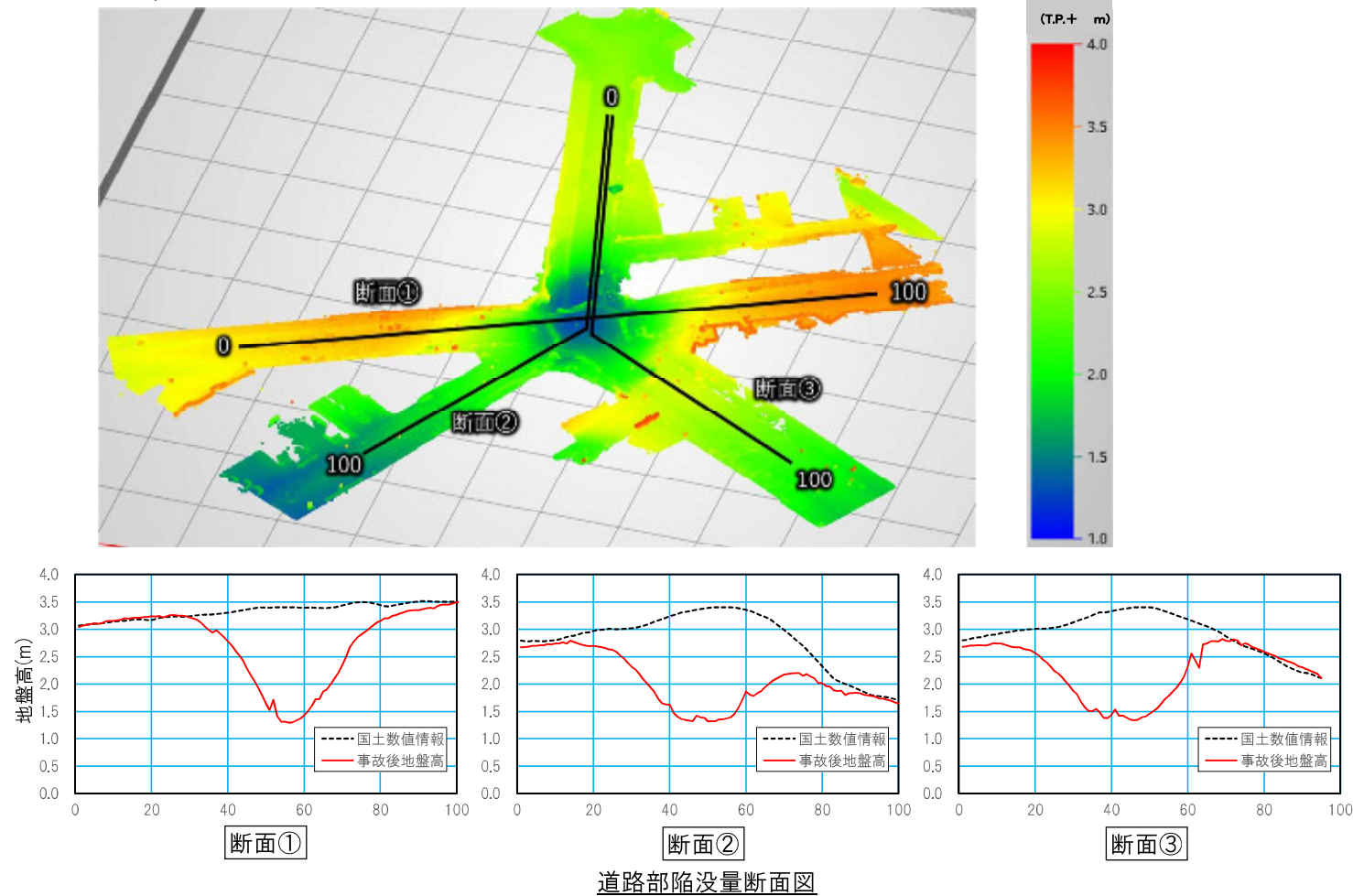


4. 2 事故直後の陥没量について

(1) 道路部陥没量

事故直後の現地点群データを Matterport で計測(9/27 7時頃計測)し、これを基に道路部の陥没量を推定する。

【Matterport 計測結果】



【道路部陥没量推定】

基盤地図情報（数値標高モデル）の5mメッシュ地盤高と事故後点群データとの差分を陥没量として推定する。道路部のみ抽出して道路部の陥没量を集計する。

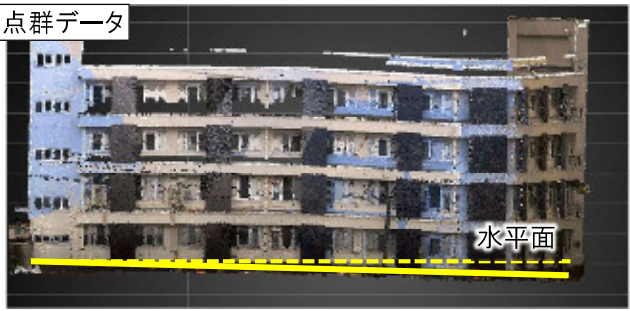
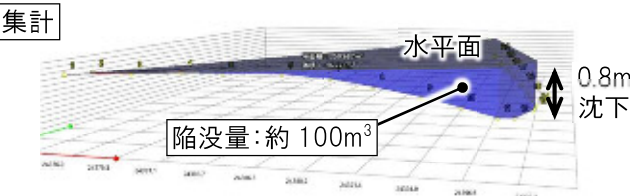
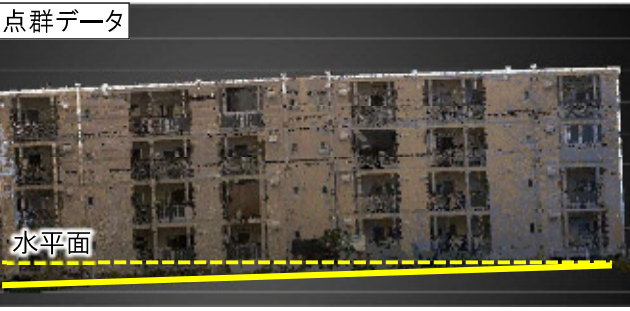
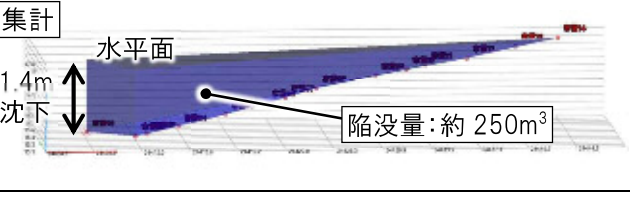
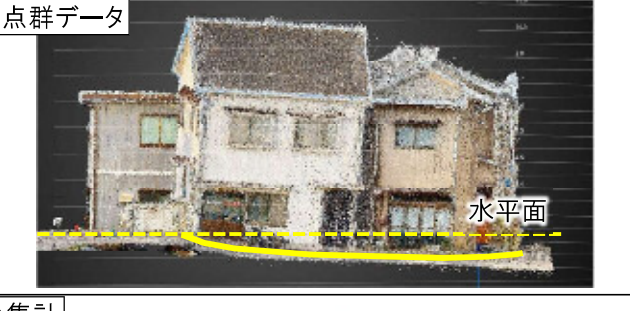
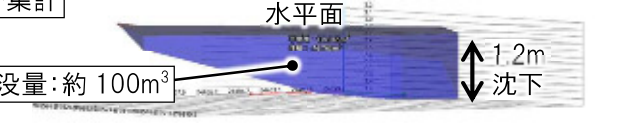
道路部陥没量

約 1,500m³



(2) 建屋の陥没量

周辺建屋（運送会社事務所、市営住宅、民家）の点群データより建屋下の陥没量を推定する。算出方法は、事故前は建屋が水平であったと想定し、事故後の建屋点群データとの差分を陥没量とする。

運送会社事務所	建屋点群データ		
	差分集計		事務所陥没量 約 100m ³ 流動化処理土空洞充填 約 50m ³
市営住宅	建屋点群データ		
	差分集計		市営住宅陥没量 約 250m ³
民家	建屋点群データ		
	差分集計		民家陥没量 約 100m ³

(3) 全体の推定陥没量

道路部及び建屋下、民家の陥没量、建物床下空洞への流動化処理土量を足し合わせると、

全体の想定陥没量

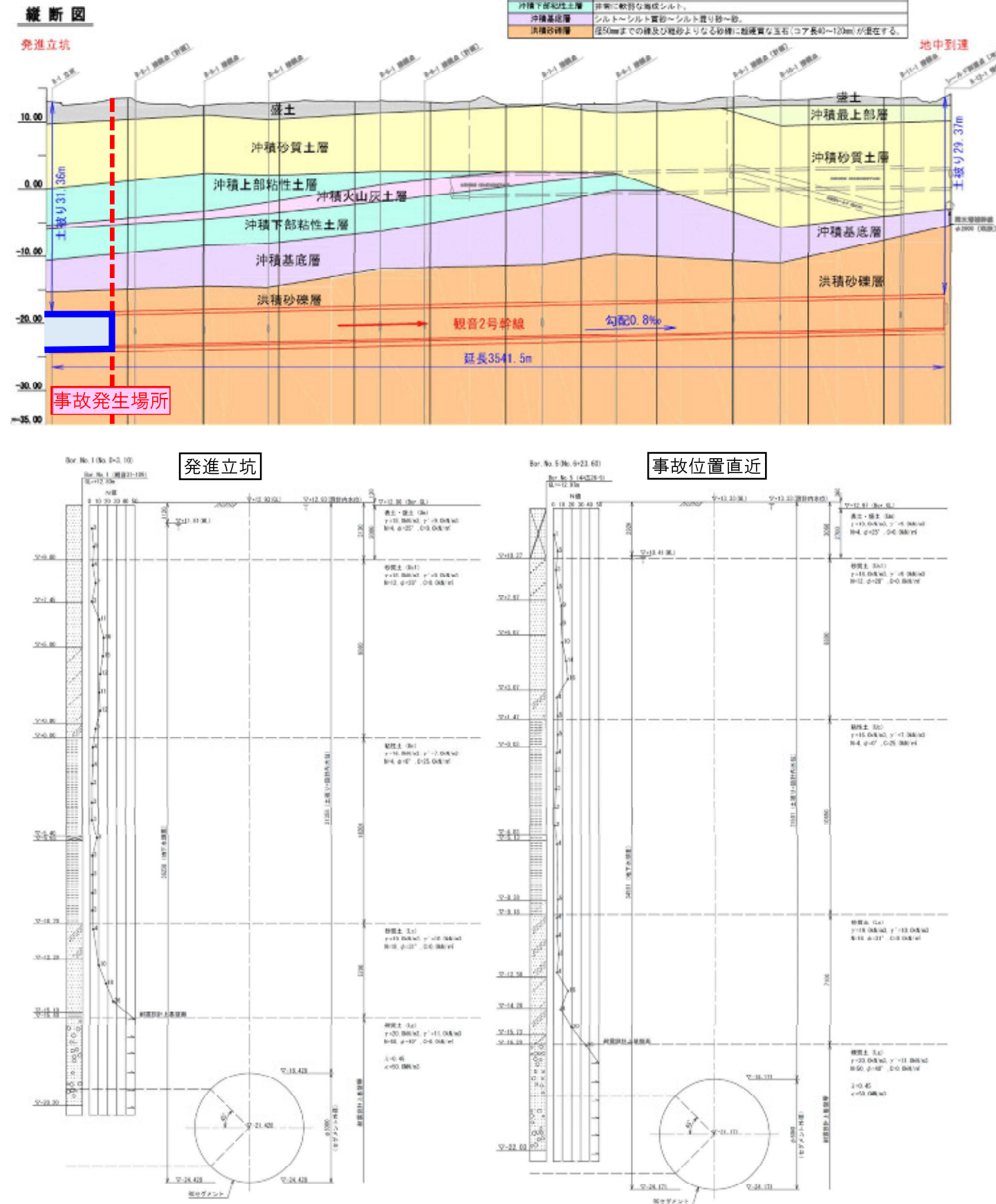
約 2,000m³

となる。

5. 地盤状況

5. 1 事故位置の設計時地盤条件

(1) 全体地層想定断面図及び柱状図



(2) 地質概要

「観音地区下水道土質調査業務 2-1 報告書 令和3年5月」に示されている地質概要を以下に示す。

- ① 盛土
径 100mm までの礫の他に瓦片、コンクリートなどを含む土砂よりなる盛土であり、表層はアスファルト舗装、路盤材などからなる。
- ② 沖積最上部層
砂質土層～砂質シルト～粘土混り砂～砂と細かく層相変化する。砂質粘土は微細砂を含む粘土、砂質シルトは微細砂～細砂を混入するシルトよりなる。粘土混り砂は少量の粘土を含む細砂よりなり、所々に有機物片を混入する。また、砂は細中砂よりなる。
- ③ 沖積砂質土層
概ね上位の砂と下位のシルト混り砂より構成される。上位の砂は中粗砂主体の砂よりなり、細粒分が淘汰されている。下位のシルト混り砂は少量のシルト分を含む細砂主体の砂よりなる。一部の基底部で多量のシルトを含むシルト質細砂となり、小貝殻片を混入する。
- ④ 沖積上部粘性土層
砂質シルト～シルトを主体とする粘性土よりなるが、局所的にシルト質砂を含む。砂質シルトは微細砂を混入するシルトよりなり、所々で腐植質を呈する。シルトは非常に軟弱なシルトよりなり、所々に未分解の有機物片を混入し、全体的に小貝殻片を混入する。
- ⑤ 沖積火山灰土層
火山灰および火山灰質土よりなる。この火山灰は『鬼界アカホヤ火山灰』と称され、約 7300 年前に鹿児島県硫黄島から竹島にかけて存在していた鬼界カルデラが大噴火したときに放出されたものであると考えられている。火山灰は微細砂質の火山灰質粘性土よりなる。微細砂～細砂を混入するシルトを伴う。シルトには微細な貝殻片を混入する。
- ⑥ 沖積下部粘性土層
非常に軟弱な海成シルトよりなり、コアは指圧で容易に凹む。砂をシーム状に狭在し、場所によっては微細砂～細砂を混入するシルトよりなる。所々で小貝殻片を混入する。
- ⑦ 沖積基底層
シルト～シルト質砂～シルト混り砂～砂と細かく層相変化する不均質層。層厚も場所によって変化が著しい。シルト質砂は多量のシルトを含む微細砂～細砂よりなり、貝殻片および有機物片を混入する。シルト混り砂は少量のシルトを含む細中砂よりなり、腐植土を混入する。砂は中粗砂よりなり、少量のシルトを含む。一部の下部境界付近に火山灰土が分布する。
- ⑧ 洪積砂礫層
径 20mm 内外を中心に径 50mm までの円礫～亜円礫および礫間を充填する粗砂よりなる砂礫であり、長さ 120mm までの超硬質な玉石が多数混在する。掘削泥水が逸水する箇所、孔壁が崩壊する箇所がある。玉石の岩質は花崗岩質岩石と一部、泥岩も混入する。

5. 2 土地改変について

(1) 空中写真履歴

国土地理院にて公開されている当地周辺における空中写真の履歴を下図に示す。

今回の陥没箇所周辺では、図に示すように 1947 年から 1966 年の間で大きな地形改変が行われており、1947～1952 年時点では空中写真や古地図での記録から、道路（シールドトンネル計画路線）から北西側は河川（旧福島川）であったことがうかがわれる。陥没箇所には橋梁（旧西大橋）が架けられており、陥没箇所の中心は当時の橋の東詰に相当する。1966 年には旧福島川の埋立が完了しており、橋の存在は確認できない。

また、1966 年には、現在も稼働している運送会社のターミナルが建設されており、1947 年には家屋がまばらで農地も見られていた道路南東側も家屋が密集している。今回陥没が大きく発生した運送会社の事務所棟や市営アパートは、1975 年の写真からその存在が確認されており、1966～1975 年までの間に建設されたことがうかがわれる。

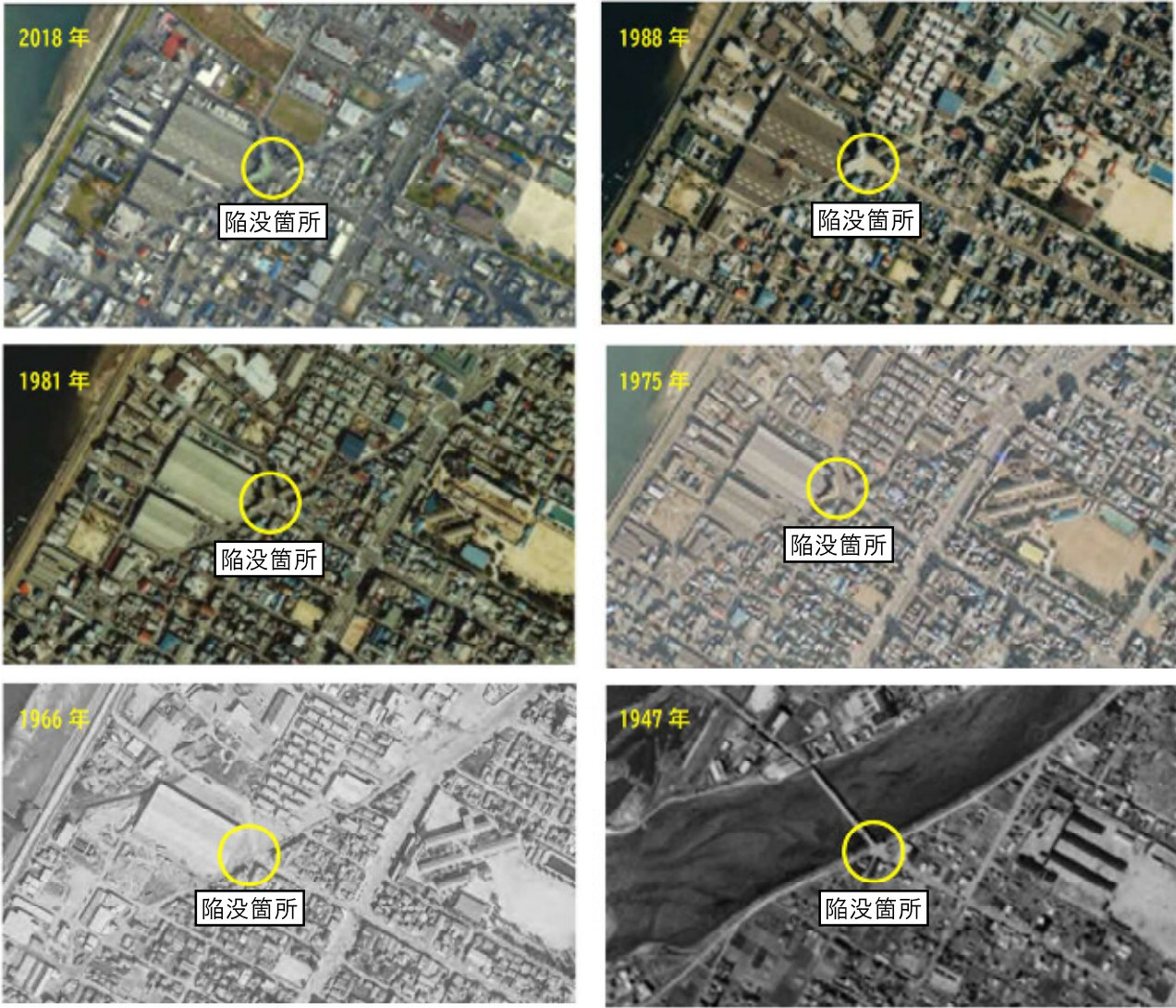


図 空中写真履歴（国土地理院「地理院地図 GSI Maps」より抜粋加筆）

(2) 地形分類

シールドトンネルの計画路線である道路を境に、北西側は旧河道、南東側は干拓地に分類されている。道路は旧福島川の左岸堤防に該当し、昭和 20 年代前半頃の築造とされている。また、当地周辺の干拓は江戸時代に行われたものであり、その中でも古く、観音新開と呼ばれる 1752 年（宝暦年間）以前の新開地といわれている。



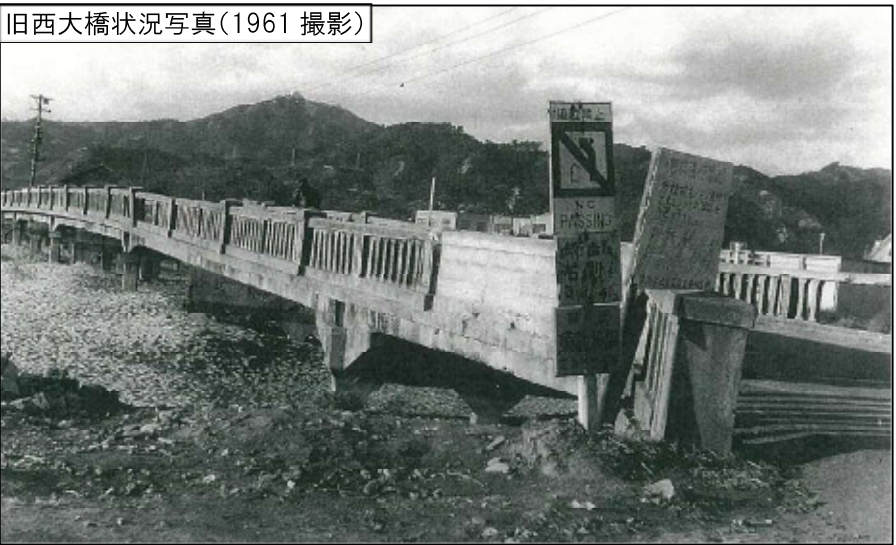
図 治水地形分類図（国土地理院「地理院地図 GSI Maps」より抜粋加筆）

(3) 旧西大橋について

旧西大橋に関する記録写真を示す。この写真は 1961 年に旧西大橋の状況を東詰から撮影されたものである。

当資料には、西大橋が一時は国道 2 号線であったことも記載されており、写真の看板から旧建設省広島国道工事事務所の管理であったことも読み取れる。

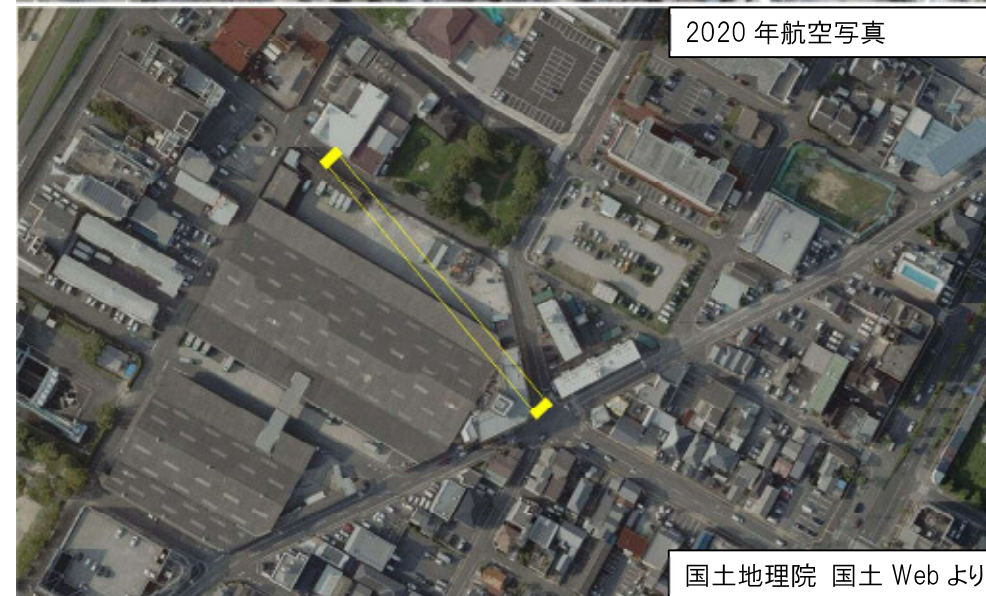
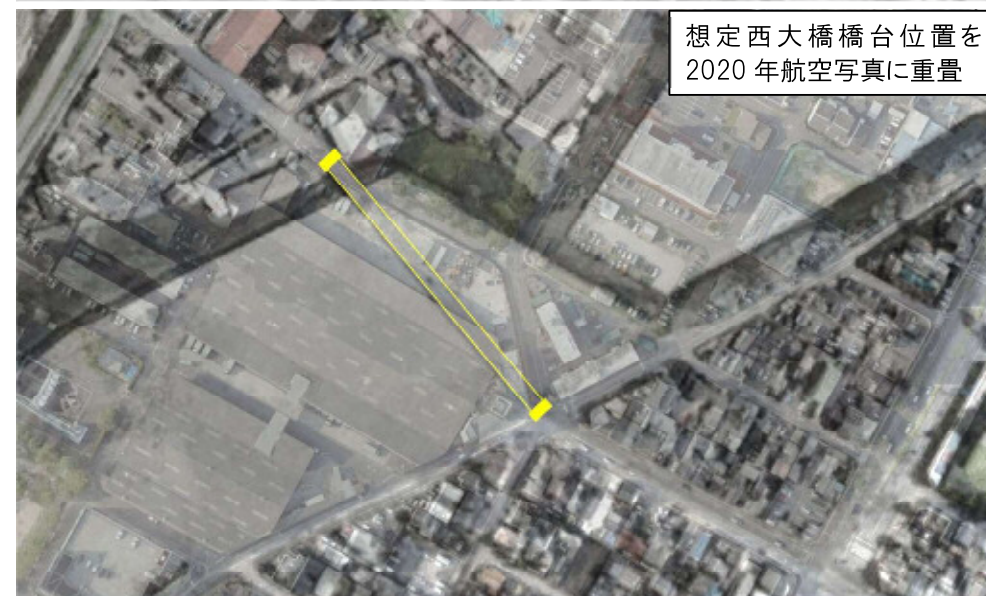
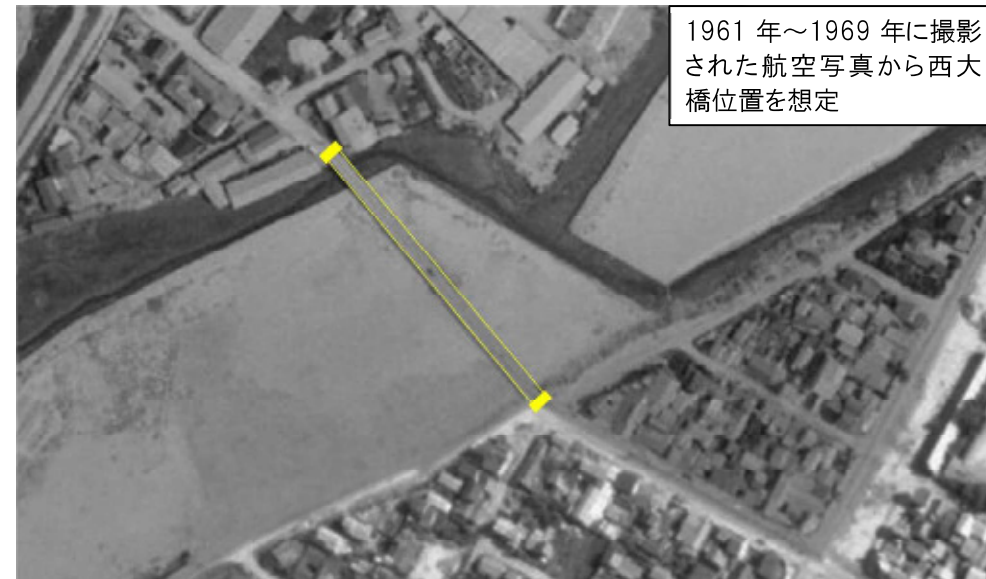
- 河川改修履歴より
 - 1926 年 旧西大橋架設
 - 1954 年 福島川埋立開始
- 橋面標高：TP+4.6（現道路標高と同程度）
※国土地理院 地形図（昭和 33 年発行）
- 橋脚・橋台基礎形式・形状寸法は不明である。
- 埋戻し時の撤去状況は不明である。しかし、橋面標高を考慮すると上部工は撤去されているものと考えられる。



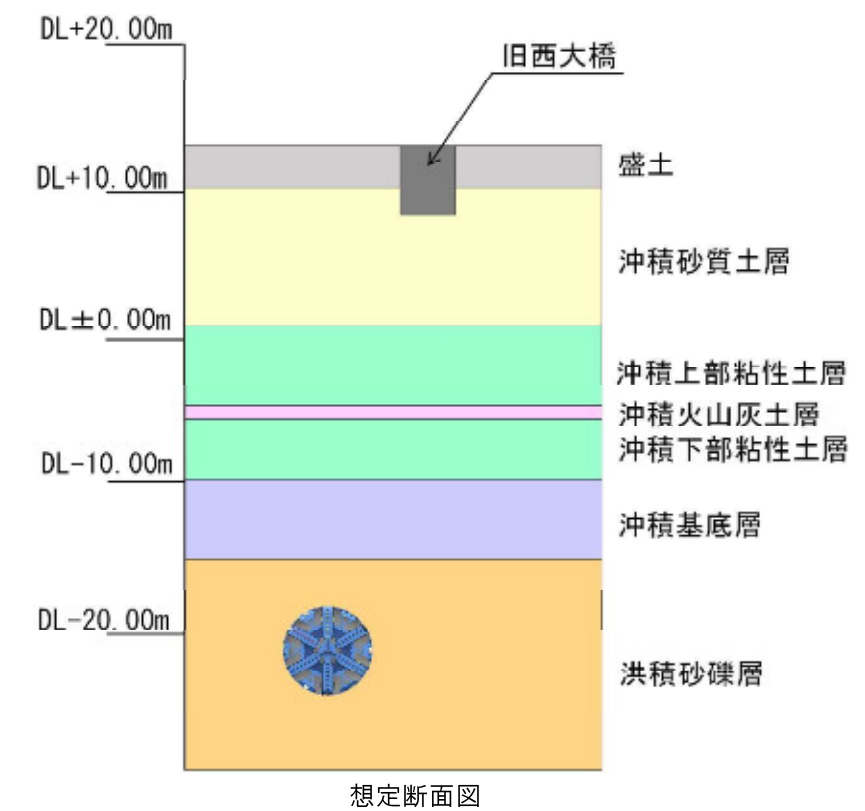
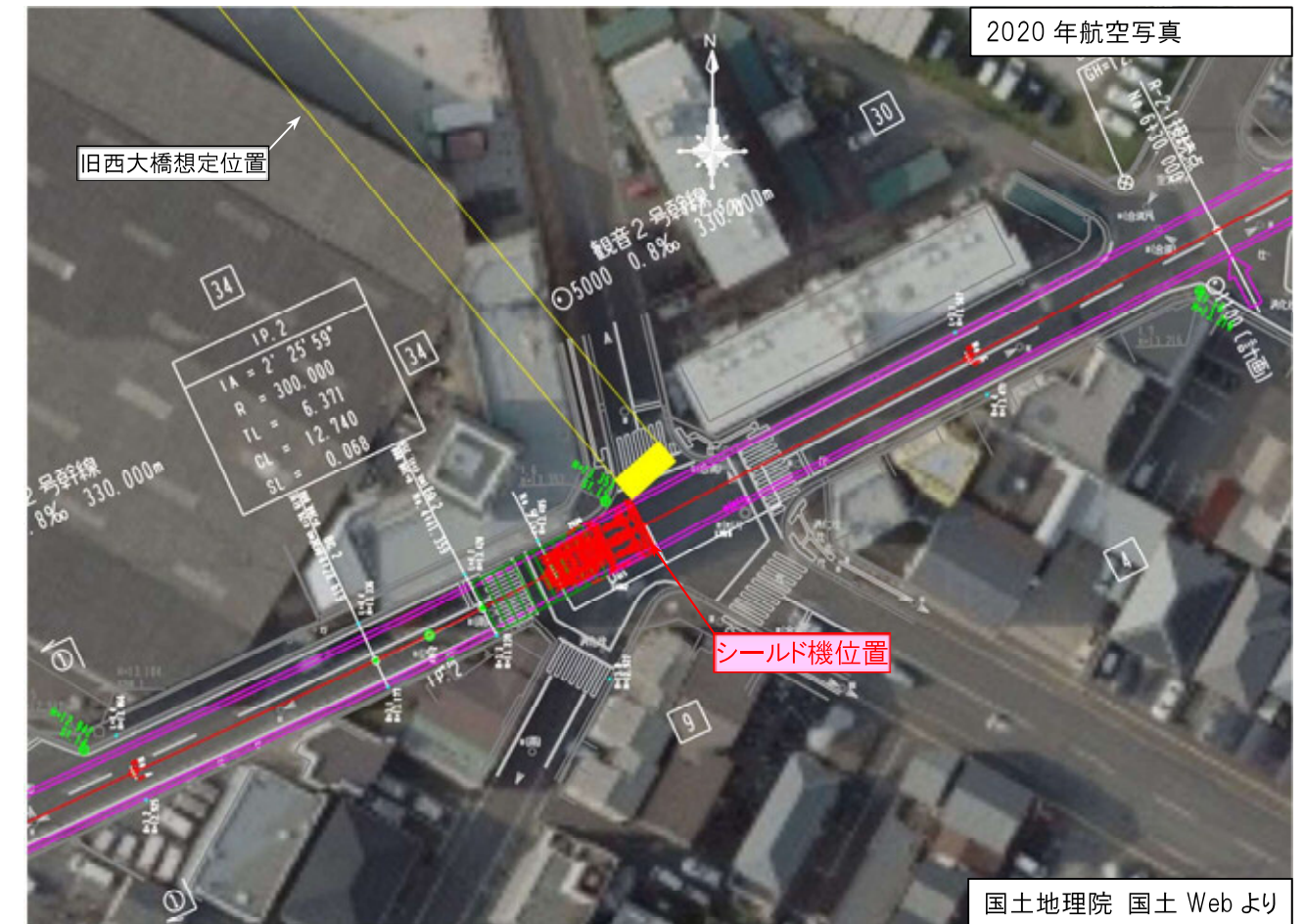
（広島市企画調整局「広島市博物館資料調査報告Ⅵ 河岸の戦後史 5 天満川」より抜粋）

(4) 旧西大橋の設置位置確認

旧航空写真より西大橋位置を推定し、現航空写真に重ね合わせる。



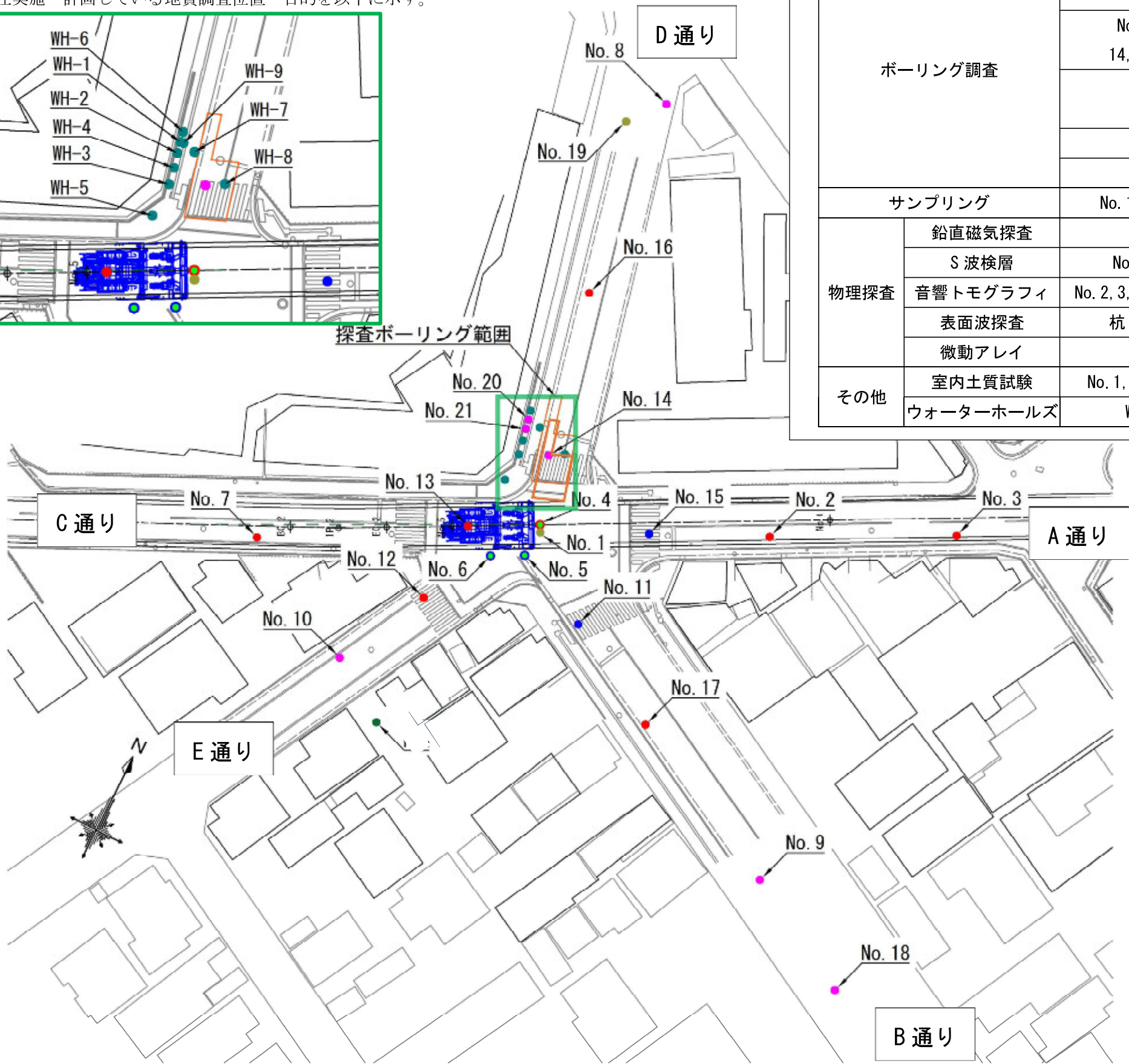
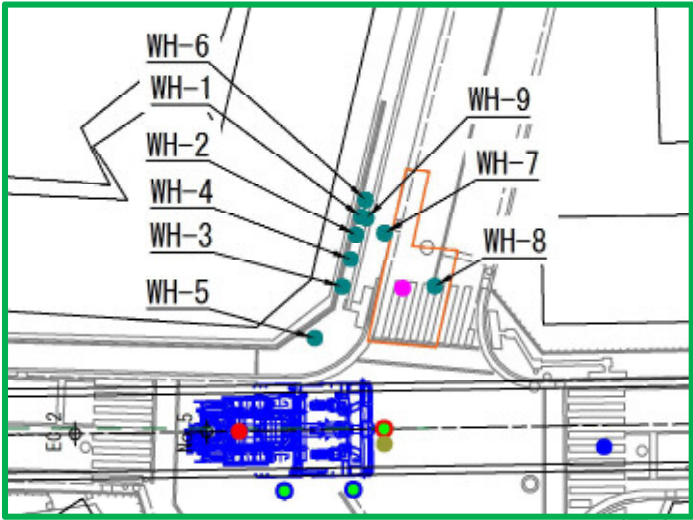
現在のシールド機位置と旧西大橋の想定位置を重ね合わせて以下に示す。陥没箇所と旧西大橋の橋台位置が近接していることが分かる。



5. 3 地質調査

(1) 地質調査位置・目的

現在実施・計画している地質調査位置・目的を以下に示す。



地質調査の目的		
内 容	地 点 名	調 査 目 的
ボーリング調査	No. 1, 2, 3, 7	空洞や地盤変化の確認、シールド機通過前後の地盤強度差の把握
	No. 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18	地盤の変化範囲の確認
	No. 4, 5, 6	シールド機周辺地盤変化の確認 シールド機位置の確認
	No. 8, 9, 10	緩み範囲の平面的な推定
	No. 20, 21	旧西大橋関連物の確認
サンプリング		No. 1, 2, 3, 7, 12, 19 室内土質試験用の試料採取
物理探査	鉛直磁気探査	No. 4, 5, 6 シールド機位置の確認
	S 波検層	No. 1, 2, 3, 7, 12 緩み範囲の深度的な把握
	音響トモグラフィ	No. 2, 3, 4, 7, 12, 13, 16, 17 緩み範囲の面的な把握
	表面波探査	杭・残置構造物 杭・残置構造物の把握
	微動アレイ	- 地盤のゆるみ域の分布把握
その他	室内土質試験	No. 1, 2, 3, 7, 12, 16, 17 土の物理・力学・圧密特性の把握
	ウォーターホールズ	WH-1～WH-9 旧西大橋関連物の確認

凡例（ボーリング孔分類）

- : 地層確認
- : 音響トモグラフィ+S 波速度
- : 磁気検層
- : 観測孔仕上
- : サンプリング孔

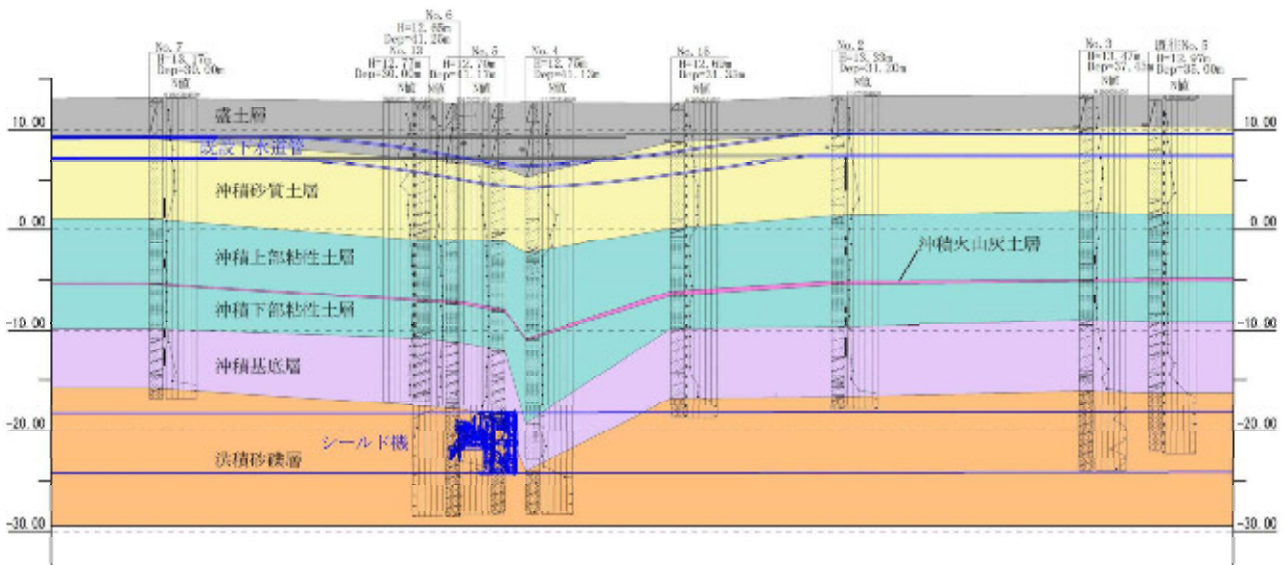
凡例（その他調査）

- : ウォーターホールズ地点
- : 調査ボーリング範囲

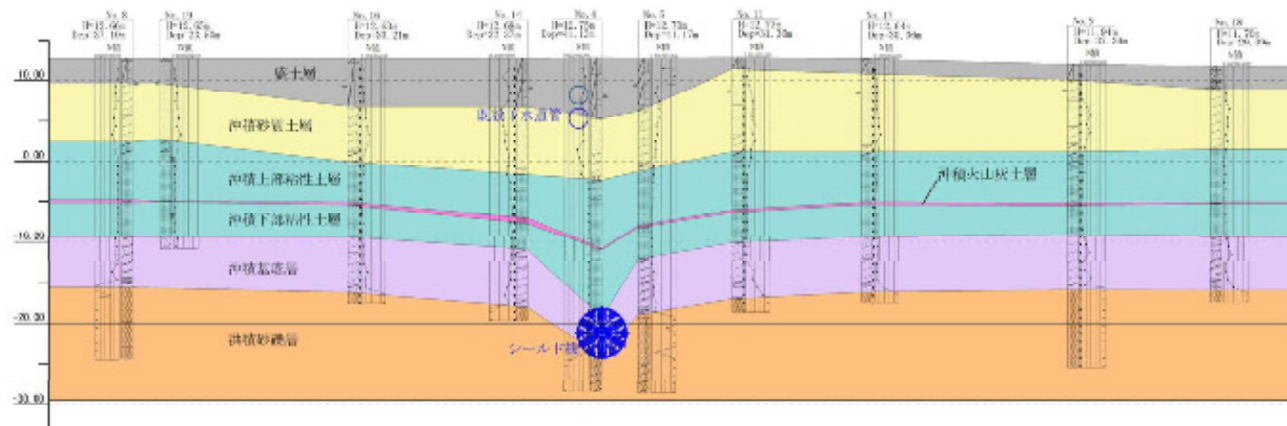
(2) ボーリング調査結果【速報】

現在実施・計画している地質調査のうち、現在結果が出ているボーリング調査について、その速報を以下に示す。

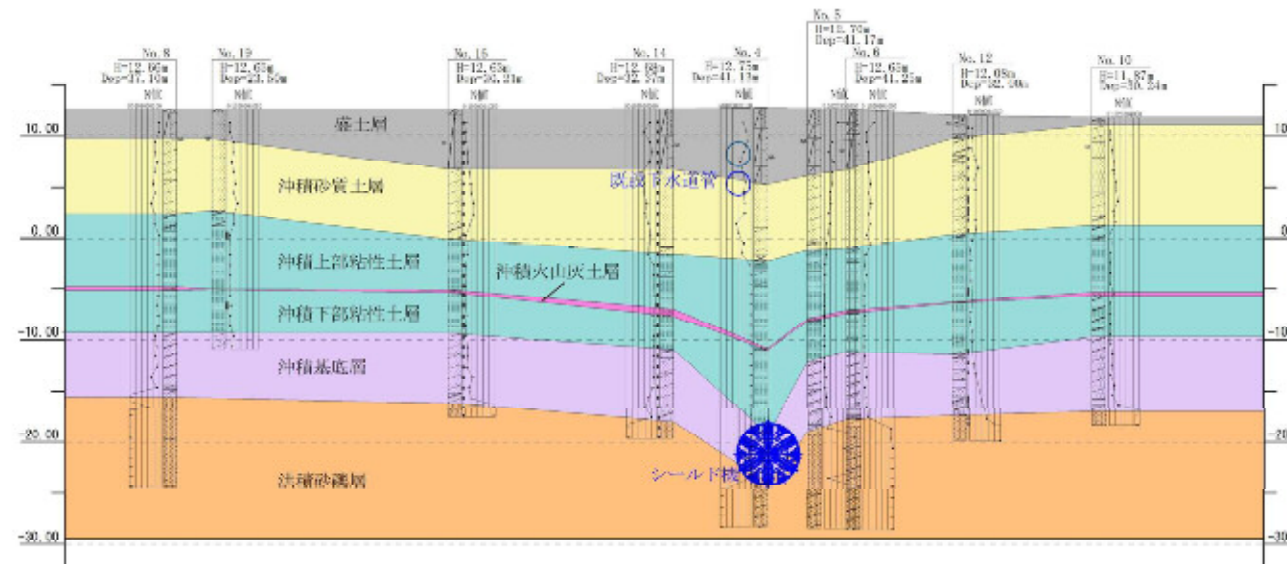
- ・ 既往 No. 5 ボーリングと No. 3 を比較すると、地層構成にほぼ差がないことがわかる。
- ・ 鍵層である火山灰土層（鬼界アカホヤ火山灰、約 7,300 年前）がシールド機近傍で沈下していることがわかる。
- ・ No. 4 において、洪積礫質土層がシールド機下端まで確認されなかった。



A-C 断面

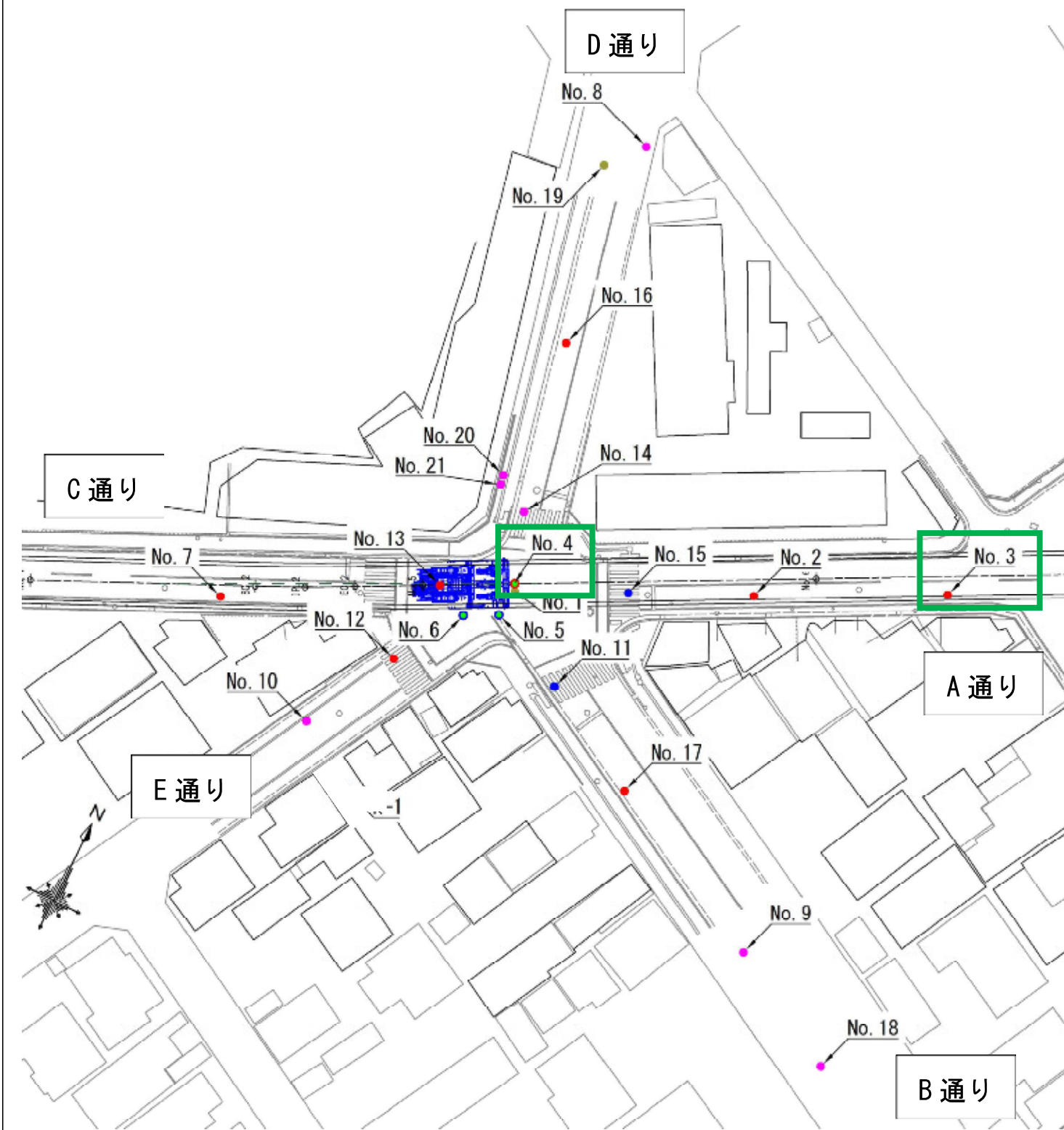


B-D 断面

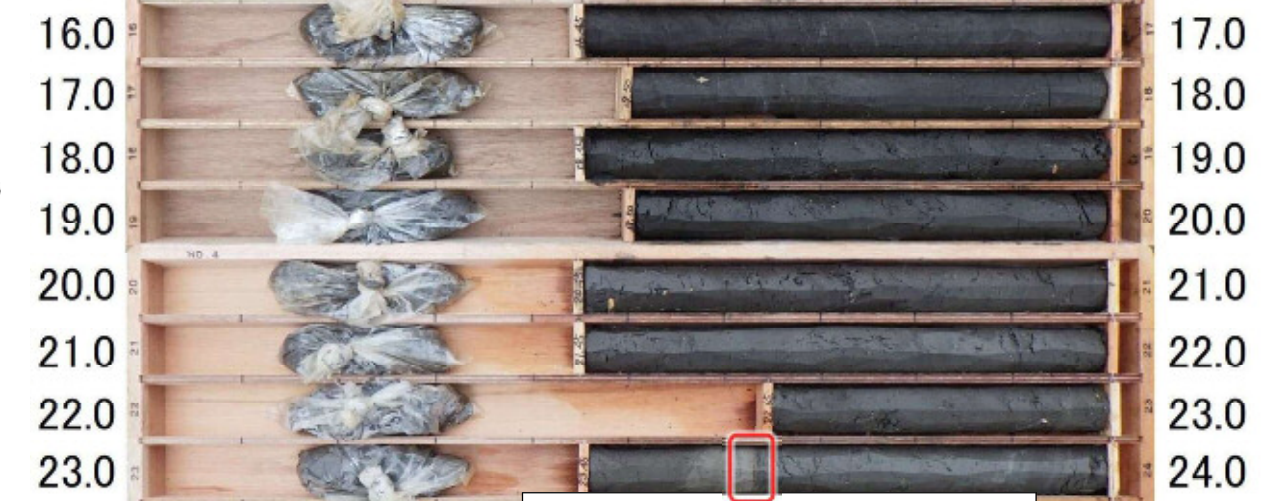


D-E 断面

※ボーリング調査深度について
No. 4, 5, 6 : 磁気探査のため、シールド機下端 4m までとした。
No. 3, 8, 9 : シールド機下端までの洪積砂礫層の性状確認を目的としているため、シールド機下端までとした。
No. 7, 13 : セグメントがあるため、セグメントとの離隔 1m 程度を確保した深度で掘止とした。
No. 2, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 17, 18, 19 : 地質確認を目的としているため、目的地質が確認できた段階で掘止とした。
No. 1 : シールド機直近の物性値確認を目的としているため、予定の試料採取が完了した段階で掘止とした。



No.4 φ66 16.0~24.0m



沖積粘性土層のN値は0となっている(当初のN値は1~4程度)

No.4 23.60~23.63m で火山灰土層

No.3 18.60~18.62m で火山灰土層

No.3 φ86 17.0~19.0m



No.4 φ66 33.0~40.0m



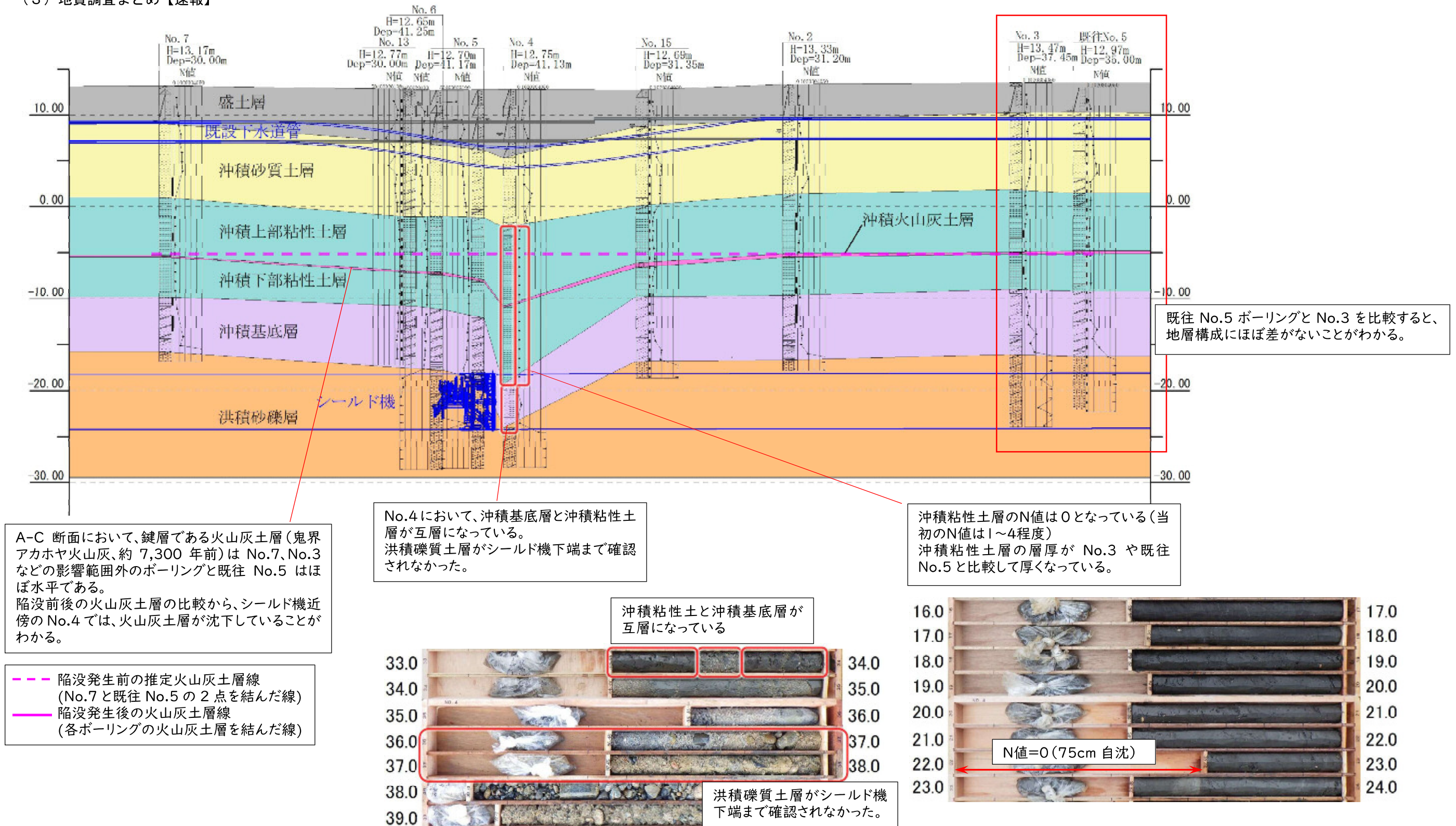
33m~35.65m で砂とシルトの互層、36.8m 以深で玉石混じり砂礫となる。

No.3 φ86 32.0~37.0m



32m~玉石混じり砂礫となる。マトリックスは粗~中砂を主体とし、円~亜円礫を多く含む。

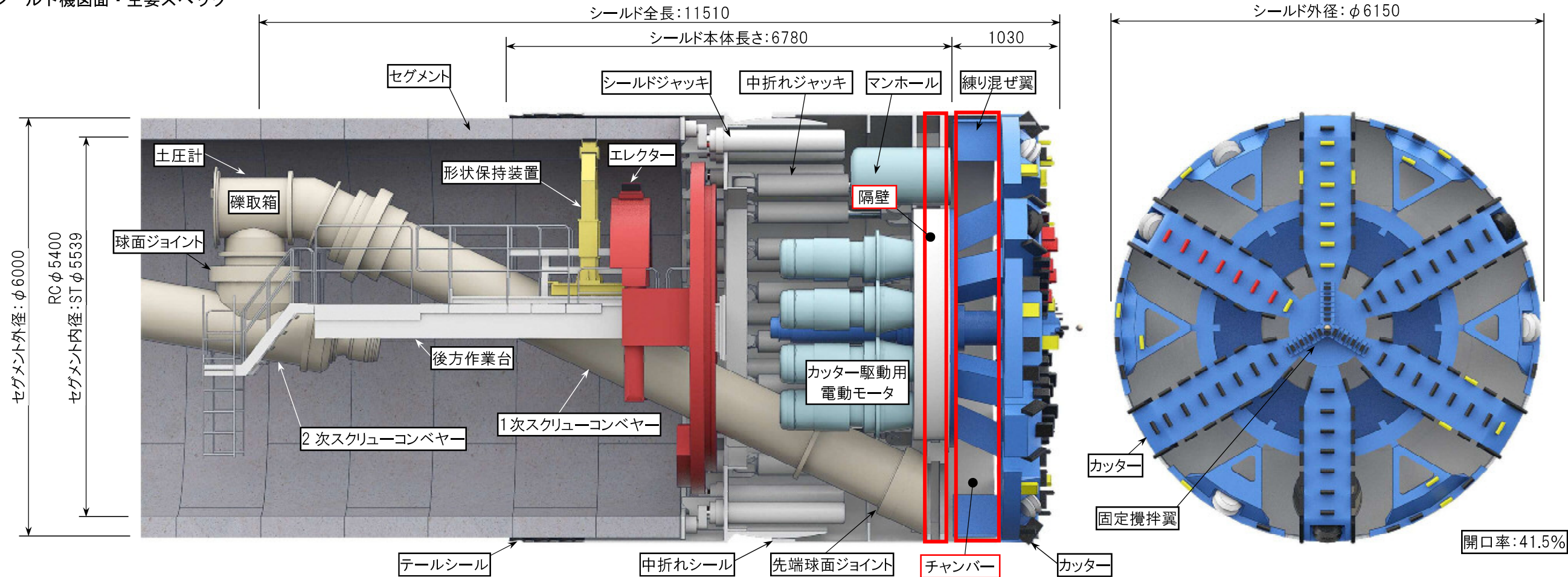
(3) 地質調査まとめ【速報】



6. シールド掘進について

6. 1 シールド機について

(1) シールド機図面・主要スペック



シールド機主要スペック

項目		内容
一般装置	シールド機外径	φ6.150m
	カッタートルク	6208.1kN・m(α 値:26.7)
	シールドジャッキ	1850kN×1350mm×21本
	シールドジャッキ伸長速度	50mm/min(全数作動時)
	中折れ角度	左右9.7°、上下0.5°
	コピーカッター	実余掘量200mm×3台
	排土装置	1次リボン型:排出礫直径560mm 2次シャフト型:排出礫直径308mm
付帯装置	エレクター	最大取扱重量3.2t 動作自由度5(旋回・昇降・摺動・ピッチング・ローリング)
	形状保持装置	上半拡張式
	テールシール	ワイヤーブラシ3段 テールシール充填管2室×6箇所
	地山探査装置	ジャッキ貫入式×上部3箇所
	後続台車	合計9輦(切羽より約90m)

スクリーコンベヤー スペック

項目	数値	単位
最大礫径		
事前のボーリング調査の結果による最大玉石径	φ450	
カッター面板の取り込み開口径	φ469	mm
1次スクリー搬出礫最大寸法	φ560×790L	mm
1次スクリー仕様		
型式	RA800型(リボン式)	
フライト径×ピッチ	φ800×P910	mm
排土量	128.7	m ³ /h
回転数	6.6	rpm
電動機出力	90	KW
装備トルク	132.3	kN・m
α 値(トルク/フライト径 ³)	258.4	—
2次スクリー仕様		
型式	SA800型(シャフト式)	
フライト径×ピッチ	φ800×P680	mm
排土量	195	m ³ /h
回転数	10.6	rpm
電動機出力	75	KW
装備トルク	76.3	kN・m
α 値(トルク/フライト径 ³)	149.0	—

(2) シールド機設計計算

シールド機設計計算の概要を以下に示す。下記のように所定の設計条件を満足し、余裕率も見込んだ仕様を設定している。

■設計推力計算		
推進抵抗	数値	単位
シールド外周面と土との粘着抵抗 F1	3274. 87	kN
切羽前面抵抗 F2	13295. 51	kN
曲線施工等の変向荷重による推進抵抗 F3	3497. 19	kN
テール内でのセグメントとテールシール部との摩擦抵抗 F4	1037. 15	kN
後続台車の牽引抵抗 F5	200. 00	kN
小計 推進抵抗の和 $\Sigma Fi = F1 + F2 + F3 + F4 + F5$	21, 304. 72	kN
装備推力		
シールドジャッキ Fj	1850. 00	kN/本
シールドジャッキ 21 本の総推力 Fz	38, 850. 00	kN
余裕率		
装備推力 Fz/ ΣFi	1. 82	倍

■テール部強度計算(一端固定及び一端自由の円筒殻)		
テール部	数値	単位
上部鉛直荷重 Pv1	595. 54	kN/m ²
下部鉛直荷重 Pv2	605. 40	kN/m ²
上部水平荷重 Ph1	404. 99	kN/m ²
下部水平荷重 Ph2	490. 16	kN/m ²
解析方法		
3D モデルにて有限要素法を用いて 3 次元解析		
鋼製部材		
テール部材 SS400	t=40	mm
テール端部材 SM490A	t=12	mm
解析結果		
テール部材の最大応力 (許容応力 155. 0N/mm ²)	140. 90	N/mm ²
テール端部材の最大応力 (許容応力 215. 0N/mm ²)	166. 90	N/mm ²
最大変位 テール端部材	3. 60	mm

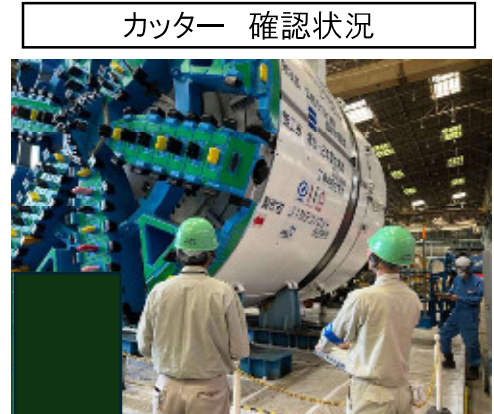
■設計トルク計算		
抵抗トルク	数値	単位
土の切削抵抗によるトルク T1	61. 67	kN・m
土との粘着抵抗によるトルク T2	1677. 82	kN・m
カッター外周面の粘着抵抗トルク T2a	(787. 2)	kN・m
カッターヘッド前面の粘着抵抗トルク T2b	(890. 61)	kN・m
土の攪拌抵抗によるトルク T3	500. 16	kN・m
軸受抵抗によるトルク T4	37. 62	kN・m
カッター自重に対する軸受の抵抗トルク T4a	(1. 55)	kN・m
カッタースラスト荷重に対する軸受の抵抗トルク T4b	(36. 08)	kN・m
駆動部土砂シール摩擦抵抗によるトルク T5	61. 33	kN・m
減速装置の機械損失によるトルク T6	186. 24	kN・m
小計 抵抗トルクの和 $\Sigma Ti = T1 + T2 + T3 + T4 + T5 + T6$	2, 524. 84	kN・m
装備トルク		
装備トルク T (50Hz) (常時)	6, 208. 10	kN・m
カッターモータ台数	8	台
カッターモータ出力 75KW×8 台	600. 00	KW
余裕率		
装備トルク T (50Hz)/ ΣTi	2. 46	倍

（３）組立検査

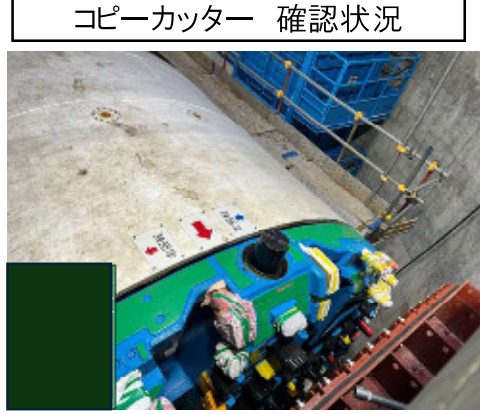
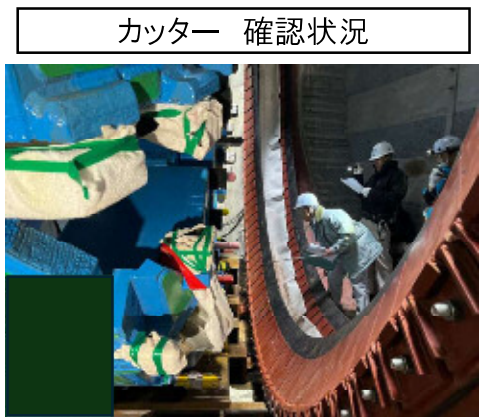
シールド機組立検査について、下表に示す検査を実施し、すべての検査項目において、所定の規格を満足していることを確認している。各検査の実施状況写真を示す。

日付	検査名	検査項目
令和５年９月２６日	工場仮組立検査	・外観検査 ・主要寸法検査 ・無負荷作動試験 ・電気絶縁抵抗試験 ・材料検査 ・技術提案項目
令和５年１２月２０日	第１回現地組立検査	・外観検査 ・主要寸法検査 ・無負荷作動試験 （第２回、３回の対象部位を除く） ・電気絶縁抵抗試験
令和５年１２月２６日	第２回現地組立検査	・無負荷作動試験 （１次スクリーゲート）
令和６年７月９日	第３回現地組立検査	・無負荷作動試験 （形状保持装置、２次スクリーコンベヤー）

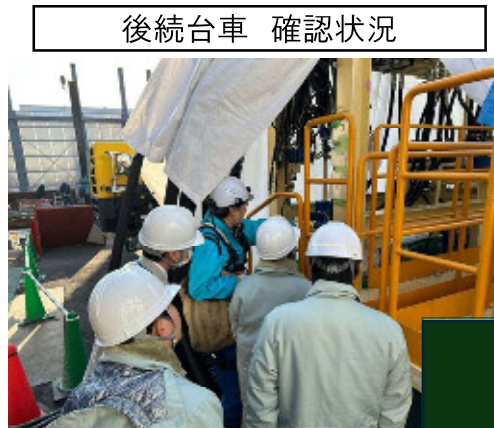
また、シールド機の日常点検については、作業所での日常点検に加えて、シールド機製作メーカーによる点検を定期的実施している。
シールド機製作メーカーによる点検実施日は①2024年２月１４日、②2024年２月２９日、③2024年４月５日、④2024年９月２３日である。



工場仮組立検査 実施状況写真



第１回現地組立検査 実施状況写真



第２回現地組立検査 実施状況写真

第３回現地組立検査 実施状況写真

6. 2 シールド掘進管理

(1) シールド掘進管理項目について

シールド掘進管理項目について管理内容の一覧を以下に示す。

分類	管理項目	監視及び管理方法	管理値(仕様書などに記載)		管理値(自主管理)	グラフ
切羽安定管理	排土量	【重量管理】無線式ロードセル	・一次管理値:管理土量±7.5%	国土交通省: シールドトンネル工事の 安全・安心な施工に関する ガイドライン	・一次管理値:管理土量±7.5%	①-1:排土量(重量)
		【体積管理】超音波センサー(※初期掘進時:土砂圧送流量計) (※重量管理を補完)	・二次管理値:管理土量±10%		・二次管理値:管理土量±10%	①-2:排土量(体積)
			・管理土量(重量):シールド断面積×掘進距離×比重+添加材注入重量		・管理土量(重量)(参考値):46.3*2.2=101.9t/R	
			・管理土量(体積):シールド断面積×掘進距離+加泥材注入量 (※シールド断面積×標準掘進距離 = 6.15*6.15*3.14/4*1.2=35.6m3/R) (※掘進距離、比重、添加材注入量はリング毎に異なる)		(※掘進距離1.2m、加泥注入量30%、比重2.2t/m3とし、考慮した場合の管理重量) ・管理土量(体積)(参考値):35.6*1.3=46.3m3/R (※掘進距離1.2m、加泥材注入量30%とし、考慮した場合の管理土量)	
	排土率	【重量管理】無線式ロードセル 【体積管理】超音波センサー(※初期掘進時:土砂圧送流量計) (※重量管理を補完)	・一次管理値:100%±7.5%		・一次管理値:100%±7.5%	②-1:排土率(重量)
			・二次管理値:100%±10%		・二次管理値:100%±10%	②-2:排土率(体積)
	切羽土圧	・チャンバー内土圧計の指示値を監視する (管理室の掘進管理システム・坑内運転席) (土圧管理一覧表を作成し、各掘進位置にて現状を確認して指示を行う)	—	—	・切羽土圧の設定: 下限土圧:ゆるみ土圧(0.36Mpa)≤管理値:主働土圧(0.42Mpa) ≤上限土圧:静止土圧(0.46Mpa) ・停止時、休止時には切羽保持(土圧保持)を実施	③:切羽土圧
裏込注入管理	注入圧	・A液の注入圧を監視する ・土圧・配管抵抗を考慮して目標注入圧を設定し、 実注入圧力との偏差を早期に把握 (注入管吐出口の土圧計の値を監視)	・注入圧管理値:切羽土圧の管理値+0.2Mpa程度	土木学会: トンネル標準示方書	・注入圧管理値:切羽土圧の管理値(0.42MPa)+0.2Mpa(=0.62MPa)を目安	④:裏込注入圧
	注入率	・A,B液流量を演算し、積算流量を表示する (管理室の掘進管理システム・坑内運転席)	・管理注入率(平均):テールボイド×130% ・管理注入量:理論テールボイド量×注入率 (※理論テールボイド量=テールボイド面積×掘進距離)		・管理注入率(1リング当たり):テールボイド×100% ・管理注入量(参考値):標準区間 1.716m3×100%=1.716m3/R (※理論テールボイド量=標準区間 (6.15^2~6.00^2)*3.14/4*1.2=1.716m3) (※掘進距離1.2mとした場合の理論テールボイド量)	⑤:裏込注入率
ビット摩耗管理	ビット摩耗検知量	摩耗検知ビット (油圧式、多段導通式(電気式)、超音波式)により摩耗量を検知する	—	—	・面板:異常検知量4mm/8mm ・スクリュー:異常検知量5mm/25mm ・ローラーカッター:許容摩耗量20mm ・先行ビット:許容摩耗量150mm ・メインビット:許容摩耗量70mm	⑥:摩耗量(先行ビット)
その他	掘進速度	掘進管理システムにて確認する	—	—	40mm/min:設計速度の80%	⑦:その他①
	掘進推力	掘進管理システムにて確認する	—	—	31080kN:装備能力の80%	
	カッタートルク	掘進管理システムにて確認する	—	—	4960kN・m:装備能力の80%	
	ピッチング	掘進管理システムにて確認する	—	—	特になし	⑧:その他②
	ローリング	掘進管理システムにて確認する	—	—	±2°	
	中折れ角度	上下、左右。掘進管理システムにて確認する	—	—	左右9.7°、上下0.5°:装備能力の100%	
	真円度	上下、左右。 レーザー距離計および内空測定スタッフで測定	二次覆工に支障がない範囲	広島市: 共通仕様書	一次管理値:±33mm、二次管理値:±50mm (管理限界値±66mm:設計覆工厚さ200mmの2/3)	⑨:その他③
	蛇行量	縦断。 掘進中は掘進管理システムにて確認するとともに出来形測量は、レベル計で測定 水平。 掘進中は掘進管理システムにて確認するとともに出来形測量は、トランシットで測定	±50mm	広島市: 共通仕様書	一次管理値:±40mm、二次管理値:±50mm	
			±100mm	広島市: 共通仕様書	一次管理値:±80mm、二次管理値:±100mm	
	テールクリア	上、下、左、右。 1方に1回コンベックスで測定	—	—	10mm以上	
地盤沈下管理	水準測量	25m間隔に測点(1断面につき左右各1点)を設け、レベル測量で管理する	一次管理値:±10mm、二次管理値:±20mm	協議による	一次管理値:±10mm、二次管理値:±20mm	⑩:地盤沈下量

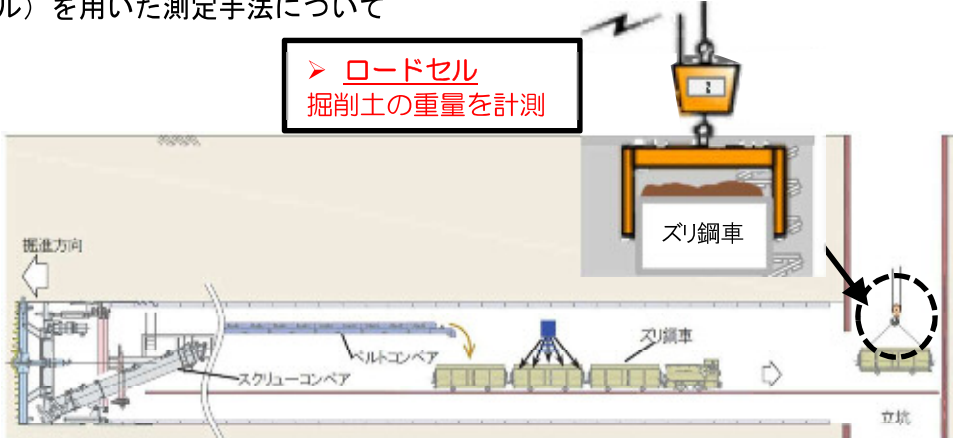
(2) 切羽安定管理（排土量・排土率）について

排土量管理においては、1)荷重計（無線式ロードセル）を用いた測定手法を主として管理を行う。2)超音波センサーによる体積管理については、ズリの表面形状や測定機器の誤差があるため、1)を補完（ダブルチェック）する位置づけとしている。それぞれの手法について概要を以下に示す。

1) 荷重計（無線式ロードセル）を用いた測定手法について

【計測概要】
立坑下のクレーンオペレーターが土砂の積載されているズリ鋼車の重量を計測。土砂を転倒させたあと、ズリ鋼車の空重量を計測することで、その差分からズリ鋼車当たりの土砂の重量を計測するシステム。こちらもボタン一つで計測が可能。

➤ **ロードセル**
掘削土の重量を計測



ズリ鋼車

掘進方向

スクリーコンベア

ベルトコンベア

立坑

【状況写真】

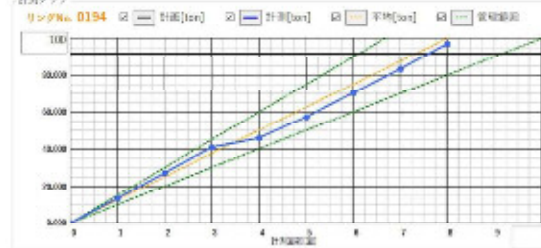


終了重量

開始重量

比重測定

【掘進管理システム管理画面例（リアル排土重量：ロードセル）】



計測時刻	開始重量 [ton]	終了重量 [ton]
2024/08/21 11:52:06	16.743	5.010
2024/08/21 11:00:10	17.690	5.930
2024/08/21 08:26:27	17.890	6.890
2024/08/21 06:17:42	16.370	4.790
2024/08/21 04:44:20	15.780	4.790
2024/08/21 04:23:26	18.230	4.640
2024/08/21 03:21:15	18.940	4.680
2024/08/21 02:13:14	18.240	4.560

計測と計画から排土率を算出

現在重量 [ton] 5.000

実ストローク [mm] 1194

動作モード NORMAL

重量計測モード 2回押し

計測排土量 [ton] 97.210

計画排土量 [ton] 91.739

排土率 [%] 106

土質密度 [tf/m³] 1.900 2.000 2.100 2.200

注入系密度 [tf/m³] 1.000 1.000 1.000 1.000

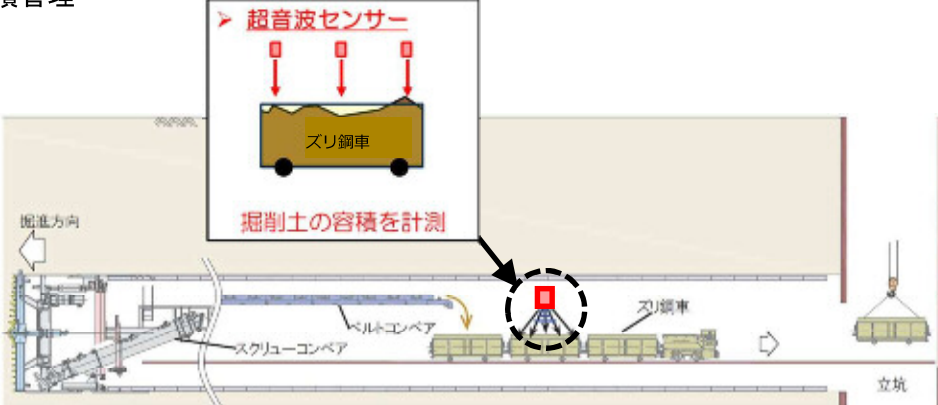
＜計測排土重量＞
・開始重量＝ズリ鋼車重量＋土砂重量
・終了重量＝ズリ鋼車重量
ズリ鋼車×8 函の合計計測重量
＝土砂重量 97.210ton/リング

＜計画排土重量＞
・実ストローク 1.194m×
(マシン断面積 A:30.1907m²)
＝36.0477m³ × 土質密度 2.2 ＝79.3049ton
・加泥材注入量＝12.434m³ × 注入系密度 1.0＝12.434ton
合計＝48.482m³ ＝ 91.739ton (※小数点の違い)

2) 超音波センサーによる体積管理

【計測概要】
バッテリーロコオペレーターが超音波センサーの直下にズリ鋼車を移動し、計測ボタンを押すことでズリ鋼車の体積を計測できるシステム。

➤ **超音波センサー**
掘削土の容積を計測



掘進方向

スクリーコンベア

ベルトコンベア

ズリ鋼車

立坑

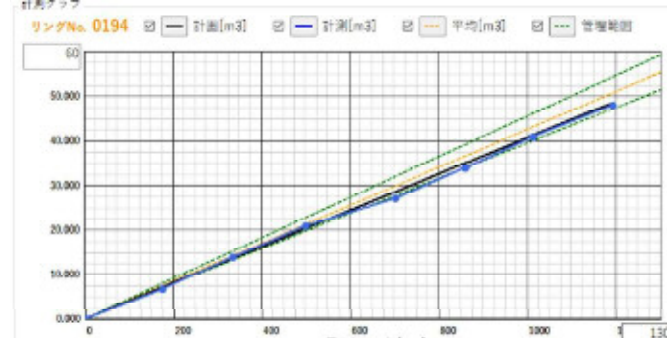
【状況写真】



超音波センサー

ズリ鋼車×1 函の体積を計測

【掘進管理システム管理画面例（リアル排土体積：超音波センサー）】



計測時刻	実ストローク [mm]	計測体積 [m ³]	計測排土量 [m ³]	排土率 [%]
2024/08/21 16:52:20	1194	6.981	47.997	99
2024/08/21 16:01:19	1013	7.000	41.013	98
2024/08/21 09:03:59	881	6.744	34.015	95
2024/08/21 08:44:51	703	6.284	27.271	94
2024/08/21 03:58:31	499	7.018	20.988	101
2024/08/21 02:59:58	337	7.043	13.970	100
2024/08/21 02:46:23	176	6.926	6.926	95

計測排土量 (1R×8函の合計)

計測と計画から排土率を算出

実ストローク [mm] 1194

動作モード NORMAL

計測排土量 [m³] 47.997

計画排土量 [m³] 48.482

排土率 [%] 99

平均 (10回) 29.016 27.808 104

本日 47.997 48.482 99

・計測高: 1780+1866+1928=5574÷3=平均 1858mm
・ズリ函体積 ・A:1.914m³
・B:3.828m³
・C:0.634m³ 小計 6.376m³ …①
・ズリ函体積超過分
+高さ超過分: 平均 1858mm-1700mm=158mm
+ 0.158mm×(3.3m×1.16)=0.605m³…② 合計①+②=6.981m³

＜計画排土量＞
・実ストローク 1.194m×
(マシン断面積 A:30.175m²)
＝36.029m³
・加泥材注入量＝12.453m³
合計＝48.482m³

なお、初期掘進時には土砂圧送方式のため重量測定は実施しない。

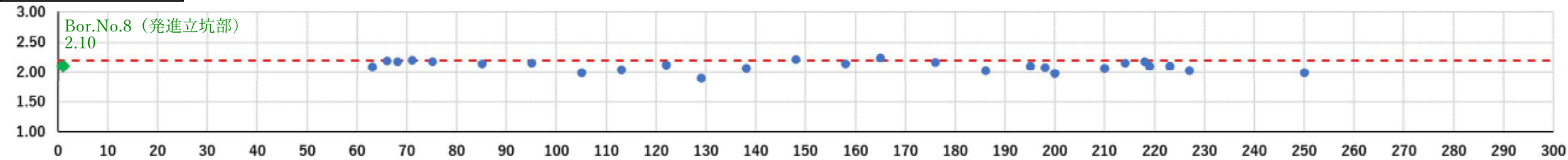
なお、初期掘進時にはロータリーポンプでの土砂圧送方式のため、土砂圧送流量計を用いた体積測定手法で管理する。

3) 排土測定データ

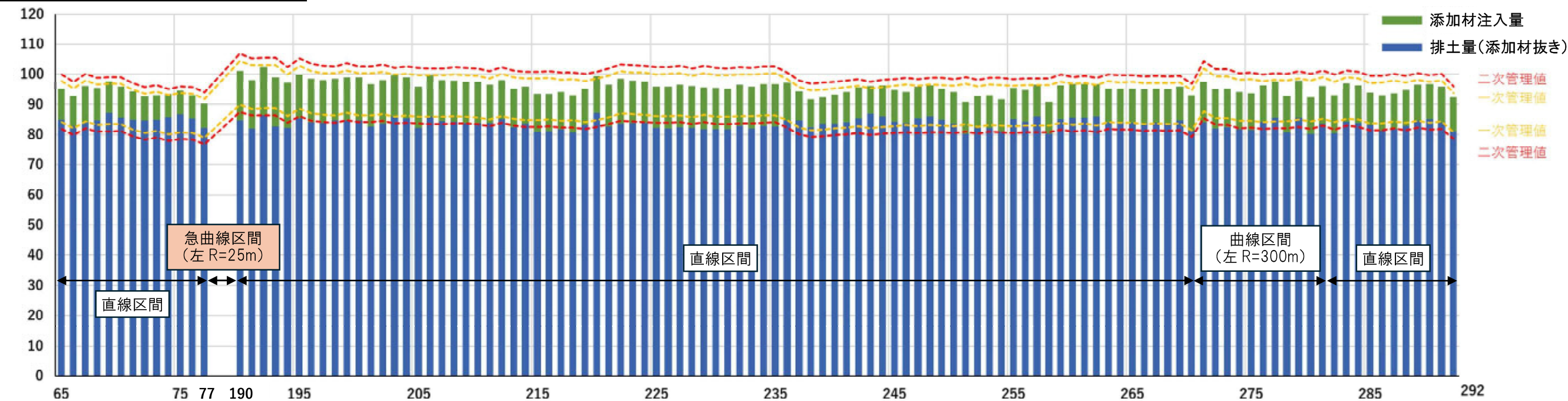
排土量（重量測定手法）のデータを以下に示す。管理値の値が変動しているのは、添加材を注入した量がリングごとに異なるためである。グラフから全区間で管理値以内であり、排土量管理に問題無く適正に管理されていることが確認できる。

①-1: 排土量(重量)

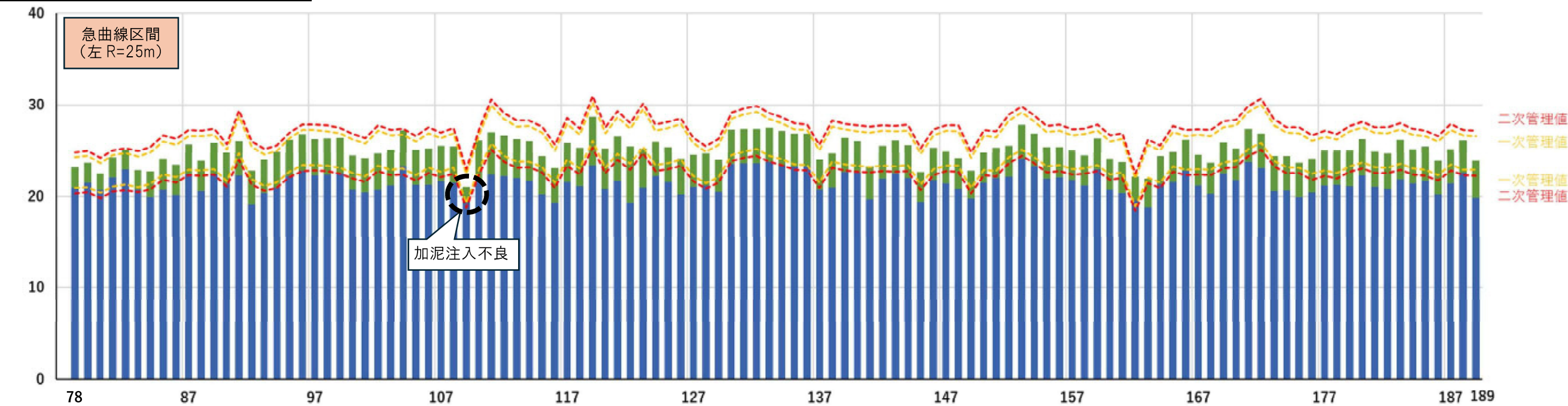
単位体積重量(t/m³)



掘削土重量(添加材含む)(t/1.2m/R)



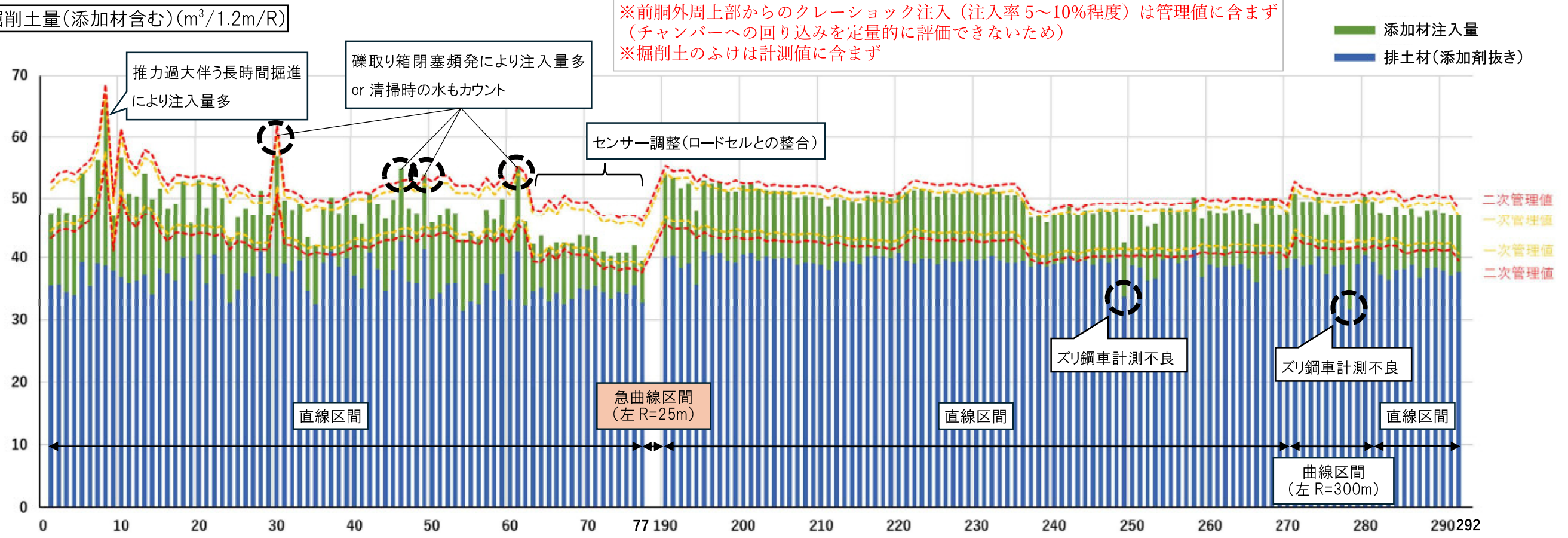
掘削土重量(添加材含む)(t/0.3m/R)



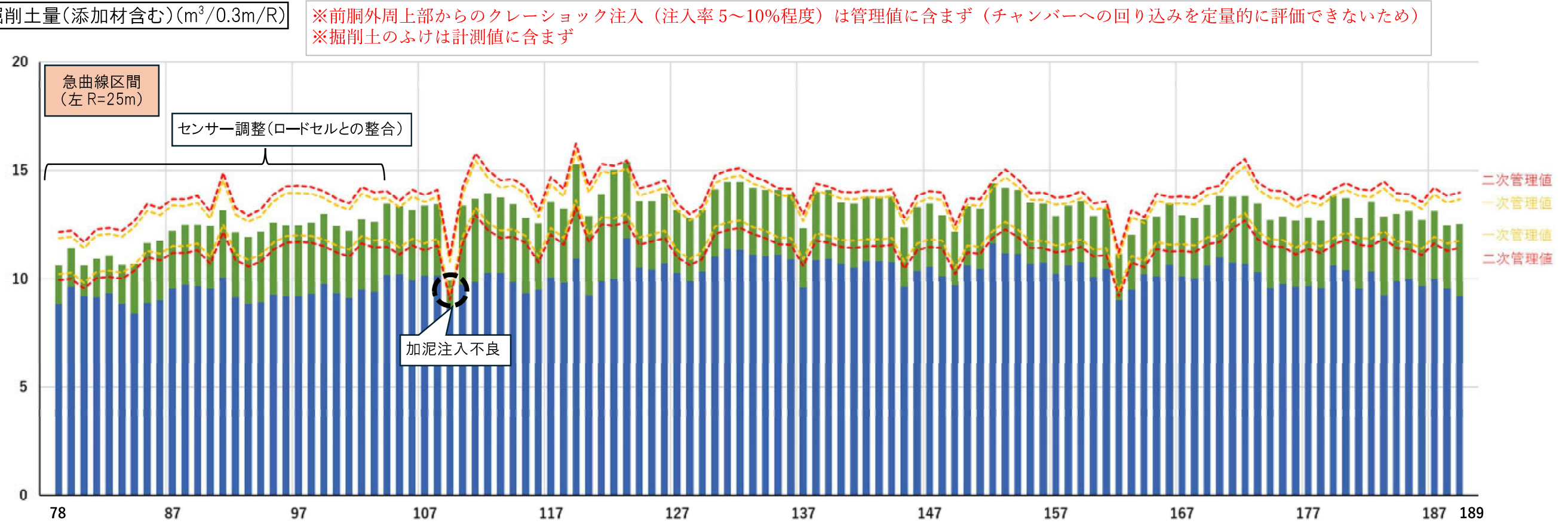
排土量（体積測定手法）のデータを以下に示す。本データは重量管理を補完（ダブルチェック）する位置づけである。一部グラフに記載の通り特異値があるが、概ね全区間で管理値以内であることが確認できる。なお、シールド機外周部へ常時注入していたクレーショックは含まず、また掘削土のふけも計測値に含んでいない。

①-2:排土量(体積)

掘削土量(添加材含む)($\text{m}^3/1.2\text{m/R}$)

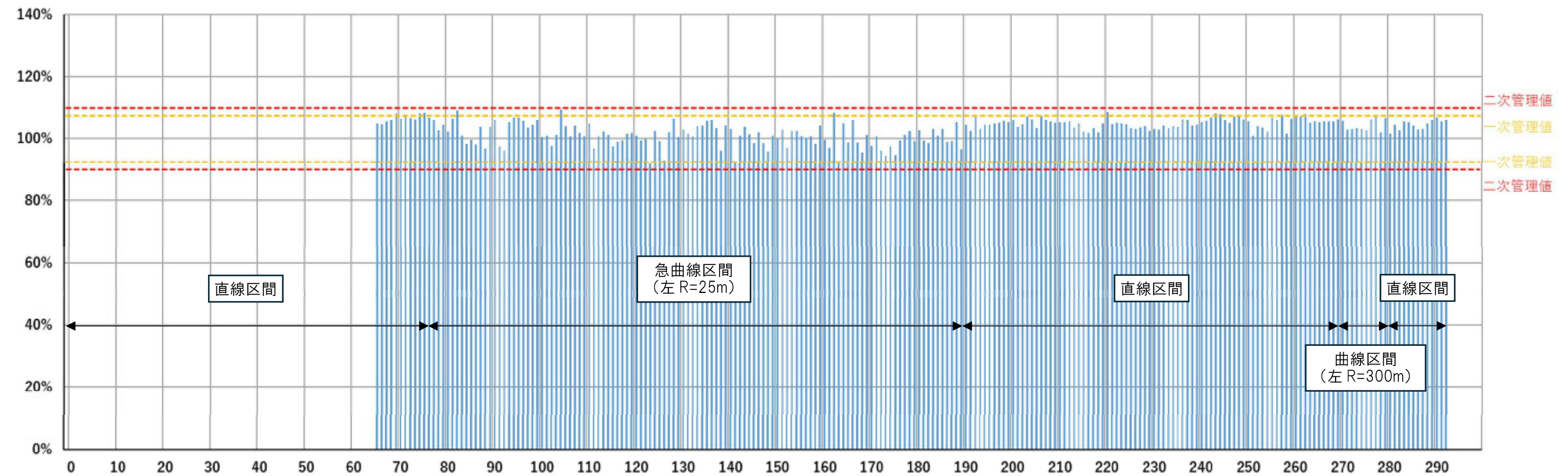


掘削土量(添加材含む)($\text{m}^3/0.3\text{m/R}$)

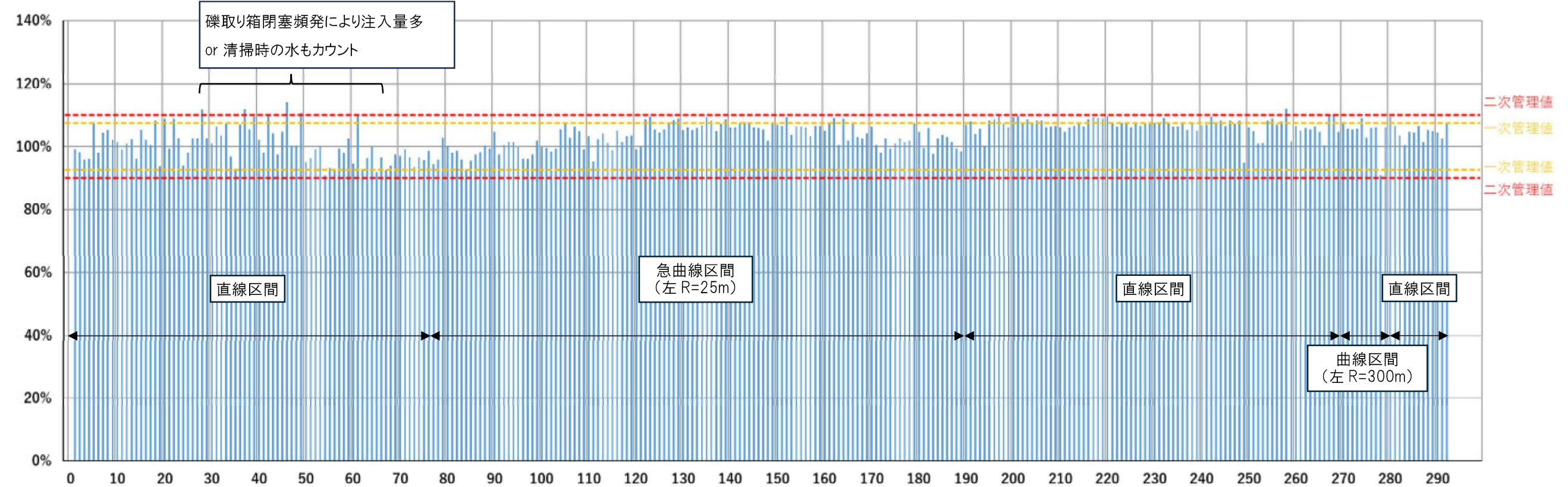


排土率のデータを以下に示す。排土率でグラフ化することにより管理値のラインを一定に表示できる。データに関する考察については、排土量管理に記載の内容と同じである。

②-1: 排土率(重量、添加材含む)(%)



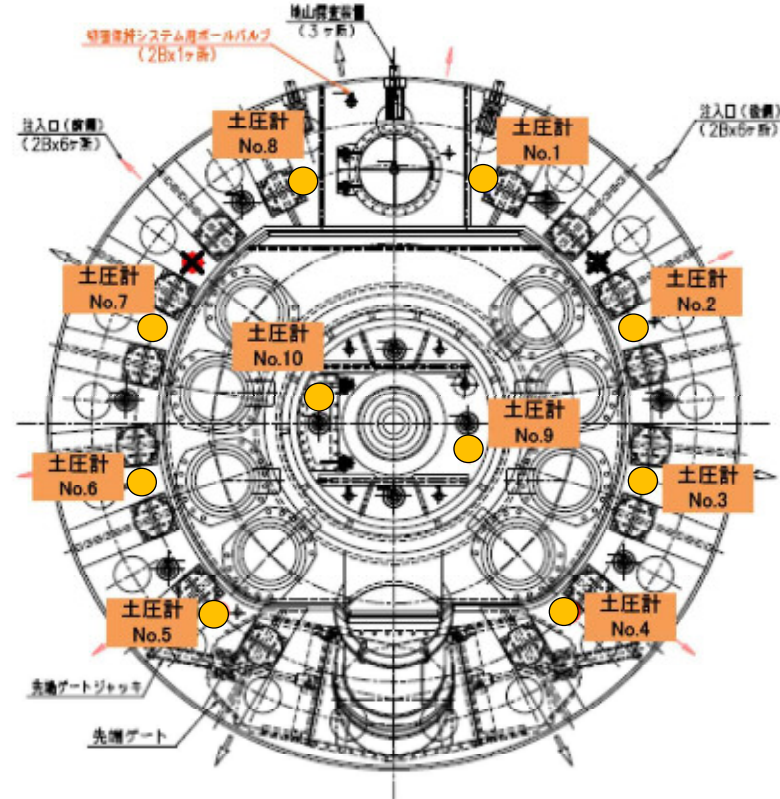
②-2: 排土率(体積、添加材含む)(%)



(3) 切羽安定管理（切羽土圧）について

泥土圧式シールド工法は、チャンバー内の掘削土に添加材（高分子系）を必要に応じて注入し掘削土の塑性流動化を図り、切羽安定に必要なチャンバー内を加圧し、その土圧により切羽の安定を保持しながら掘進する工法である。土圧計の配置を以下に示す。

- ・土圧計配置図（制御土圧の説明）

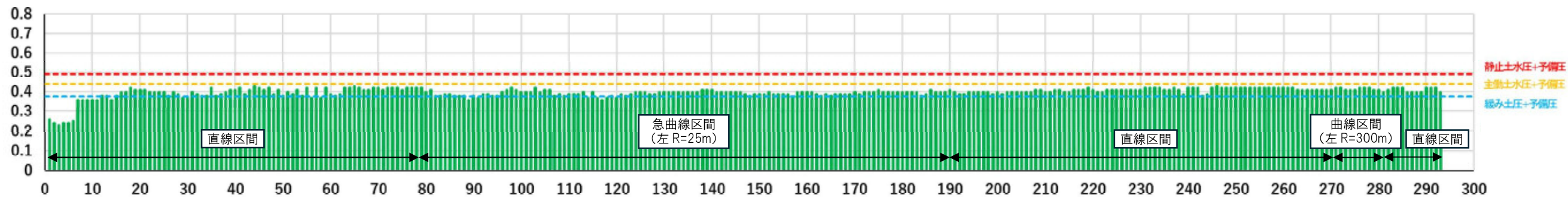


制御土圧については、計 10 か所の土圧計のうち、スプリング付近にある 4 か所（No2, 3, 6, 7）の平均値とする。中央部の 2 か所（No9, 10）については外周部と塑性流動性の状態が異なるため選定していない。

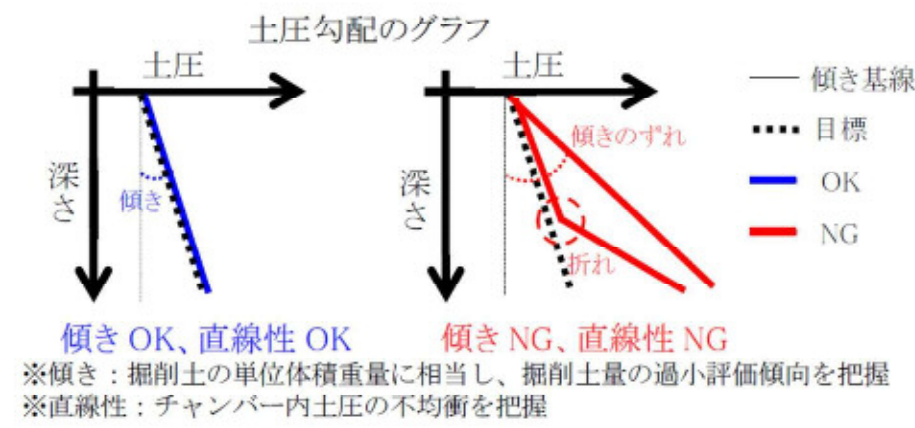
- ・管理土圧の設定
管理土圧は以下の通りとする。
「下限土圧：ゆるみ土圧 (0.36MPa) ～管理土圧：主働土圧 (0.42MPa) ～上限土圧：静止土圧 (0.46MPa)」
なお、ボーリング調査位置毎に土圧計算を実施し、その値に応じて管理土圧を設定しており、区間ごとに異なるが、掘進停止位置までの当該区間（1 リングから 293 リング）においては、一律の値である。

- ・切羽土圧の測定データを以下に示す。大きな変動はなく安定した状態であることが確認できる。

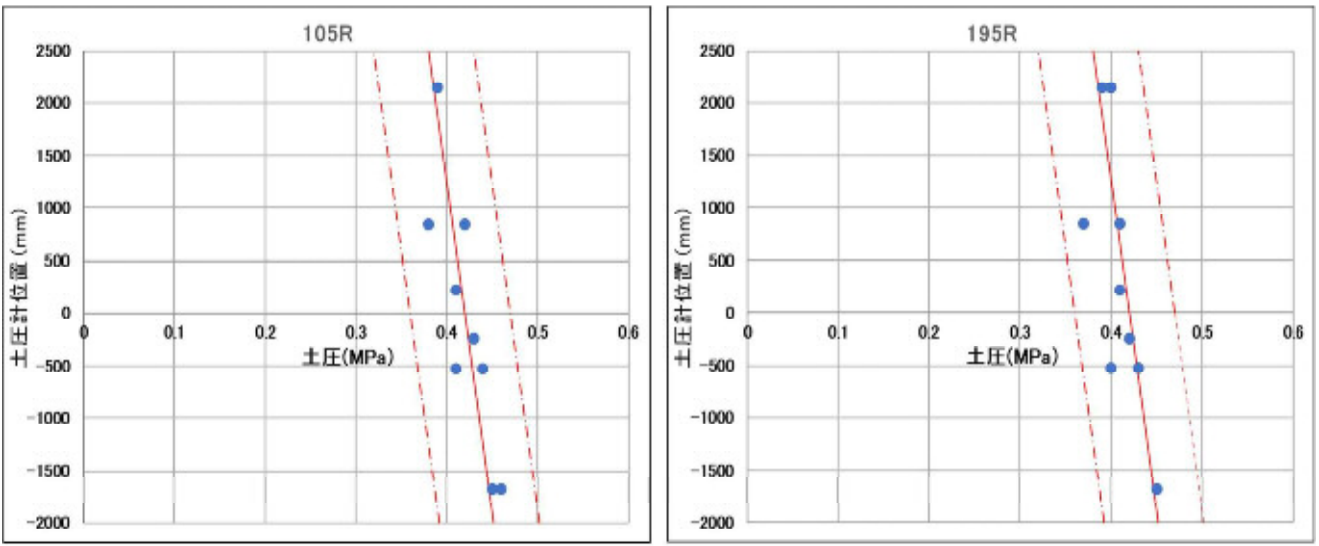
③：切羽土圧(MPa)



- ・チャンバー内圧力勾配管理：
圧力勾配の傾きと直線性の変化をリアルタイムに確認する。

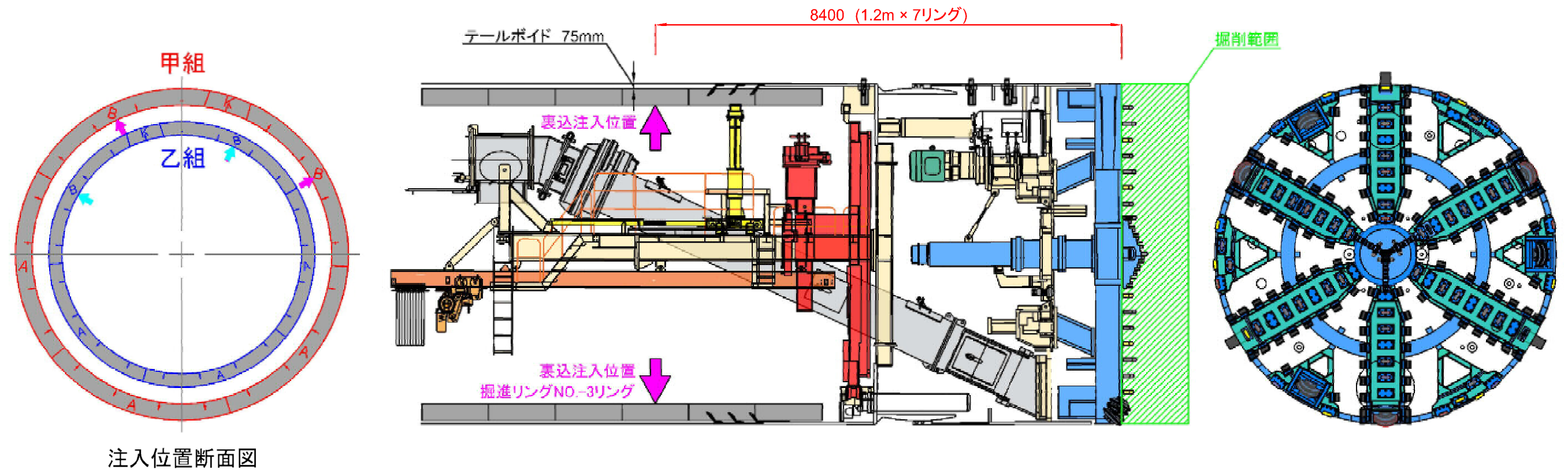


圧力勾配グラフの推移を以下に示す。一様なチャンバー内圧力勾配を示しており、安定して塑性流動性の確保ができていると判断できる。



(4) 裏込注入管理について

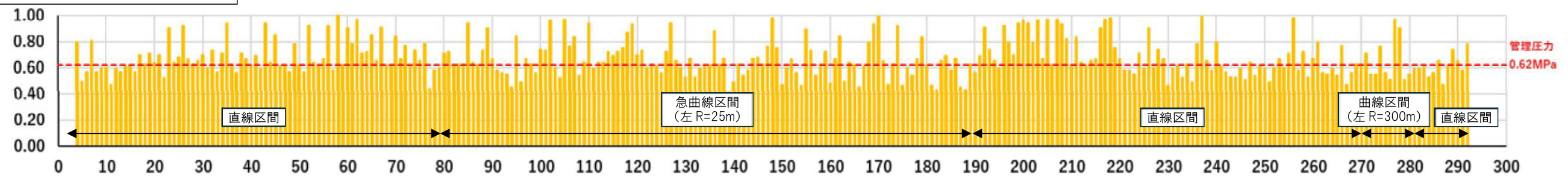
裏込注入位置は掘進リングから3リング坑口側（組立完了セグメントを含む）のセグメントから注入する。あるリングを掘削した範囲に裏込注入するタイミングは、その後7リング先へシールド機が進んだタイミングとなる。組立済セグメントのBセグメント注入孔から注入する。以下に裏込注入位置図を示す。



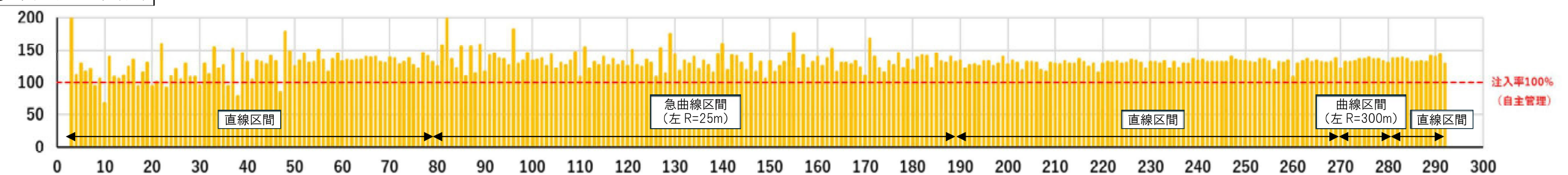
注入位置断面図

裏込注入の測定データを以下に示す。裏込注入管理は注入圧と注入量を総合的に管理する。管理基準は注入圧が目標圧力（切羽土圧の管理値 $0.42\text{MPa} + 0.2\text{MPa} = 0.62\text{MPa}$ ）以上であることと、注入量が注入率 100%以上であることである。注入圧が目標圧力に達していない場合においても、注入率が 100%以上であることを確認しており、また、平均で 130%以上であることを確認しており、全区間で裏込注入が適切に管理できていたことが確認できる。

④: 裏込注入圧(最大値:MPa)



⑤: 裏込注入率(%)

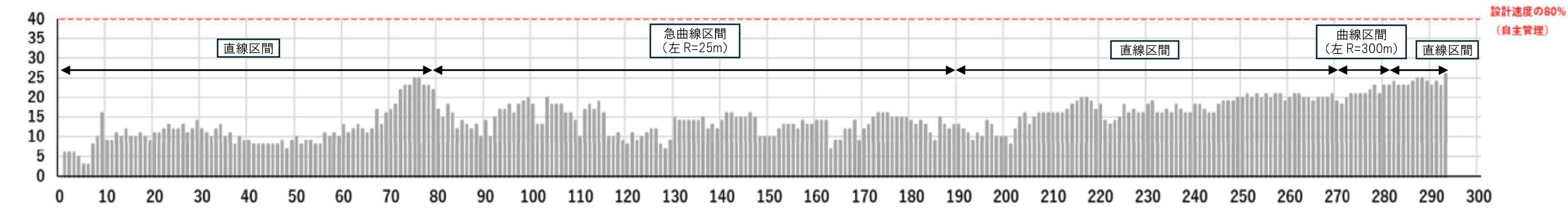


(6) 掘進時におけるその他の主な施工データ

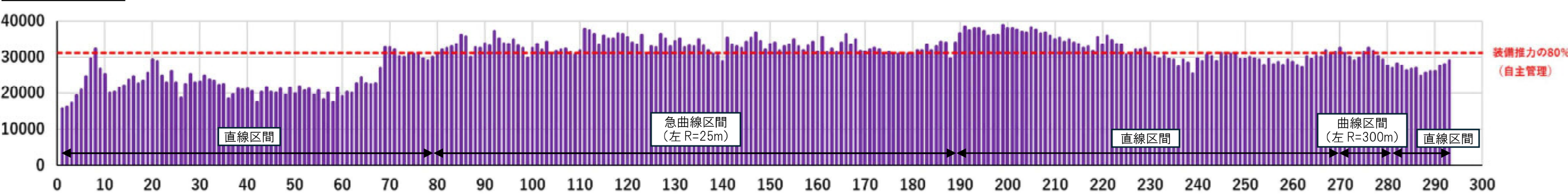
その他の掘進データ（掘進速度、掘進推力、カッタートルク）のデータを以下に示す。推力が自主管理値を超えている箇所があるが、急曲線区間が要因であると考えている。

⑦:その他①

掘進速度(mm/min)



掘進推力(kN)



カッタートルク(kN・m)

