安全・環境に関わる
シールド工事トラブル事例集
2013 年 12 月
紹　　介

目次構成

はじめに
委員会の構成
1.近年のシールド工事における災害の傾向
2.トラブル事例調査
2.1 目　的
2.2 調査方法
2.3 調査内容
2.3.1 調査対象と調査項目
2.3.2 事例調査対象期間
2.3.3シールド工事トラブル事例調査票
2.4 調査結果
2.4.1 トラブル事例調査結果の概要
2.4.2 工種・項目毎の主なトラブル事例
3.安全・環境に関わるシールド工事トラブル事例集
3.1 掲載事例リスト
3.2 トラブル事例
おわりに

まえがきより

平成 24 年になって、2 月 7 日岡山県倉敷市における海底シールドトンネル水没災害（5 名死亡）、5 月 24 日新潟県南魚沼郡における八箇峠トンネルでのトンネル内爆発災害（4 名死亡）、10 月 27 日高知県高知市の泥濃式推進工事の土砂水噴出災害（2 名死亡）とマスコミを賑わすような災害が続き、さらには、12 月 2 日山梨県大月市笹子町の笹子トンネル供用中に一般の方を巻き込んだ笹子トンネル天井板落下事故（死亡 9 名、負傷 2 名）が発生した。

～中略～

安全環境小委員会では、トンネル工事の安全に資するため、平成２４年２年に山岳トンネルについて、トラブル事例をまとめて、公表した実績があった。このような状況において、当委員会では、山岳トンネルに引き続き、シールドトンネル工事の安全性向上に向けて、工事トラブル事例を収集し公表する方向で検討することとなった。

～中略～

本トラブル事例集は、新人への教育教材としてばかりでなく、リスクを再認識するための教材、リスクアセスメント実施のための資料として有効と思われる。シールドトンネルのより一層の安全性の向上に資するため、本トラブル事例集を有効に活用していただけると幸いである。

技術委員会　安全環境小委員会　委員長　豊澤康男

１．近年のシールド工事における災害の傾向

本章では、シールド工事における休業 4 日以上の死傷病災害について、労働者が労働災害により死傷した場合などに事業者から労働基準監督署に提出される労働者死傷病報告の情報 [1)] を基に、その発生傾向を整理する。

労働者死傷病報告には、災害発生日、休業見込期間、業種、事故の型、起因物、傷病性質、災害発生状況および原因などが記載されており、本章ではその各項目について整理する。

ここで対象とした災害は、平成 22 年から平成 24 年までに発生した休業見込期間が 4 日以上の災害である。

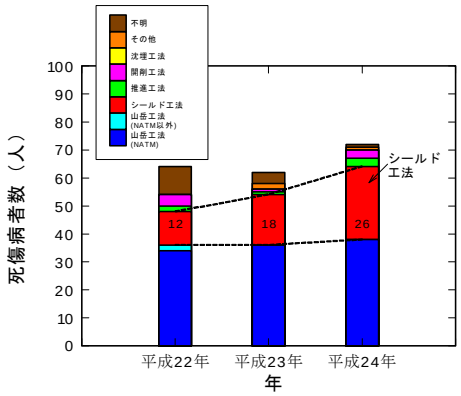


図 1.1　トンネル建設工事における工法別の死傷病者数（休業 4 日以上）の推移（平成 22 年～平成 24 年）

1.1　死傷病者数の推移

図 1.1 は工法ごとの死傷病者数の推移を示している。

災害発生状況・原因から推察し、山岳工法（NATM）、山岳工法（NATM 以外）、シールド工法、推進工法、開削工法、沈埋工法、その他に分類した。推察できなかった事例については不明としている。

トンネル建設工事において、平成 22 年、平成 23 年、平成 24 年の死傷病者数は、それぞれ 64 人、62 人、72 人である。そのうち、シールド工法を採用した現場では、それぞれ 12 人、18 人、26 人と過去 3 年間増加傾向にある。なお、山岳工法（NATM）を採用した現場では、それぞれ 34 人、36 人、38 人とこちらもわずかながら増加している。

～以下略～

1.2　傷病者の休業見込日数別（「死亡」を含む。）の傷病性質

図 1.2 に平成 22 年から平成 24 年の 3 年間のシールド工事における傷病者の休業見込日数別（「死亡」を含む。）の傷病性質を示す。

同図によると、休業見込日数 7 日以上 14 日未満（1 週間程度）、28 日以上 35 日未満（1 ヶ月程度）となる災害が多い傾向にある。また、35 日以上の重篤な災害になる場合も多く、被災すると重篤になる場合が多いようである。休業災害に占める傷病性質の割合を見ると、～以下略～

2. トラブル事例調査

2.1　目　的

シールド工事におけるトラブル事例の共有やこれによる施工技術の伝承を図ることで、災害防止の一助となることを目的とし、シールド工事のトラブル事例を収集・整理し、「シールドトラブル事例集」を作成・広報する。

2.2　調査方法

調査にあたっては、「シールド工事トラブル事例調査票」を作成し、一般社団法人日本トンネル技術協会に所属する団体会員のうち、2001 年以降にシールド工事施工実績を有する施工会社に調査票を送付し記入をお願いした。

～以下略～

2.3　調査内容

2.3.1　調査対象と調査項目

調査対象は、ヒヤリハット事例、災害に至る恐れがあったと思い出されるトラブル事例、実際に発生した災害など、安全・環境に係わるシールド工事トラブル事例とした。

「シールド工事トラブル事例調査票」に挙げた調査項目は、下記に示すとおりである。

①現　象／想定されたトラブルの内容、または、実際に発生したトラブルの内容
②原　因／トラブルの原因になると思われた事項、または、トラブルの原因となった事項
③事前対策／トラブルの原因になると思われた事項、または、トラブルの原因となった事項
④事後処置／実際に発生したトラブルに対し、発生後に取った処置の内容
⑤効　果（結果）／事前対策または事後処置を実施した後の効果、または、結果
⑥影　響／トラブルにより想定された、または、実際に発生した安全・環境への影響
⑦トラブル発生箇所の条件・状況／土被り、地下水位、周辺環境、線形、シールド・セグメント仕様など
⑧概要説明図／トラブルの現象・対策・処置等に関する説明略図、スケッチ、マンガなど

2.3.2　事例調査対象期間

調査対象とする事例は、概ね 2001 年以降とした。ただし、年代にかかわらず挙げておきたい、特に注意すべき事例は記載して頂くようにお願いした。

2.4　調査結果

2.4.1　トラブル事例調査結果の概要

(1) トラブル事例の収集結果

一般社団法人日本トンネル技術協会に所属する団体会員のうち、2001 年以降にシールド工事施工実績を有す

る施工会社を対象に、シールド工事におけるトラブル事例調査を行った。その結果、21 社から回答をいただき、想定事例 2 件を含む合計 59 件のトラブル事例を収集した。

(2) トラブル事例調査結果の主な内容

トラブル事例の調査結果一覧を表-2.4.1 に示す。表中には、工種、項目、タイトルのほか、トラブルが発生したトンネルの工法、マシン外径、土質、土被り、地下水位を整理した。本事例調査で収集されたトラブル事例 59 件について工種別でみると、発進工 6 件、掘進工 43 件、到達工 8 件、二次覆工 1 件、地中接合 1 件の事例が収集され、特に掘進工におけるトラブルが非常に多い結果であった（図 2.4.1）。さらに、掘進工の項目別でみると、比較的多いトラブル事例としては、セグメント 8 件、障害物 7 件、掘進機 5 件、軌条・坑内搬送 5 件の順であった（図 2.4.2）。

また、本事例調査で収集されたトラブル事例 59 件におけるトンネル条件としては、～以下略～

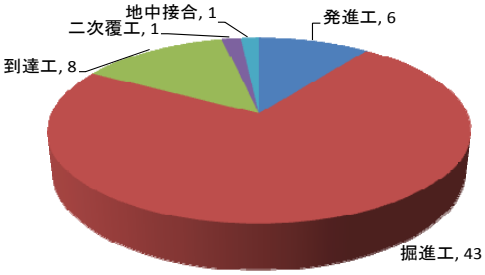


図 2.4.1　工種別

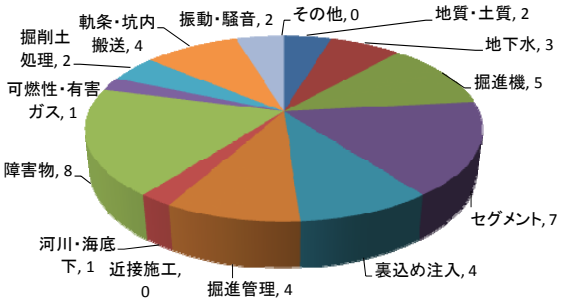


図 2.4.2　項目別（掘進工）

～以下略～

2.4.2　工種・項目毎の主なトラブル事例

(1) 発進工

発進工においては 6 件のトラブル事例が収集された。発進工の代表的なトラブルとしては鏡切り時の出水、エントランスパッキン関係のトラブルなどがある。一方で、足場からの転落や作業床の倒壊も報告されている。この他、特殊な事例として、急激な気象変化に伴う立坑内への雨水流入、シールド機水没のトラブル事例がある。

①鏡切り

発進工におけるトラブル事例は 4 件あり、そのうち、発進時において最も注意が必要な鏡切りと発進・坑口処理に関わるトラブルがそれぞれ 2 件となっている。

鏡切りでは、～以下略～

②発進、坑口処理

発進・坑口処理におけるトラブル 2 件は、いずれもエントランスに関わるトラブルである。現在、エントランスは、手動でエントランスパッキンの押さえを行っていた羽子板タイプに替わり、フラッパータイプが主流となっている。このタイプは、中折れ通過時やセグメントへの乗り移り時に、全周同時に段差に追従したパッキンの押さえができるため、出水トラブルは少なくなっているが、トラブルが発生する事例もあることがわかる。このため、～以下略～

(2) 掘進工

掘進工においては 43 件のトラブル事例が収集された。各項目の代表的なトラブル事例は以下に示すとおりである。

①地質・土質、地下水

本事例は、すべて泥土圧シールドによる施工であり、想定外の地質との遭遇や砂礫と岩盤の層境における出水が多い。これは、泥土圧シールド工法の掘削土の塑性流動化に問題がある場合と設計段階における工法の選択に問題がある場合が考えられる。この他、泥水シールド、泥土圧シールドに関わらずトラブルの多い、玉石地盤掘進における地表面陥没の事例もあがっている。

出水の発生は、出水箇所とその状態や出水量にもよるが、緊急対応が難しく坑内が冠水する場合もある。その場で可能な処置をすることは重要であるが、～以下略～

(3)　到達工

到達工においては 8 件のトラブル事例が収集された。概ね発進工と変わらない内容であり、異常出水や土砂流入が報告されている。到達防護が不足している場合があり、施工面での考慮が必要になる。地質状況の把握と地盤改良の効果確認が重要になる。

①到達掘進、土留め切破り、坑口止水

到達掘進と土留め切破りは、5 件のトラブルが報告され、到達工に関するトラブル 8 件の中で最も多い。

到達防護の地盤改良の不良および鏡切り作業時や鏡切り後のシールド到達推進における出水のトラブルが 3 件ある。これらは、到達施工において生じる代表的なトラブルであり、～以下略～

表 2.4.1 トラブル事例の調査結果一覧（トンネルの工法、マシン外径、土質、土被り、地下水位）

分類 工種	分類 項目	トラブル件数 実例	トラブル件数 想定	事例番号	タイトル	工法	マシン外径	土質 軟弱粘性土	土質 硬質粘性土	土質 砂	土質 砂礫	土質 岩	土被り (m)	地下水位 (m)	備考
1 発進工	101. 鏡切り	2		101-01	発進鏡切り時に出水	泥水	4,590			○			30	0.35Mpa	
				101-02	坑口鏡切り時の足場からの壁落	泥土圧	3,400			○		○ 風化岩	12	−	
	102. 発進	1		102-01	発進時、[illegible]スパッキン通過時に出水	泥水	2,340	○		○			−	−	
	103. 坑口処理	1		103-01	[illegible]エントランス	泥土圧	小口径	○	○	○	○		25	GL.-1.5	中折れ有り
	104. その他	2		104-01	ケ[illegible]機水没	泥土圧	3,090	○					10~12	水頭10m	水頭はトンネル頂部より
				104-02	作[illegible]	泥土圧	2,980	○					−	−	
	201. 地質・土質	2		201-01	シール[illegible]中の車輌被害が発[illegible]	泥土圧	2,300				○		10	−	
				201-02	未風化[illegible]機カッタヘッドの損傷	泥土圧	6,150					○	10	GL.-2	
				202-01	砂礫、岩盤の[illegible]ユーコンベアからの異常出水	泥土圧	2,450				○		19.8	GL.-1.5	

表 2.4.2 トラブル事例の調査結果一覧（トラブル発生箇所・発生事象）

分類 工種	分類 項目	事例番号	タイトル	トラブル発生箇所 切羽付近	トラブル発生箇所 坑内	トラブル発生箇所 立坑	トラブル発生箇所 ヤード	トラブル発生事象 工事箇所内 出水(ガス含む)	工事箇所内 マシン損傷	工事箇所内 覆工損傷	工事箇所内 設備損傷	工事箇所内 豪雨浸水	工事箇所外(地域住民への影響) 噴発	工事箇所外(地域住民への影響) 沈下・陥没	工事箇所外(地域住民への影響) 埋設物損傷	工事箇所外(地域住民への影響) 振動	工事箇所外(地域住民への影響) 地下水汚濁	備考
2 掘進工	206. 掘進管理	206-01	掘削土量が過大になっていた兆候を軽視したことによる二度の地表面陥没											○				
		206-02	スクリューコンベアゲート閉め不十分による土砂流入	○				○										
		206-03	初期[illegible]水の噴出										○					
		206-0[illegible]	[illegible]での地盤陥没										○					
	207. 近接施工																	
	208. 河川・海底下	208-01	バルブ[illegible]トンネル水没	○				○										坑内水没
		209-01	掘進工に[illegible]	○					○					※	※			
			地中路線内残[illegible]運転によるスクリュー駆動															

3. 安全・環境に関わるシールド工事トラブル事例集

3.1 掲載事例リスト

分類		掲載事例	
工種	項目	事例番号	タイトル
1. 発進工	101. 鏡切り	101-01	発進鏡切り時に出水
		101-02	坑口鏡切り[illegible]
	102. 発進	102-01	[illegible]キン通過時に出水
	103. 坑口処理	103-01	[illegible]トランスパッキンの膨張
	104. その他	104-01	[illegible]水没
		104-02	[illegible]
2. 掘進工	201. 地質・土質	201-01	[illegible]の車輌被害が発生
		201-02	[illegible]機カッタヘッドの損傷
	202. 地下水	202-01	[illegible]ーコンベアからの異常出水
		202-02	[illegible]ューコンベアからの異常出水
		202-03	シー[illegible]戸水の汚濁
	203. 掘進機	203-01	チャンバー内ホッパー、スクリューコンベア破損
		203-02	スクリューコンベアの破損
		203-03	把持金物破断によるセグメントピースの落下
		203-04	スクリュウ内閉塞解除作業におけるスクリュウからの出水とカッター回転不能
		203-05	縮径セグメント変化部でのテールブラシ反り返りによるテールからの出水
	204. セグメント	204-01	Kセグメントボルトの破断
		204-02	Kセグメントの抜[illegible]
		204-03	軸方向挿入K[illegible]
		204-04	セグメン[illegible]
		204-05	曲線部内[illegible]
		204-06	掘進中に[illegible]
		204-07	セグメント[illegible]
	205. 裏込め注入	205-01	管渠工(ミ[illegible]について
		205-02	裏込注入[illegible]
		205-03	逆止弁の[illegible]出
		205-04	逆支弁入れ[illegible]
	206. 掘進管理	206-01	掘削土量が過大に[illegible]による二度の地表面陥没
		206-02	スクリューコンベアゲート閉め[illegible]る土砂流入
		206-03	初期掘進における道路上への泥水の噴出
		206-04	既設内水圧管水路直下、複合地盤での地盤陥没
	207. 近接施工		
	208. 河川・海底下	208-01	バルブ誤操作によ[illegible]ル水没
	209. 障害物	209-01	掘進工に[illegible]
		209-02	地中路[illegible]動部破断
		209-03	スクリ[illegible]流出
		209-04	設[illegible]上昇し掘進不能
		209-05	鉄道[illegible]進不能
		209-06	低土[illegible]中障害物・振動伝播)
		209-07	地中[illegible]
		209-08	洞道下部[illegible]
	210. 可燃性・有害ガス	210-01	洪積砂礫層の掘進途[illegible]したメタンガスの噴出
	211. 掘削土処理	211-01	土砂ホッパー上部からの土砂落下
		211-02	ベルコンによる挟まれ(泥水処理設備)
	212. 軌条・坑内搬送	212-01	ずり鋼車の逸走
		212-02	後続台車と[illegible]
		212-03	[illegible]

～以下略～

◇ 安全・環境に関わるシールド工事トラブル事例 ◇

事例番号 101-01

タイトル	発進鏡切り時に出水

工　種	発進工	分　類	鏡切り

現　象　◇**想定された**、または、**実際に発生したトラブル**

発進鏡切りの終盤（山留めSMWのフランジ切断中）に、鏡部下端から出水した。シールド機は組立を完了していた。急激に湧水量が増加したため、シールド機をエントランス内に押し込んだが、エントランスパッキンに足場などが挟まったため止水性が確保できず、シールド機が水没した。

原　因　◇**トラブルの原因になると思われた**、または、**トラブルの原因となった事項**

・立坑内掘削に伴い土留め壁が変形し、地盤改良体と土留め壁に隙間が生じて水みちとなった。
・地盤改良体に微小な未改良部分があった。

事前対策　◇**想定されたトラブル**に対し、**事前に取った対策**

・地盤改良体の健全性を確認するために、鏡部に探り孔を設けて湧水量を確認した。
・地盤改良体の造成径を鉛直ボーリングで確認した。
・坑口防護の安全性を確保するために、下部改良厚を約30%増やした。
・土留め壁の変形量を抑制するために、底版の改良厚を増やした。

事後処置　◇**実際に発生したトラブル**に対し、**発生後に取った処置**

・立坑内に水を張って、地盤改良（薬液注入）を実施した。
・さらには、鏡切り再開に先立って、坑口部分を凍結させた。

効果(結果)　◇**事前対策**、または、**事後処置**を実施した後の**効果**、または**結果**

・地盤改良および坑口の凍結により、安全に再発進することができた。

ｼｰﾙﾄﾞ工法	泥水	(特記：　　) 仕上り径φ	3,600 mm
ﾏｼﾝ外径 φ	4,590 mm	掘削対象土	
施工延長	570 m	(該当に○)	

掘削対象土	軟弱粘性土	硬質粘性土	砂	砂礫	岩
(該当に○)			○		

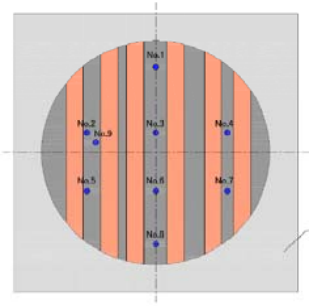
影　響　◇**トラブルにより想定された**、または、**実際に発生した安全・環境への影響**

近接構造物への影響。

トラブル発生箇所の条件（土被り、地下水位、周辺環境、線形、シールド・セグメント仕様など）

・シールド外径4.59m
・土かぶり約30m、最大水圧0.35MPa
・発進防護：高圧噴射撹拌工および薬液注入

概要説明図（トラブルの現象・対策・処置等に関する説明略図、スケッチ、マンガなど）



湧水確認探り孔(8か所:合計15L/分)

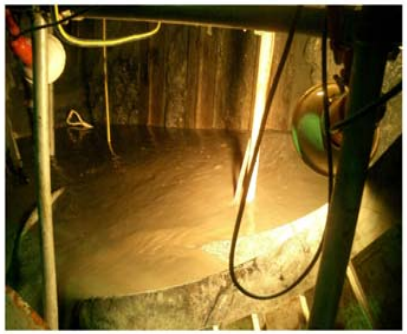
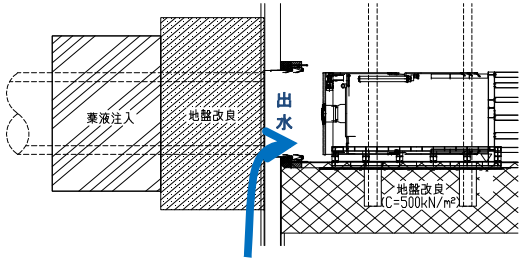


写真　出水状況



出水イ

◇ 安全・環境に関わるシールド工事トラブル事例 ◇

事例番号 202-02

タイトル	砂礫、岩盤の層境部でのスクリューコンベアからの異常出水

工　種	掘進工	分　類	地下水

現　象　◇**想定された**、または、**実際に発生したトラブル**

上部が砂礫、下部が風化花崗岩の区間を掘進中に、スクリューコンベアのゲートから出水し、坑内が冠水した。

出水から止水までの状況
- ゲートからの水量増（1.5㎥/分）　坑内水位上昇にて高圧をダウン、避難、坑内冠水
- 以後　水替え水中ポンプ増設してにて、排水開始
- 水位順次低下
- ベルコン撤去、リボンスクリュー内閉塞目的の薬注開始
- スクリューゲート内に鋼板溶接、スクリューからの出水停止

原　因　◇**トラブルの原因になると思われた**、または、**トラブルの原因となった事項**

当該箇所の施工状況が
- 地表面沈下が無かった
- 出水前の数日から取り込んだ掘削土にレキが含まれていなかった
- 取り込んだ掘削土が磨り潰した粗砂の様であった。
- 出水前の数日から掘進量が低下している

を考慮すると、シールド機はある程度岩盤に入った状態と考えられる。また、数日前からゲートからの奮発が多発しており、礫の摩耗により「ゲート閉」が難しい状況にあった。

土質調査報告書によると、岩盤部においては湧水が多くはないと想定されていたが、岩盤部の境界面付近が弱風化状態にあり開口亀裂が発達し想定以上の地下水供給があり、想定外の異常出水となったと推定される。

事前対策　◇**想定されたトラブル**に対し、**事前に取った対策**

礫層掘進のため、リボンスクリューを採用した。

また、止水性の観点では、帯水層を含む地盤や地下水の豊富な地盤においては二重ゲート(Wゲート)が望ましいが、Wゲート構造のシールドマシンが当工区の曲線部40Rを施工すると、セグメントと接触するまたは坑内設備に接触することとなり、検討の結果、ゲートの止水構造として通常のシングルゲートを採用した。

事後処置　◇**実際に発生したトラブル**に対し、**発生後に取った処置**

スクリューゲートの止水後、
- スクリューゲート交換
- 磨耗部を肉盛りにて補修

して掘進を再開した。

効果(結果)　◇**事前対策**、または、**事後処置**を実施した後の**効果**、または**結果**

湧水が最も懸念されたトラブル地点前の河川横断時も不具合無く掘進可能であったとことも考慮すると、砂礫層、礫層の掘進において事前対策は功を奏したと考える。しかし、礫によるスクリューゲートの摩耗は想定外であった。

スクリューゲート交換後は、異常なく掘進した。

ｼｰﾙﾄﾞ工法	泥土圧	(特記：　　) 仕上り径φ	水道配管φ400, 1000㎜
ﾏｼﾝ外径 φ	2,130 ㎜	掘削対象土	軟弱粘性土 / 硬質粘性土 / 砂 / 砂礫 / 岩
施工延長	922 m	(該当に○)	／ ／ ／ ○ ○

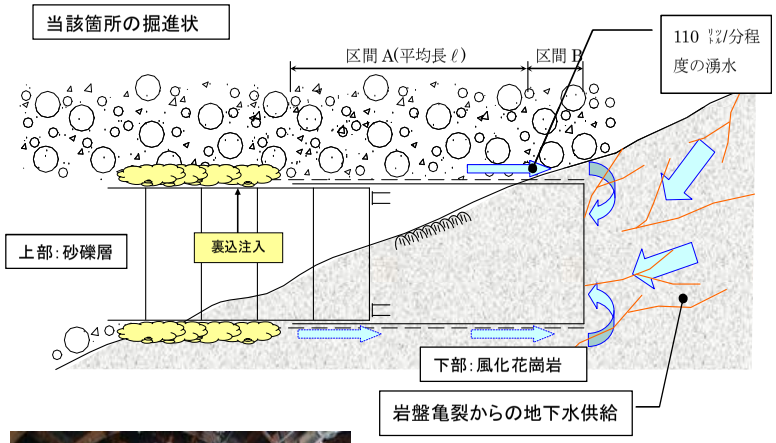
影　響　◇**トラブルにより想定された**、または、**実際に発生した安全・環境への影響**

即座に地表面の確認を行ったが、陥没・沈下などの影響はなかった。
トラブル発生個所は直上がJR線のため、24時間監視体制のもと測量・監視を行った。
また、JR営業時間外に空洞調査および充填注入を行った。

トラブル発生箇所の条件（土被り、地下水位、周辺環境、線形、シールド・セグメント仕様など）

土被り：約16m
地下水位：TP-5.86
周辺環境：直上JR線
線形：R=40mに差し掛かる直前
シールド機：φ2130㎜　泥土圧シールド掘進機（中折れ型）
セグメント：外径φ2000㎜（スチール）L=900、500mm

概要説明図（トラブルの現象・対策・処置等に関する説明略図、スケッチ、マンガなど）



坑内の冠水状況(水位低下

◇ 安全・環境に関わるシールド工事トラブル事例 ◇

事例番号 204-03

タイトル	軸方向挿入型Kセグメントの抜け出し現象〔想定トラブル〕

工　種	掘進工	分　類	セグメント

現　象　◇**想定された**、または、**実際に発生したトラブル**

軸方向挿入型Kセグメントを使用するワンパスセグメントにおいて、次リングのセグメントを組み立てるために、Kセグメントのジャッキを引き抜くと、切羽側に抜け出てくる可能性がある。

原　因　◇**トラブルの原因になると思われた**、または、**トラブルの原因となった事項**

ワンパス継手は、軸方向に継ぎ手をスライドさせることで、セグメント間の継手として機能する構造である。そのため、シール材の反発力やセグメントに働く土圧・水圧による圧縮力の軸方向分力により抜け出し力が、リング継手の耐力を超える場合がある。その条件下では、ジャッキを抜いたときにKセグメントの抜け出しが発生する。

事前対策　◇**想定されたトラブル**に対し、**事前に取った対策**

Kセグメントの組立後に、抜け出し防止金具により切羽側セグメントとの間で固定する。

事後処置　◇**実際に発生したトラブル**に対し、**発生後に取った処置**

事前対策を行っているため実際のトラブルは発生していない。

効果(結果)　◇**事前対策**、または、**事後処置**を実施した後の**効果**、または**結果**

事前対策を行っているため実際のトラブルは発生していない。

ｼｰﾙﾄﾞ工法	その他	(特記：　　) 仕上り径φ		mm
ﾏｼﾝ外径 φ		mm	掘削対象土	
施工延長		m	(該当に○)	

軟弱粘性土	硬質粘性土	砂	砂礫	岩
○	○	○	○	○

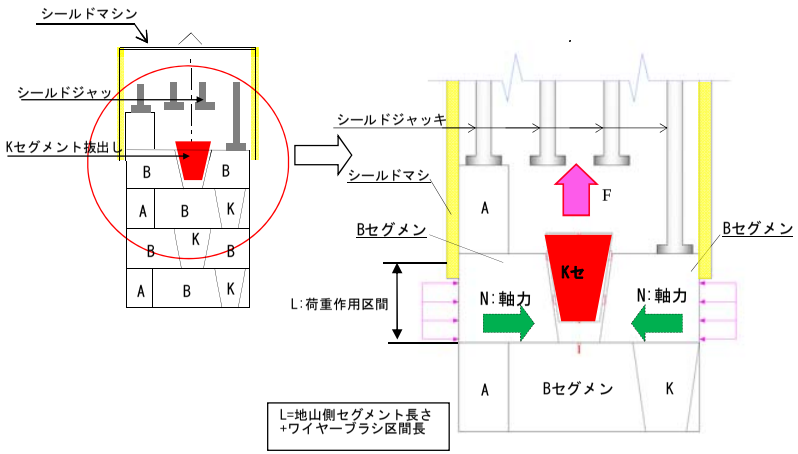
影　響　◇**トラブルにより想定された**、または、**実際に発生した安全・環境への影響**

Kセグメントの抜け出しが発生した場合、目開き部より地下水・土砂の等の流入が起こり、地表面沈下を発生させる場合がある。また、最悪の場合はKセグメントの脱落も考えられ、その場合には坑内水没の恐れがある。

トラブル発生箇所の条件（土被り、地下水位、周辺環境、線形、シールド・セグメント仕様など）

シール材の反発力やセグメントに働く土圧・水圧による圧縮力の軸方向分力により抜け出し力が、リング継手の耐力を超えた場合で、様々な条件によるため、事前の検討が必要。

概要説明図（トラブルの現象・対策・処置等に関する説明略図、スケッチ、マンガなど）



◇ 安全・環境に関わるシールド工事トラブル事例 ◇

事例番号 301-03

タイトル	到達立坑へのシールド到達時における出水

工　種	到達工	分　類	到達掘進

現　象 ◇**想定された**、または、**実際に発生したトラブル**

シールドの到達立坑への到達時に、鏡を切ってシールド機を立坑内へ迎え入れる際に、毎分1m3以上の出水が発生した。
鋼矢板土留めの鏡を切断し終わった時点では出水はなく、その後カッター回転させながら、僅かに推進させた時点で出水が始まった。

原　因 ◇**トラブルの原因になると思われた**、または、**トラブルの原因となった事項**

到達防護工を二重管ダブルパッカーにて施工しており、マンシェットチューブはシールド機通過部を切削可能な材質としていたはずであったが、そのうち2本程度が、通常のマンシェットチューブであったため、カッターに巻きつくかたちで、引き抜かれ、水の多い上部砂礫層からの水を呼び込んだ。
到達時はシールド面盤にマンシェットチューブの上部（非注入区間用）の塩ビパイプが絡みついていた。

事前対策 ◇**想定されたトラブル**に対し、**事前に取った対策**

到達は鋼矢板土留めであり、シールド機が鋼矢板から20cm程度に近づいた後、上下左右、中央部に点検孔を設けて水が出ない事を確認するとともに、緊急時に注入ができるように、薬液注入業者を待機させていた。
裏込注入にゲルタイムを早くするとともに、初期強度発現の高くなる混和材を添加していた。
到達部には、到達坑口とシールド到達用パッキンを設置していた。

事後処置 ◇**実際に発生したトラブル**に対し、**発生後に取った処置**

とりあえず、到達パッキンまで出水させながら、シールド機を押出し、パッキンで締め付けたが、到達坑口と鋼矢板間からも水が出て止まらないため、ゲルタイム3秒程度の裏込材を最大流量（毎分100L）程度でシールド機前胴部から注入を行った結果出水は止まった。
土砂の呼び込みは僅かであったと考えられたが、路面陥没対策と、シールド機引抜きのための補足注入として、到達後直ちに地上から数箇所ボーリングマシンで削孔し、ＬＷ注入を実施した。

効果(結果) ◇**事前対策**、または、**事後処置**を実施した後の**効果**、または**結果**

①周辺への影響
路面観測をしばらく続けたが周辺地盤への影響はみられなかった。
②シールド掘進
シールド機は引揚げなければならず、その後全体を押出したが、出水はなかった。（ゲルタイムの早い裏込注入を使用。

シールド工法	泥水	(特記：　　) 仕上り径φ	2,400 mm
マシン外径 φ	3,030 mm	掘削対象土	
施工延長	2,000 m	(該当に○)	

掘削対象土	軟弱粘性土	硬質粘性土	砂	砂礫	岩
(該当に○)			○	○	

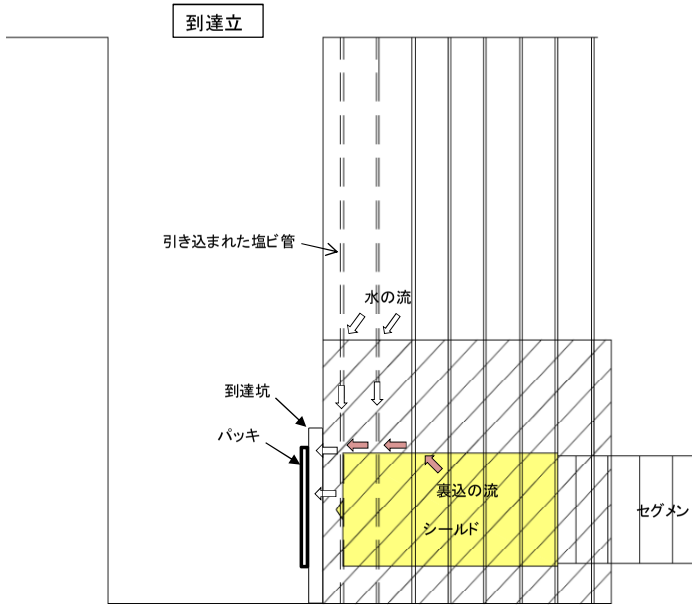
影　響 ◇**トラブルにより想定された**、または、**実際に発生した安全・環境への影響**

①周辺への影響
到達立坑は、大都市の人口密集地帯駅前の幅員がせまい主要地方道であり、交通量も多く、出水が長引けば大量の土砂流入にもつながり、近接する家屋の沈下や、道路陥没を引き起こす可能性があった。通常の裏込注入では水の勢いで流されると思われるが、ゲルタイムの早い特殊な裏込により、危険を回避できた。また、設計では計上されていなかった到達坑口を設置していたことが、災害につながらなかった最も大きな要因と考える。

トラブル発生箇所の条件（土被り、地下水位、周辺環境、線形、シールド・セグメント仕様など）

土被り：11m　地下水位：GL-1.4m　土質：シールド機掘進箇所は透水係数が高く（10-2cm/secオーダー）水の豊富な砂礫、上部は砂層。施工箇所は歩道も含めた道路幅員が14m、シールドセンターから直近の家屋まで3.8m。
シールド機：φ3030mm泥水式シールド、セグメント外径φ2900mm（鋼製セグメント）

概要説明図（トラブルの現象・対策・処置等に関する説明略図、スケッチ、マンガなど）



◇ 安全・環境に関わるシールド工事トラブル事例 ◇

事例番号 501-1

タイトル	大深度におけるセグメント解体ヶ所からの異常出水

工　種	地中接合	分　類	地下水

現　象 ◇**想定された**、または、**実際に発生したトラブル**

ＧＬ－５４ｍの洪積砂質土層において、シールドトンネルの地中接合のため凍結工法にて地盤改良を行いセグメントを解体して凍土の掘削に入ったところ、凍土とセグメントの接続面より異常出水が発生し、トンネル内に土砂が流入するとともに地表面沈下が発生した。

原　因 ◇**トラブルの原因になると思われた**、または、**トラブルの原因となった事項**

軸圧縮力を受けたセグメントを解体したことで、既存セグメントの変位が起こり、このことにより凍土とセグメントの凍着部に亀裂が入り出水が始まった。

事前対策 ◇**想定されたトラブル**に対し、**事前に取った対策**

セグメントの開口に伴い、補強鋼材は設置していたが変位が起こることを想定していなかった。

事後処置 ◇**実際に発生したトラブル**に対し、**発生後に取った処置**

全長２，２００ｍのトンネル内に注水して出水を抑え、接続する下側のトンネルより凍結管を打設して再度凍結を行い、トンネル内を排水ののち、流入土砂を搬出して接続工を施工した。
崩壊した地山には、地上より地盤改良を行い地山の補強を行い沈下の発生を防止した。

効果(結果) ◇**事前対策**、または、**事後処置**を実施した後の**効果**、または**結果**

地表面の沈下は、最大１４ｍｍであった。

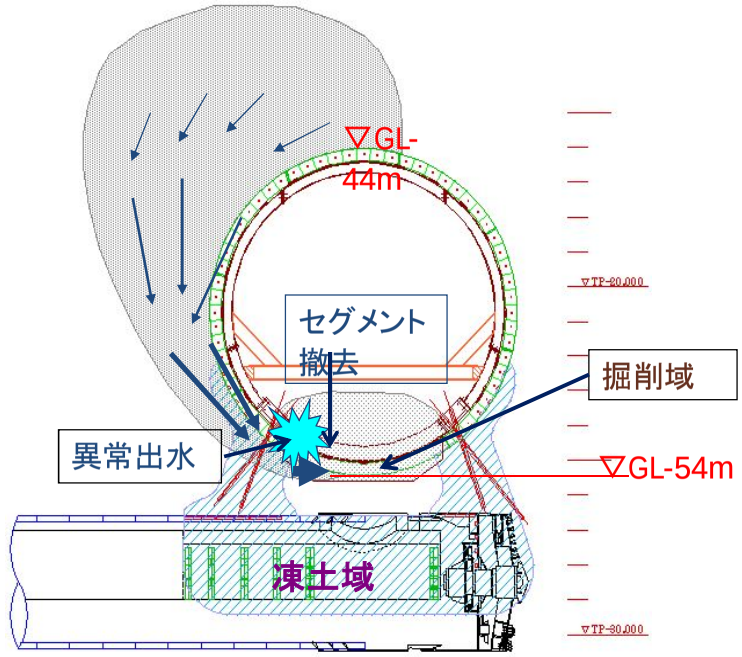
ｼｰﾙﾄﾞ工法	その他	(特記：	) 仕上り径φ	8,500	mm
ﾏｼﾝ外径 φ	9,400	mm	掘削対象土	軟弱粘性土	硬質粘性土	砂	砂礫	岩
施工延長	2,200	m	(該当に○)	○		○		○

影　響 ◇**トラブルにより想定された**、または、**実際に発生した安全・環境への影響**

大規模な陥没や、沈下を想定したが、実際は最大１４ｍｍの沈下であった。

トラブル発生箇所の条件（土被り、地下水位、周辺環境、線形、シールド・セグメント仕様など）

概要説明図（トラブルの現象・対策・処置等に関する説明略図、スケッチ、マンガなど）



おわりに

シールド工法は、これまで都市部周辺などにおけるトンネル構築にあたっての主要な工法として位置づけられ、多くの実績を有している。今後においてもわが国の主要なトンネル工法として、益々多用されると考えられる。

近年では、輻輳する都市部での地下空間の有効利用の観点などから、トンネル用途に応じた効率的な断面形状や様々なニーズなどに対応すべく、一部区間の断面を拡大する拡大シールドや複円形シールド、楕円形などの円形以外の断面形状のシールド技術や地中接合技術、セグメント組立技術、大規模な分岐・合流技術、立坑を必要としない地上発進技術など種々の新しい技術開発がされている。このようなシールド技術の多様化や自動化などは、施工性や安全性の向上が期待できる反面、一方で、複雑な施工環境下において高度な作業が求められることも予想され、施工時における安全環境の面からは、これまでになかった新たなトラブルの発生や事故などに繋がることも考えられる。

このような中、シールド施工時における災害防止の一助となることを目的として、シールド工事施工実績を有する日本トンネル技術協会の所属団体会員の施工会社にご協力をいただき、シールド施工時におけるトラブル事例として、想定事例2件を含む59件の事例を収集することができた。本事例調査で収集されたトラブル事例の中には、作業員による誤操作や確認を怠ったことが原因によるトラブルから、セグメントの抜け出しや異常出水トラブルなど、一つ間違えば大きな災害に繋がる事例なども散見された。

今後、シールド工事のさらなる安全性向上を図っていくためには、本事例調査で収集された現場で生じているトラブルを経験知として共有・伝承し、施工時のみならず設計・計画段階から、トラブルの防止や発生時の対策などを様々な観点で捉え、反映させていくことが重要と考えられる。

本書が今後のシールド施工時における災害防止の一助となれば幸いである。なお、施工時のトラブルはシールド技術の変遷とともに変化していくと考えられることから、継続的な事例調査の実施と蓄積が望まれる。

最後に、本事例調査にご協力頂いた関係各社および取りまとめに際してご協力頂いた関係各位に深甚の謝意を表します。

安全環境小委員会　　シールドトラブル事例調査WG　主査　石村利明

ゼロ災害を目指して！切磋琢磨