

TUNNEL 7/2010(Nov)

表題： The Finne Tunnel under the Schnecktal valley

(シュネクトル谷下のフィネトンネル)

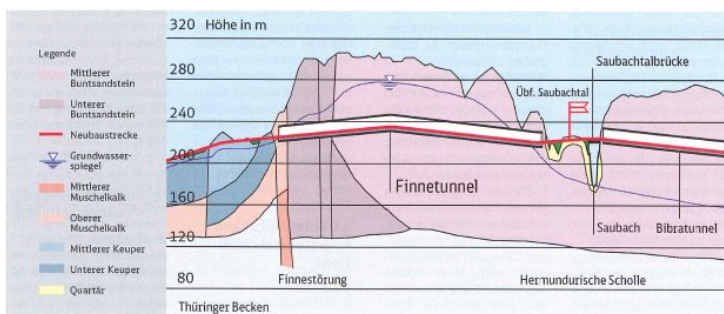
総延長 500km の輸送インフラ整備 VDE No.8 はドイツの国策として 1991 年に開始された。フィネトンネルは 6,970m で 9 つの鉄道整備の中で最長であり、ヨーロッパ全体の輸送インフラ整備計画とも整合している。安全上の理由でツイントンネルとして計画され、エコロジカルな理由から最小土被り 4.5m で谷を通過する必要がある。地質の悪い区域では地下水の影響も懸念された。トンネルは三畳紀のマール、石灰岩、シルト岩、砂岩、泥岩を通過する。最初の 1,500m は断層の影響が考えられた。最大土被りは 65m、地下水位は最高でトンネル天端の 50m 上である。谷部は第四紀ローム層、そのすぐ下に 1-2m 厚の風化帯の存在が追加ボーリングで確認されている。

低土被りで環境的に受け入れられ、表層部へのインパクトが最小となる工法として、シールドを用いた、計測・力学パラメータの評価（プロセス制御）に基づくトンネル支保や掘削手順の事前検討を行う情報化施工を採用した。西側は最初の 1.5km はスラリー圧支持（ハイドロシールドモード）で、残りの 3.1km はオープンモードで掘削を行った。東側からは発破、吹きつけ、二次覆工の従来工法を計画し、ほぼ全工区がシールドマシンで掘削することになった。TBM はカッターの前での先行ボーリングと岩石の改良（グラウト、パイプアーチ）の両方が可能なものを開発した。

難航が予想された谷下の区間では 4 つの地質区分に分け、管理基準値（表面沈下量 10mm・抜け落ちの有無）を設けて対策案を予め設定した。また、比較的地質状況が好ましい北側の土圧バランスシールド区域から開始し、その結果を参考に南側の掘削を実施することとした。必要に応じ、地表からトンネル天端上部までグラウトを施工した。

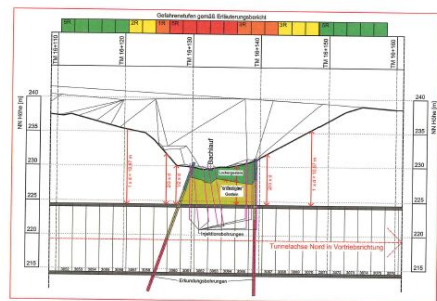
機械の操縦では、鏡とシールドのブレードの距離を最短に保つ、イマーショウウォールののぞき窓から鏡を目視観察する、予め磨耗量を計算したカッターヘッドを使用して操縦ギャップを小さくするなどの対策で安全性に務めた。

その結果、谷部の掘削も、北側工区では 56m 区間を 47 時間で、南側工区では 100m 区間を 70 時間で掘削し、最高品質の支保、小さな沈下で問題なく工事を終了できた。



3 Geologischer Längsschnitt Finnetunnel
3 Longitudinal geological section through the Finne Tunnel

フィネトンネルの軸方向地質断面



9 Grundriß und Längsschnitt im Bereich der Schnecktalunterführung (TVM-Nord) inkl. Angabe der definierten Gefahrenstufen
9 Plot plan and longitudinal section in the vicinity of the Schnecktal valley tunnel (northern TBM), incl. statement of defined hazard levels

谷部のハザードレベル分類

TUNNEL 7/2010(Nov)

表題：Fire-Safety in the Channel Tunnel

(チャネルトンネルにおける火災の安全性)

チャネルトンネルは毎日 48,000 人が利用するが、1996 年と 2008 年にトラックシャトルで火災が発生している。火災時は温度が 1,300°C に達し、トンネル、サービス機器に大きな被害を与えた（1996 年：7 ヶ月間閉鎖、被害約€2.5 億、2008 年：数日閉鎖、全面復旧は翌年）。火災時の安全性を確保するため、延焼が少なく、迅速な消火活動が容易であるセーフステーションを設置することで、トンネルへの被害を最小限に留め、経費・閉鎖時間も減らすことが出来ると考えられた。

研究では火災時の最高温度、セールステーションまでの時間、煙の流れなどを分析するため、水スプレー法（水の供給が大変なため却下）、泡消化法（コスト高、複雑、バイオハザードの可能性、腐食、後始末の大変さのため却下）、高圧ウォーターミスト（HPWM）法を検討したが、ヨーロッパ道路トンネルでの実績を元に HPWM が採用された。

霧状の水は超微粒子で比表面積が大きく、蒸発時間が極めて短い。火から大きなエネルギーを吸収し温度降下に要する時間が短い。また熱放射も吸収することでトンネル壁を防御できる。上下線で 29 のセクションに分割しそれぞれ 870m を設置する。システムは高圧電源のラインからは絶縁されており、水を噴霧しても、30 kV でもアーク放電を起こさないことを実証している。設置は、試作品作成（2010 年末まで）と実物大模型耐火試験 2 段階に分けて行う。また、ライフサイクルコストの計算も行い採算性の検討を実施。全 4 ヶ所のセーフステーションは 2011 年末までに設置予定で、2012 年のロンドンオリンピックに間に合うとしている。

現行の消火システム（UPTUN R251、NFPA 502）では、実物大模型耐火試験の実施が義務付けられている。特に換気システムの面から、火災発生とその場所の検知が効果的であることの実証も必要であるため、IFAB（Applied Fire Safety Research）が 200MW までの火災テストを STUVA やフランスの SETEC も援助を受けてスペインの試験トンネルで実施した。

長い鉄道トンネルでは安全な緊急停止ステーションの開発が喫緊の課題であるが、セーフステーションの概念を導入することで、安全で経済的な対策が可能となるとしている。



参考図 実トンネルでの耐火試験の様子

表題： Adjustable flexible segment lining

(調整可能フレキシブルセグメントライニング)

2010年初頭にドイツの製鉄メーカー（Bochumer Eisenhütte Heintzmann）が建設機器フェアで紹介した機械掘削にも使用可能なフレキシブルセグメント。

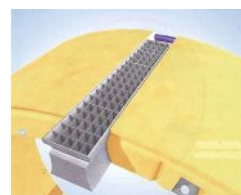
高压部、不良地山で掘削による変形や支保荷重が大きいと予想される場合、鋼製ハニカム構造エレメントを有する鉄筋コンクリートライニングを用いることで、支保に大きな応力を生じることなくトンネルの変形を吸収することが出来るとしている（下図1～3）。トンネル周方向の縫合は、片クサビ、両クサビ（図4、5）の調整可能要素により行う。またトンネル軸方向は、図6に示すボルト・バネの組み合わせで対応し、通常はトンネル軸方向で用いられる台形のゴム製クサビによるシールを、図7に示す自転車のチューブタイプのもので実施しようと言うコンセプトである。ハニカム構造の仕様は、特性曲線法から得られる応力、変形の値を元に事前解析を行い、地山を緩めることなく変形させるのに必要なパラメータ値を決定する事で、あらゆる状況のトンネル掘削に供用可能であるとしている。アイデア段階でまだ、実際には使用されたという記述はない。



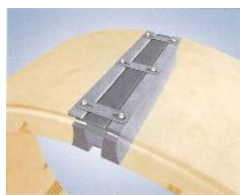
(1)



(2)



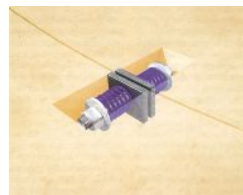
(3)



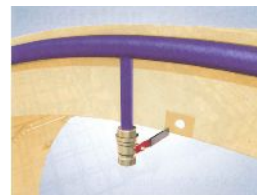
(4)



(5)



(6)



(7)

調整可能なハニカム構造部を有する鉄筋コンクリートセグメント

- (1) フレキシブル要素・直型、(2) フレキシブル要素・波型、(3) フレキシブル要素・円錐型
(4) 軸方向クサビ型要素、(5) ダブルクサビ型要素、(6) 連結ボルト、(7) シール方法

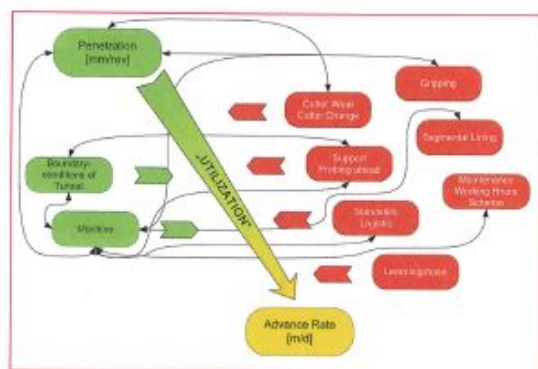
表題： Penetration, cutter wear and rate of advance for TBM operations in hard rock
 (硬岩における TBM 操作の貫入量・カッター磨耗・そして掘進速度)

プロジェクト初期、特に長大トンネルでは掘進速度 (ROA) が大切であり、施工者も入札価格・完成時期の予測では ROA を必要とする。また、工程が重要な施工時には、ROA はより大切となる。従来法ではサイクルタイムから計算した ROA が確立されているが、TBM 法ではまだ確立した方法がない。そのため、入札時の ROA は大きくばらつき、実施工の ROA が予想値から大きく外れることもある。この論文では TBM 掘削を対象に、改善策がないかを検討している。

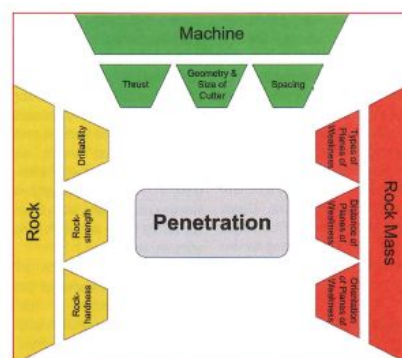
ROA の計算では、貫入量の決定が必要である。通常は貫入量を元に計算したネットのボーリング速度に使用頻度係数を掛けて ROA を求めるが、オープン型の TBM では、カッターヘッド近傍での支保建て込みが ROA に大きく影響する。また、機械のトルク、スラスト、カッターの磨耗、最大コンベア積載量など、機械、掘削工程、備品搬入、組織化などの条件も検討して ROA を決める必要がある。しかし現実には、簡単なパラメータのみで ROA を計算することが多く、正確な貫入量が分からない場合もある。こういうとき、経験と勘でカバーするが、掘削コストや ROA の保証に重大なリスクを抱えることになる。

貫入量の計算に用いられるモデルは多いが、そのほとんどが 1990 年以前の径が 6-7m のトンネルデータを用いてモデルが作成された経緯があり、貫入量、稼働時間、支保建て込みなどの影響を考慮しているものの、完全とはいえない。1990 年以降、特に切削ツールの分野での開発が目覚しく、新しいデータの使用が求められている。TBM は Cyclical なプロセスだと考えると、サイクルタイム中の中ダウンタイムの原因を直接考慮でき目標と実際を比較する方法 (理由が明らかでない場合もある) より情報が多くなる。

2006 年の ABROCK プロジェクトでは、岩石試験による貫入量と擾乱のエネルギー、切削試験、動的荷重下の亀裂、数値シミュレーション、岩盤内の応力状態、地質・地盤・オペレーションデータの解析などを通して貫入量とカッターの磨耗調査を 5 大学で実施した。2005 年にはソフトウェア (SimTunnel) がインスブルックで開発され、現在その改良版が MATLAB 上で使用可能である。



貫入量から掘進速度へ



貫入量に影響する主なパラメータ