

(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

(*) 緩い砂層二崩壊堆積物領域

【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

- 【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

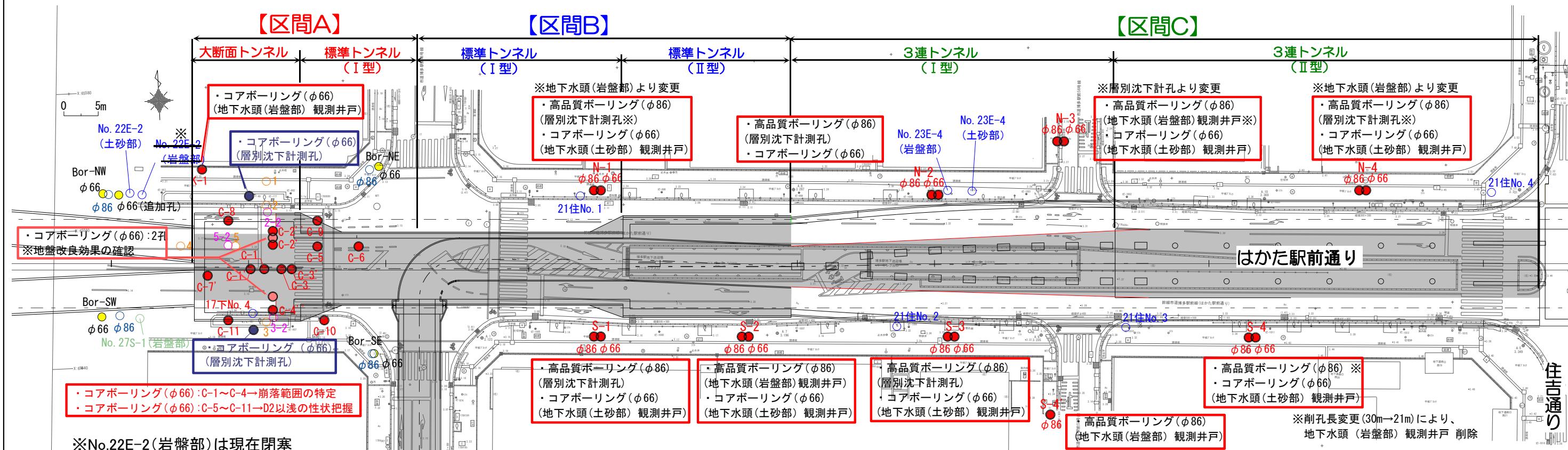
配置の考え方

→ 陥没部を中心とし、崩壊・改良範囲を確認できる範囲

- 【区間B】**
- ①インバート掘削のための地質情報の取得
 - ②水抜きの際の地盤拳動予測のための地質情報の取得

→ 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

- 【区間C】**
- ①左右坑掘削のための地質情報の取得
 - ②水抜きの際の地盤拳動予測のための地質情報の取得



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, 低圧ルジオソ試験, 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, 土壤硬度試験, 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
					・層別沈下計測孔：5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）	・地下水位（土砂部）観測井戸：7本

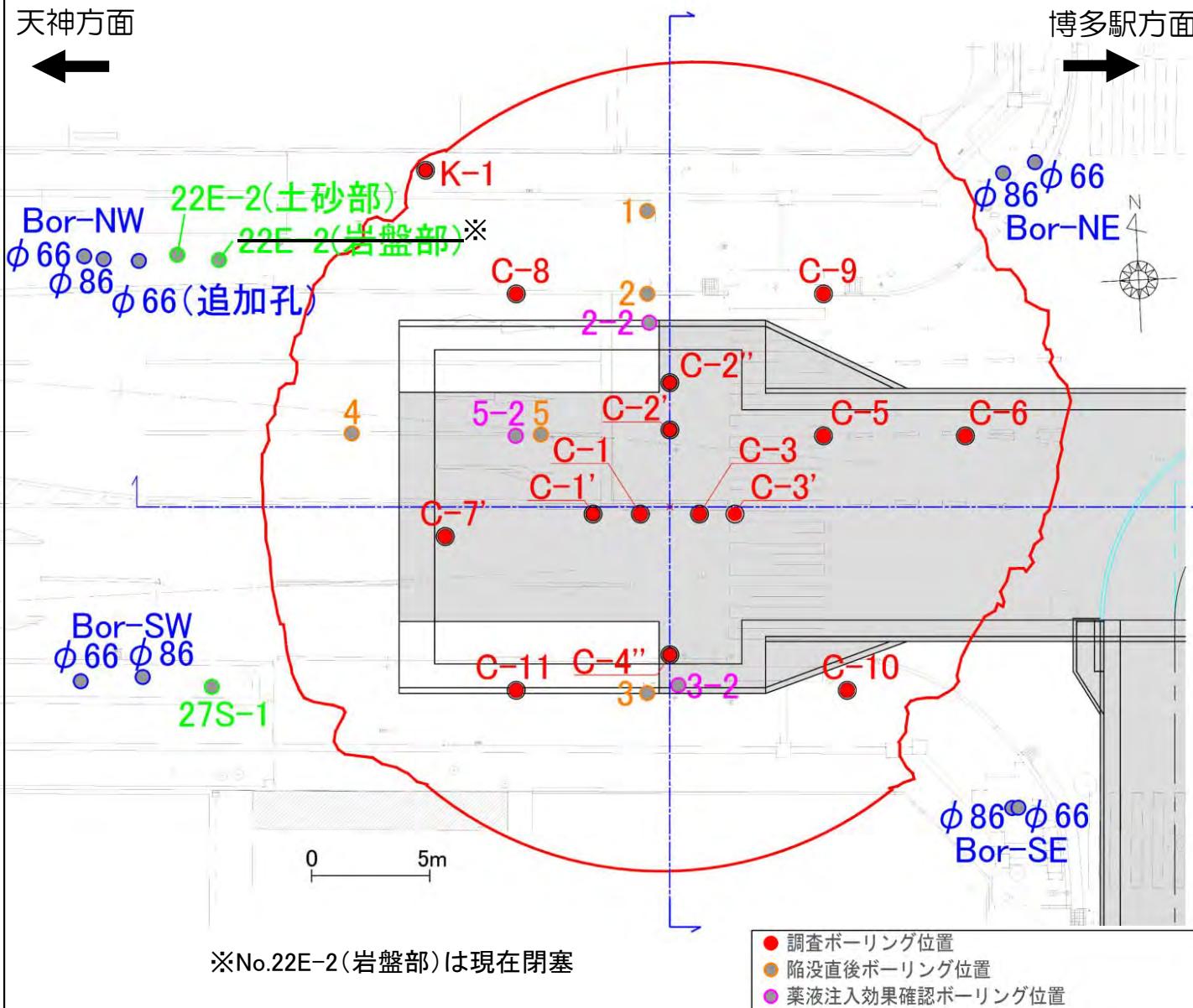
※区間Aの調査本数（変更後15本）の他に地盤改良後に追加で4本の調査を行う

(2) 地質調查結果

(2) 地質調査結果

1) 調査位置・調査項目(大断面部トンネル部)

天神方面



※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(G.L.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

*【変更】:当初計画から変更

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''
			原位置	コア	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○
				針貫入	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○
コアボーリング	φ66	緩い砂層	原位置	コア	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○
				針貫入	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○	○→○
			室内	室内岩石	—	—	X→○	—	—	—	—
コアボーリング	φ66	dHs2層	原位置	コア	○→X	○→○	○→X	○→○	○→○	○→X	○→○
				針貫入	○→X	○→○	○→X	○→○	○→○	○→X	○→○
			室内	室内土質	○→X	○→○	○→X	○→○	○→○	○→X	○→○
コアボーリング	φ66	D2層	原位置	コア	○→X	○→○	○→X	○→○	○→○	○→X	○→○
				針貫入	—	X→○	—	X→○	—	X→○	X→○
			室内	室内岩石	—	—	—	—	—	X→○	—

※・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：○→X

・当初計画になかったが、追加したもの：X→○

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
			原位置	コア	○
				針貫入	○
コアボーリング	φ66	緩い砂層	原位置	コア	○
				針貫入	○
			室内	室内土質	○
コアボーリング	φ66	dHs2層	原位置	コア	○
				針貫入	○
			室内	室内土質	○
コアボーリング	φ66	D2層	原位置	コア	○
				針貫入	○
			BHTV	○	
コアボーリング	φ66	D2層	孔内水平	○	
			現場透水	○	
			室内岩石	○	
コアボーリング	φ66	D2層	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
			原位置	コア	○
				針貫入	○
コアボーリング	φ66	土砂層	原位置	標準貫入	○
				コア	○
			—	—	—
コアボーリング	φ66	D2層	原位置	針貫入	○
				標準貫入	○
			—	—	—
コアボーリング	φ66	岩盤層	原位置	コア	○
				針貫入	○
			—	—	—

(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)

天神方面

- ※地下水頭(岩盤部)より変更
 - ・高品質ボーリング(Φ86)
(層別沈下計測孔※)
 - ・コアボーリング(Φ66)
(地下水頭(土砂部)観測井戸)

21住No.1

- ・高品質ボーリング(Φ86)
(層別沈下計測孔)
- ・コアボーリング(Φ66)
(地下水頭(土砂部)観測井戸)

No. 23E-4
(岩盤部)

No. 23E-4
(土砂部)

- ※層別沈下計測孔より変更
 - ・高品質ボーリング(Φ86)
(地下水頭(岩盤部)観測井戸※)
 - ・ロアボーリング(Φ66)
(地下水頭(土砂部)観測井戸)

N-3
Φ86 Φ66

N-2
Φ86 Φ66

施工箇所

博多駅方面

- ※地下水頭(岩盤部)より変更
 - ・高品質ボーリング(Φ86)
(層別沈下計測孔※)
 - ・コアボーリング(Φ66)
(地下水頭(土砂部)観測井戸)

N-4
Φ86 Φ66

21住No.4

はかた駅前通り

調査位置平面図

【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)

V. D2層の工学的評価充実：削孔深度は、本坑(Φ86)がG.L.-30.0m、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					
						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
コアボーリング(Φ86)	Φ66(Φ86)	8(9)	土砂層	○	—	—	○	—	—	D2層上端面の調査	○
			D2層	○	○	○	—	○	低压ルジオン試験	○	—
			炭質頁岩層	○	○	○	—	○	低压ルジオン試験	—	○
			D1層	○	○	○	—	—	低压ルジオン試験	—	○
			C2層	○	—	○	—	—	低压ルジオン試験	—	○

※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K_o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)。

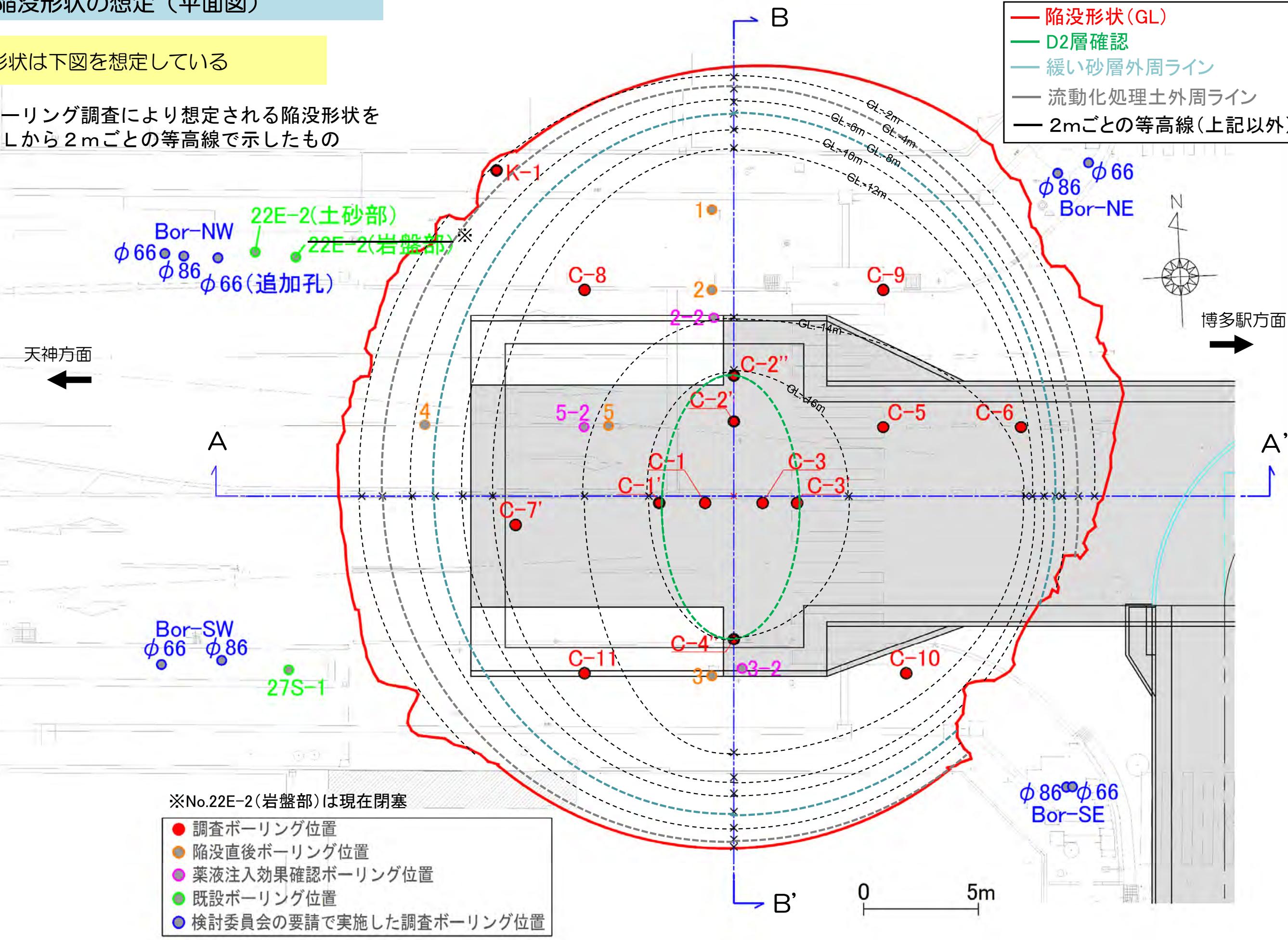
(2) 地質調査結果

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

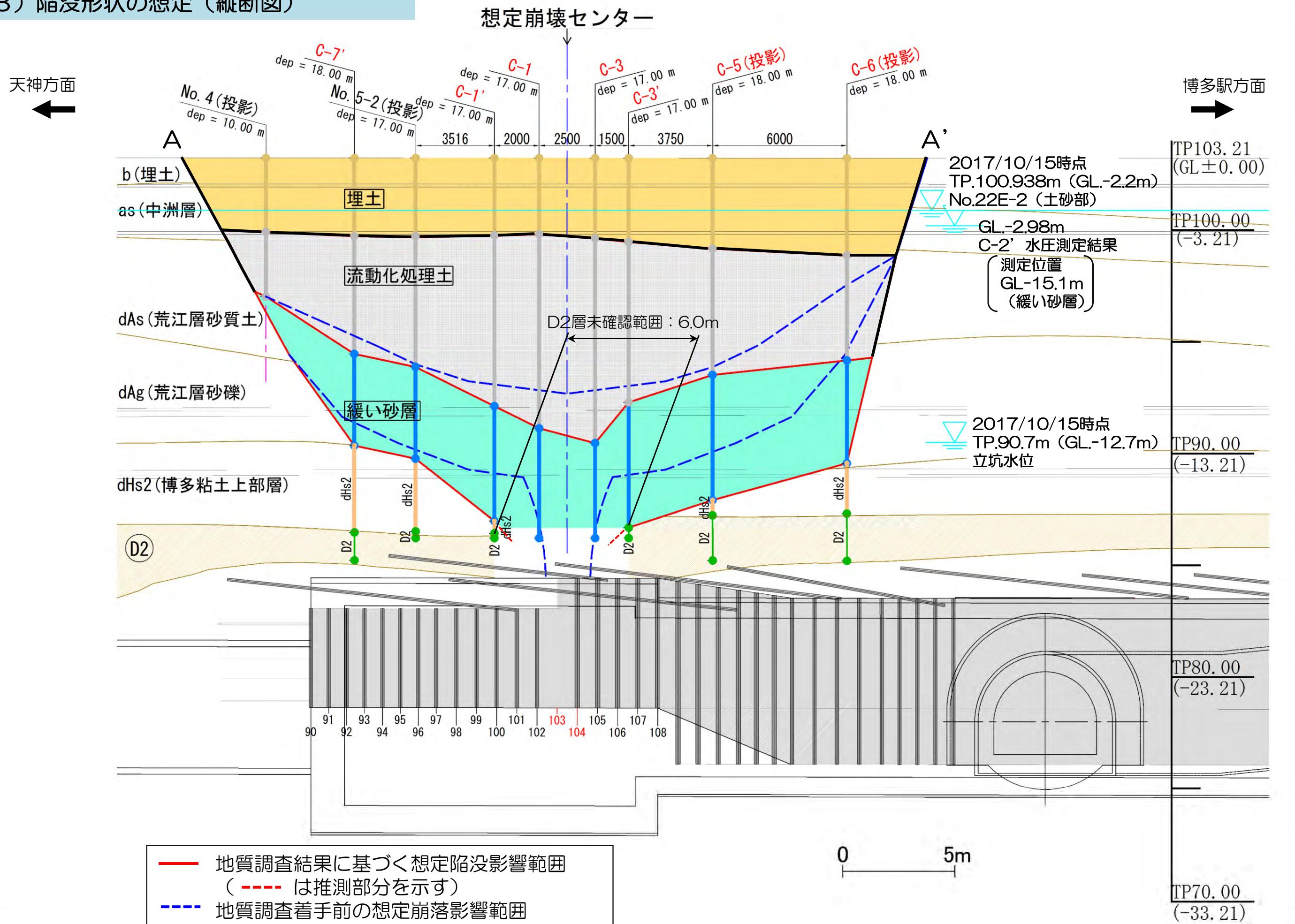
※ボーリング調査により想定される陥没形状をGLから2mごとの等高線で示したもの

- 陥没形状(GL)
- D2層確認
- 緩い砂層外周ライン
- 流動化処理土外周ライン
- 2mごとの等高線(上記以外)



(2) 地質調査結果

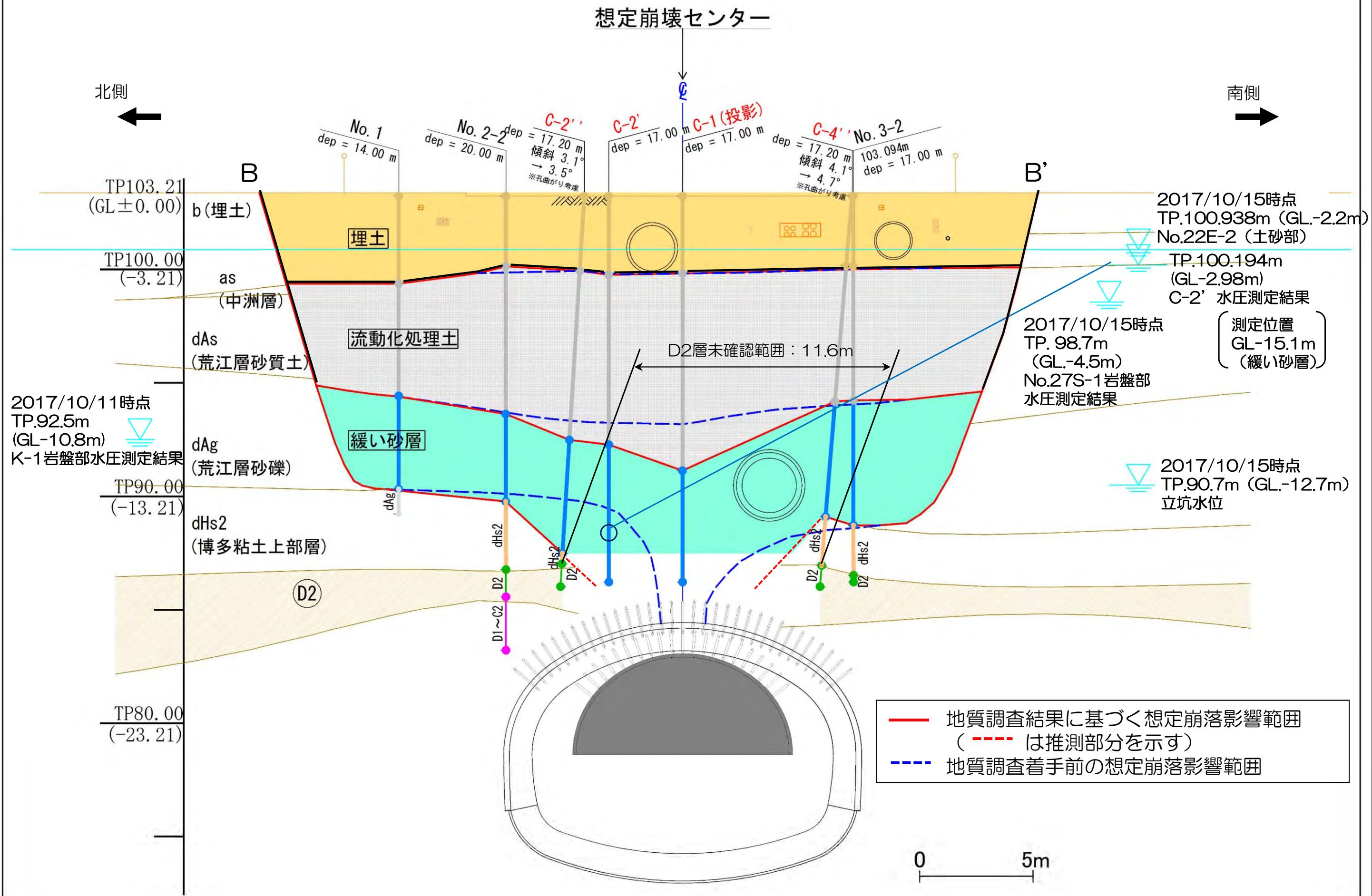
3) 陥没形状の想定（縦断図）



— 地質調査結果に基づく想定陥没影響範囲
 (---は推測部分を示す)
 - - - 地質調査着手前の想定崩落影響範囲

(2) 地質調査結果

3) 陥没形状の想定（横断図）

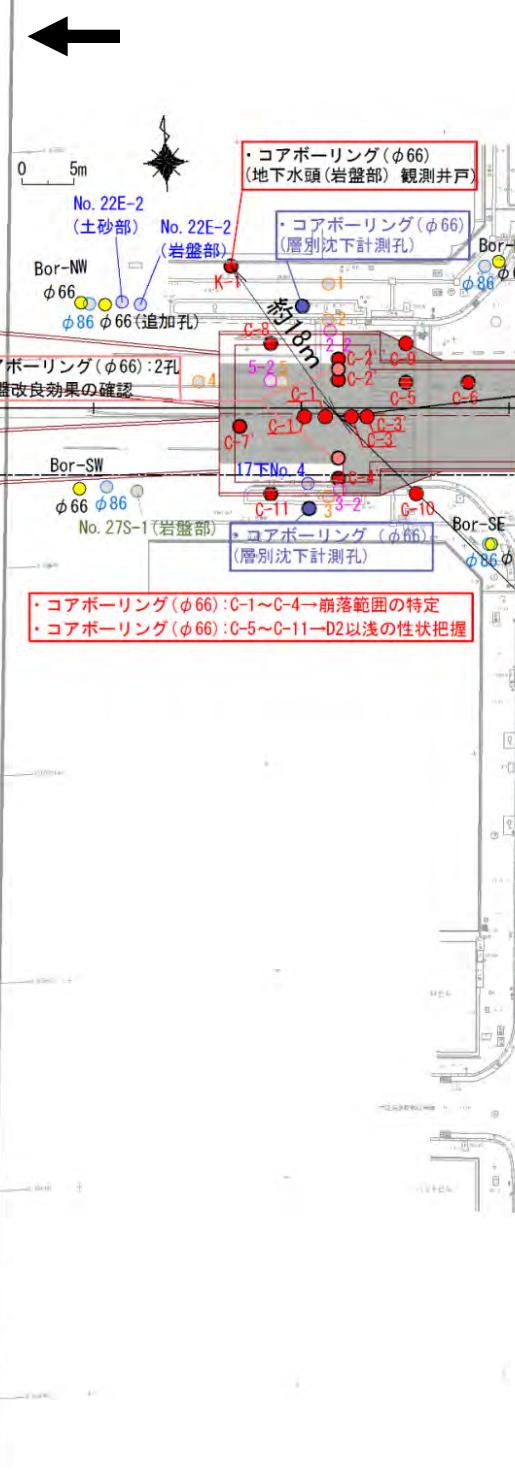


(2) 地質調查結果

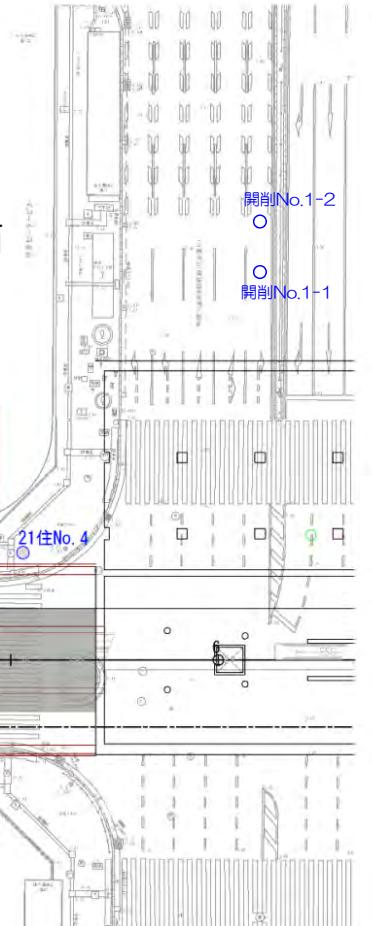
参考) 調査位置・計測位置平面図

追加調査位置・地下水位測定位置

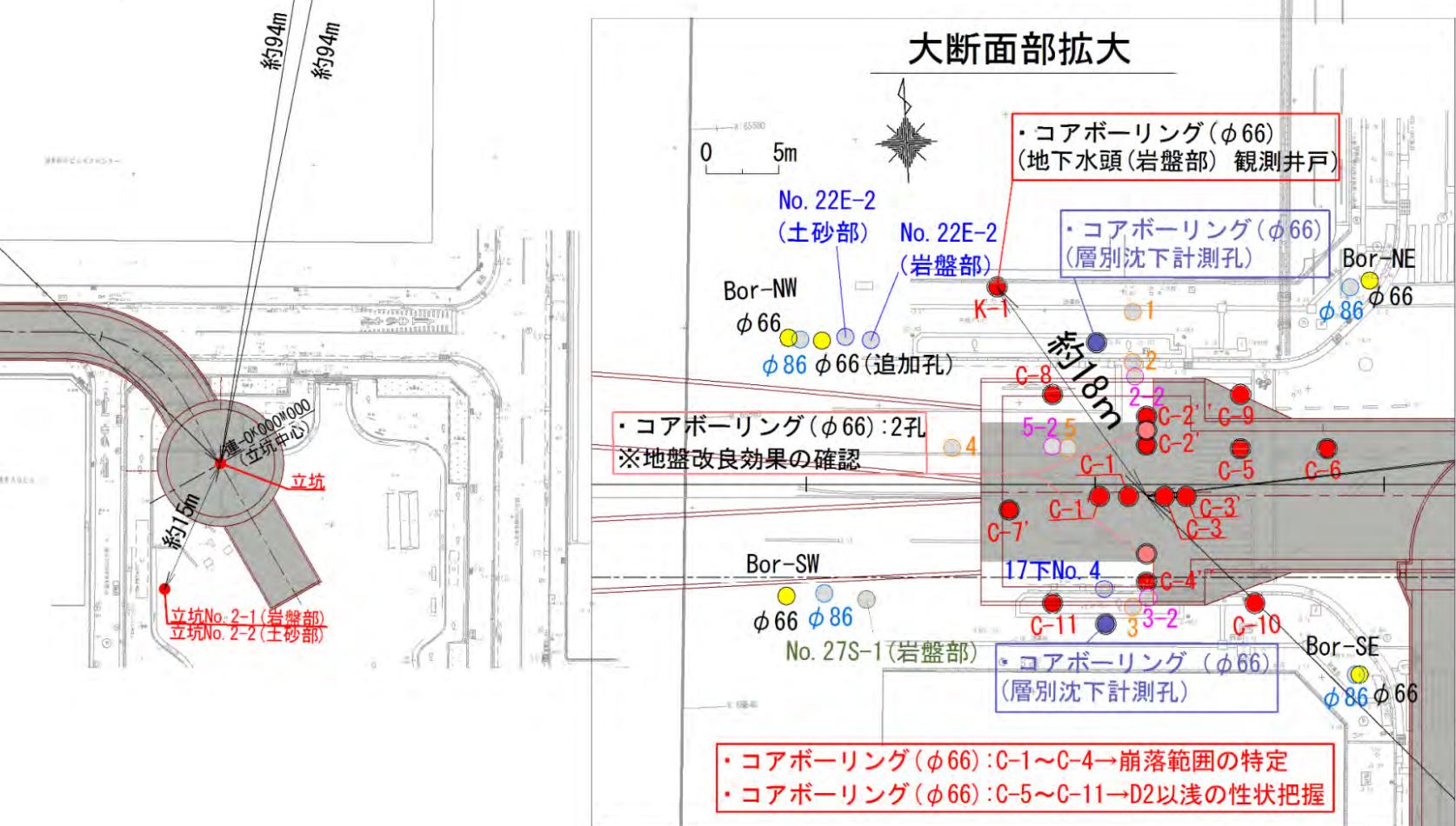
天神方面



博多駅方面

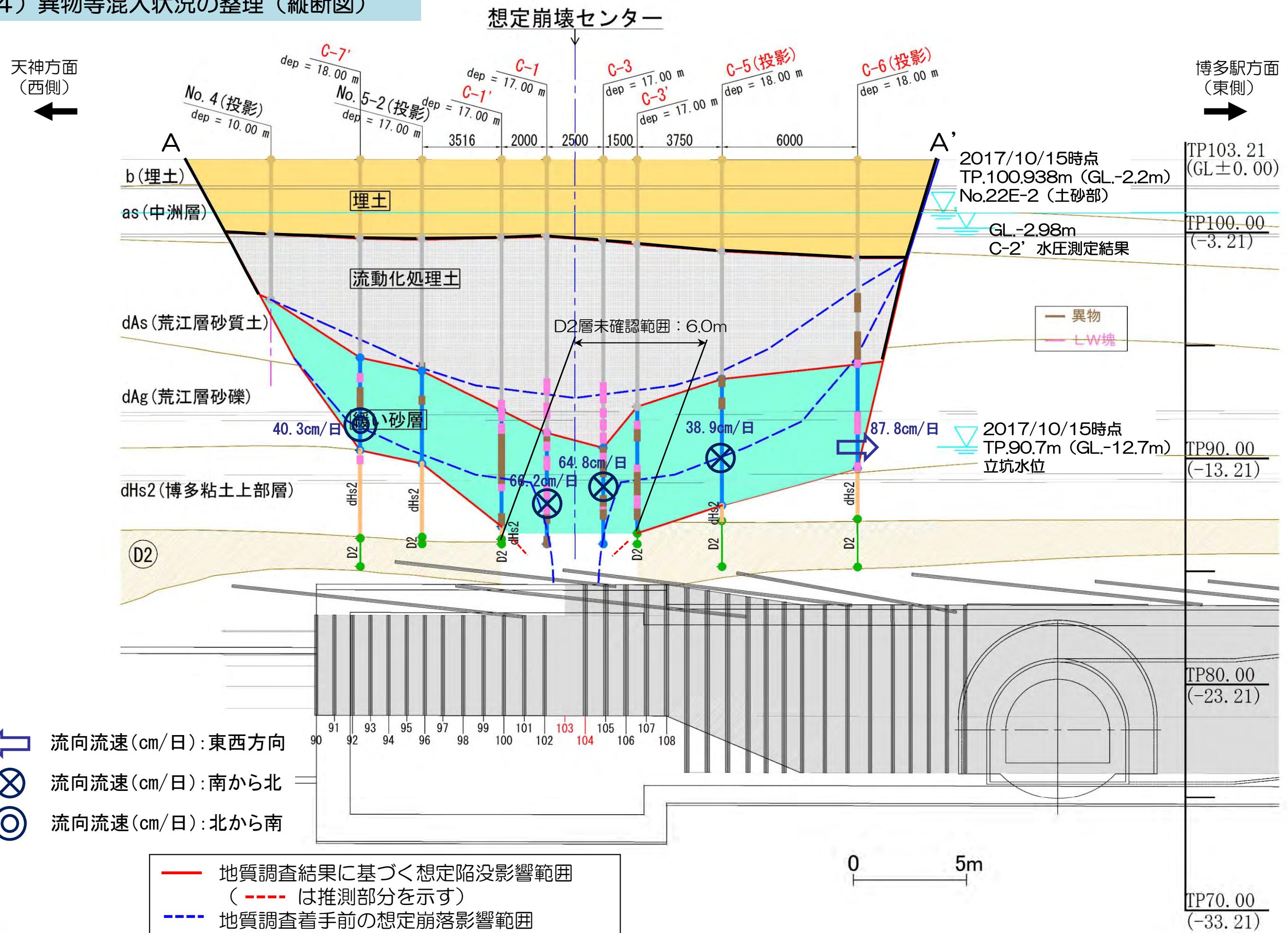


大断面部拡大



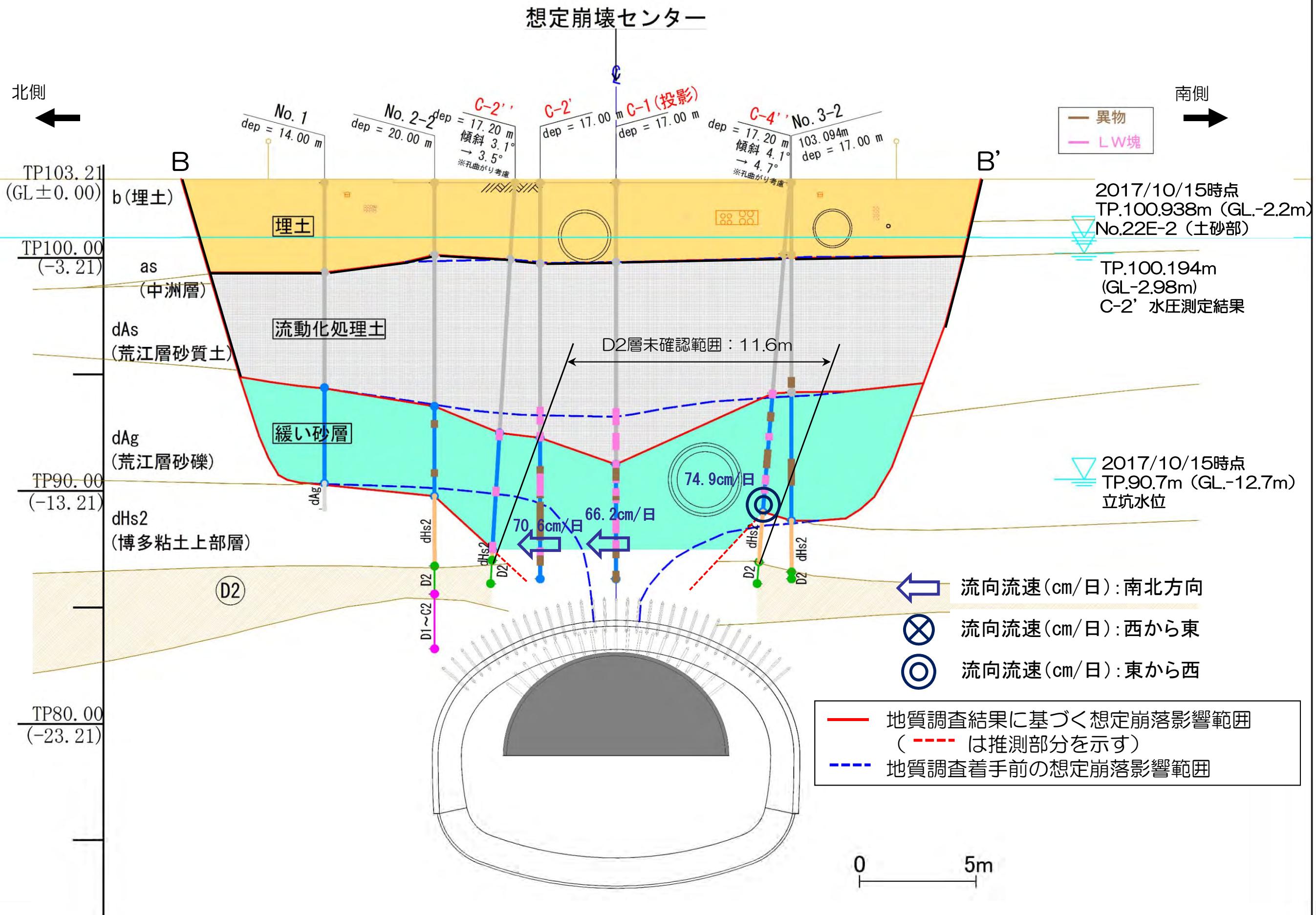
(2) 地質調査結果

4) 異物等混入状況の整理（縦断図）



(2) 地質調查結果

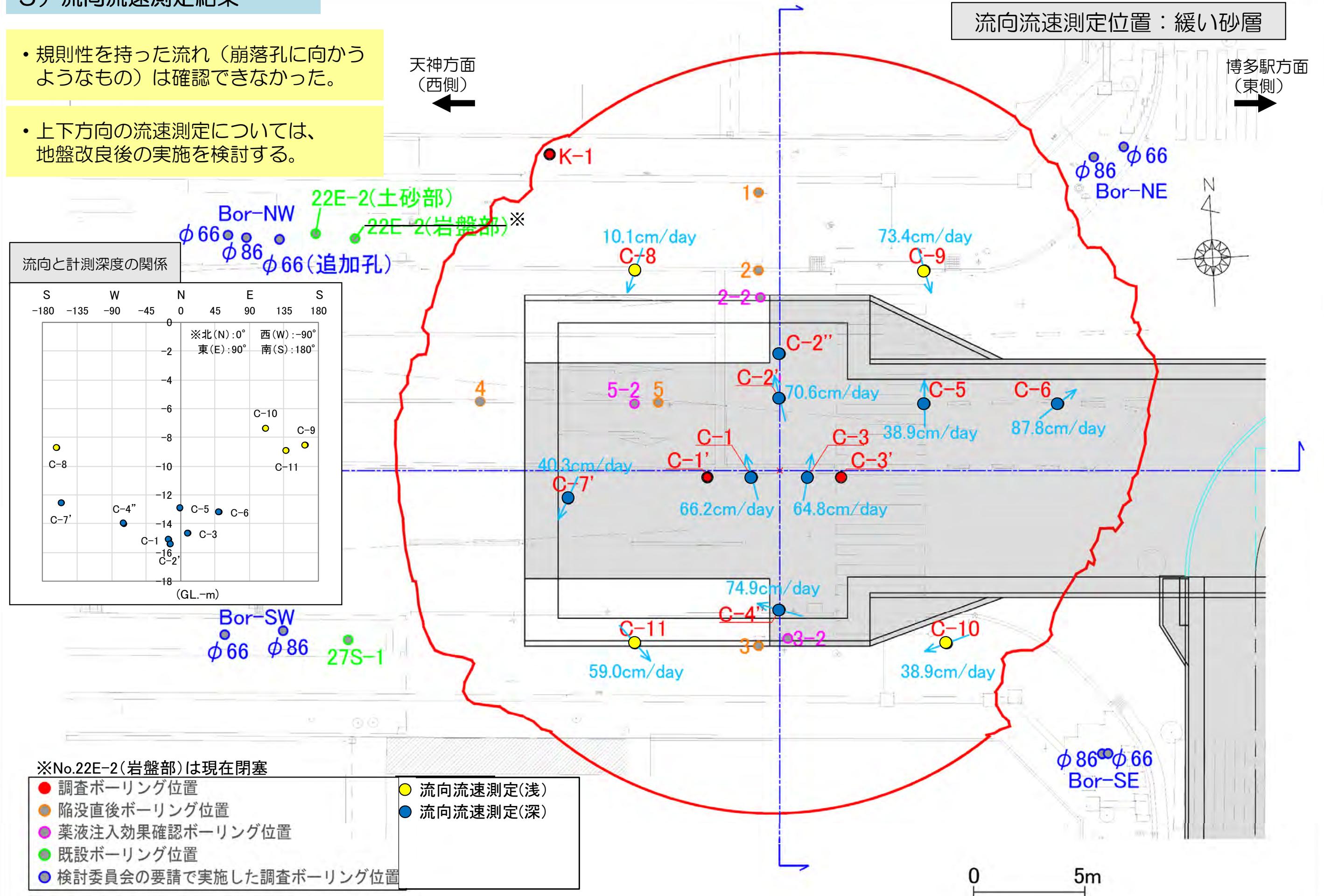
4) 異物等混入状況の整理（横断図）



(2) 地質調査結果

5) 流向流速測定結果

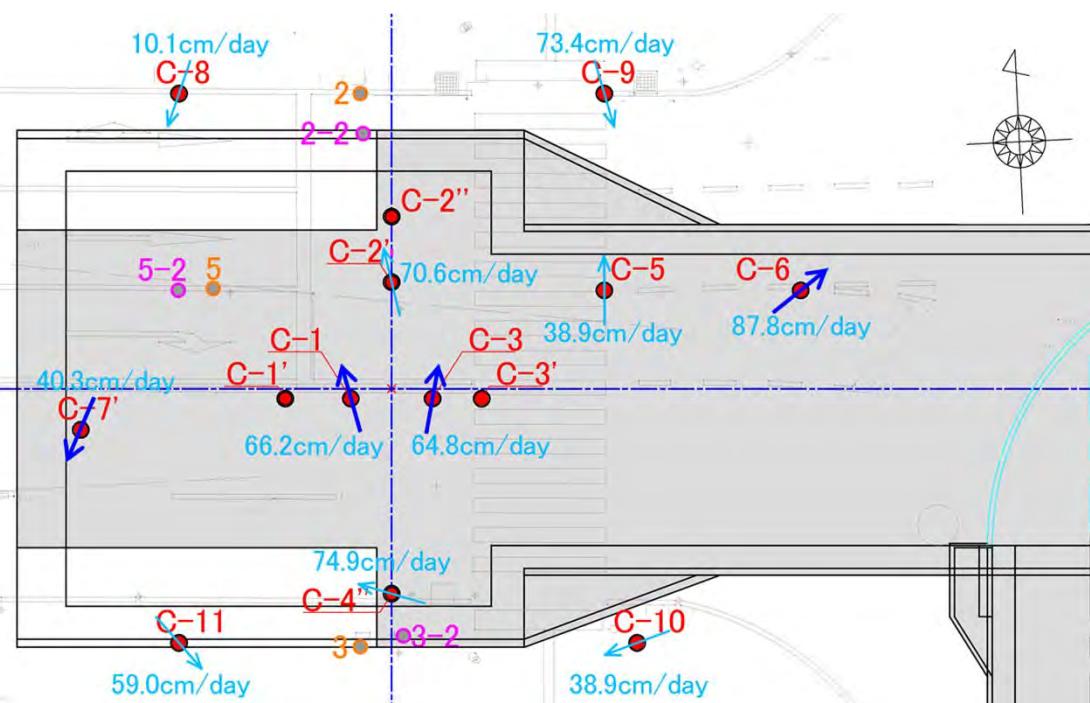
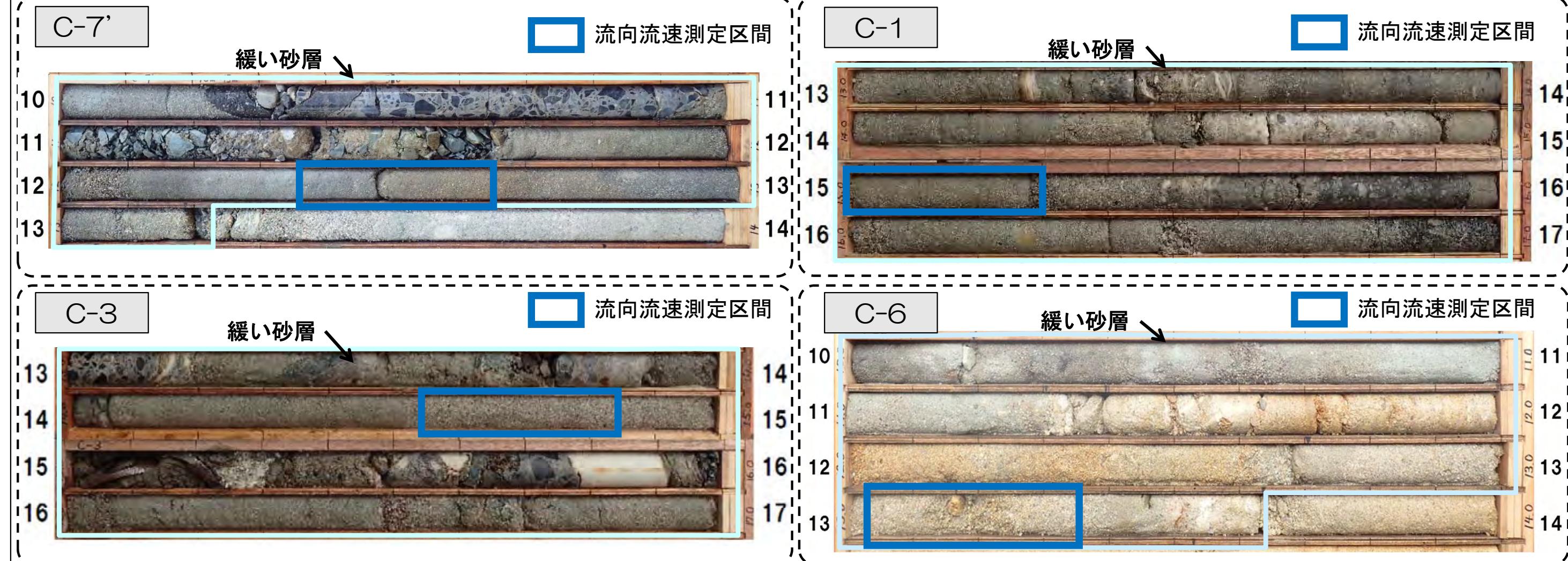
- 規則性を持った流れ（崩落孔に向かうようなもの）は確認できなかった。
- 上下方向の流速測定については、地盤改良後の実施を検討する。



(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

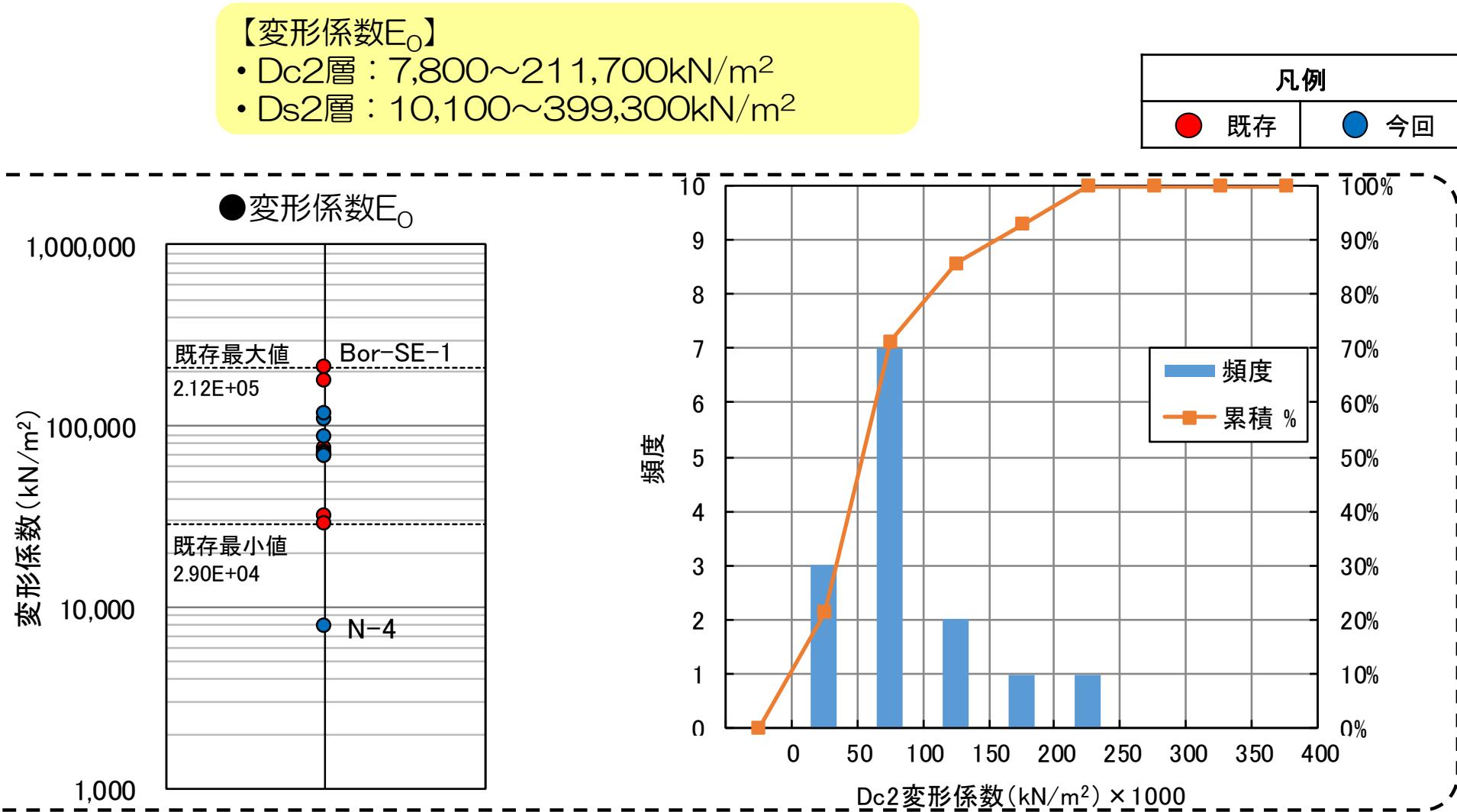
(3) 各層の工学的評価

(3) 各層の工学的評価

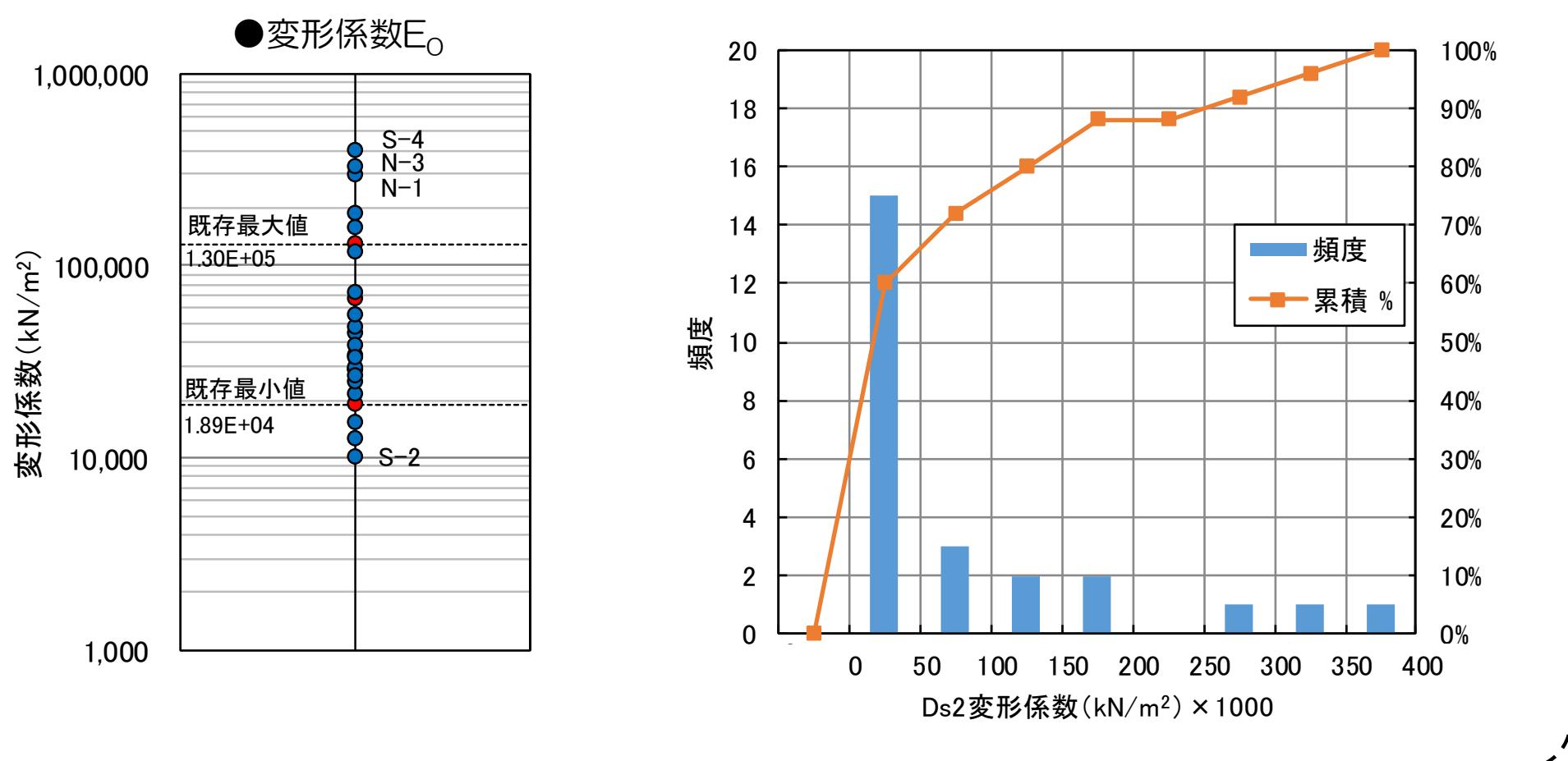
1) D2層の工学的評価

○変形係数

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
		No.27S-1		75,750
		Bor-NW-1		176,500
	陥没事故後	Bor-SE-1		211,700
		N-4		88,000
				7,800
		S-1		107,100
		S-3		71,200
今回	標準トンネル ～ 3連トンネル部			69,500
		S-4		69,800
		C-10		68,000
		C-11		117,300
	大断面 トンネル部			



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
		Bor-NE-1		28,700
		Bor-NE-2		18,900
	陥没事故後	N-1		71,500
				156,100
				293,800
		N-2		15,100
				12,500
今回	標準トンネル部 ～ 3連トンネル部			21,200
		N-3		187,900
				44,700
				321,900
		S-2		10,100
				24,800
		S-3		47,100
				33,700
		S-4		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 $c'(\text{kN}/\text{m}^2)$	内部摩擦角 $\phi'(^{\circ})$	せん断強度 $\tau (\text{kN}/\text{m}^2)$	コア採取深度 (GL.-m)
既存	Bor-NW-1	33.0	30.9	134.7	17.5
	Bor-SE-1	3.0	42.7	159.9	16.9
今回	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
	C-10	0.0	39.9	150.7	17.2
※有効応力状態		※区間中央値			

【粘着力 c' 】

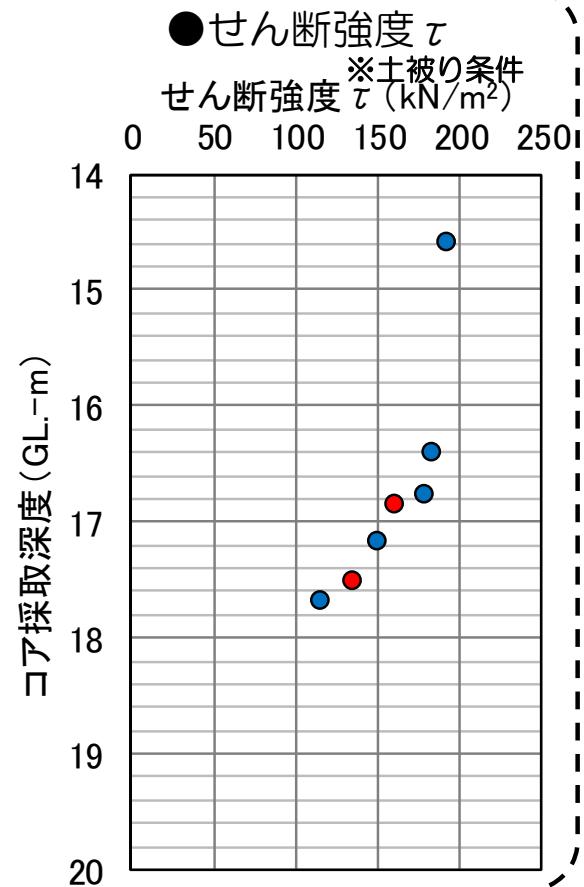
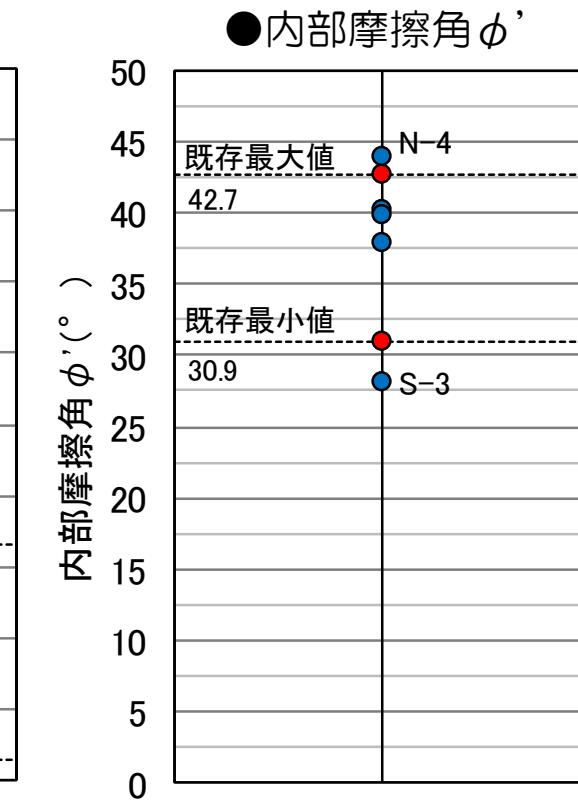
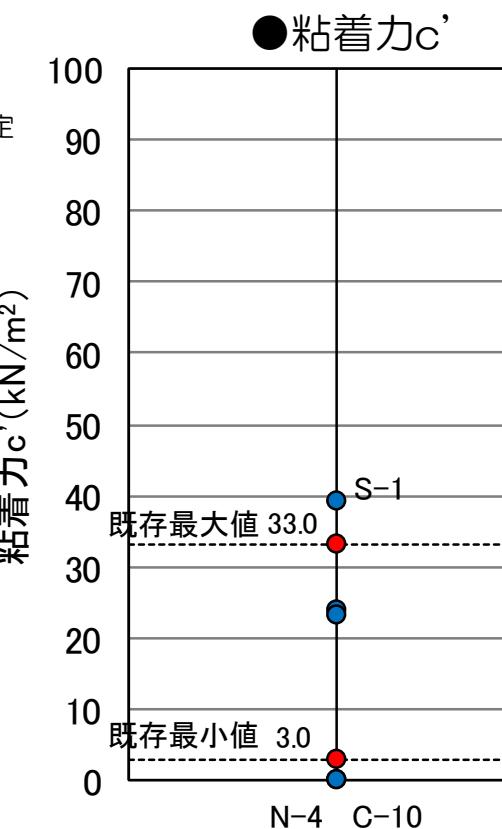
- Dc2層 : 0~40kN/m²
- Ds2層 : 0~66kN/m²

【内部摩擦角 ϕ' 】

- Dc2層 : 28~44°
- Ds2層 : 29~43°

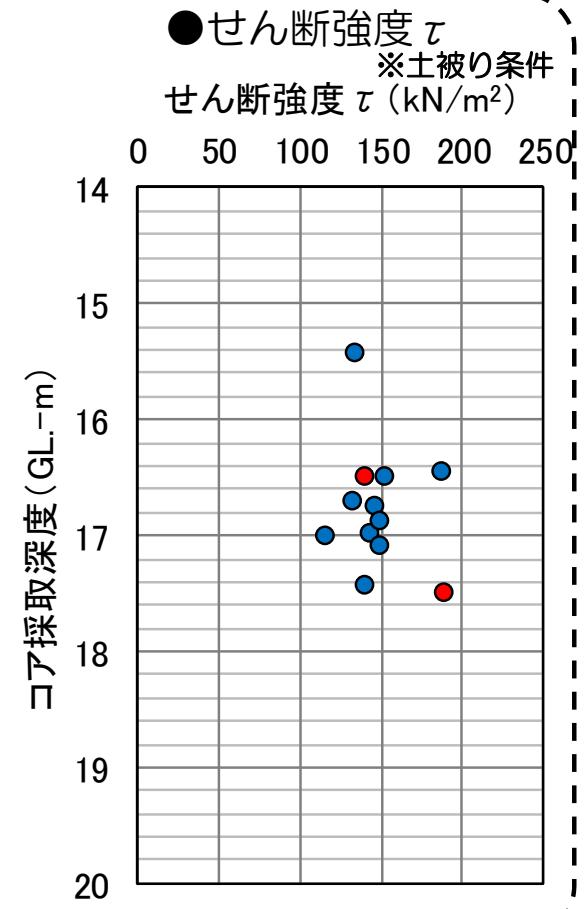
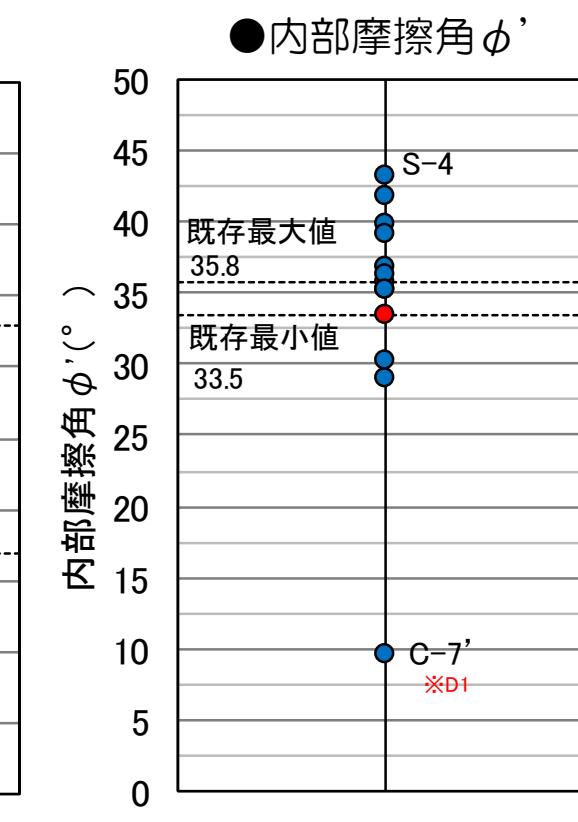
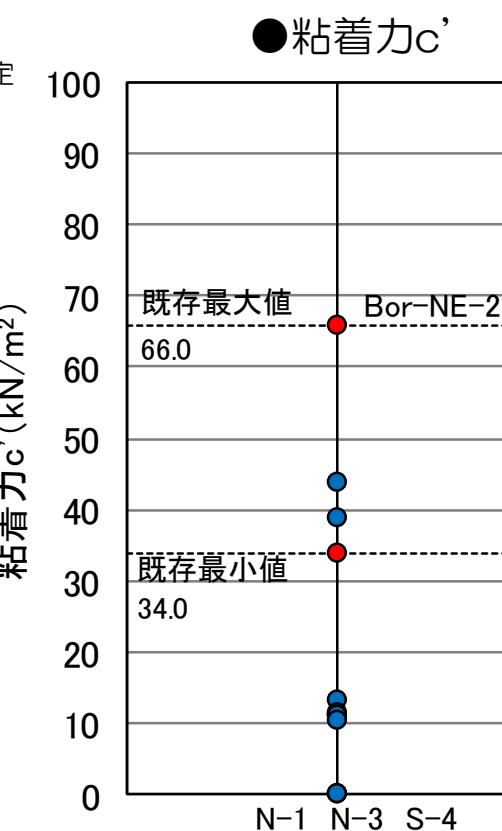
凡例

● 既存 ● 今回



Ds2

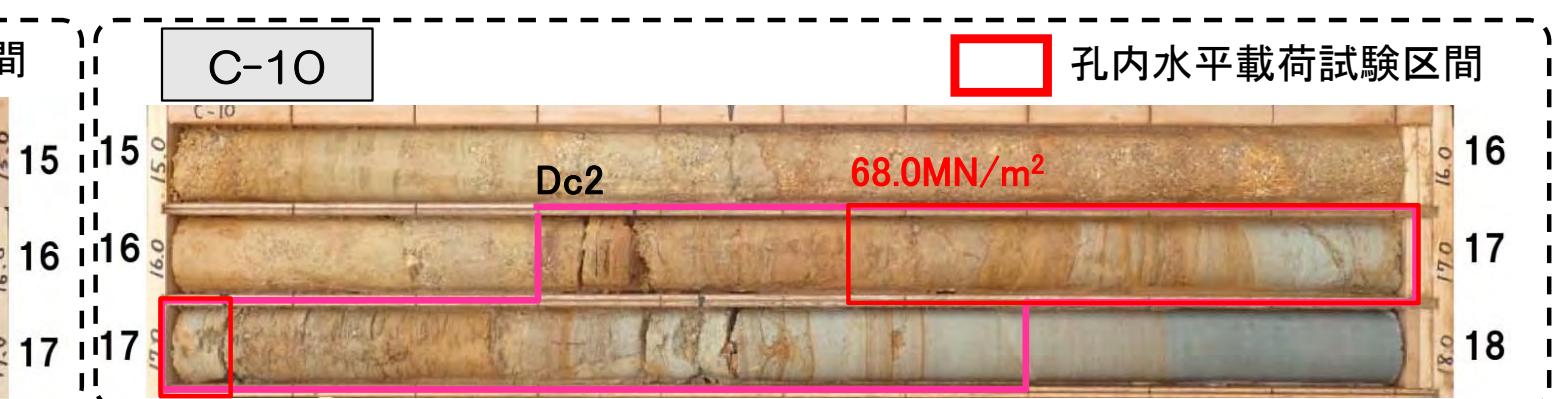
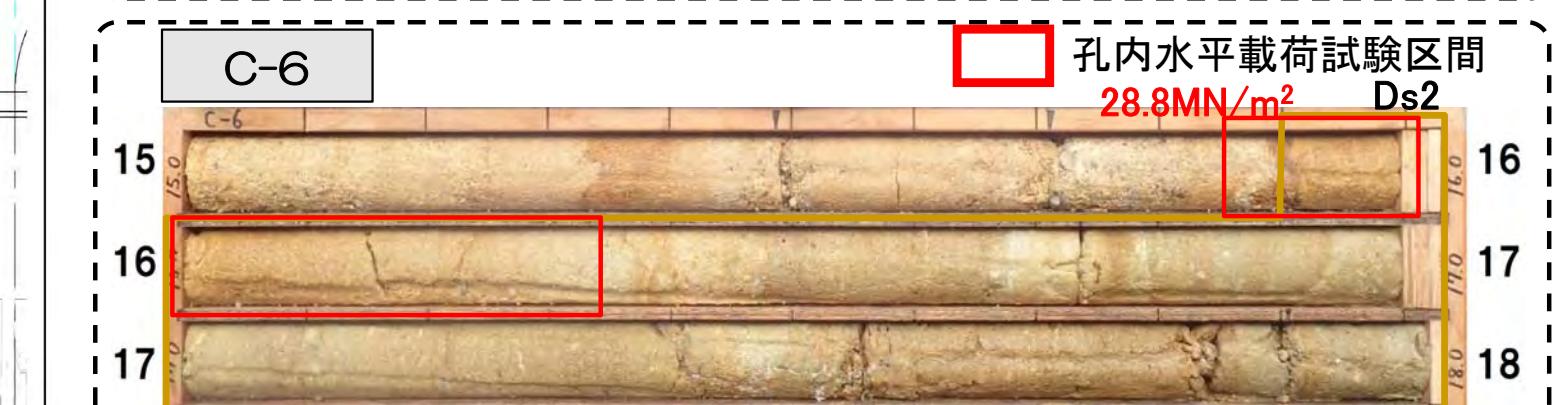
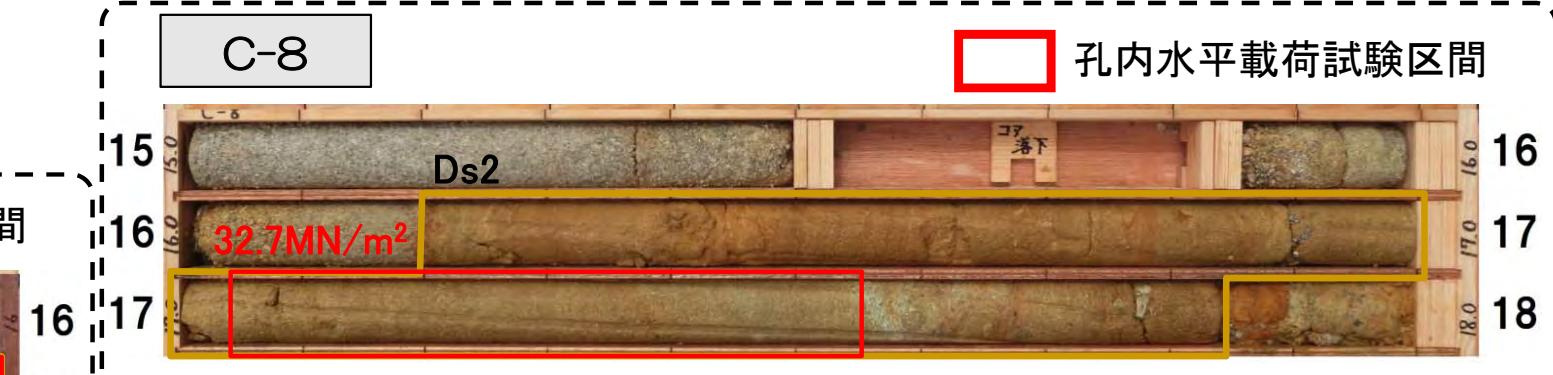
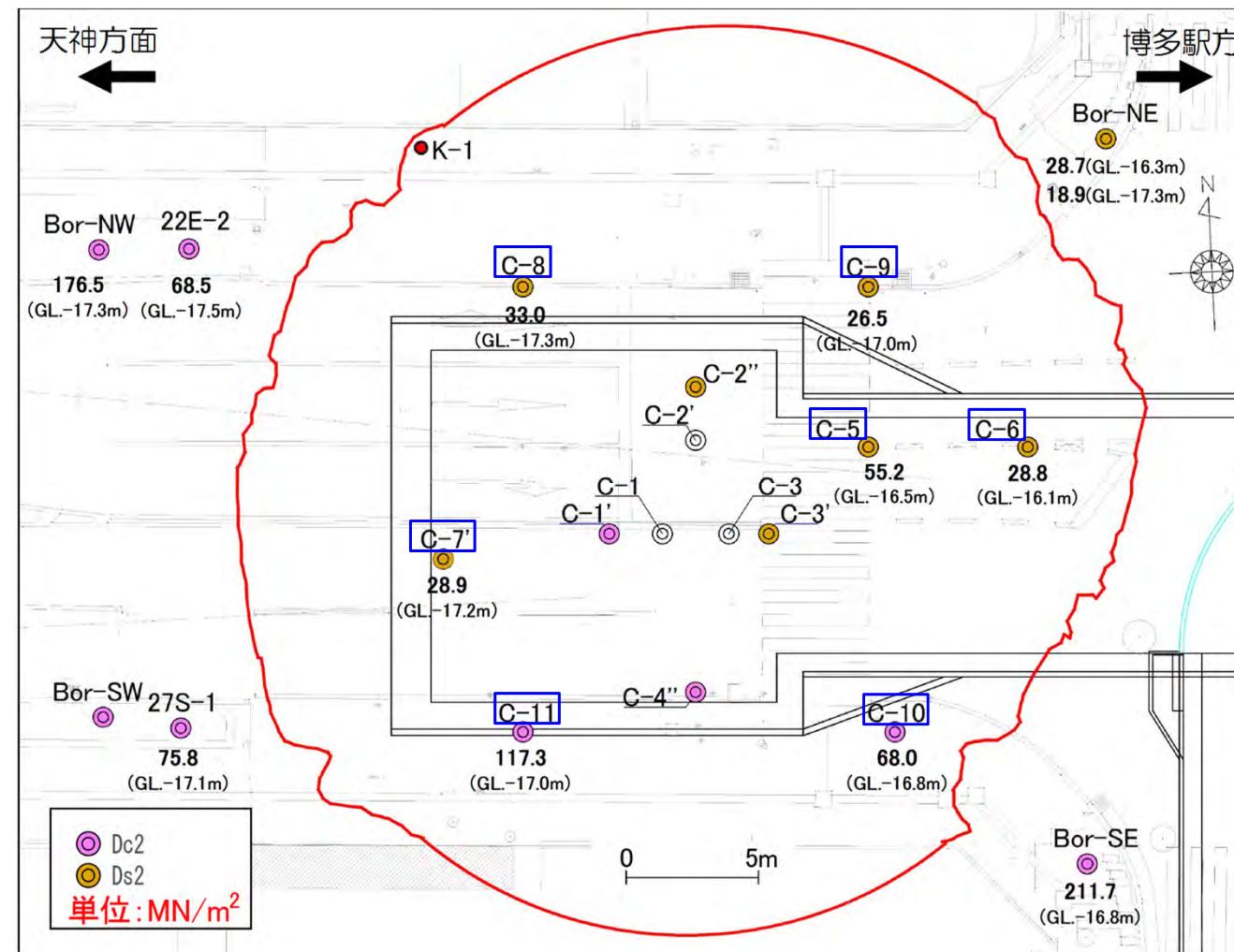
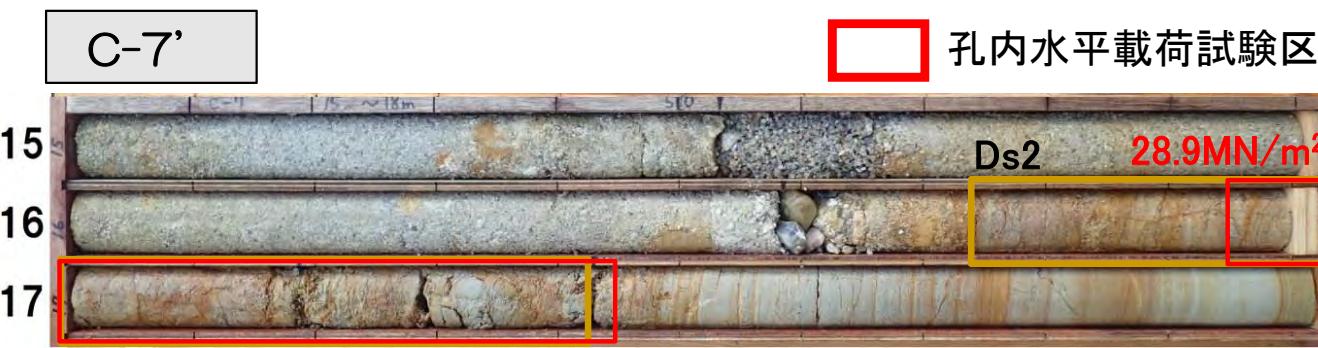
種別	孔名	粘着力 $c'(\text{kN}/\text{m}^2)$	内部摩擦角 $\phi'(^{\circ})$	せん断強度 $\tau (\text{kN}/\text{m}^2)$	コア採取深度 (GL.-m)
既存	Bor-NE-1	34.0	33.5	139.9	16.5
	Bor-NE-2	66.0	35.8	188.6	17.5
今回	N-1	0.0	41.7	115.8	17.0
	N-2	39.0	28.9	132.8	16.7
	N-3	0.0	39.8	133.3	15.5
	S-2	13.3	35.2	140.3	17.5
	S-4	0.0	43.2	187.5	16.5
今回	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		



(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

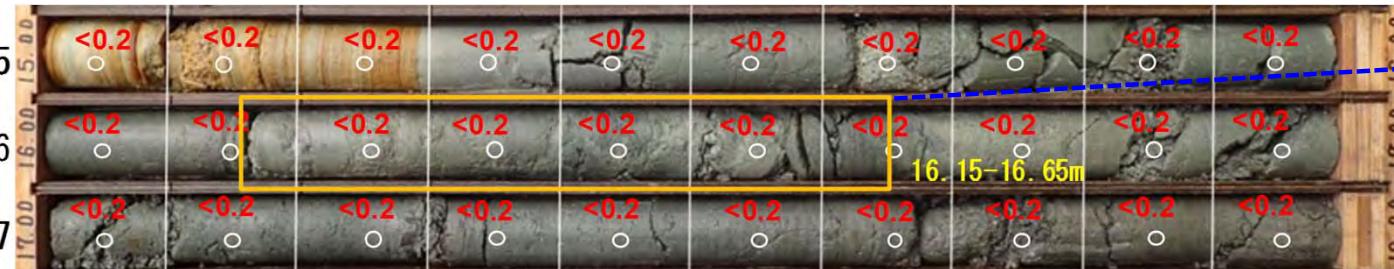


(3) 各層の工学的評価

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)

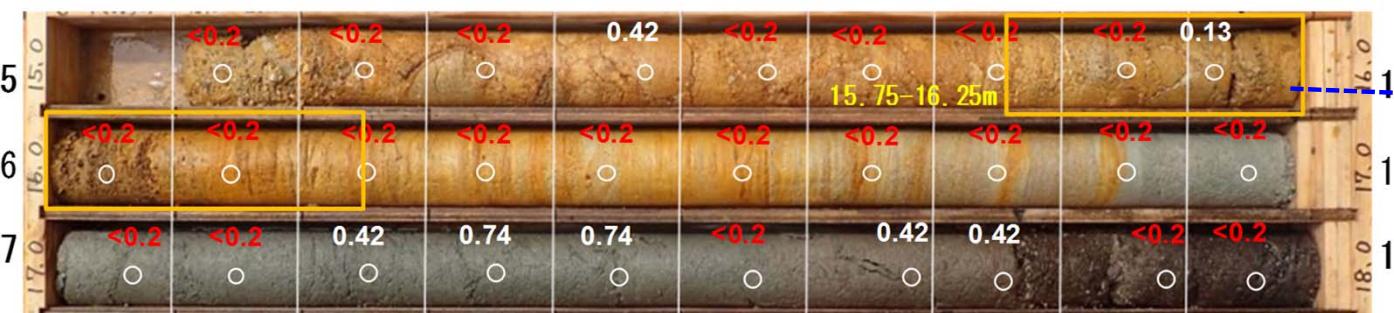


- ・変形係数最小値（平均値の約1/10）
- ・風化していないが、破碎されている。
- ・D2とDhの間にあり、他のボーリングでも数ヶ所確認された。

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)

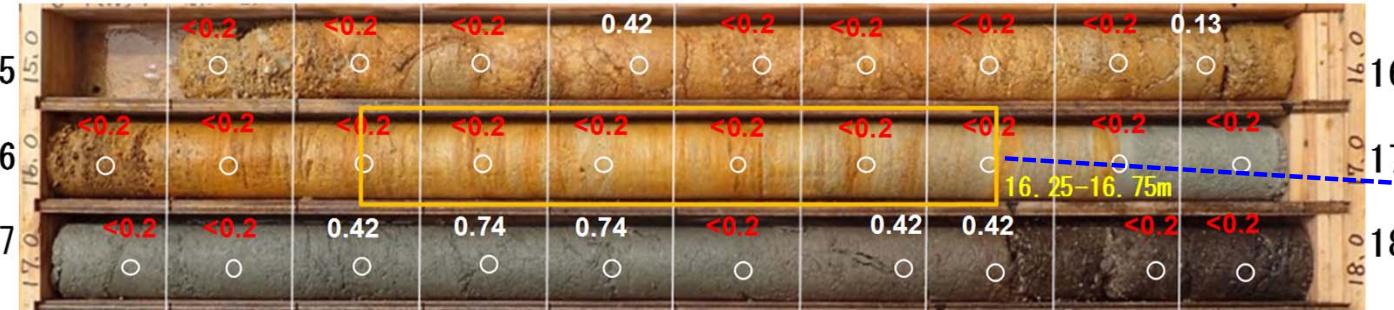


- ・変形係数最大値（平均値の約5倍）。
- ・礫岩が風化したD2層（表記はDsとした）。
- ・N-3、S-2、S-4でも礫岩質D2を確認した（大断面部は未確認）。

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)

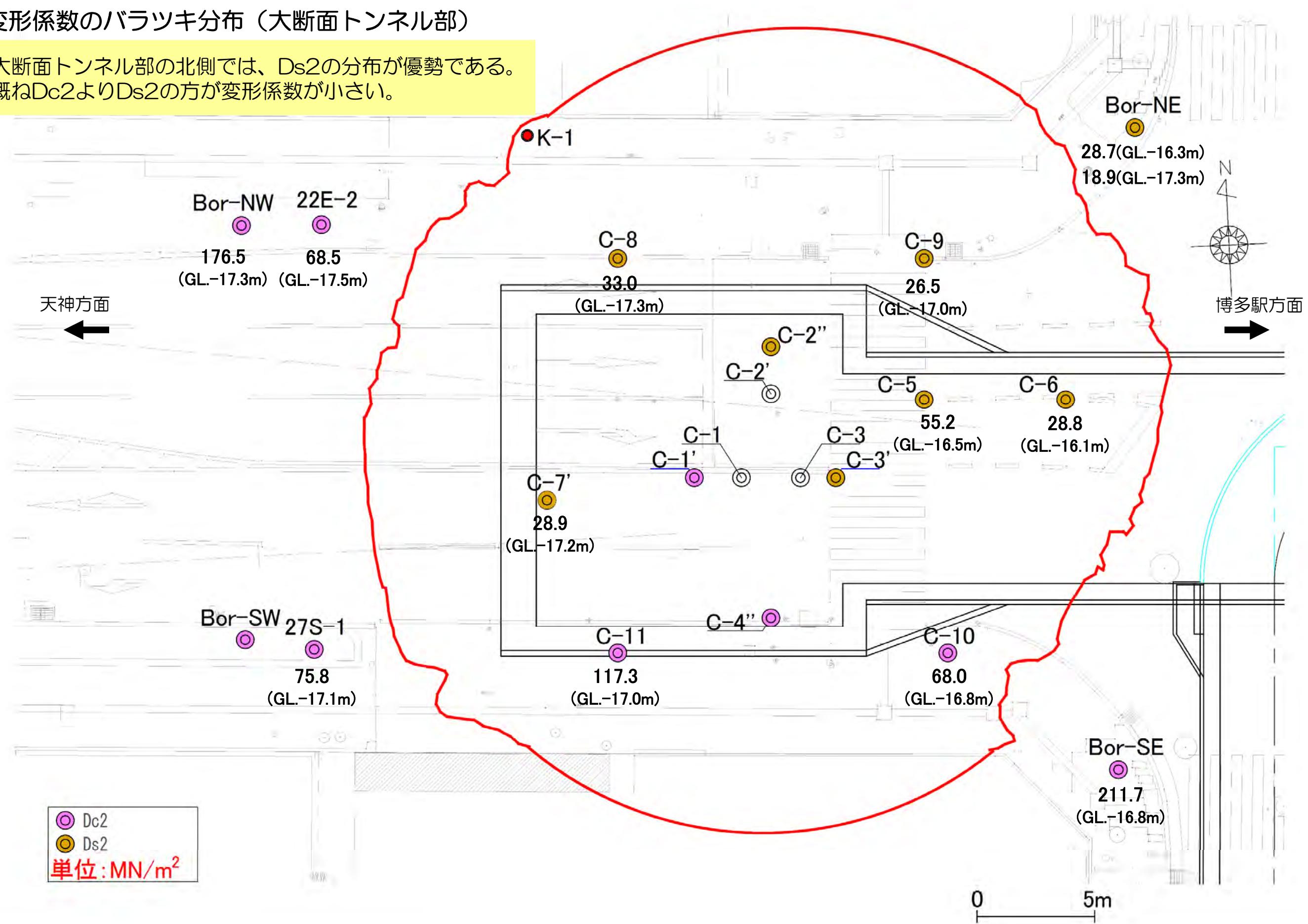
→リモナイトが濃集する(低角度)。

(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。

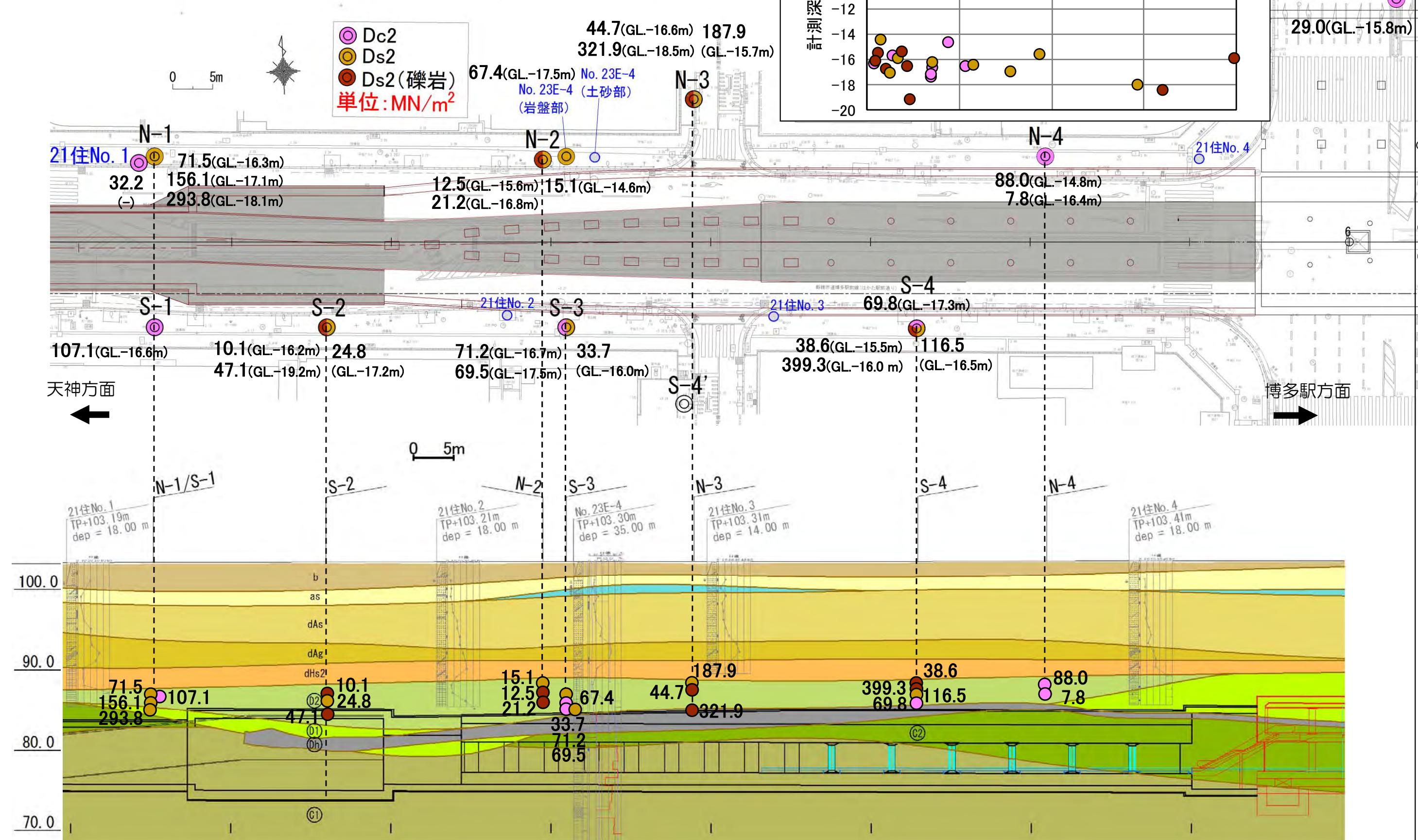


(3) 各層の工学的評価

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

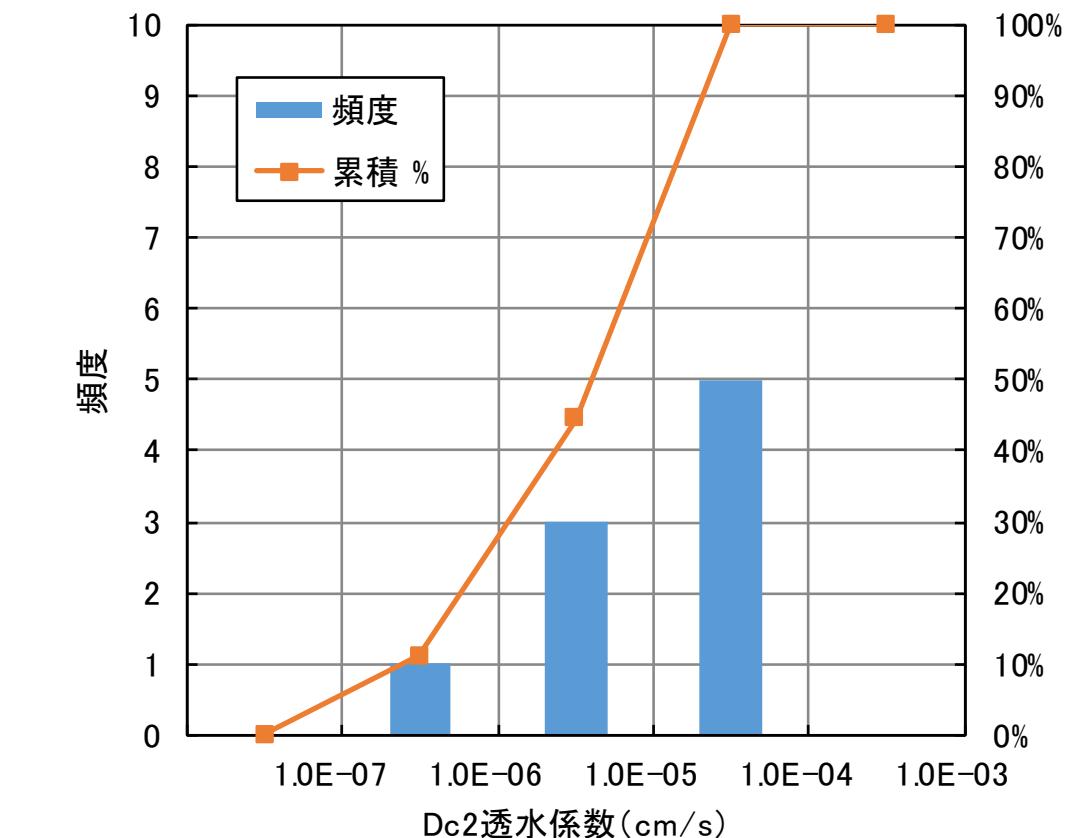
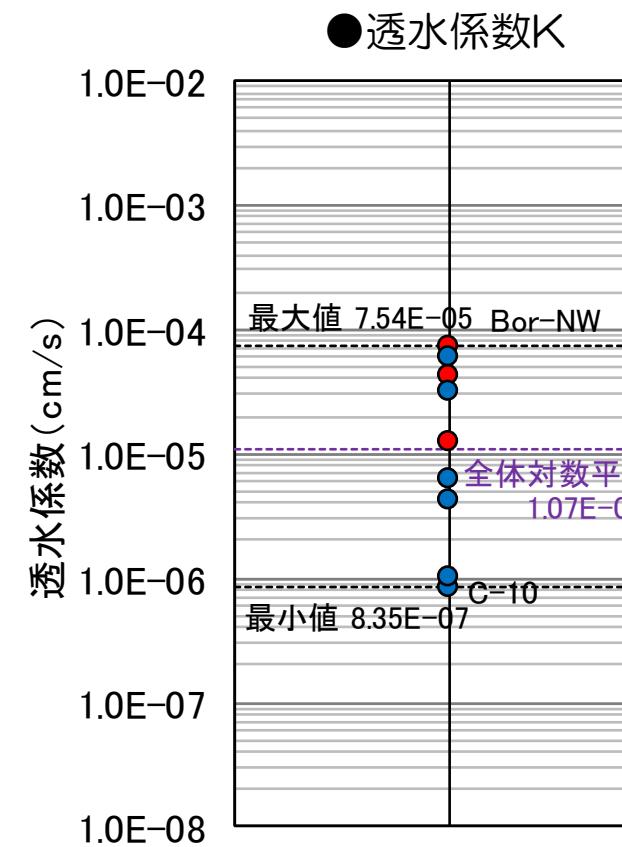
凡例	
● 既存	● 今回

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	4.37×10^{-5}
		Bor-NW	7.54×10^{-5}
		Bor-SE	1.28×10^{-5}
今回	3連トンネル部	S-1	4.35×10^{-6}
		S-3	3.16×10^{-5}
		S-4	6.24×10^{-6}
		N-4	6.17×10^{-5}
	大断面トンネル部	C-10	8.35×10^{-7}
		C-11	1.01×10^{-6}

※C-10 : 0Lu

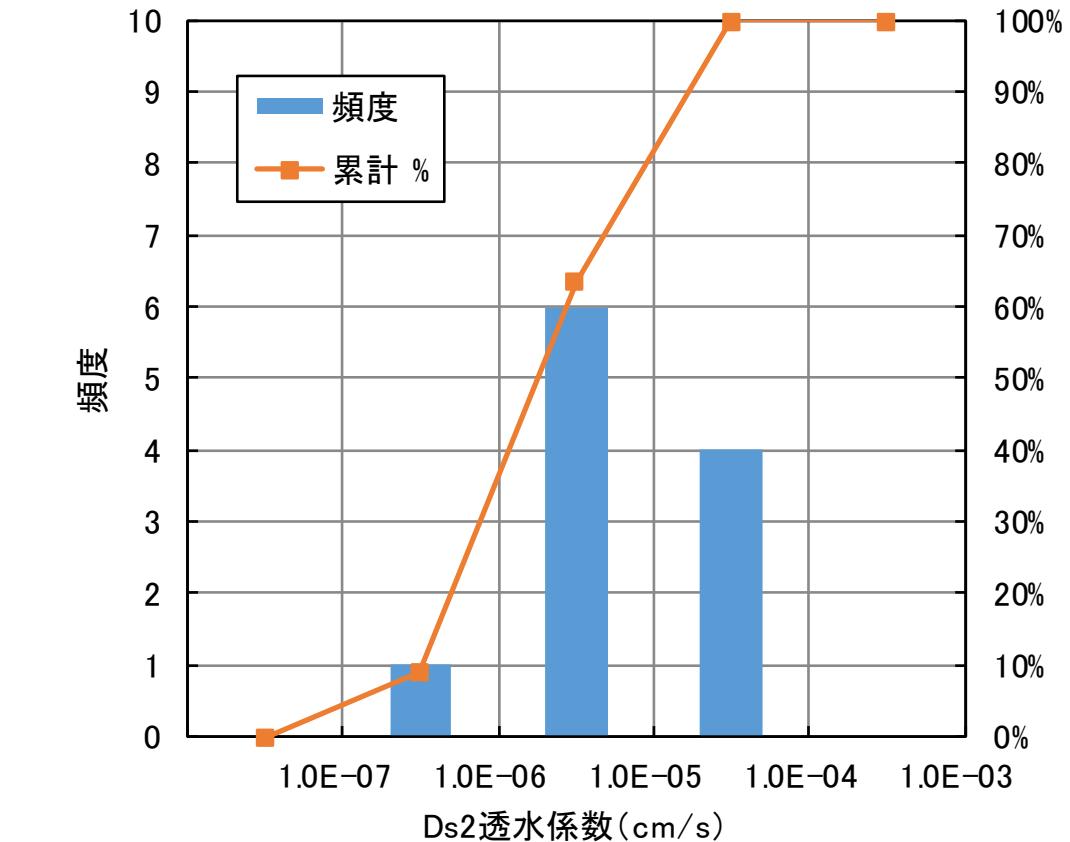
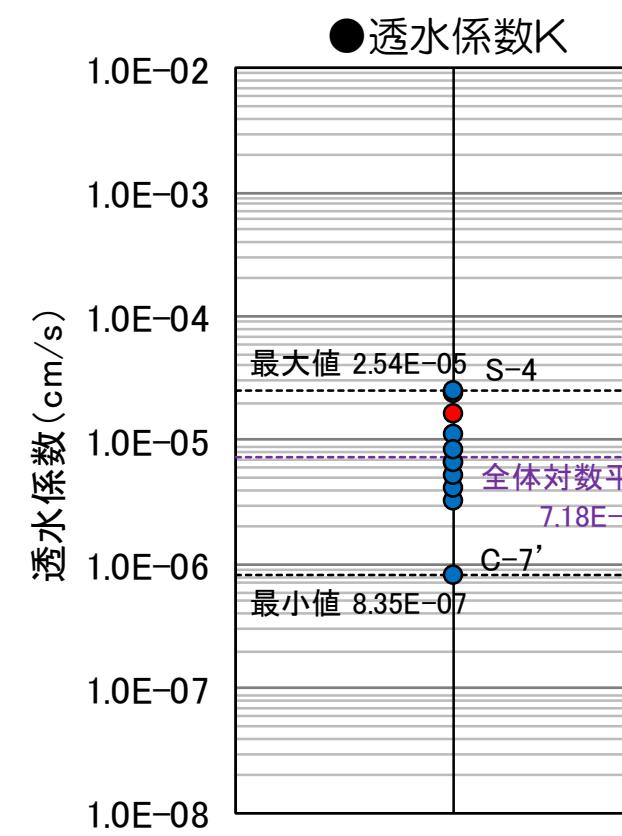


Ds2

・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	1.68×10^{-5}
		N-1	2.37×10^{-5}
		N-2	6.82×10^{-6}
今回	標準トンネル部 ～ 3連トンネル部	N-3	3.32×10^{-6}
		S-2	4.23×10^{-6}
		S-4	2.54×10^{-5}
		C-5	5.17×10^{-6}
		C-6	1.13×10^{-5}
	大断面トンネル部	C-7'	8.35×10^{-7}
		C-8	6.60×10^{-6}
		C-9	8.38×10^{-6}

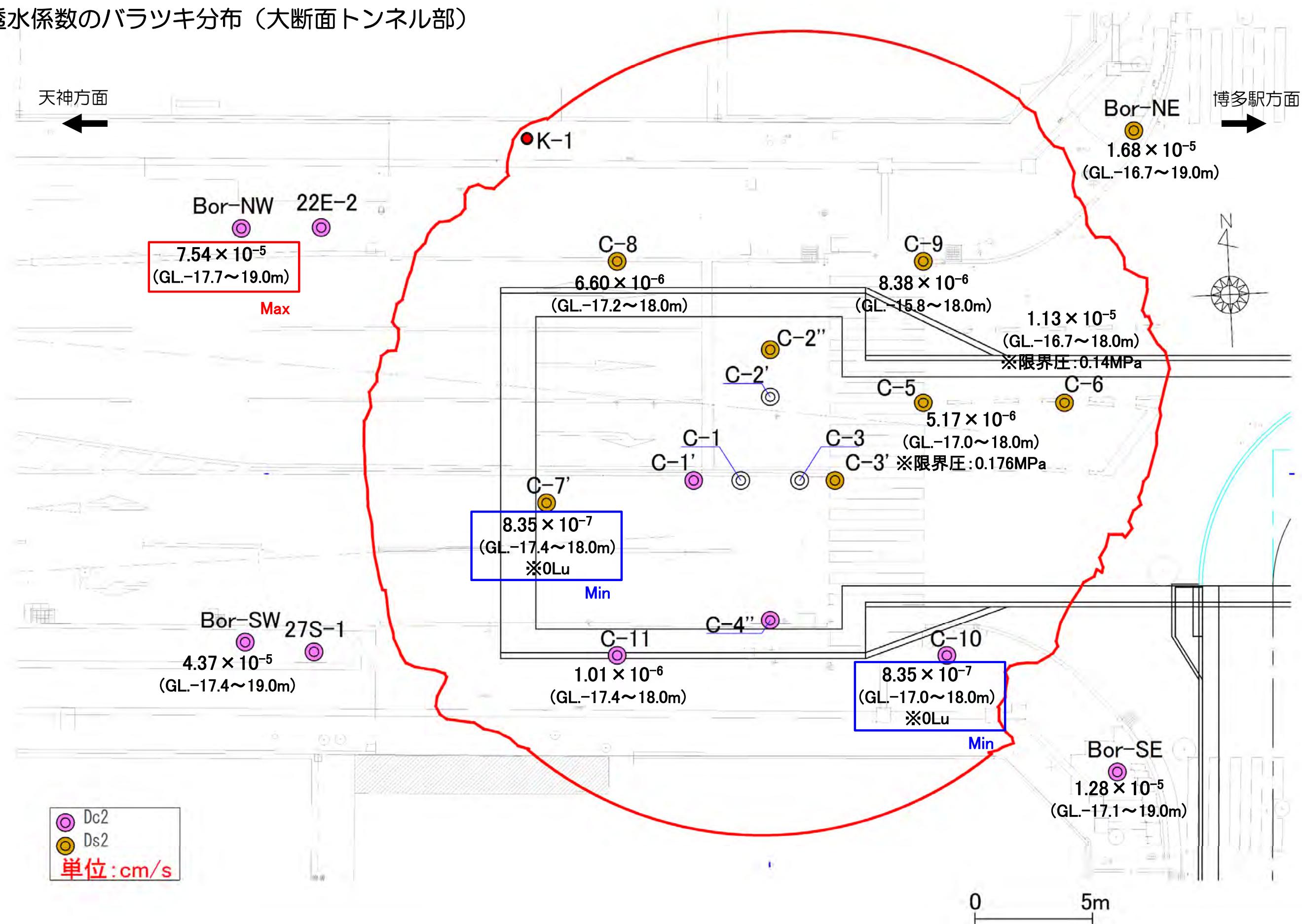
※C-7' : 0Lu



(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）

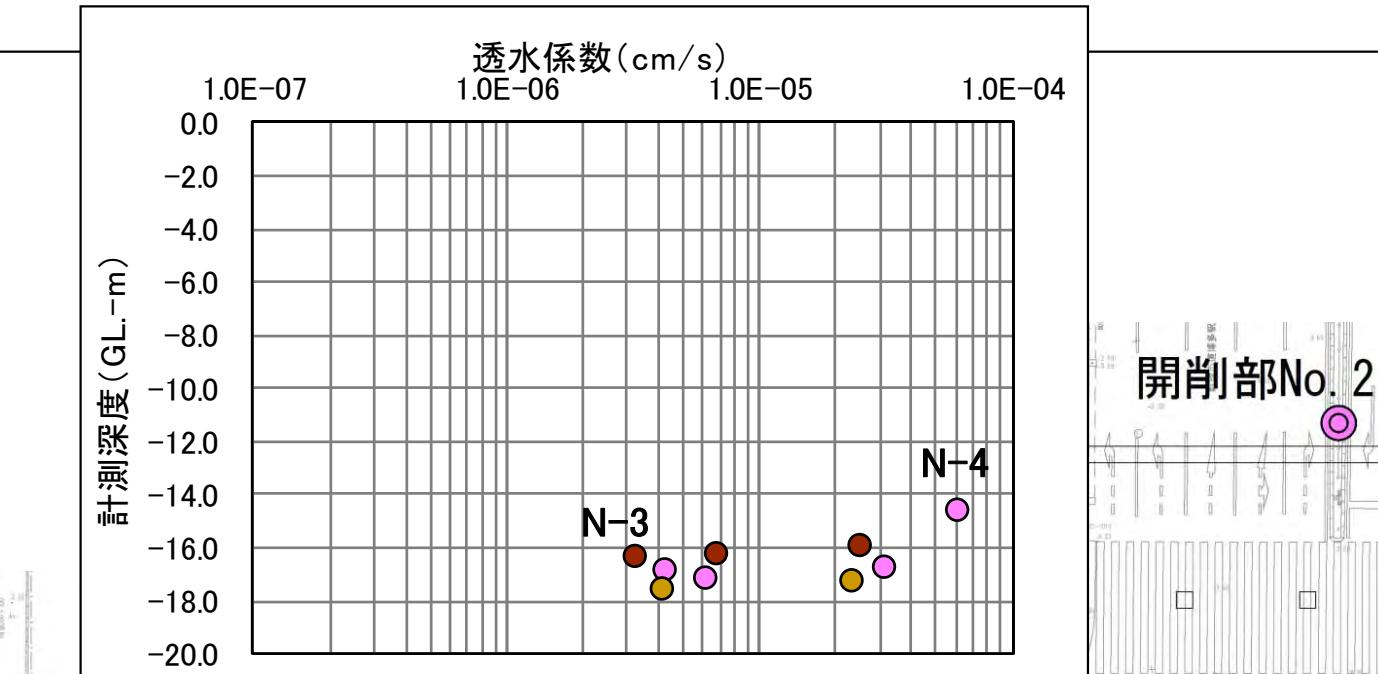
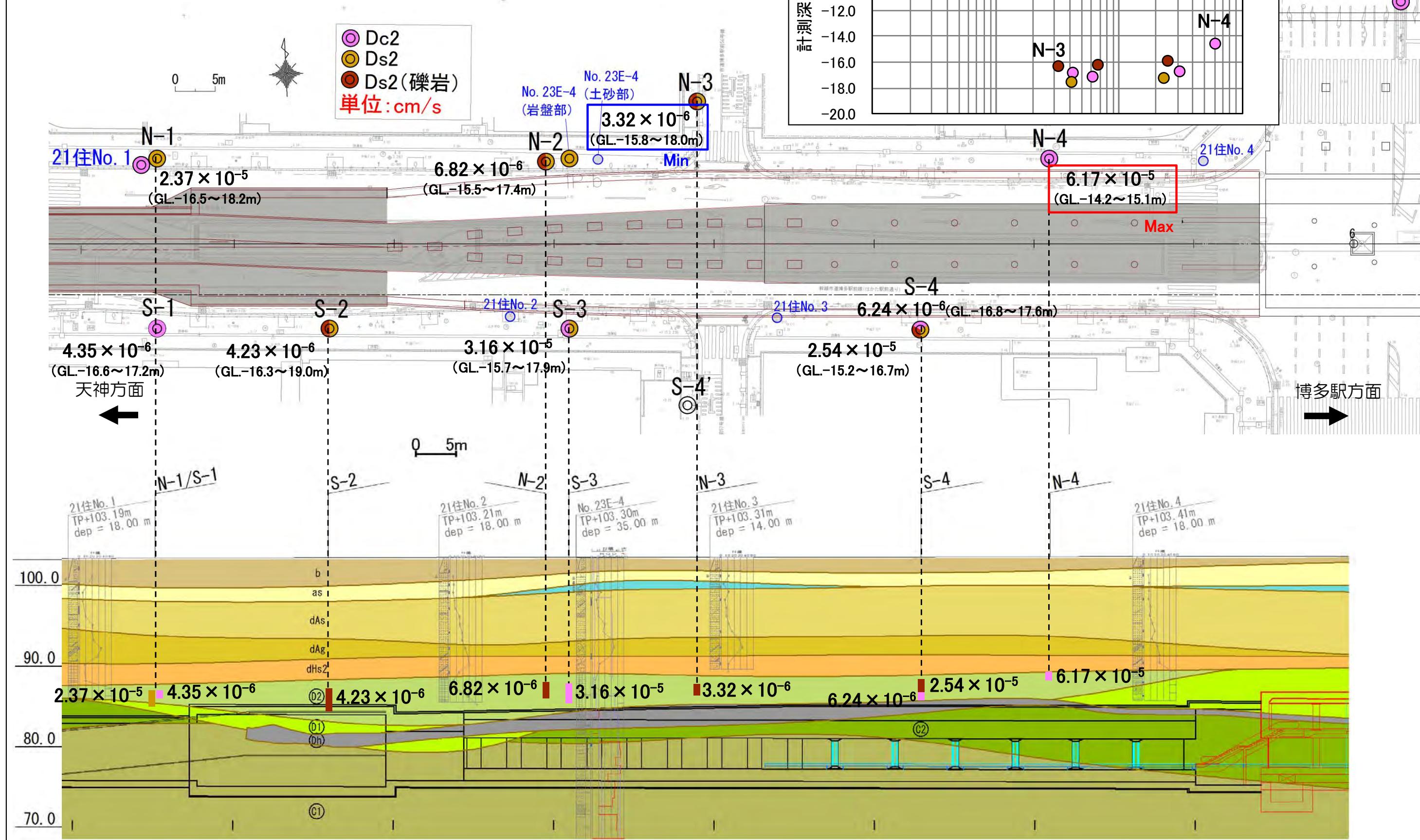


(3) 各層の工学的評価

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

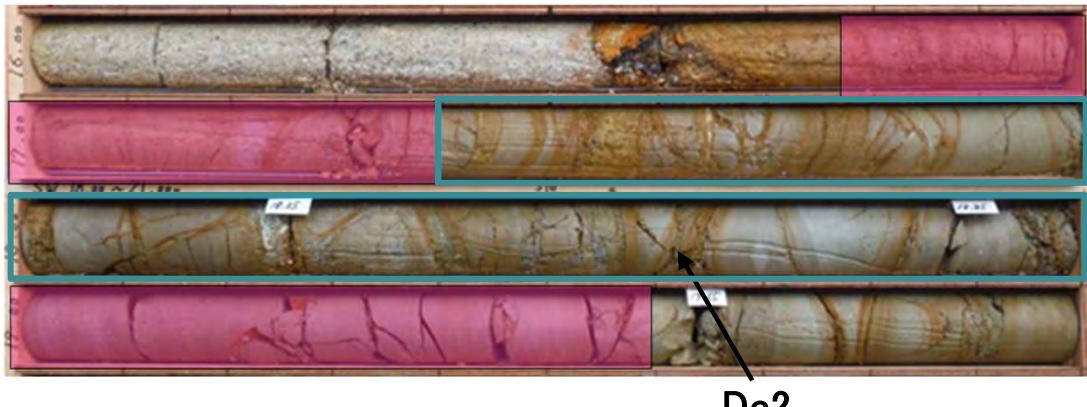
【室内透水試験（室内）】

- 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】



低圧ルジオン試験区間

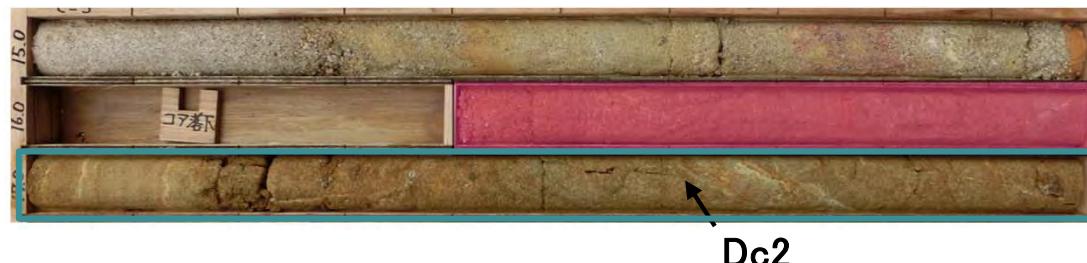
パッカーチューブ

限界圧力 : $(P_c > 0.20 \text{ MPa})^{*1}$
換算ルジオン値: $(L_u = 4.46)^{*1}$

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

*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。

【C-5】



限界圧力 : $P_c = 0.176 \text{ MPa}$
換算ルジオン値: $L_u = 0.61$

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

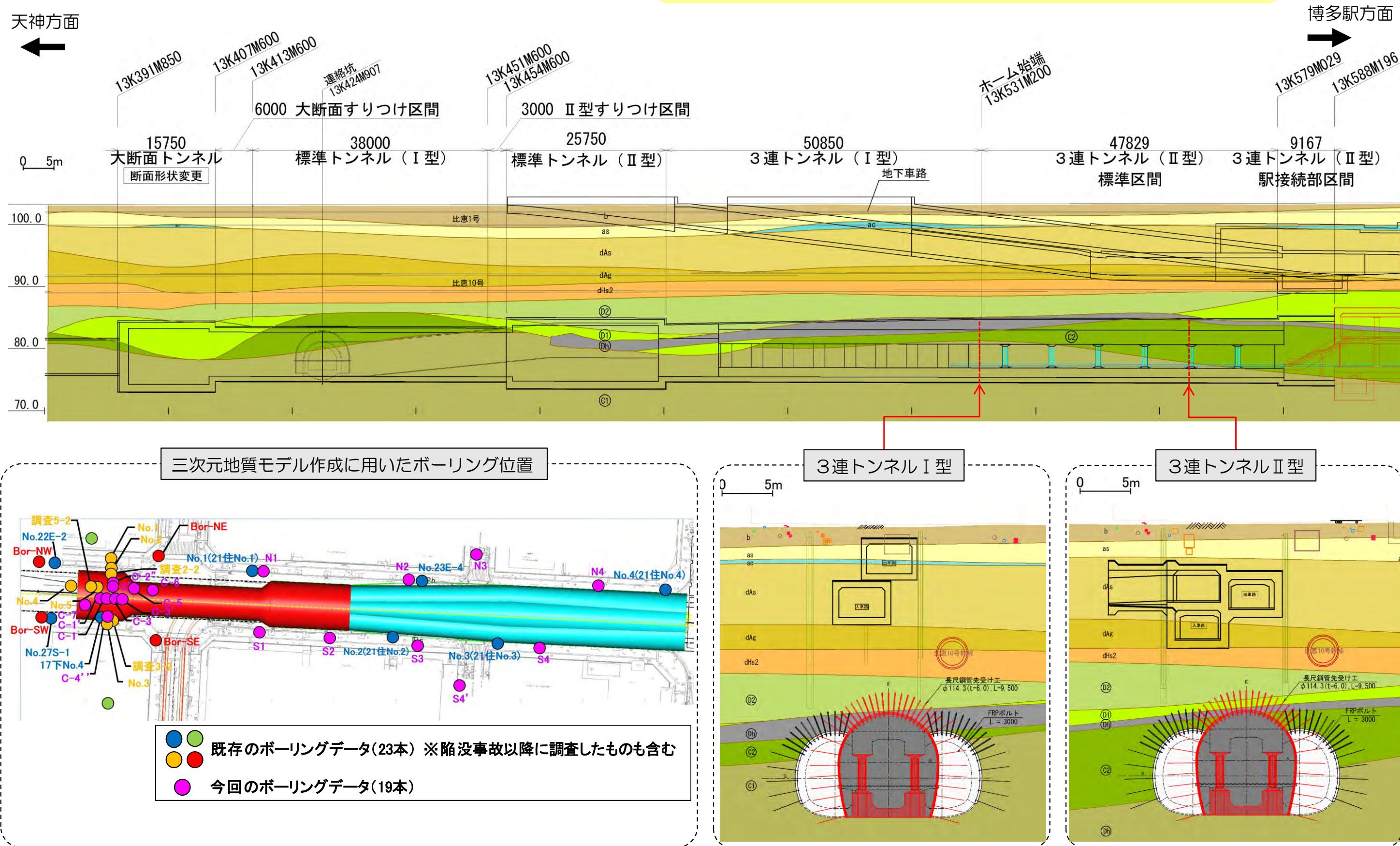
(3) 各層の工学的評価

2) 炭質頁岩層 (Dh) の工学的評価

○三次元的分布狀況

※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。



(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-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

※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	標準トンネル部 ～ 3連トンネル部	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

【変形係数 E_0 】

・12,300~366,500kN/m²

【粘着力 c' 】

・0~69kN/m²

【内部摩擦角 ϕ' 】

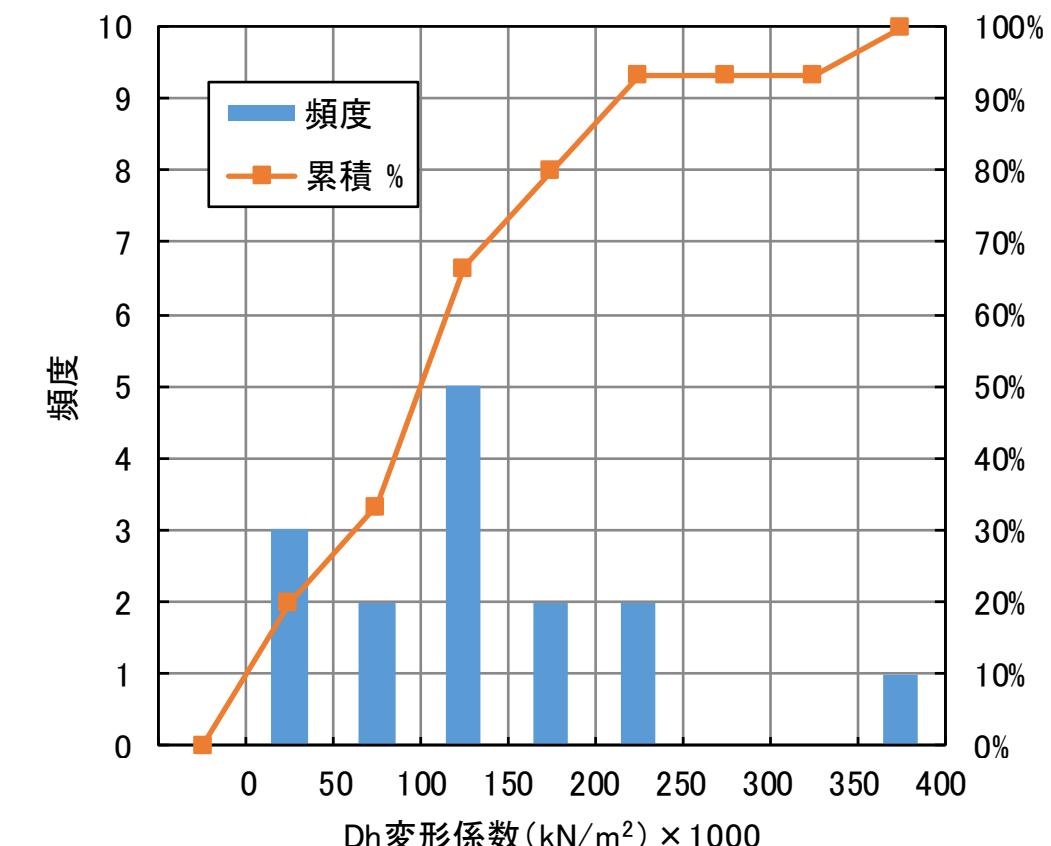
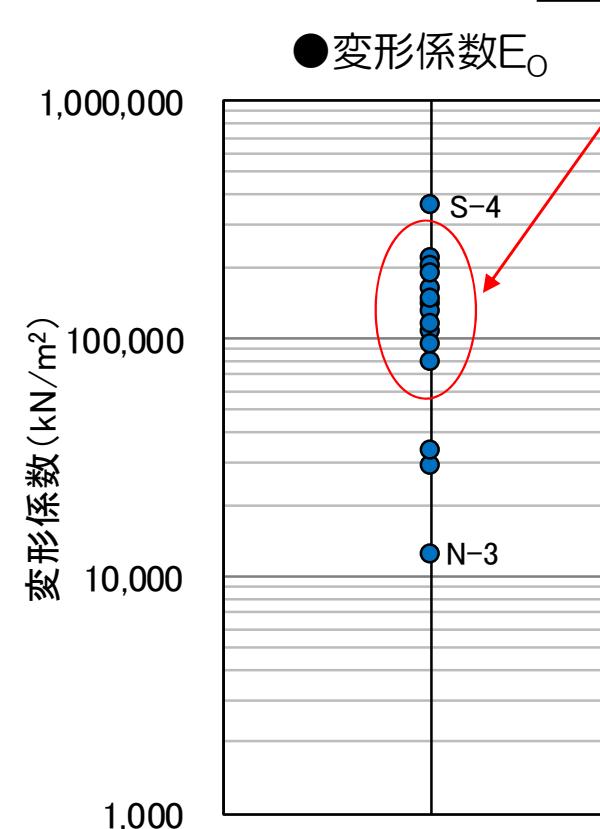
・20~46°

凡例

既存

今回

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

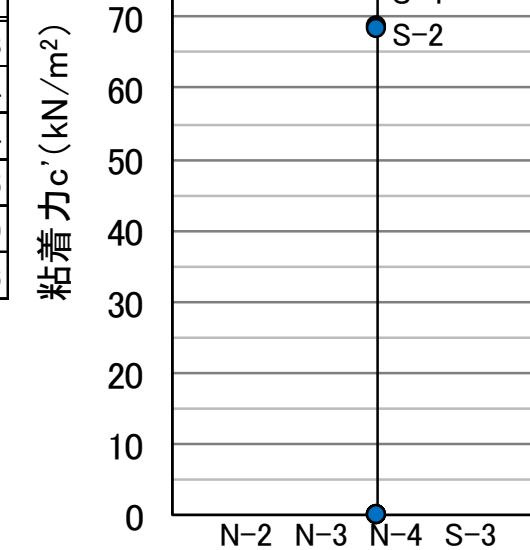
種別		孔名	粘着力 c' (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ' (°)	せん断強度 τ (kN/m ²)	コア採取深度 (GL.-m)
既存	陥没事故前 ^{※1}	-	-	-	-	-
	陥没事故後 ^{※2}	-	-	-	-	-
今回	標準トンネル部 ～ 3連トンネル部	N-2	0.0	33.6	133.0	21.8
		N-3	0.0	33.8	147.3	22.4
		N-4	0.0	29.7	119.8	19.4
		S-2	68.7	19.7	143.7	21.5
		S-3	0.0	46.1	197.3	19.9
		S-4	68.5	24.7	160.4	18.6

※区間中央値

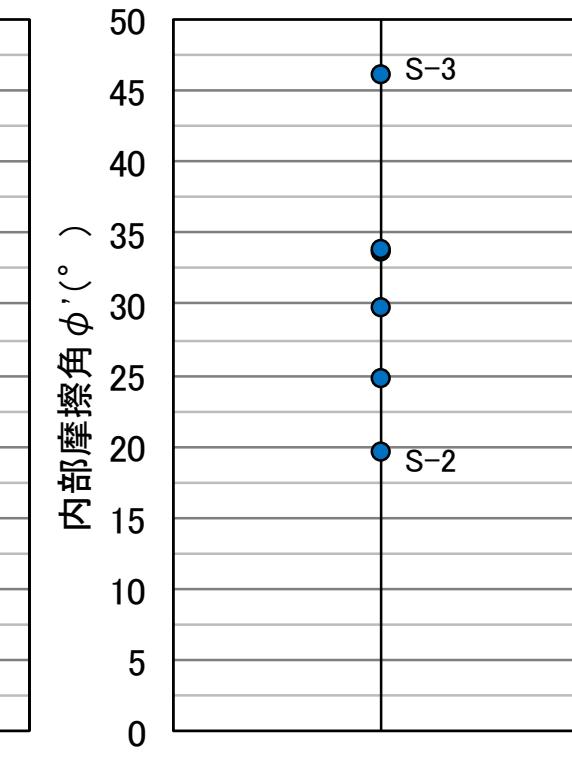
※1 当初はDh層の試験値なし。

※2 大断面部には出現しなかったため、試験値なし。

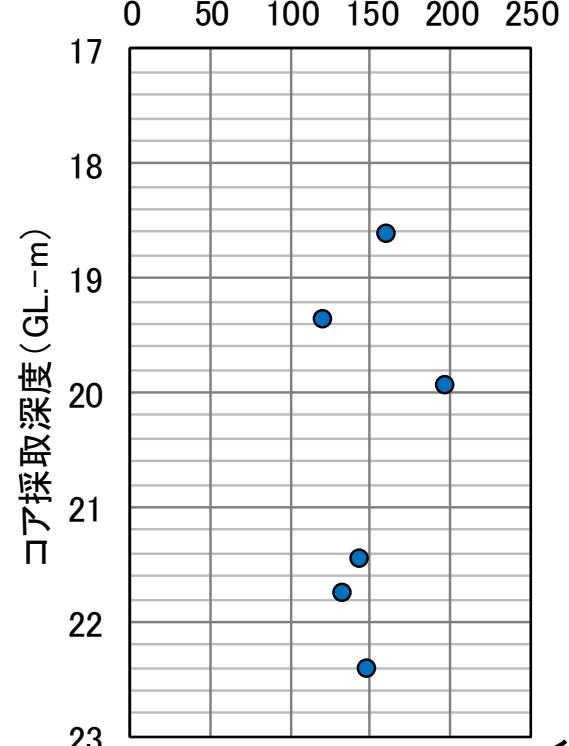
●粘着力 c'



●内部摩擦角 ϕ'



●せん断強度 τ せん断強度 τ (kN/m²) ※土被り条件



(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

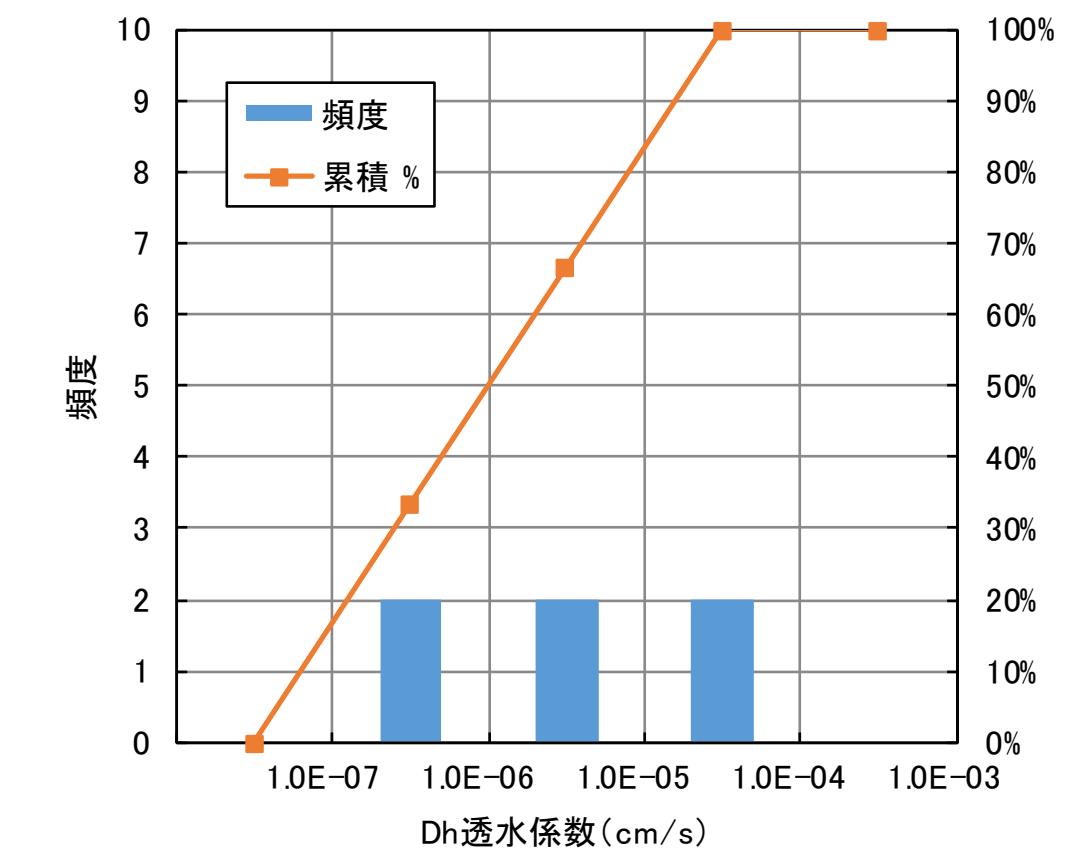
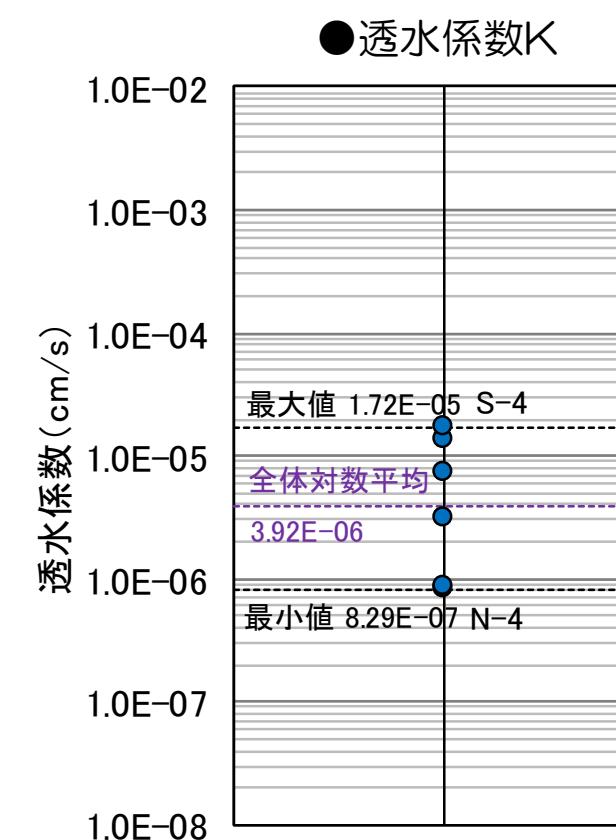
○透水係数 (ルジオン試験)

- 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	1.31E-05
		N-3	7.26E-06
		N-4	8.29E-07
		S-2	8.56E-07
		S-3	3.13E-06
		S-4	1.72E-05

※1 初回は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。



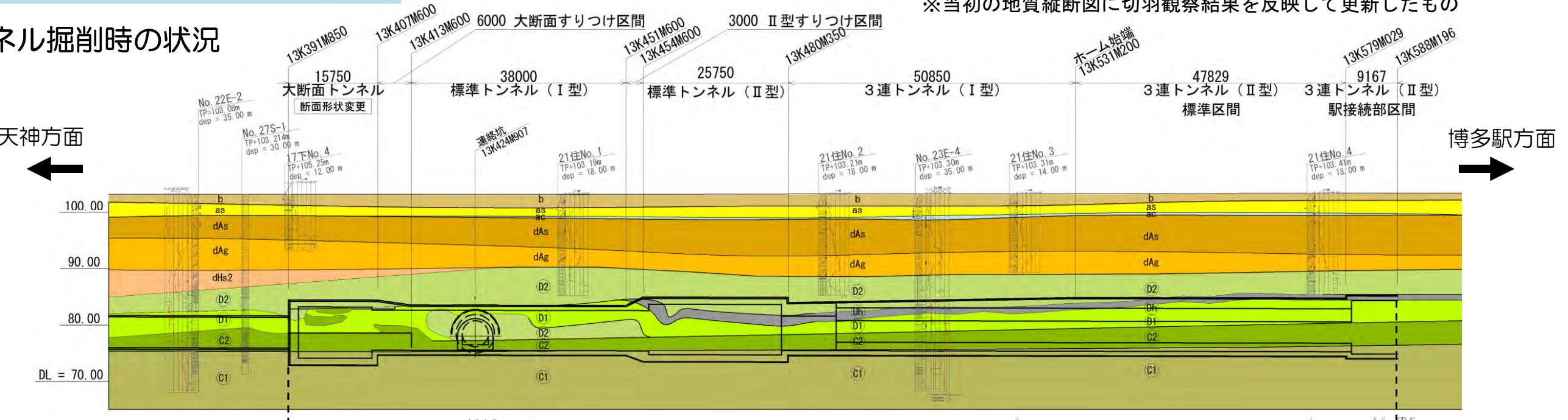
(3) 各層の工学的評価

2) 炭質頁岩層 (Dh) の工学的評価

○トンネル掘削時の状況

- ・大断面部には、層としては存在しない。

※当初の地質縦断図に切羽観察結果を反映して更新したもの



地表面沈下狀況



※No.22E-2(岩盤部)は現在閉

切羽状況

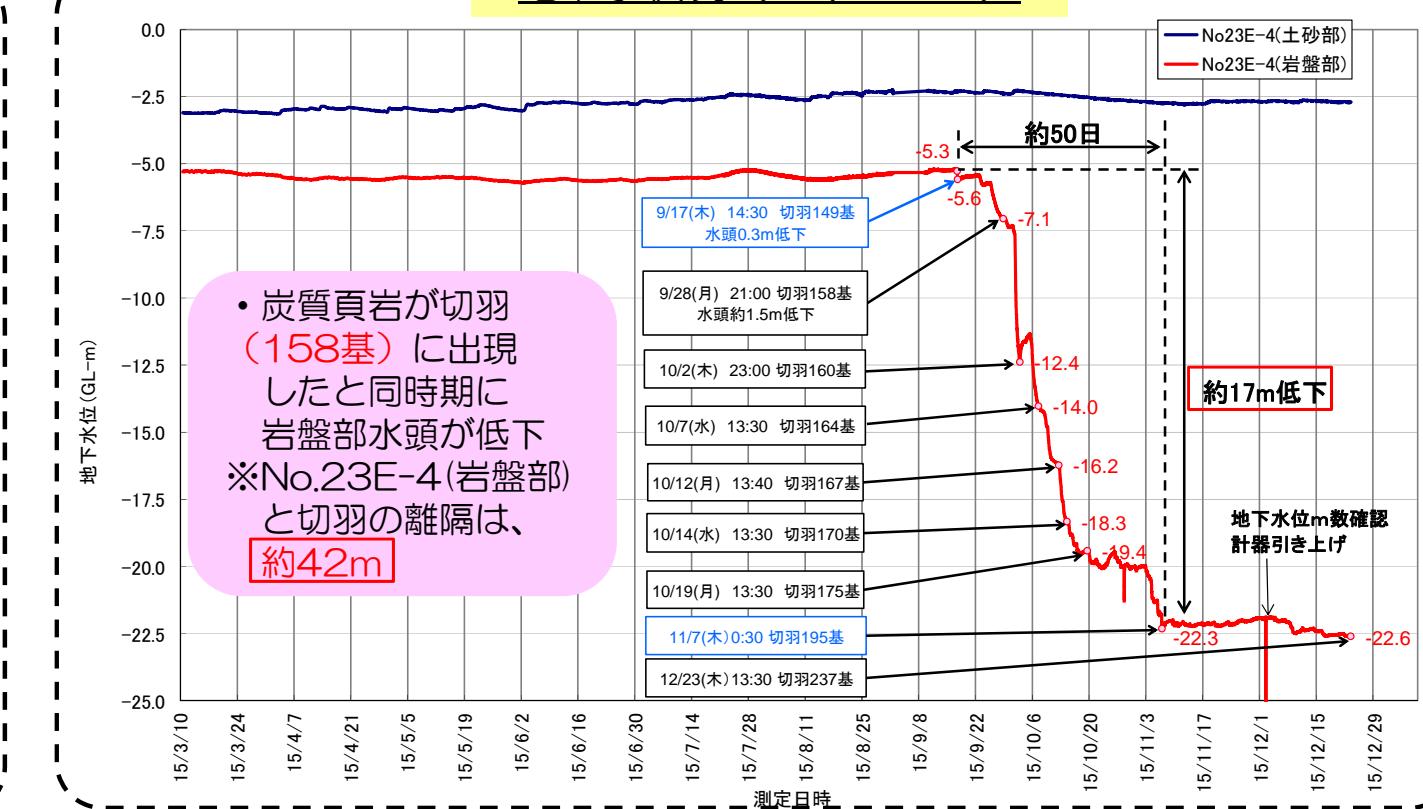
- 158基より炭質頁岩が出現
 - 炭質頁岩は、脆弱で切羽が自立しない



掘削づくり（炭質頁岩）

16

- 炭質頁岩が切羽
(158基) に出現
したと同時に
岩盤部水頭が低下
※No.23E-4(岩盤部)
と切羽の離隔は、
約42m

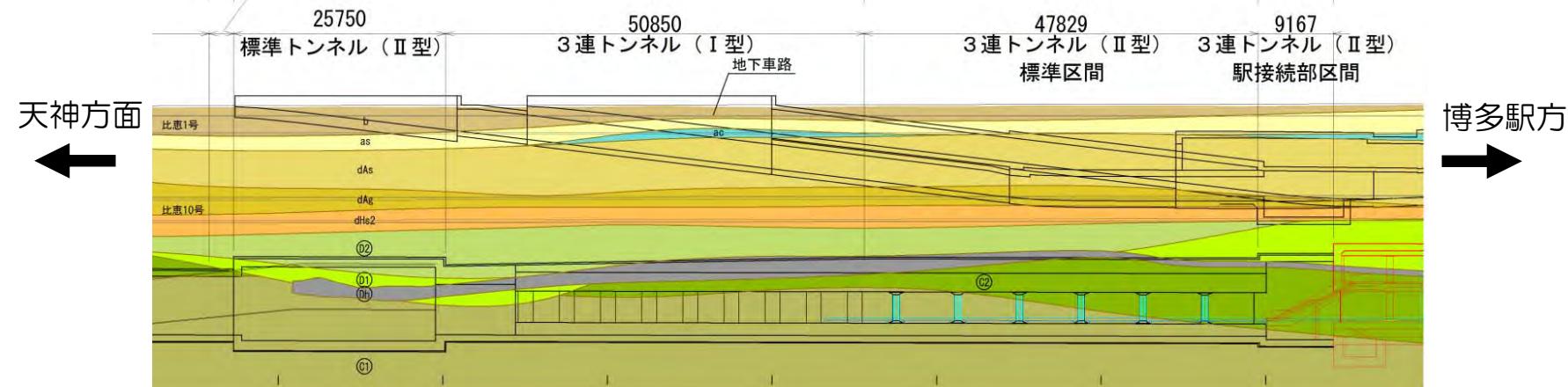


(3) 各層の工学的評価

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、12,300~366,500kN/m²

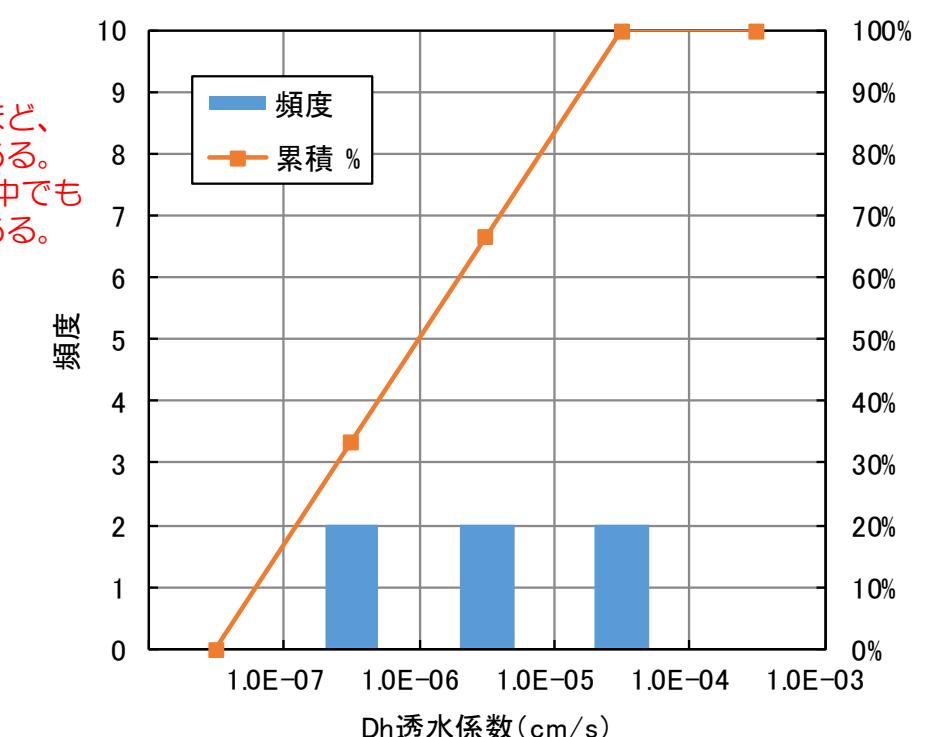
③粘着力・内部摩擦角

- 粘着力 c' は、0~69kN/m²
- 内部摩擦角 ϕ' は、20~46°

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



⑤コアの性状

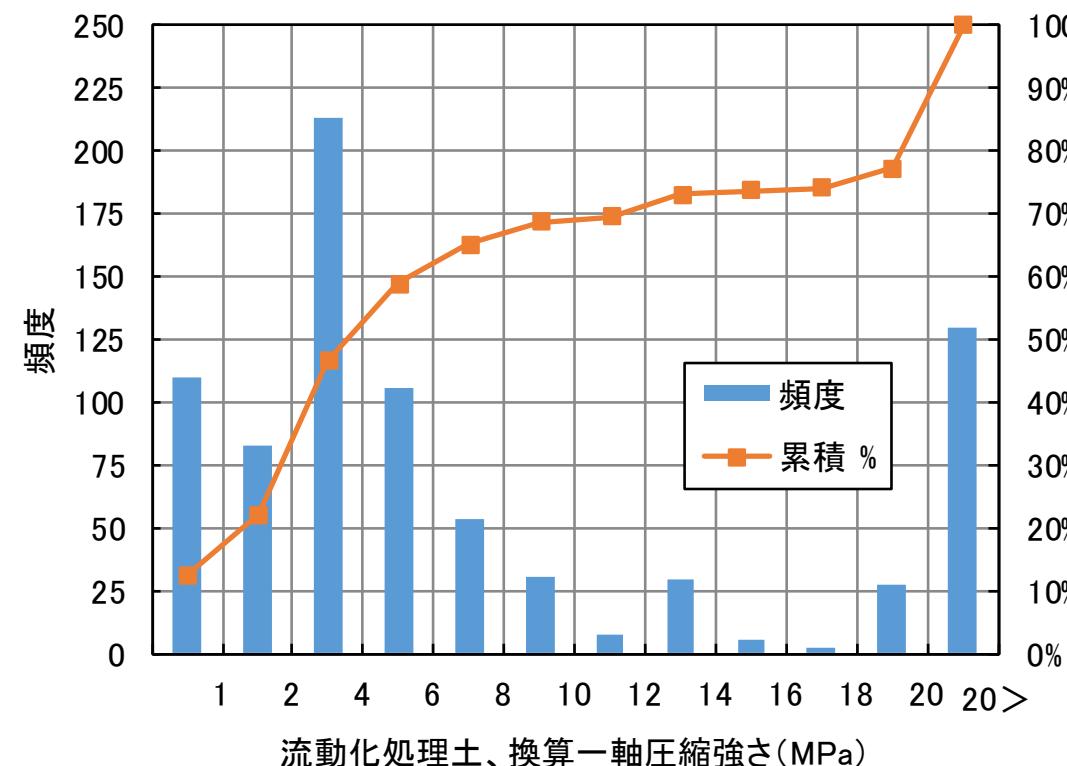
- 炭化の進行度にはばらつきが大きい。
- 局所的に著しく炭化している。



(3) 各層の工学的評価

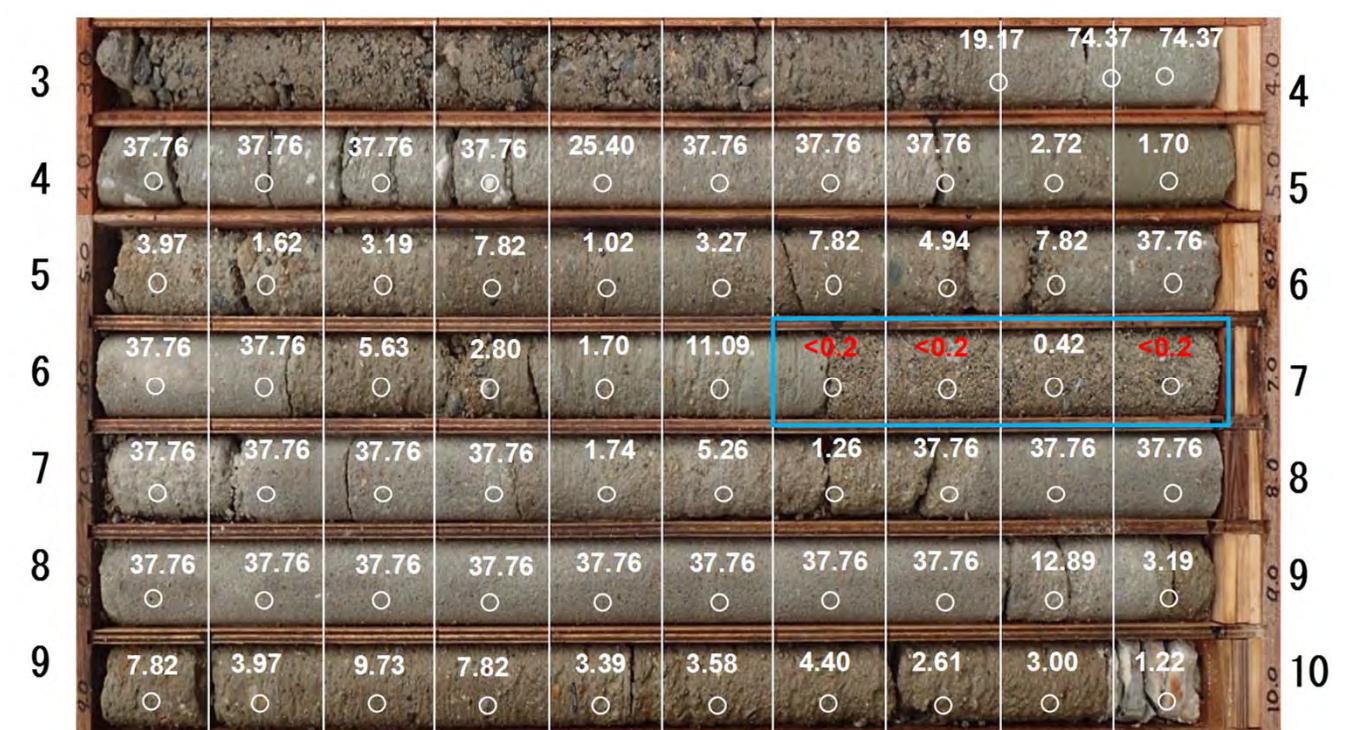
3) 流動化処理土の工学的評価

【換算一軸圧縮強さ】



- 約87%は換算一軸強度 (a_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。

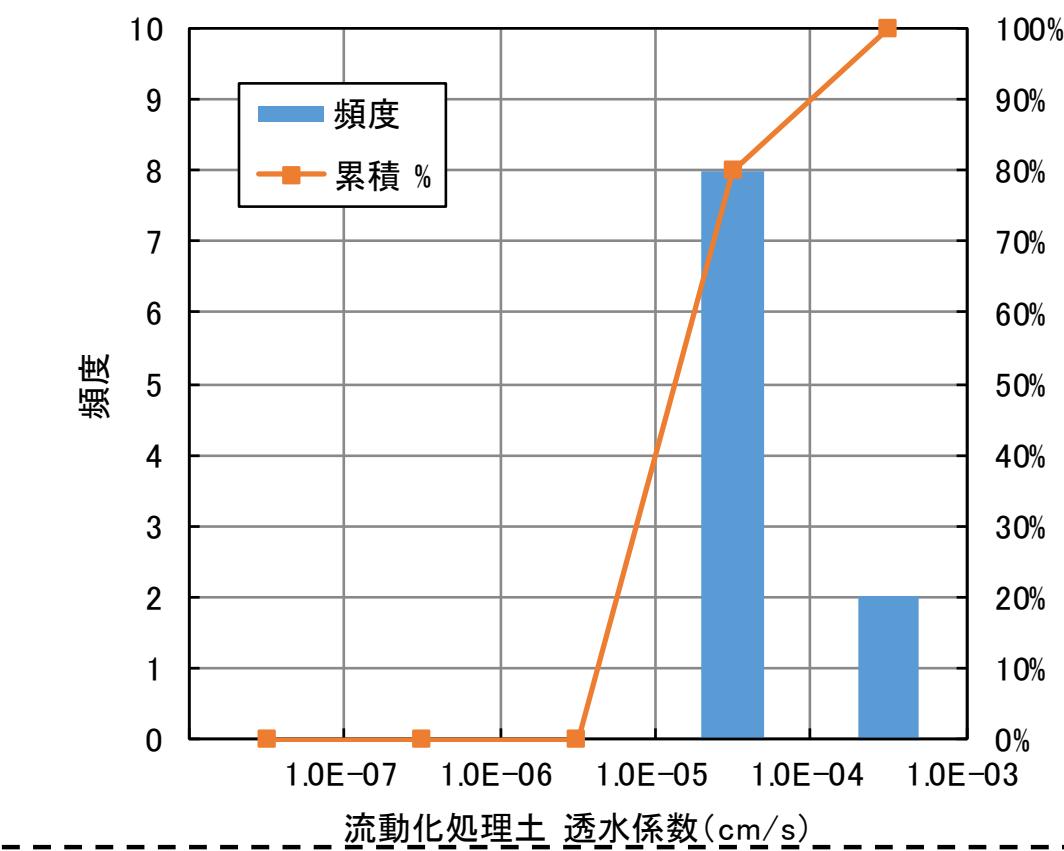
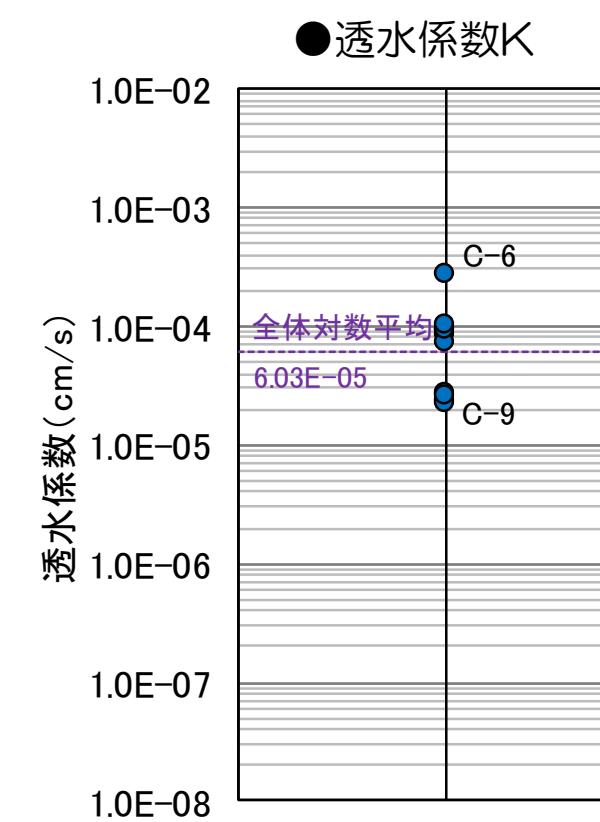
【流動化処理土性状と針貫入試験結果 (C-3')】



- 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 大断面トンネル部	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



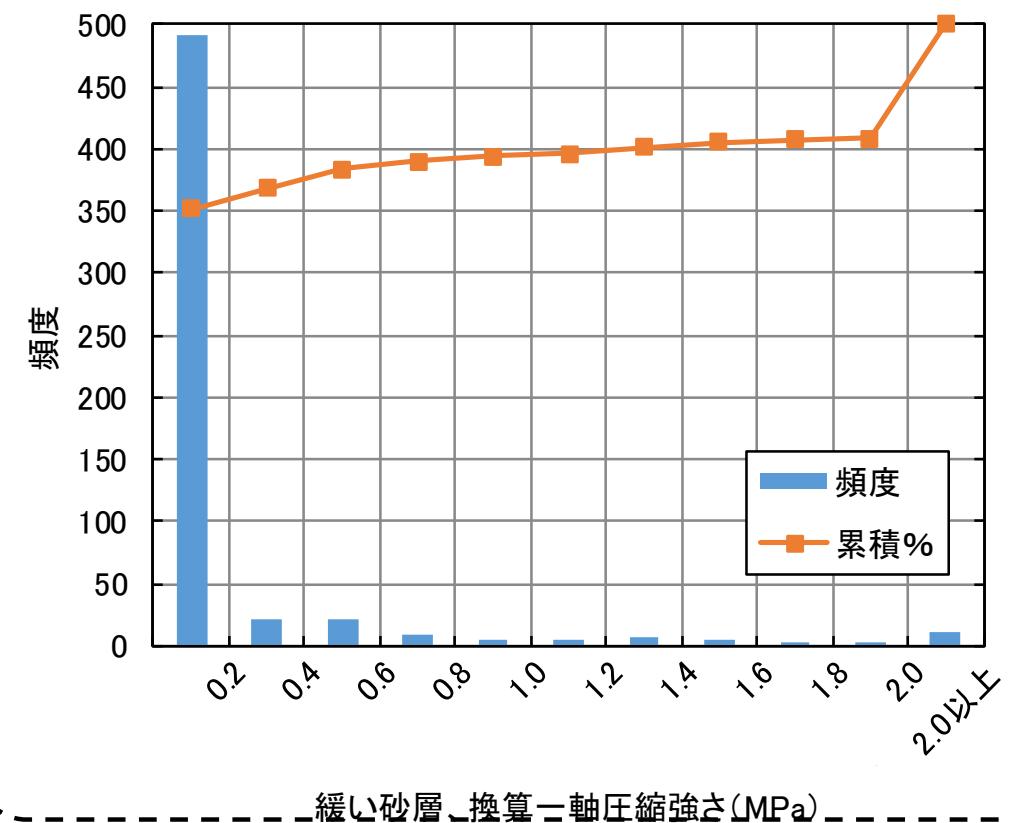
(3) 各層の工学的評価

4) 緩い砂層の工学的評価

換算一軸圧縮強さ (MPa)

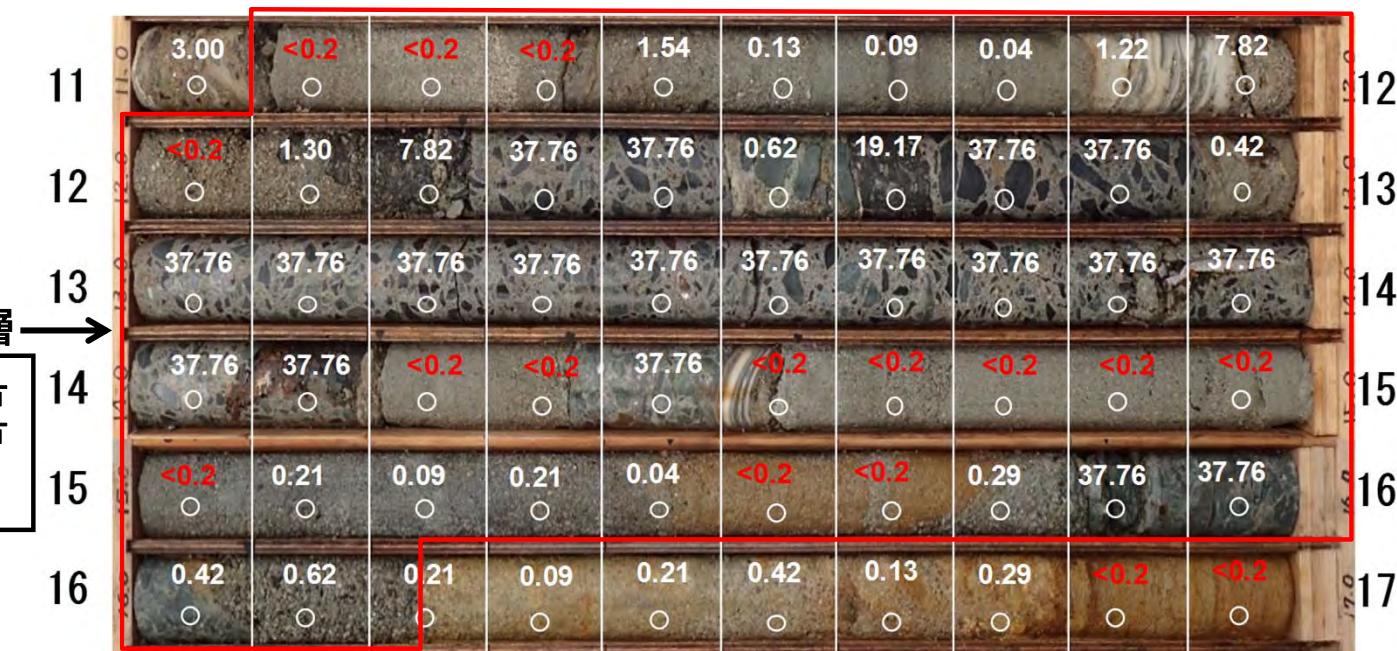
針貫入試験

【換算一軸圧縮強さ】



【C-1'】

※コンクリート片
アスファルト片
注入材
を含む

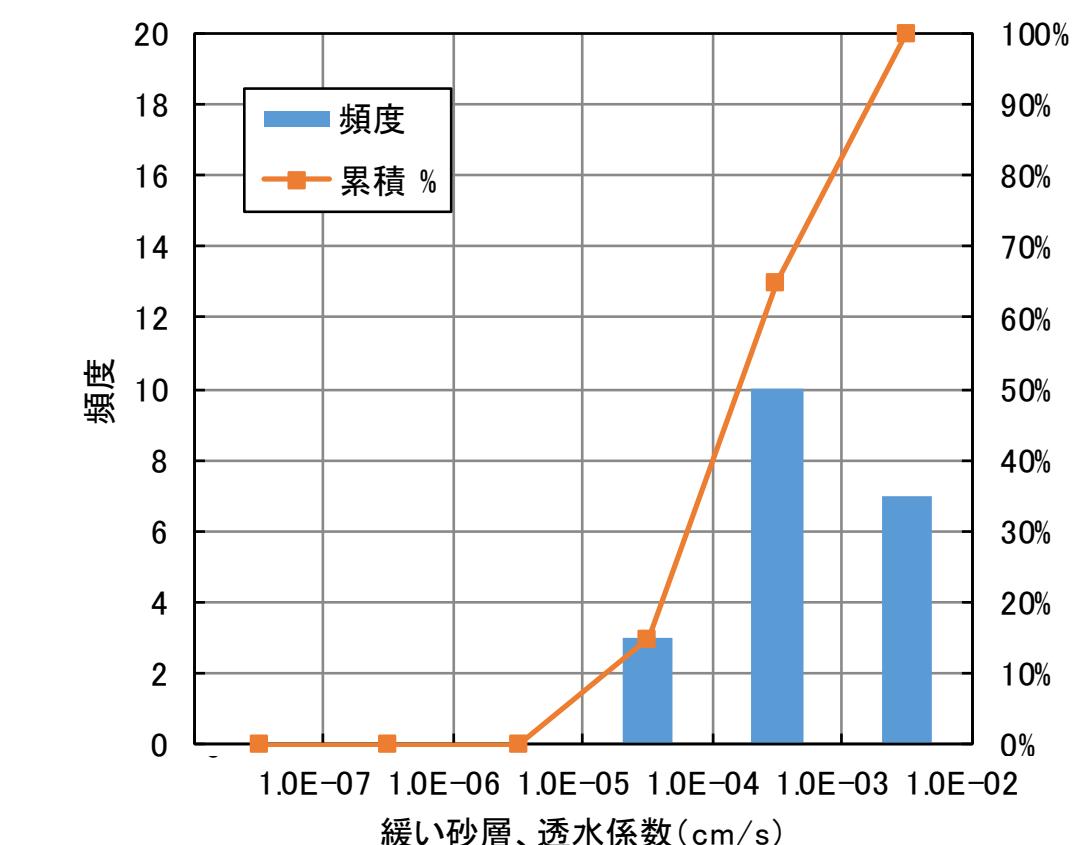
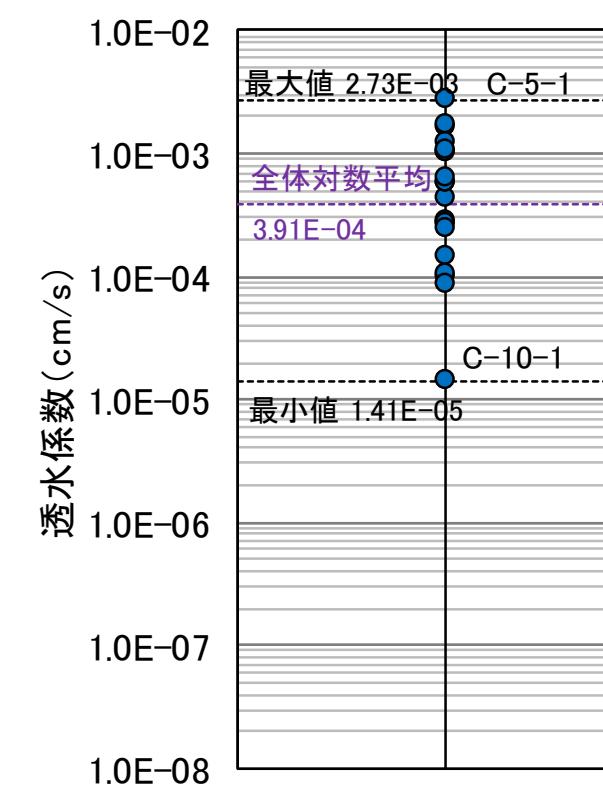


- 約79%は換算一軸強度 (a_u) が1.0MPa以下。
- 局所的に換算一軸強度 (a_u) が2.0MPa以上が存在。

【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
	C-9-1	投入	5.71E-04
		汲上げ	1.02E-03
	C-10-1	投入	1.41E-05
		汲上げ	6.36E-04
	C-11-1	投入	2.43E-04
		汲上げ	1.07E-03

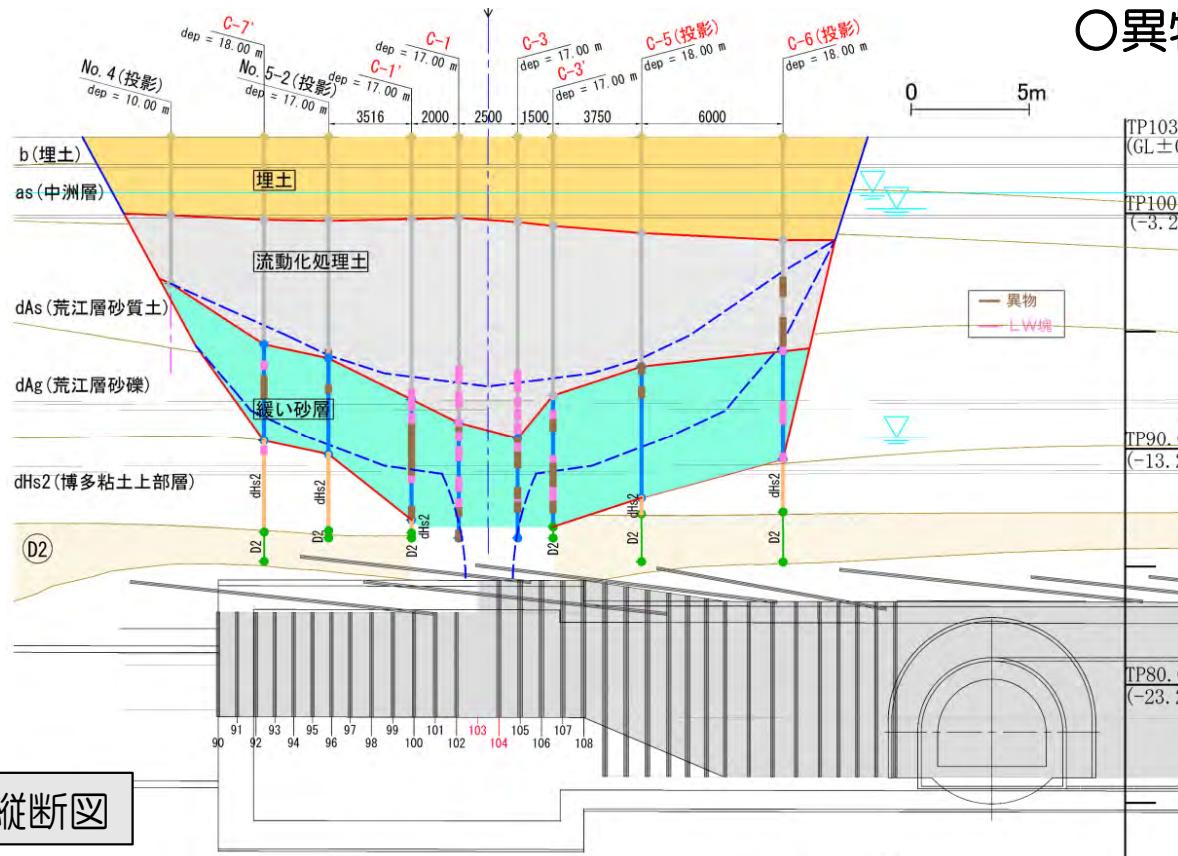
●透水係数K



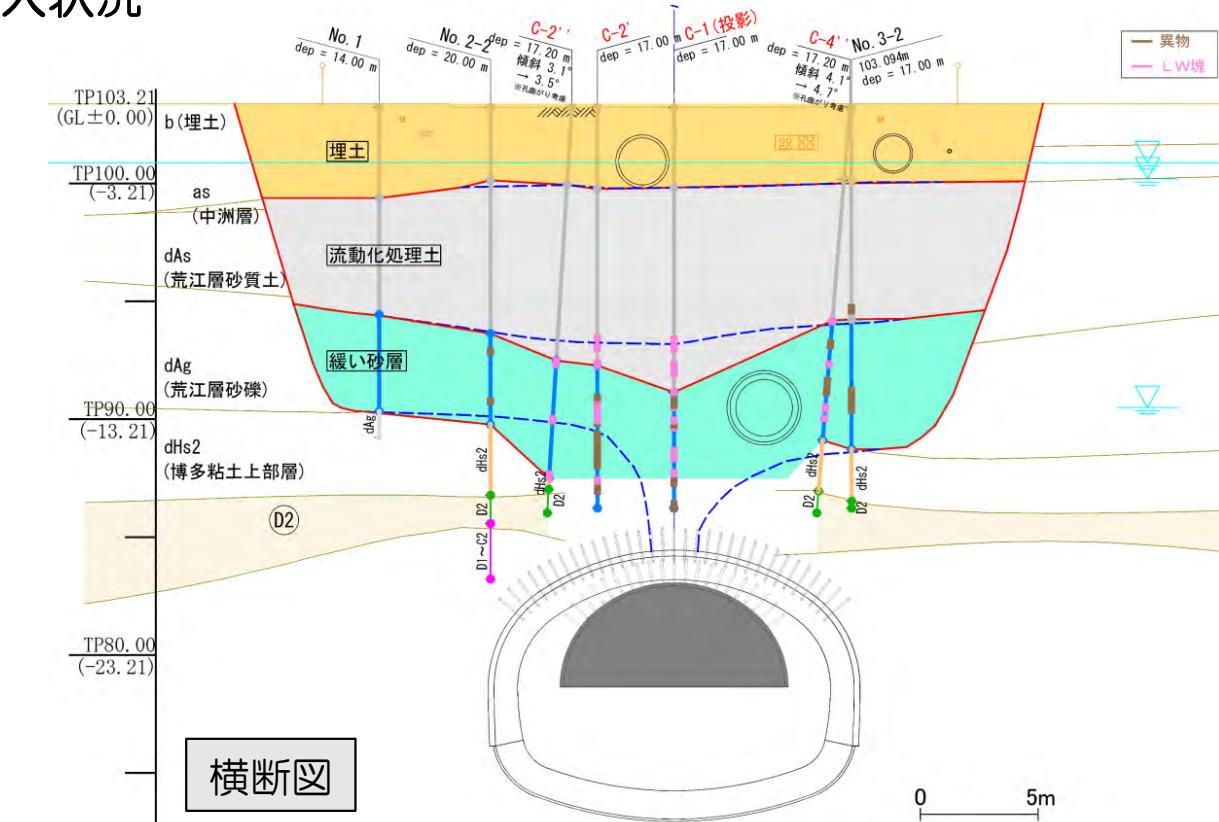
- 約81%以上は透水係数Kが 1.0×10^{-4} (cm/s)より大きい

(3) 各層の工学的評価

4) 緩い砂層の工学的評価



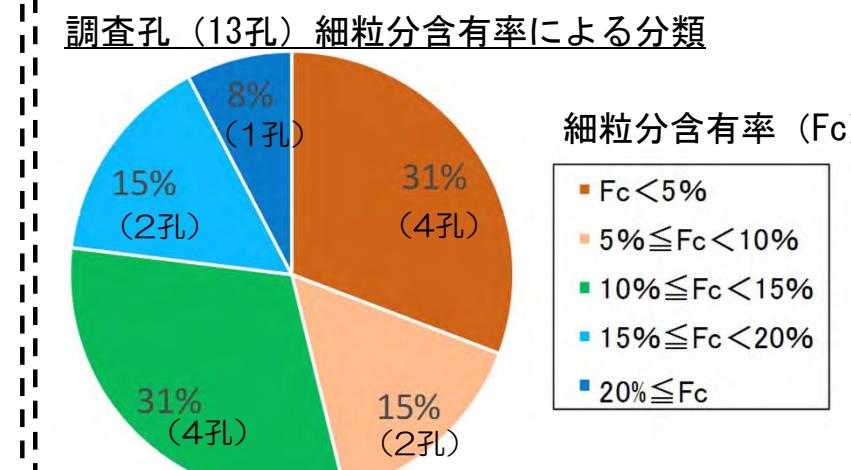
○異物等混入状況



●一覧表

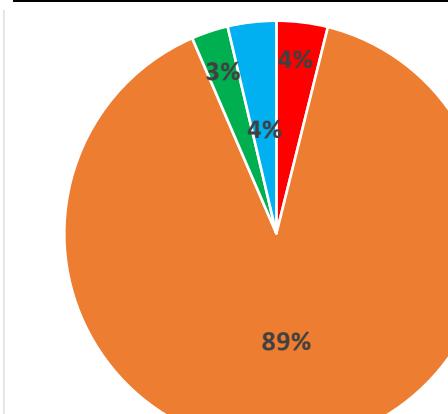
孔名	深度(GL -m)	粒度(%)					細粒分 Fc
		石	礫	砂	シルト	粘土	
C-1	15.0~15.3	0.0	1.0	75.1	18.2	5.7	23.9
C-2'	15.3~15.6	0.0	67.6	30.2	0.8	1.4	2.2
C-3	14.6~14.9	0.0	2.5	94.2	0.3	3.0	3.3
C-4''	13.9~14.2	0.0	1.4	80.1	14.8	3.7	18.5
C-5	12.8~13.1	0.0	3.9	89.6	2.8	3.7	6.5
C-6(1)	9.7~10.0	0.0	19.8	65.6	10.7	3.9	14.6
C-6(2)	13.1~13.4	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



- 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。

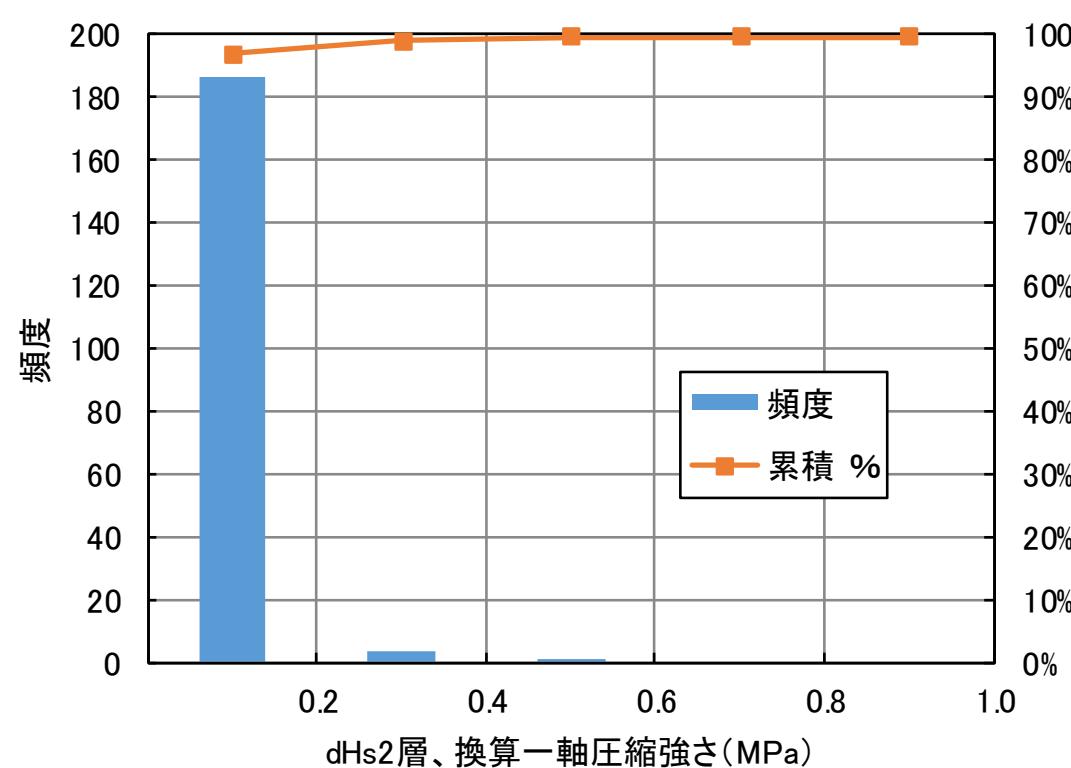
細粒分が少ない孔の粒度分布 (C-5)



(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 (a_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	弾性俊数(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】

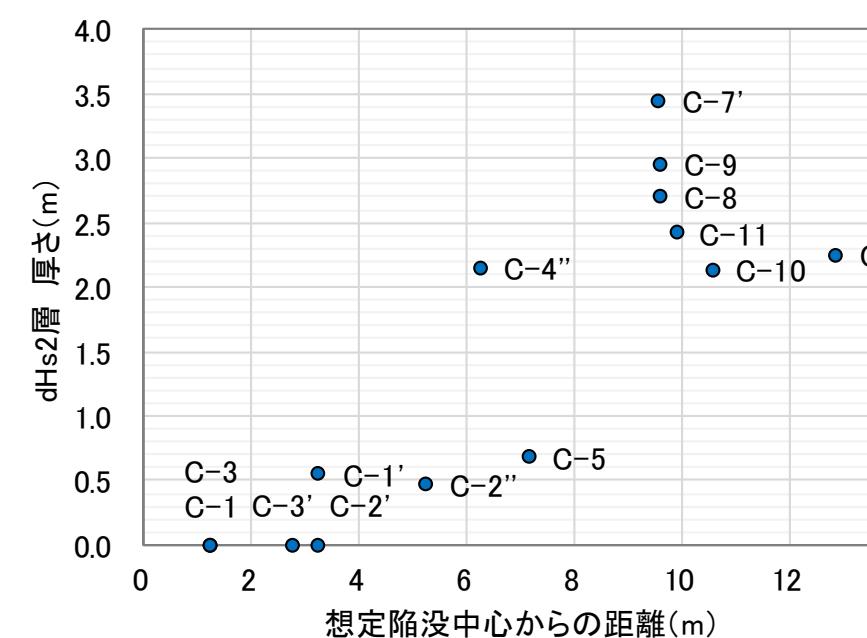
孔名	コア採取深度(GL.-m)	全応力		有効応力	
		粘着力(kN/m ²)	内部摩擦角(°)	粘着力(kN/m ²)	内部摩擦角(°)
C-8	-13.70～-16.20	15.2	25.7	4.66	38.86
C-9	-12.85～-18.50	59.0	16.5	4.54	36.68

【透水係数(ルジオントrial)結果】

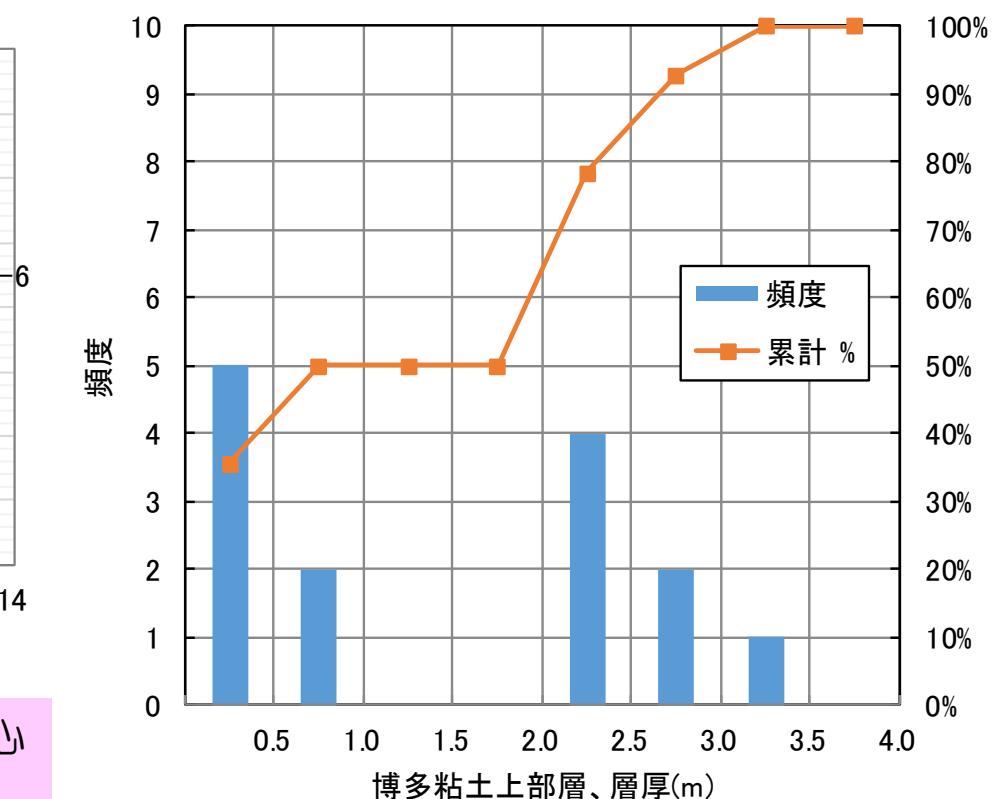
孔名	試験区間(GL.-m)	限界圧(MPa)	換算ルジオントrial値(Lu)	透水係数(cm/s)
S-4	-14.5～-15.20	0.06	17.97	1.36E-04

【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。

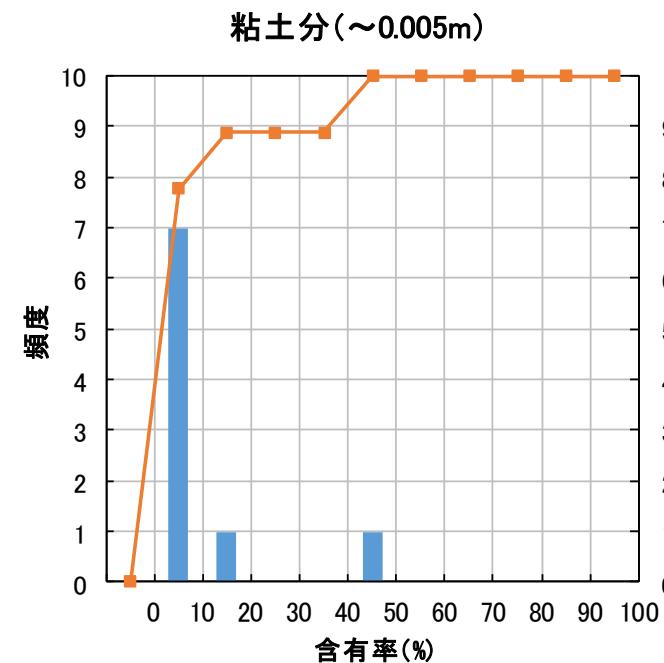
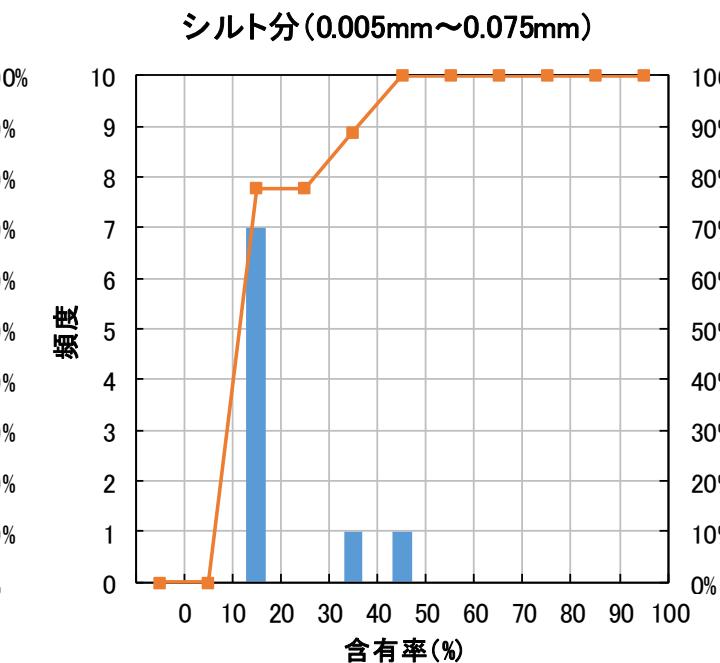
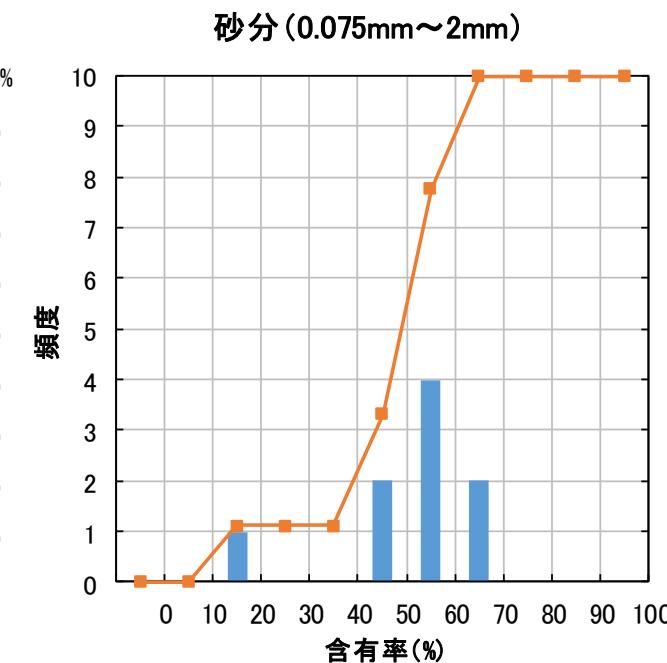
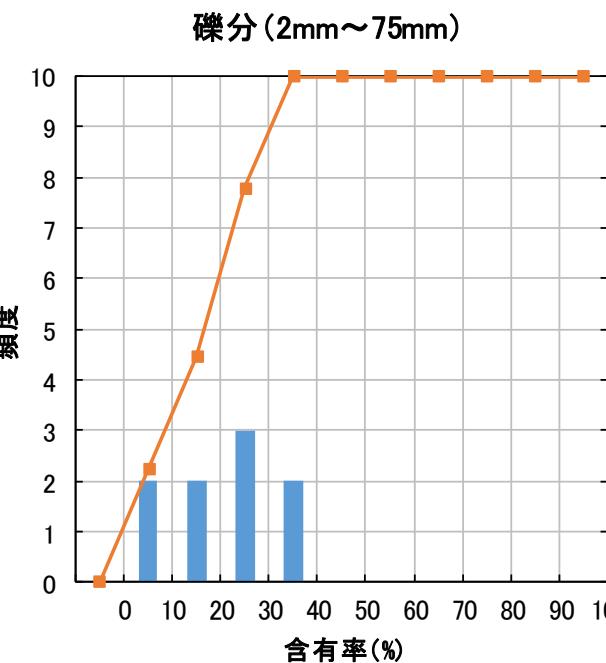


(3) 各層の工学的評価

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。

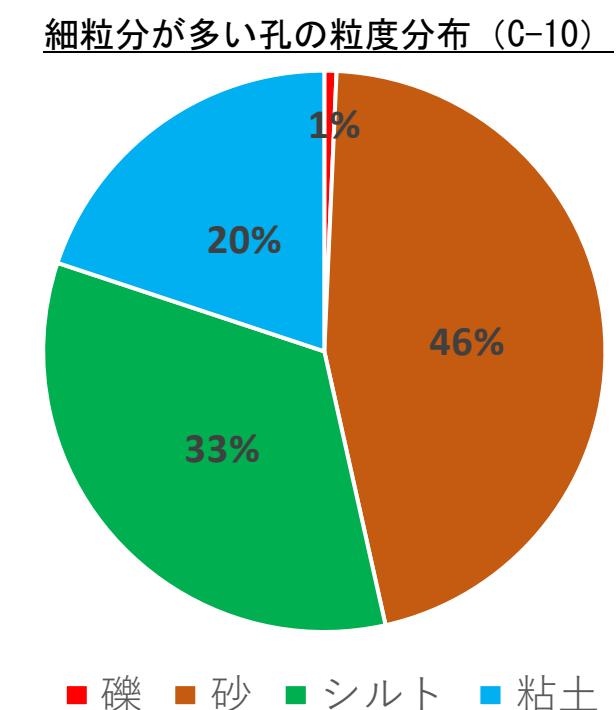
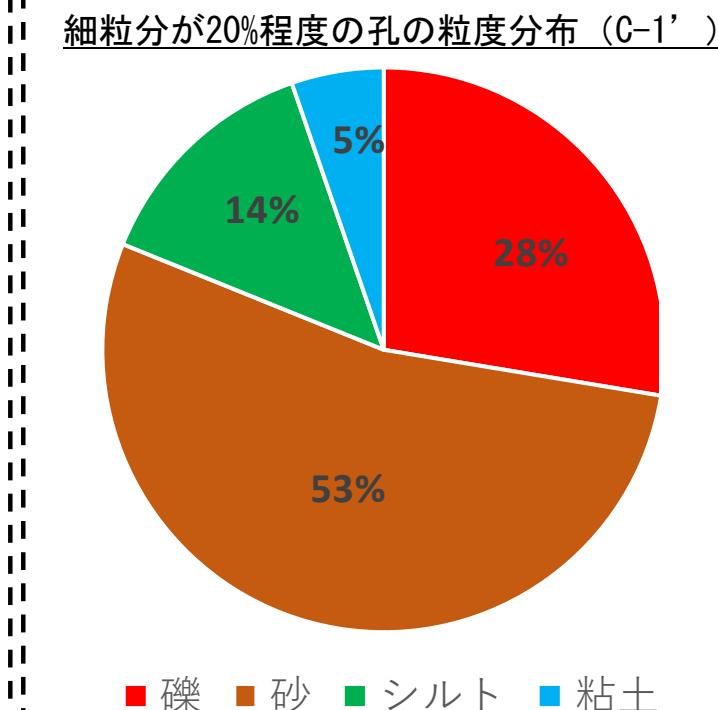
○粒度分布



●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。

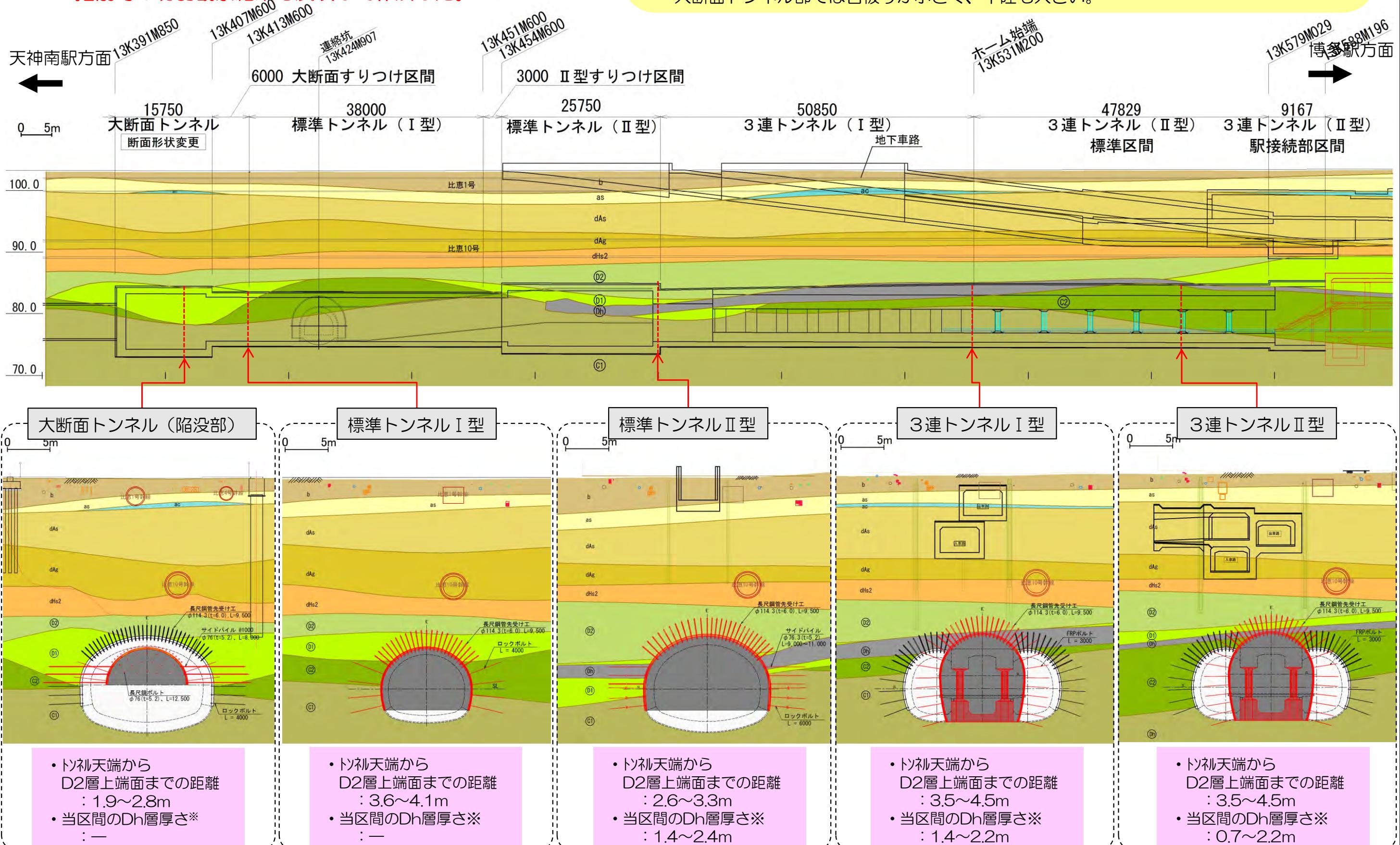
（4）博多駅工区における地層構成の推定

(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

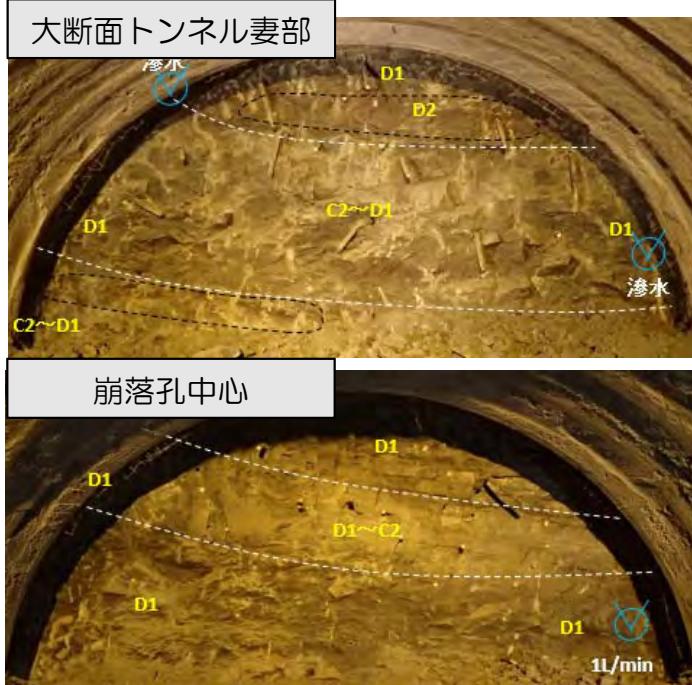
*当該地質モデルは、既存および今回の地質調査結果のほか、
掘削時の切羽観察結果も反映して作成した。



*トンネルセンターでの厚さ

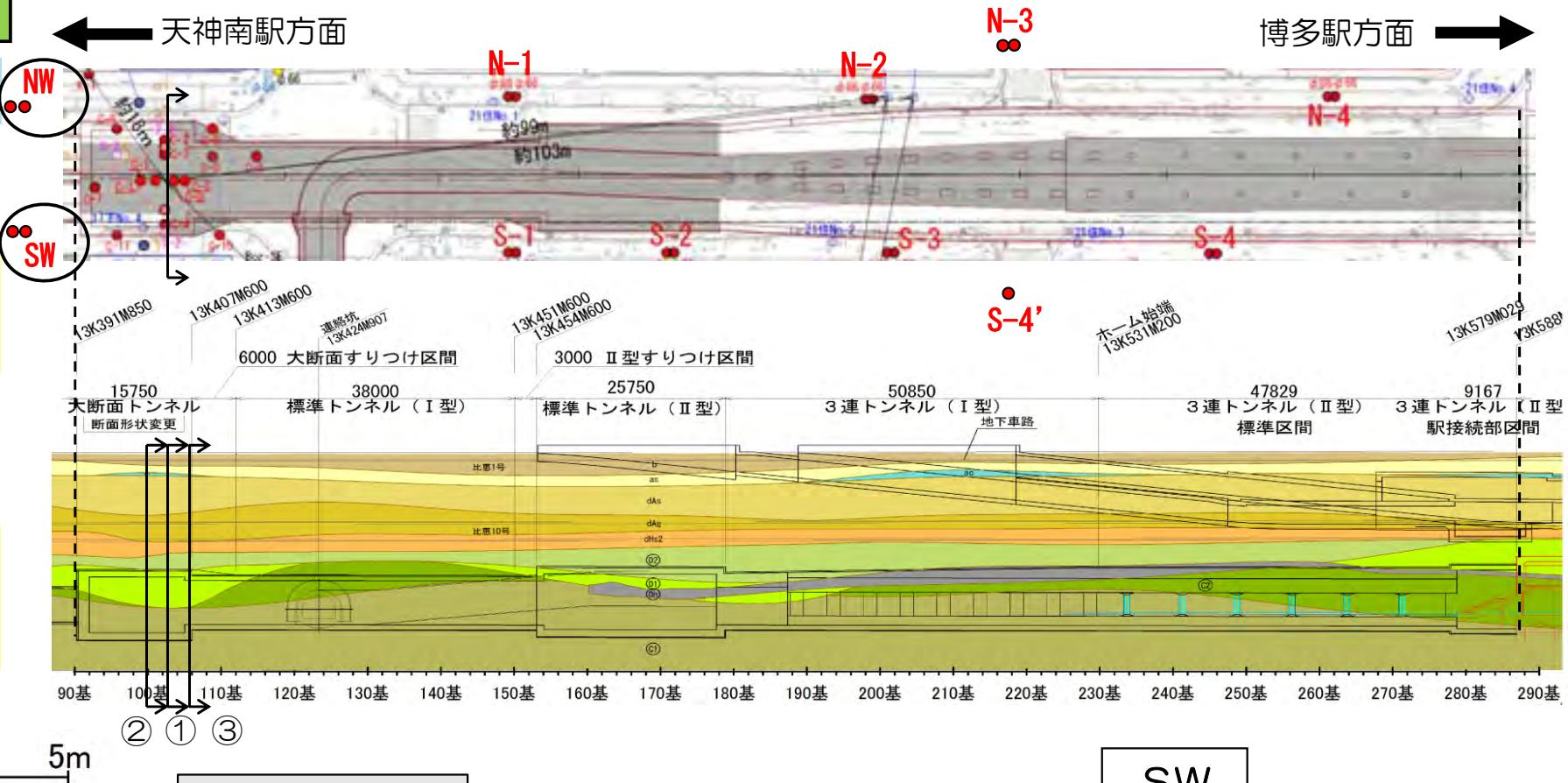
(4) 博多駅工区における地層構成の推定

2) 各断面の地層構成（大断面トンネル①）

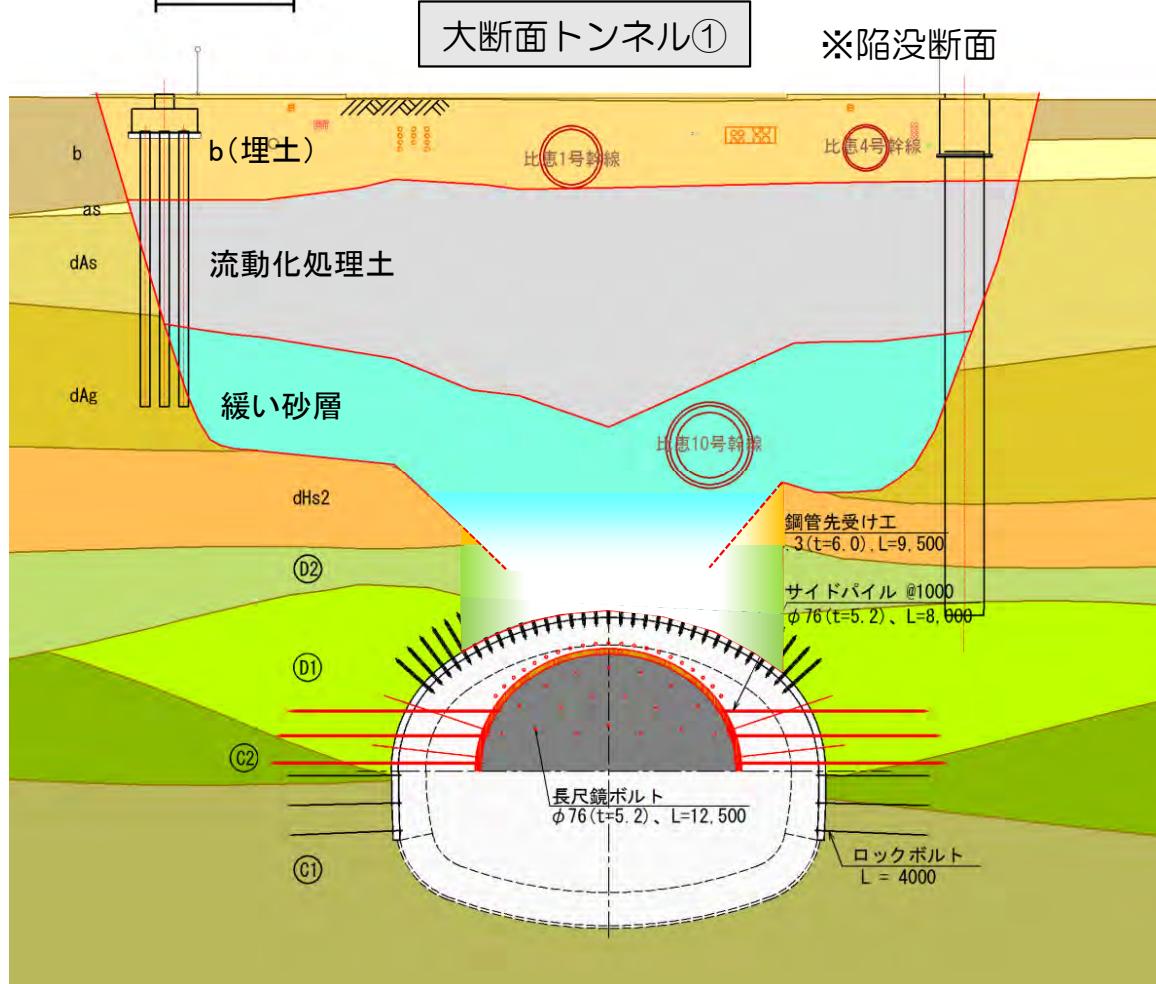


90基（先進導坑）
：破碎、肌落ち有
切羽安定
湧水はにじみ程度

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



【強風化頁岩（D2）】 トレンチ天端から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

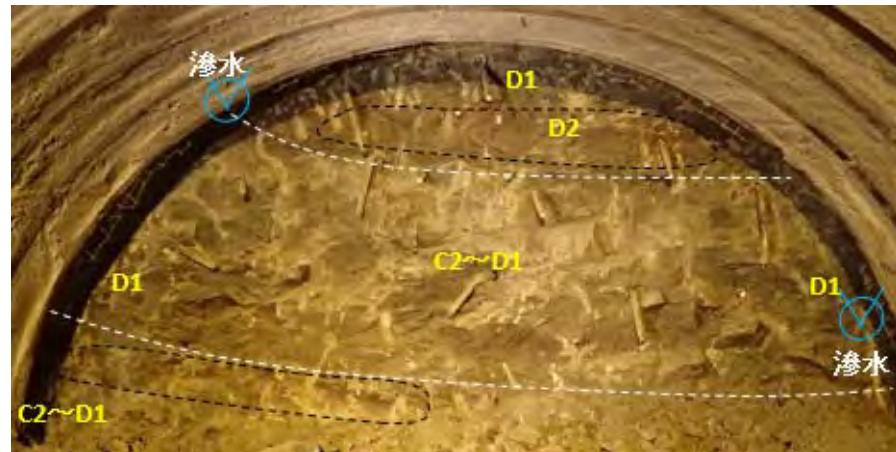
SW



(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

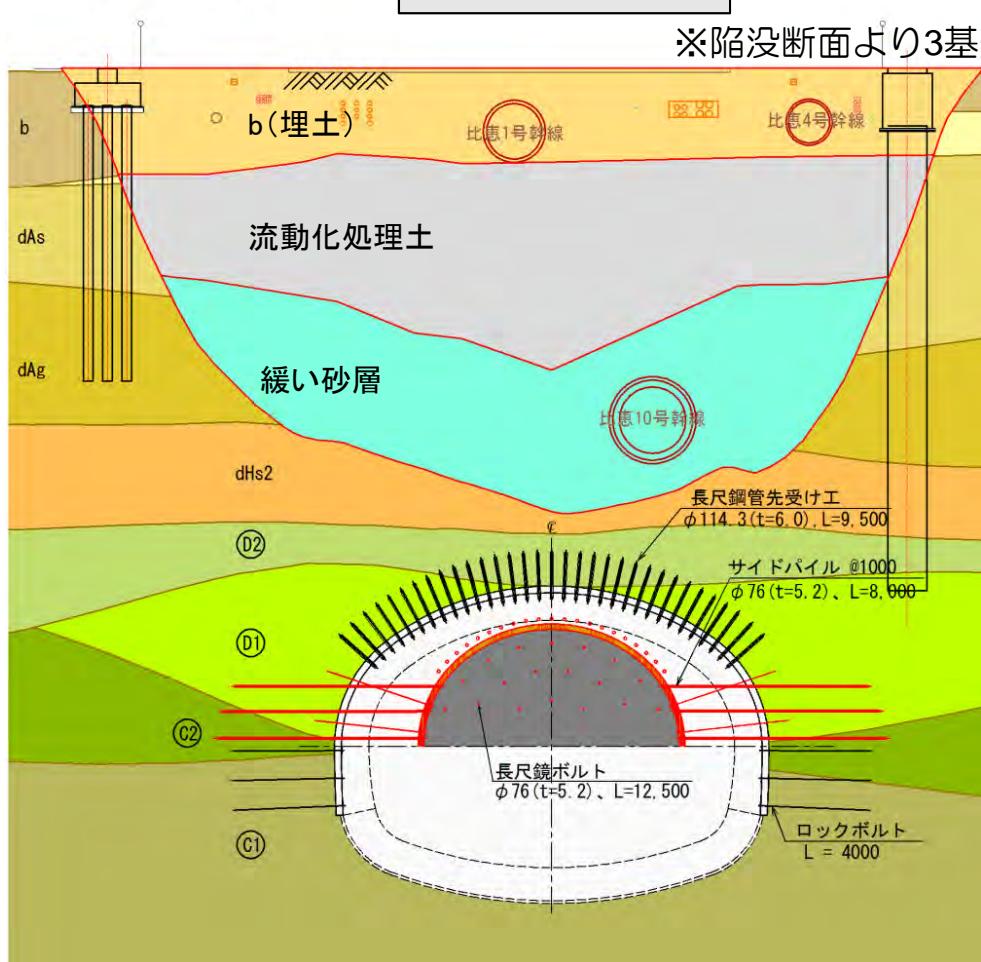


105基（上半拡幅）
：破碎、肌落ち有
天端が強風化
切羽安定、湧水はにじみ程度

0 5m

大断面トンネル②

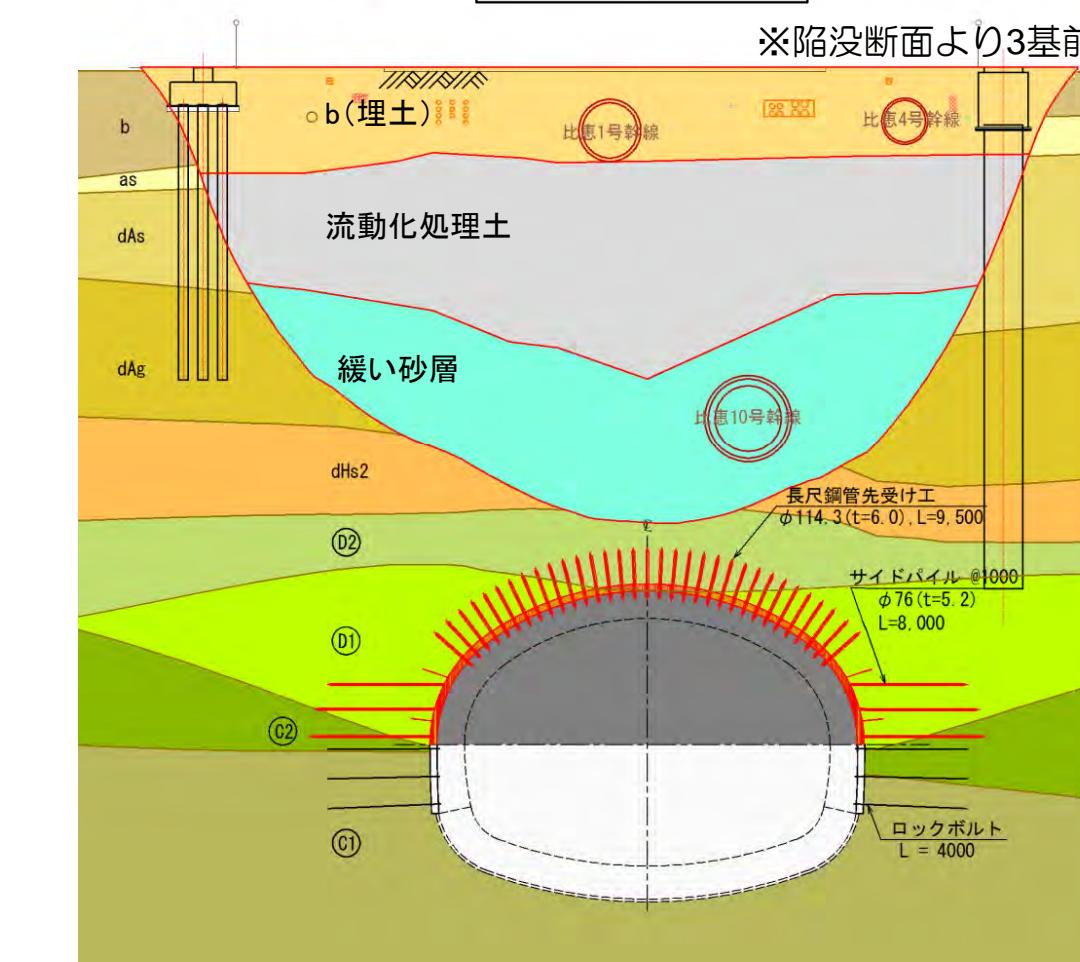
※陥没断面より3基先



0 5m

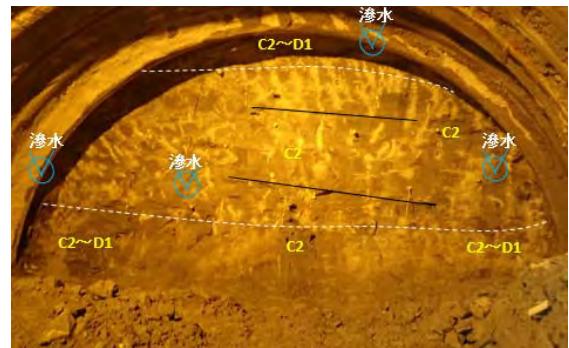
大断面トンネル③

※陥没断面より3基前

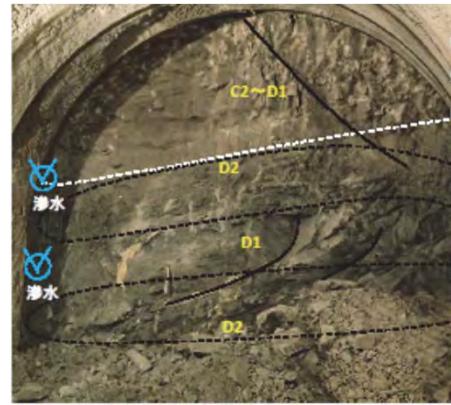


(4) 博多駅工区における地層構成の推定

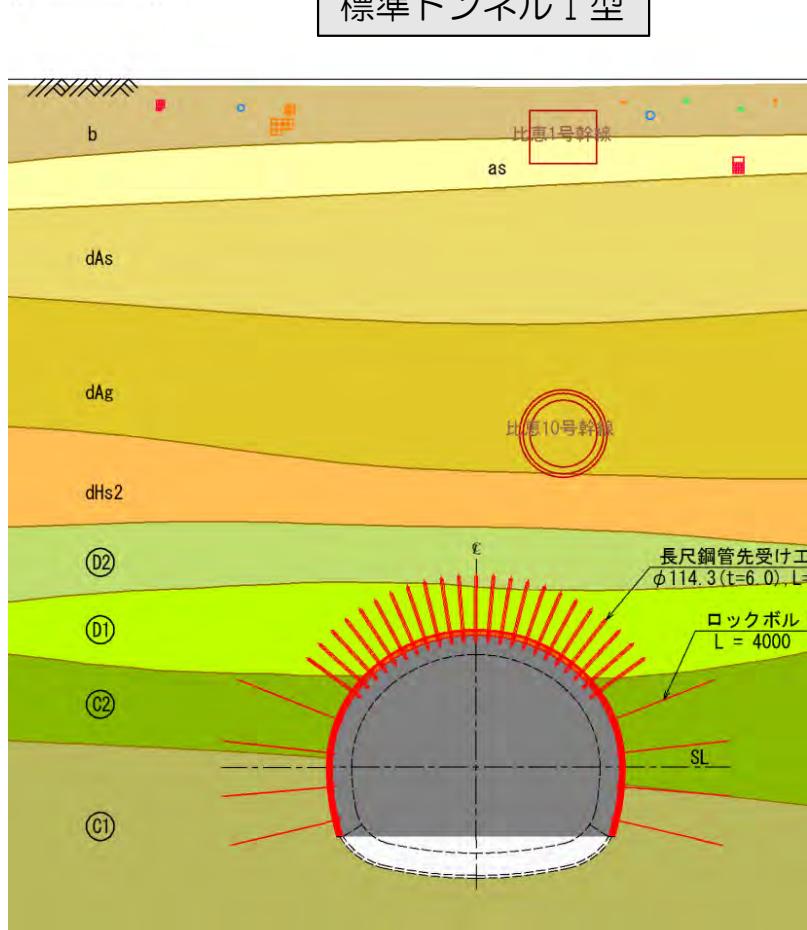
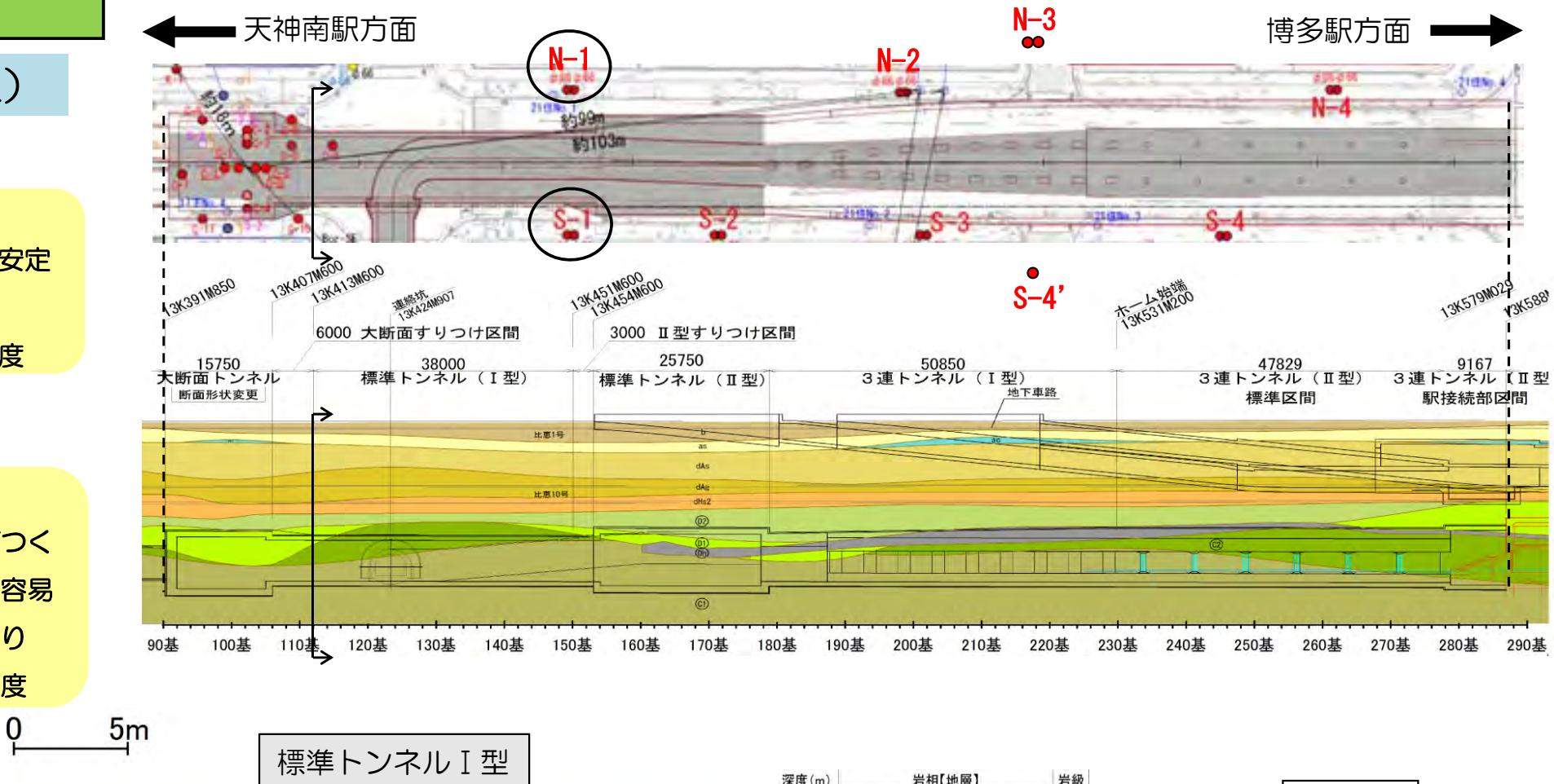
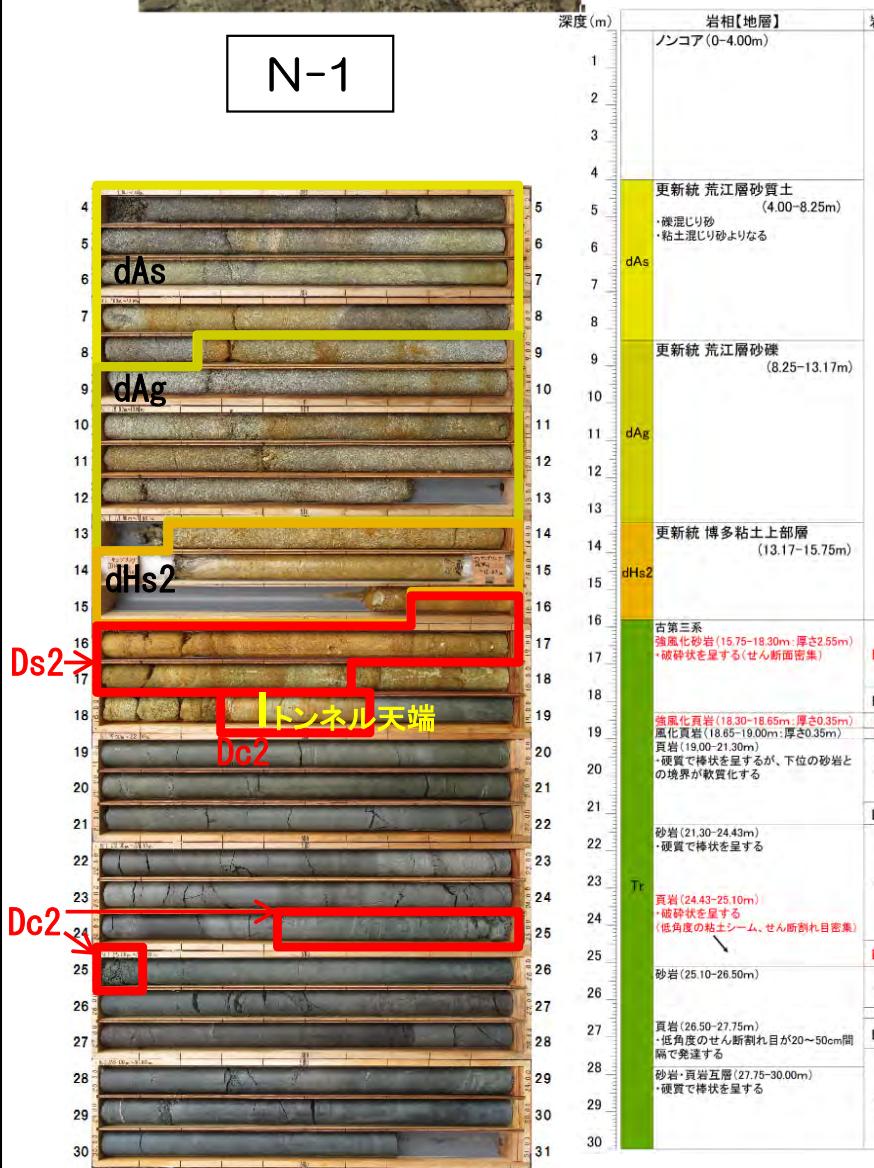
2) 各断面の地層構成（標準トンネルⅠ型）



116基
:亀裂発達、切羽安定
肌落ち有
湧水はにじみ程度

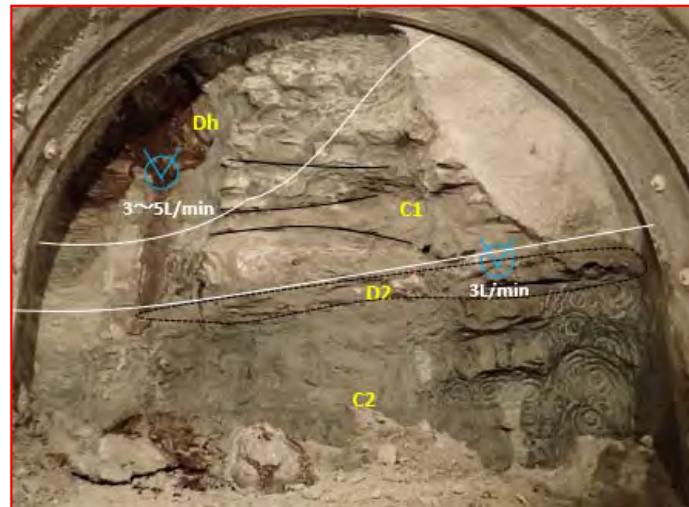


140基
:上部ノミあとがつく
中央・下部掘削容易
中央部流れ目あり
湧水はにじみ程度

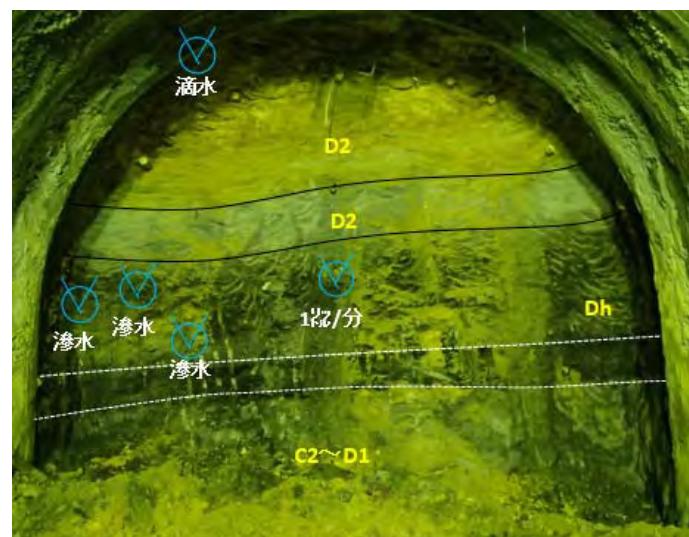


(4) 博多駅工区における地層構成の推定

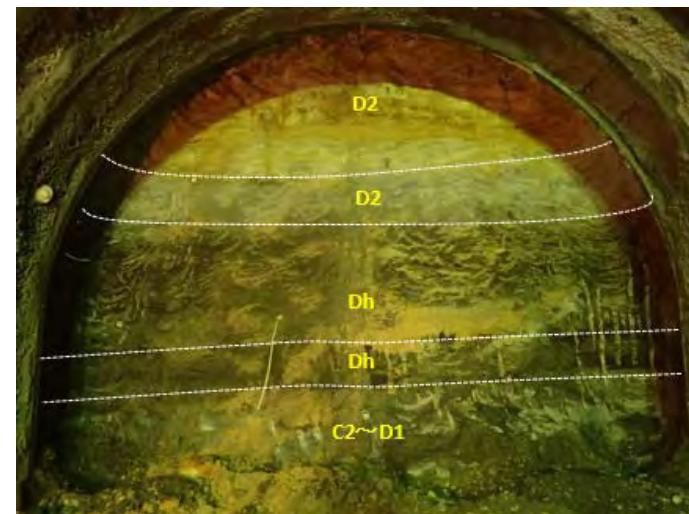
2) 各断面の地層構成（標準トンネルⅡ型）



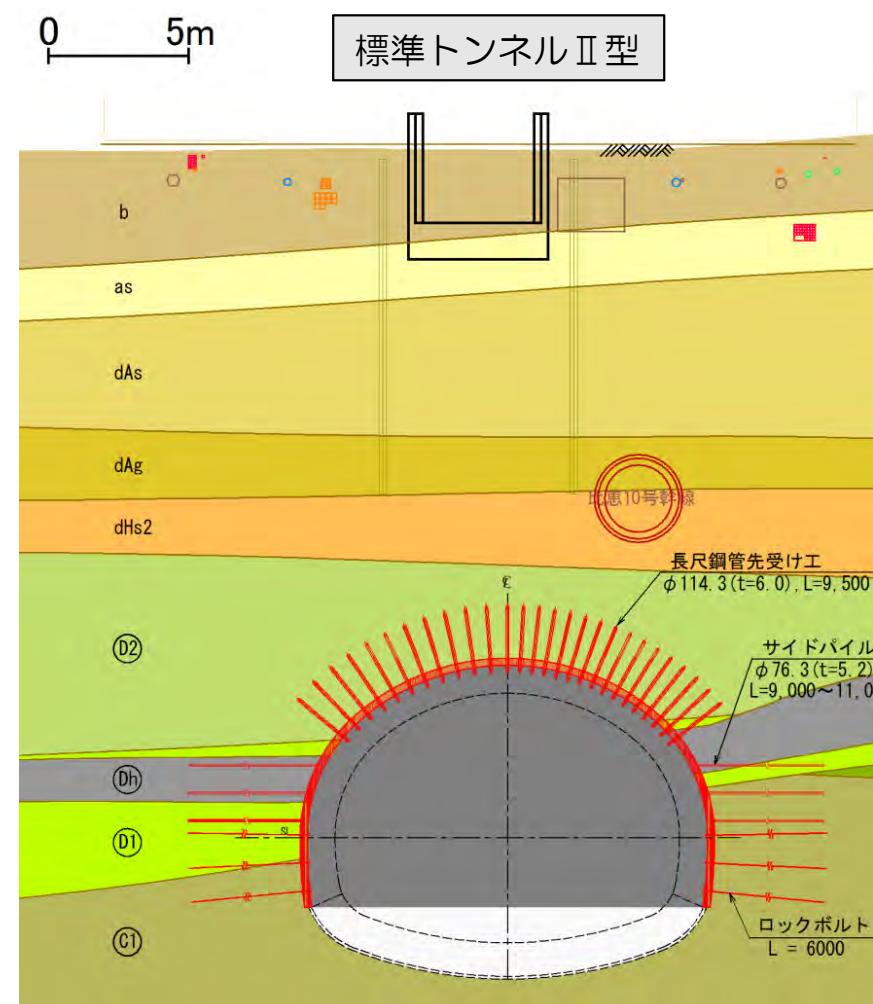
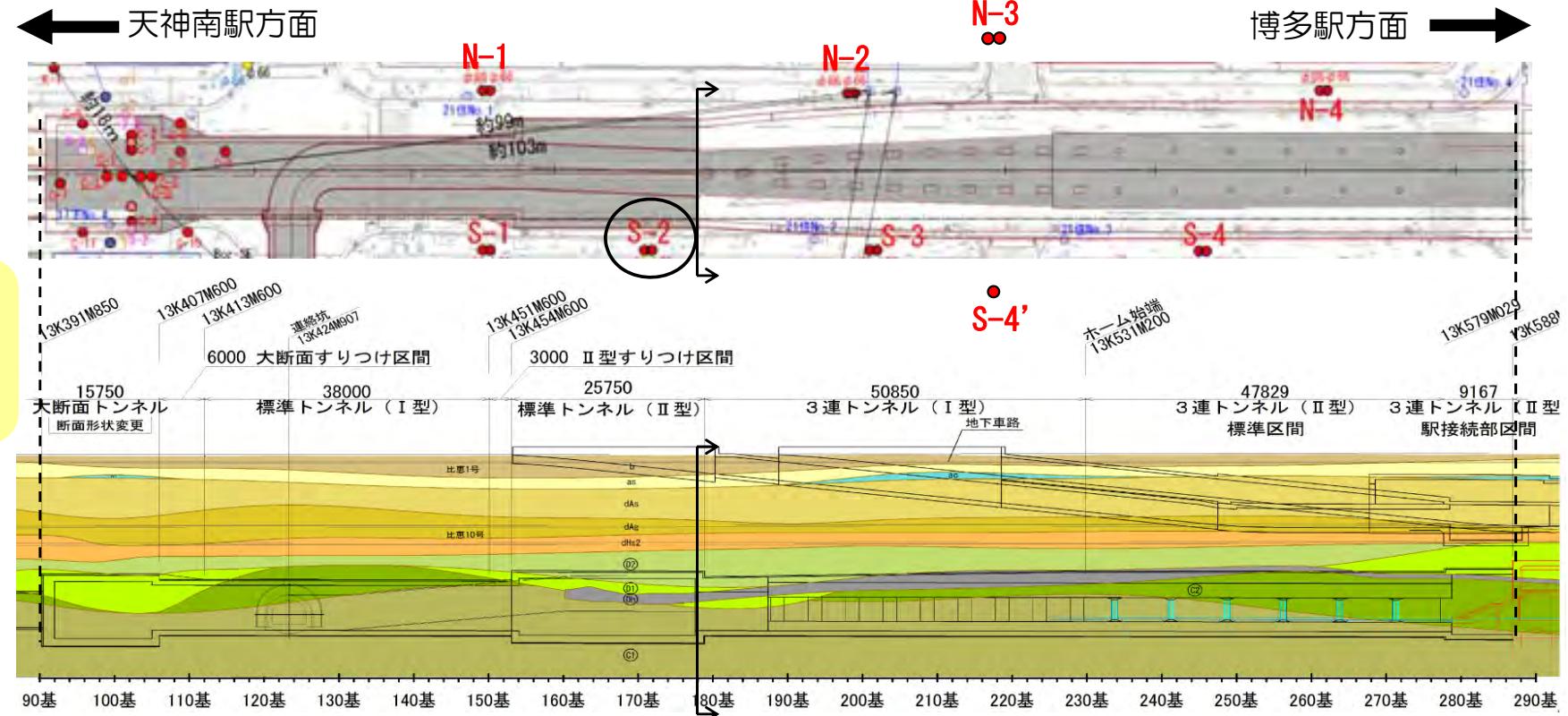
158基（標準Ⅱ型起点）
：硬い頁岩背面から破碎
された炭質頁岩出現



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



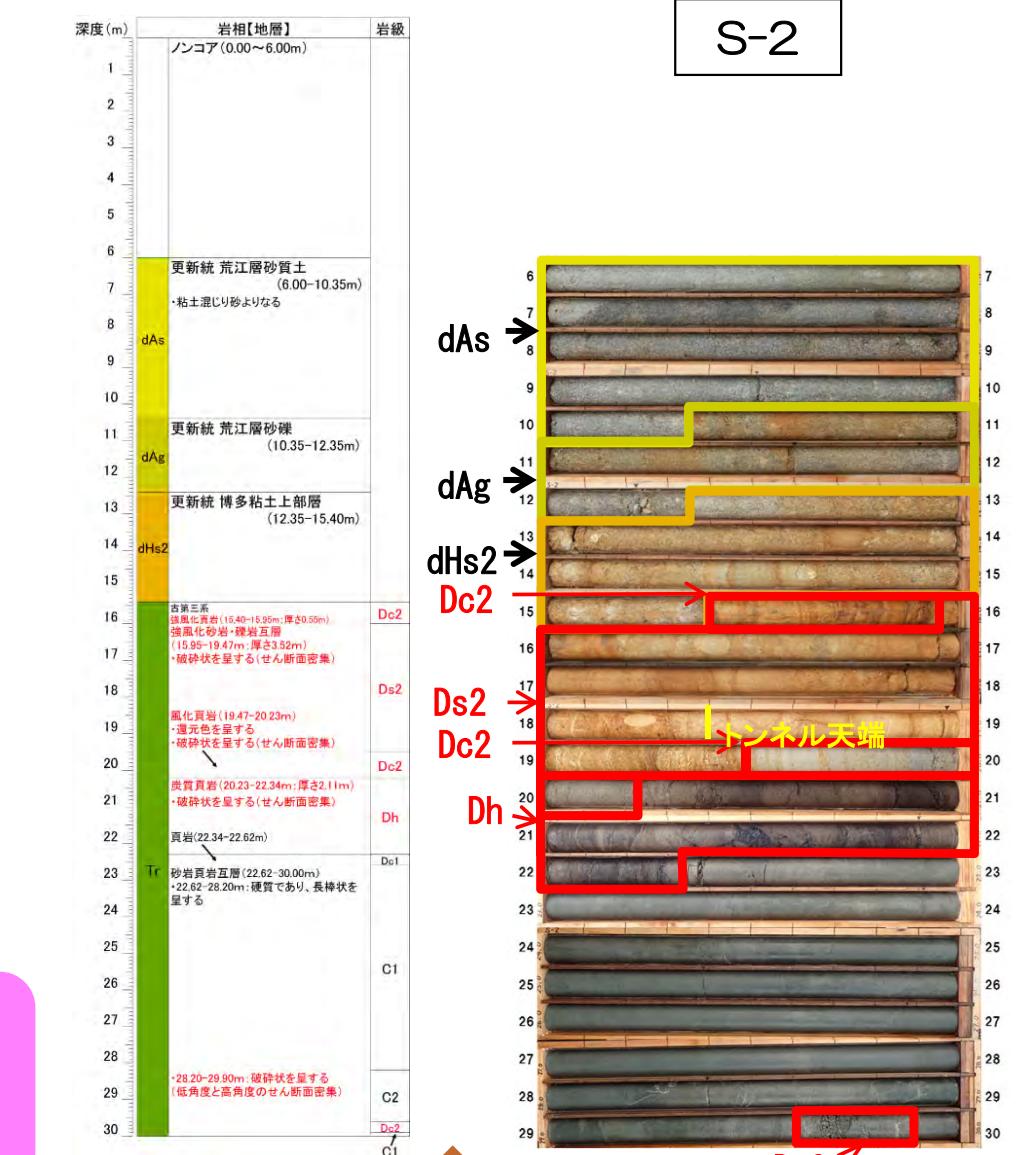
180基：掘削直後から肌落ち、非常に軟質
切羽不安定、中央部に炭質頁岩



【強風化頁岩（D2）】 トネル天端からD2上端面までの距離

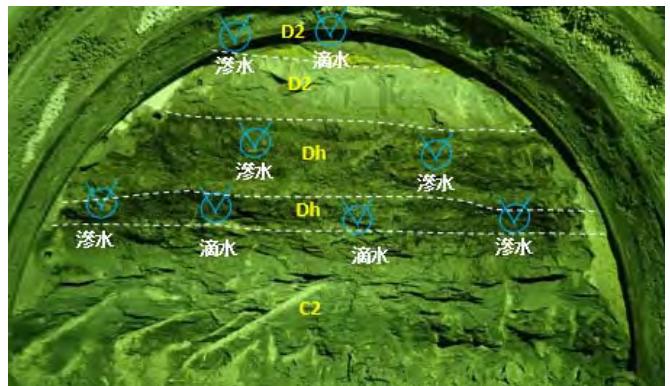
: 2.6m~3.3m

【炭質頁岩（Dh）】 中央坑切羽（158基～）で確認

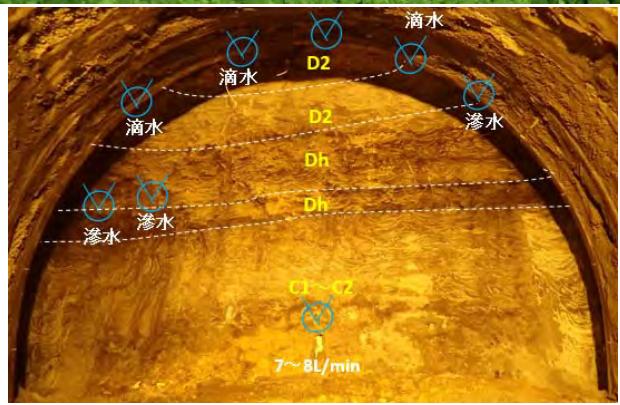


(4) 博多駅工区における地層構成の推定

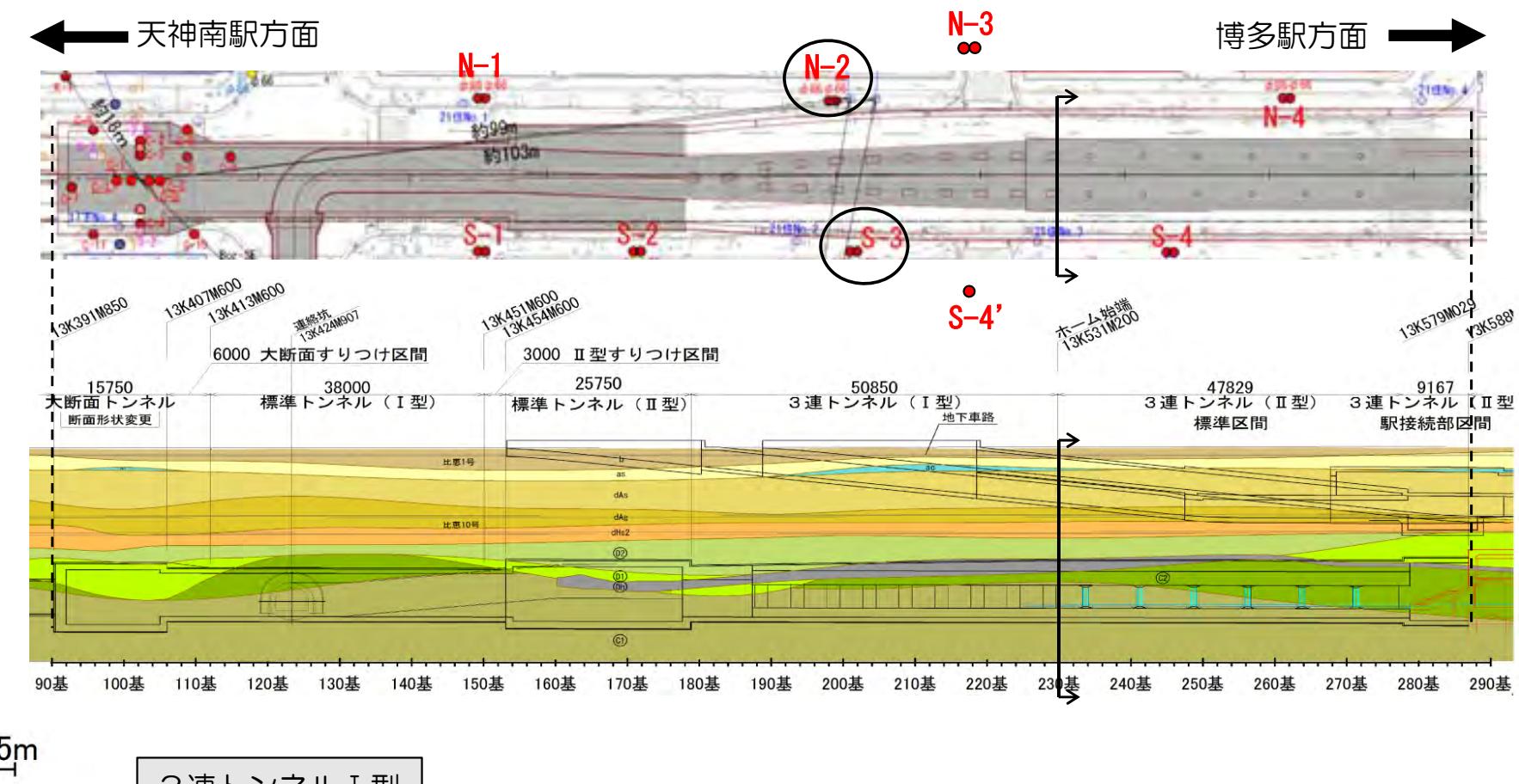
2) 各断面の地層構成 (3連トンネルⅠ型)



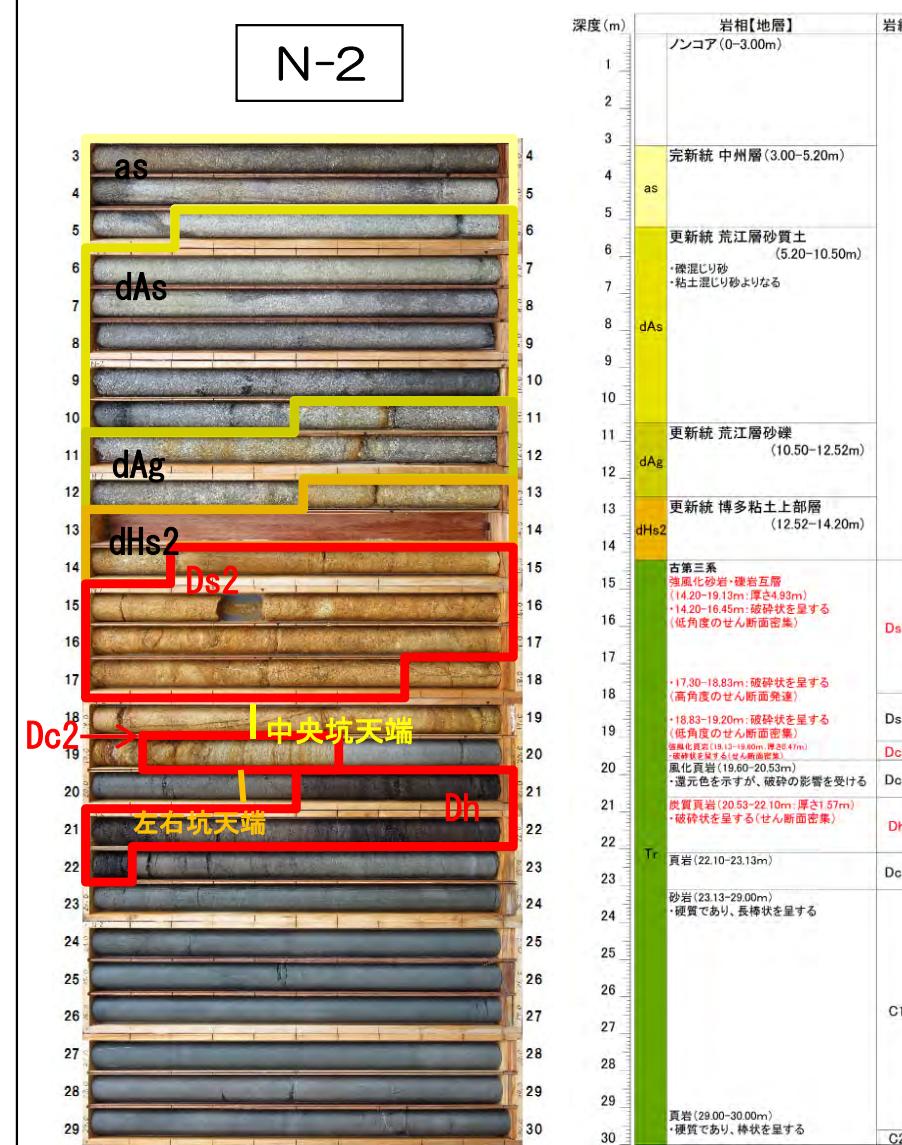
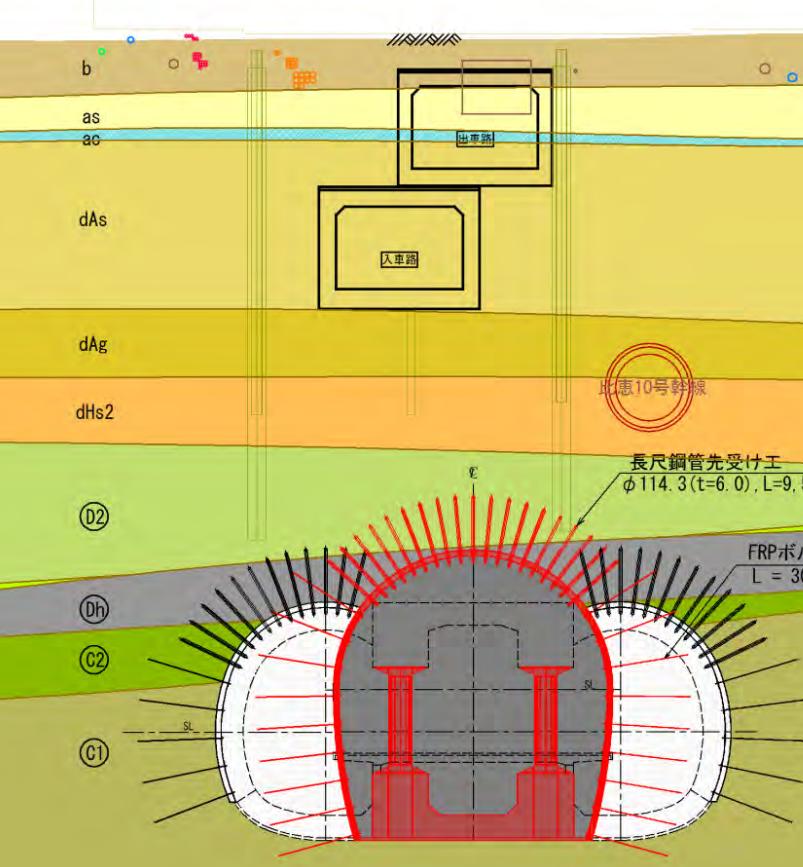
204基
:天端肌落ち
掘削すりが土砂状
下部はややしっかり



208基
:天端肌落ち
掘削すりが土砂状
下部はややしっかり



3連トンネルⅠ型

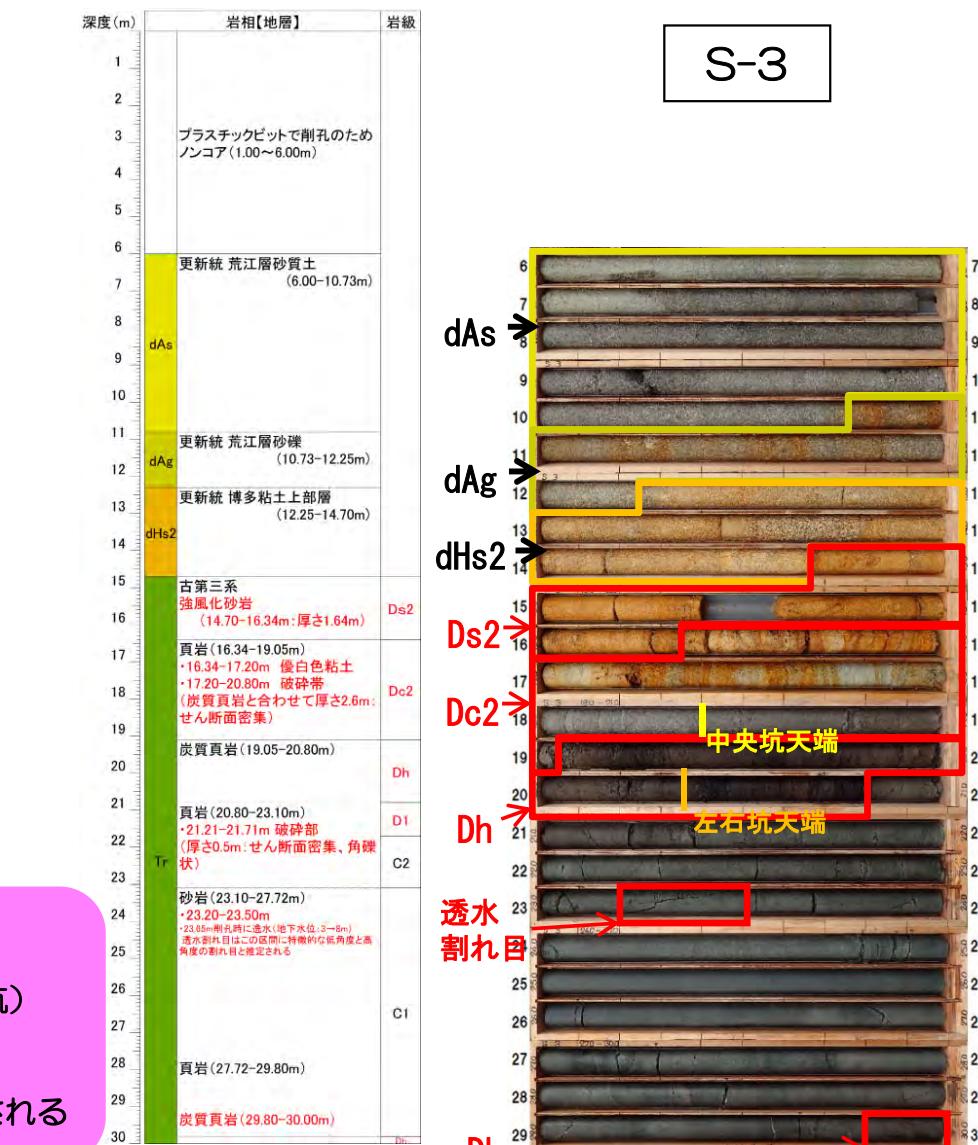


【強風化頁岩(D2)】トド天端からD2上端面までの距離

: 3.5~4.5m (中央坑) 5.6~6.1m (左右坑)

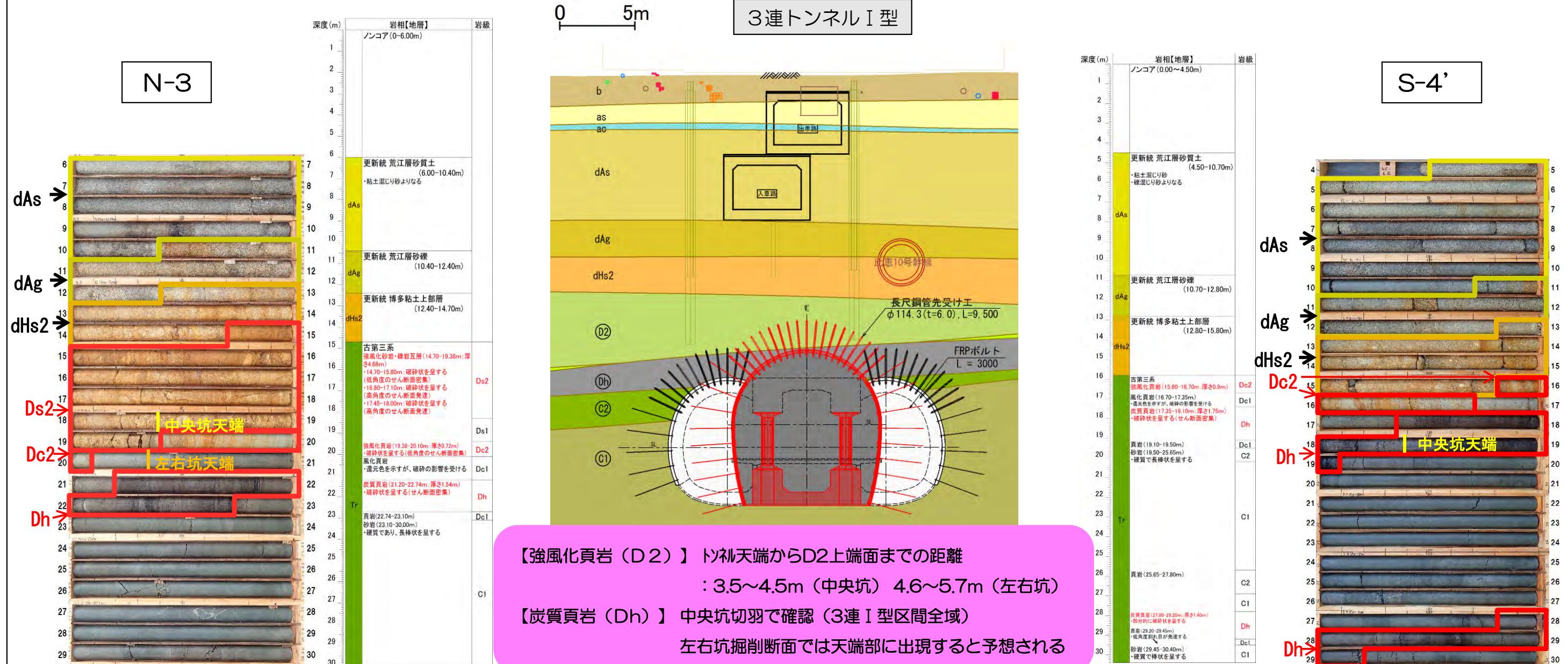
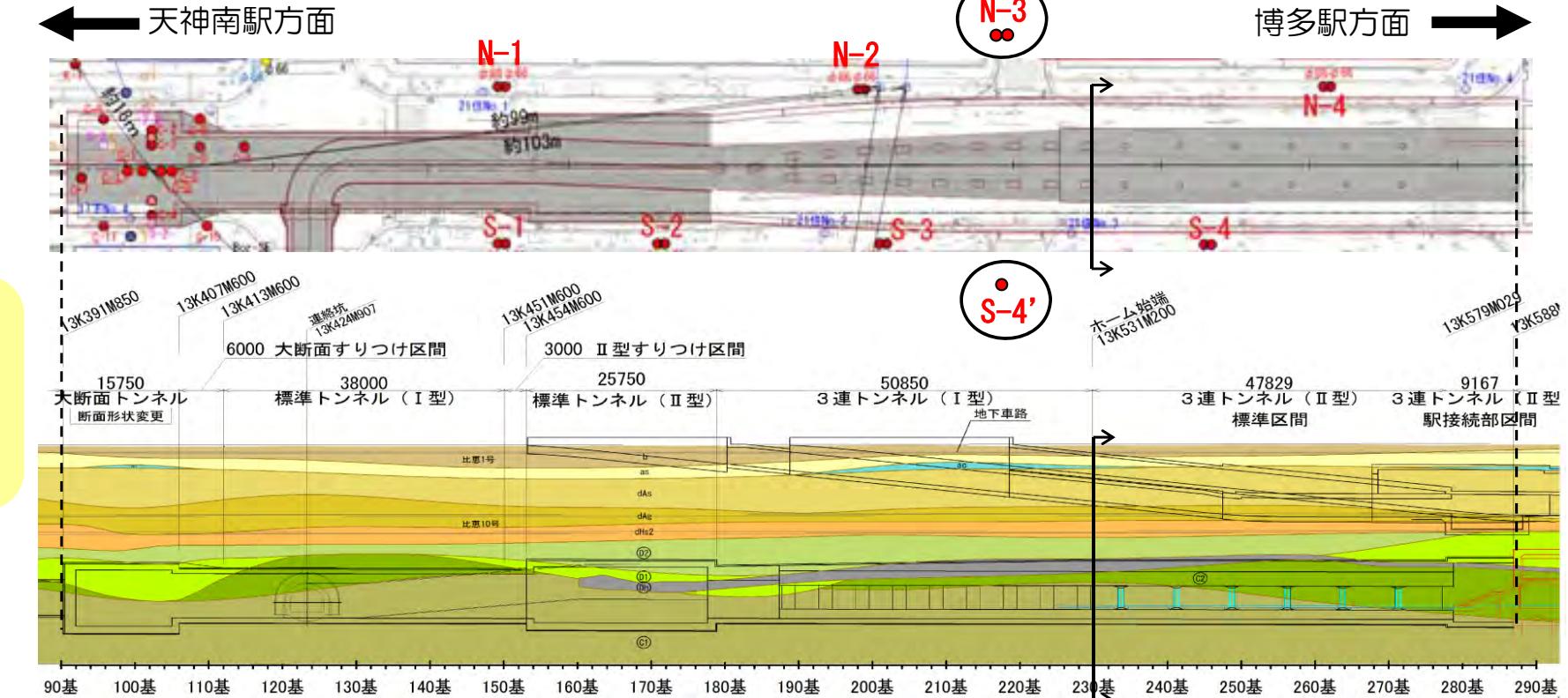
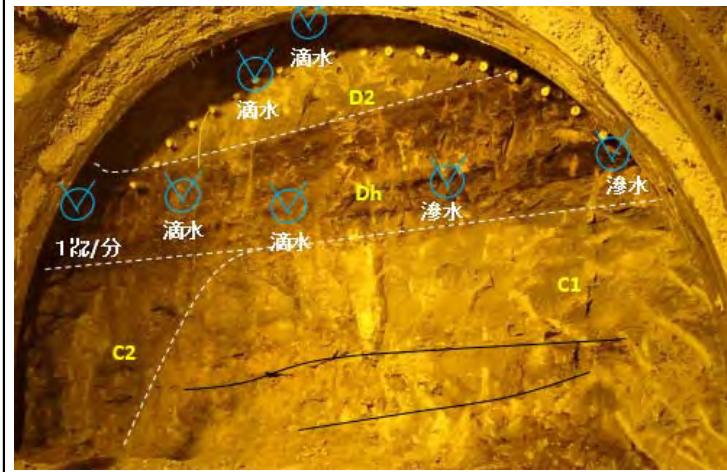
【炭質頁岩(Dh)】中央坑切羽で確認 (3連I型区間全域)

左右坑掘削断面では天端部に出現すると予想される



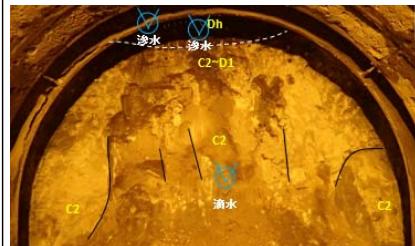
(4) 博多駅工区における地層構成の推定

2) 各断面の地層構成 (3連トンネルⅠ型)



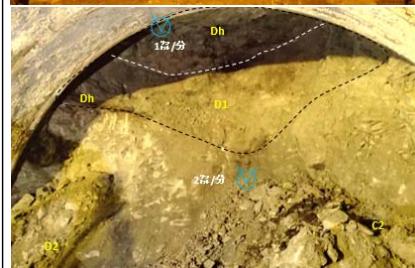
(4) 博多駅工区における地層構成の推定

2) 各断面の地層構成（3連トンネルⅡ型）



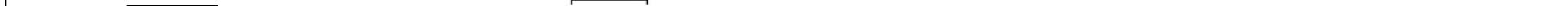
255基

：天端Dh脆弱・破碎・肌落ち
中央部～下部は縦割れ目

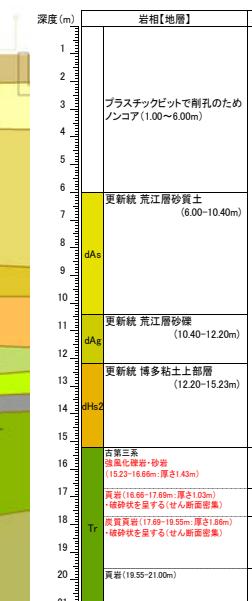
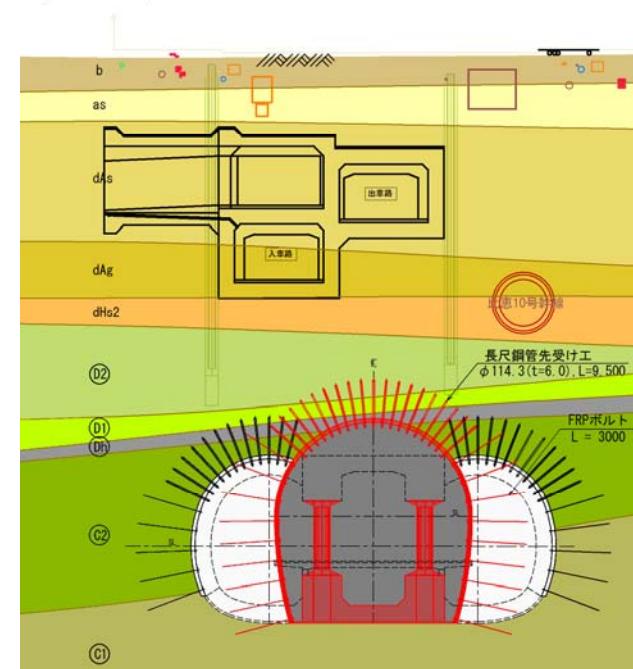
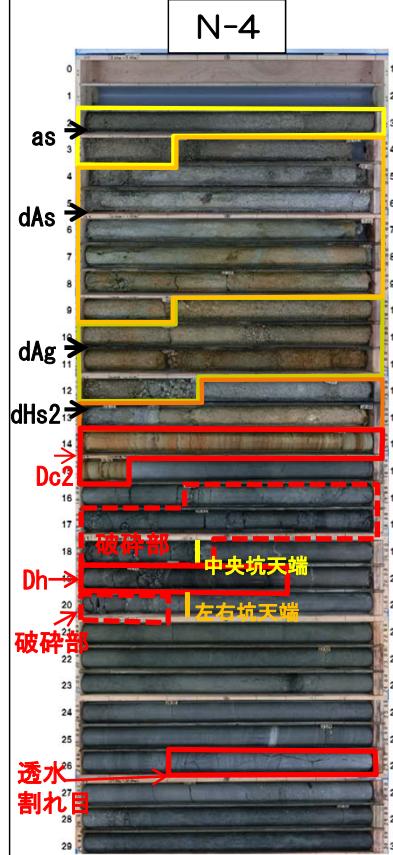


265基

：上部破碎
掘削すりが土砂状
全面的に強度低下



0 5m



【強風化頁岩(D2)】トヅリ天端から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、8.35×10⁻⁷~7.54×10⁻⁵cm/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
- 透水係数Kは、8.29×10⁻⁷~1.72×10⁻⁵cm/s
- 内部摩擦角φ'は、20~46°
- 粘着力c'は、0~69kN/m²
- せん断強度τは、120~197kN/m²で分布。

○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(a_u)が1.0MPa以上。
- 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。
- 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Kは、2.31×10⁻⁵~2.78×10⁻⁴cm/s

⑤ 緩い砂層の工学的評価

- 約79%は換算一軸強度(a_u)が、1.0MPa以下。
- 局所的に換算一軸強度(a_u)が、2.0MPa以上が存在。
- 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。
- 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(a_u)が全て0.6MPa以下。
- 强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。