

海外文献速報

TUNNEL 7/2012(November)

① Reducing the Cutterhead Wear at EPB Tunnel Boring Machines

土圧泥水シールドTBMのカッターヘッド摩耗を減らす

巨礫、摩擦性の地盤、連続する混在切羽状況では、EPBのカッターヘッド摩耗が大きくなり、ダウンタイムやコストの増加につながる。予想される地質の一軸強度が20MPa以下であれば、スポーク型ヘッドを用いる。混合地盤型と比較して、スポーク型はより大きな開平率(通常は60-65%)を有しているため、ヘッドの摩耗が少なく、トルクやスラストも小さくて済む。また切羽の圧力が制御しやすく、掘進率が大きくなる。しかし、開平率が大きいと、高圧時のツール交換で作業者の防護が難しくなる。硬岩や難しい混合切羽状況では、ディスクカッターのある混合地盤型カッターヘッドを用いるが、摩耗を軽減するため以下のような補強や添加剤の使用が必要となる。

ナイフビット：タングステンカーバイドインサート、合金鋼シャンク、堅固なフェーシングによるコーティングで出来ており、カッターヘッドに楔止めされたベースプレートアセンブリに溶接される。これ自体が摩耗することでスクレーパを防護する。

摩耗検知器・摩耗チューブ：カッターヘッド表面に戦術的に取り付け、摩耗が生じ油圧ラインが切断されると油圧が低下することで、摩耗の場所を知ることが出来る。

摩耗プレート：Trimay、クロム、タングステンカーバイド、ホウ素カーバイドなどからなり、切削ツールや化学薬品注入口とは重ならないカッターヘッドの裸部分全面をカバーする。カーバイド材料がカッターヘッドに溶接され、温度低下と共に自然に発生する過程で、亀裂性の穴が開く。

化学添加剤：摩耗を減らし掘削ブリの自由な流れを許すベントナイトが元々用いられ、全ての地質条件で有用であるが、コストと毒性のため多くの国で規制されている。最近では低価格で地盤処理が出来、楽に除去できることに焦点を当て、フォーム、ポリマー、抗粘土エージェントを使用。

混合地盤の硬岩プロジェクト：EPBケーススタディ

成都市：地下鉄2号線は、沖積地質の複雑な構造内を31.6kmにわたって延びる。径が最大25cmに及ぶ巨礫のレンズや層、砂、硬質粘土からなる透水性の高い地盤を掘削するため、混合地盤型カッターヘッドが選ばれ、取り換えのきくカーバイドビットと7個の17インチ(432mm)径のディスクカッターが搭載された6.3m径のロビンズEPBが設計された。掘削中の地盤安定化のためフォーム注入システムが用いられた。

広州：2基の6.3m径のロビンズEPBが広州地下鉄、廣佛線の掘削を2009年1月、2月に開始した。地盤は最大圧4バールの強 - 弱風化の花崗岩、粗粒砂、シルト層からなる。開口率が37%のスポーク型カッターヘッドを用いた。カーバイドビット、17インチ硬岩用ディスクカッター1基を併用して粘土・岩盤混じりの状況に対応した。



最も極端な状況でも、摩耗保護版、検知システム、そして添加剤により EPB カッターヘッドの摩耗を最小に抑えることが出来る

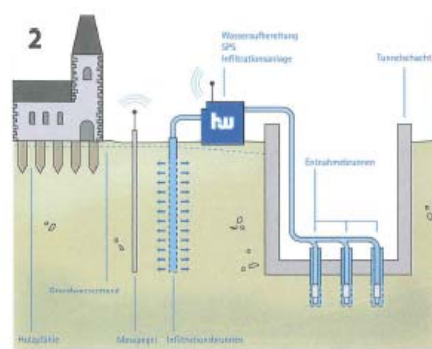
② Metro Cityringen Copenhagen: Innovative Groundwater Management

コペンハーゲンの地下鉄シティリング:革新的な地下水管理

シティリングは総延長15.5km、径5.78mの双設トンネルシステムで4基のEPBで同時に掘削されており、17の地下駅と地上の管理施設からなる。また、21本の立坑（基岩まで貫通しているオーバーカットドリル杭で支えられた連壁、平均65×25m）が最大深度30mまで掘削されている。総予算28.7億ユーロをかけ、2018年より無人運転の地下鉄が週7日間1日24時間、最大24万人を運ぶ予定である。

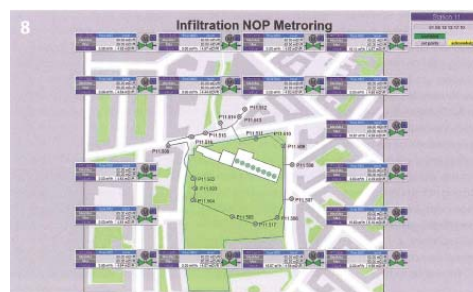
地層は、その大部分が地下10-15mで出現する石灰岩である。2-5m厚の風化が進んだ上部層、トンネル掘削で影響を受ける中間層、その下の下部層に細分される。この石灰岩層は、上部にあるおよそ2m厚の氷河起源の第四紀礫砂と共に地下水ホライズンを形成する。石灰岩の水理的な容量は、分離面や亀裂の発達だけでなくその方向にも大きく依存する。水平方向の平均浸透率は、鉛直方向の3-10倍大きい。下部の帯水層は第四紀の過圧密マール層によって、第四紀の礫砂、マール層そして埋積物からなる地上近くの帯水層から分離されている。

立坑掘削により地下水位が下降するが、市中心部では建物が古い木製の杭上に建てられており、乾燥が許されない。地下水管理システムは、用途により15-45mの間で変化する600本の汲み上げ・注水井（径が165mmの塩ビフィルター）ならびに観測井（径8インチ（200mm））、21の水質処理プラント、約25km長のパイプラインと100%自動化されたSCADA（supervisory control and data acquisition system）システムからなる。自動管理システムの管理パラメータはiPadsでサービススタッフにより呼び出し可能である。全体的なシステムもiPadsでコントロールできる。水質処理プラントでは化学処理、酸化、濾過により、再注水の前に立坑で汲み上げた地下水を飲料水より良質になるよう処理する。ベンゼンとシアン化物で汚染されている部分の地下水は、標準的な処理プラントを拡張して、水質浄化に活性炭フィルター、剥離剤、イオン交換、遠心分離法を用いる。



地下水管理システムの概要図

環境面への配慮が重要となる中、地下水資源保護のための革新的な方法が求められている。地下鉄建設への適用時、自動地下水管理システムは、都市部で最大限の安全性と最新情報をリアルタイムで与える。また、地下水処理や再利用によるコスト削減策と浸透井の現在の能力に合わせた柔軟な方法で経済・環境面でも利点を有しており、市民の信頼と期待は大きい。



TBM 発進坑にある再注水管理システム

Application of Alpine Tunnelling Experience for Highly Mechanized Conventional Heading in the Himalaya

アルプストンネル掘削体験の、ヒマラヤにおける高度に機械化した発破工法への適用

海拔3,980mにあるRohtang道は、世界で最も標高の高い山岳道の一つであり、インド北部州から国境エリアを結ぶ唯一の道路である。地域の村落は、深い雪や嵐のため6か月間他の場所から遮断されることもある。道路が一年中解放され、狭い危険な山岳道での運転時間も短縮できるように、2009年9月国境道路協会（Border Roads Organization）は、インド政府から海拔約3,100mでRohtang高速道トンネルの発注指令を受けた。

馬蹄形のトンネルは幅8mの2車線道路と片側に幅1mの歩道を有する。また主道路の下には高さ2.25m、幅3.6mの避難坑が位置する。両坑口から掘削を開始し（北側坑口は冬期アクセス不能）、2012年6月現在トンネルの3.5km区間が掘削された。総延長は8.8kmで、完成すると海拔3,000m以上のトンネルとしては世界最長となる。プロジェクトの課題は標高、悪天候、ヒマラヤの地質である。平均土被りは600m（最大1,900m）で、断層帯や膨潤性地山が数か所で予想されている。また、80万 m^3 のズリ搬出と大きな出水（最大300万L/日）も掘削時の課題として残っている。

切羽掘削や岩盤支保の安全策を柔軟にするため、ここでは発破工法が選択された。掘削断面は最大135 m^2 で、地質状況から多段ベンチカット工法が採用され、最初に約83 m^2 の天端、続いて約33 m^2 のベンチ、最後にインバートが発破掘削される。岩盤等級に応じてロックボルト、繊維補強吹付コンクリート、鋼製支保を用いる。リングの早期閉合のため、ベンチ・インバートの掘削、支保建込みを、天端の掘削後続けて行い、避難坑で組み立てエレメントを設置する必要もある。天端切羽、ベンチとインバートの掘削、そして避難坑の設置は、相互干渉を最小にするためそれぞれ独立した建設サイトとして相対的な距離を60m取っている。

掘削システム（Heading Installation）の開発、生産、供給、組立、立上げに、Rowa（物流会社）はアルプスでの3トンネルの掘削経験を活かして、高度に機械化されたシステムをRohtang高速道トンネルに導入した。サイト内の物流は、2基のジョー・クラッシャー、チェーンとフリクションボルトアダプターで天井から吊り下げたトラック上を移動する掘削プラットフォーム、そして3基の牽引コンベアと1基の連続コンベアからなる、高度に機械化された370m長の掘削システムに支えられている。（図1）。集塵ユニット、換気のための新鮮な空気の入入れ装置、エアコンプレッサー、中電圧変電設備、緊急時発電機、コンクリートポンプ、高電圧ケーブルドラム、新鮮な水のホースドラムだけでなく、掘削管理用コンテナ、人員用コンテナ、ワークショップコンテナ、貯蔵コンテナ、燃料タンク、添加剤タンク、そして空気ダクトカセットなどのインフラ構造システムを全て掘削プラットフォーム上に設置出来る。



ベンチ・インバート掘削エリアに吊下げられた掘削プラットフォーム、ジョー・クラッシャーと牽引コンベア