

オランダにおける調査・計測技術の有効利用と契約形態

現地調査 現場計測 トンネル

地域地盤環境研究所 国際会員 橋本正
同 国際会員 田中誠 正会員 豊田孝宏
GeoDelft 非会員 Hans Brinkman
Holland Railconsult 非会員 P. S. Jovanovic

1. はじめに

現在，オランダにおいては，高速鉄道 HSL (High Speed Line)やアムステルダム地下鉄をはじめとする多くのトンネルが建設されている．HSL の代表的なシールドトンネルである Groene Hart (グリーンハート) トンネルを例として，トンネルの建設に先立つ地盤調査や，掘削中の地山変位の計測の結果がどのように実施工や建設リスクの低減に活用されているかを述べる．あわせて，施工上の難問を解決するための発注方式や設計施工一括契約方式も紹介し，受発注者間でどのようにリスクを分配しているかを述べる．

2. 対象構造物 Groene Hart トンネル

Groene Hart トンネルは，アムステルダムとパリとを結ぶ HSL の線上にあるオランダの軟弱な低地 Groene Hart の下に掘削されるシールドトンネルである．トンネルは，741m の北側傾斜部，707m の南側傾斜部および 7.16km のシールド掘進トンネルからなり，全長は 8km を超える．トンネルの直径が 14.5m と大きいため，リスクを低減する方策として覆工の設計に特に注意を払わなければならない．

3. 過去の事例の反省

オランダでは，Groene Hart トンネルに先立って同様に軟弱地盤をシールド掘進した例として，第二 Heinenoord トンネル (直径 8.35m) および Botlek 鉄道トンネル (直径 0.5m) がある．これら 2 つのプロジェクトにおいて，キーセグメント近くの覆工がジャッキ圧により破損した経験から，3 次元 FEM 解析を行って覆工に発生する応力を求め，リスク管理を行うこととした．

4. 設計思想

トンネルの変形は，覆工の剛性が同じであれば，軟弱地盤において大きく地盤が硬質になれば小さくなる．しかし，トンネルの変形は，1 リングあたりのセグメントの数，キーセグメントの種類，セグメント接合方法およびシールド材，ジャッキの数および覆工におけるジャッキ載荷位置，注入材の種類および組立精度等にも影響される．これらを完全に評価することは非常に困難であり，品質低下や，補修・維持のための費用増といったリスクを避けるためには，受容できるリスクレベルを設定し，図 1 に示すリスクマネジメントプロセスを経る必要がある．これは，豪州リスクマネジメント標準を援用したものである¹²⁾．

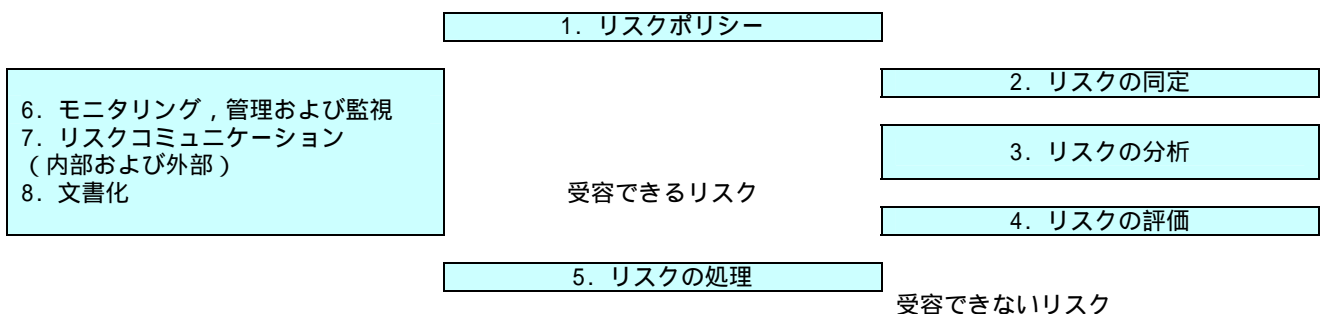


図1 包括的リスクマネジメントプロセス

一方でトンネル構造物は，機能性，遮水性，耐久性，安定性，強度および信頼性といった基本的な要求を満たさなければならない．例えば，トンネルの断面変形が許容値を超えれば機能性が失われる．これに対して，覆工に作用する裏込め注入圧やジャッキ圧が一樣でない，セグメント設置精度が低い等の理由により，トンネル断面は一樣に変形するとは限らない．その場合は，セグメント接合部がずれて応力集中が生じ，セグメントが損傷し，構造物の耐久性や安定性が損なわれ，維持管理費用の増大や寿命の短縮につながる．地盤や構造物の諸条件が事前に与えられれば，例えば 3 次元 FEM 解析により図 2 に示すようにトンネルの断面変形やセグメントの損傷を予測することができる．しかし，設計

段階でこれらを完全に予測することは不可能であるため、覆工の挙動メカニズムを理解し、有害な変形をリスクと捉えてリスクプロファイルを作成し、施工の早期に変形を抑えるための手段を講じるべきであることを、受発注者ともに認識しておかなければならない。

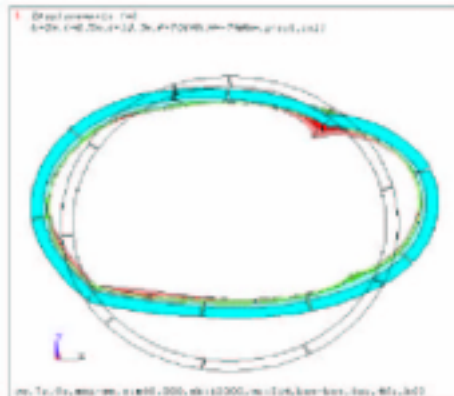


図2 予測されたトンネル断面変形

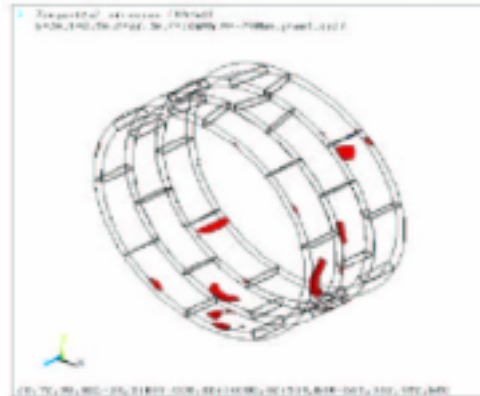


図3 予測された覆工の損傷

このようなトンネル断面変形の問題に対処するため、受発注者の共通理解のもと、実物大実験や3次元FEM解析によって変形を予測するとともに、実施工においても有害な変形やセグメントの損傷を少なくするジャッキ載荷点の位置を求めたり、変位計測の費用を惜しまずにセグメント設置や組立の管理を高精度化したりするという対応を行った。

5. 発注・契約方式

Groene Hart トンネル工事の契約手続きは、入札方法が独自で通常でないことを考慮して、1998年9月に始まった。情報、記録されるべき経過および一般的な仕様書といった従来の広告はなく、略式・公開のシンポジウムに国内外の建設業者が出席して率直な討論が行われた。これは、費用を要するシールドトンネル施工のための最適解を、市場に求めるためであった。国内の企業連合が落札して設計施工一括方式の契約に調印し、契約手続きは1999年11月に終了した。

契約は、入札が行われる前の1999年6月に開始された第2回の交渉を経て、1999年11月1日に落札された。発注者と受注者との間で、技術的問題、リスク、費用および工期に関する完全公開の真剣な説明と技術的議論が交わされ、企業連合が発注者との「提携」という手法で落札した。この結果、中央隔壁を有する革新的な単管チューブという解によって、発注者、受注者ともに大きな利点もたらされた。契約過程は、入札資格審査 協議 条件提示 発注者による評価 交渉 落札という順序を経た。

設計施工一括契約の思想の主な論点は、受発注者間のリスク分配の方法である。大規模トンネルのプロジェクトにオランダで最初に設計施工一括契約方式を適用しようという着想は、価格相応性に立脚した透明性に基づいている。このことは、プロジェクト期間中の全ての設計変更の際に、発注者の責任が減少し、受注者の責任が増加することを意味する。一方、リスク評価はその多くの部分が受注者ではなく発注者に属することになる。従来の契約方式を用いれば、発注者と受注者の責任は同等である。契約方式の違いによる受発注者が負う責任の違いを図4に示す。

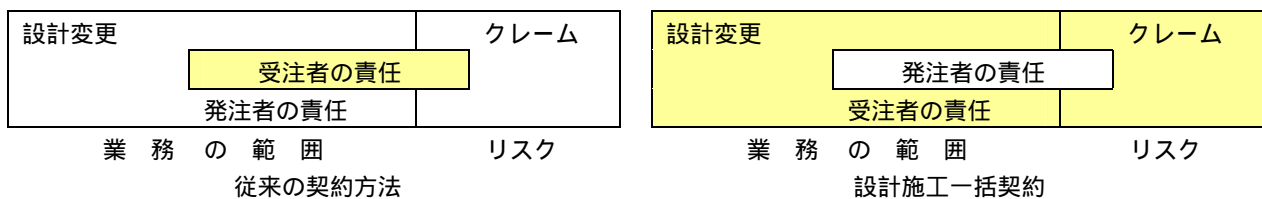


図4 従来の契約方法と設計施工一括契約における受発注者の責任

6. おわりに

リスクマネジメントの観点³⁾から、プロジェクトの最適解は次のような要因に支配される。

- ・実施工や実験によって改良を重ねられた推奨設計思想
- ・適切な施工（セグメント成型、高精度の組立、接合部の種類）
- ・施工上の工夫（シールドマシンの設計、ジャッキ位置、最大ジャッキ圧の制御、最適裏込め注入等）
- ・高度な計測システム

参考文献 1) Blom, C. B. M. *et al.*: 16th IABSE, Lucerne, Switzerland, 2000. 2) Leendertze, W. & Jovanovic, P. S.: NATM 2002, Seattle, USA, 2002. 3) 藤川ら：第39回地盤工学研究発表会，pp. 165-166, 2004.