

シールドマシンの設計に対する適応性と信頼性に関するリスク評価事例

地域 地盤 環境 研究所 正会員 ○橋本正, 譽田孝宏
 同済大学 朱合華, 馬陰峰
 大成建設 正会員 亀村勝美

1. はじめに 現在, 中国上海で施工中である上海崇明長江横断道路工事は, 中国沿岸高速道路網における長江横断部に相当し, 世界的にも最大級の掘削径を有する大断面シールド工事である. 計画にあたって, 数多くのシールド工事に携わった複数の専門技術者によって, 類似規模である東京湾横断道路やオランダのGroene Hart Tunnel等の事例を参考にしながら, 長距離および高速施工に関する制約条件を検討した上で, シールドマシンに関するリスク評価を実施することにより, その適用性および信頼性を把握して, リスクを回避するための取り組みが検討された. ここでは, これらリスク評価事例について紹介する.

2. 工事概要 本工事は, シールド外径 $\phi 15430\text{mm}$ (セグメント外径 $\phi 15000\text{mm}$)の単円併設シールドトンネル(トンネル離隔 14.4m , 掘進延長 7.5km (図1参照))であり, 線形勾配は $0.3\%\sim 3\%$, 要求工期は3年以内であった. 泥水式シールド工法の採用が予定されており, 主たる掘進土層は, 軟弱な沖積粘性土($c=4\sim 10\text{kN/m}^2$), 最大土被り厚約 40m (最大水深約 23m)である. 陸上部の換気塔からシールド発進することから, 陸上および海上から発進・到達立坑へアクセスができることと, 昼夜間施工が可能であることが条件として付加された.



図1 長江横断道路工事の平面図

3. 長距離および高速施工に関する制約条件 長距離施工に伴ってシールドマシン仕様がアップした場合でも, 一般的には長距離になるほど安価になる傾向にある. ただし, 掘削土や資機材の搬出入距離が長くなることから, それに相当する設備と電気を多く消費することになる. 類似事例を参考に今回の条件で経済的な掘進延長を試算したが, 掘進延長 7.5km であればシールドマシン1台で施工することが可能と判断された. また, 高速施工に伴い, 低減される費用(工程短縮に伴う労務費および損料など)と増加する費用(シールドマシン設備, 掘削土処理, 流体輸送設備等)があるが, 類似事例を参考にコスト面から以下のような施工サイクルを想定して掘進速度を概算した. その結果, 3年以内の工期を満足する結果が得られた.

- ・掘進時間 : セグメント幅 2.0m /掘進スピード $50\text{mm/min}=40\text{min}$
- ・セグメント組立時間およびその他時間 : $50\text{min}+10\text{min}$ (掘進準備, 送排泥安定時間等)
 →合計, 1リング当たり 100min 必要.
 →よって, 1日当たり $4.5\text{リング/方}\times 2\text{方}\times 2.0\text{m/リング}=18\text{m}$, $18\text{m/日}\times 19\text{日/月}=342\text{m/月}$.
 →(最大掘進延長 7.5km —初期掘進 160m)/ 342m/月 +初期掘進&段取替 $5\text{ヶ月}=26.5\text{ヶ月}<3\text{年}$

4. リスク評価方法 「リスクR」は, 対象とする事象の「発生確率P」と, その事象が発生した際の「損害の大きさC」で表現することができる. ここでは, 客観的評価(同種のものにおける過去の実績データ)と主観的評価(複数の専門技術者の経験に基づく評価)に基づいて各々のランク分けを表1のようにおこない, 表2に示すリスクマトリックスにしたがって, リスクの大きさを表3のように表現した.

キーワード: リスク評価, 大断面・長距離シールド工事, 河川横断トンネル, 沖積粘性土

連絡先: 財団法人 地域 地盤 環境 研究所 大阪府大阪市西区立売堀4-3-2 TEL: 06-6539-2971

表1 発生確率 P および損害の大きさ C のランク

ランク	発生確率 P の内容	物理的損害	人的損害	損害の大きさ C の内容
1	ほとんど発生しない	極小	なし	問題なし
2	希に発生する	小	なし	問題なし
3	時々発生する	中 (工期・工費に影響)	軽微	適切な事前対策と施工中の管理
4	かなりの頻度で発生する	大 (工期・工費に大きな影響)	重傷事故	工法の適用に当たっては制限を設けて集中的な管理
5	頻繁に or ほとんど間違いなく発生する	極大(工事中止)	人命損傷	適用すべきではない

表2 リスク R の評価

P \ C	1	2	3	4	5
1	R1	R1	R2	R2	R3
2	R1	R2	R2	R3	R4
3	R2	R3	R3	R4	R4
4	R3	R4	R4	R5	R5
5	R4	R5	R5	R5	R5

表3 リスクの大きさ

リスク	リスクの内容
R1	リスク保有：ほとんど無視しうるリスク。
R2	軽微リスク：設計上の配慮，施工時の日常管理で対応可能。
R3	中度リスク：設計上十分配慮し，施工においては綿密な管理計画を立てる。
R4	重度リスク：設計条件を明確にした上で施工上の制限を設ける。施工に当たっては，集中管理をおこなう。
R5	極大リスク：一旦発生するとプロジェクトの存続に影響する。工法採用は不可。

5. リスク評価結果 上記に示した手法により，本工事を対象としたシールドマシンの設計に関する 51 項目のリスク評価をおこなった。結果は R1：1 項目，R2：7 項目，R3：30 項目，R4：13 項目，R5：0 項目となった。リスクを回避するための対策案を講じれば，計画されているシールドマシンの適用性および信頼性は確保できると判断された。例として，R4 と判断されたリスク項目の評価結果とリスク回避用の対策案および対策案採用後のリスク再評価結果(R4 から R3 にリスク回避)を表 4 に示す。

表4 リスク評価結果一覧表(R4 から R3 に低減された例)

項目	リスク項目	対策案	事前評価		再評価	
			P	C	P	C
② マシン各部位の耐久性	⑩ 異物(木片等)の混入による排泥管の閉塞	閉塞を想定して，取り出し口を設ける	2	4	2	3
③ シール性能チェック	⑦ 不適切なテールシールへの給脂による止水性能及び耐久性能の低下	自動給脂装置を設置し，その管理を徹底する	2	4	1	4
	⑧ テールシール破損時や交換時の不適切な噴発防止による坑内水没や陥没	トラブル発生時の補助工法の確実性に依存するため，適用性と施工管理手法について十分事前検討する	1	5	1	4
④ テールでのスキンプレートの異常変形	① 設計時の荷重条件の設定や計算手法の不備，施工時の異常操作等による異常変形の発生	設計時チェックを厳重にした上，設計条件の限界を考慮した施工管理マニュアルを整備し，厳格に実施する	1	5	1	4
⑤ セグメント自動組立装置の必要性能	④ 高速度で作動するエレクタによる作業員の事故の可能性	事前の安全対策と教育を徹底し，施工管理マニュアルを整備し，厳格に実施する	1	5	1	4
⑥ 裏込め注入設備，注入材性能，注入孔	② 地上設備から直接裏込め注入する場合，注入量管理及びポンプ能力に問題が生じる	坑内設備に切り替えて対応する	5	3	2	3
	③ 不適切な注入材選定による材料分離，流動性の喪失，容積減少，強度不足，水密性低下，配管内での硬化	事前の注入材設計時に十分な検討をおこない，試験施工を実施する	2	4	1	4
⑨ 掘進スピードの確保とジャッキ能力，本数	① 総推力の余裕不足による方向制御等スムーズな掘進への影響	ジャッキ推力については，設計時に十分な余裕を取る	2	4	1	4
	③ 不適切なジャッキ配置によるクラックの発生	設計時に十分検討をおこない，設計条件を考慮した施工管理を実施する	4	3	3	3
⑩ ローリングピッチング	① 不適切なシールド機の重心位置による方向制御に影響を与えるピッチング，ローリングの発生	設計時のチェックを厳重におこなう	2	4	1	4
⑪ セグメントの搬送	① 不適切な運搬方法によるセグメントのクラックやカケの発生	適切な搬送方法を計画し，搬送時の管理を徹底する	4	3	3	3
⑫ 地盤改良のためのグラウト孔	① 障害物や異物等が切羽に出現した場合，除去のための切羽と自立させるための補助工法	グラウト孔を事前に設置し，具体的な地盤改良工法について適用性と管理手法を事前検討する	2	4	2	3
⑭ 防火設備	① 作動油類への引火による坑内火災の発生	事前の安全対策と教育を徹底し，施工管理マニュアルを整備し，厳格に実施するが，万一発生した場合の延焼防止策が重要である	1	5	1	4

6. おわりに 今回，中国の長江横断道路トンネルに対して大断面および長距離シールド工法を適用するにあたり，シールドマシンの能力や設備に関するリスク評価をおこなった事例を紹介した。現在考えられるマシン技術に関するリスク項目を洗い出し，各項目に対してリスク評価を実施することによって，対策案を含むマシン設計の方針が明確化でき，リスクアセスメントの有用性が示された。