

1. 都市内におけるトンネルと地下空間の施工

Underground Construction and Tunnelling in Urban Environment

木 村 亮 (きむら まこと)

京都大学教授 大学院工学研究科

1. はじめに

本キーノートレクチャーは、会議初日の午前中のオープニングセレモニーの後に、メインホールで45分間開催された。講演者のWen博士はシンガポールのLand Transport Authority (以下LTA) のDeputy Directorで、20年間のキャリアがある実務技術者である。

ここ15年間の間に、LTAの主導のもとシンガポールでは、開削工法・シールド工法・NATM工法を用いて都市内で大規模な掘削が進められた。シンガポールの地質は大きく4層に分けられるが、最も若い年代の海成粘土は深いところで60 m堆積しており、非排水せん断強度は有効土被り圧の0.22~0.23倍で、非常に軟弱で圧縮性の高い正規圧密またはやや過圧密の粘土である。

本講演は開削工法とシールド工法におけるシンガポールの技術の現状を解説したものであった。

2. 開削工法の地盤の安定性について

開削工法の土留め壁の設計において、掘削深さと軟弱地盤層の層厚によってシンガポール海成粘土中に土留め壁を止めなければならない場合、その安定性が問題となる。このようなケースでは、掘削床付け直下にジェットグラウト等による地中梁を土留め壁間にあらかじめ施工し、地中梁を深い支持層に支持された基礎杭が支え、土留め深さを経済的に短くする工法が用いられている。

軟弱粘性土の地盤を掘削することで、地盤は応力解放され時には100 kPaにも及ぶ膨張圧が生じる。地中梁に上向きの膨張圧が作用するため、曲げ破壊やせん断破壊が生じる可能性がある。このような破壊メカニズムについては、2次元有限要素法を用いた数値解析により設計される。ただし、有限要素法で単に机上で設計するだけではなく、実現場で起こりうるであろう現象とその要因を現場で十分観察理解して、計算結果をより信頼性の高いものにする必要がある。

例えばジェットグラウトと土留め壁の境界部の施工状態が、境界の摩擦係数評価に大きく影響し、その評価の精度が構造物全体の変形量の算定値に影響する。地中梁の強度と層厚の出来形管理も重要で、想定以上に地中梁が固く層厚が薄ければ地盤内で過度の応力集中を起こし、軸力が卓越し座屈破壊することもある。

作用外力も適切に考える必要があり、膨張圧を抑える

ために押え盛土として掘削土を土留め壁に接して仮置きすることがあるが、この荷重が設計規準を適切に守っていない場合には、かえって開削仮設工に事故が発生する可能性がある。

3. シールド工法を用いたトンネル掘削

地表面沈下を最小にするために、シールド工法を用いて軟弱地盤にトンネルを施工する事例は多い。LTAの地下鉄に対する設計基準は耐久寿命として120年を要求している。この要求に応えるためにエポキシ樹脂コーティングのセグメント開発や、より耐久性の高いコンクリートの開発が実施されてきた。セグメントの防水性に関しても、継手間の止水性を高める材料の開発が進んできた。各種地盤に対する掘削方法も経験を積んで、現在では切羽安定を図り地表面沈下を抑える事が可能となっている。

例えば土圧バランス型のシールドの切羽安定を図るために、土被り圧の50~40%の土圧を切羽に作用させると、切羽を安定させ地表面沈下を最小に抑えながら掘削できる。立坑からのシールドの発進・到達や地中ドッキング時には、細砂層を噛んだ地盤の場合は注意を要し、裏込めを十分に行わないと、シールドの余掘りのためにシールド周辺地盤の安定が図れないこととなる。

4. おわりに

フロアーからの質問に対し、MRT地下鉄は直径6 mの2本のトンネル中心間隔は18 mから21 mで、後続トンネルの掘削と先行トンネル掘削の地表面沈下は事前に予測解析を行い、また現場計測も実施して近接構造物に大きな影響がないように管理していると回答された。

以上、講演内容に関しては、シンガポールでの施工事例を通して、都市内で開削トンネルやシールドトンネルを掘削する時の近接構造物への影響をいかに小さく抑えるかに関して、実務者のレベルで報告されたものである。日本が過去に対応してきた技術課題の復習という感じであったが、実務的な面からの講演としてはよくまとまっており素晴らしいものであった。今年10月13日と14日にシンガポールで「日本-シンガポール トンネルセミナー」が開催される。多くの日本の実務者がお互いに技術交流されることを望みたい。

(原稿受理 2011.8.20)