

第 1 回広島市下水道工事事故調査検討委員会 説明資料

令和 6 年 1 1 月 3 0 日

事業の概要について

1 事業の目的

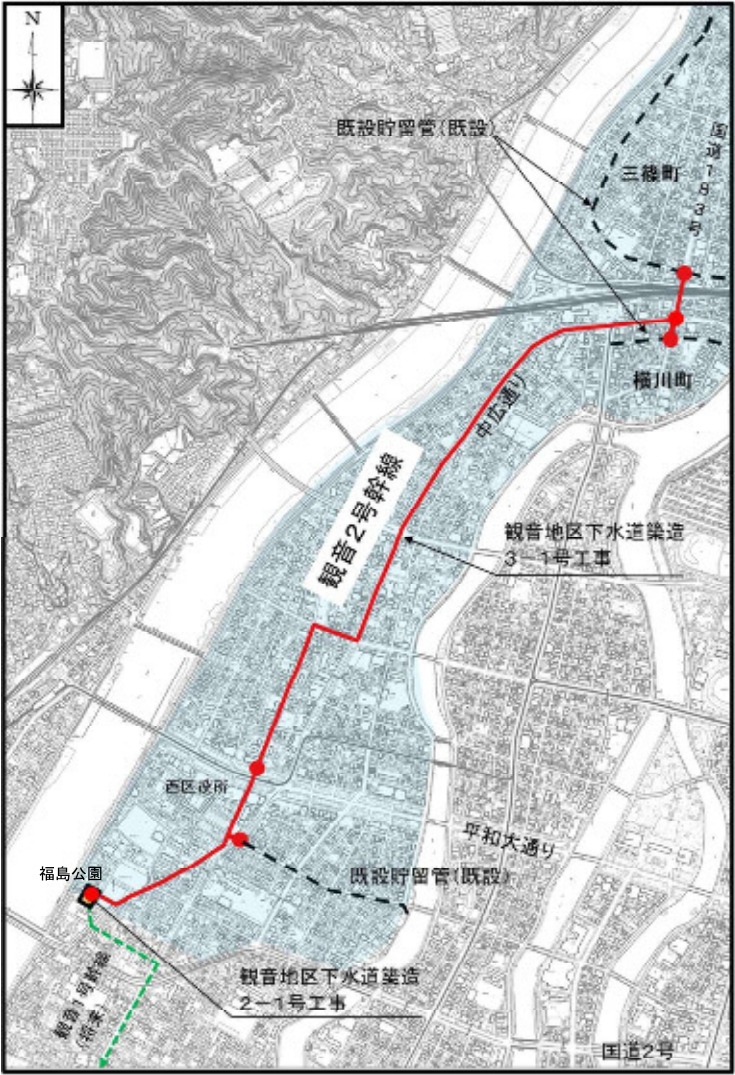
三篠・観音・福島地区は、合流式下水道により整備が行われており、時間20mm以上の降雨でたびたび浸水が発生する浸水常襲地区である。

当地区では、特に浸水被害が頻発している三篠・横川及び観音地区において、平成20年度より、φ2000～2600mm、総延長約3.3kmの雨水管を整備しており、暫定的に貯留管として運用することで、浸水被害の軽減を図っている。

今回整備する観音2号幹線は、観音1号幹線に先立ち、北は三篠町から南は福島町に至る約320haを対象とし、シールド工法により雨水管を築造（仕上り内径φ5000mm、総延長約3.5km、土被り約30m）するものである。

布設ルートとしては、福島公園を発進基地として、中広通りを北上し、国道183号に埋設してある既設雨水管（φ2600mm）に接続するものである。

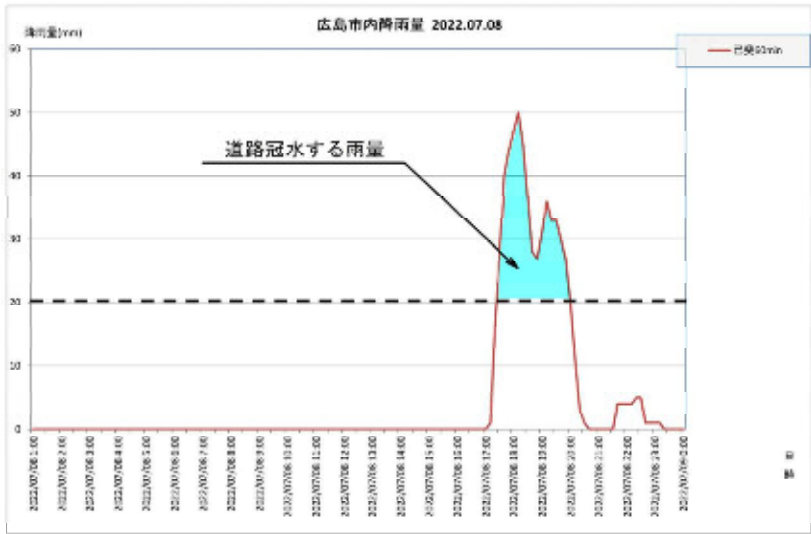
福島公園より下流の観音1号幹線や雨水ポンプ場が整備されるまでの間は、貯留管として運用することで、浸水被害の軽減を図ることを目的としている。（貯留容量 約67,000m³：小学校のプール約180杯分相当）



(整備概要図)

2 浸水の状況

令和4年7月8日においても、17時から20時までの3時間に降り続けた雨（時間当たり20mmを超過した降雨）により、中広通りなどで道路冠水が発生した。



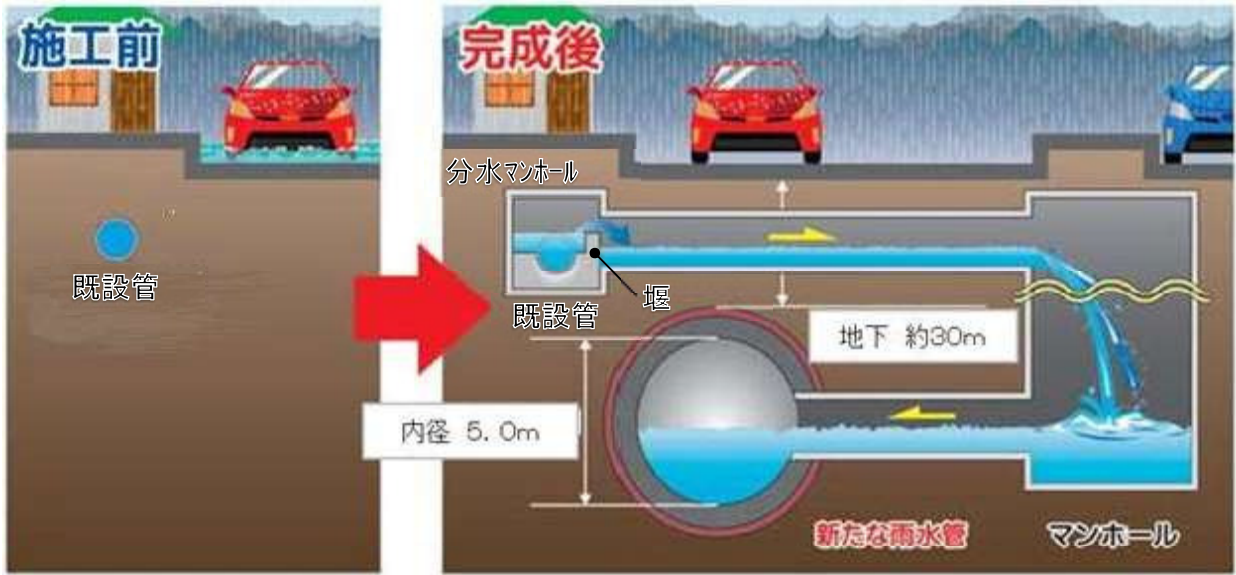
(7月8日 降雨量 1:00～24:00)



(7月8日 18時頃 中広通り道路冠水状況)

3 整備効果

時間20mm以上の降雨が降り続けると、既設管が満水状態となり、降った雨を排水出来ず、道路上に雨水が溜まった状態となる。新たな雨水管を築造することで、時間20mm以上の降雨が降った場合でも、既設管から新たな雨水管へ雨水が排水されるため、道路上の浸水被害を大幅に減らすことが可能となる。



4 工事の状況

- (1) 【観音地区下水道築造2－1号工事】（工事完了）
工事内容：発進立坑の築造工事（内径13m 深さ約45m）
受注者：銭高・鴻治JV
工事期間：令和3年2月25日～令和5年7月15日
請負金額：14億6,969万7,900円
- (2) 【観音地区下水道築造3－1号工事】
工事内容：新たな雨水管の築造工事
（シールド工 内径5000mm 延長約3.5km）
受注者：清水・日本国土開発・広成JV
工事期間：令和4年3月22日～令和10年3月20日
請負金額：166億7,657万9,700円
※設計会社：株式会社イミプラン

5 整備スケジュール

観音2号幹線の整備スケジュールを以下に示す。

	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10
観音地区下水道築造2－1号工事		発進立坑築造工							
観音地区下水道築造3－1号工事			マシン製作・準備工		R6.2末掘進開始	シールド工（一次覆工）		シールド工（二次覆工）	
						接続工及びマンホール工		供用開始予定	

6 工法選定に係る経緯

(1) 設計条件

ア 計画条件

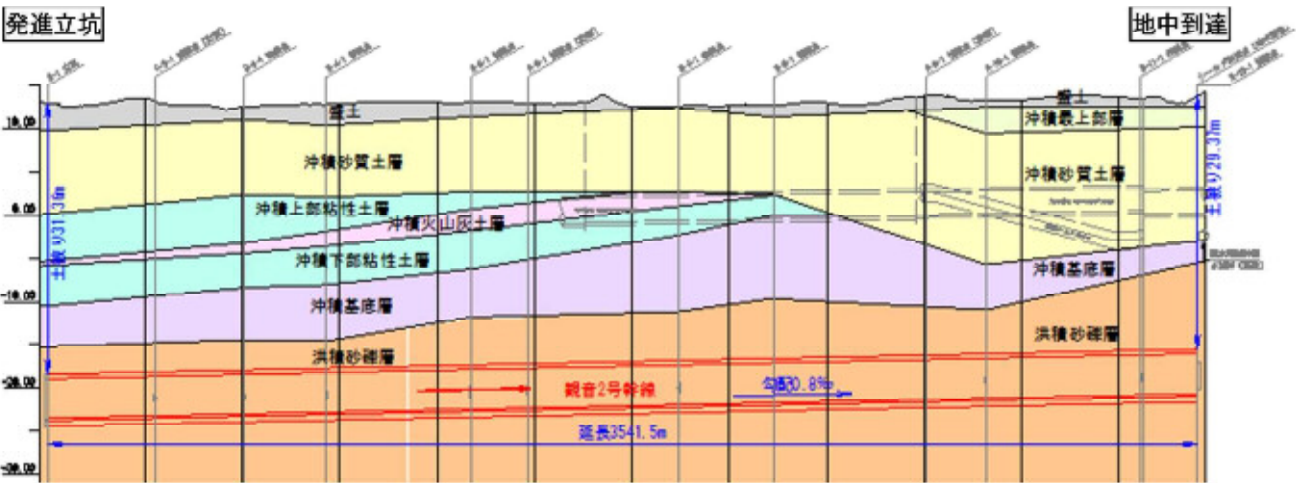
計画時における主な条件は以下のとおりである。

- ・計画上の下水道管の必要内径 5000mm、延長約 3.5km、土被り約 30m
- ・地下埋設物が多く、交通量が比較的多い主要道路下への計画
- ・縦断高さは JR 基礎構造物（山陽本線，山陽新幹線）への影響を許容変位量以下とするために必要な土被りを確保
- ・広島電鉄の軌道横断 2 箇所
- ・平面線形は曲線 14 箇所が存在
(R=25m×4 箇所、R=60m×2 箇所、R=150m×2 箇所、R=300m×6 箇所)

イ 地盤条件

ボーリング調査等による地盤調査結果は以下のとおりである。

① 土質想定縦断図



② 地盤調査

- ・掘進土層は、N 値 50 以上の洪積砂礫層
- ・掘進断面上には最大礫径 450mm 相当（3 倍礫径）の玉石の存在を確認
- ・玉石の一軸圧縮強度について最大 214MPa の値を確認
- ・土質調査の結果、掘進土層の細粒分含有率が全路線で 20%以下であることを確認
- ・掘進土層の透水係数は 10⁻³cm/sec 程度

(2) 工法選定の考え方

ア 管きょ布設工法の検討

管きょ布設工法については、大きく開削工法、推進工法、シールド工法の 3 つに大別され、施工可能管径、深さ、延長等を踏まえ、シールド工法を採用することとした。

イ シールド形式の選定に関する検討

トンネル標準示方書（シールド工法・同解説）に基づき、シールド形式の選定にあたって、地山の条件、断面形状及び寸法、施工延長、線形、工期等の諸条件を考慮して、安全で経済的に施工できる形式を検討した。

本工事では、表 1 のとおり、土質条件からシールド形式を土圧式（泥土圧）、泥水式に絞り込みを行っただけで、経済性等を比較し、泥土圧シールド工法を採用することとした（表 2 参照）。

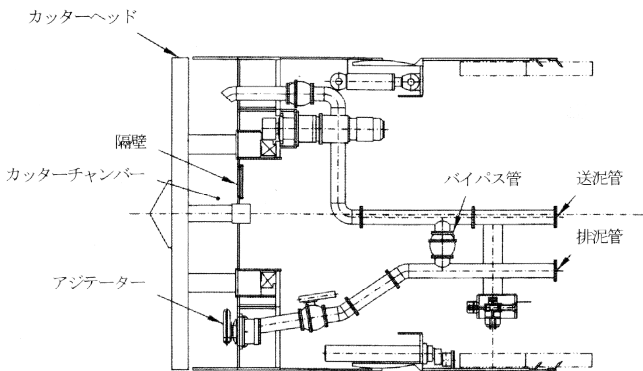
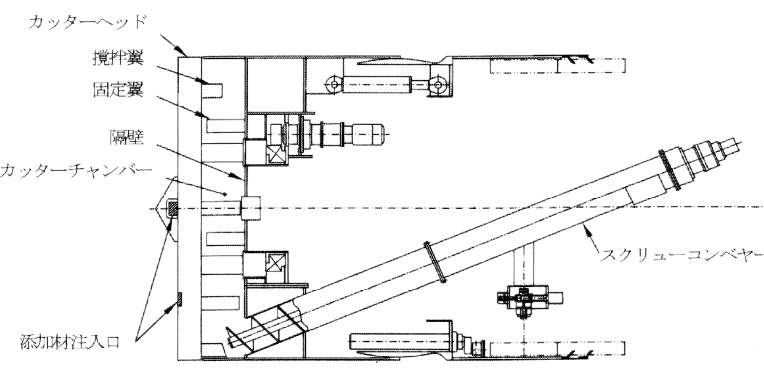
表 1 シールド形式と土質

シールド形式 地層			密閉型						開放型					
			土圧式				泥水式		手掘り式		半機械掘り式		機械掘り式 (TBMを除く)	
			土圧		泥土圧									
	土質	N値 ⁴⁾	適合性	留意点	適合性	留意点	適合性	留意点	適合性	留意点	適合性	留意点	適合性	留意点
沖積粘性土	腐植土	0	×	—	△	地盤変状	△	地盤変状	×	—	×	—	×	—
	シルト・粘土	0～2	○	—	○	—	○	—	△	地盤変状	×	—	×	—
	砂質シルト・ 砂質粘土	0～5	○	—	○	—	○	—	△	地盤変状	×	—	×	—
		5～10	△	細粒分含有率	○	—	○	—	△	地盤変状	△	地盤変状	△	地盤変状
洪積粘性土	ローム・粘土	20未満	×	—	○	—	○	—	△	地盤変状	△	地盤変状	△	掘削土砂の閉塞
	砂質ローム・ 砂質粘土	15～25	×	—	○	—	○	—	△	施工能率	○	—	×	—
		25以上	×	—	○	—	○	—	△	施工能率	○	—	×	—
土舟（泥岩） ²⁾		50以上	×	—	○	—	○	—	△	施工能率 地下水圧	△	地下水圧 余掘り量	△	地下水圧
砂質土	シルト粘土 混じり砂	15以下	×	—	○	—	○	—	×	—	×	—	×	—
	緩い砂	30未満	×	—	○	—	○	—	×	—	×	—	×	—
	締まった砂	30以上	×	—	○	—	○	—	×	—	×	—	×	—
砂礫・粗石	緩い砂礫	10～40	×	—	○	—	○	—	×	—	×	—	×	—
	固結砂礫	40以上	×	—	○	—	○	—	×	—	×	—	×	—
	粗石混じり ³⁾ 砂礫	—	×	—	○	—	△	閉塞 逸泥対策	×	—	×	—	×	—
	巨石・粗石 ³⁾	—	×	—	△	ビット、スクリー コンベア仕様	△	礫の破碎 逸泥対策	△	地下水圧	△	地下水圧	×	—
岩盤		—	×	—	△	ビット、スクリー コンベア仕様	△	ビット仕様	×	—	△	施工能率	△	ビット仕様 地下水圧

注 1)適合性の記号は下記の通りである。
○：原則として土質条件に適合する。 △：適用にあたっては検討を要する。 ×：原則として土質条件に適合しない。
2)泥岩については、土岩のような強度の低いものを対象としている。
3)粗石(Cobbles:コブル、礫径 75mm～300mm)、巨石(Boulder:ボルダー、礫径300mm以上)の名称については、「日本統一土質分類法」と「地盤材料の工学的分類法」を参考に設定した。
4)N値は、各土質の目安を示したものである。

出典：トンネル標準示方書（シールド工法・同解説）に一部加筆

表2 泥水式シールドと泥土圧シールドの比較表

		泥水式シールド	泥土圧シールド（掘削土の分級処理を行う場合）
構造例			
工法の概要	切羽の安定	切羽に作用する土水圧より多少高い泥水圧をかけ、切羽の安定を保つ。	水や泥水、添加材等を加えて切羽の土砂を塑性流動化させ、それに所定の圧力を与え切羽の安定を図る。
	排土機構	圧送ポンプと配管によって地上から切羽まで送排泥を行う。	チャンバーとシールド内部とを仕切る隔壁からスクリーコンベアを使って掘削土を取り込み、それをベルトコンベアやズリ鋼車を使って排土する。
本工事への適用性	砂礫・玉石への対応	シールドマシン前面で砂礫・玉石を一次破碎した後、シールド機内で二次破碎する。一次破碎時に周辺土砂を取り込み切羽上部を崩落させる可能性がある。	砂礫・玉石の大半はマシン前面で破碎する必要がなく、切羽上部を崩落させる可能性は低い。
		△	○
	切羽の安定	掘進土層の性状等から適用可能と判断。	掘進土層の粒径加積曲線等から適用可能と判断。
		○	○
	透水係数	本工事への適用は問題ないと判断。	添加材の対応により逸泥はないと判断。
		○	○
	急曲線への対応	中折装置の装備により対応可。	中折装置の装備により対応可。
		○	○
	掘削土の取扱	泥水処理設備を設け、一般残土と産業廃棄物に分類し処分。	分級処理設備を設け、一般残土と産業廃棄物に分類し処分。なお、本工事の掘進土層の細粒分は20%以下と低く、分級効果は高い。
		○	○
	作業環境	掘削土砂の搬出が流体輸送のため、作業環境は優れる。	掘削土砂の搬出を鋼車で行うため、泥水式に比べて作業環境は劣る。
		○	△
経済性		流体輸送のための設備に要する費用等により、泥土圧と比較して経済性で不利。	掘削土の分級処理を行う場合は、泥水式と比較して経済性で有利。
		△	○
総合評価		地盤条件への適用性、経済性等を総合的に判断し、「泥土圧シールド工法」を採用	
		△	○

事故の概要について

－ 目次 －

- 1. 工事概要
 - 1. 1 工事概要 1
- 2. 本工事の設計・計画について
 - 2. 1 管布設工法について 2
 - 2. 2 シールド工事におけるトラブルについて 2
- 3. 事故の概要、経緯
 - 3. 1 事故の概要 8
 - 3. 2 事故発生の際緯 9
 - 3. 3 事故発生後の対応 11
- 4. 現地状況
 - 4. 1 事故直後の道路面陥没状況 12
 - 4. 2 事故直後の陥没量について 13
- 5. 地盤状況
 - 5. 1 事故位置の設計時地盤条件 14
 - 5. 2 土地改変について 15
 - 5. 3 地質調査 17
- 6. シールド掘進について
 - 6. 1 シールド機について 21
 - 6. 2 シールド掘進管理 24
 - 6. 3 シールド出水状況 40
 - 6. 4 事故発生時の詳細掘進データ 41
 - 6. 5 掘進データ取り纏め 43
 - 6. 6 シールド機損傷確認調査 44

1. 工事概要

1. 1 工事概要

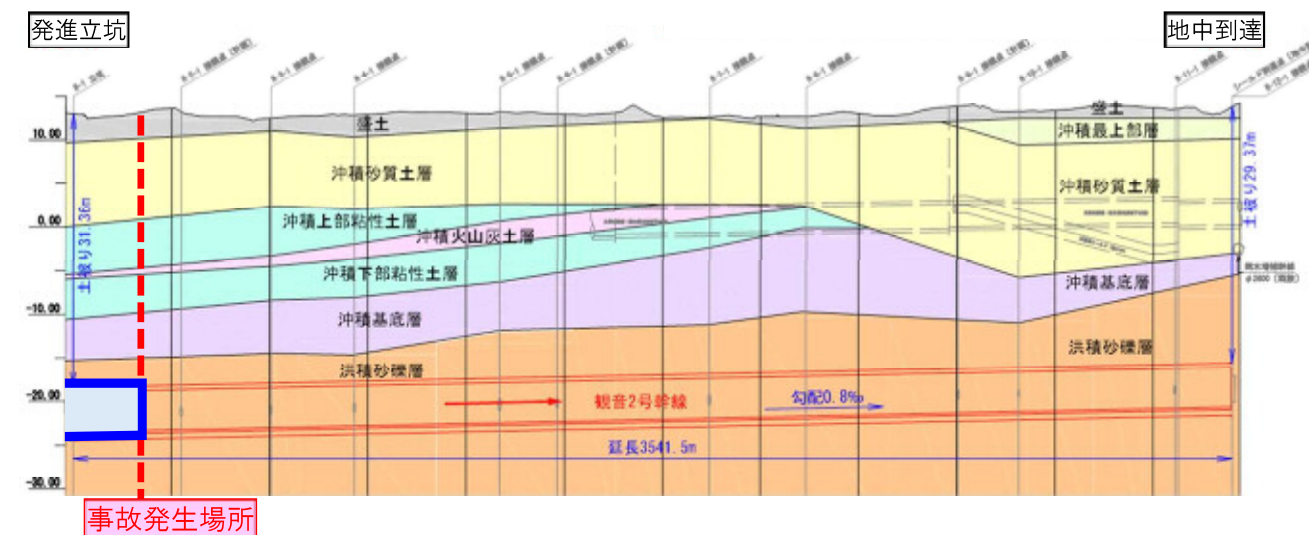
(1) 概要

- 工 事 名 : 観音地区下水道築造 3-1 号工事
 発 注 者 : 広島市下水道局施設部管路課
 設 計 者 : 株式会社イミプラン
 工事場所 : 広島市西区福島町二丁目ほか 8 町
 工事目的 : 西区観音～三篠地区の**大雨による浸水対策**として、
泥土圧式シールド工法で雨水貯留管約 67,000m³を築造する
 施 工 者 : 清水・日本国土開発・広成建設工事共同企業体
 主要工種
- ・管渠工（シールド工）路線延長 3,541.50m、管渠延長 3,534.15m
 一次覆工延長 3,535m、セグメント外径 $\phi 6,000\text{mm}$
 RC セグメント (W=1.2m 2,605R)
 ST セグメント (W=1.2m 67R、W=0.9m 146R、W=0.3m 643R)
 二次覆工延長 3,534.15m、仕上がり内径 $\phi 5,000\text{mm}$
 - ・発進立坑（既設） 内径 $\phi 13.0\text{m} \times \text{H}38.1\text{m}$ （RC 円形圧入ケーソン）

(2) 位置図

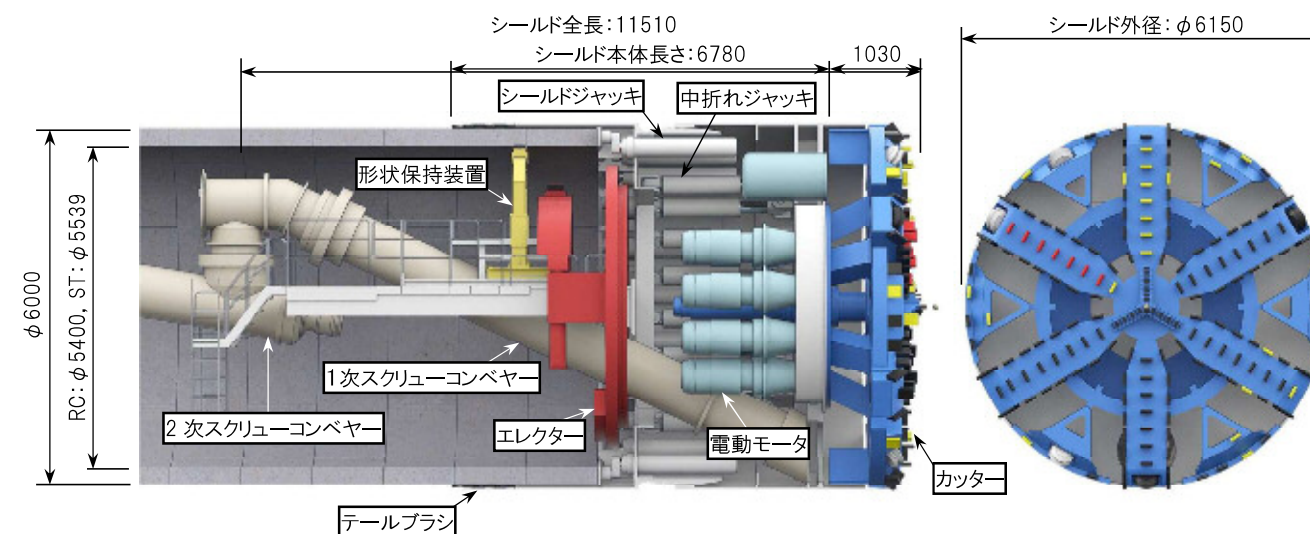


(3) シールド縦断面図

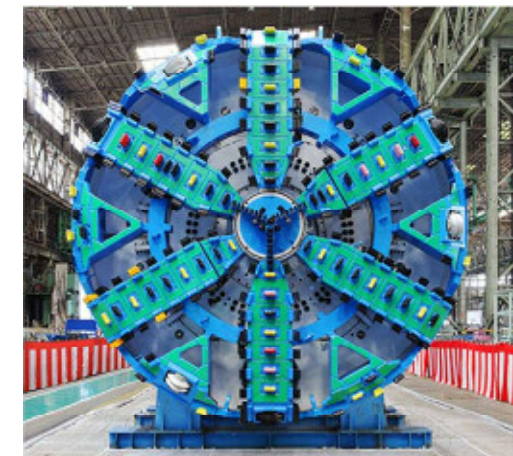


(4) シールド機概要

- ・ $\phi 6.15\text{m}$ 泥土圧シールド（中折れジャッキ付き：最大中折れ角 9.7° ）
- ・テールシール：3 段式・自動給脂方式
- ・裏込め注入：セグメントからの同時注入方式



シールド機仮組写真



2. 本工事の設計・計画について

2. 1 管布設工法について

「実施設計報告書（詳細設計編・シールド工） 平成 30 年度」における検討の結果、「泥土圧シールド工法」による施工が選定された。なお、施工者として、設計図書に記載の「泥土圧シールド工法」が妥当であると判断している。

2. 2 シールド工事におけるトラブルについて

「実施設計報告書（詳細設計編・シールド工） 平成 30 年度」に示されている本シールド工事の懸念事項についての検討結果の抜粋を以下に示す。

1. はじめに

「地下建設工事においてトラブルが発生しやすい地盤の特徴とその対応技術に関する研究委員会 報告書 平成25年3月」（公社）地盤工学会関西支部 で、シールド工事のトラブルで特に事例の多い洪積砂礫層での現象とその対応が、以下のように報告されている。

2. トラブルの現象と施工段階

洪積砂礫層でのシールド工事の主なトラブルが発生する施工段階を大別すると、表2-1に示すとおりである。

表2-1 トラブルの現象と施工段階

施工段階	現象
発進・到達	・出水等
掘 進 時	・圧送管閉塞 ・土砂噴発 ・地盤沈下 ・カッター等の異常摩耗 ・セグメント等の破損 ・胴締め等
その他（施工後）	・施工後の沈下

3. トラブルの現象と対策

観音 2 号幹線は「泥土圧シールド工法」で、土被りが約30mと深く、洪積砂礫層を対象とした長距離施工（約3.5km）で条件であり、特にシールド掘進中のトラブルが懸念されるため、トラブルの現象と対策を以下に述べる。

3-1. シールド掘進中のトラブル

シールド掘進区間の土層に滞水砂礫層・巨礫・粗石（玉石）を含む場合には、掘削土の取り込み不能やカッターの共回りによる地盤の攪乱、余掘り、沈下、カッタービットの摩耗・破損などのトラブルが発生する場合がある。一般的な粘土、砂、砂礫地盤はティースカッターで掘削できるが、大礫地盤に遭遇するとこの種のカッターでは掘削では超硬ビットの欠落や破損が発生したり、カッタービットや面板に過度の摩耗が生じて掘進不能に陥ったりすることがある。カッタービットや面板の異常摩耗の影響は、スクリーコンベアや排泥間におよぶことも多いので注意を要する。

3-2. シールド機の異常摩耗への対策

対策としては、掘削土の状況に応じたビット配置を検討することは当然であるが、さらに、デ

ィスカッターやシェ尔ビットなどを装備することや、カッター交換可能なシールド機を導入することが考えられる。

3-3. 土砂圧送管の閉塞への対策→今回は対象とならない。

対策としては、スムーズな圧送と礫の沈降防止を兼ねた添加材の採用や、圧送中及び休止中の管理体制の確立、クラッシャーの装備等が考えられる。

3-4. スクリューコンベアからの噴発に伴う切羽地盤の崩壊への対策

対策としては、スクリーコンベアへの添加材注入や排泥ポンプ圧送設備の導入、スクリーコンベア径の拡大、カッターやチャンパー出口で大礫の破砕、ダミーシャフト付きスクリーコンベアの採用などが考えられる。

3-5. 滞水砂礫地盤における地下水噴発への対策

対策としては、添加材及び掘進管理による切羽の安定を図ることが重要である。さらに、作泥土材と高分子凝集剤の併用、作泥土材と気泡の併用、シリカゼリーを添加材に加えるなどが考えられる。

3-6. 砂礫地盤における胴締めへの対策

対策としては、オーバーカットやシールド機内から胴体部へ減摩材を注入することが有効である。また、余裕のある掘進推力をシールド機に装備するなども考えられる。ただし、その推力に応じたい施工時反力荷重を考慮したセグメントとする必要がある。

4. 考察

観音 2 号幹線での予測されるトラブルへの対策は、以下のようなことが考えられる。

4-1. 広島市での過去の施工実績の把握

広島市で玉石混り砂礫層で施工したシールド工事でのトラブルやビット交換の状況（工事変更の有無、理由等）を把握し、トラブルの原因を予測する。

4-2. 玉石の状況把握

事前のボーリング調査の結果より、最大玉石径φ450mm（主体となる玉石径φ100～200mm）、玉石含有率10～20％、玉石の一軸圧縮強度45.6～104.0N/mm²を想定している。仮に追加のボーリング調査を掘削孔径116mmで行っても、現在の想定と大差ない結果[※]が予想される。また、掘進対象となる洪積砂礫層は太田川の氾濫原であるため、想定径以上の玉石が出現[※]することは十分に考えられる。

今回の施工では発進立坑の築造（圧入オープンケーソン工法）で、先行削孔工（オールケーシング工法）を実施するすため、先行削孔工の掘削土からより具体的な玉石の状況を把握することが可能で、この結果をシールド機の設計に反映させることが可能である。

※中央開発㈱へのヒアリング結果より

4-3. シールド機での対応

玉石へはカッタービットの配置、数量、材質等で対応する。基本的には想定径程度の玉石までは取り込みとし、それ以上の玉石が出現した場合はカッタービットによる破砕で対応を行う。噴発等へは掘進管理、スクリーコンベア、添加材等での対応となる。いずれにしても、シールド機での対応については、各メーカーのノウハウ、特許等が関係するため、シールド機メーカーでの製作時の対応とせざるを得ない。

4-4. その他の対応

年末年始の休暇やビット交換作業で長期間シールド機を停止した後に発生する可能性がある胴締めに対しては、急曲線防護として採用するクレーショックを活用することで問題を解決することが可能である。

設計時に挙げられた懸念事項に対して本工事では以下の方策を講じている。

設計時に挙げられた懸念事項		JVの対応		補足図
3-1 シールド掘進中のトラブル	シールド掘進区間の土層に滞水砂礫層・巨礫・粗石(玉石)を含む場合には、掘削土の取り込み不能やカッターの共回りによる地盤の攪乱、余掘り、沈下、カッタービットの摩耗・破損などのトラブルが発生する場合がある。 一般的な粘土、砂、砂礫地盤はティースカッターで掘削できるが、大礫地盤に遭遇するとこの種のカッターでは掘削では超硬ビットの欠落や破損が発生したり、カッタービットや面板に過度の摩耗が生じて掘進不能に陥ったりすることがある。 カッタービットや面板の異常摩耗の影響は、スクリーコンベアや排泥間におよぶことも多いので注意を要する。	攪拌翼の大型化	チャンバー内の礫だまりによるカッターの回転不能を防止するため、攪拌翼を大型化(高さ600mm)し、チャンバー全体の掘削土性状を均質化する。	図2-1
		スクリー先端ゲートの追加	隔壁にチャンバーとスクリーを分断できるスクリー先端ゲートを追加する。これにより、スクリーコンベア内に多量の礫分を取込み、礫分の噛み込みによりスクリーコンベアが回転不能となった場合にこの礫分を撤去する。	図2-1 図2-2
		カッタービットの摩耗対策	カッタービットの摩耗対策として、先行ビットに標準の3倍以上の耐久・耐摩耗性がある長寿命化先行ビットを追加(18個)して3段配置する。	図2-5
		カッター面板の摩耗対策	カッター面板の摩耗対策として、耐摩耗鋼板(8mm)の追加貼付けを行い、耐摩耗鋼板を交換可能な機構とする。また、ケーシング内側とリボンスクリュー先端部に硬化肉盛り(8mm)を追加する。	図2-6
3-2 シールド機の異常摩耗への対策	掘削土の状況に応じたビット配置を検討することは当然であるが、さらに、ディスクカッターやシェルビットなどを装備することや、カッター交換可能なシールド機を導入することが考えられる。	各摩耗量をモニタリングシステムによりリアルタイム監視	カッタービットに油圧式6個、先行ビットに超音波式4個のビット摩耗検知、インナローラビット3ヶ所に摩耗・回転検知、カッタ面板の耐摩耗鋼板の摩耗検知、スクリーコンベアのケーシング厚み計測を行う。計測した各摩耗量は、モニタリングシステムによりリアルタイムに監視する。	図2-7
		交換作業が容易なカッタービットを採用	ローラカッターおよびカッタービットを交換作業において、スポーク背面から交換可能なローラカッターおよびボルト固定型先行ビットを採用する。	図2-8
3-3 土砂圧送管の閉塞への対策	→今回は対象とならない。 スムーズな圧送と礫の沈降防止を兼ねた添加材の採用や、圧送中及び休止中の管理体制の確立、クラッシャーの装備等が考えられる。	掘削土体積を超音波センサーで計測	排土量管理として、ズリ鋼車内の掘削土体積を超音波センサーで計測する。立坑揚重時にロードセルを追加して掘削土の重量を計測する。	図2-9
		切羽土圧を可視化して管理	切羽管理として、土圧計を合計10台設置し、切羽土圧分布と切羽土圧の変動から得られる塑性流動性を可視化して管理する。	図2-10
		地山探査装置追加	シールド機に地山探査装置(上部3箇所)を追加装備する。	図2-11
3-4 スクリーコンベアからの噴発に伴う切羽地盤の崩壊への対策	スクリーコンベアへの添加材注入や排泥ポンプ圧送設備の導入、スクリーコンベア径の拡大、カッターやチャンバー出口で大礫の破碎、ダミーシャフト付きスクリーコンベアの採用などが考えられる。	2次スクリーコンベアの追加	坑内への噴発を防止するため、2次スクリーコンベア(内径φ800mm、軸付きスクリー)を追加設置する。	図2-1
		削岩用バルブの追加	想定を超える大きい玉石がスクリー先端部に噛みこんだ場合にこの玉石を破碎しスクリーコンベア内に取込むため、削岩用バルブを追加する。	図2-1 図2-3
		巨礫回収箱の追加	リボンスクリュー形式の1次スクリーコンベアを通過した300mm以上の巨礫を除去するため、2次スクリー乗換部に巨礫回収箱(600×800mm)を追加する。	図2-1 図2-4
3-5 滞水砂礫地盤における地下水噴発への対策	添加材及び掘進管理による切羽の安定を図ることが重要である。さらに、作泥土材と高分子凝集剤の併用、作泥土材と気泡の併用、シリカゼリーを添加材に加えるなどが考えられる。	総合判断による掘進管理	掘進管理は以下の項目を総合的に判断して行う。 切羽土圧管理、排土量管理、掘進管理システム、線形管理、路面沈下管理、裏込注入量・加泥材注入管理	
		添加材の注入	全線において細粒分が乏しい砂礫層でシールド機断面が比較的大きい本工事で、切削・混練りして土砂がチャンバー内で均等に混ざり合うように、ベアリング効果による効率的な塑性流動を主目的として適切な添加材を注入する。	
		切羽細粒分補充	切羽に細粒分補充の役割として、スルーショックを注入する。	
		巨礫への対策	想定される巨礫への対策として、チャンバー内粘性を向上させるクレーショックを補助添加材として選定する。	
		加泥材妥当性確認	加泥材の濃度および注入率は、事前に加泥試験を行い、妥当性を確認している。	
		発進部にエントランスパッキン2段設置	発進部の坑口コンクリートにチューブ付きエントランスパッキン(0.4MPa対応)2段設置する。	図2-12
		到達部シールド機後端部に隔壁設置	到達部は二重管ダブルパッカーを実施して刃口推進によりシネル正面で接続する方法に追加としてシールド機後端部に隔壁(0.35MPa対応)を設置する。	図2-13
		分水マンホール接続部対策	複数ある分水マンホールとの接続部は、二重管ダブルパッカーで接続管と本線トンネルの接合部を地盤改良し、各分水マンホール部の本線トンネルのセグメント開口部周りに注入管を追加設置(2インチ×50cmピッチ)して低圧浸透注入工法で補足注入を実施する。	図2-14
		額縁加工全周シームレスシール材	全てのシール材に額縁加工全周シームレスシール材を採用する。	図2-15
		形状保持装置の追加	セグメント自重による変形を防止するため、シールド機のエレクトー後方に形状保持装置(1基、上部拡張式)を追加する。セグメント3次元真円度計測を追加し、次リングの組立方法にフィードバックすることにより、セグメントの真円度を高めて継手部の目開きや目違いを防止する。	図2-17

設計時に挙げられた懸念事項		JVの対応		補足図
3-6 砂礫地盤における胴締めへの対策	オーバーカットやシールド機内から胴体部へ減摩材を注入することが有効である。また、余裕のある掘進推力をシールド機に装備するなども考えられる。ただし、その推力に応じた施工時反力荷重を考慮したセグメントとする必要がある。	シールド機オーバーカット25mm	シールド機のオーバーカットを25mmとし、外周の余掘り部においては地山の摩擦を低減できる充填材材料と注入ポンプ等の設備を常備し、余掘り部に充填材を速やかに注入する。	図2-11
		外周部注入孔の追加	充填材は、長期安定性に優れ、高比重・高粘性・せん断抵抗力が小さく、沈下抑止効果と地山締め付け防止効果がある。充填材を余掘り部の全域にわたって確実に注入するために、シールド機外周部に注入孔を追加(注入孔は前胴と後胴の2断面に各6箇所追加し、合計3断面18箇所)する。	図2-18
		余裕ある装備推力	推進抵抗約21300kNに対し、装備推力を約38850kNとして1.82倍の余裕を見込む。	
		ジャッキ偏心量を考慮した検討	セグメント設計において、シールドジャッキの偏心量を考慮したシールドジャッキの推力(装備推力の65%程度)に対する検討を行い、セグメント本体や継手部分に損傷が発生しない設計を行っている。	
4-1 広島市での過去の施工実績の把握	広島市で玉石混り砂礫層で施工したシールド工事でのトラブルやビット交換の状況(工事変更の有無、理由等)を把握し、トラブルの原因を予測する。	実績情報を考慮した添加材・加泥材の選定	広島市シールド実績4件の情報収集を実施した。主なトラブルとして、スクリーコンベアからの噴發現象、塩分影響による性質低下、隆起した岩盤の出現、想定以上のビット摩耗の情報が得られた。その対策として、添加材の選定は立坑施工業者からシールド掘削断面相当深さの掘削土をもらい、事前に試験練りを実施し塑性流動状況を確認し、配合および注入率を決定した。また、塩分の影響を受けにくい加泥材を選定した。	
4-2 玉石の状況把握	事前のボーリング調査の結果より、最大玉石径φ450mm(主体となる玉石径φ100～200mm)、玉石含有率10～20%、玉石の一軸圧縮強度45.6～104.0N/mm2を想定している。仮に追加のボーリング調査を掘削孔径116mmで行っても、現在の想定と大差ない結果が予想される。また、掘進対象となる洪積砂礫層は太田川の氾濫原であるため、想定径以上の玉石が出現することは十分に考えられる。 今回の施工では発進立坑の築造(圧入オープンケーソン工法)で、先行削孔工(オールケーシング工法)を実施するすため、先行削孔工の掘削土からより具体的な玉石の状況を把握することが可能で、この結果をシールド機の設計に反映させることが可能である。	想定と同等の玉石の状況であることを確認	発進立坑の築造(圧入オープンケーソン工法)は他社施工であったが、掘進対象となる洪積砂礫層の掘削土を確認した。想定最大玉石径と比較を行い、想定と同等の玉石の状況であることを確認している。	
4-3 シールド機での対応	玉石へはカッタービットの配置、数量、材質等で対応する。基本的には想定径程度の玉石までは取り込みとし、それ以上の玉石が出現した場合はカッタビットによる破碎で対応を行う。噴発等へは掘進管理、スクリーコンベア、添加材等での対応となる。 いずれにしても、シールド機での対応については、各メーカーのノウハウ、特許等が関係するため、シールド機メーカーでの製作時の対応とせざるを得ない。	長寿命化先行ビット	先行ビットは標準の3倍以上の耐久・耐摩耗性がある長寿命化先行ビットを追加(18個)した3段配置とする。	図2-5
		カッタービットで破碎	想定径程度の玉石(φ497)までは取り込み、それ以上の玉石が出現した場合はカッタービットによる破碎で対応する。	
		面板形状をセミドーム型	面板形状をセミドーム型として、最外周に滞留する礫を外へ流れやすくし、最外周部の摩耗低減を図る。これにより、最外周部は傾斜の向きに合わせてローラーカッターを配置でき、開口から取り込めない礫が出現した際に押付力が伝わりやすく、フラットに比べて礫破碎に有利な構造となる。	
		想定外地山への対応	バルクヘッド球面型(注入方向を任意に変えられる球面型)注入口×6箇所追加して、想定外の地山に対して加泥材注入による流動性向上をできる装備とする。	
		予備コピーカッターを2基用意	標準では1基である予備コピーカッターを2基用意することで(3基:常用×1基、予備×2基)長距離、複数の急曲線、玉石を含む土層といった本工事の摩耗に厳しい土質へ対策する。	
4-4 その他の対応	年末年始の休暇やビット交換作業で長期間シールド機を停止した後に発生する可能性がある胴締めに対しては、急曲線防護として採用するクレーショックを活用することで問題を解決することが可能である。	切羽土圧保持システムの採用	シールド掘進停止時の切羽土圧においては、切羽の安定を確保する切羽土圧保持システムを採用する。切羽土圧保持システムとは、切羽土圧が低下した時に、常時自動計測している切羽土圧に連動して加泥材を自動注入して、切羽土圧を回復させるシステムである。	図2-16

JV 対応補足図 (1)

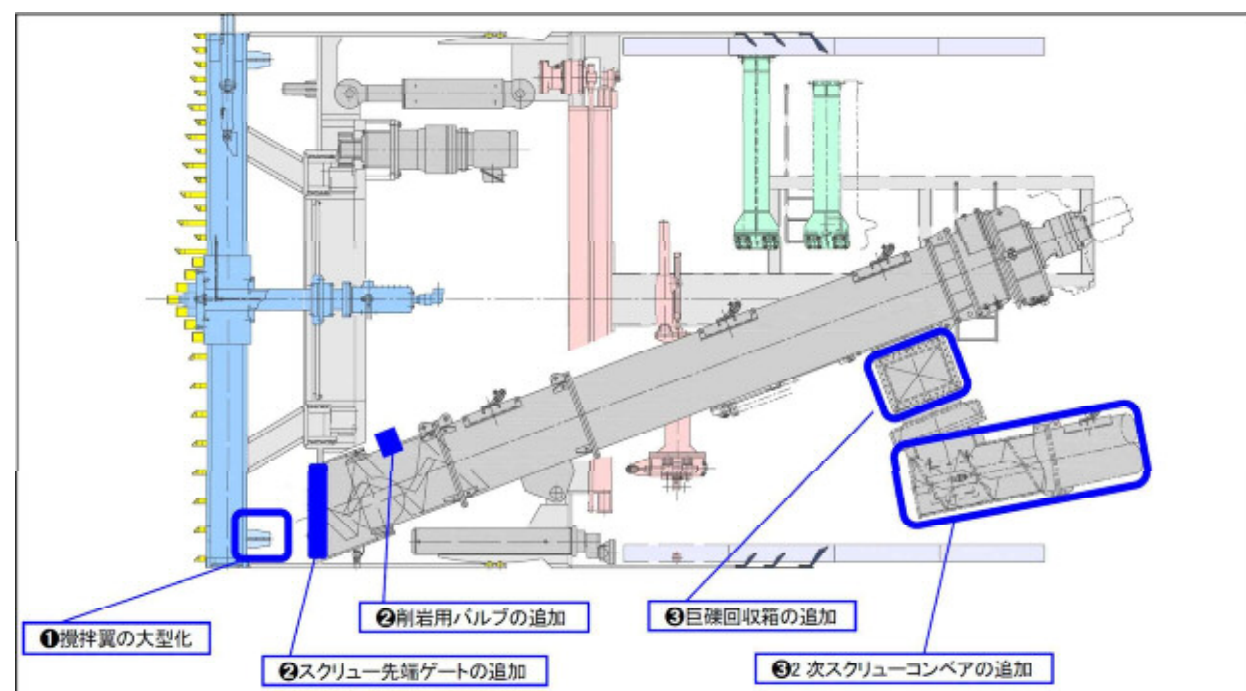


図 2-1 排土対策

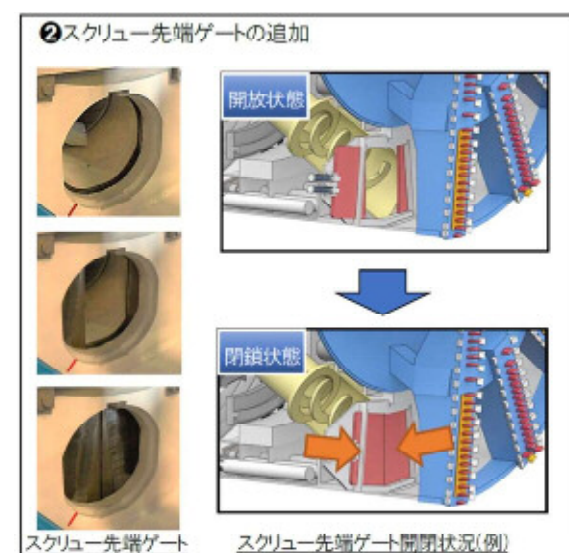


図 2-2 スクリュー先端ゲート概要

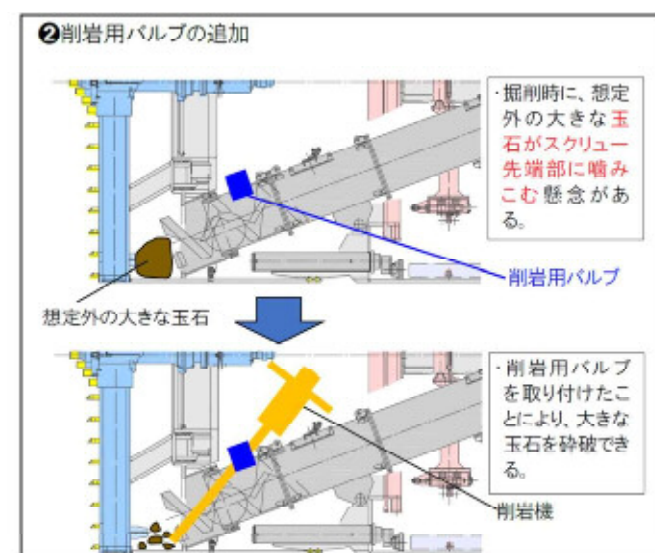


図 2-3 削岩イメージ

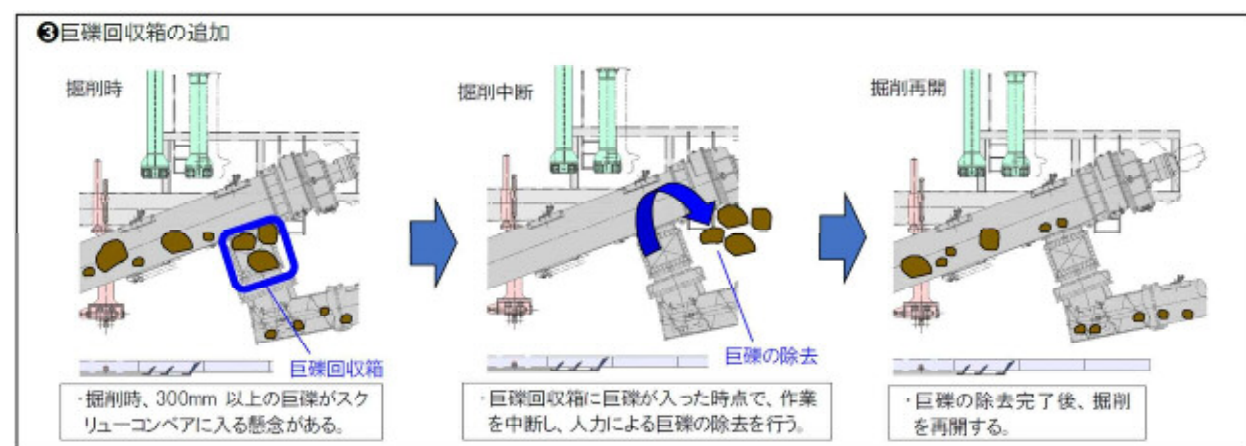


図 2-4 巨礫削除イメージ図

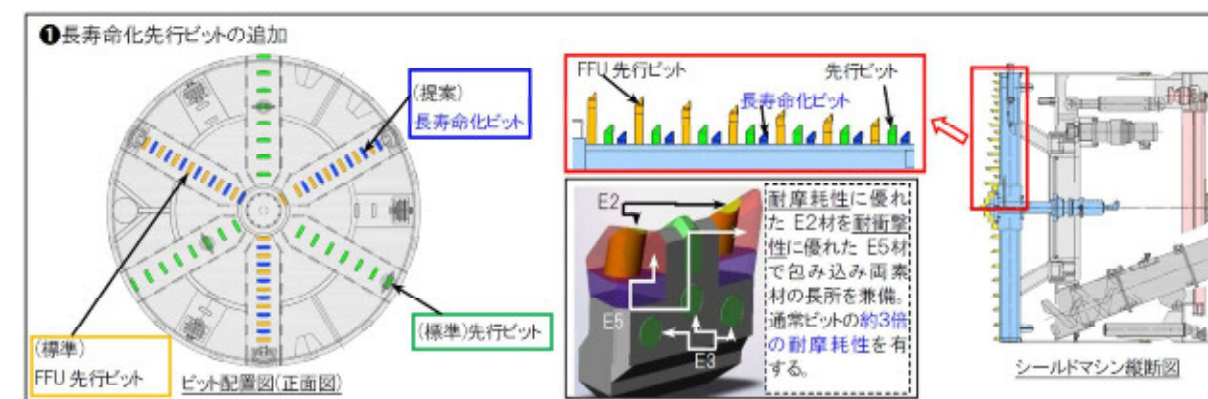


図 2-5 長寿命化ビット概要

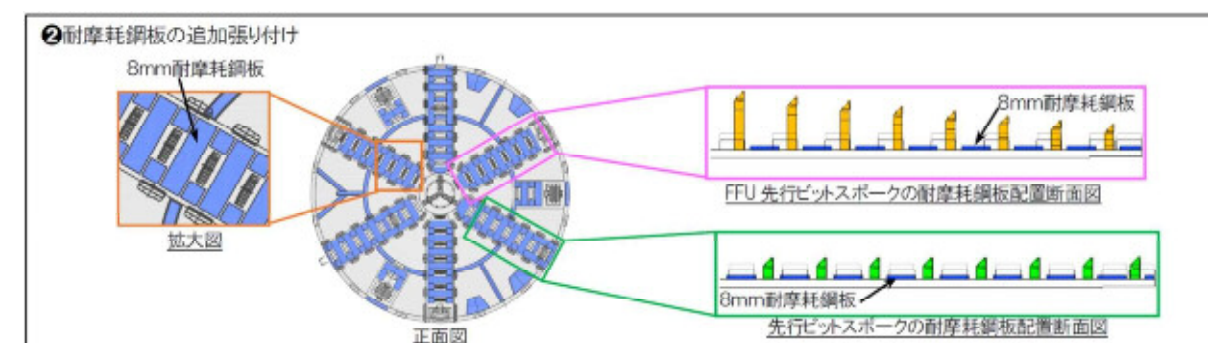


図 2-6 耐摩耗鋼板配置図

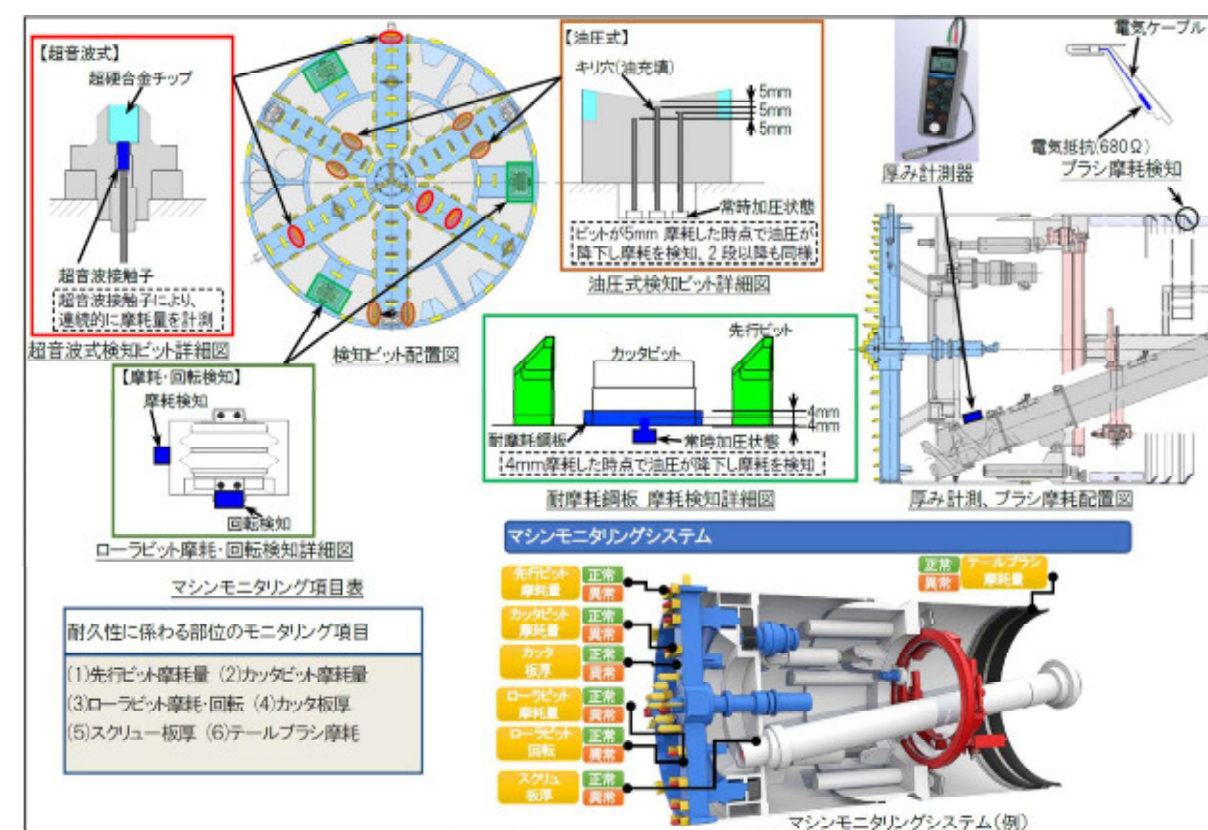


図 2-7 シールド機搭載設備

JV 対応補足図 (2)

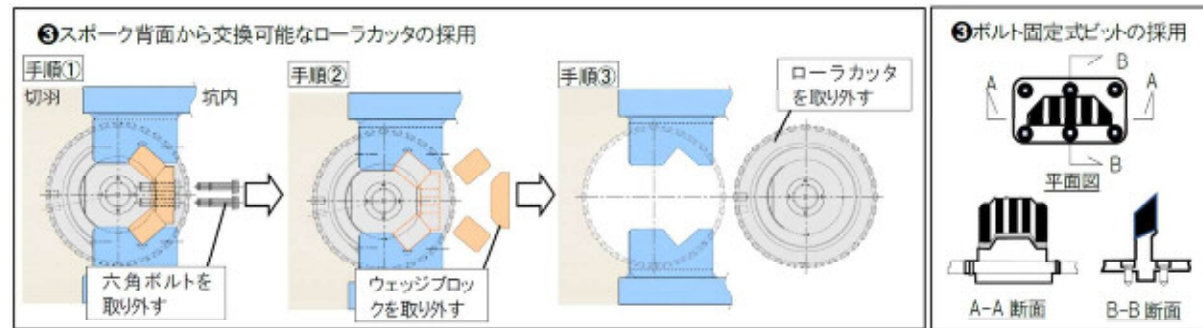


図 2-8 交換可能なローラカッタ・ビット

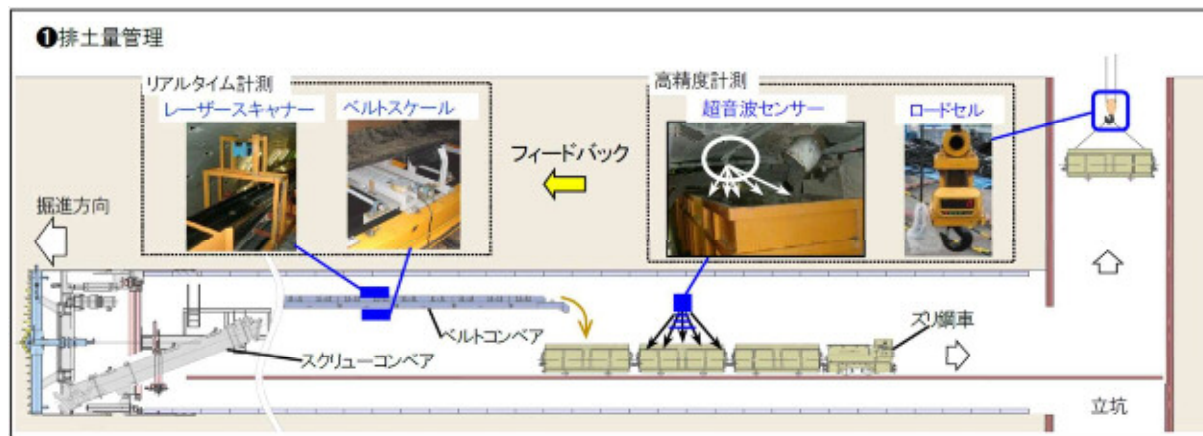


図 2-9 排土量管理概要

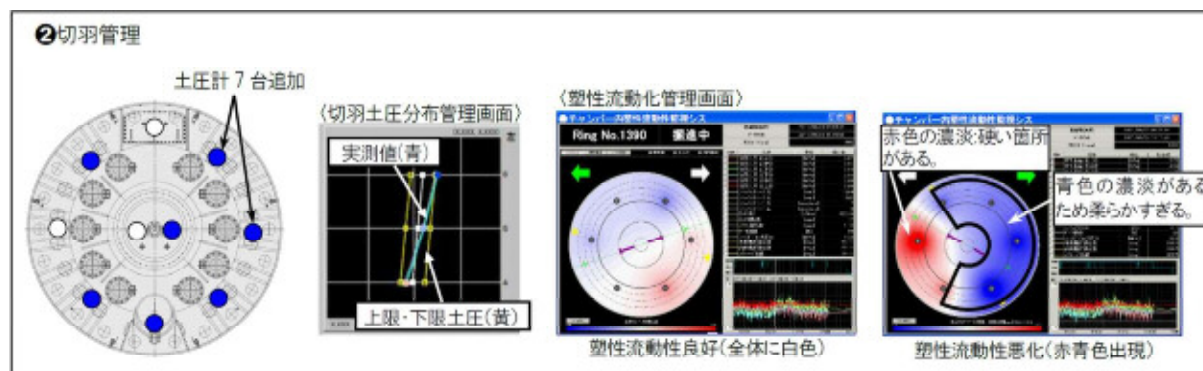


図 2-10 切羽管理概要

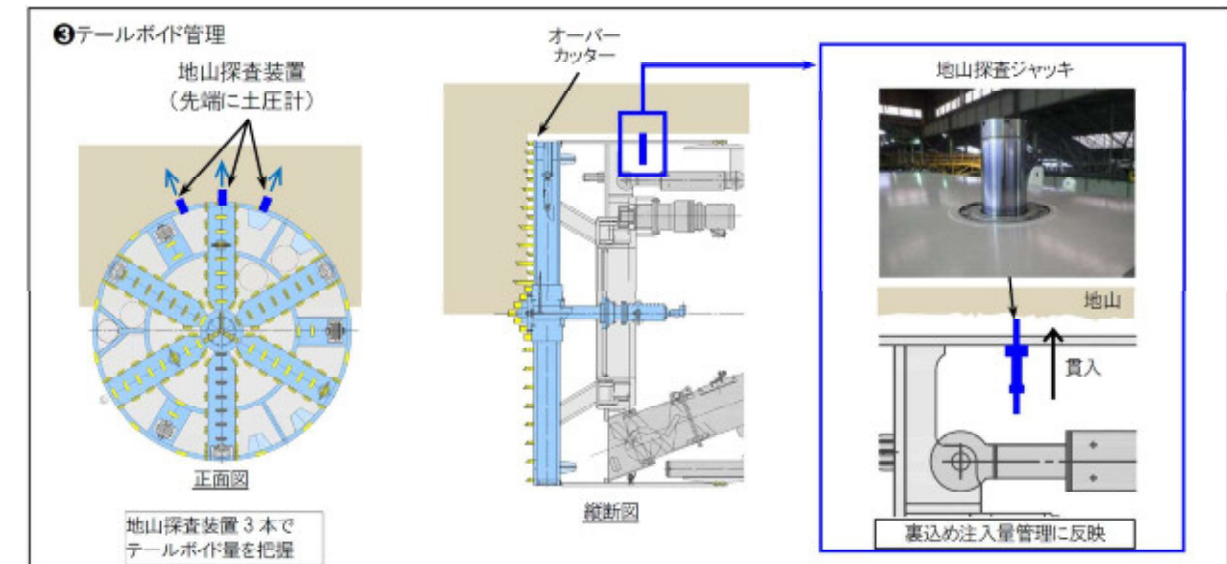


図 2-11 テールボイド管理

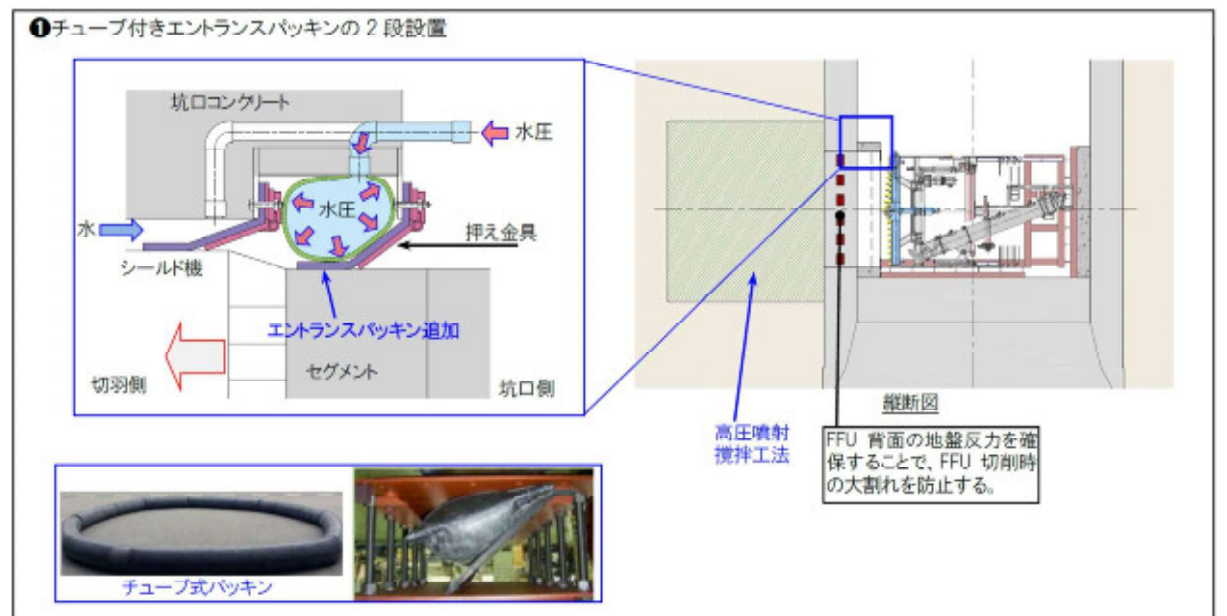


図 2-12 発進部エントランスパッキン概要

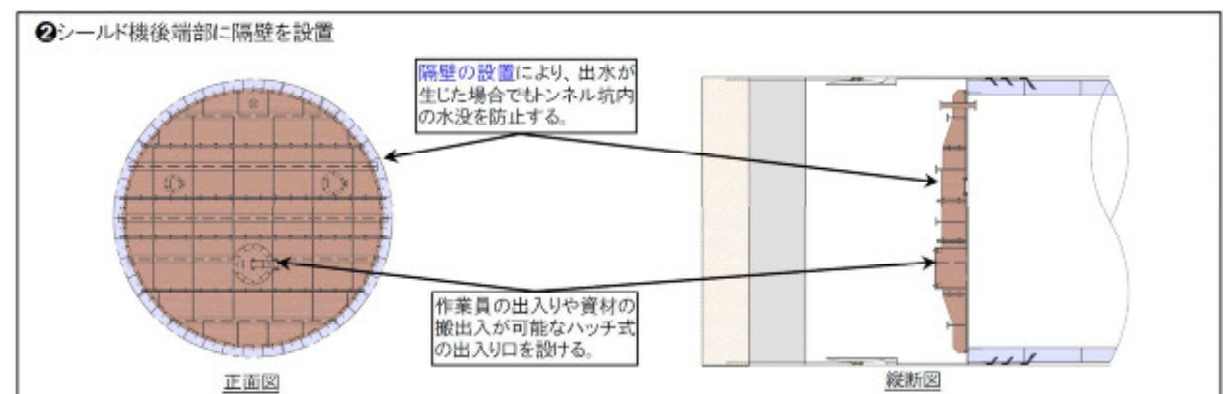


図 2-13 隔壁概要

3. 事故の概要、経緯

3. 1 事故の概要

(1) 事故発生状況

1) 事故発生前

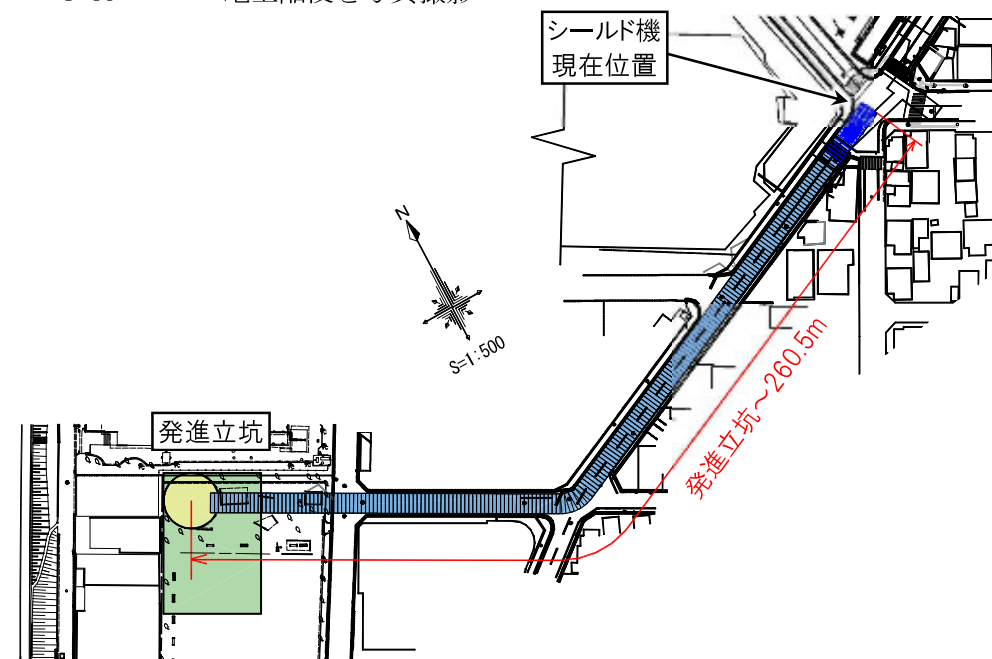
- ・9/26 (木) 8:26 掘進開始(293R)
- ・加泥材は高分子主体+ベントナイト併用
- ・掘進管理の計測値、排土性状・状況に異常なし
- ・セグメント幅 1200mm のうち、480mm まで順調に掘進

2) 事故発生

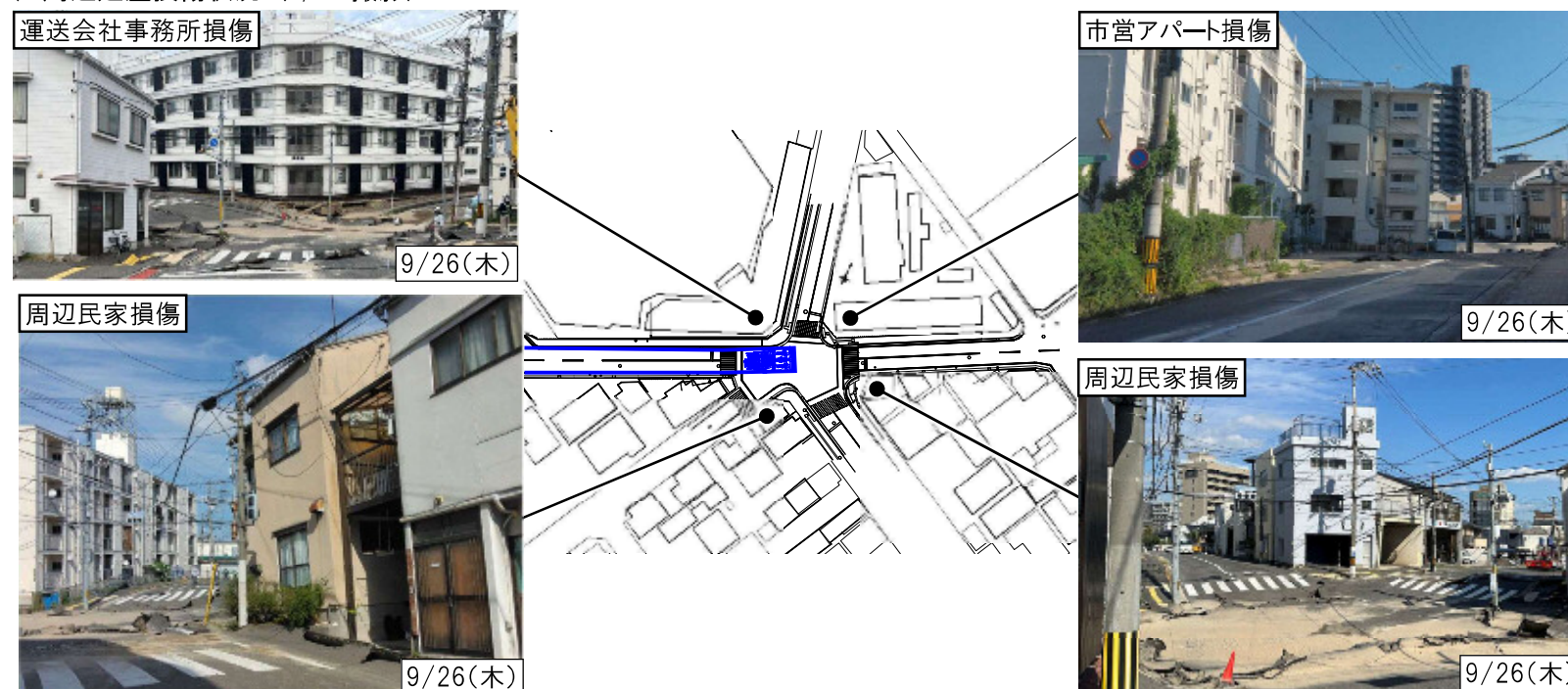
- ・8:45:35 切羽土圧低下
- ・8:45:40 頃 異常出水確認 (監視カメラ画像)
- ・9:36 立坑注水開始
- ・18:15 立坑注水完了

3) 地上に異常発生

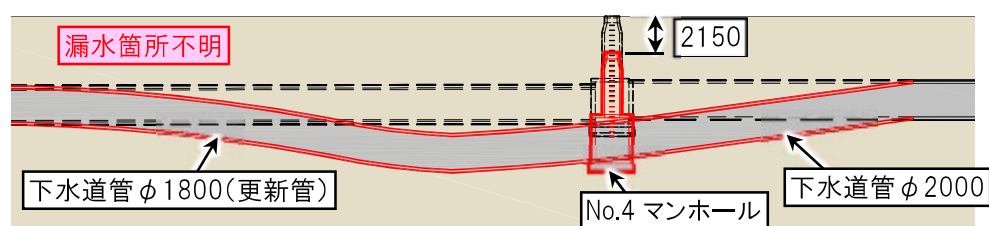
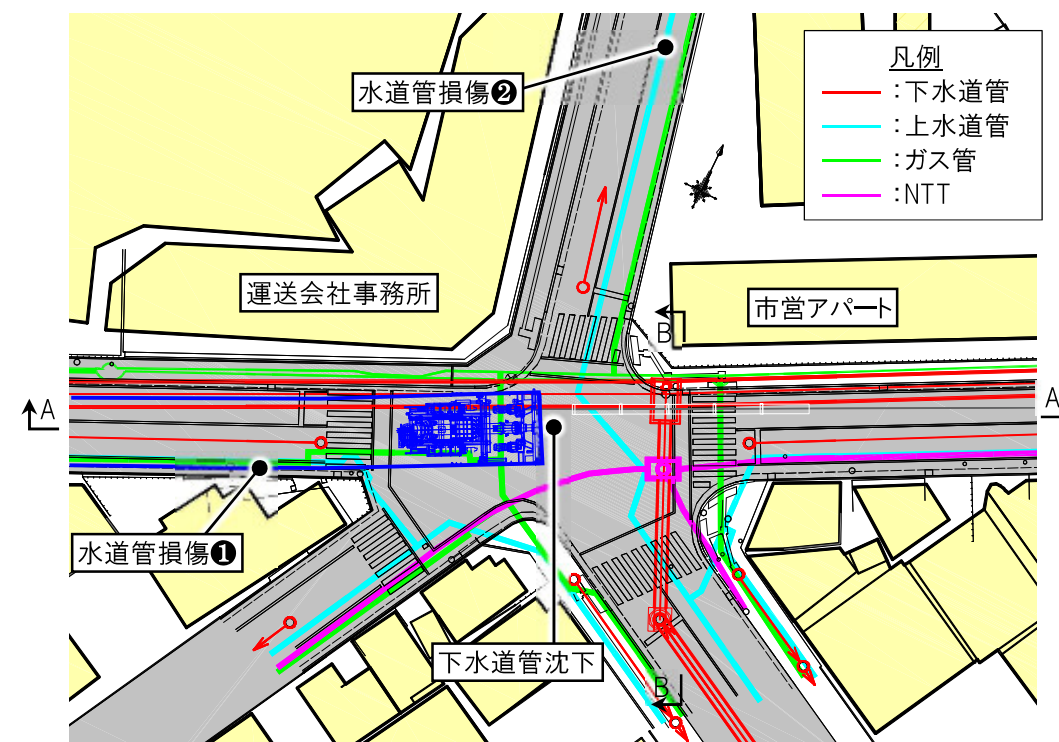
- ・8:50 JV 職員が地上で舗装の亀裂などの異常を確認
- ・8:59 地上陥没を写真撮影



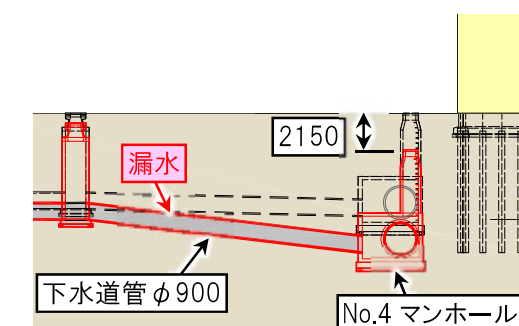
(2) 周辺建屋損傷状況 (9/26 撮影)



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



A-A断面図



B-B断面図

3. 2 事故発生の経緯

(1) 事故発生時系列

■令和6年9月26日(木)

	周辺状況	シールド工事	下水道状況(福島ホップ場流量)		上水道状況
			想定浸水量	(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	
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)			9:05頃 水道管損傷①を写真撮影(JV職員)
05				9:09 流量大幅減 約40	9:09頃 水道管損傷②を写真撮影(JV職員)
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)
10				10:29 流量微減 約1540	
20					
30				10:47 流量減 約1030	
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		
--	--	--------------	----------------------	--	--

(850m³注水)

・ 想定浸水量の推移

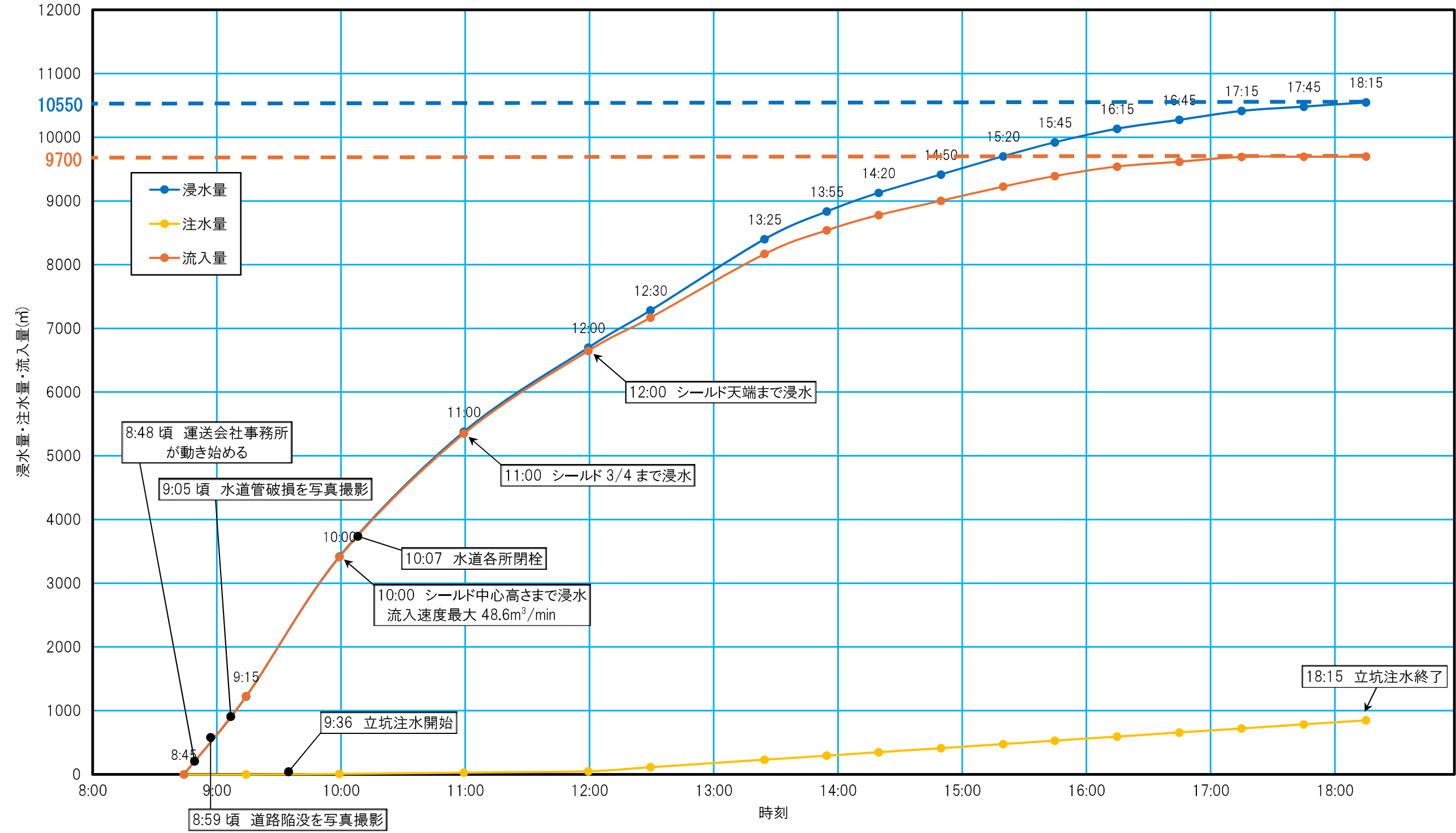
(9:15)立坑作業床面まで浸水	(10:00)シールド中心高さまで浸水	(11:00)シールド3/4まで浸水	(12:00)トンネル天端まで浸水
立坑内水深 2.240 m シールド断面積 3.6 m ² 浸水量 1223.8 m ³	立坑内水深 3.775 m シールド断面積 11.5 m ² 浸水量 3421.1 m ³	立坑内水深 5.125 m シールド断面積 18.4 m ² 浸水量 5378.6 m ³	立坑内水深 6.475 m シールド断面積 22.9 m ² 浸水量 6699.5 m ³



浸水状況の時系列より想定したシールド内への浸水量、流入量、注入量の経時変化を以下に示す。
(浸水量 = 流入量 + 注水量)
出水当初の流入速度は非常に早く、**最大で 48.6m³/min (水道閉栓直前の 10:00 頃)** と算出される。
その後、流入速度が徐々に減少した。

【シールド内浸水時の開口寸法の想定】
最高流入速度 48.6m³/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)】 $5840 \text{ (トンネル体積)} + 4710 \text{ (立坑体積)} = 10550\text{m}^3$

浸水量、流入量、注入量経時変化図



3. 3 事故発生後の対応

(1) 対応時系列

■緊急復旧工事・原因究明調査の時系列

			9/26(木)		9/27(金)		9/28(土)		9/29(日)	9/30(月)	10月	11月以降
			AM	PM	AM	PM	AM	PM				
緊急復旧工事	緊急注水	発進立坑部から注水		9:36 18:15								
	陥没箇所の埋戻し	砕石埋戻し										
		流動化処理土打設										
	建屋下地盤改良	薬注（運送会社、市営住宅下）									10/2～6	
	インフラ応急復旧	上下水道・ガス・電気・通信						9/28～10/22				
原因究明調査	周辺変状調査	建物傾斜、建物・付帯設備・地表面高計測										
	空洞調査	陥没箇所周辺ボーリング調査										
		周辺道路をレーダー探査										
	下水道管内部調査	内部をカメラ撮影							9/29～10/3			
	ボーリング調査	標準貫入試験、コアサンプリング									10/5～11/10	
	シールド機の姿勢調査	磁気探査、直接探査ボーリング調査									10/5～11/10	

(2) 対応時写真

緊急注水



9/26(木)

9/26 9:36～18:15 まで立坑より注水
当初は給水ホースを使用して注水
その後、バキューム車・生コン車で水を運搬して注水
総注水量：850m³
注水を行うことで地下水位を安定化

空洞調査



9/26(木)



9/27(金)

9/26 午後～
ボーリングによる陥没箇所周辺の空洞調査、レーダーによる周辺道路の空洞調査を実施
空洞が発生していないことを確認

陥没箇所の埋戻し(砕石)



9/27(金)



9/28(土)

9/27 午後～9/28 午前
陥没箇所の埋戻し(砕石)作業を実施

陥没箇所の埋戻し(流動化処理土)



9/28(土)

9/27 午後～9/28 午前
陥没箇所の埋戻し(流動化処理土)作業を実施
運送会社事務所下：50m³

インフラ応急復旧(下水道管地上仮切回し)



10/2(水)

9/28～
上下水道・ガス・電気・通信設備の緊急復旧工事を実施

4. 現地状況

4. 1 事故直後の道路陥没状況

事故直後の道路部陥没状況の写真(9/26・9/27 撮影)をまとめて以下に示す。



事故前後比較

