

シールドトンネルの施工に係る 安全対策検討会

報告書（概要）

シールドトンネルの施工に係る安全対策検討会 経緯及び災害の概要

経緯

平成24年2月7日、岡山県水島市で海底シールドトンネルの施工中、作業員5名が死亡するという重篤な崩壊水没災害が発生した。

厚生労働省では、これを契機にシールドトンネルの施工に係る安全対策について検討を行い、報告書を取りまとめた。

災害の概要

岡山県水島市の製油所において、A工場、B工場間の水島港を横断する配管施設用トンネル（横坑）を海底に構築するもの。トンネルは、B工場敷地内に構築した立坑から泥土圧シールド工法により掘削し、外径4,820mm、内径4,500mm、延長790m、上り0.77%、最小曲率半径 $R\infty$ 、土被り5.5m～28mである。（図参照）セグメントはRC造で、外径4,820mm、内径4,500mm、桁高160mm、幅1,400mmである。

災害発生までに立坑から約160m掘進し、109リングまでが組立てられていた。当日は午前7時20分頃から作業を開始し、午前11時45分までに111リングの組立て及び112リングの掘進を終了した。正午前頃、トンネル内でドーンと音がし、警報装置から電子音が鳴り始めた。この時点で出水が始まったものと思われる。

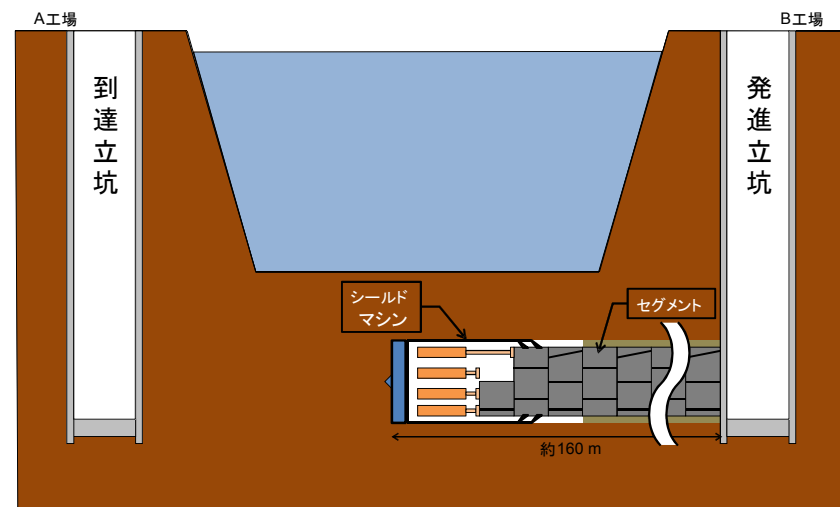
一次下請の切羽作業員A、シールドマシンオペレーターBが切羽にいたが、Bは当時地上にいた一次下請の職長Cを呼びに行き、Cとともに切羽に戻った。

午後0時20分頃、トンネル内で二度大きな音がし、大規模な出水が始まった。立坑下には、他に二次下請のバッテリー口オペレーターD、切羽作業員E、一次下請の立坑下作業員Fがいた。Fは階段で地上に避難したが、途中で海水に押し上げられるような形で立坑の入り口付近まで流され、地上に脱出した。

一次下請のA、B、C、二次下請のD、Eの5名が行方不明となり、後日遺体で発見された。

※泥土圧シールド工法：シールドマシンにより掘削した土砂に添加剤を加えて塑性流動化し、切羽を安定させながら土砂を排出する工法

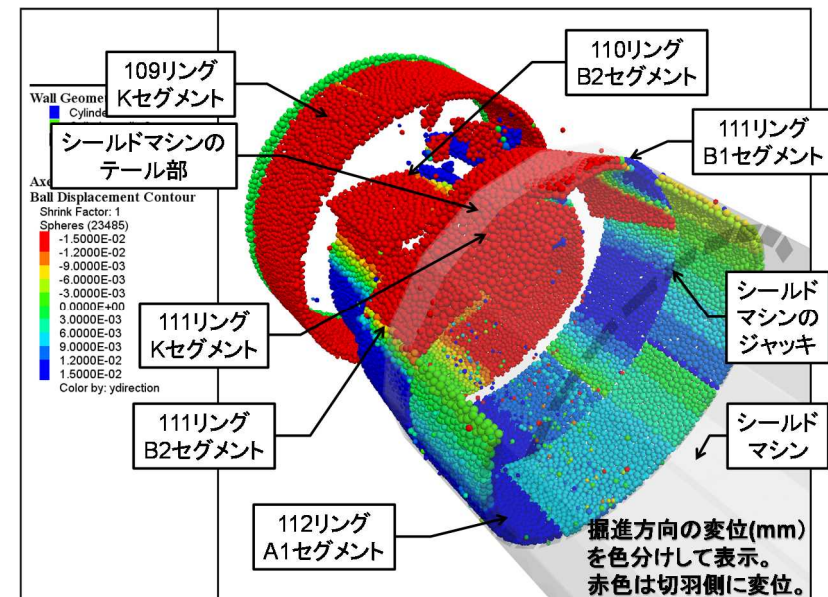
※RC造：鉄筋コンクリート造



シールドトンネルの施工に係る安全対策検討会 災害発生メカニズム

災害発生メカニズム

- ① 26リングにおいて掘進線が設計計画線から切羽に向かって左に約200mmずれていることが確認された（立坑及び横坑の測量結果より）。
- ② 85リングの掘進中又は組立て時に、裏込め注入材がシールドマシンのテール部を通過し坑内に漏れ出し、テールブラシ内で裏込め注入材が固結し始めた。そのため、85リング以降、テールクリアランスの値がほぼ一定値となった（掘進管理システムデータより）。
- ③ 94リング付近から、セグメントの線形を設計計画線に戻すため、シールドマシンを切羽に向かってさらに右方向に向けるが、セグメントは逆に左方向に向かい、シールドマシンとセグメントの方向に齟齬が発生した。そのため、裏込め注入材が固結したテールブラシとセグメントの競りが発生した。
- ④ 112リングのB 2セグメントを組立てようと111リングのKセグメントを支持していたジャッキを引き抜いたところ、シールドマシン前方からの切羽圧によってシールドマシンがテールを下げ、セグメント上部との競りが発生した（掘進管理システムのデータより）。
- ⑤ 111リングのKセグメントが切羽側に抜け出そうとし、リング継手が損傷し、111リングのB 1、B 2セグメントのリング継手（110リング側）の一部がせん断した。直後に111リングのK、B 1、B 2が坑内にわずかに垂れ下がった（リング継手の分析からの推定）。
- ⑥ 坑内への出水が始まり、切羽圧が低下し始めた（掘進管理システムのデータから）。
- ⑦ 出水が継続したことにより、地盤の緩みを引き起こし、110リング及び111リングの上部に作用する荷重が増大した（推定）。
- ⑧ 110リング、111リングの変形が進行し、両リングが崩壊し、大規模出水に至った（セグメントの破損状況の調査、個別要素法によりセグメント崩壊メカニズムをシミュレーションした結果から。図参照）。



※独立行政法人労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所の分析結果による

シールドトンネルの施工に係る安全対策検討会の提言事項のうち新たな取組※に係るもの

発注者による取組

- ・発注者は、設計者、元請施工業者、専門工事業者がリスクアセスメントを行い、その結果を設計図書又は施工計画に反映させる規定を設けること。
- ・発注者は、受注者が示した設計・施工方法について、中立性のあるシールドトンネルの専門家等による安全性の確認を受けることが望ましいこと。

設計者・施工者による取組

セグメント

- ・ジャッキ操作、施工時荷重に耐える強度を持ち、かつ、脆性的な破壊を生じない設計とすること。
- ・組立時にジャッキを抜いた場合のシールドマシンの姿勢に与える影響を考慮し適切な分割とすること。
- ・Kセグメントは、条件によっては摩擦力が低下することがあることを考慮して、滑動、抜け出しの可能性を検討し、堅固な継手の採用、抜け出し防止装置の設置等の必要な対策を講じること。
- ・あらかじめ十分な数のテーパセグメントを用意しておき、必要な時に迅速に対応できるよう管理すること。
- ・止水シール材は適切な材料及び形状を選定し、組立時に破損又は剥離しないよう留意すること

テールシール用グリース

テールシール用グリースの選定に当たっては、使用する裏込め材との接触による硬化等の変性、非定常時の溶接による火災等について十分検討すること。

線形管理

- ・発進する前の測量を適確に行うとともに、発進直後に掘進方向を確認するため、測量を行うこと。測量は二重の確認を基本とすること。
- ・掘削管理システムの計測結果とともに、測量、テールクリアランス測定等により得られた結果を突合し、トンネルの線形管理に適確に反映させること等。
- ・線形管理データは、工事終了後、必要に応じ発注者に提供すること。

掘進管理

- ・セグメントの組立て誤差を最小にし、セグメントリングが極力真円に近づくよう組立てること。
- ・掘進線が設計計画線から外れる鉛直方向、水平方向の偏差について上限値を含めた管理基準値を設定し、掘進中は常時モニタリングすること。
- ・掘進線が設計計画線から外れ、許容される偏差の上限値を超過した場合は、直ちに掘進計画を見直すこと。シールドマシンを設計計画線に戻す場合には、緩やかにこれを行うとともに、テーパセグメントを使用する等によりセグメントに無理な力を与えないようにすること。
- ・蛇行修正においては、組み立てられたセグメントに過大な負荷がかからないように、オーバーカット（カッターヘッドに内蔵された伸縮ビットによる余掘り）等を適切に行い、必要がある場合はテーパリングを使用すること。
- ・引き抜くジャッキの本数は最小限にとどめること。
- ・掘進管理データは、工事終了後、必要に応じ発注者に提供すること。

掘進状況に応じた施工計画の見直し

- ・施工中は掘進線の偏差、漏水、地盤からの有害・可燃性ガスの流入、施工したセグメントの状態等を継続的にモニタリングすること。
- ・セグメントのひび割れ、継手の損傷、漏水、掘進線の蛇行等の非定常事象が断続的に発生する場合は、施工計画を見直し、必要な措置を講ずること。

※シールドトンネルの施工に係る安全対策については、平成24年8月6日付け基安発0806台1号「シールドトンネル施工に当たっての留意事項について」により当面留意すべき事項が示されているが、ここでは検討会の提言のうち同通達に記載のない新たな取組をまとめた。

シールドトンネルの施工に係る安全対策検討会 提言（１）

第１ 趣旨

平成24年2月、岡山県倉敷市で施工されていた海底シールドトンネル建設工事において、崩壊水没が発生し6名が被災し、うち5名が死亡するという重大災害が発生した。厚生労働省は、本災害の重大性を踏まえ「シールドトンネルの施工に係る安全対策検討会」を設置し、専門家による検討を行ってきた。

本検討会は、シールドトンネル建設工事において講じることが望ましい具体的な安全対策について、厚生労働省への提言として取りまとめる。

第２ 発注者による取組

1. 発注者は、契約書、仕様書等において、設計者、元請施工業者、専門事業者がリスクアセスメントを行い、その結果を設計図書又は施工計画に反映させる規定を設けること。
2. 上記1.のリスクアセスメントの実施の時期は、工事計画の作成段階の他、当初の工事計画に無かった新たな作業方法・機械設備を採用する場合や、労働災害が発生した場合等とすること。
3. 発注者にシールドトンネルの専門家がいない等シールドトンネル建設工事の安全について十分に知見が無い場合、受注者が示した設計・施工方法について、中立性のあるシールドトンネルの専門家等による安全性の確認を受けることが望ましいこと。

第３ 設計者・施工者による取組

1. 的確なリスクアセスメントを踏まえた施工計画

- (1) シールドトンネルを掘進する地山の**地形**、地層及び地質の状態が十分明らかでない場合には、掘進箇所のボーリング調査等の実施を検討し、災害につながる要因の把握に努めること。
- (2) 調査等の結果に基づきシールド工法の計画（施工計画を含む。）を定め、また、施工状況に応じて適宜施工計画等を見直すこと。

2. シールドマシン

- (1) シールドマシンのテールシール（シールドマシン本体の最後部に設けられるシールドマシンとセグメントとの間の止水部材）は、高圧の地下水、土砂、裏込め材がシールドマシン内に流入することを防止するため、十分な止水性が確保できる構造、段数、材質とすること。
- (2) 地盤が良好ではない状況下で、組立時に自立性が低い構造のセグメントを採用する場合には、小口径の場合であっても形状保持装置（シールドマシンの後部内周に取り付けた膨張体により組立直後のセグメントリングの変形を抑制する装置）等の設置について検討すること。
- (3) スクリューコンベアからの噴発防止対策を講ずること。
- (4) シールドトンネル内の電気設備のうち安全上重要なものについては、漏水等の可能性を考慮した設計とすること。

※アンダーラインは、シールドトンネルの施工に係る安全対策については、平成24年8月6日付け基安発0806台1号「シールドトンネル施工に当たっての留意事項について」に記載のない事項。次頁以下、同じ。

シールドトンネルの施工に係る安全対策検討会 提言（２）

第３ 設計者・施工者による取組

3. セグメントの設計等

- (1) セグメントは、ジャッキ操作、施工時荷重に耐える強度を持ち、かつ、脆性的な破壊を生じない設計とすること。
- (2) セグメントの形状・寸法の決定に当たっては、構造計算のほか、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を勘案し、慎重に検討すること。
- (3) セグメントの分割は、組立時にジャッキを抜いた場合のシールドマシンの姿勢に与える影響を考慮し適切なものとすること。
- (4) セグメント、セグメント継手及びリング継手は、地盤が良好ではない場合等に水や土砂の流入によって土圧バランスが崩れる等不測の事態が発生した場合にあっても、リング構造が容易に崩れないものとする。
- (5) 鉄筋コンクリート製のセグメントのセグメント継手の構造又はリング継手の構造にインサートボルトタイプを採用する場合は、ボルトボックス及びボルトインサートが容易に抜けることのないよう、適切なかぶり及び配筋に注意すること。
- (6) Kセグメント（セグメントリングを完結するため最後に挿入するセグメント）については、条件によっては摩擦力が低下することがあることを考慮して、滑動、抜け出しの可能性を検討し、堅固な継手の採用、抜け出し防止装置の設置等の必要な対策を講じること。
- (7) あらかじめ十分な数のテーパセグメント（曲線施工のためのテーパリングを構成するセグメント）を用意しておき、必要な時に迅速に対応できるよう管理すること。
- (8) 止水シール材（リング間、セグメント間の側壁に沿って貼付するゴム等）は適切な材料及び形状を選定し、組立時に破損又は剥離しないよう留意すること。

4. テールシール用グリース

テールシール用グリース（テールブラシの中とテールシール間の隙間に充填する粘性の高いシーリング材）の選定に当たっては、使用する裏込め材との接触による固化等の変性、非定常時の溶接による火災等について十分検討すること。

5. 線形管理

- (1) 発進する前の測量を適確に行うとともに、発進直後に掘進方向を確認するため、測量を行うこと。測量は二重の確認を基本とすること。
- (2) 掘進管理システムを導入し、リアルタイムでシールドマシンの位置等に係るデータを計測すること。また、適切な頻度で更正すること。
- (3) (2)の計測結果とともに、測量、テールクリアランス測定等により得られた結果を突合し、トンネルの線形管理に適確に反映させること。この場合、得られたデータを図化する等により相互の関連性が容易に判断できるようにすることが望ましいこと。
- (4) ビデオ撮影を行う場合は、映像を一定期間保存すること。
- (5) 線形管理データは、工事終了後、必要に応じ発注者に提供すること。

シールドトンネルの施工に係る安全対策検討会 提言（３）

第３ 設計者・施工者による取組

6. 掘進管理

- (1) セグメントの組立て誤差を最小にし、セグメントリングが極力真円に近づくよう組立てること。
- (2) 掘進線が設計計画線から外れる鉛直方向、水平方向の偏差について上限値を含めた管理基準値を設定し、掘進中は常時モニタリングすること。
- (3) 掘進線が設計計画線から外れ、許容される偏差の上限値を超過した場合は、直ちに掘進計画を見直すこと。シールドマシンを設計計画線に戻す場合には、緩やかにこれを行うとともに、テーパセグメントを使用する等によりセグメントに無理な力を与えないようにすること。
- (4) 蛇行修正においては、組み立てられたセグメントに過大な負荷がかからないように、オーバーカット（カッターヘッドに内蔵された伸縮ビットによる余掘り）等を適切に行い、必要がある場合はテーパリングを使用すること。
- (5) 引き抜くジャッキの本数は最小限にとどめること。
- (6) 中央管理室がある場合には、掘進中、当該中央管理室に職員を常駐させること。
- (7) テールシールの止水性を保持するため、テールシール用グリースの補充を適切に行うこと。また、注入は、注入量と注入圧及び注入時期に留意して行い、その記録を残すこと。
- (8) テールクリアランス（シールドマシンの外殻であるスキンプレートの内側とセグメント外面との間の隙間）を適切に保持すること。
- (9) 裏込め材の注入は、セグメントがテール部を出た後、できるだけ早期に実施すること。また、注入圧力と注入量を継続的にモニタリングし、適切に管理すること。
- (10) 掘進管理データは、工事終了後、必要に応じ発注者に提供すること。

7. セグメントの組立

- (1) セグメントは割れ、欠け等が生じないように取り扱うこと。
- (2) ジャッキの押し出し、引き抜きの手順は、セグメントの安定性の維持に留意して定めること。特にKセグメントの挿入時のジャッキ操作について十分に留意すること。
- (3) セグメントに締結力のない継手を採用する場合には、漏水等の原因となるセグメント継手やリング継手の目開きや目違いが生じないように、セグメントリングの形状の保持のため必要な措置を講ずること。

8. 掘進状況に応じた施工計画の見直し

- (1) 施工中は掘進線の偏差、漏水、地盤からの有害・可燃性ガスの流入、施工したセグメントの状態等を継続的にモニタリングすること。
- (2) セグメントのひび割れ、継手の損傷、漏水、掘進線の蛇行等の非正常事象が断続的に発生する場合は、施工計画を見直し、必要な措置を講ずること。

9. 避難、救護の訓練

- (1) 落盤、出水、ガス爆発、火災、有害ガスの流入等の発生を想定し、掘進開始後なるべく早期に１回、その後６月以内の適切な期間ごとに１回、避難及び消火の訓練を実施すること。
- (2) 落盤、出水等による労働災害発生の急迫した危険があるときは、直ちに作業を中止し、人命確保を最優先として速やかに労働者を安全な場所まで退避させること。
- (3) 労働者の救護に必要な機械等を備え付け、救護に関する技術的事項を管理する者を選任し、救護についての訓練等を行うこと。