

(報告資料2)

資料は委員会での意見を踏まえ、
修正を行っております。

2. 地質調査結果（概要）について

- (1) 地質調査計画…………… P1～P3
 - 1) 地質調査目的
 - 2) 地質調査位置・調査項目
- (2) 地質調査結果…………… P4～P14
 - 1) 調査位置・調査項目（大断面トンネル部）
 - 2) 調査位置・調査項目（標準トンネル～3連トンネル部）
 - 3) 陥没形状の想定
 - 4) 異物等混入状況の整理
 - 5) 流向流速測定結果
- (3) 各層の工学的評価…………… P15～P36
 - 1) D2層の工学的評価
 - 2) 炭質頁岩層（Dh）の工学的評価
 - 3) 流動化処理土の工学的評価
 - 4) 緩い砂層の工学的評価
 - 5) 博多粘土上部層（dHs2）の工学的評価
- (4) 博多駅工区における地層構成の推定…………… P37～P45
 - 1) 全体地層構成
 - 2) 各断面の地層構成
- (5) 地質調査結果まとめ…………… P46～P47

平成29年 11月 7日（水）

福岡市交通局

（１）地質調査計画

(1) 地質調査計画

1) 地質調査目的

委員会での討議を踏まえ、以下の地質調査を実施した。

【大断面トンネル部】

背景

地盤改良検討・坑内排水計画・再掘削検討

目的

- ①陥没形状の確認
- ②陥没範囲内の不均質性の確認
- ③地盤改良効果の確認

実施項目

- ①地山と緩い砂層の境界の把握
- ②D2層以浅の物性値等の確認
- ③改良済地盤の範囲や物性値の確認

(*) 道路陥没に関する検討委員会に報告した追加地質調査報告書を用いる

(*) 緩い砂層＝崩壊堆積物領域

【標準トンネル～3連トンネル部】

背景

トンネル掘削・坑内排水計画検討

目的

- ①地質調査精度の向上
- ②D2層の工学的評価の充実

実施項目

- ①地山物性値の取得
- ②トンネル天端付近の岩盤性状の把握
- ③D2層の3次元的分布や厚さの把握
- ④D2層の破壊抵抗性の把握
- ⑤弱層（断層、層理面、節理・亀裂）
区分と分布頻度の把握

(1) 地質調査計画

2) 地質調査位置・調査項目

- ※1 埋設物を試掘で確認して実施可否を判断した。
- ※2 地元協議に伴い一部計画を変更した。
- ※3 3連区間の調査孔はN-3、S-4'を除き、ロックボルトの施工範囲内。
- ※4 トンネル坑内にボーリングを貫通させない配置。

調査目的

配置の考え方

【区間A】

①D2層崩壊の範囲調査
②陥没範囲内の不均質性の確認（追加）
③地盤改良効果確認

【区間B】

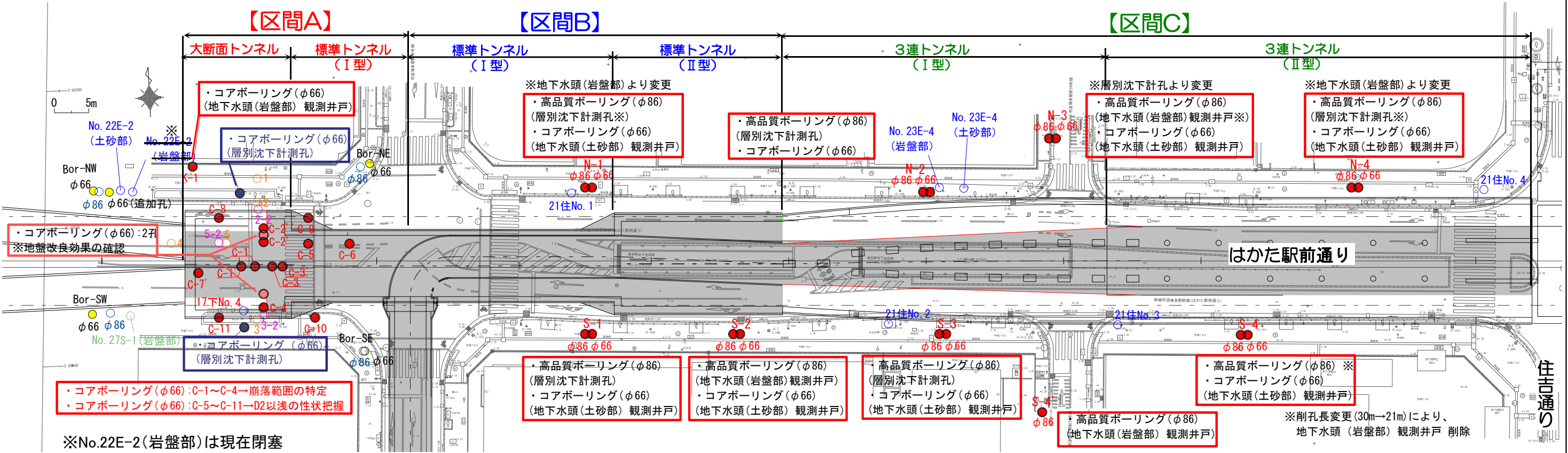
①インバート掘削のための地質情報の取得
②水抜きの際の地盤挙動予測のための地質情報の取得

【区間C】

①左右坑掘削のための地質情報の取得
②水抜きの際の地盤挙動予測のための地質情報の取得

陥没部を中心とし、崩壊・改良範囲を確認できる範囲

脆弱な炭質頁岩が出現し始めた位置を起点とし、約30m間隔で配置



調査位置	種別	孔径	調査本数	調査項目	調査後のボーリング孔の利用
【区間A】 大断面トンネル ～ 標準トンネル I 型	コアボーリング	φ66	15本※	ボーリング調査（原位置試験・室内試験）	・流向流速調査：11本
					・層別沈下計測孔：2本
					・地下水頭（岩盤部）観測井戸：1本
【区間B・C】 標準トンネル I 型 ～ 3連トンネル II 型	高品質ボーリング	φ86	9本	ボーリング調査（原位置試験※1・室内試験※2） ※1：ボアホールテレビ、低圧ルジオン試験、孔内水平載荷試験、PS検層（S-4'）・微動アレイ探査 ※2：針貫入試験、土壌硬度試験、室内土質試験、室内岩石試験	・地下水頭（岩盤部）観測井戸：3本
	コアボーリング	φ66	8本	ボーリング調査（孔内水平載荷試験）	・層別沈下計測孔：5本 ・地下水位（土砂部）観測井戸：7本

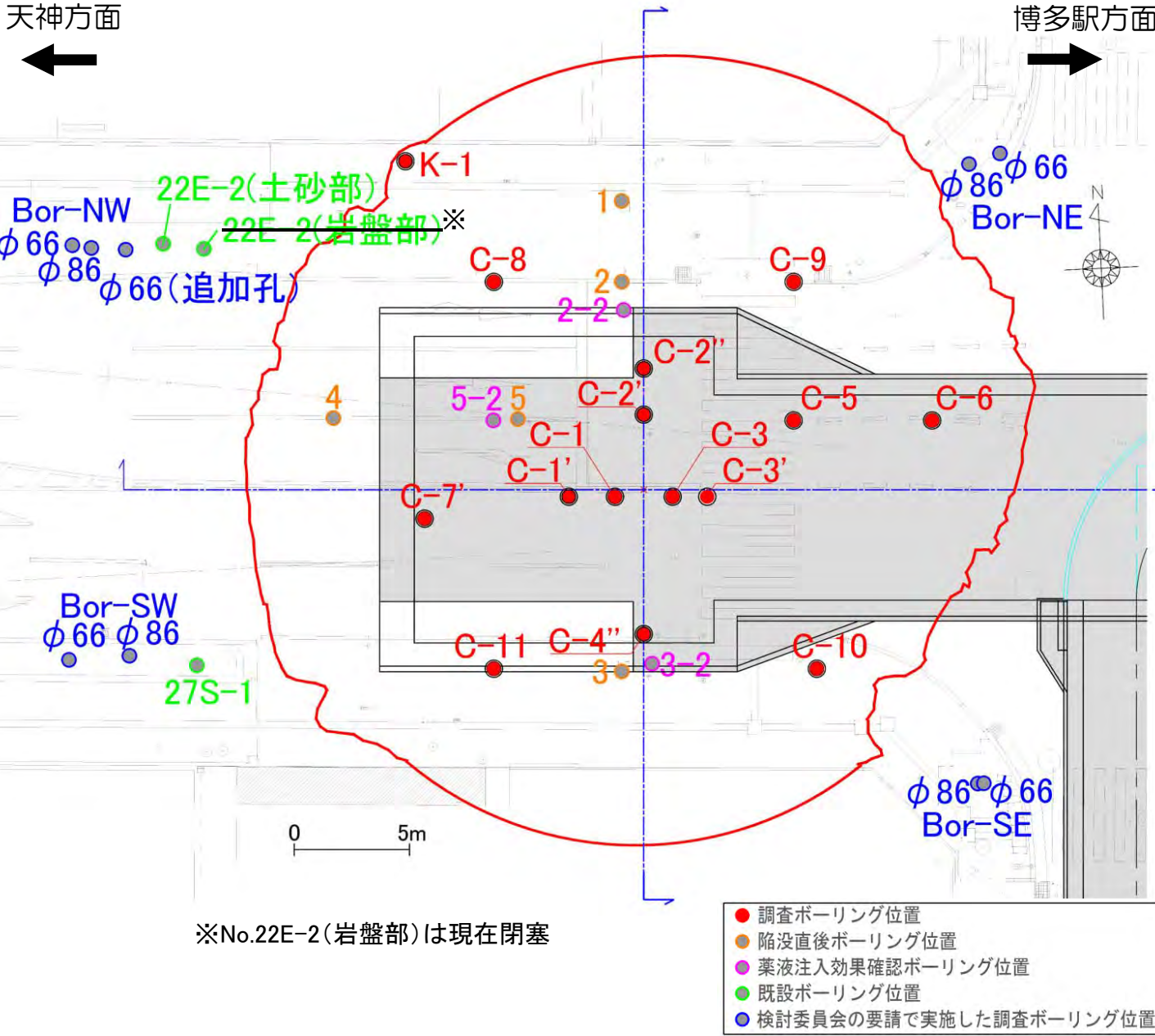
※区間Aの調査本数（変更後15本）の他に地盤改良後に追加で4本の調査を行う

（2）地質調査結果

(2) 地質調査結果

※【変更】:当初計画から変更

1) 調査位置・調査項目 (大断面部トンネル部)



※No.22E-2(岩盤部)は現在閉塞

※削孔経緯まとめ

孔名	削孔長 (m)	陥没孔中心からの距離 (m)	地山確認	地山確認深度 (GL,m)	備考
C-1	17.0	1.25	—	—	—
C-1'	17.0	3.25	◎(dHs2)	-16.2	C-1から西へ2m
C-2'	17.0	3.25	—	—	C-2から北へ2m
C-2''	17.0	5.25	◎(dHs2)	-15.7	C-2'から北へ2m
C-3	17.0	1.25	—	—	—
C-3'	17.0	2.75	◎(D2)	-16.5	C-3から東へ1.5m
C-4''	17.0	6.25	◎(dHs2)	-14.1	C-4から南へ4m

◎: 地山 (dHs2層) が確認できた孔

I. 陥没形状の把握: C-1~C-4''

: 削孔深度は、D2層上端面 (G.L.-17.0 m) まで 【計画】:4本→【変更】:7本 (完了)

種別	孔径	対象土層	調査項目	C-1	C-1'	C-2'	C-2''	C-3	C-3'	C-4''
コア ホーリング	φ66	流動化処理土	原位置	コア	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○
			針貫入	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○
			室内	室内岩石	—	—	×→○	—	—	—
		緩い砂層	原位置	コア	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○
			針貫入	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○
			流向流速	○→○	—	○→○	—	○→○	—	○→○
		室内	室内土質	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○
			室内土質	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○
		dHs2層	原位置	コア	○→×	○→○	○→×	○→×	○→×	○→○
			針貫入	○→×	○→○	○→×	○→○	○→×	○→×	○→○
		室内	室内土質	○→×	○→○	○→×	○→○	○→×	○→×	○→○
			室内土質	○→×	○→○	○→×	○→○	○→×	○→×	○→○

※・計画通りに実施したもの: ○→○
・層が確認されず、実施できなかったもの: ○→×

II. D2層以浅の性状把握: C-5~C-11

: 削孔深度は、D2層下端またはD2層上端から2mの浅い方 (G.L.-18.0m) まで

【計画】: 2本 → 【変更】: 7本 (完了)

種別	孔径	対象土層	調査項目		C-5～C11
コア ホーリング	φ66	流動化処理土	原位置	コア	○
				針貫入	○
				現場透水	○
		緩い砂層	原位置	コア	○
				針貫入	○
				流向流速	○
				現場透水	○
			室内	室内土質	○
		dHs2層	原位置	コア	○
				針貫入	○
			室内	室内土質	○
		D2層	原位置	コア	○
				針貫入	○
				BHTV	○
				孔内水平	○
現場透水	○				
室内	室内岩石		○		
	室内透水		○		

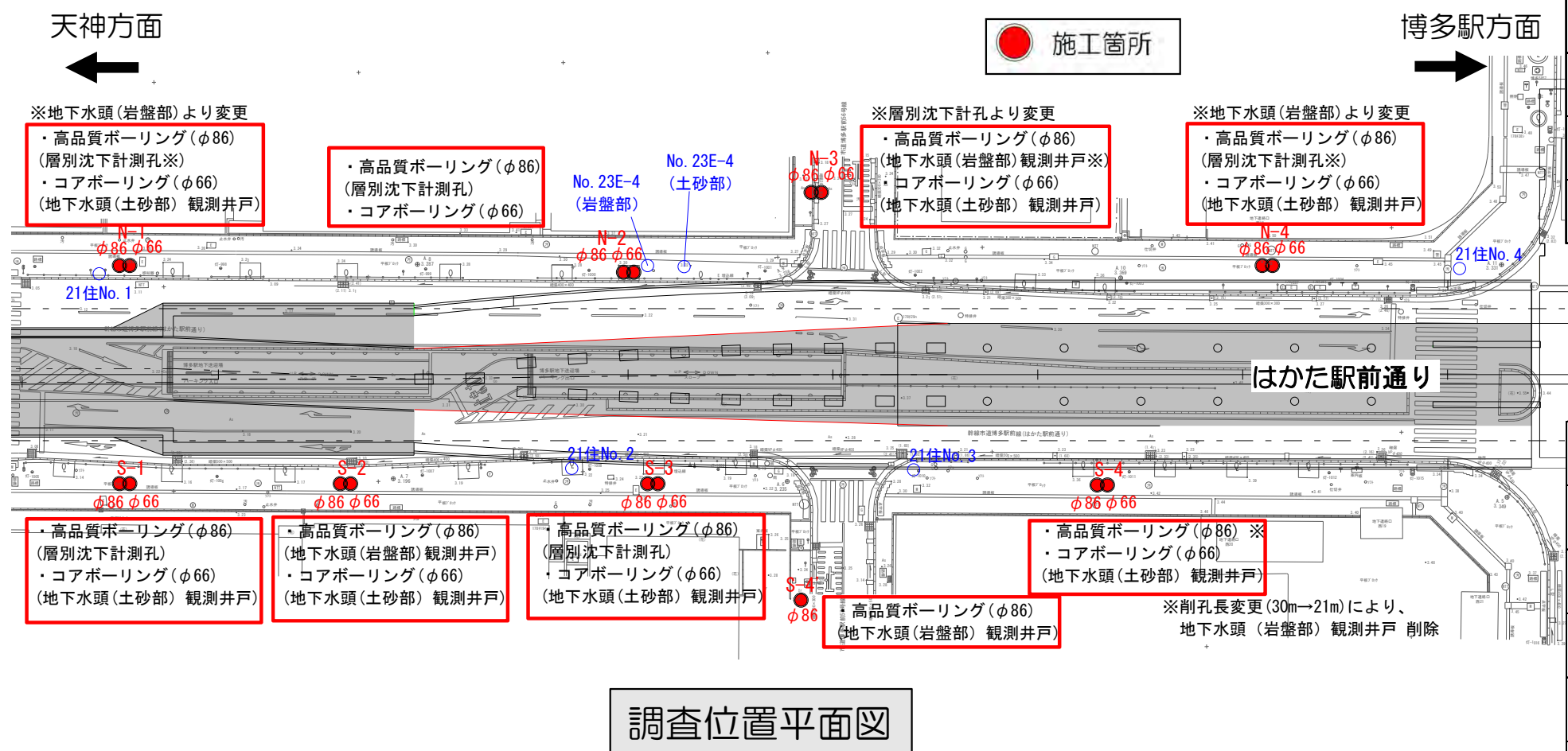
III. 観測井戸 (岩盤水頭): K-1

: 削孔深度は、G.L.-30.0 mまで 【計画】:1本→【実施】:1本 (完了)

種別	孔径	対象土層	調査項目		K-1
コア -リツク*	φ66	土砂層	原位置	コア	○
				針貫入	○
				標準貫入	○
		D2層	原位置	コア	○
				針貫入	○
				標準貫入	○
		岩盤層	原位置	コア	○
				針貫入	○
				標準貫入	—

(2) 地質調査結果

2) 調査位置・調査項目
(標準トンネル～3連トンネル部)



【実施項目まとめ】

孔名	孔径	実施		
		種別	削孔長 (m)	計器
N-1	φ86	高品質	30.0	層別沈下計
	φ66	コア	16.5	地下水頭 (土砂部)
N-2	φ86	高品質	30.0	層別沈下計
	φ66	コア	23.0	—
N-3	φ86	高品質	30.0	地下水頭 (岩盤部)
	φ66	コア	21.5	地下水頭 (土砂部)
N-4	φ86	高品質	30.0	層別沈下計
	φ66	コア	21.0	地下水頭 (土砂部)

【実施項目まとめ】

孔名	孔径	実施		
		種別	削孔長 (m)	計器
S-1	φ86	高品質	30.0	層別沈下計
	φ66	コア	16.5	地下水頭 (土砂部)
S-2	φ86	高品質	30.0	地下水頭 (岩盤部)
	φ66	コア	23.0	地下水頭 (土砂部)
S-3	φ86	高品質	30.0	層別沈下計
	φ66	コア	21.5	地下水頭 (土砂部)
S-4	φ86	高品質	21.0	—
	φ66	コア	21.0	地下水頭 (土砂部)
S-4'	φ86	高品質	30.0	地下水頭 (岩盤部)

調査位置平面図

VI. D2層の工学的評価充実：削孔深度は、本坑（φ86）がG.L.-30.0 m、別孔（φ66）がD2層上端面（G.L.-15.0m）まで

種別	孔径	調査 本数	対象土層	調査項目											
				コア	針貫入	原位置					室内				
						BHTV	流向流速	孔内水平	現場透水	PS検層・微動アレイ	室内土質	室内透水	室内岩石	K ₀ 圧密	圧密
コア ボーリング (φ86)	φ66 (φ86)	8 (9)	土砂層	○	—	—	○	—	—		○	—	—	※5	—
			D2層	○	○	○	—	○	低圧ルジオン試験		○	○	CU	※5	—
			炭質頁岩層	○	○	○	—	○	低圧ルジオン試験	D2層 上端面の調査	—	○	CU	—	※6
			D1層	○	○	○	—	—	低圧ルジオン試験		—	○	CU	—	—
			C2層	○	—	○	—	—	低圧ルジオン試験		—	○	UU	—	—

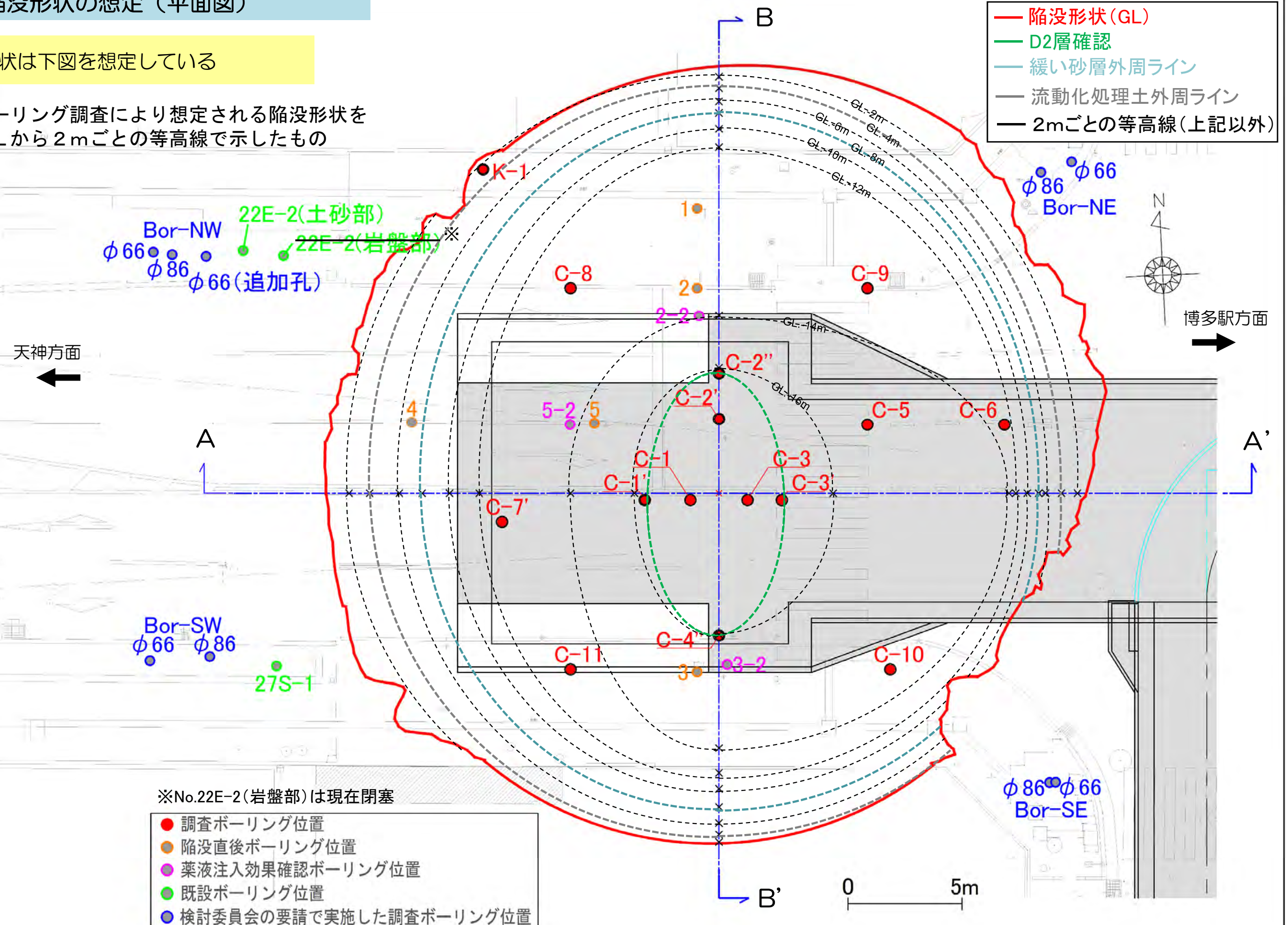
- ※1 本孔（高品質ボーリング（φ86））にてコアを採取した。別孔（コアボーリング（φ66））では、試験深度決定のためにコアを採取した。
- ※2 本孔にて流向流速計測を実施した。
- ※3 本坑にて低圧ルジオン試験を実施した（換算ルジオン値となるが、その値の妥当性については十分確認する）。
- ※4 別孔（コアボーリング（φ66））にて、孔内水平載荷試験を実施した。
- ※5 D2層およびdHs2層のK₀圧密試験を実施した（調査本数は3ヶ所）。
- ※6 Dh層の圧密試験を実施した（調査箇所は2ヶ所）。

(2) 地質調査結果

3) 陥没形状の想定 (平面図)

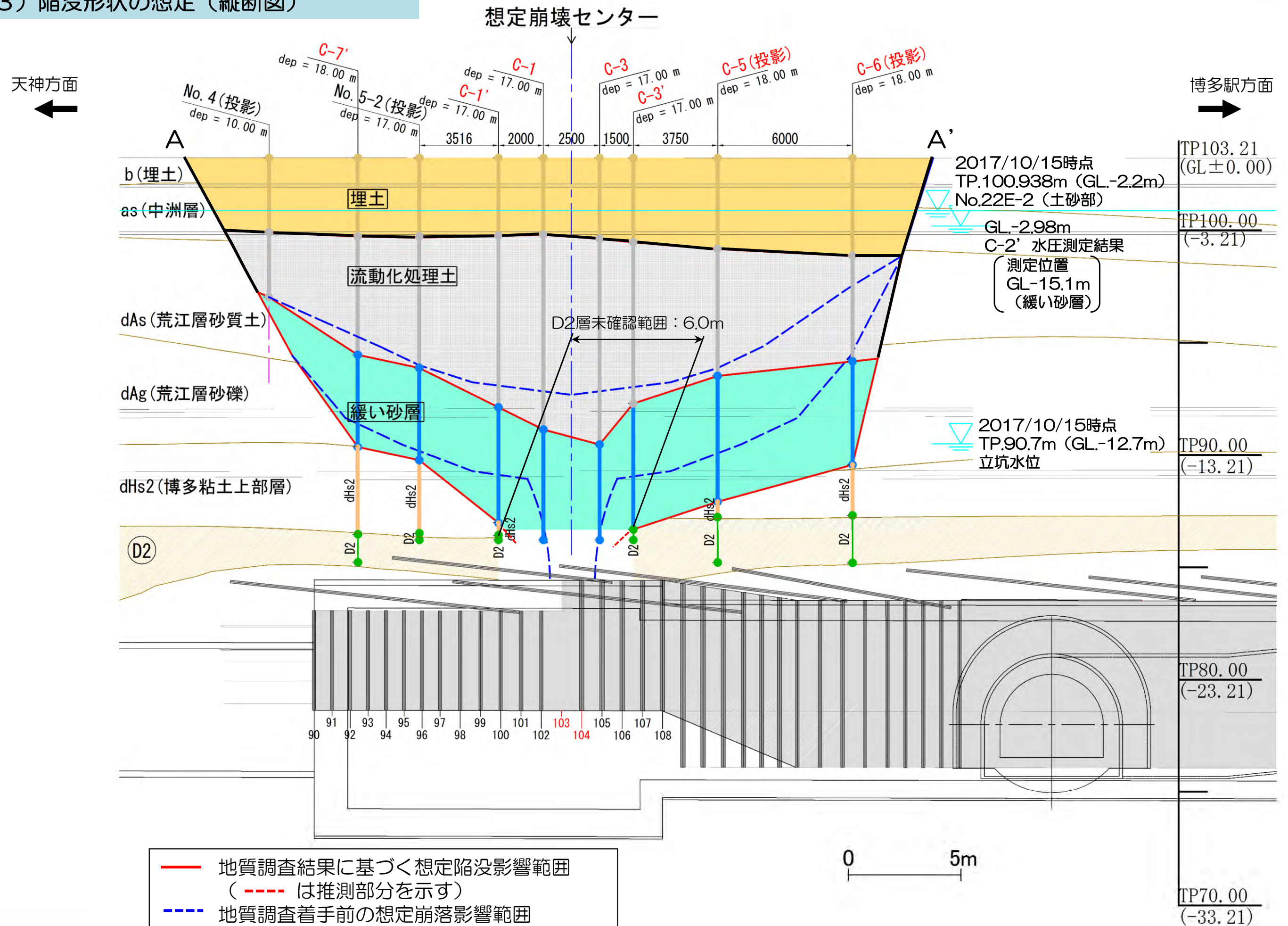
陥没形状は下図を想定している

※ボーリング調査により想定される陥没形状を
GLから2mごとの等高線で示したもの



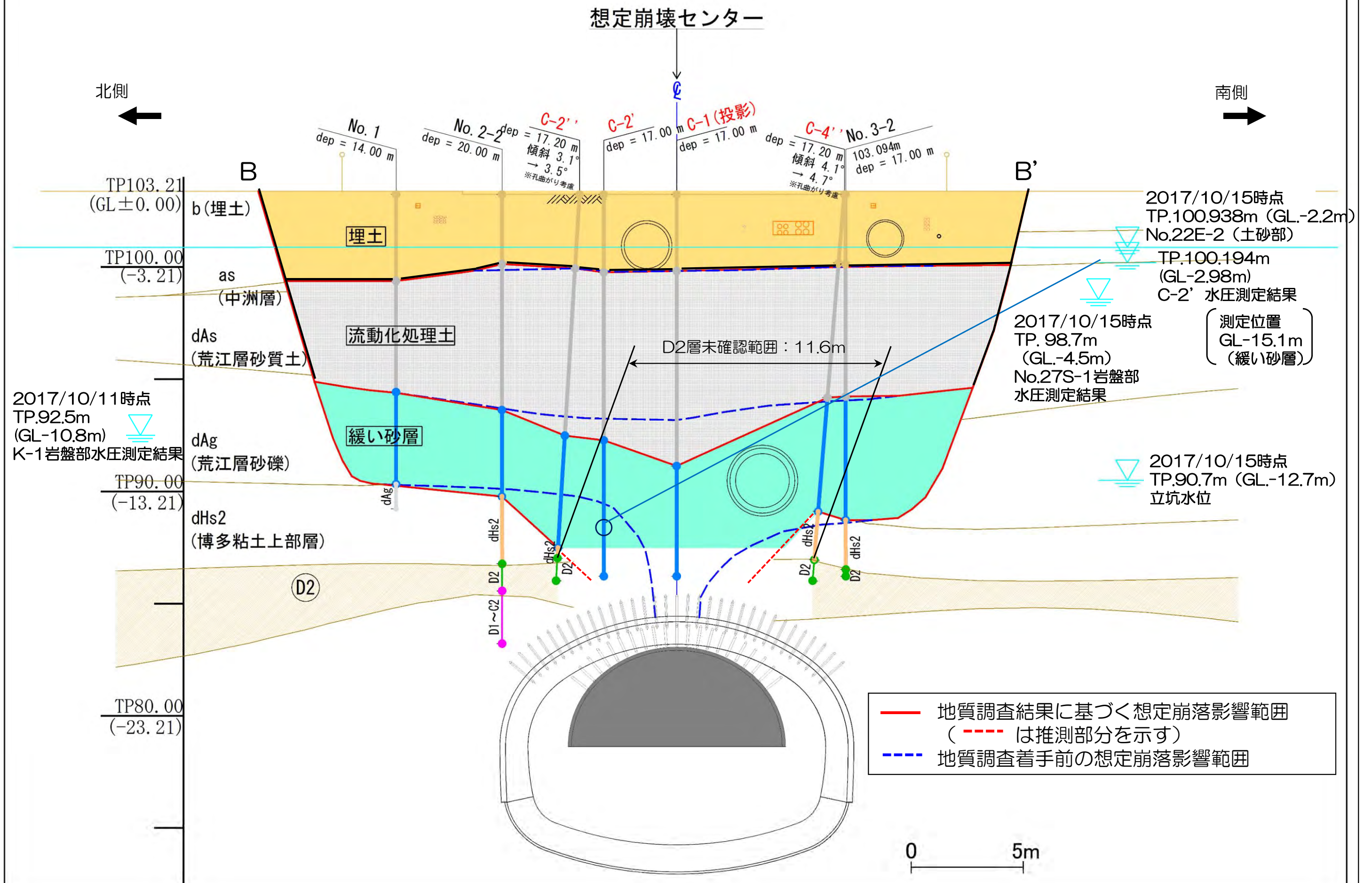
(2) 地質調査結果

3) 陥没形状の想定（縦断図）



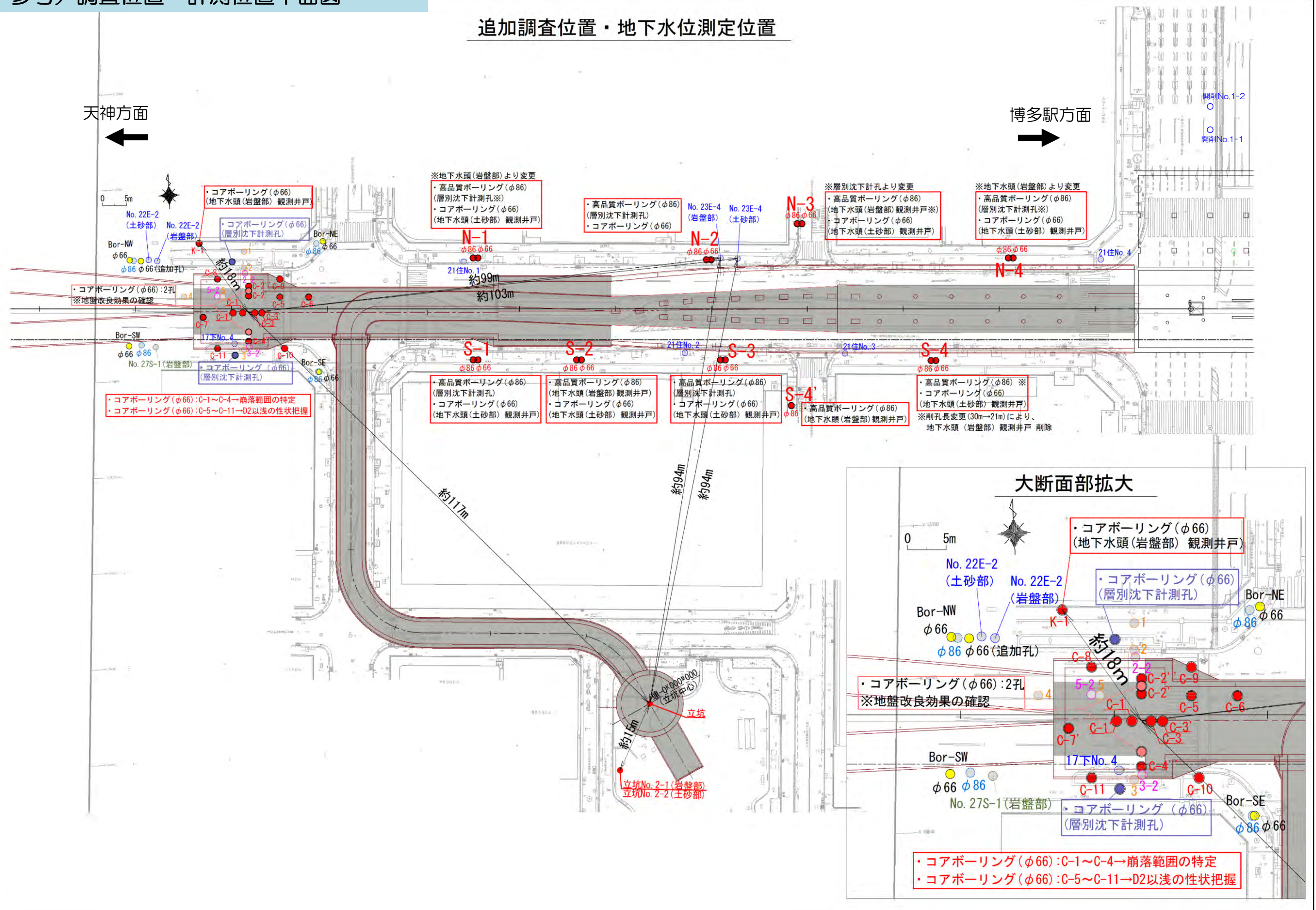
(2) 地質調査結果

3) 陥没形状の想定（横断図）



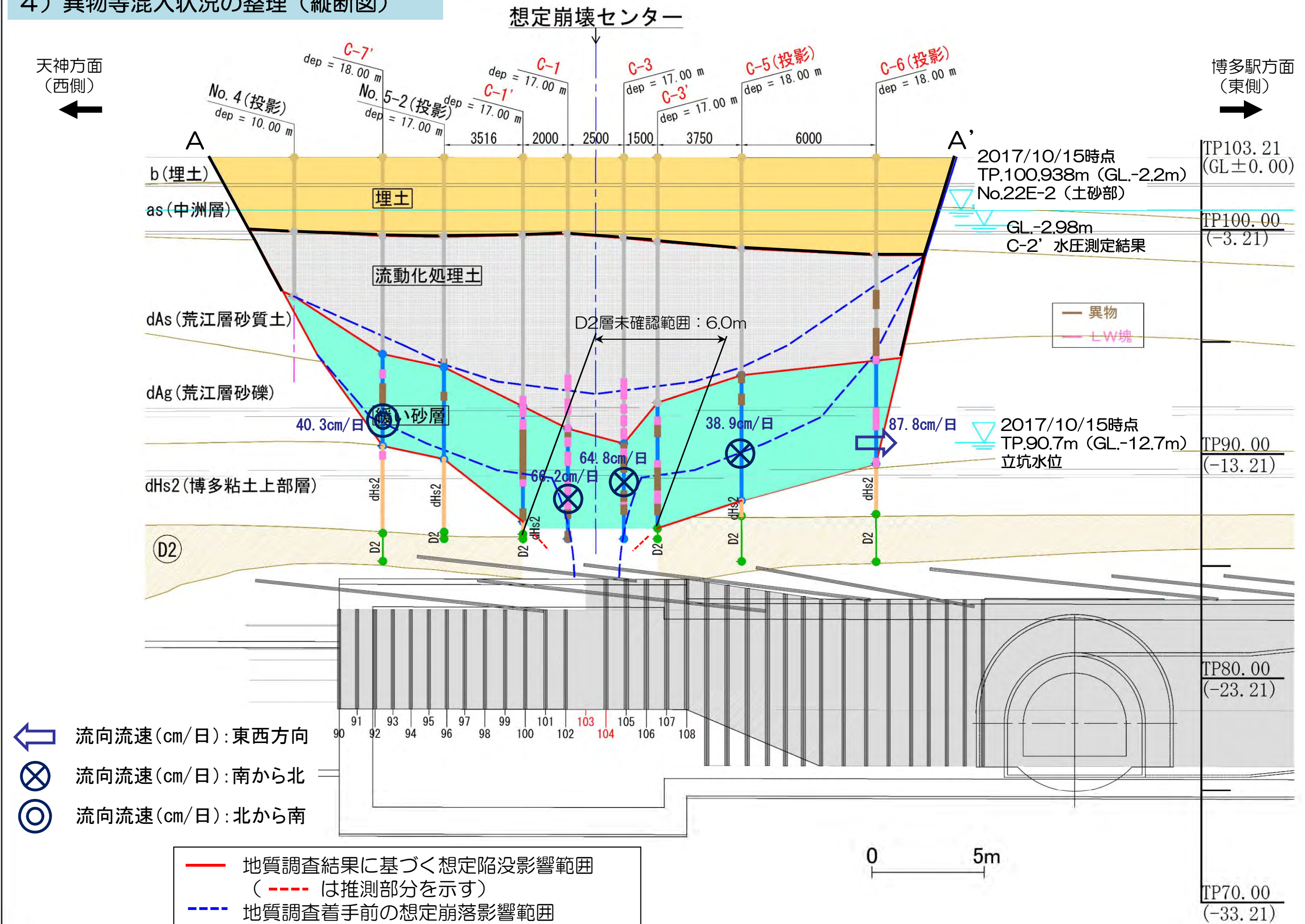
(2) 地質調査結果

参考) 調査位置・計測位置平面図



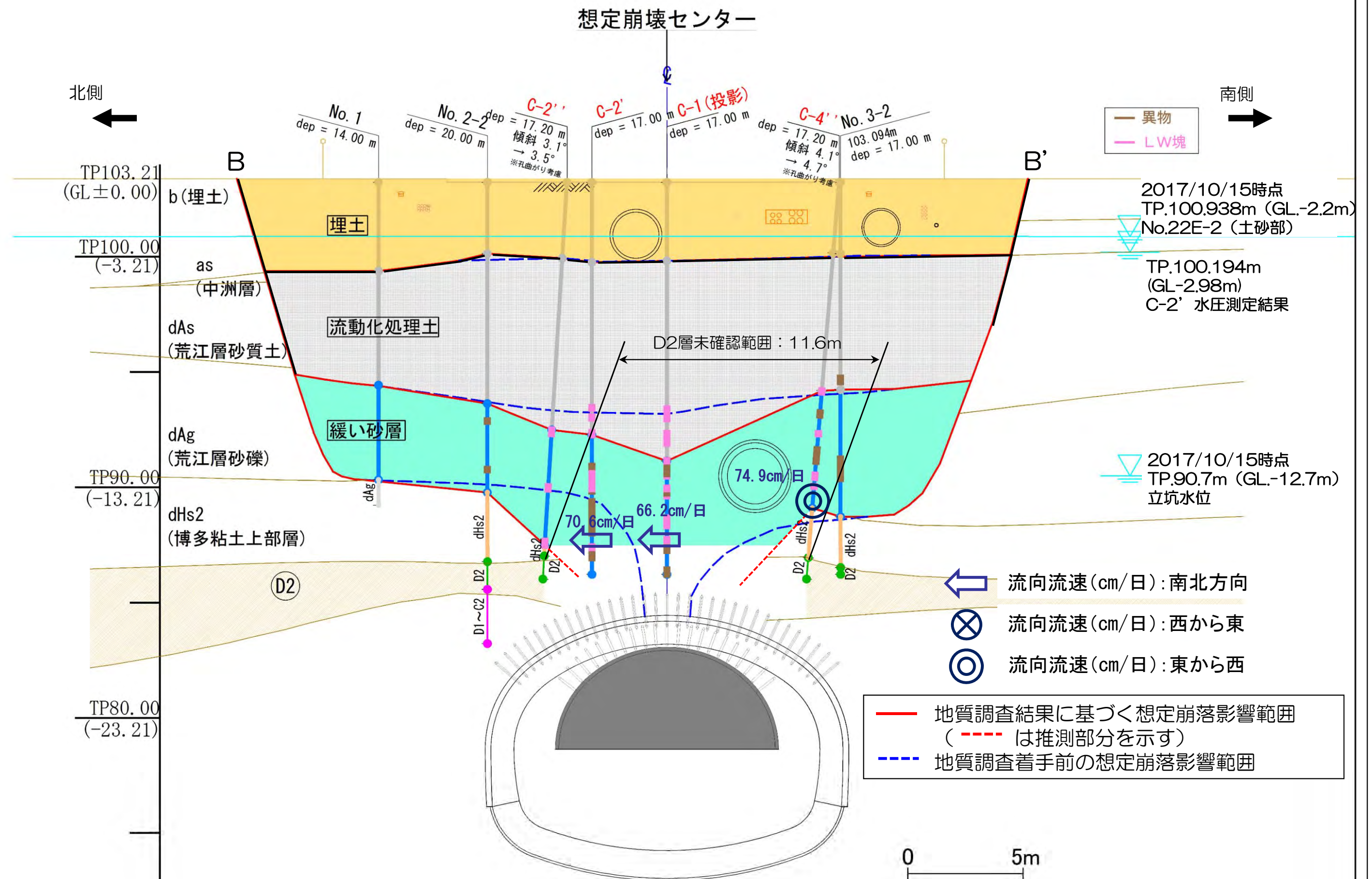
(2) 地質調査結果

4) 異物等混入状況の整理（縦断図）



(2) 地質調査結果

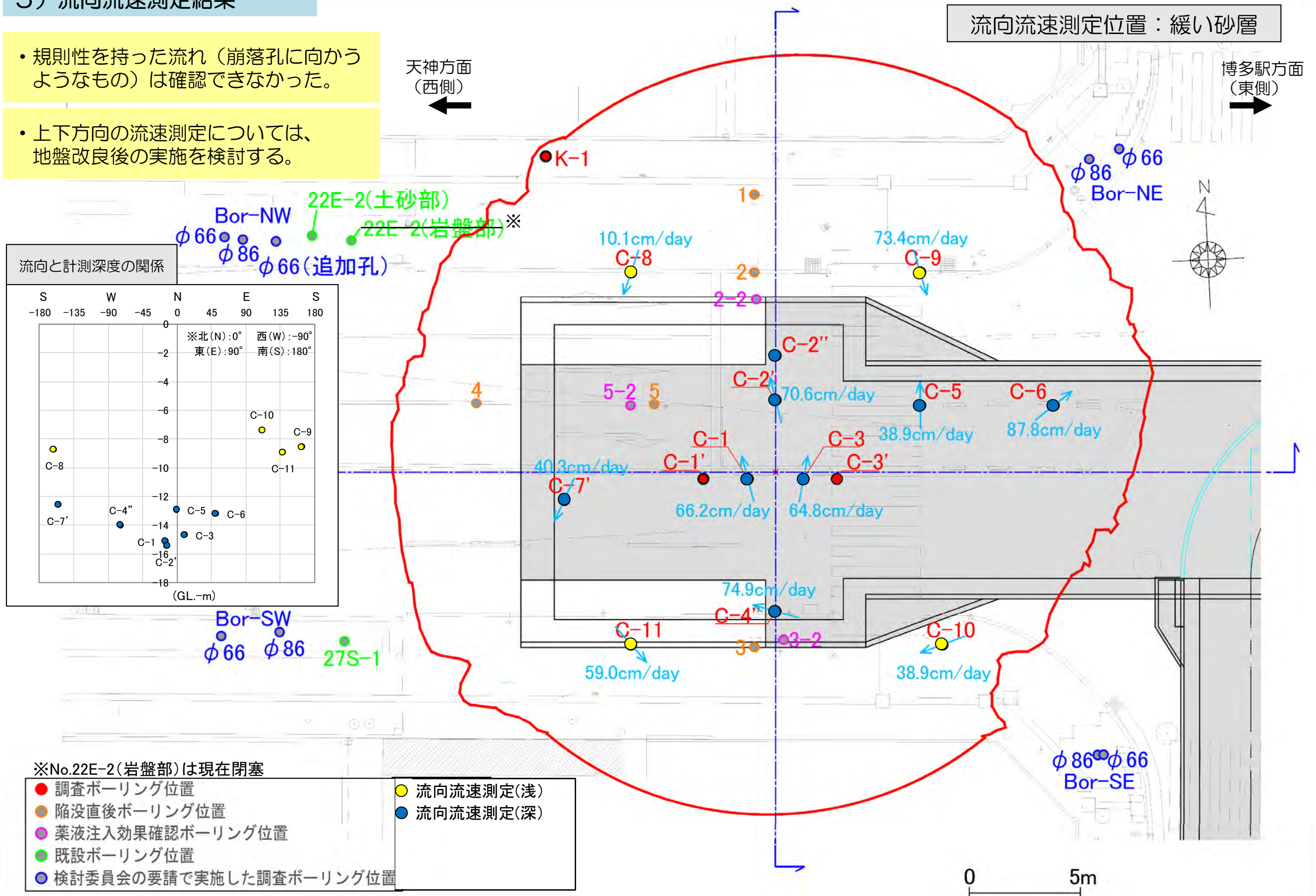
4) 異物等混入状況の整理（横断図）



(2) 地質調査結果

5) 流向流速測定結果

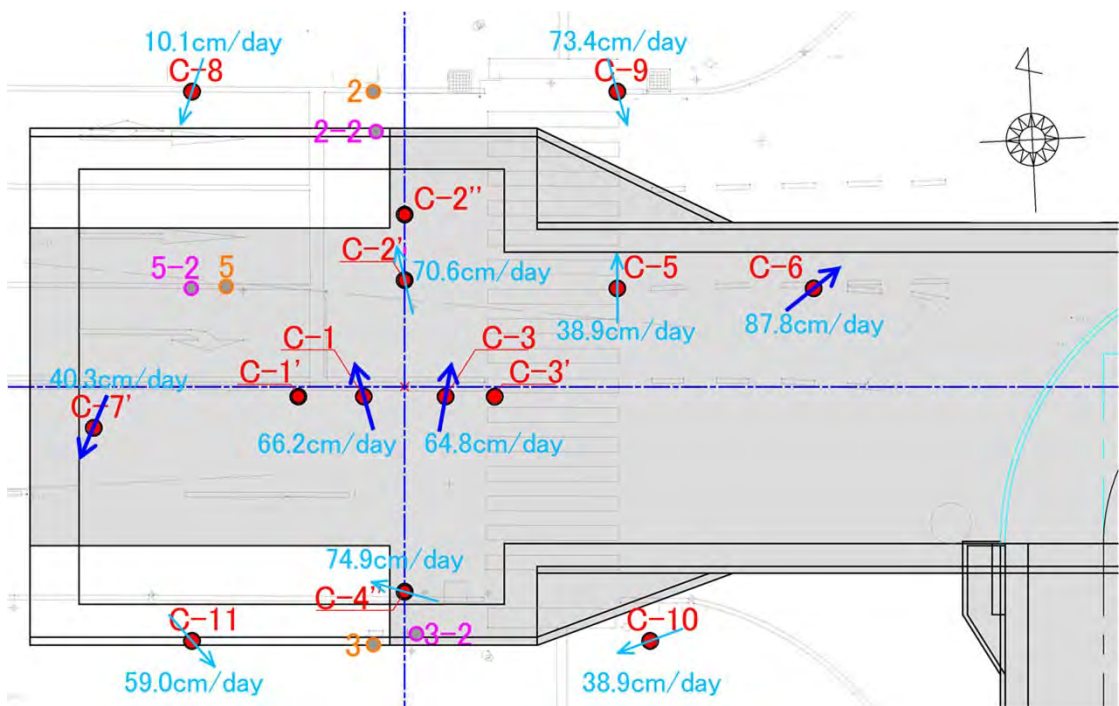
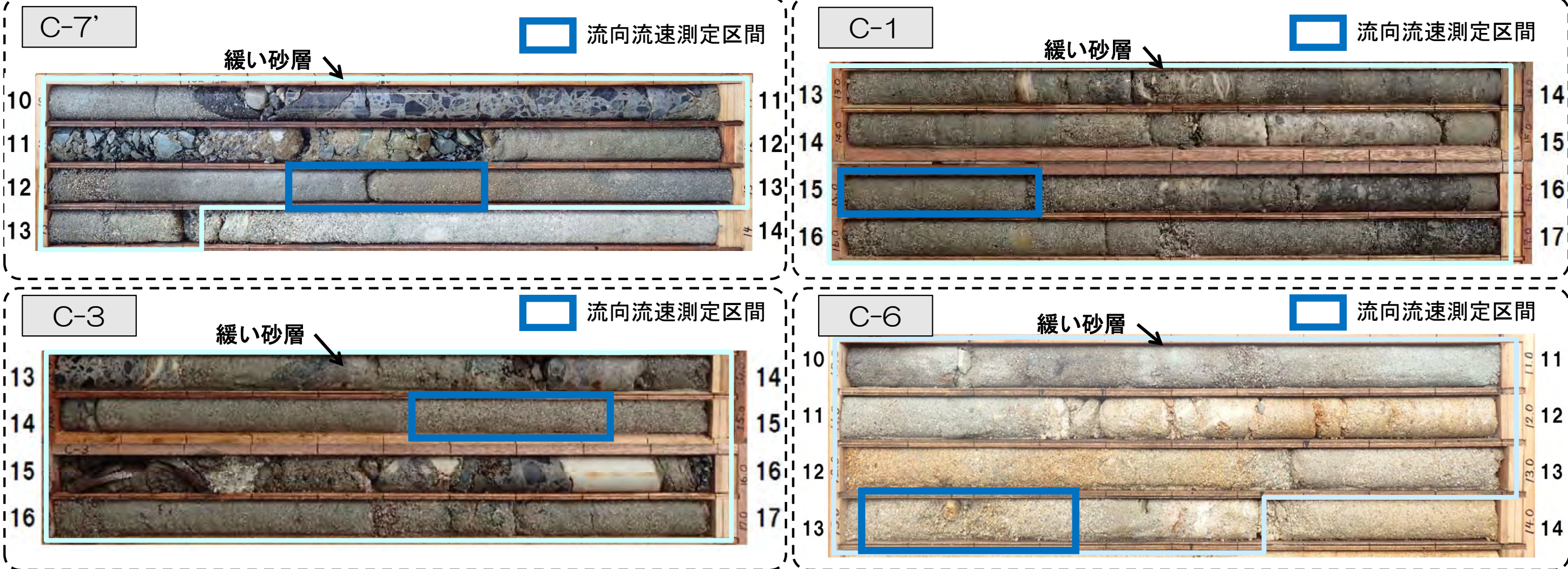
- 規則性を持った流れ（崩落孔に向かうようなもの）は確認できなかった。
- 上下方向の流速測定については、地盤改良後の実施を検討する。



(2) 地質調査結果

5) 流向流速測定結果

○流向流速測定位置のボーリングコア



孔名	測定深度 (GL.-m)	地層名称	透水係数 (cm/s)	流向	流速 (cm/s)	崩落中心からの距離 (m)
C-1	15.00 ~ 15.30	緩い砂層	-	N14.8W	66.2	1.25
C-2'	15.30 ~ 15.60	緩い砂層	$9.87 \times 10^{-5} \sim 2.61 \times 10^{-4}$	N13.4W	70.6	3.25
C-3	14.55 ~ 14.85	緩い砂層	-	N10.5E	64.8	1.25
C-4''	13.90 ~ 14.20	緩い砂層	-	N73.8W	74.9	6.25
C-5	12.80 ~ 13.10	緩い砂層	$1.42 \times 10^{-4} \sim 2.73 \times 10^{-3}$	N0.7W	38.9	7.16
C-6	13.05 ~ 13.35	緩い砂層	$5.67 \times 10^{-4} \sim 1.22 \times 10^{-3}$	N51.3E	87.8	12.86
C-7'	12.35 ~ 12.85	緩い砂層	$8.63 \times 10^{-5} \sim 2.84 \times 10^{-4}$	S24.6W	40.3	9.55
C-8	8.50 ~ 9.00	緩い砂層	$1.01 \times 10^{-3} \sim 1.65 \times 10^{-3}$	S19.0W	10.1	9.60
C-9	8.40 ~ 8.70	緩い砂層	$5.71 \times 10^{-4} \sim 1.02 \times 10^{-3}$	S16.2E	73.4	9.60
C-10	7.15 ~ 7.65	緩い砂層	$1.41 \times 10^{-5} \sim 6.36 \times 10^{-4}$	S69.6W	38.9	10.57
C-11	8.80 ~ 9.10	緩い砂層	$2.43 \times 10^{-4} \sim 1.07 \times 10^{-3}$	S41.5E	59.0	9.89

(3) 各層の工学的評価

(3) 各層の工学的評価

1) D2層の工学的評価

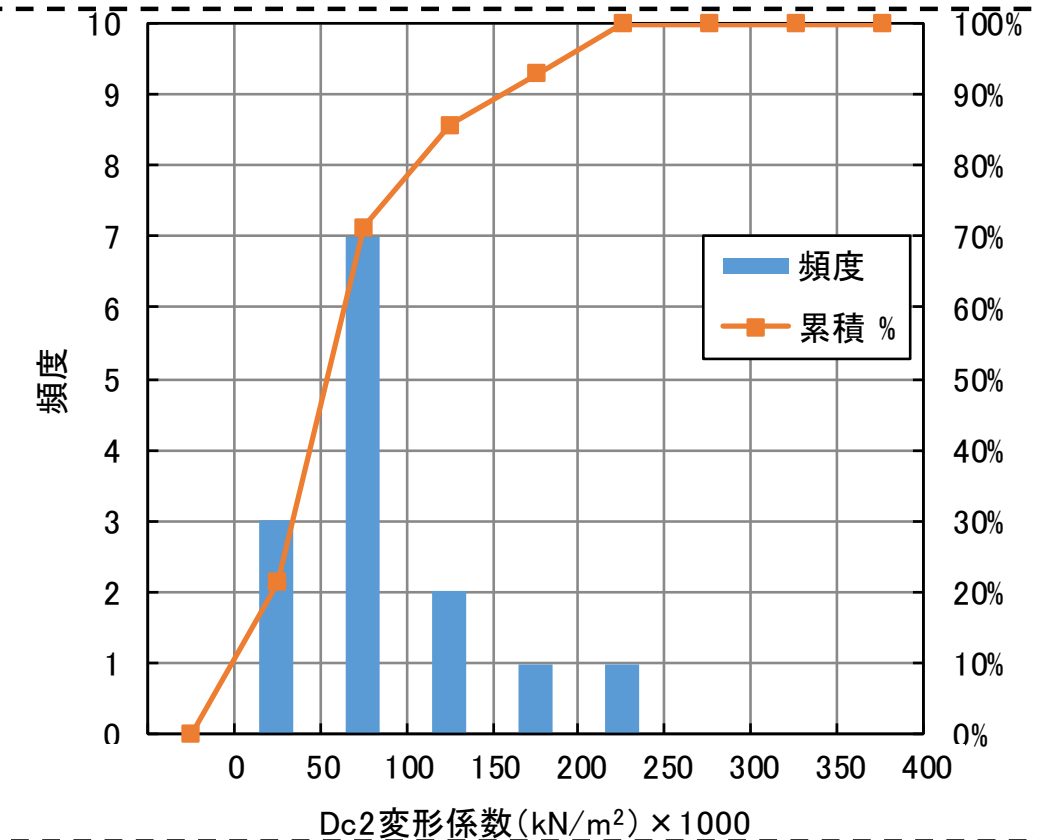
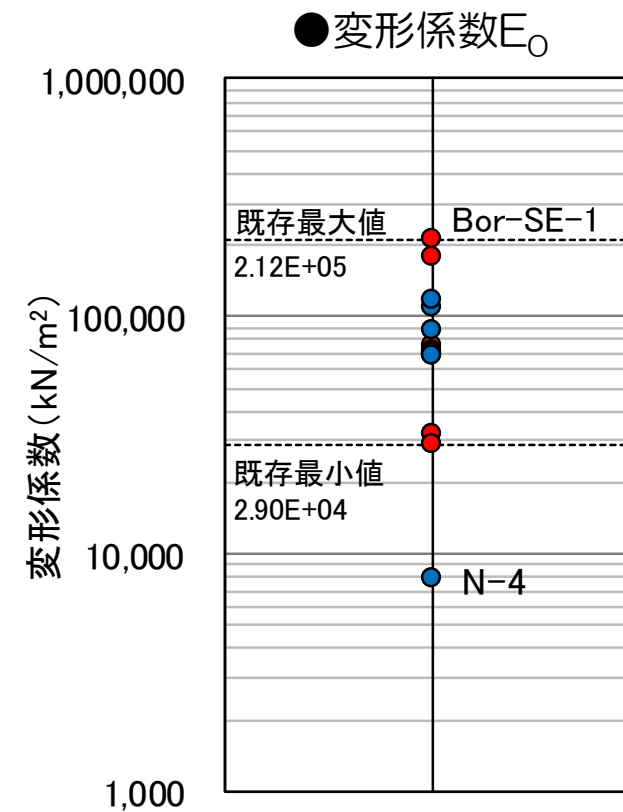
○変形係数

【変形係数 E_0 】

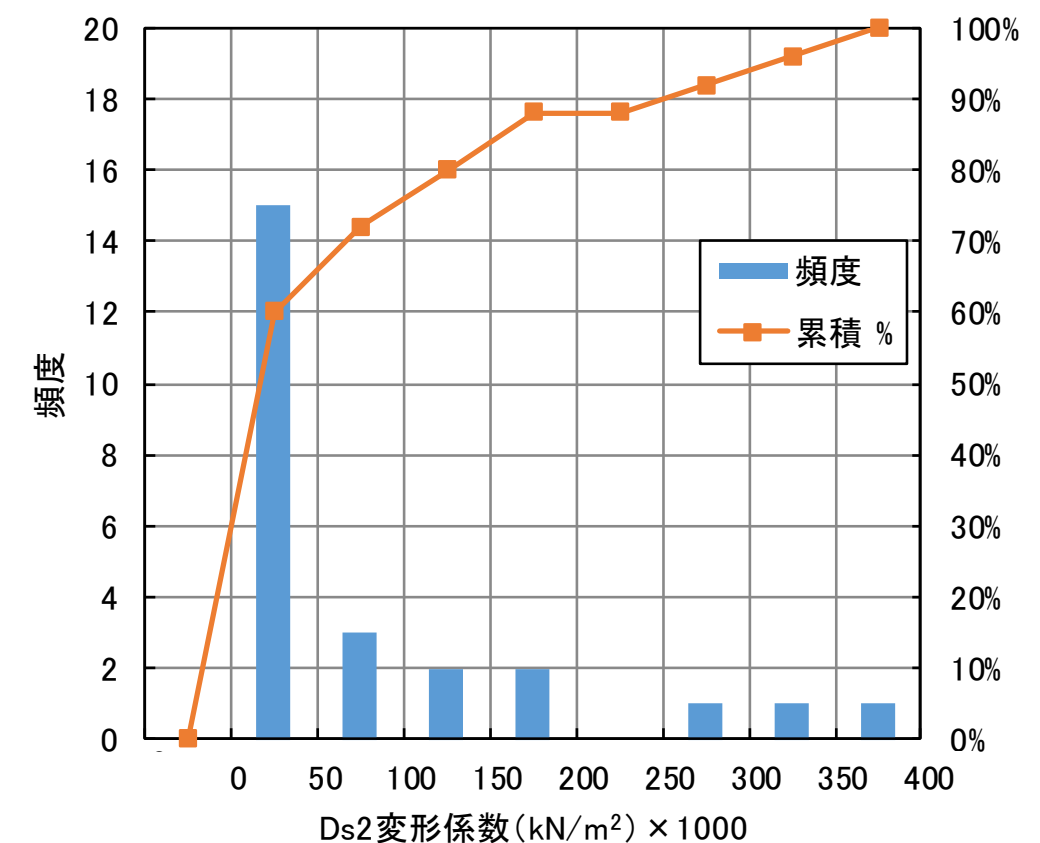
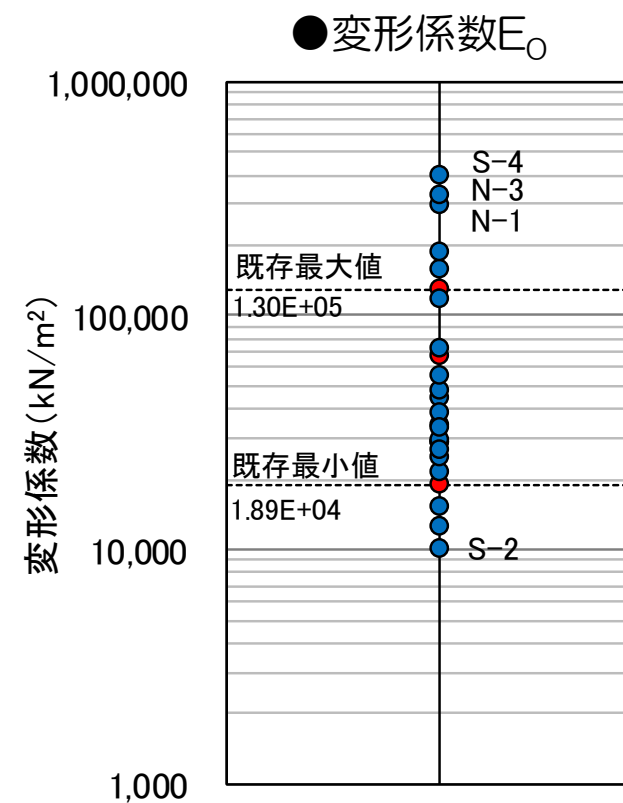
- Dc2層：7,800～211,700kN/m²
- Ds2層：10,100～399,300kN/m²

凡例	
● 既存	● 今回

Dc2		種別	孔名	変形係数 E_0 (kN/m ²)
既存	陥没事故前		21住No.1	32,150
			No.22E-2	68,490
			開削部No.2	29,000
	陥没事故後		No.27S-1	75,750
			Bor-NW-1	176,500
今回	標準トンネル ～ 3連トンネル部		Bor-SE-1	211,700
			N-4	88,000
				7,800
			S-1	107,100
			S-3	71,200
	大断面 トンネル部			69,500
			S-4	69,800
			C-10	68,000
			C-11	117,300



Ds2		種別	孔名	変形係数 E_0 (kN/m ²)
既存	陥没事故前		No.22E-1	130,400
			No.23E-4	67,430
	陥没事故後		Bor-NE-1	28,700
			Bor-NE-2	18,900
今回	標準トンネル部 ～ 3連トンネル部		N-1	71,500
				156,100
				293,800
			N-2	15,100
				12,500
				21,200
				187,900
			N-3	44,700
				321,900
				10,100
			S-2	24,800
				47,100
			S-3	33,700
				38,600
				399,300
	大断面 トンネル部			116,500
			C-5	55,200
			C-6	28,800
			C-7'	28,900
			C-8	32,700
			C-9	26,500



(3) 各層の工学的評価

1) D2層の工学的評価

○粘着力・内部摩擦角・せん断強度

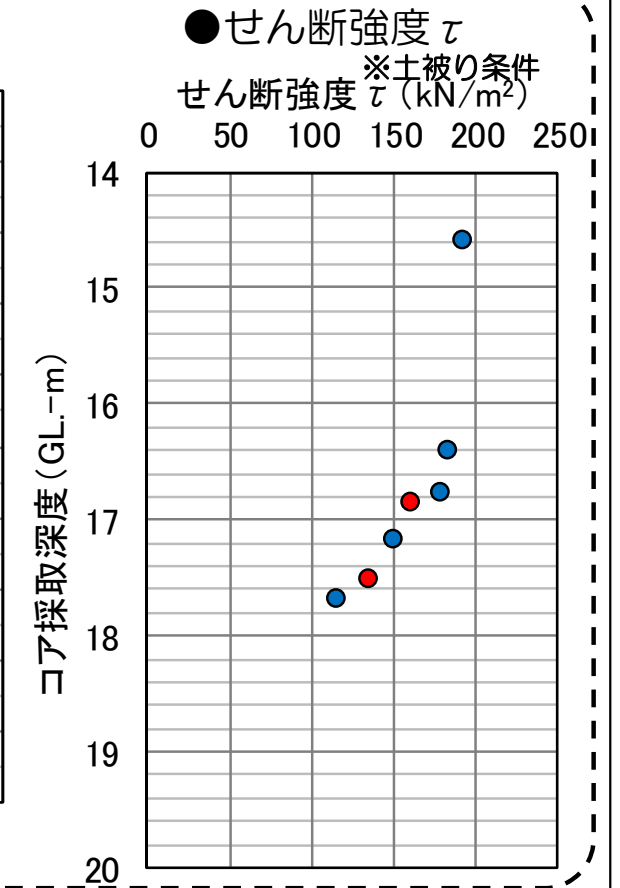
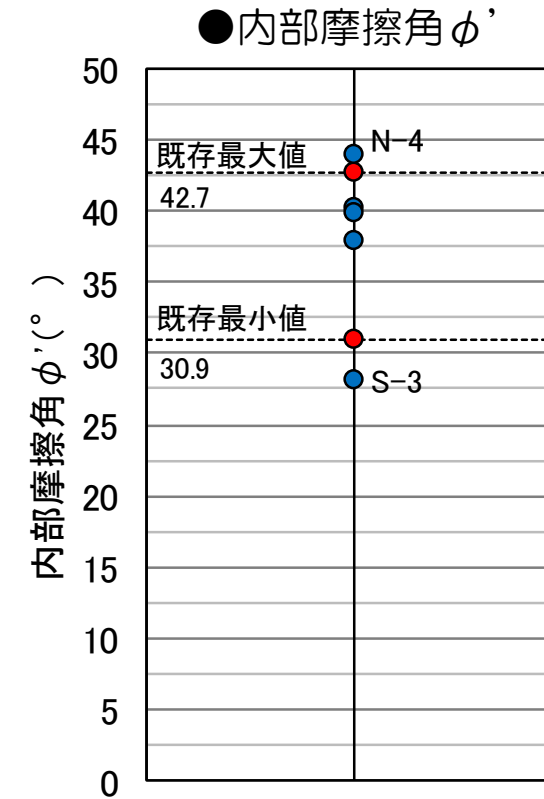
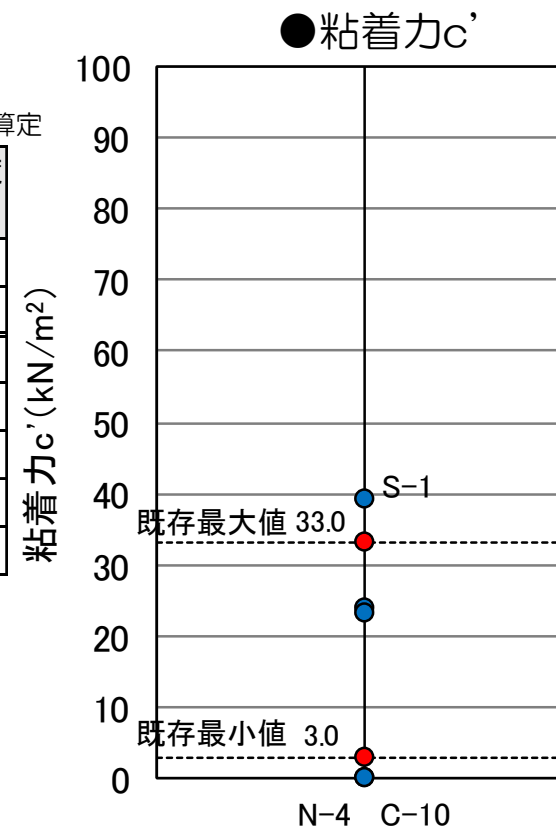
Dc2

種別		孔名	粘着力 c' (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ' (°)	せん断強度 τ (kN/m ²)	コア採取深度 (GL.-m)
既存	陥没事故後	Bor-NW-1	33.0	30.9	134.7	17.5
		Bor-SE-1	3.0	42.7	159.9	16.9
今回	標準トンネル部 ～ 3連トンネル部	N-4	0.0	43.9	192.5	14.6
		S-1	39.3	40.3	183.3	16.4
		S-3	23.9	28.2	115.1	17.7
	大断面 トンネル部	C-10	0.0	39.9	150.7	17.2
		C-11	23.2	38.0	179.2	16.8

※有効応力状態

※区間中央値

※せん断強度は土被り条件で算定



凡例	
● 既存	● 今回

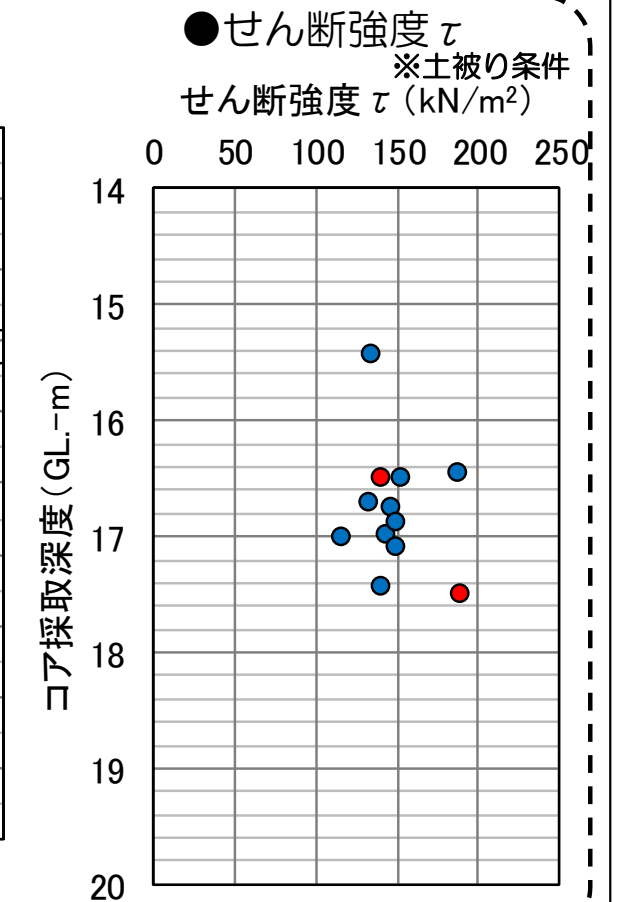
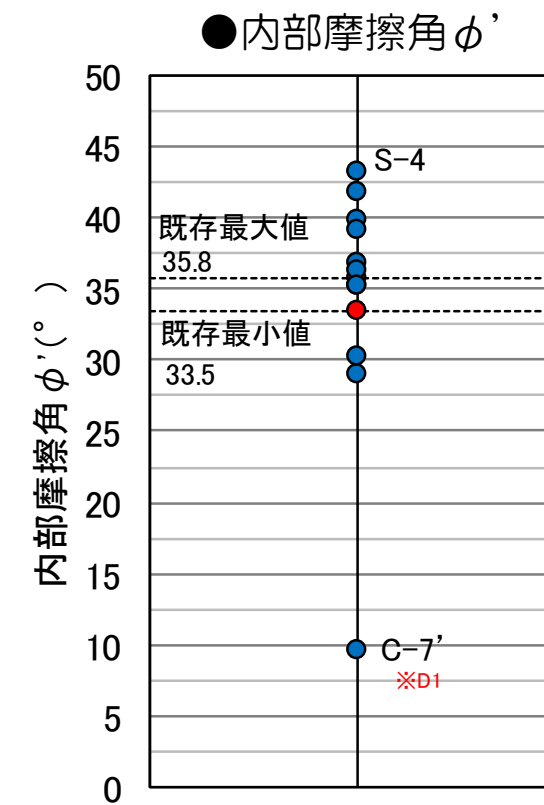
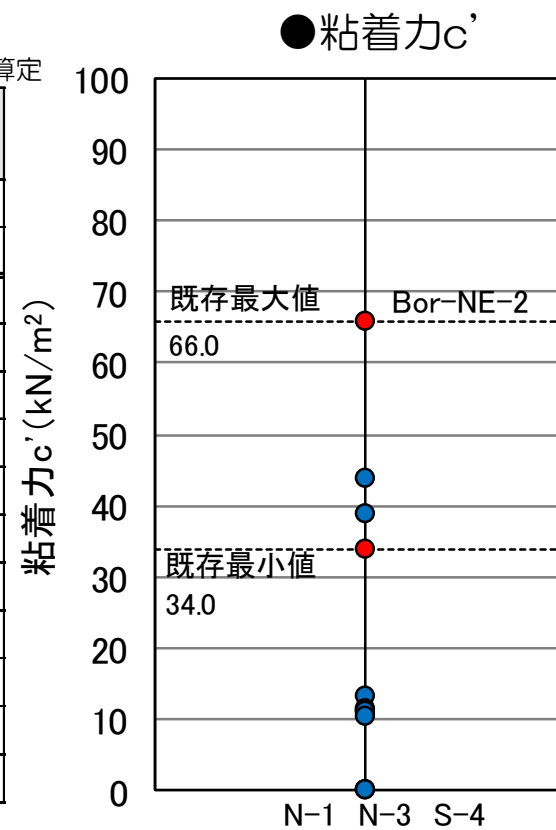
Ds2

種別		孔名	粘着力 c' (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ' (°)	せん断強度 τ (kN/m ²)	コア採取深度 (GL.-m)
既存	陥没事故後	Bor-NE-1	34.0	33.5	139.9	16.5
		Bor-NE-2	66.0	35.8	188.6	17.5
今回	3連トンネル部	N-1	0.0	41.7	115.8	17.0
		N-2	39.0	28.9	132.8	16.7
		N-3	0.0	39.8	133.3	15.5
		S-2	13.3	35.2	140.3	17.5
		S-4	0.0	43.2	187.5	16.5
	大断面 トンネル部	C-3'	11.4	36.9	146.4	16.8
		C-5	11.2	36.2	143.1	17.0
		C-6	11.0	35.2	152.0	16.5
		C-7' ※D1	248.0	9.6	276.8	17.4
		C-8	43.8	30.2	148.6	17.1
		C-9	10.6	39.2	149.2	16.9

※有効応力状態

※区間中央値

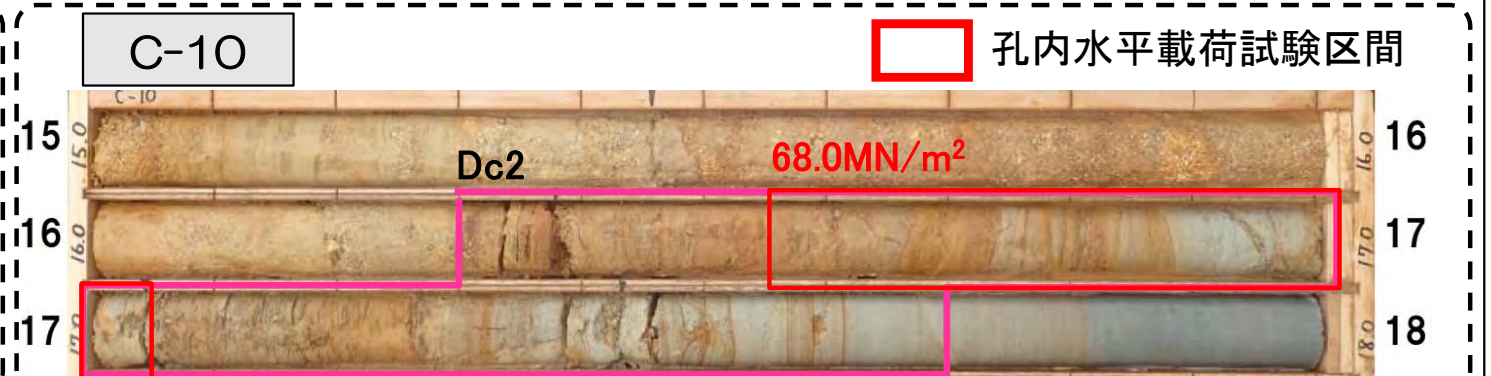
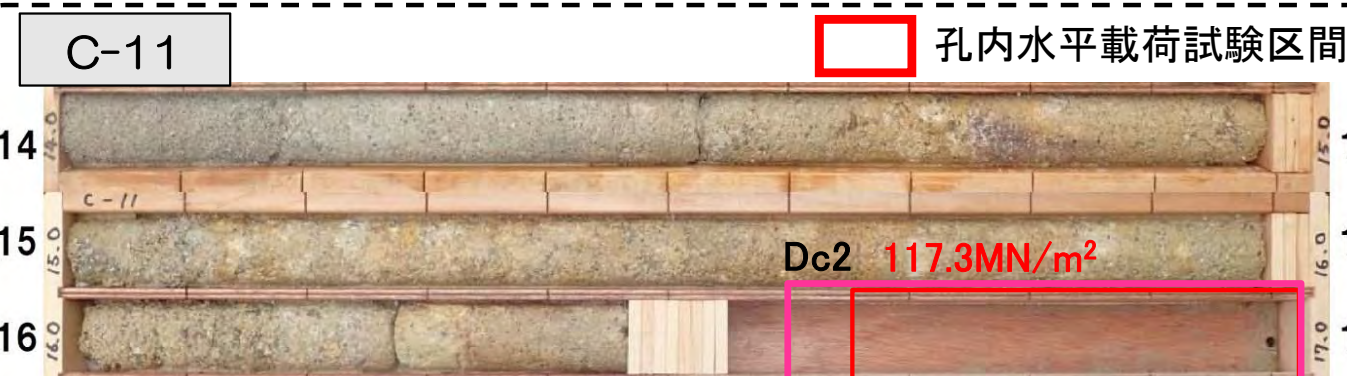
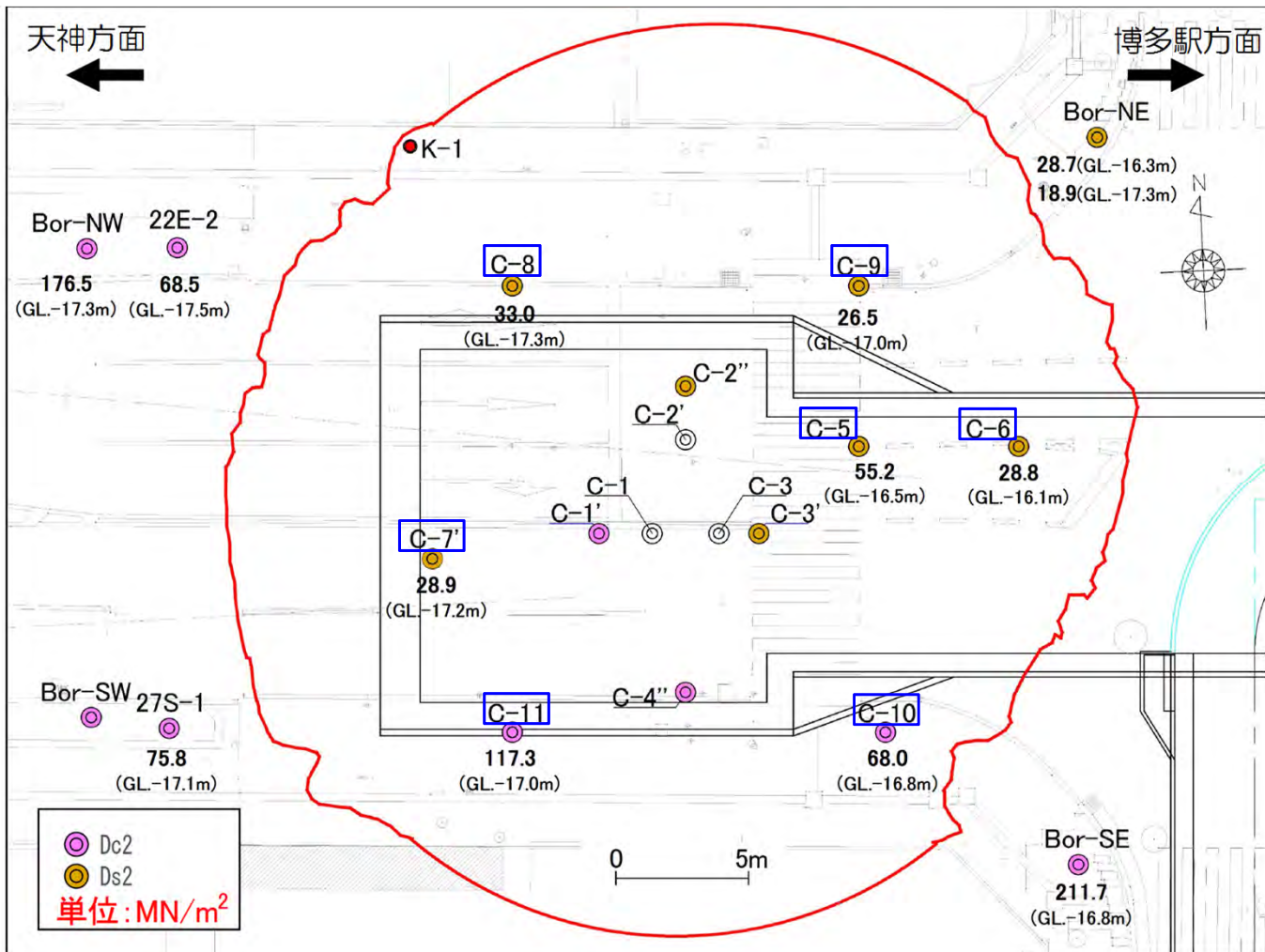
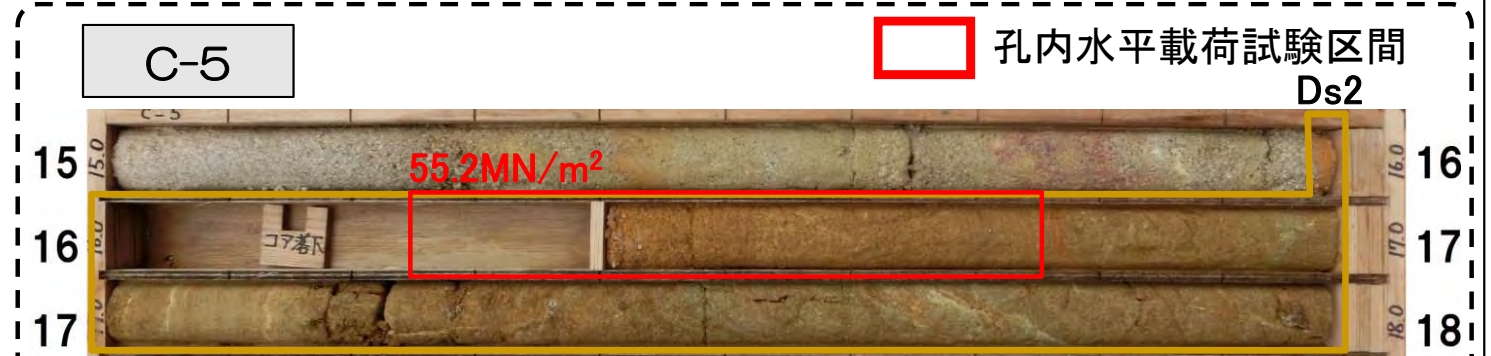
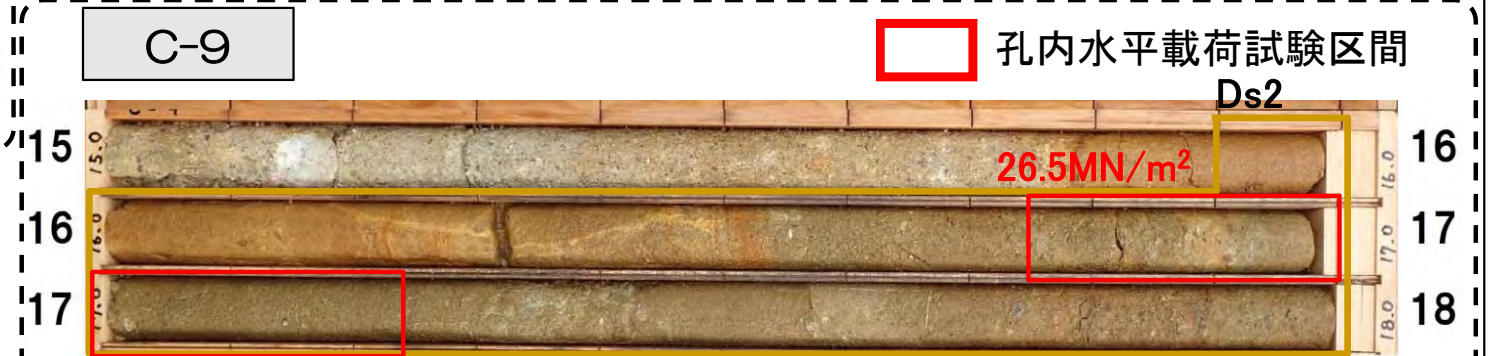
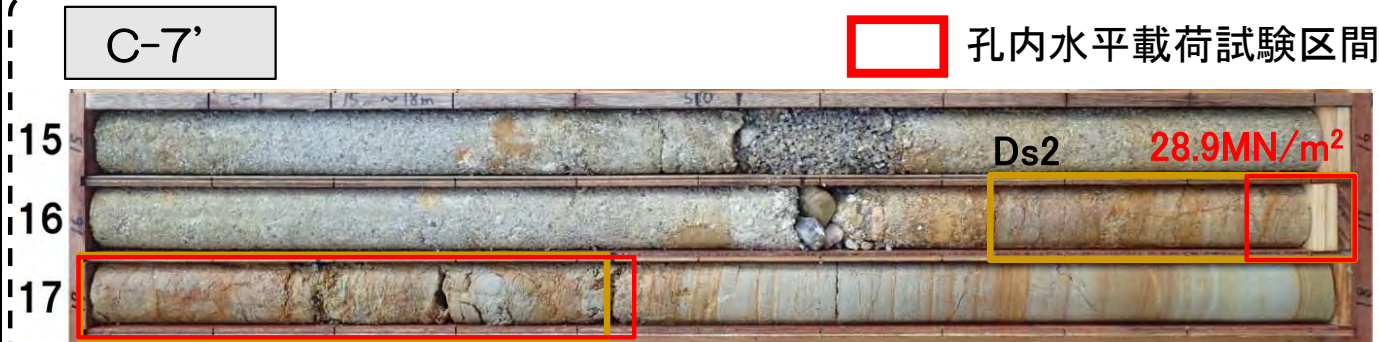
※せん断強度は土被り条件で算定



(3) 各層の工学的評価

1) D2層の工学的評価

○変形係数と性状の比較



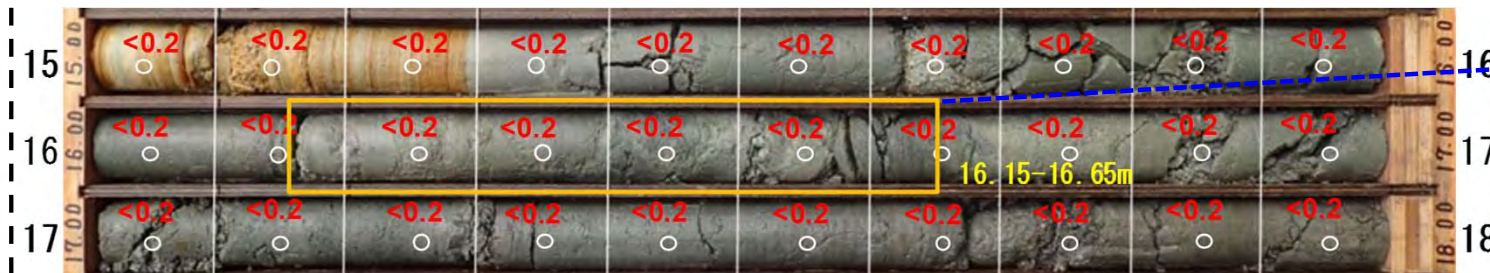
(3) 各層の工学的評価

1) D2層の工学的評価

○変形係数と性状の比較

①変形係数 E_0 ：最小値 (N-4：7,800kN/m²)

●試験区間
換算一軸圧縮強さ (MPa)
＜0.2
針貫入試験位置



●試験区間拡大 (GL.-16.15～-16.65m)



- ・変形係数最小値（平均値の約1/10）
- ・風化していないが、破碎されている。
- ・D2とDhの間にあり、他のボーリングでも数ヶ所確認された。

Dc2 (強風化頁岩)

→破碎され、粘土を介在する。

②変形係数 E_0 ：最大値 (S-4：399,300kN/m²)



●試験区間拡大 (GL.-15.75～-16.25m)

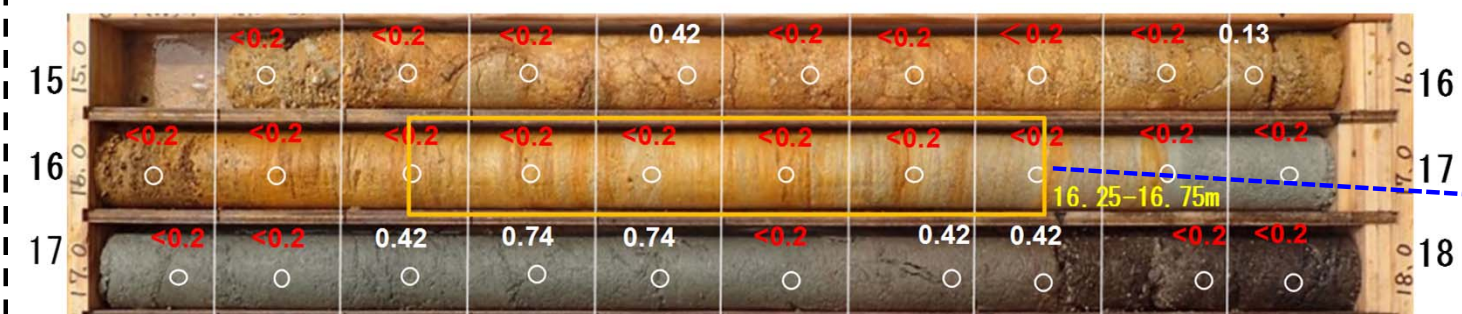


- ・変形係数最大値（平均値の約5倍）。
- ・礫岩が風化したD2層（表記はDsとした）。
- ・N-3、S-2、S-4でも礫岩質D2を確認した（大断面部は未確認）。

Ds2 (強風化礫岩)

→礫岩が岩芯まで風化している。

③変形係数 E_0 ：平均値 (S-4：116,500kN/m²)



●試験区間拡大 (GL.-16.25～-16.75m)



- ・変形係数がほぼ平均値（平均：86,800kN/m² ※Ds2・Dc2）。
- ・砂岩が風化し、リモナイト脈を挟む。
- ・多数のボーリングで同様の性状を確認した。

Ds2 (強風化砂岩)

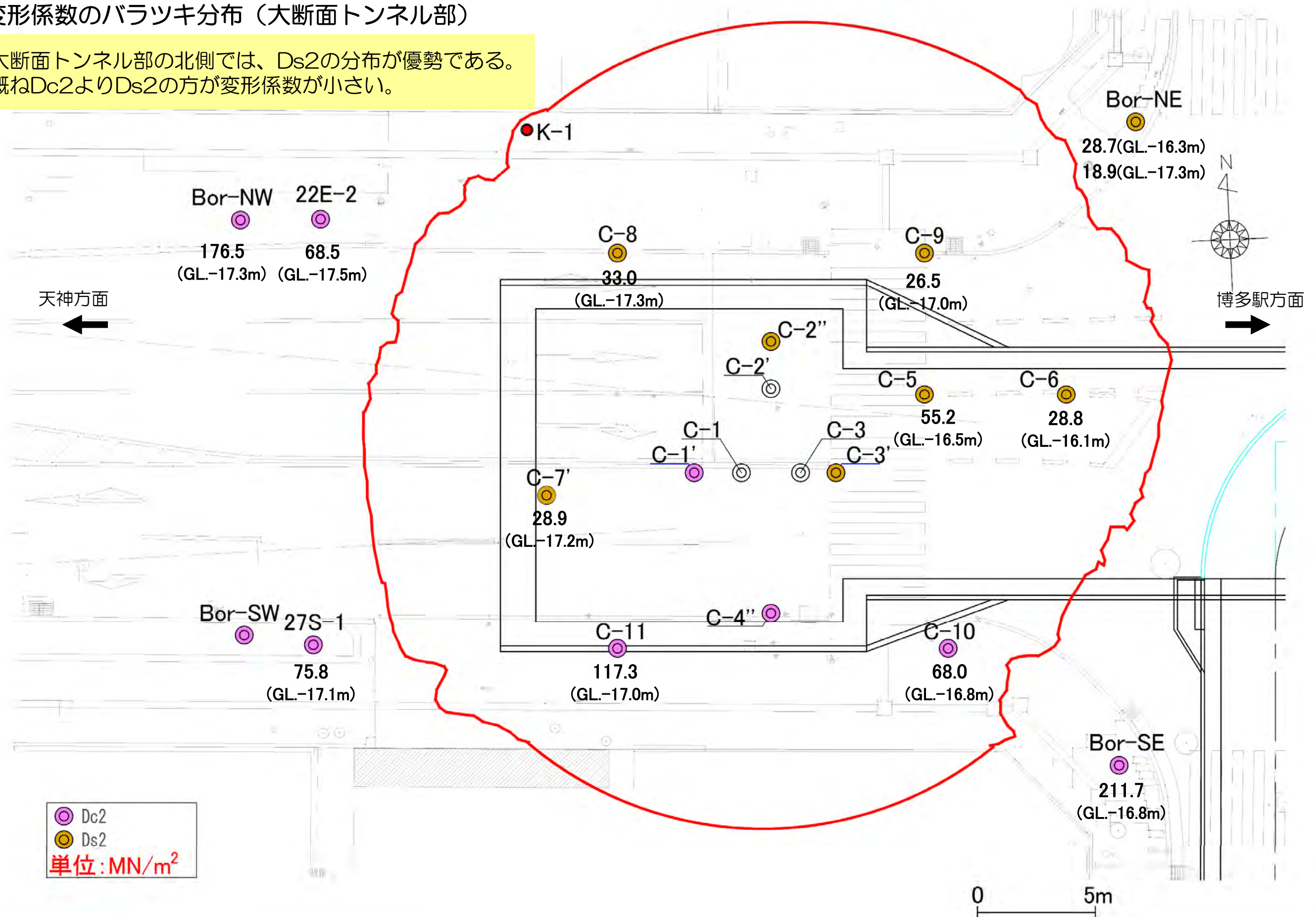
→リモナイトが濃集する(低角度)。

(3) 各層の工学的評価

1) D2層の工学的評価

○変形係数のバラツキ分布（大断面トンネル部）

- ・大断面トンネル部の北側では、Ds2の分布が優勢である。
- ・概ねDc2よりDs2の方が変形係数が小さい。

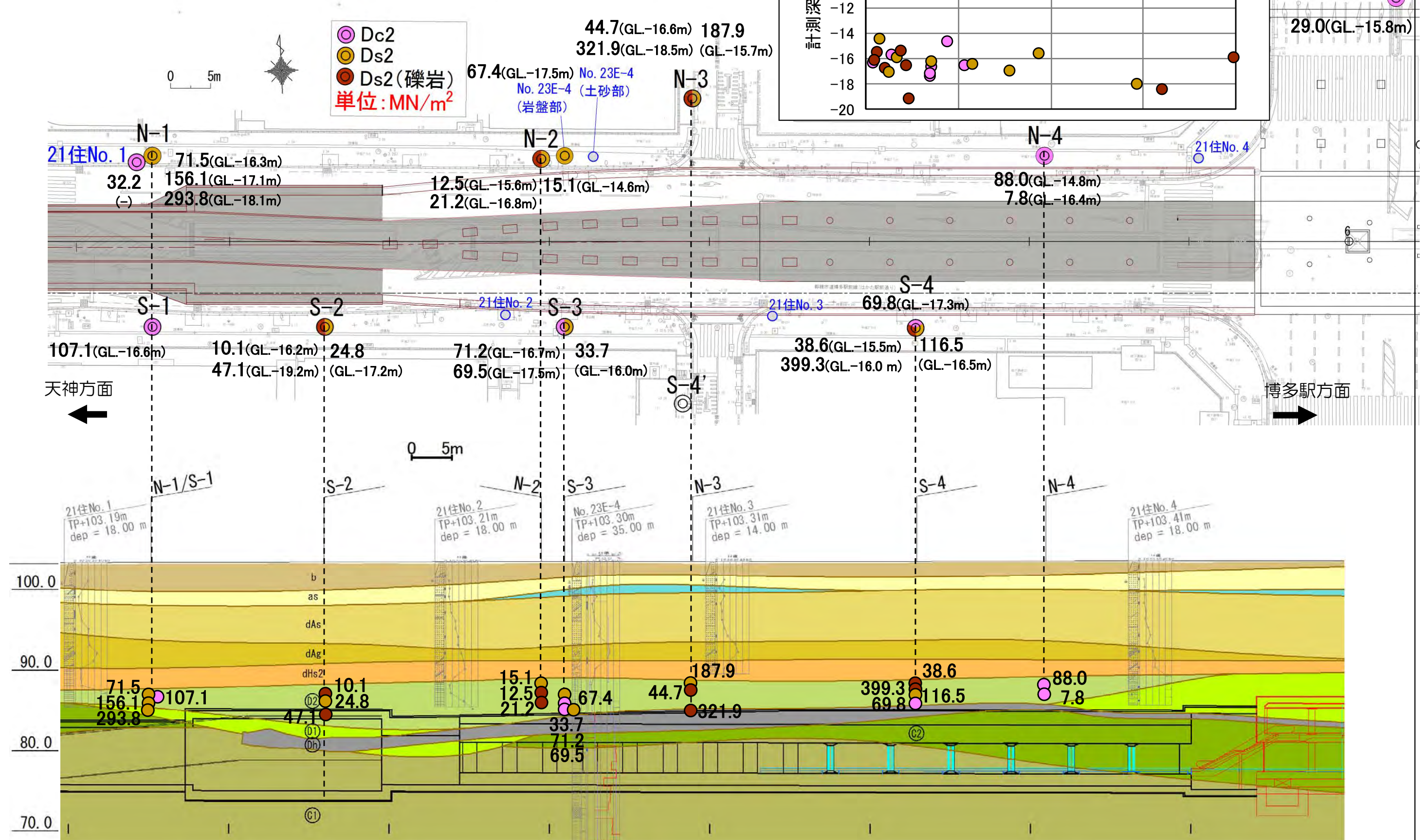


(3) 各層の工学的評価

1) D2層の工学的評価

○変形係数のバラツキ分布（標準～3連トンネル部）

標準～3連トンネル部では、Dc2とDs2が互層状に分布している。



(3) 各層の工学的評価

1) D2層の工学的評価

○透水係数（ルジオン試験）

- ・Dc2層の透水係数Kは $8.35 \times 10^{-7} \sim 7.54 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ で分布している。
- ・Ds2層の透水係数Kは $8.35 \times 10^{-7} \sim 2.54 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ で分布している。

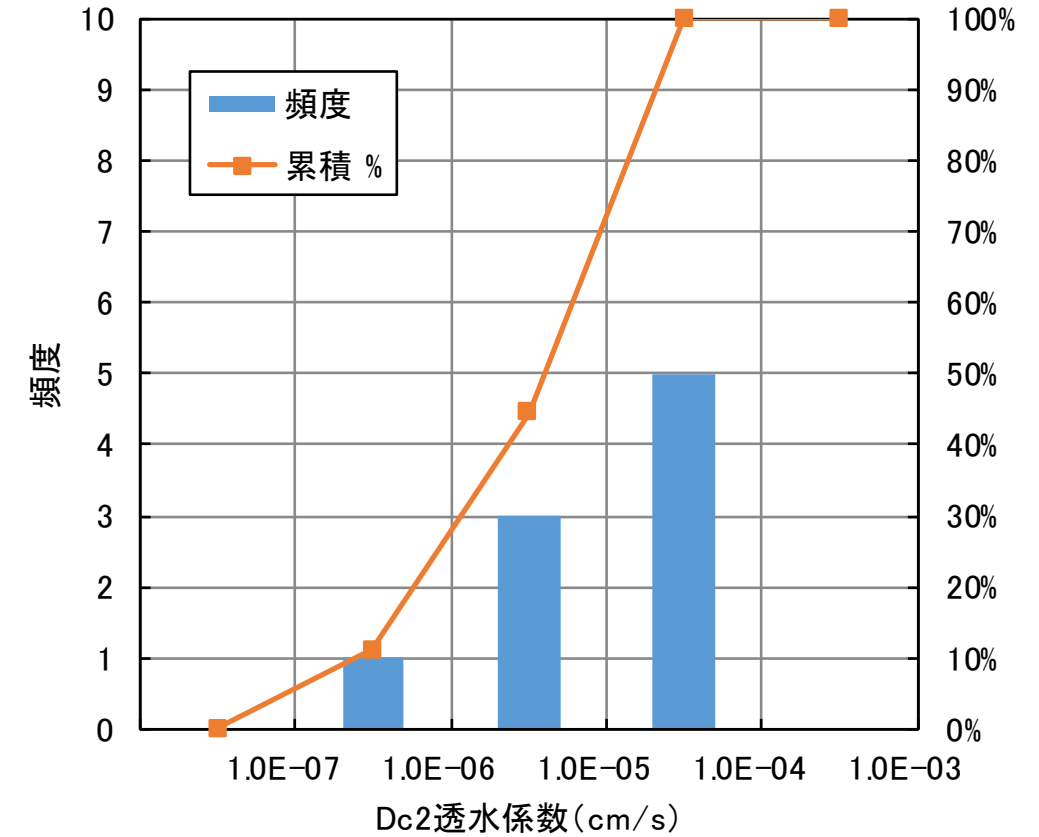
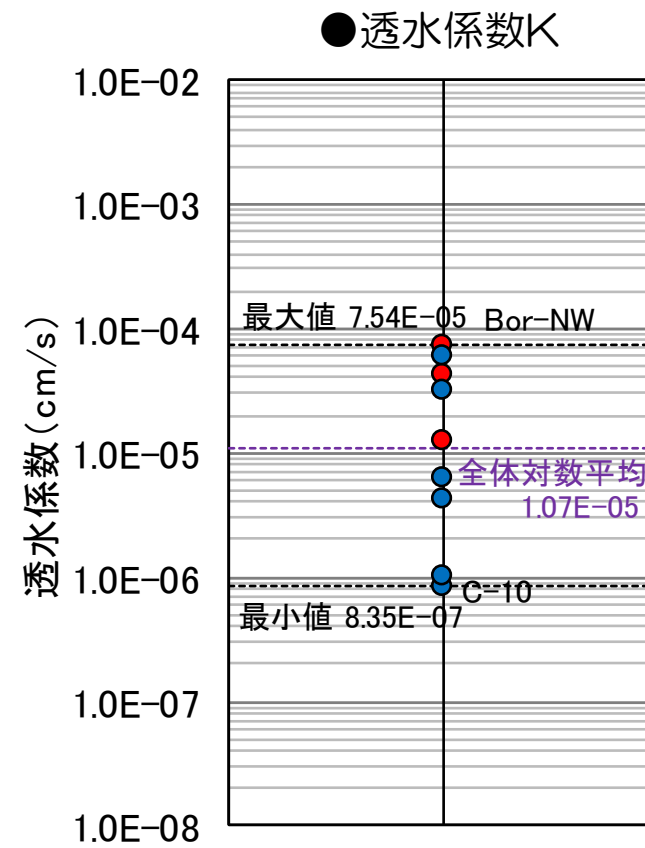
凡例	
● 既存	● 今回

Dc2

・透水係数は「ルジオンテスト技術指針・同解説(H18.7)」に基づき算定した。

種別		孔名	透水係数 K(cm/s)
既存	陥没事故後	Bor-SW	4.37E-05
		Bor-NW	7.54E-05
		Bor-SE	1.28E-05
今回	3連トンネル部	S-1	4.35E-06
		S-3	3.16E-05
		S-4	6.24E-06
		N-4	6.17E-05
	大断面トンネル部	C-10	8.35E-07
		C-11	1.01E-06

※C-10 : 0Lu

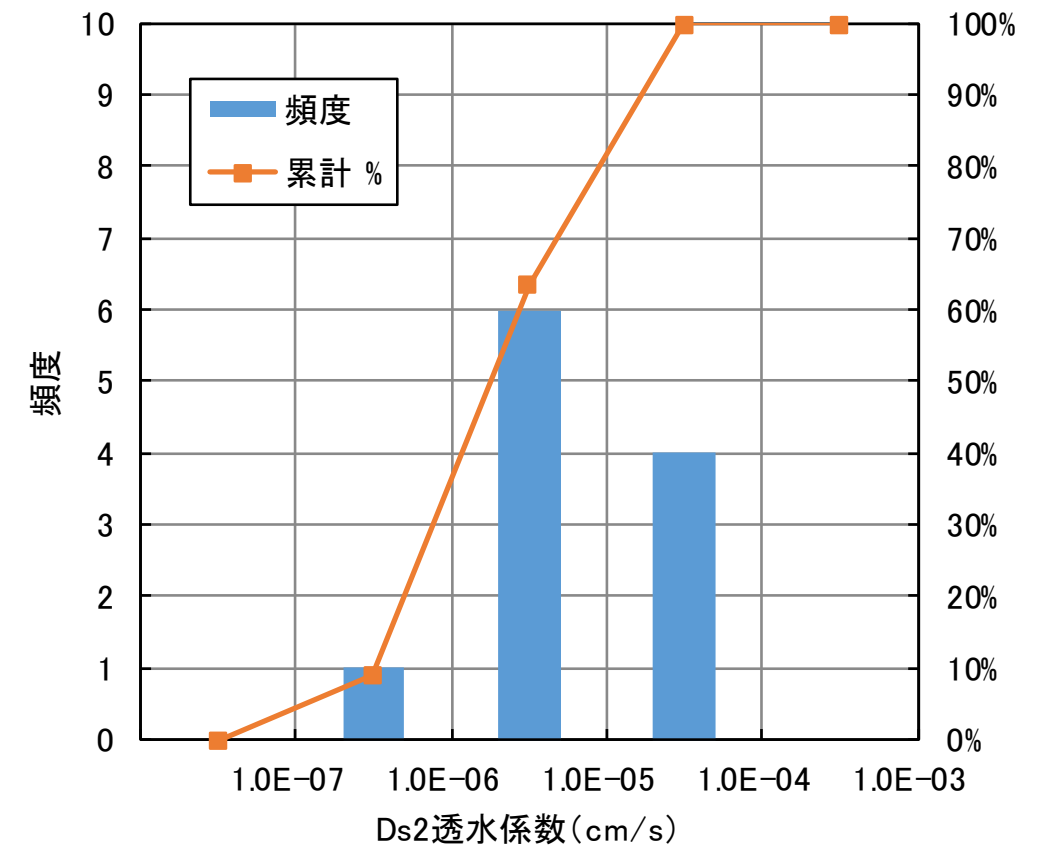
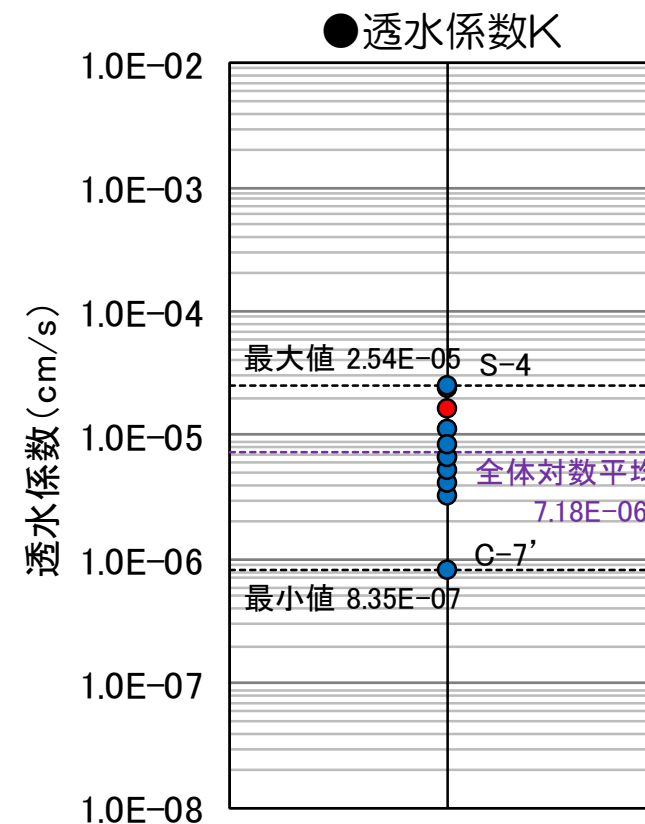


Ds2

・透水係数は「ルジオンテスト技術指針・同解説(H18.7)」に基づき算定した。

種別		孔名	透水係数 K(cm/s)
既存	陥没事故後	Bor-NE	1.68E-05
今回	標準トンネル部 ～ 3連トンネル部	N-1	2.37E-05
		N-2	6.82E-06
		N-3	3.32E-06
		S-2	4.23E-06
		S-4	2.54E-05
	大断面トンネル部	C-5	5.17E-06
		C-6	1.13E-05
		C-7'	8.35E-07
		C-8	6.60E-06
		C-9	8.38E-06

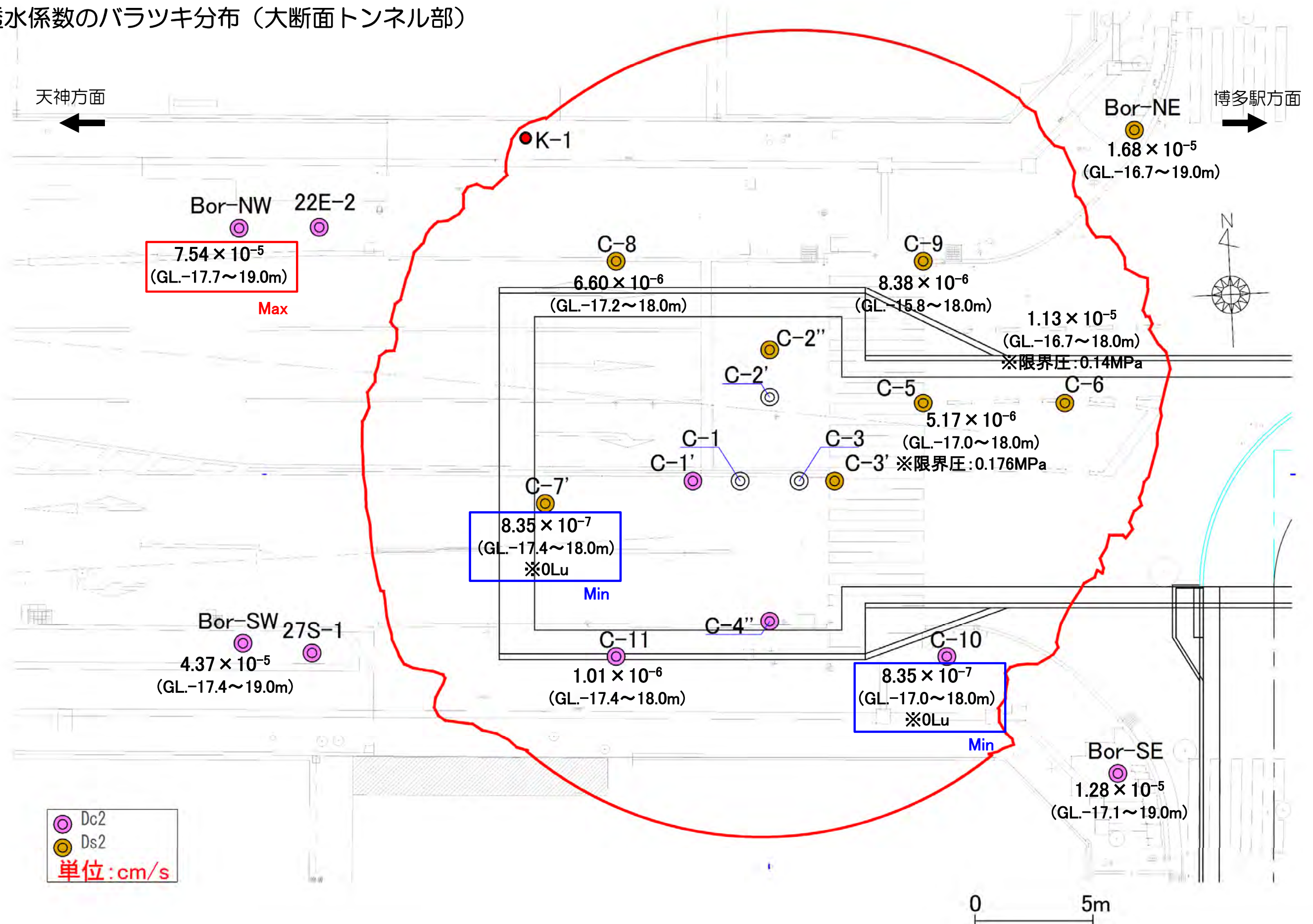
※C-7' : 0Lu



(3) 各層の工学的評価

1) D2層の工学的評価

○透水係数のバラツキ分布（大断面トンネル部）

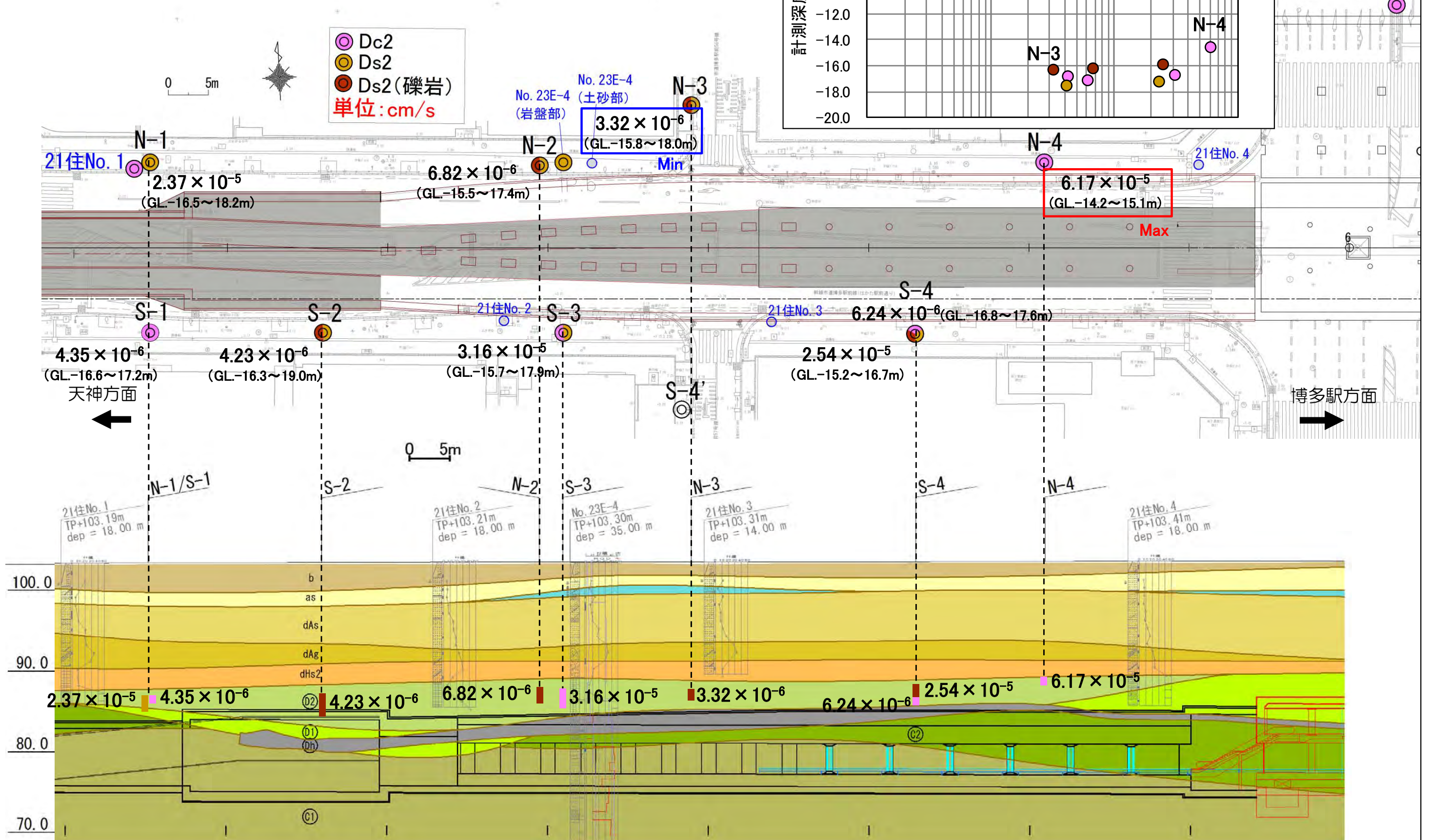


(3) 各層の工学的評価

1) D2層の工学的評価

○透水係数のバラツキ分布（標準～3連トンネル部）

標準～3連トンネル部では、Dc2とDs2が互層状に分布している。



(3) 各層の工学的評価

1) D2層の工学的評価

①D2層の性状のバラツキ

- D2層には、以下の性状がみられた。

●Dc2(強風化頁岩)

→リモナイトが濃集する(低角度)。



... S-2

●Ds2(強風化+破碎砂岩)

→30~60°のせん断割れ目が発達する。



... C-2'

●Ds2(強風化礫岩)

→指圧で容易に破壊する(変形係数29MN/m²)。



... C-6

②D2層の変形係数のバラツキ

- Dc2層の変形係数 E_0 は、7,800~211,700kN/m²で分布している。
- Ds2層の変形係数 E_0 は、10,100~399,300kN/m²で分布している。

D2層の変形係数 E は、7,800~399,300kN/m²で分布。

③D2層のせん断強度のバラツキ

- Dc2層の粘着力 c' は、0~40kN/m²で分布している。
- Ds2層の粘着力 c' は、0~66kN/m²で分布している。

D2層の粘着力 c' は、0~66kN/m²で分布。

- Dc2層の内部摩擦角 ϕ' は、28~44°で分布している。
- Ds2層の内部摩擦角 ϕ' は、29~43°で分布している。

D2層の内部摩擦角 ϕ' は、28~44°で分布。

- Dc2層のせん断強度 τ は、115~193kN/m²で分布している。
- Ds2層のせん断強度 τ は、116~189kN/m²で分布している。

D2層のせん断強度 τ は、115~193kN/m²で分布。

①D2層の透水係数のバラツキ

【低圧ルジオン試験(原位置)】

- Dc2層の透水係数 K の分布は、 $8.35 \times 10^{-7} \sim 7.54 \times 10^{-5}$ cm/sである。
- Ds2層の透水係数 K の分布は、 $8.35 \times 10^{-7} \sim 2.54 \times 10^{-5}$ cm/sである。

D2層の透水係数 K は、 $8.35 \times 10^{-7} \sim 7.54 \times 10^{-5}$ cm/sで分布。

【室内透水試験(室内)】

- Dc2の透水係数 K の分布は、 $4.63 \times 10^{-8} \sim 2.27 \times 10^{-7}$ cm/sである。
- Ds2の透水係数 K の分布は、 $2.27 \times 10^{-7} \sim 1.47 \times 10^{-5}$ cm/sである。

D2の透水係数 K は、 $4.63 \times 10^{-8} \sim 1.47 \times 10^{-5}$ cm/sで分布。
※陥没事故前の調査(開削No1-1,2)を含めて評価すると、 $4.63 \times 10^{-8} \sim 4.17 \times 10^{-4}$ で分布。

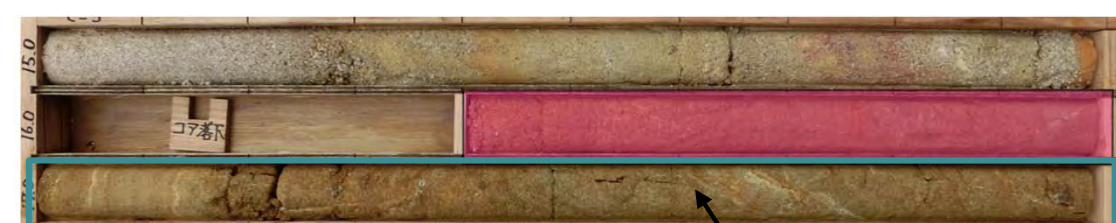
②低圧ルジオン試験区間の性状

【Bor-SW】



Dc2

【C-5】



Dc2

□ 低圧ルジオン試験区間
■ パッカー区間

限界圧力 : ($P_c > 0.20$ MPa) *1
換算ルジオン値 : ($Lu = 4.46$) *1

換算ルジオン値から計算した透水係数:
($k = 4.37 \times 10^{-5}$ cm/s) *1

※1 限界圧力、換算ルジオン値、換算透水係数は、
P-Q曲線加圧時の注水量変化の解釈に議論の
余地があるため、() 付きで示す。

限界圧力 : $P_c = 0.176$ MPa
換算ルジオン値 : $Lu = 0.61$

換算ルジオン値から計算した透水係数:
 $k = 5.17 \times 10^{-6}$ cm/s

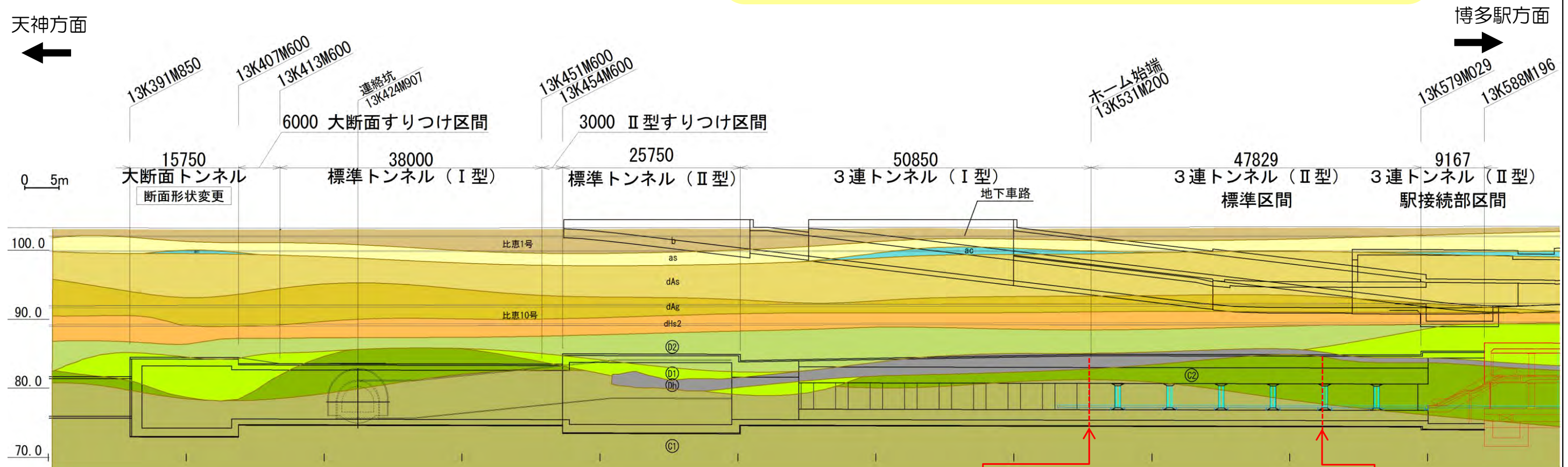
(3) 各層の工学的評価

2) 炭質頁岩層 (Dh) の工学的評価

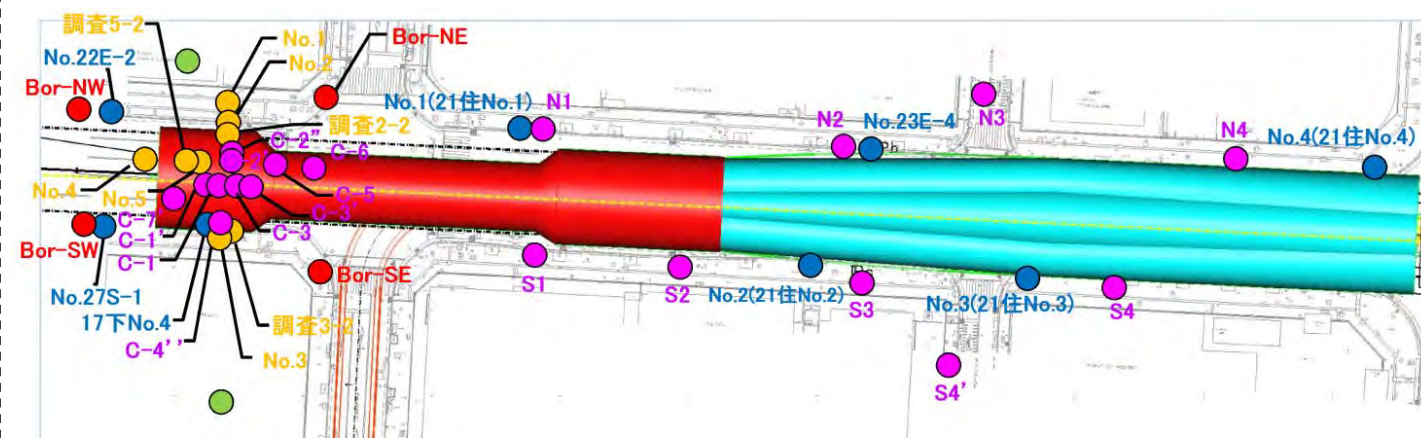
○三次元的分布状況

※当該地質モデルは、既存および今回の地質調査結果のほか、掘削時の切羽観察結果も反映して作成した。

- ・標準トンネルⅡ型より東側（博多駅側）に面的に分布している。
- ・D2層の下位（GL.-17m～GL.-23m）に分布する。
- ・層厚は約0.7～2.4m
- ・東（博多駅側）に緩やかに上り傾斜している。
- ・大断面部には、層としては存在しない。

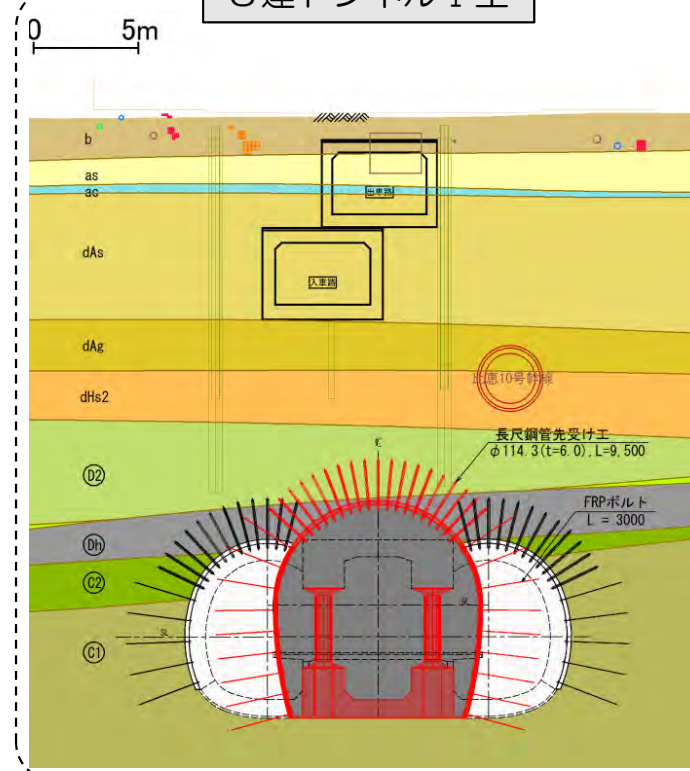


三次元地質モデル作成に用いたボーリング位置

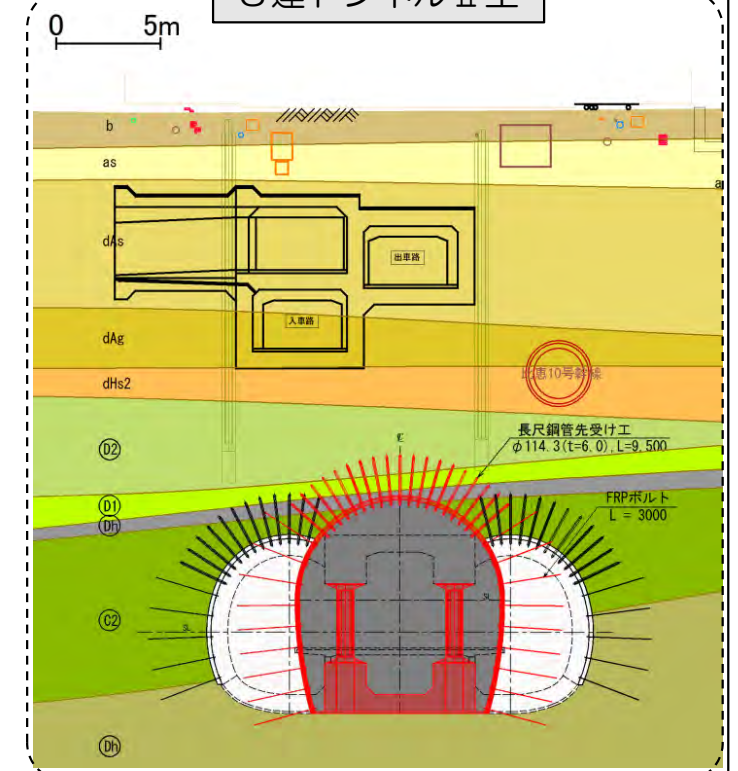


- ● 既存のボーリングデータ(23本) ※陥没事故以降に調査したものも含む
- 今回のボーリングデータ(19本)

3連トンネルⅠ型



3連トンネルⅡ型



(3) 各層の工学的評価

2) 炭質頁岩層 (Dh) の工学的評価

○性状 (コア写真)

ON-2 性状



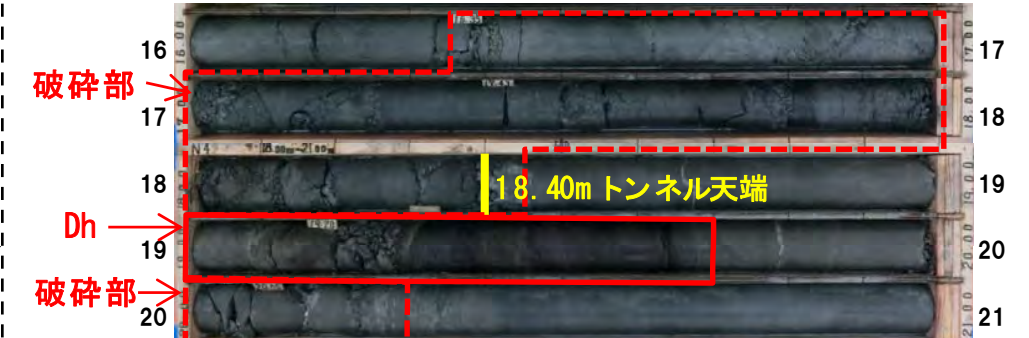
【Dh層厚さ】1.6m (GL.-20.5~22.1m)
【Dh層性状】層状に炭質層が存在し、それに平行したせん断性割れ目が発達。

ON-3 性状



【Dh層厚さ】1.5m (GL.-21.2~22.7m)
【Dh層性状】層状に炭質層が存在する。

ON-4 性状



【Dh層厚さ】0.7m (GL.-19.0~19.7m)
【Dh層性状】Dh層内に幅20cmの破碎部（角礫状、粘土介在）が存在する。

OS-4 性状



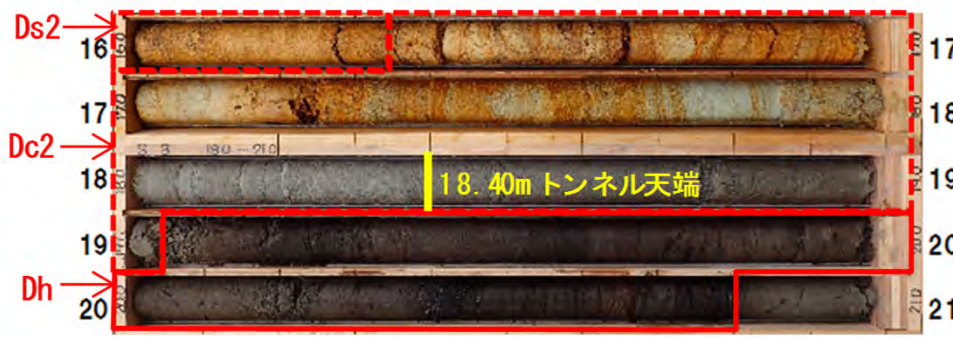
【Dh層厚さ】1.86m (GL.-17.69~19.55m)
【Dh層性状】Dh層は破碎状でせん断面が密集する。

OS-2 性状



【Dh層厚さ】2.1m (GL.-20.2~22.3m)
【Dh層性状】層状に炭質層が存在し、それに平行したせん断性割れ目が発達。

OS-3 性状



【Dh層厚さ】1.75m (GL.-19.05~20.8m)
【Dh層性状】Dh層は破碎状でせん断面が密集し、局所的に著しく炭化している。

(3) 各層の工学的評価

2) 炭質頁岩層 (Dh) の工学的評価

【変形係数 E_0 】

・ 12,300~366,500kN/m²

【粘着力 c' 】

・ 0~69kN/m²

【内部摩擦角 ϕ' 】

・ 20~46°

凡例

● 既存

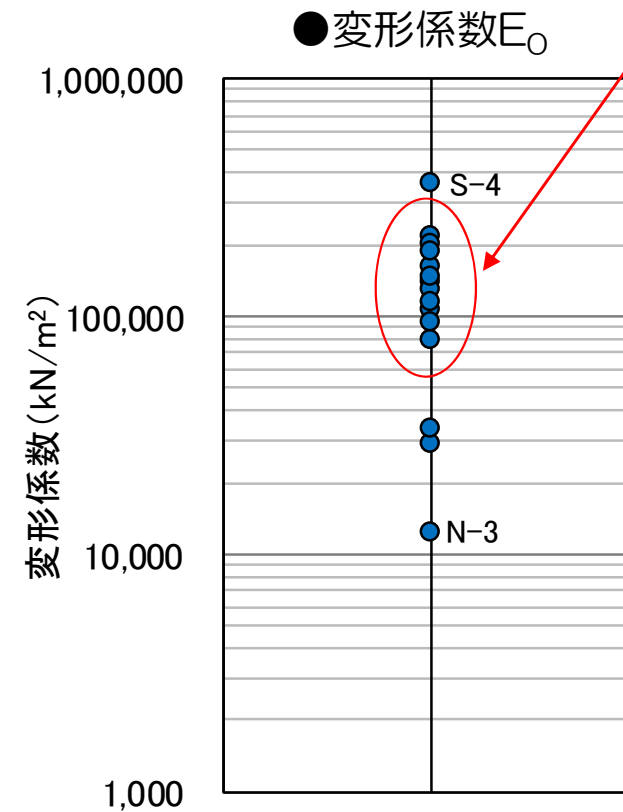
● 今回

○変形係数

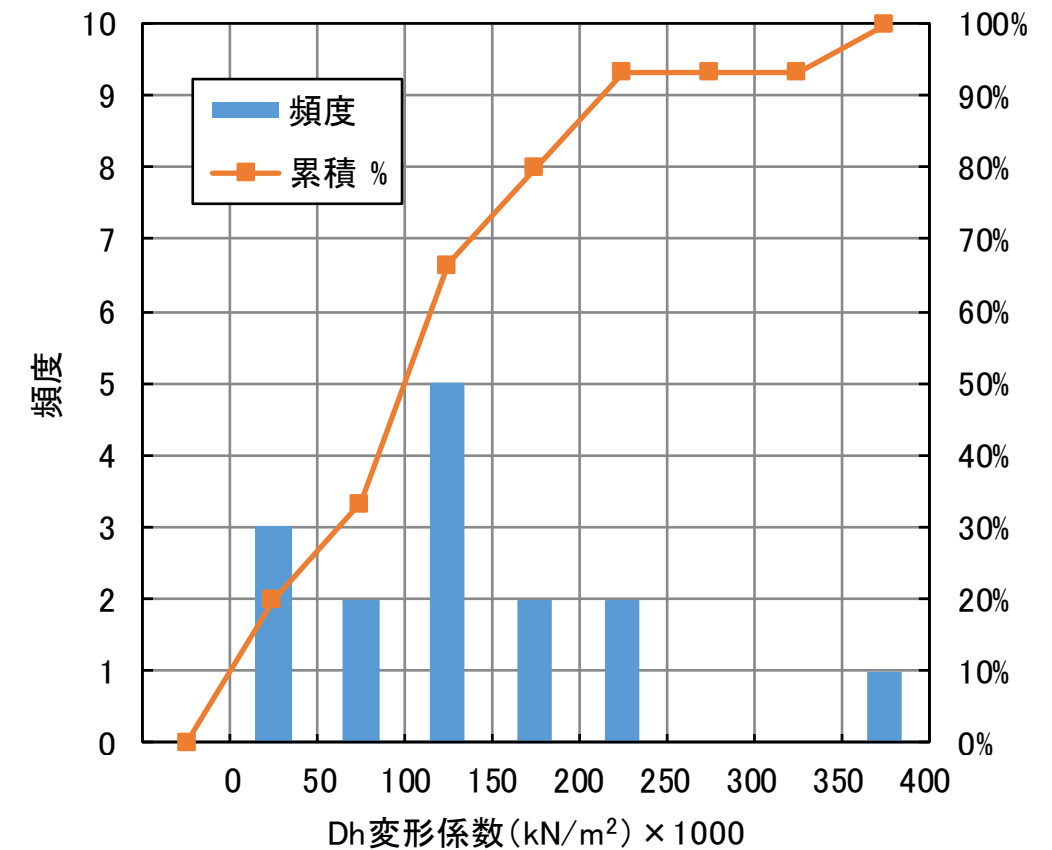
※1 当初はDh層の試験値なし。

※2 大断面部には出現しなかったため、試験値なし。

種別	孔名	変形係数 E_0 (kN/m ²)
既存	陥没事故前※1	-
	陥没事故後※2	-
今回	N-2	107,000
		80,800
	N-3	140,100
		12,300
	N-4	218,500
		162,600
	S-2	131,200
		202,600
	S-3	29,100
		114,900
	S-4	187,600
		148,100
	S-4	33,700
		366,500
		95,300



80,800~148,100kN/m²に分布が集中



○粘着力・内部摩擦角・せん断強度

※有効応力状態

※せん断強度は土被り条件で算定

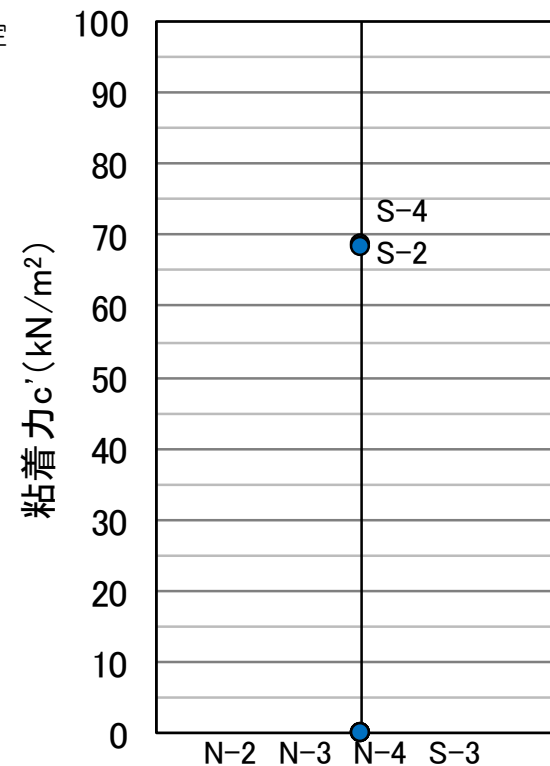
種別		孔名	粘着力 c'(kN/m ²)	内部摩擦角 φ'(°)	せん断強度 τ(kN/m ²)	コア採取深度 (GL.-m)
既存	陥没事故前※1	－	－	－	－	－
	陥没事故後※2	－	－	－	－	－
今回	標準トンネル部 ～ 3連トンネル部	N-2	0.0	33.6	133.0	21.8
		N-3	0.0	33.8	147.3	22.4
		N-4	0.0	29.7	119.8	19.4
		S-2	68.7	19.7	143.7	21.5
		S-3	0.0	46.1	197.3	19.9
		S-4	68.5	24.7	160.4	18.6

※区間中央値

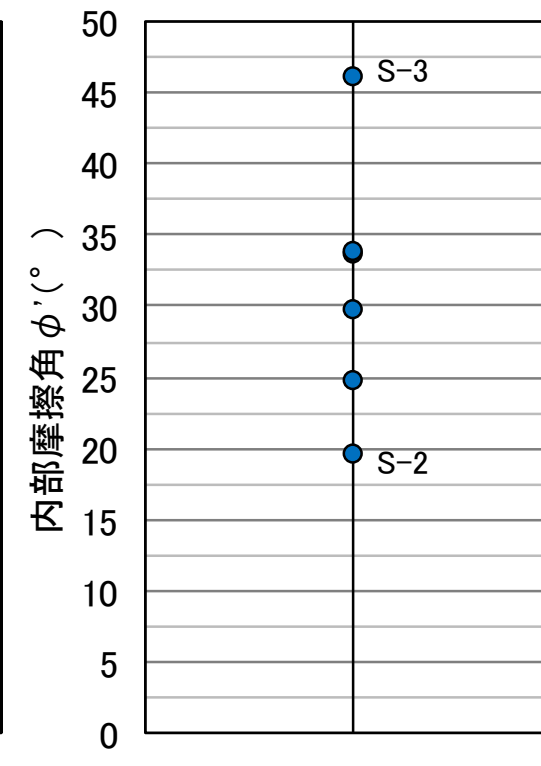
※1 当初はDh層の試験値なし。

※2 大断面部には出現しなかったため、試験値なし。

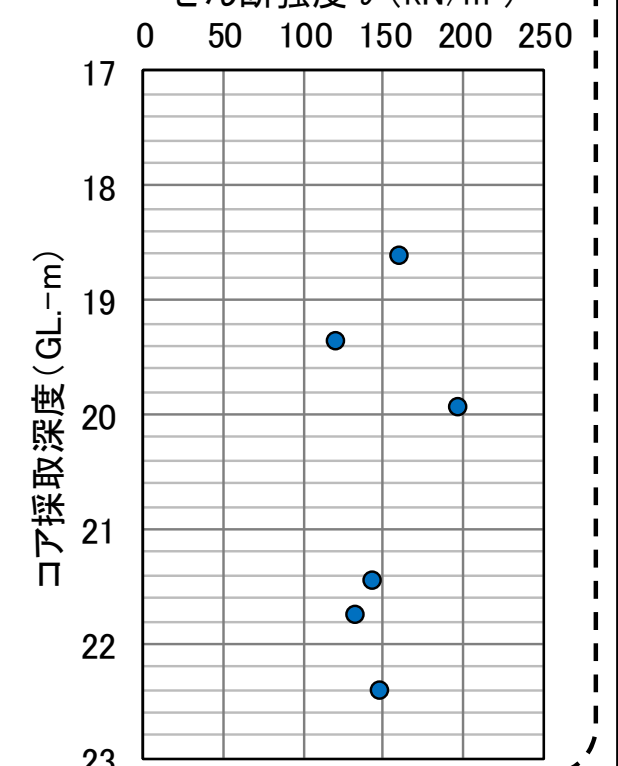
●粘着力 c'



●内部摩擦角 ϕ'



●せん断強度 τ せん断強度 τ (kN/m²)



(3) 各層の工学的評価

2) 炭質頁岩層 (Dh) の工学的評価

【透水係数K】

・ $8.29 \times 10^{-7} \sim 1.72 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$

凡例	
● 既存	● 今回

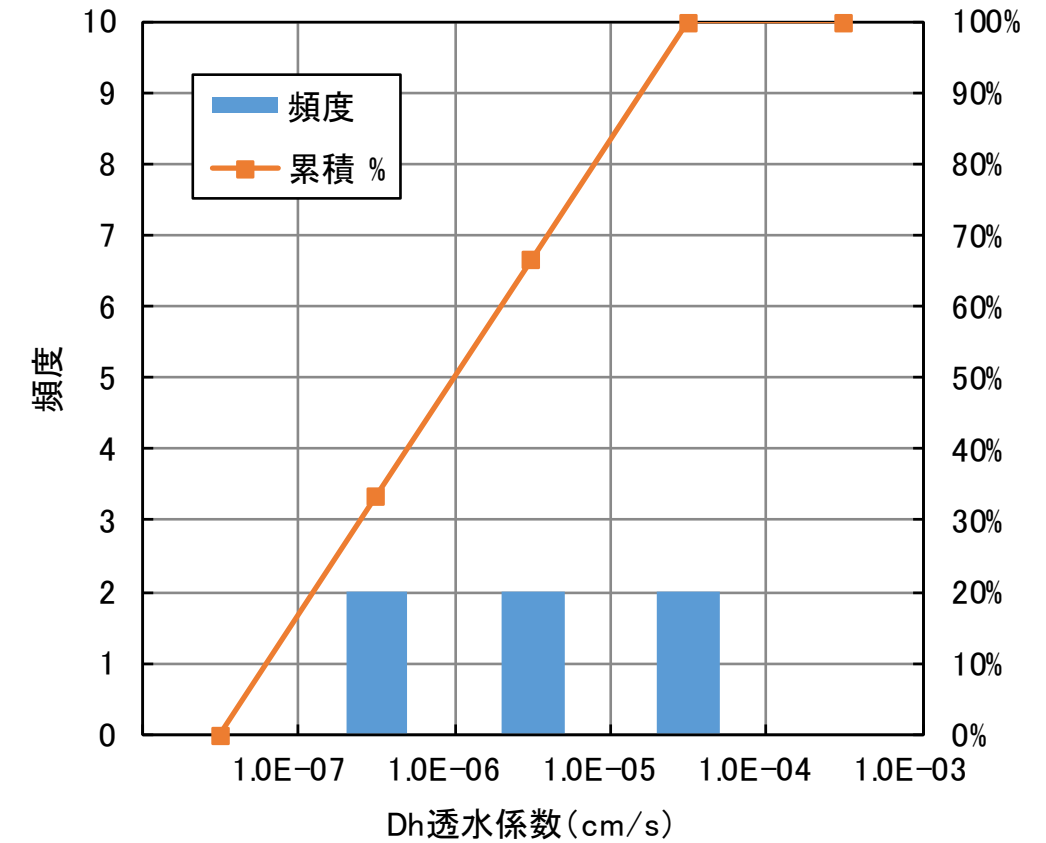
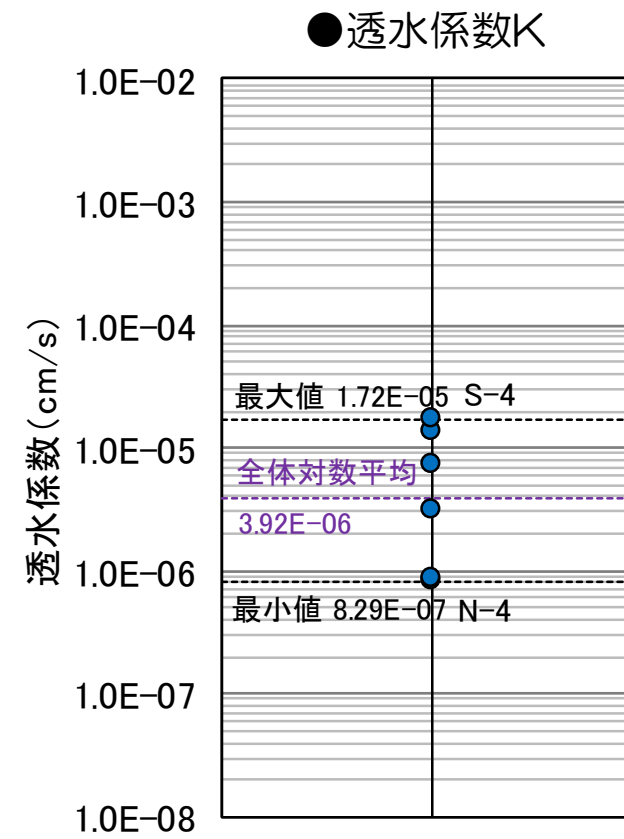
○透水係数 (ルジオン試験)

・透水係数は「ルジオンテスト技術指針・同解説(H18.7)」に基づき算定した。

種別		孔名	透水係数 K(cm/s)
既存	陥没事故前 ^{※1}	-	-
	陥没事故後 ^{※2}	-	-
今回	標準トンネル部 ～ 3連トンネル部	N-2	1.31×10^{-5}
		N-3	7.26×10^{-6}
		N-4	8.29×10^{-7}
		S-2	8.56×10^{-7}
		S-3	3.13×10^{-6}
		S-4	1.72×10^{-5}

※1 当初はDh層の試験値なし。

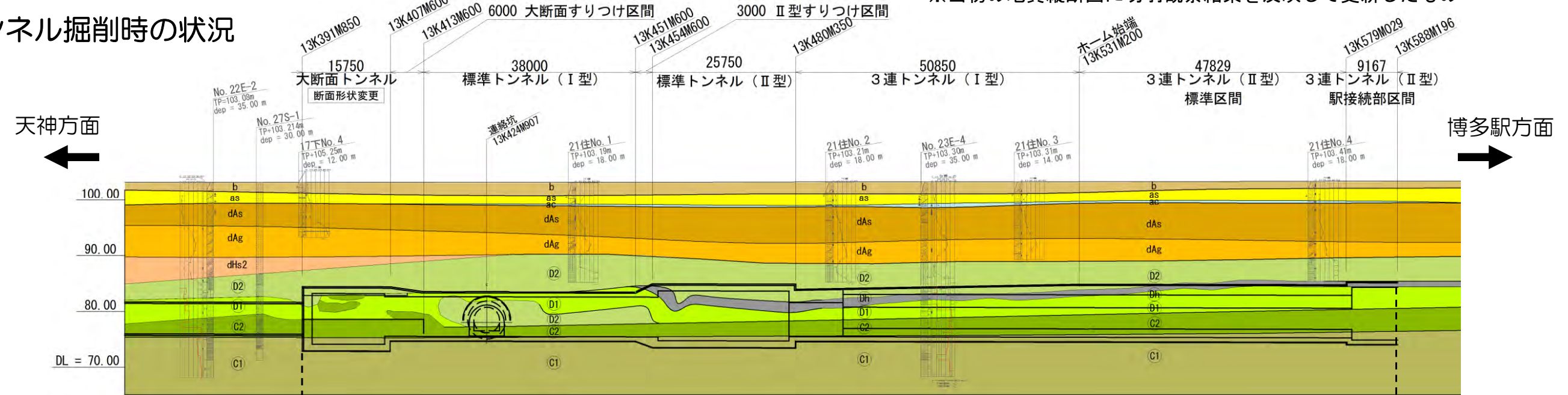
※2 大断面部には出現しなかったため、試験値なし。



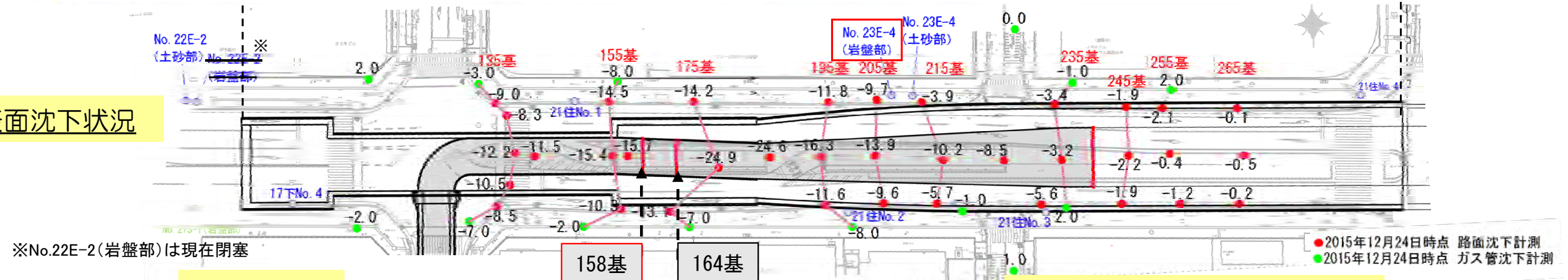
(3) 各層の工学的評価

2) 炭質頁岩層 (Dh) の工学的評価

○トンネル掘削時の状況



地表面沈下状況



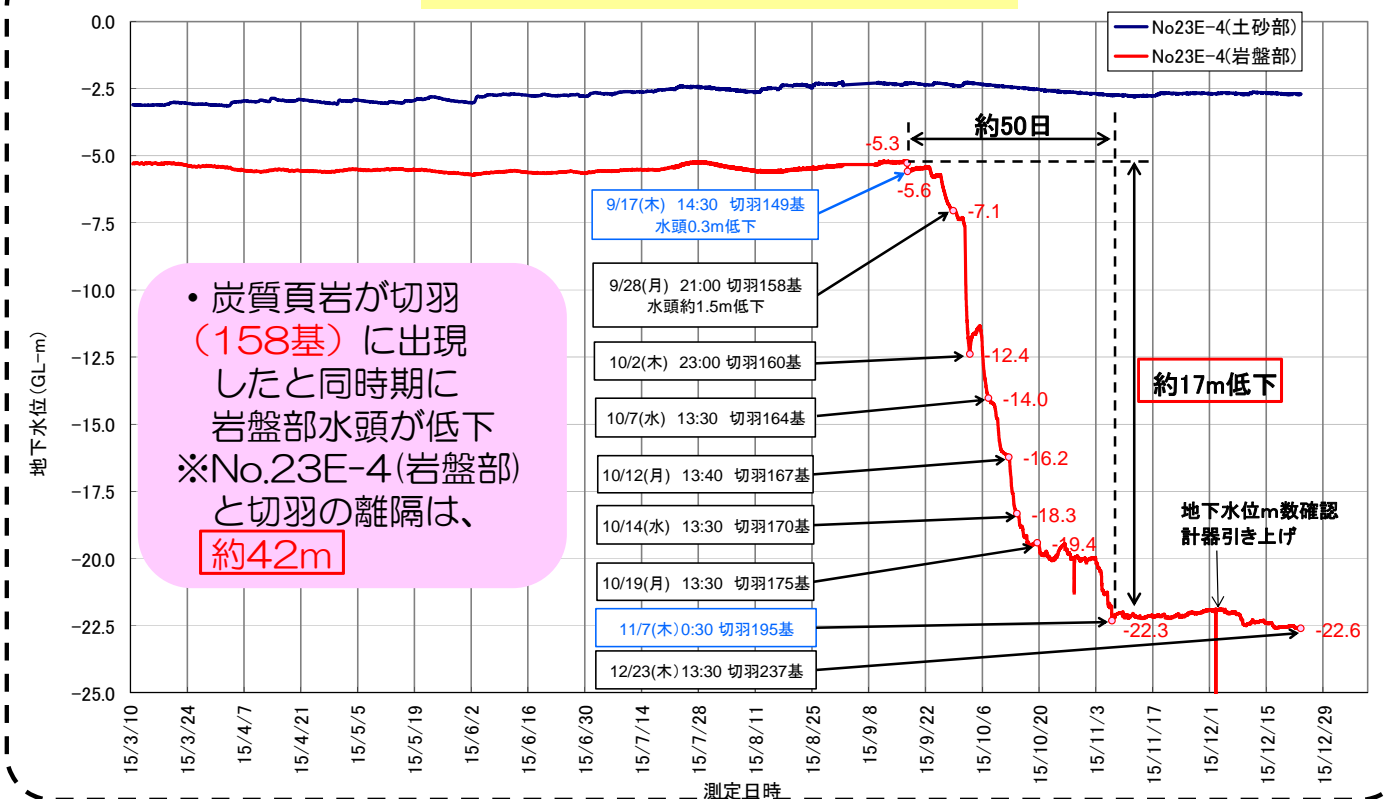
切羽状況



- 158基より炭質頁岩が出現
- 炭質頁岩は、脆弱で切羽が自立しない



地下水状況 (No.23E-4)



(3) 各層の工学的評価

2) 炭質頁岩層 (Dh) の工学的評価

①三次元的分布

- 標準Ⅱ型より東側（博多駅側）に面的に分布している。
- D2層の下位（GL.-17m～GL.-23m）に分布する。
- 層厚は約0.7m～2.4m。
- 東（博多駅側）に緩やかに上り傾斜している。
- 大断面部には、層としては存在しない。

②変形係数

- 変形係数 E_0 は、 $12,300 \sim 366,500 \text{ kN/m}^2$

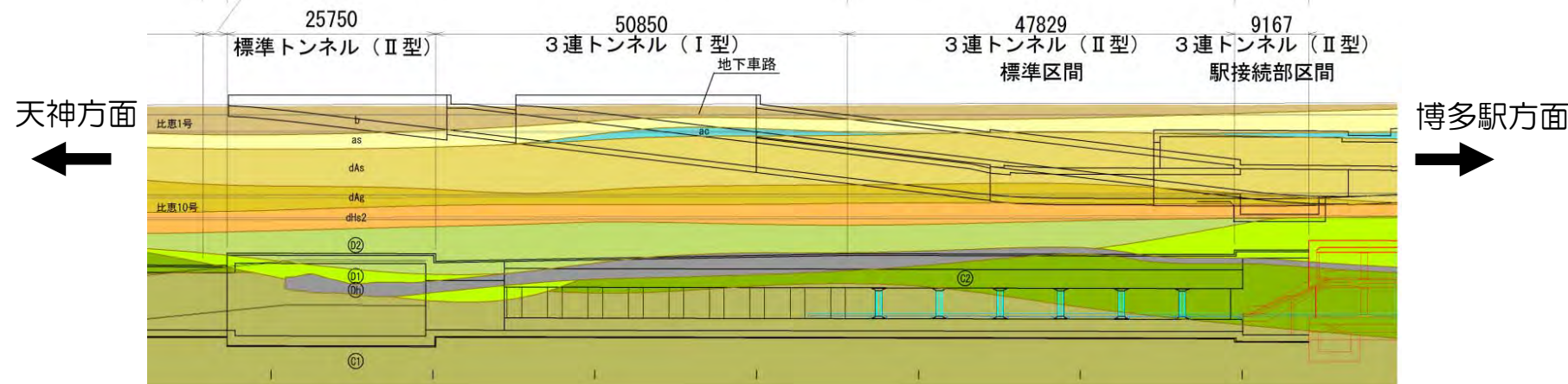
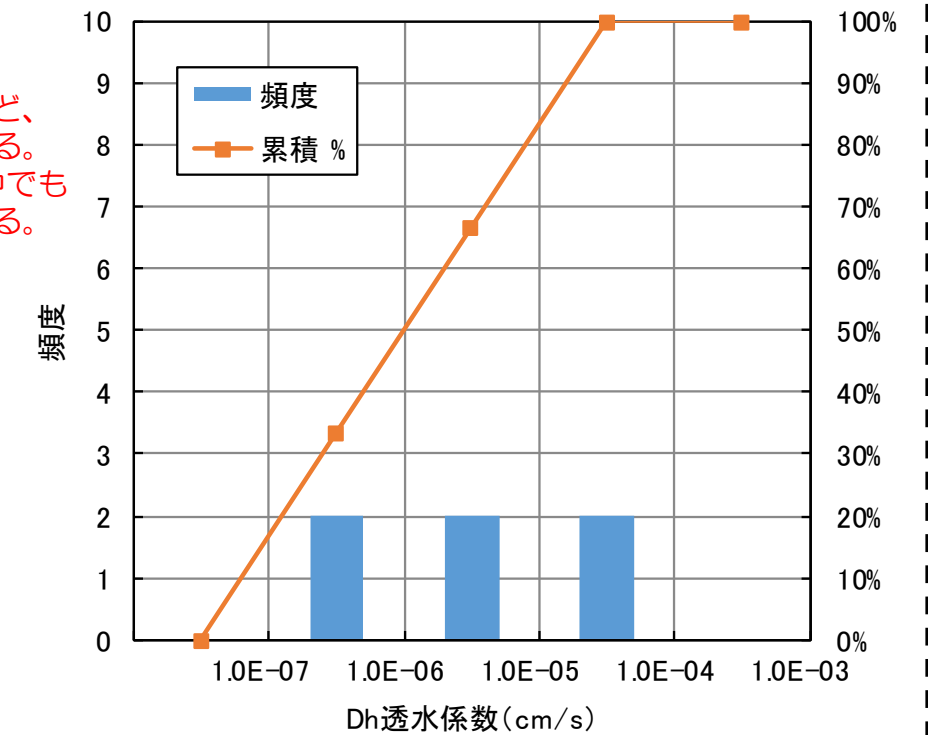
③粘着力・内部摩擦角

- 粘着力 c' は、 $0 \sim 69 \text{ kN/m}^2$
- 内部摩擦角 ϕ' は、 $20 \sim 46^\circ$

※コアの成形が困難なほど、炭化している部分がある。
左記試験値はDh層の中でも比較的健岩部の値である。

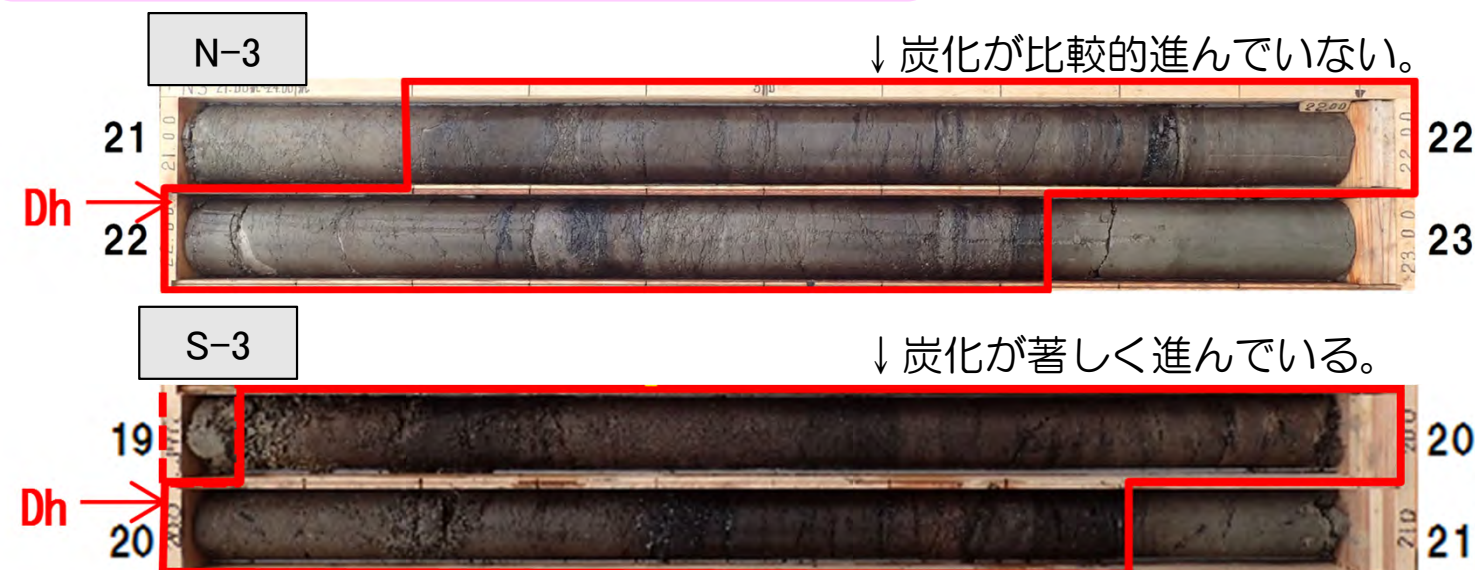
④透水係数

- 透水係数 K は、 $8.29 \times 10^{-7} \sim 1.72 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$



⑤コアの性状

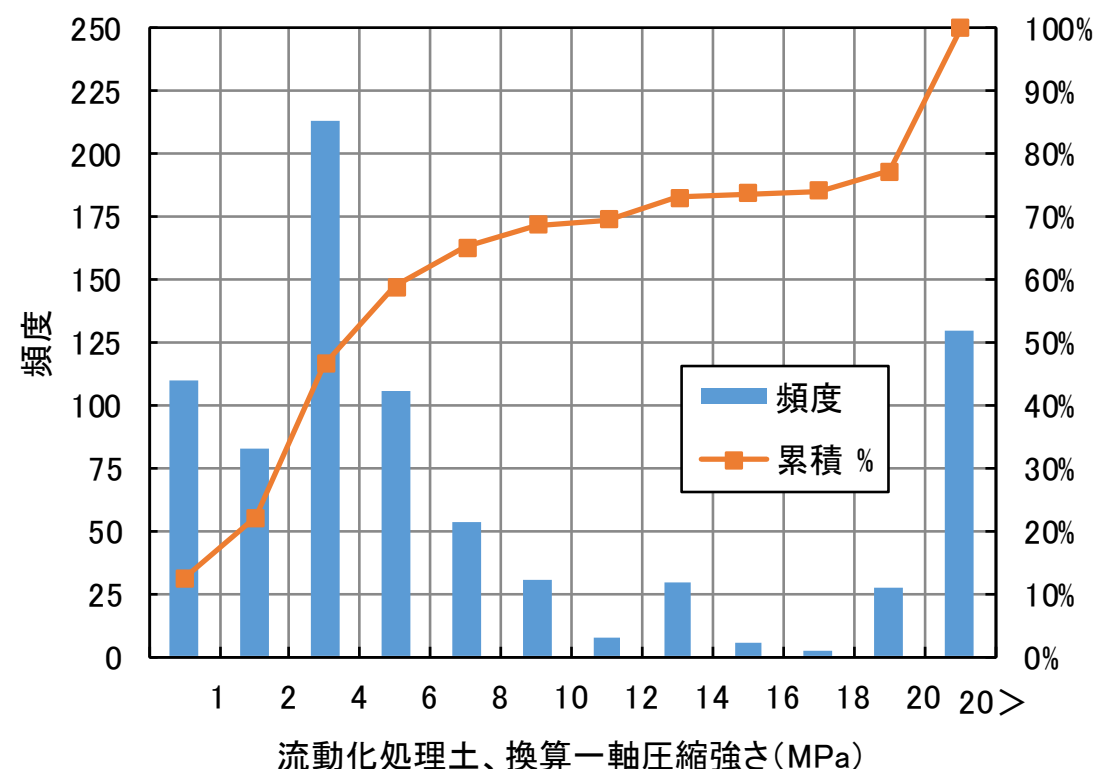
- 炭化の進行度にばらつきが大きい。
- 局所的に著しく炭化している。



(3) 各層の工学的評価

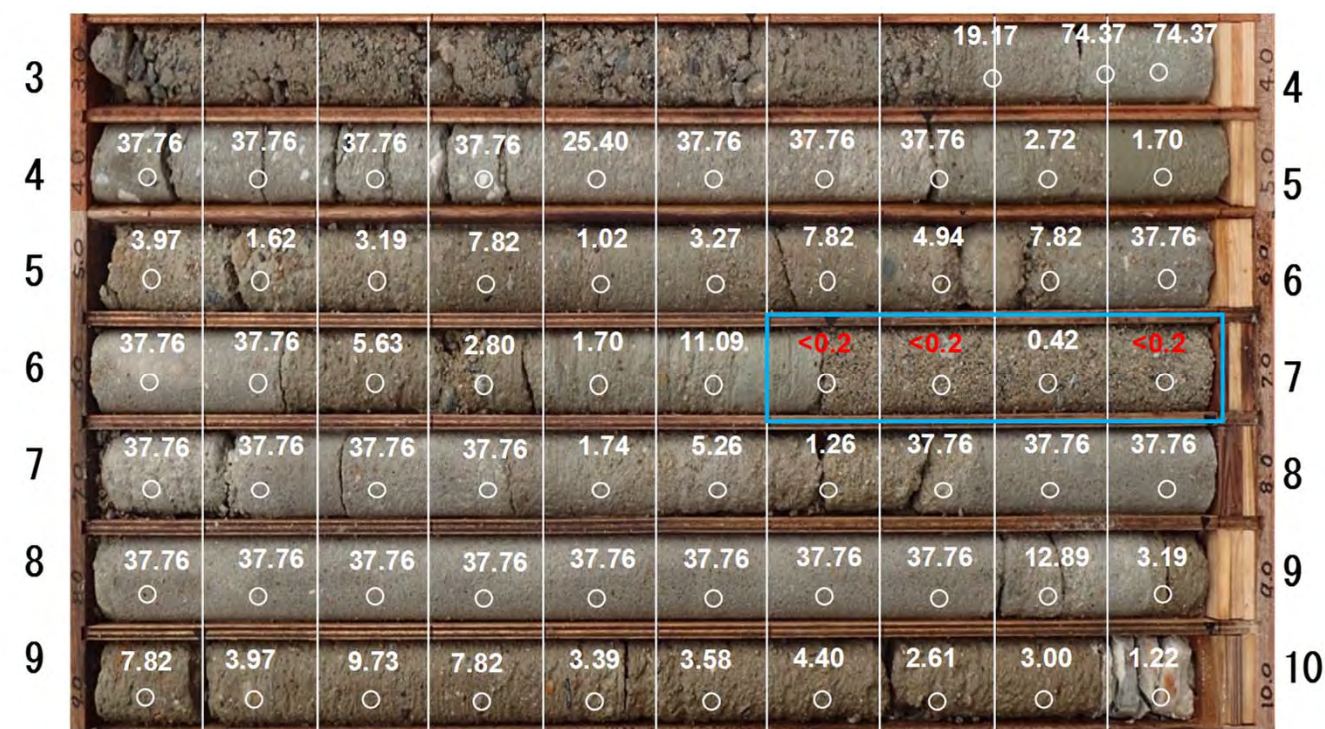
3) 流動化処理土の工学的評価

【換算一軸圧縮強さ】



- 約87%は換算一軸強度 (q_u) が1.0MPa以上。
- 局所的に緩い砂等が混入して換算一軸強度が小さい部分がある。

【流動化処理土性状と針貫入試験結果 (C-3')】

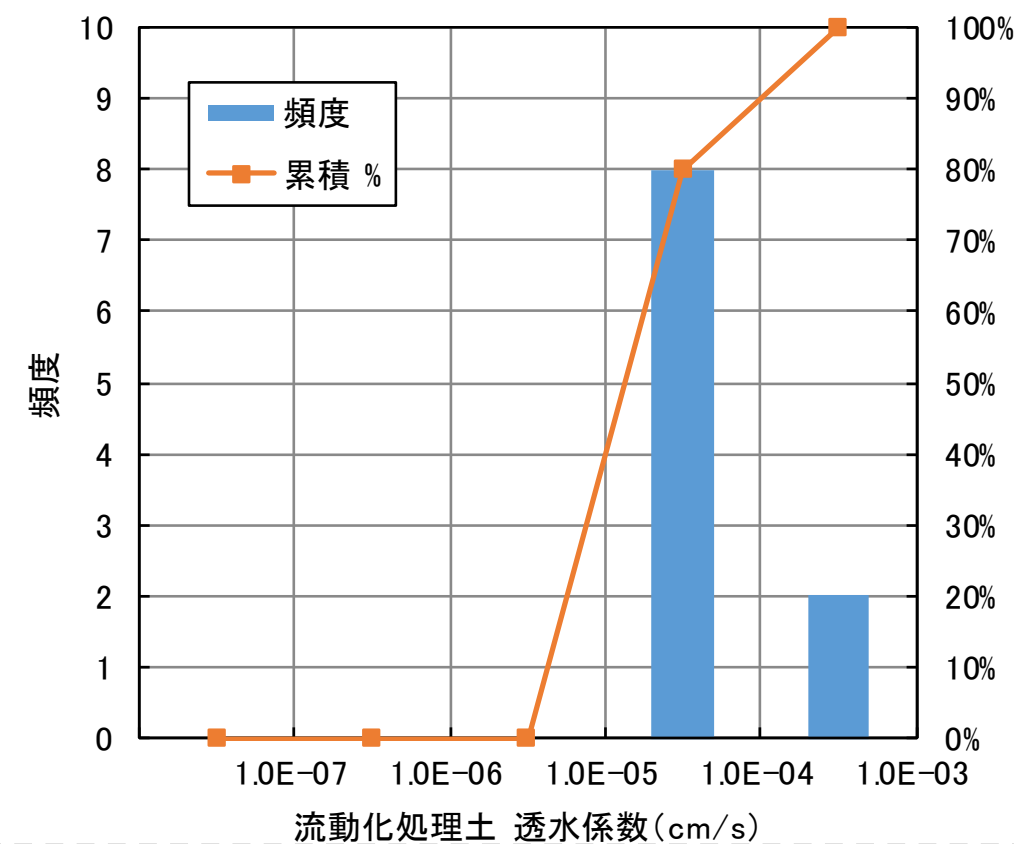
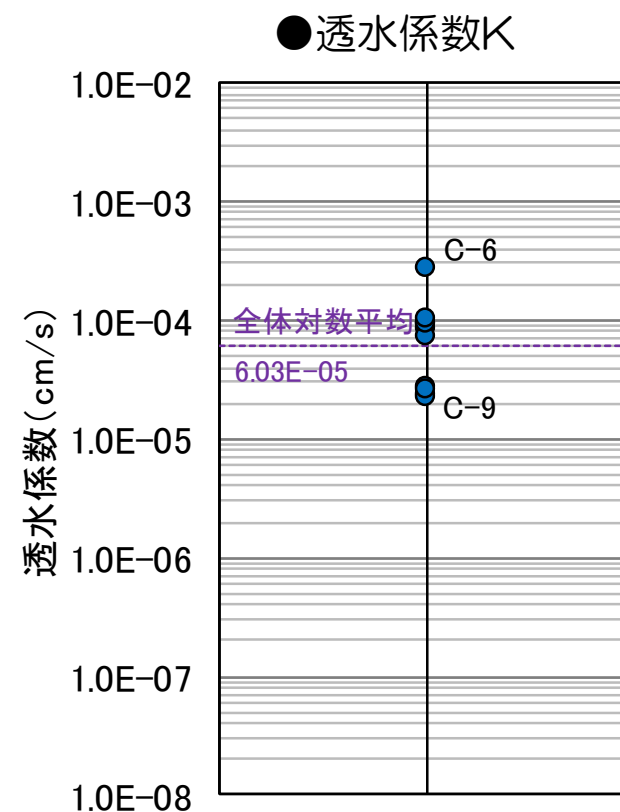


換算一軸圧縮強さ 1MPa以下の箇所

- 流動化処理土の大半は均質だが、崩落土砂等と混ざった箇所では換算一軸圧縮強さが1MPa以下となっている部分もある。

【透水係数 (現場透水試験)】

種別	孔名	試験方法	透水係数 K(cm/s)
今回	C-6	投入	8.38E-05
		汲上げ	2.78E-04
	C-8	投入	2.44E-05
		汲上げ	2.75E-05
	C-9	投入	2.31E-05
		汲上げ	9.49E-05
	C-10	投入	2.62E-05
		汲上げ	7.36E-05
	C-11	投入	9.40E-05
		汲上げ	1.03E-04



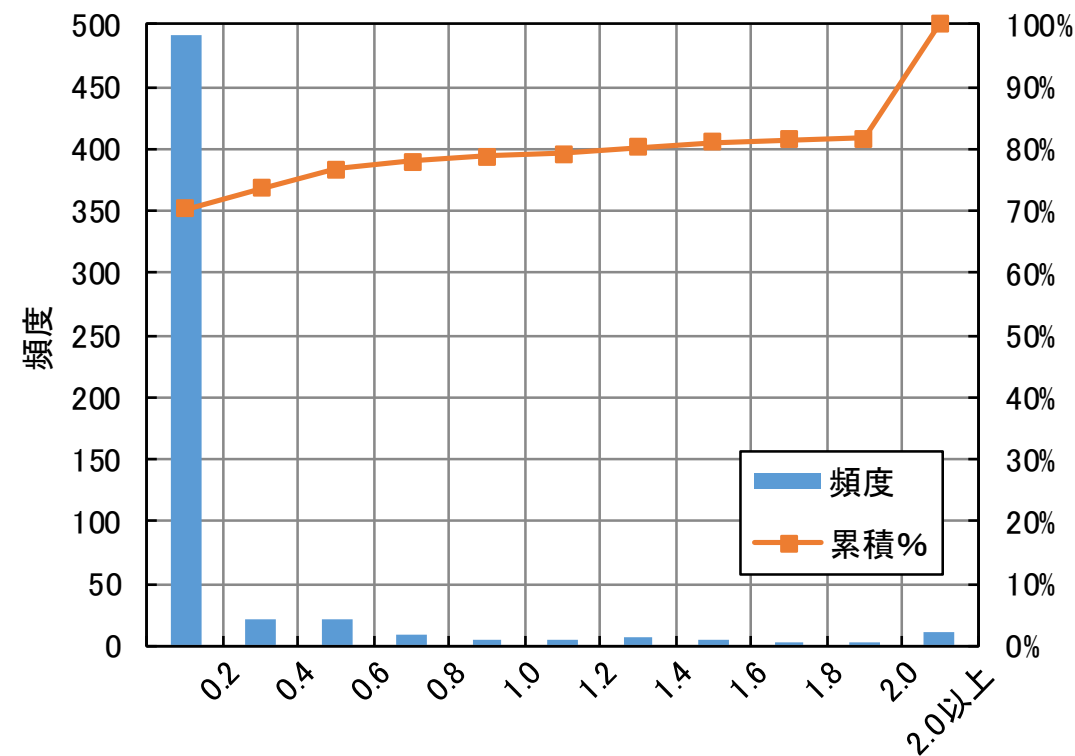
(3) 各層の工学的評価

4) 緩い砂層の工学的評価

換算一軸圧縮強さ (MPa)

針貫入試験

【換算一軸圧縮強さ】



【C-1'】

緩い砂層
※コンクリート片
アスファルト片
注入材
を含む

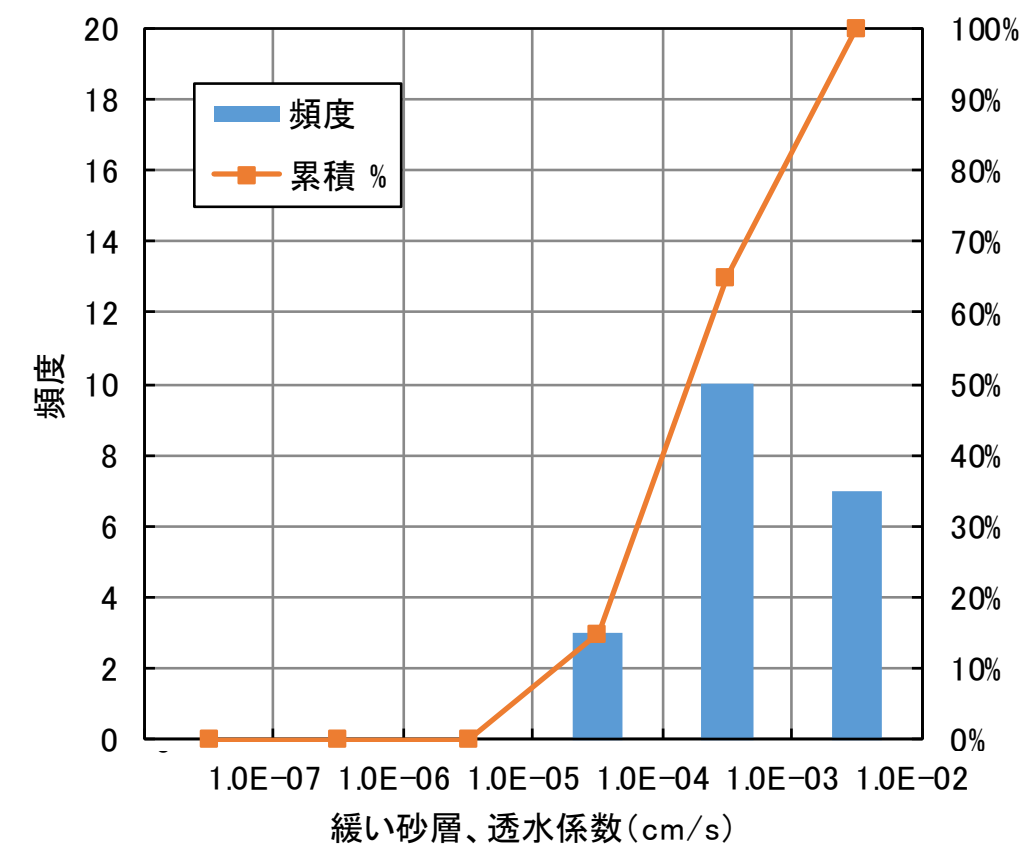
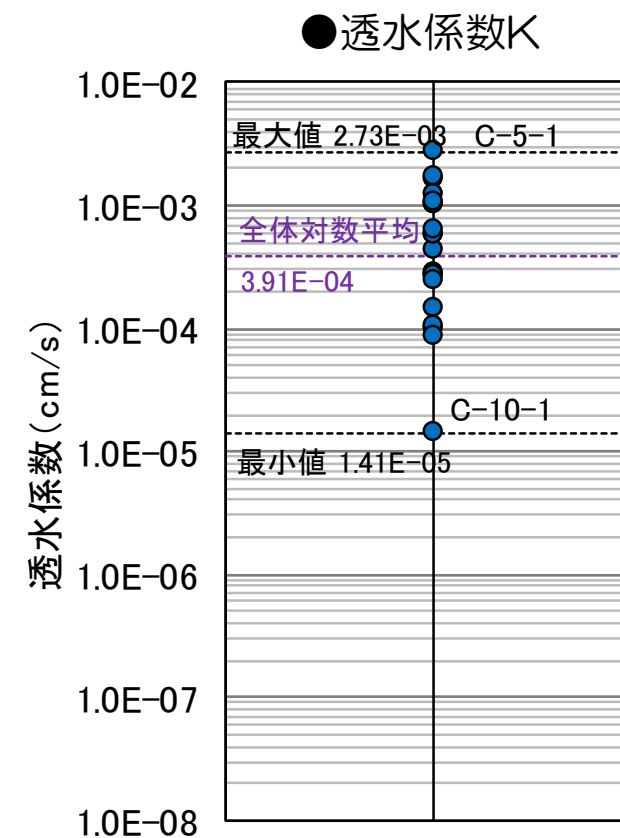


- 約79%は換算一軸強度 (q_u) が1.0MPa以下。
- 局所的に換算一軸強度 (q_u) が2.0MPa以上が存在。

緩い砂層、換算一軸圧縮強さ (MPa)

【透水係数 (現場透水試験)】

種別	孔名	試験方法	透水係数 K(cm/s)
今回 大断面トンネル部	C-2'	投入	9.87E-05
		汲上げ	2.61E-04
	C-5-1	投入	1.60E-03
		汲上げ	2.73E-03
	C-5-2	投入	4.18E-04
		汲上げ	1.42E-04
	C-6	投入	1.22E-03
		汲上げ	5.67E-04
	C-7'-1	投入	1.04E-04
		汲上げ	2.84E-04
	C-7'-2	投入	8.63E-05
		汲上げ	2.61E-04
	C-8-1	投入	1.01E-03
		汲上げ	1.65E-03

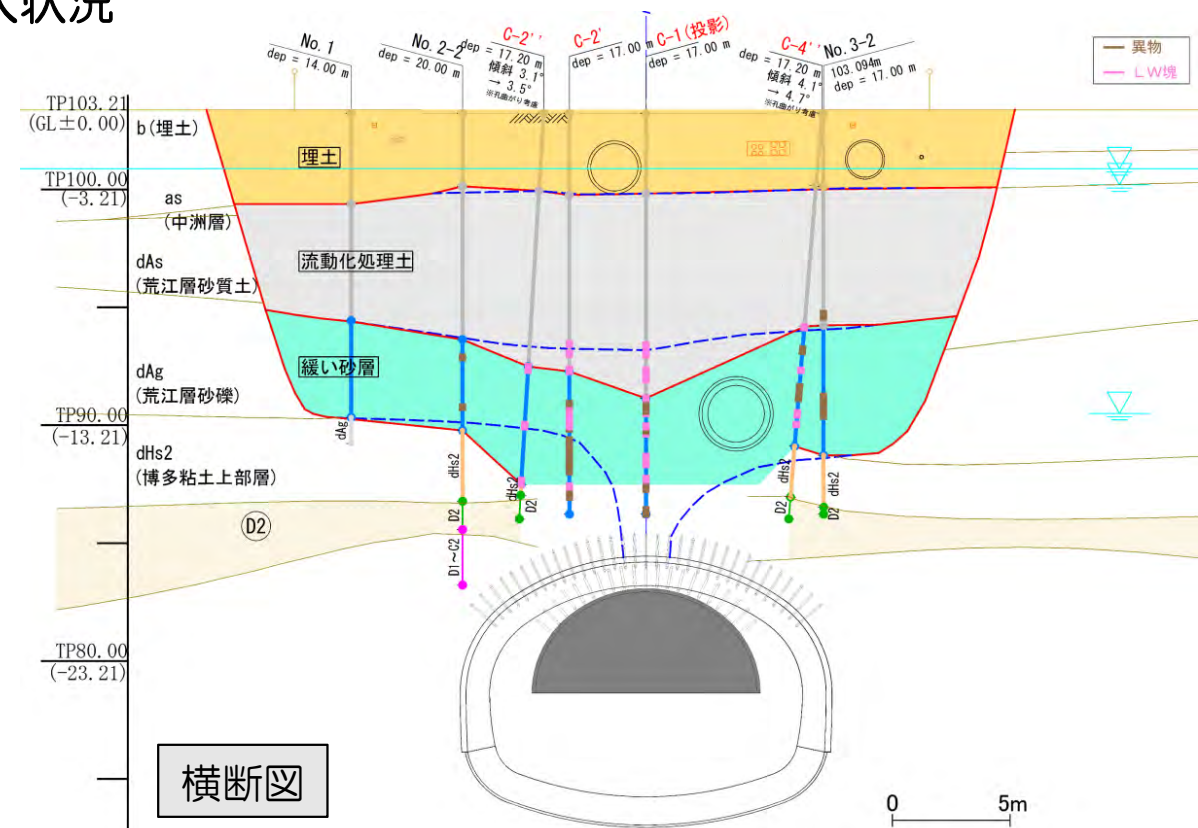
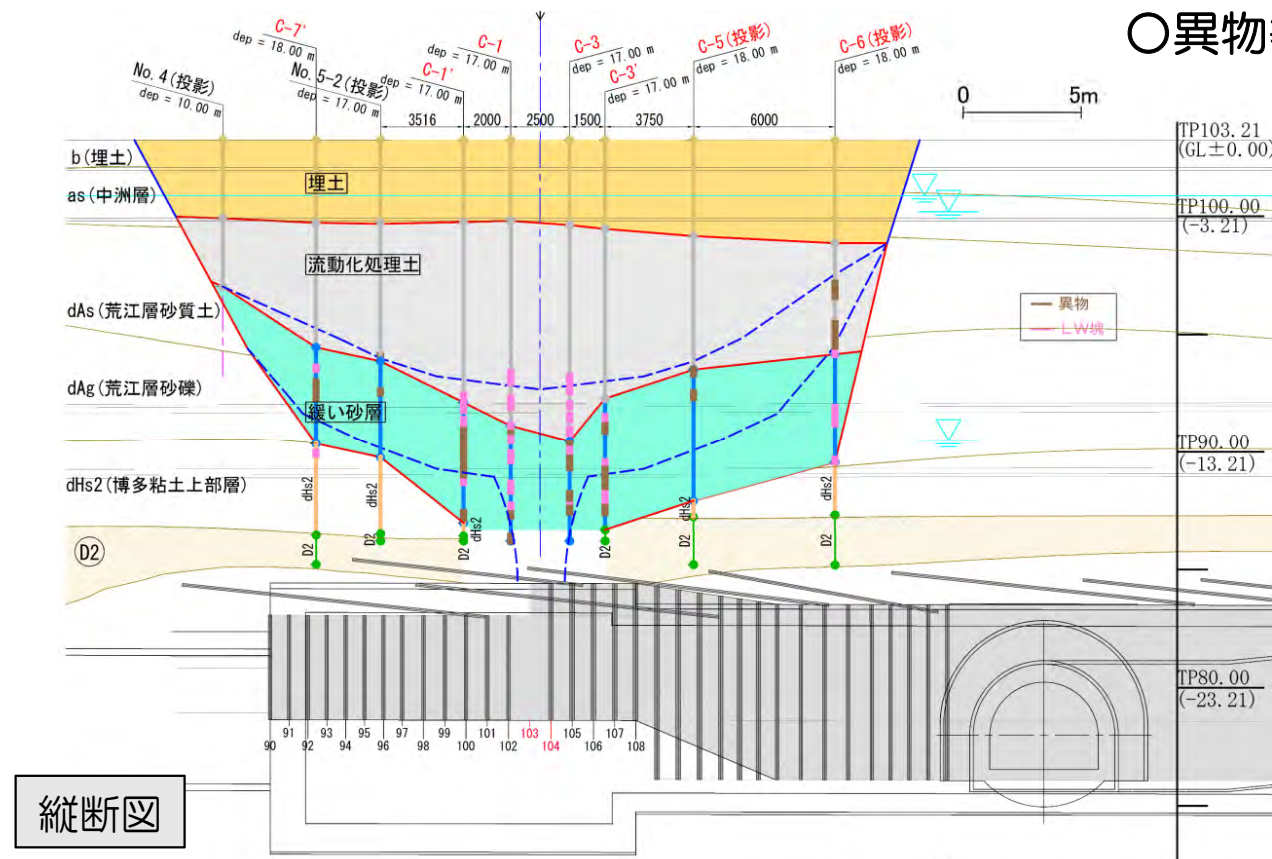


- 約81%以上は透水係数Kが 1.0×10^{-4} (cm/s) より大きい

(3) 各層の工学的評価

4) 緩い砂層の工学的評価

○異物等混入状況

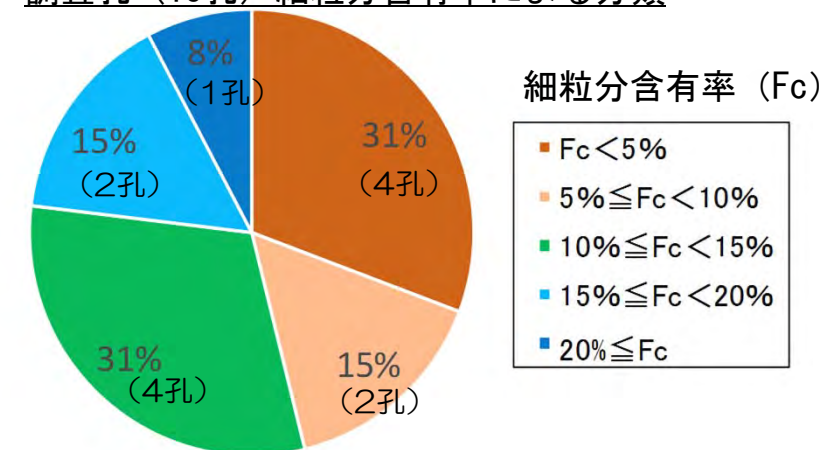


●一覧表

孔名	深度(GL -m)	粒度(%)					細粒分 Fc
		石	礫	砂	シルト	粘土	
C-1	15.0~15.3	0.0	1.0	75.1	18.2	5.7	23.9
C-2'	15.3~15.6	0.0	67.6	30.2	0.8	1.4	2.2
C-3	14.6~14.9	0.0	2.5	94.2	0.3	3.0	3.3
C-4''	13.9~14.2	0.0	1.4	80.1	14.8	3.7	18.5
C-5	12.8~13.1	0.0	3.9	89.6	2.8	3.7	6.5
C-6(1)	9.7~10.0	0.0	19.8	65.6	10.7	3.9	14.6
C-6(2)	13.1~13.4	0.0	56.1	41.4	1.1	1.4	2.5
C-7'	12.35~12.85	0.0	17.6	69.0	9.5	3.9	13.4
C-8	12.05~12.35	0.0	45.6	50.0	2.4	2.0	4.4
C-9	9.0~9.3	0.0	18.9	66.1	11.5	3.5	15.0
C-10	7.2~7.7	0.0	24.2	69.6	4.4	1.8	6.2
C-11(1)	8.8~9.1	0.0	9.2	76.4	11.1	3.3	14.4
C-11(2)	13.4~13.7	0.0	48.7	41.2	7.2	2.9	10.1
平均		0.0	24.3	65.3	7.3	3.1	10.4
最大		0.0	67.6	94.2	18.2	5.7	23.9
最小		0.0	1.0	30.2	0.3	1.4	2.2

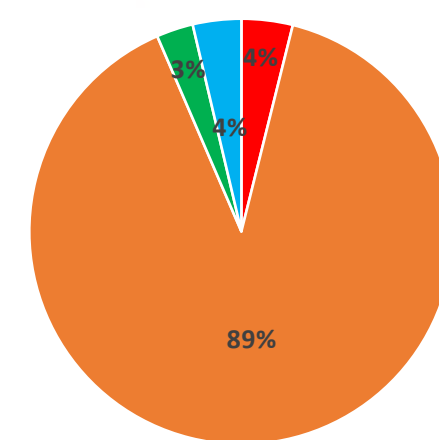
●粒度分布

調査孔(13孔)細粒分含有率による分類

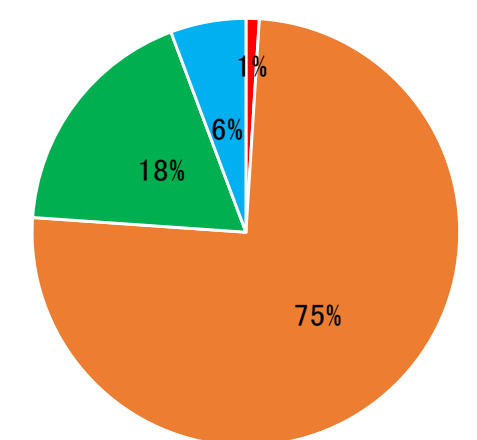


- ①54%の区間で細粒分含有率が10%以上。
- ②細粒分を局所的に24%含む。

細粒分が少ない孔の粒度分布 (C-5)



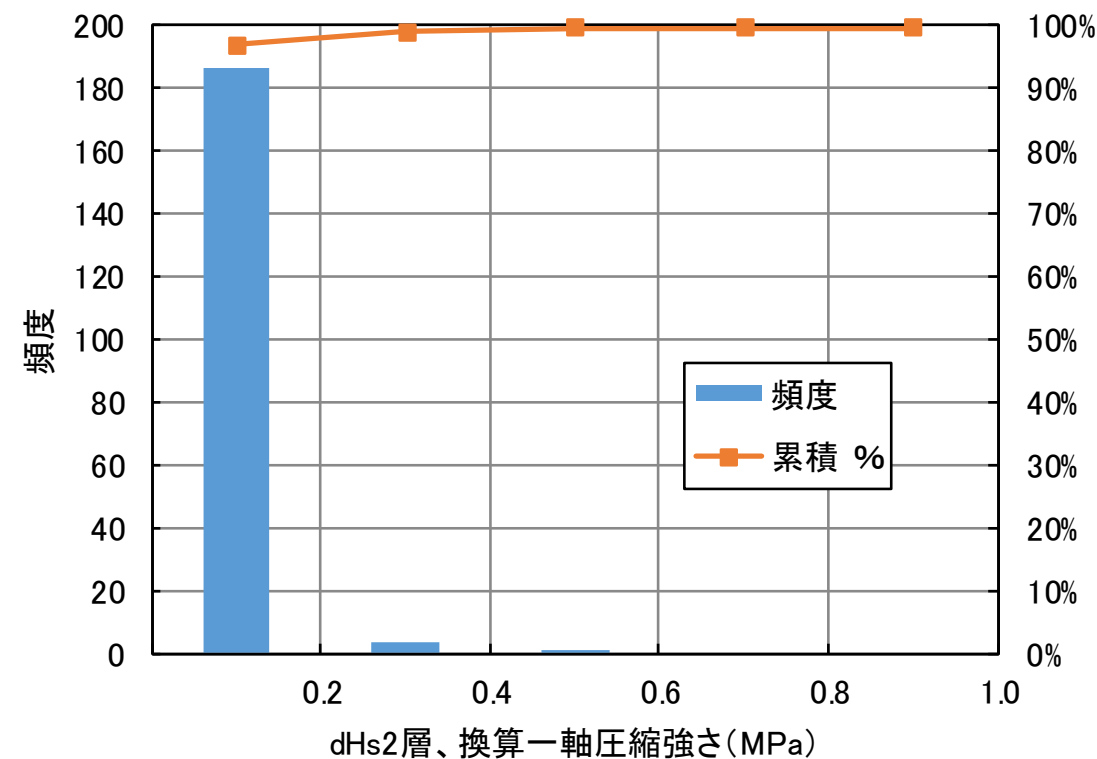
細粒分が多い孔の粒度分布 (C-1)



(3) 各層の工学的評価

5) 博多粘土上部層 (dHs2) の工学的評価

【換算一軸圧縮強さ】



- 換算一軸圧縮強度 (q_u) が全て0.6MPa以下。
- 強度のばらつきは小さい。

【孔内水平載荷試験 (LLT) 結果】

※全応力

孔名	測定深度 (GL.-m)	水位 (GL.-m)	静止土圧 (kN/m ²)	鉛直土圧 (kN/m ²)	静止土圧係数	弾性係数 (MN/m ²)
N-1	-15.1	+0.5	183.0	287.0	0.64	21.0
N-2	-14.6	-3.0	123.9	266.2	0.47	23.5
S-1	-14.9	-3.0	170.3	271.2	0.63	15.5

【三軸試験 (CU) 結果】

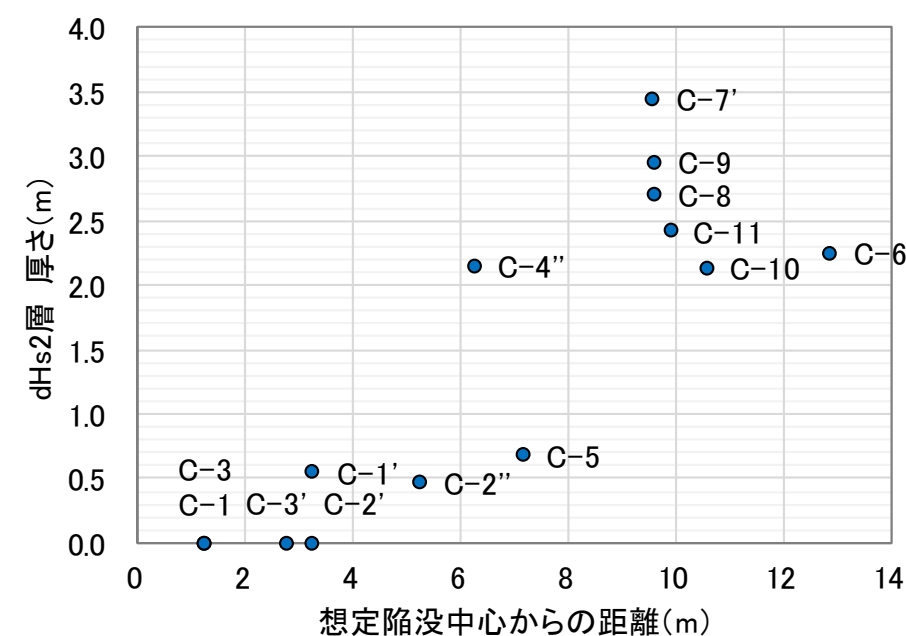
孔名	コア採取深度 (GL.-m)	全応力		有効応力	
		粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)
C-8	-13.70~-16.20	15.2	25.7	4.66	38.86
C-9	-12.85~-18.50	59.0	16.5	4.54	36.68

【透水係数 (ルジオン試験)】

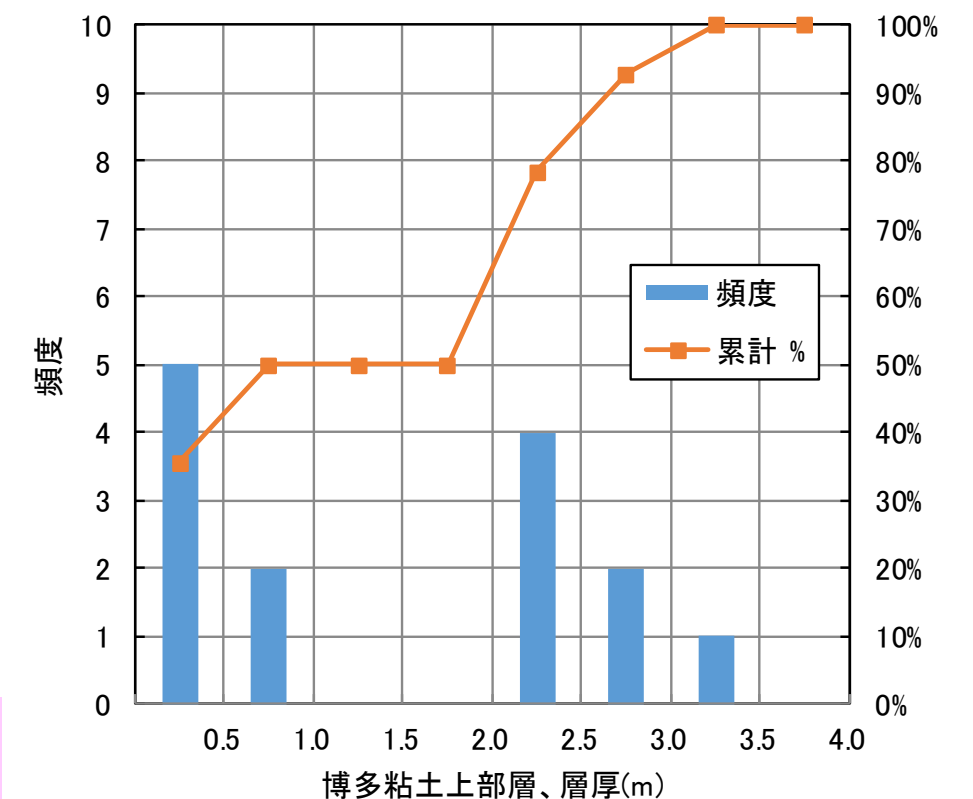
孔名	試験区間 (GL.-m)	限界圧 (MPa)	換算ルジオン値 (Lu)	透水係数 (cm/s)
S-4	-14.5~-15.20	0.06	17.97	1.36E-04

【博多粘土上部層 (dHs2) の層厚】

ボーリング名	想定陥没中心からの距離 (m)	dHs2層 厚さ (m)
C-1	1.25	0.00
C-1'	3.25	0.55
C-2'	3.25	0.00
C-2''	5.25	0.47
C-3	1.25	0.00
C-3'	2.75	0.00
C-4''	6.25	2.15
C-5	7.16	0.68
C-6	12.86	2.25
C-7'	9.55	3.45
C-8	9.60	2.70
C-9	9.60	2.96
C-10	10.57	2.14
C-11	9.89	2.42



- 残存するdHs2層の厚さは、想定陥没中心に近いほど小さい。



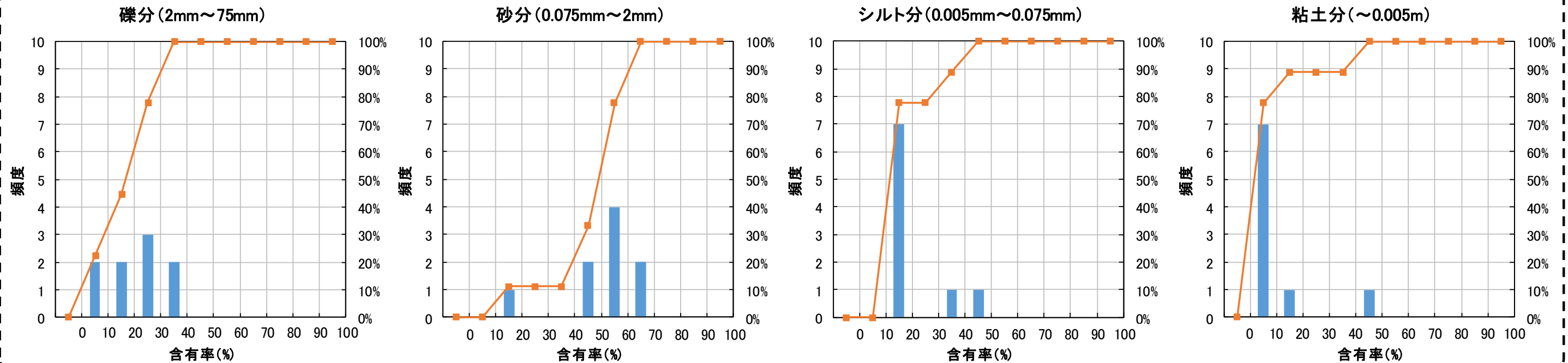
※未確認は0m

(3) 各層の工学的評価

5) 博多粘土上部層 (dHs2) の工学的評価

大半の細粒分含有率は20%前後であるが、部分的に50%を超える。

○粒度分布

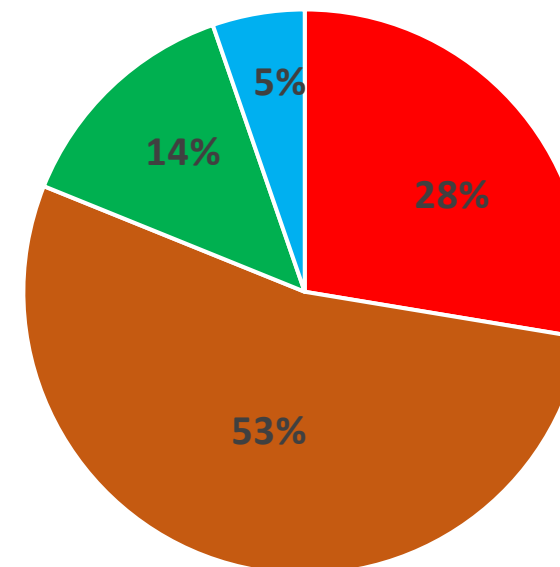


●一覧表

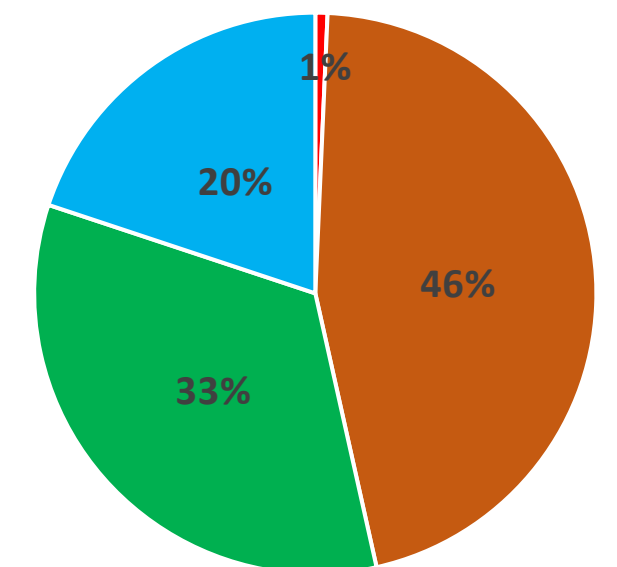
孔名	深度(GL -m)	粒度(%)					細粒分 Fc
		石	礫	砂	シルト	粘土	
C-1'	16.2~16.8	0.0	27.6	53.5	13.6	5.3	18.9
C-2'	15.7~16.2	0.0	37.5	43.7	13.8	5.0	18.8
C-4''	15.0~15.3	0.0	32.8	50.3	13.7	3.0	16.7
C-5	15.3~16.0	0.0	18.1	62.7	13.7	5.5	19.2
C-7'	13.5~16.7	0.0	19.6	60.2	15.2	5.0	20.2
C-8	13.7~16.2	0.0	28.6	57.3	10.5	3.6	14.1
C-9	12.85~15.8	0.0	22.9	57.0	15.1	5.0	20.1
C-10	15.0~15.3	0.0	0.7	45.8	33.6	19.9	53.5
平均		0.0	23.5	53.8	16.2	6.5	22.7
最大		0.0	37.5	62.7	33.6	19.9	53.5
最小		0.0	0.7	43.7	10.5	3.0	14.1

●粒度分布 円グラフ

細粒分が20%程度の孔の粒度分布 (C-1')



細粒分が多い孔の粒度分布 (C-10)



■ 礫 ■ 砂 ■ シルト ■ 粘土

・細粒分は20%程度だが、細粒分が多いケースも存在する。

（４）博多駅工区における地層構成の推定

(4) 博多駅工区における地層構成の推定

1) 全体地層構成

○三次元地質モデル

※当該地質モデルは、既存および今回の地質調査結果のほか、掘削時の切羽観察結果も反映して作成した。

【博多粘土上部層】

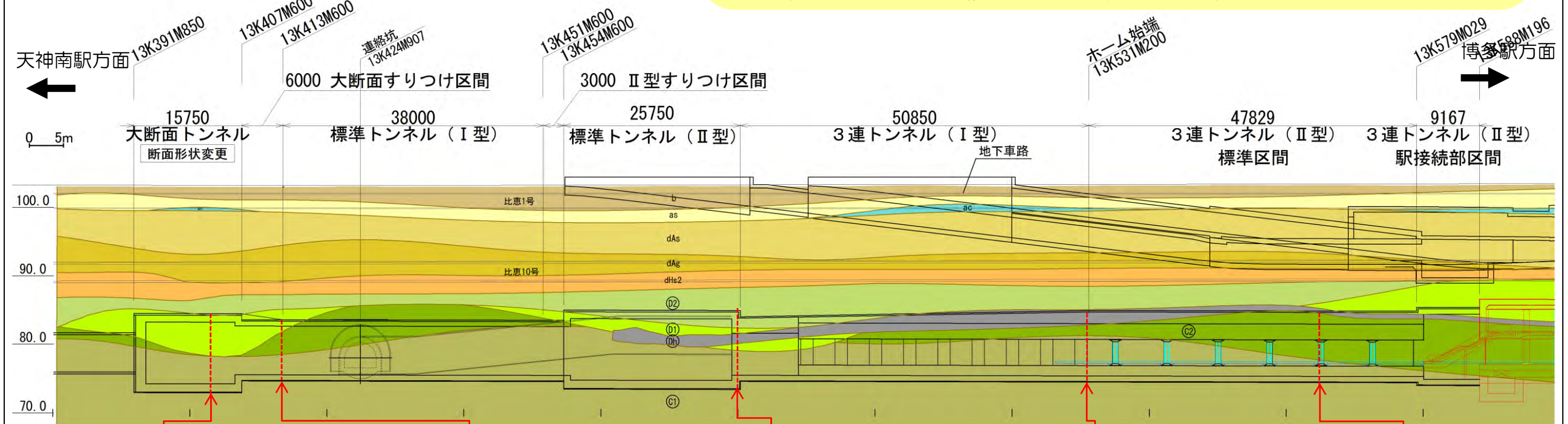
- ・当工区全体に分布する。

【炭質頁岩層 (Dh)】

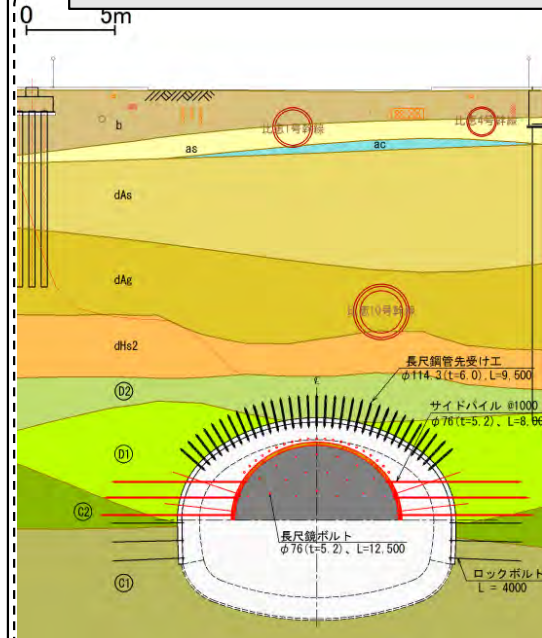
- ・標準トンネルⅡ型より、脆弱な炭質頁岩層が出現する。
- ・炭質頁岩層は、博多駅側に向かって上方へ遷移する。
- ・大断面部には、層としては存在しない。

【強風化頁岩層 (D2)】

- ・D2層の上端面は、博多駅側に向かって上昇し、天神南駅側に向かって下降する。特に、大断面トンネル部では岩被りが小さく、不陸も大きい。

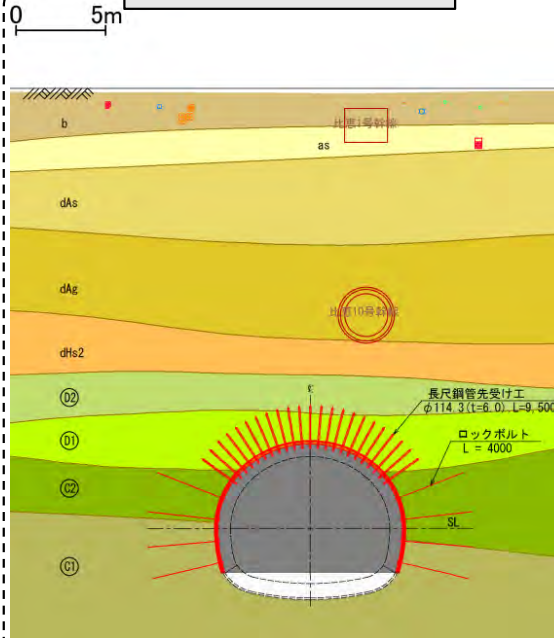


大断面トンネル (陥没部)



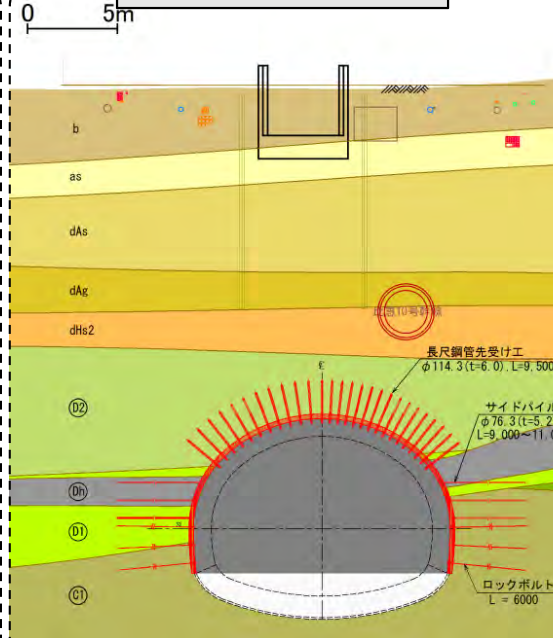
- ・ト初天端からD2層上端面までの距離 : 1.9~2.8m
- ・当区間のDh層厚さ※ : —

標準トンネルⅠ型



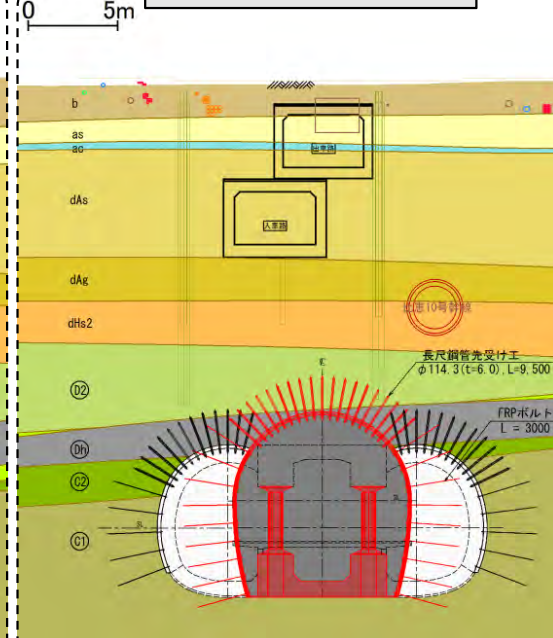
- ・ト初天端からD2層上端面までの距離 : 3.6~4.1m
- ・当区間のDh層厚さ※ : —

標準トンネルⅡ型



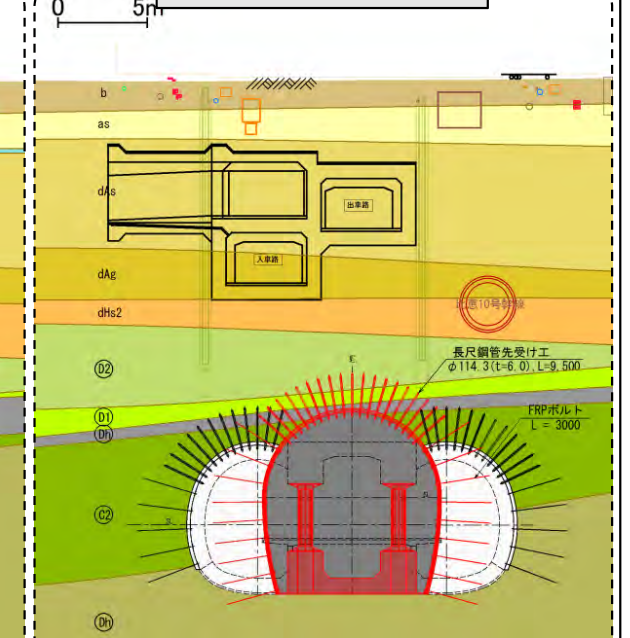
- ・ト初天端からD2層上端面までの距離 : 2.6~3.3m
- ・当区間のDh層厚さ※ : 1.4~2.4m

3連トンネルⅠ型



- ・ト初天端からD2層上端面までの距離 : 3.5~4.5m
- ・当区間のDh層厚さ※ : 1.4~2.2m

3連トンネルⅡ型



- ・ト初天端からD2層上端面までの距離 : 3.5~4.5m
- ・当区間のDh層厚さ※ : 0.7~2.2m

※トンネルセンターでの厚さ

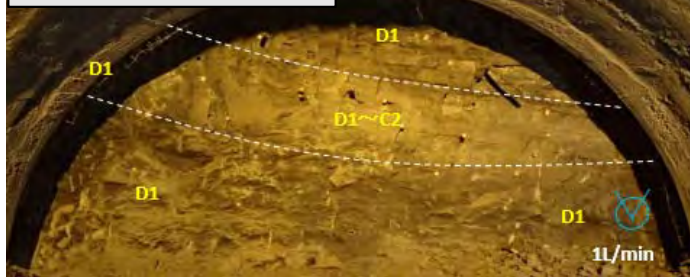
(4) 博多駅工区における地層構成の推定

2) 各断面の地層構成 (大断面トンネル ①)

大断面トンネル妻部

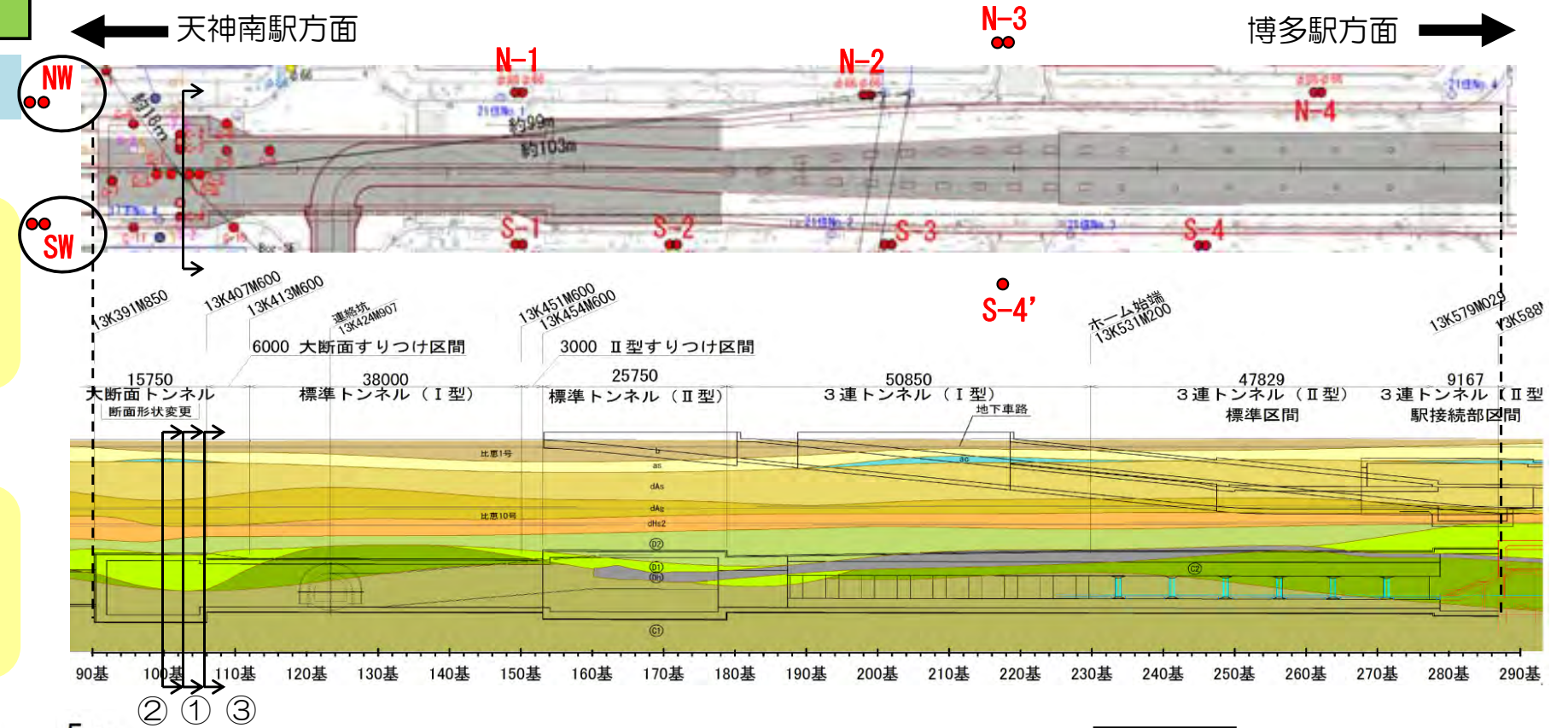


崩落孔中心



90基 (先進導坑)
: 破碎、肌落ち有
切羽安定
湧水はにじみ程度

103基 (先進導坑)
: 破碎、肌落ち有
切羽安定
湧水はにじみ程度



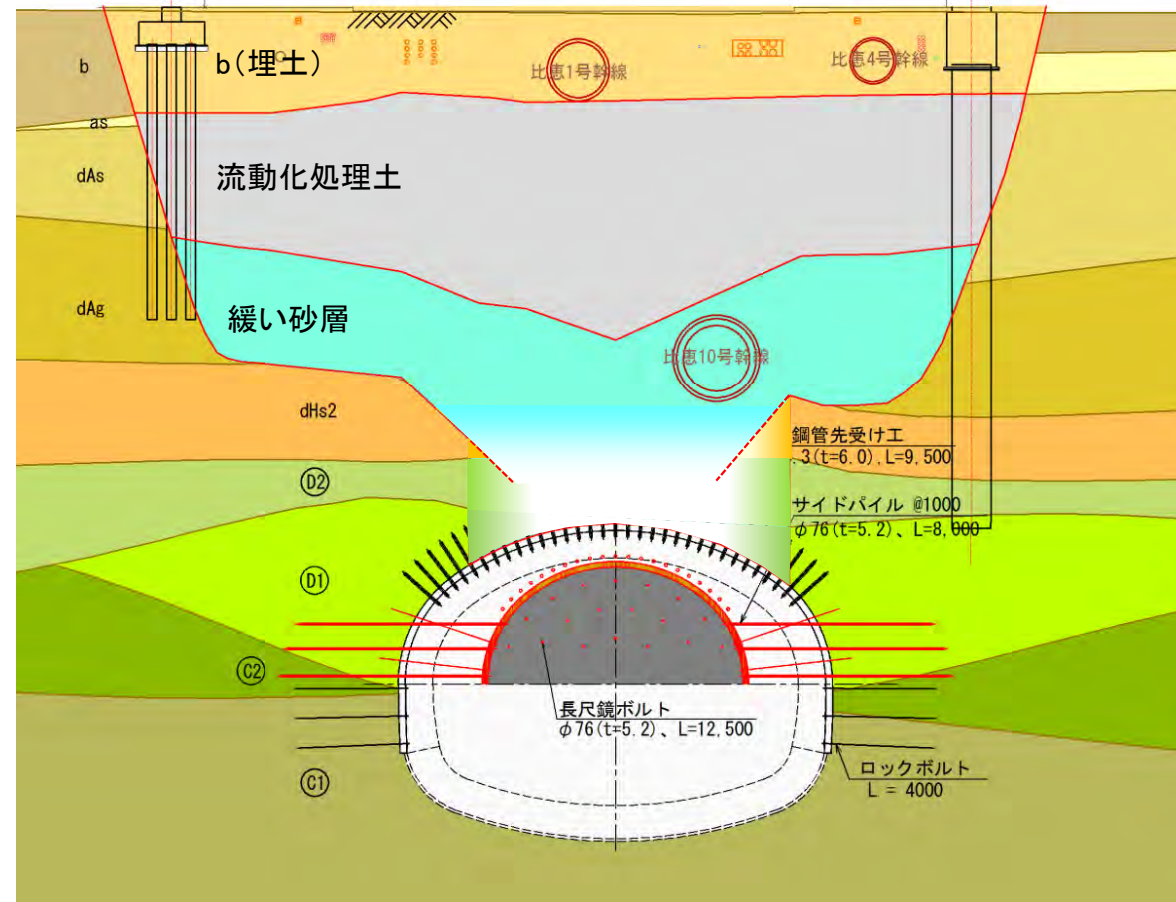
NW



破碎帯

深度 (m)	岩相[地層]	岩級
0	as	
1	埋土 (0-2.70m)	
2		
3	as	
4	更新統 中州層 (2.70-3.30m)	
5	更新統 荒江層砂質土 (3.30-7.65m)	
6	・礫混じり砂	
7	・粘土混じり砂よりなる	
8	更新統 荒江層砂礫 (7.65-13.20m)	
9	・礫混じり砂よりなる	
10	dAs	
11	dAg	
12	dHs2	
13	dHs2	
14	更新統 博多粘土上部層 (13.20-16.90m)	
15	・礫混じり粘土質砂よりなる	
16	dHs2	
17	古第三系	
18	・16.65-17.90m (厚さ: 1.25m)	Dc2
19	風化頁岩 (17.90-21.85m)	C2
20	砂岩 (19.35-25.70m)	
21	・19.35-22.70m	
22	・22.70-23.35m	
23	・23.35-25.70m	
24	粗粒砂岩	
25	・23.85-25.65m	
26	褐色を呈する割れ目が特徴的に分布	
27	・25.35-25.4mに透水、割れ目分布、褐色化進みかみ合わない	
28	・25.70-27.10m	Dc1
29	頁岩 (27.10-28.30m)	Dc2
30	炭質頁岩 (28.30-28.60m)	C1
31	頁岩 (28.60-30.00m)	C1

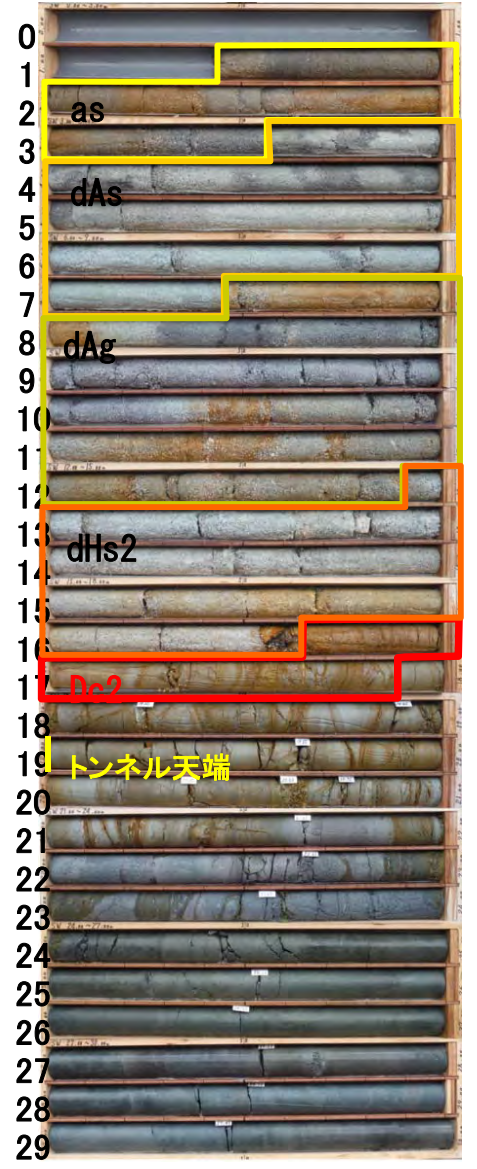
大断面トンネル①



【強風化頁岩 (D2)】 トリチ天端からD2上端面までの距離: 1.9m~2.8m
【炭質頁岩 (Dh)】 切羽観察及びボーリングコアで未確認

SW

深度 (m)	岩相[地層]	岩級
0	埋土 (0-1.45m)	
1		
2	as	
3	更新統 中州層 (1.45-3.55m)	
4	更新統 荒江層砂質土 (3.55-7.45m)	
5	・礫混じり砂よりなる	
6	dAs	
7	dAg	
8	更新統 荒江層砂礫 (7.45-12.90m)	
9	・礫混じり砂よりなる	
10	dAg	
11	dHs2	
12	dHs2	
13	更新統 博多粘土上部層 (12.90-16.65m)	
14	・礫混じり粘土質砂よりなる	
15	dHs2	
16	古第三系	
17	・16.65-17.90m (厚さ: 1.25m)	Dc2
18	風化頁岩 (17.90-21.85m)	
19	・コアはやや硬質となるが、手でつぶしたり割ることができる	
20	・成層構造が発達し、層理面に沿って褐色の風化が進んでいる	
21	風化砂岩 (21.85-24.60m)	
22	・21.85-24.60m	
23	粗粒砂岩	
24	頁岩 (24.60-30.00m)	
25	・成層構造をほとんど有しない塊状の頁岩	
26		
27		
28		
29		
30		



(4) 博多駅工区における地層構成の推定

2) 各断面の地層構成 (大断面トンネル ②・③)

崩落孔から3基先

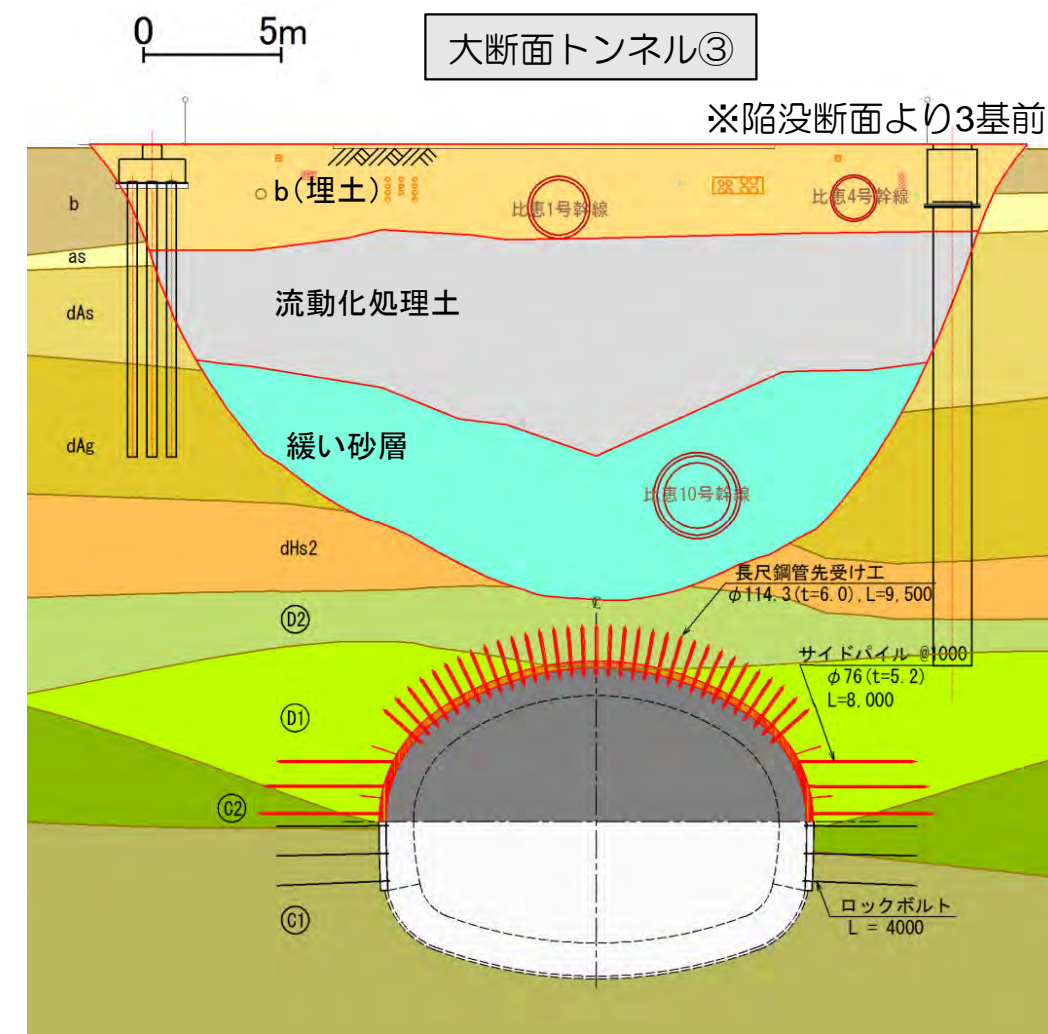
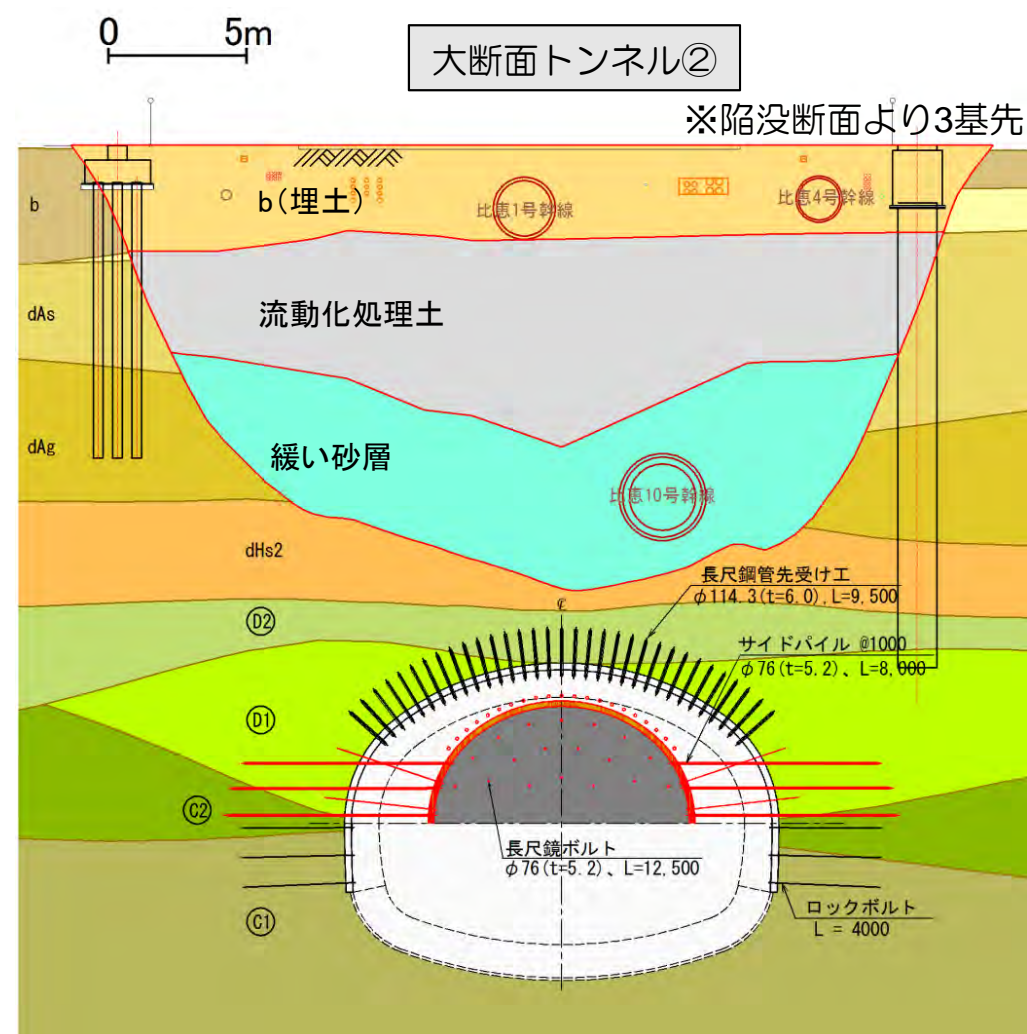


100基 (先進導坑)
: 破碎、肌落ち有
切羽安定
湧水はにじみ程度

崩落孔から2基前

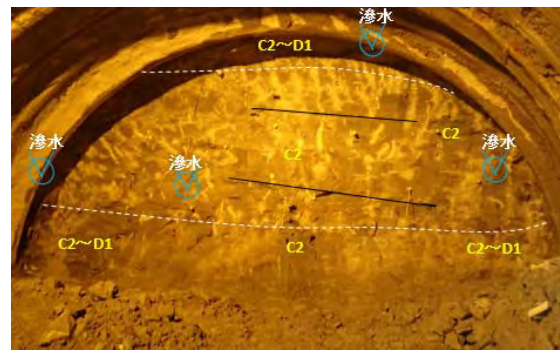


105基 (上半拡幅)
: 破碎、肌落ち有
天端が強風化
切羽安定、湧水はにじみ程度

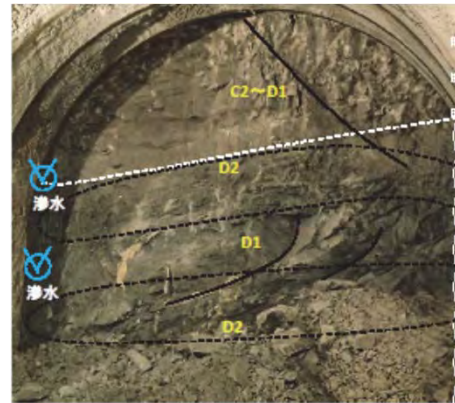


(4) 博多駅工区における地層構成の推定

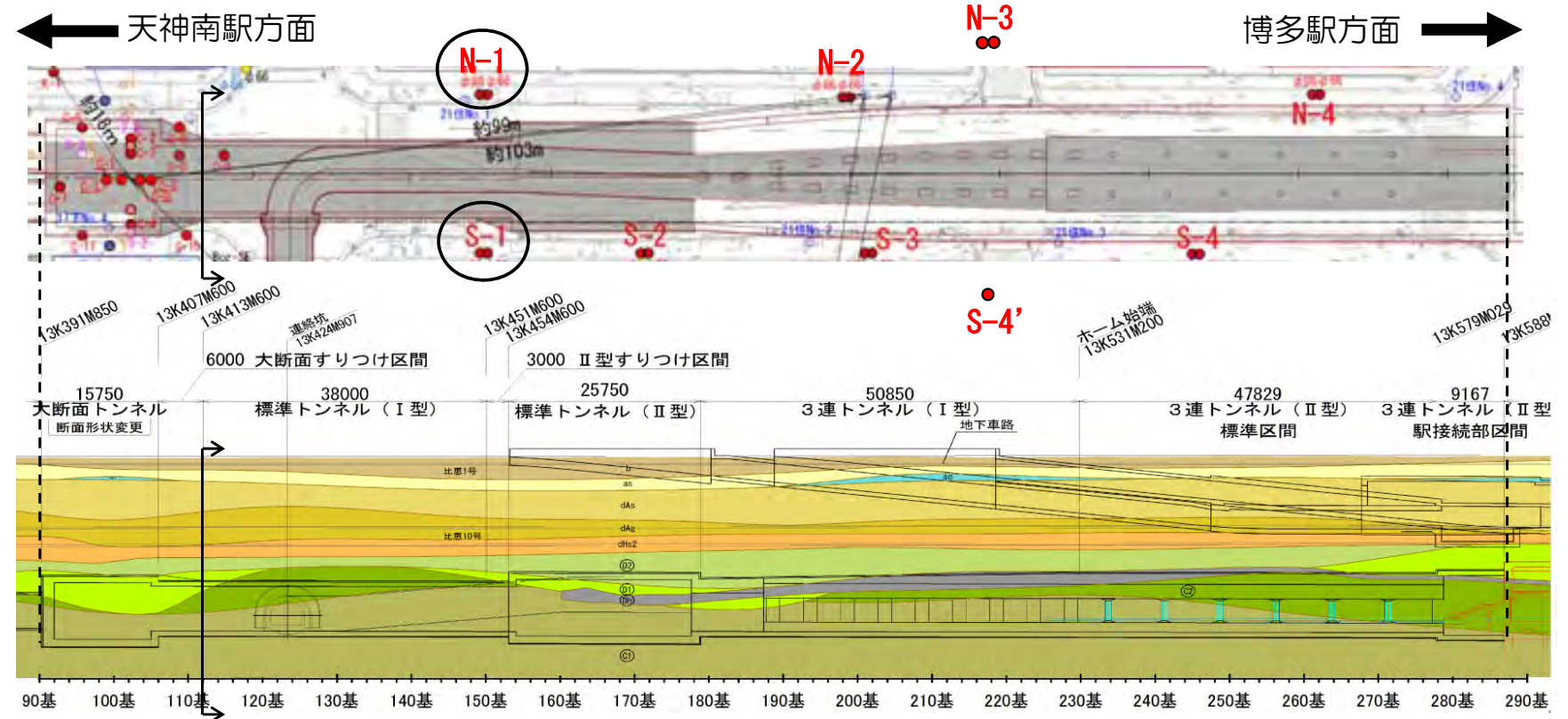
2) 各断面の地層構成 (標準トンネル I 型)



116基
：亀裂発達、切羽安定
肌落ち有
湧水はにじみ程度

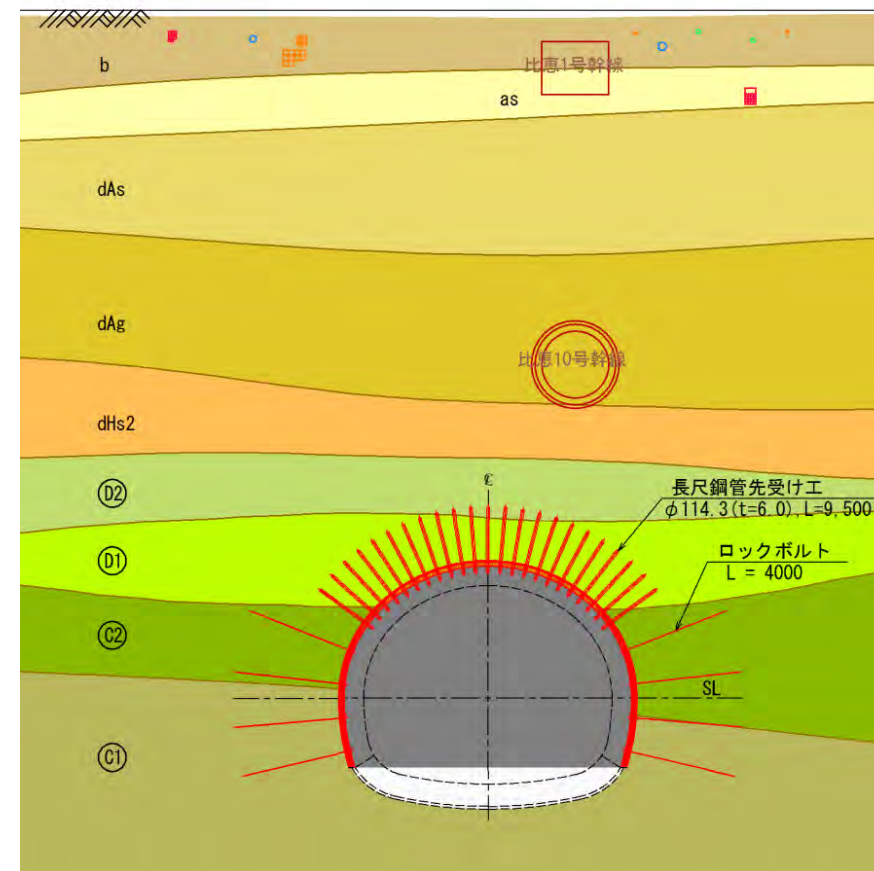


140基
：上部ノミあとがつく
中央・下部掘削容易
中央部流れ目あり
湧水はにじみ程度

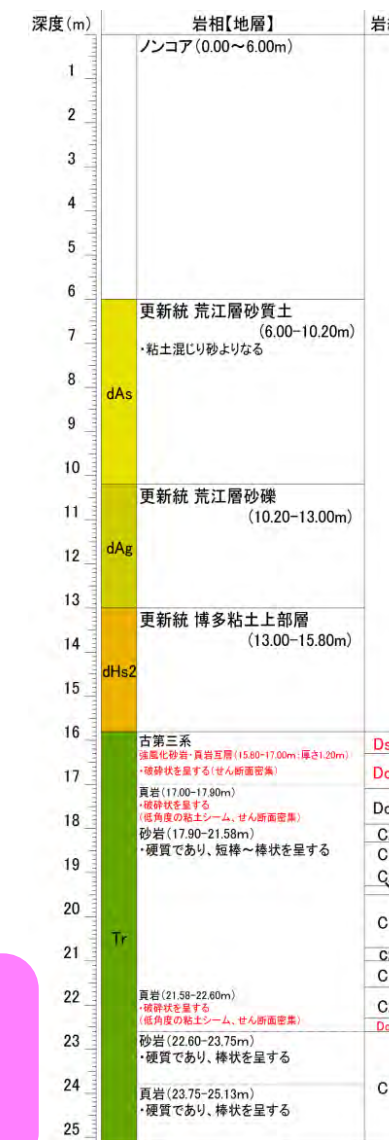


0 5m

標準トンネル I 型



【強風化頁岩 (D2)】 トンネル天端からD2上端面までの距離
：3.6m~4.1m
【炭質頁岩 (Dh)】 切羽観察及びボーリングコアで未確認

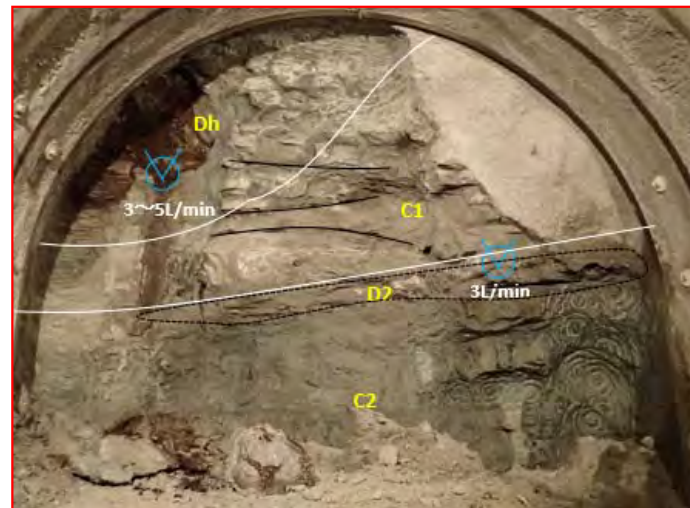


S-1

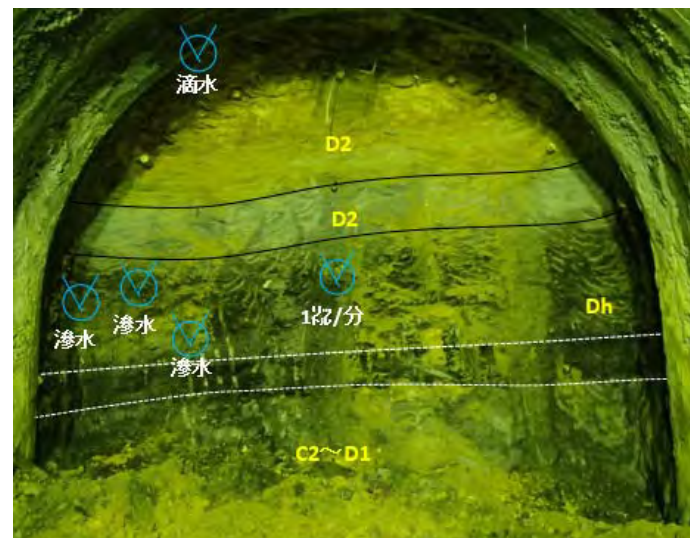


(4) 博多駅工区における地層構成の推定

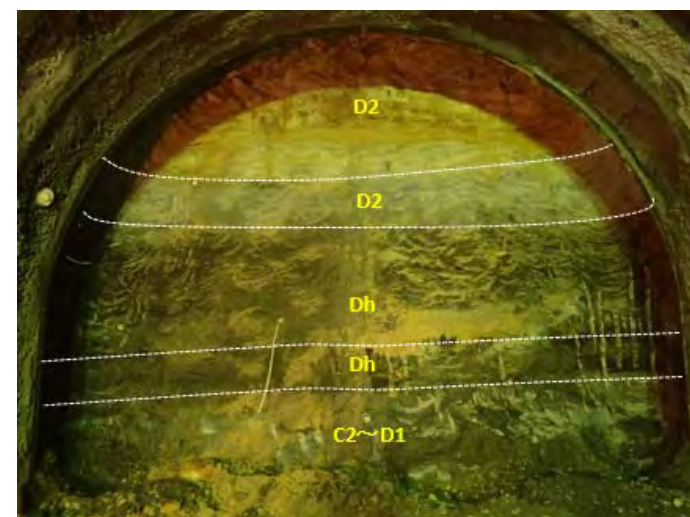
2) 各断面の地層構成 (標準トンネルⅡ型)



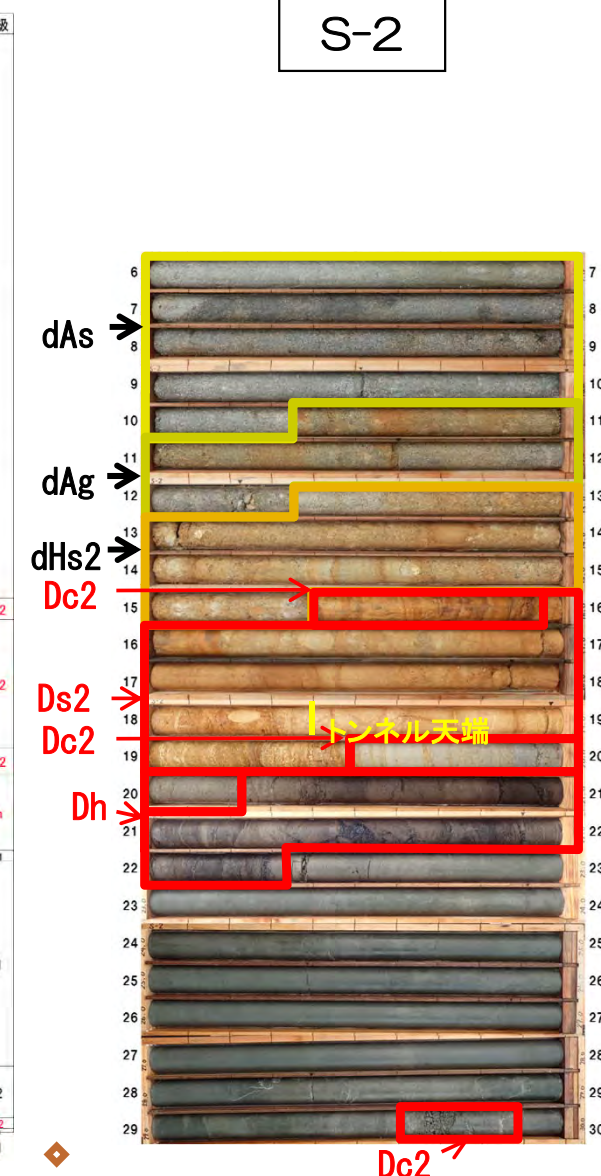
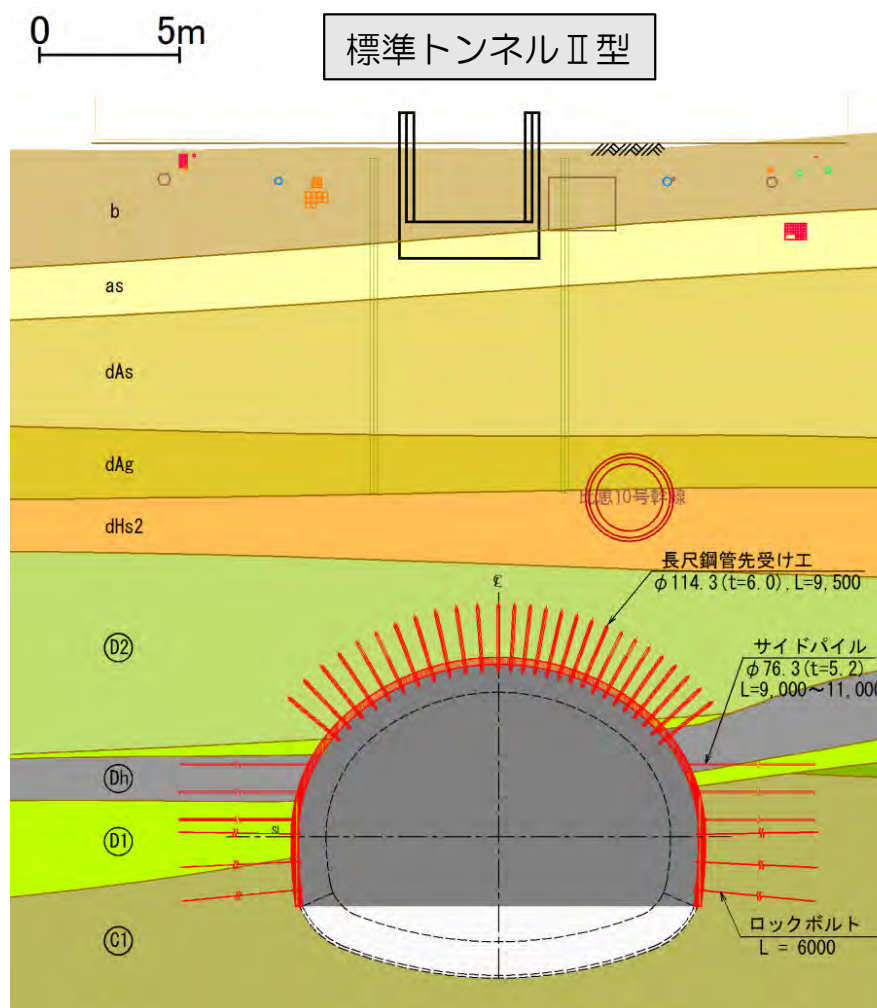
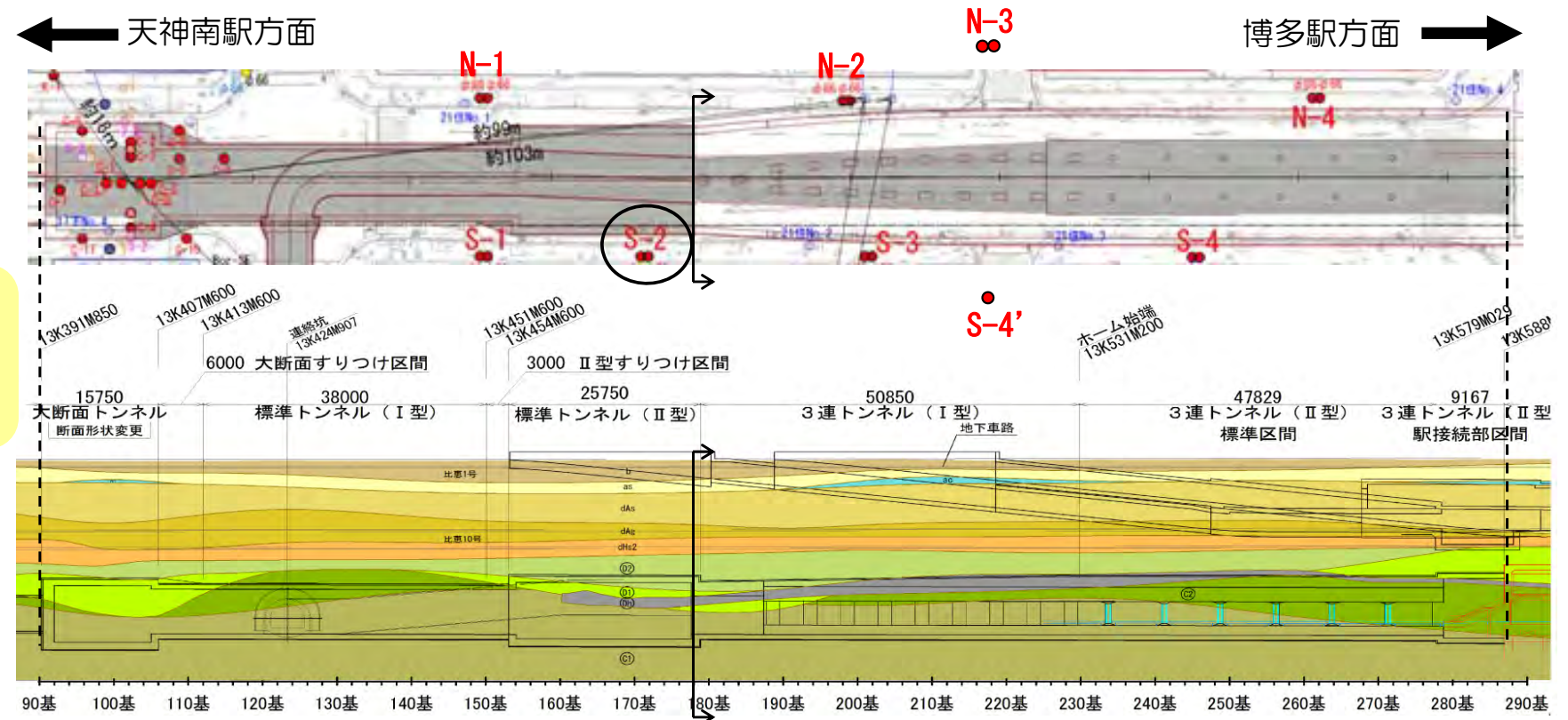
158基 (標準Ⅱ型起点)
: 硬い頁岩背面から破砕
された炭質頁岩出現



176基: 掘削直後から肌落ち、非常に軟質
切羽不安定、中央部に炭質頁岩



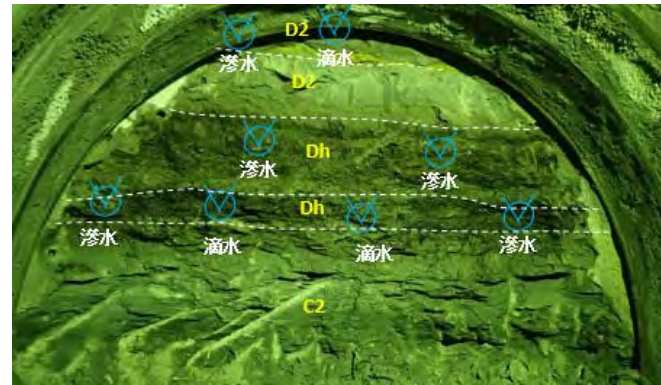
180基: 掘削直後から肌落ち、非常に軟質
切羽不安定、中央部に炭質頁岩



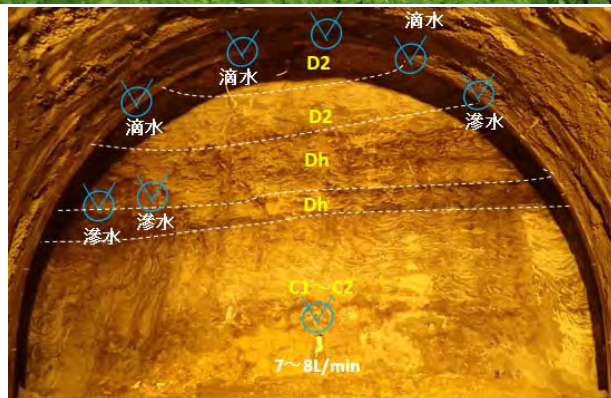
【強風化頁岩 (D2)】 トリチ天端からD2上端面までの距離
: 2.6m~3.3m
【炭質頁岩 (Dh)】 中央坑切羽 (158基~) で確認

(4) 博多駅工区における地層構成の推定

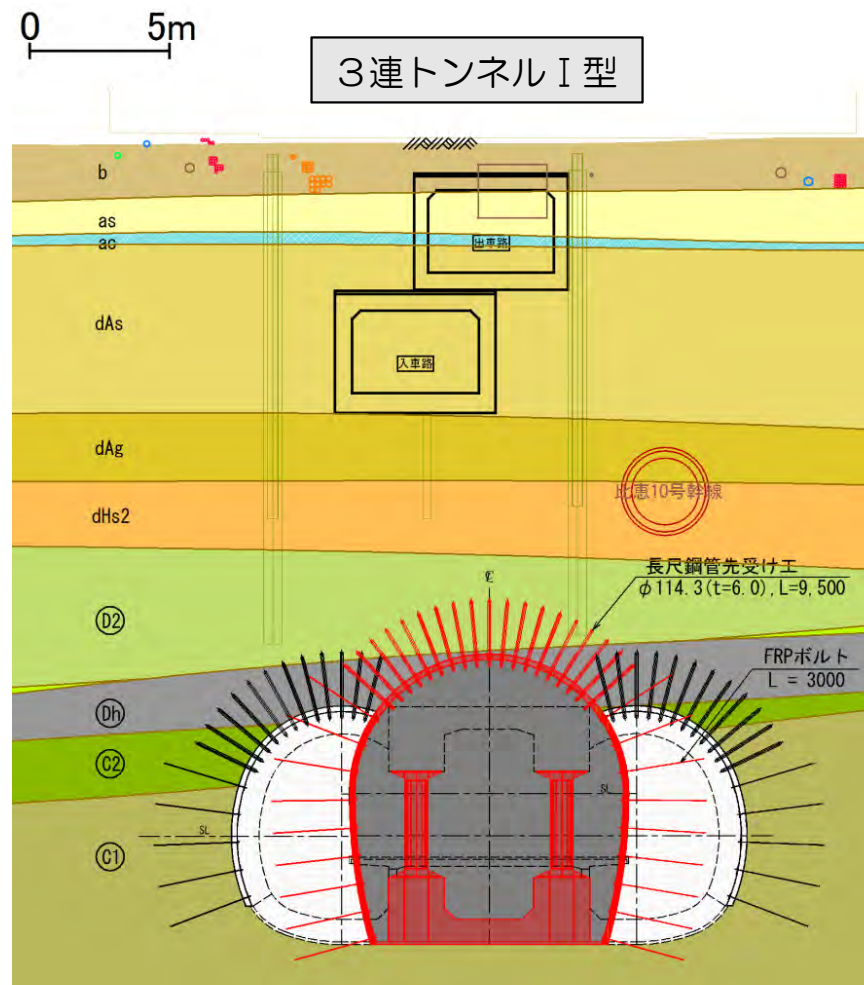
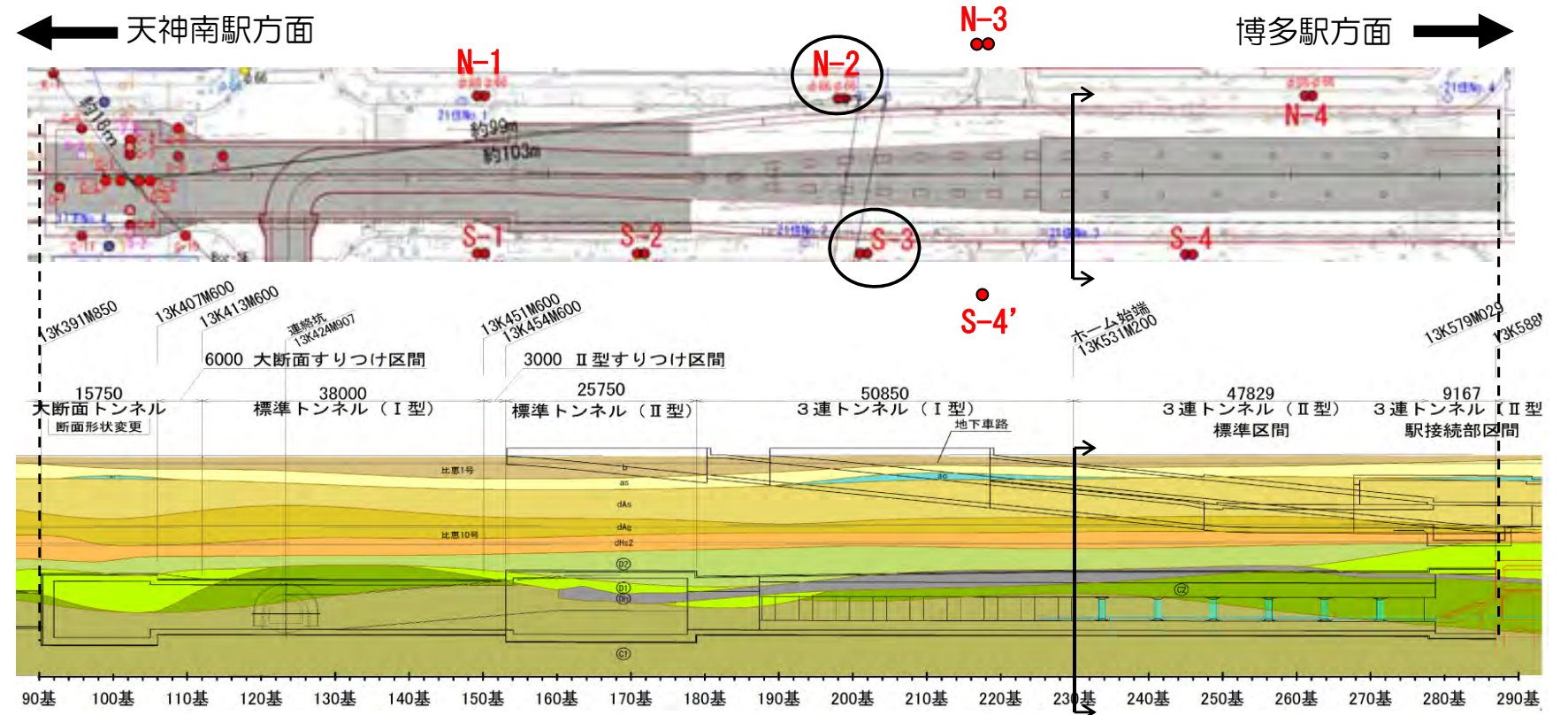
2) 各断面の地層構成 (3連トンネル I 型)



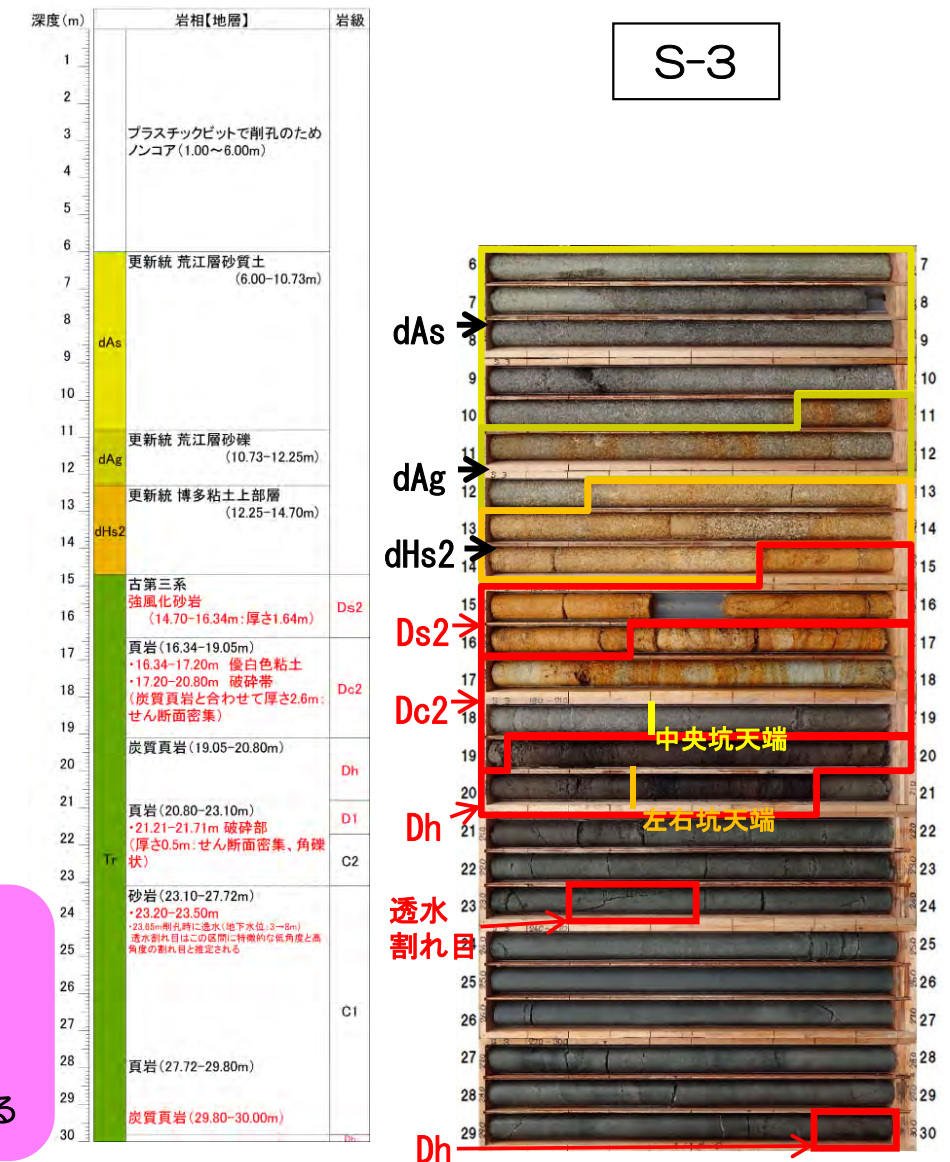
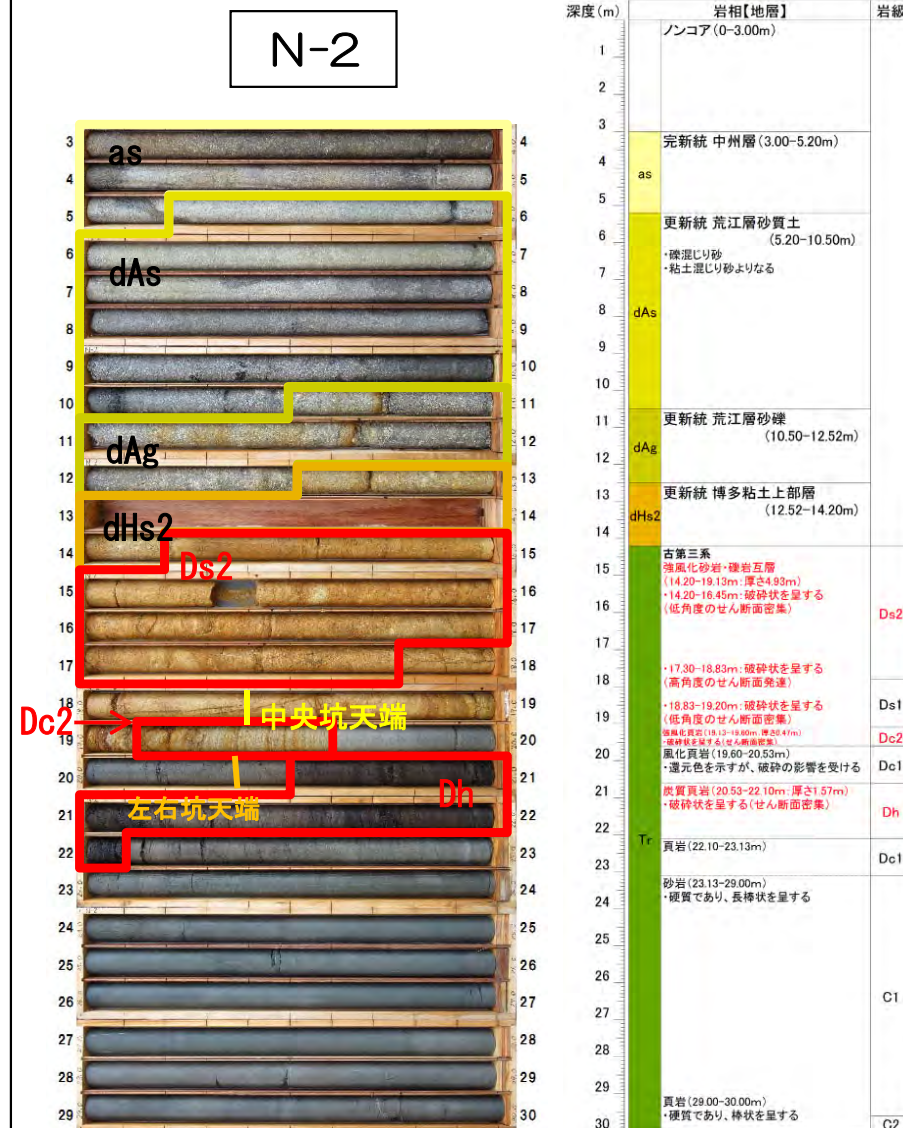
204基
：天端肌落ち
掘削ずりが土砂状
下部はややしかり



208基
：天端肌落ち
掘削ずりが土砂状
下部はややしかり

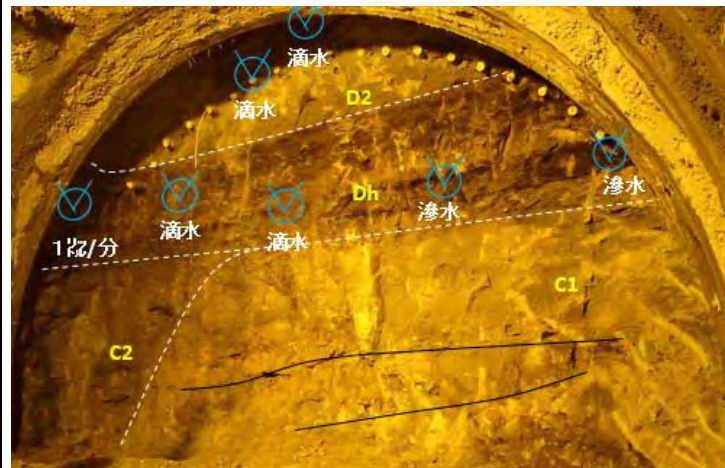


【強風化頁岩 (D2)】 トリチ天端からD2上端面までの距離
：3.5~4.5m (中央坑) 5.6~6.1m (左右坑)
【炭質頁岩 (Dh)】 中央坑切羽で確認 (3連 I 型区間全域)
左右坑掘削断面では天端部に出現すると予想される

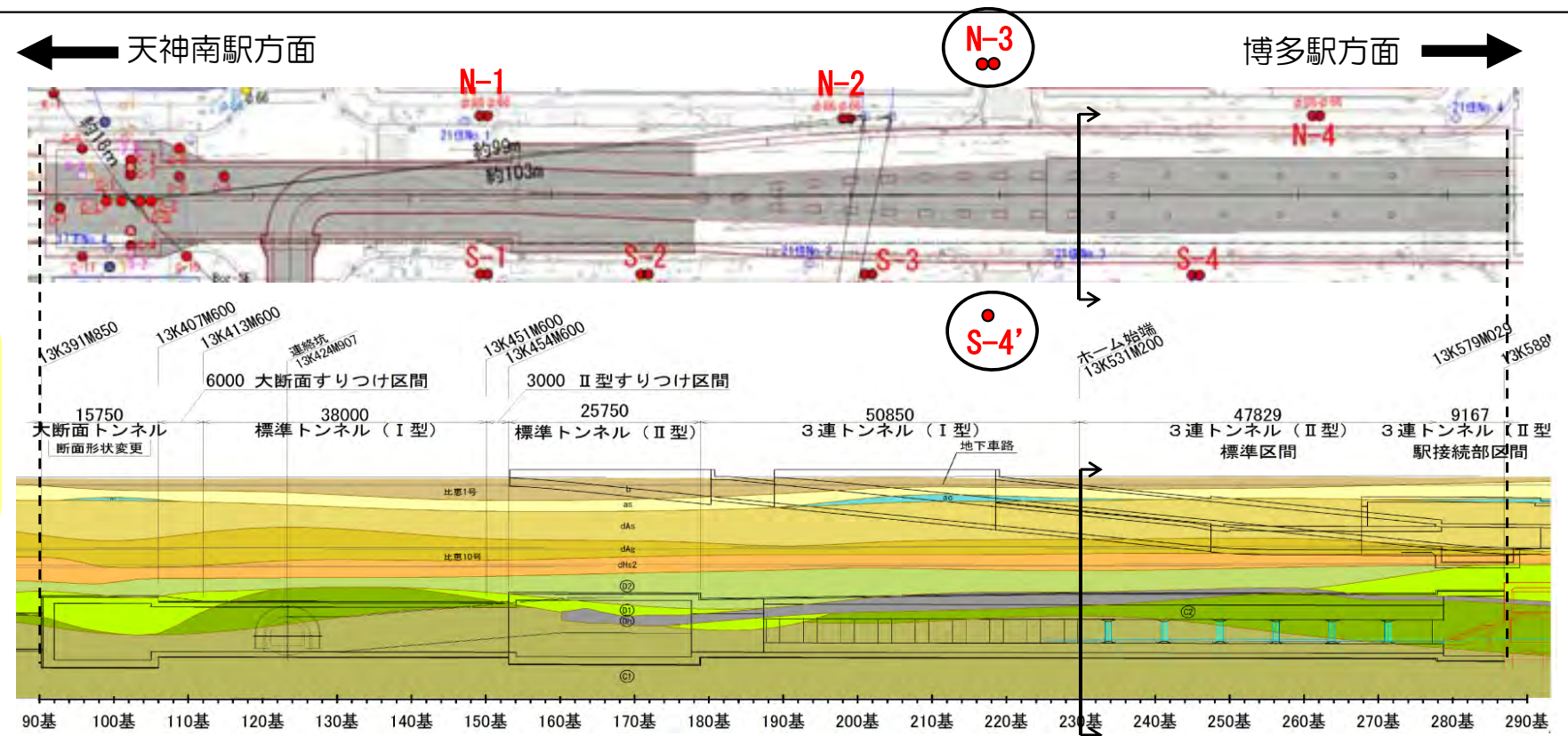


(4) 博多駅工区における地層構成の推定

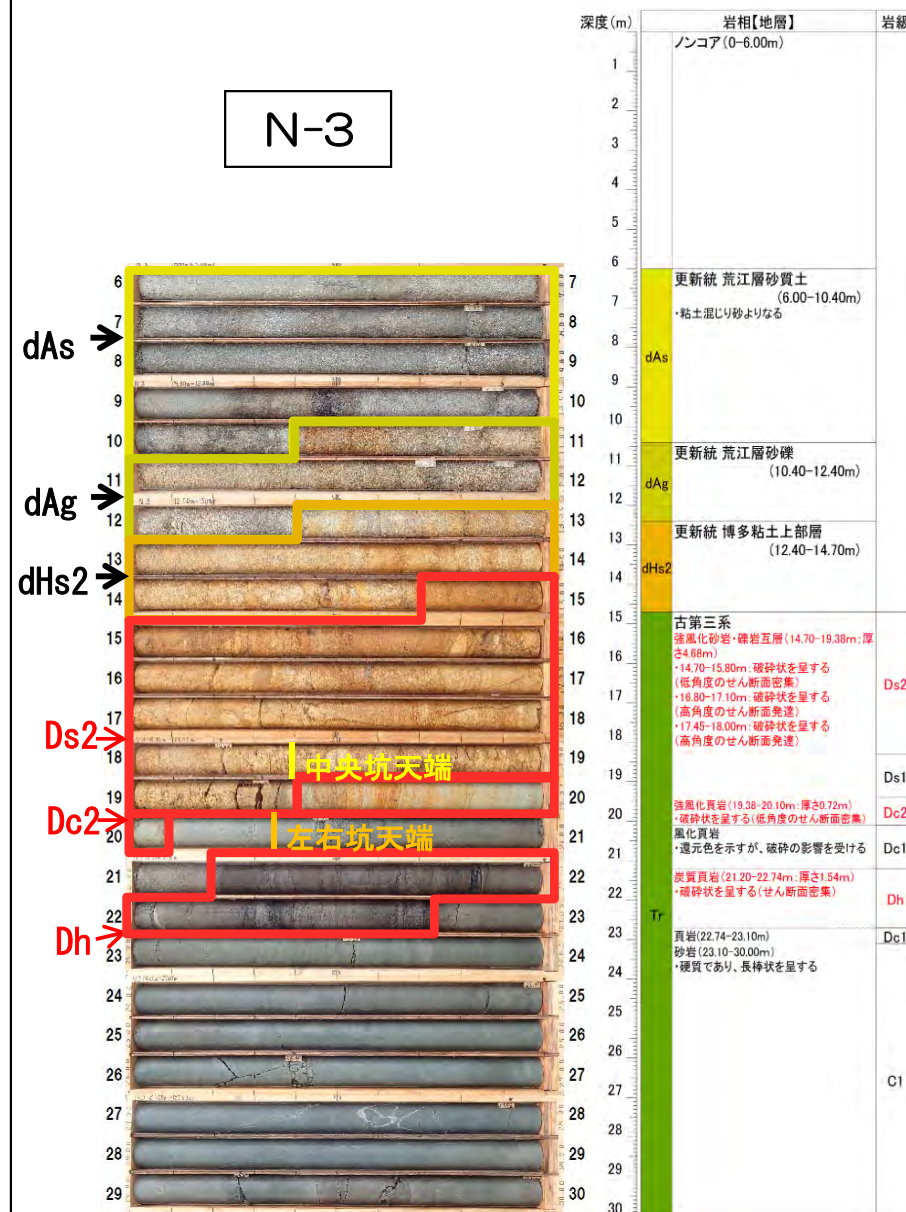
2) 各断面の地層構成 (3連トンネル I 型)



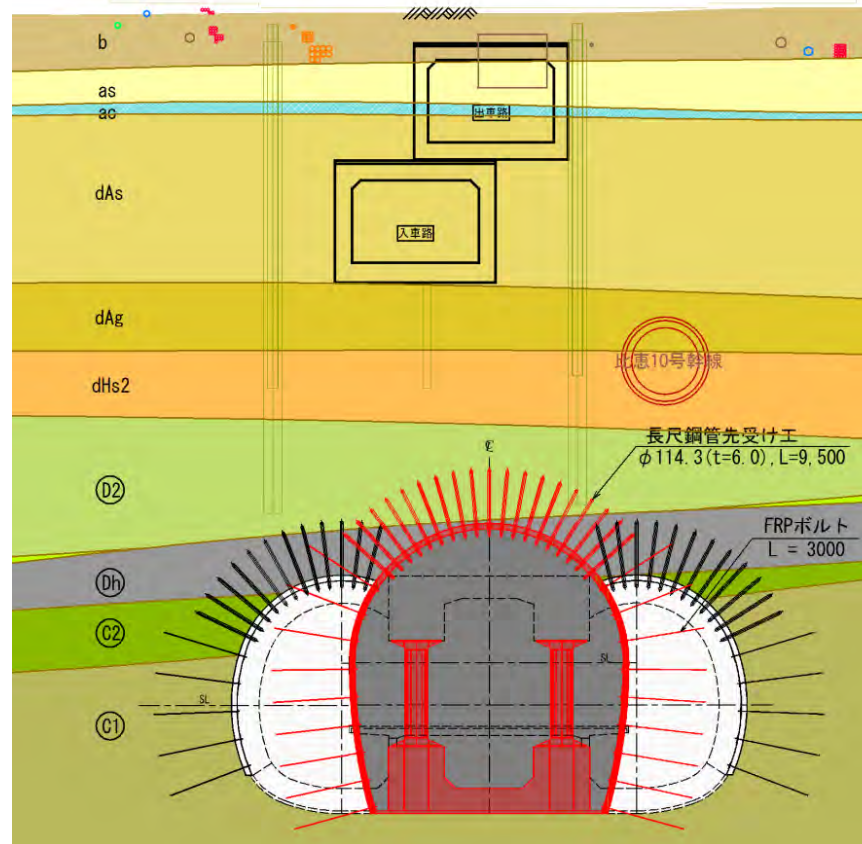
224基
：端肌落ち
掘削ずりが土砂状
Dh層境界から湧水
下部安定



N-3

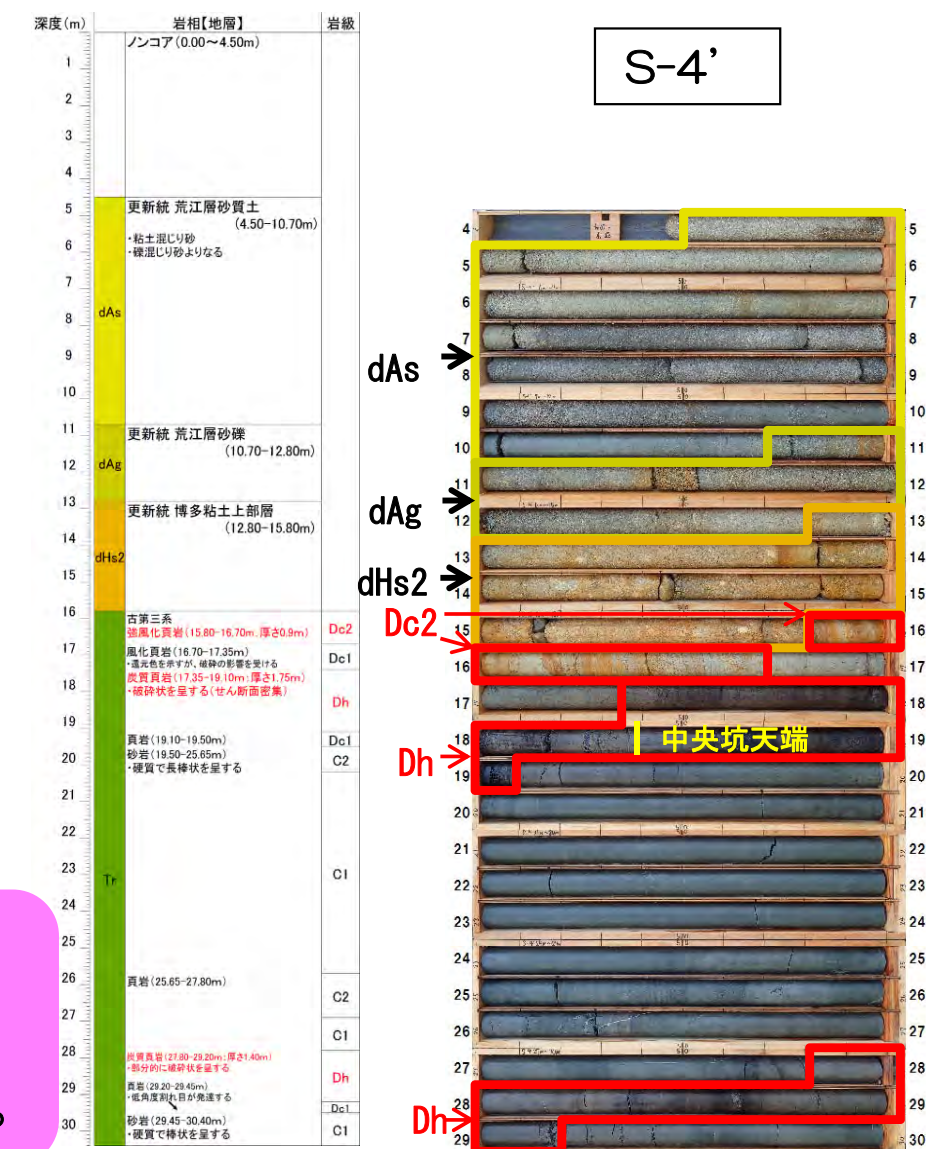


3連トンネル I 型



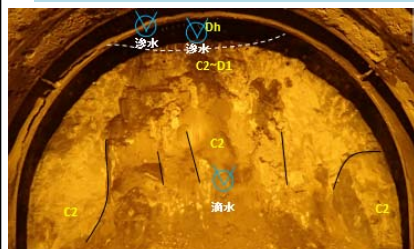
【強風化頁岩 (D2)】 トリツ天端からD2上端面までの距離
：3.5~4.5m (中央坑) 4.6~5.7m (左右坑)
【炭質頁岩 (Dh)】 中央坑切羽で確認 (3連 I 型区間全域)
左右坑掘削断面では天端部に出現すると予想される

S-4'



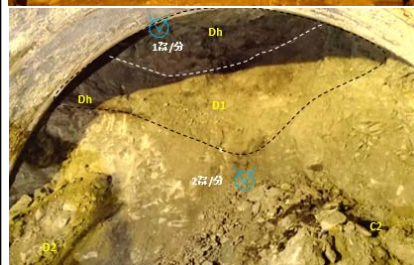
(4) 博多駅工区における地層構成の推定

2) 各断面の地層構成 (3連トンネルⅡ型)



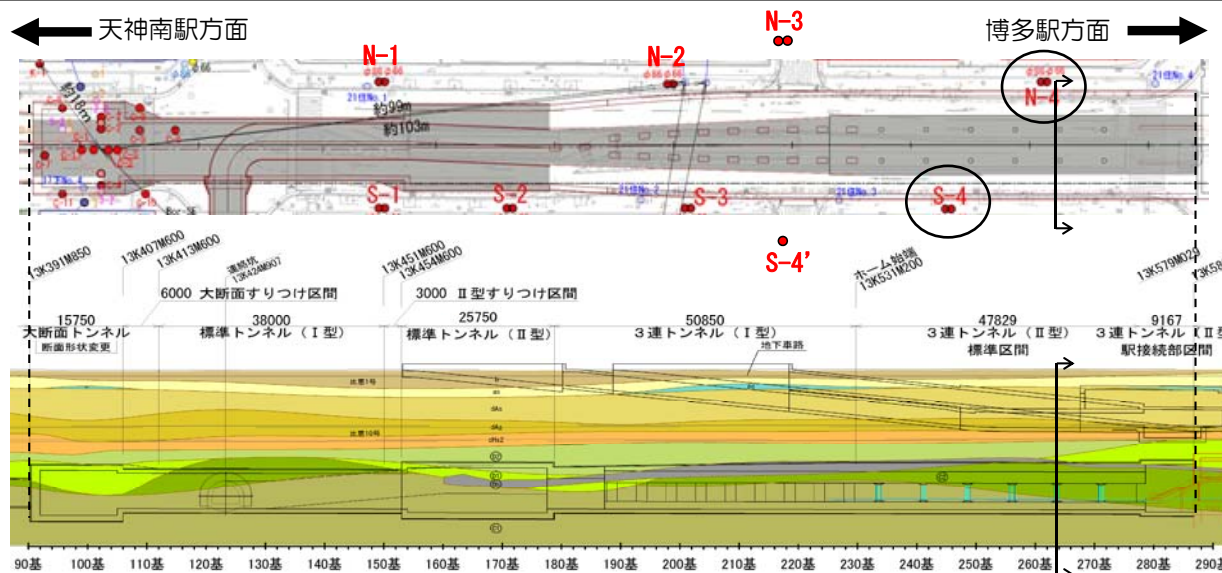
255基

：天端Dh脆弱・破碎・肌落ち
中央部～下部は縦割れ目

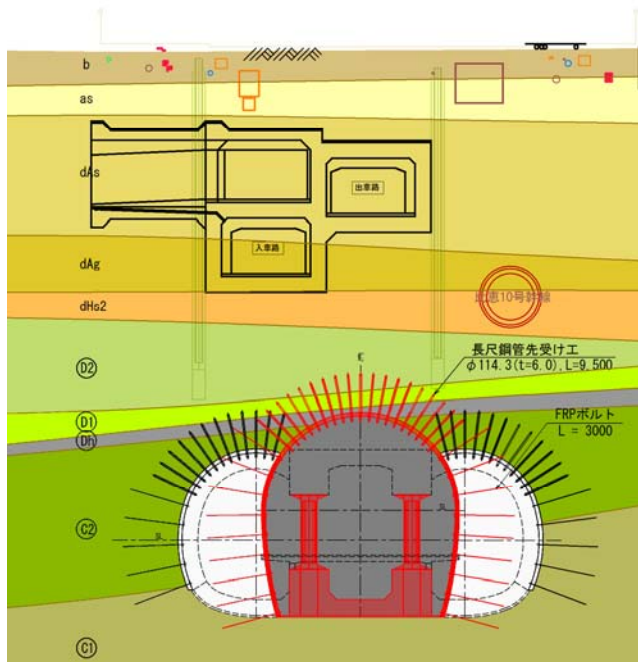


265基

：上部破碎
掘削ずりが土砂状
全面的に強度低下

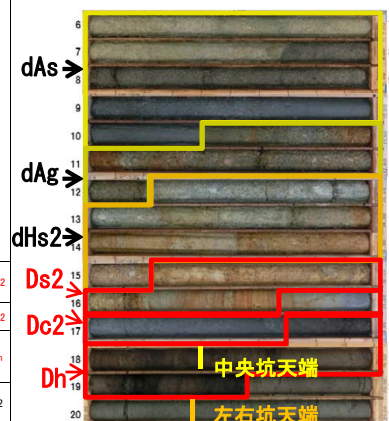


0 5m



深度 (m)	岩相【地層】	岩級
1	埋土 (0-2.00m)	
2	更新統 荒江層砂質土 (2.00-3.33m)	
3	更新統 荒江層砂質土 (3.33-9.30m)	
4	更新統 荒江層砂質土 (9.30-12.40m)	
5	更新統 荒江層砂質土 (12.40-14.02m)	
6	更新統 荒江層砂質土 (14.02-15.18m)	
7	更新統 荒江層砂質土 (15.18-16.10m)	
8	更新統 荒江層砂質土 (16.10-17.68m)	
9	更新統 荒江層砂質土 (17.68-18.55m)	
10	更新統 荒江層砂質土 (18.55-19.55m)	
11	更新統 荒江層砂質土 (19.55-21.00m)	
12	更新統 荒江層砂質土 (21.00-22.00m)	
13	更新統 荒江層砂質土 (22.00-23.00m)	
14	更新統 荒江層砂質土 (23.00-24.00m)	
15	更新統 荒江層砂質土 (24.00-25.00m)	
16	更新統 荒江層砂質土 (25.00-26.00m)	
17	更新統 荒江層砂質土 (26.00-27.00m)	
18	更新統 荒江層砂質土 (27.00-28.00m)	
19	更新統 荒江層砂質土 (28.00-29.00m)	
20	更新統 荒江層砂質土 (29.00-30.00m)	
21	更新統 荒江層砂質土 (30.00-31.00m)	

S-4



【強風化頁岩 (D2)】 トリ補天端からD2上端面までの距離
：3.5~4.5m (中央坑) 5.3~6.5m (左右坑)
【炭質頁岩 (Dh)】 中央坑切羽 (~260基) で確認
左右坑掘削断面では天端~2m上部に位置すると予想される

(5) 地質調査結果まとめ

(5) 地質調査結果まとめ

① 地質調査結果（崩落孔の形状など）

- 崩落孔は横断方向 11.6m 縦断方向 6.0m以内であることを確認した。
- 異物等混入状況を整理した。
- 流向流速は、規則性を持った流れ（崩落孔に向かうようなもの）は確認できなかった。

② D2層の工学的評価（性状・物性値にはバラツキがみられた）

○性状

- Dc2(強風化頁岩) →リモナイトが濃集する(低角度)。
- Ds2(強風化+破碎砂岩) →30~60°のせん断割れ目が発達する。
- Ds2(強風化礫岩) →指圧で容易に破壊する(変形係数29MN/m²)。

○物性値

- D2層の変形係数E₀は、7,800~399,300kN/m²で分布。
- D2層の透水係数Kは、 $8.35 \times 10^{-7} \sim 7.54 \times 10^{-5}$ cm/sで分布。
- D2層の粘着力c'は、0~66kN/m²で分布。
- D2層の内部摩擦角φ'は、28~44°で分布
- D2層のせん断強度τは、115~193kN/m²で分布。

③ 炭質頁岩層の工学的評価（性状・物性値にはバラツキがみられた）

○分布

- 標準トンネルⅡ型より東側（博多駅側）に面的に分布している。
- D2層の下位（GL.-17m~GL.-23m）に分布する。
- 層厚は約0.7~2.4m ●東（博多駅側）に緩やかに上り傾斜している。
- 大断面部には、層としては存在しない。

○物性値

- 変形係数E₀は、12,300~366,500kN/m²
- 内部摩擦角φ'は、20~46°
- せん断強度τは、120~197kN/m²で分布。
- 透水係数Kは、 $8.29 \times 10^{-7} \sim 1.72 \times 10^{-5}$ cm/s
- 粘着力c'は、0~69kN/m²

○性状

- 層状に炭質層が存在する。
- 破碎状で、せん断面が密集し、局所的に著しく炭化している。
- 幅20cmの破碎部（角礫状、粘土介在）が存在する。
- 炭化の進行度にばらつきが大きい。

④流動化処理土の工学的評価

- 約87%は換算一軸強度（q_u）が1.0MPa以上。
- 流動化処理土の大半は均質だが、崩落土砂等と混ざった箇所では、換算一軸圧縮強さが1MPa以下となっている部分もある。
- 局所的に緩い砂等が混入し、換算一軸強度が小さい部分がある。
- 透水係数Kは、 $2.31 \times 10^{-5} \sim 2.78 \times 10^{-4}$ cm/s

⑤ 緩い砂層の工学的評価

- 約79%は換算一軸強度（q_u）が、1.0MPa以下。
- 約81%以上は、透水係数Kが 1.0×10^{-4} (cm/s)より大きい。
- 細粒分を局所的に24%含む。
- 局所的に換算一軸強度（q_u）が、2.0MPa以上が存在。
- 54%の区間で細粒分含有率が、10%以上。

⑥博多粘土上部層（dHs2）の工学的評価

- 換算一軸圧縮強度（q_u）が全て0.6MPa以下。
- 強度のばらつきは小さい。
- 大半の細粒分含有率は20%前後であるが、部分的に50%を超える。
- 残存するdHs2層の厚さは、想定陥没中心に近いほど小さい。
- 細粒分は20%程度だが、細粒分が多いケースも存在する。

⑦博多駅工区（ナトム部）における地層構成の推定

- 【博多粘土上部層（dHs2）】 ●博多駅工区（ナトム部）全体にわたり分布する。
- 【炭質頁岩層（Dh）】 ●標準トンネルⅡ型より、脆弱な炭質頁岩層が出現する。 ●炭質頁岩層は、博多駅側に向かって上方へ遷移する。
- 【強風化頁岩層（D2）】 ●D2層の上端面は、博多駅側に向かって上昇し、天神南駅側に向かって下降する。特に、大断面トンネル部では岩被りが小さく、不陸も大きい。