

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」について

国土交通省大臣官房技術調査課
情報企画係長 植松 勇樹



協議会の概要

シールドトンネル施工技術安全向上協議会は、平成24年2月の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して設置された協議会である（委員等運営体制については表—1参

照）。本協議会では、以下の内容について検討しているところである。

- （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

表—1 委員名簿（敬称略）

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	社団法人日本トンネル技術協会 技術部長	鈴木 明彦
委 員	一般社団法人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	社団法人日本建設業連合会 土木工事技術委員会 専門委員	三木 慶造
委 員	独立行政法人土木研究所 道路技術研究グループ長	真下 英人
委 員	独立行政法人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

（注）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および港湾局技術企画課ならびに公益社団法人土木学会およ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している。

なお、本協議会で取り扱う事項は、捜査機関で捜査中の案件を取り扱う部分が多く、会議は非公開で行っている。



これまでの協議会の経過

(1) 第1回協議会

○日 時 平成24年4月27日(金)

10:00~12:00

○主な議題

- 1) 日本におけるシールド工事の現状
- 2) 倉敷市の事故の状況報告
- 3) 今後の検討方針の確認

○議事概要

- ・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。

(2) 現地視察

○日 時 平成24年5月22日

○視 察 先 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(JX日鉱日石エネルギー水島製油所B工場内)

○視察概要

- ・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縦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。

(3) 第2回協議会

○日 時 平成24年6月29日(金)

13:00~15:00

○主な議題

倉敷市の事故視察結果に基づき意見交換

○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。

(4) 第3回協議会

○日 時 平成24年7月23日(月)

10:00~12:00

○主な議題

- 1) 前回の議事概要の確認
- 2) 倉敷市の事故に関する検討
- 3) シールドトンネル設計・施工中の現場への注意事項

○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。

(5) 第4回協議会

○日 時 平成24年9月28日(金)

13:30~15:30

○主な議題

- 1) 前回の議事概要の確認
- 2) 倉敷市の事故に関する検討
- 3) シールド工事に関する聞き取り調査について

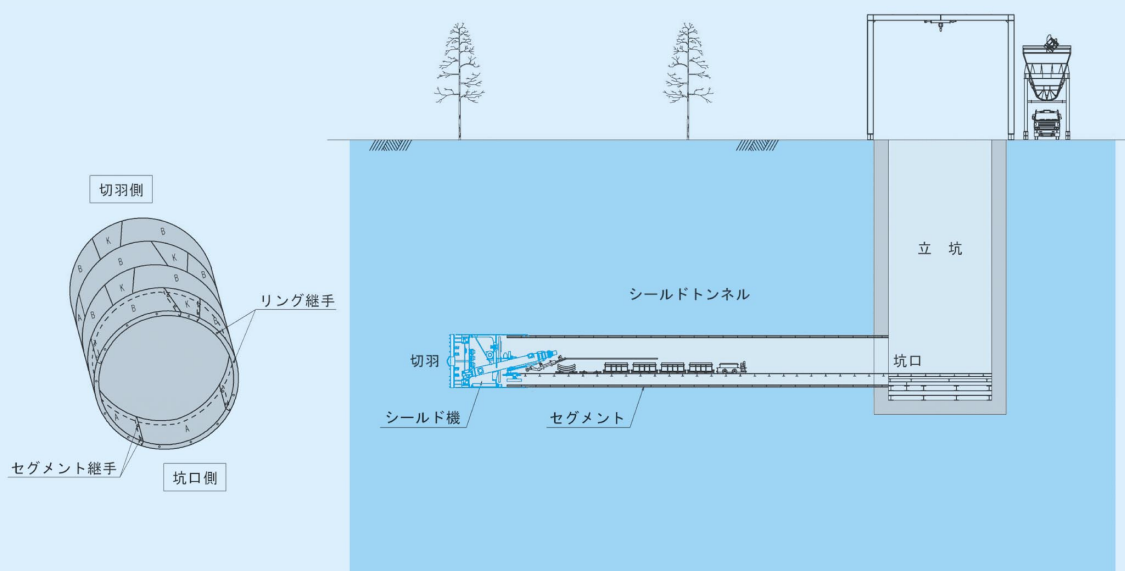
○議事概要

- ・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および土の挙動の分析について

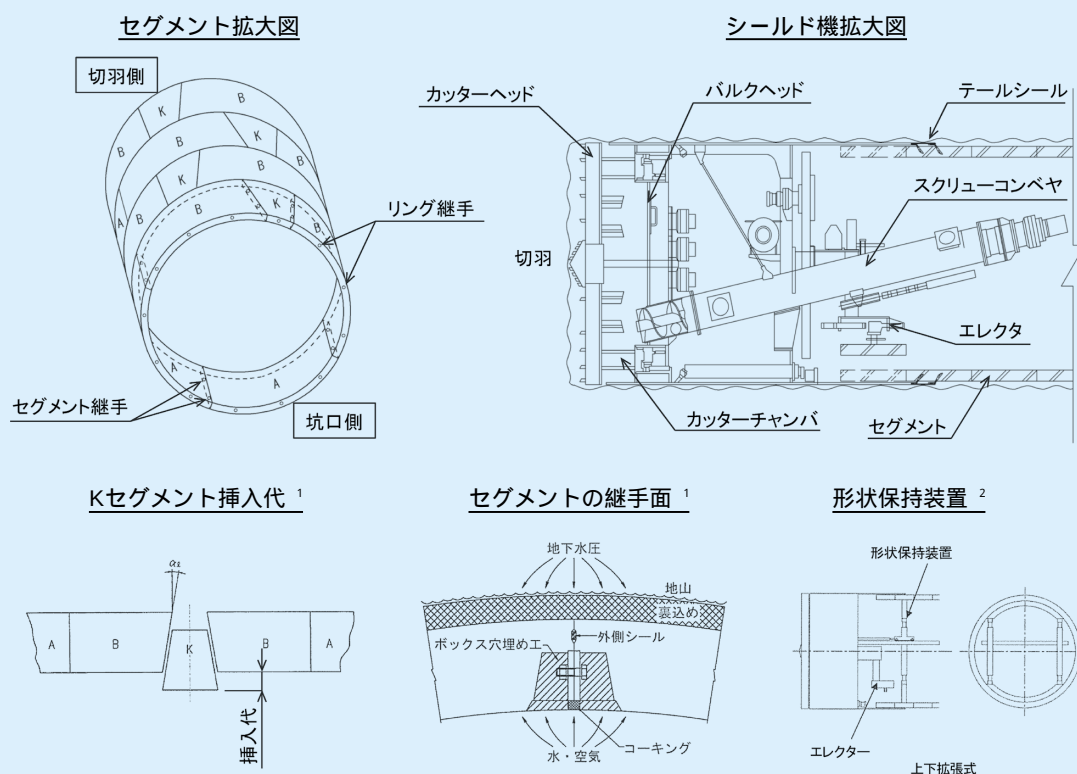
経過報告があり、意見交換を行った。今後も検討を継続する。

- ・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なされた結果、再度詳しく聞き取り調査することとなった。



図—1 一般的なシールド工事の概要図



※1「土木学会：トンネルライブラリー第23号 セグメントの設計【改訂版】」より図を引用
 ※2「土木学会：トンネル標準示方書[シールド工法]・同解説」より図を引用

図—2 一般的なシールド機等 概要図

- (6) 第5回協議会
- 日 時 平成25年1月31日(木)
10:00~12:00
- 主な議題
- 1) 前回の議事概要の確認
 - 2) 倉敷市の事故に関する検討
 - 3) シールド工事に関する聞き取り調査について
- 議事概要
- ・ 倉敷市の事故に関する検討として、海中から引き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。
 - ・ 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した。



「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」について

以下に、第5回協議会後に公表した「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」および「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」を掲載する。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。

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セグメントの抜出し現象について

軸方向挿入型Kセグメントを採用する場合は、設計段階において抜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セグメント抜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セグメントの抜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ずること。

【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セグメントの抜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)に抜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セグメントの抜出しの可能性の有無や対策について十分な検討を行い、抜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セグメントの抜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、抜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・品質を犠牲に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、河川横断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、施工時においては、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に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。

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

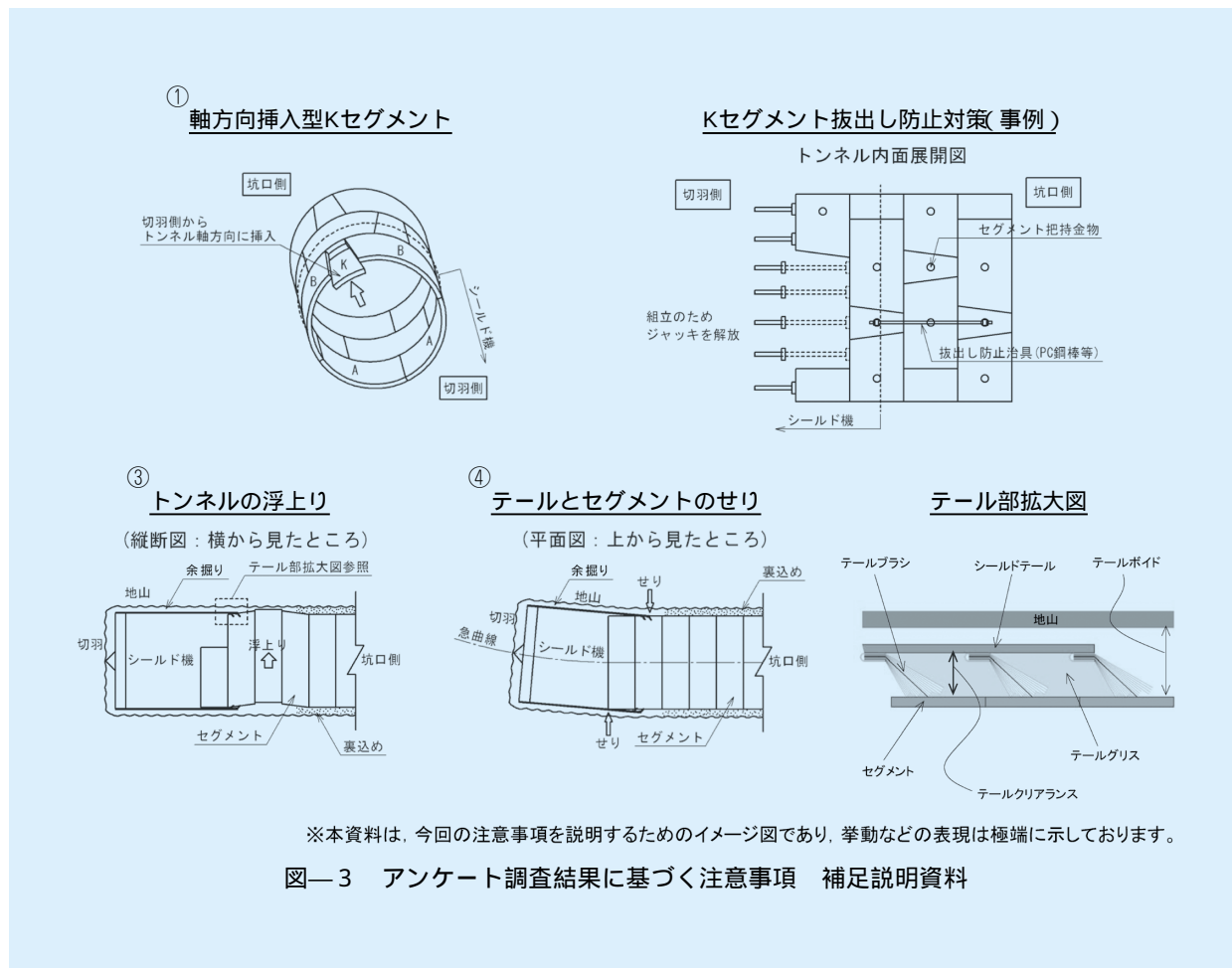
アンケート調査の結果から、複数の同様な内容の回答が得られたものと、少数意見ではあるが重要と思われるものを抽出して整理した。

① 軸方向挿入型Kセグメントの抜出しについて

1) 抜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）への抜出し現象は、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。



おわりに

協議会の活動と並行して、倉敷市の事故に関しては捜査機関による捜査が実施されているところである。協議会における事故の分析に必要な情報の入手等については、捜査等の進展によるところが大きいが、その進展状況については不透明な部分が多い。このため協議会の活動について、明確なスケジュールが立てづらい状況にある。

現時点では、倉敷市の事故に関して発生メカニズムを特定するには、情報が不足しているものの、今後、鹿島建設株式会社によるシールドマシン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。

また今回の注意事項は、全国のシールド工事現

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とりまとめたものである。

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。

これまでの協議会の検討、分析等において、ご指導をいただいている今田委員長、小山副委員長ほか委員各位ならびに調査にご協力をいただいている各機関に対して謝意を表して、「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」公表までの経過報告について締めくくる。

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>)