

1. はじめに

シンガポールでは、1970年代後半からの急速な経済発展に伴い大規模公共工事や地下掘削を伴う建築工事が増加し始め、1983年に始まった地下鉄建設工事から大規模掘削工事が飛躍的に増えた。掘削工事の大型化と複雑化に伴い、トンネルの陥没や山留壁の崩壊などの重大事故から周辺住宅の亀裂、道路の沈下、地下埋設物の破損などの小規模損傷まで、地盤に関係する事故は現在も後を絶たない。これら事故の責任は、発注者、設計者、施工業者が応分に負うべきものであるが、その分担割合が極めてあいまいであり契約書や仕様書でも明確にできていないのが実情である。工事にかかわる仕様書では、予見できない地盤の変化による設計変更は認められているのだが、経験ある施工業者でも予見できない事象という付則があるため、発注者と施工業者の間で延々と論争が起こり短期間で決着をみないため、結果として施工業者が事故防止策を施しておき、後で設計変更を請求（クレーム）することが一般的であった。ところが、発注者が経験ある業者という付則を盾にクレームを承認しない事例が増えたため、施工業者は回収できない支出を避けるため適切な処置をせず無理をして工事を進め、重大事故につながったケースも発生した。

近年のシンガポールの公共工事では過去の重大事故や多大な労力を費やすクレーム処理を経て、事故の回避とクレーム処理の円滑化を目的として **Geotechnical Baseline Report (GBR)** を導入するようになってきた^{1), 2)}。GBRには、地質、地層構成、土質定数など一般的な地盤調査報告書に記載される内容に加え、想定される地質や地盤に関するリスク（ここでは地質リスクと総称）とその対処方法が記載される。それに基づき発注者と施工業者が地盤について予め共通認識を持ち、GBRに記載された地質リスクについては既知のものであるという認識で施工業者が費用を分担し、GBRに記述のない事象を予見できない事象として発注者が設計変更を認め費用を負担するというものである。本報告はシンガポールで導入されている GBR を地質リスク管理という視点から紹介するものである。

2. 事例にみる地質リスク

シンガポールの地下鉄工事では、工事の進捗に合わせて予期しない地盤状況が出現し、事故や頻繁な設計変更が発生した。1983年に施工が始まった第1期地下鉄工事で施工業者が設計変更分をクレームする根拠にあげた予期できない地盤条件には以下のようなものがあつた^{3), 4)}。

- 1) 予期しなかつた場所に軟弱粘性土で覆われた溺れ谷があつた

- 2) 透水性の高い砂層が予想外の場所に出現した
- 3) 花崗岩の風化残積土の強度が予測より低かった
- 4) 地層 A と地層 B の境界が予測された位置より大きくずれていた
- 5) 地層 C に含まれる砂岩ボルダーの強度が予測されたものより高かった
- 6) 地層 C に含まれる砂岩ボルダーの大きさが予測よりはるかに大きく、また含有割合も予測より多かった

上記の予期できない地盤条件は、トンネルの陥没、周辺構造物の変状、山留壁の過大変形、大幅な工法変更と工期の遅延などの原因となり、施工業者は多額のクレームを行った。

これらのクレームについて発注者と施工業者は、それが“経験のある施工業者”でも予見できたかできなかったかについて延々と議論を続け、多大な労力を費やしたのである。シンガポールの公共工事ではまだ寡聞にして知らないが、周辺国や民間業務では双方が合意に達せず、クレームが仲裁や訴訟にまで発展するケースをよく耳にする。

3. GBR の導入

シンガポールの GBR は、当初設計変更クレームを低減するという目的で導入された。そのため GBR の記載内容には明確な根拠が必要であり、工事中に遭遇する実際の地盤状況と比較評価ができるベースライン（基準）の役割を果たすと規定されている。地盤に起因するクレームが発生した時のベースラインとし、GBR に記載があれば施工業者の負担、なければ発注者が負担するという意味である。

クレーム対応としての役割に加え、GBR 導入には、複数の入札業者に地盤について同じ情報を提供し共通認識のもとで工事費を積算させ、公正で有効な入札を行う狙いもあった。入札業者間の地盤解釈の違いによって、仮設工やトンネル掘削方法がまったく異なったものとなり、入札金額が倍半分も開く入札が発生したこともあったからである。

2009 年発注の地下鉄工事ダウンタウンライン 3 設計業務では、設計コンサルタントが GBR に相当する Geotechnical Interpretative Baseline Report (GIBR) を作成することが義務付けられた。シンガポールでは、プロジェクトや発注官庁によって GIBR、GIR、GBR など異なる呼称を用いるケースがあり、混乱を避けるため本稿では GBR とする。

発注者は地盤調査を地盤調査会社に別発注し、結果のみをまとめた地盤調査報告書 (Factual Report) が設計コンサルタントに提供される。設計コンサルタントに所属する地盤工学技術者はこの報告書を基に GBR を作成する。過去のプロジェクトでは地盤調査の質と量が根本的に不足していたという反省もあり、地盤工学技術者は、GBR を

完成するために必要なら地盤調査を追加提案できることになっている。

地下鉄ダウンタウンライン3の仕様書では、GBRに以下の項目を記載するよう規定している。

- 1) サイトの地質、土質および岩盤分類
- 2) 各種地盤定数
- 3) 最低限必要な地盤工学的設計定数とその設定根拠
- 4) 想定地層断面図、特に沖積層と基盤層の境界コンター図と断層・褶曲は必ず記載すること。地層境界は変動幅を表示すること
- 5) 各地層のコンター図、表示形式は発注者の許可を得ること
- 6) 概念的な仮設工法、施工方法、および施工に必要な地盤改良工法の提案
- 7) 提案した仮設工法と施工方法により発生する地盤と地下水の挙動予測
- 8) 提案した仮設工法と施工方法を基にしたリスク抽出、リスク解決策、危険要因（ハザード）の抽出
- 9) 仮設および永久構造物の設計施工で遭遇する危険な状況の明示
- 10) 抽出したリスクを処理する方法の提案

上記項目のうち、1)～5)は通常の地盤調査報告書に記載される地盤の解釈と設計地盤定数の提案であり、6)と7)は仮設設計と地盤解析である。特筆すべきリスク関係の記述は8)～10)で規定している。

4. GBRによるリスク管理

シンガポールでは過去の工事、設計、事故などの事例を発表する学会やセミナーが頻繁に開かれているので、第2章で紹介したような過去の予期できない地盤条件は既知の事象として最近のGBRでは特定されているはずである。さらに、抽出したリスクについての対処法の記述も要求されているので、GBRはベースラインだけでなくリスクアセスメントやリスク管理マニュアルとしての役割も担っていることになる。

リスクアセスメントには、地下鉄工事影響圏内の既設構造物の基礎の設計図書や施工記録の収集、基礎形式不明の場合の試掘確認、FEMによる掘削解析、解析で沈下や変形が許容値を超える構造物の構造計算、対処法の提案が含まれる。

地下鉄東北線の地下鉄駅の建設工事では、深度30mの掘削が行われたが、乗降客の多い既設地下鉄駅と運行中のトンネルに近接した工事であったため、厳格な安全管理・リスク管理が求められた⁵⁾。

設計段階において山留壁の設計を兼ねてFEMを用いた掘削シミュレーションを行い、地盤と地下水の挙動予測、山留壁の変形量、周辺構造物の変位量、地下水位・間隙水圧変化、切梁反力などを算出した後、計測機器ひとつひとつに管理値を設定した。

表 1 は、動態観測値に応じたリスク段階ごとに提案した対策案である。

表 1 動態観測管理値に応じたリスク段階と対策

リスク段階	動態観測管理値	対 策
第 1 段階	設計値の 70%	計測の増強、バックアナリシスと設計の見直し
第 2 段階	設計値の 100%	掘削工程の見直し、切梁の補強と追加
第 3 段階	限界値	掘削停止、埋め戻し

(注) 設計値は、切梁軸力を例にすれば、FEM 掘削解析で求まる切梁反力であり、限界値は切梁に使用した鋼材で決まる数字である。

工事では掘削開始からまもなく切梁軸力が設計値に達したため、表 1 のリスク管理計画に従い、図 1 に示すように切梁段数を追加することになった⁶⁾。

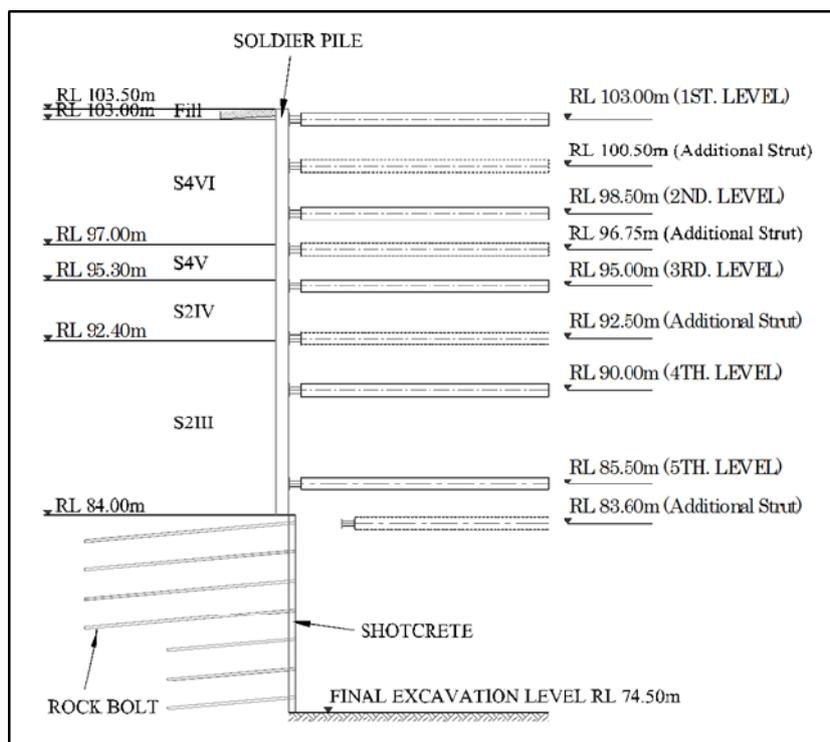


図 1 切梁の追加 (Additional Strut)

このプロジェクトは、デザインビルド (DB) であり、GBR の作成と仮設山留壁の設計は施工業者に雇われた地盤工学コンサルタントが担当した。そのため、施工中の地

質リスクに対する責任は、施工業者とそのコンサルタントに帰することが明白であるとともに、これまで経験したことのない異常な土圧（ベースラインを超えた土圧）が観測されたことで設計変更も容易に認められるはずだという判断のもと迅速に対応し、切梁や腹起しの破損、山留壁崩壊などの重大事故を起こさずに済んだ。

5. まとめと今後の展望

GBR は入札書類の一部として入札に参加する施工業者に提供される。入札業者は入札時に限り GBR の内容に異議を申し出ることが可能であり、修正後いったん合意すれば GBR は契約書類の一部となる。DB で発注される場合の GBR は施工側の地盤工学コンサルタントが作成し、発注者と発注者側コンサルタントが照査した上で契約書類の一部となる¹⁾。当初 GBR は設計変更クレームの低減を目的として発注者側の利益を守ることを主眼として導入された。その後、公共工事での重大事故を契機として、地質リスクの抽出と対処法の明記が加えられた。これは GBR がクレーム時のベースラインとしてのみ利用される単なる契約文書にとどまらず、施工中のリスク管理マニュアルにまでその役割を進化させたもので、工事中のリスク管理に役立っている。

シンガポールでは年々 GBR の重要性が増しており、プロジェクトのバイブルとも呼ばれるようになってきた。図 2 に示すように学会やセミナーにおいて GBR に関する特別セッションを設け、GBR の記述例、遭遇した地質リスクとリスクマネージメント、GBR の利用適用方法の紹介などを行い啓蒙、知識の共有と記載内容の改良が加えられている。発表の中には、GBR の工事保険への適用を論ずるものもある。



図 2 Underground Singapore 2007 学会での GBR 特別セッション

昨今、日本国内では設計や施工の瑕疵責任問題が大きく取り上げられているが、地質リスク事例で報告されているように予期せぬ地盤状況に遭遇することも多く、責任が誰に帰するか明確でない場合も少なくないように思う。日本国内にも GBR を導入することで、発注者、設計者、施工業者間の責任が明確化され、さらには施工中のリスク管理にも大きく寄与することが期待される。

6. 謝辞

本稿の作成に当たり貴重な助言をいただいた基礎地盤コンサルタンツ（株）の藤堂博明氏および岩崎公俊氏に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 岩崎公俊・折原敬二：Geotechnical Baseline Report (GBR)について、地盤工学会誌 57-5、2009.
- 2) 地質リスク学会/社団法人 全国地質調査業協会連合会共編：地質リスクマネジメント入門、p.175、2010.
- 3) 足立格一郎・藤堂博明：海外での地盤エンジニアの役割、地質と調査、1997年1月号.
- 4) 足立格一郎・藤堂博明：海外プロジェクトにおける発注者・請負者間のクレーム問題処理、土木学会論文集、No.588/VI-38、1998.
- 5) 折原敬二：シンガポールの地下鉄、土木学会誌 Vol.90 No.2、2005.
- 6) K.Orihara, M.L.Chan, K. Chabayashi, S. Okamoto, Phillip Teo, G. G. Tan : Excavation of New Dhoby Ghaut Station for MRT North East Line, Underground Singapore 2001