

## 文献速報

### TUNNEL 1/2012(Feb)

#### ① Brenner Base Tunnel under Construction

##### 施工中のブレナーベーストンネル

この記事では、建設段階に入ったブレナーベーストンネルの最新の施工概要を述べている。

TEN-T政策の新戦略計画（2014年から2020年）によると、ブレナーベーストンネルは、ヘルシンキ - バレッタ（シシリー）間のヨーロッパ横断ネットワークの一部である。中でもベルリンからパレルモに至る鉄道ルートは優先区間とされている。トンネルの施工は2011年4月18日に開始された。ブレナーベーストンネルは、Tulfes（オーストリア）からFortezza（イタリア）へ延びる最大勾配6.7‰、最高標高: 795m、長さ64 kmの鉄道トンネルである。完成後は世界最長となる。2本の本坑（離間距離：芯々70m、連絡坑間距離：300m、断面積：機械掘42 m<sup>2</sup>、従来工法40.4 m<sup>2</sup>）の中央下に調査坑が位置する。施工時のリスクを減らし建設コストと時間の最適化を図る目的で、本坑掘削の前に複数区間に分けて掘削され、岩盤の地質、水理調査を実施する。必要に応じ、本坑で用いる装具の実証場所、排水坑、作業坑としても機能する。

**地層：**石英千枚岩と片麻岩の間に、石灰岩が豊富な千枚岩と交互する暗灰色の「黒千枚岩」として粘板岩が出現する。アルプス形成と海生堆積物からなる細粒岩で、特徴は際立った片岩化である。またトンネルの計画ルートは、峡谷部で大理石の帯水層を横切る。

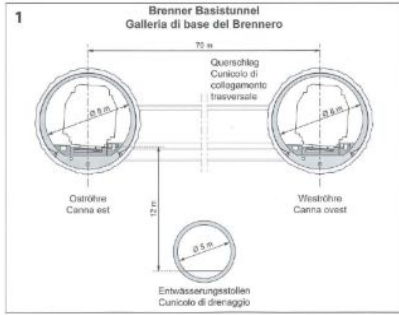
**入札手順・指針設計：**施工場所が異なっても一様に作業が進み、EIAの規定が計画に含まれるように、国境をまたぐ設計指針を設定し、膨潤、岩盤のクリープ、弾塑性安定性、変位、選ぶパラメータ、方法など、地盤工学分類についても一様な手順を計画設計で準備しておく必要があった。

**水理モデル：**Modflowを用いた2次元地下水流動解析を行い、トンネルを正しく遮蔽すると（厚さ10mのト圧入リング）地下水位の低下は許容できるレベルまで低減できることを確認した。

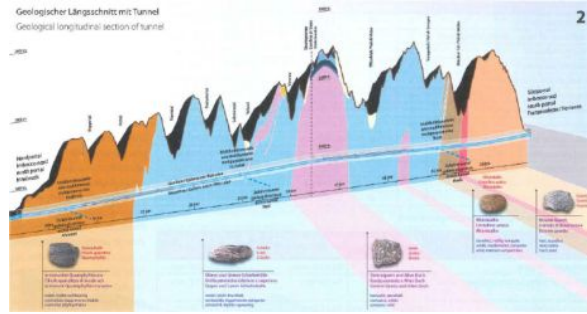
**地盤工学モデル：**調査坑で計測する変位を、特性曲線法あるいは数値シミュレーション（Flac 2Dもしくは3D）結果と比較して岩盤の特性記述を行い、本坑の挙動を予測した。

**4本のアクセストンネル：**長さ1.4 - 3.5km、断面積105m<sup>2</sup>、発破工法、パイプルーフ工法、支保はファイバー補強吹付けコンクリート、アンカー（Superswellex）など。勾配8.5 - 10%。

**2調査坑：**6 - 11.5km、発破、機械掘で施工。平坦な褶曲と荒地のため、所々角度の大きい亀裂性岩盤の挙動を呈示。機械掘りではアドリア海特有の断層エリアで難渋している。



本坑・調査坑の断面図



トンネル縦断面図

## ② Two Earth Pressure Balance Shields for Metro Line A Extension of Prague Metro プラハの地下鉄A線延長に用いられる2基の土圧バランスシールド

この記事は、沈下抑制が問題となる都市部のトンネル施工で用いられた2基の土圧バランスシールドについて述べている。

チェコ共和国の首都で最大の都市であるプラハの地下鉄は、公共輸送システムの大切な部分であり、1日に約150万人を運ぶ。1960年代にロシア製のオープンシールドで地下鉄掘削が始まった時には、鑄鉄製支保が用いられたが、その後コンクリートのセグメントで全面的に交換された。また70年代にはECL型TBMも用いられている。現プロジェクトは、市バスの数を大幅に減らして環境・交通状況を改善する目的で、径が6.1mのEPB 2基を用いて地下鉄A線を約5.7km延長するものである。地質は主に粘土質頁岩とその風化残土で、砂岩、シルト岩、粘土岩などとも遭遇し、所々不安定な切羽が予想される。

EPBシールドの油圧ドライブは1,200kWで、掘削中32本のシリンダーで約39,000kNの推進力を発揮する。カッターヘッドは開口率が30%、38枚の17インチディスクカッターが100mm間隔で並び、64本の切刃と8個のバケットで設計されている。また、軟弱地盤ツールとバケット用に2台の油圧摩耗検知ユニットが取り付けられている。2基のマシンは全長96mで、87mのバックアップは7台のガントリーとブリッジからなる。さらに、トンネル天端や切羽で行う地盤安定化のための処理剤圧入ドリルリグが搭載されている。トンネル切羽では径が100mmの8本の圧入ラインを介して仰角14°で圧入でき、2本の水平ドリルによりトンネル切羽でのグラウト圧入や、切羽前方探査にも用いることができる。

コントロールボーリングプロセスシステム (CBP) : トンネル施工方針の策定とリスク回避の観点からトンネル掘削を常に最適条件に維持するため、トンネル計画線上部での沈下や隆起の情報をTBMの運転データと結びつけるのがCBPの目的である。

2成分のグラウト: 水、ベントナイト、セメント、安定剤 (A) と促進剤 (B) からなる。2成分システムの利点は、十分な強度に短時間で達するため短時間でリング安定化が図れること、および機械の停止時間や掘進速度、ポンプによる遠距離搬送度などに依存しないグラウトの使用特性である。



セグメント支保: 1.5m長のトンネルリングは5+1セグメントで構成されており、設計者の経験に基づいてユニバーサルリング (両サイドがテーパ) を選択。セグメントにはEPDM (エチレンプロピレンゴム) ガasketがついており、周方向ならびに軸方向ともボルト止めできる

掘削は2011年4月中旬 (S-609) と2011年7月中旬 (S-610) に始まった。現場では両マシンを週最速162m (S-609) の掘進速度で2011年12月までに1,500m (S-609) 、1,150m (S-610) 前進させた。2012年末までに2本の平行な単軌線トンネルの掘削を終えた後、TBMはトンネルから後ろ向きに回収される予定である。

### ③ Fixed Fire Fighting Systems for Road and Rail Tunnels 道路・鉄道トンネルの固定消火システム

本記事は、トンネルの固定消火システム（FFFS）技術の概要について述べ、運用、試験、設計、設置面でのポイントを明らかにしている。また、FFFS技術の適用事例を2件紹介している。

固定消火システム（FFFS）はトンネル内火災時の安全性を向上する技術である。ヨーロッパでの商業的な使用はまだ20年と短い、多くの研究プロジェクトの実物大火災試験で、高圧のウォーターミスト技術が100MW以上の熱放射率（HRR）のトンネル内の重量積載物車両（HGV）の火災に対しても効果的であることが示された。これによりFFFSに関する認識はこの10年の間で大きく変化し、NFPAS02はFFFSの基本情報とシステムをトンネル内で設置する場合の工学的要件の標準書を2011年に発表した。今日ではFFFSはフランス、スペイン、英国、オランダ、イタリア、オーストリア、ロシアを含むヨーロッパ各国のトンネル火災防止策として用いられている。

FFFSの目的は自己救済の条件や消火活動のアクセスを改善し、火の広がりを抑えてトンネルへの損傷を制限することである。その特徴は、1) ハザード・リスクの評価、2) 設計火災強度の設定、3) 設計パラメータへの変換、4) コスト評価（イベントの尤度をトンネルタイプと使用法の関数として考慮）の各段階で、投資決定前に徹底したリスク分析が行われることである。コスト評価では、ライフサイクルコスト（LCC）も検討し、定期点検のための人件費増加や点検時の交通への影響を抑えるため、高品質で腐食に強い材料の使用や自動遠隔操作のメンテナンスシステムの導入を図るとしている。トンネルの長さや断面積にもよるが、ヨーロッパで最新のFFFS技術を導入する投資コストは1kmあたり0.5 - 2百万€、それに対応する年間維持費は投資の0.3 - 1.25%である。FFFSではまた、航空、鉄道、自動車産業で使用される信頼工学ツールを火災安全工学に導入し、RAMS（信頼性、可用性、維持、安全）を設計プロセスの一部として実施している。

ユーロトンネルとタイントンネル（英）でのケーススタディでは、投資決定がコスト利益分析に基づいて行われ、両トンネルが最高レベルの安全性を呈しているとしている。ユーロトンネルのSAFEプロジェクトでは実物大の試験で200MWを越えるHRRに対するFFFSの有効性を確認した。

必要条件	方法	効果
自己救済条件の改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>火災と周辺容積の即時冷却</li> <li>煙の低減、視界確保</li> <li>煙と煤の収束</li> <li>毒性ガスの低減</li> </ul>	トンネルユーザーは避難時に安全を確保できる。閉じ込められた場合でも、生存の可能性が増す。
消火活動のアクセス改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱放射率（HRR）の制限</li> <li>火災と周辺容積の即時冷却</li> <li>煙の低減、視界確保</li> <li>放射熱の遮断</li> </ul>	消防、救済班が火災に立ち向かうアクセスを良くする。通常の防護装置で火災の両側からアクセスできる。システムは消防班の安全を著しく向上する。
火災の広がりの阻止	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱放射率の制限</li> <li>火災と周辺容積の即時冷却</li> <li>放射熱の遮断</li> </ul>	火災を最初の車両に閉じ込める。特に、重量積載物車両の場合は必須。
トンネル構造の損傷制限	<ul style="list-style-type: none"> <li>火災と周辺容積の即時冷却</li> <li>放射熱の遮断</li> </ul>	トンネル構造、他設備はシステムがない場合と同じ時間・温度に晒されない。火災後の回復時間が短縮される。