

熊本西環状道路軟弱地盤対策検討委員会 (第8回)

砂原工区

令和7年8月19日

熊本市 都市建設局 土木部
道路整備課 西環状道路推進室

次第

1. (審議)

橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

2. (報告1)

立田山断層の調査結果を踏まえた

橋梁設計の考え方について

3. (報告2)

池上工区で新たに確認された断層の対応について

(審議)橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

1) 前回の振り返り

砂原工区 L = 3.8km



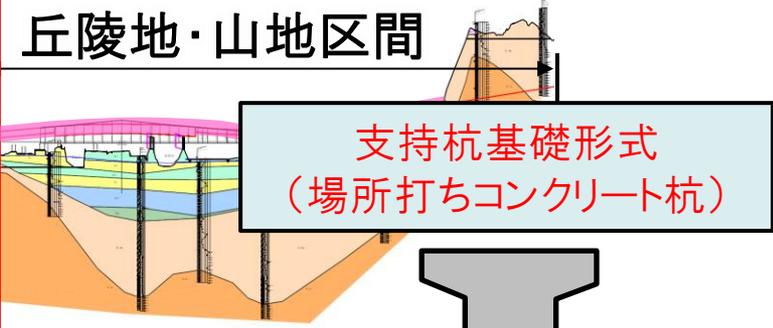
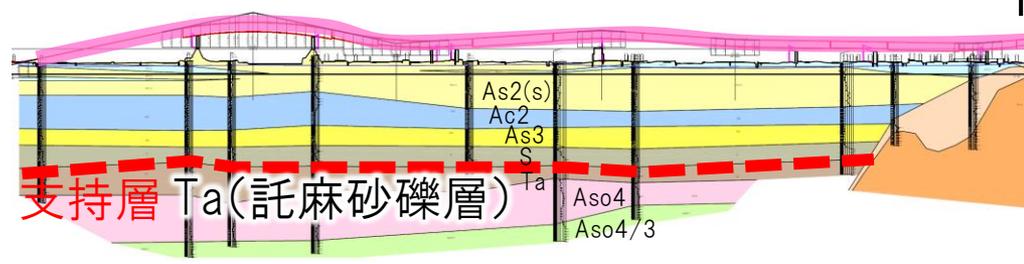
砂原IC(仮称)
《熊本港入口》

城山IC(仮称)

池上熊本駅IC

沖積平野区間

丘陵地・山地区間



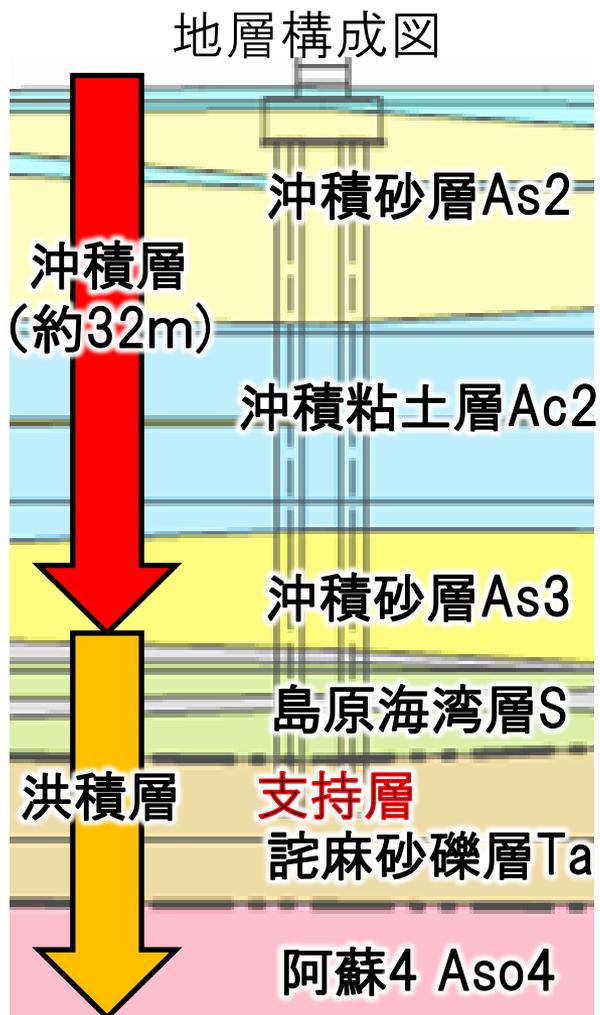
- 沖積平野区間
 - ・ 沖積層が厚く堆積する
 - ・ 支持層は託麻砂礫層

支持層 → Ta(託麻砂礫層)

(審議)橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

2)地盤特性

①地層とN値



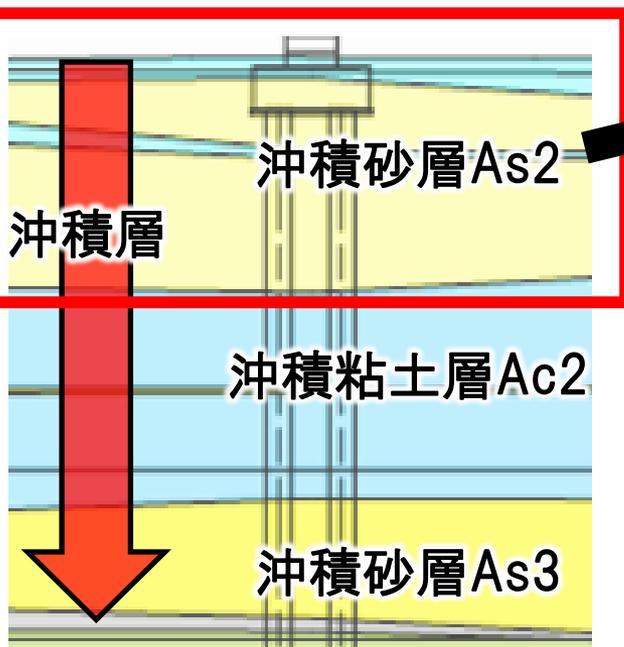
標準貫入試験結果

地層区分		標準貫入試験結果			
地層名	記号	N値			平均値
		min	～	max	
沖積砂層2 (粘土質)	As2(c)	0	～	6	2.2
沖積砂層2 (砂質)	As2(s)	1	～	24	10.2
沖積粘土層2 (上部)	Ac2U	0	～	8	0.8
沖積粘土層2 (砂)	K-Ah	0	～	24	10.5
沖積粘土層2 (下部)	Ac2L	0	～	5	0.7
沖積砂層3	As3	1	～	19	5.6
島原海湾層 (粘土)	S-c	0	～	22	7.4
島原海湾層 (砂)	S-s	1	～	28	14.8
託麻砂礫層 支持層	Ta	23	～	50	44.8
洪積砂層	Ds	0	～	15	7.6
阿蘇4火砕流堆積物層	Aso4	9	～	36	25.1
阿蘇4/3間堆積物層	Aso4/3	50	～	50	50.0

(審議)橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

2)地盤特性

②透水係数



沖積砂層
(砂質)
As2(s)

沖積砂層
(粘土質)
As2(c)

透水係数 $k=2.08 \times 10^{-5} \sim 1.6 \times 10^{-4}$ m/sec

☞透水性：中位

透水係数 $k=3.83 \times 10^{-7} \sim 2.5 \times 10^{-5}$ m/sec

☞透水性：低い～中位

地盤工学会の指標に基づき、透水係数から透水性を評価

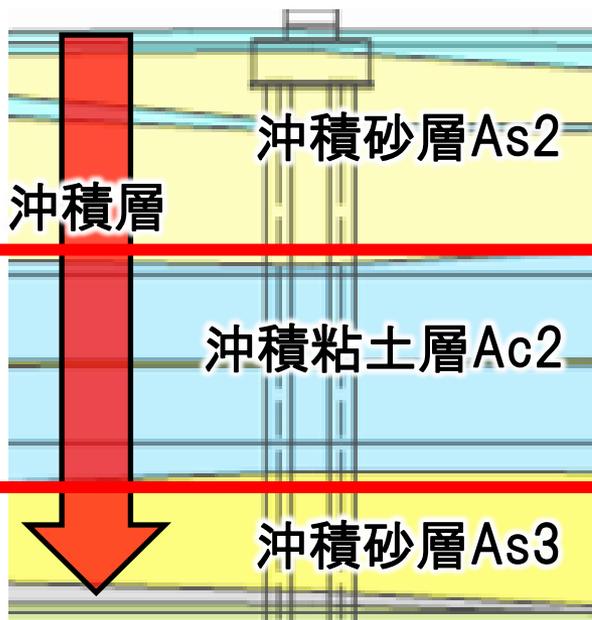
透水性	透水係数 k (m/s)											
	10^{-11}	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	10^0
	実質上不透水		非常に低い		低い		中	位		高い		

(審議)橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

2)地盤特性

②透水係数

圧密試験からの一次載荷段階で得られた透水係数



$$k = C_v \times m_v \times \gamma_w / (8.64 \times 10^8)$$

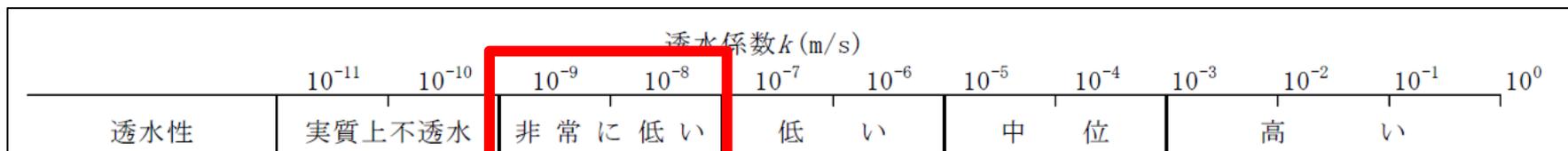
$$k' = C_v' \times m_v \times \gamma_w / (8.64 \times 10^8)$$

	透水係数		圧密係数 Cv	補正 圧密係数 Cv'	体積 圧縮係数 mv	水の単位 体積重量 γw
	k (m/sec)	k' (m/sec)				
Ac2(U)	1.05E-08	4.52E-09	2433.2	1051.1	3.79E-04	9.81
Ac2(L)	1.13E-08	4.67E-09	1516.6	627.9	6.55E-04	

透水係数 $1.05 \times 10^{-8} \sim 4.67 \times 10^{-9}$

☞ 透水性 : 非常に低い

不透水層

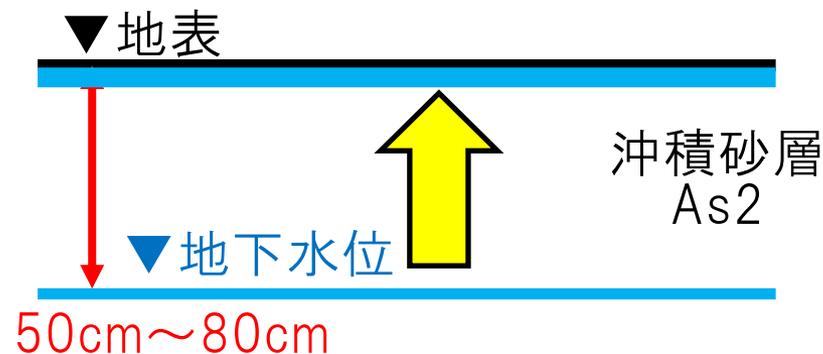


(審議)橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

2)地盤特性と地下水位

③地下水位

橋脚	地下水位		
	計測時期	地下水位	分布地層
A1	R6年11月	-0.51 m	As2(c)
P1	R7年 2月	-0.60 m	As2(c)
P2	R6年12月	-0.78 m	As2(c)
P3	R7年 1月	-0.58 m	As2(c)
P4	R6年11月	-0.80 m	As2(s)
P5	R7年 1月	-0.70 m	As2(s)
P6	R6年11月	-0.85 m	As2(s)

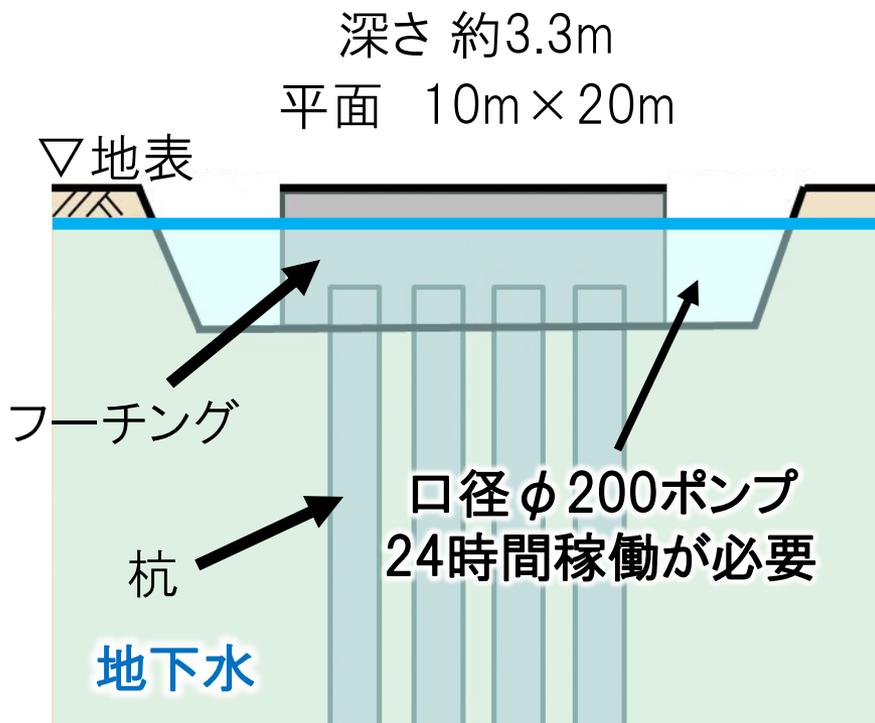


- ◇地下水位が高い
- ◇雨が深い時期は、地下水位がさらに高くなる

(審議)橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

3)橋脚施工時の懸念事項

地下水位の状況



- ◆地下水が床掘内に帯水する
- ◆大量に地下水の汲み上げが必要
(約80m³/h)

懸念事項

①周辺井戸の水位低下(水文調査)

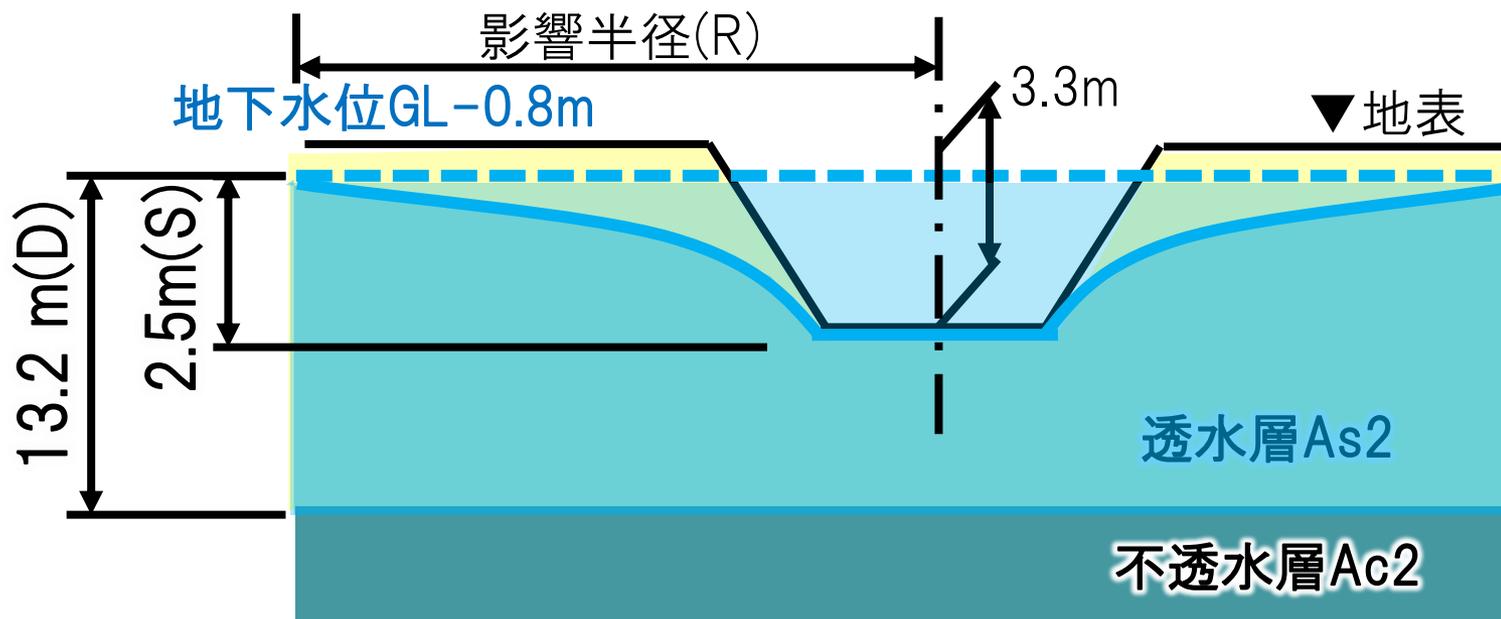
②地盤沈下(地質調査)

③掘削時の安全性(試掘調査)

調査を実施し、
仮締切土留めの必要性を判断する

(審議)橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

4)調査結果 ①周辺井戸の水位低下



◇土木工事仮設計画ガイドブック

「①クサキンの式」と「②ジハルトの式」で大きい方の値を

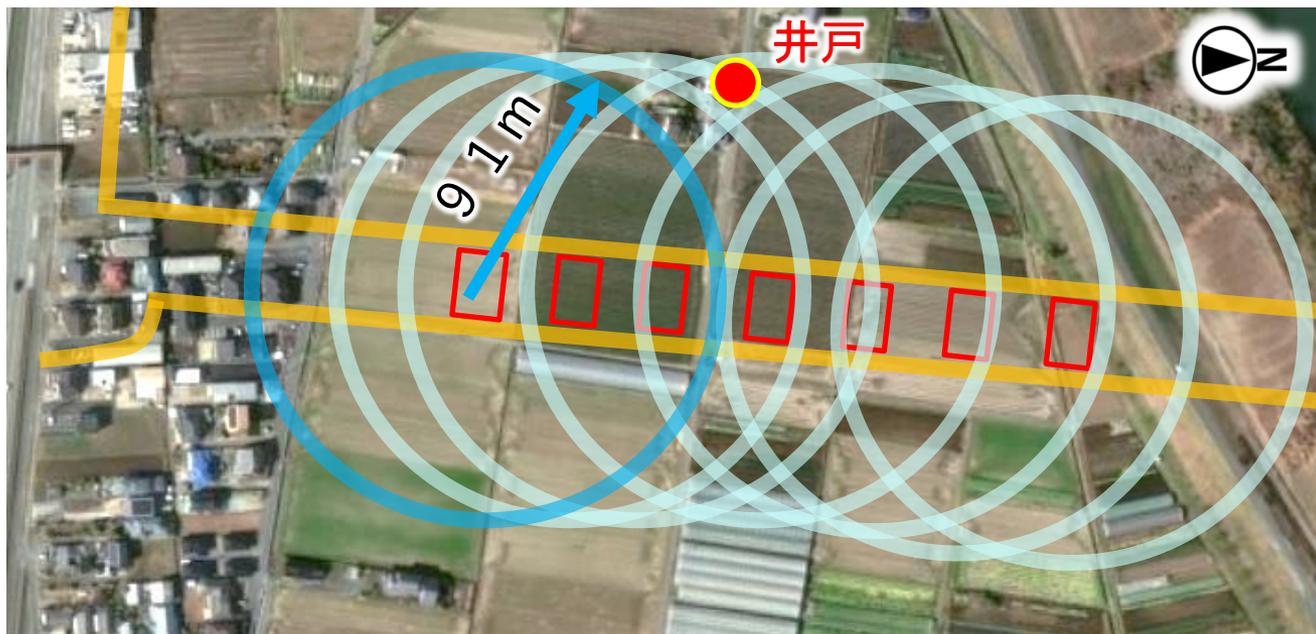
地下水汲み上げによる影響半径とする

{	R: 影響半径(m)	①クサキン
	S: 水位低下量(m) = 2.5m	$R = 575 * s * \sqrt{D * k} = 63m$
	D: 帯水層厚(m) = 13.2m	②ジハルト
	K: 透水係数(m/sec) = $1.6 \times 10^{-4}m/sec$	$R = 3000 * s * \sqrt{k} = 91m$ 採用

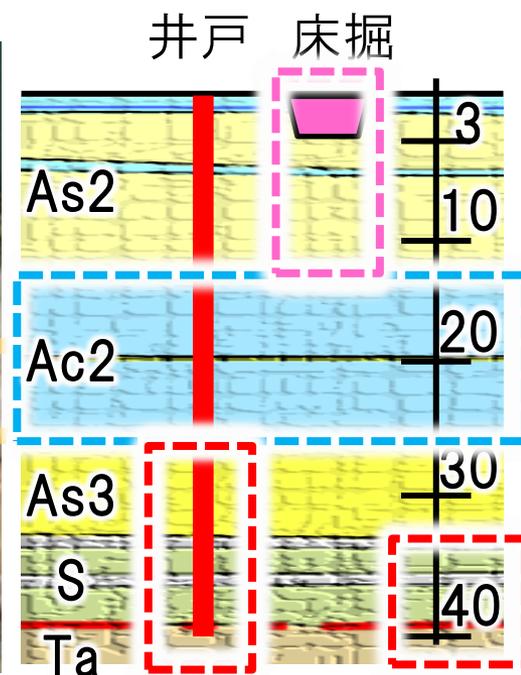
(審議)橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

4) 調査結果 ①井戸の水位低下

<平面図>



<模式図>



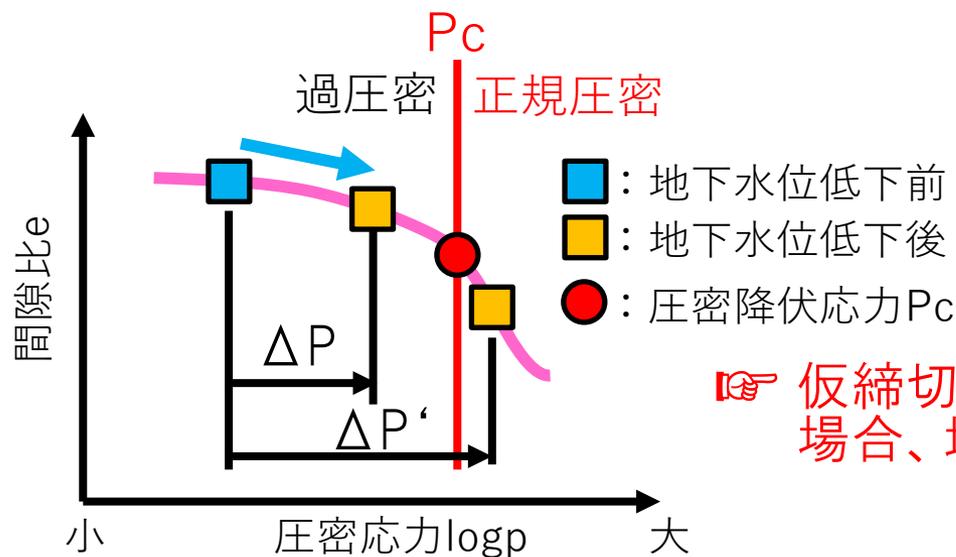
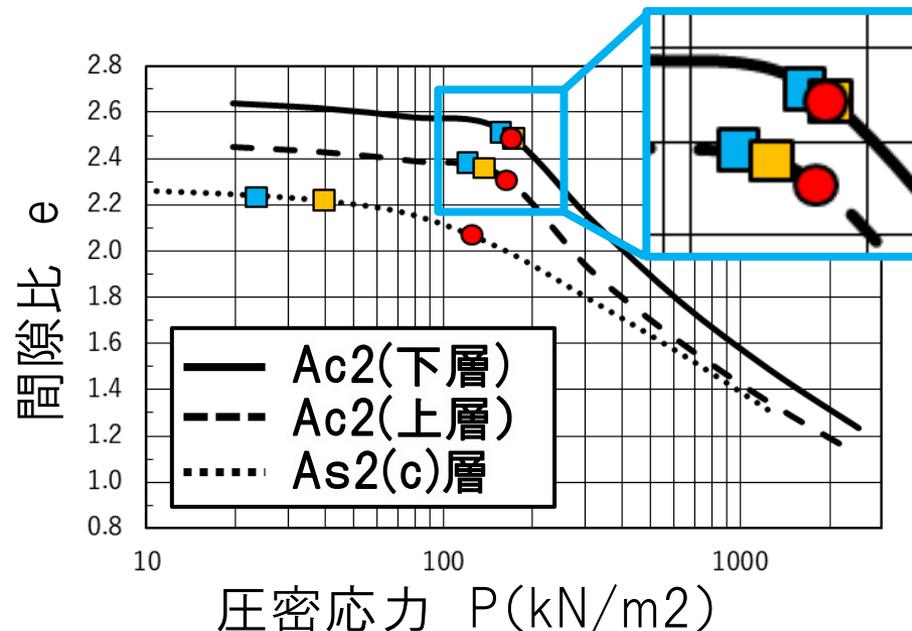
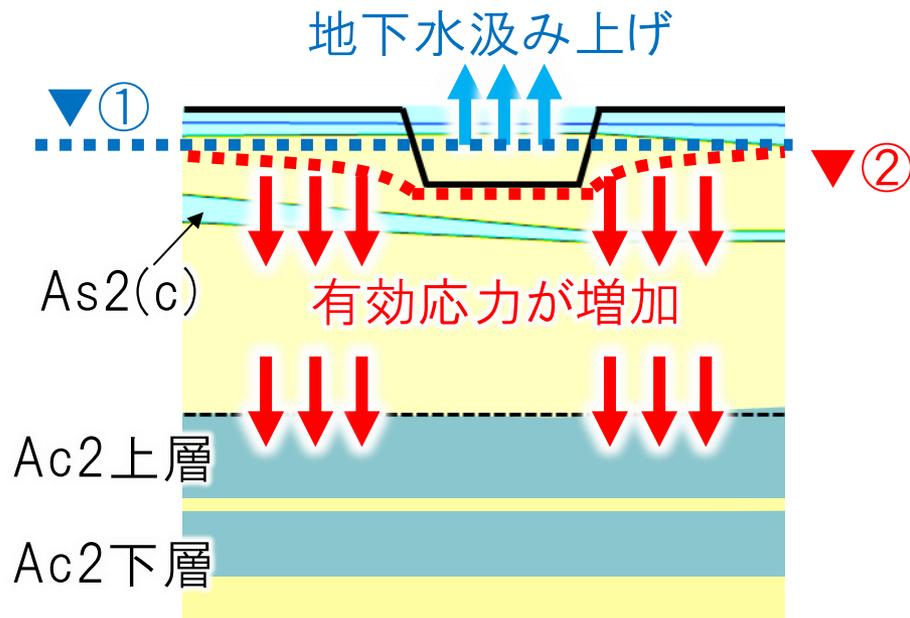
◇取水層の深さが大きく異なり、
間にある不透水層により水位変動の影響を受け難い

☞ 施工時の地下水汲み上げによる
井戸の水位低下の可能性は低い

必要無し

(審議)橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

4) 調査結果 ②地盤沈下



- ◇ As2(c)は過圧密状態
- ◇ Ac2(上層)は正規圧密に近い状態
- ◇ Ac2(下層)は正規圧密状態
- ◇ 一次圧密沈下量は最大8cm

仮締切土留めせずに地下水の汲み上げを行った場合、地盤沈下が発生する可能性あり

必要

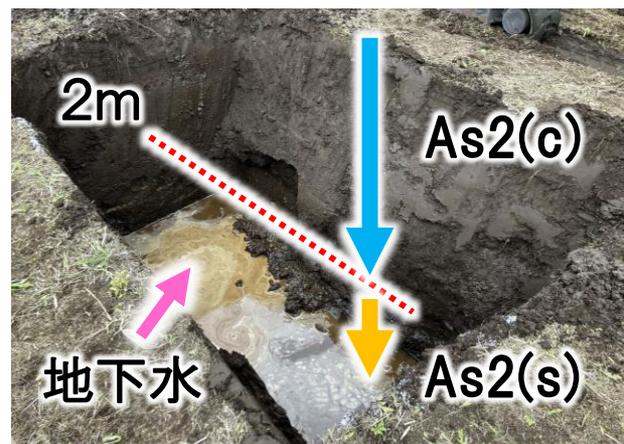
(審議)橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

4)調査結果 ③掘削時の安全性

(1)試掘箇所



(3)試掘状況



(2)掘削勾配

土木工事数量算出要領:国土交通省より抜粋

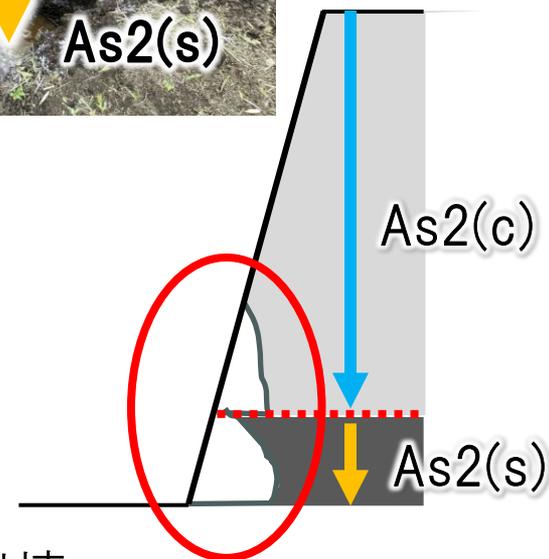
土質区分	掘削面の高さ	床掘勾配
レキ質土・砂質土 粘性土・岩塊玉石	1m未満	直
	1m以上5m未満	1 : 0.5
	全掘削高5m以上	1 : 0.5

◇地表からAs2(c)層までは規定勾配で地山が自立

◇As2(s)層は地下水湧き出しの影響により地山が緩み崩壊

🚫 規定勾配1:0.5では地山が自立せず、安全な施工が行えない

模式図



必要

5) 審議

<砂原地区>

	評価項目	仮締切土留めの必要性	内容
1	周辺井戸の水位低下 (水文調査)	必要なし	☞地下水汲み上げによる 井戸の水低下の可能性は低い
2	地盤沈下 (地質調査)	必要	☞地下水汲み上げによる 施工箇所周辺で地盤沈下が発生する
3	掘削時の安全性 (試掘調査)	必要	☞規定勾配1:0.5では地山が自立しない

砂原地区では仮締切土留めは必要



【審議】

- ・ 沖積平野区間での仮締切土留めの必要性については、同様の調査と評価を行い、必要性を判断する

次第

1. (審議)

橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

2. (報告1)

立田山断層の調査結果を踏まえた

橋梁設計の考え方について

3. (報告2)

池上工区で新たに確認された断層への対応について

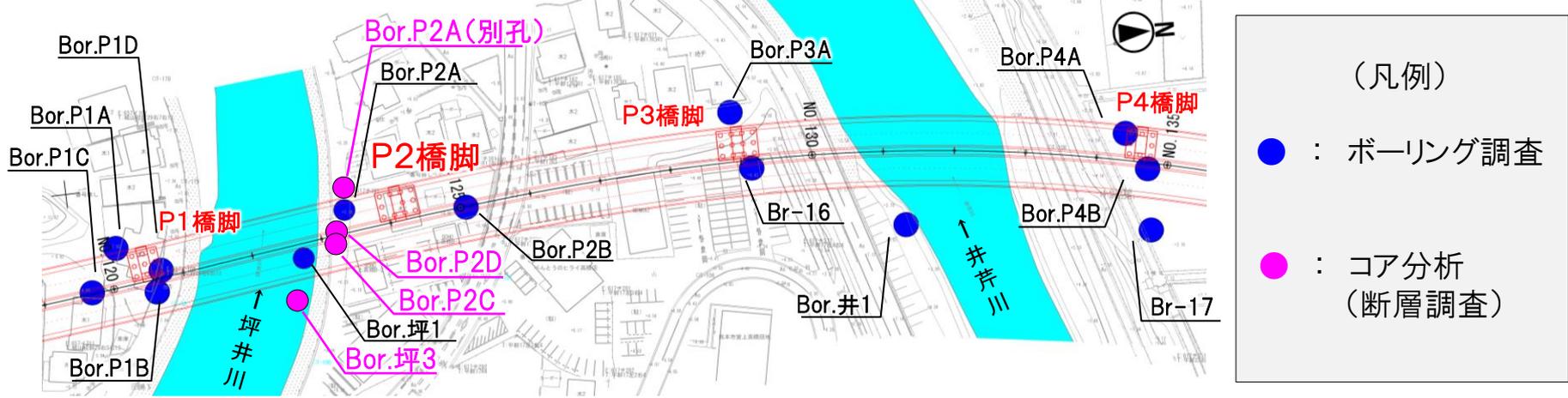
(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

これまでの振り返り



【ご助言】

橋梁計画付近(P2橋脚南側)には、立田山断層が存在する可能性があるため、橋梁計画に影響がないか確認すること。



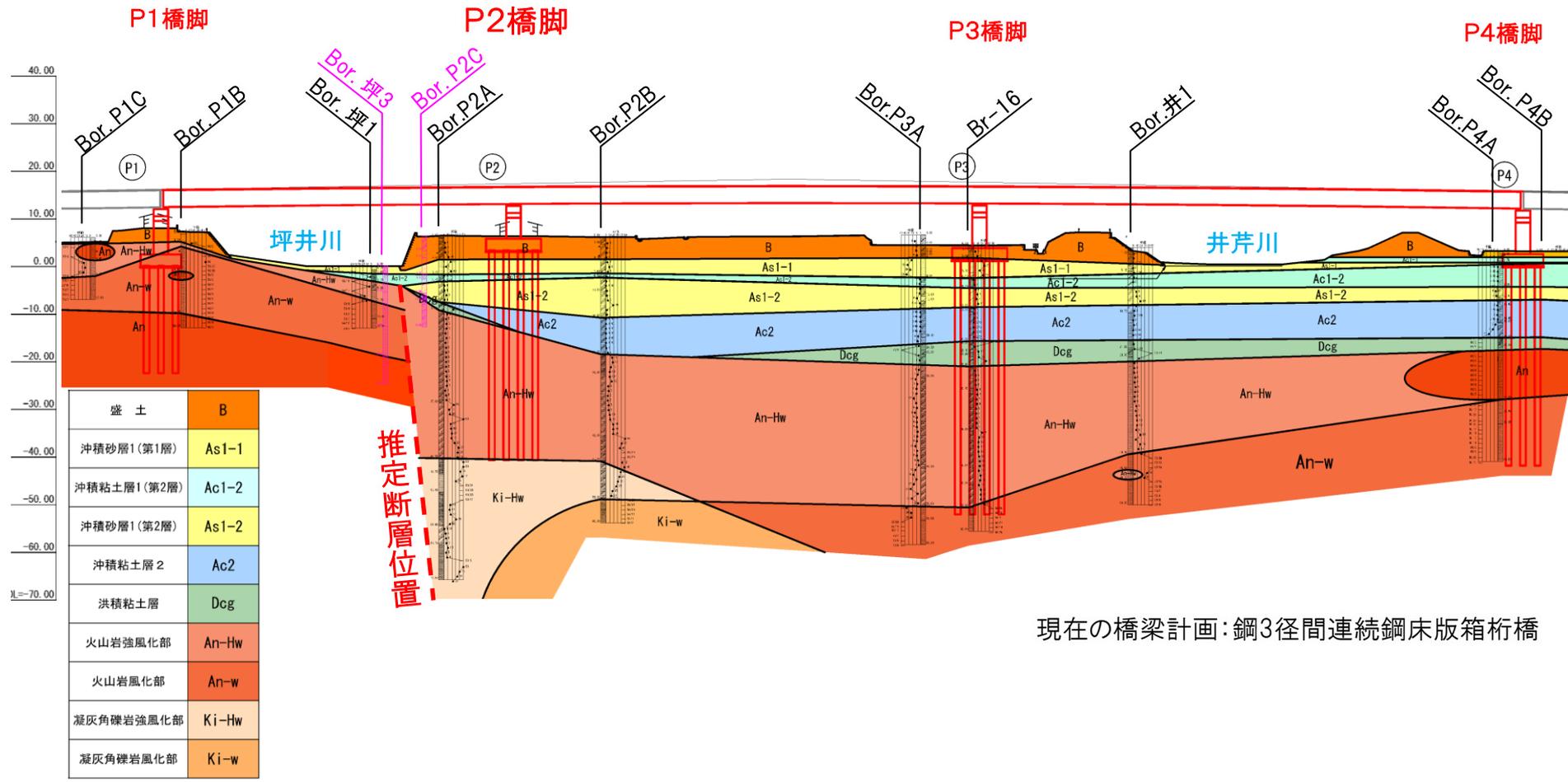
【今回の報告】

坪井川周辺のコア分析(断層調査)を行い、橋梁設計に向けて断層の影響を検証した。

(報告1) 立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

断層位置について

ボーリング調査による推定地質断面図



現在の橋梁計画: 鋼3径間連続鋼床版箱桁橋

【報告】

P2橋脚の位置は推定される断層位置を回避していることを確認した。

(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

コア分析の概要について

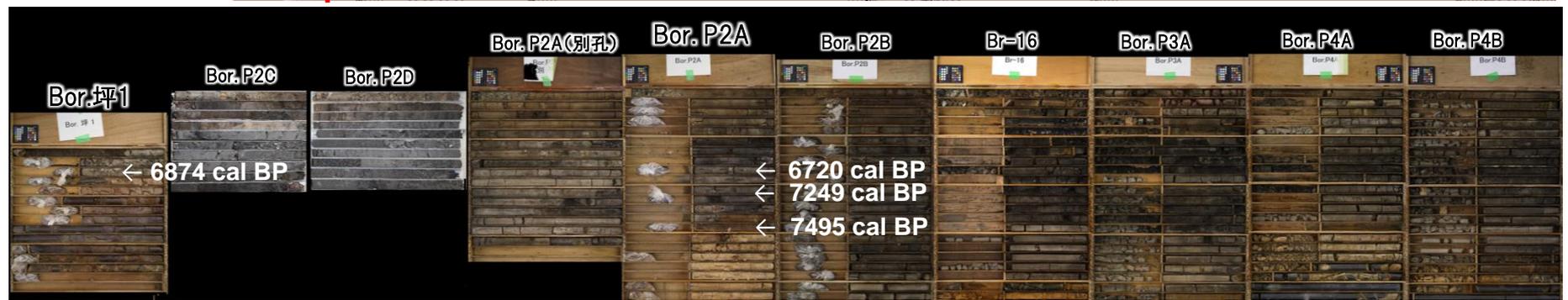
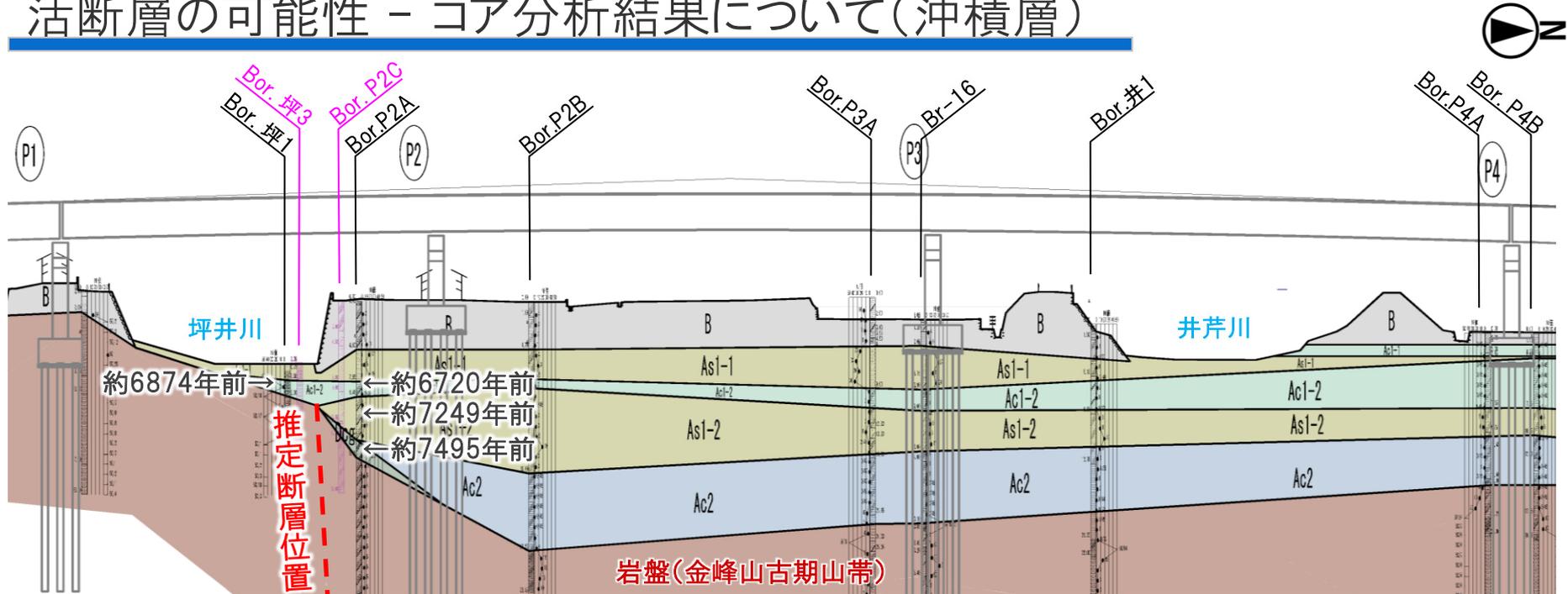
項目	目的
岩相観察	コアを観察し、地層や岩石に見られる特徴を把握
岩石薄片観察	コア対比の基準として、基盤の火山岩の特性を把握
全岩化学組成分析	//
14C 年代測定	断層の活動時期を特定するため、コアの年代を調べる
テフラ(火山灰)分析	//
微化石分析	//
岩石年代測定	断層の活動時期を特定するため、基盤部分の断層変位の推定



「活断層の可能性」・「想定変位量」・「活動間隔(頻度)」について検証

(報告1) 立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

活断層の可能性 - コア分析結果について(沖積層)



主に有明粘土層からなる沖積層においては、おおよそ地層の側方への連続性が確認できる。年代測定の結果、約7000年前から現在にかけて断層は活動していない可能性が高い。

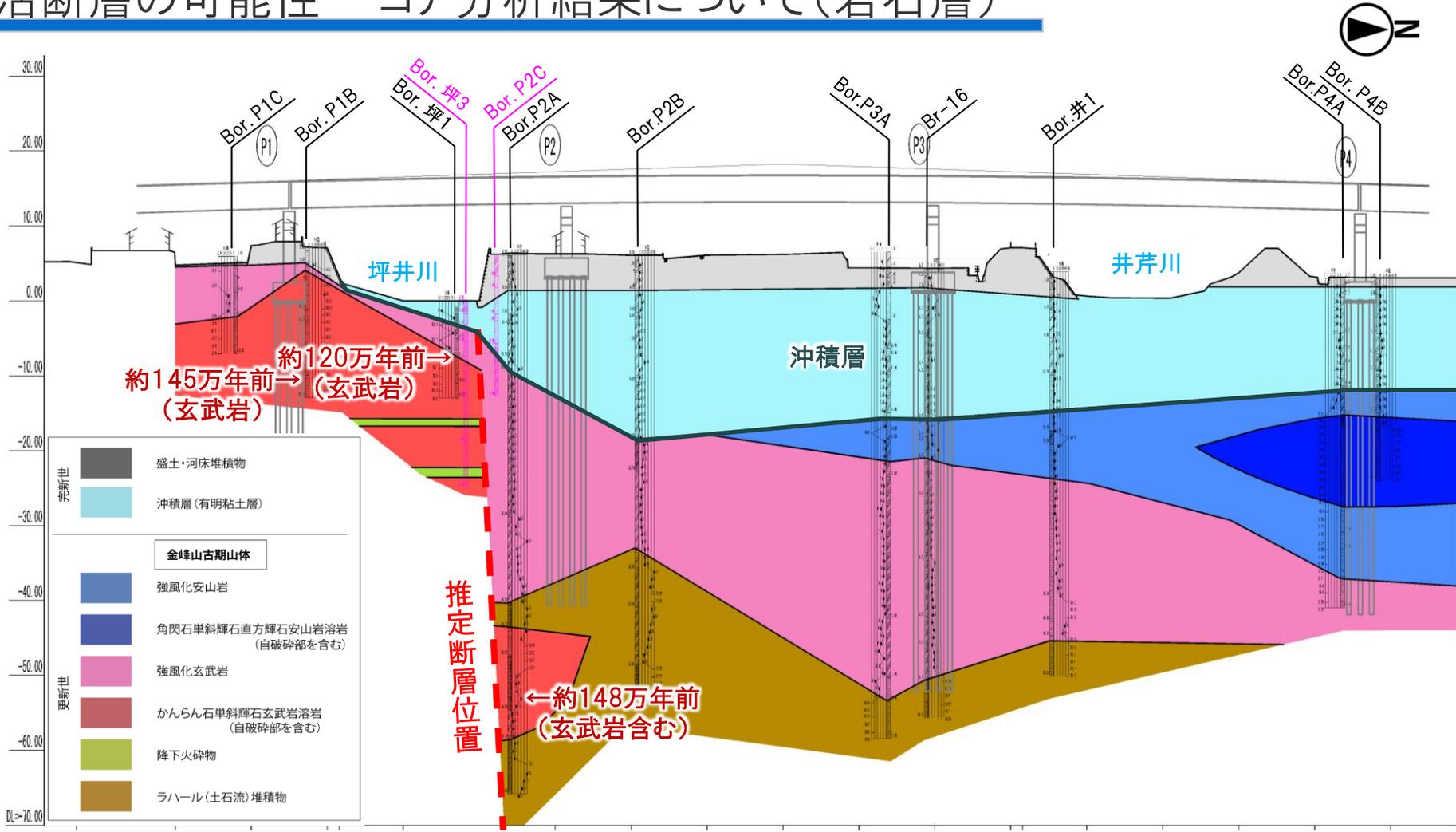
(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

活断層の可能性 - コア分析結果について(岩石層)



(報告1) 立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

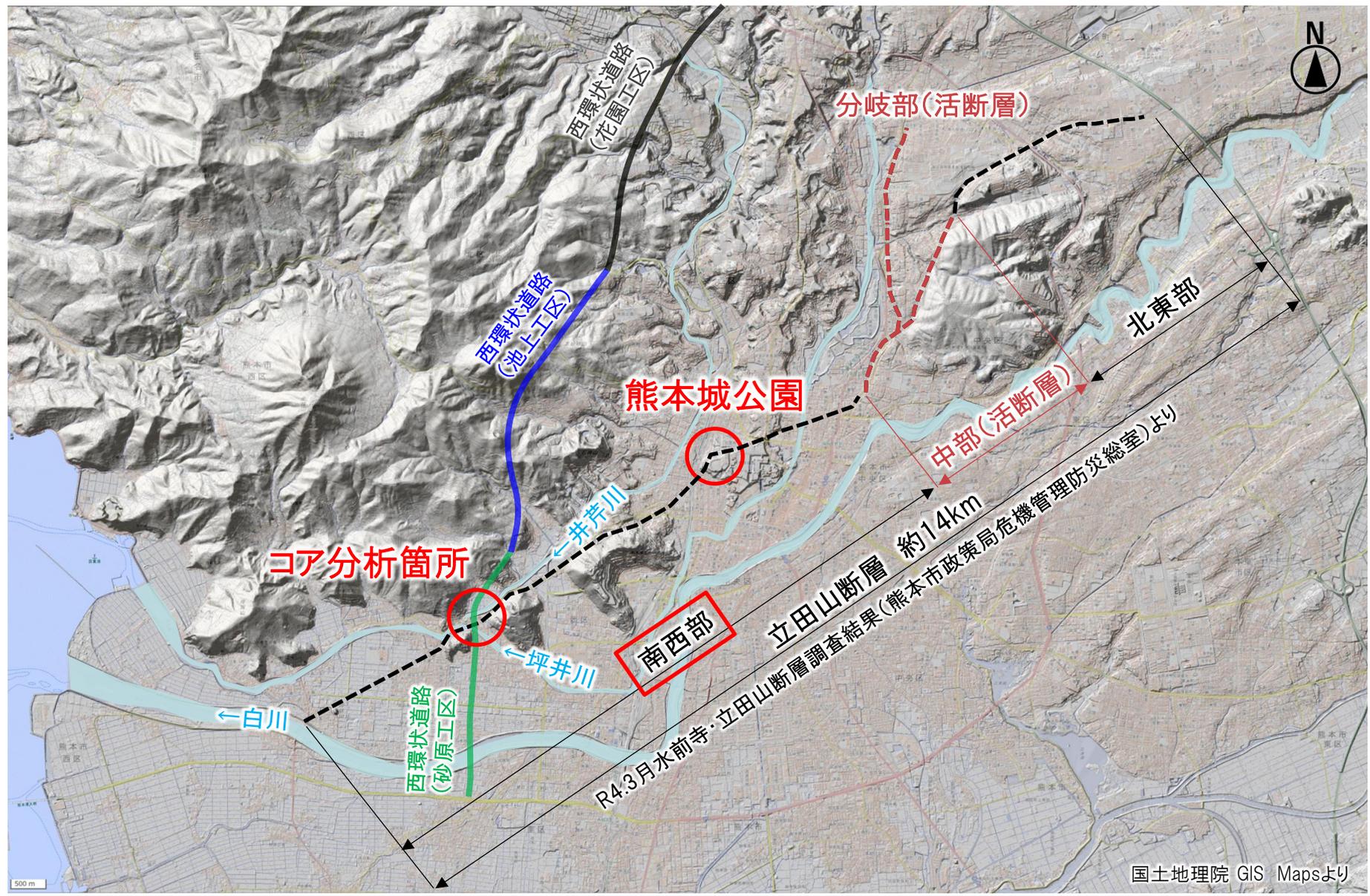
活断層の可能性 - コア分析結果について(岩石層)



岩石年代測定の結果、約140万年前の地層(玄武岩)の上下方向の変位を確認。
(南側が隆起)

(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

活断層の可能性 - 立田山断層について



(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

活断層の可能性 - 立田山断層(南西部)の活動について

< 南西部の活動に関する既存資料 >

熊本県 (1996)	独鈷山地区で行われた群列ボーリングの結果、沖積層中の鬼界アカホヤテフラ「K-Ah」が上下方向に1.1mの高度差を持っている
	熊本城公園付近において「Aso-3」と「Aso-4」の境界付近の堆積物(Aso-4の基底面)が上下方向に13m程ずれている
熊本城調査研究センター (2019)	熊本城公園付近において「Aso-3」の下位に分布する洪積粘性土層が上下方向に21~28m程度ずれている可能性がある

※阿蘇カルデラから噴出した火砕流堆積物 (Aso-3: 約13万年前噴火 Aso-4: 約9万年前噴火)



立田山断層によって地層が累積的に変位を受けており、
南西部が繰り返し活動していることを示唆

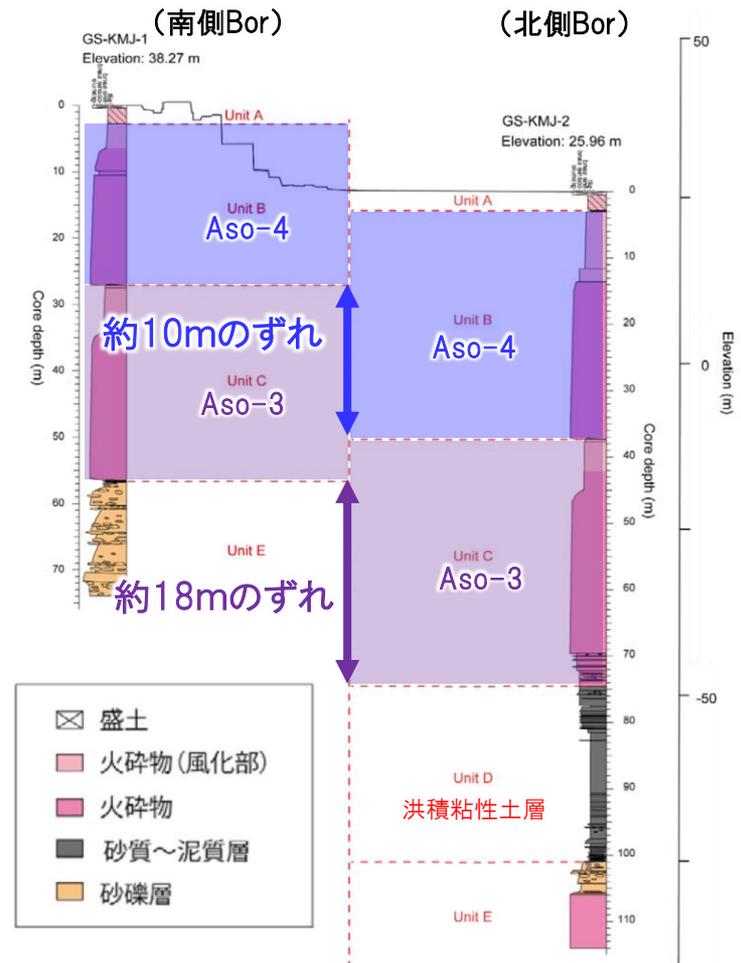
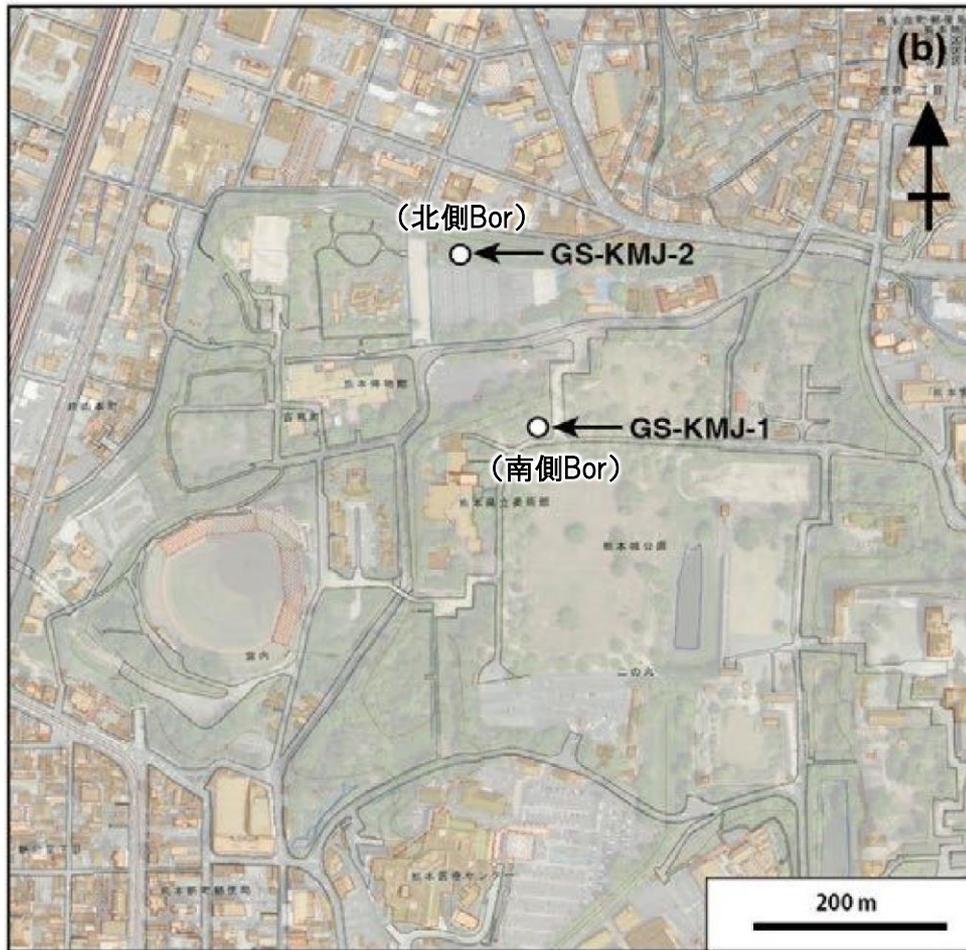


産業技術総合研究所 (2023)

熊本城公園付近に推定される立田山断層を挟んだ2地点でボーリング調査を実施

(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

活断層の可能性 - 立田山断層(南西部)の活動について



熊本城公園に推定される立田山断層周辺の地質構造解明に向けたボーリング調査(速報)(産業技術総合研究所)より

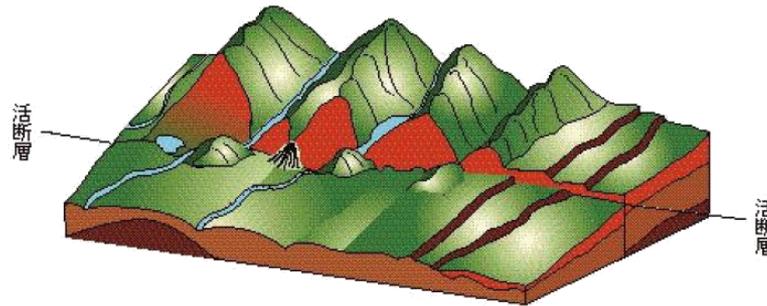
ボーリング調査の結果、Aso-3及びAso-4の基底面にずれが生じており、既存資料で示されている上下方向の累積的な変位が確認されている

(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

活断層の可能性について

活断層の定義

最近の地質時代に繰り返し活動し、将来も活動することが推定される断層のことである。最近の地質時代としてどこまでさかのぼるかであるが、「新編日本の活断層(活断層研究会)」では、**第四紀(約260万年前から現在までの間)に動いたとみなされる断層を活断層と定義している。**



地震調査研究推進本部事務局HP(文部科学省研究開発局地震火山防災研究課)より

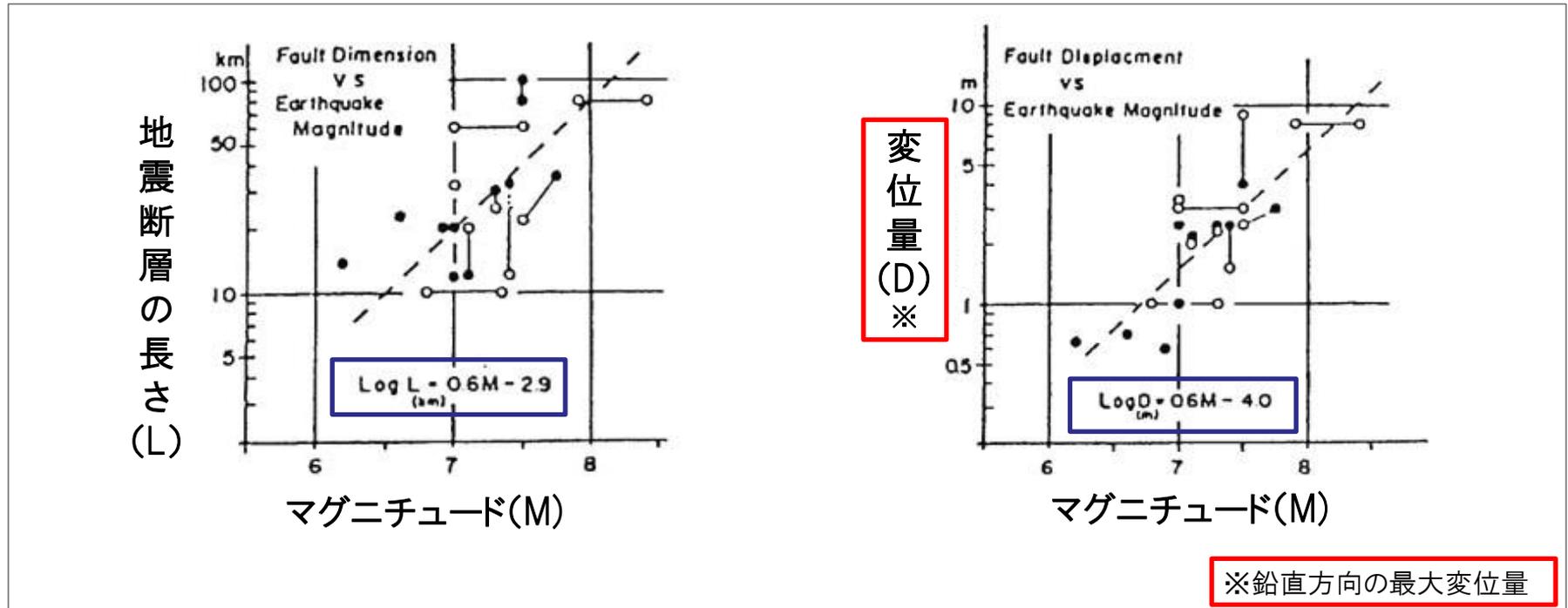


【報告】

コア分析の結果、**約140万年前の地層(玄武岩)で上下方向の変位を確認できたことや熊本城公園付近において、約13万年前・約9万年前の地層(Aso-3・Aso-4)で上下方向の累積的な変位が確認されていることを踏まえ、立田山断層の南西部も「活断層である可能性が高い」と判断した。よって今後実施する橋梁設計上は活断層として扱う。**

(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

想定変位量について(鉛直方向)



地震断層の長さ(L)と一回当りの変位量(D)とマグニチュードの関係(松田,1975)より

$$M = (\text{Log } L + 2.9) / 0.6$$

立田山断層の長さは約14kmであることから

$$M = (\text{Log } 14 + 2.9) / 0.6$$

$$M \doteq 6.74$$



$$M = (\text{Log } D + 4.0) / 0.6$$

マグニチュード6.74に対する変位量を逆算

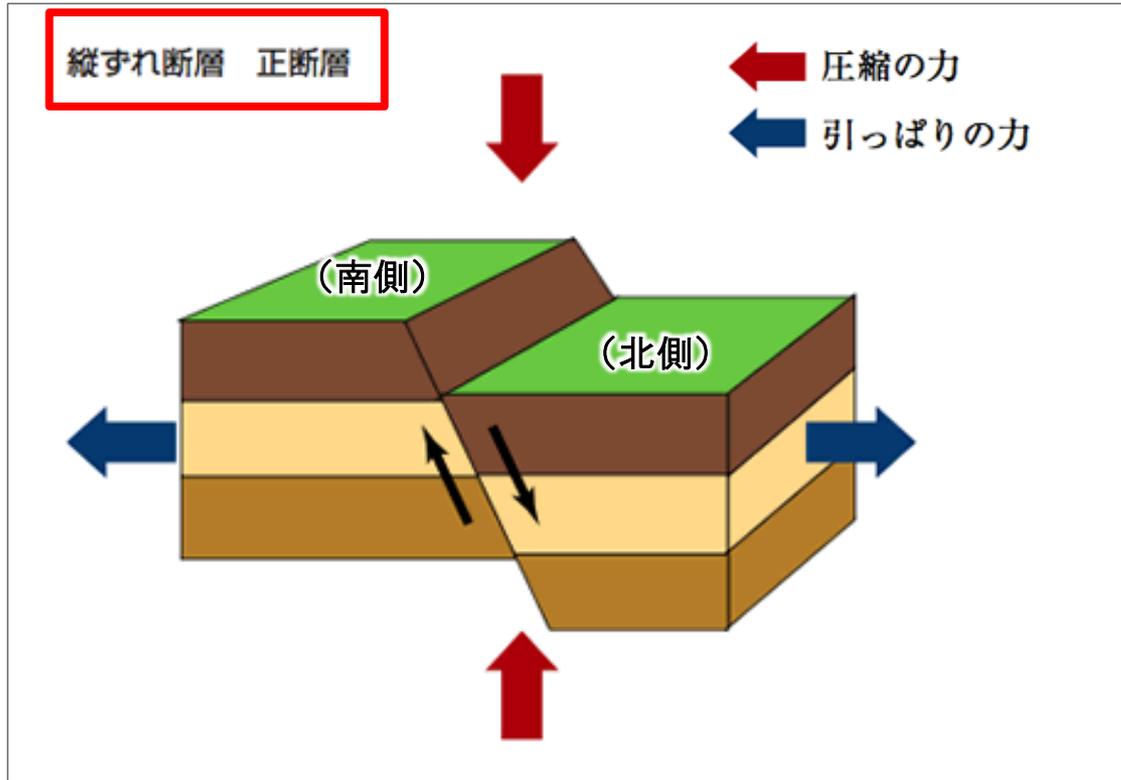
$$6.74 = (\text{Log } D + 4.0) / 0.6$$

$$D \doteq 1.10\text{m}$$

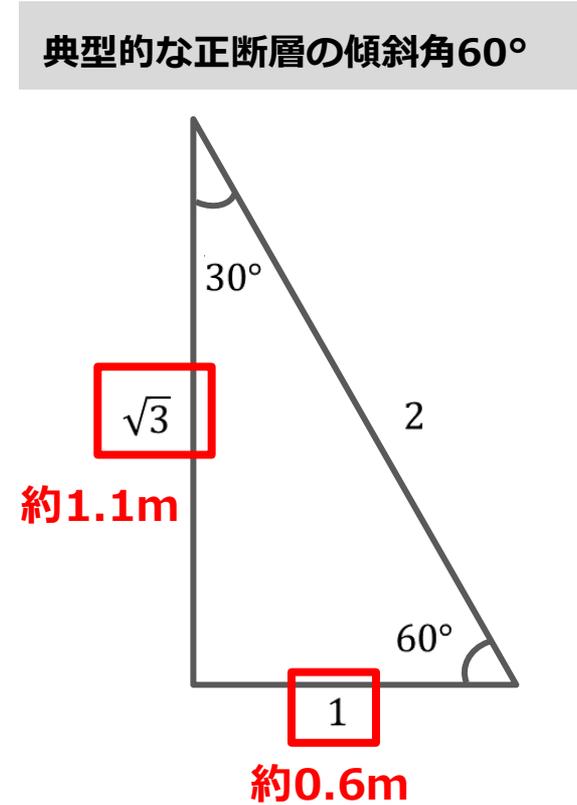
【報告】

活動一回当たりの鉛直方向の想定変位量は約1.1mと算定した。

(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について 想定変位量について(橋軸方向)



地震の発生のメカニズムを探る(文部科学省)より



鉛直方向の想定変位量は約1.1mとする場合

橋軸方向の変位量 D' : $1.1 = 1 : \sqrt{3}$ より $D' \cong 0.6m$

【報告】

活動一回当たりの橋軸方向の想定変位量は約0.6mと算定した。

(報告1) 立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について 想定変位量について(橋軸直角方向)

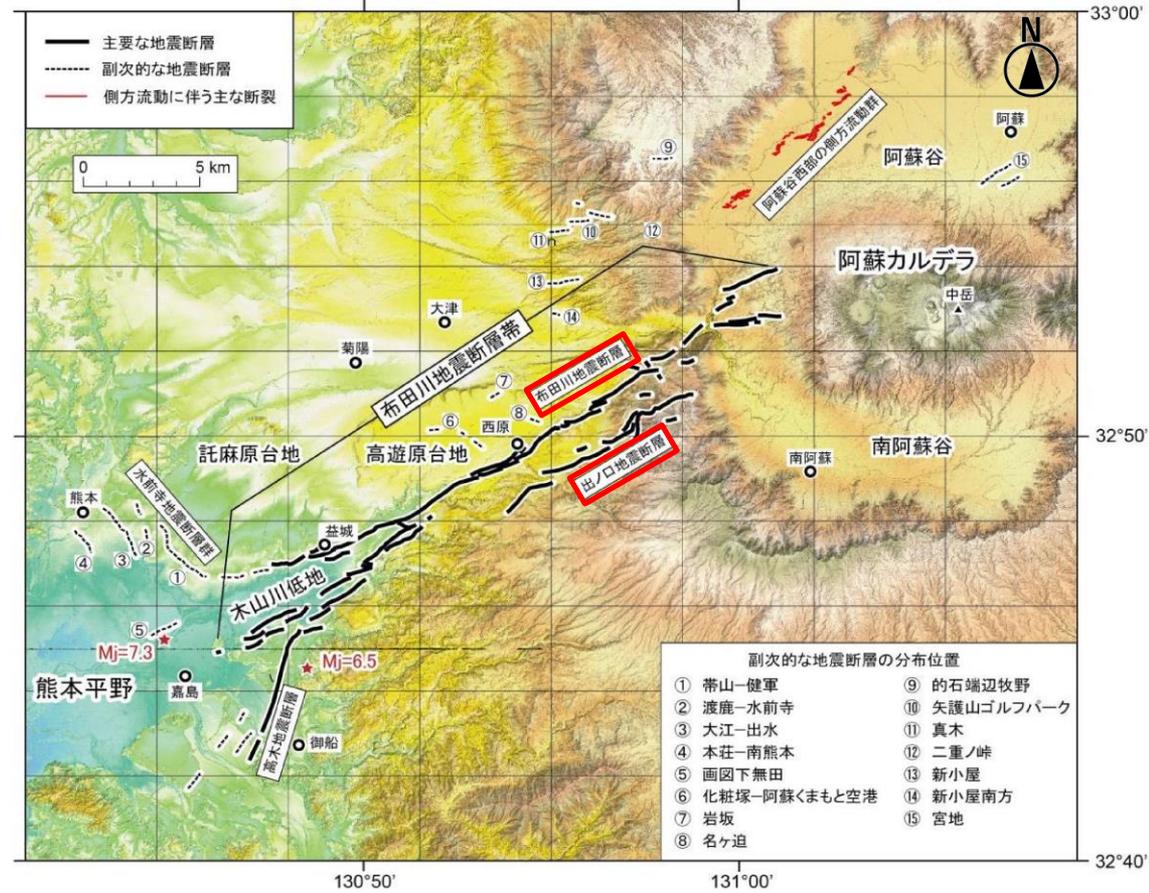
東北大学 遠田教授による考察

< 布田川断層 (横ずれ断層) >

- 平成28年熊本地震では最大2.2mの右横ずれ変位あり



- 中央部では北西落ちの正断層成分も大きい
- 約2 km南に並走する出ノ口断層で北落の正断層変位あり
- 地下震源部分は北西傾斜70°で立田山断層の構造と似ている

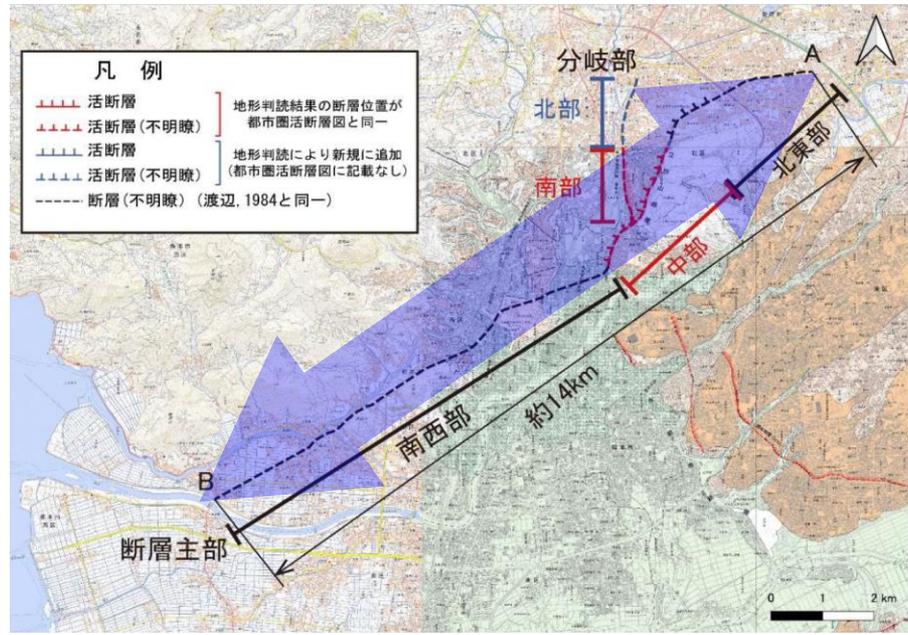


平成 28 年(2016 年)熊本地震に伴う地震断層の分布図(地震調査研究推進本部)より

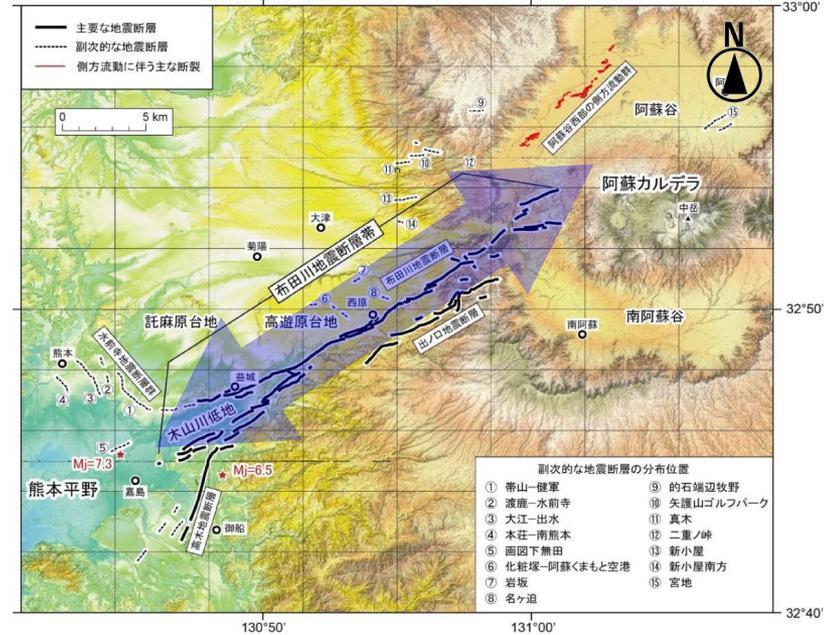
(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について 想定変位量について(橋軸直角方向)

東北大学 遠田教授による考察

・立田山断層南西部の走向はN57° Eであり、熊本地震時に変位した布田川断層のN60° Eと類似



R4.3月水前寺・立田山断層調査結果より
(熊本市政策局危機管理防災総室)



平成 28 年(2016 年)熊本地震に伴う地震断層の分布図
(地震調査研究推進本部)より

現状の広域応力場では、**立田山断層も相応の右横ずれ変位を生じる可能性があり、鉛直変位と同程度の1m強の右横ずれも考慮すべきだ**と考える

【報告】
活動一回当たりの**橋軸直角方向の想定変位量は約1.1m(鉛直方向と同程度)**とした。

(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

活動間隔(頻度)について

活動間隔(頻度)の求め方

- ・活断層は一定の時間間隔で繰り返しずれ動くように活動し、その時間間隔のことを「活動間隔」という
- ・「活動度(平均変位速度)」とは、活断層の活動の活発さの度合いを示す指標であり、長期間にわたる平均的なずれの速さで表される(単位:m/千年)



$$\text{距離「想定変位量」} \div \text{速さ「活動度」} = \text{時間「活動間隔」}$$

対象とする地層

コア分析結果

➡約140万年前に堆積した地層(玄武岩)で上下方向の変位を確認

産業技術研究所ボーリング調査結果

➡約13万年前・約9万年前に堆積した地層(Aso-3・Aso-4)で上下方向の変位



より新しい時代に堆積した地層(Aso-3・Aso-4)の変位を対象として算出

(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

活動間隔(頻度)について

Aso-3 (約13万年前)

熊本城公園付近で約18mのずれを確認

活動度 (平均変位速度) = $18\text{m} \div 13\text{万年} \approx 0.13\text{m/千年}$

➡活動1回あたりの鉛直方向の想定変位量は約1.1m

活動間隔 = $1.1\text{m} \div 0.13\text{m/千年} \approx 8,500\text{年}$

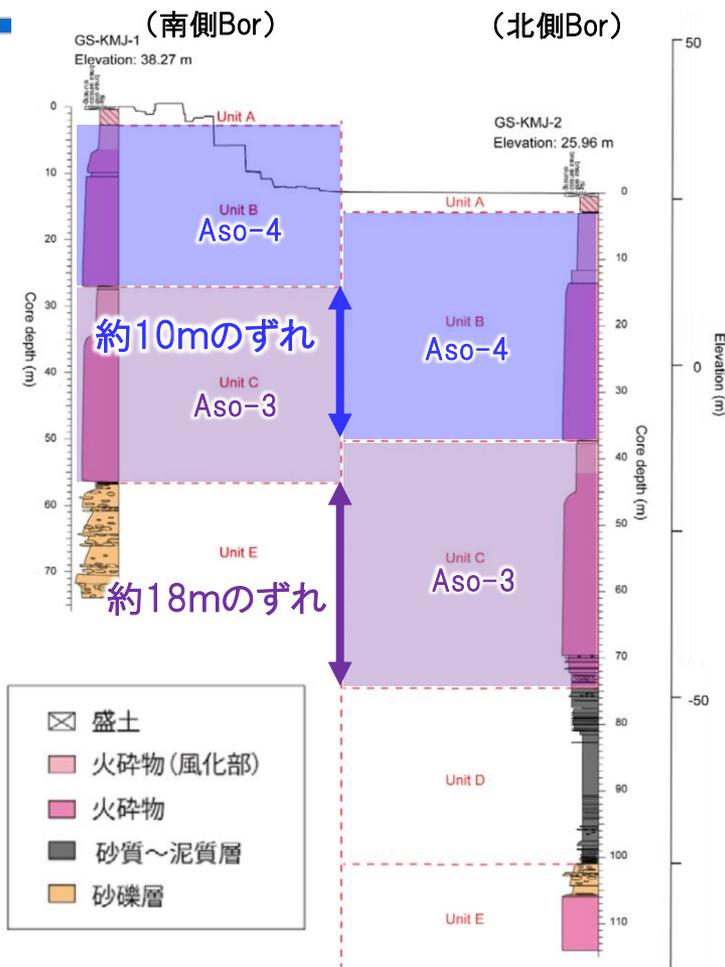
Aso-4 (約9万年前)

熊本城公園付近で約10mのずれを確認

活動度 (平均変位速度) = $10\text{m} \div 9\text{万年} \approx 0.11\text{m/千年}$

➡活動1回あたりの鉛直方向の想定変位量は約1.1m

活動間隔 = $1.1\text{m} \div 0.11\text{m/千年} \approx 10,000\text{年}$



熊本城公園に推定される立田山断層周辺の地質構造解明に向けたボーリング調査(速報)(産業技術総合研究所)より

【報告】

活動間隔(頻度)は約1万年に1回程度と判断した。

(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

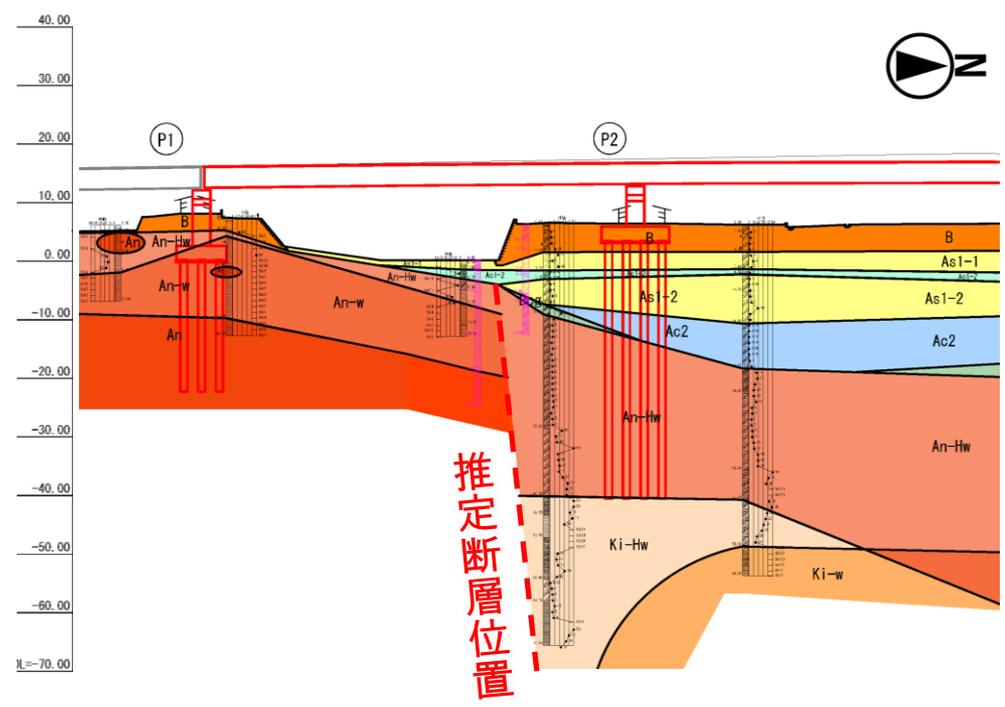
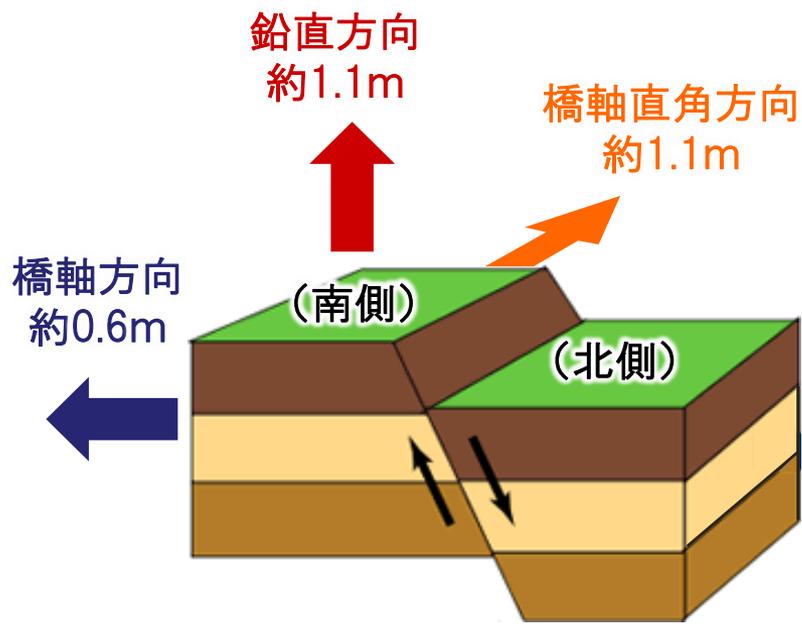
検証結果のまとめ

活断層の可能性

「活断層である可能性が高い」と判断し、橋梁設計上は活断層として扱う。

想定変位量

方向別の想定変位量を算出。



活断間隔 (頻度)

約 1 万年に1回程度と判断。

(報告1)立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

橋梁設計に向けて

<断層に関する文献>

国土交通省 事務連絡(H28.09.13)

「平成28年度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」

- ・やむを得ず活断層を避けることができない場合には、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も、**できる限り早期に復旧することが可能な**橋梁形式・構造の選定、下部構造の設置位置等に**配慮**する
- ・その際、地質の専門家、橋梁の専門家の意見を踏まえて検討するのがよい

道路橋示方書(H29)

- ・断層の影響を受ける場合は、**致命的な被害が生じにくくなるよう考慮**した設計をする



【橋梁設計の方針】

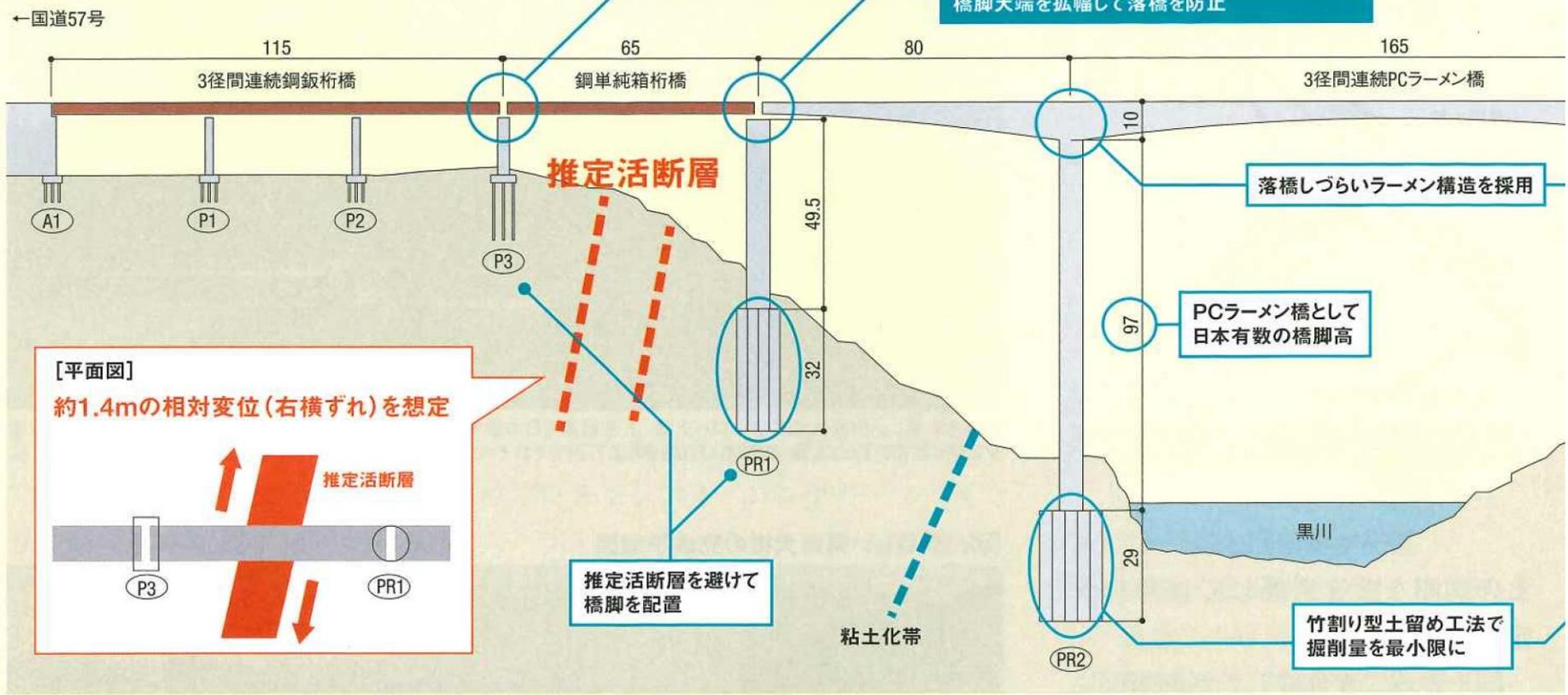
現在の橋梁計画を基本に、今回報告した断層の想定変位量を踏まえ、**橋に機能的な損傷が生じても、できる限り早期に復旧することが可能な構造等に配慮しながら進める。**

(報告1) 立田山断層の調査結果を踏まえた橋梁設計の考え方について

(参考)断層を考慮した橋梁の設計事例

<新阿蘇大橋>

図3 ■ 新しい阿蘇大橋の工夫

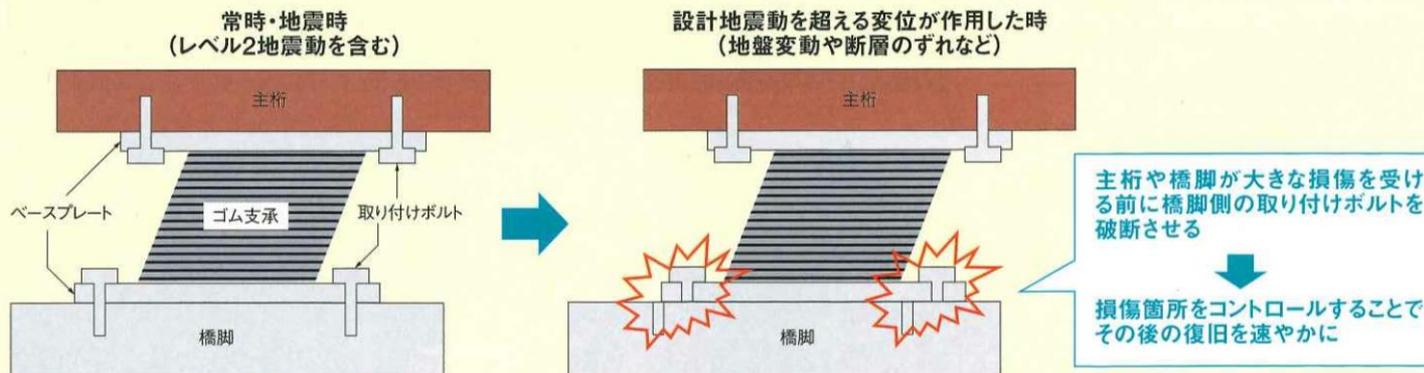


橋の縦断勾配の表現は省略した。国土交通省の資料に本誌が追記

(参考)断層を考慮した橋梁の設計事例

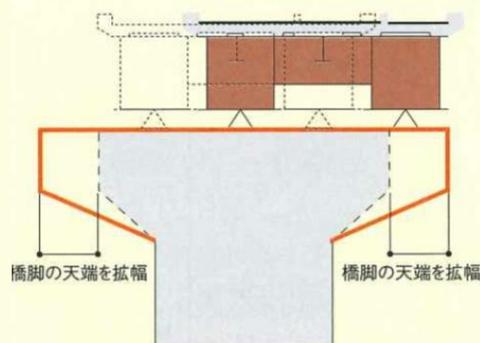
<新阿蘇大橋>

図4 ■ 支承の損傷箇所をコントロール



レベル2地震動に対する挙動は従来と変わらない。断層変位などが生じた際は支承の取り付けボルトが先に破断して、主桁や橋脚の損傷を最小限に抑える。その後の復旧工事を容易にすることが目的だ。取材を基に本誌が作成。図はイメージ

図5 ■ 推定活断層をまたぐ橋脚の正面図



支承の取り付けボルトが損傷して桁がずれても落橋しないように、橋脚の天端を拡幅する(資料:国土交通省)

次第

1. (審議)

橋脚施工時における仮締切土留めの必要性について

2. (報告1)

立田山断層の調査結果を踏まえた

橋梁設計の考え方について

3. (報告2)

池上工区で新たに確認された断層への対応について

(報告2)池上工区で新たに確認された断層への対応について

位置図



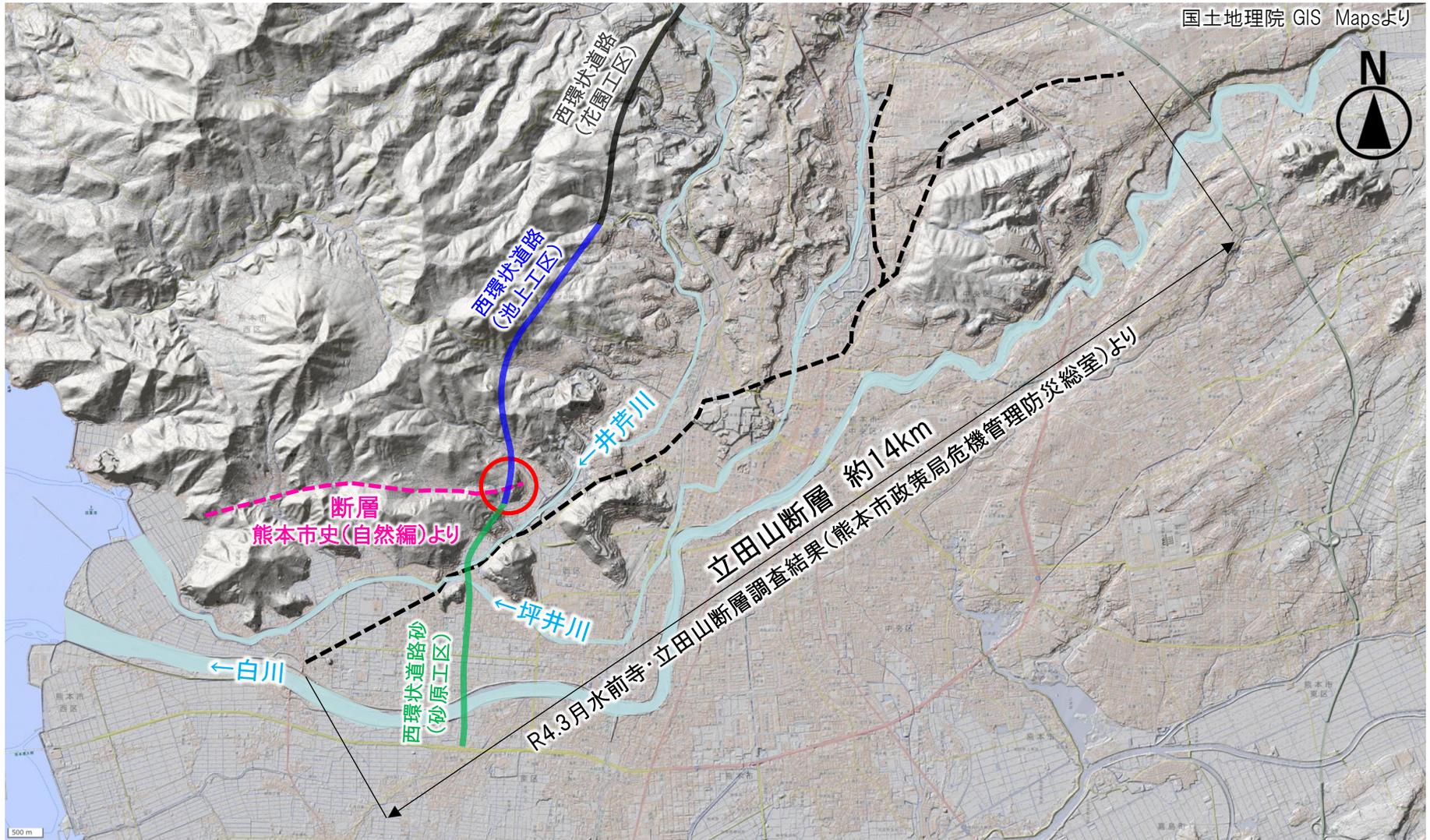
一山を削る工事を行っていたところ、断層らしきものを発見した一

【今回の報告】

①施工時の対策②供用後の管理方法

(報告2)池上工区で新たに確認された断層への対応について

断層の位置

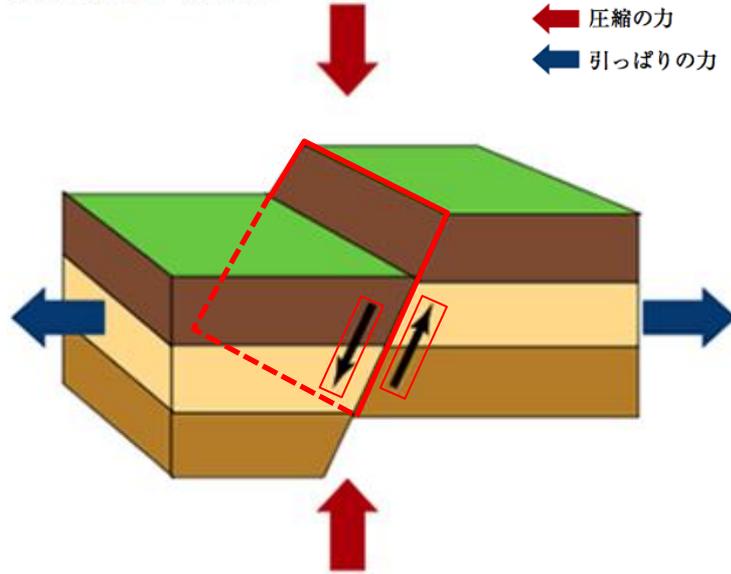


断層らしきものが見つかった箇所は、文献(熊本市史)と概ね一致している

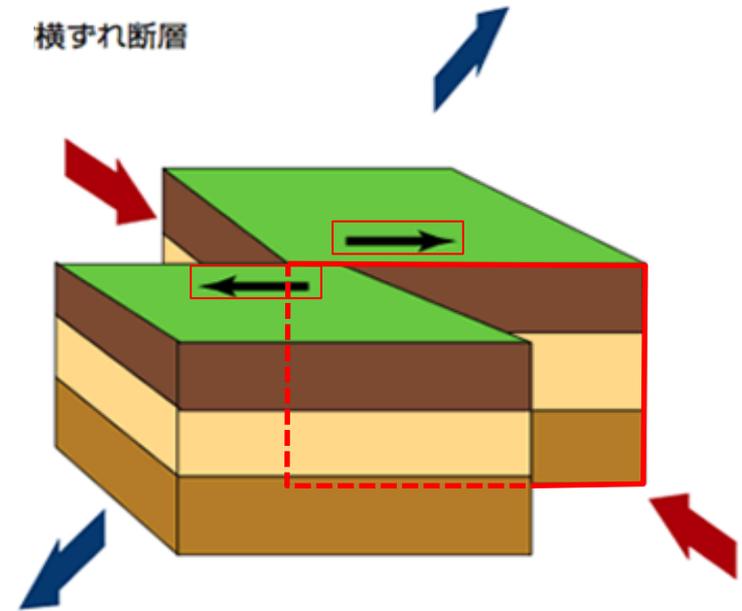
(報告2)池上工区で新たに確認された断層への対応について

縦ずれ・横ずれの定義

縦ずれ断層 正断層



横ずれ断層



地震の発生のメカニズムを探る(文部科学省)より

●縦ずれ
断層面を境として、両側のブロックが
上下方向に動く

●横ずれ
断層面を境として、両側のブロックが
水平方向に動く

(報告2)池上工区で新たに確認された断層への対応について

現地の状況



層境の左右で地層構成が大きく異なる

【考察】
地層が連続せず急変しているため、過去に縦ずれが発生したと考えられる

(報告2)池上工区で新たに確認された断層への対応について

現地の状況

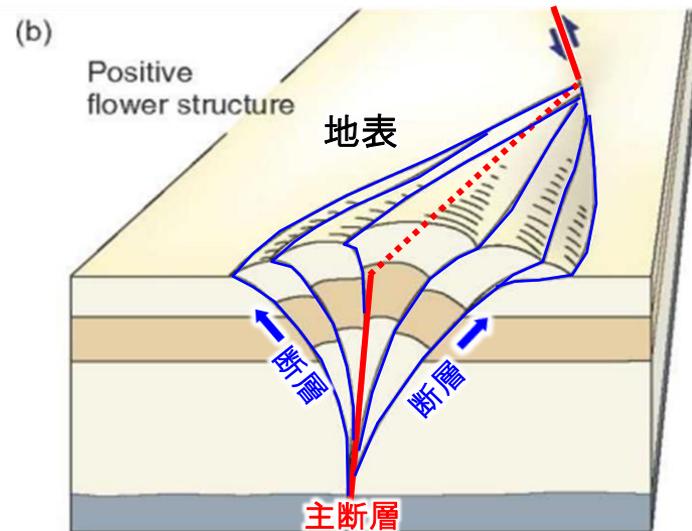
●東北大学 遠田教授による考察



花弁状構造の定義

主断層から地表に向かって分岐した複数の断層が
花弁のように広がる構造

※横ずれ断層に典型的にみられる構造



図：花弁状構造

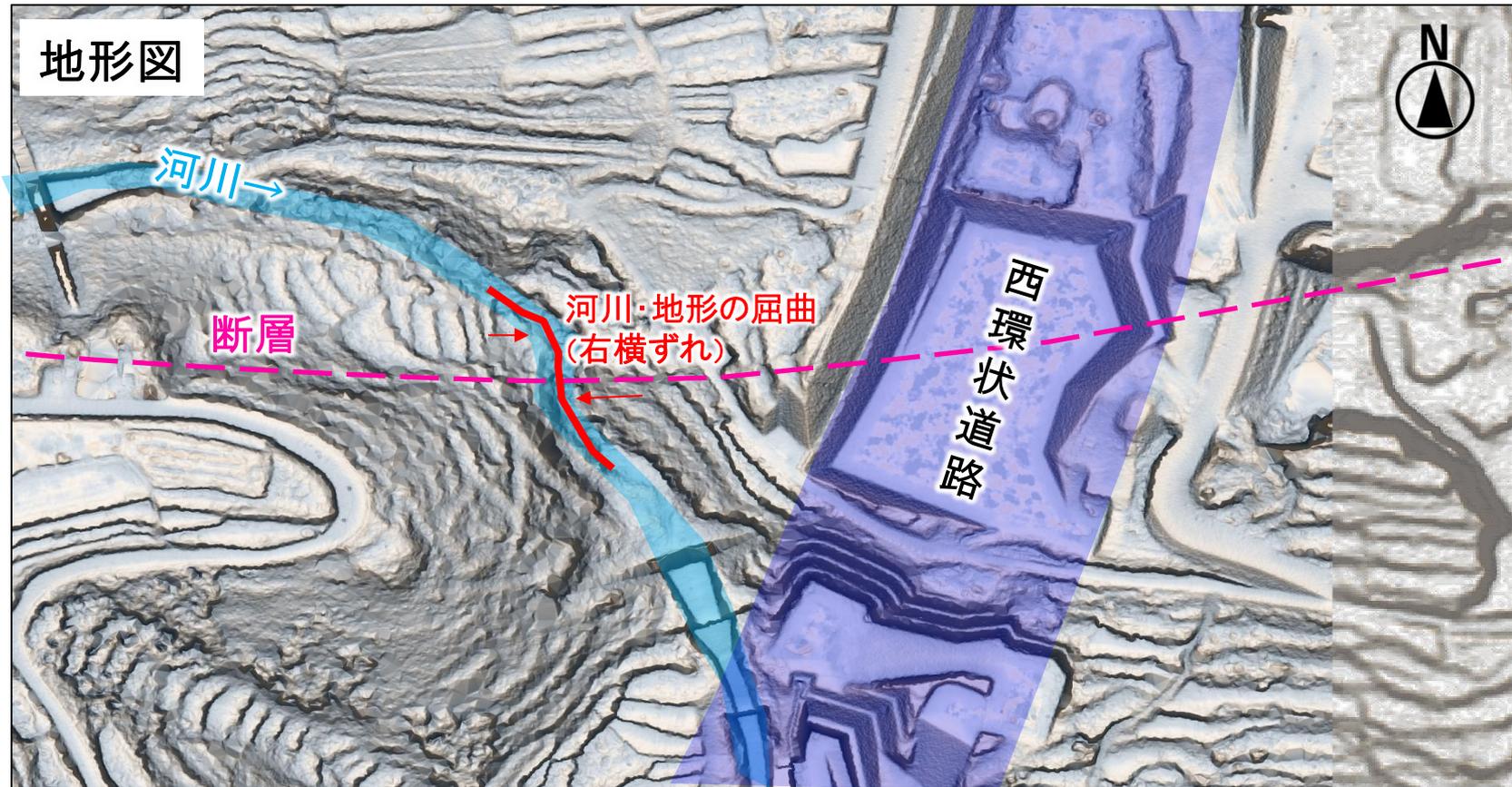
層境周辺に、複数の亀裂が観察できた



横ずれ断層に典型的にみられる、花弁状構造であると判明

(報告2)池上工区で新たに確認された断層への対応について

層境周辺の地形



河川と断層が交わる付近で、河川や地形の屈曲がみられた



【考察】

過去に縦ずれだけでなく、横ずれも発生したと考えられる

(報告2)池上工区で新たに確認された断層への対応について

供用開始前と供用開始後の対応

【①施工時の対策】

国土交通省鉄道局監修(H24.09)「鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計」より、

○鉄道が断層を跨ぐ場合は、橋梁ではなく土構造を用いることが推奨されている。

○これは被災後の復旧が容易であり、線路を支持する機能が壊滅的に損なわれる程度が比較的小さい。



●本区間は土構造であるため、道路土工一切土工・斜面安定工指針に従い、切土のり面に吹付法砕工を実施した。

【②供用後の管理方法】

●変位量を観測するため、法面小段に10m間隔で鉤を設置。

●震度4以上の地震が発生した場合、変状が生じていないか確認を行う。

