

シールドトンネル施工技術安全向上協議会

中間とりまとめ

平成 25 年 3 月

シールドトンネル施工技術安全向上協議会 事務局

国土交通省大臣官房技術調査課

独立行政法人 土木研究所

公益社団法人 土木学会

目 次

はじめに

1 日本のシールドトンネル工事の現状

- 1.1 日本におけるシールド工事の実施状況 P01
- 1.2 シールド工事における技術基準、技術開発経緯 P06

2 倉敷市の事故に関する検討

- 2.1 倉敷市の事故について（経緯） P10
 - 2.1.1 発生時点の状況 P10
 - 2.1.2 これまでの検討経緯 P11
 - 2.1.3 今後の予定（シールド機引き揚げ等） P11
- 2.2 シールドトンネル設計・施工中の現場への注意事項 P11
 - 2.2.1 要旨 P11
 - 2.2.2 シールドトンネル設計・施工中の現場への注意事項（中間報告） P12

3 シールド工事に関する聞き取り調査

- 3.1 要旨 P23
- 3.2 シールド工事を行う建設会社からのアンケート調査による結果とりまとめ P23
- 3.3 アンケート調査結果に基づくシールド設計・施工における注意事項 P26

4 日本のシールドトンネル事業（設計・施工）における現状の課題

. P29

参考資料

I 協議会経過と公表資料

I.1	協議会規約・委員名簿		i
I.2	協議会の開催経過		iv
I.3	公表資料		vii

シールドトンネル施工技術安全向上協議会 URL
<http://www.mlit.go.jp/tec/kanri/stnkyougikai.html>

はじめに

これまで比較的工事事故が少ないと言われてきた「シールド工法」

日本が世界に誇る技術の信頼回復を目指して

平成24年2月に発生した岡山県倉敷市の水島石油コンビナート内でのシールドトンネル掘削工事現場での事故（以降、「倉敷市の事故」という）を受け、国土交通省として、「再発防止のため技術的検討を行う協議会」を設置することとしている。（平成24年3月9日国土交通大臣発言）

これにより、シールドトンネルの設計・施工技術について、安全面等からの向上を図るため、技術的な検討を行うことを目的として「シールドトンネル施工技術安全向上協議会（委員長：今田 徹 東京都立大学 名誉教授（トンネル工学））」（以降、「シールド協議会」という）を設置している。

シールド協議会では以下の内容について検討することとしているが、倉敷市の事故については岡山県警にて捜査中の案件であることから、シールド協議会の審議は非公開となっている。

●シールド協議会 検討事項

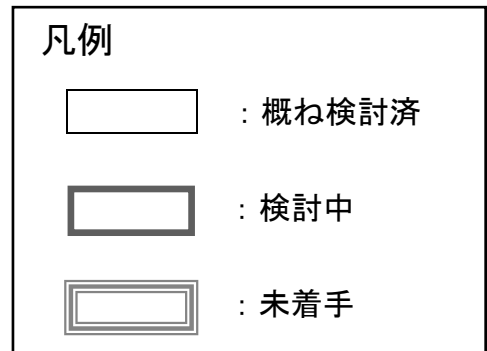
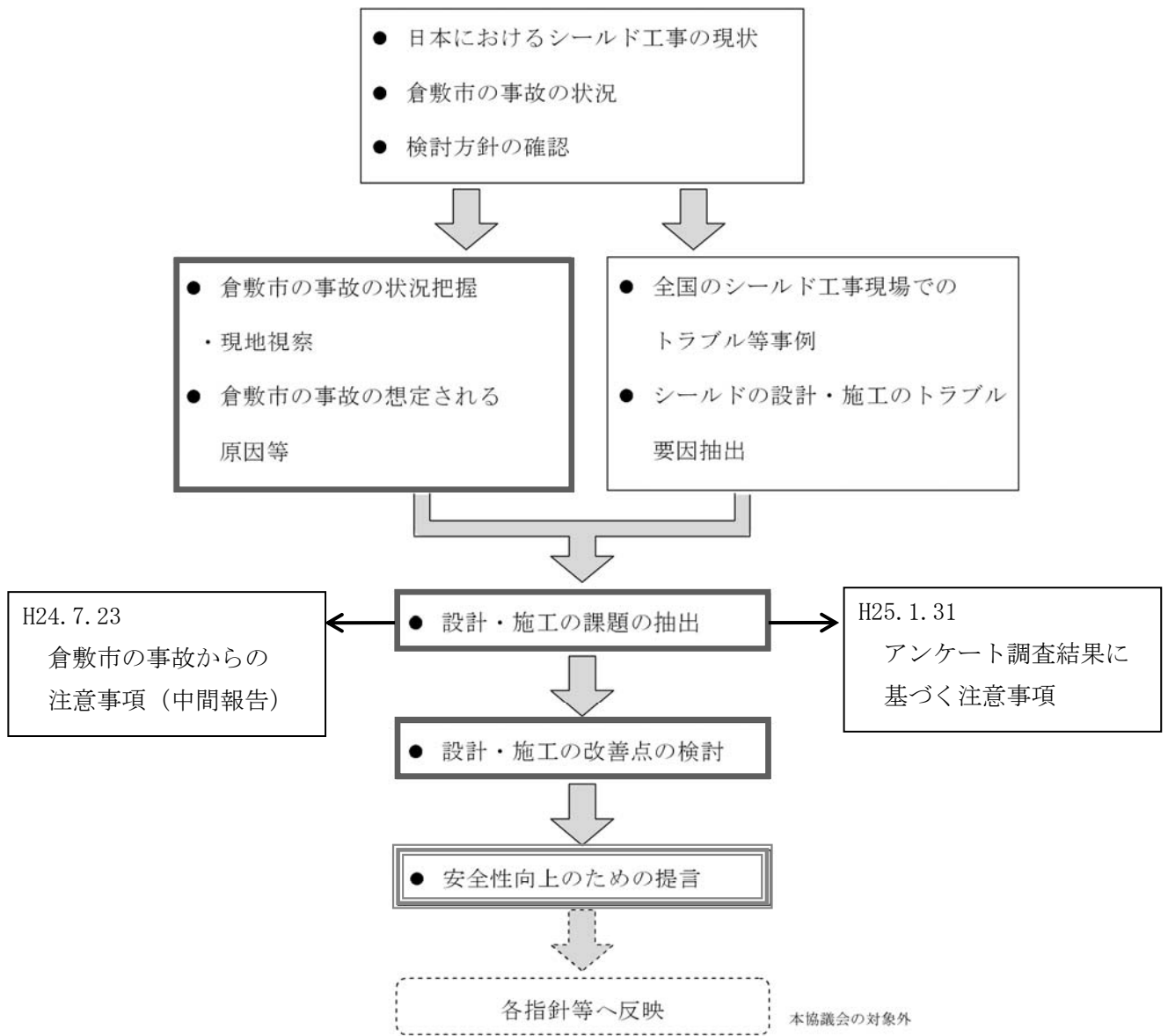
- （１）倉敷市で発生したシールドトンネル事故の設計・施工方法等の状況把握
- （２）全国のシールドトンネルの設計・施工上の安全対策の状況把握
- （３）上記を踏まえた課題の抽出と対応策の検討
- （４）シールドトンネルの安全対策に関わる設計・施工技術の提言

シールド協議会では、これまでに５回の協議会等を開催し、シールド工事に関して、倉敷市の事故の情報及び全国的なトラブルやヒヤリハットから、再発防止に向けた検討を進めてきた。

倉敷市の事故に関して、発生のメカニズムを特定するには、現時点では、情報が不足しているものの、今後、鹿島建設㈱によるシールド機の引き揚げが予定されていることから、これによる新たな情報を得た上で、最終的な事故発生のメカニズムを特定していく予定である。

しかしながら、シールド機の引き揚げには時間を要することから、これまでの検討により整理された事項を「中間とりまとめ」という形で整理、公表することとした。

今後も引き続き、シールドトンネルの設計・施工について、安全性の向上、技術的な改善等の検討を進めていく。



参考図 シールドトンネル施工技術安全向上協議会 検討状況（平成 25 年 3 月時点）

1 日本のシールドトンネル工事の現状

1.1 日本におけるシールド工事の実施状況

(1) シールド工事件数

シールド工事件数および施工延長の推移状況を図-1 に示す。

年度別のシールド工事件数、施工延長は、1990 年度で 340 件、総延長 330km 程度であったが、90 年度以降工事件数の減少とともに施工延長も減少傾向にある。近年(07 年度～10 年度)では、60～70 件、総延長 100km 程度で推移している。

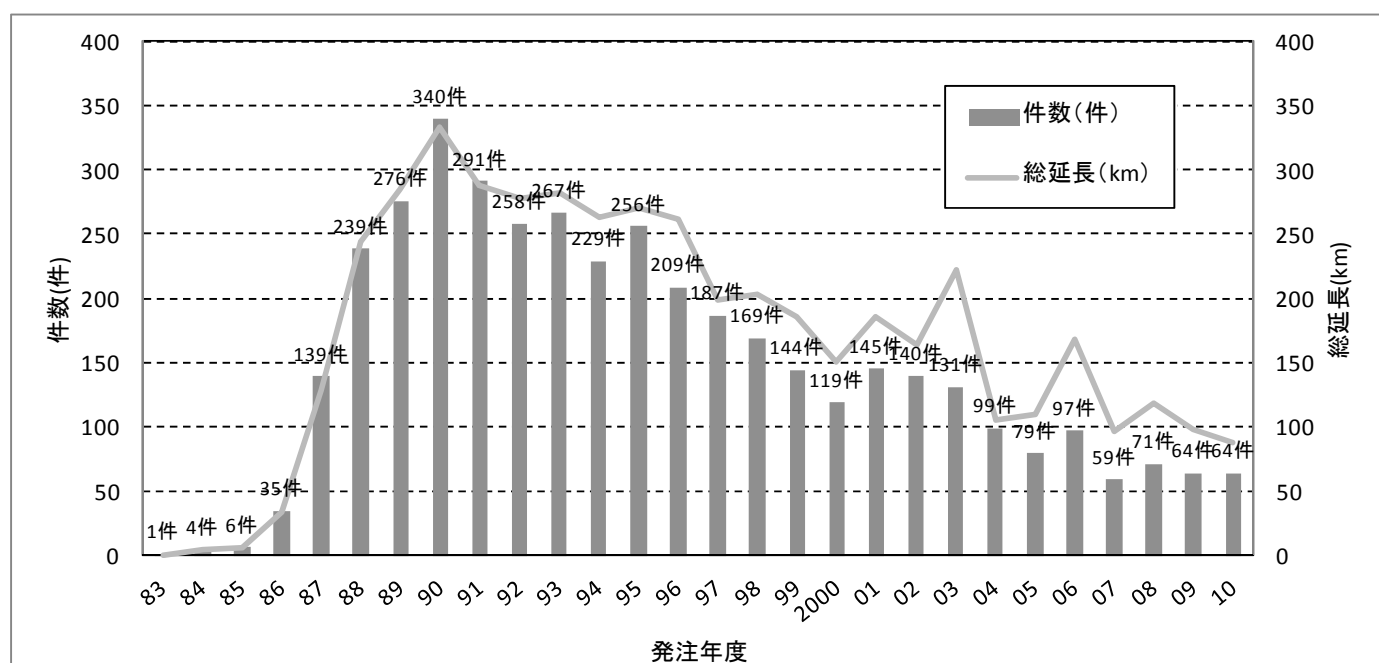


図-1 年度別シールド工事件数、施工延長の推移状況

出展：本資料に示したシールドの工事件数、割合等のデータは、シールド工法技術協会のホームページに掲載のシールド工事実績グラフ（PDF）の図を引用している。（以降、図-9 まで）

（２）過去 10 年間ににおける工事実施状況

①トンネルの用途

過去 10 年間(01 年度～10 年度)におけるトンネル用途別工事件数の推移、割合を図-2、図-3 に示す。

トンネル用途別では、各年度ともに下水道が最も多くの工事件数となっている。過去 10 年間の工事件数の割合が高い順から、下水道が約 53%、地下河川・貯留管が約 10%、上水道が約 9%、ガスが約 7%となっている。

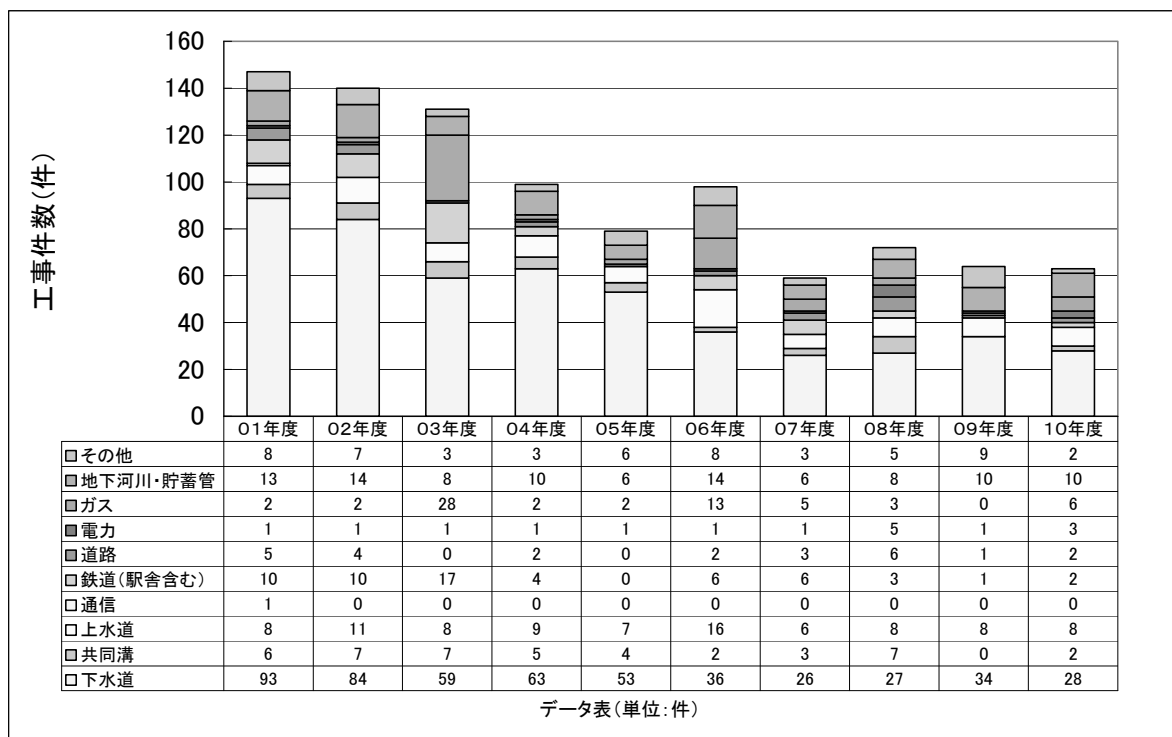


図-2 トンネル用途別工事件数の推移（年度別 01～10 年度）

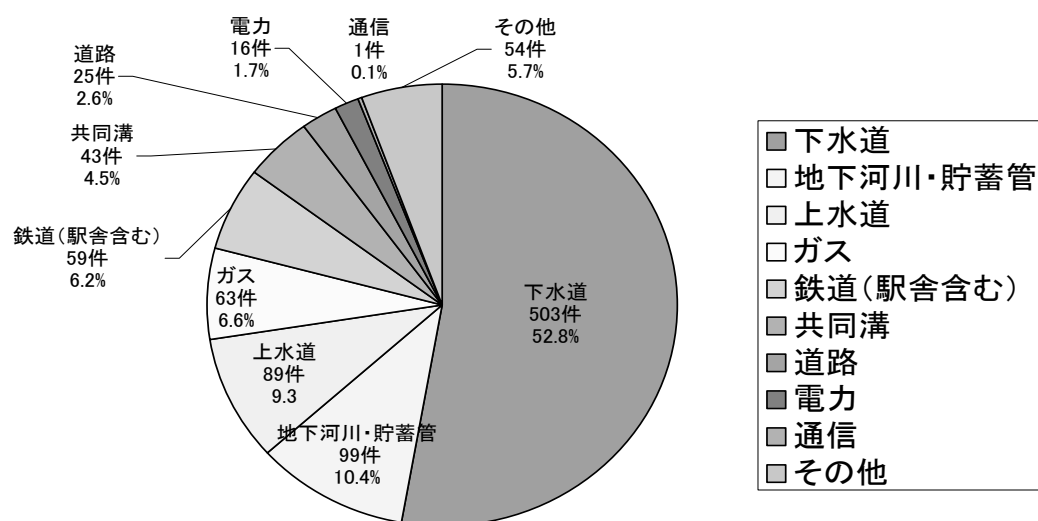


図-3 トンネル用途別工事件数の割合（年度別 01～10 年度）

②シールドの機種

過去10年間(01年度～10年度)におけるシールド機種別工事件数の推移、割合を図-4、図-5に示す。

シールド機種別では、各年度ともに泥土圧、泥水の工事件数が多く、ほとんどの工事は、泥土圧か泥水で施工されている。特に、泥土圧の工事件数が多く、各年度ともに概ね7割以上を占めている。

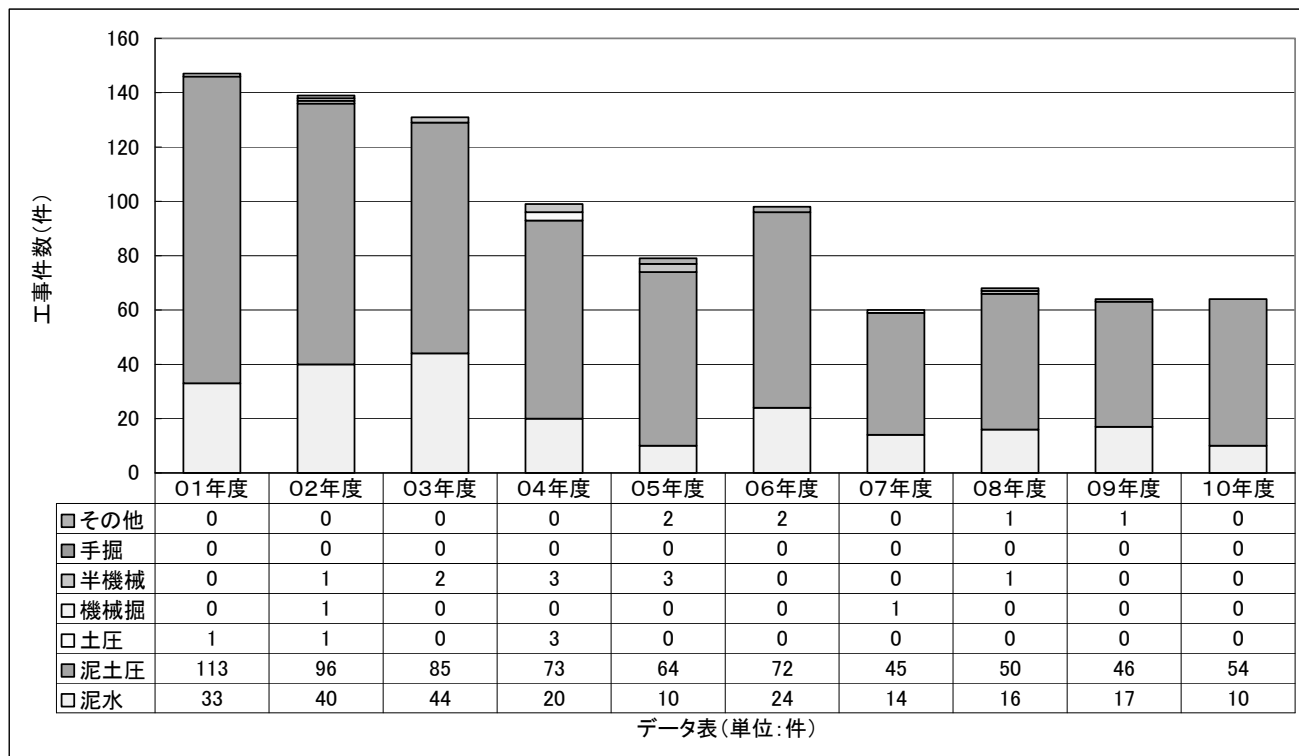


図-4 シールド機種別工事件数の推移(年度別01～10年度)

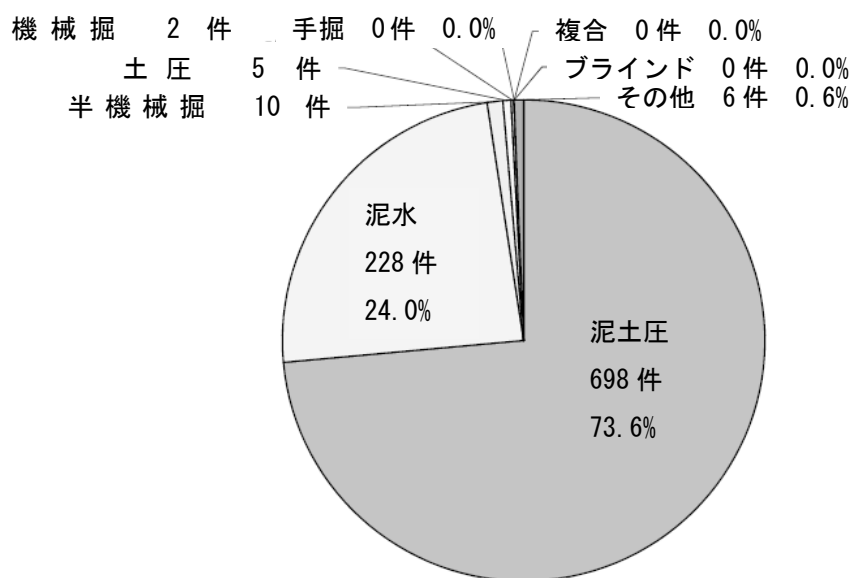


図-5 シールド機種別工事件数の割合(年度別01～10年度)

③シールド機の口径

過去 10 年間（01 年度～10 年度）におけるシールド機径別工事件数の割合を図-6 に、トンネル用途別のシールド機径比率を図-7 に示す。

シールド機の口径は、小さい口径で多くの件数があり、口径が大きくなるにしたがって工事件数が少なくなっている。口径 3000mm 未満が最も多くの工事件数があり全体の約 49%を占めている。次いで、3000mm 以上 6000mm 未満が全体の約 41%であり、6000mm 未満の口径の工事件数が全体の約 90%を占めている。

トンネル用途別のシールド機径比率は、通信、ガス、上水道の約 8 割以上が口径 3000mm 未満の工事件数となっている。また、下水道、電力の約 4～5 割が口径 3000mm 未満の工事件数となっている。道路、鉄道、地下河川・貯留管等で口径 9000mm 以上の工事件数がある。

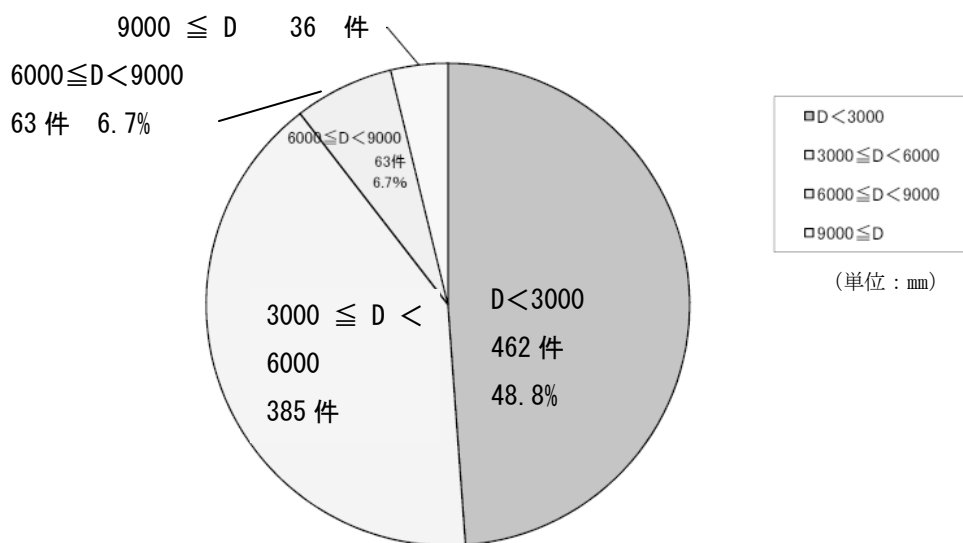


図-6 シールド機の口径別工事件数の割合（年度別 01～10 年度）

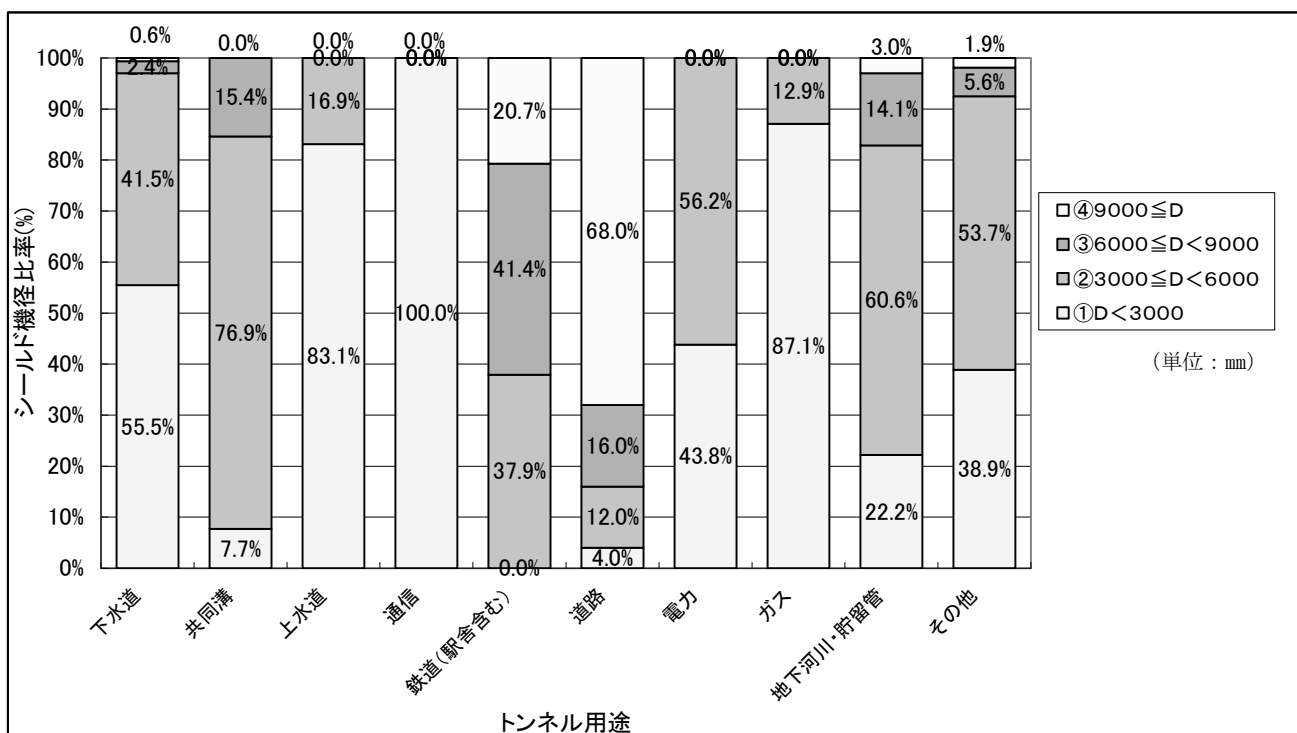


図-7 トンネル用途別シールド機径比率（年度別 01～10 年度）

④セグメントの種類

過去10年間（01年度～10年度）におけるセグメント種別工事件数の割合を図-8に、トンネル用途別のセグメント種別を図-9に示す。

セグメントの割合は、鋼製が最も多く全体の工事件数の約55%を占めている。次いで、RCが約40%であり、鋼製とRCで工事件数の約95%を占めている。

トンネル用途別のセグメント種別は、口径の小さい通信、ガス、上水道、下水道のトンネルで鋼製を使用している割合が多い。また、比較的、口径の大きい鉄道、道路、地下河川・貯留管等でRCを使用している割合が多い。

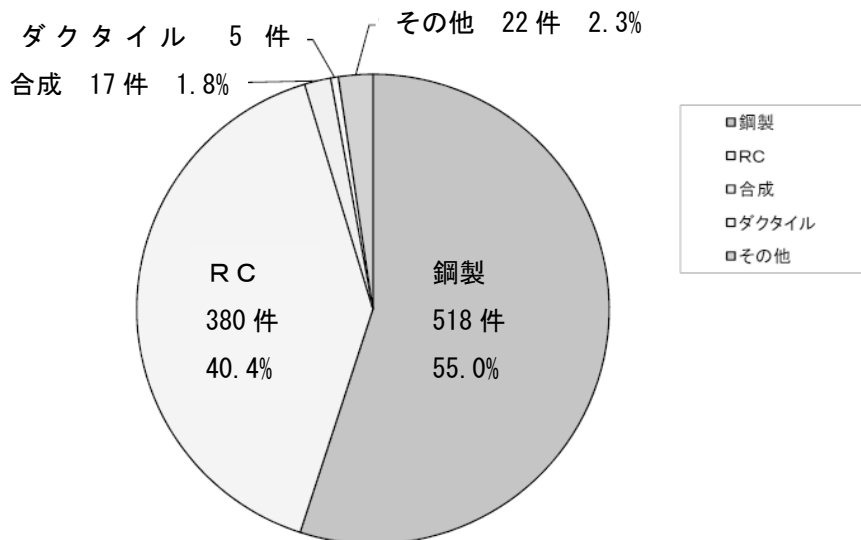


図-8 セグメント種別工事件数の割合（年度別 01～10年度）

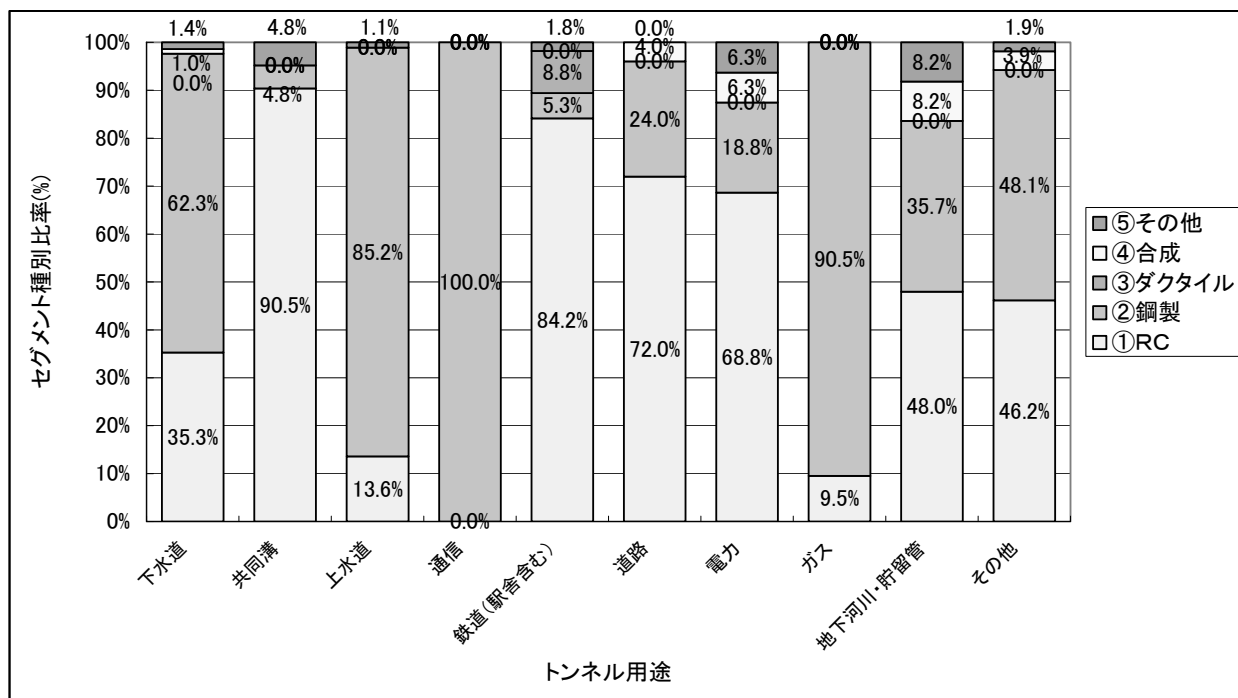


図-9 トンネル用途別セグメント種別比率（年度別 01～10年度）

1.2 シールド工事における技術基準、技術開発経緯

(1) シールド工事における技術基準

現在、シールド工事において主に用いられている技術基準としては「2006 年制定 トンネル標準示方書 シールド工法・同解説」((社)土木学会、平成 18 年 7 月)がある。この基準は、シールド工法の調査、計画、設計および施工管理についての一般的な標準を示したものとして広く活用されている。また、シールドの実績件数が最も多い下水道トンネルのセグメントについては、「シールド工事用標準セグメント」((社)土木学会、平成 13 年 7 月)がある。

シールド工事における主な技術基準類・指針類を表-1 に示す。このほか、各事業者毎にシールド関連の基準類や指針類を作成している。

表-1 シールド工事における主な技術基準類・指針類

名称	発行機関	発刊時期 (上段：初版年) 下段：最新版	主な適用範囲
2006年制定 トンネル標準示方書 シールド工法・同解説	(社)土木学会	(昭和44年) 平成18年7月	シールド工法の調査、計画、設計、施工および 施工管理についての一般的な標準を提示
シールド工事用標準セグメント ー下水道シールド工事用セグメント ー (JSWASA-3, 4-2001)	(社)土木学会・ (社)日本下水道協 会 共編	(昭和48年) 平成13年7月	・シールド工事に使用する鋼製およびコンク リート系のセグメントについて規定 ・下水道のシールド工事に使用する鋼製および コンクリート系のセグメントについて規定
シールドトンネル設計・施工指針	(社)日本道路協会	(平成21年) 平成21年2月	シールド工法により建設する道路トンネルおよ び共同溝に適用
鉄道構造物等設計標準・同解説-シー ルドトンネル	(財)鉄道総合技術 研究所	(平成9年) 平成9年7月	都市域の土砂地山あるいは固結度の低い地山中 に、鉄道トンネルを建設する場合の調査、計画 および設計に適用
下水道シールド工事用二次覆工一体 型セグメント設計・施工指針	東京都下水道局	(平成14年) 平成21年2月	シールド工法の工期短縮と建設コストの削減を 目指して、東京都下水道局では試行工事と各種 の実験を通して技術の開発や検証を行い、これ らで得られた技術や手法を分析・整理したもの
トンネル構造物設計要領 (シールド 工法編)	首都高速道路(株)	(平成15年) 平成20年7月	首都高速道路(株)がシールド工法によって築造 するトンネルの本体構造物の設計に適用

(2) 技術開発経緯

国内におけるシールド工法の技術開発経緯として、主なシールド技術の実績を表-2 に示す。

シールド工法が、わが国の都市トンネルの施工法として最初に導入されたのは昭和 30 年代である。それ以来、さまざまな技術開発が行われ、現在ではわが国の都市トンネルの主要な工法として位置づけられている。

シールド技術の主な変遷は、昭和 40 年代までは圧気併用の手掘り式シールドが多く占めていたが、その後、省力化や安全確保などの面から切羽の安定性の向上が期待できる泥水式シールド、土圧式シールドなどの密閉型シールドの技術が開発された。その結

果、昭和 50 年代には手掘り式シールドが減少し、泥水式シールド、泥土圧式シールドなどの密閉型シールドが主流を占めるようになり、現在に至っている。

その後、昭和 60 年頃から、輻輳する都市部において地下空間の有効利用の観点等から、トンネル用途に応じた効率的な断面形状のニーズ等に対応し、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が開発された。一方で、シールドの口径も比較的小さい断面であったものが、シールド外径 14m を超える大断面の東京湾横断道路トンネルなどの施工実績も出始めるとともに、地中接合技術、セグメント組立技術およびそれに伴う各種のセグメント継手構造、長距離掘進技術などの種々の技術が開発された。

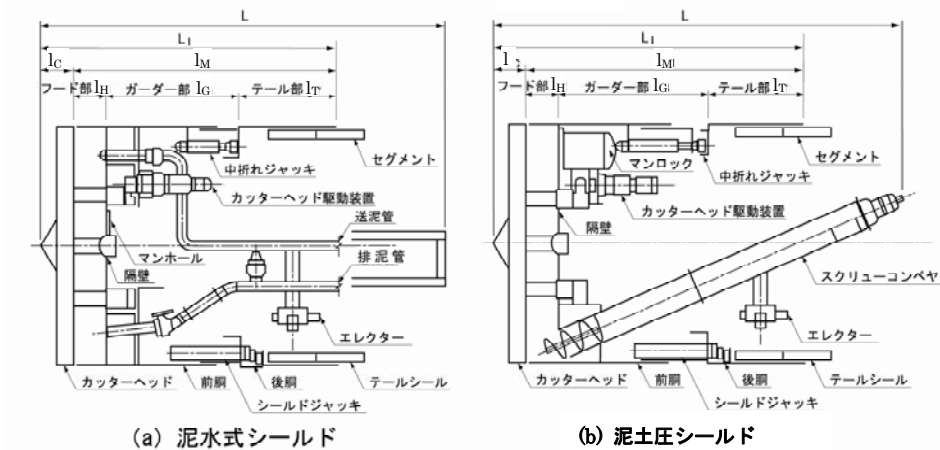
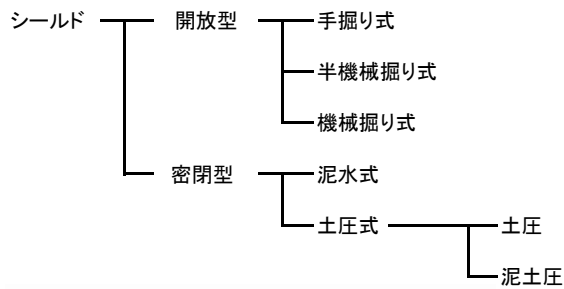
近年では、コスト縮減、工期短縮のための高速施工やさらなる長距離掘進に対応するため、二次覆工省略、セグメントの薄肉化、セグメントの幅広化の傾向にあるとともに、これまで別々に実施していたシールド掘進とセグメント組立てを同時に行う同時施工技術などが開発されている。また、このほか、道路トンネルを対象とした大規模な分岐・合流技術、立坑を必要としない地上発進技術も開発されている。

表-2 国内における主なシールド技術の実績

西暦	年 元号	主な事項	トンネル名等
1920	大正9年	国内最初のシールド工法の適用	国鉄羽越線折渡トンネル
1957	昭和32年	ルーフシールド（日本の都市土木でシールドを採用した最初の事例）	帝都高速度交通営団地下鉄4号線永田町、延長231m
1960	昭和35年	円形シールド	名古屋市地下鉄覚王山トンネル
1962	昭和37年	圧気シールド	東京、下水道石神井川下幹線、沖積
1963	昭和38年	機械掘りシールド	大阪、上水道大淀送水管
1965	昭和40年	ブラインドシールド	東京、下水道浮間幹線
1966	昭和41年	半機械掘りシールド	名古屋、下水道
1967	昭和42年	泥水式シールド	埼玉（浦和）、流域下水道
1974	昭和49年	土圧式シールド	東京、下水道水元幹線
1976	昭和51年	中折れシールド	東京、下水道井の頭上幹線
1977	昭和52年	限定圧気シールド	東京、水道神谷町新田幹線
1981	昭和56年	場所打ちライニング工法	東京、下水道、本田幹線
1984	昭和59年	拡大シールド	東京、電力、清洲橋通り管路
1988	昭和63年	複円形（MF）シールド（二連）	東京、JR京葉線
1991	平成3年	複円形（DOT）シールド（二連）	広島、新交通システム
1992	平成4年	地中接合技術 シールド発進・到達時の仮壁切削技術	東京、上水道、東南幹線工事、直径3.4m 電力、2.9m
1993	平成5年	密閉型楕円形シールド 球体シールド（縦横連続掘進） 密閉型矩形シールド	東京、下水道大森幹線 川崎、下水道観音川雨水滞水池 千葉（習志野）、下水道菊田川幹線
1994	平成6年	世界最大断面（円形、シールド外径14.14m）、各種の自動化技術（地中接合、セグメントの自動組立、高水圧、軟弱地盤での長距離掘進）	東京湾横断道路トンネル
1995	平成7年	複円形（MF）シールド（三連） 直角シールド 異形断面シールド	東京、下水道足立区花畑枝線工事 大阪、地下鉄駅シールド 横浜、下水道能見台雨水幹線 名古屋、小田井山田共同溝
1996	平成8年	トンネル径変化（二段式）シールド	東京、電力、環7東海松原橋管路、トンネル 外径7.1mと4.95m
1999	平成11年	ビット交換技術	川崎、雨水幹線
2002	平成14年	マルチ・マイクロ・シールド・トンネル（MMST）	東京、首都高速道路換気同道工事
2004	平成16年	分岐・合流技術（大規模地中切り上げ）	中央環状新宿線
2005	平成17年	耐火セグメント 分岐・合流技術（非開削）	秋田中央道路 中央環状新宿線
2007	平成19年	長距離掘進（8030m）、高速施工（目標平均400m／月）	中央環状品川線シールドトンネル
2008	平成20年	シールドの地上発進技術（URUP）	中央環状品川線大井地区トンネル工事

〈参考〉

主なシールド工法の分類

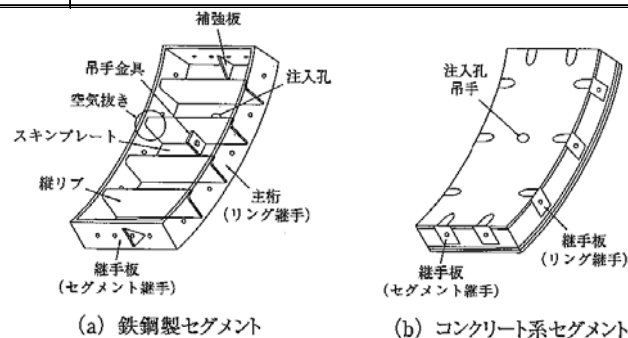


(a) 泥水式シールド

(b) 泥土圧シールド

主なセグメントの種類

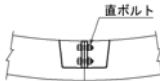
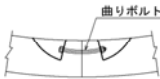
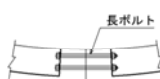
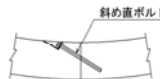
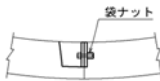
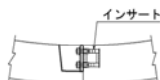
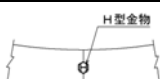
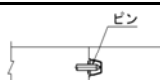
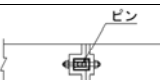
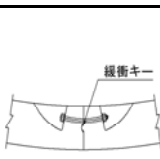
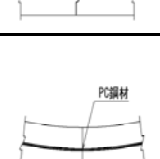
大分類	中分類	主な特徴
コンクリート系セグメント	鉄筋コンクリートセグメント	・耐久性に富み、耐圧縮性に優れている。 ・剛性が大きく、施工に留意すれば水密性に優れている。 ・重量が大きく、引張強度が小さい。 ・二次覆工を省略する場合には、鉄筋やトンネル内面に露出する鋼製構造部材の耐久性を確保する必要がある。 ・一般的に、鉄筋のかぶりを大きくすることや、鋼製構造部材の防食処理などの対策を採用している。 ・一般的に中・大口径のシールドトンネルにおいては鋼製セグメントやダクトイルセグメントに比べて安価である。 ・急曲線部や開口部などの特殊部を除いた一般部を中心として広く採用される。
	合成セグメント	・鋼材と鉄筋コンクリートまたは鋼材と無筋コンクリートとを組合せたものが一般的に用いられている。 ・鉄筋の代わりにラチストラスや平鋼、形鋼等を用いた鉄骨コンクリート系セグメントも開発されている。 ・合成セグメントは、同じ断面であれば高い耐力と剛性を得ることが可能であるが、鉄筋コンクリートセグメントに比べ高価である。 ・曲線部等でセグメント厚さを小さくして内空断面を確保する場合やトンネル延長の一部に大きな荷重が作用する区間がある場合等に用いられることが多い。
鉄鋼製セグメント	鋼製セグメント	・材質が均一で強度も保証され、優れた溶接性を有し、比較的軽量である。 ・鉄筋コンクリートセグメントに比較して変形しやすい。 ・ジャッキ推力や裏込め注入圧等が過大となるときは、座屈に対する配慮が必要である。 ・二次覆工を省略する場合、適切な防食工を施す必要がある。 ・一般に、小口径のシールドトンネルにおいて鉄筋コンクリートセグメントに比べて安価である。 ・中・大口径のセグメントにおいては急曲線部やトンネルの一部を開口する必要がある場合などの特殊部に適用される場合が多い。
	ダクトイルセグメント	・一般的に、他のセグメントに比較して高価である。 ・延性に富み、強度も高く、製品精度が良好であり、防水性に優れている。 ・曲線部等でセグメント厚さを小さくして内空断面を確保する場合やトンネル延長の一部に大きな荷重が作用する区間がある場合、トンネルの一部を開口する必要がある場合などの特殊部に用いられることが多い。



(a) 鉄鋼製セグメント

(b) コンクリート系セグメント

代表的なセグメントの継手構造の分類と特徴

分 類		主な特徴	概念図
大分類	中分類		
ボルト・ナット・ワッシャー締結タイプ	直ボルトタイプ	・実績はもっとも多い (標準RCセグメントの継手形式)	
	曲りボルトタイプ	・継手面に金物がなく止水性，耐久性良好	
	長ボルトタイプ	・継手面に金物がなく止水性，耐久性，耐震性良好	
インサートボルトタイプ	斜め直ボルト	・継手面に金物がなく耐食性良好	
	袋ナット式直ボルトタイプ	・直ボルト式に比べ，ボルトボックスが半減	
	インサート埋込式直ボルトタイプ	・直ボルト式に比べ，ボルトボックスが半減	
	通しボルトタイプ	・トンネル内面に継手金物がなく耐久性良好	
楔式締結金具タイプ	軸方向挿入式楔締結タイプ	・トンネル内面に継手金物がなく耐久性，施工性良好	
	半径方向挿入式楔締結タイプ	・トンネル内面に継手部欠損が小さく施工性良好	
ピン式締結	コンクリート系セグメントタイプ	・トンネル内面に継手金物がなく耐久性，施工性良好	
	鉄鋼製セグメントタイプ	・トンネル内面に継手金物がなく耐久性良好，施工性良好	
キーロック継手タイプ	半径方向キータイプ	・キーによるせん断力伝達効果が期待できる	
	円周方向キータイプ	・キーによるリング添接効果期待できる	
メカニカル嵌合締結タイプ		・機械式嵌合による目違い抑止とせん断力伝達効果大	
突合せ継手タイプ		・継手金物がなく耐久性良好	
PC締結タイプ	リング・軸方向個別締結タイプ	・プレストレス導入による鉄筋量低減とクラック防止効果大	
	リング軸方向同時締結タイプ	・プレストレス導入による鉄筋量低減とクラック防止効果大	

2 倉敷市の事故に関する検討

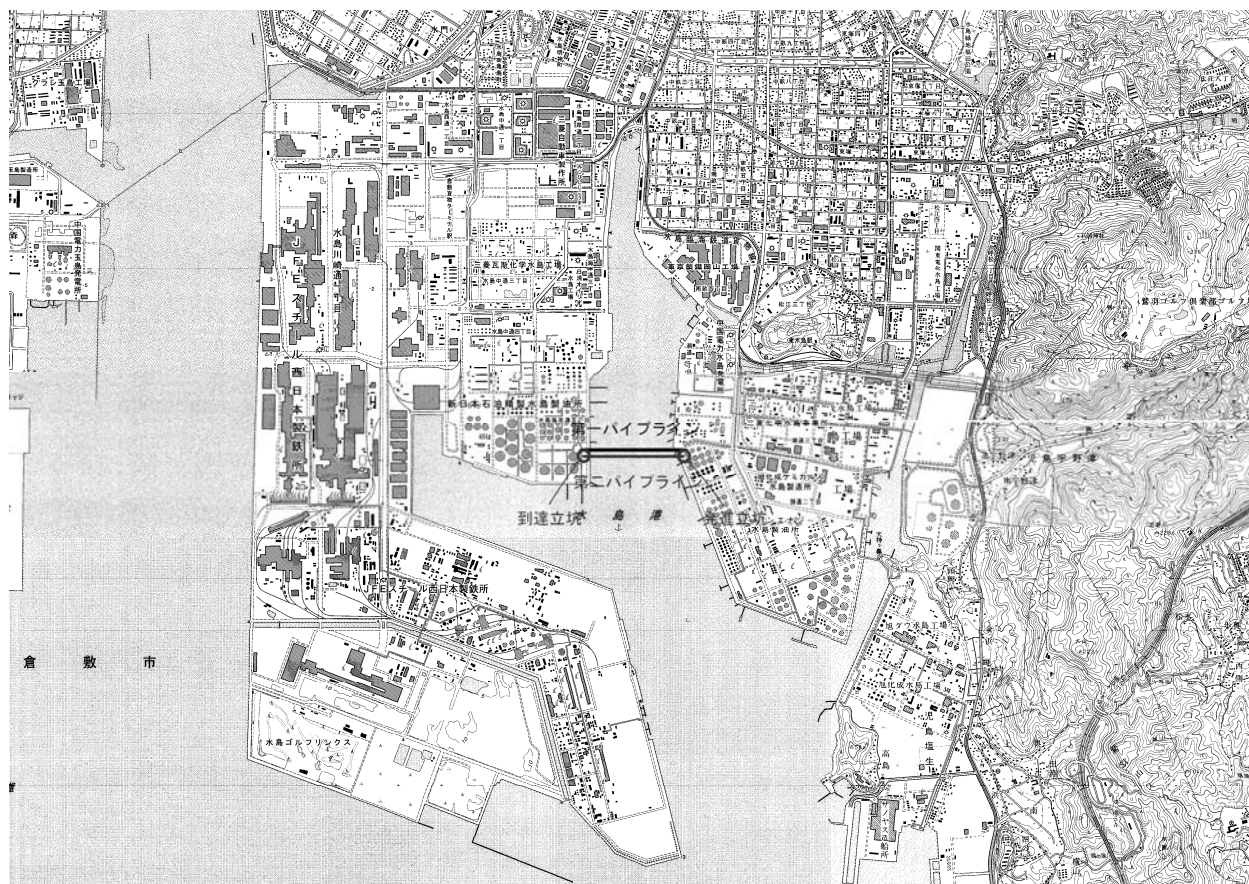
2.1 倉敷市の事故について（経緯）

2.1.1 発生時点の状況

平成 24 年 2 月 7 日午後 0 時 35 分ごろ、岡山県倉敷市の水島コンビナート内にある J X 日鉱日石エネルギー水島製油所工場の海底トンネルで、工事中にトンネル内へ海水が流れ込み作業員 5 人が行方不明（同年 3 月 3 日までに 5 人の死亡が確認）となる事故が発生した。

事故現場は、旧新日本石油の A 工場と、水島港を挟んで対岸にある旧ジャパンエナジーの B 工場を結ぶ約 800m のパイプライン用の海底トンネルを、シールド工法により構築する工事で、B 工場側から約 160m 掘進したところでトンネル内へ海水が流れ込んだとみられている。事故は、シールド機による掘削を停止し、セグメントを組立て中に起こったとされている。

工事に用いられていたシールド機の外径は 4.95m で、シールド形式は泥土圧、また、使用していたセグメントは外径 4820mm、厚さ 160mm、幅 1400mm の RC セグメントである。掘削対象地盤は N 値 50 以上のれき層で、土被りは 4.95～24.5m である。



図－10 位置図

2.1.2 これまでの検討経緯

シールド協議会では、これまでに倉敷市の事故に関する調査や検討として、以下を実施している。

- ・ 事故現場の現地視察、および、視察結果に基づく着目点の議論（第2回協議会）
- ・ 関係者からの聞き取り調査
- ・ これまでに確認できた事象の整理、事故につながる可能性を持った要因の整理
および、要因に基づく注意事項（第3回協議会）
- ・ セグメントの解析計算、土の挙動の分析（第4回協議会）
- ・ 海中から引揚げられたセグメントの詳細調査、および、調査結果に基づく破壊形態の議論（第5回協議会）

2.1.3 今後の予定（シールド機引き揚げ等）

シールド協議会では、これまでに5回の協議会等を開催し、シールド工事に関して、倉敷市の事故の情報及び全国的なトラブルやヒヤリハットから、再発防止に向けた検討を進めてきた。

倉敷市の事故に関して、発生メカニズムを特定するには、現時点では、情報が不足しているものの、今後、鹿島建設㈱によるシールド機の引き揚げが予定されていることから、これによる新たな情報を得た上で、最終的な事故発生メカニズムを特定していく予定である。

しかしながら、シールド機の引き揚げには時間を要するため、シールド機引き揚げによる新たな情報を待つ間に、これまでに整理された事実等から、セグメントの解析計算や土の挙動についての分析を継続して実施する予定である。

2.2 シールドトンネル設計・施工中の現場への注意事項

2.2.1 要旨

倉敷市の事故メカニズムについてはまだ整理できていないが、これまでに調査した事故につながる可能性を持った要因の整理を終えたため、全国のシールドトンネル施工中現場へ同種事故の再発防止のため注意喚起を促す目的から、中間報告として公表するものである。

なお、協議会の中間報告を受け、国土交通省では、全国のシールドトンネル工事を実施・計画中の直轄現場に対して安全面等からの確認を注意喚起として通知するとともに、地方自治体、各分野の関係業団体に対しても中間報告の内容を周知するため、通知文の参考送付を行っている。

2.2.2 シールドトンネル設計・施工中の現場への注意事項（中間報告）

平成 24 年 7 月 23 日

シールドトンネル施工技術安全向上協議会

シールドトンネル施工技術安全向上協議会 中間報告

1. 概 要

当協議会は本年 2 月に倉敷市で発生したシールドトンネル工事現場での事故を受けて、シールドトンネルの設計・施工技術について、安全面等の向上を図るため、技術的な検討を行うことを目的に、8 名の専門家からなる委員及び行政委員により本年 4 月 27 日の設立以来これまでに 3 回の協議会を開催し、倉敷市の事故現場の調査、関係者提供資料の分析および聞き取り調査を実施してきた。

まだ、十分な物証が得られていないため、現段階では、倉敷市の事故原因のメカニズム解明には至っていないものの、事故の要因となりうる事項の洗い出しを行い、その事実関係について引き続き調査をしているところである。

一方、シールドトンネル工事については、年間 60 件程度（施工延長 100km 程度）が新たに発注され、平均 3 カ年程度の工期で工事が実施されている状況にある。

当協議会としては、倉敷市の事故に関してこれまでに把握した情報を元に分析・整理した結果に基づき、全国のシールド工法を用いた設計・施工中の現場に対して、設計・施工における注意事項を中間報告として公表するものである。

2. 倉敷市の事故概要

本年 2 月 7 日に岡山県倉敷市にある JX 日鉱日石エネルギーの工場内において、海底パイプラインを通すためのシールドトンネル工事中に発生した事故である。

この事故は直径 4.95m の横坑を、立坑から約 160m 付近の海底下をシールドマシンで施工中に、短時間に海水等が流入し、立坑まで水没したものである。この事故で、坑内で作業中の 6 名の作業員のうち 5 名の作業員が死亡した。

3. 協議会の検討経過

当協議会として、本事故に関し、以下の(1)～(3)について検討を実施している。

- (1) 事故に至る可能性を持った要因
- (2) 水の流入経路
- (3) トンネル坑内の崩壊に至ったメカニズム

そのうち 「(1)事故に至る可能性を持った要因」について、これまでに把握した情報に基づき、内容を取りまとめた。

(2)、(3)については引き続き検討中のところであり、現段階で当協議会としての見解を出すに至っていない。

4. 事故現場の状況

これまでに確認された現場の主な状況は、以下の通りである。

- ① 作業記録等から No. 112R 組み立て作業中に事故が発生したものとみられる
- ② 海底に直径約 20m のすり鉢状の穴が確認された。
- ③ トンネル内を撮影した水中カメラの画像から、No. 109R まではリング形状を保っている。
- ④ トンネル内から回収されたセグメントの残骸は、No. 110R, 111R のものであると推定される。このことから、No. 110R, 111R が崩落して大出水が生じたものと考えられる。

(参考)

- ・ No. 109R とは横坑のセグメントリングのうち発進立坑から数えて 109 番目のリング。

5. シールドトンネル設計・施工中の現場への注意事項

全国の設計・施工中の現場に対する注意事項として^{別紙}のとおり、取りまとめ公表するものである。

なお、この内容については、これまでに現場等から得られた情報をもとに判断しており、今後新たな情報等が判明した場合には、追加・変更もあり得るものである。

6. 今後の予定

今回、可能性のある要因を幅広く注意事項としてとりまとめた。今後は明らかになっていく物証をもとに漏水の流入経路など把握に努め、トンネル坑内が崩壊に至ったメカニズムを整理していく。

以上

シールドトンネル設計・施工中の現場への注意事項

倉敷市の事故の設計・施工に関して、これまでに協議会として把握した事項をトンネル標準示方書（シールド工法・同解説）等現行の技術基準に照らしてみたところ、基準を明らかに逸脱している事項は確認できていない。

しかし、コスト低減・工期短縮を優先したと考えられる設計と様々な現場条件の中での施工により、設計で想定できていない不確定な要素が事故の誘因となっていると考えられる。

当協議会で着目した事故につながる可能性のある要因などに基づき、全国の設計・施工中の現場に対する注意事項として以下に列記する。

1. 計画

a. 現場の条件から、万一事故が発生した場合に想定される被害の状況を考慮して、リスク管理に配慮した総合的なシールドトンネルの設計・施工を行うこと。

【解説】

シールドトンネルのセグメントは、施工の影響を受ける構造物であり、地山内で安定するまでの間に受ける様々な影響の全てを設計で考慮することは困難である。また、シールドトンネルを施工する現場の条件によって、万一事故が発生した場合の被害の度合いが大きく異なると考えられる。とくに、海底下で施工するシールドトンネルに事故が発生した場合には、大量出水など大きな被害が発生することが考えられる。

そこで、現場条件に応じたリスクを想定し、適切な安全性を有する設計を実施するとともに、許容したリスクに適切な対応が可能となるよう設計の考え方を反映させた施工計画ならびに施工管理を実施することで、万一の事態に対するリスク管理を行う必要がある。

2. セグメント

a. セグメント本体と継手は、完成時の安全性の確認はもとより、施工状況を考慮した設計を行い、万一の場合にも重大な事故につながらないよう安全性の確保に配慮すること。

【解説】

シールドトンネルのセグメントは、水圧、土圧などトンネル完成時に作用する荷重に抵抗する主体構造物であると同時に、施工時にはシールド掘進時のジャッキ推力、シールドテール内から地山側へ出る際のテールシールやテールグリス圧による拘束圧、裏込め注入圧のほか、既に組み立てたセグメントリングの組立精度や変形状況によって生じる外力等の施工時荷重にも抵抗する構造物である。

覆工の設計にあたっては、対象トンネルの施工状況を十分考慮したうえで、地盤条件の他に、トンネルがおかれている諸条件を考慮し、完成時はもちろん施工途中における安全性と機能が確保されるように配慮すること。

1)セグメント

セグメントの設計は、施工時荷重のほか、裏込め材の注入時期、注入位置等を含めて、施工時の状況を十分に考慮して行うこと。

2)セグメント継手

セグメント継手は、締結力が入らない継ぎ手など、継手の構造形式によってはシールドジャッキによる軸方向の拘束力の程度とともに、テールシールやテールグリス圧による拘束圧、シールドテール部におけるセグメントかかり代の大小による作用水圧の程度によって、Kセグメントの抜け出しや脱落が生じる可能性があるため、これらを十分考慮したうえで継手の構造形式・強度を決定することが重要である。特にテールボイドへの裏込め材の充填条件等に配慮した設計を行うこと。

3)リング継手

リング継手は、セグメント継手と同様に、種々の施工時荷重に対して配慮したうえで、継手の構造形式や強度を決定することが重要である。特に、リング継手の引抜き耐力はシールドの曲線施工や蛇行修正時を想定し、トンネル軸方向以外に引張られることに配慮した設計を行うこと。

b. セグメントの形状・寸法の決定にあたっては、構造計算のほか、類似工事等の実績も参考にして検討すること。

【解説】

セグメントの形状・寸法は、一般に構造設計等で計画するが、施工時荷重の大きさと作用状態、発生応力、施工誤差等に不明確な点（設計では予測できないこと）もあることから、類似工事のセグメントの厚さと外径の比率、セグメント幅と厚さの比等の実績も勘案し、十分検討したうえで決定すること。

c. セグメントの分割は、リングとしての構造的な安定性、製作性、施工性の他に、Kセグメントの安定性に配慮して決定すること。

【解説】

セグメントの分割数が少ない場合は、1ピースの弧長と重量が大きくなるため、運搬性やトンネル坑内などでの取り扱いやすさが低下することがあるが、型枠費や継手のコストが軽減できることや組立回数の低減によって組立速度が向上することが期待できる。このため、運搬性や取り扱いに支障がなければ分割数を少なくする傾向にある。

セグメントの分割形式の選定にあたっては、経済性や組立時間の短縮のみを優先せずに K セグメントの安定性に配慮して決定すること。

d. K セグメントの型式、形状・寸法は、漏水等の原因となるリング継手の目開きを生じさせないように配慮すること。

【解説】

Kセグメントは、フープ圧縮力等によりリング継手の目開きが生じることがあり、この目開きが漏水等の原因となるため、Kセグメントの型式、形状（挿入角度、継手角度）・寸法は、完成時はもちろんのこと、施工途中においてもリング継手の締結力、シール材による摩擦力の低減等を十分考慮し、リング継手に目開きが生じないように十分配慮すること。

また、軸方向挿入型 K セグメントにあっては、Kセグメントの挿入が困難になると、セグメントに損傷を与え漏水の原因となる可能性があるため、形状（挿入角度、継手角度）・寸法は、施工性を含めて質量、および継手の種類等に十分配慮すること。

e. RC セグメントの鉄筋量は、構造計算による許容応力度の照査のほか、セグメントの破壊形態や類似工事のセグメントの設計結果等も参考にして検討すること。

【解説】

RC セグメントの鉄筋量は、一般に構造設計等で求めるが、施工時においては、施工時荷重の大きさと作用状態、発生応力、施工誤差等に不明確な点（設計では予測できないこと）もあるため、設計荷重に対する許容応力度の照査のみにならず、曲げひび割れ発生時に引張鉄筋が降伏点を超えないこと、曲げモーメントのみが作用した場合やせん断力が作用した場合のセグメントの破壊形態が脆性破壊とならないことを確認するとともに、類似工事のセグメントの最小鉄筋量、最大鉄筋量、主鉄筋最小径、鉄筋間隔等の実績も勘案して決定すること。

f. RC セグメントのシール溝は、適切な位置と寸法・形状を検討すること

【解説】

RC セグメントのシール溝は、シール材の接面応力により、セグメント端部に欠けやひび割れが生じる可能性がある。特に水膨張性シール材を採用する際は、セグメント組立後の膨張圧の影響等によりセグメント端部に損傷を与える可能性がある。

このため、シール溝の位置や寸法・形状およびシール材の形状・種類は、セグメントが損傷しない、かつ、十分な止水効果が得られるように配慮すること。

g. RC セグメントのシールドジャッキ偏心量に対する検討を行うこと。

【解説】

セグメントの厚さが薄い場合には、シールドテール内でのセグメントリングの偏りを考慮し、シールドジャッキの偏心量にテールクリアランスを加味して、セグメント軸方向の座屈に対する安定を検討する必要がある。特に、セグメントの厚さが薄く、かつ、セグメント幅が広い場合には、注意すること。

3. シールド機

a. テールシールは、トンネル通過地盤の土質条件や地下水位、間隙水圧などを総合的に検討し、十分な止水性が確保できるよう配慮すること。

【解説】

テールシールは、シールドトンネルの施工期間にわたって地下水などのトンネル内への流入を防止するための性能を有していなければならない。

このため、テールシールは、トンネルの規模、延長、土被り、土質条件、地下水位、間隙水圧、トンネル線形などを考慮して、特に河川、海底横断の時は十分な止水性が確保できる構造、機構、段数となるよう配慮すること。また、テールシールは施工途中において交換が困難であるため、耐久性を考慮するとともに、ワイヤーブラシとテールシール内に裏込め材が入らないように、適切なテールグリス材の選定と給脂方法（注入圧の確保等）についても検討すること。

b. スクリューコンベヤからの噴発防止対策について十分検討すること。

【解説】

泥土圧シールドの排土機構であるスクリューコンベヤは、地下水がシールド内へ噴発しないように排土圧力を保持するための重要な設備である。

このため、地下水圧、掘削地盤の透水性、土質等から適切なスクリューコンベヤを選定するとともに、止水性等の圧力保持能力の確保が必要であり地盤条件、その他トンネルがおかれている諸条件を考慮し、緊急時や掘進中の停電時に備えた噴発防止対策として、排土口に緊急遮断装置等の設置を検討すること。

c. テール部のセグメントかかり代の設定にあたっては、地盤条件、セグメント幅、テールシールの取付け長さ、施工性、および、実績等に配慮して総合的に検討すること。

【解説】

セグメントはテールを抜ける過程において、テール内部に位置するセグメントにはテールシールとテールグリスを介して荷重が作用し、テール外部に位置するセグメントには裏込め注入圧、水圧等が複雑に作用するため、この荷重状況によっては、トンネル全体の構造安定性に影響を与えることがある。

このため、テール内のセグメントのかかり代はセグメント設計における施工時荷重の考え方と整合を図り、セグメントに対して過大な荷重が作用することのないよう、セグメントの幅とテールスキンプレート長、テールシールの取付け長さ（シール段数）、実績や施工のバランス等に配慮すること。

d. 形状保持装置の検討にあたっては、覆工の規模だけでなく、セグメント継手の締結力の有無等に配慮すること。

【解説】

セグメントは正確に組立てなければ、次のセグメントの組立てが困難になるばかりか、テールを抜けた後に地盤によってはリングの変形を助長する恐れもある。この傾向は特にセグメント継手に締結力を有さない場合に顕著となる。

新規に組み立てるセグメントリングは、既設のセグメントリングに倣って組まれるため、既設のセグメントリングの形状が新規に組み立てるセグメントリングの組立精度に影響を与える。このため、セグメント組立時にシールドジャッキを解放することによって既設のセグメントリングが変形することがないように形状保持装置を設けることがある。

形状保持装置の検討にあたっては、セグメント継手に締結力を有さない自立性の低いセグメントを使用する場合は、トンネル規模、地盤条件、施工方法などに配慮して、その設置の要否の判定を慎重に行うこと。

e. シールドトンネル内の電気設備は、漏水等を想定して防水性等に十分配慮すること。

【解説】

シールドトンネル内の電気設備は、シールド動力用だけでなく、緊急時の非常用設備、防災設備等の正常な動作が求められる。

このため、シールドトンネル内の電気設備は、施工中における漏水や万一の出水の際にも問題が生じないように防水性等に十分配慮すること。

f. シールドテールやスクリュコンベヤは、動力電源が停止した場合も、十分な止水性が確保できるよう配慮すること。

【解説】

シールドテールやスクリュコンベヤから漏水や出水があると、種々のトラブル・事故を誘発する要因となる可能性があるため、当該部位はシールドトンネルの施工中の止水対策として重要である。

このため、動力電源が停止した場合を含めて、シールドジャッキの後退、スクリュコンベヤの噴発など、漏水や出水の起こりうるあらゆる条件を想定し、これに対応できる方策を事前に検討すること。

g. 軸方向挿入型 K セグメントを使用する場合の K セグメント挿入代（セットバック量）は、施工性が確保できる長さとなるよう配慮すること。

【解説】

軸方向挿入型 K セグメントは、トンネル軸方向にテーパーをつけてトンネル縦断の切羽側から挿入するため、テール内でのスペース確保が必要である。

K セグメントの挿入代が短くなるとセグメント組立時におけるセグメントの損傷、組立精度の低下など、覆工の品質に支障をあたえることが考えられるため、適切な施工性が確保できる長さとなるよう十分配慮すること。

h. シールドジャッキとスプレッダーの偏心量によるジャッキロッドの座屈に対する安定性を確認すること。

【解説】

一般的に、セグメントへの偏心作用荷重を小さくするため、スプレッダー中心とジャッキの中心を偏心させ、セグメント中心にスプレッダーをあわせる。この時、ジャッキロッドには、その偏心分の曲げ荷重が作用し座屈しやすくなることから、シールドジャッキとスプレッダーの偏心量によるジャッキロッドの座屈に対する安定性を確認すること。

特に、セグメント幅が広い場合には、ジャッキロッドもそれに伴い長くなることから、十分注意すること。

4. 施工

a. セグメントに締結力のない継手を採用する場合は、形状の保持に努め、特に漏水等の原因となるリング継手の目開きや目違いが生じないように配慮すること。

【解説】

セグメントは目開きや目違いを原因とした漏水が発生しないように努めることが重要である。また、リング継手の目違いは、セグメントがジャッキ推力を受けたときにひび割れ発生の要因となるため、セグメントの組立にあたっては注意が必要である。特に軸方向挿入型 K セグメントは、フープ圧縮力やシール材反発力等によって切羽側へ押し出されることがあるため、目開きが生じないように努めることが必要である。

このため、セグメントに締結力のない継手を採用する場合は、形状の保持に努めて、漏水等の原因となる有害な目開きや目違いが生じないように配慮すること。また、K セグメントの挿入時に滑材を使用する場合は、セグメント継手面の摩擦力が低下し、セグメントの押し出しに対する抵抗力が低下することに配慮すること。

b. セグメントの組立ては、“たれ”ができるだけ生じないように、形状・寸法、質量、継手の種類、形状保持装置の有無等に配慮すること。また、K セグメントの挿入時のジャッキ操作についても十分配慮すること。

【解説】

セグメントは変形を要因とした損傷が生じないように、高精度で慎重な組立が要求される。特に、K セグメントに隣接する B セグメントは寸法も大きく、リング上部にあるため、“たれ”を生じやすいので注意が必要である。

このため、セグメントの組立は“たれ”ができるだけ生じないように、形状・寸法、質量、継手の種類、形状保持装置の有無等に配慮すること。特に、K セグメントの挿入時に B セグメントを軸方向に拘束しているジャッキを解放する場合は、慎重な作業に努めること。

c. 裏込め注入はセグメントの設計時に想定した注入時期・位置を考慮して実施すること。

【解説】

裏込め注入工は、地山の緩みと沈下を防ぐとともに、セグメントからの漏水防止、セグメントリングの早期安定やトンネルの蛇行防止等を図るために、すみやかに行わなければならない。

このため、裏込め注入はシールドの掘進と合わせて実施する同時注入、または、掘進後すみやかに実施する即時注入を採用することが一般的である。セグメントの設計においては、いずれの注入方式においても裏込め注入材がテールボイドに充填されていることが前提となっている場合が多いため、裏込め注入は、セグメント設計時の注入時期と注入位置を確認のうえ、適切かつ確実に実施すること。

d. 裏込め注入工の施工管理方法は、注入圧と注入量との併用管理とすること。

【解説】

裏込め注入工は、覆工の設計に影響を与えることもあり、テールボイドへの確実な充填が求められる。一般に裏込め注入工の施工管理方法は、圧力管理によるものと量管理によるものがあるが、どちらか一方だけでは正確な充填状況を確認するのが難しい。

このため、両方法を併用することで総合的に管理することが望ましく、実施工において注入量、注入圧ともにある程度の試行により、注入効果、他への影響を確認のうえ、裏込め注入工の施工管理方法を決定すること。また、一定の区間ごとに確実に充填されていることの確認を行い、その結果を施工に反映させることが望ましく、注入量、注入圧が施工前の想定と大きく異なる場合は、直ちに施工を中止して原因を究明すること。

e. 切羽圧力に急激な変動があった場合は、直ちにその原因を究明すること。

【解説】

シールド工法は、切羽バランスを失うと、土砂の取込み過多やマシン前面の圧力上昇により、地盤変位（地表面沈下・隆起等）を引き起こす可能性があるため、切羽圧力の管理は適切に行わなければならない。

切羽における掘削土の状態を直接見ることのできない密閉型シールドでは、土圧、排土量、シールド負荷（シールドジャッキ推力、カッタートルク等）を計測することで、施工中の切羽の状態を間接的に確認している。また、切羽圧力を管理する中で変化があった場合は、シールド施工になんらかの異常があったことを知ることもできる。

このため、常時計測管理を行い、切羽圧力に急激な変動があった場合は、切羽の崩壊、土砂の取込み過多、漏水等が考えられ、重大な事故につながる恐れもあることから、直ちに施工を中止して、原因を究明すること。

f. 線形管理は、急激な姿勢制御や過大な余掘りを防ぐために、トンネル全体の線形を総合的に考慮して計画的に行うこと。

【解説】

シールドの線形管理は、トンネルの使用目的や用地条件などによって求められる精度が異なるのが一般的である。一方、シールド機は極めて大きな質量を持つ機械であり、不均質な地中を掘削することから、計画通りの線形を求められる精度でトンネル線形を管理するために、適宜、蛇行修正を行うこととなる。

このとき、急激な蛇行修正を行おうとすると、過大な余掘りを行ったり、シールドジャッキの片押しを行うこととなり、セグメントの安定性に影響を与えることになる。さらに、シールド機のテールとセグメントとのクリアランス（テールクリアランス）が不足し、セグメントリングに偏荷重が作用することも想定される。

このため、トンネルの線形管理は、急激な姿勢制御や過大な余掘りを防ぐために、トンネル全体の線形を考慮して計画的に徐々に行うこと。

g. セグメント組立時のシールドジャッキの解放パターンは組立中のセグメントリングの安定性を十分検討したうえで選定すること。

【解説】

セグメントの組立時にシールドジャッキを解放する場合、シールド機が後退しないようにするとともに、シールド機内のセグメントを安定させるため、組立対象以外のセグメントピースは、原則としてシールドジャッキにより軸方向に固定させる必要がある。

このため、セグメントの組立効率を向上させる目的で、セグメントを軸方向に固定しているシールドジャッキの解放範囲を必要以上に大きくすると、シールド機の後退やリング継手の目開き、セグメントの“たれ”が生じる可能性があるため、シールドジャッキの操作パターンおよび手順は、これらの影響を十分検討したうえで選定すること。

h. テールからの漏水や裏込め注入材の浸入を防止するため、テールシール内のテールグリスは、適切なテールグリス材を使用し、その量、圧力を適切に管理すること。

【解説】

テールシールの止水性を確保するためには、適切なテールグリス材を使用し、テールグリスをテールシール内に封入し、その圧力によって地下水や裏込め注入材の浸入を防止することが重要である。このとき、テールグリスの圧力は地下水圧や裏込め注入圧より高く保たれることが必要である。

一般的には、定期的にテールグリスを補充して量と圧力を維持するが、地下水圧が高い場合には自動給脂装置を採用することによって、常時テールグリス圧を管理することが望ましい。自動給脂装置を採用しない場合にも、テールグリスの圧力を常時監視し、圧力を維持すること。

5. 調査

a. 海／河川／湖沼を掘進するシールドトンネルを計画する場合は、海底／河床／湖沼底の探査を十分に実施すること。

【解説】

海底、河床、湖沼底等は、経年変化が生じやすい、かつ、調査が困難であることもあり、その情報を正確に把握し難い場合がある。ただし、シールドトンネルの線形計画、覆工計画および施工計画等において、重要となる土被り設定には海底、河床、湖沼底等の情報は欠くことができない。

このため、海、河川、湖沼等を掘進するシールドトンネル設計・調査には、当該地域の堆積環境を念頭に置いて、海底、河床、湖沼底等の探査を十分に実施し、地形、土質、将来の経年変化を十分に把握すること。

b. シールドトンネルの地質調査は、掘進対象地盤の地質変化を把握するため、ボーリング調査を十分に実施すること。また、設計水圧を正確に把握するため、被圧水および間隙水圧の調査を実施すること。

【解説】

シールドトンネルの地質調査は、シールド工法の設計全般ならびに施工の難易度を大きく左右するため、その調査を入念に行う必要がある。特に、周囲の地形変化が激しい地域等では、対象路線の左右で土質等が変化することもあるため、配慮する必要がある。

このため、既存の土質調査や初回の地質調査において十分に地質の変化を読み取ることができない場合は、ボーリング調査を追加するなどして、正確な地質の状態を把握すること。また、シールドの設計・施工で重要となる設計水圧は、正確に把握する必要があるため、被圧水の有無の確認と水圧、および間隙水圧の調査を実施すること。

また、地盤の特性はN値を用いておおよその推定を行うことが一般的であるが、礫分の多い地盤などでは実質的な地盤の剛性や強度以上にN値が高く測定されることがあるため、十分な注意が必要である。このような土質条件の場合には土の粒度分布などに基づいて崩壊性の地盤であるか否かについて慎重な判断をし、崩壊性の地盤であると判断される場合には覆工の設計や施工計画に反映すること。

以上

3 シールド工事に関する聞き取り調査

3.1 要旨

シールド協議会では、倉敷市の事故の状況把握からの着目点に加え、全国のシールド工事現場でのトラブル・ヒヤリハットからの再発防止に向けた検討を進めてきた。

シールド工事の現場でのトラブル事例やその対応についてのアンケート結果を踏まえて、シールドの設計・施工における注意事項をとりまとめたため、全国のシールドトンネル施工中の現場に対して同種事故の再発防止のための注意喚起を促す目的から、注意事項として公表するものである。

なお、協議会からの注意事項を受け、国土交通省では、全国の地方整備局等に対して安全面等からの確認を注意喚起として通知するとともに、地方自治体、各分野の関係業団体に対しても注意事項の内容を周知するため、通知文の参考送付を行っている。

3.2 シールド工事を行う建設会社からのアンケート調査による結果とりまとめ

平成 25 年 1 月 31 日

シールドトンネル施工技術安全向上協議会

シールド工事を行う建設会社からのアンケート調査による結果とりまとめ

1. 調査の目的

全国のシールド工事現場でのトラブル等の発生事例やその対応例などをもとに、シールドトンネルの設計・施工のトラブル要因を整理し、シールドトンネルの設計・施工上の課題を抽出し、今後の改善点の検討に資するものである。

2. 調査方法

シールド工事に関して、社団法人日本建設業連合会を通じてシールドトンネルを施工する建設会社に対して、これまでの事故やトラブル、事故につながるようなヒヤリハット、事故につながる危険性のある事柄について、幅広く自由記述によるアンケートを実施した。自由記述のなかで、問題意識が多くあった項目について詳細なアンケートを実施し、計 8 社から回答を得た。

3. 調査結果

アンケート調査の結果から、複数の同様な内容の回答が得られたものと、少数意見ではあるが重要と思われるものを抽出して整理した。

① 軸方向挿入型 K セグメントの拔出しについて

1) 拔出し現象が発生している事例

- ・ K セグメントのシールド切羽側（トンネル軸方向）への拔出し現象は、シールド掘進中に発生している事例もあるが、主にセグメント組立時に K セグメントを押さえていたシールドジャッキを緩めた時に発生している。
- ・ K セグメントの拔出し現象は、引張剛性または締結力が小さいリング継手や、突合わせ継手等の締結力が小さいセグメント継手を採用したセグメント等で発生した例が多い。そのほか、大深度・高水圧等の条件下で高い裏込め注入圧が必要な場合、大口径・幅広セグメント等で裏込め注入圧の受圧面積が大きい場合、セグメントリングの分割数が少なく K セグメントの挿入角度が大きい場合等の条件で K セグメントの拔出し現象が発生した例が見られる。

2) 実施した拔出し防止対策の事例

ア. 施工段階における対策事例

- ・ K セグメントを組立済みのリングに PC 鋼棒、レバーブロック、ターンバックル等の治具とセグメントの把持金物を利用して固定する。
- ・ セグメント継手面（K セグメントと B セグメント間）の摩擦力を増加させる。
- ・ シールド掘進時には K セグメントをシールドジャッキで常に押せるジャッキ配置とする。

イ. 設計段階における対策事例

- ・ セグメントのリング継手とセグメント継手の剛性、引抜き耐力および締結力を向上させる。
- ・ K セグメントの挿入角度を低減する。
- ・ 独自に K セグメントの拔出しを防止するためのマニュアルを設けて対応する。

② コストを優先したセグメントの設計について

1) 施工現場でリスク増大を感じさせる場面・事象事例

- ・ 類似実績工事と比較してセグメント厚さを薄くし、幅を広げたとき。
- ・ 厚さが薄いセグメントを使用し、施工時荷重によってセグメントに損傷が生じたとき。
- ・ 幅が広いセグメントを使用し、シールドマシンテール部とのせり等の施工時荷重の作用によってセグメントに損傷が生じたときや、トンネル坑内でセグメントの取回し時に隅角部の欠けが生じたとき。
- ・ 高水圧や過大な裏込め注入圧によって鋼製セグメントに変形が生じたとき。

2) リスクを増大させる設計事例

- ・ 大深度、高水圧の設計条件で厚さが薄いセグメントを採用した。
- ・ 過剰な幅広セグメント（工事コスト縮減や施工速度増大等の理由から）を採用した。
- ・ 実績値を逸脱したセグメント（鉄筋量、幅、厚さ）を採用した。
- ・ 継手の評価や土質評価等の誤った判断、不適切な線形採用等の設計ミスが発生した。
- ・ 施工時に起こり得る条件や事象を設計に反映していない。

③ シールドトンネルの浮上りについて

1) セグメントの「浮上り」が発生する現場条件

- ・ 東京湾横断道路（大断面、海底横断）と同様な大断面で小土被りのトンネル。
- ・ 大断面で比較的薄いセグメントを採用しているトンネル。
- ・ 海底横断、河川横過の中大口径のトンネル。
- ・ 泥水式シールドによって施工されたトンネル。

2) セグメントの「浮上り」確認方策

- ・ テールクリアランスの計測、掘進管理測量、坑内測量によって確認する。
- ・ 坑内のセグメント高さの計測・測量等によって確認する。
- ・ 同一セグメントにおいてセグメント組立後とテール通過後の高さの経時変化の計測によって確認する。

3) 「浮上り」対策事例

- ・ トンネル内に施工中インゴット（ウェイトとなる重量鋼材）を設置する。
- ・ 裏込め注入材の施工時期が遅れると、テールボイドに存在する泥水や地下水中で浮力を受けることとなり、トンネル断面の重量が浮力より軽い場合はシールドトンネルがテールボイド内で浮き上がるため、これを防止するため同時裏込め注入を行う。

④ その他（アンケート回答にあった現場で発生したヒヤリハット）

- ・ 急曲線施工時において、テールとセグメントとのせりによってリング継手にせん断力が発生すること、ならびに、セグメント本体やセグメント継手に過大な曲げモーメントが発生して損傷したとき。裏込め注入材がテールブラシに固着した場合にはその影響は増大する。

3.3 アンケート調査結果に基づくシールド設計・施工における注意事項

平成 25 年 1 月 31 日

シールドトンネル施工技術安全向上協議会

アンケート調査結果に基づくシールド設計・施工における注意事項

シールド工事現場でのトラブル事例やその対応についてのアンケート結果を踏まえて、シールドの設計・施工における注意事項を下記に取りまとめた。

① 軸方向挿入型 K セグメントの拔出し現象について

軸方向挿入型 K セグメントを採用する場合は、設計段階において拔出しの有無や対策について十分な検討を実施し、必要により K セグメント拔出し現象に対して抵抗力のあるセグメントの継手・形状寸法の採用などの措置を講ずること。また、施工中において、K セグメントの拔出しの兆候が認められる場合は、既存のセグメントリングに固定する等の対策を早急に講じること。

【解説】

軸方向挿入型 K セグメントは、トンネル内（半径方向）への K セグメントの拔出しを防止して安定したセグメントリングを構成することに寄与するが、組立直後からテール脱出までの間に K セグメントがシールド切羽側（トンネル軸方向）に拔出す現象が生じている施工事例がある。この現象は、締結力等の小さいリング継手やセグメント継手の構造を採用している場合、大深度・高水圧等の条件下で高い裏込め注入圧が必要な場合、分割数が少なく K セグメントの挿入角度が大きい条件等で発生している。

このため、設計段階から K セグメントの拔出しの可能性の有無や対策について十分な検討を行い、拔出し現象に対して抵抗力のある継手の採用や K セグメントの挿入角度の低減など、適切な K セグメントの形状寸法や継手構造の選定などによって K セグメントの拔出しを防止するための配慮が必要である。施工段階では、K セグメントの挙動に注意し、拔出しの兆候が認められる場合には、組立て後におけるセグメントの把持金物を利用した治具（PC 鋼棒、レバブロック等）による K セグメントの固定や、掘進時における K セグメントへのジャッキ追従などの対策を実施することが必要である。

② コストを優先したセグメントの設計について

現場条件に応じたリスクを想定し、適切な安全性を有するトンネル設計を行うこと。特に、セグメントの設計はコストを優先することで安全性と品質を犠牲にすることがあってはならない。

【解説】

セグメントの形状・寸法および配筋は、一般に構造計算等で設計するが、施工時荷重の大きさや作用状態に不明確な点があることから、類似工事の実績も十分勘案して決定する必要がある。

特に、海底横断や河川横過での条件下において、万一事故が発生した場合には大量出水など大きな被害が発生することが考えられるとともに、大深度、高水圧など軸力が卓越する条件で薄いセグメントを採用する場合や、施工速度を増大させるために幅広セグメントを採用する場合などは、施工時荷重に対してリスクが増大することが考えられる。

このため、現場条件に応じたリスクを想定し、適切な安全性を有するトンネルの設計を行う必要があり、決して、コストを優先したセグメントの設計をして、トンネルの安全性・品質を犠牲とするようなことがあってはならない。

③ シールドトンネルの浮上りについて

設計段階では施工時および完成後のトンネルの浮上りに対する検討を行い、施工段階においては、トンネルの浮上りについての確認を常に怠らないこと。また、トンネルの浮上りが懸念される場合は、セグメントの継手や裏込め注入方法を適切に選定すること。

【解説】

海底横断、河川横過のトンネルなどの地下水位が高く、土被りが小さい場合などでは、施工時および完成後の浮力によるトンネルの浮上りが懸念されることから、適切な安全率を確保できるようにトンネルの浮上りに対する安定性を確認する必要がある。

特に、施工時には、裏込め注入材の注入時期が遅れると、テール脱出後のセグメントリングがテールボイド内で浮上り、セグメント本体および継手部に過大な力が作用する場合がある。このため、設計段階から施工時のトンネルの浮上りに対する検討を行い、シールドの掘進と同時あるいは直後の裏込め注入の実施に努めるとともに、施工設備等の関係で早期の裏込め注入ができない場合には上記現象を十分考慮したうえで、セグメント本体および継手構造の設計を行う必要がある。また、施工段階においては、テールクリアランスの計測や坑内測量の結果などからトンネルの浮上りが生じていないかを確認し、浮上りによるリング間のずれなどトンネルの安全性に問題が生じないように留意することが重要である。

④ 急曲線施工について

急曲線施工ではセグメントとシールドテールとのせり、およびテールブラシへの裏込め注入材の固着を要因とする局所的な施工時荷重が作用することがある。このため、セグメント本体や継手の損傷を防止するため、設計・施工において十分な対策を講ずること。

【解説】

急曲線施工におけるセグメントには、シールドジャッキの片押しや、シールドテールでのせりなどにより、セグメントリングに大きな偏圧が作用するなど、一時的に大きな施工時荷重が作用することがある。特に、シールドテールとのせり、および、テールブラシへの裏込め注入材の固着による局所的な荷重や過度なセグメントの拘束力が発生する場合には、セグメント本体や継手部に損傷が生じている施工事例が多い。

このため、急曲線施工では以下に留意した設計・施工を実施することが必要である。

- ・セグメントは急曲線区間だけでなくその前後の区間においても大きな偏心荷重を受けることがあるため、急曲線区間を含む前後の一定区間においても適切なセグメントの構造・形式、幅・厚さなどの形状、および継手構造となるよう検討する。
- ・急曲線区間を有するシールドトンネルの施工にあたって、シールド機は、高い操作性ならびに適切なテールクリアランスを確保するとともに、シールド掘進時のシールドジャッキによるセグメントへの偏圧を防止するため、中折れ装置を検討するだけでなく、シールドジャッキのシリンダーの小型化や配置等を検討する。
- ・急曲線区間はシールド機とセグメントリングとのずれや変形により、テールブラシ内に裏込め注入材が侵入し、テールブラシ内で裏込め注入材が固結しないような工夫等を検討する。
- ・急曲線区間で外径を縮小した鋼製セグメントを用いる場合は、テールシール内での裏込め注入材の固着が生じやすくなり、急曲線区間通過後に通常の外径に戻した際の RC セグメントへの損傷が考えられるため、その対策を十分に検討する。

以上

4 日本のシールドトンネル事業（設計・施工）における現状の課題

今日のシールド工事の実情を振り返ると、中間報告で示した注意事項やアンケート調査に基づく注意事項のほかに以下のような課題があるものと考えられる。これらの課題については、今後の協議会の中で、その実態や対応の方向性などを検討したうえで提言としてまとめていく予定である。

1. 近年、価格競争の優位性や高い技術評価を得るために、過度の工期短縮や工事費の圧縮が行われる傾向にある。その結果、コストを優先し安全性への配慮を欠いたセグメントの形状・寸法や継手形式を選定するケース、施工速度を優先してセグメントの組立精度の低下や損傷等が発生するケースが見受けられる。
2. 高度に機械化された密閉型シールド工法が採用されるようになった今日では、数値化されたデータに頼った施工管理が行われる傾向が強く、逐次変化する切羽の状況をイメージできていない技術者が増えているなど、シールド工法のこれまでに蓄積された技術や技能が適切に継承されていない恐れのあることが指摘されている。一方で、密閉型シールド工法では施工にあたって多くの施工関連データを計測しているが、一部の代表的なデータによって管理される傾向が強く、これらのデータを十分活用しきれていない。また、シールド工事の減少もありシールド機のオペレータ等の技能者の教育・訓練の機会の減少が懸念されている。
3. 用地や環境問題等から計画の自由度が小さくなる傾向にあるが、シールド機の特性を十分理解していない無理な線形計画（超急曲線、超急勾配、小土被り等）や過度に短い工期を前提とした計画など、施工技術に過度に依存した計画や設計に基づいた工事がみられ、適用技術の評価が慎重に行なわれているのか危惧されている。
4. 設計者が設計を行う際に想定した前提条件や施工条件が、施工者に適切に伝達されていないことによって、設計と施工との間にギャップが生じ、施工時のトラブルの引き金になっているケースが見受けられることや、現場の状況が十分に反映されていない設計も見受けられる。
5. 現場で発生したトラブルやその前兆を公開することは、請負者にとって不利益になることが多く、現場で発生したヒヤリハット等の問題点が表面化しにくい。その結果、現場で生じているトラブルやヒヤリハットが経験知として活かされず、設計や基準類に反映されにくい現状が見受けられる。

6. これまでシールド工法に関する技術開発は、同工法の適用範囲を拡大する技術や効率化、コスト縮減を中心に行われてきた。しかしながら、施工の安全性を向上させるための技術開発として、データの可視化などを含むシールドの施工中データを積極的に活用する等の施工管理手法の開発が今後の課題と考えられる。
7. 発注者が将来的な社会資本の管理を行っていく上で確保すべき性能も含めて、コスト縮減等の技術提案を求めているケースがみられ、過度の価格競争や工期短縮競争等の引き金になっているとともに、管理上確保すべき性能も犠牲にしているように見受けられる。

参考資料

I 協議会経過と公表資料

I.1 協議会規約・委員名簿

シールドトンネル施工技術安全向上協議会の規約及び委員は以下の通り。

第1回協議会において規約を制定し、第2回の協議会にて、協議会に副委員長を置くことを確認し、規約を改定している。

なお、委員長として今田 徹（東京都立大学 名誉教授）委員が、副委員長として小山 幸則（京都大学大学院 工学研究科 教授）委員がそれぞれ就任している。

「シールドトンネル施工技術安全向上協議会」規約

平成24年4月27日制定

平成24年6月29日改定

（名 称）

第1条 この協議会は、シールドトンネル施工技術安全向上協議会（以下「協議会」という。）という。

（目 的）

第2条 協議会は、シールドトンネル掘削工事現場での事故を受けて、シールドトンネルの設計・施工技術について、安全面等からの向上を図るため、技術的な検討を行うことを目的とする。

（事業内容）

第3条 協議会においては、以下に掲げる事業を実施する。

- （1）平成24年2月岡山県倉敷市で発生したシールドトンネル事故の設計・施工方法等の状況把握
 - （2）全国のシールドトンネルの設計・施工上の安全対策の状況把握
 - （3）上記を踏まえた課題の抽出と対応策の検討
 - （4）シールドトンネルの安全対策に関わる設計・施工技術の提言
- なお、必要に応じ、現地調査を行うことがある。

（メンバー）

第4条 協議会のメンバーは、別表のとおりとする。

(委員長)

第5条 協議会に委員長を置く。

- 2 委員長は、事務局の推薦により委員の確認によってこれを定める。
- 3 委員長は協議会の議長となり、議事の進行に当たる。
- 4 委員長に事故があるときは、委員のうちから委員長が指名する者が、その職務を代理する。

(副委員長)

第6条 協議会に副委員長を置く

- 2 副委員長は、事務局の推薦により委員の確認によってこれを定める。
- 3 副委員長は、委員長を補佐し、委員長に事故あるときは委員長を代行する。

(事務局)

第7条 協議会の事務局は、国土交通省大臣官房技術調査課、総合政策局公共事業企画調整課及び港湾局技術企画課並びに公益社団法人土木学会及び独立行政法人土木研究所道路技術研究グループトンネルチームの共同運営とする

(協議会の招集)

第8条 協議会の招集は、委員長が必要に応じて行う。

(関係者からの意見聴取)

第9条 委員長が必要と認めるときは、関係者を呼びその意見を聞くことができる。

(議事の公開)

第10条 会議については冒頭部分のみ公開とし、審議は非公開で行う。議事要旨について、事務局は委員長の確認を得たのち会議後速やかにホームページで公開する。また、議事録について、事務局は各委員の確認を得て発言者氏名を伏せて公表することとするが、公表時期は協議会終了後一定の期間が経過した後とする。

(守秘義務)

第11条 協議会委員に対しては、国家公務員と同様に国家公務員法上の守秘義務が課せられる。

以上

(別表)

委員名簿

委 員	東京都立大学 名誉教授	今田 徹
委 員	京都大学大学院 工学研究科 教授	小山 幸則
委 員	京都大学大学院 工学研究科 教授	三村 衛
委 員	社) 日本トンネル技術協会 技術部長	鈴木 明彦
委 員	社) 日本建設機械施工協会 施工技術総合研究所 研究第一部部長	安井 成豊
委 員	社) 日本建設業連合会 土木工事技術委員会 専門委員	三木 慶造
委 員	独) 土木研究所 道路技術研究グループ長	真下 英人
委 員	独) 港湾空港技術研究所 特別研究官	菅野 高弘

行政委員	国土交通省 大臣官房	技術調査課長
行政委員	国土交通省 大臣官房	公共事業調査室長
行政委員	国土交通省 総合政策局	公共事業企画調整課長
行政委員	国土交通省 土地・建設産業局	建設業課長
行政委員	国土交通省 水管理・国土保全局	治水課長
行政委員	国土交通省 水管理・国土保全局	下水道事業課長
行政委員	国土交通省 道路局	国道・防災課長
行政委員	国土交通省 港湾局	技術企画課長

I.2 協議会の開催経過

シールドトンネル施工技術安全向上協議会の開催経過は以下の通り。
本協議会では、これまでに5回の協議会の開催と2回の現地調査を実施しており、また、アンケート調査や関係者へのヒアリングも合わせて実施している。

第1回 協議会

日 時：平成24年4月27日 10:00～12:00

出席者：今田 徹委員長、小山幸則委員、三村 衛委員、鈴木明彦委員、安井成豊委員、
三木慶造委員、真下英人委員、菅野高弘委員

＜国土交通省＞

大臣官房越智技術調査課長、大臣官房 坂公共事業調査室長、総合政策局 安藤公共事業企画調整課長（代理）、水管理・国土保全局 森北治水課長（代理）、道路局 三浦国道・防災課長（代理）、港湾局 大脇技術企画課長（代理）

議事概要：

- ・協議会の規約について承認され、今田委員が委員長として承認された。
- ・日本におけるシールド工事の現状に関して、事務局より工事の実績、現行の技術基準、シールドに関する技術開発の経緯について説明が行われた。
- ・倉敷市の事故の状況について事務局から報告がなされた。
- ・当協議会の検討方針の確認について事務局から説明があり、議題について討議された。

現地視察

日 時：平成24年5月22日

出席者：今田 徹委員長、小山幸則委員、三村 衛委員、鈴木明彦委員、安井成豊委員、
三木慶造委員、真下英人委員
（欠席：菅野高弘委員）

＜国土交通省＞

大臣官房越智技術調査課長、大臣官房坂公共事業調査室長

議事概要：

- ・委員7名の参加により現地視察として、①現場状況（地上部）、②立坑から撤去された部材、資機材、③横坑の水中カメラ映像 の3点が確認された。
- ・今回の視察結果も参考として、今後の協議会にて具体的検討を進めることとされた。

第2回 協議会

日 時：平成24年6月29日 13:00～15:00

出席者：今田 徹委員長、小山幸則副委員長、鈴木明彦委員、安井成豊委員、三木慶造委員、
真下英人委員、菅野高弘委員
(欠席：三村 衛委員)

<国土交通省>

大臣官房越智技術調査課長、大臣官房 坂公共事業調査室長、総合政策局 安藤公共事業企画調整課長、土地・建設産業局 青木建設業課長、水管理・国土保全局 森北治水課長(代理)、水管理・国土保全局 塩路下水道事業課長(代理)、道路局 三浦国道・防災課長(代理)、港湾局 大脇技術企画課長(代理)

議事概要：

- ・副委員長に小山委員が就くことが確認された。
- ・倉敷市の事故視察結果に基づき意見交換を行った。いくつかの着目点について討議された。
- ・シールド工法は全国で用いられている工法でもあり、倉敷市での事故の調査等の進捗にもよるが、時間がかかるようであれば、中間報告など何らかの「注意喚起」を出していく方向もあることが確認された。

関係者ヒアリング

日 時：平成24年7月12日

出席者：今田 徹委員長、小山幸則副委員長、真下英人委員

- ・協議会を代表して委員長以下3名の委員による関係者へのヒアリングを実施

第3回 協議会

日 時：平成24年7月23日 10:00～12:00

出席者：今田 徹委員長、小山幸則副委員長、三村 衛委員、鈴木明彦委員、安井成豊委員、
三木慶造委員、真下英人委員、菅野高弘委員

<国土交通省>

大臣官房越智技術調査課長、大臣官房 坂公共事業調査室長、総合政策局 安藤公共事業企画調整課長、土地・建設産業局 青木建設業課長、水管理・国土保全局 森北治水課長(代理)、水管理・国土保全局 塩路下水道事業課長(代理)、道路局 三浦国道・防災課長(代理)、港湾局 大脇技術企画課長

議事概要：

- ・関係者からの聞き取り調査結果の報告がなされた。
- ・これまでに確認できた事象の整理を行った。
- ・シールドトンネル設計・施工中の現場への注意事項について意見交換を行った。
- ・会議終了後、会見で「シールドトンネル施工技術安全協議会」としての中間報告を公表した。

第4回 協議会

日 時：平成24年9月28日 13:30～15:30

出席者：今田 徹 委員長、小山 幸則副委員長、三村 衛委員、鈴木明彦委員、安井 成豊委員、
三木 慶造委員、真下 英人委員、菅野 高弘委員

<国土交通省>

大臣官房 越智技術調査課長、総合政策局 安藤公共事業企画調整課長、
土地・建設産業局 青木建設業課長(代理)、水管理・国土保全局 山田治水課長(代理)、
水管理・国土保全局 塩路下水道事業課長(代理)、道路局 三浦国道・防災課長(代理)、
港湾局 大脇技術企画課長

議事概要：

- ・第3回協議会において取りまとめられた中間報告をうけて、国交省から通知文書を発出したことが報告された。
- ・倉敷市の事故に関する検討として、セグメントの解析計算及び土の挙動の分析について経過報告があり、意見交換を実施。検討を継続する。
- ・シールド工事を行う企業からの聞き取り調査について経過報告があり、意見交換を実施。再度詳しく聞き取り調査することとなった。

現地再調査

日 時：平成24年11月26日 ～ 29日

- ・事務局によるセグメントの再調査（詳細調査）を実施

第5回 協議会

日 時：平成25年1月31日 10:00～12:20

出席者：今田 徹 委員長、小山 幸則副委員長、三村 衛委員、鈴木明彦委員、安井 成豊委員、
三木 慶造委員、真下 英人委員、
(欠席：菅野 高弘 委員)

<国土交通省>

大臣官房 越智技術調査課長、総合政策局 安藤公共事業企画調整課長(代理)、土地・
建設産業局 青木建設業課長(代理)、水管理・国土保全局 山田治水課長(代理)、水管理・
国土保全局 塩路下水道事業課長(代理)、道路局 三浦国道・防災課長(代理)、
港湾局 下司技術企画課長(代理)

議事概要：

- ・倉敷市の事故に関する検討として海中から引揚げられたセグメントの詳細調査結果の報告がなされた。結果に基づき破壊形態について意見交換がなされた。引き続き分析が必要となった。
- ・シールド工事を行う建設会社からのアンケート調査結果の報告がなされた。その結果から4点の問題点が抽出され、その結果に基づき注意事項の議論がなされ、とりまとめられた。会議終了後にアンケート調査結果とりまとめとその注意事項を公表することを確認した。

I.3 公表資料

これまでにシールドトンネル施工技術安全向上協議会より公表している資料等は、以下のとおり。(掲載は省略しますが、下記 URL よりご確認ください。)

第1回 協議会

議事概要、議事次第

規約・委員名簿、個別事案に係る情報の取り扱い等について

資料-1 日本におけるシールド工事の実施状況

資料-2 シールド工事における技術基準、技術開発経緯

第2回 協議会

議事概要、議事次第

規約(改定)

第3回 協議会

議事概要、議事次第

中間報告

第4回 協議会

議事概要、議事次第

第5回 協議会

議事概要、議事次第

アンケート調査結果とりまとめ、アンケート調査結果に基づく注意事項

補足説明資料

シールドトンネル施工技術安全向上協議会 ホームページ(URL)

<http://www.mlit.go.jp/tec/kanri/stnkyougikai.html>

作成日：平成 25 年 3 月 29 日

作成者：国土交通省大臣官房技術調査課