

水道工事現場におけるシールド坑内土砂流入事故に関する調査報告書

令和8年7月

東京都水道局

目次

1. はじめに	1
2. 委員会の設置	
2.1 委員の構成	1
2.2 委員会の開催状況	1
3. 工事概要及び施工経過	
3.1 工事概要	2
3.2 施工経過（シールドトンネル築造～事故発生）	2
4. 事故概要	
4.1 事故概要	3
4.2 交通規制解除までの対応	4
5. シールド工事における資機材及び施工管理データ等の検証	
5.1 シールド機	7
5.2 セグメント製作、現場確認	8
5.3 掘進状況	
5.3.1 総推力、カッタートルク	9
5.3.2 掘削土量	10
5.4 裏込め注入	
5.4.1 注入方法、使用材料	10
5.4.2 品質管理（試験）	11
5.4.3 施工管理（システム、データ（帳票）、管理方法）	12
5.4.4 注入率、注入圧	13
5.4.5 裏込め材料使用量	13
5.4.6 逆止弁設置	14
5.4.7 均等係数の小さい砂質地盤における裏込め状況（推察）	14
5.5 路面沈下計測	15
6. 事故当日作業の検証	
6.1 滲水状況	
6.1.1 滲水止水作業	15
6.1.2 滲水状況調査	16

7. 検証結果のまとめと事故要因分析	16
8. 特別委員（有識者）の意見	18
9. 再発防止対策	18
10. おわりに	19

1. はじめに

本報告書は、当局が発注した送水管新設シールド工事（足立区鹿浜地内）において発生した、シールド坑内への土砂流入事故（以下、「本事故」という）について、その原因を究明し、再発防止策を策定することを目的とする。

本事故により生じた影響等に鑑み、局内に「シールド坑内土砂流入事故に関する事故調査委員会」（以下、「委員会」という）を設置し、事故発生時の作業状況、シールド施工データ、土質調査資料、設計図書等の検証を行うとともに、有識者の特別委員による技術的意見も踏まえ、多角的な視点から調査・分析を行った。

2. 委員会の設置

事故の原因究明等を目的として、局内に「シールド坑内土砂流入事故に関する事故調査委員会」を設置した。

2.1 委員の構成

名 称	所 属 ・ 役 職
委員長	水道局 技監
副委員長	水道局 建設部長
副委員長	水道局 多摩水道改革推進本部 施設部長
副委員長	水道局 東部建設事務所長
委員	水道局 建設部 工務課長
委員	水道局 建設部 建設改良工事連絡調整担当課長
委員	水道局 建設部 管路設計課長
委員	水道局 多摩水道改革推進本部 施設部 工事課長
委員	水道局 東部建設事務所 工事第一課長
委員	水道局 東部建設事務所 工事第二課長
委員	水道局 建設部 工務課統括課長代理
委員	水道局 建設部 施設設計課統括課長代理
委員	水道局 建設部 技術管理課課長代理
委員	水道局 西部建設事務所 工事第一課統括課長代理
特別委員	大学教授
事務局	水道局 建設部 技術管理課長

2.2 委員会の開催状況

令和8年5月14日（木） 第1回委員会
令和8年6月18日（木） 第2回委員会
令和8年7月6日（月） 第3回委員会

3. 工事概要及び施工経過

3.1 工事概要

工事件名：足立区鹿浜五丁目地内から同区鹿浜一丁目地内間送水管（1350mm）新設工事（シールド工事）

発注者：東京都水道局

受注者：銭高・小雀・二友建設共同企業体（以下、「JV」という）

施工概要：東京都区部北東部の安定給水を確保するため、王子給水所（仮称）整備事業の一環として送水管を新設する工事である。道路下に内径2,000mm、延長約1.9km、土被り約30mのシールドトンネルを築造し、トンネル内に内径1,350mmの水道管を布設する。

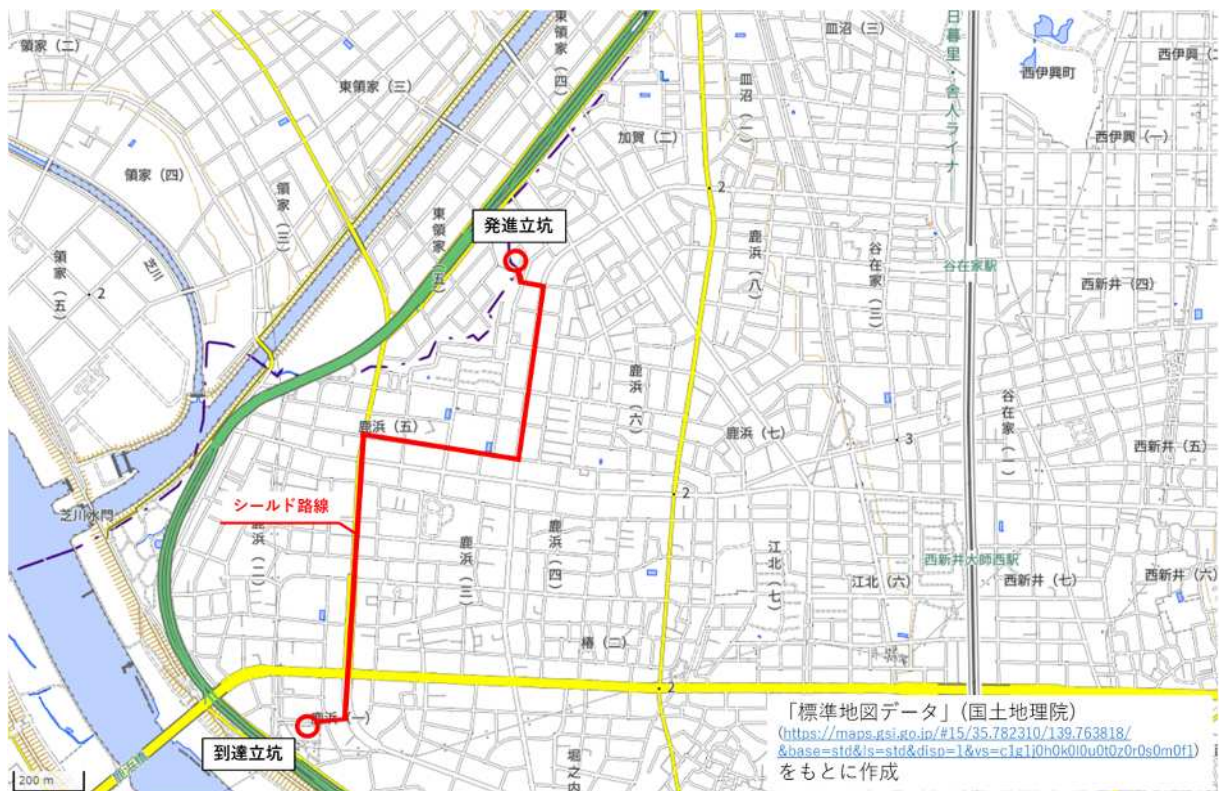


図-1 位置図（発進立坑：足立区鹿浜五丁目、到達立坑：足立区鹿浜一丁目）

3.2 施工経過（シールドトンネル築造～事故発生）

令和6年8月20日（火）：鏡切開始

令和6年8月23日（金）：シールド掘進開始

令和8年2月6日（金）：シールド掘進完了

令和8年4月20日（月）：シールド機等撤去完了、坑内点検、滲水（しんすい）箇所確認

令和8年4月21日（火）：滲水箇所止水作業中に事故発生

4. 事故概要

4.1 事故概要

発生日時：令和8年4月21日（火）16時20分頃

発生場所：足立区鹿浜五丁目4番地先（都道産業道路と足立区道との交差部周辺）

発生状況：シールドトンネル（鋼製、内径2,000mm）のグラウト孔（φ70mm、発進立坑から1,020m地点、土被り32.7m）からの滲水を止水するため、止水作業を行う作業員がグラウトキャップを外した（キャップにシールテープを巻く予定）ところ、十数秒後にグラウト孔から土砂が坑内に流入した。止水工はキャップの閉止を試みたが、キャップが土砂に巻き込まれ、紛失したことから、止水を断念した。その後も土砂の流入が継続していたことから、到達立坑へ退避し、JV職員に報告した。

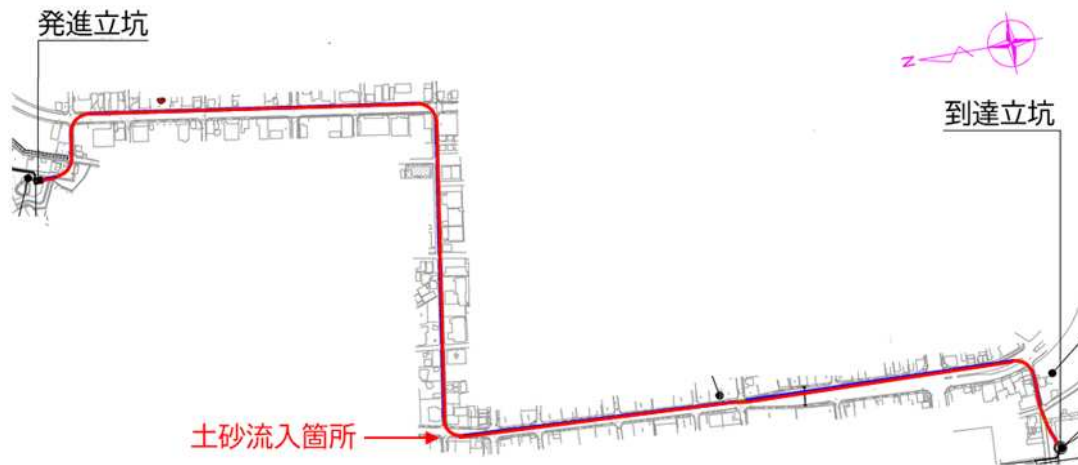


図-2 全体平面図

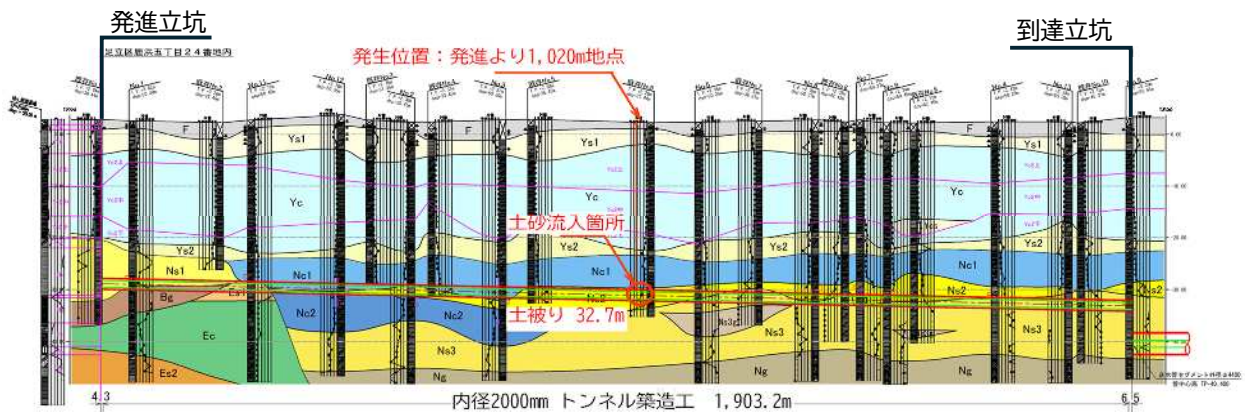


図-3 全体縦断面図

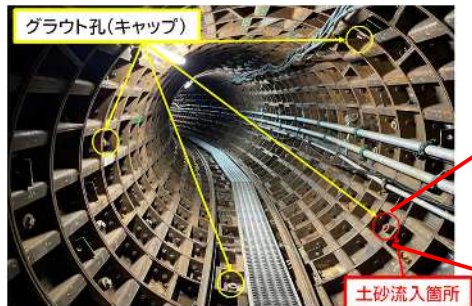


写真-1 トンネル内状況

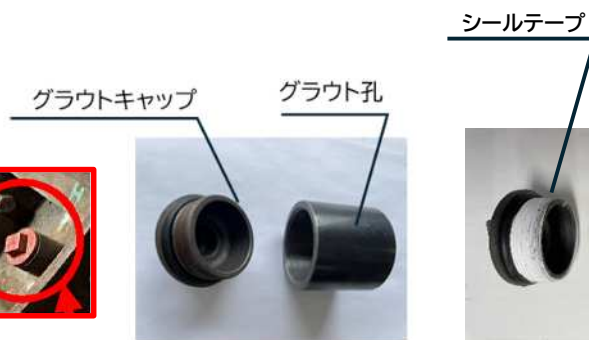


写真-2 グラウト孔



写真-3 土砂流入状況（発進立坑側から撮影）



写真-4 土砂流入状況（到達立坑側から撮影）

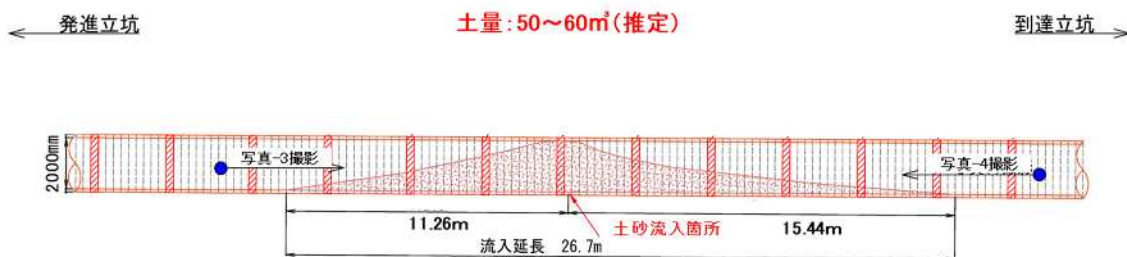


図-4 土砂流入状況

4.2 交通規制解除までの対応

トンネル内に推定 50～60 m³の土砂が流入したことにより、周辺地盤に空洞が生じ、路面の沈下、陥没のおそれがあったことから、交通管理者等の協力を得て、緊急で周辺道路の車両の交通規制を実施した。この規制は4月21日（火）20時頃から30日（木）11時までの約10日間に及び、その間、朝夕の交通渋滞の発生、路線バスの迂回・一部バス停の休止等により、周辺住民の生活や施設運営等に影響を及ぼした。

一方、局及びJVは早期の規制解除に向けて、道路管理者、足立区等の協力を得ながら復旧作業を実施した。

(1) 初動対応

16:20 事故発生

16:33～止水作業を行う作業員から報告を受け、JV職員が坑内状況を確認

16:50 JVから水道局監督員（以下、「局監督員」という）へ報告

- 17:57 事故発生箇所の地上部において路面測量を開始（毎正時）
- 19:06 交通管理者へ報告、緊急の交通規制を要請
- 19:10 道路管理者へ報告
- 19:25 足立区へ報告
- 20:00 一般都道 107 号東京川口線及び周辺道路の交通規制を開始

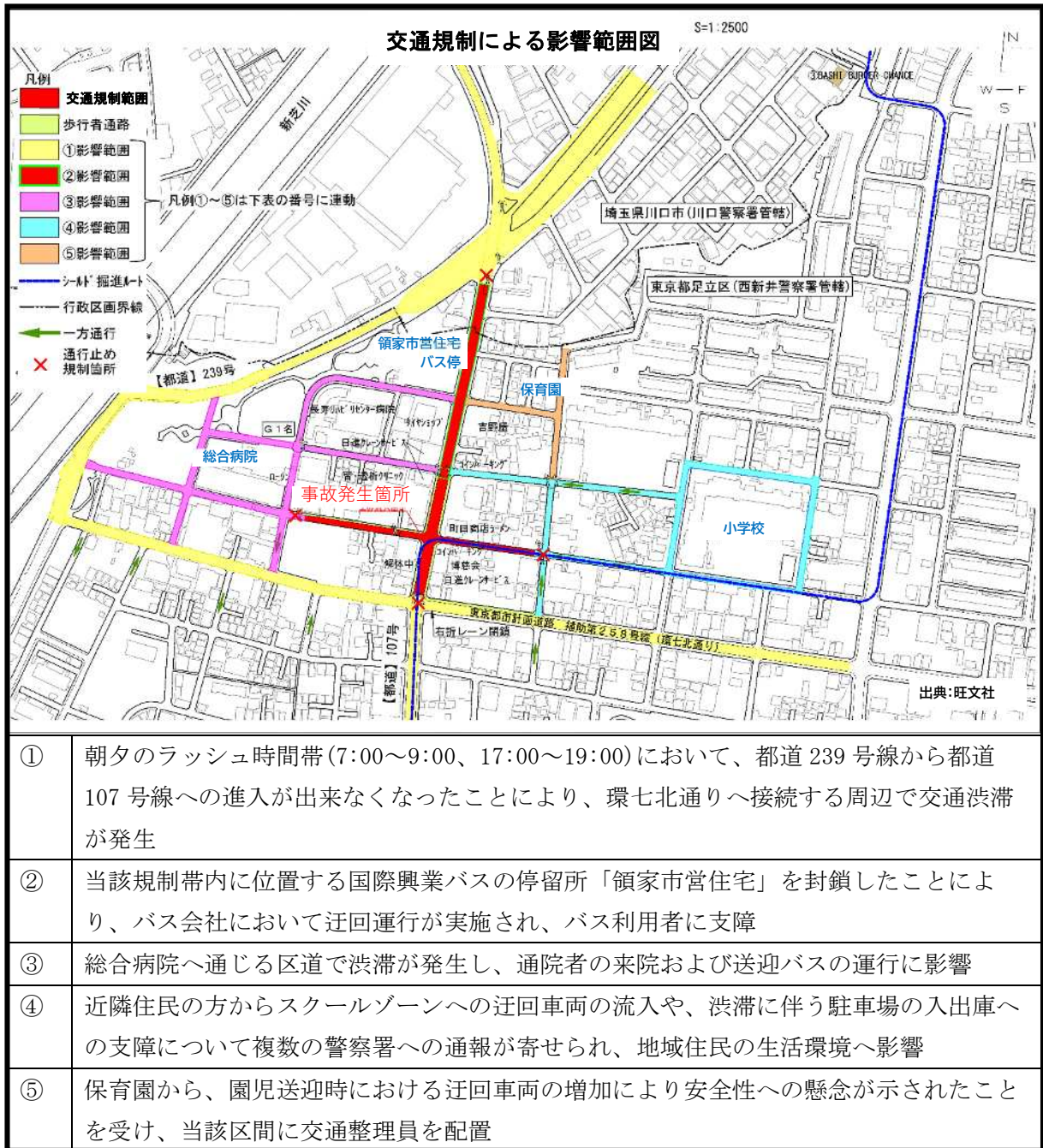


図-5 道路交通規制による影響

(2) 復旧作業

トンネル内への土砂流入により、周辺地盤に発生した空洞に対して地上部から薬液注入を行い、その効果を確認した上で、舗装復旧を行い、4月30日（木）11時に交通規制を解除した。

なお、事故発生直後から路面測量を継続しており、7月10日（金）時点まで変状は発生していない。

- 4月22日（水）22:00～ 土砂流入箇所への薬液注入に向けた試験掘り
埋設管（ガス管、下水道管）位置確認
- 4月24日（金） 3:00～ 地上部から薬液注入開始
- 4月26日（日）21:00～ 充填効果確認
 - ①調査削孔による薬液注入の充填効果確認
 - ②ボーリングによる薬液注入の充填効果確認
（コア採取、強度確認、フェノールフタレイン試験）
- 4月28日（火）20:00～ 舗装復旧
- 4月30日（木）11:00 交通規制解除

表-1 交通規制解除に向けた復旧作業

作業項目	作業内容・結果	作業状況
1) 試験掘り	掘削面積＝45m ² 、掘削深さ GL-1.5m ガス管、下水道管位置確認 他埋設物無し	
2) 薬液注入工	懸濁型（水ガラス+セメント） セメント下端-1.0m以上の緩い地盤へ注入 総本数 11本 総注入量 109.2m ³	
3) 充填効果確認	①調査削孔 10本 ②ボーリング 4本 （GL-20m～36mコア採取） 空洞、ゆるみ等異状無し	
4) 舗装復旧	都道 70 型、復旧面積＝54m ²	

5. シールド工事における資機材及び施工管理データ等の検証

事故原因の究明にあたり、シールド掘進、セグメント設置、裏込め注入等について、資機材の製作、選定、施工管理データ等の検証を行った。

5.1 シールド機

シールド機は、「2016 制定トンネル標準示方書 [シールド工法編]・同解説」(土木学会)(以下、「示方書」という)に基づき製作している。

シールド機は、急曲線に対応できるよう、中折れ装置、余掘り装置を装備し、1.9 kmの長距離掘進に対応できるよう、カッタービットは先行ビットの強化を行った。



写真-5 中折れ装置

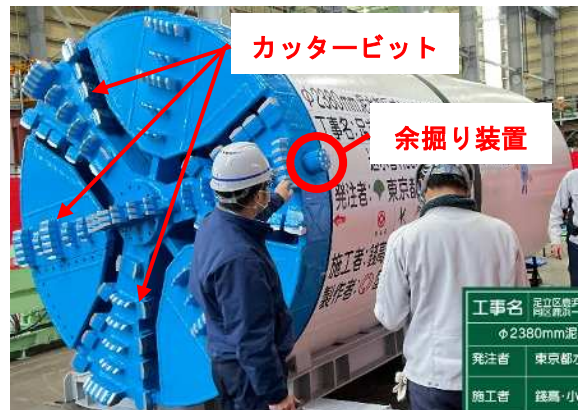


写真-6 余掘り装置、カッタービット

工場での製作から現地での組立までの過程において、「示方書」に則った検査を行っている。工場において、主要部品及び本体の板金加工完了までにメーカーが材料検査、溶接検査、寸法検査、機器検査を実施し、全ての検査で合格している。

また、製作完了後、現場搬入前に工場での組立を行い、JV 立会で外観検査、主要寸法検査、無負荷作動検査、耐圧検査、電気配線絶縁検査、防爆機器確認検査を実施し、全ての検査で合格している。

加えて、現地においても組立後に局監督員立会で外観検査、主要寸法検査、無負荷作動検査、耐圧検査、電気配線絶縁検査、防爆機器確認検査を実施し、全ての検査で合格している。



写真-7 工場検査状況



写真-8 現地組立検査状況

5.2 セグメント製作、現場確認

セグメントは「シールド工事用標準セグメント」（日本下水道協会、2024年）及び「示方書」に準拠し、仕様を決定している。

工場搬出前に「示方書」等に則って、水平仮組検査、外観検査、形状及び寸法検査、溶接検査、性能検査（単体曲げ試験、ジャッキ推力試験）、材料検査（ミルシートにて確認）をメーカー及びJVが実施し、すべての項目で合格している。

また、現場搬入時に「スチールセグメント出荷番号記録表」を用いて形状、寸法、数量等の全数確認をJVが実施し、局監督員が確認に立会っている。

加えて、セグメント組立当日に「セグメント組立チェックリスト」を用いて、ボルト締め付け状況、変形の有無等をJVが確認した。



写真-9 セグメント工場検査状況

表-2 セグメント組立チェックリスト

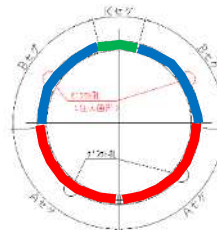
品質管理チェック表
(工種名：セグメント組立チェックリスト)

検査担当者名: [Redacted]
検査責任者名: [Redacted]

日付	7/3D	7/3N	7/3D	7/3N	7/4D	7/4N
記録番号	1514	1522	1530	1538	1546	1554
チェック項目	~1521	~1529	~1537	~1545	~1553	~1561
ボルトの締め付けは良いか	✓	✓	✓	✓	✓	✓
潤水は無い	✓	✓	✓	✓	✓	✓
セグメントの変形は無い	✓	✓	✓	✓	✓	✓
目遣いは無い	✓	✓	✓	✓	✓	✓
組み方に間違えは無い	✓	✓	✓	✓	✓	✓
セグメントの摩耗は無い	✓	✓	✓	✓	✓	✓
合格判定	◎・否	◎・否	◎・否	◎・否	◎・否	◎・否
検査責任者	(印)					

※セグメント

トンネルの壁を構成する部材で、シールド機後方のテール部でリング状に組み立てられる。裏込め材を注入するグラウト孔が設けられている。本工事では5つのセグメントを組み合わせて1つのリングを作る。また、リング毎に発進立坑側から番号を付し、Rと表わしている。



- A セグメント×2
 - B セグメント×2
 - K セグメント×1
- (図ではセグと標記)

5.3 掘進状況

本工事の全区間（約 1.9km）における施工状況を直線部（青色）（緩曲線部（緑色）を含む）と急曲線部（赤色）に分割し、各区間の施工状況を検証した。

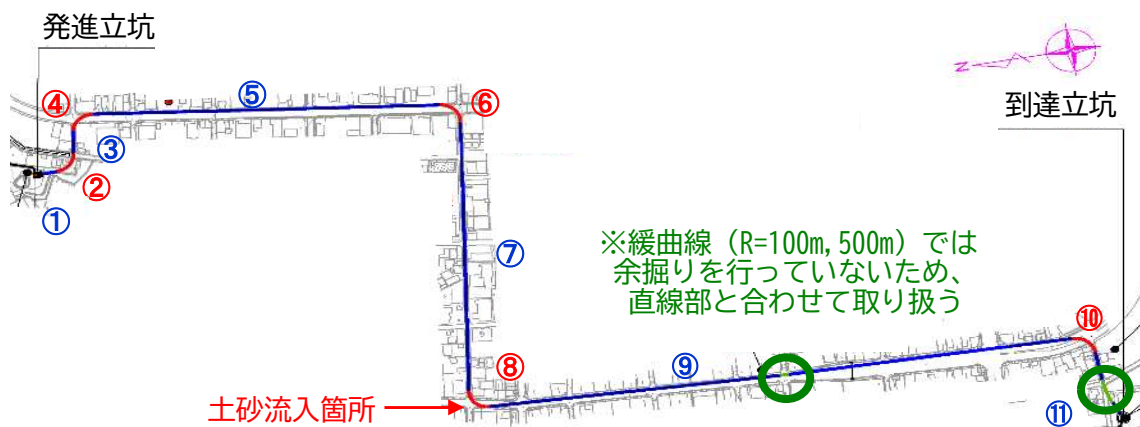


図-6 全体平面図

表-3 シールド線形区分及び想定土質

区間	線形	想定土質	想定N値	セグメント長(mm)
①	直線	細砂	50以上	1000
②	急曲線 (IP1, R=25m)	細砂、砂礫土	5~50	300
③	直線	細砂、砂礫土	5~50	1,000
④	急曲線 (IP2, R=25m)	細砂、砂礫土	5~50	300
⑤	直線	細砂、砂礫土、シルト	10~50以上	1000及び800
⑥	急曲線 (IP3, R=25m)	細砂、シルト混じり細砂	50以上	300
⑦	直線	細砂、シルト混じり細砂、シルト	10~50以上	800
⑧	急曲線 (IP4, R=22m)	細砂、シルト混じり細砂	10~25	300
⑨	直線—曲線 (IP5, R=500m)—直線	細砂、シルト混じり細砂、礫混じり粗砂	10~50以上	800及び1000
⑩	急曲線 (IP6, R=25m)	細砂、シルト混じり細砂、礫混じり粗砂	50以上	300
⑪	直線—曲線 (IP7, R=100m)—直線	細砂、シルト混じり細砂、礫混じり粗砂	50以上	1000

5.3.1 総推力、カッタートルク

掘進状況を確認するため、総推力及びカッタートルクの実績を検証した。図-7は総推力（セグメント 10R 毎の平均）、図-8はカッタートルク（10R 毎平均）であり、掘進日報のデータから作成した。

本工事で使用したシールド機の総推力 6,400kN に対してセグメント 10R 平均最大値が 3,847 kN（60%）、カッタートルクは最大トルク 379kN・m に対してセグメント 10R 平均最大値が 177kN・m（46%）であり、異常は認められなかった。

※総推力：シールド機を前に押し進める全体の力

※カッタートルク：カッターを回転させて地盤を削る力

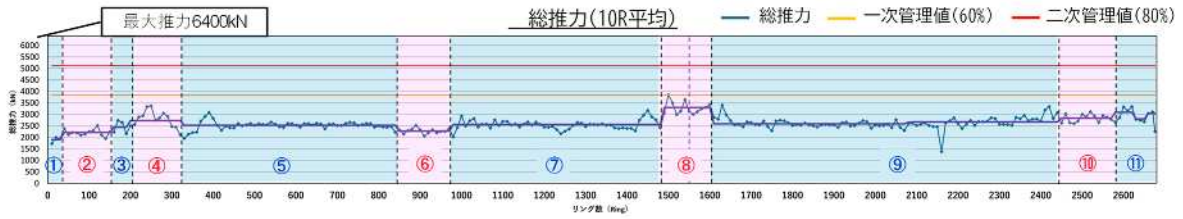


図-7 総推力推移

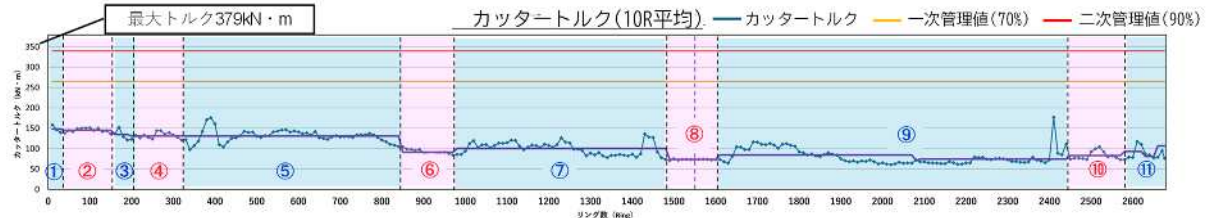


図-8 カッタートルク推移

5.3.2 掘削土量

掘削状況を確認するため、掘削土量の実績を検証した。図-9はシールド機の掘削外径から算出した累計地山土量（ほぐし土量換算値）と累計搬出土量とを比較したものである。累計地山土量（ほぐし土量換算値）と累計搬出土量はなだらかに推移しており、最終の累計搬出土量は累計地山土量（ほぐし土量換算）10,184 m³に対し10,276 m³（+92 m³）である。ふけ率は1%以下（0.0090）であり、過度な地山の取込みは無いと考えられた。

※ふけ率：掘削前の地山に比べて、掘削後の土量体積の増加割合

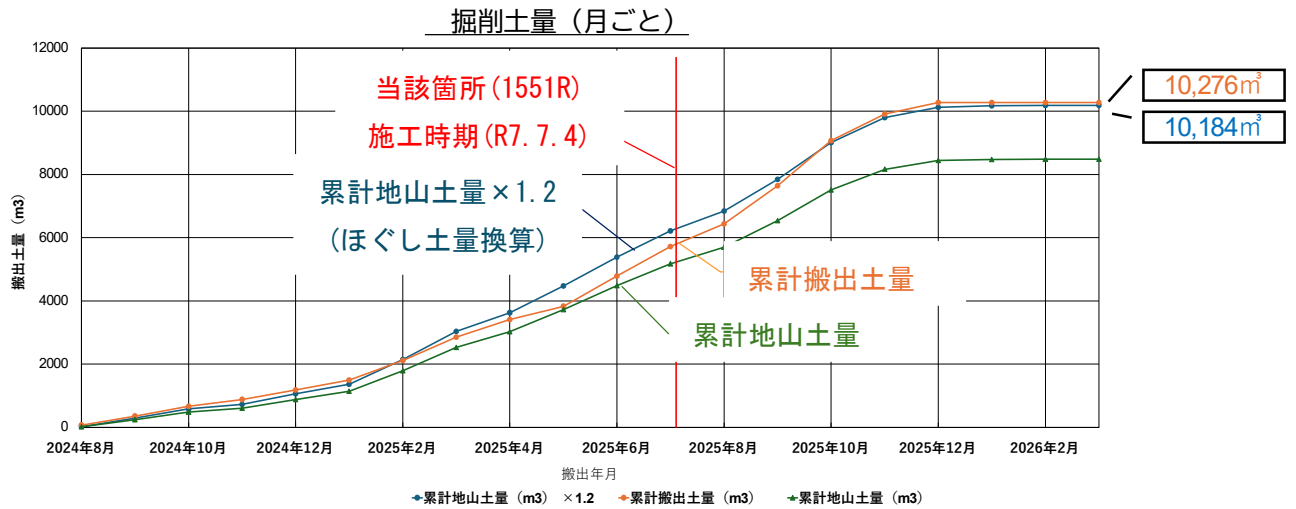


図-9 掘削土量の推移

5.4 裏込め注入

5.4.1 注入方法、使用材料

裏込め注入方法を選定するにあたり、地下約30mを掘進するため地盤が高水圧下であること、長距離の掘進であるため地盤条件が変化することを考慮し、「示方書」に則った、流動性が高く、瞬結する二液可塑性の注入材を採用している。

裏込め注入は、シールド機後方のテール脱出時のセグメントの安定性を確保するために早期に実施する必要があることから、本工事ではシールド機テール部通過後のグラウト孔から注入を実施した。また、土砂の下方への移動・堆積を抑制、沈下防止するため、Bセグメント（上部）からの注入を基本とし、初期掘進時は、Aセグメント（下部）からの補足注入を行っていた。

しかし、Aセグメント（下部）からの補足注入は圧力抵抗が大きく、セグメント等への影響が懸念されたことから、初期掘進完了以降は、Bセグメントのみからの注入に変更している。

※可塑性：圧力をかけると流れ、止めると流れない性質。

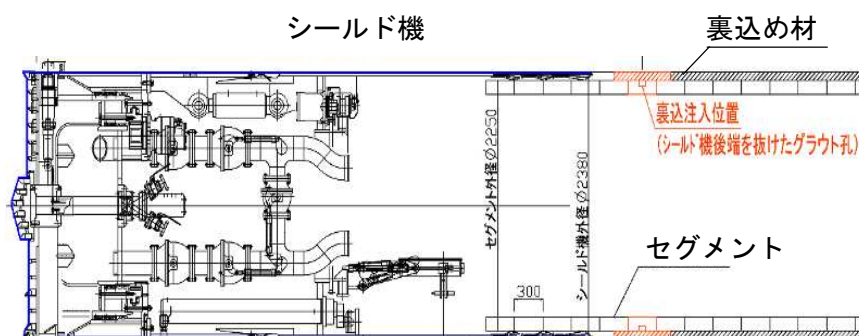


図-10 裏込め注入箇所（側面図）

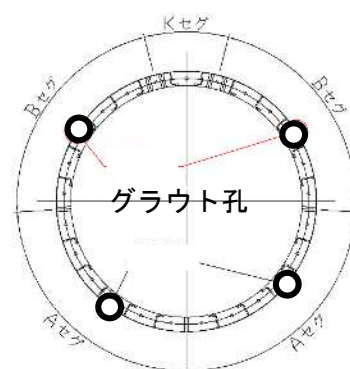


図-11 裏込め注入箇所（断面図）

5.4.2 品質管理（試験）

裏込め注入材は「示方書」に則り、フロー値、粘性、ブリーディング率、ゲルタイム、圧縮強度等を定期的に測定する必要があるため、本工事では掘進 300m 毎に品質管理試験を実施し、すべての試験項目を満足していた。

表-4 標準配合表

A液				B液
固化材	助材	安定材	清水	急固材
230kg	25kg	3.0kg	847L	65L

表-5 品質管理試験結果

試験実施地点	品質管理値	試験練り	300m	600m	900m	1200m	1500m	1800m
A液フロー値	11秒以下	9.44	9.18	9.46	9.36	9.79	9.74	9.87
ゲルタイム	20秒以下	8.5	11.21	9.52	9.28	8.28	8.4	9.71
ブリーディング(1時間)	5.0%以下	0.4	1.6	1.2	0.4	0.4	0.4	1.2
一軸圧縮強度(1時間)	0.02N/mm ² 以上	0.042	0.029	0.050	0.035	0.042	0.045	0.036
一軸圧縮強度(28日)	2.00N/mm ² 以上	2.94	2.91	3.11	3.17	3.25	2.84	2.64



写真-10 品質管理試験状況

5.4.3 施工管理（システム、データ（帳票）、管理方法）

JVは「示方書」に準じて以下の注入圧、注入率を設定して裏込め注入を管理していた。

注入圧：切羽泥水圧+0.2~0.5MPa 注入率：テールボイド計算量の130%

施工時は裏込め注入の状況、坑内状況等を確認し、セグメント等への影響を考慮しながら、注入圧、注入量の管理を行い、掘進日報に記録している。

※テールボイド：シールド機と組み立てたセグメントの外径差によって生じる、セグメント背面の空隙

表-6 掘進日報（例）

		1235リング	1236リング	1237リング
総推力	kN	2041	2185	2180
推進圧力	MPa	14.9	17.3	15.3
ジャッキスピード平均	mm/min	44	45	45
カッタートルク	kNm	104	110	120
カッター圧力	MPa	8.0	8.4	9.2
カッター回転	rpm	1.9	2.0	1.9
コピーストローク	mm	-9	-9	-9
ピッチング	deg	0.2	0.2	0.2
ローリング	deg	-0.1	0.1	-0.3
中折左右角度	deg	0.00	0.00	0.00
中折上下角度	deg	0.41	0.41	0.41
裏込流量(合計)	L/min	28	30	31
裏込注入圧力	MPa	0.43	0.39	0.36
裏込A液積算(リング)	m ³	0.434	0.423	0.459
裏込B液積算(リング)	m ³	0.028	0.027	0.030
送泥流量積算(リング)	m ³	63.74	52.89	35.41
排泥流量積算(リング)	m ³	66.90	54.46	38.54
偏差流量積算(リング)	m ³	-0.74	-0.75	-0.61
逸水流量積算(リング)	m ³	0.00	0.00	0.00
掘削量(リング)	m ³	3.17	2.89	3.14
水平偏差(セグメント)	mm	-8	-10	-9
垂直偏差(セグメント)	mm	-15	-13	-12
切羽メタン濃度	%LEL	0	0	0
立坑下メタン濃度	%LEL	0	0	0
振動篩メタン濃度	%LEL	0	0	0

5.4.4 注入率、注入圧

裏込め注入状況を確認するため、注入率及び注入圧の実績を検証した。図-12 は注入率（10R 毎平均）、図-13 は注入圧（10R 毎平均）であり、掘進日報のデータから作成した。

9 ページに示した区間毎に見ると、注入率（区間平均）については直線部で 124～189%、急曲線部で 161～173%（⑩を除く）となっており、概ね「示方書」の記載に見合う注入率で充填している。また、直線に対して急曲線で高い注入率を示しており、余堀りにより乱された地盤に注入されたと推察される。なお、⑩の注入率が高いのは、テール部からの湧水へ対応したことによる。

注入圧（区間平均）は直線部で 0.23～0.45MPa、急曲線部で 0.38～0.44MPa と差異は見られないが、全線において計画値（切羽水圧+0.2～0.5 MPa）と比べ若干低い数値となっている。これは注入率、セグメント等への影響を考慮し、注入圧を低圧で管理したことによる。



図-12 裏込め注入率推移

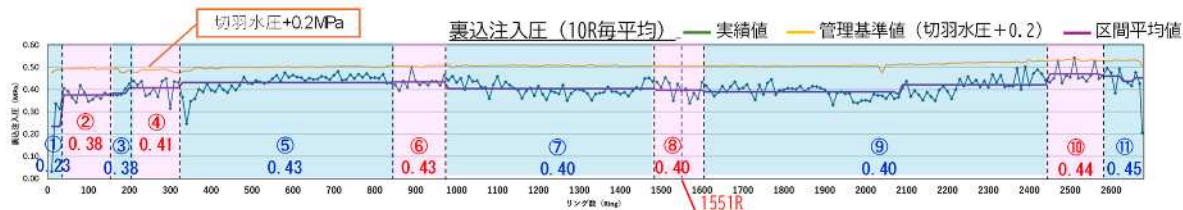


図-13 裏込め注入圧推移

5.4.5 裏込め材料使用量

裏込め材料の使用状況を確認するため、注入材の使用量と注入量の実績を検証した。表-7 は使用量と注入量の実績であり、使用量については各材料の納品伝票から、注入量は注入設備から排出される伝票から作成したものであり、注入量に見合う材料が使用されていた。

表-7 裏込め材用使用量と裏込め注入量の比較

材料名	比重	注入材使用量			裏込め注入量
		(kg)	(ℓ)	(m ³)	(m ³)
水			1,183,384.0	1,183.4	
固化材	3.04	343,825	113,100.3	113.1	
助材	2.6	43,486	16,725.4	16.7	
安定剤			2,792.0	2.8	
急硬剤			83,760.0	83.8	
合計			1,399,761.7	1,399.8	> 1374.1

5.4.6 逆止弁設置

5.4.1に記述のとおり、裏込め注入はBセグメント（上部）からの注入を基本とし、Aセグメント（下部）からは補足注入を行うため、すべてのグラウト孔に逆止弁を設置することとしていた。しかし、Aセグメントからの補足注入は圧力抵抗が大きく、セグメント等への影響が懸念されたことから、初期掘進完了以降は、Bセグメントのみからの注入に変更した。

「示方書」において、「裏込め注入を行うグラウト孔には逆止弁を設置するのが一般的である」とされており、JVは、逆止弁は裏込め注入の際に一時的に土砂・水圧を抑えるために設置するものと判断し、裏込め注入しないAセグメントへの逆止弁設置を省略した。

ただし、「示方書」では、「各セグメントに注入孔を設ける場合もあるが、注入孔は漏水の原因となることがあり、リングを構成する一部のセグメントのみ注入孔を設ける場合もみられる。」とされており、グラウト孔からの滲水の可能性を考慮して、全てのグラウト孔へ逆止弁を設置していれば、本事故を防止できたと推察された。



写真-11 逆止弁

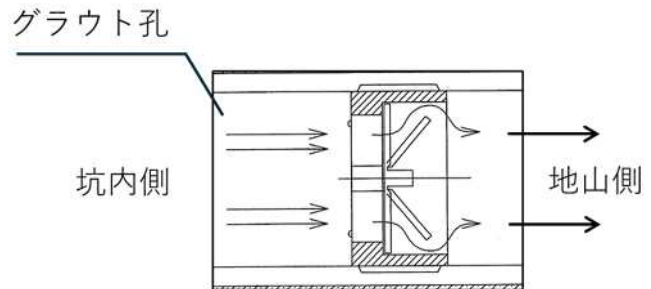


図-14 逆止弁概要図

5.4.7 均等係数の小さい砂質地盤における裏込め状況（推察）

土砂流入箇所の土質は均等係数が小さい砂質土と推察された。均等係数が小さい砂質地盤では、掘進後に砂分がテールボイド下部へ移動・堆積しやすい傾向があるため、下部に堆積した砂分により、セグメント下部の裏込め材の充填範囲が狭小化する一方、上部の充填範囲は拡大化する可能性がある。

このような状況においては、下部のグラウト孔のキャップを開いた場合、土砂が流入する可能性があることから、グラウト孔へ逆止弁を設置する等の対応を行っていれば、本事故は防止できたと推察された。

なお、5.4.4に記述したとおり、概ね「示方書」の記載に見合う注入率で裏込め材を充填していることから、空隙を埋める裏込め材としての目的は果たしていると推察された。



図-15 均等係数が小さい砂質地盤での掘進後の地盤状況（推察）

5.5 路面沈下計測

シールド掘進による路面への影響を確認するため、シールド掘進前からシールド通過後1か月後まで表-9の頻度で路面沈下計測を実施している。道路中心及び左右端を20m毎に計測しており、95箇所の全測点、全期間において一次管理値を超過する変位は確認されなかった。

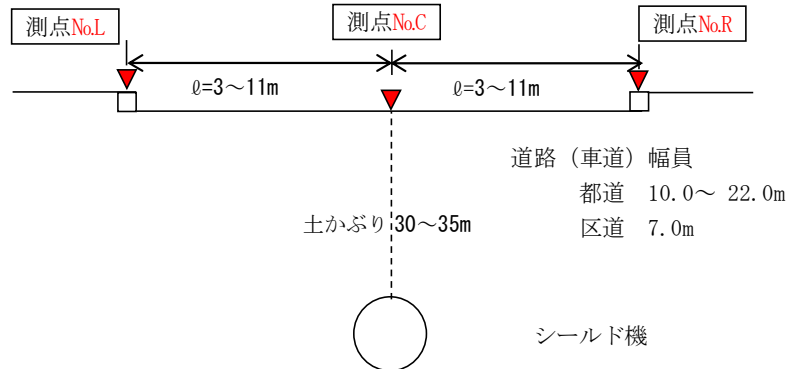


図-16 測点縦断位置図

表-8 路面変位の管理値

	管理値	対応
一次管理値	±5mm以内	一次管理値を超えた際は、監督員に報告し変化の動向を注視しながら工事を進める。
二次管理値	±8mm以内	二次管理値を超えた際は、掘進を一時停止し、監督員及び道路管理者に連絡、異常の有無を確認し、異常無の場合は監督員及び道路管理者へ報告後に掘進再開。(経過観察)
許容値	±10mm以内	許容値を超えた際は、シールド掘進を中止し、関係各所と協議の上対策を講じる。

表-9 測量頻度

時期	頻度	摘要
シールド通過前	1回	初期値の把握
シールド通過中	施工中毎日2回	シールド先端の測点まで実施
シールド通過後	1週間 毎日1回	収束が確認されるまで実施
	1か月後	最終確認

6. 事故当日作業の検証

6.1 滲水状況

6.1.1 滲水止水作業

4月20日(月)にJV及び止水工によりシールド坑内状況を点検し、グラウト孔部、セグメントピース間及びセグメントリング間からの滲水を確認した。滲水状況を踏まえて、JV及び止水工は止水作業方法(グラウトキャップへのシールテープ巻き付け、ピース間及びリング間については止水剤の注入)を決定し、4月21日(火)10時から滲水補修を実施した。

また、本工事では、グラウトキャップに着色することにより、裏込め注入状況、逆止弁設置状況を工事関係者が把握できるようにしていた。

しかし、この区別を把握していたのは、JV職員、下請け作業員の中でも、裏込め注入に関わった者のみであり、止水作業の関係者はAセグメントに逆止弁が設置されていないこと

を知らされていなかった。逆止弁の設置状況を考慮して、滲水止水作業を計画していれば、本事故は防止できたと推察された。

表-10 裏込め注入作業時の区別

	グラウトキャップ色	
	グラウト注入前	グラウト注入後
逆止弁あり	白 ◎	赤 ●
逆止弁なし	無 ●	無 ●

6.1.2 滲水状況調査

本委員会の一部委員が、6月9日（火）にシールド内の滲水状況を調査したところ、一部に滲みがあるが、多くは自然に止水しており、これらの滲水の程度は二次覆工作業（トンネル内配管）に影響を及ぼすほどではなく、止水作業は必要不可欠なものではないと考えられた。



(グラウト孔部)



(セグメントピース間)



(セグメントリング間)

写真-12 滲水状況

7. 検証結果のまとめと事故要因分析

5. 及び 6. における検証結果を表-11 にまとめる。

表-11 検証結果（まとめ）

検証項目	検証結果（赤字下線部：事故要因）
シールド機	
製作	<ul style="list-style-type: none"> ・長距離掘進、曲線施工等の施工条件を考慮して仕様を決定し製作 ・「示方書」等に則って、工場検査、現地検査で合格
施工	<ul style="list-style-type: none"> ・総推力、カッタートルクについて、シールド機の搭載能力内で施工 ・掘削土量について、取込の急激な増減、過度な地山の取込みは無い
セグメント	
製作	<ul style="list-style-type: none"> ・各種基準類に則って、仕様を決定 ・「示方書」等に則って、工場における品質管理検査で合格
施工	<ul style="list-style-type: none"> ・現場搬入時、組立後にチェックシートを用いて変形の有無等を確認、異常は無い

裏込め注入	
注入方法	<ul style="list-style-type: none"> ・現場条件を考慮し、「示方書」に則った注入方法を選定 ・テール脱出時のセグメントの安定性を確保するため、テール部通過後、グラウト孔から注入を実施 ・土砂の下方への移動・堆積を抑制、沈下防止のため、Bセグメント（上部）からの注入を基本とし、当初は、Aセグメント（下部）からの補足注入を実施 ・Aセグメント（下部）からの補足注入は圧力抵抗が大きく、セグメント等への影響が懸念されたことから、Bセグメントのみからの注入に変更
品質管理	<ul style="list-style-type: none"> ・注入材の品質試験を掘進 300m 毎に実施し、全てが試験項目を満足
施工管理	<ul style="list-style-type: none"> ・「示方書」に準じて注入圧、注入率の管理値を設定して管理 ・施工時は、管理値に基づき、施工実績、セグメント等への影響を考慮し管理
施工	<ul style="list-style-type: none"> ・注入率について、概ね「示方書」の記載に見合う注入率で充填 ・急曲線部は直線部に比べて高い注入率であり、余掘りで乱された地盤へ適切に注入されたと推察 ・注入圧について、注入率、セグメント等への影響を考慮し、管理値より低圧で管理
逆止弁	
設置	<ul style="list-style-type: none"> ・当初は、Aセグメント（下部）から補足注入を行うため、すべてのグラウト孔に逆止弁を設置予定 ・初期掘進完了後、Bセグメントのみからの注入に変更したため、<u>注入しないAセグメントへの逆止弁の設置を省略</u> ・<u>全てのグラウト孔への逆止弁の設置等により、本事故を防止できたと推察</u> ・<u>均等係数が小さい砂質地盤における裏込めの状況を想定した対応（例：全てのグラウト孔への逆止弁の設置）を採ることにより、本事故は防止できたと推察</u>
滲水	
止水作業	<ul style="list-style-type: none"> ・JVがトンネル内の状況を点検し、グラウト孔部、セグメントピース間及びセグメントリング間からの滲水を確認 ・止水作業の作業計画を立て、4月21日(火)10時から止水工が滲水補修を実施 ・<u>止水作業の関係者はAセグメントのグラウト孔に逆止弁が設置されていないことを知らされてなかった</u> ・セグメントからの滲水は、その後の二次覆工作业（トンネル内配管）に影響を及ぼすもの量ではなかった ・<u>逆止弁の設置状況や滲水の程度を考慮した滲水止水作業計画により、本事故は防止できたと推察</u>

検証の結果、土砂流入事故を招いた直接的な要因として以下の項目が推定された。

(1) 地盤条件により想定されるリスクへの対応が不足

均等係数の小さい砂質地盤では、掘進後に砂分がテールボイド下部へ移動・堆積しやすい傾向があり、テールボイド下部に砂分が堆積することにより、裏込め材の充填範囲は狭まる

可能性がある。このような環境下ではグラウト孔を開栓した場合、外水圧の作用によりトンネル内へ地下水及び土砂が流入する可能性がある。

本工事では、このようなリスクがあるにも関わらず、裏込め注入を中止したAセグメントへの逆止弁の設置を省略してしまうとともに、少量の滲水を止水するために、グラウトキャップを開けてしまった。

(2) 作業従事者への情報共有の不徹底

止水作業の従事者に対し、逆止弁の設置状況に関する情報が伝えられていなかった。

8. 特別委員（有識者）の意見

本委員会にトンネル工学の専門家として招聘した特別委員から、以下のご意見をいただいた。

- 施工記録を見るとテールボイドを充填する裏込め材としての目的は果たしており、注入データ等からトンネル周囲の空隙は適切に充填されていると考えられる。また、事後の地盤の変状や地表面の沈下等も見られていないことから、トンネルの構造体としての安定性は保たれていると判断できる。
- 一方で、事故箇所を含む急曲線部の注入率が他の区間と比べてやや低い傾向が見られる。他の急曲線部のデータを踏まえると、注入圧や注入率をもう少し上げるという現場の判断があってもよかったかもしれない。ただし、これが直接的な事故原因であるとは判断できない。
- 本事故は、逆止弁を設置していないセグメントのグラウト孔を開けたことが直接的な事故原因の1つであると考えられる。
- 逆止弁未設置の状態でグラウト孔を開けても直ちに土砂が流入するとは限らないが、裏込め注入の局所的な不足部分が存在し、かつ、地下水等の影響により偶発的に土砂が流入してしまったものと考えられる。
- 過去にグラウト孔から土砂が大量に流入したという事故事例は把握しておらず、今回の事象は極めてレアなケースだと思う。しかしながら、地山の状況によって、グラウト孔のキャップを外すことに伴う土砂流入のリスクはある。
- 原因分析にある、テールボイドの下部に地山（砂質土）が落ちてたまることはあり得るが、これに対する完全な防止対策は現実的ではなく、他の現場でも起こりうることである。
- このため、逆止弁を設置しておくことが事故防止になる。

9. 再発防止対策

7及び8を踏まえ、以下の再発防止策を実施する。

(1) 本工事現場における対応

- ・既設のすべてのグラウトキャップ部分に樹脂モルタルを盛り付け、不用意な開栓を防止（図-19）
- ・トンネル坑内において漏水（滲水）等を確認した場合、止水の要否を確認したうえで、キャップ開栓を伴わない方法により、止水作業を実施（図-17, 18）
- ・これらの対策について、関係作業員及び協力会社への教育・周知を徹底
- ・現場巡視及び立会いによる実施状況の確認を強化し、確実に運用

(2) 今後の局発注シールド工事における対策

- ・ 今後発注するシールド工事においては、すべてのグラウト孔に逆止弁を設置、もしくはグラウト孔のないセグメント、グラウト孔が貫通していないセグメント（グラウト孔は吊手時のみで使用）を採用（図-20）することを、仕様書に明記
- ・ 工事契約後は、施工計画書に、セグメントのグラウト孔の有無や逆止弁の設置状況を確実に記載するよう、受注者を指導

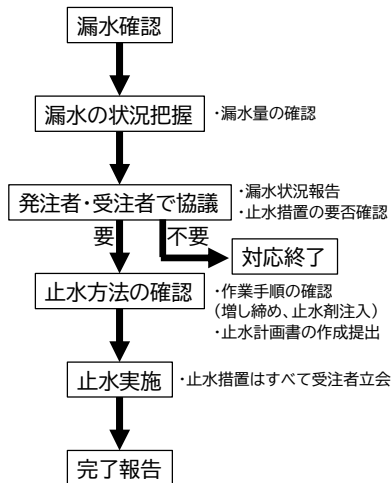


図-17 漏水確認後のフロー

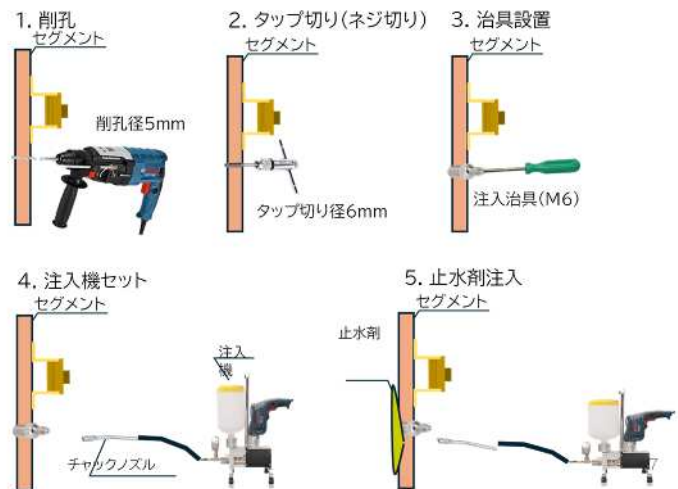


図-18 キャップの開栓を伴わない止水方法例

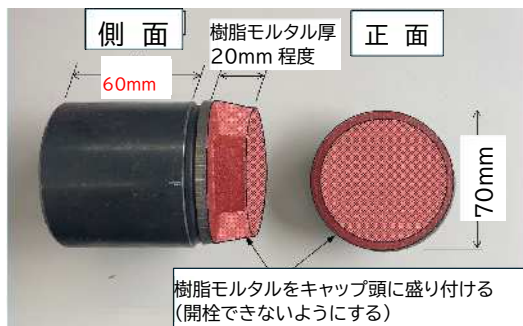


図-19 樹脂モルタル盛り付け図

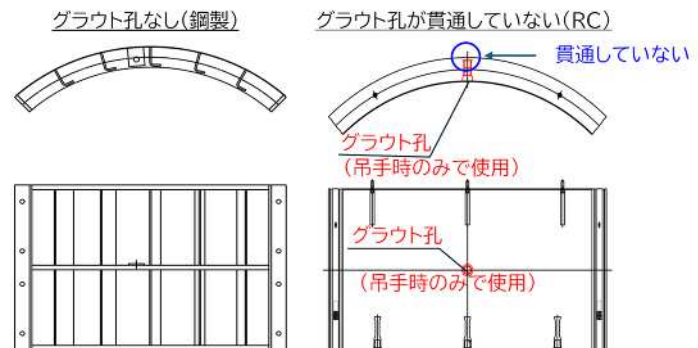


図-20 セグメント概要図

10. おわりに

委員会において検証した結果、本件事故は、シールド工事における地盤条件へのリスク対応、現場における情報共有不足等が複合的に重なり発生したものである。

幸い陥没には至らなかったものの、地域交通や住民生活に大きな影響を及ぼしたことは、水道局として重く受け止めなければならない。

今後は、再発防止対策を確実に実行するとともに、工事関係者への指示・情報共有を徹底する。

これらの取り組みにより、同種事故の再発防止に着実に取り組んでいく。