

第 2 回広島市下水道工事事故調査検討委員会
説明資料

令和 7 年 3 月 2 8 日

— 目次 —

1. 追加の土質調査（圧密試験）等について	
1. 1 土質調査結果	1
1. 2 陥没拡大要因の検討	9
1. 3 陥没メカニズムの推定	14
2. 地盤沈下の状況について	
2. 1 地盤沈下の発生状況と予測	19
2. 2 地盤沈下対策	20
3. シールドマシン内部の調査方法について	
3. 1 シールドマシンの止水工法の選定	22
3. 2 シールドマシンの止水領域について	24
3. 3 シールドマシン内部の調査方法	25
4. その他の調査及び検討の結果について	
4. 1 シールドマシンについて	26
4. 2 シールド出水原因の推定のための調査・検討結果	27
4. 3 トンネル内流入水の水質について	27
4. 4 トンネル内異常出水の検討	28
4. 5 シールドマシンの姿勢	34
4. 6 シールド事故事例調査	35
4. 7 事故時の住民ヒアリング調査	36
4. 8 施工管理データの検証	37
4. 9 シールドマシンの品質管理状況調査	44
4. 10 セグメントの品質管理状況調査	47

1. 追加の土質調査（圧密試験）等について

1. 1 土質調査結果

事故位置で実施した土質調査の結果を以降に示す。地質調査は、その目的に応じて下表の調査を行った。

表 1.1 土質調査項目

目的	調査	詳細
地盤変化の確認	ボーリング調査	地層構成図の作成
	エンパソル(追加)	陥没部周辺の地層構成の詳細確認 地層構成図の補完
地層の乱れ状況の確認	室内土質試験	土の物理・力学・圧密特性を把握
	C14 年代測定(追加)	陥没部の順序の乱れを確認
	繰返し一面せん断試験(追加)	陥没部の残留強度を確認して下部粘性土の変形後の性状を把握
緩み範囲の詳細確認	S 波検層	緩み範囲の深度的な把握
	音響トモグラフィー	緩み範囲の面的な把握
	微動アレイ	地盤の緩み域の分布把握
地中物の確認	表面波探査	杭・残置構造物の把握
	ウォーターホールズ	

1.1.1 地盤変化の確認

第1回委員会で報告したボーリング調査による地層構成図について、陥没部周辺の各層の変化点を密に確認するためにエンパソルによる詳細調査を実施した。

(1)エンパソル

本調査は、削孔機に取付けたセンサーを用いて削孔時にデータを収集し、データ解析（LT 値※）により地盤硬軟を連続的に判定するものある。

※LT 値：推進荷重(Load)と削孔時間(TIME)からなるパラメータで、地盤の相対的な強度を示し地盤が硬いほど大きくなる傾向があり、N 値等と比較的相関性が良い。

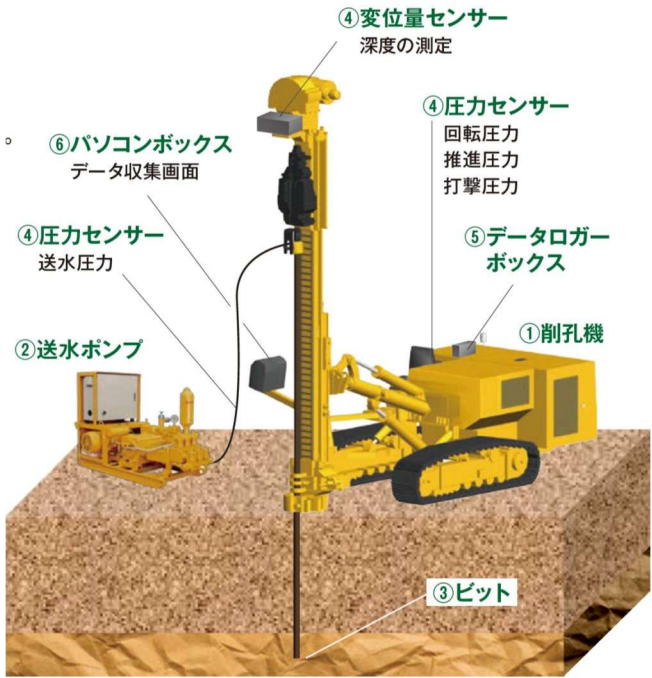


図 1.1 エンパソル概要

シールド前面部の No. 4 孔を中心に 1m ピッチで縦断・横断方向に実施し、ボーリング調査結果により以下のように地層構成図を補完した。

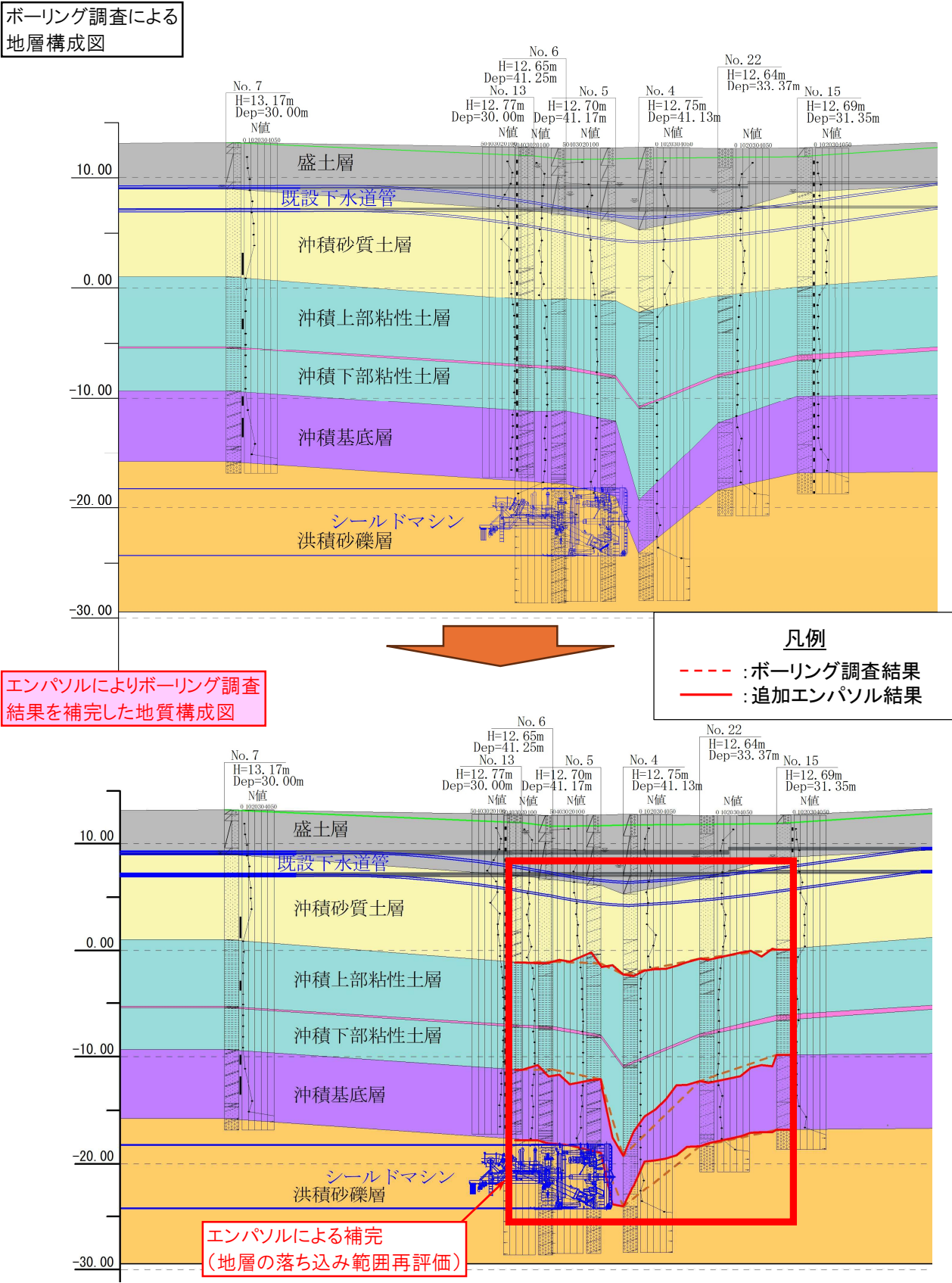
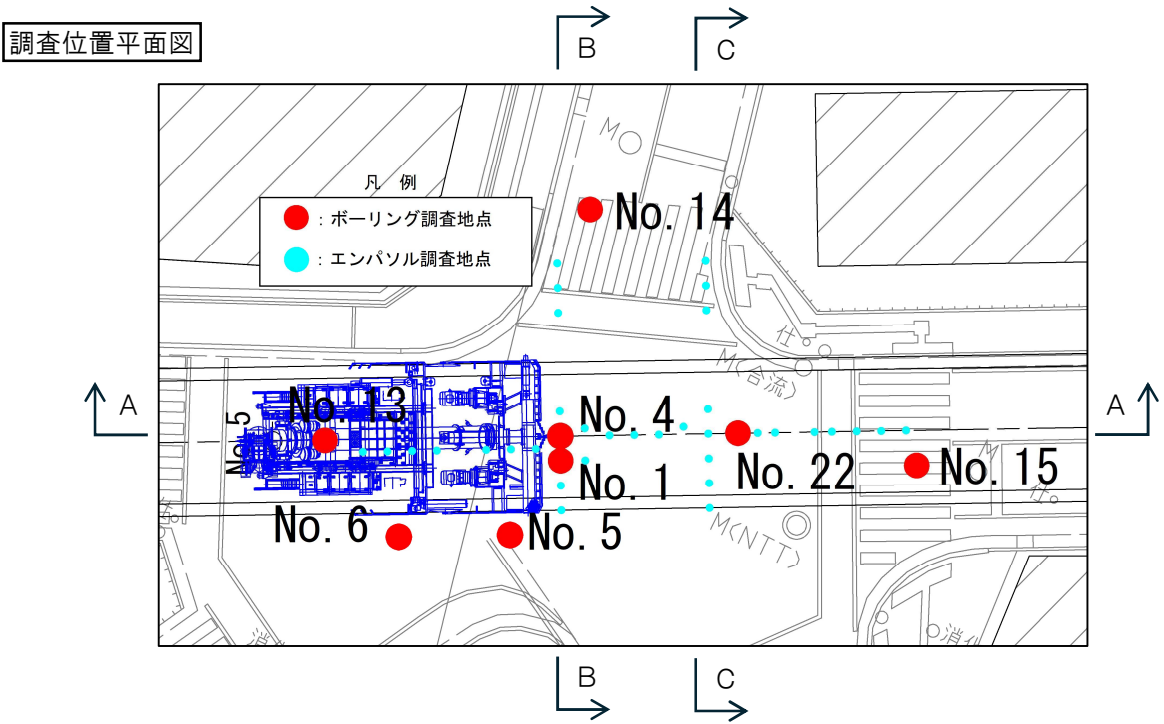
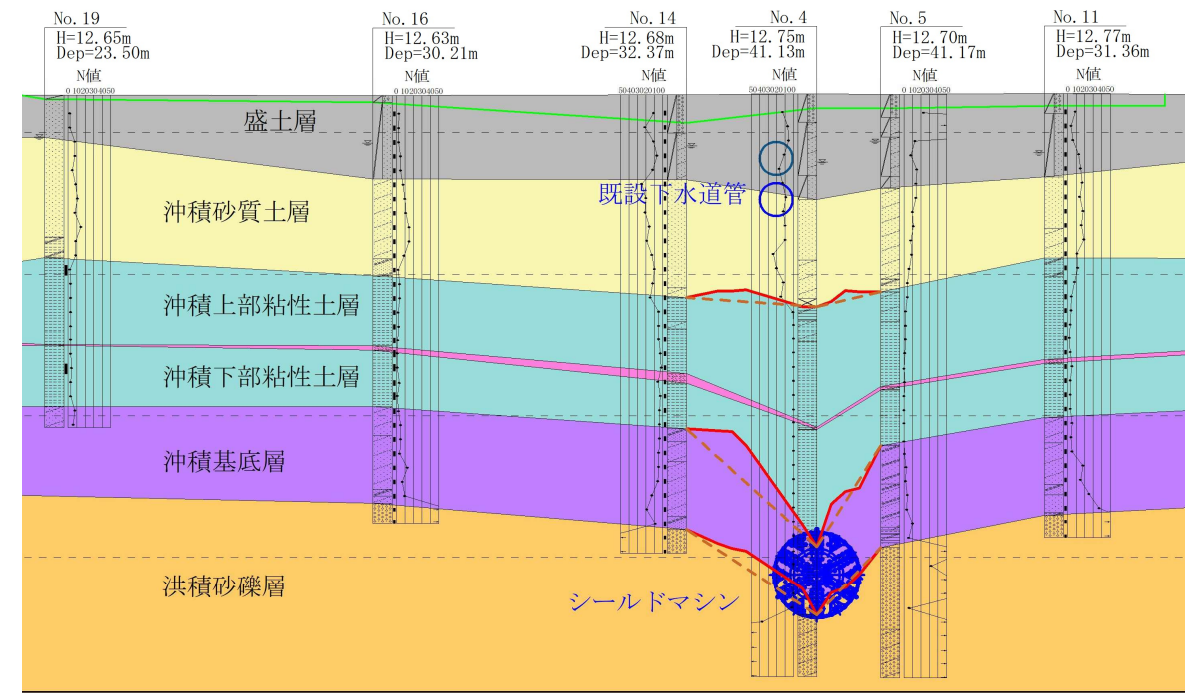


図 1.2 地層構成の見直し例（シールド掘進方向）

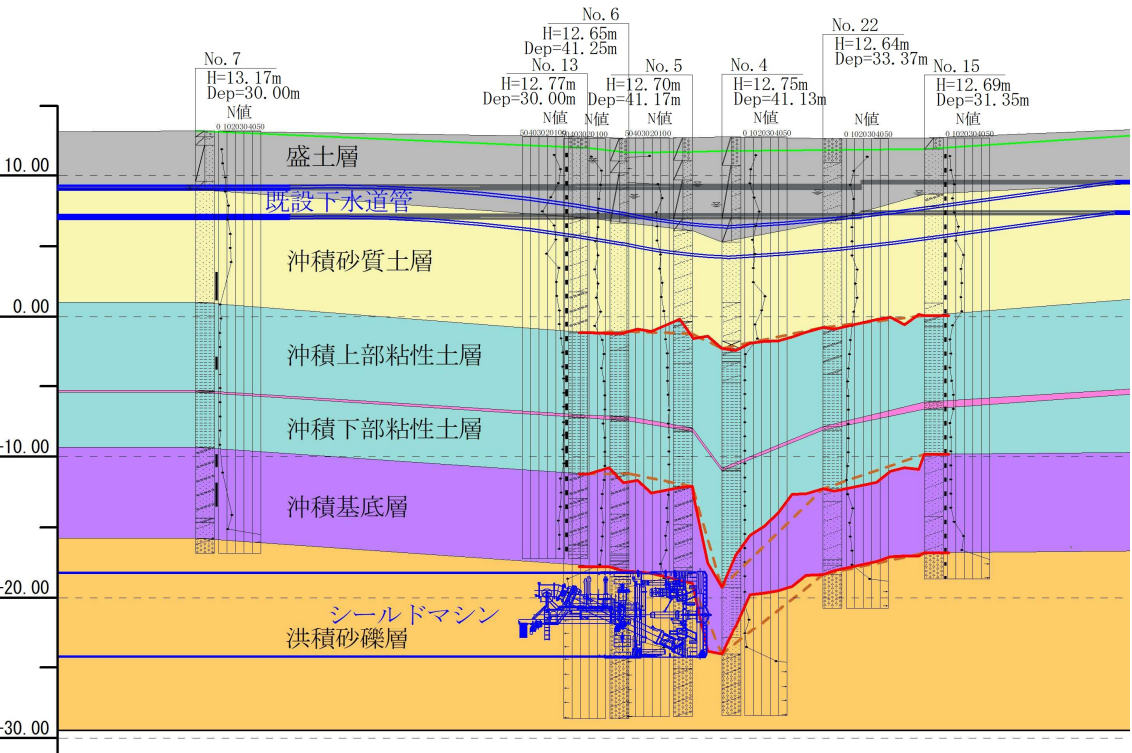
以下に縦断および横断（2断面）の地層構成図見直し結果を示す。結果、ボーリング結果のみの地層構成図と比べて、地層の落ち込み範囲を詳細に再評価することができ、シールドマシンの中央下部に向かった地層の急激な落ち込みが確認できた。



B-B断面図(シールドマシン直前横断面図)



A-A断面図(シールド掘進方向縦断面図)



C-C断面図(シールドマシン前方横断面図)

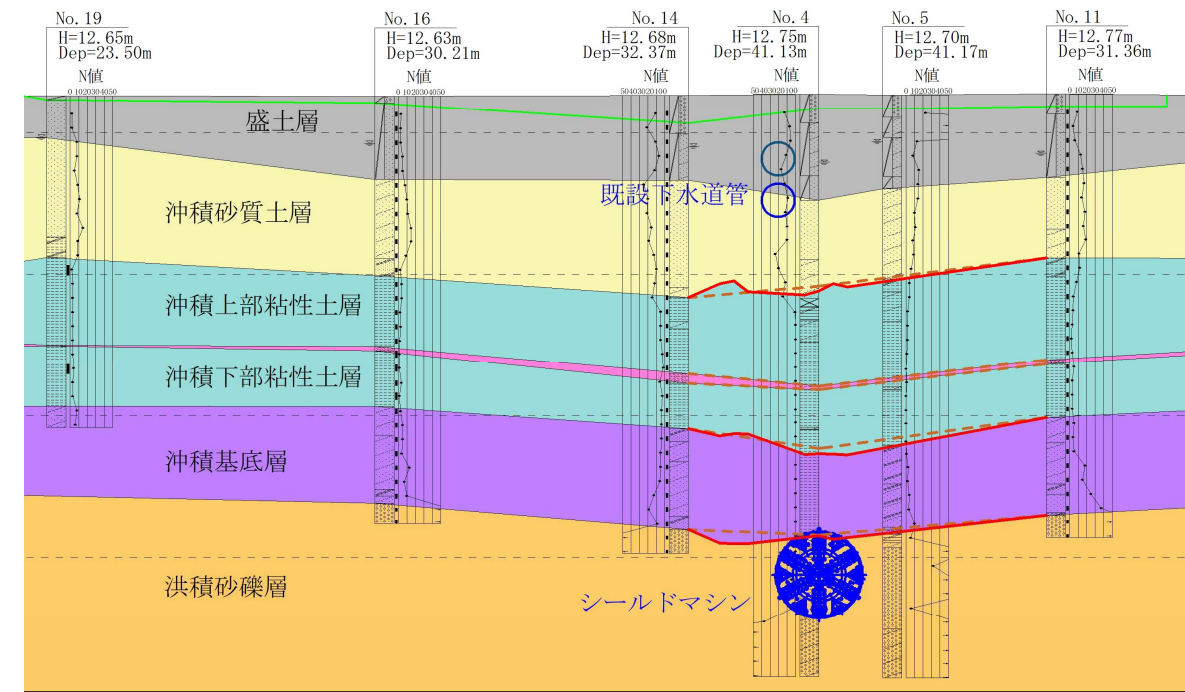


図 1.3 地層構成図の見直し結果

1.1.2 地層の乱れ状況の確認

陥没部の地層の乱れ状況を以下の試験により確認した。

(1)室内土質試験

室内土質試験結果をもとに以下のことを確認した。

①粘性土層内の砂分の確認

粒度試験結果による各層の粒度分布について以下に示す。

- ・ 沖積上部粘性土：Ac1-1
基本的には、細粒分含有率 75%以上（平均値 79.0%）であり、砂分は少ない。
但し、一部、試料で細粒分含有率が 30%～70%と粗粒分（礫分・砂分）が優勢または多くなる結果となった。深度と粗粒分の明確な関係は見られない。
- ・ 沖積下部粘性土：Ac1-2
細粒分含有率は、約 85%以上（平均値 94.5%）の結果であり、砂分は少ない。

以上より、粘性土層の砂分含有率は低いと判断した。

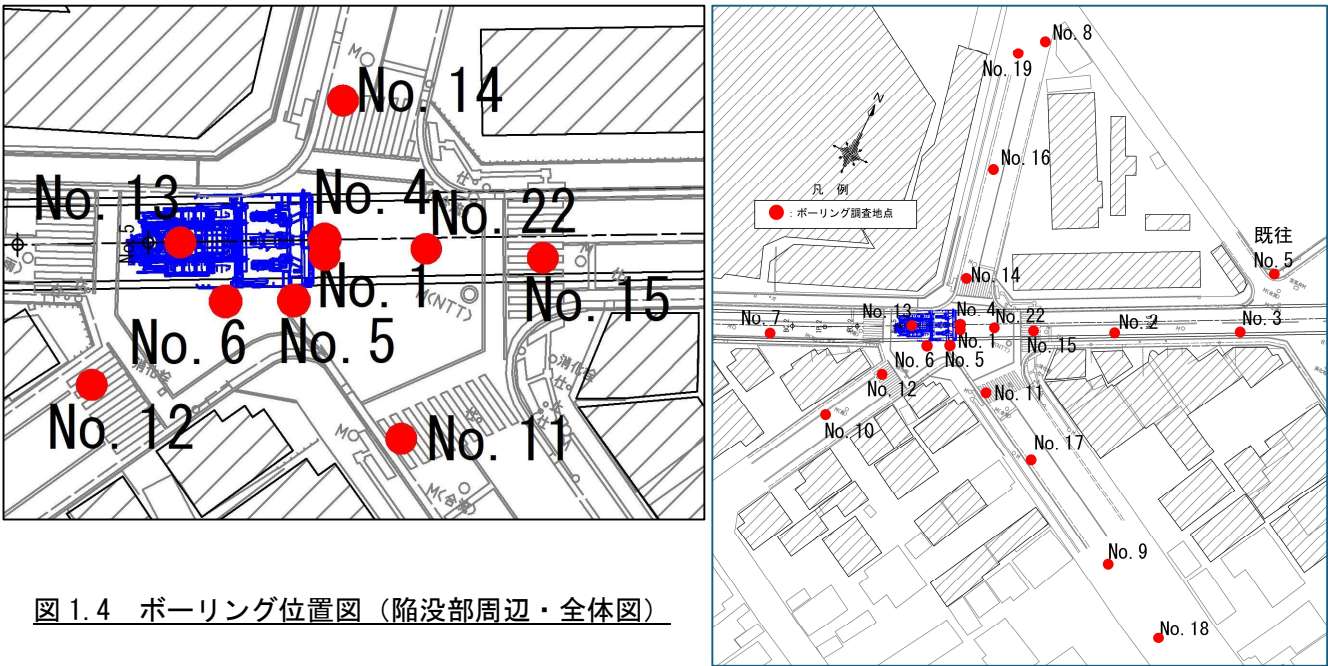


図 1.4 ボーリング位置図（陥没部周辺・全体図）

表 1.2 粒度試験結果一覧表

地層名	記号	粒度組成																	
		礫分含有率 (%)			砂分含有率 (%)			シルト含有率 (%)			粘土含有率 (%)			細粒分含有率 (%)			20%通過粒径 (mm)		
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値
盛土・埋立土	B	0.0	84.2	9.8	10.7	93.8	75.3	1.9	26.5	11.7	2.8	20.3	7.0	1.9	41.1	14.9	0.005	3.190	0.331
沖積砂質土	As1	0.0	34.0	3.9	38.5	95.2	82.4	1.3	41.3	9.9	2.5	22.6	7.6	2.0	61.5	13.7	0.004	0.391	0.180
沖積上部粘性土	Ac1-1	0.0	0.2	0.0	0.9	67.9	21.0	19.3	66.6	51.2	12.8	42.2	27.8	32.1	99.1	79.0	0.000	0.017	0.003
沖積火山灰土	At	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
沖積下部粘性土	Ac1-2	0.0	0.5	0.1	1.3	14.6	5.3	35.1	52.5	44.5	42.8	56.7	50.2	84.9	98.7	94.6	0.000	0.000	0.000
沖積砂質土（基底層）	As2	0.0	42.3	14.3	7.9	81.8	58.2	6.8	53.1	16.6	4.0	38.4	13.9	7.0	91.5	27.5	0.000	0.356	0.083
洪積砂礫	Dg	35.0	86.8	69.8	11.8	57.6	26.1	1.4	7.4	4.1	---	---	---	1.4	7.4	4.1	0.308	4.692	1.537

②N 値の変化

陥没部については以下の 3 種に分類して、N 値の変化を比較した。

- 最陥没部（No. 4）
- 陥没部（No. 5、6）
- 陥没部周辺（その他）

- ・ 最陥没部の No. 4 地点では他地点に比較して明らかに N 値が低くなり、ほぼ 0 を示す。
- ・ 陥没部（No. 5、6）においても粘性土層で若干の N 値低下がみられる。
- ・ No. 5 地点では、陥没の影響によるものかは不明確であるが、洪積砂礫層の N 値が 6 と非常に小さい部分を確認されている。

以上より、陥没の影響により N 値が低下傾向を示していることを確認した。

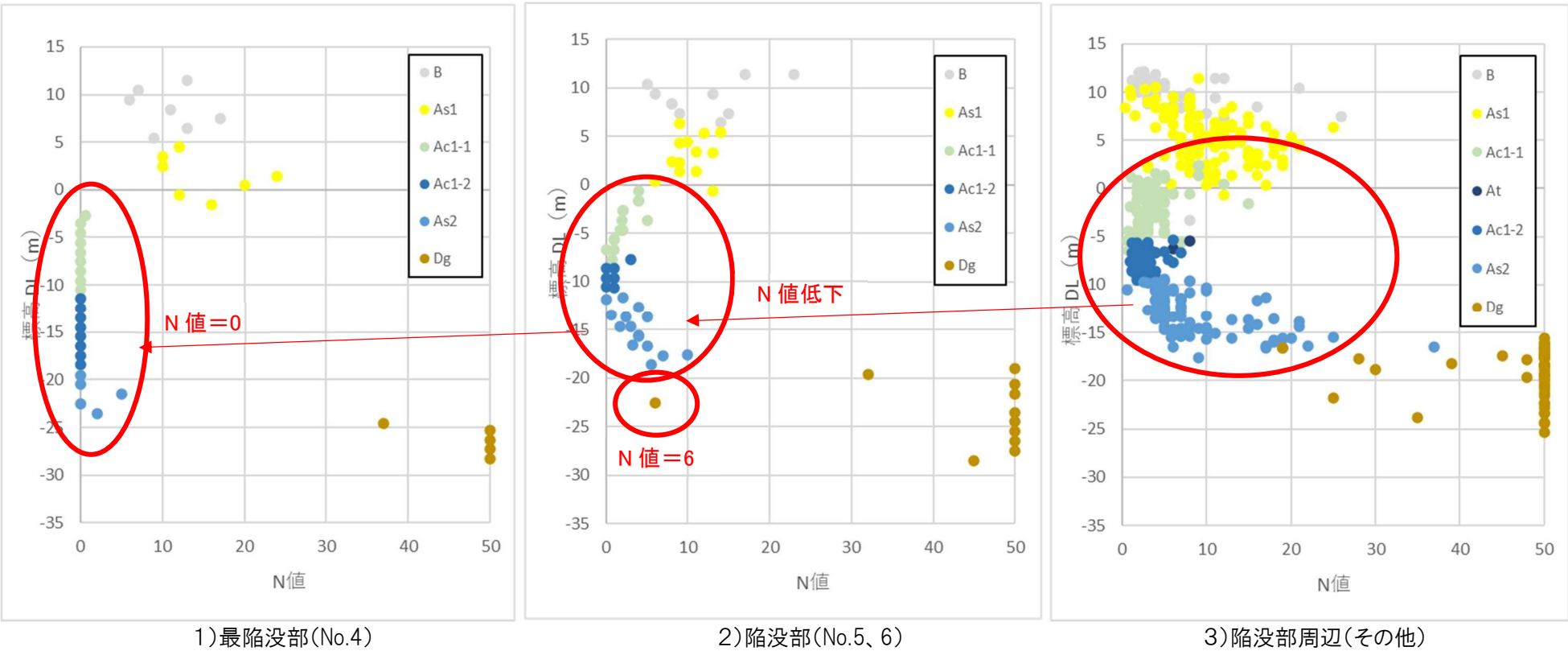


図 1.5 陥没部とその他の標準貫入試験結果比較

③圧密定数の変化

最陥没部（No. 1（No. 4 別孔））と陥没部周辺（No. 2）の圧密試験結果を比較した。

- No. 1 以外の沖積上部粘性土層と沖積下部粘性土層の比較では、過圧密比（OCR）に大きな差はみられない。
- 全体的には OCR が 1.12～1.76 を示し、若干の過圧密状態となっている
- 最陥没部の No. 1 地点については、圧密降伏応力 p_c が有効土被り応力 σ' を大きく下回っている。この状態は下部ほど顕著であり、最上部（GL-16m 付近）では p_c 値の低下がみられていない。

表 1.3 圧密試験結果による過圧密比一覧

地層名	Bor.No	深度 GL-m	単位体積重量 (kN/m ³)		有効土被り 応力 σ'	圧密降伏 応力	OCR
			γ_t	γ_{sat}			
Ac1-1	1	16.45	16	6	184.15	268	1.46
		21.45	16	6	214.15	182	0.85
	2	15.43	16	6	171.43	265	1.55
	3	16.40	16	6	157.80	216	1.37
	7	16.45	16	6	167.15	187	1.12
	12	17.40	16	6	141.00	204	1.45
Ac1-2	19	12.35	16	6	126.20	222	1.76
	1	24.45	15	5	231.25	131	0.57
	2	21.33	15	5	203.95	286	1.40
	3	20.40	15	5	179.87	232	1.29
	19	19.35	15	5	166.50	249	1.50

以上より、最陥没部では粘性土が大きく乱されており、強度が低下しているものと判断した。土構造が破壊されることで圧密降伏応力が低下し、過圧密から圧密未了状態に移行することで沈下が生じやすい状態に変化しているものと推測される。

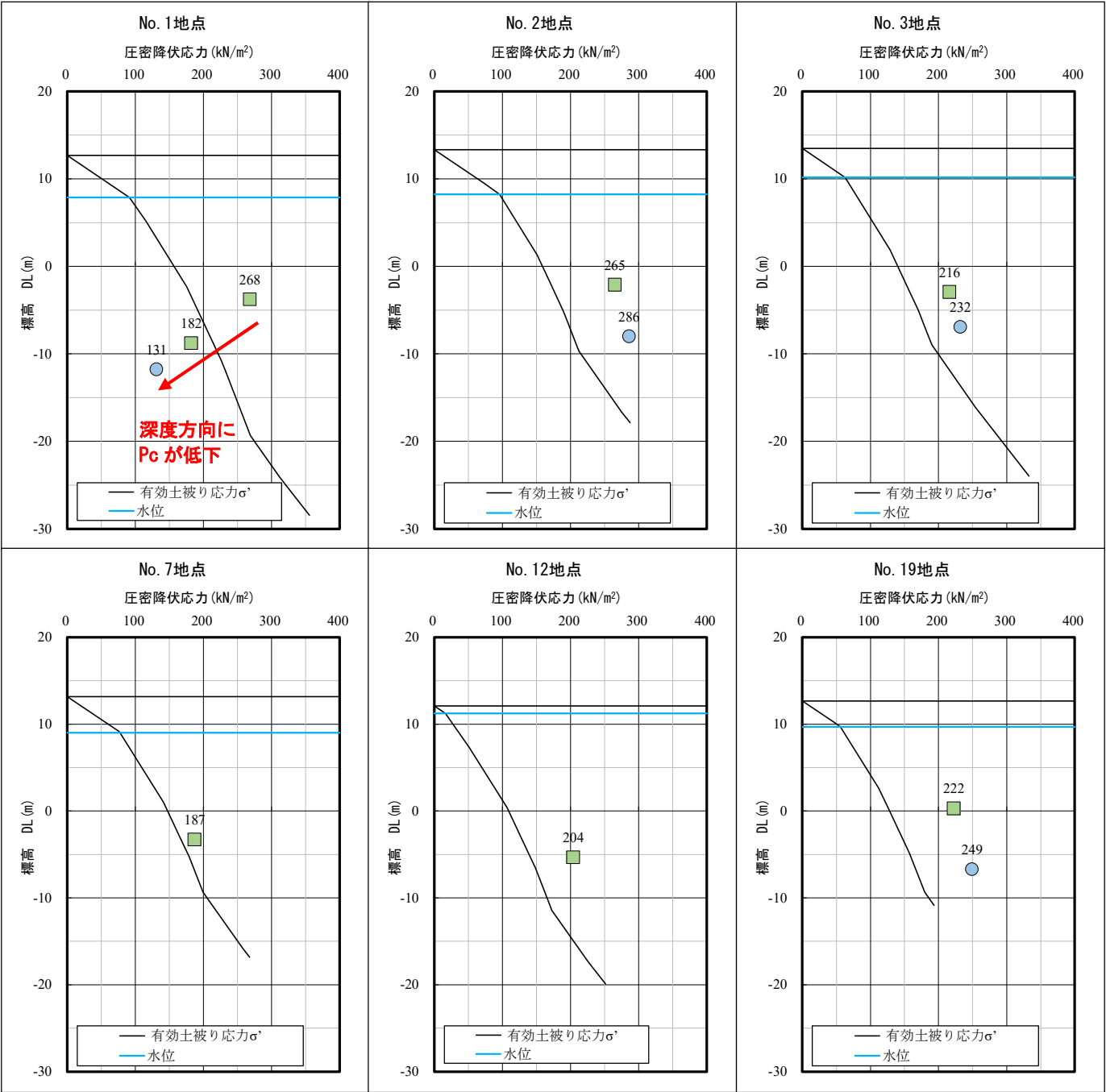


図 1.6 有効土被り応力 σ' と圧密降伏応力 p_c の比較

(2)C14 年代測定(放射性炭素年代測定)

本調査は、各深度で採取した有機物の年代を測定することで、堆積年代の順序に乱れが有るかを確認するものである。炭素の放射性同位体である炭素 14 (C14) を利用して、試料中の炭素 14 の残存量を測定することで、炭素 14 の減少率から試料の年代を推定する。ボーリング No. 4 と No. 3 の孔の試料を用いて実施した。以下に結果一覧を示す。

表 1.4 測定結果一覧

サンプル名	試料	暦年代校正
No4_26.63m	貝殻	(95.4%)7519 - 7245 cal BP (5569 - 5295 cal BC)
No4_29.75m	貝殻	(95.4%)8317 - 8017 cal BP (6367 - 6067 cal BC)
No4_32.90-33.00m	粘土	(94.3%)12770 - 12722 cal BP (10820 - 10772 cal BC)
No4_33.50-33.68m	貝殻	(95.4%)8208 - 7927 cal BP (6258 - 5977 cal BC)
No3_19.60m	貝殻	(95.4%)7519 - 7245 cal BP (5569 - 5295 cal BC)
No3_20.80m	貝殻	(95.4%)8479 - 8189 cal BP (6529 - 6239 cal BC)
No3_21.60m	貝殻	(95.4%)8102 - 7800 cal BP (6152 - 5850 cal BC)

※「cal BP」：1950年を基準とした年数

※「cal BC」：西暦(紀元前)

No. 4 孔の測定結果を柱状図に記載した図を以下に示す。

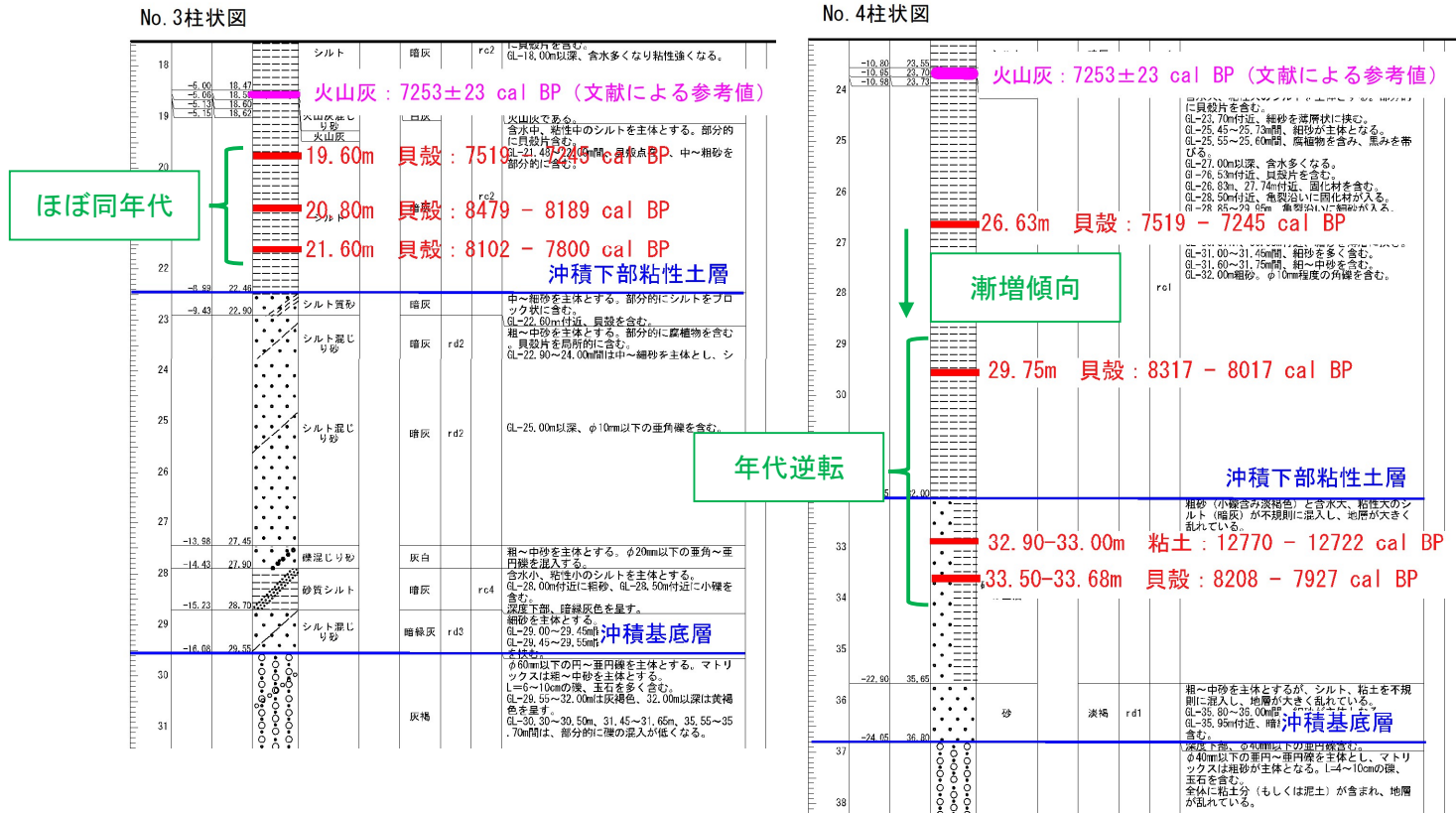


図 1.7 測定結果柱状図

以上より、砂質土と粘性土層が不均質に互層している沖積基底層は、堆積年代の順序に乱れがあった可能性が高い。

(3)繰返し一面せん断試験

本試験は、変形（伸び）したと推定される下部粘性土層の残留強度を確認するものである。供試体のせん断方向を順次反転させることで、大変形を与え、土の残留強度を評価する。以下に試験結果を示す。

表 1.5 繰返し一面せん断試験結果一覧

強度定数	c kN/m ²	ϕ 度	$\tan \phi$
ピーク強度 (繰返し1回目)	34.05	33.20	0.654
残留強度 (繰返し14～15回目)	0.00	25.97	0.487

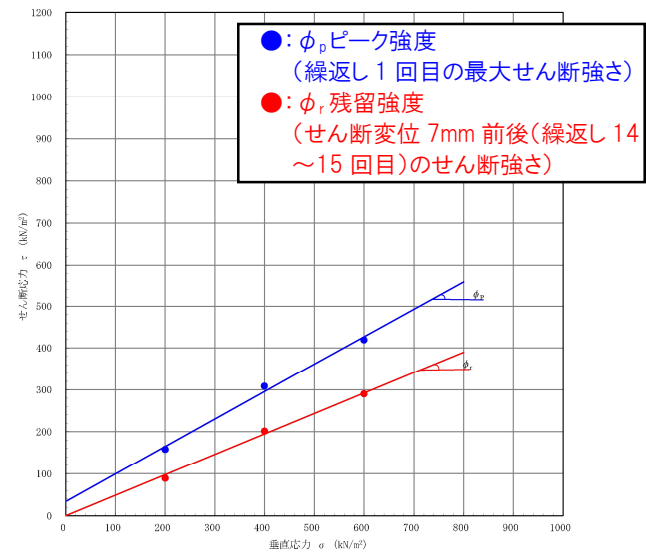


図 1.8 繰返し一面せん断試験結果グラフ

以上より、残留強度は、粘着力が 0kN/m² となりせん断抵抗角は約 26° になった。

(4)繰返した土を用いた一軸圧縮試験

本試験は、乱れの少ない試料を繰り返して一軸圧縮試験を行う事によって、鋭敏比を求めた。鋭敏比を求めることで、土の強度がどれだけ低下しやすいかを評価する。以下に試験結果を示す。

影響範囲外の一軸圧縮強さ：135.3 kN/m² (No. 3 孔)

繰返した一軸圧縮強さ：15.1 kN/m² (No. 1 孔)

鋭敏比の算出

影響範囲外の一軸圧縮強さ／繰返した一軸圧縮強さ＝135.3／15.1＝8.96≒9.0

以上より、下部粘性土層は、鋭敏比 St＝9.0 であることから鋭敏粘土と判断され、変形によって強度が低下しやすい性状を持つ。

1.1.3 緩み範囲の詳細確認

陥没部およびその周辺の緩み範囲を以下の試験により確認した。

(1) S 波検層

本試験は、地盤中に伝播する弾性波動の伝搬時間を測定して、地盤の S 波速度を確認するものである。地盤の鉛直方法への層区分、各層の強度や動的地盤特性を把握する。以下に試験結果を示す。

表 1.6 S 波検層結果一覧

各層	S波速度							
	No.7	No.12	No.13	No.4	No.2	No.3	No.16	No.17
盛土層	130	150	150～210	170	120	130	150	150
沖積砂質土層	170	150～180	170	150～190	170	170	160	150
沖積上部粘性土層	150	120	110	測定不能	140	150	140	170
沖積下部粘性土層			90				180	
沖積基底層	160	150	220	測定不能	230	170	180	190
洪積砂礫層	—	280	—		—	330	—	—
No.4からの離れ	37.4m	18.1m	9.5m	0	30.4m	55.1m	31.3m	29.9m

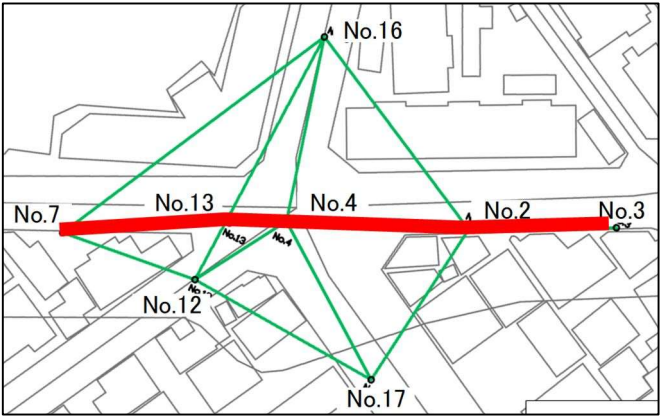


図 1.9 測定箇所（3 試験共通）

- 結果、以下のことが言える。
- 各層の S 波速度は下表ようになる。
 - 陥没部（No. 4）では、沖積上部粘性土～沖積基底層まで測定不能となり、N 値＝0 となっている範囲は空洞ではないものの非常に緩い状態であると想定される。

表 1.7 各層の S 波速度

土層	S 波速度(m/s)	備考
粘性土層	120～180	シールドマシン前面の No.4 では測定不能
沖積基底層	150～230	近傍(No.13,12)では減少
洪積砂礫層	280～330	変化なし

以上より、概ねボーリング調査結果の地層構成図と一致した。

(2) 音響トモグラフィ探索

本試験は、2 箇所 のボーリング孔間で計測したデータに基づき、音響波（P 波）の伝播速度と振幅減衰を算出し、計測断面における地盤情報を可視化する。以下に試験結果を示す。

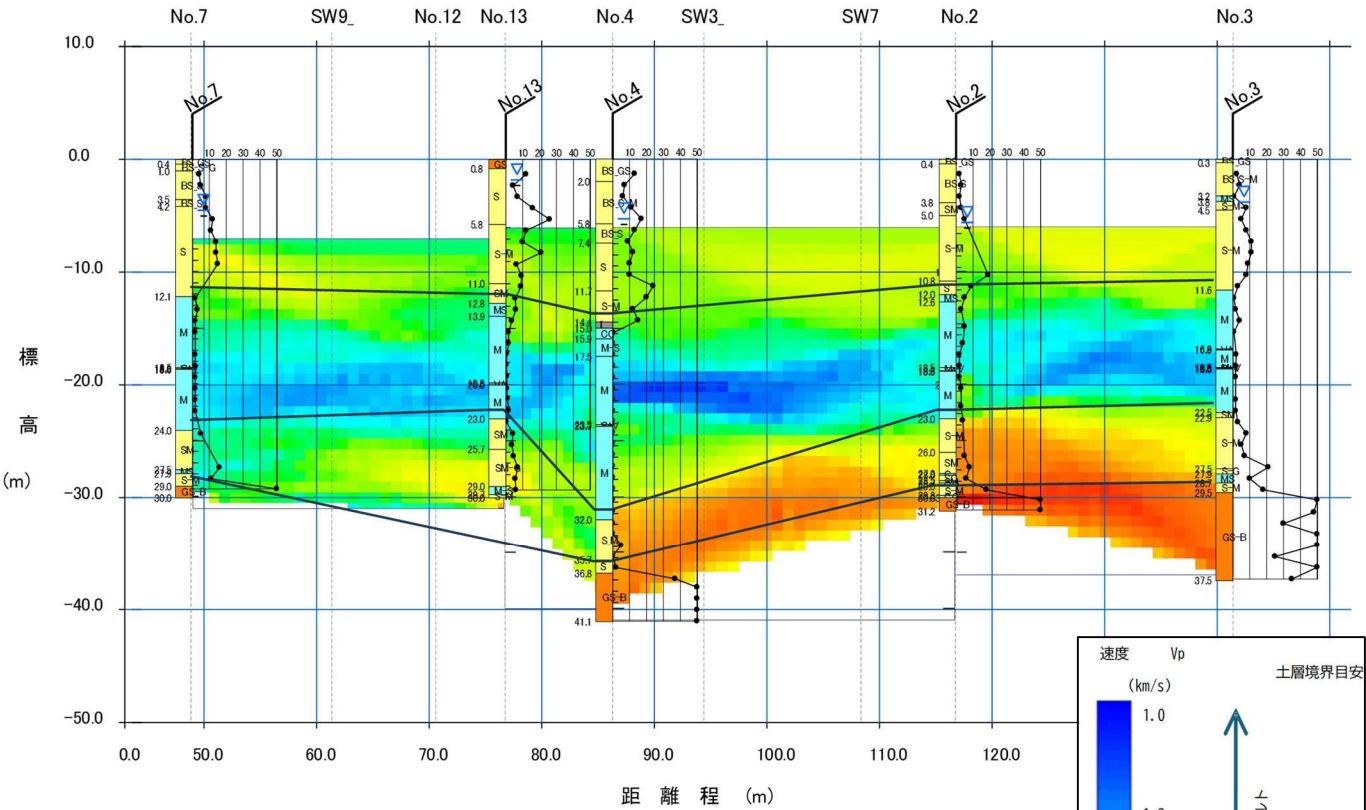


図 1.10 音響トモグラフィ探索結果

- 結果、以下のことが言える。
- 一般部の P 波速度は浅部から深部に向かって、「1.5km/s 前後」→「1.2km/s 程度以下」→「1.6～1.7km/s 前後」→「1.8km/s 程度以上」と変化。
 - P 波速度が 1.2km/s 程度以下の低速度域も、概ね沖積粘性土層の分布域と一致。
 - 粘性土層分布域の上部及び下部では、P 波速度値がやや高めである。
 - 低速度域は、陥没部に向かって下方に傾斜する。
 - 陥没部周囲では低速度域が深部にまで及んでいる。

以上より、概ねボーリング調査結果の地層構成図と一致し、空洞等の特筆すべき特徴は確認されなかった。

(3)微動アレイ探査

本試験は、常時微動と呼ばれる微小な振動を観測し、そのデータを解析することによってS波速度構造を推定するものである。探査結果から、地盤の硬さを推定し、地盤緩み等を確認する。以下に試験結果を示す。

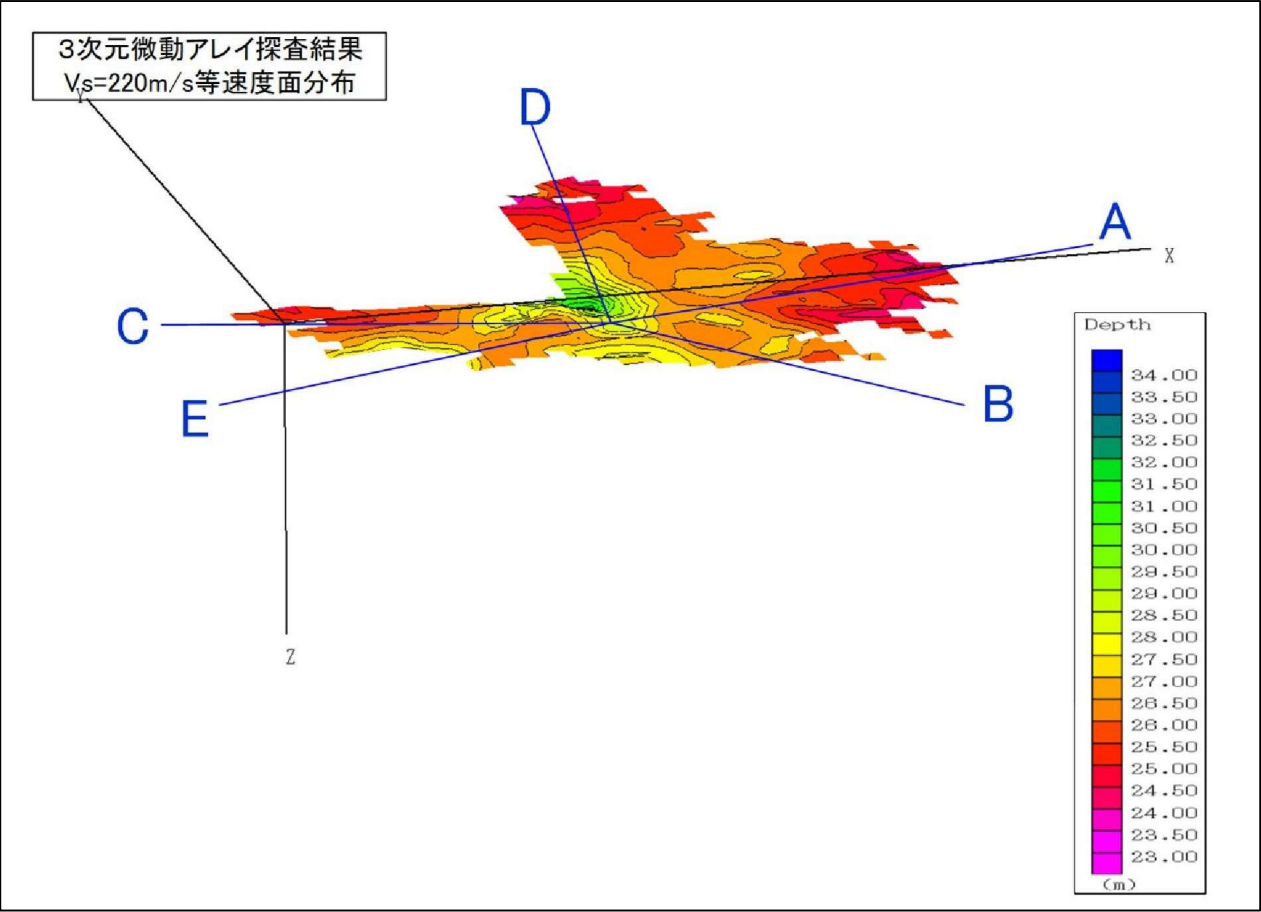


図 1.11 微動アレイ探査結果

- 結果、以下のことが言える。
- ・ 陥没部から北北西側に 10m 前後の場所を中心として、半径 10～15m 程度の範囲で、周囲に比べて S 波速度が 1～2 割程度低下する低速度域を確認（等速度面が落ち込んでいる）。
 - ・ 低速度域は、深度 40m まで確認

以上より、概ねボーリング調査結果の地層構成図と一致した。

(4)表面波探査

本試験は、地表を打撃した際に発生する地盤の地表付近を伝わる表面波（レイリー波）を多チャンネルで測定・解析することにより、深度 10～15m 程度までの地盤の S 波速度を求めるものである。探査結果から、地盤の緩み状況を把握する。以下に試験結果を示す。

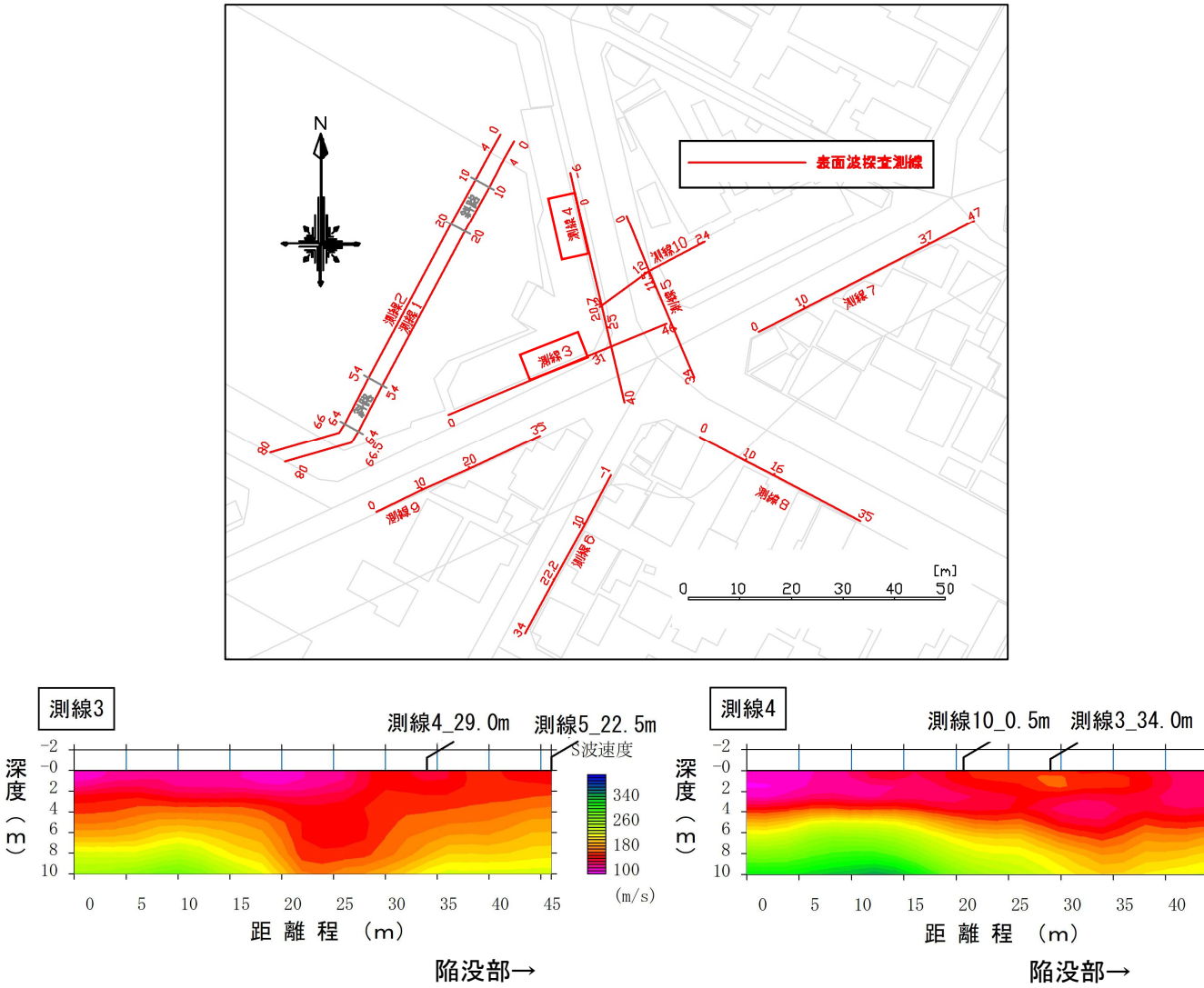


図 1.12 表面波探査測線図・結果図

- 結果、以下のことが言える。
- ・ 測線 3 では、距離程 20～30m 付近で、他の区間に比べて低速度域が深部まで及んでいる。
 - ・ 測線 4 は、距離程 5～15m 付近において、深度 4m 付近に明瞭な速度境界が確認され、距離程 25m 以深は、低速度域が深部まで及んでおり、ゆるみの可能性が確認された。
 - ・ 測線によっては、明瞭な速度境界が確認された。

以上より、概ねボーリング調査結果の地層構成図と一致した。

1.1.4 地中物の確認

ウォーターホールズ工法及び試掘により地中物の確認を実施した。ウォーターホールズ工法は、主に旧西大橋の橋台部付近で実施し、試掘は、事前に実施した空洞探査結果から空洞が懸念された付近をバックホウによる直接掘削にて実施した。

表 1.8 確認した地中物（障害物）

	GL [m]	DL [m]	障害物（推測）
No.1	-5.5	7.4	矢板
No.2	-5.3	7.6	φ 350以上の石、木片
No.3	-2.5	10.4	流動化処理土
No.4	-5.5	7.4	φ 350以上の石
No.5-1	-1.3	13.3	基礎
No.5-2	-2.2	12.4	石、管
No.6	-6.0	6.8	ガラ、ゴミ

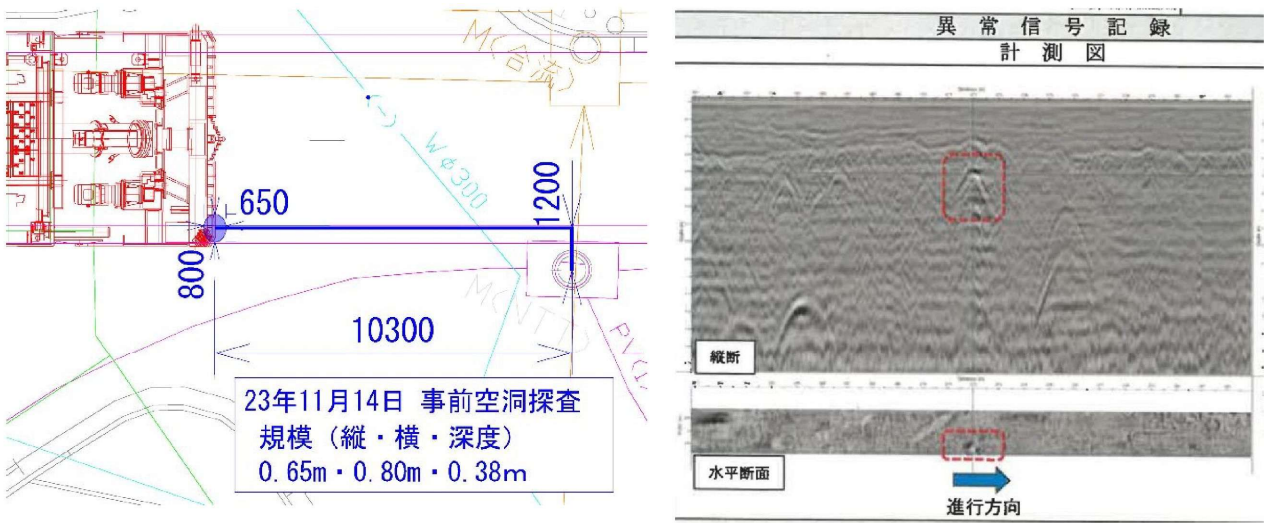


図 1.13 ウォーターホールズ工法結果



図 1.14 試掘結果

- 結果、以下のことが言える。
- ・ウォーターホールズ工法で確認された障害物は、φ 350mm 以上の石やコンクリートガラ、がれき類であった。
 - ・事前の空洞探査で懸念された空洞箇所には、コンクリート桷やコンクリートガラが確認された。

以上より、陥没事故に影響する地中物は確認されなかった。

1. 2 陥没拡大要因の検討

1.2.1 シールド掘削による地盤の乱れについて

シールド掘削による地盤の乱れについて、各探査結果から以下のことが言える。

- ボーリング、S波検層、音響トモグラフィ、3次元微動アレイ探査結果に共通して、N値が小さい領域や、P波、S波速度の低速度域が、陥没部に向かって落ち込むように傾斜する様子が認められる。但し、陥没部を含まない断面においては、低速度域の傾斜は不明瞭である。
- 音響トモグラフィで得られたP波速度は、シールド通過済みの断面では、それ以外の断面に比べて低速度である。
- S波検層や3次元微動アレイ探査で得られたS波速度では、シールド通過の有無による速度値の違いは確認できない。
- P波、S波速度とも地盤の強さの指標として活用されるが、飽和状態の土質地盤ではP波速度は少なくとも水中の伝播速度(1.5km/s)以上となることから、土質地盤においてはS波速度のほうが、地盤状況をより詳細に反映できるものと考えられる。
- なお、音波の場合、気泡（地下水中のガス）の影響で速度が低下することは有るようで、P波速度が1.5km/s未満になることも少なからずあるともいわれている。⇒本施工では気泡材は使用していない。

以上より、P波速度では違いがみられるものの、シールド通過による沖積基底層および洪積砂礫層上部の状態の変化は認められないものと判断される。

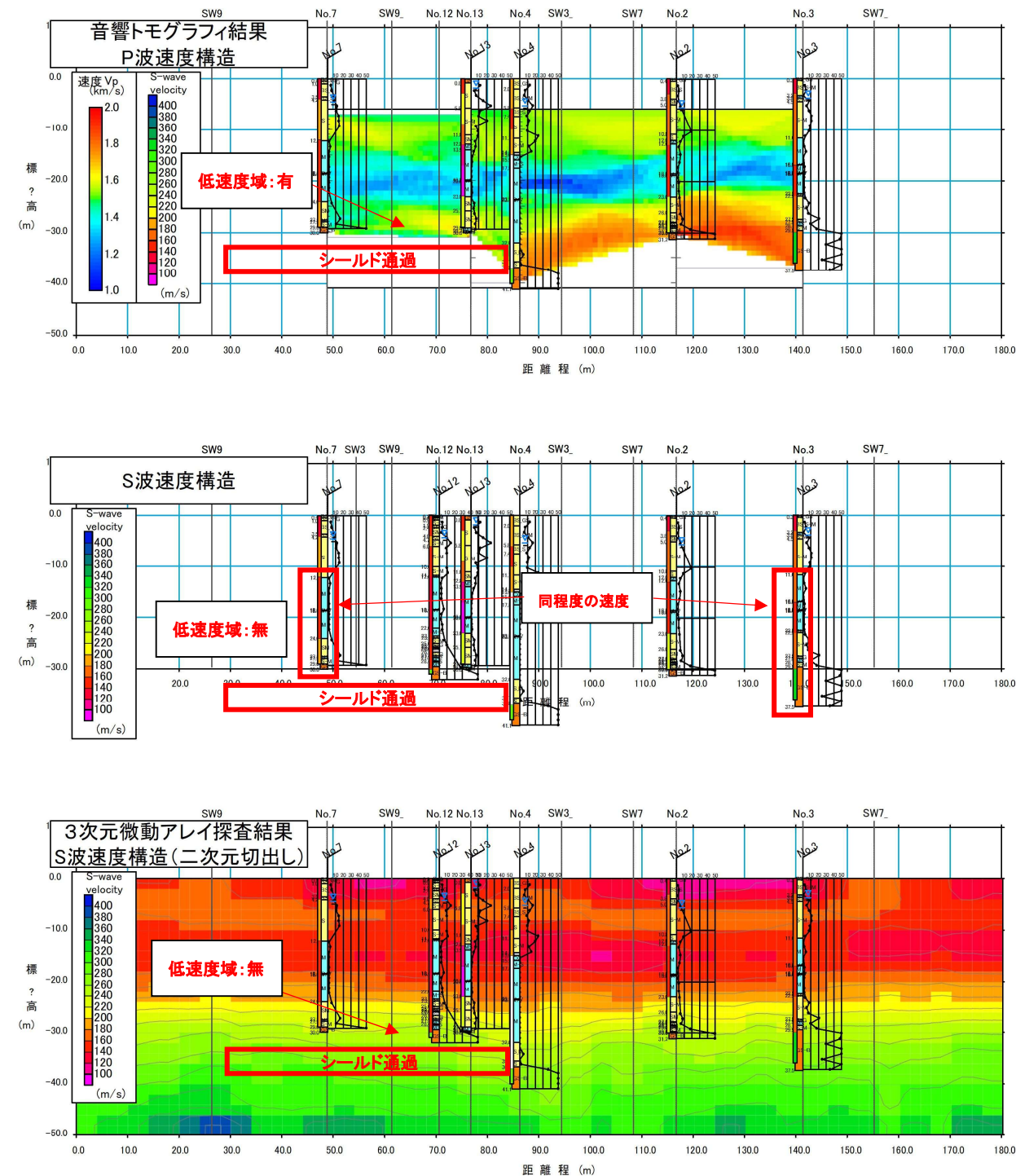


図 1.15 物理探査・検層結果比較図

1.2.2 シールド掘削による液状化発生の可能性について

(1)現場での振動観測値

立坑西側の官民境界で観測した 2024 年 9 月の振動計測値（平均値）のグラフを以下に示す。
2024 年 9 月の振動計測値は平均 37.2dB、最大値 53dB であった。

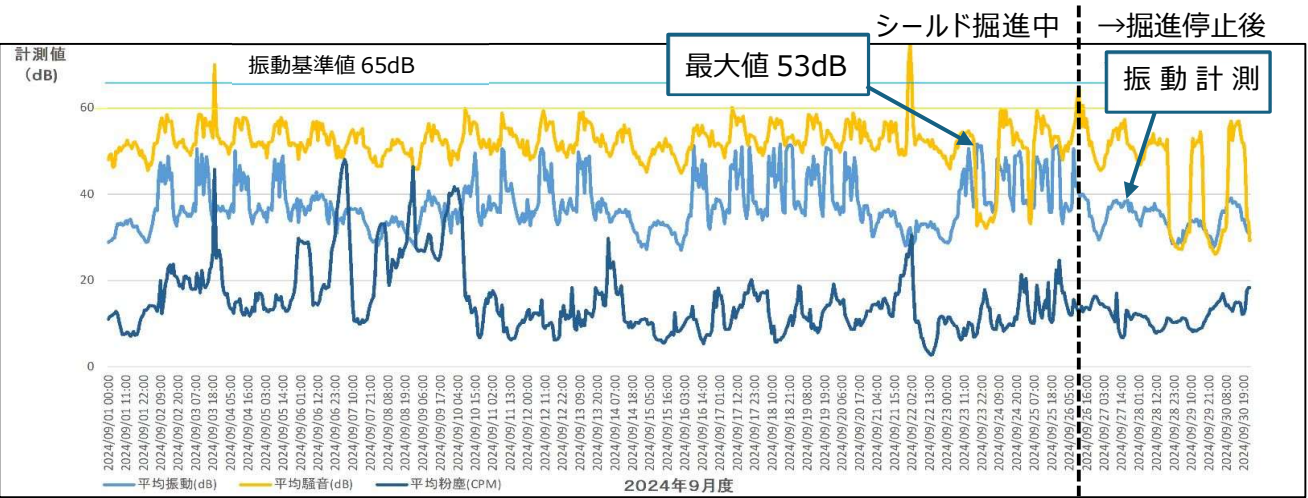


図 1.16 2024 年 9 月の振動・騒音・粉塵の現場計測値（平均値）

(2)振動レベルと地震力の関係

JIS C 1510（振動レベル計）によると、最大値 53dB は地震加速度($1\text{gal}=0.01\text{m/s}^2$)に換算して約 1gal となり、下図において震度 1 相当となる。

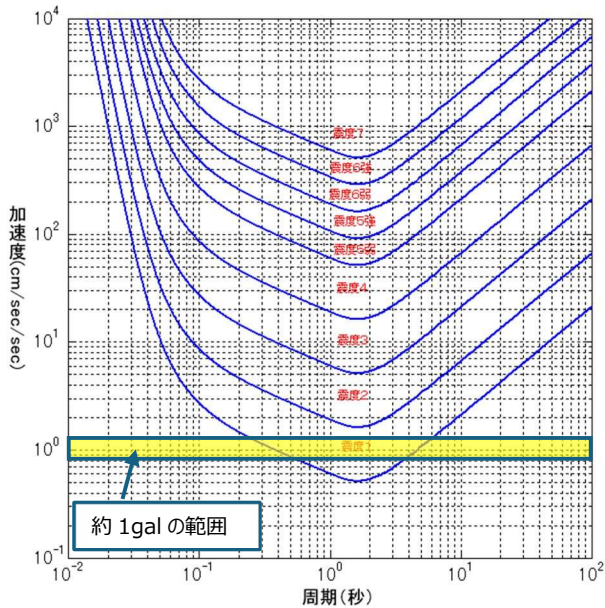


図 1.17 加速度と周期、震度の関係

(出典：気象庁 <https://www.data.jma.go.jp/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/comp.html>)

(3)周辺地盤の液状化強度試験結果

陥没中心と周辺地盤において、繰り返し三軸試験を実施した。RL₂₀（载荷回数 Nc=20 回時点での応力比）は、陥没中心の試験結果が RL₂₀=0.115、周辺地盤における As1 層、As2 層の液状化強度比は 0.115～0.209 であり、陥没中心と周辺地盤で、液状化強度の極端な差はないことが判明した。
RL₂₀=0.2 程度の液状化の強さは「小さい」に相当する（表 1.9）。

表 1.9 繰り返し三軸強度比 RL と液状化強さの目安

液状化の強さ	液状化強度比 R_L			
	0.2	0.3	0.4	0.5
小さい	試験結果			
中位				
大きい				

(注) ここでの液状化強度比は等方応力では有効拘束圧、異方応力では平均有効主応力を分母とし、正弦波の繰返しせん断力を分子とした値である。

※「地盤調査・土質試験結果の解釈と適用例, 社団法人 地盤工学会」より引用

(4)シールド掘進に伴う振動液状化判定

「道路橋示方書・同解説 V 耐震設計法」における FL 法により、液状化安全率を算出した。下図に示すとおり、沖積砂質土層中心部において、 $FL=0.115/0.011=10.5>1.0$ と算出され、液状化が生じないと判定される。

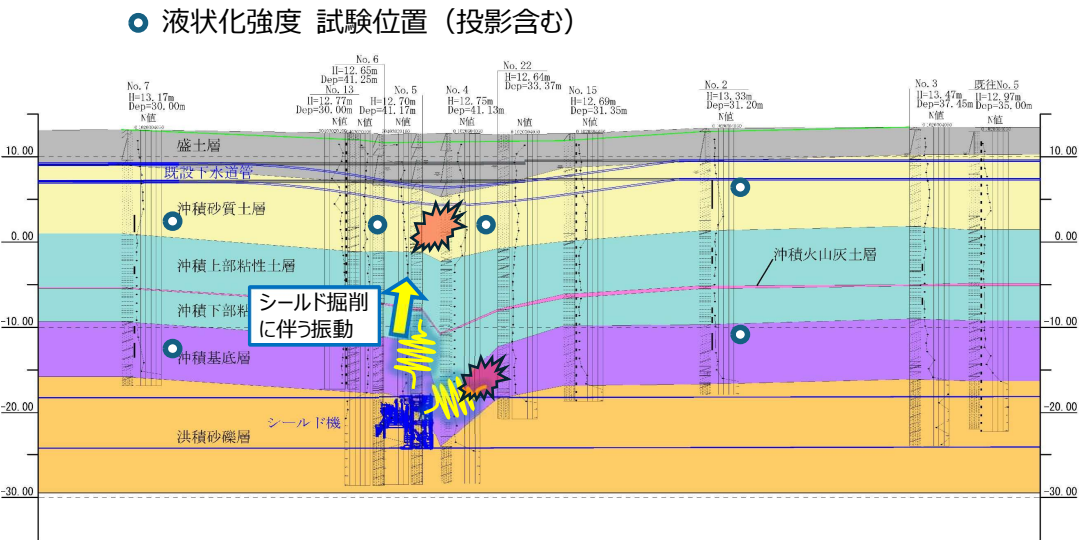


図 1.18 シールド掘削振動による伝播イメージ

2024 年 9 月のシールド掘削に伴う振動レベルは、震度階に換算して震度 1 程度である。周辺地盤の液状化強度に関しても、陥没箇所が特別に液状化しやすい地盤とはいえない。液状化判定の結果、今回のシールド掘進に伴う振動レベルを考慮した場合、液状化は生じないと判定された。

1.2.3 水道管損傷の影響について

道路陥没に伴い発生した水道管破断による漏水がトンネル内に流入した可能性について検証する。

事故発生時状況の概要は、

【事故発生】

- ・8:45:35 切羽土圧低下
- ・8:45:40 頃 異常出水確認（監視カメラ画像）
- ・9:36 立坑注水開始
- ・18:15 立坑注水完了

【地上に異常発生】

- ・8:50 JV 職員が地上で舗装の亀裂などの異常を確認
- ・8:59 地上陥没を写真撮影
- ・9:05 頃 水道管損傷を写真撮影

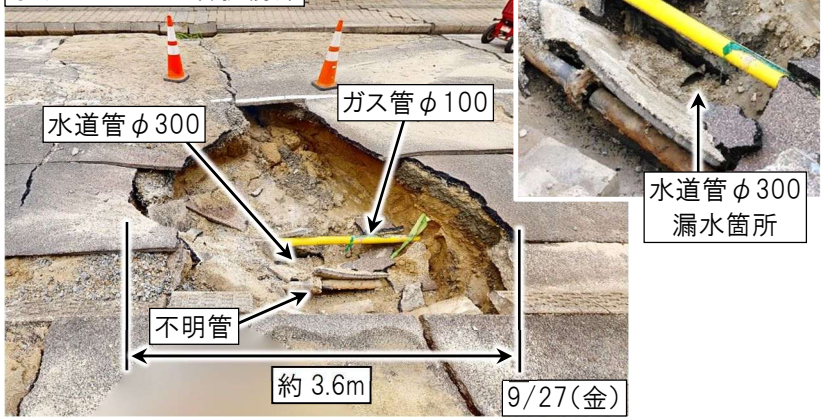
となる。ライフラインの損傷状況を以下に示す。水道管破断による漏水は、2箇所で地上に吹き出し、道路表面を流れ、陥没部を水没させた。

水道管損傷② φ300mm

事故発生時の水道漏水状況
(水道水が道路表面を流れ、陥没部へ)



事故翌日の水道管損傷部

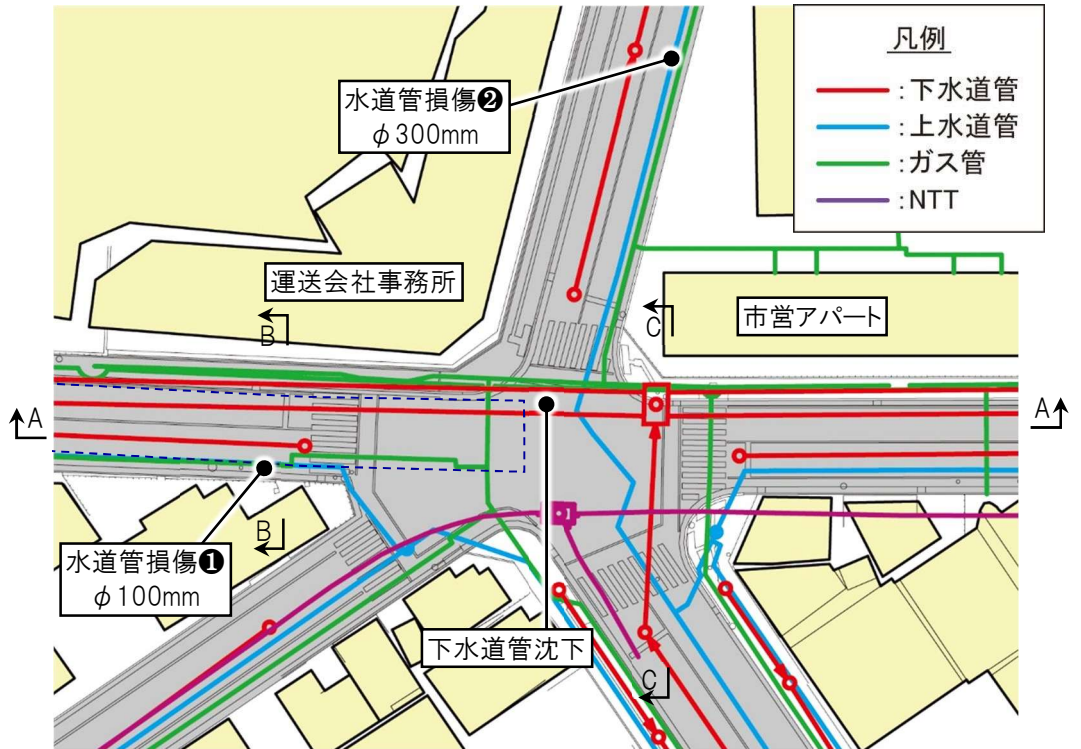
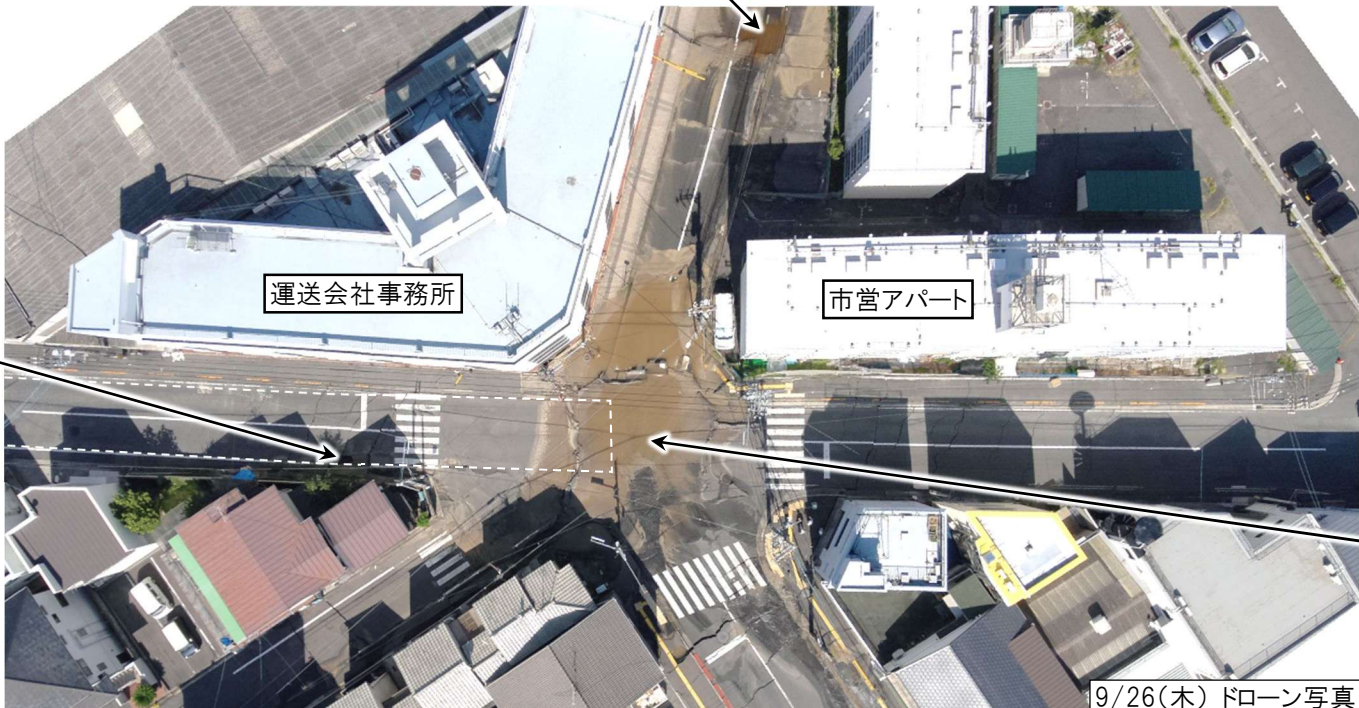


水道管損傷① φ100mm

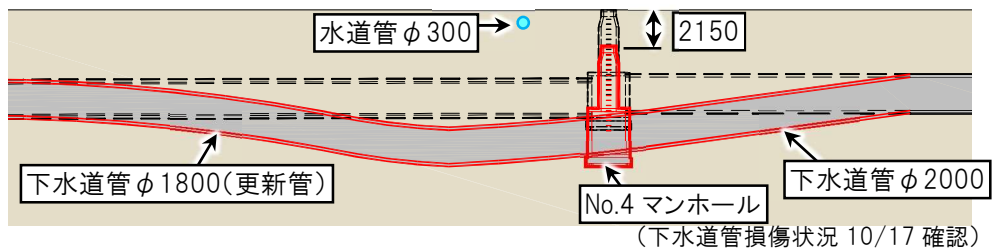
事故発生時の水道漏水状況



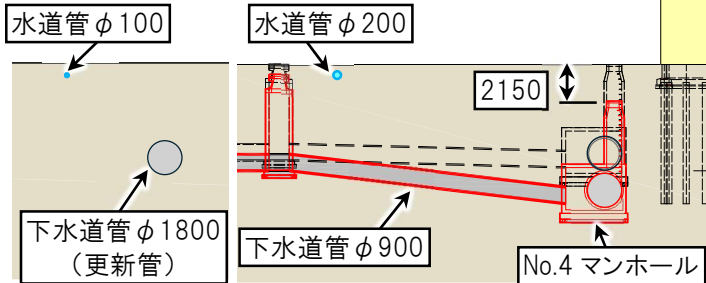
事故翌日の水道管損傷部



ライフライン配置平面図



A-A断面図



B-B断面図

C-C断面図



図 1.19 ライフライン損傷状況（写真:9/26,27 撮影、下水道管損傷状況 10/17 確認）

以下の事故発生時時系列に福島ポンプ場流出量（下水道状況）と2号己斐配水流量（上水道状況）を記載する。また、次ページにその流量の推移をグラフ化して示す。

表 1.10 福島ポンプ場放流量および2号己斐排水流量

	周辺状況	シールド工事	下水道状況(福島ポンプ場流量)		上水道状況(2号己斐 配水流量積算)	
			想定浸水量	(m ³ /h)	(m ³ /h)	(m ³ /h)
8: 00		8:00 安全朝礼				
10		8:10 坑内へ入坑(JV職員,作業員)				
20		8:26 掘進開始(293R)				
30						
40						
45	8:48頃 運送会社事務所が動き始める (喫煙所監視カメラ)	8:45 シールド内異常出水 8:47 シールド内出水状況を写真撮影 非常事態連絡(坑内JV職員)		8:45 約480	8:45	約4200
50	8:50頃 舗装亀裂発生を確認(JV目視) 8:52頃 運送会社事務所3階壁に亀裂発生(3階 南側監視カメラ)					
55	8:59頃 道路陥没を写真撮影(JV職員)			8:58 流量微減 約340		
9: 00	9:01 坑内から避難完了(JV職員,作業員)			9:09 流量大幅減 約40	9:05頃 水道管損傷①を写真撮影(JV職員) 9:09頃 水道管損傷②を写真撮影(JV職員)	約4800
05						
10	9:10頃 運送会社事務所4階壁に亀裂発生(4階 南側監視カメラ)					
15	9:15 工事監督員現地到着	9:15 立坑作業床面まで浸水	約1220m ³	9:16 流量回復 約480		
20	9:22 インフラ各所に連絡					
25	9:26頃 近隣アパートの亀裂を写真撮影(JV職員)			9:29 流量増 約590		
30	9:30頃 陥没部水没を写真撮影(JV職員)					
35	9:37頃 周辺家屋の傾きを写真撮影(JV職員)	9:36 立坑注水開始				
40						
45						
50				9:51 流量大幅増 約1730		
55						
10: 00		10:00 シールド中心高さまで浸水	約3420m ³		10:07頃 水道各所閉栓(外駐車場監視カメラ)	約5400
10				10:29 流量微減 約1540		
20				10:47 流量減 約1030		
30						
40						
50						
11: 00		11:00 シールド3/4まで浸水	約5380m ³	11:01 流量減 約660		
10						
20						
30				11:38 当初流量 約470		
40						
50						
12: 00		12:00 トンネル天端まで浸水	約6700m ³			

(50m³注水)

	18:15 立坑注水終了	約10550m ³				
--	--------------	----------------------	--	--	--	--

【排水流入量の増減量 約 1246 m³】
●基準値 :8:45 の約 480 m³/h
●測定時間:8:46~11:38 間
●流入量の増減があった時間帯

【水道漏水量の増減量 約 1170 m³】
●基準値 :※8:45 の約 4200 m³/h
●測定時間:9:05~10:07 間
●水道管損傷を確認した時間から、閉
栓した時間帯



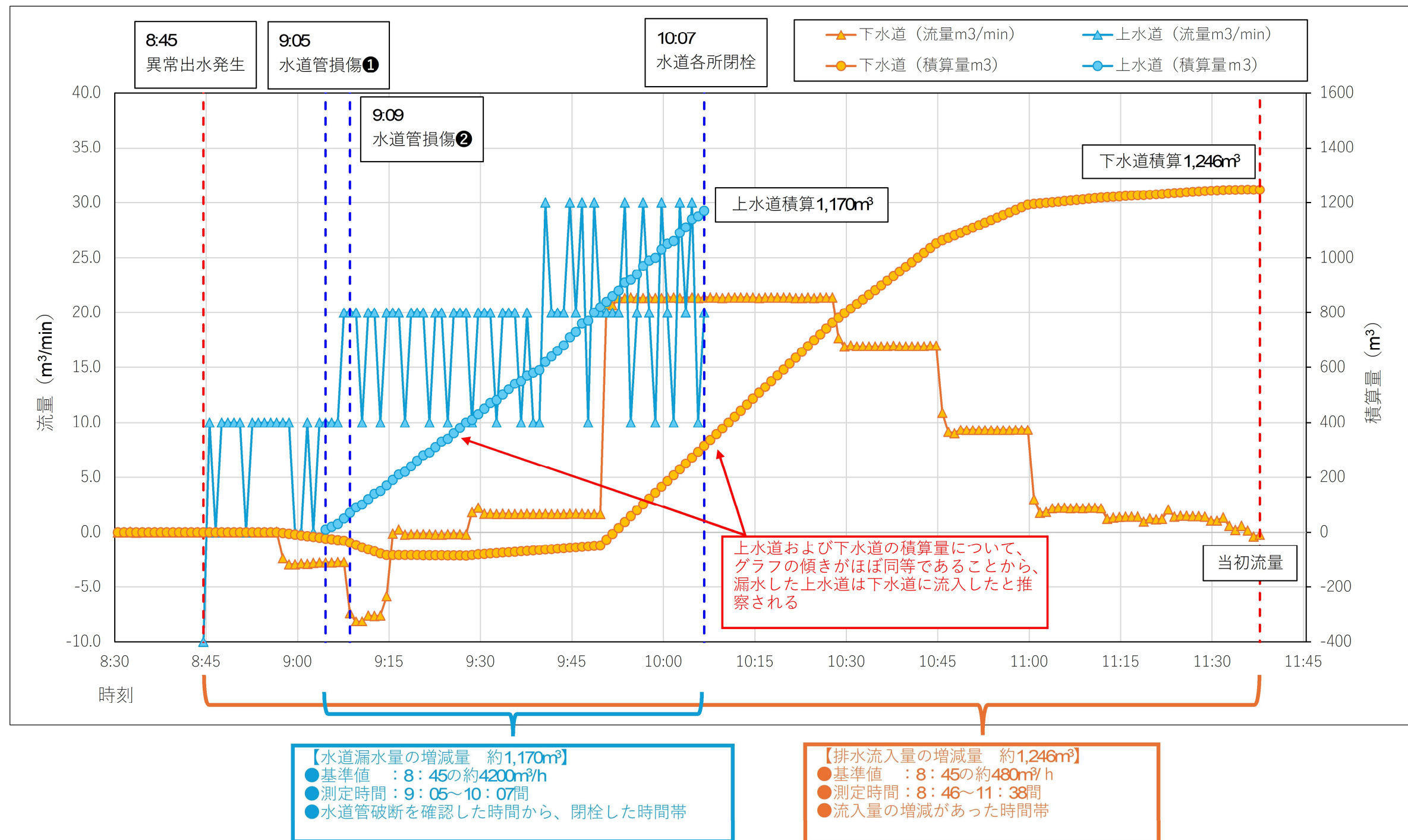


図 1.20 排水流入量と水道漏水量経時変化図

これらの結果より、「排水流入量 (福島ポンプ場流入量)」と「水道管漏水量 (2号己斐配水流量)」を比較すると、

排水流入量約 1,246 m³ > 水道漏水量約 1,170 m³

となり、水道管からの漏水量より下水道施設への流入量の増加の方が約 76m³ 多いことがわかる。

以上より、水道管からの漏水は、地上に吹き出し、道路表面を流れて陥没部に溜まり、下水道施設へ流入したものと想定され、トンネル内に流入した可能性は低いと想定される。

1. 3 陥没メカニズムの推定

1.3.1 陥没部の地層の落ち込みについて

調査結果から陥没中心の No. 4 地点では地層が大きく落ち込んでいるほか、その周辺にかけて地層の落ち込みが確認できる。

- No. 4 と No. 2 の各層の出現深度（上端）の落ち込みは下表のようになる。

表 1.11 陥没部地層の落ち込み

土層	落ち込み
沖積上部粘性土層	約 3.6m
沖積下部粘性土層	約 5.5m
沖積基底層	約 9.6m
洪積砂礫層	約 7.4m

- 沖積火山灰土層は南九州の鬼界カルデラに起因するものであり、広範に広がった噴出物が降下して形成された地層で、もともとは起伏なく水平に堆積していたと推定される（紫破線）。
- 沖積基底層内に、写真（図 1.22）に示すような地層の乱れが確認できる。これらは砂分のマトリックスが抜けて、有機質粘土の塊が斜めに入り砂と混合しているなど、自然の堆積現象によるものとは考えにくい。

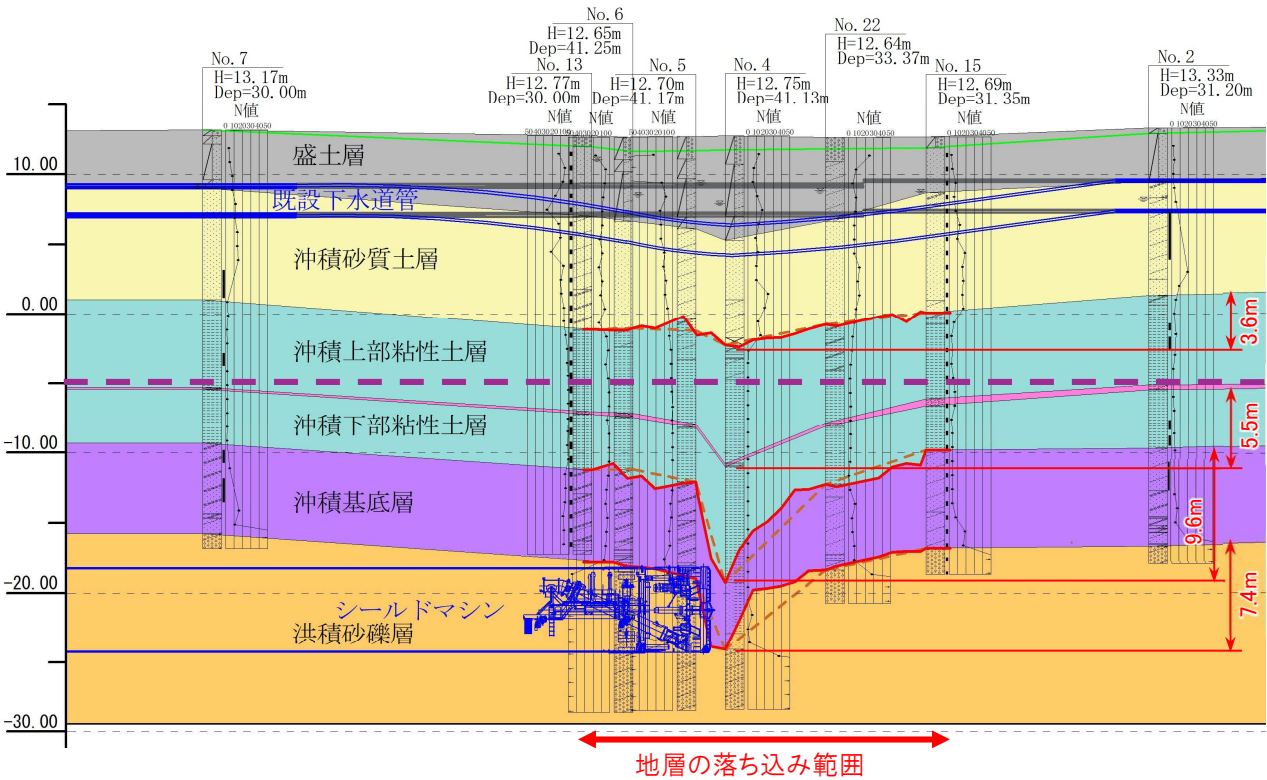


図 1.21 地層の落ち込み状況

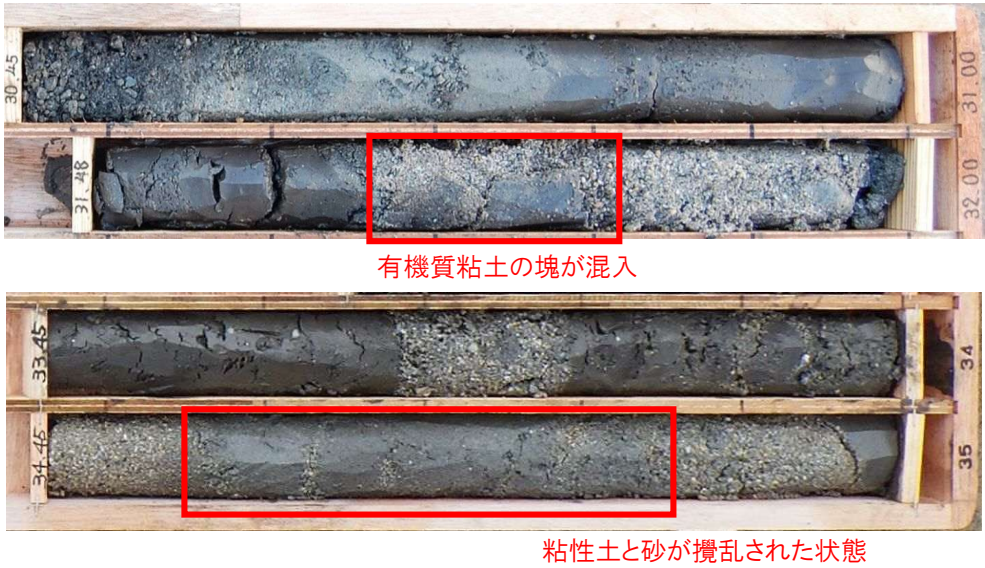


図 1.22 沖積基底層内の地層の乱れ

また、前述した圧密試験や年代測定の結果から、以下のことを確認した。

- 最陥没部では粘性土が大きく乱されており、強度が低下しているものと判断される。土構造が破壊されることで圧密降伏応力が低下し、過圧密から圧密未了状態に移行することで、沈下が生じやすい状態に変化しているものと推測される。
- 砂質土と粘性土層が不均質に互層している沖積基底層においては、堆積年代の順序に乱れがあった可能性が高い。

以上より、地盤が大きく攪乱されて成層構造が破壊されたことが推定される。

1.3.2 陥没メカニズム

今回の事象は、シールド内出水から3分後に運送会社建物が動き始め、最終的には半径約30mの範囲に最大で約2mの沈下が発生したものであった。土質調査結果より、シールドマシン内への土砂の流入が発生したことで、地中に空洞が発生し、地層が落ち込み、沖積粘性土層の層厚が伸びたものと推定される。シールド内出水に伴う現地の陥没メカニズムを以下に示す。

表 1.12 陥没メカニズム（1）

ステップ	イメージ図	状況
①		8:45 シールド内異常出水発生 ・何らかの原因によりシールドマシンに出水が発生してシールドマシン内に土砂が流入。 ・シールドマシン前面に空洞が発生。
②		8:45～数分間 ・シールドマシン内に地下水および土砂がさらに流れ込み、砂礫層を削りながら空洞が拡大。 ・砂礫層の空洞が拡大することで、上位に堆積している沖積基底層（砂層）も支えを失い、崩落しながら泥濘化が進み、空間となるシールド内部に流入（沖積基底層は砂であり、水の流れが発生すると砂礫と一緒に流れ込む）。
③		8:48 頃 直前 ・沖積粘性土層は、その下位に存在していた沖積基底層が流動化したため支えを失う形となる。 ・沖積基底層の流出が進行し、沖積粘性土下部の空洞が大きくなり、破壊強度に至った瞬間、鋭敏な沖積粘性土が一気に変形。
④		8:48 頃 運送会社事務所が動き始める ・沖積粘性土層の上面の沈下が進むことで、上位の沖積砂質土層や盛土層の沈下も進行し、地表面に陥没が発生。

表 1.13 陥没メカニズム（2）

ステップ	イメージ図	状況
⑤		9:05 頃 水道管損傷 ・水道管からの漏水が道路表面を流れ、陥没部に滞留、損傷した下水道管に流入。
⑥		18:15 立坑注水終了 ・シールド内部と開口部の圧力が均衡し、急速な変形は停止。 ・過圧密状態だった粘性土が引き伸ばされて圧密未了状態となってしまった。
⑦		～現在 ・圧密未了領域に向かって引き込まれるように変形が進行。 ・地表面沈下が継続。

(3)FEM 弾塑性解析

FEM 弾塑性解析は、陥没メカニズム③～⑤のステップ（沖積粘性土下部の空洞発生後）を検証するために実施する。解析は、陥没位置を中心とした軸対称モデルとして実施する。解析条件を以下に示す。

- ・ 陥没位置を中心とした半径 100m、深さ 100mの範囲をモデル化。
- ・ 主働崩壊線の内側の沖積基底層と洪積砂礫層が崩壊すると仮定して、その領域を応力開放する。
- ・ 地下水位以深について、沖積粘性土層は土水一体とし、それ以外の土層は土水分離とする。
- ・ 沖積粘性土層は非線形性を考慮する。非線形モデルはモール・クーロンの破壊規準を適用する。せん断強度の低下は塑性ひずみ 0.03 以上で見込み、塑性ひずみ 0.3 で残留強度が初期せん断強度の 50%となるように設定する。
- ・ 沖積粘性土以外の土層は線形材料として仮定する

解析結果を以下に示す。図 1.27 及び図 1.28 より、沖積基底層と洪積砂礫層の流出により、沖積粘性土層に塑性化が生じ、地表面に大きな変位が発生することが確認された。また、図 1.28 より、粘性土層の塑性化範囲は主働崩壊線に沿って生じる可能性が高いことが確認できた。さらに、図 1.29 に示す沈下量の実測との比較により、解析での変位は実測よりも小さくなっており、本解析では地盤の大変形まで追従できないことが原因であると考えられる。図 1.30 に示す陥没中心位置の変位で地表面変位を正規化した沈下量より、実測値と解析について変形モードは良く対応していることが確認できた。

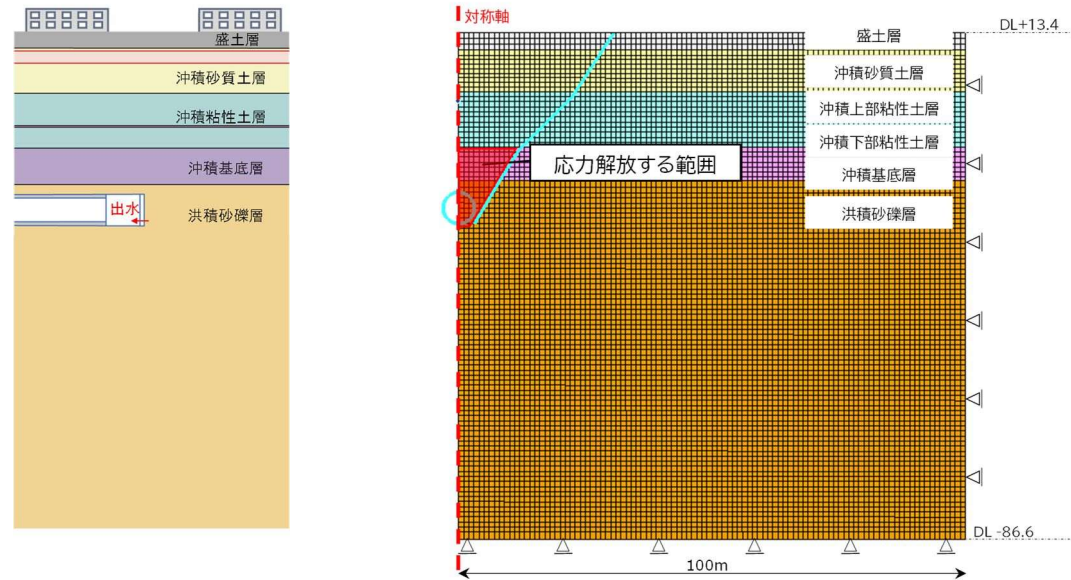


図 1.25 モデル化する地盤

図 1.26 解析モデル

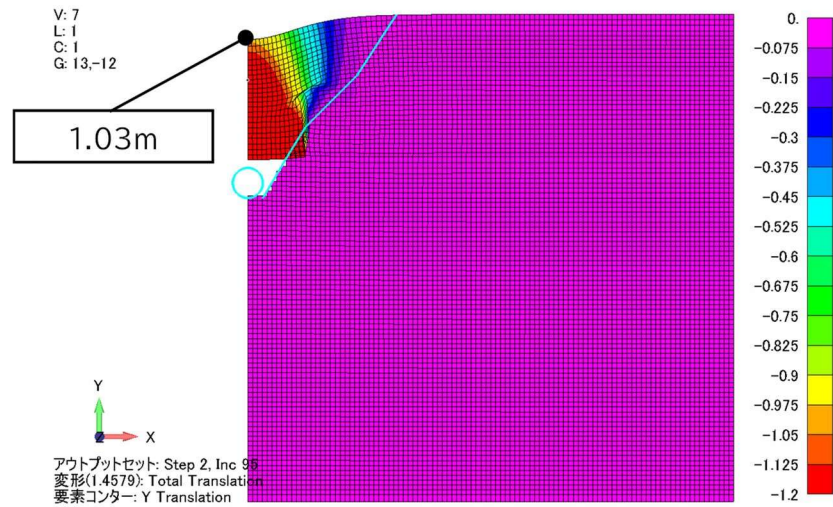


図 1.27 鉛直方向変位分布と変形状 (変形倍率 5 倍)

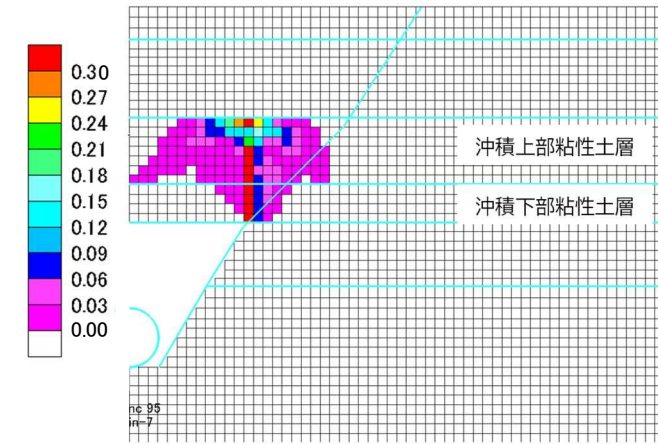


図 1.28 等価塑性ひずみ分布

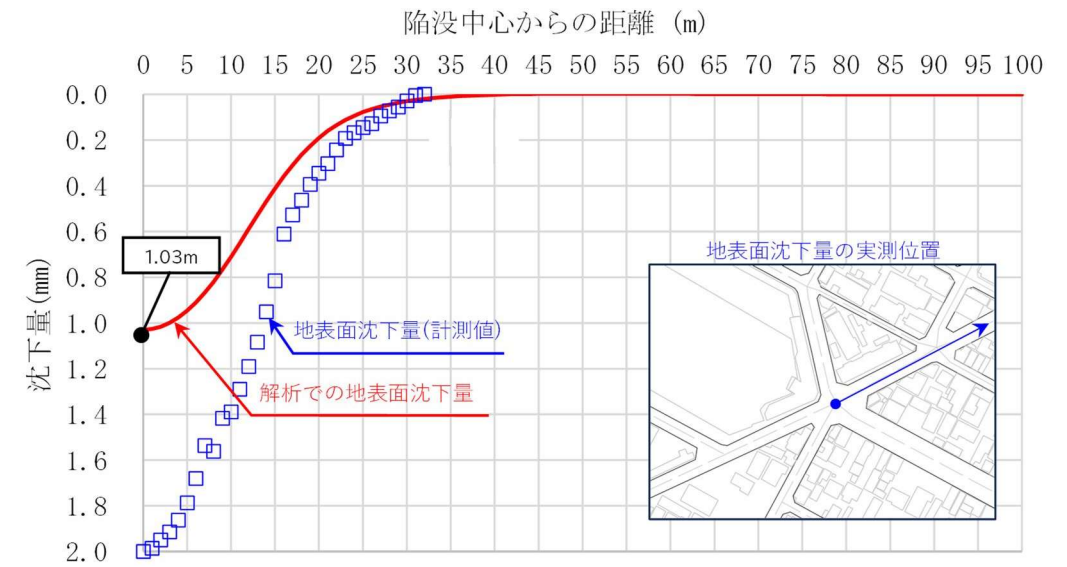


図 1.29 沈下量の実測と解析結果の比較 (18 : 15 時点)

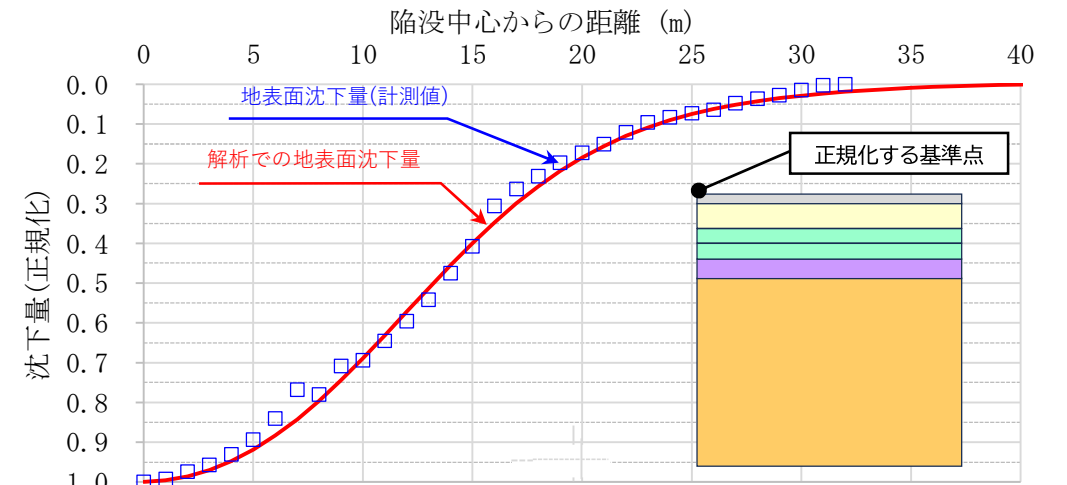


図 1.30 正規化した沈下量の実測と解析結果の比較 (18 : 15 時点)

(4) 粒子法解析

粒子法解析は、陥没メカニズム③～⑤のステップ（沖積粘性土下部の空洞発生後）を検証するために実施する。特に、シールドマシン出水後に地表面での変位発生が早かったこと、およびFEM弾塑性解析では表現が難しい粘性土地盤の塑性化後の大変形を表現することを目的とする。解析は、陥没位置を中心とした軸対称モデルとして実施する。解析条件を以下に示す。

- ・ 陥没位置を中心とした半径 30m、深さ 38m の範囲をモデル化。解析モデルを図 1.32 に示す。
- ・ モデル下部に半径 3m の範囲で空隙ができたと仮定してその領域を応力開放する。
- ・ 各土層は非線形性を考慮する。非線形モデルは、強度下限値を有するとともに変形に伴い強度低下する材料軟化モデルとする。

表 1.18、図 1.34 より、解析開始後直後の 9:00 前に地表面で沈下が発生しており、10:00 の時点で 0.7m の変位が発生する結果となった。図 1.35 より、地表面における変形モードも FEM 弾塑性解析の結果と調和的であり、大きな沈下量の発生も確認できた。

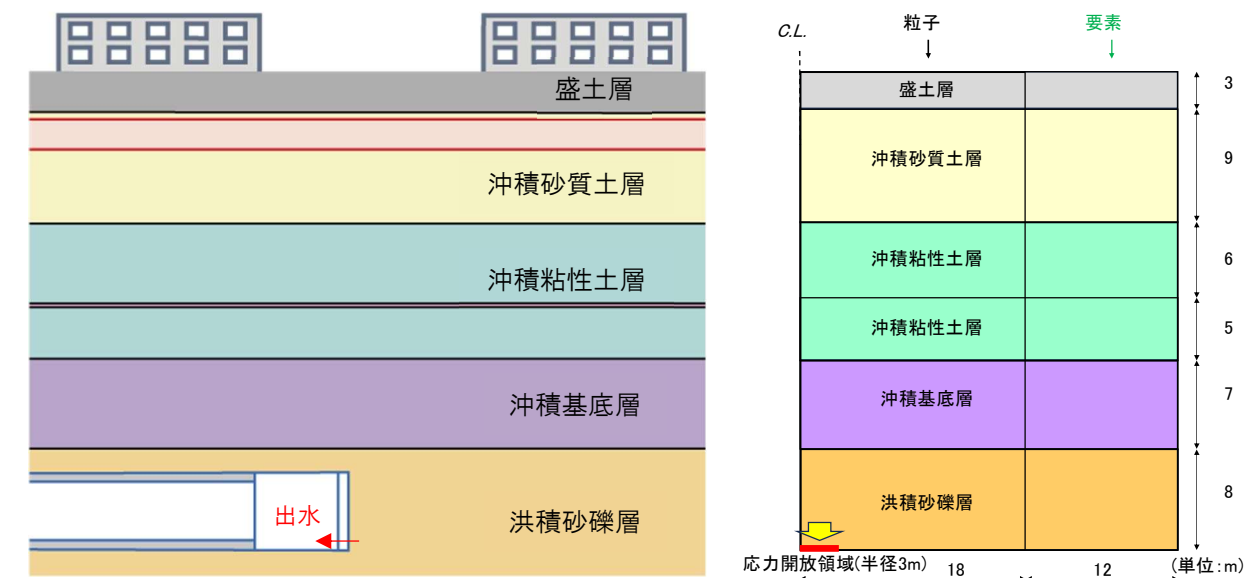


図 1.31 モデル化する地盤

図 1.32 粒子法解析の解析モデル

表 1.18 解析結果（変形図＋変形コンター）

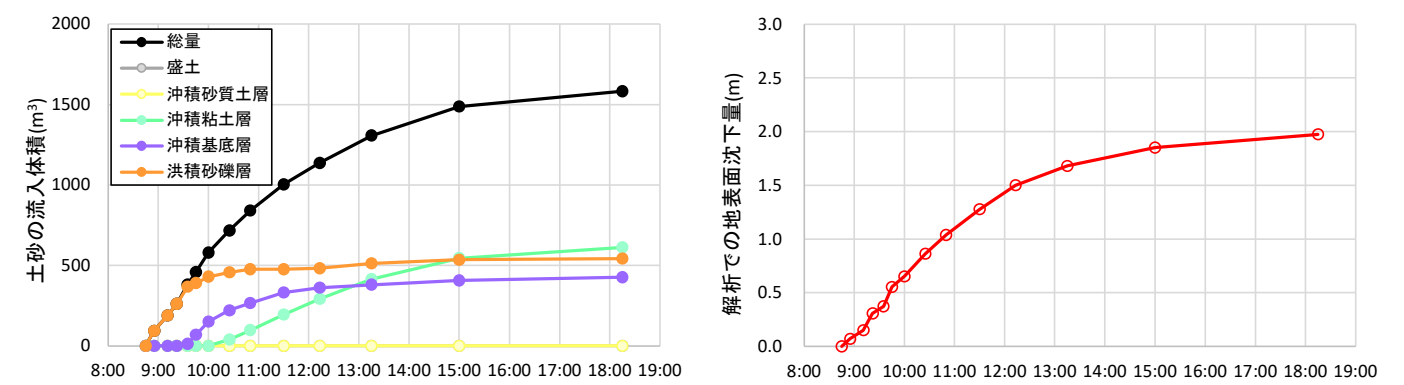
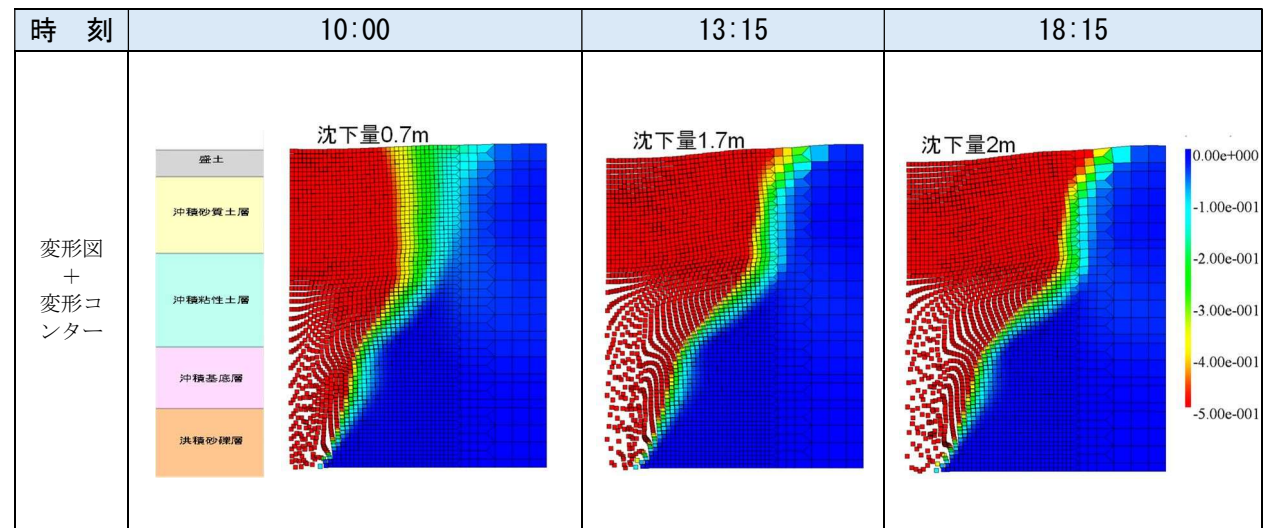


図 1.33 解析での土砂の流入体積と時刻の関係

図 1.34 解析での地表面沈下量と時刻の関係

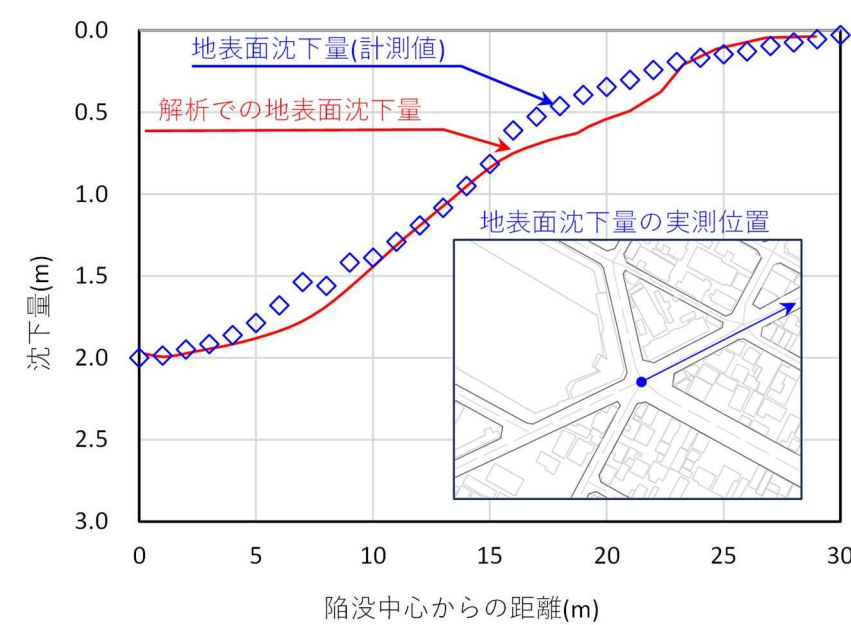


図 1.35 沈下量の実測と解析結果の比較（18：15 時点）

(5) 検討結果のまとめ

浸透流解析より、湧水流量については実際の状況を模擬できる解析条件を確認できた。設定した透水係数であれば、空隙の大きさは 3m 超と想定され、湧水と合わせて流速に相応の土砂を引っ張ってシールドマシン内に急激に流入したことが想定される。これより何らかの原因によりシールドマシン内に出水が発生した場合、**陥没メカニズム①と②のステップの事象は起こりえる**ということが確認できた。

FEM 弾塑性解析結果より、漏水による洪積砂礫層と沖積基底層のシールドマシン内への流入に伴い、沖積粘性土層の塑性化が引き起こされ、地表面に相応の変形が発生する可能性が高いことが検証できた。また、塑性化の範囲が主働崩壊線に沿って広がっており、正規化した沈下量から見ても、地表面変位が大きくなる範囲が概ね半径 30m 内となることが想定される。これより、シールドマシン内に出水が生じ、沖積基底層と洪積砂礫層を巻き込んで流入した場合、**陥没メカニズム③～⑤のステップの事象は起こりえる**ということが確認できた。

粒子法解析結果より、空隙の発生に伴い、沖積粘性土層の塑性化に加え、沖積粘性土層以浅の地盤にも大変形が生じることが確認できた。さらに、解析開始からものの数分で地表面に相応の変形が発生する可能性が高いことが確認できた。これより、シールドマシン内に出水が生じ、空隙が生じた場合、**陥没メカニズム③～⑤ステップの事象は起こりえる**ことが確認できた。

2. 地盤沈下の状況について

2. 1 地盤沈下の発生状況と予測

事故直後（9/26 18時）より計測している地表面沈下の状況を以下に示す。

図 2.2 に示すとおり、11 月 7 日から半径 10m 地点（市営住宅付近）、半径 30m 地点（市営住宅付近）は自動計測に切り替えを行った。2 月 21 日からは解体作業に伴って半径 10m 地点（市営住宅付近）、半径 30m 地点（市営住宅付近）を盛り替えた上で手動計測に変更した。半径 30m 地点（運送会社付近）については 2 月 10 日から、半径 30m 地点（市営住宅付近）については 3 月 6 日から、それぞれ計測を中断している。

図 2.3 は、半径 10m 地点（市営住宅付近）、半径 30m 地点（市営住宅付近）で発生している沈下量を対数近似し、今後発生する沈下量の予測を行った。

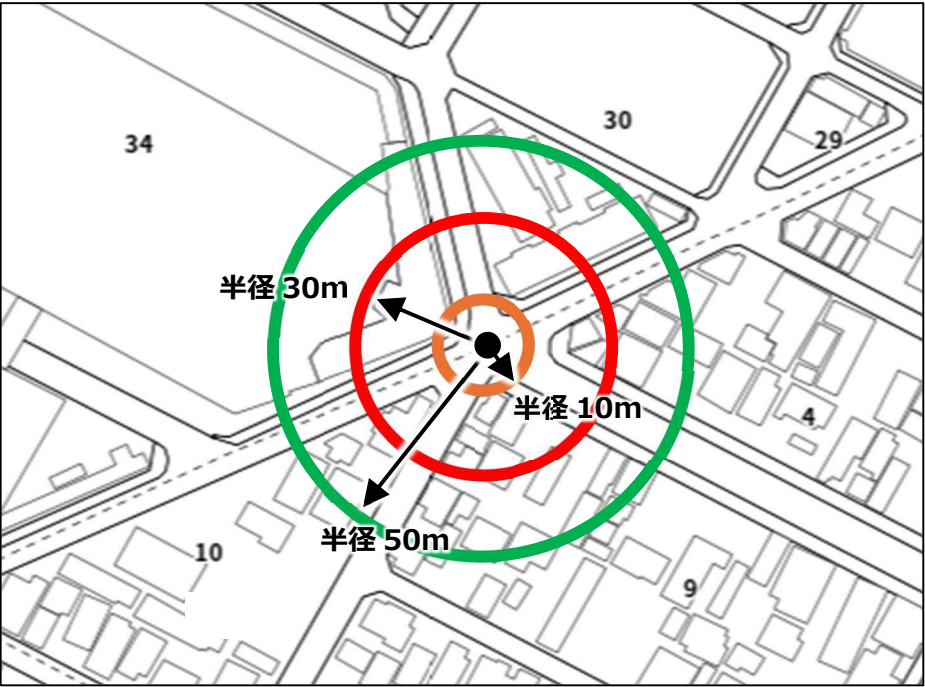


図 2.1 地表面沈下計測位置図

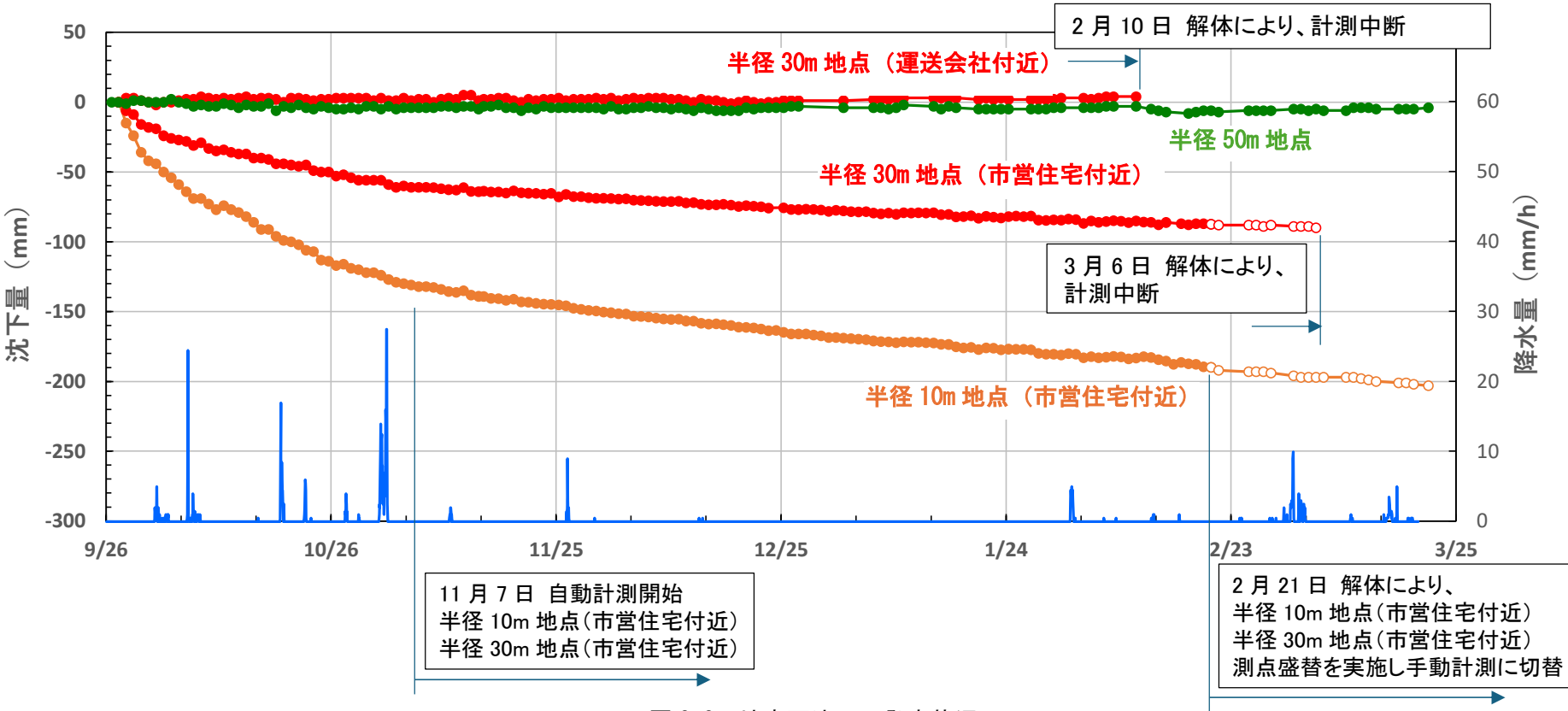


図 2.2 地表面沈下の発生状況

表 2.1 地表面沈下量の予測

今後の沈下量 (mm)	半径 10m 地点 (市営住宅付近)	半径 30m 地点 (市営住宅付近)
2025 年 3 月末	196	92
2026 年 3 月末	244	116
2027 年 3 月末	267	127

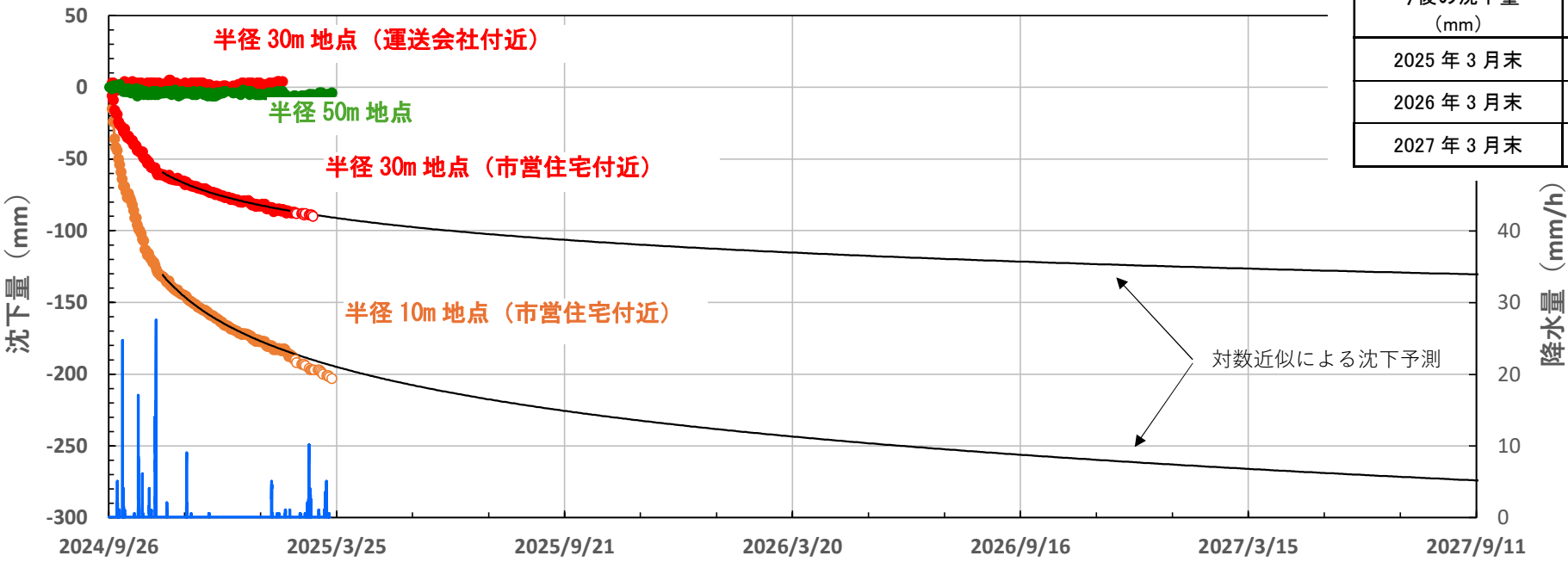


図 2.3 地表面沈下の発生予測

2. 2 地盤沈下対策

今後発生する沈下量をできるだけ抑えるため、地盤沈下対策を実施する。

地盤沈下対策としては、表 1.13 陥没メカニズム（2）に示すステップ⑦（右図参照）の「圧密未了領域」を地盤改良により解消させることが有効である。その地盤改良範囲は、図 2.5 に示すように、地層構成図で「地盤の急激な落ち込みの発生が確認された範囲」と判断する。また、地盤改良方法は、「深層混合処理工法」、「高圧噴射攪拌工法」、「薬液注入工法」の3工法が考えられる。表 2.2 にその比較検討結果を示す。この結果、圧密未了領域を解消する地盤改良方法としては、高圧噴射攪拌工法が最も適していると判断する。次ページに地盤沈下対策の計画図を示す。

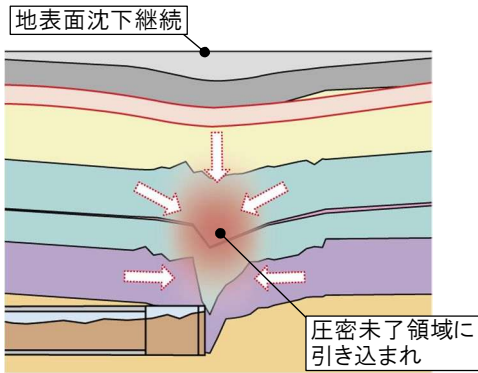


図 2.4 陥没メカニズム ステップ⑦

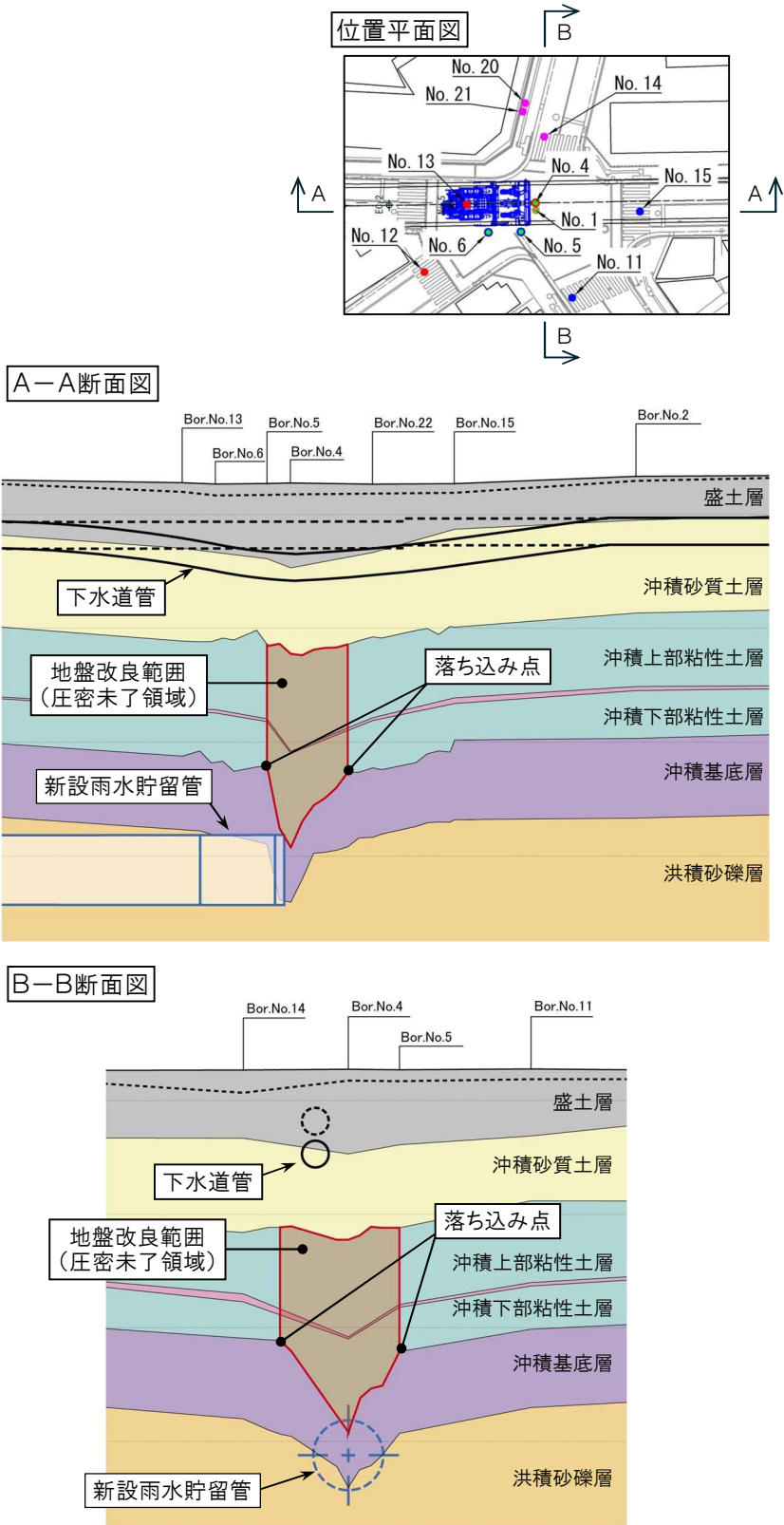


図 2.5 沈下対策としての地盤改良範囲

表 2.2 地盤改良方法の工法比較

	深層混合処理工法	高圧噴射攪拌工法	薬液注入工法
概要図			
工法概要	攪拌翼を地中に回転貫入させながら改良材スラリーを低圧で吐出し、原土を改良材と強制混合する。所定の深度まで攪拌翼を貫入後、引上げ攪拌し、円柱状の改良体を造成する。	高圧ジェットの影響で地盤を粉砕し、切削部分にセメント系安定材を充填(置換)、または切削土と安定材を混合することで、改良杭を造成する。	高い浸透性能と恒久性を持つ固化薬液を低圧力で注入し、現地盤の間隙水と置換しながら広範囲に浸透させ固結させることにより、地盤の強度を増加させる。
特徴等	- 大型の施工機械(三点式杭打機)が必要となり、ほかの工法と比較して騒音・振動が大きい。 - 施工機械の安定性確保のための表層改良が必要となる。 - プラントヤードが必要となる。 - 機械による強制攪拌であり、改良体が確実に造成することが可能である。	- 施工機械が小型であるため、狭隘な場所でも施工が可能である。 - 騒音、振動が小さく施工可能である。 - プラントヤードが必要となる。 - 高圧ジェットにより、圧密未了領域の沖積粘性土を置き換えることが可能。	- 施工機械が小型であるため、狭隘な場所でも施工が可能である。 - 騒音、振動が小さく施工可能である。 - プラントヤードが必要となる。
懸念点等	- 既設の下水が支障するため、改良可能範囲が限られる。 - 固結するまで地盤を緩めることとなる。	- 乱れた地盤に対して高圧ジェットによる切削が大きくなる可能性がある。 - 固結するまで地盤を緩めることとなる。	沖積粘性土には脈状注入となり、圧密未了領域を解消できない。
評価	△	○	×

【地盤沈下対策計画図（案）】

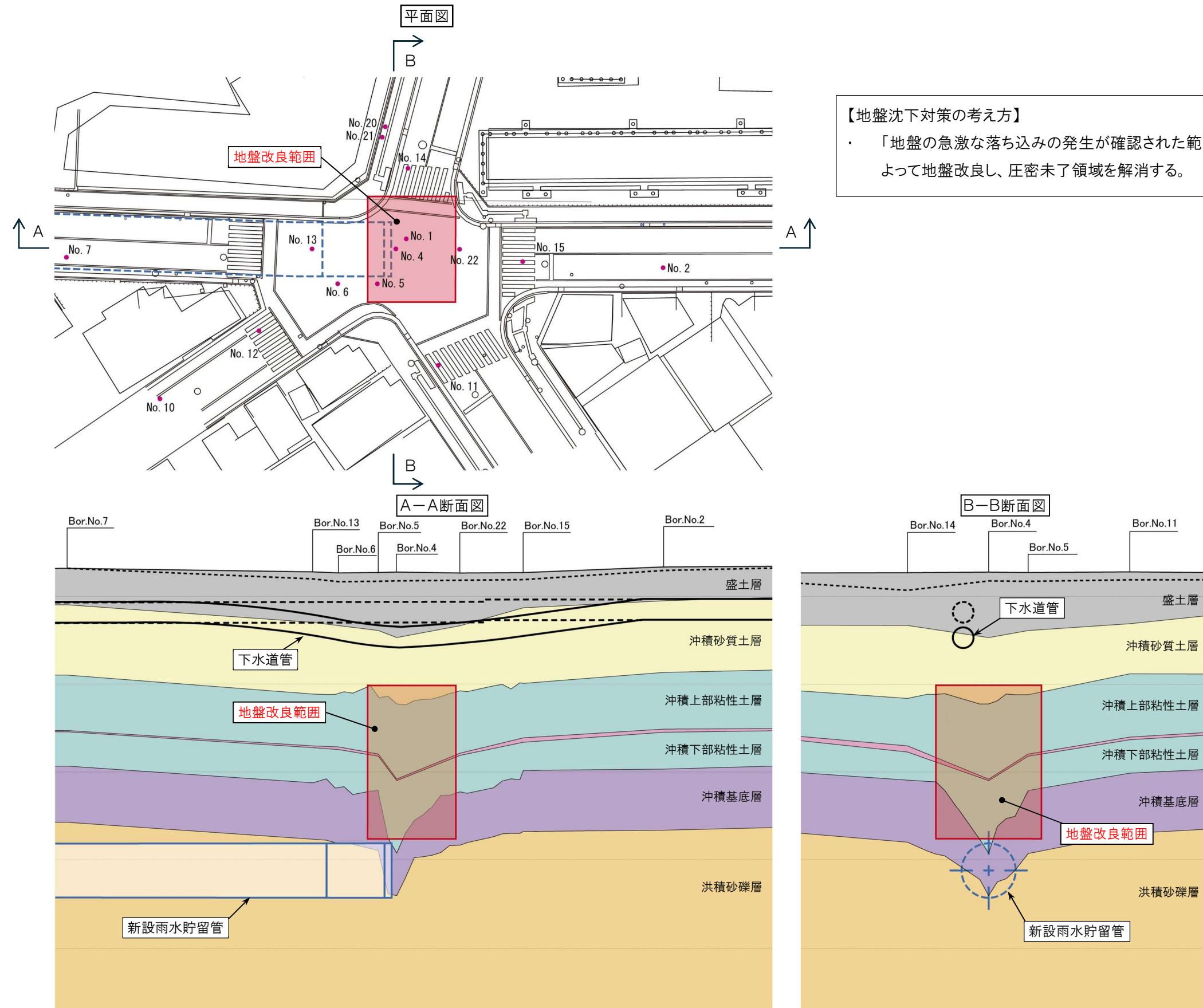


図 2.6 地盤改良対策計画図（案）

3. シールドマシン内部の調査方法について

明確な原因究明を行うためには、シールドマシン周囲の地盤を止水し、坑内を排水、流入土砂を撤去することで、シールドマシンを直接目視・調査する必要があると考える。これにより出水箇所を特定し、シールドマシン損傷の確認（位置・範囲・形状寸法）が可能となる。

3. 1 シールドマシンの止水工法の選定

現在シールドマシンは、高水圧下・大深度（約 40m）の玉石砂礫層に停止している。このような条件下でシールドマシン全体を止水するには、「薬液注入工法」では信頼性に劣り、「高圧噴射攪拌工法」では止水可能な改良径（試験施工により確認）を確保することが困難である。このため、大深度・高水圧下の条件において高い止水性を確保できる「凍結工法」が本調査の止水方法に最適であると考ええる。以下にその検討結果を示す。

(1) 現地地下水の塩分濃度、流速

今回現地で実施した地下水の塩分濃度と流向・流速の測定結果を次ページに示し、凍結工法適用の判定結果一覧を以下に示す。結果、凍結工法の施工可能範囲にあると判断する。

表 3.1 塩分濃度判定結果

測定場所	揚水深度	塩分濃度(%)	評価指標	判定
No.11 観測孔	GL-30m (ペーラー)	0.55	塩分濃度 2.5%の施工実績あり	○
		0.32		○
		1.17		○
	GL-30m (ポンプ揚水)	0.73		○
		1.10		○

表 3.2 流速判定結果

測定場所	揚水深度	平均流速(m/day)	評価指標	判定
No.11 観測孔(砂礫)	GL-30.5m	1.138	一般に 2m/day 程度が造成限界	○
		1.435		○
No.15 観測孔(砂層)	GL-10.5m	1.123		○

(2) 止水工法比較検討結果

止水工法の比較検討結果を以下に示す。

表 3.3 原因究明方法の詳細比較検討結果

比較工法		薬液注入工法		高圧噴射攪拌工法		凍結工法	
検討案概要	概念図						
	工法概要	・地盤中に薬液を注入して固化 ・固化時間を調整できる薬液を地盤間隙に注入		・地盤中にセメント系固化材と水を練り合わせたセメントスラリーを高圧で噴射し、土砂を攪拌混合して地盤改良体を造成		・地盤中に含まれる間隙水を凍結し凍土を造成 ・地盤を凍らせて強度確保・止水	
	使用材料	水ガラス系硬化剤		セメント系固化材		不凍液(CO2 またはブライン)で地盤凍結	
	適用地盤	・軟弱地盤に適用 ・砂質土に向く		・粘性土・砂質土地盤に適用 ・硬質地盤では出来形小		・全地盤に適用	
	参考改良強度(MN/m ²)	0.1		1.0～3.0		5.0(塩分濃度 0.0%) 0.5(塩分濃度 2.5%)	
比較内容	品質信頼性	・改良にムラが発生しやすい ・主に仮設工事に用いられ、重要度が高い工事には適さない	△	・小さいボーリング孔から大径改良が可能 ・高強度の改良が可能	○	・地下水以下であれば、各種地盤で適用可能 ・含水比が高い粘性土は凍結膨張の可能性がある ・地盤温度モニタリングで品質管理可能	○
	施工性	・出水箇所が不明なため、改良範囲が広範囲	△	・玉石礫層では玉石背面の影となる部分に高圧噴射が届かず、未改良部が発生する可能性が高い	×	・止水性が高く、信頼性の高い工法 ・塩分濃度を確認した結果、適用範囲内 ・水流はほぼなく、凍土造成可能	○
	適応性	・立坑を構築してシールド直下も止水可能 ・シールドマシンと改良体が付着して再掘進が困難	△	・シールド直下の施工が困難 ・シールドマシンと改良体が強固に付着して再掘進不可	×	・立坑を構築してシールド直下も止水可能 ・凍土を解凍すれば自然地盤に戻り再掘進可能	○
評価		・仮設工事用で止水性の信頼性が低く適切ではない	△	・対象地山では止水に必要な均一な改良体の造成が困難	×	・全項目で他の工法を上回り、本工事に最適である	○

(3) 塩分濃度、流向・流速測定の結果詳細

① 塩分濃度測定

塩分濃度測定の結果、陥没箇所の塩分濃度は0.32～1.17%（平均0.77%）であった。以下にその測定結果の詳細を示す。



図 3.1 塩分濃度測定結果

② 流向・流速測定

流向・流速測定の結果、陥没箇所の平均流速は1.123～1.435m/day（平均1.232 m/day）であった。以下にその測定結果の詳細を示す。

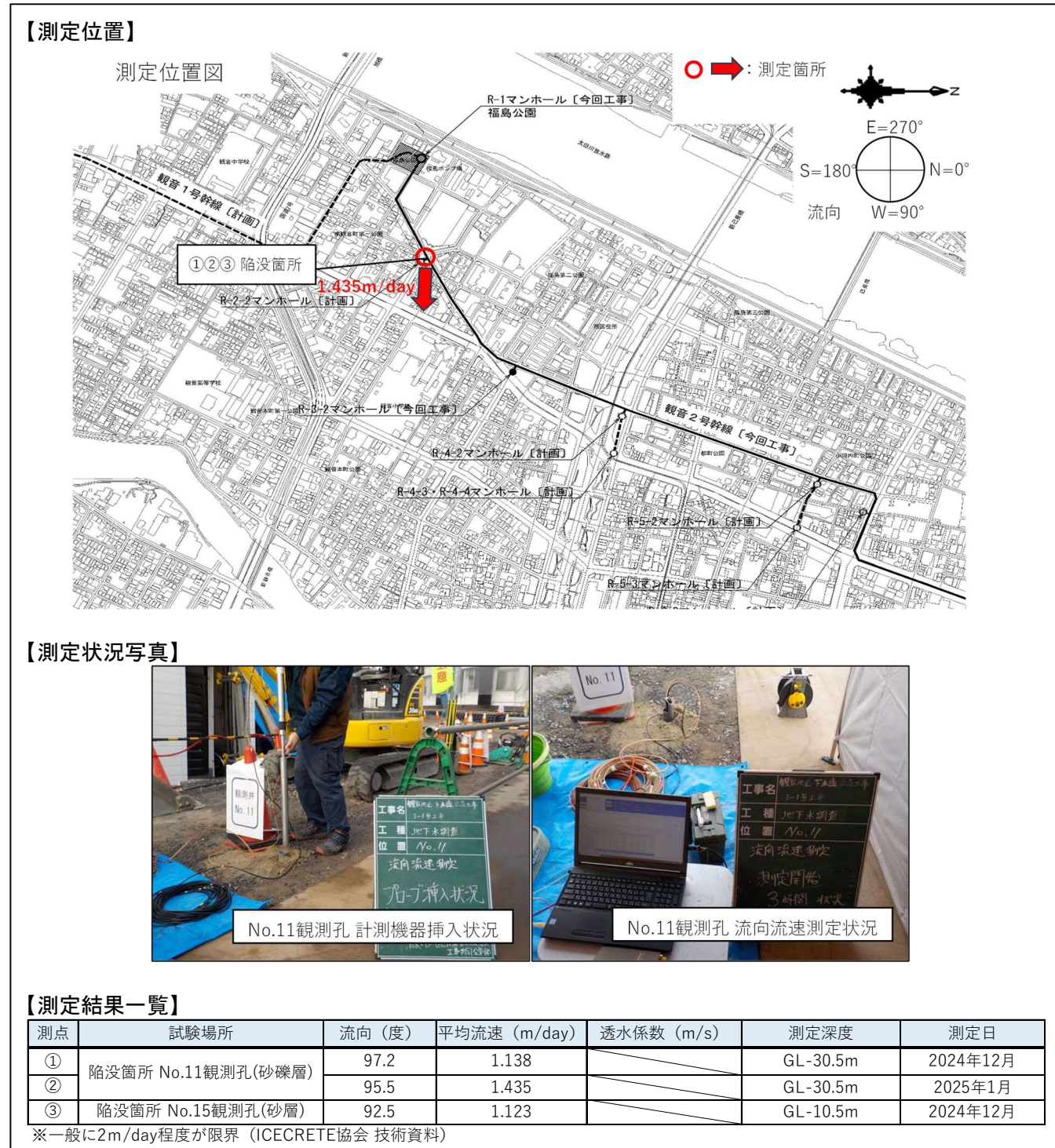


図 3.2 流向・流速測定結果

3. 2 シールドマシンの止水領域について

第1回委員会で示したように、現在シールドマシンは、高水圧下・大深度（約40m）で停止しており、止水の対象となる地盤は、周辺と比較して複雑な構成となっており、以下のような条件である。

	領域①シールドマシン前面付近	領域②シールドマシン側方～後方付近
地層	a. 沖積粘性土層が乱された地盤 b. 沖積基底層が乱された地盤 c. 部分的に洪積砂礫層	a. 沖積基底層 b. 洪積砂礫層
N 値	a. 0～1 程度 b. 0～1 程度 c. 50 以上	a. 5～10 程度 b. 50 以上

【概念図】

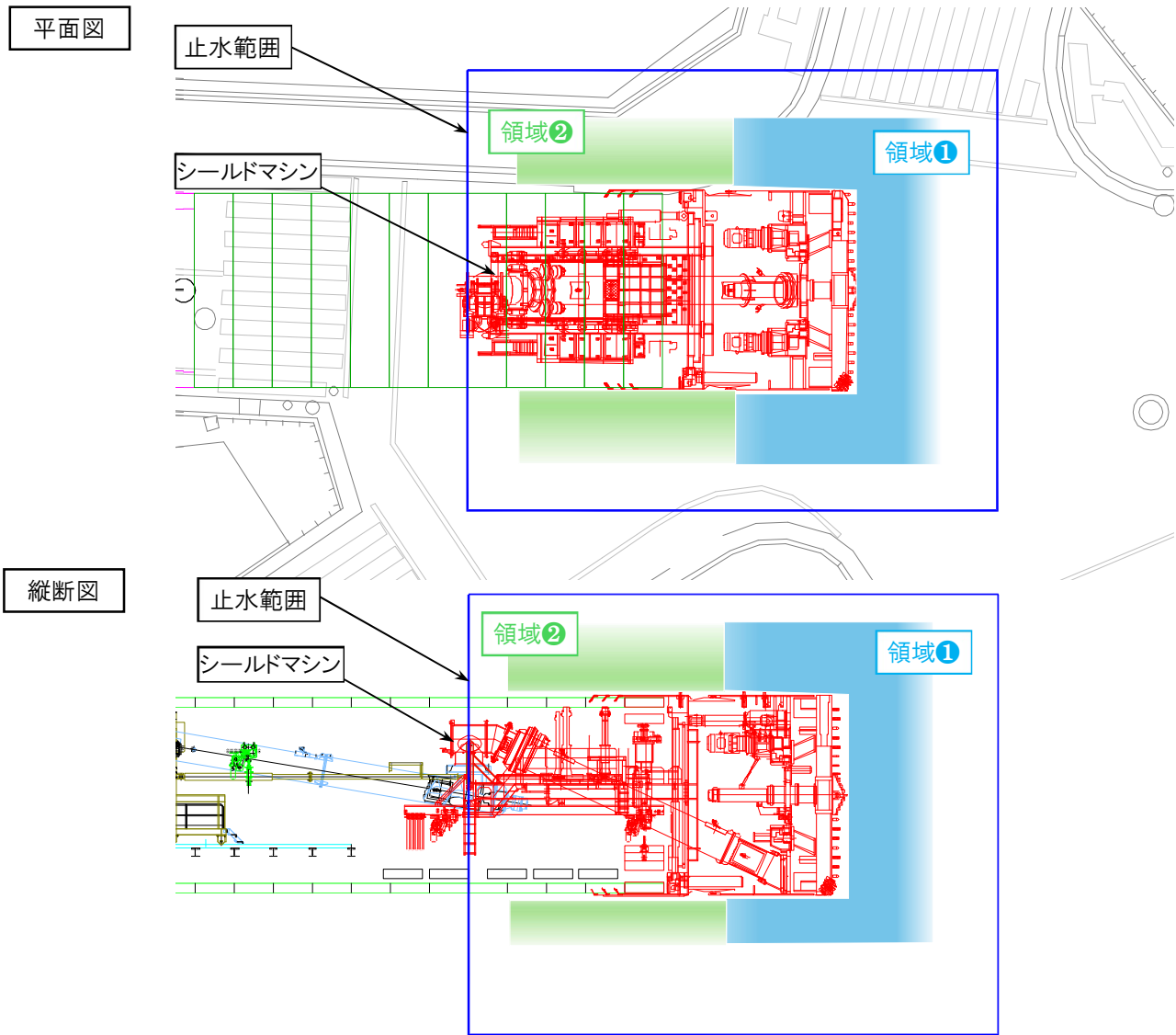


図 3.3 シールドマシンの止水領域

この止水領域を①のみとするか、①②の両方とするか検討を行う。

シールドマシン姿勢調査より、シールドマシンは1度上向きに53.9%程度までピッチングの変化が発生し、その後現在は20.5%にピッチングが変化しているものと推定される。シールドマシンとセグメントは干渉しており、損傷している可能性が高く、領域②は止水性が確保できていない可能性が高い。

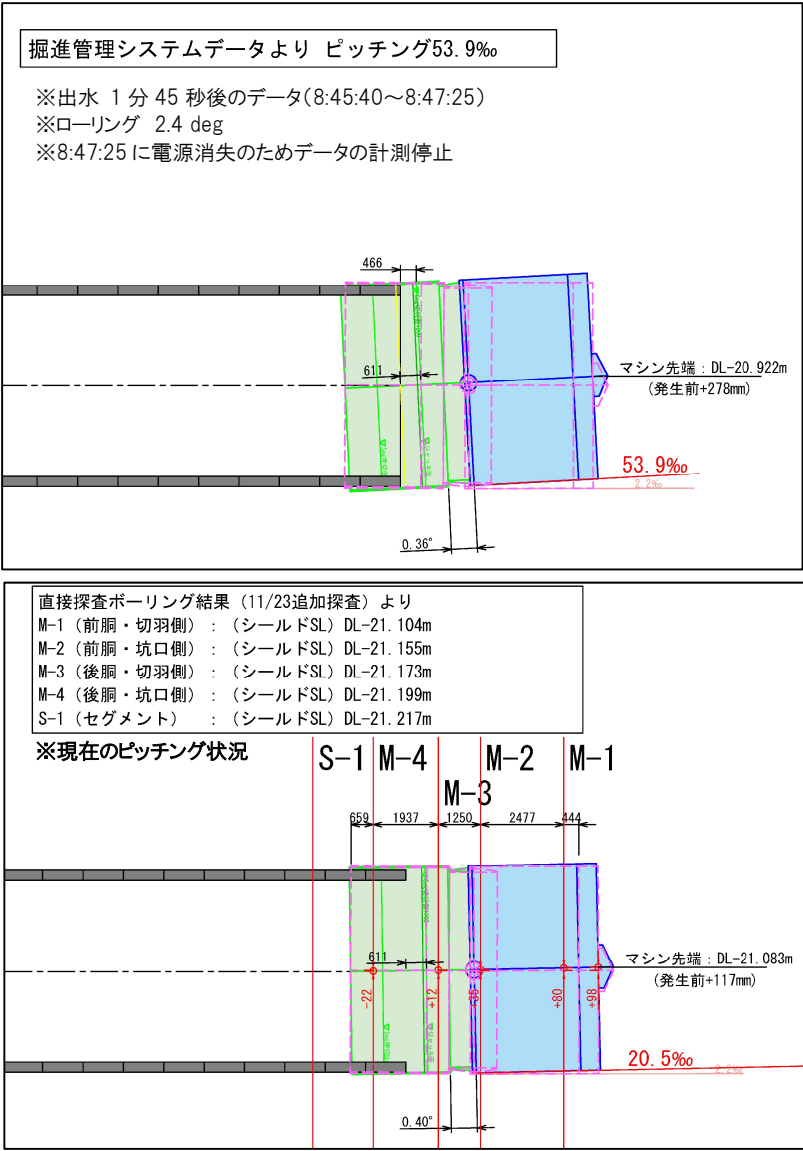


図 3.4 シールドマシンの姿勢

よって、領域①②ともに凍結する手法を採用する。

3. 3 シールドマシン内部の調査方法

シールドマシン内部の調査方法は、「シールドマシン全体凍結」案となる。以下にその詳細を示す。

【シールドマシン内部調査の止水の考え方】

地下水流速について

・地下水流速の最大値は、1.435m/日と凍土造成目安の2.0m/日を下回り、凍土造成可能と判断する。

凍土範囲設定方法について

・塩分濃度を精査し、改めて凍結範囲を検討する。

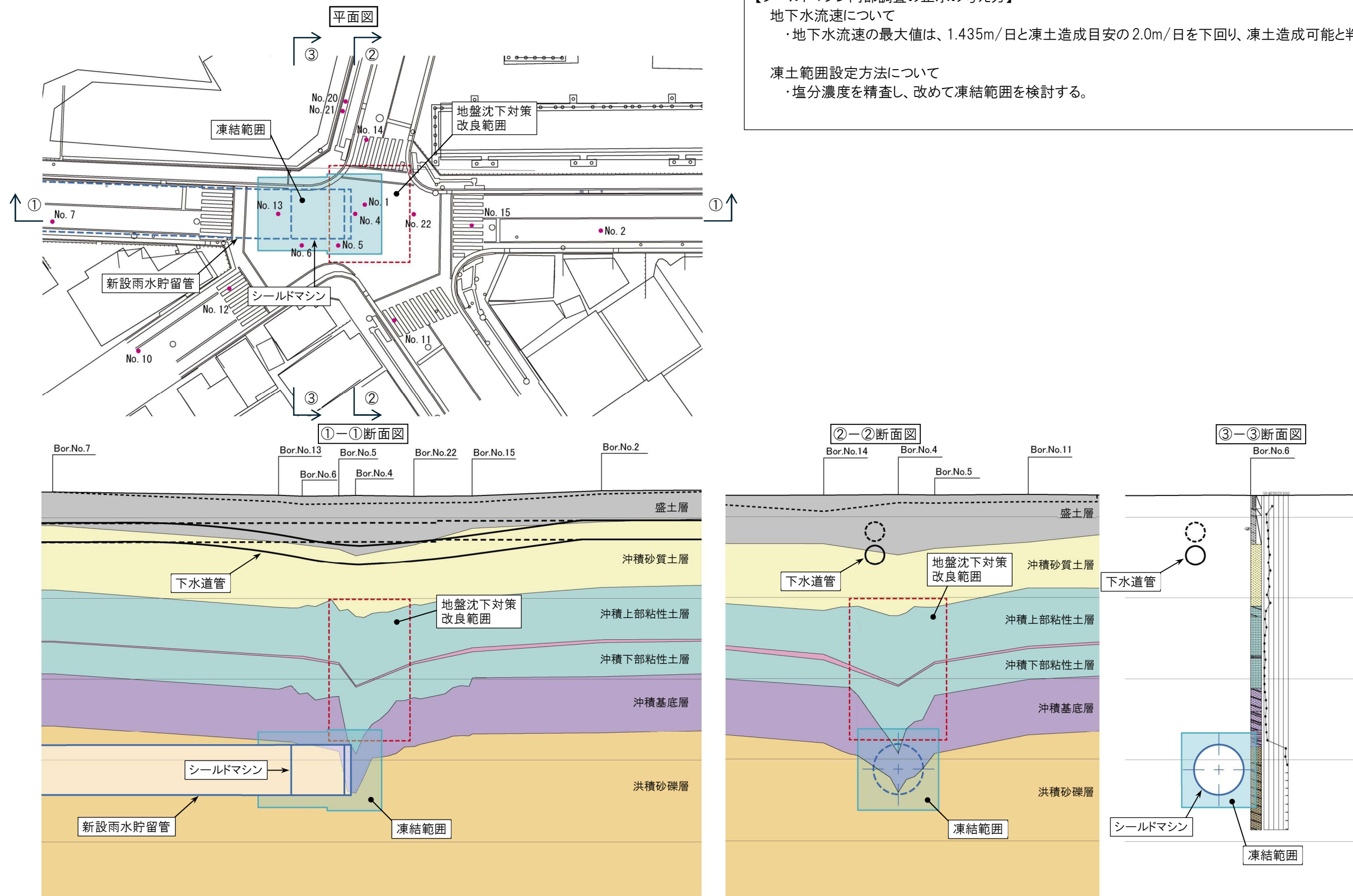
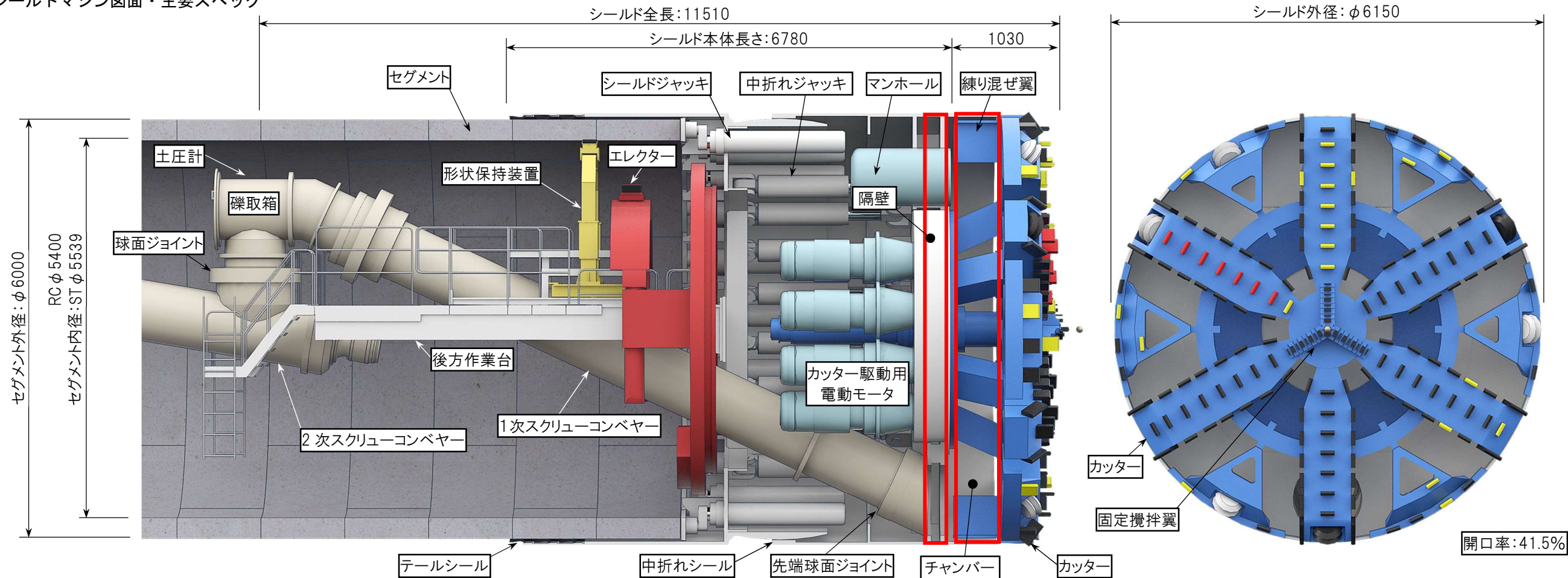


図 3.5 シールドマシン内部の調査計画図 (案)

4. その他の調査及び検討の結果について

4. 1 シールドマシンについて

(1) シールドマシン図面・主要スペック



シールドマシン主要スペック

項目		内容
一般装置	シールドマシン外径	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
付帯装置	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
	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	φ497	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	—

4. 2 シールド出水原因の推定のための調査・検討結果

シールドマシンの出水原因を推定するために以下の調査および検討を実施した。

表 4.1 シールド出水原因の推定のための調査・検討

推定内容	追加調査・検討
トンネル内流入水の水質	4. 3 トンネル内流入水の水質について
出水初期段階での流速検証	4. 4 トンネル内異常出水の検討
	4.4.1 トンネル内流入速度および開口寸法の再検討
	4.4.2 水中ドローンによるシールドマシン内調査
シールドマシンの損傷状況の絞り込み	4. 5 シールドマシンの姿勢
	4. 6 シールド事故事例調査
	4. 7 事故時の住民ヒアリング調査
	4. 8 施工管理データの検証
	4.8.1 掘進データの分析
	4.8.2 事故発生直前の礫取箱土圧の上昇について
	4.8.3 シールドマシン緊急対策機能
	4. 9 シールドマシンの品質管理状況調査
	4. 10 セグメントの品質管理状況調査

以降にシールド出水原因の推定のための調査・検討結果の詳細を示す。

4. 3 トンネル内流入水の水質について

近隣ボーリング孔（No. 11）とトンネル内の水質について試験した結果を以下に示す。

表 4.2 トンネル内流入水の水質比較

項目	単位	近傍ボーリング孔(No.11)(地下水) 深度:GL-29m(参考)	発進立坑(流入水) 深度:トンネル坑口付近
pH	pH	7.26	7.43
ORP	mV	75	130
DO	mg/L	3.52	4.52
温度	℃	17.8	14.6
濁度	NTU	30.2	2.8
電気伝導率	μS/cm	16,700	10,000
塩分濃度 ※1	%	0.64	0.36
全溶存固形物量	g/L	15.3	8.7
硝酸イオン	mg/L	101	99
塩化物イオン	mg/L	3.9×10 ³	2.2×10 ³
カルシウムイオン	mg/L	2.1×10 ²	3.5×10 ²
フッ化物イオン	mg/L	0.51	0.21
カリウムイオン	mg/L	172	158
アンモニウムイオン	mg/L	39	4.2

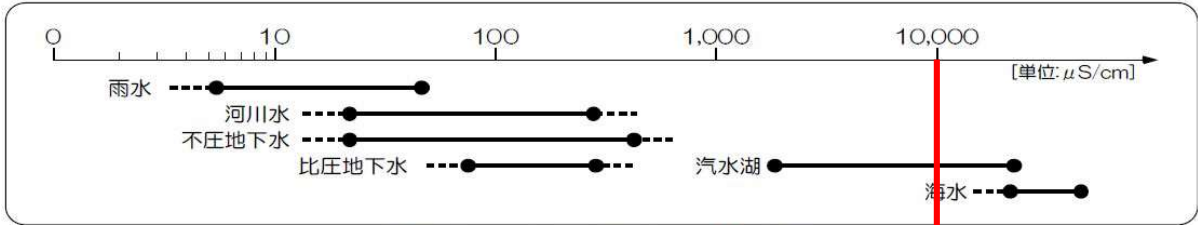
※1：塩化物イオンから換算した塩化ナトリウム濃度は以下のとおり。

（概算換算式）

・近傍ボーリング…3900／35.5×58.5＝6445 (mg/L)

・発進立坑…2200／35.5×58.5＝3625 (mg/L)

〔塩化物イオン分析値 (mg/L)： 3900、2200
塩化物イオンの原子量： 35.5
塩化ナトリウムの分子量： 58.5〕



一般的な電気伝導度の値 **トンネル内水質**

【引用文献】

1) (公社)日本地下水学会編「地下水水質の基礎」, 理工図書, p. 148-151.

以上より、塩分濃度と相関の高い電気伝導率に着目すると、トンネル内は 10,000 μS/cm である。これは汽水域に相当し、水道水は通常 100～300 μS/cm 程度である。このため、トンネル内流入水のほとんどは交差点部の地下水であると推定される。

4. 4 トンネル内異常出水の検討

4.4.1 トンネル内流入速度および開口寸法の再検討

第1回委員会資料に示すように、事故発生の経緯より想定したシールド内への浸水の流入速度の最大値は、 $48.6\text{m}^3/\text{min}$ 、開口換算直径は $\phi=38.3\text{cm}$ （10:00 時点、下図参照）である。その妥当性を他の算定方法から精査する。

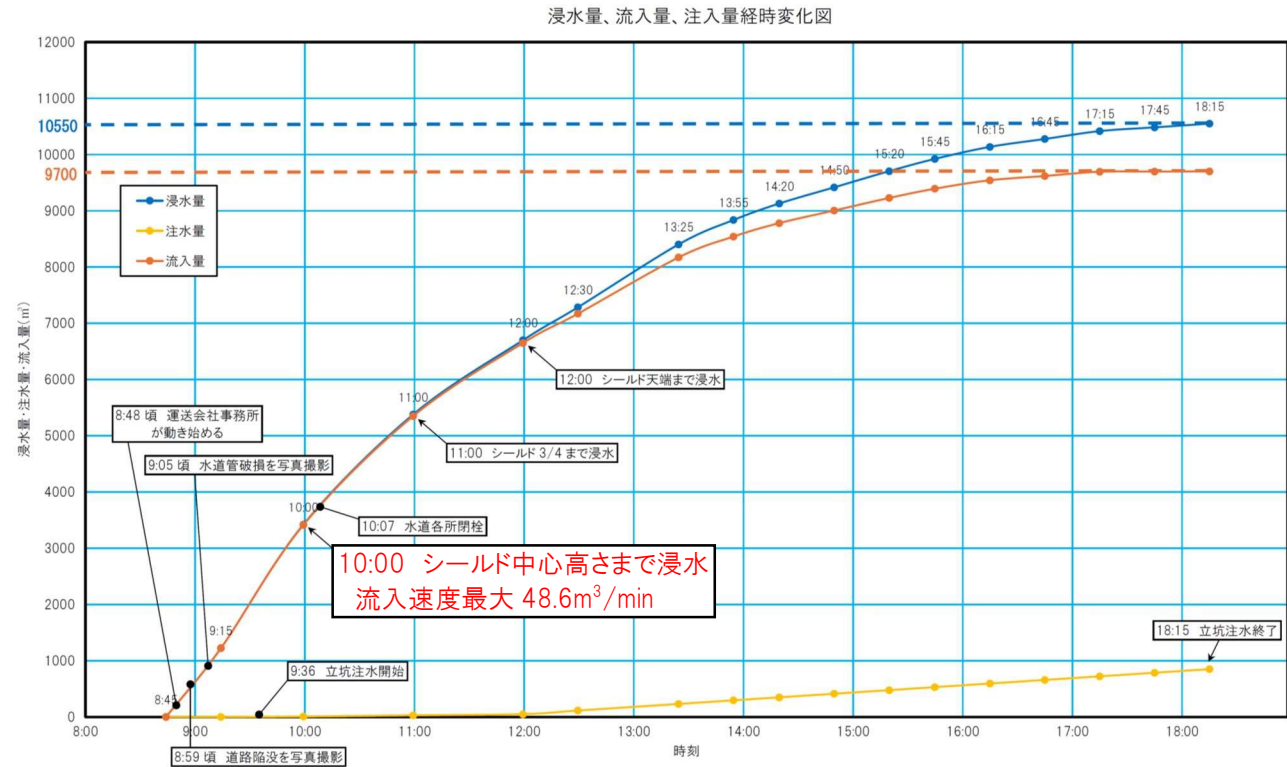


図 4.1 第1回委員会資料 浸水量、流入量、注入量経時変化図

【シールド内浸水時の開口寸法の想定】

最高流入速度 $48.6\text{m}^3/\text{min}$ の時に想定される開口寸法を算出する（小型オリフィス公式より）。

- 開口断面積 $A=1154\text{cm}^2$
- 円形と仮定した開口換算直径 $\phi=38.3\text{cm}$

【浸水量（最大値）】 5840 （トンネル体積） $+4710$ （立坑体積） $=10550\text{m}^3$

【後続台車部撮影写真からの流入速度の算出】

8:56:37 に後続台車部で撮影された出水状況写真（図 4.2）の浸水状況より浸水量を求める。

写真より、①No3 台車後端部で台車床高さ、②No4 台車後端部で軌条高さまでの浸水が確認できる。①②の2点を結び、前後に延長すると図 4.3 のような浸水状況が想定される。



図 4.2 後続台車部出水状況

8:56:37 の浸水状況想定図

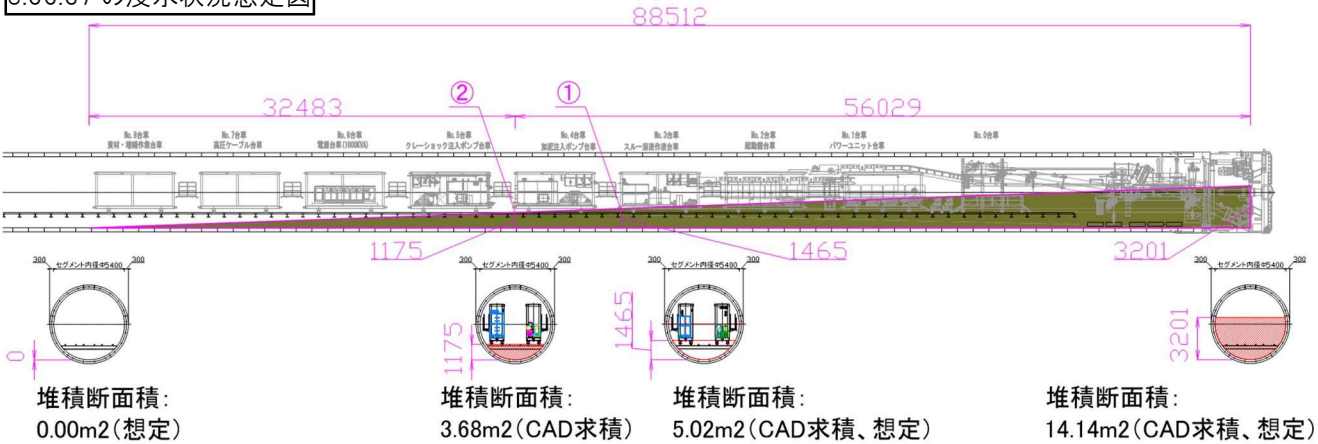


図 4.3 浸水状況想定図

この図より、浸水量を計算すると、 625.8m^3 となる。

この想定浸水量より、浸水開始からの平均流入速度を求めると、

浸水量： 625.8m^3

経過時間：11 分（8:45～8:56）

流入速度 $= 625.8\text{m}^3 / 11\text{min}$
 $= 56.9\text{m}^3/\text{min}$

円形と仮定した開口換算直径 $\phi=41.5\text{cm}$

となり、第1回委員会資料に近い値となる。このため、第1回委員会での流入速度、開口換算直径は概ね妥当で、約 $50\text{m}^3/\text{min}$ 、 ϕ =約 40cm 程度であると想定される。

なお、この流入速度は、出水直後の値ではなく、出水後約1時間内での平均値である。出水後2分に発生したピッチングの変化による流入量の増加の有無は判別不可である。

4.4.2 水中ドローンによるシールドマシン内調査

①実施日時

第1回目：2024年11月12日（火）8:00～
第2回目：2024年11月19日（火）8:00～

②調査内容

第1回目：トライアル調査（水中ドローンを用いて、シールド坑内の状況を把握）

【調査結果】

坑口から約163m地点付近のNo.8 後続台車のフレームまではカメラで確認できた。後続台車間は堆積物の巻上げが多く、視界が悪い。同じ高さで潜水するが途中体積土砂に入り込んでしまう感じが有り、それより先の調査は不可。また、水中ドローンのバッテリーも少なく、調査完了後、立坑下付近でバッテリー電源が尽きた。

【実施イメージ】

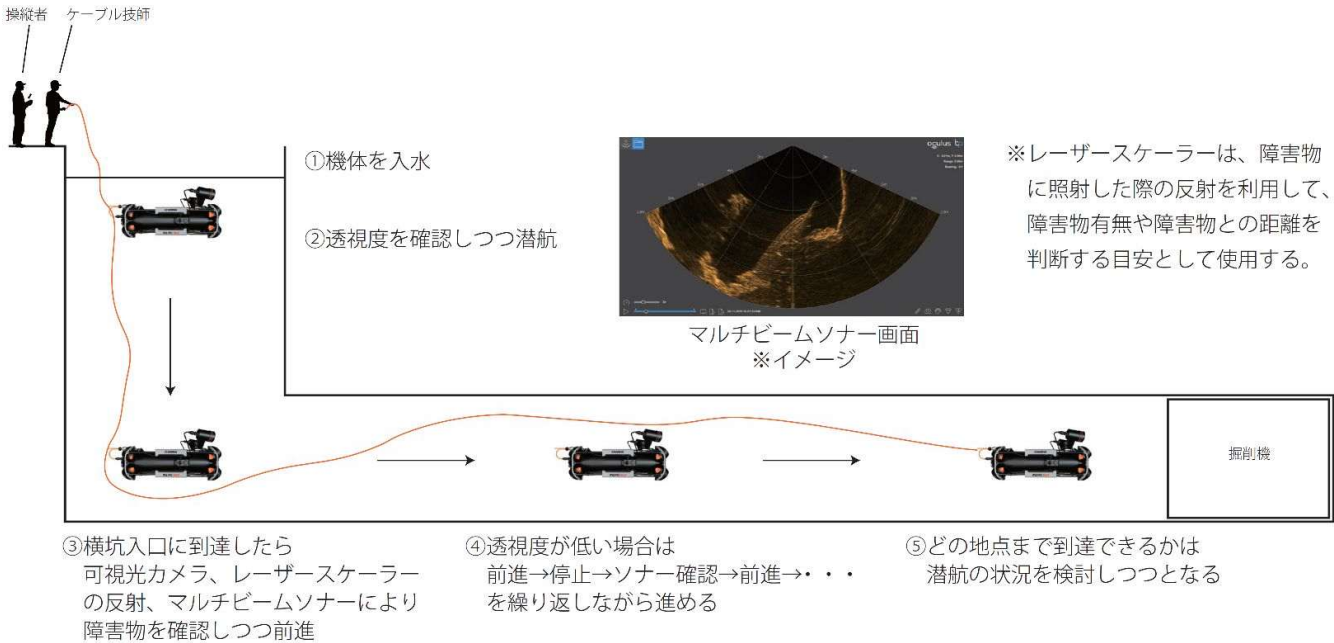


図 4.4 水中ドローンによるシールドマシン内調査概要

【実施状況写真】

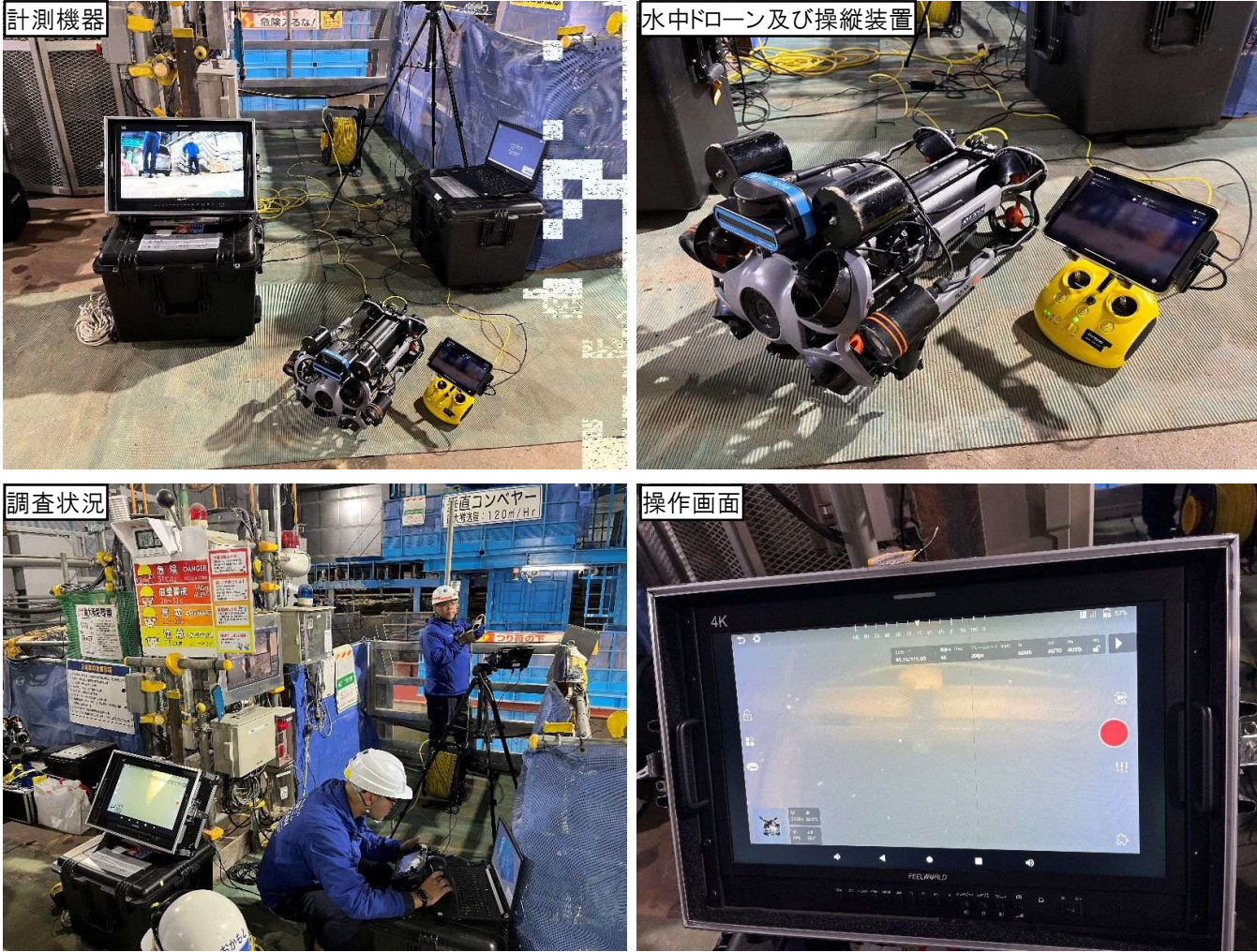


図 4.5 水中ドローンによるシールドマシン機内調査 実施状況写真

【確認状況】



図 4.6 確認状況

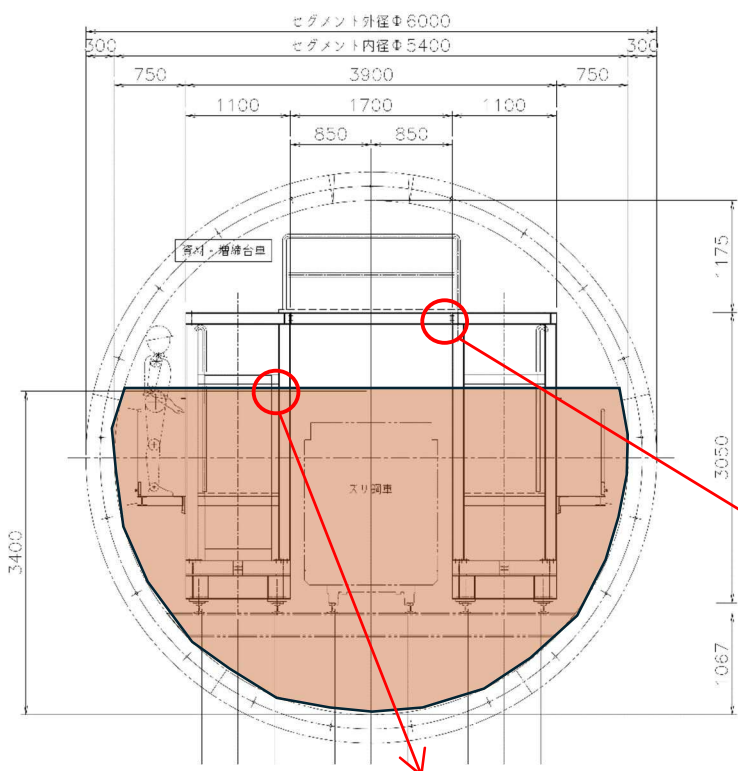
第2回目：本調査（No.8 後続台車付近をより詳細に調査し、堆積土砂の高さ等を把握）

【調査詳細】

坑内風管を頼りに進行すれば、No.8 後続台車までは調査することが可能であったため、電源ケーブルを有した水中ドローンでチャレンジする。これにより、電源の心配はなく、ライト照度も明るくできる。ただし、調査延長が 200m程度であり、トンネル先端までは不可。そのため、No.8 後続台車付近をより詳細に調査し、堆積土砂の高さ等の把握を目的に行う。

【調査結果】

土砂堆積状況を概ね確認できた。次ページ以降に土砂堆積量の推定根拠を示す。調査結果をもとに土砂堆積量を推定すると 1,700～1,800m³となる。



■堆積高さ■

- ・坑口～130m 地点:枕木下端
- ・坑口～135m 地点:レール天端
- ・坑口～165m 地点(後続台車後端):下図のとおり

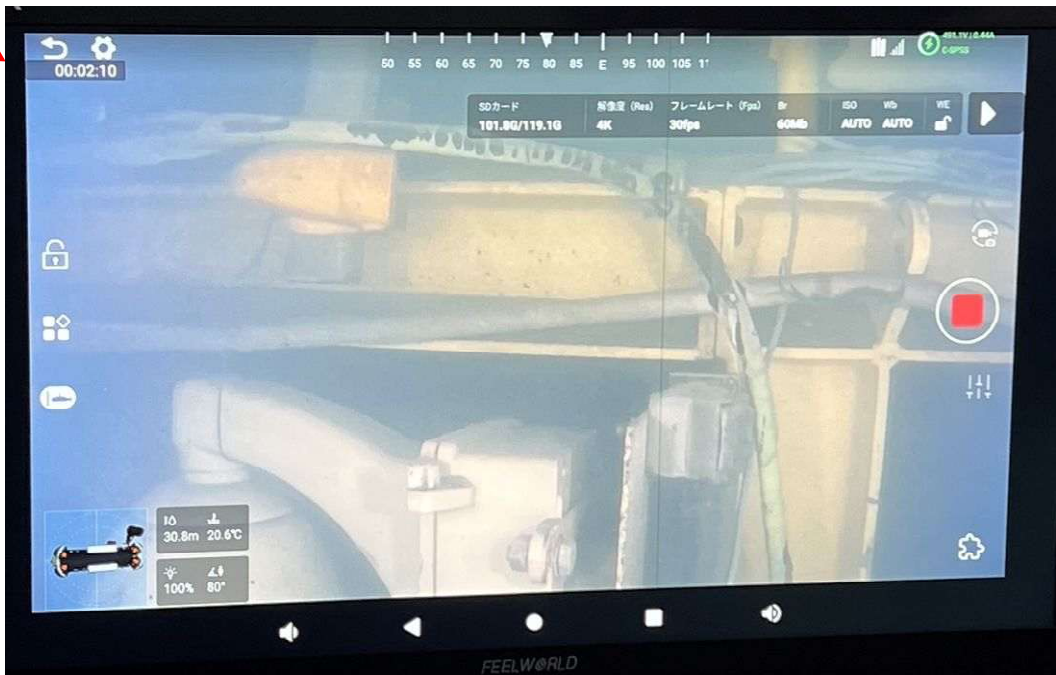
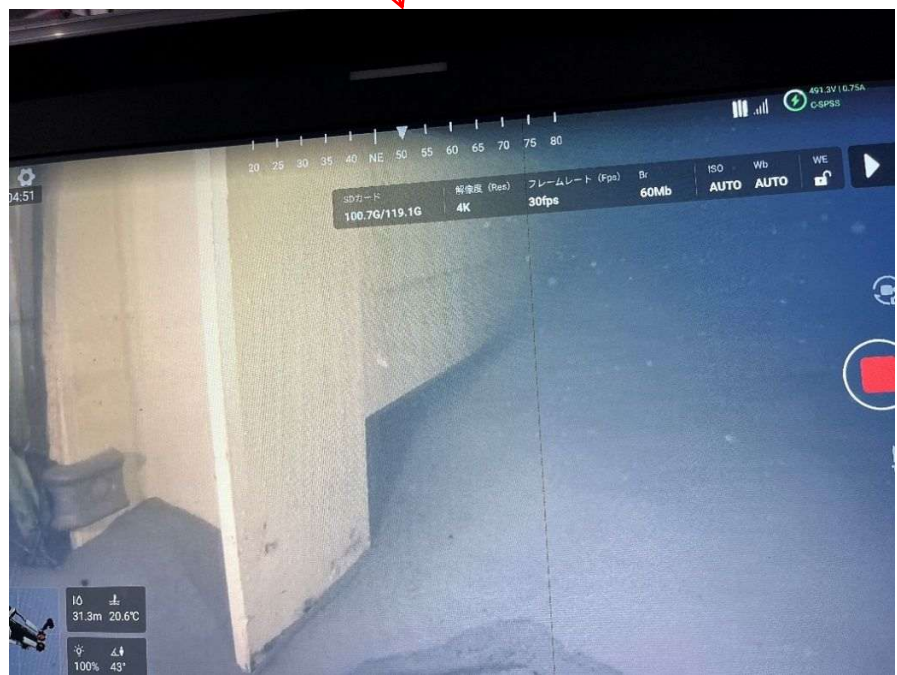
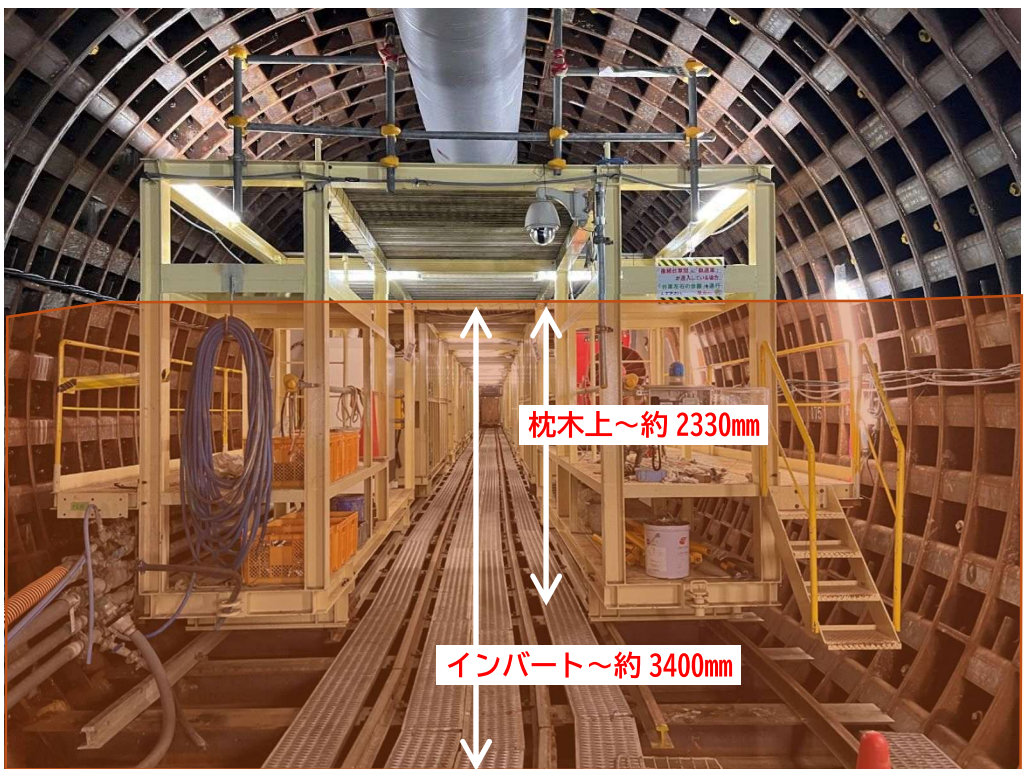


図 4.7 水中ドローンによるシールドマシン機内調査（第2回）

【土砂堆積量の推定根拠】

水中ドローンで確認した箇所土砂堆積状況を基に、土砂のフケ率を考慮して坑内堆積土砂の量を推定する。

【検討条件】

堆積土砂の高さを確認できたのは、地点①：坑口から130m 地点（枕木下端）、地点②：坑口から135m 地点（作業床）、地点③：坑口から150m 地点（後続台車最後部）の三箇所である。地点①、地点②、地点③の土砂堆積高さを結ぶと、およそ一定勾配であることが確認できた。下記の3区間でそれぞれ場合分けして坑内土砂量を算出する。また、坑内の土砂堆積状況イメージ（平面）を図4.8に示す。

- 区間：立坑～地点①
地点①から坑口まで一定勾配で堆積。（図4.9）
- 区間：地点①～地点③
確認した土砂堆積高さから堆積土量を算出する。（図4.10）
- 区間：切羽～地点③
③地点から天端までの1/4の高さから、水平に堆積。（図4.11）

算出された坑内堆積土砂量に対し、フケ率(1.10、1.15)で除して換算土砂堆積量を算出する。

【検討結果】

結果を表4.3に示す。

表 4.3 土砂堆積量算出結果

土砂堆積量(m³)	フケ率	換算土砂堆積量(m³)
2,002	1.10	1,820
	1.15	1,741

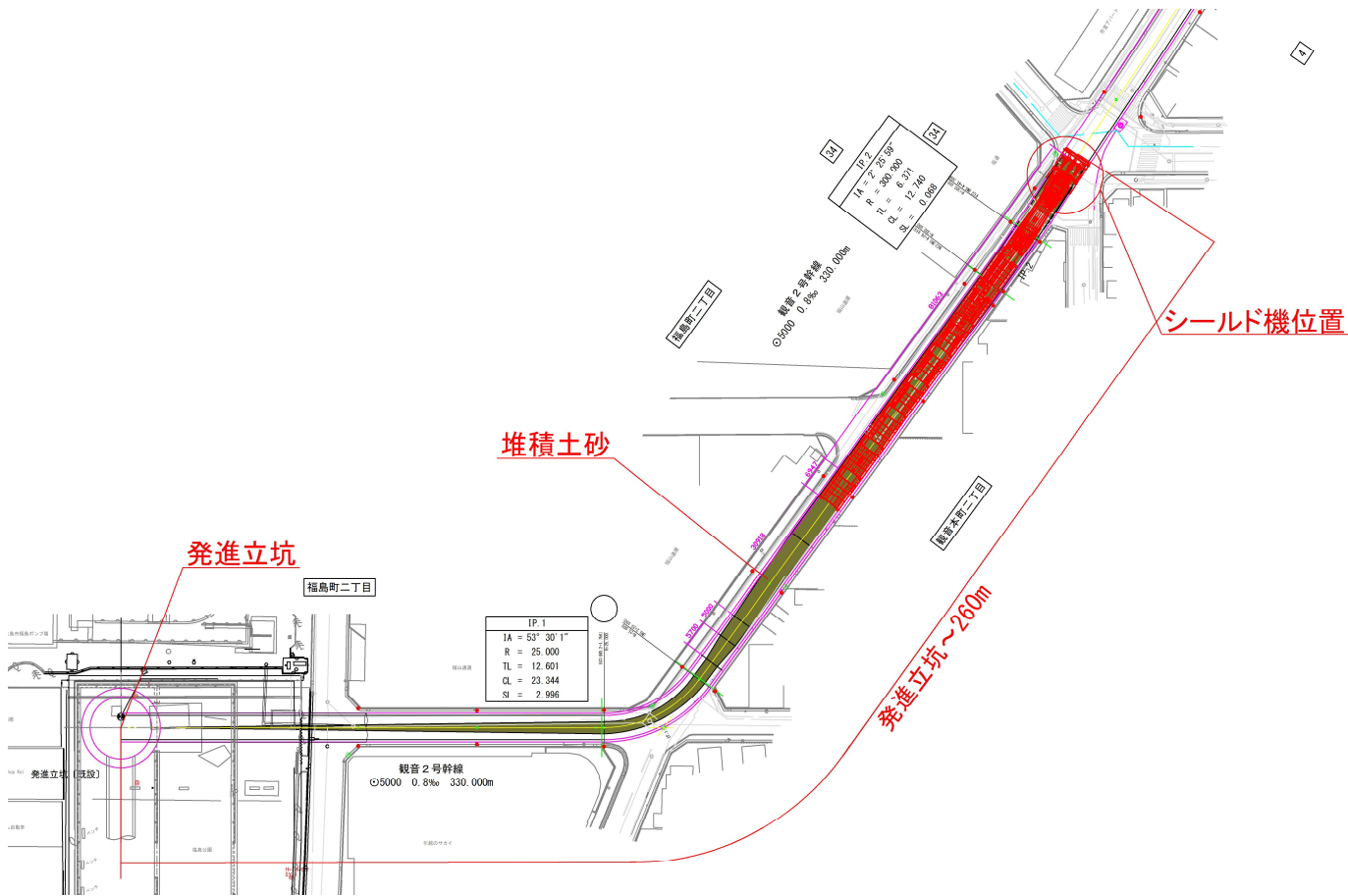


図 4.8 トンネル坑内土砂堆積状況イメージ（平面図）

以上のことから、調査結果をもとに土砂堆積量を推定すると1700～1,800m³となる。

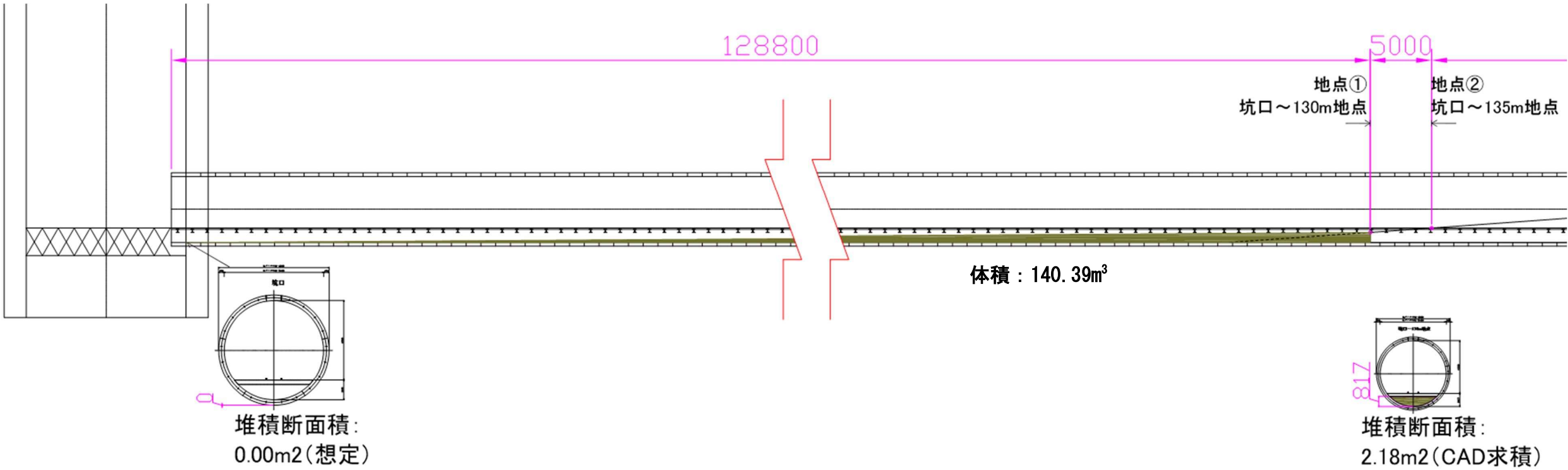


図 4.9 立坑～地点① 堆積土砂イメージ

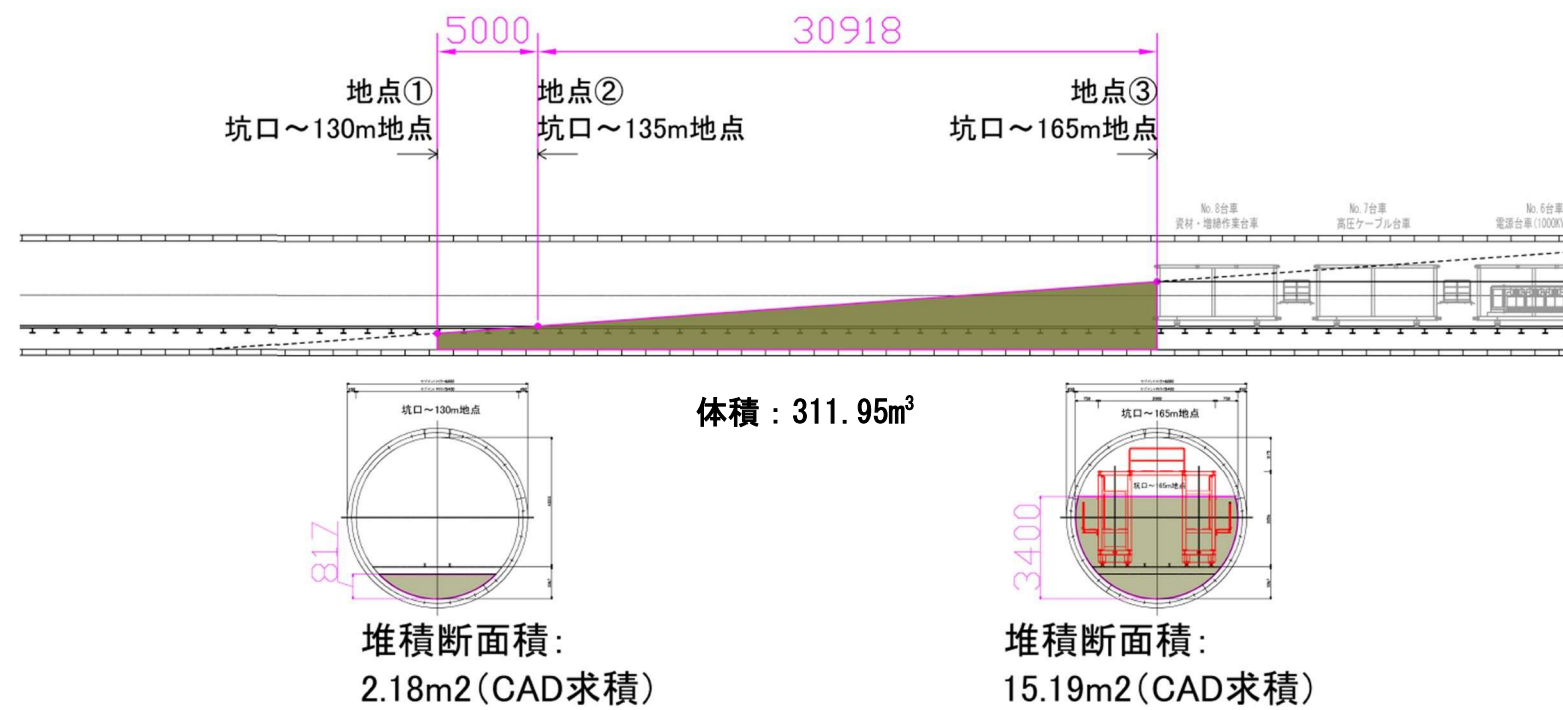


図 4.10 地点①～地点③ 堆積土砂イメージ

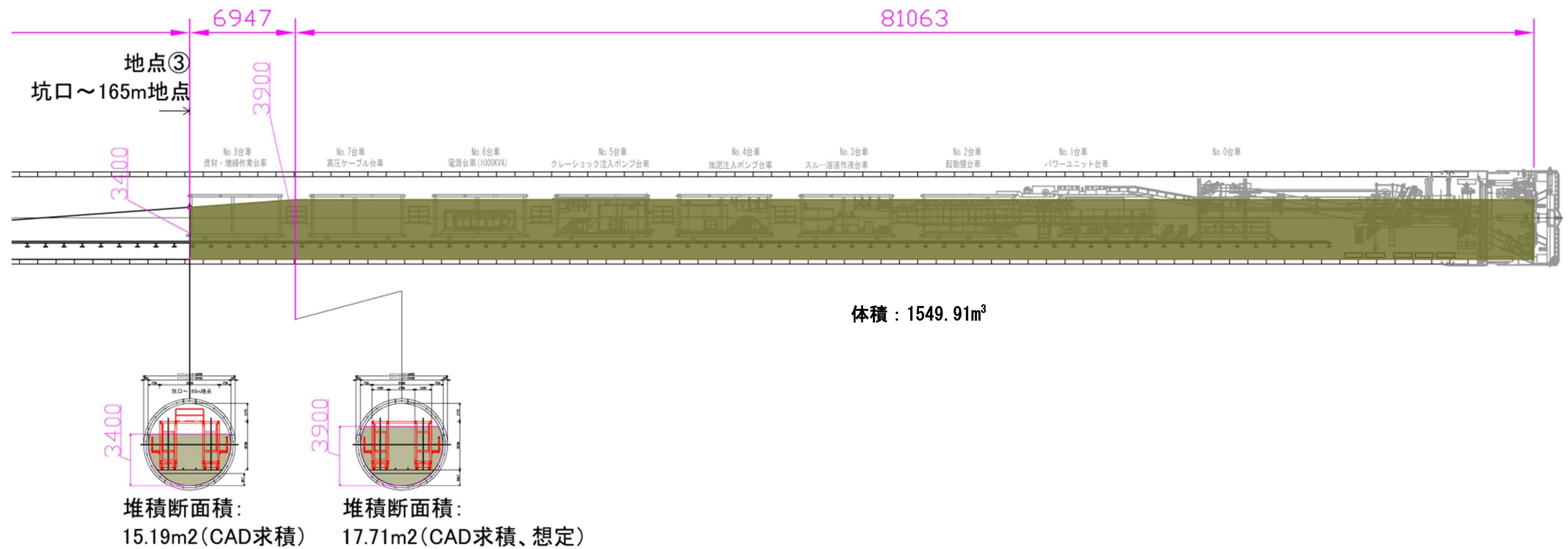


図 4.11 地点③～切羽 堆積土砂イメージ

水中ドローン調査写真



写真 4.1 トンネル坑口上部送風管固定部



写真 4.2 トンネル坑内上部送風管



写真 4.3 トンネル坑内表示器



写真 4.4 トンネル坑内軌条（枕木・レール交差部）



写真 4.5 トンネル坑内軌条（枕木・レール交差部）



写真 4.6 トンネル坑内インバート（レール直上）



写真 4.7 最後部後続台車門型左部材

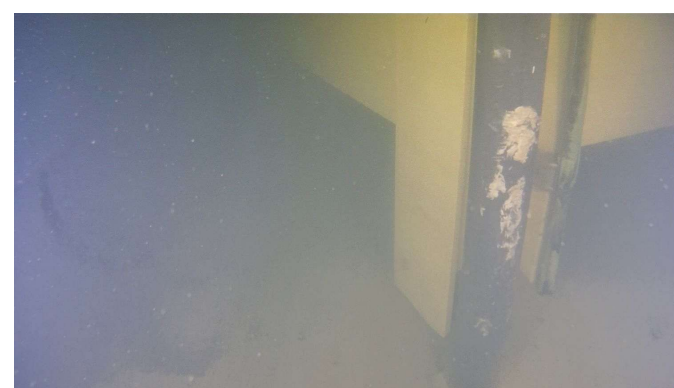


写真 4.8 最後部後続台車門型右部材



写真 4.9 最後部後続台中央部（ドローン前進不可）

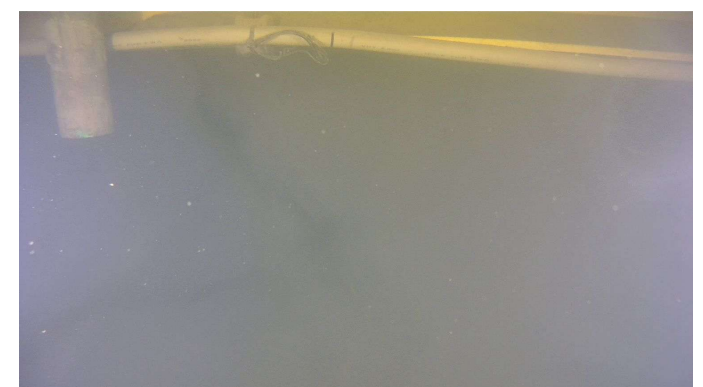


写真 4.10 最後部後続台中央部（ドローン前進不可）



写真 4.11 最後部後続台定点カメラ 4

4. 5 シールドマシンの姿勢

4.5.1 シールドマシンの姿勢調査

第1回委員会の後、追加で直接探査ボーリングを実施してシールドマシンの姿勢を詳細に確認した。前回シールド中心線上3測点のところ、今回は中心線と左右の線上で各5測点、全15測点でシールドマシンの深度を探査してシールドマシンのピッチングを確認した。

表 4.4 シールドマシンの姿勢調査結果

調査		調査方法	ピッチング(‰)
掘進管理システムによる 想定姿勢		—	53.9
前回 調査	磁気探査ボーリング	3 測点から磁気プローブにより磁気強度変化を測定	44.9
	直接探査ボーリング	シールドマシン中心線上の3 測点よりシールドマシン天端深度を直接探査	22.7
追加 調査	直接探査ボーリング	シールドマシン中心と左右線上で各5 測点よりシールドマシン天端深度を直接探査	20.5

調査位置及び結果を下図に示す。現状のシールドマシンピッチングは、20.5‰であることを確認した。

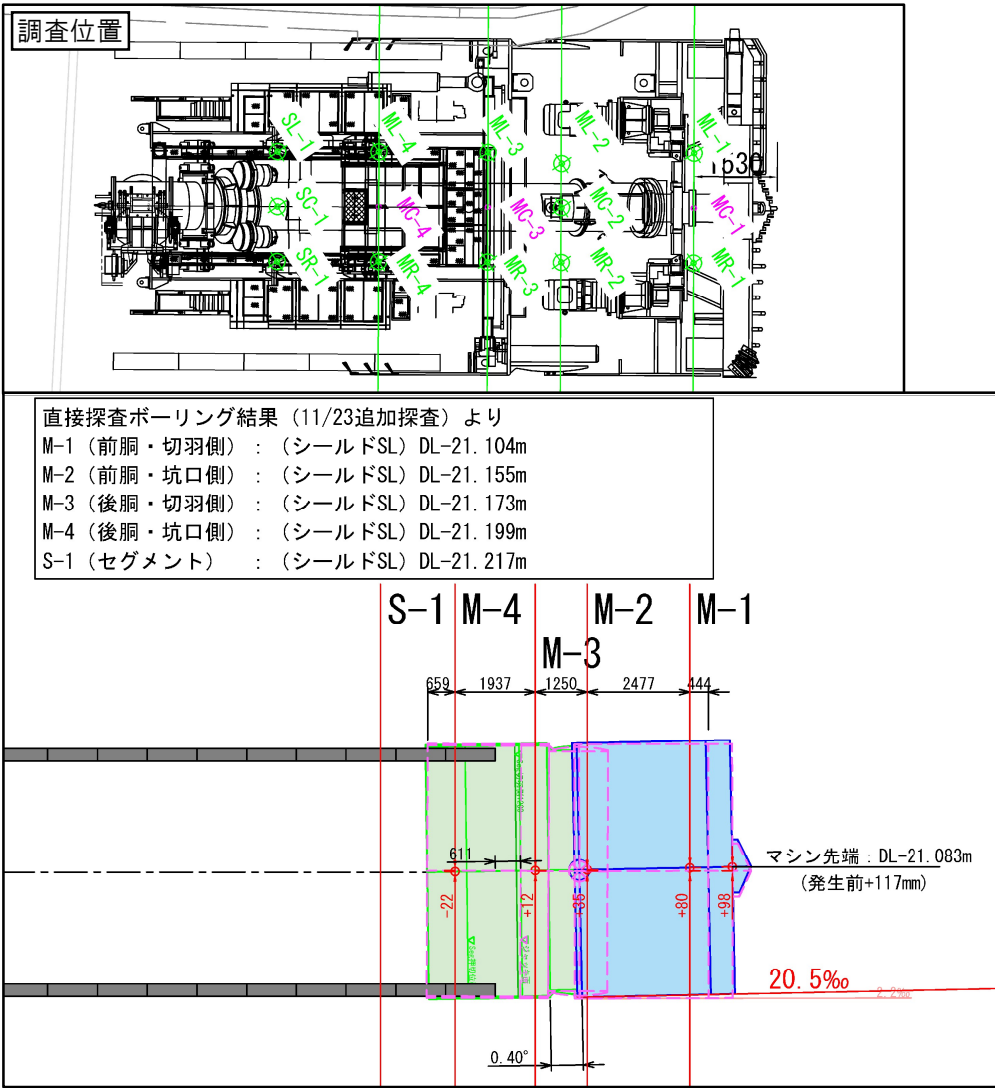


図 4.12 シールドマシンの姿勢調査結果

4.5.2 シールドマシン姿勢検討

シールドマシンが上向きに 20.5‰ピッチングしているものと想定される場合、下図のように機内からの中折れ装置による修正ではシールドマシンテール部とセグメントの干渉を解消できず、外部からの姿勢修正が必要となる可能性が高い。

【中折れ装置による修正】

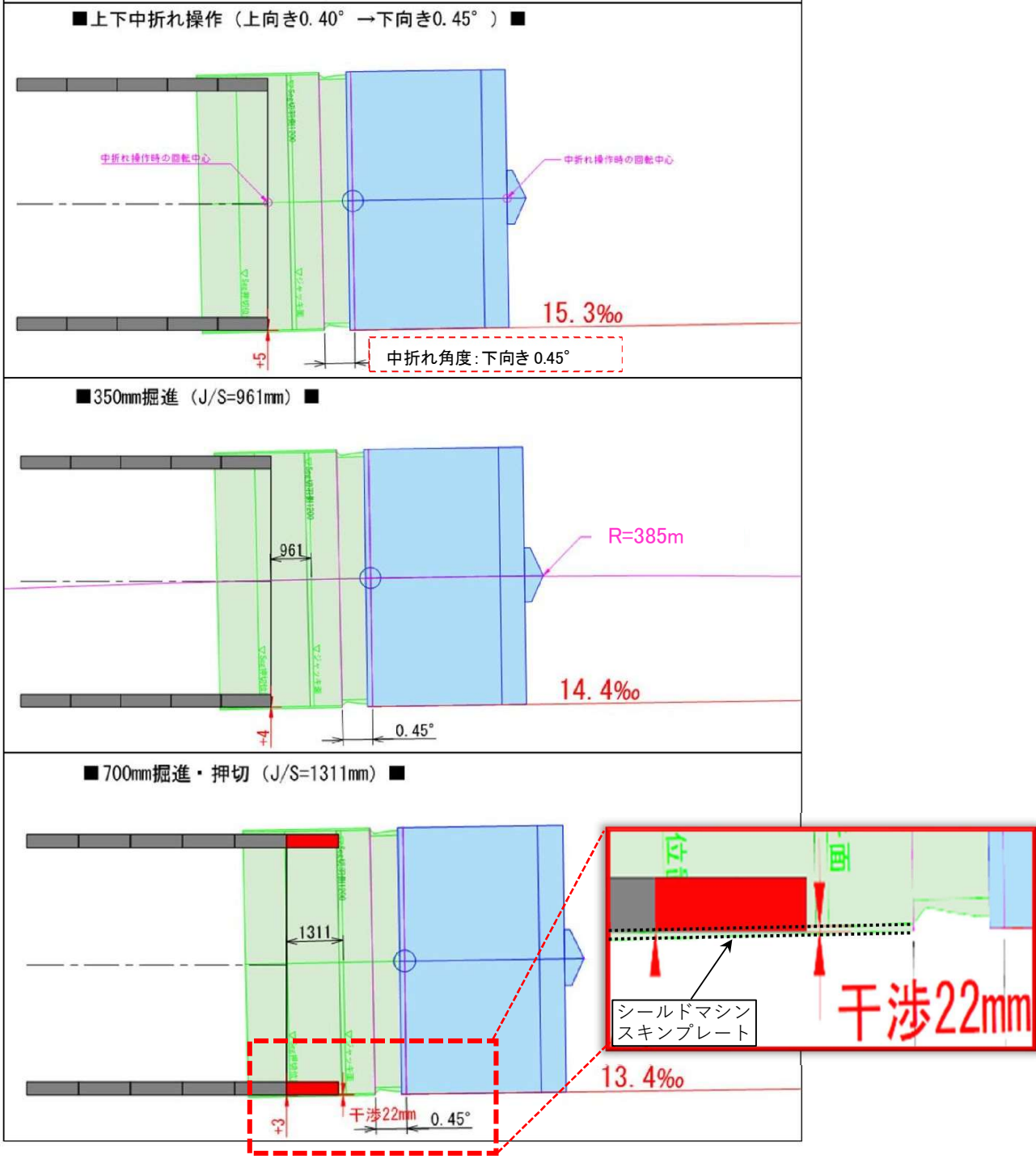


図 4.13 ピッチング差の中折れ装置による修正

4. 6 シールド事故事例調査

シールドマシンの水没事故事例を下表に示す。
表より、本工事を除く事故事例の補修範囲については、

- ・シールドマシン電気機器は全現場 「交換」
- ・駆動部・ジャッキ類は全現場 「整備」
- ・油圧機器は多くの現場で 「整備」

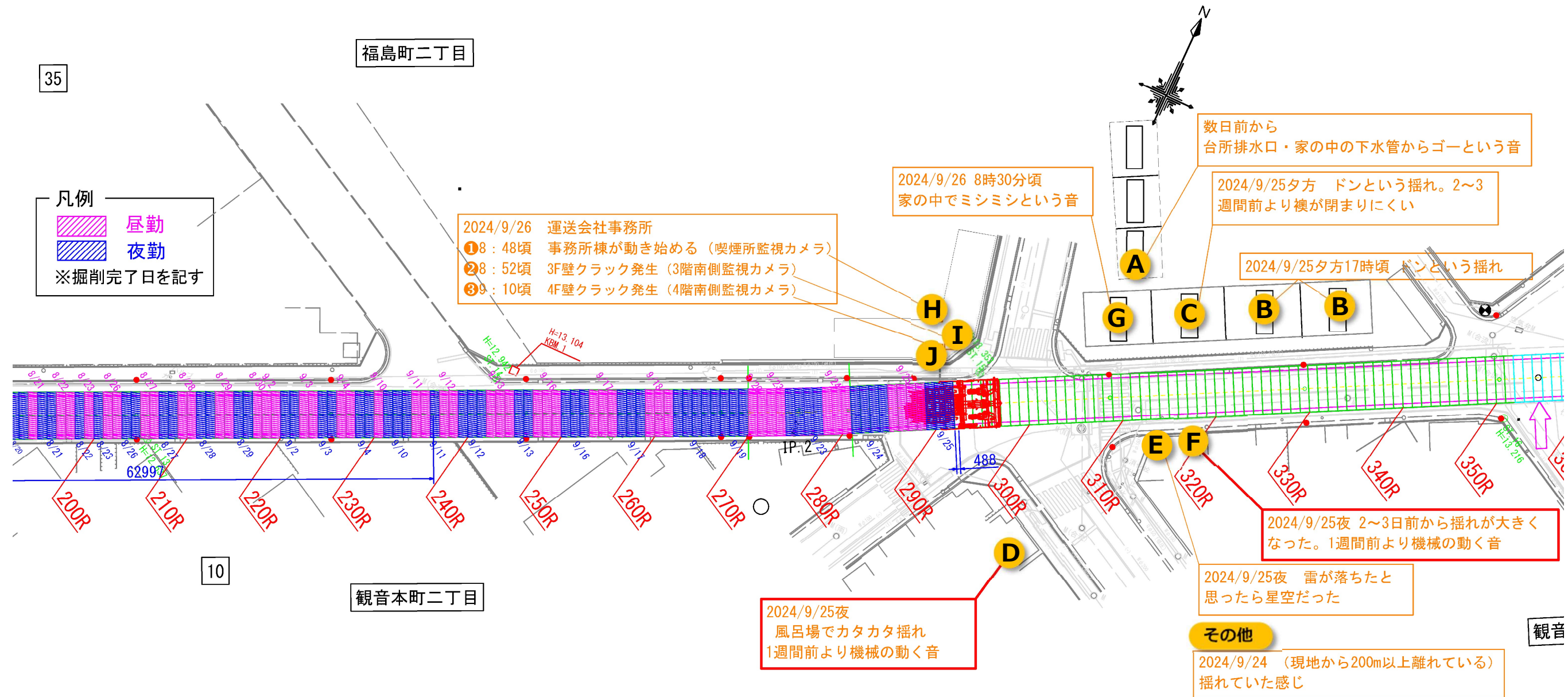
である。
なお、調査の回答は1社である。

表 4.5 シールドマシンの水没事故事例

シールド径	機種	原因	水没箇所	流入物	水没範囲	対策	補修範囲		
							シールドマシン 電気機器	駆動部・ジャッキ類	油圧機器
φ6m (本工事)	泥土	機内に土砂が流入	発進から 260m	地山の土砂	シールドマシン・ 後続台車	検討中	検討中	検討中	検討中
φ4m	泥水	送排泥管解体時に誤作動でバルブが解放され流入	初期掘進中	運河の海水	シールドマシン	バルブに盲栓を施工して排水	交換	整備	整備
φ2m	泥土	豪雨による河川氾濫での立坑水没	到達間際	雨水	シールドマシン・ 後続台車	ポンプで排水			交換
φ4m	泥水	セグメントが半径方向への抜け出し流入	急曲線施工直後	地下水	シールドマシン・ 後続台車	ポンプで排水			整備
φ3m	泥水	段取り替え中に、立坑が水没	発進部	地下水	シールドマシン	ポンプで排水			整備
φ4m	泥水	段取り替え中に、立坑が水没	発進部	地下水	シールドマシン	ポンプで排水			整備
φ5m	泥土	給水ラインのトラブルによる流入	発進から数百 m	水道水	シールドマシン・ 後続台車	ポンプで排水			整備
φ5m	泥水	エントランスのトラブルによる流入	発進部	海水	シールドマシン	発進地盤改良区間を凍結			交換
φ5m	泥土	立坑内の漏水により流入	発進部	地下水	シールドマシン	発進地盤改良区間を凍結			整備

4. 7 事故時の住民ヒアリング調査

事故発生後に行った現地ヒアリング調査結果を以下に示す。なお、赤枠標記のDとFのヒアリング内容については、硬質地盤の掘進において一般的に発生する事象である。



2024/9/25 現場状況
①昼勤掘削作業（286リング～289リング）：8時26分頃～14時50分頃
②夜勤掘削作業（290リング～292リング）：20時39分頃～翌2時47分頃

2024/9/26 現場状況
①8時過ぎ朝礼、8時10分過ぎJV職員、協力業者作業員が入坑。準備作業。
②8時25分293R（発進基地から255m程度）掘進開始。
③8時45分35秒、ジャッキストローク616mm/1200mmで、事故発生。
④8時50分過ぎ、JV職員が地上舗装の亀裂などの異常を確認した。

日時	場所	ヒアリング内容	掘進状況
数日前	A	台所排水口・家の中の下水管からゴーという音	停止中
2024/9/24	その他	現地から200m以上離れている箇所	揺れていた感じ
2024/9/25 17時頃	B	ドンという揺れ	停止中
2024/9/25 夕方	C	ドンという揺れ 2～3週間前より襖が閉まりにくい	停止中
2024/9/25 夜	D	風呂場でカタカタ揺れ 1週間前より機械の動く音	掘進中
2024/9/25 夜	E	雷が落ちたと思ったら星空だった	停止中
2024/9/25 夜	F	2～3日前から揺れが大きくなった 1週間前より機械の動く音	掘進中
2024/9/26 8時30分頃	G	家の中でミシミシという音	掘進中
2024/9/26 8時48分頃	H	運送会社事務所 事務所棟が動き始める（喫煙所監視カメラ）	停止中
2024/9/26 8時52分頃	I	運送会社事務所 3F壁クラック発生（3階南側監視カメラ）	停止中
2024/9/26 9時10分頃	J	運送会社事務所 4F壁クラック発生（3階南側監視カメラ）	停止中

事故発生

図 4.14 現地ヒアリング調査結果

4. 8 施工管理データの検証

4.8.1 掘進データの分析

(1) カッタートルク

本掘進開始後、シールドマシンの空回転時にカッタートルク負荷状況が、計画最大値（40%）を超過する頻度が増加したことを確認した。

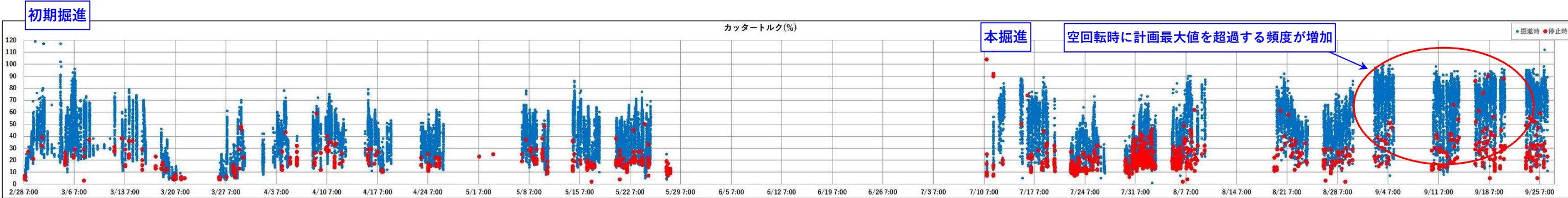


図 4.15 シールドマシン掘進時および停止時のカッタートルク負荷状況【全線 30 秒毎】

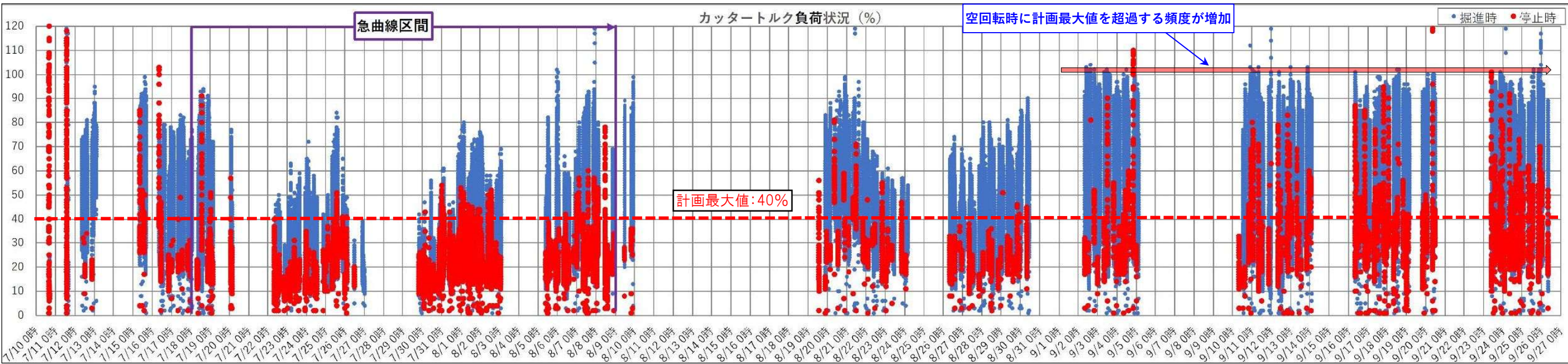
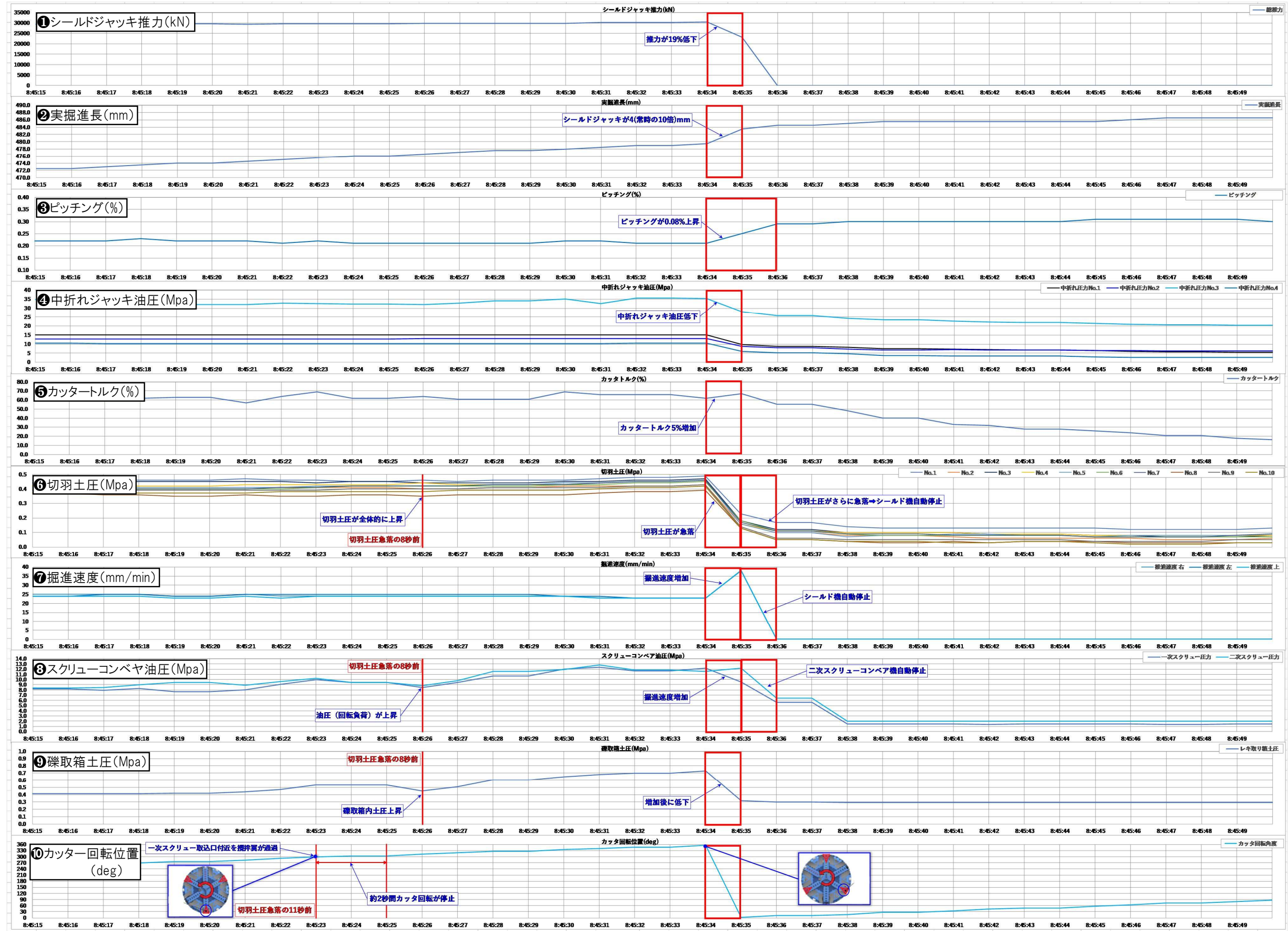


図 4.16 シールドマシン掘進時および停止時のカッタートルク負荷状況【本掘進 1 秒毎】

(2) 事故発生瞬間前後の 30 秒間の掘進データ分析



(3) 293R 掘進時（23 分間）の掘進データ分析

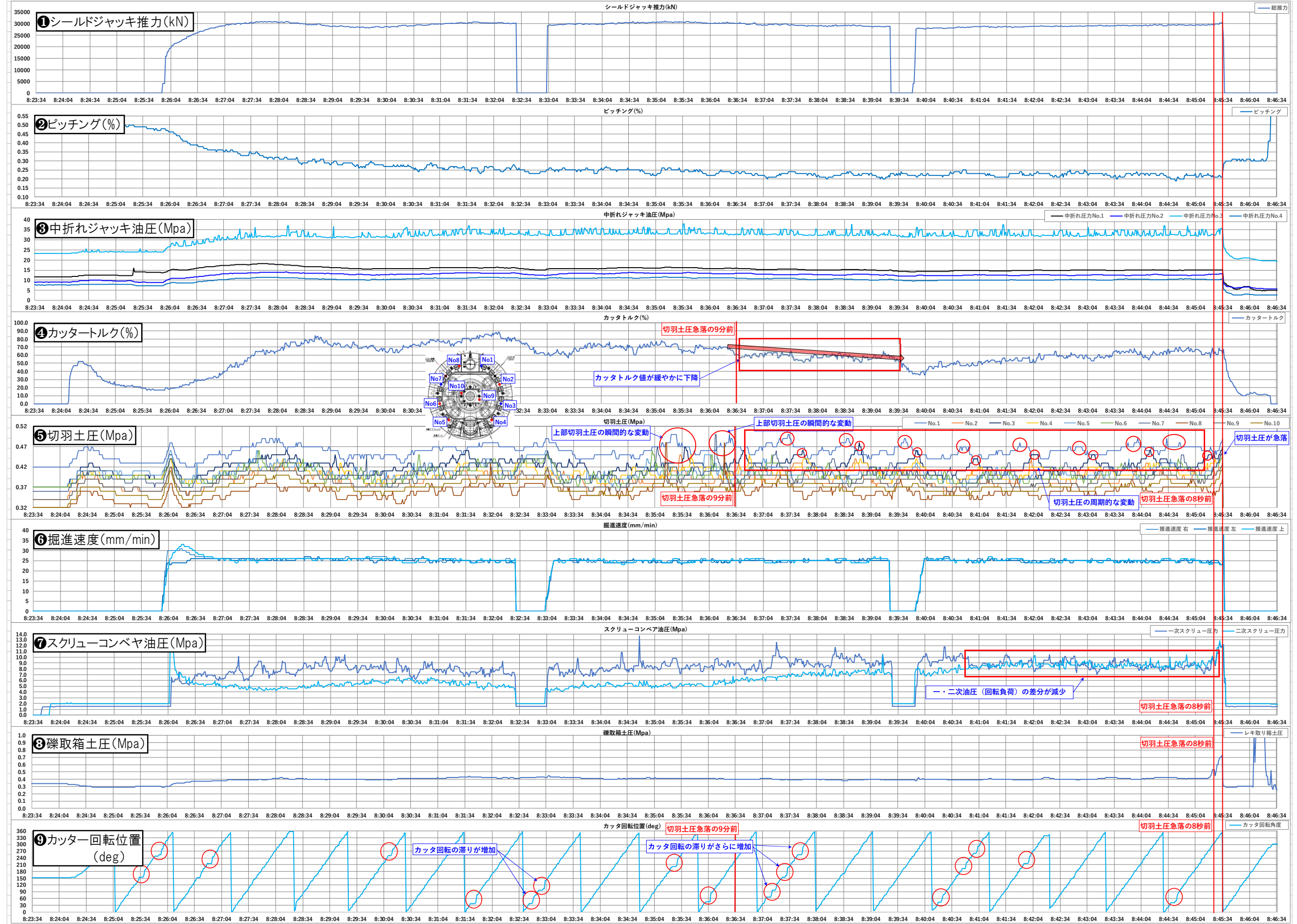
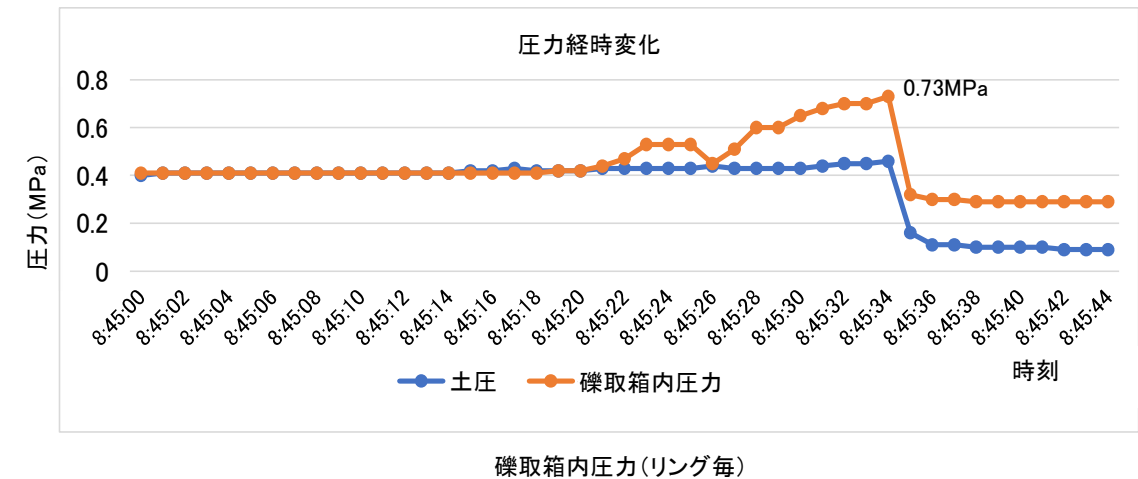


図 4.18 事故発生時の掘進データ【293R 1 秒毎】

4.8.2 事故発生直前の礫取箱土圧の上昇について

出水直前の荷重に対するスクリーコンベヤーの耐力検討を行い、その安全性を確認する。出水直前の切羽土圧および礫取箱内圧力を以下に示す。



(1) 解析方法

弾性二次元フレーム解析を実施して発生断面力を求め、出水直前の荷重 (0.73MPa) が作用した場合の各部の安全性を確認する。

(2) 検討対象

スクリーコンベヤーの構造概要を左図に示す。
スクリーコンベヤー本体は開口による断面欠損があるため、厳しい条件となる中間点検口部と先端点検口部を検討対象とした。さらに、各接合ボルト 2 箇所を加えた計 4 箇所を検討対象とする。

- < 検討対象 >
- ①スクリーコンベヤー本体 (中間点検口部 補強断面)
 - ②スクリーコンベヤー本体 (先端点検口部)
 - ③フランジ接合部ボルト
 - ④球面部ボルト

【スクリーコンベヤー構造概要】

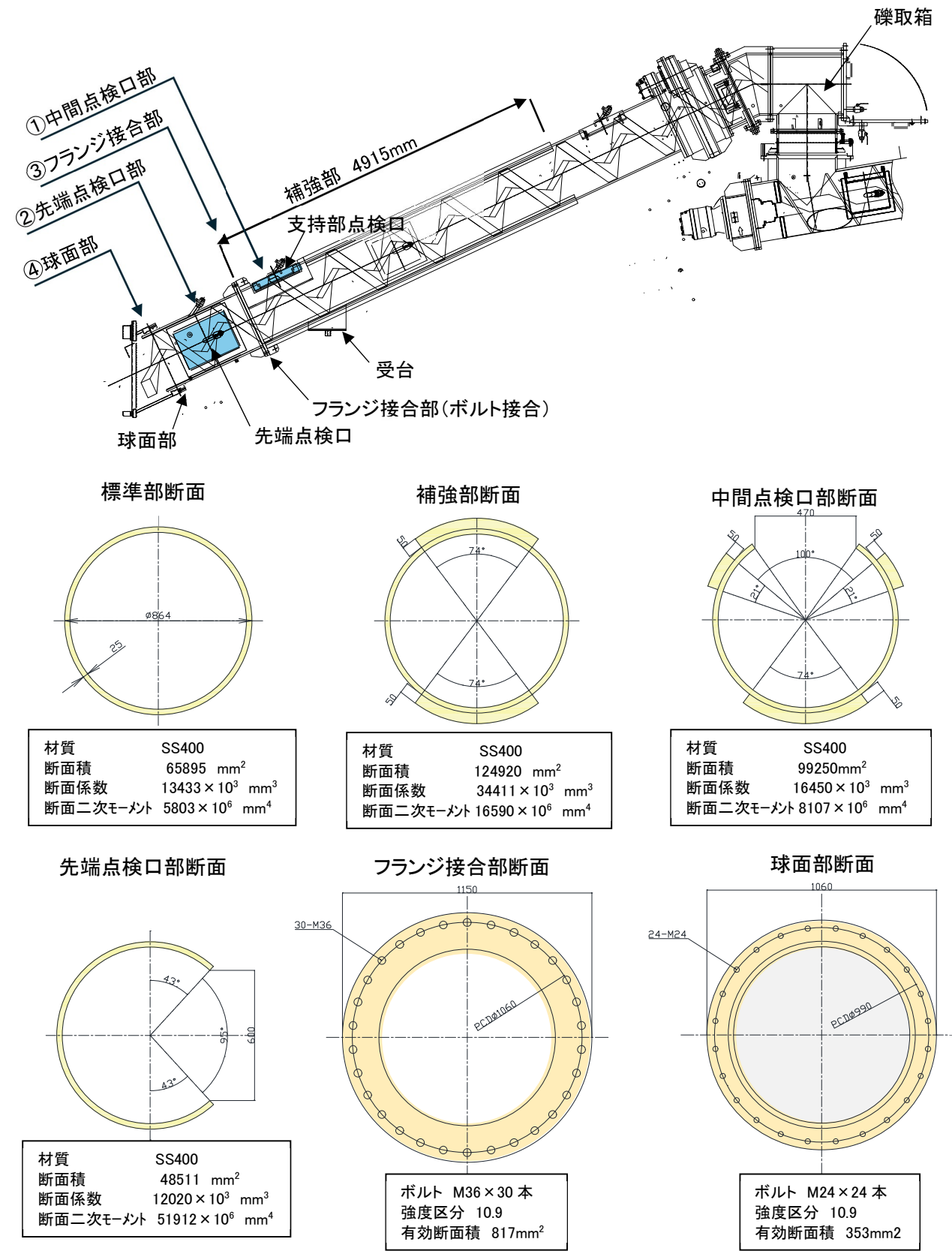


図 4.20 スクリーコンベヤー構造概要

(3)作用荷重

スクリーコンベヤーに作用する通常荷重を以下に示す。

- | | |
|------------------|---|
| ①スクリーコンベヤー自重 | 87.7kN (自重として載荷) |
| ②フライト重量 | 52.4kN 等分布荷重 5.53kN/m として載荷 |
| ③スクリーコンベヤー内土砂重量 | 89.6kN 等分布荷重 8.51kN/m として載荷
(土の単位体積重量 18kN/m ³ として設定) |
| ④駆動部重量 | 43.1kN (集中荷重) |
| ⑤ゲート部重量 | 16.7kN (集中荷重) |
| ⑥二次スクリー吊荷重、礫取箱重量 | 139kN (集中荷重 土砂重量含む) |
| ⑦二次スクリー支点部の摩擦抵抗力 | 46.1kN |

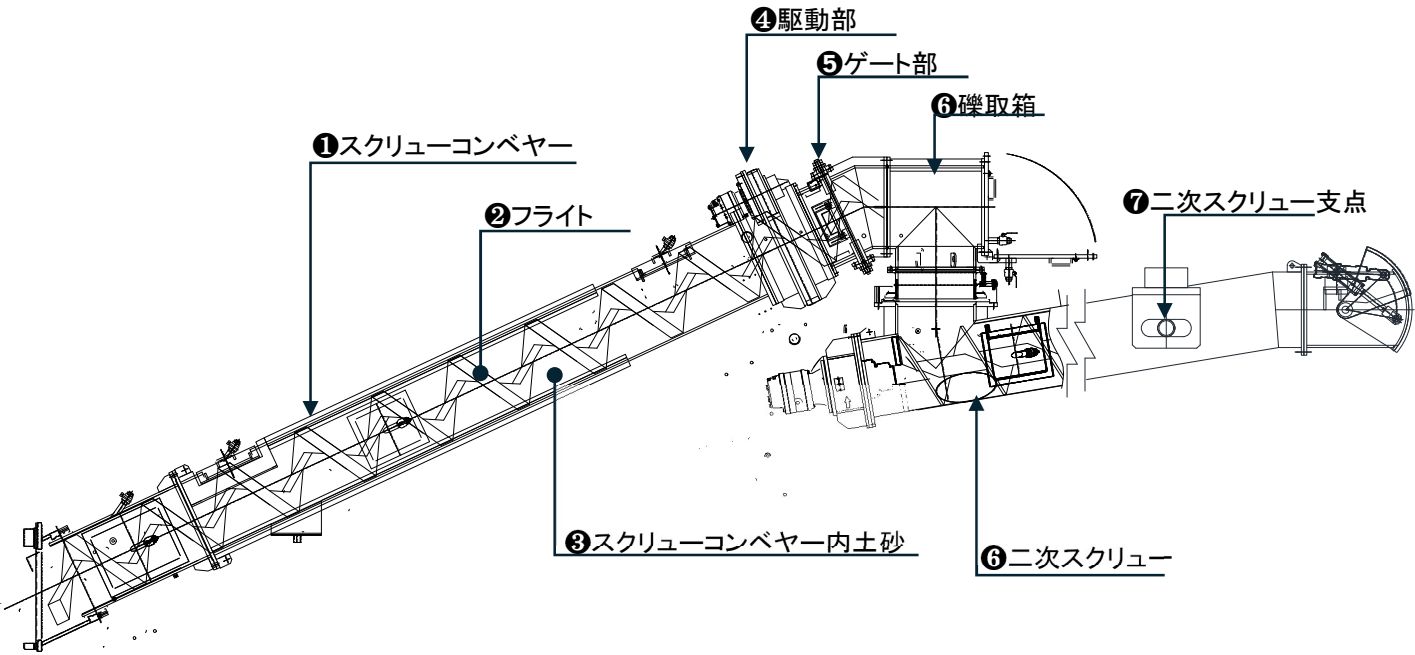
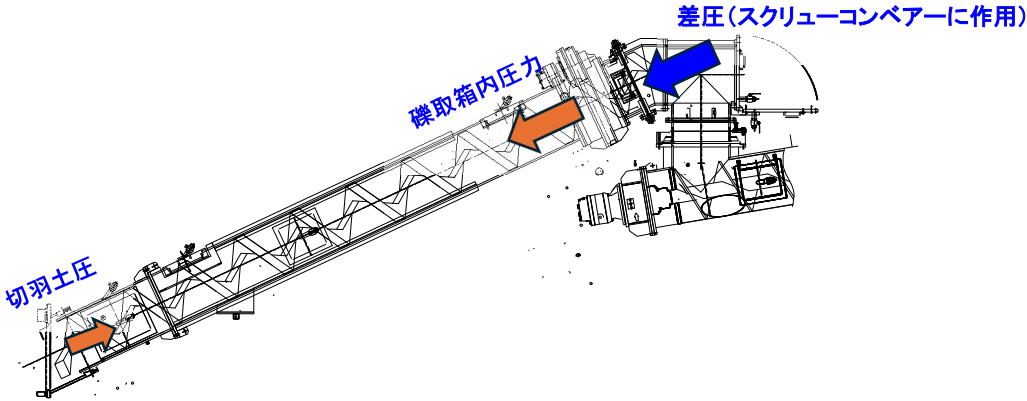


図 4.21 スクリューコンベヤー作用荷重

⑧フライト反力

切羽土圧 (0.46MPa) と礫取箱内圧力 (0.73MPa) の差分 0.3MPa がスクリーコンベヤー軸方向に作用する。(スクリーコンベヤー内空面積 0.52m² より荷重は 140kN)



※切羽圧、礫取箱内圧力の値は土圧急減 (出水発生時) 直前の計測値

図 4.22 フライト反力

⑨礫取箱内圧力による荷重

礫取箱内圧力 (0.73MPa) のつり合い荷重が水平方向に作用する。
(スクリーコンベヤー内空面積 0.52m² より荷重は 380kN)

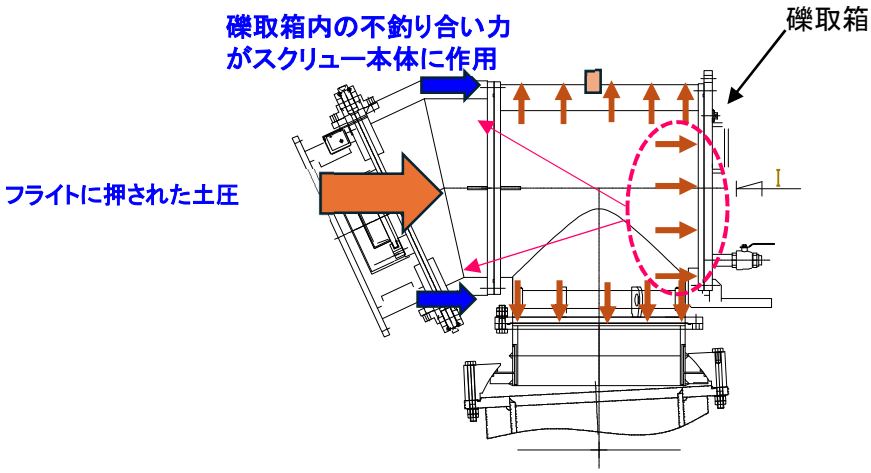


図 4.23 礫取箱内圧力による荷重

(4)解析モデル

以下に解析モデルを示す。

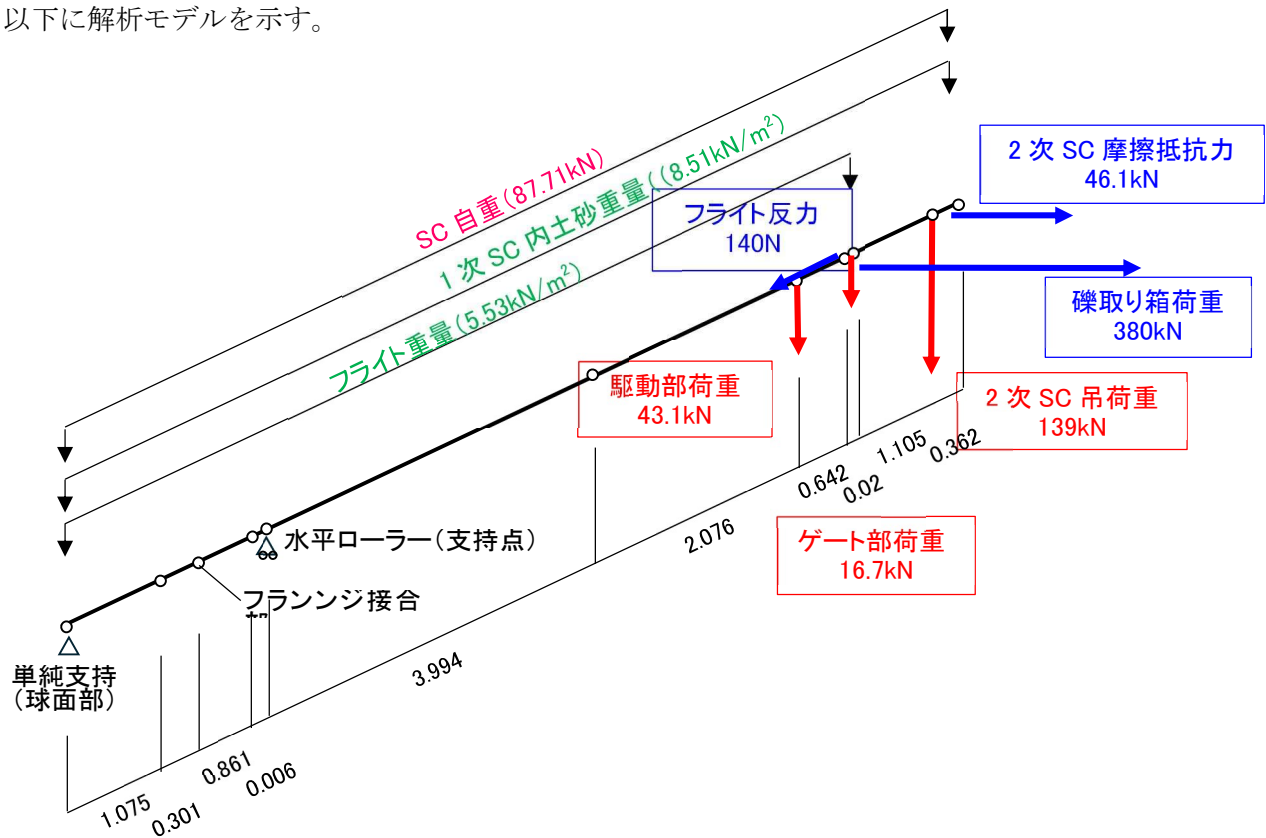
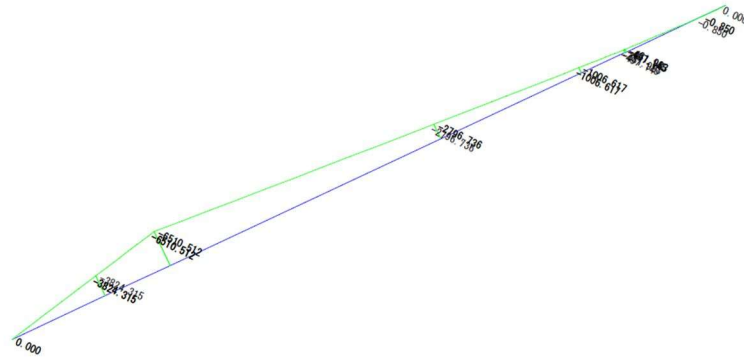


図 4.24 解析モデル

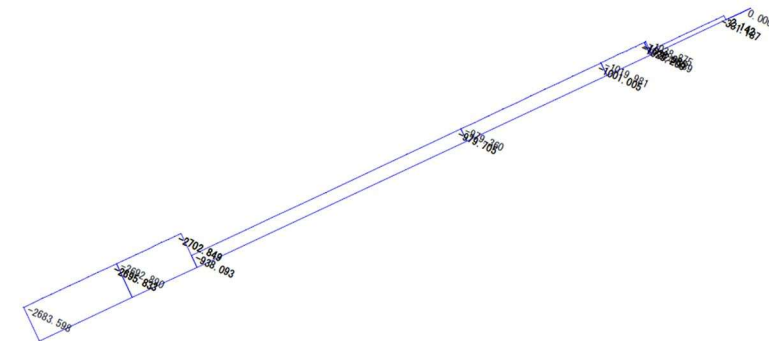
(5) 解析結果

フレーム解析の結果を以下に示す。

曲げモーメント図



軸力図



せん断力図

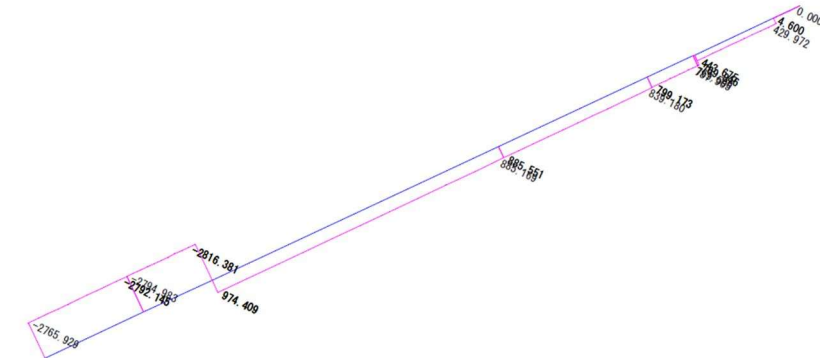


図 4.25 フレーム解析結果

表 4.6 検討対象の発生断面力一覧

検討対象	曲げモーメント (kN・m)	軸力 (kN)	せん断力 (kN)
①スクリーンコンベヤー本体 (中間点検口部 補強断面)	-3002	-965	-1363
②スクリーンコンベヤー本体 (先端点検口部)	-1432	-955	-1341
③フランジ接合部ボルト	-1836	-957	-1346
④球面部ボルト	0	-947	-1323

(6) 耐力照査

各検討対象の耐力照査を行う。

表 4.7 検討対象の発生断面力一覧

検討対象	引張応力(N/mm ²)			せん断応力(N/mm ²)		
	発生応力	許容値	判定	発生応力	許容値	判定
①スクリーコンベヤー本体 (中間点検口部 補強断面)	192	235	OK	14	135	OK
②スクリーコンベヤー本体 (先端点検口部)	139		OK	28		OK
③フランジ接合部ボルト	214	940	OK	55	405	OK
④球面部ボルト	112		OK	156		OK

照査結果の結果、すべての検討対象について発生応力は許容値以下になった。
以上のことからスクリーコンベヤーの出水直前の荷重に対する安全性を確認した。

4.8.3 シールドマシン緊急対策機能

本工事シールドマシンに装備している緊急対策機能について以下に示す

(1)緊急対策機能の概要

スクリーには、緊急対策機能として以下の3つのゲートを装備している。

- ①先端ゲート
- ②1次スクリーゲート
- ③2次スクリーゲート

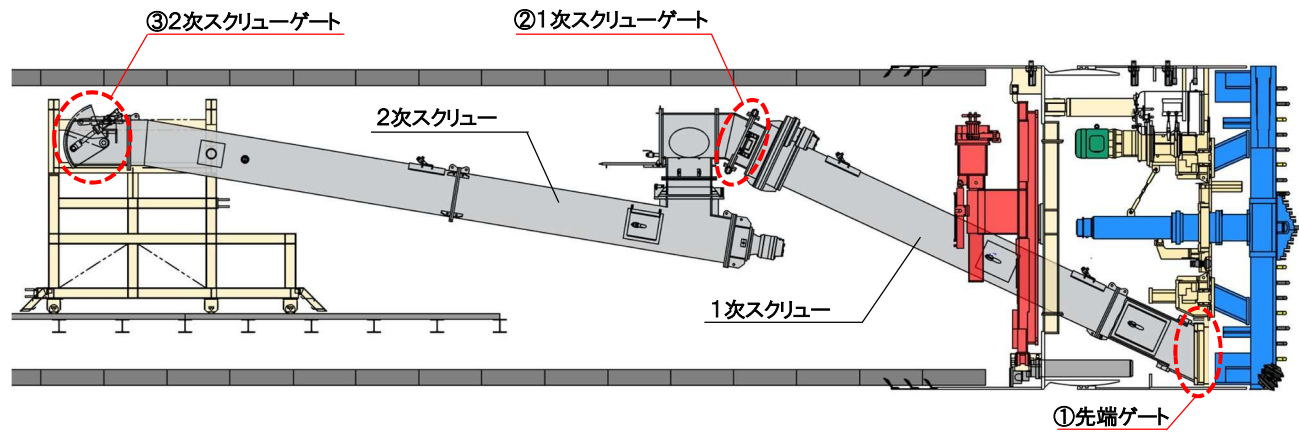


図 4.26 ゲート位置概念図

それぞれの機能と開閉操作について以下に示す。

①先端ゲート

- ・スクリー回転不能時(礫閉塞等)のチャンバーとスクリー分断機能 (分断後、点検、礫撤去が可能)
 - ・フライト位置を調整後、刻印を確認して操作
- 先端ゲートについて、開閉の詳細図 (取扱説明書抜粋) を以下に示す。

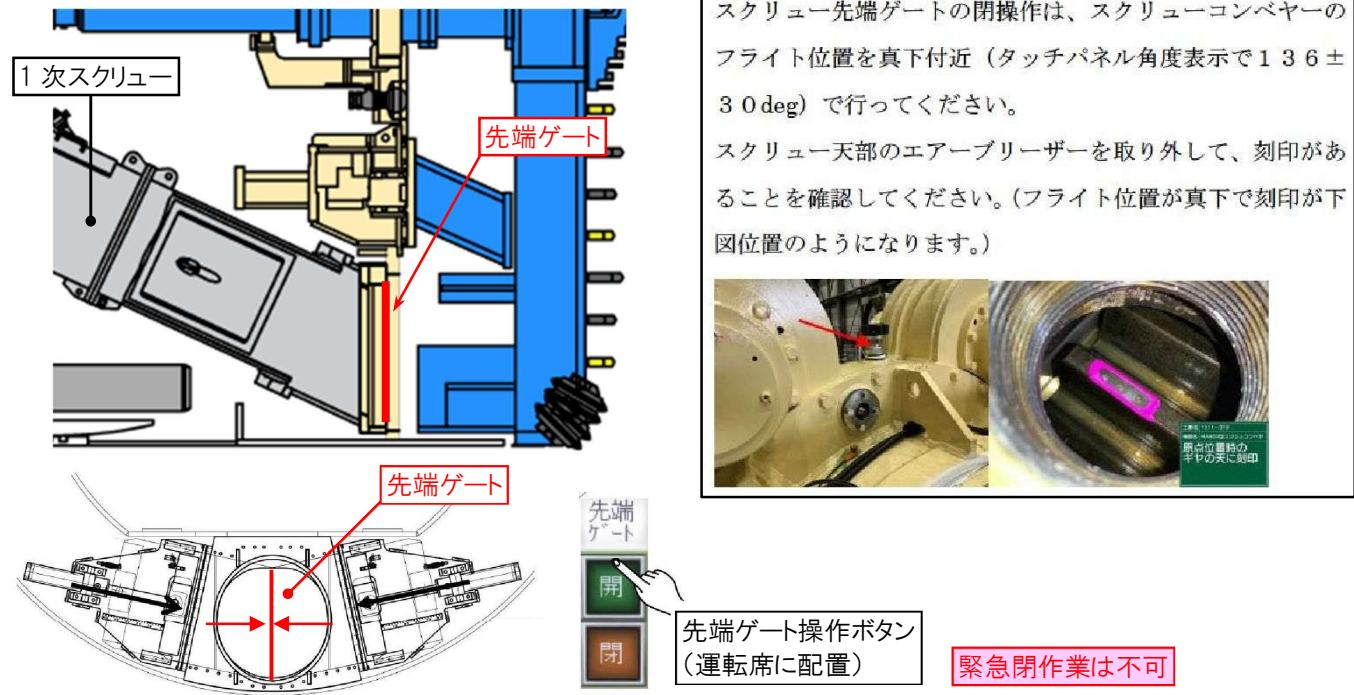


図 4.27 先端ゲート概要

②1次スクリーゲート

- ・土砂噴発防止および排土の調整機能
- ・シールド操作盤にて手動で開閉操作 (停電時にはアキュムレータに蓄積したエネルギーにより開閉操作が可能)

③2次スクリーゲート

- ・土砂噴発防止および排土の調整機能
- ・シールド操作盤にて手動で開閉操作 (停電時にはアキュムレータに蓄積したエネルギーにより開閉操作が可能)

1次・2次スクリーゲートについて、開閉の詳細図 (取扱説明書抜粋) を以下に示す。

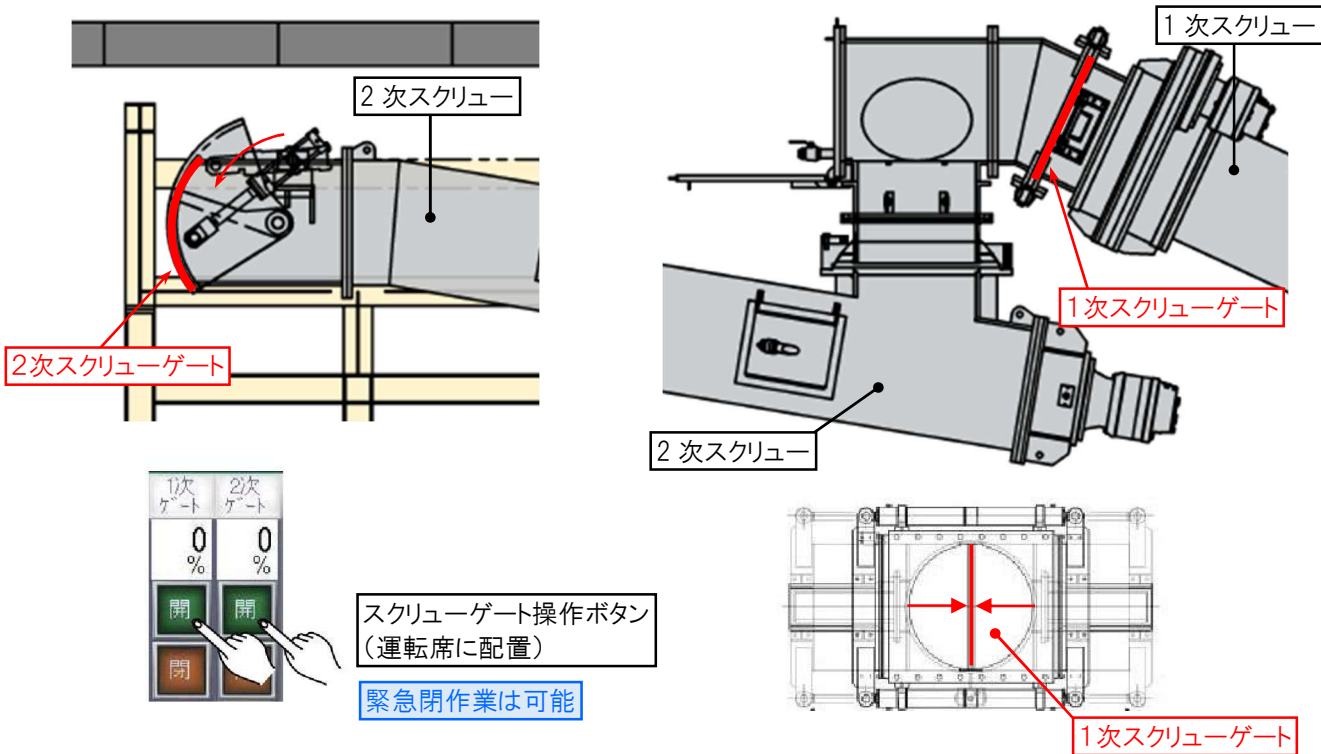


図 4.28 1次・2次スクリーゲート概要

(2)出水時の対応

事故発生時の対応を下表に示す。

表 4.8 事故発生時の緊急対策機能の操作

緊急対策機能	事故発生後の対応
①先端ゲート	未操作(閉操作にはフライト位置合わせが必要で、即時閉塞困難)
②1次スクリーゲート	出水確認後、直ちに(8:46:43)に手動で閉操作を実施
③2次スクリーゲート	出水確認後、直ちに(8:45:57)に手動で閉操作を実施

出水確認後、直ちに1次および2次スクリーゲートを閉操作して緊急対策を実施した。1次および2次スクリーゲートを閉じたにも関わらず、切羽前方からの出水が止まらなかったことから、1次スクリーゲートより前方からの出水と推定される。

なお、先端ゲートはスクリー内部のフライト位置を確認しないと閉操作できないもので、緊急対策用の装備ではない。先端ゲートは閉操作を行っていない。

4. 9 シールドマシンの品質管理状況調査

(1)溶接検査

溶接検査について『トンネル標準示方書』に則り実施し、外観目視検査及び非破壊検査も実施している。下記に標準示方書との比較表及び実施状況を示す。また現地での実施状況について次ページに示す。

表 4.9 『トンネル標準示方書』要求事項と本シールドマシンの溶接検査内容

部位	トンネル標準示方書	当シールドマシンの検査内容
全般	【工場/現地】 外観目視検査	【工場/現地】 外観目視検査及び地山と繋がる溶接部で溶接脚長が 10mm 未満の部分については非破壊検査を実施。
フード ブロック	同上	【工場】 同上 【現地】 同上及び、減速機フレームとバルクヘッド接合部、フードブロック鋼殻接合部を各 2 か所(1 か所 300mm)非破壊検査(浸透探傷試験)を実施。
テール ブロック	同上	【工場/現地】 外観目視検査及び、地山と繋がる溶接部で溶接脚長が 10mm 未満の部分については非破壊検査を実施。
スキン プレート	【現地】 突合せ溶接で、テールスキンプレートの両方の板厚が 40mm を超える場合に非破壊検査を行う場合がある。 非破壊検査を行う場合は抜き取りで行い、その範囲は 250mm 以上とする。	【現地】 厚板 40mm の突合せ溶接部材を計 4 か所(1 か所 300mm)非破壊検査(浸透探傷検査)を実施。



図 4.29 外観検査状況



図 4.30 浸透探傷検査状況

(2)ボルト締結

ボルト締結について、トルク管理が必要な部分についてはトルクレンチにより締め付けトルクを確認している。そのほか、シール材を挟み込む部分等においては隙間管理を行っている。両部位とも締め付け確認を実施しているか確認するため、マーキング処理を行っている。スクリーコンベヤーのボルト締結について、検査内容および実施状況写真を以下に示す。

表 4.10 ボルト仕様・締結等に関する検査内容

部位	締結ボルト サイズ/ 強度区分	締結方法	ロック タイト塗布 の有無	ボルト締結に 関する記録
球面部	M24/10.9	締結トルク管理対象外としてインパクトレンチを使用した締結	有	有り 使用ボルトは購入記録で確認済み
分割 フランジ部	M36/10.9	締結トルク管理対象外としてインパクトレンチを使用した締結	有	有り 使用ボルトは写真で確認済み
点検口	M16/4.8	点検口蓋とスクリーコンベヤー本体間にゴムパッキンがあり、各接触面に 0.1mm の隙間ゲージが入らなくなるまで均等に締め付ける	有	有り 使用ボルトは写真で確認済み

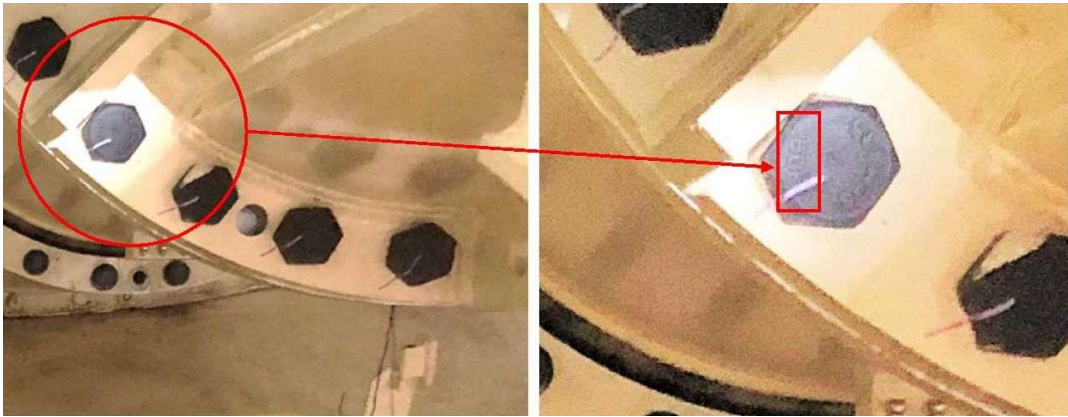


図 4.31 分割フランジ部ボルト区分表記



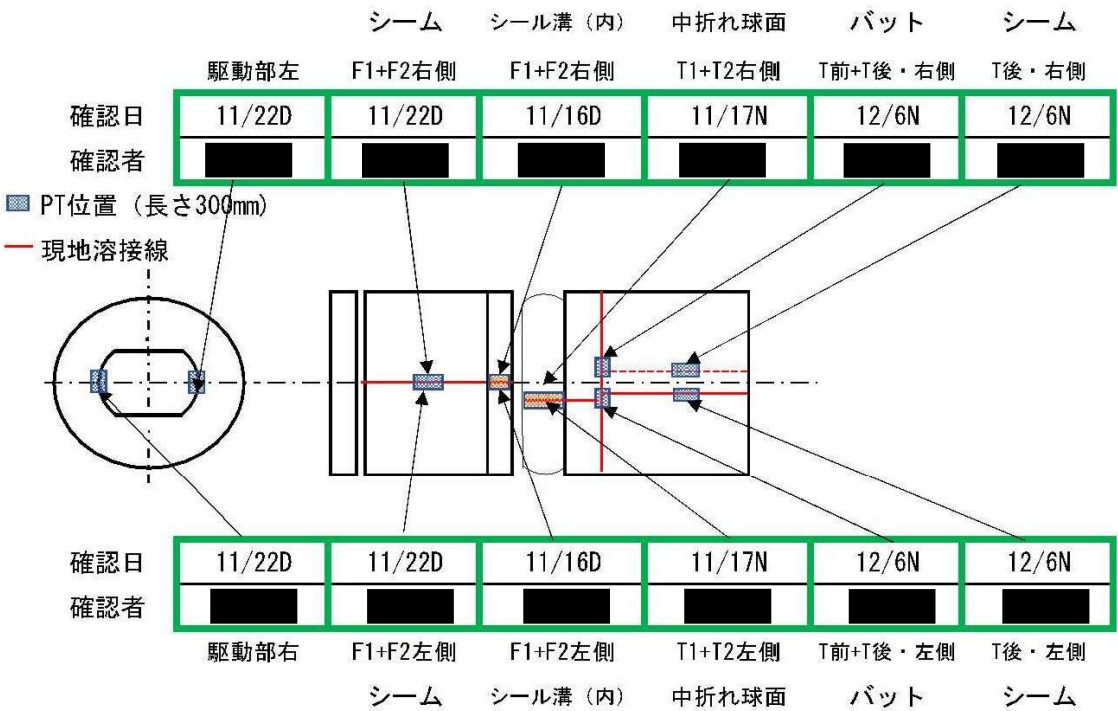
図 4.32 開口蓋部ボルト区分表記

現地工事自主確認表						
No.	内容	本工事	確認部門	確認日	確認者	備考
1	浸透探傷試験 (PT)					
✓ 1	テールグリス充填溝蓋溶接部	○		右下表	右下表	
✓ 2	中折れ球面溶接部	○		右表	右表	
✓ 3	中折れシール溝 (内側) 溶接部	○		右表	右表	
	4 カッタースポークとボス溶接部	×	-	-	-	
	5 センターシャフトとボス溶接部	×	-	-	-	
✓ 6	フィッシュテール溶接部	○		12月7日		
✓ 7	スキンプレート分割溶接部 (抜取り)	○		右表	右表	
✓ 8	フィッシュテールボルト孔塞ぎ板	○		12月7日		
✓ 9	攪拌翼	○		11月28日		
✓ 10	駆動部+パルクヘッド	○		右表	右表	
2	気密試験					
	1 送排泥管	×	-	-	-	
✓ 2	カッタースポーク内部	○		※1		
✓ 3	注泥ライン	○		※2		
3	注泥ラインルート (RJ→カッター)	○		11月27日		
4						
✓ 1	カッタースポーク内ホース養生	○		12月4日		
✓ 2	スクリュフフランジボルト締め	○		11月21日		
5	寸法					
✓ 1	真円度 (上下方向)	○		11月22日		
✓ 2	軸方向の曲がり (右上、左上)	○		12月13日		

メモ欄

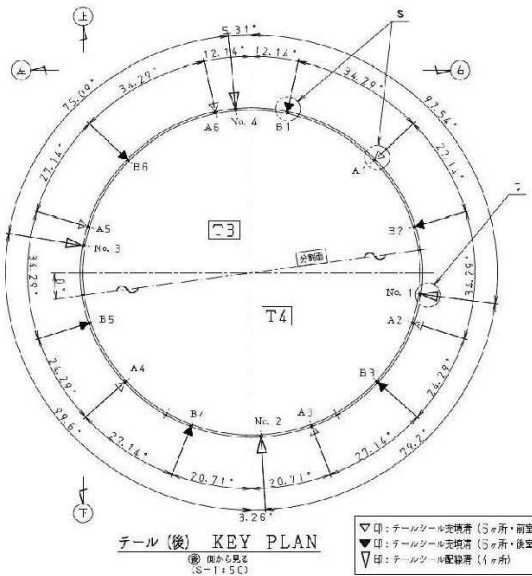
※1 センター軸より加圧したがスリップリングよりエア漏れのため、
気密試験から溶接部外観目視に変更した。結果は異常無し。

※2 カッターフェイスに取付けた試験用治具部よりエア漏れのため、
ホース接続部に石鹸水をかけ、ライン中に漏れが無いことを確認した。



1-1 TG溝蓋

No.	確認日	確認者	No.	確認日	確認者
A1	12月7日		B1	12月7日	
A2	12月7日		B2	12月7日	
A3	12月7日		B3	12月7日	
A4	12月7日		B4	12月7日	
A5	12月7日		B5	12月7日	
A6	12月7日		B6	12月7日	
No.4	12月7日		No.1	12月7日	
No.3	12月7日		No.2	12月7日	



品管承認



図 4.33 現地工事自主確認表 (実施例)



工程名: 1-1

TG蓋溝 PT



工程名: 1-2

中折れ球面部 PT

T1+T2右側



工程名: 1-3

中折れシール溝部 PT

F1+F2 左側



工程名: 1-6

フィッシュテール溶接部 PT



工程名: 1-7

F1+F2右側PT



工程名: 1-7

F1+F2左側PT

2

3

図 4. 34 現地溶接検査実施状況 (抜粋)

4. 10 セグメントの品質管理状況調査

セグメントについては、以下に示す各段階での品質管理を実施している。所定の品質・製品寸法であることを確認している。

(1)工場製作時

セグメント製造メーカーにて所定の品質・製品寸法であることを確認の上、出荷している（品質管理月報として毎月記録）。月報の目次を以下に示す。

報	告	書	内	訳
I 製造月報（RCセグメント製造数量）				
II 品質管理月報				
1. コンクリート材料試験				
① セメント				
② 混和剤				
③ 細・粗骨材				
④ 練り混ぜ水				
2. コンクリート管理データ				
① コンクリート圧縮強度				
② スランプ				
③ 空気量				
④ コンクリート中の塩分量				
⑤ 細骨材表面水率試験				
3. セグメント製品検査				
4. 鋼材検査証明書				
① 鉄筋かご				
② 継ぎ手金物				

図 4.35 品質管理月目次

(2)現場搬入時

搬入時の荷姿、セグメント損傷の有無、製品寸法について定期的に確認（自主・立会）している。受入検査の実施状況写真を以下に示す。



図 4.36 受入検査実施状況写真

(3)セグメント組立時

組立リング数に該当する製品番号を記録しトレーサビリティ管理を実施している。目違い・目開きを目視確認する。当現場のKセグメントは半径方向挿入型である。

表 4.11 セグメント製造記録表（例）

観音地区下水道築造3-1号工事

RCセグメント製造No.記録表								
材料名 RCセグメント外径 φ6,000mm 、 内径 φ5,400mm								
リングNO	種別	製造番号	リングNO	種別	製造番号	リングNO	種別	製造番号
1	1200S	51	51	1200S	99	189	1200S	58
2	1200S	50	52	1200S	8	190	1200S	13
3	1200S	41	53	1200S	88	191	1200S	67
4	1200S	40	54	1200S	98	192	1200S	68
5	1200S	42	55	1200S	81	193	1200S	69
6	1200S	43	56	1200S	78	194	1200T19	46
7	1200S	35	57	1200S	79	195	1200S	53
8	1200S	39	58	1200S	96	196	1200S	100
9	1200S	44	59	1200T19	47	197	1200S	54
10	1200S	31	60	1200S	77	198	1200S	22
11	1200S	33	61	1200T19	48	199	1200S	91
12	1200S	37	62	1200S	80	200	1200S	56
13	1200T19	50	63	1200S	12	201	1200S	92
14	1200S	49	64	1200S	59	202	1200S	36
15	1200S	27	65	1200S	60	203	1200S	66
16	1200S	32	66	1200S	61	204	1200S	57
17	1200S	23	67	1200S	62	205	1200S	70
18	1200S	26	68	1200S	64	206	1200S	84
19	1200S	24	69	1200S	65	207	1200S	144
20	1200S	34	70	1200S	72	208	1200S	143
21	1200S	46	71	1200S	89	209	1200S	52
22	1200S	18	72	1200S	63	210	1200S	147
23	1200T19	49	73	1200S	87	211	1200S	71
24	1200S	16	74	1200S	73	212	1200S	76
25	1200S	15	75	1200S	74	213	1200S	101
26	1200S	45	76	1200S	75	214	1200S	145
27	1200S	14				215	1200S	142
28	1200S	17	※77R～188Rは鋼製セグメント			216	1200S	137
29	1200S	20				217	1200S	136
30	1200S	28				218	1200S	146
31	1200S	29				219	1200S	55
32	1200S	38				220	1200S	135
33	1200S	25				221	1200S	139
34	1200S	9				222	1200S	140
35	1200S	11				223	1200S	138
36	1200S	97				224	1200T19	19
37	1200S	90				225	1200T19	45
38	1200S	7				226	1200S	134
39	1200S	19				227	1200S	47
40	1200S	85				228	1200S	126
41	1200S	21				229	1200S	132
42	1200S	95				230	1200S	131
43	1200S	94				231	1200S	141
44	1200S	86				232	1200S	128
45	1200S	93				233	1200S	127
46	1200S	83				234	1200S	133
47	1200S	6				235	1200S	130
48	1200S	82				236	1200S	119
49	1200S	48				237	1200S	120
50	1200S	10				238	1200S	121

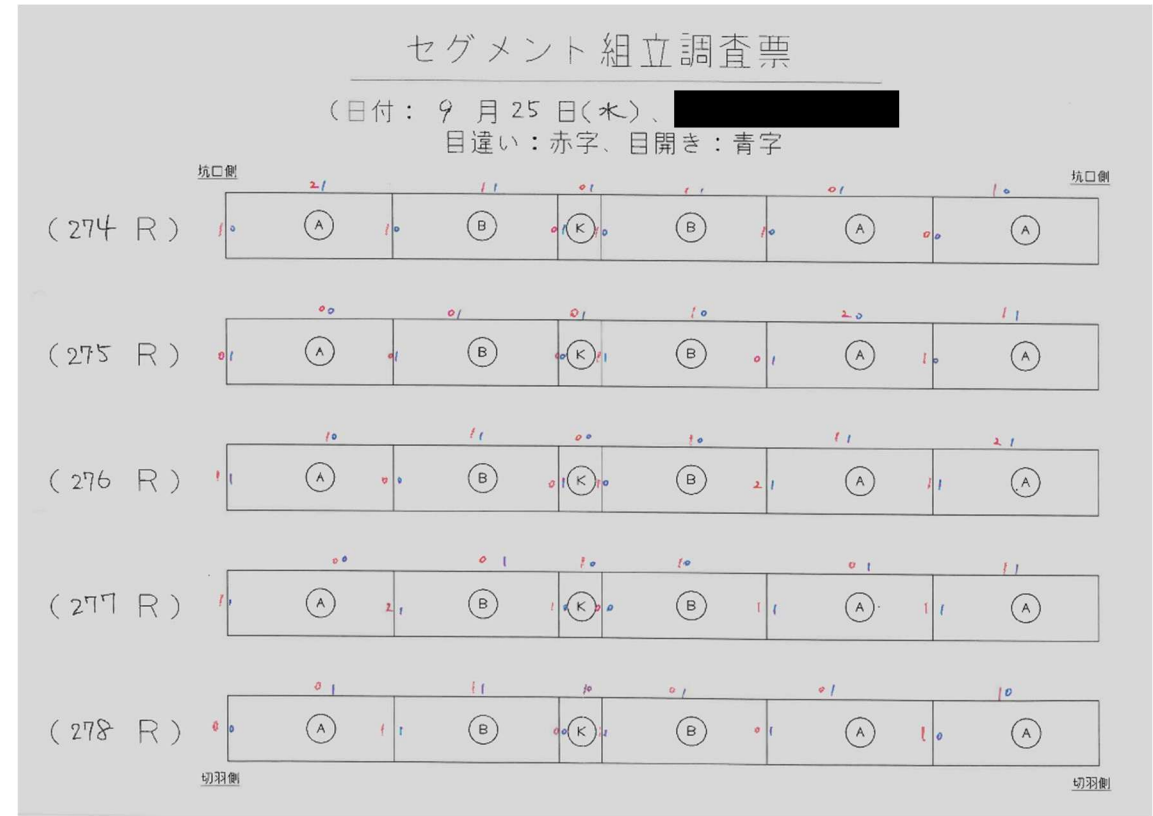


図 4.37 セグメント組立帳票（例）

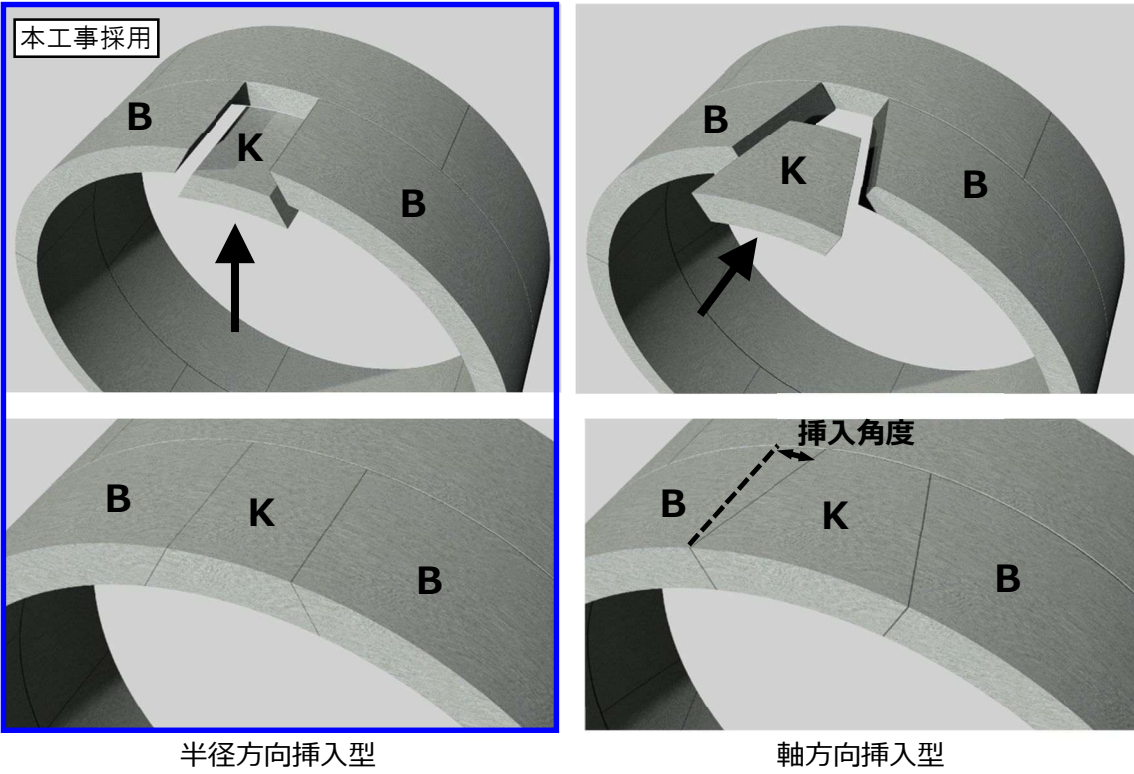


図 4.38 Kセグメントの種類