

第5回 芳ノ元トンネル施工検討会  
議 事 概 要 （速 報）

○日 時 平成24年1月19日（木） 15：30～17：00

○場 所 宮崎河川国道事務所 1階大会議室

○出席者

- ・ 委 員 横田委員長、瀬崎委員、真下委員、武士委員、藤澤委員
- ・ オブザーバー 宮崎県、宮崎市、日南市
- ・ 事務局 九州地方整備局 宮崎河川国道事務所

○議 事

1. 開 会
2. 議 事
  - ・ 調査掘削状況について
  - ・ トンネル掘削済み区間の地すべり対策について
  - ・ 今後のトンネル掘削における地すべり対策について
  - ・ トンネルの支保構造と施工方法について
  - ・ 九平トンネル・椿山トンネルの支保構造の変更と補助工法の追加について
3. その他
4. 閉 会

○審議結果

- ・ 調査掘削では、計測結果が事前の解析結果と概ね整合。（中間報告）
- ・ トンネル掘削済み区間の地すべり対策は、頭部排土工と地下水排除工の組み合わせにて計画することが妥当。
- ・ トンネルの未掘削区間では、トンネルが地すべり面に一番近接するCブロックにおいて、線形を変更。
- ・ トンネルの未施工区間では、今後の土被りの増加に伴いより剛性の高い部材に変更しトンネルの天端と切羽の崩落を防止するための補助工法が必要であることを確認。
- ・ 未着手の九平トンネルと椿山トンネルの地山は、芳ノ元トンネルと同様に日南層群に属しており破碎された岩の分布が想定されトンネル支保構造の変更、補助工法の追加が必要であることを確認。

芳ノ元トンネル施工検討会 委員・オブザーバー名簿

委 員

- よこた ひろし  
◎横田 漢 宮崎大学 国際連携センター 地盤環境保全研究部門 特任教授
- 瀬崎 満弘 宮崎大学 工学部 准教授
- 真下 英人 独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ グループ長
- 武士 俊也 独立行政法人土木研究所 地すべりチーム 上席研究員
- 藤澤 和範 NEXCO総研 道路研究部 土工研究室 砂防研究担当部長

オブザーバー

- 中野 穰治 宮崎県 県土整備部 高速道対策局長
- 浜崎 和男 宮崎市 建設部長
- 野邊 泰弘 日南市 建設部長

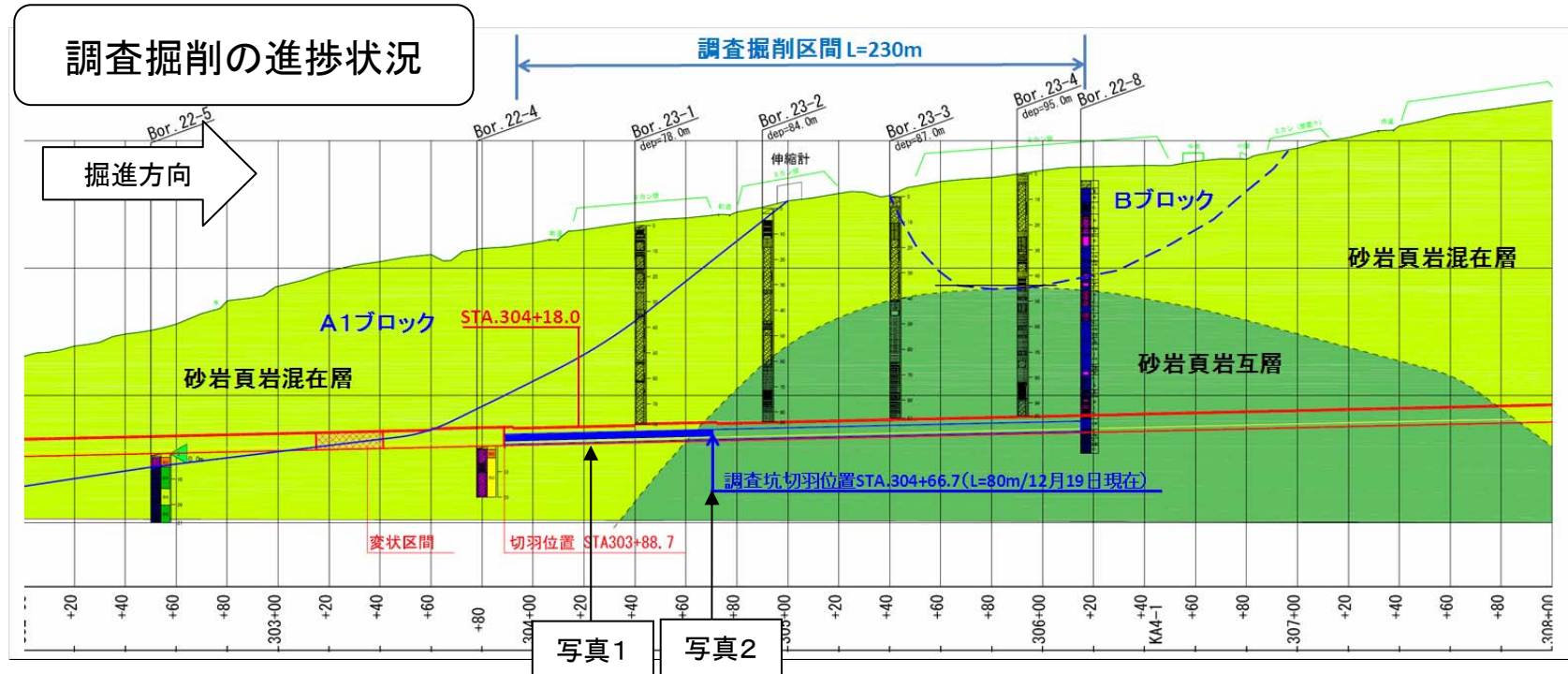
※◎印：委員長

(敬称略)

以 上

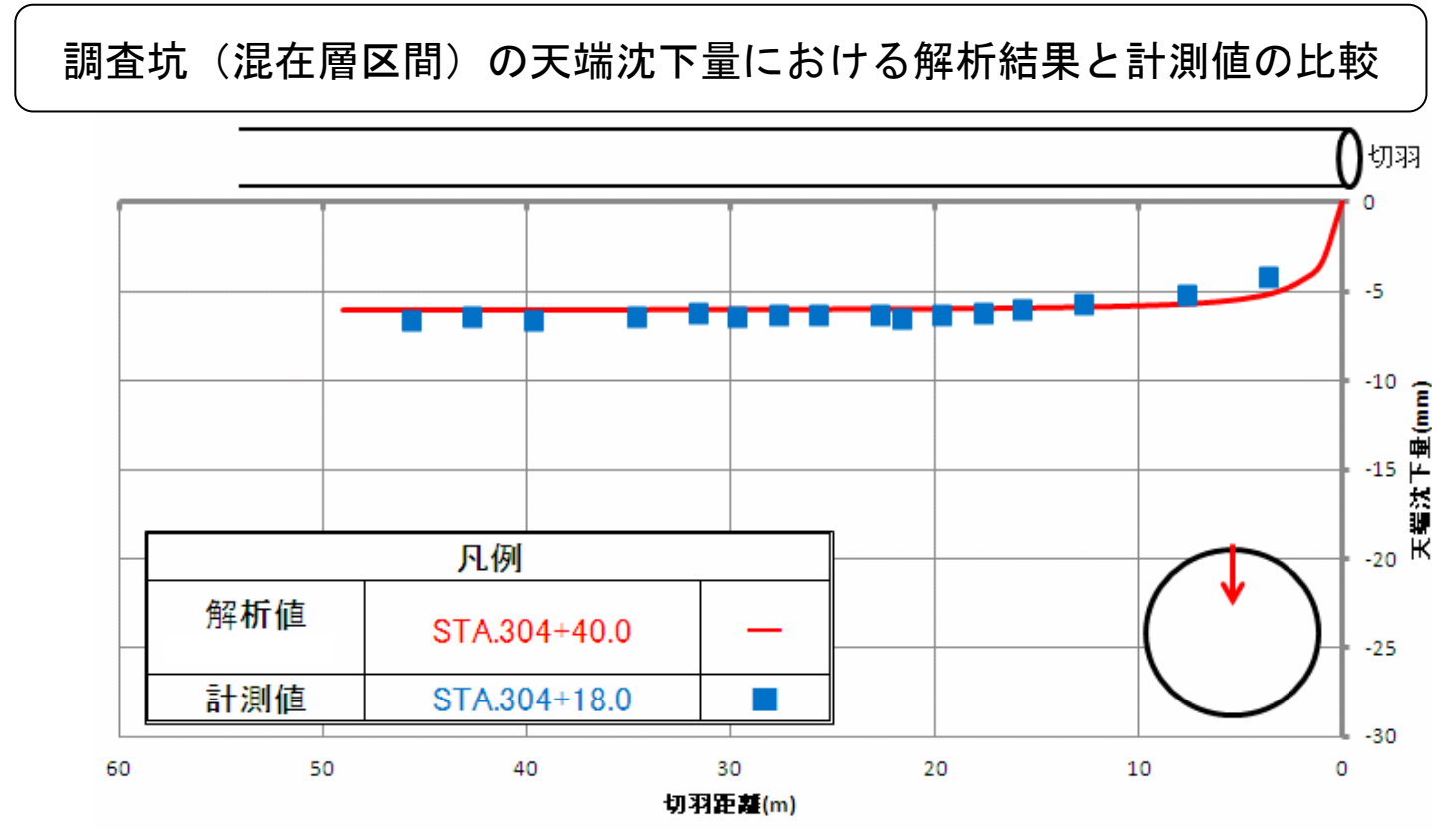
① 調査掘削結果（中間報告）

- ・計画断面切羽から平成23年12月19日時点で、80mの位置（予定L=230m）まで掘削した。地質状況は砂岩頁岩混在層を抜けて砂岩頁岩互層へと変わりつつある。
- ・トンネル坑内の内空変位および天端沈下量は5mm～7mmで推移しており、混在層区間では事前の解析結果と概ね一致している。
- ・引き続き、互層区間における調査掘削を行い、解析結果との整合性を確認する。



### 地質状況の変化

掘進距離	切羽状況
<p>【写真1】 34m (STA.304+22.7)</p>	<p>頁岩主体の混在層である</p>
<p>【写真2】 80m (STA.304+66.7)</p>	





## ② 掘削済み区間の地すべり対策工の概要

- ・地すべりの安全率を向上させるには頭部排土工、押え盛土工、地下水排除工等の対策工が考えられる。
- ・対象となる地すべりブロックが大きいため、工法の組み合わせによる比較検討を行った結果、経済性や施工性に優れた「頭部排土工+地下水排除工」が妥当である。

### 地すべり対策工の比較検討

大雨に伴い変位が増加する傾向があるため、地下水位の上昇を抑制する「地下水排除工」に「頭部排土工」や「押え盛土工」を組み合わせて対策工法を較検討。

- ・ 頭部排土工+地下水排除工
- ・ 押え盛土工+地下水排除工
- ・ 頭部排土工+押え盛土工+地下水排除工

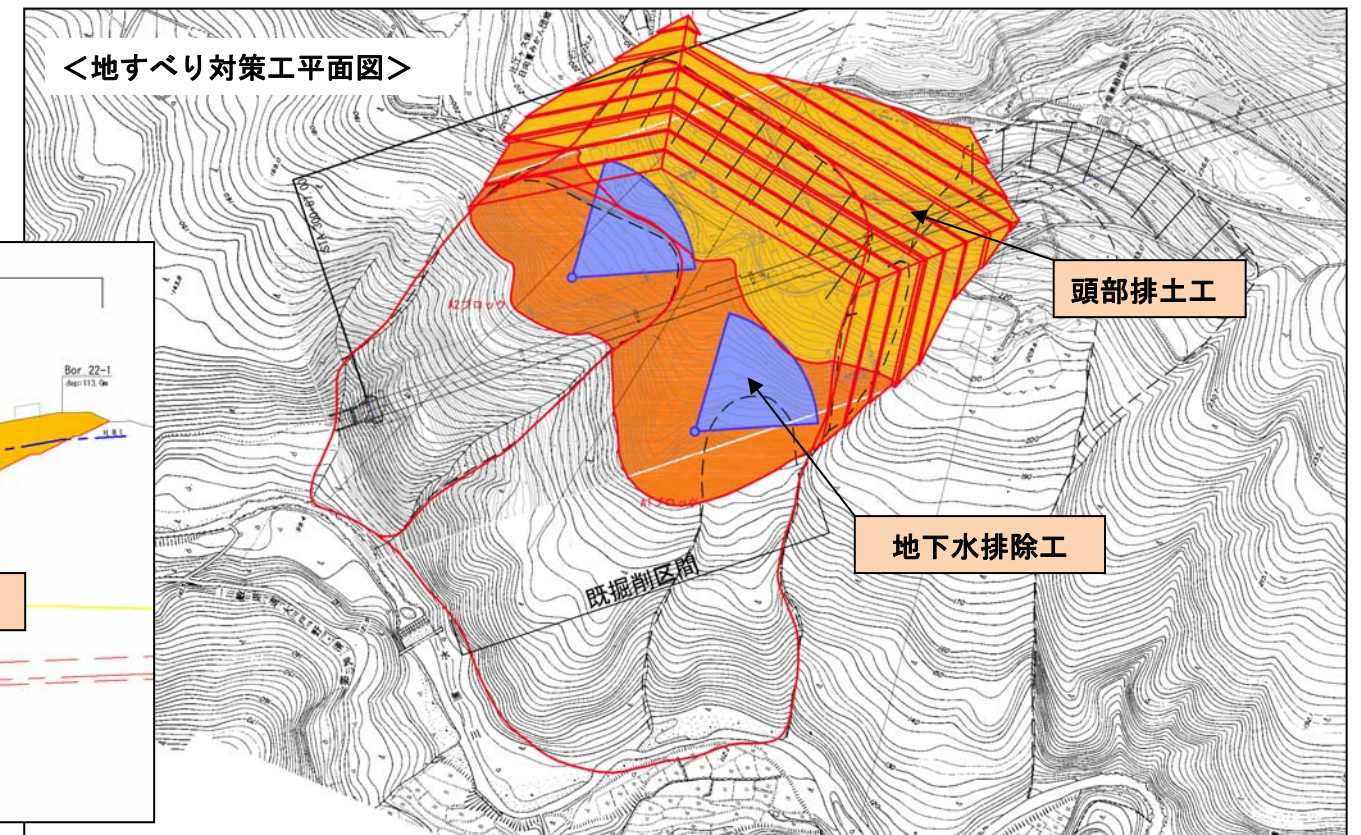
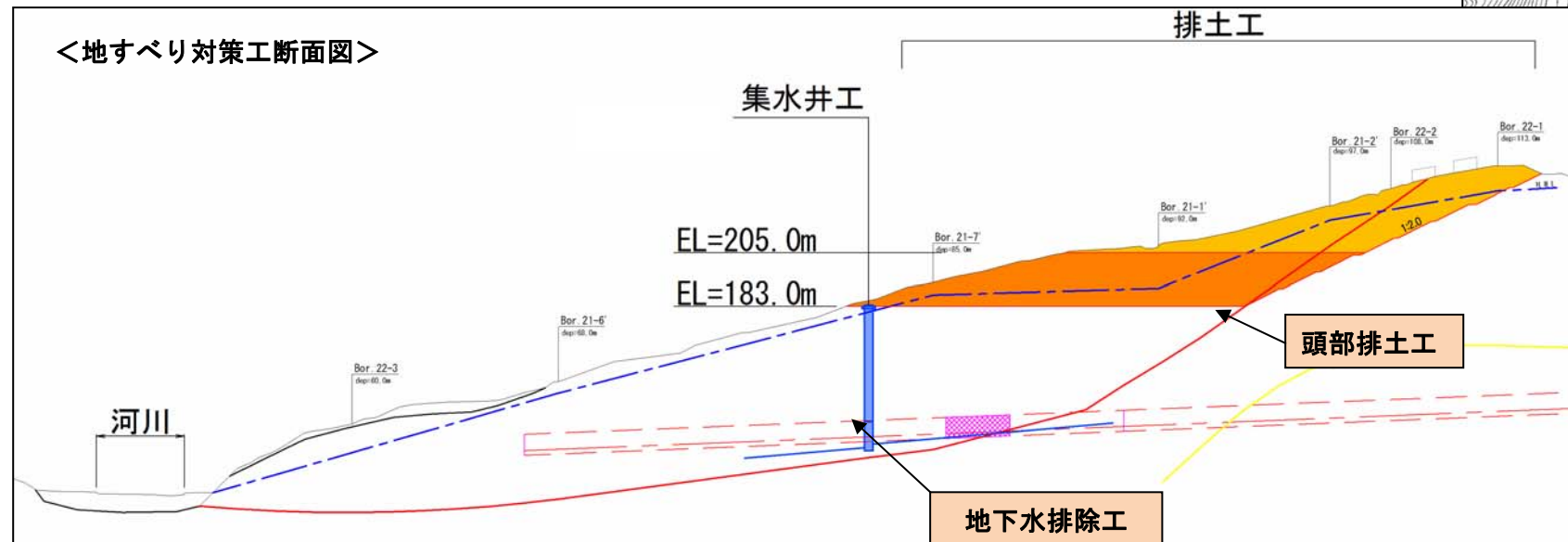


対策工法は、経済性や施工性に優れた「頭部排土工+地下水排除工」が妥当である。

＜地すべり対策工の比較検討結果＞

対策工法案	頭部排土工+地下水排除工		押え盛土工+地下水排除工		頭部排土工+押え盛土工+地下水排除工	
概要図						
工事費	低	○	高	×	やや高	△
施工性	河川等の付替え不要		河川等の付替え必要		河川等の付替え必要	
工期	短い	○	長い	×	長い	×
評価	○		×		△	

### 地すべり対策工法

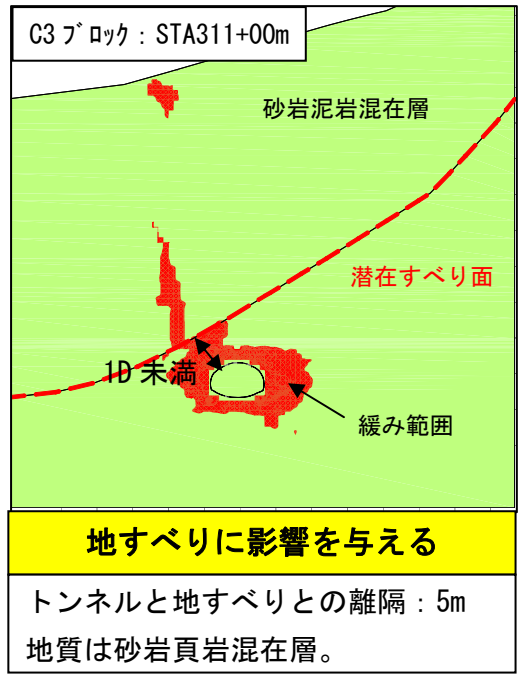




### ③ 今後のトンネル掘削における地すべり対策について

- ・トンネルの未掘削区間では、トンネルと地すべり面が一番近接するCブロックにおいて、数値解析の結果、トンネル掘削により地すべりに影響を与える可能性があることが判明した。
- ・対策として、当該ブロックの地すべり挙動も安定度区分Bのレベルにあることを踏まえ、トンネルの線形を変更して地すべりブロックから回避することとした。
- ・線形変更の幅は、地すべり面とトンネルの離隔を約31m（トンネル断面の約2倍）確保した結果、約70mとなった。
- ・変更したトンネルは、走行性で現計画よりやや劣るものの、道路構造令の基準値は満足。

#### 数値解析結果



#### 地すべりの安定度判定

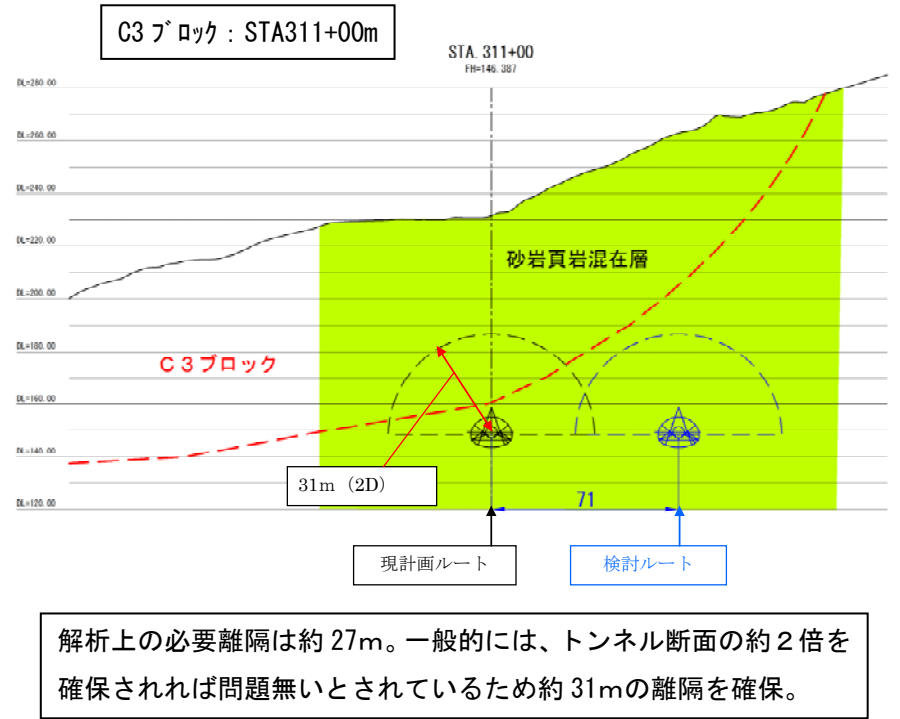
変位量 1.6mm/月  
 > 安定度区分B  
 (0.5~2mm/月)

(出典：道路土工  
 切土工・斜面安定工指針)

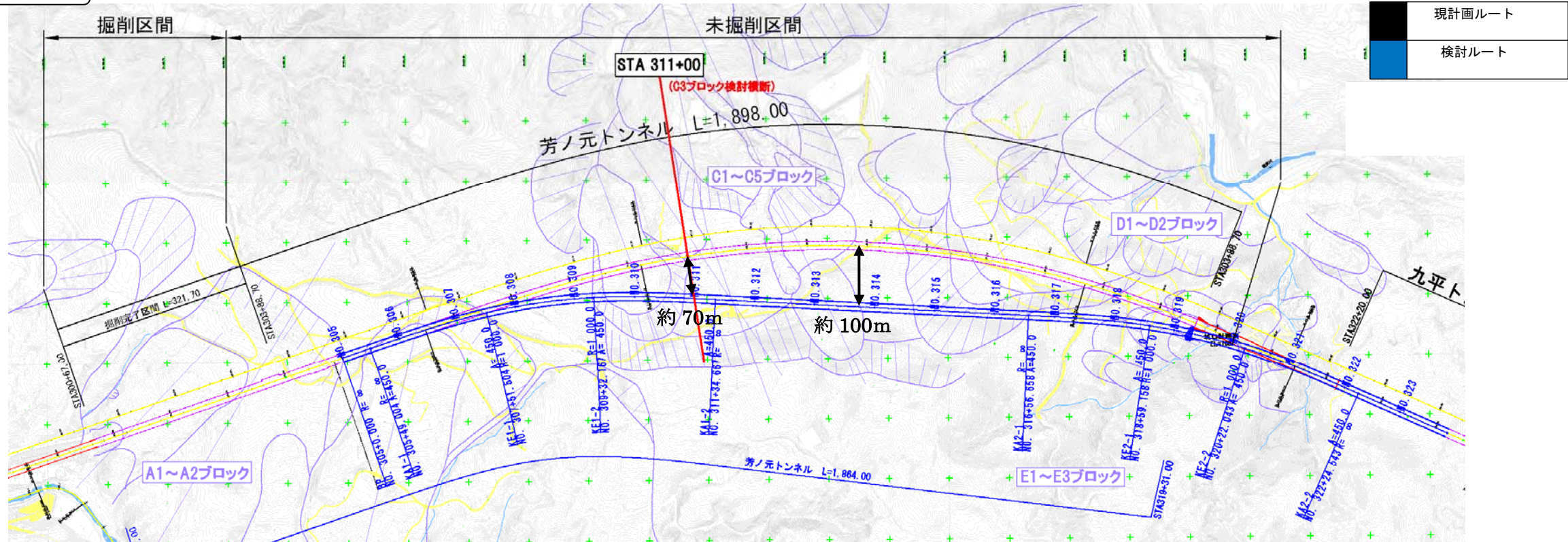
解表 3-4 地すべりの安定度判定一覧表

安定度区分	地すべりの変状・地形特性	地すべり変動ランク	道路土工に対する留意点
A	斜面に地すべりによる亀裂、陥没、隆起、小崩壊等が発生しているもの、路面や擁壁、水路等に地すべり性の亀裂や隆起等が発生しているもの、あるいは過去に地すべり等の災害が発生した記録や確かな伝承があり、地すべり対策工が施工されていないもの等、今後人為的な改変がなくても道路等に直接の被害を及ぼす可能性の大きいもの	変動 a 変動 b	原則として路線を避けるが、やむを得ない場合は計画安全率確保できるような対策工を検討する。
B	明瞭な地すべり活動は認められないが、滑落崖が分布する等、明らかな地すべり地形（崩積土、風化岩地すべり）を示し、地形的にも地すべり発生の素因を有するもので、人為的な環境変化を直接の誘因としてすべり出す可能性が大きいもの、または地すべり災害発生後、地すべり対策工を実施したもの	変動 c	地すべり頭部の盛土や末端部の切土をなるべく避けるために、 <b>路線の線形の修正</b> 及び対策工の実施を検討する。やむを得ない場合はその安全率を一時的に5%まで低下させることができる。
C	地すべり地形を示すが、滑落崖等の微地形が不明瞭なもの	変動 c を生じる可能性あり	Bに準ずる

#### 線形変更横断面図



#### 線形変更平面図

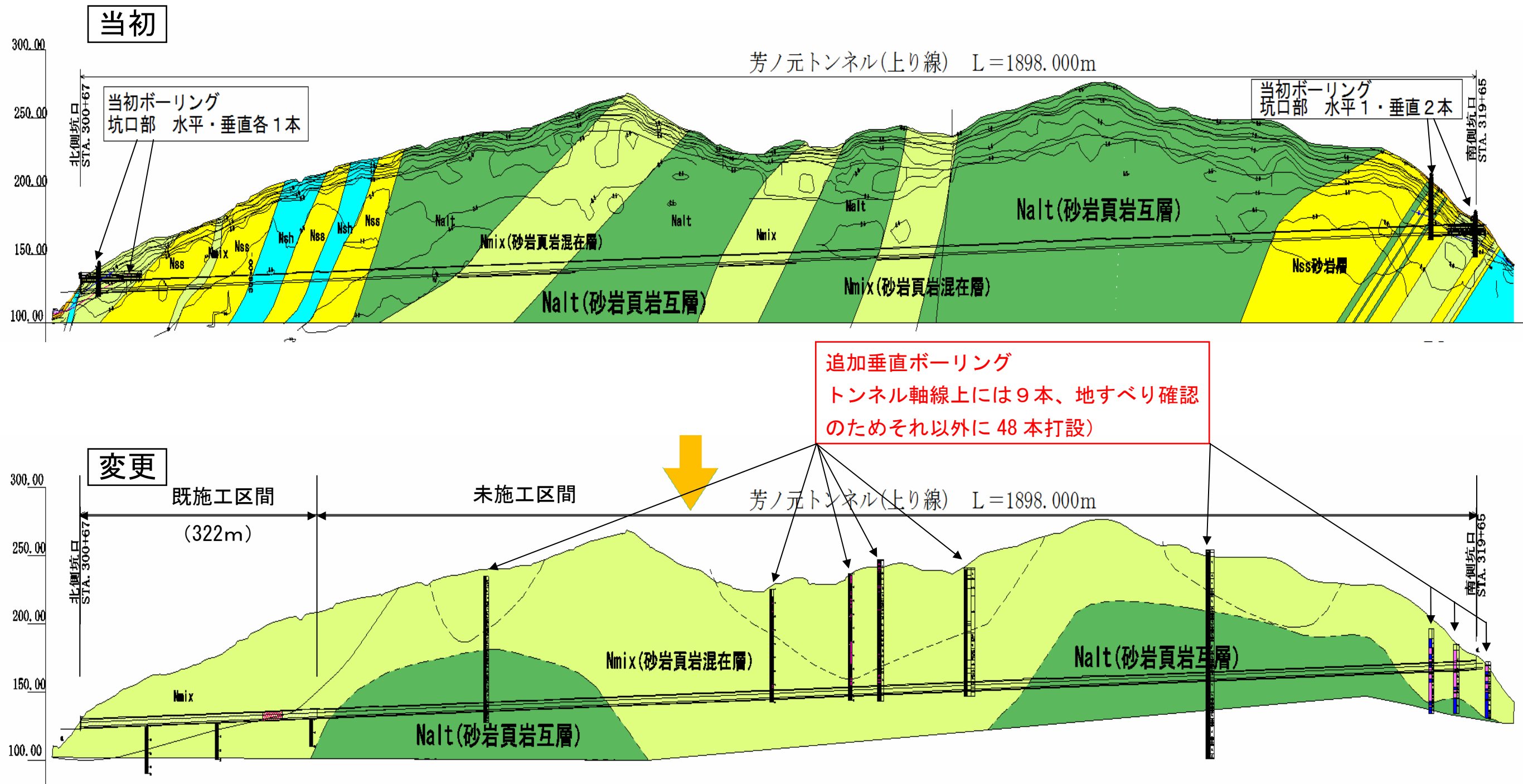


### ④-1 トンネルの支保構造と施工方法について

#### 1. トンネル周辺の地質状況

- ・芳ノ元トンネル周辺に分布する日南層群は、海底地すべりによって乱された地質である。
- ・日南層群のうち、砂岩頁岩混在層については、とくに破碎されて土砂状を呈している。
- ・これまでのトンネル掘削と地質調査ボーリングの結果から、土砂状を呈する砂岩頁岩混在層が広範囲に分布していることが判明した。

芳ノ元トンネル地質縦断図





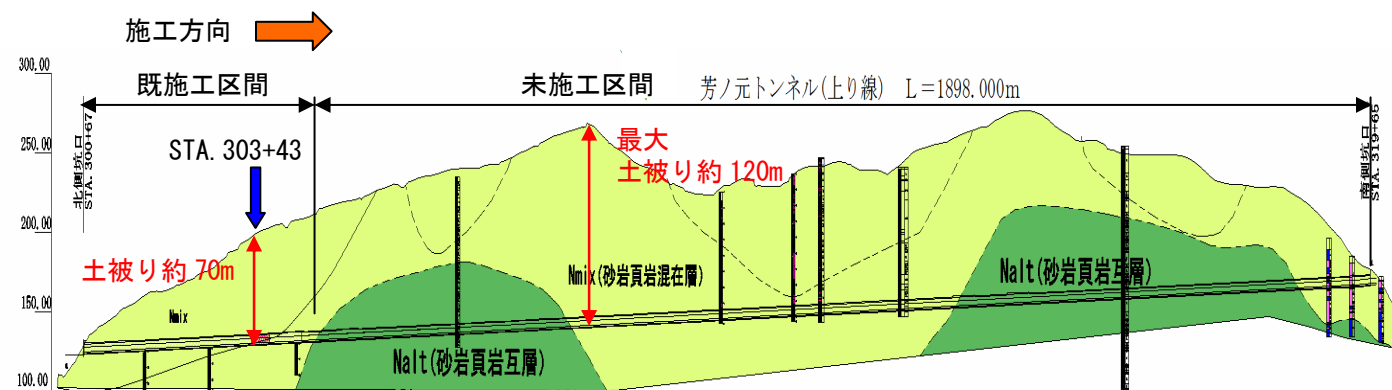
## ④-2 トンネルの支保構造と施工方法について

### 2. トンネル支保構造

- ・ 既施工区間では標準的な支保構造（D I）を適用してきたが、土被りの増加とともに作用する荷重が大きくなった。
- ・ このため、剛性の高い特殊な支保構造（E-1）に変更した。
- ・ 今後も土被りの増加に伴い、トンネルに作用する荷重が増大することが想定されるため、トンネル形状を円形に近づけるとともに、より剛性の高い支保構造に変更することが必要である。

#### 未施工区間の支保構造の変更

＜既施工区間と未施工区間の土被り＞



当初	支保パターン	D III A	DI	C II	DI	C II	DI	C II	DI	C II	DI	C II	DI	C II	D III A
	補助工法	AGF													
変更	支保パターン	Eパターン													
	補助工法	長尺GFRP管先受け工+長尺鏡ボルト+インバート早期閉合													
		AGF+長尺鏡ボルト+インバート早期閉合				長尺GFRP管先受け工+長尺鏡ボルト+インバート早期閉合									

＜計測結果と支保構造＞

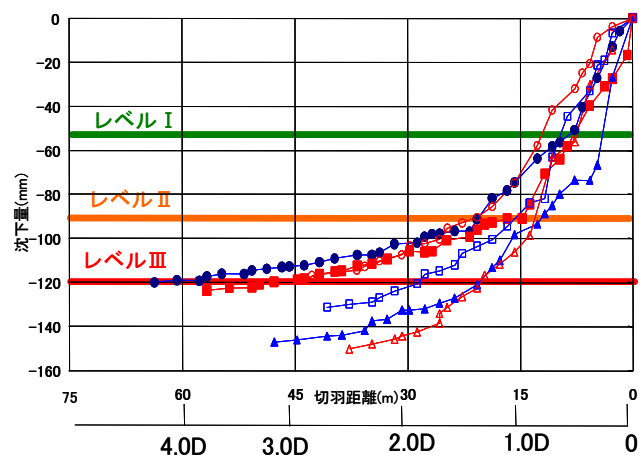


図 6-1 切羽距離と天端沈下量 (STA301+79～STA302+4 の計測結果)

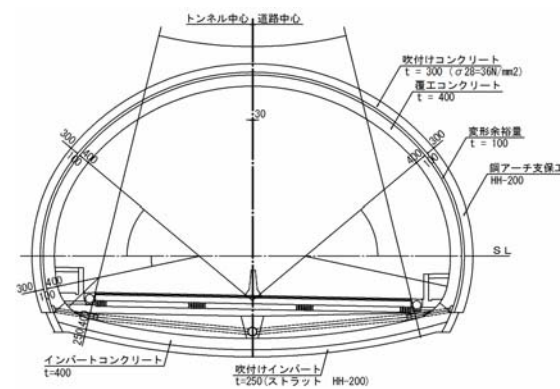


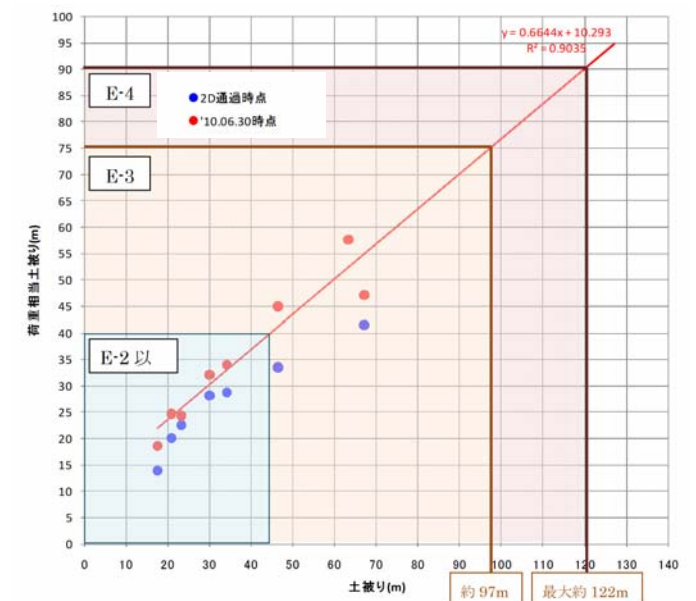
図 6-2 E-1の支保構造

#### 未施工区間の更なる支保構造の剛性アップ

＜支保構造の剛性アップの選定＞

STEP1：既施工結果を基に、①地山物性値の決定、②作用荷重の決定

既施工区間での計測結果を基に3次元数値解析でのパラメータスタディを実施して決定する。なお、現行E-1パターンでの再現解析に利用する地山荷重については既施工区間での吹付けコンクリート応力、鋼アーチ支保工応力を基に推算して決定する。



STEP2：トンネル形状・支保構造を決定

現在の支保パターン(E-1)をベースに、トンネル断面形状と支保構造を検討する。具体的には、想定した複数の支保パターン案について数値解析を実施し、支保部材の応力が許容値を満足するトンネル形状と支保構造を選定する。

＜トンネル支保構造の検討結果＞

概要図	当初							変更						
	支保パターン	C1	C2		C1	C2	支保パターン	E2	E3	E4		E2	E3	E4
吹付けコンクリート	t=150		吹付けインバート	-		吹付けコンクリート	t=250	t=300	t=450	吹付けインバート	t=250	t=300	t=450	
鋼アーチ支保工	-		H-125	-		鋼アーチ支保工	H-200	H-250	H-150+250	インバートストラット	H-200	H-250	H-150+250	
ロックボルト	L=4m(TD24)		覆工コンクリート	t=400		ロックボルト	L=6m(TD24)			覆工コンクリート	t=400			

管理レベル	管理体制	実施行動
管理レベルⅠ以下	通常体制	所定の計測頻度で施工を継続する。
管理レベルⅠからⅡ	注意体制	計測頻度を増やす。計測値の相互分析を行い、想定される要因を列挙し、特定する。
管理レベルⅡからⅢ	警戒体制	さらに計測頻度を増やす。想定される要因から対策工の検討を行う。計測データが収束方向が否かを慎重に判断する。
管理レベルⅢ以上	工事中止体制	対策工を実施する。

凡例	STANo.	土被り
●	301+78	↓ 土被り増加の増加に伴い沈下量も増加傾向を示す。
■	301+85	
▲	301+94	
○	301+99	
□	302+01	
△	302+04	



### ④-3 トンネル施工方法の検討

- ・既施工区間においては、土砂地山のため、切羽面の崩壊、天端からの崩落と脚部の沈下が発生。このため、トンネル補助工法を採用してきたところである。
- ・今後の施工区間も、既施工区間と同様の砂岩頁岩混在層の存在が確認されており、トンネル天端や切羽崩壊、沈下、抑制を図るための補助工法の追加が必要である。

#### 既掘削区間に発生した変状等



写真-1 切羽崩壊状況 (STA301+98.7)



写真-2 天端崩落状況 (STA301+98.7)



写真-3 脚部の座屈状況 (STA302+17.7)

#### 既掘削間の補助工法の選定

##### 切羽判定検討会や学識者との協議により選定

補助工法	目的										対象地山	備 考	
	施工の安全確保					周辺環境保全							
	切羽安定対策			地下水 対策	地表面 沈下 対策	近接 構造物 対策	硬岩	軟岩	土砂				
天端	天端の安定	鏡面の安定	脚部の安定										
天端	フォアボーリング	○									○	○	*1
天端	長尺フォアボーリング	○											*3
切羽	水平ジェットグラウト	○	○	○									*3
補強	スリットコンクリート	○											*3
補強	パイプルーフ	○											*3
鏡面	残核		○										*1
鏡面	鏡吹付けコンクリート		○								○	○	*1
補強	鏡ボルト		○								○	○	*1
脚部	ウイング付き鋼製支保工			○									*1
脚部	脚部吹付けコンクリート			○									*1
脚部	仮インバート			○									*1
補強	脚部補強ボルト			○									*1
補強	脚部補強パイプ			○									*2
補強	脚部補強サイドパイプ			○									*2
補強	脚部補強注入			○									*3

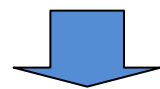
注) ○：比較的良好に採用される工法  
 \*1：通常のトンネル施工機械設備・材料で対処可能な対策  
 \*2：適用する工法によって通常のトンネル施工機械設備・材料で対処可能な工法と困難な工法がある対策  
 \*3：通常のトンネル施工機械設備・材料では対処が困難で、専用の設備等を要する対策

「出典 山岳トンネルの補助工法 土木学会」

#### トンネル補助工法の追加

##### ■施工上の課題

- ・土砂地山のため以下の現象が発生。  
このため、トンネル補助工法を採用してきた。
- (a) 天端からの崩落発生
- (b) 切羽面の亀裂による崩落発生
- (c) 天端及び脚部の沈下



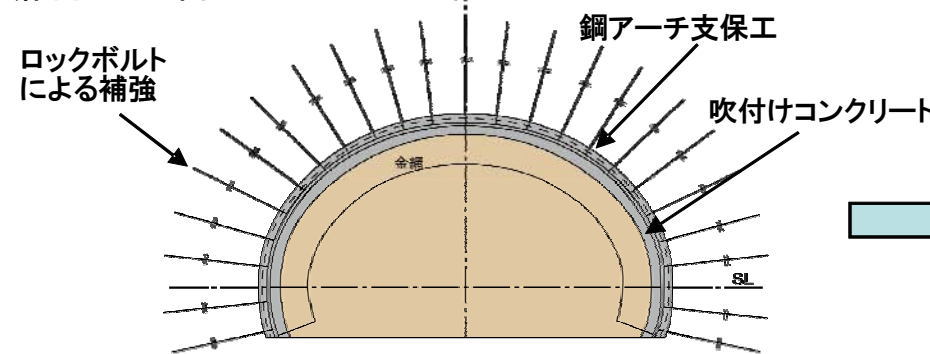
##### ■委員会審議結果

既施工区間と同様の砂岩頁岩混在層の存在が確認されており補助工法の追加が必要である。  
工法は計測結果や数値解析から、下記のとおりとする。

- (a) 注入式長尺GFRP管先受工
- (b) 長尺GFRP管鏡ボルト
- (c) インバート早期閉合

#### 当初計画

<断面イメージ図>

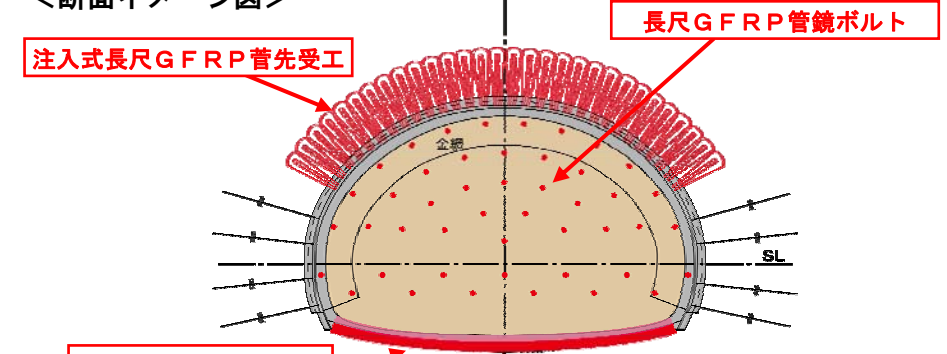


<掘削イメージ図>

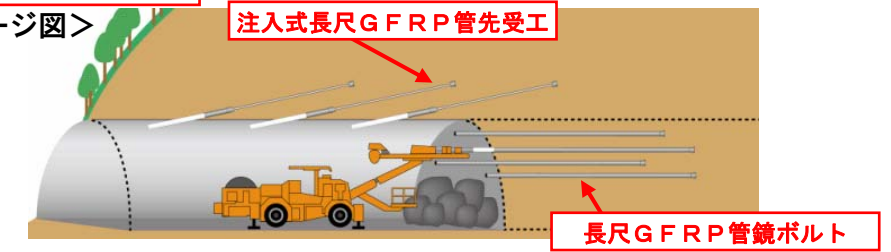


#### 委員会検討結果

<断面イメージ図>



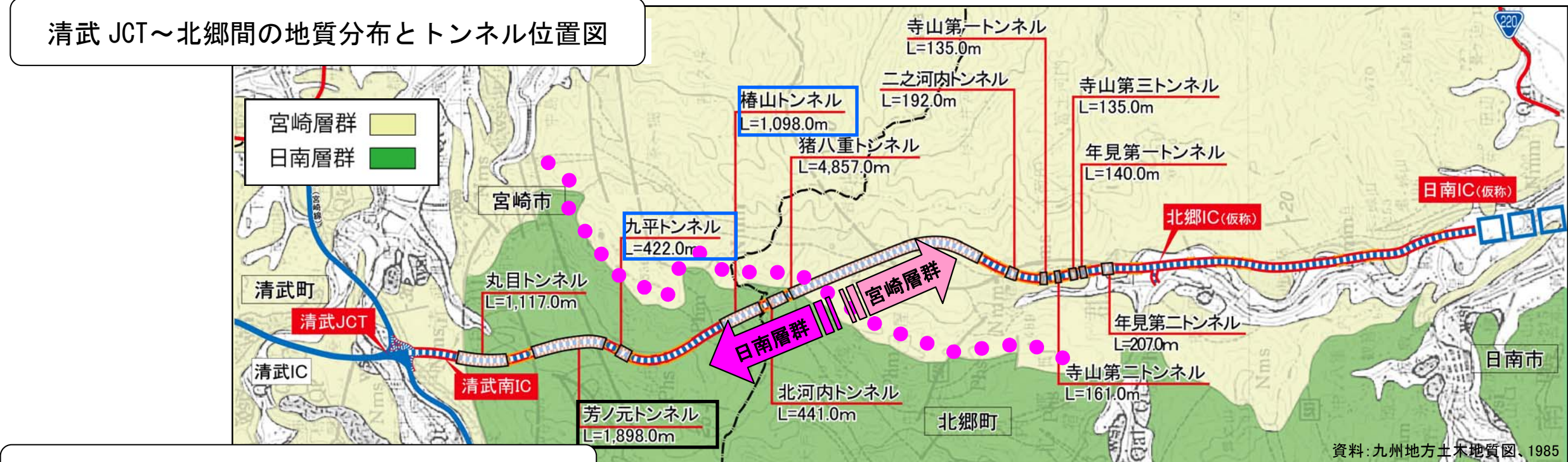
<掘削イメージ図>



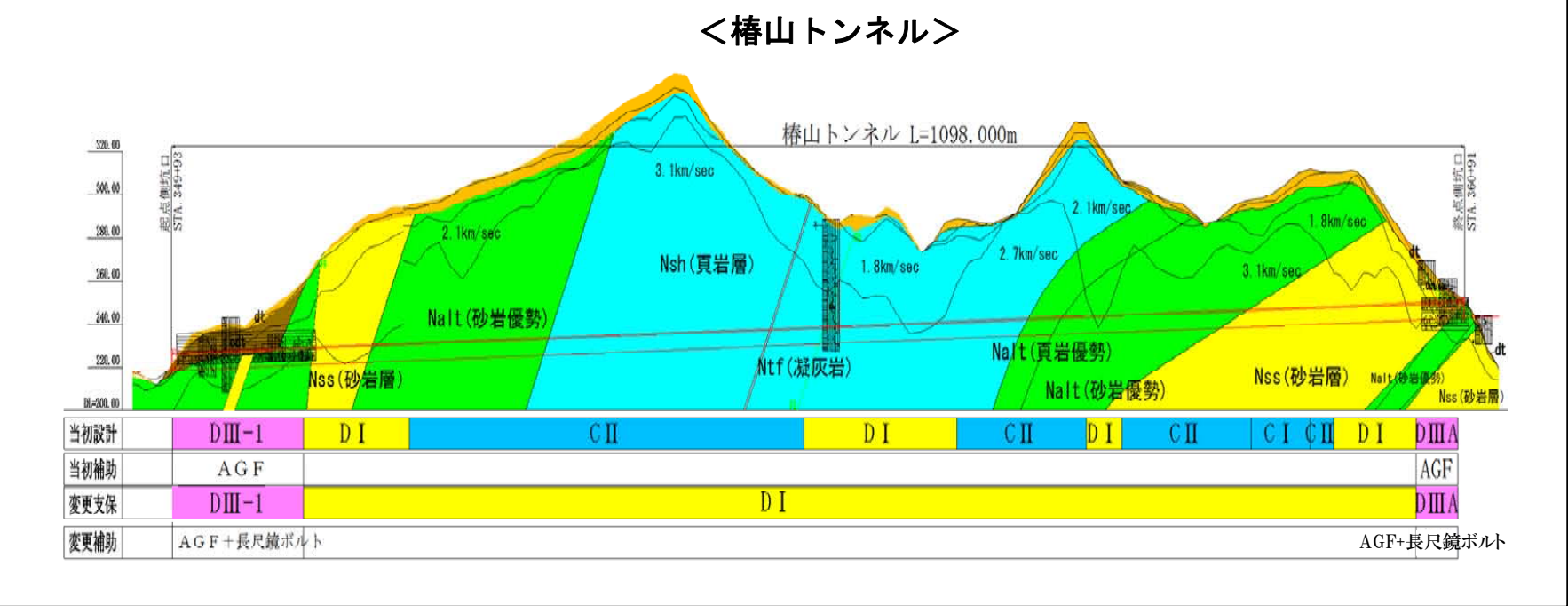
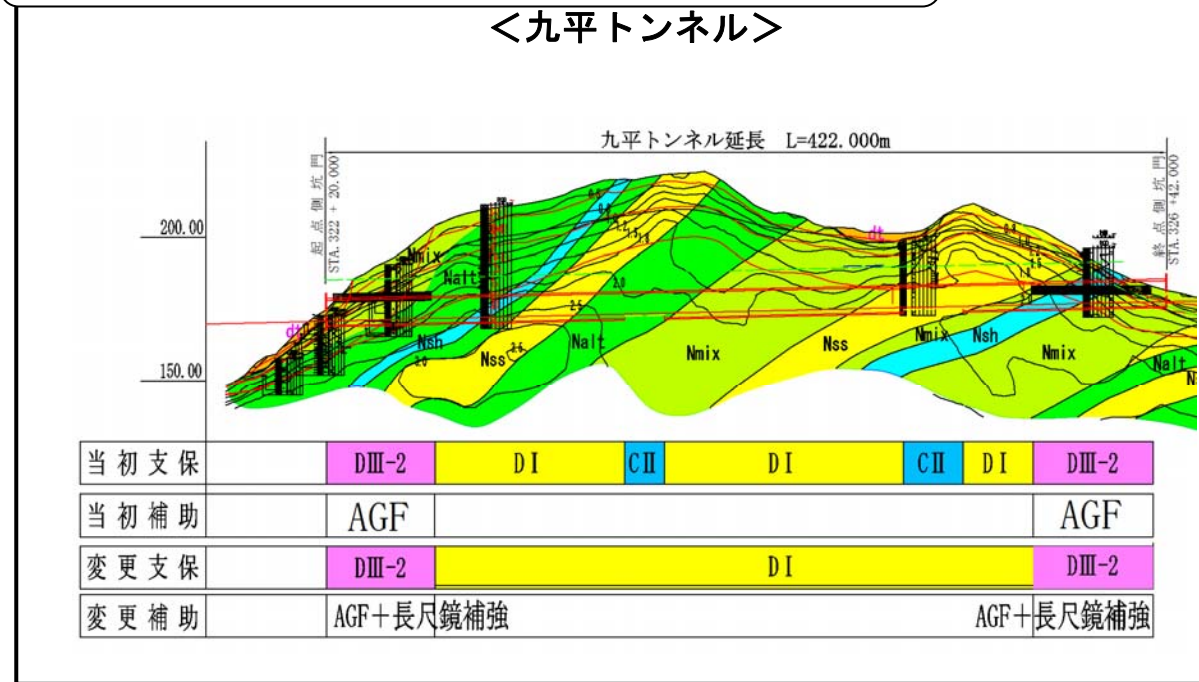


⑤-1 九平トンネル・椿山トンネルの支保構造の変更・補助工法の追加

- ・芳ノ元トンネルと同じく日南層群の地山であり、脆弱化した地山の分布が想定される。
- ・日南層群は四万十帯に属し、成因は付加帯である。付加帯の形成に伴う地殻変動を受けており、構造的に脆弱な地質帯である。
- ・椿山、九平トンネルの地質は、芳ノ元トンネルと同様に日南層群に属しており、構造的・成因的な要因で地質帯全体が脆弱化している可能性がある。
- ・特に、岩種が砂岩・頁岩の互層および混在層であるため、硬軟いりまじった乱雑層の出現が予想され、トンネル掘削によって切羽からの抜け落ちやゆるみの拡大が懸念される。
- ・よって、芳ノ元トンネルと同様、支保構造の変更・補助工法の追加が必要であると考えられる。



芳ノ元トンネルの実績を踏まえた工法変更





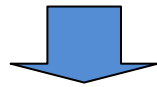
⑤-2 九平トンネル・椿山トンネルの支保構造の変更と補助工法の追加

・芳ノ元トンネルでは土砂化した砂岩頁岩混在層が多く分布していることが施工段階で判明し、坑内変位や切羽の崩落等が顕著に確認されたため、計測結果や解析結果を踏まえて剛性の高い支保構造に変更するとともに、地山を緩めない補助工法を追加。  
 ・このため、九平、椿山トンネルでは芳ノ元トンネルと同様に一般部のC I, C IIはD Iパターンに変更が必要であると考えられる。また、坑口部では切羽崩落や天端の崩落を防止するための補助工法の追加が必要である。

支保構造の変更

■施工上の課題

芳ノ元トンネルには脆弱化した砂岩頁岩混在層が分布しており、近傍の九平、椿山トンネルも同様の地質が分布することが想定される。



■委員会審議内容

芳ノ元トンネルと同様に一般部のC 1, C 2はD 1パターンに変更される可能性が高い。

補助工法の追加

■施工上の課題

脆弱化した地山の分布により坑口部において以下の現象の発生が予想される。

- (a) 天端からの崩落発生
- (b) 切羽面の亀裂による崩落発生



■委員会審議結果

両坑口部においては、芳ノ元トンネルと同様の補助工法が必要であると考えられる。

- (a) 注入式長尺鋼管先受工 (AGF)
- (b) 長尺鏡ボルト

概要図	当初				変更			
	支保パターン	C1	C2		支保パターン	D1		D1
吹付けコンクリート	t=150		吹付けインバート	—	吹付けコンクリート	t=200	吹付けインバート	—
鋼アーチ支保工	—	H-125	インバートストラット	—	鋼アーチ支保工	H-150	インバートストラット	—
ロックボルト	L=4m(TD24)		覆工コンクリート	t=400	ロックボルト	L=6m(TD24)	覆工コンクリート	t=400

