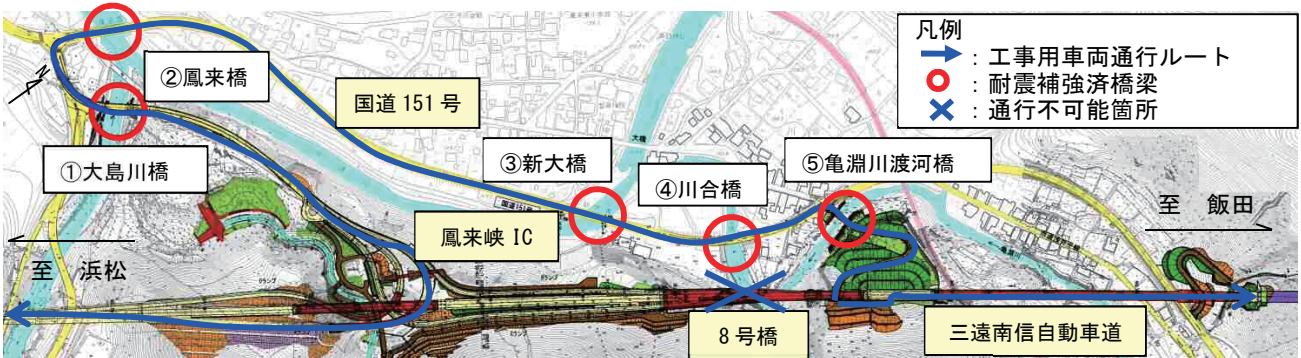


図-6 復旧用工事用道路ルート

4.2 応急・恒久復旧方法

応急・恒久復旧概要図を図-7、8に示す。小さな変位に対してはジャッキアップおよび仮橋設置により応急復旧が可能。1～2m程度の変位に対しては、支承交換や外ケーブルの追加により、恒久復旧が可能である。

5. P2橋脚、A2橋台の落橋防止対策

P2～A2間の落橋防止対策図を図-9に示す。P2～A2径間が拵がる変位を受け、P2～A2径間が落橋する破壊シナリオが想定されるため、P2側の落橋防止構造は、A2側の落橋防止構造以上の耐力を担保し、A2側がP2側より先に橋座から逸脱するようにした。また、経済性を損なわない落橋防止対策として、拵かかりを1.5SE以上確保する。さらに、A2橋台前面には、大規模な落橋を防ぐことを目的に、7.2m以上の拵下盛土を設置する。

6. おわりに

断層破砕帯を横過する橋梁に対して、詳細地質調査から断層の活動度、確実度、破砕帯の強度特性を適正に判断し、橋脚位置を決定した。また、活動性の低い断層であることを考慮し、経済的合理性を損なわず、断層変位に対して構造的、復旧性に優れる橋梁形式を選定した。被災後の復旧方法や代替路、落橋防止対策を計画し、想定を超える地震が発生した際の対応も明確にした。本稿が断層と交差する路線における橋梁計画の参考になれば幸いである。最後に、橋梁形式決定にあたりさまざまなご意見ご指導を頂きました、関係者の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 活断層研究会：日本の活断層一分布図と資料，pp230，1991.3.

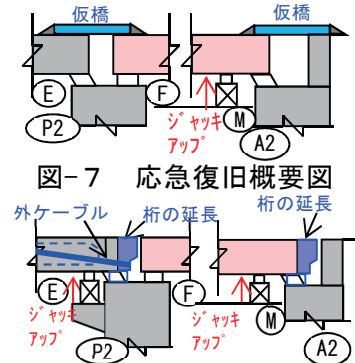


図-7 応急復旧概要図

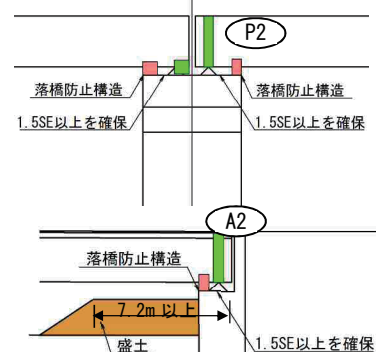


図-8 恒久復旧概要

図-9 落橋防止対策図