

施 工 の 経 緯

<立坑～連絡坑～標準Ⅰ～標準Ⅱ～3連トンネル中央坑>

参考資料-1	立坑深度変更	.....	P2
参考資料-2	連絡坑掘削	.....	P3
参考資料-3	標準トンネルⅠ・Ⅱ型(先進導坑掘削)	.....	P10
参考資料-4	3連トンネル中央坑掘削	.....	P14
参考資料-5	標準Ⅱ型の拡幅掘削	.....	P16

平成28年11月29日(火)

参考資料-1 立坑深度の変更

○立坑部における地質調査の結果、現場の地質について下記のような当初設計条件との相違が見られた。

連絡坑の切羽天端部（GL-19.5m付近）にあたるD級岩盤の変形係数が当初設計よりも低い値であり、土砂地山の変形係数（7,300KN/m²）に近い値であった。
 当初設計：56,000KN/m² → 調査結果：6,800KN/m²



○立坑掘削時、当初設計における連絡坑の天端部付近（GL-19.5m付近）で出現したD級岩盤について割れ目が多く、バックホウで容易に掘削できた。

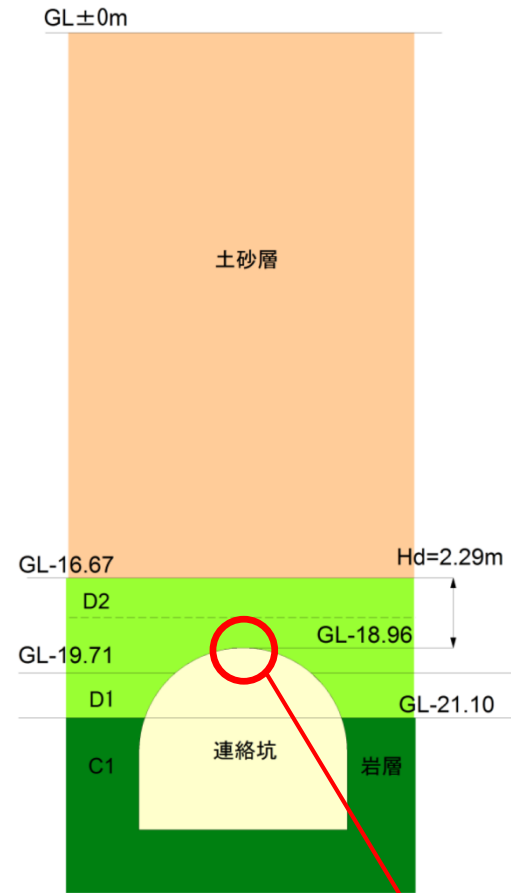


天端の崩落や肌落ちが懸念されることから連絡坑の掘削をより安全に施工するため、立坑深度を約3m深くした。（本坑深度変更は不可）

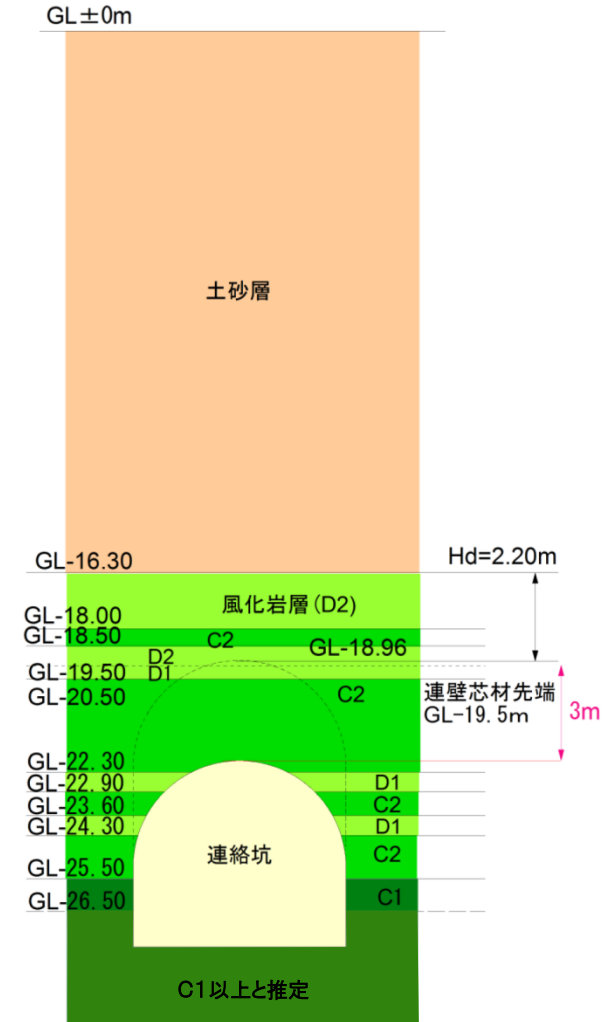
当初深度：25.098m
 変更深度：28.164m

●当初設計と立坑部地質調査結果に基づいた地層分布の比較

【当初設計における地層境界】

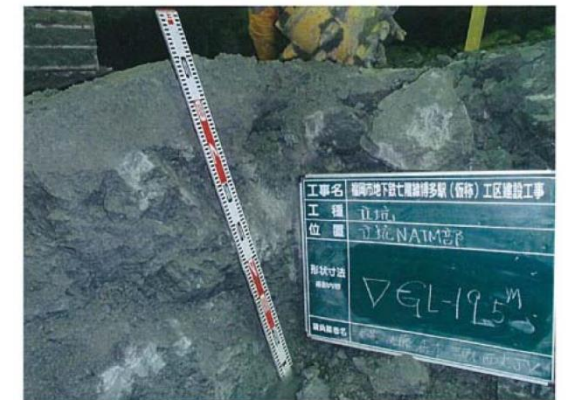


【立坑掘削時及び立坑部での調査ボーリングで確認した地層境界】



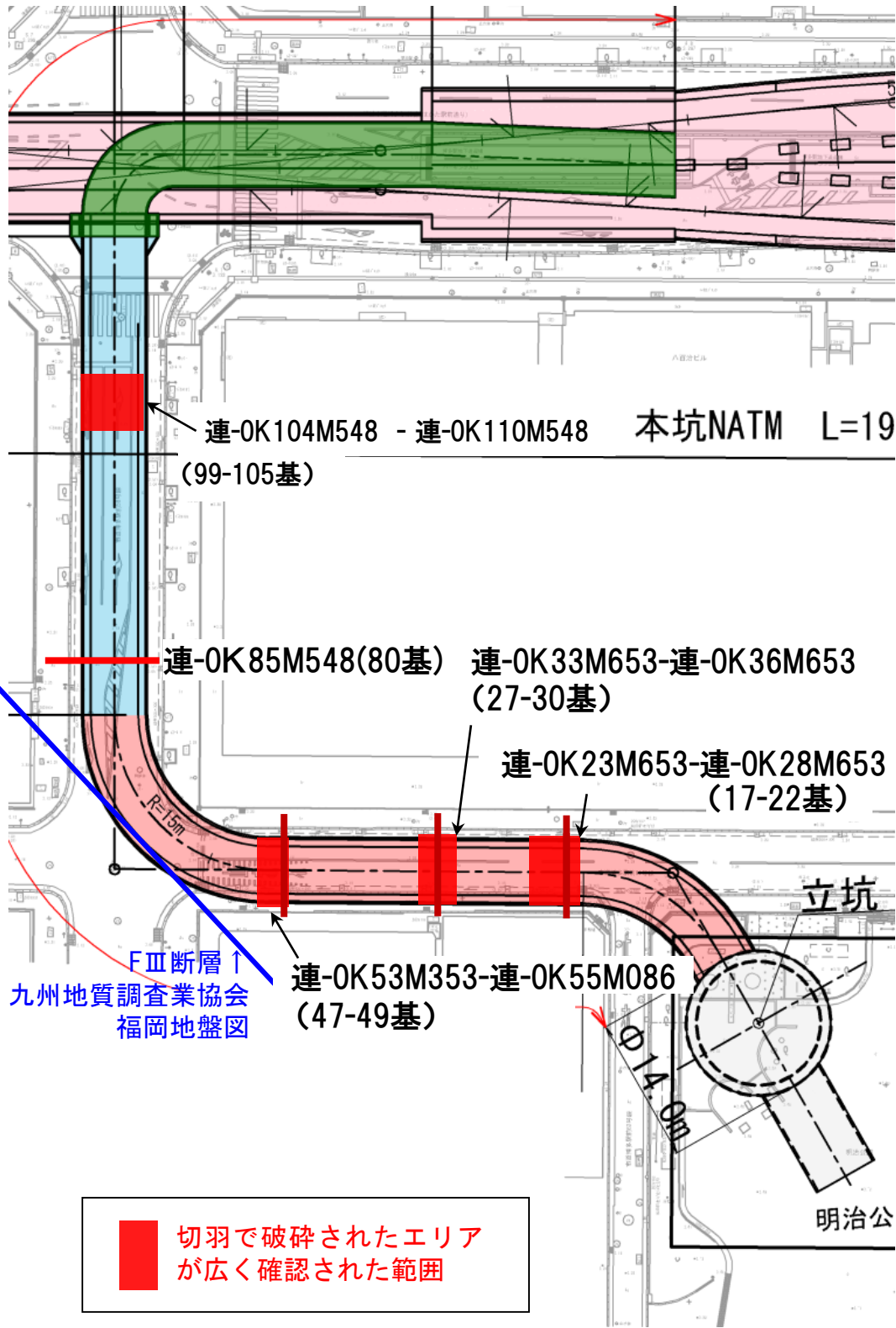
（凡例）点線：当初設計の連絡坑の位置

●GL-19.5m付近における地山状況写真



a部の拡大写真

参考資料-2 連絡坑掘削



○ 破碎されている箇所
 ✓ 湧水箇所

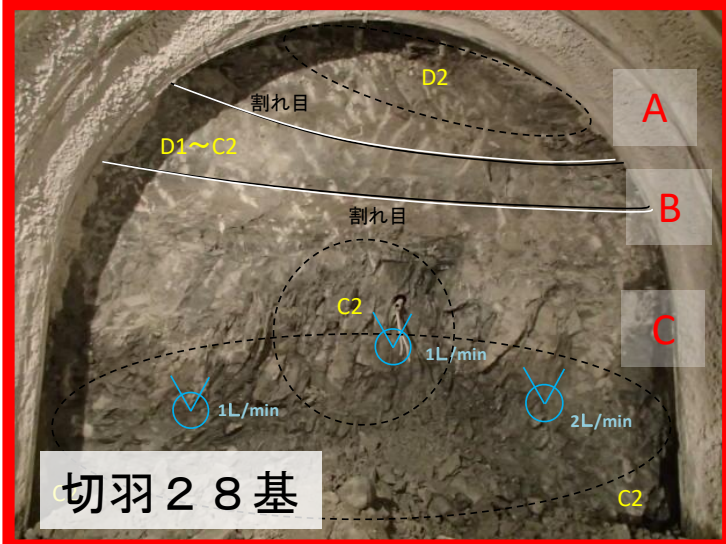


【破碎箇所の切羽観察】

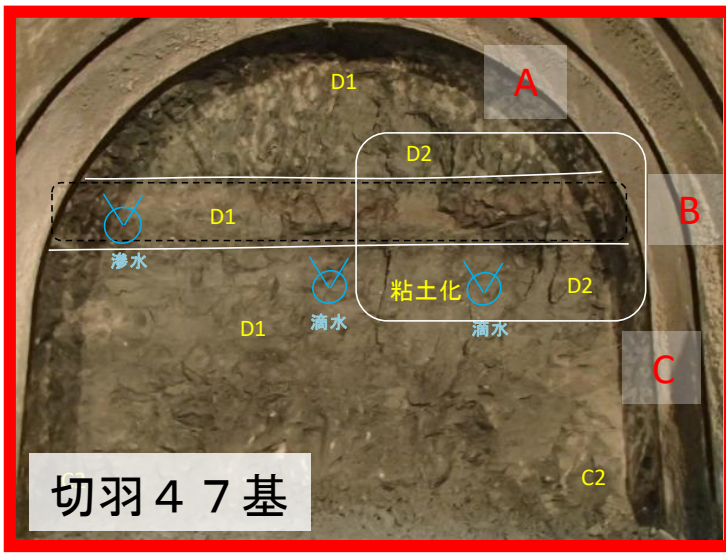
(範囲A:トンネル天端付近)
 破碎箇所が天端付近に分布し、肌落ちが生じる。

(範囲B:トンネル上・中央部)
 D1~C2程度の頁岩である。

(範囲C:トンネル中・下部)
 トンネル下半部はD1~C2であるが、
 破碎作用を受けて一部粘土化した箇所も見られる。

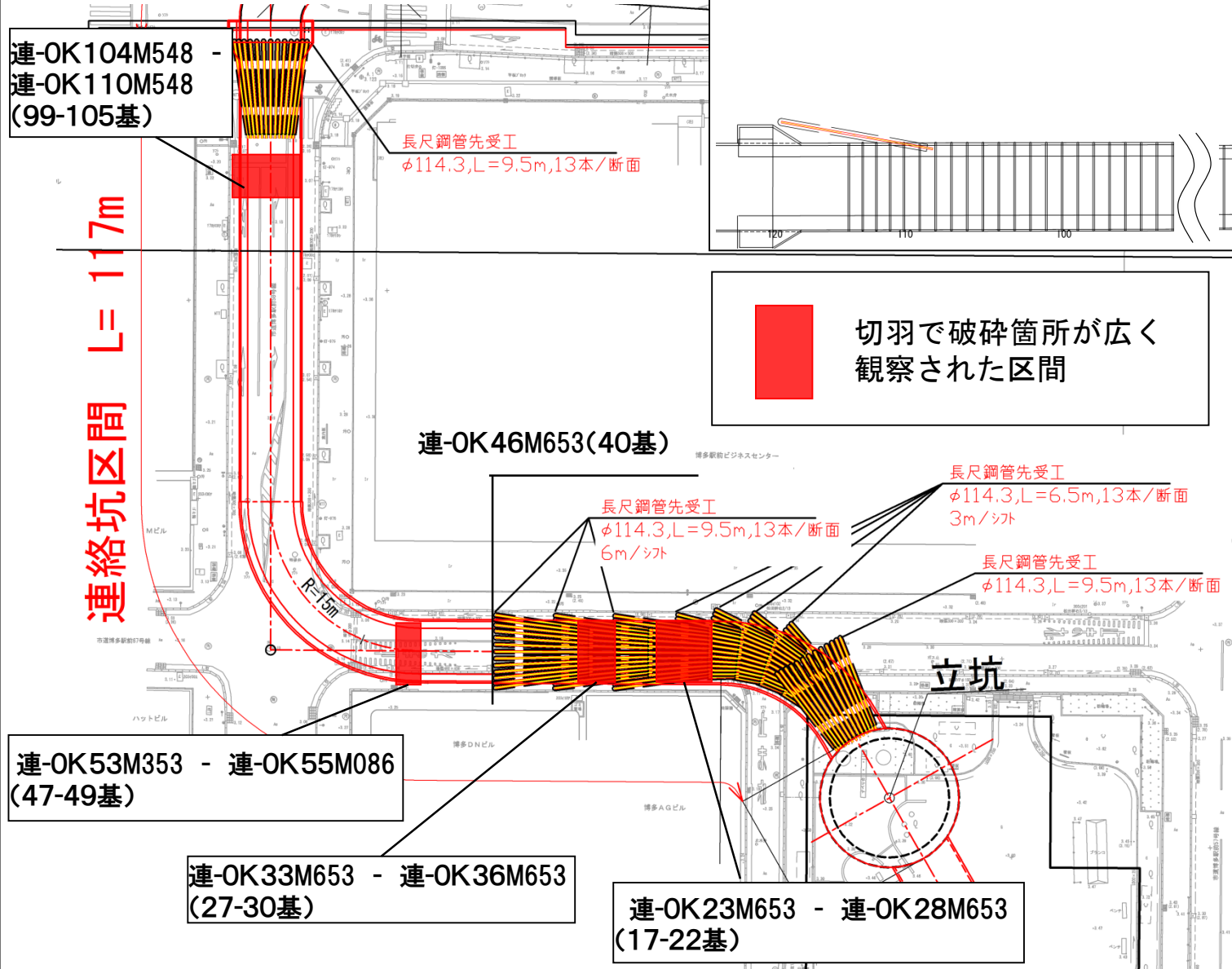


【安定した地山】
 天端付近の破碎はない。

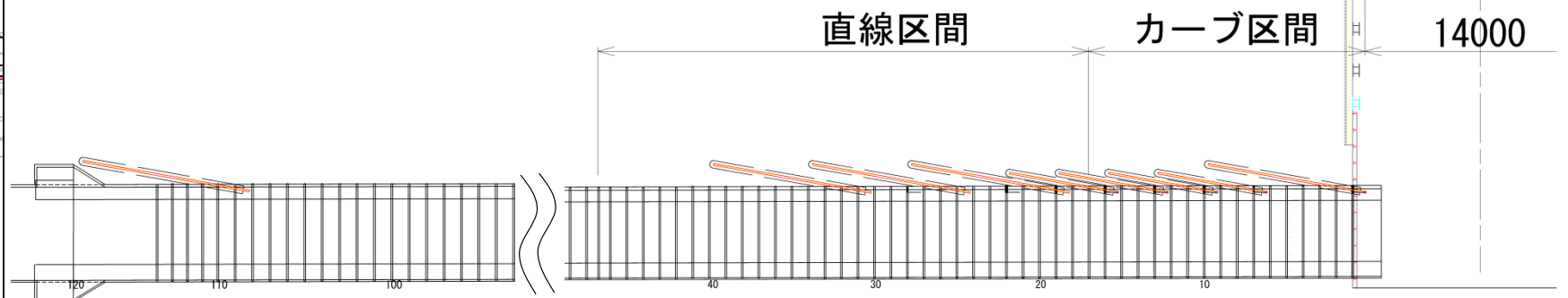



参考資料-2 連絡坑掘削

連絡坑の補助工法



断面図



 切羽で破碎箇所が広く観察された区間

補助工法の実施の可否については地山観察調査の結果に基づき、毎切羽毎に判断を行った。

【追加補助工法施工範囲】

- 長尺鋼管先受工 (AGF)
計9シフト (左図の範囲)
 - ・坑口~OK46M653 (40基)
 - ・OK115M548 (110基) ~OK124M548 (119基)
- 鏡吹付工 (t=5cm)
全基実施

・坑口~34基目, 及び110基目については長尺鋼管先受工を施工した。

・35基目~109基目については、長尺鋼管先受工は不要と判断した。

●計測結果まとめ

A計測：切羽離れ20mで収束
 B計測：鋼製支保工応力は切羽離れ50m
 吹付応力は切羽離れ20mで収束

計測項目		管理値	上段:計測値(mm) 下段:管理値に対する割合														判定
			連-0K10M000 (5基)	連-0K20M000 (13基)	連-0K30M000 (23基)	連-0K40M000 (33基)	連-0K50M000 (43基)	連-0K60M000 (54基)	連-0K70M000 (64基)	連-0K80M000 (74基)	連-0K90M000 (84基)	連-0K100M000 (94基)	連-0K110M000 (104基)		連-0K120M000 (115基)		
A計測	地表面沈下量(mm) ^{*2)}	-30	-	-1.4	-1.7	-2.1	-1.1	-0.3	-1.0	-0.8	-1.2	-3.0	-3.8		-6.9		OK
			-	4.7%	5.7%	7.0%	3.7%	1.0%	3.3%	2.7%	4.0%	10.0%	12.7%		23.0%		
	地表面傾斜角(1/1000rad) ^{*3)}	0.5	-	0.28	-	0.38	-	0.09	-	0.13	-	0.22	-		0.19		OK
			-	56.0%	-	76.0%	-	18.0%	-	26.0%	-	44.0%	-		38.0%		
	天端沈下量(mm) ^{*2)}	-41	5基	13基	22基	33基	41基	51基	61基	71基	81基	91基	101基	106基	112基	115基	OK
			0.6	-4.2	-3.7	-4.1	-2.5	-0.6	-1.5	-2.5	-2.5	-2.4	-2.5	-3.6	-4.1	-2.2	
内空変位量(上部)(mm) ^{*4)}	-11	-0.1	-3.6	-2.9	-1.0	-2.1	0.7	-2.0	-1.4	-1.1	0.0	-0.2	-1.0	-4.4	-4.8	OK	
		0.9%	32.7%	26.4%	9.1%	19.1%	-6.4%	18.2%	12.7%	10.0%	0.0%	1.8%	9.1%	40.0%	43.6%		
内空変位量(下部)(mm) ^{*4)}	-10	-0.6	1.4	-3.4	1.7	-1.0	0.3	-1.1	-1.2	-2.4	-0.4	-1.5	-4.2	-9.6	-13.2	対策済	
		6.0%	-14.0%	34.0%	-17.0%	10.0%	-3.0%	11.0%	12.0%	24.0%	4.0%	15.0%	42.0%	96.0%	132.0%		
B計測	鋼アーチ支保工応力 内空側(N/mm2) ^{*5)}	210	-	-	99.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK	
			-	-	47.3%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
	鋼アーチ支保工応力 地山側(N/mm2) ^{*5)}	210	-	-	116.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK	
-			-	55.6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
吹付けコンクリート応力 (N/mm2) ^{*5)}	9	-	-	3.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	OK		
		-	-	35.6%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			

*1)・・・キロ程は10mピッチとし、計測値は最も近接する計測断面の値とした。

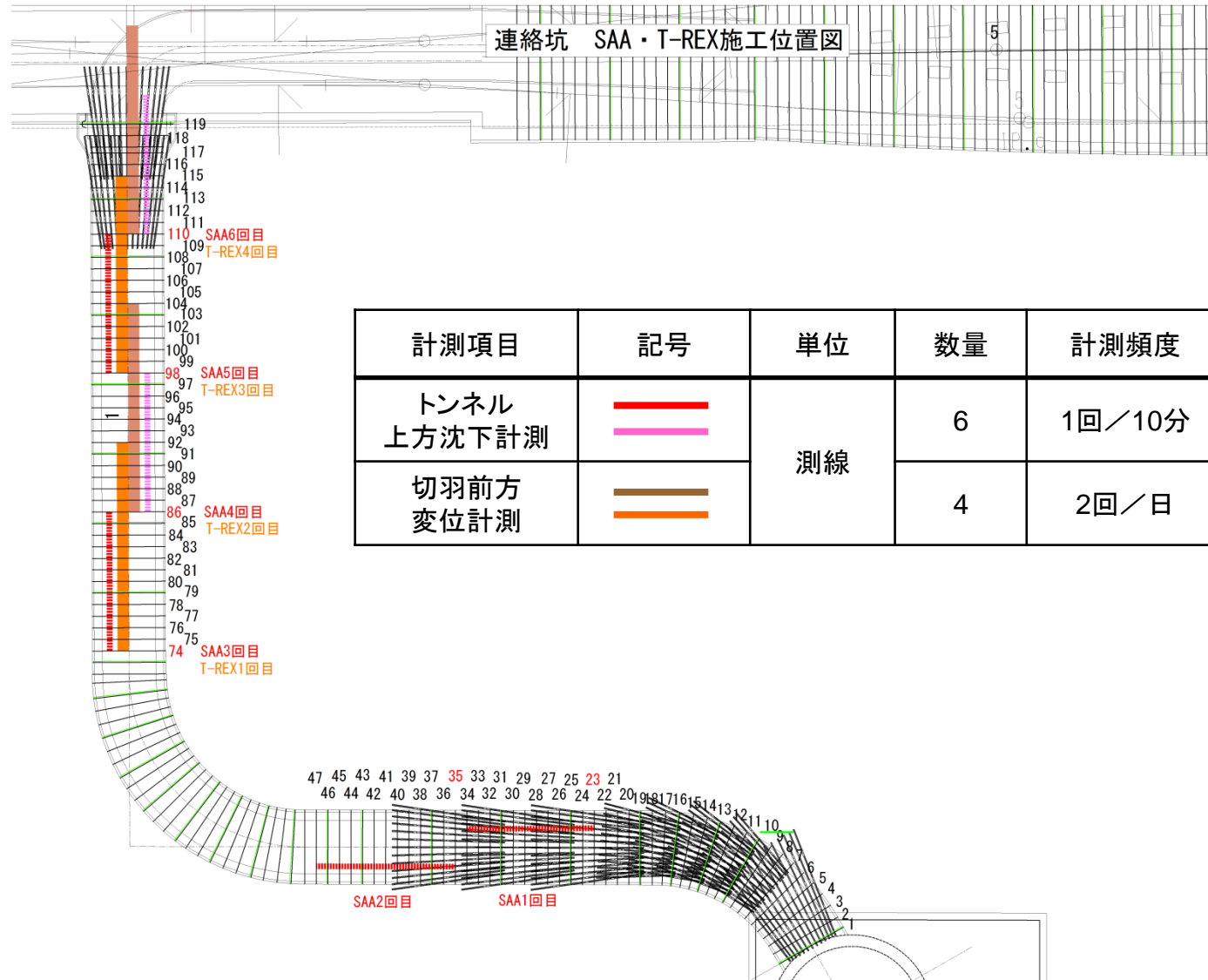
*2)・・・沈下が負

*3)・・・地表面傾斜角の計測値は各計測断面のうち最大値を表示した。FEMでは、計測箇所での管理値0.5*1/1000radが用地境界から10m区間での許容値1.5*1/1000radと同等である。

*4)・・・断面縮小方向が負

115基断面では、底盤コンクリートの打設間隔を狭めて、他断面に比べて早期に断面閉合を行い、支保工足元の安定化を図った。

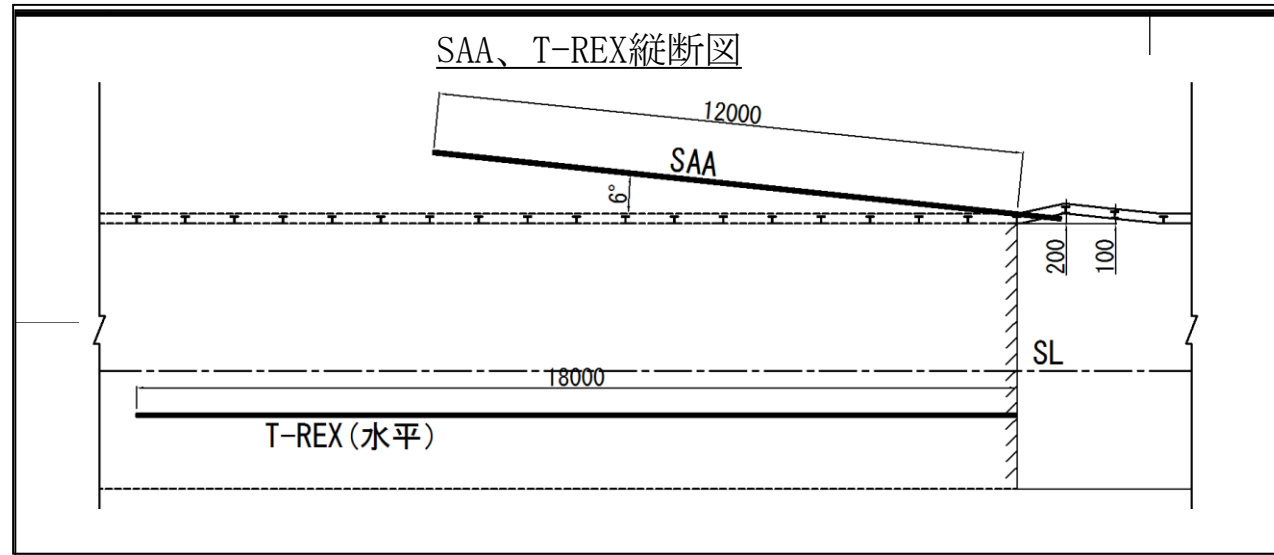
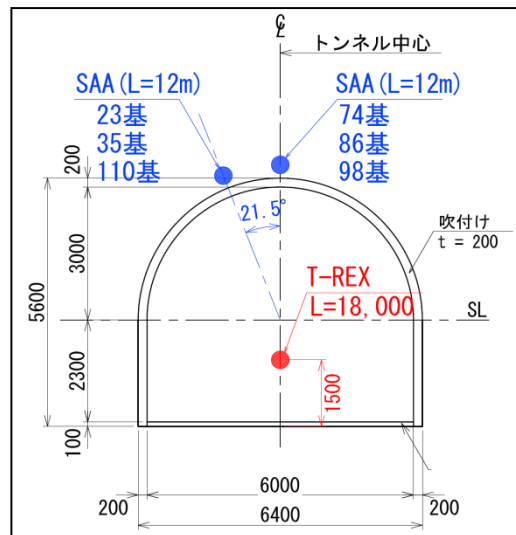
*5)・・・圧縮が正、引張が負とする。鋼アーチ支保工応力、吹付けコンクリート応力ともに最大値を表示した。



〇C計測内容（連絡坑）

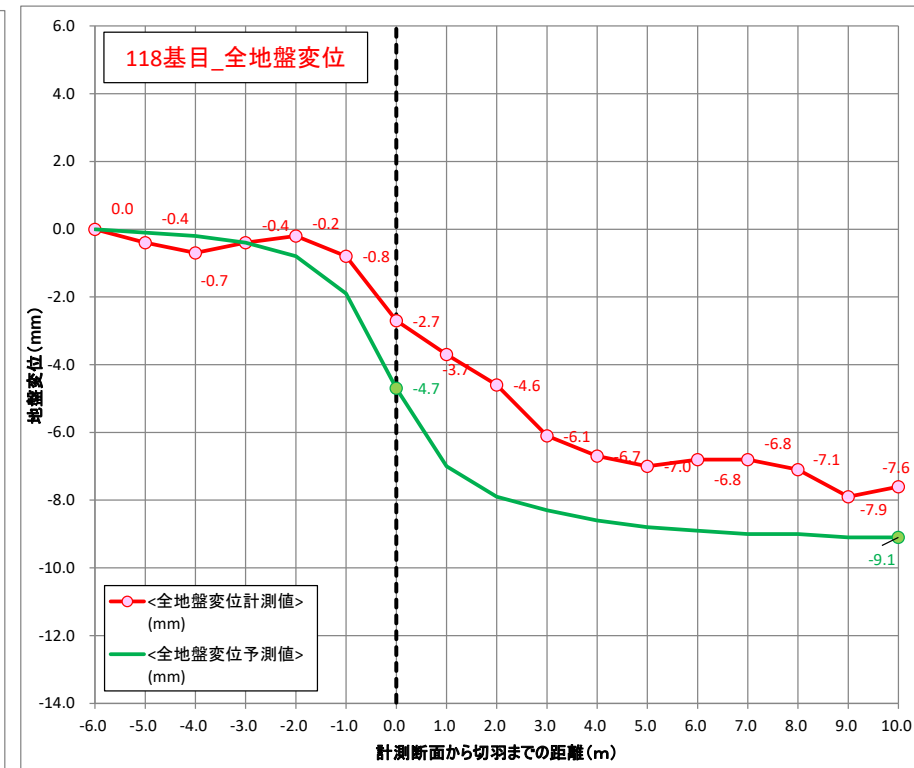
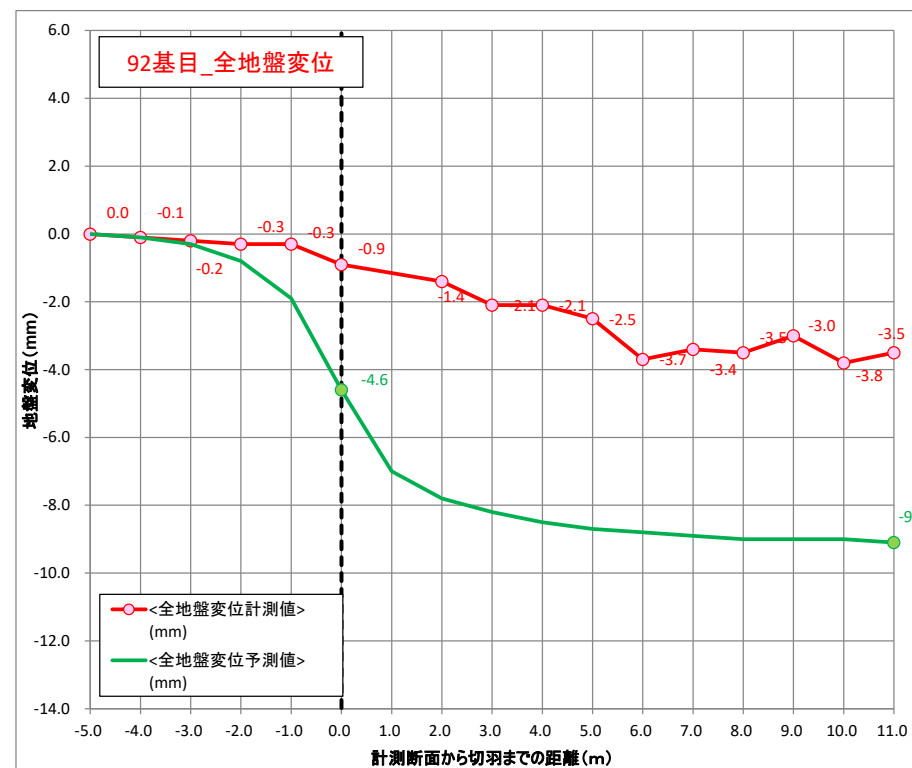
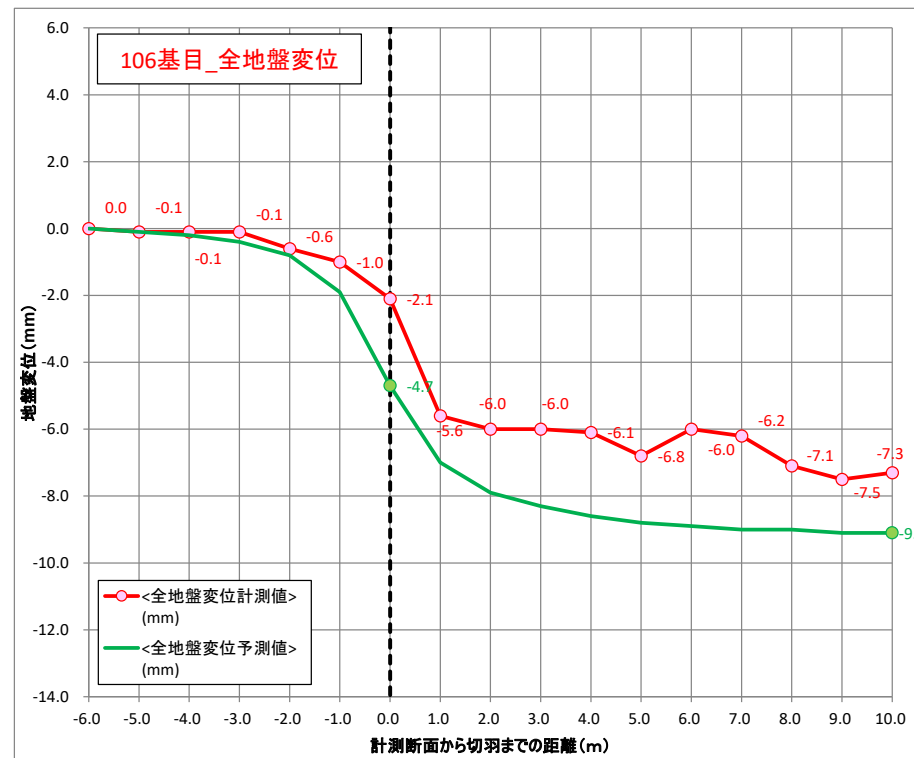
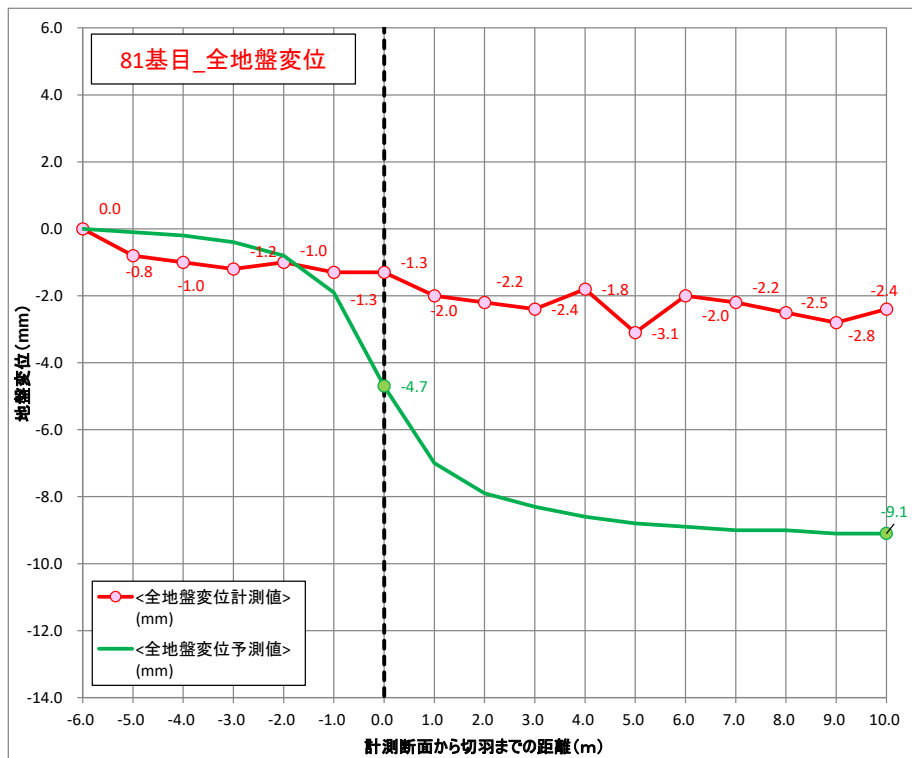
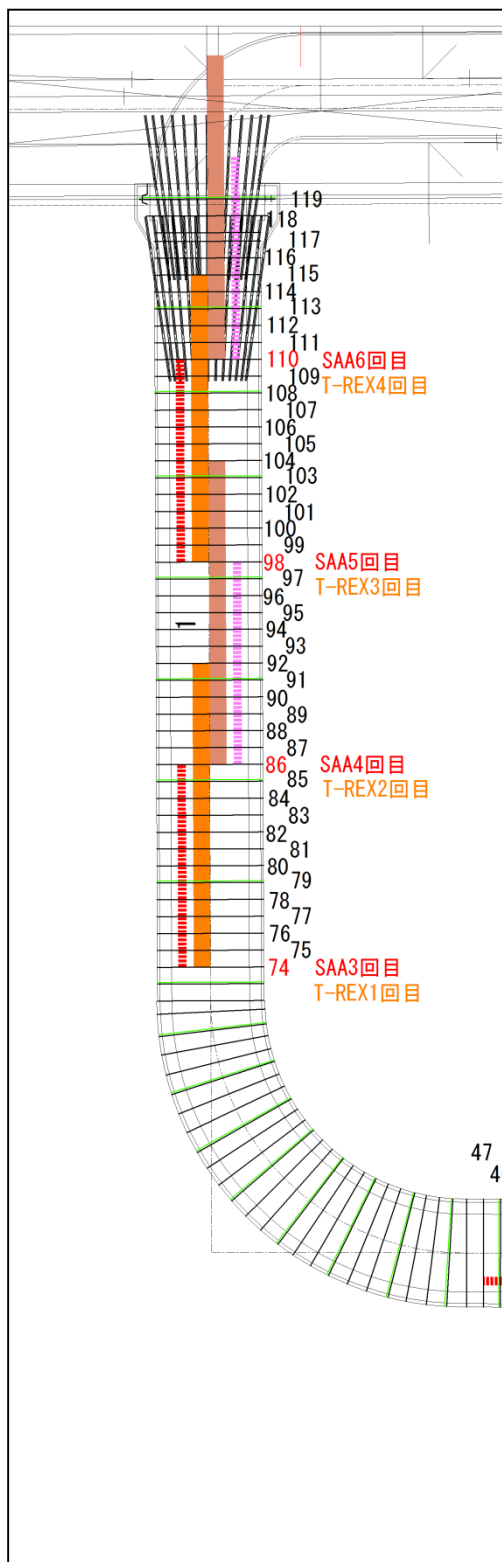
【トンネル上方沈下計測（SAA）】
切羽先行沈下を含む全地盤沈下を算出する目的で、待避坑で1回、連絡坑で6回実施。

【切羽前方変位計測（T-REX）】
緩み範囲を監視し、切羽の自立性を確認する目的で、待避坑で1回、連絡坑で4回実施。



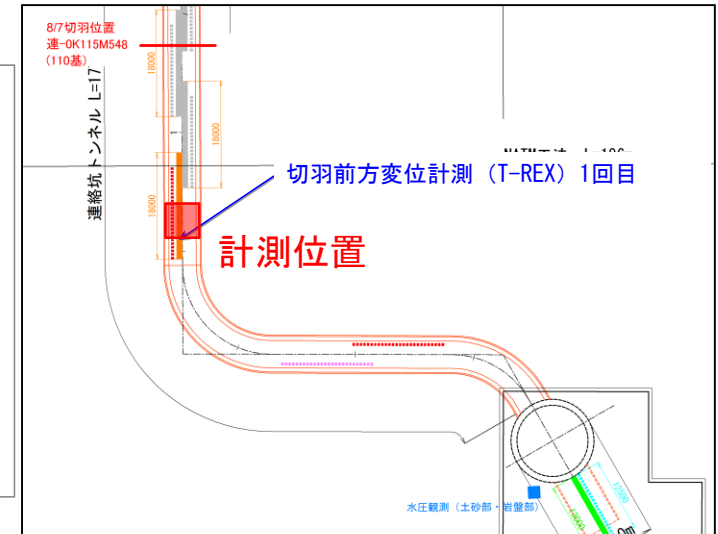
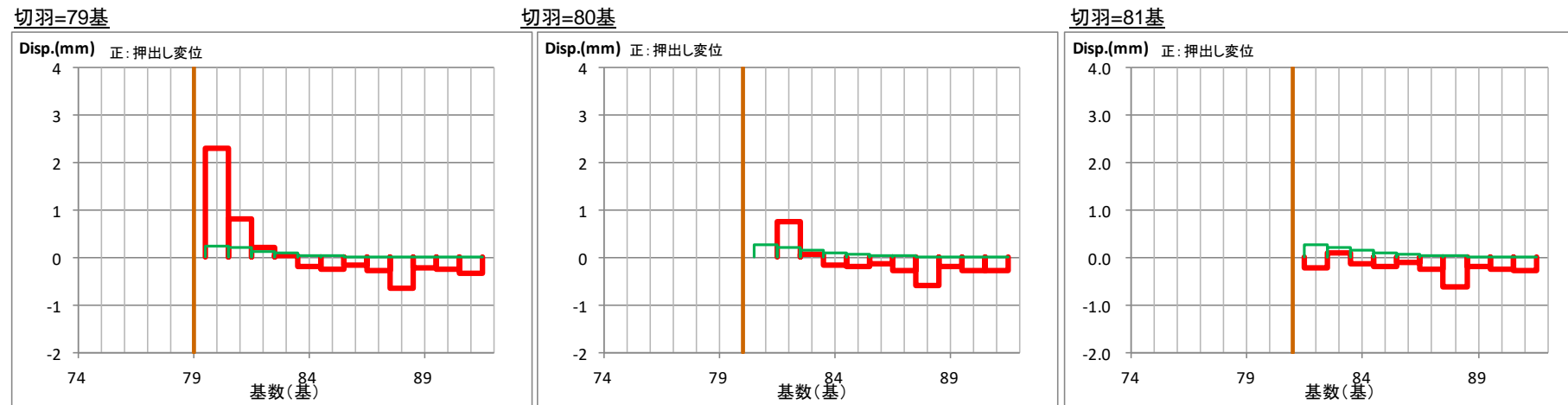
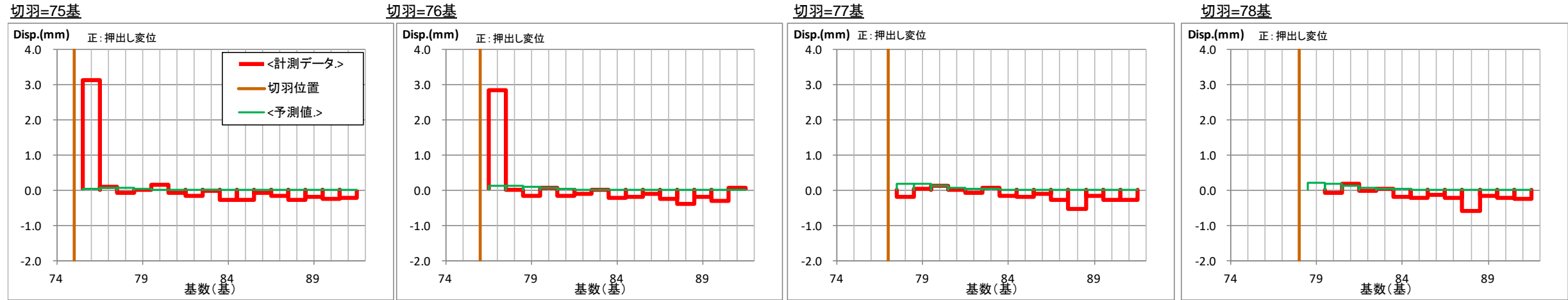
連絡坑トンネルでは、切羽前方で解析値を大幅に超過するような切羽先行沈下は発生しなかった。

●トンネル上方沈下計測 (SAA)



参考資料-2 連絡坑掘削

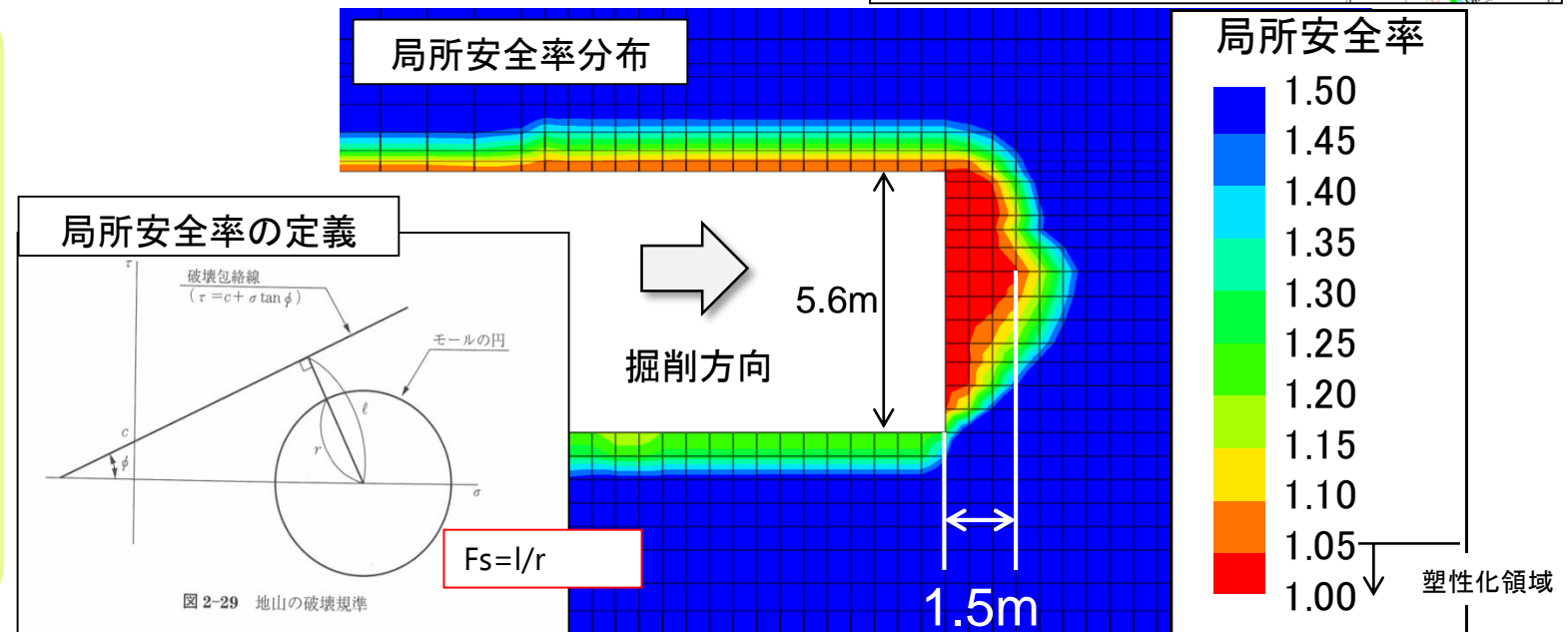
●切羽前方地山計測 (T-REX) 75基目~81基目まで計測を実施



【考 察】

押し変位は切羽前方1.5mの範囲で大きくなる。
1.5mより前方では1mm以下の変位であり、ほとんど変位を生じていない。

⇒掘削による緩み範囲は切羽前方1.5mであり、三次元解析によって想定した塑性領域の範囲と同等である。



【①連絡坑トンネルの支保の安全性について】

- ・計測Aの結果から沈下・内空変位ともに管理基準値（I）以下で収束している。
- ・計測Bの結果から支保応力は許容値以下で収束している。

⇒連絡坑トンネルの支保は健全な状態であり、トンネルの安全性を確認できた。

【②連絡坑トンネルの切羽の安定性について】

- ・切羽前方地山計測の結果、切羽前方の緩み範囲は予測結果と概ね整合している。

⇒適切な補助工法の採用により、切羽の安定性を確保することができた。

【③周辺環境への影響について】

- ・連絡坑掘削時に計測された地表面沈下は管理基準値（I）以内で施工できた。
- ・連絡坑掘削時に土砂部の地下水位の低下はほとんど観測されなかった。

⇒適切な補助工法の採用により、周辺環境に対する影響を抑制することができた。

・切羽前方地山計測、切羽上方沈下計測により、切羽前方の地山の挙動を有効に評価できることが分かったため、本坑でも同計測を適用し、周辺構造物への影響監視と補助工法の検討に利用する。

【④本坑へのフィードバック】

- ・地表面沈下や坑内変位の計測結果は、概ね予測解析結果と同様の値であった。

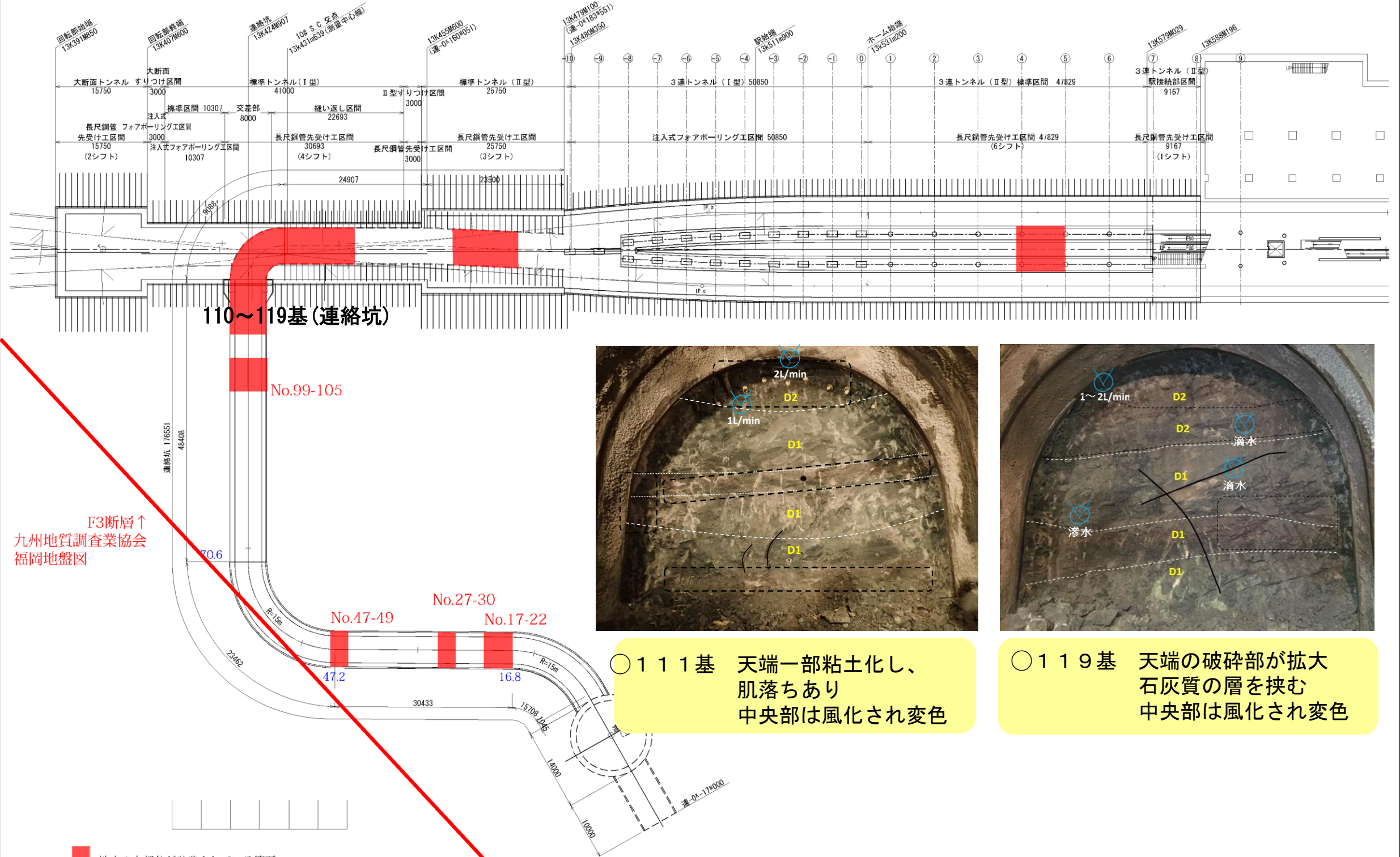
⇒連絡坑の事前解析モデルは、概ね適正であった。

・同様の解析モデルにより本坑（標準I型・II型、三連トンネルI型・II型、大断面トンネル）の予測値、管理基準値を設定する。

2016年2月19日更新

F III 断層・地山破碎部平面図

平面図 S=1:300



110~119基 (連絡坑)

No.99-105

F3断層↑
九州地質調査業協会
福岡地盤図

No.17-19

No.27-30

No.17-22

○ 1 1 1 基 天端一部粘土化し、
肌落ちあり
中央部は風化され変色

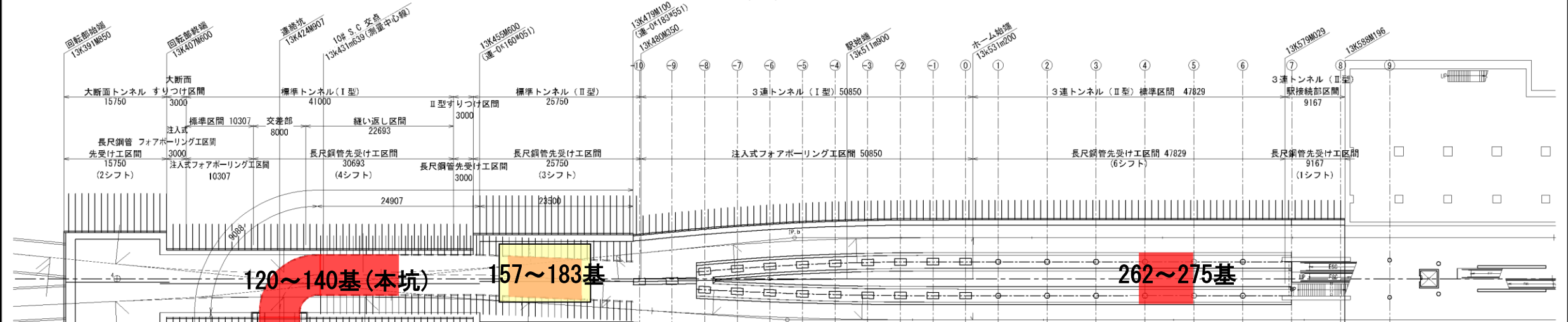
○ 1 1 9 基 天端の破碎部が拡大
石灰質の層を挟む
中央部は風化され変色

地山の大部分が破碎されている箇所

2016年2月19日更新

F III 断層・地山破碎部平面図

平面図 S=1:300



120~140基 (本坑)

157~183基

262~275基

110~119基 (連絡坑)

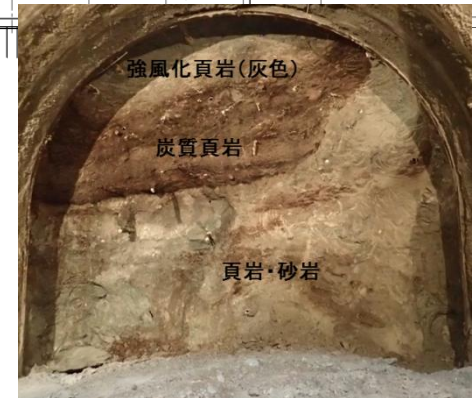
No.99-105



○157基 切羽上方に砂岩、
下方に頁岩が存在



○158基 切羽進捗とともに脆弱な炭質頁岩が切羽左肩より出現

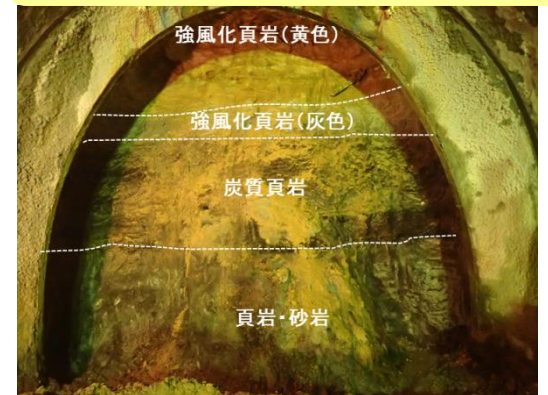


○163基 強風化頁岩が導坑上部に出現

F3断層↑
九州地質調査業協会
福岡地盤図

○事前の地質調査の結果、導坑上方に存在すると想定されていた強風化頁岩層が想定よりも脆弱で風化が著しく、層厚も厚く、標準II型の導坑上部まで占める

○炭質頁岩層は導坑中央部を占める結果となった

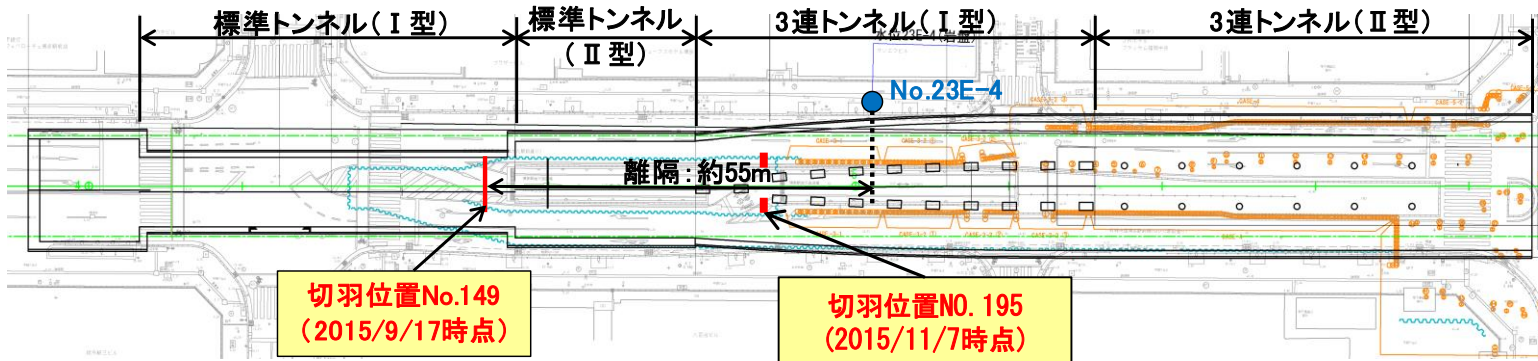


○183基 炭質頁岩が標準II型先進導坑~三連I型上半の中央部を占める

地山の大部分が破碎されている箇所

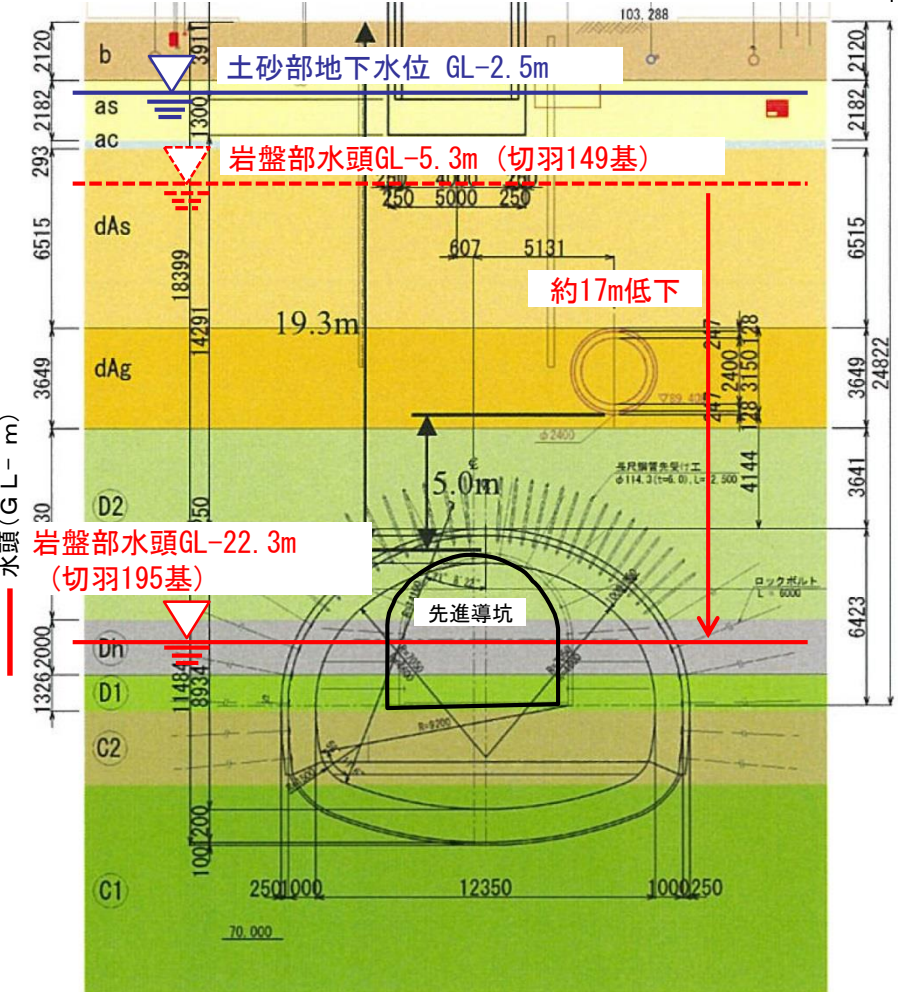
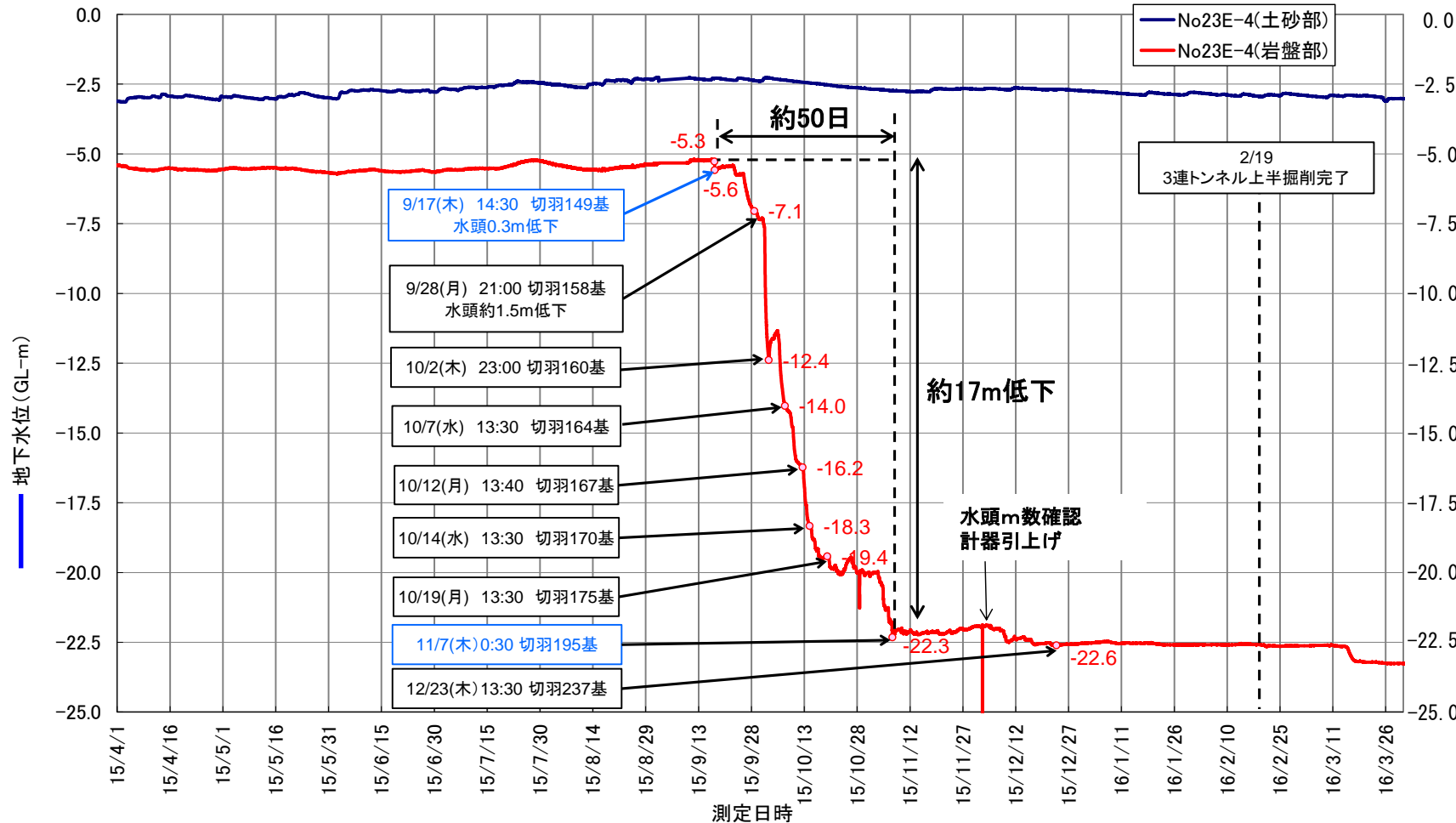
参考資料-3 標準トンネル I・II型 (先進導坑掘削)

○観測孔No. 23E-4と切羽位置の離隔が5.5mに近接してから岩盤部水頭の低下が認められ、切羽位置が1.1mに近接して、標準II型の上半部分まで低下(約1.7m)した。
 ※岩盤部水頭(—)は、岩盤部で計測した間隙水圧から換算した数値である。

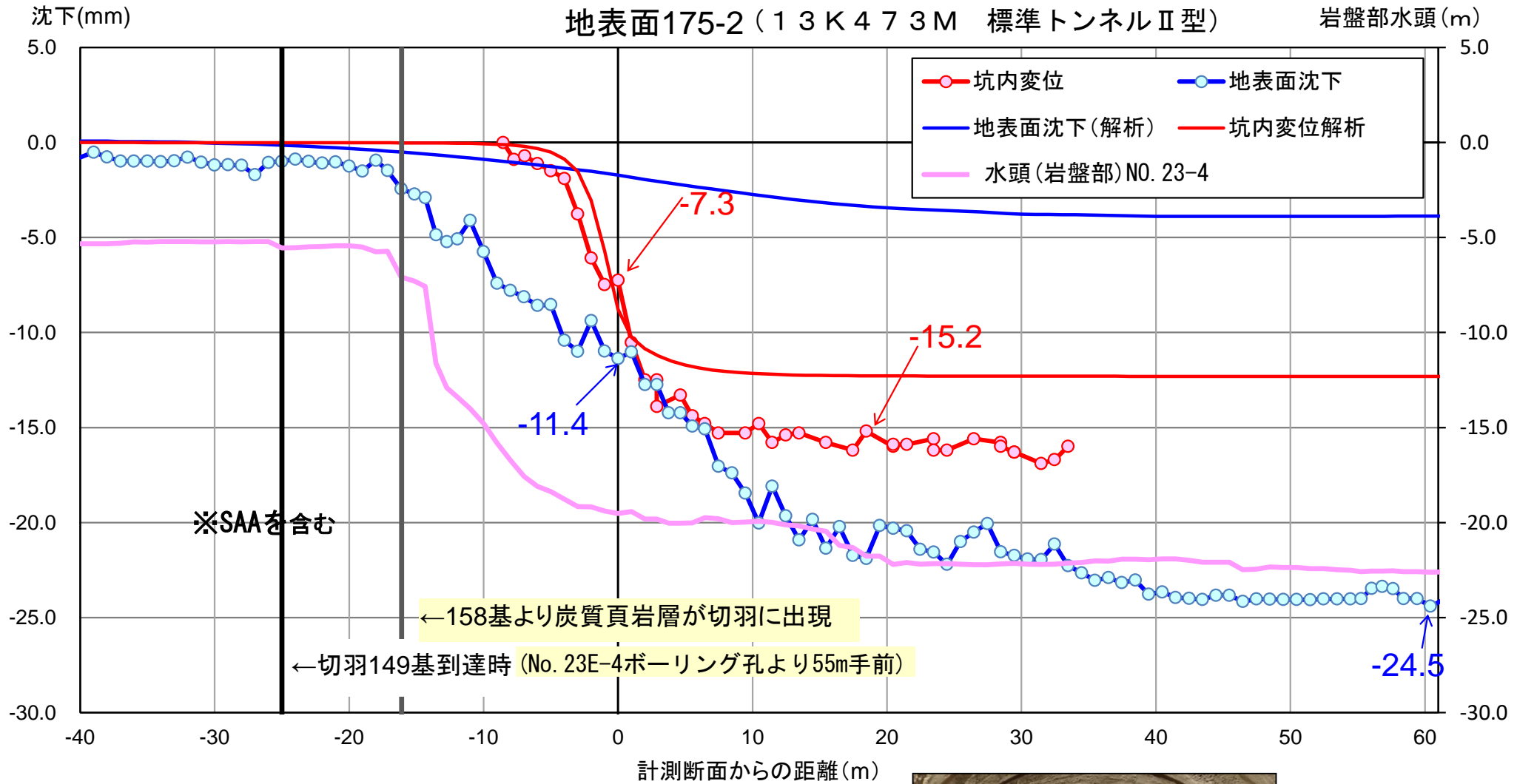


標準トンネル (II型)
13K455M600

土砂部地下水位・岩盤部水頭 継時変化図



※委員会資料に一部誤記があったため、事実に基づき訂正した箇所を含む。



←158基 切羽観察

○地表面沈下は、数値解析結果を大幅に超過した。

○地表面沈下が大きくなった原因は岩盤部水頭の低下とトンネル切羽の大部分を占めるように存在した炭質頁岩層・強風化頁岩層が当初想定したD2級岩盤よりも脆弱であるといったことが複合的に影響したと考えられる。

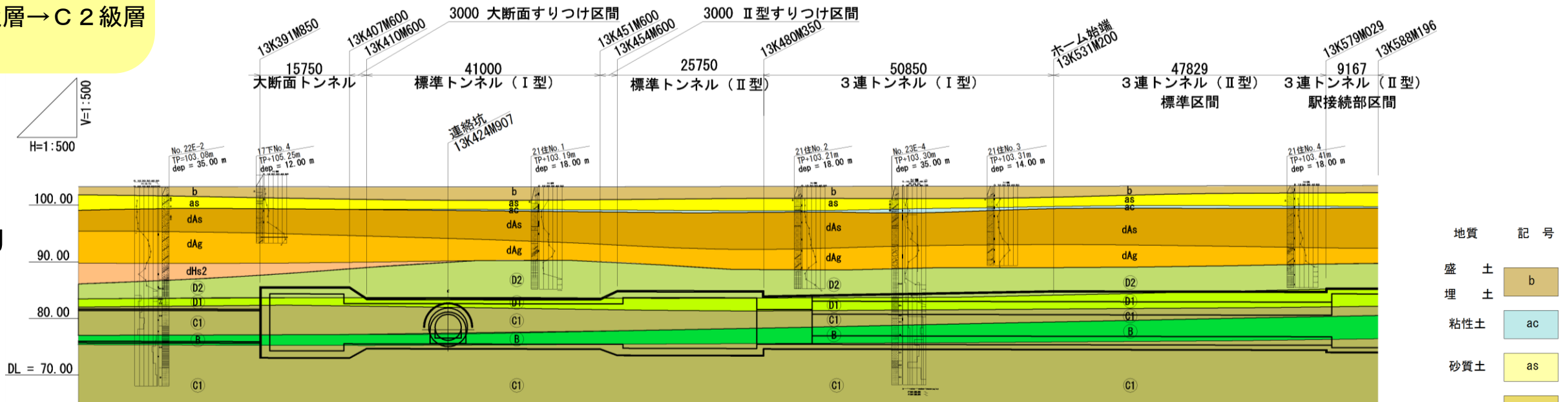
参考資料-4 3連トンネル中央坑掘削

当初と実際の地質の違い

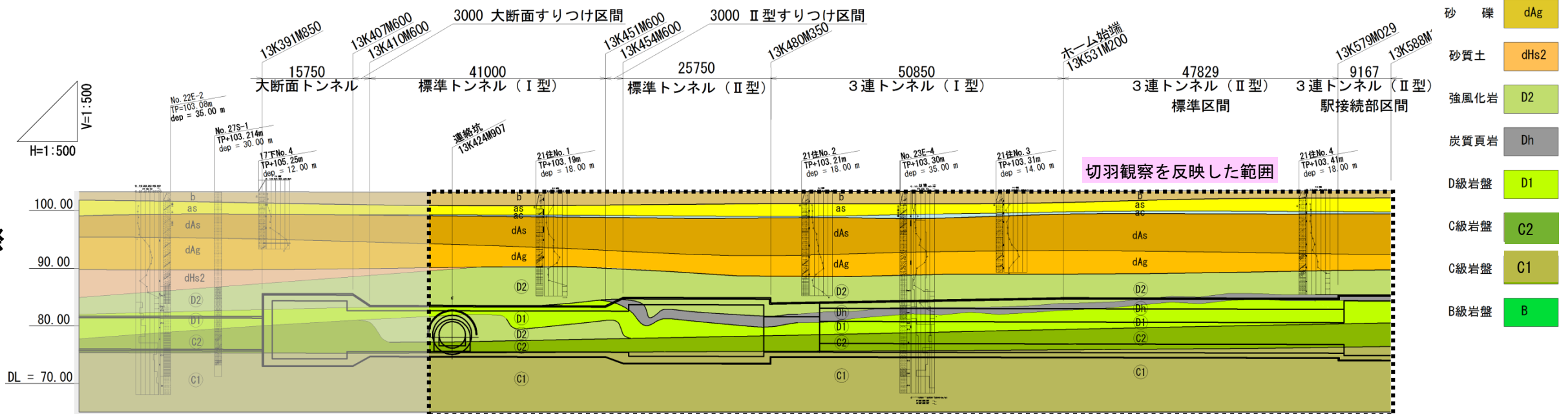
- 脆弱なDh級層 (炭質頁岩層) の出現
- D2級層 (強風化頁岩層) の増厚と著しい風化
- B級層→C2級層

	標準トンネルI型	標準トンネルII型	3連トンネルI型	3連トンネルII型
当初の地質	D1・C1・B級	D1・C1・B級	D1・C1・B	D1・C1・B
実際の地質	D1・D2・C2級	D1・D2・Dh・C2級	D1・D2・Dh・C2	D1・Dh・C2
備考	-	脆弱な強風化頁岩・炭質頁岩層が出現	脆弱な強風化頁岩・炭質頁岩層が出現	-

○当初

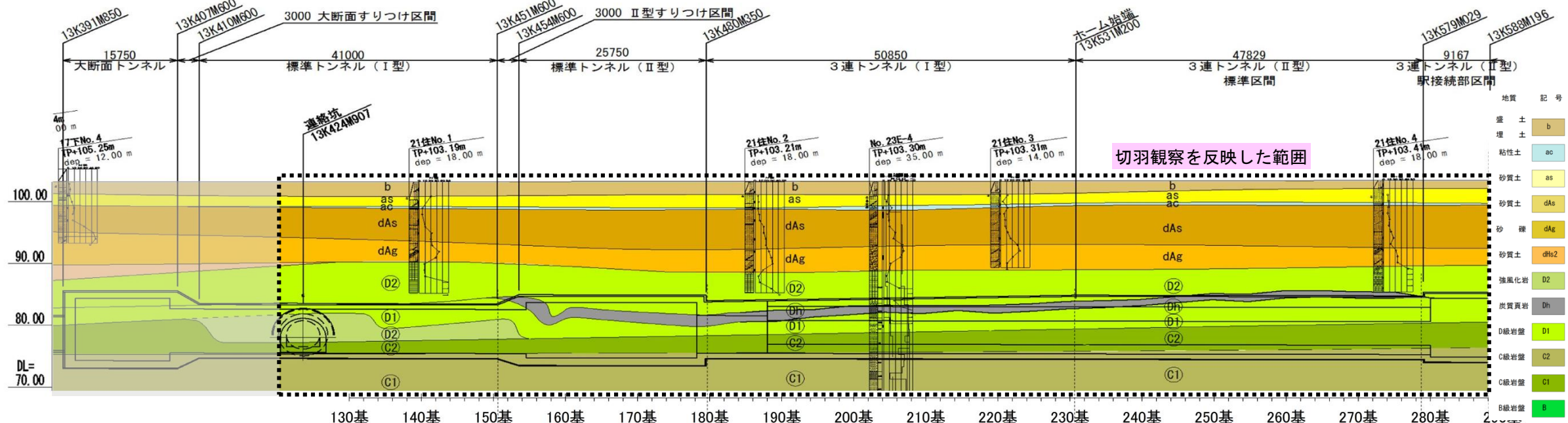


○実際



参考資料-4 3連トンネル中央坑掘削 (A計測)

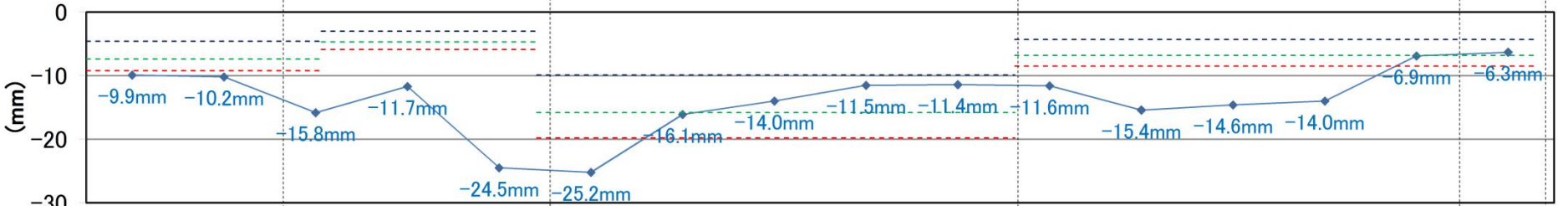
○炭質頁岩が出現し、かつ強風化頁岩層が厚い標準Ⅱ型160基付近から3連Ⅰ型の185基付近の値が顕著であった。(先進導坑及び中央坑上半掘削完了時 H28.2.19の計測結果)



地表面沈下

- 管理レベルⅠ
- 管理レベルⅡ
- 管理レベルⅢ

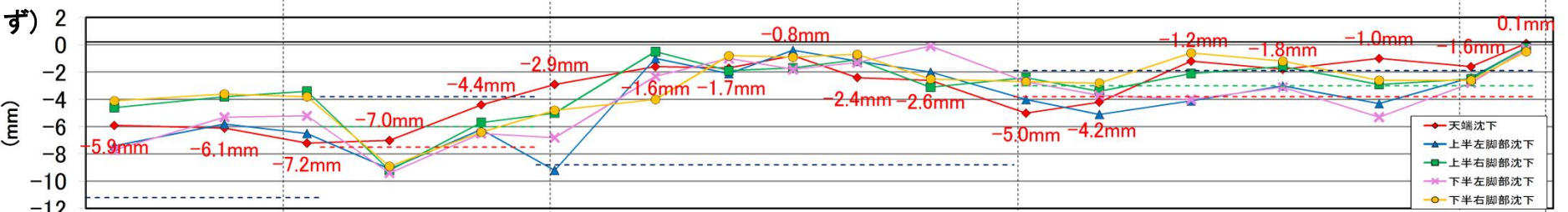
地表面沈下 (mm)



トンネル坑内沈下 (SAA含まず)

- 管理レベルⅠ(天端沈下)
- 管理レベルⅡ(天端沈下)
- 管理レベルⅢ(天端沈下)

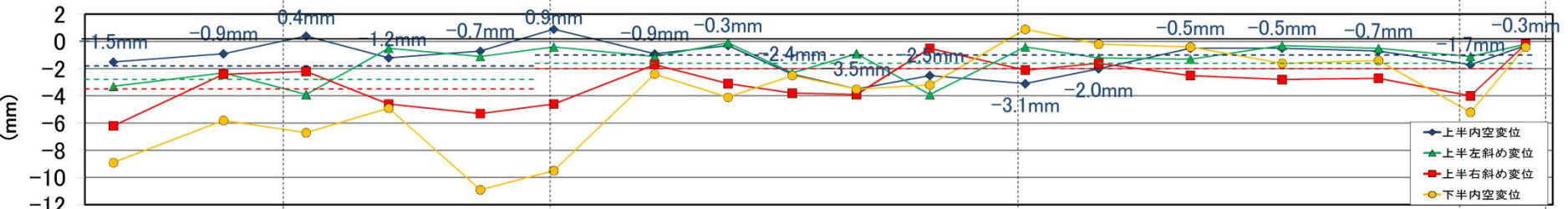
トンネル坑内沈下 (mm)



トンネル坑内変位

- 管理レベルⅠ(上半内空)
- 管理レベルⅡ(上半内空)
- 管理レベルⅢ(上半内空)

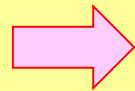
トンネル坑内空変位 (mm)



計測最終日2016/02/19

参考資料-5 標準Ⅱ型の拡幅掘削

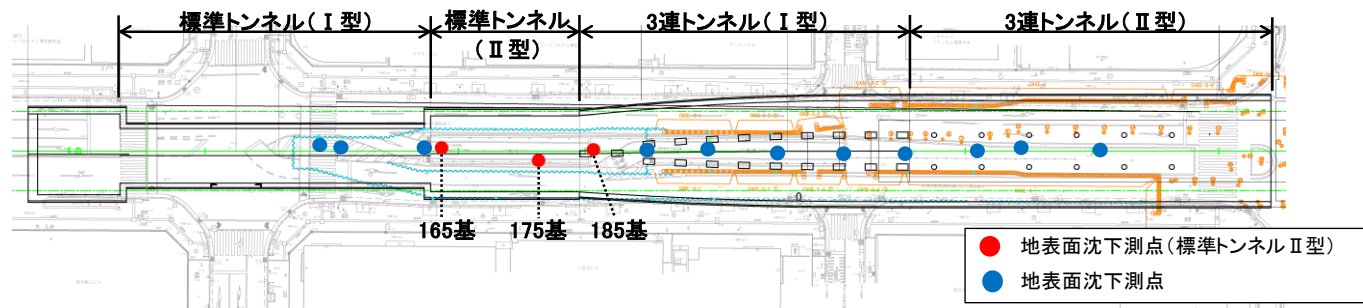
- 上半拡幅掘削段階における地表面沈下の増分は、
 - 【サイドパイル等の補助工法無し】 36.7mm（力学的影響による分）となる可能性があり、
 - 【サイドパイル等の補助工法有り】 22.6mm（ ” ” ）までの抑制を期待した。
 - 【計測値（175基）】 14.3mm（ ” ” ）沈下抑制効果が高く安定した掘削ができた。



大断面部へフィードバックし、大断面トンネル部の導坑先進工法＋サイドパイル補強を計画する

施工ステップ	予測値(mm)		力学的影響分の計測値(mm) ()内は地下水影響分を含む実測値			備考
	①サイドパイル無し	②サイドパイル有り	165基	175基	185基	
0 掘削前	0.0	0.0				
1 導坑 全断面掘削	-15.9 (-28.4)	-15.9 (-28.4)				
2 導坑 支保設置	-19.7 (-32.2)	-19.7 (-32.2)	-12.5 (-15.3)	-12.5 (-24.5)	-12.5 (-24.9)	2015/12/25時点
3 標準トンネルⅡ型 上半掘削	-35.3 (-47.8)	-28.0 (-40.5)				
4 標準トンネルⅡ型 上半支保設置	-56.4 (-68.9)	-42.3 (-54.8)	-22.9 (-25.7)	-26.8 (-38.8)	-24.2 (-36.6)	2016/6/4時点
5 標準トンネルⅡ型 下半掘削	-57.9 (-70.4)	-42.9 (-55.4)				
6 標準トンネルⅡ型 下半支保設置	-58.5 (-71.0)	-43.3 (-55.8)				
7 標準トンネルⅡ型 インバート掘削	-58.5 (-71.0)	-43.2 (-55.7)				
8 標準トンネルⅡ型 インバート吹付け	-58.4 (-70.9)	-43.1 (-55.6)				

※()内は地下水低下による沈下(-12.5mm)を含む。 地下水位低下による推定沈下量は、165基:-2.8mm、175基:-12.0mm、185基:-12.4mm



Step1
:予測解析におけるサイドパイルの効果

【当初予測したサイドパイルの効果】

サイドパイル無(予測) -36.7mm (56.4mm-19.7mm)
 サイドパイル有(予測) -22.6mm (42.3mm-19.7mm)
 低減効果(予測) 14.1mm

∴当初は導坑からサイドパイルを施工することにより、
 拡幅時の地表面沈下量の増分を38%低減できると予測していた。

Step2
:実測値と予測値の比較によるサイドパイルの効果

※実測値:標準トンネルⅡ型測点(165基・175基・185基)

165基

【実測したサイドパイルの効果】

サイドパイル無(予測) -36.7mm
 サイドパイル有(実測) -10.4mm (22.9mm-12.5mm)
 低減効果 26.3mm



∴導坑からサイドパイルを施工することにより、
 予測時よりも地表面沈下量を72%低減できた。

175基

【実測したサイドパイルの効果】

サイドパイル無(予測) -36.7mm
 サイドパイル有(実測) -14.3mm (26.8mm-12.5mm)
 低減効果 22.4mm



∴導坑からサイドパイルを施工することにより、
 予測時よりも地表面沈下量を61%低減できた。

185基

【実測したサイドパイルの効果】

サイドパイル無(予測) -36.7mm
 サイドパイル有(実測) -11.7mm (24.2mm-12.5mm)
 低減効果 25.0mm



∴導坑からサイドパイルを施工することにより、
 予測時よりも地表面沈下量を68%低減できた。

坑内変位

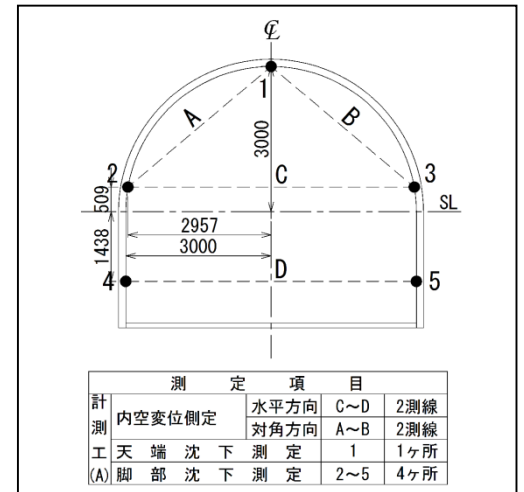
○上半拡幅掘削完了時（下表）は、管理基準値Ⅱ未満であった。
H28.6.4計測結果



【先進導坑掘削完了時点】

区間	計測断面	単位(mm)								
		1	2	3	4	5	A	B	C	D
		天端沈下	上半左脚部沈下	上半右脚部沈下	下半左脚部沈下	下半右脚部沈下	上半左斜め変位	上半右斜め変位	上半内空変位	下半内空変位
標準トンネルⅡ型	165基	-7.2	-9.3	-9.6	-9.5	-9.1	-2.0	-0.4	-5.4	-5.2
	175基	-3.5	-4.1	-4.9	-5.3	-5.3	-0.2	-1.3	-4.0	-10.2

*各々の断面で切羽離れ20mに到達した時点の変位を収束値として採用



【上半拡幅掘削完了時点】

区間	計測断面	単位(mm)								
		1	2	3	4	5	A	B	C	D
		天端沈下	上半左脚部沈下	上半右脚部沈下	下半左脚部沈下	下半右脚部沈下	上半左斜め変位	上半右斜め変位	上半内空変位	下半内空変位
標準トンネルⅡ型	165基	-11.1	-14.8	-5.6	-	-	-0.9	-1.1	0.3	-
	175基	-19.1	-9.5	-20.6	-	-	-5.9	-0.4	-2.7	-

*各々の断面で6/4時点のデータを採用

拡幅掘削時天端沈下管理基準値	
管理基準値Ⅰ	13.2mm
管理基準値Ⅱ	21.2mm
管理基準値Ⅲ	26.5mm

【①先進導坑および3連トンネル上半掘削結果】

- ・標準トンネルⅡ型区間において、当初は想定しなかった**強風化頁岩・炭質頁岩**が切羽の大部分に出現した。
- ・標準トンネルⅡ型区間において、**予測を上回る地表面沈下**を計測した。
- ・B計測結果より、トンネル支保の健全性を確認した。
- ・C計測結果より、**近接構造物（ガス管・下水幹線・地下車路）の安全性は十分に確保**されていた。

【②標準トンネルⅡ型区間の地表面沈下の分析】

- ・地表面沈下の値は、上半拡幅掘削完了時で38.8mmとなり、**当初想定を超過**した。
- ・地表面沈下と切羽内に占める強風化頁岩・炭質頁岩層の関連性から、これらの**軟弱層が原因**であると考察した。
- ・岩盤部水頭の経時変化との関連性から、力学的影響の他に、「**岩盤部水頭の低下に伴い、主に炭質頁岩層の圧縮**」という地下水影響が考えられた。

【③標準トンネルⅡ型区間の補強対策工による拡幅掘削】

- ・上半拡幅掘削以降、軟弱層の影響で**地表面沈下量が大幅に増大**することが懸念された。
- ・ガス管、下水幹線、地下車路の管理基準値は**引き続き遵守**し、現道交通に支障する段差などの発生を監視していくこととして、**地表面沈下の管理限界値を30mmから50mmに見直した**。
- ・トンネル周辺地山の力学的安定性を向上させることを目的に、注入式サイドパイル工等の補助工法を採用し、**力学的要因の地表面沈下を予測値より大幅に抑制**できた。
- ・一次警戒値に近い沈下を生じている**ガス管の管種変更を行って安全性を高め**、下水幹線や地下車路、沿道建物の周囲の沈下状況の監視、現道交通に支障する段差などの発生が無いことを確認しながら、**いずれのインフラや建物に有害な影響を与えることなく拡幅を完了**させた。