

【海外文献速報】

TUNNELS ET ESPACE SOUTERRAIN, AFTES, No.218 – MARS/AVRIL 2010

トンネルと地下空間、フランス・トンネル地下空間協会、No.218 – 2010 年 3 月/4 月号

①Design of tunnels bored with TBMs with respect to the arrival of public rescue service and self-rescue of workers during the worksite phase: TBMトンネル設計—工事中における救助隊の到着と作業員の自力救助について—、pp.94～103

TBM トンネル工事中の坑内火災時に作業員の安全を確保するための設計に関する勧告。トンネル内径（3m 以上、3～2.2m、2.2m 以下）と救助距離（200m 以下、200～500m、500m 以上）の組合せ毎に避難対策（避難通路、避難器具、避難所、その他）を提言。因みに内径 2.2m 以下のトンネルには、無人運転の小口径推進工法や管推進工法を推薦。後続台車から救助入口までの坑内に設置する避難通路には通常用と最小限の2種類の寸法を規定（図 4、図 5）。マシンから後続台車先頭までの区間では担架による救助を考慮した特別通路が設置される。次に、トンネル内径（3m 以上、3～2.2m、2.2m 以下）と坑内位置（後続台車の後方区間、後続台車区間、マシンから後続台車先頭の区間）の組合せ毎に非難対策（避難通路の形式、特別通路、他工法の採用）を提言。内径 3～2.2m の場合、マシンから後続台車最後尾の区間では、作業員歩行用のプラットフォーム型待避所を適当数設ける。最後に、自力救助が不可能な場合に備えた避難所（16 人用で幅 7.69m、奥行 1.2m、高さ 2.0m）の例と必要な仕様（空調、消火、発電、電線、換気、通信）を勧告。

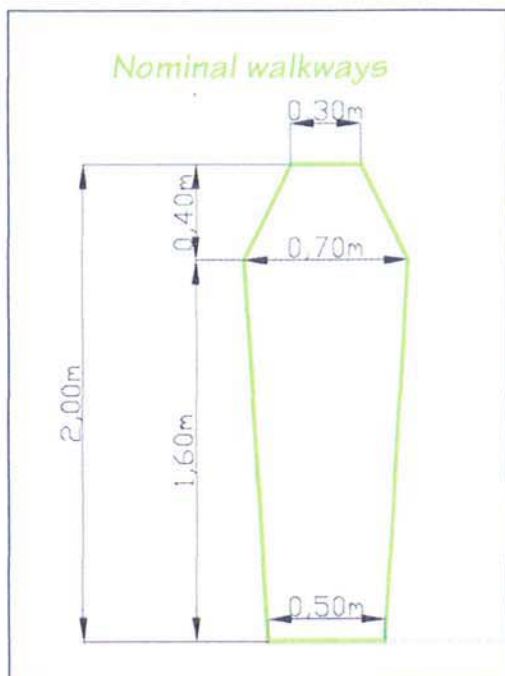


図 4 通常用の避難通路断面

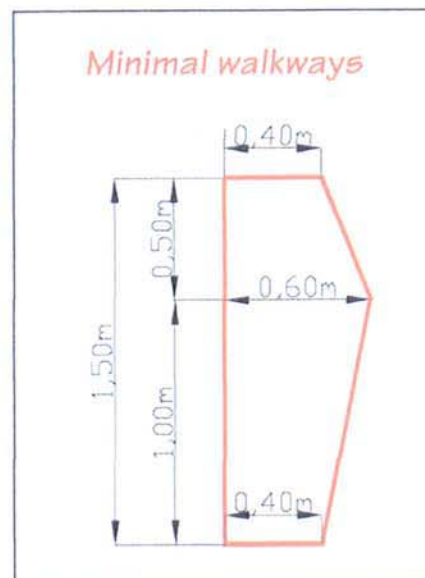


図 5 最小限の避難通路断面

②Acrobatic work to restore a tunnel portal – Serguignier tunnel on the Train de la Mure line: アクロバチ  
 ックな坑門改築工事—サン・ジョルジュ・ド・コミエ〜ラ・ミュール鉄道セルグニエールトンネル—、pp.110  
 ~114

19 世紀末に石炭輸送用にフランス南東部グルノーブル南方の山岳地帯に建設された単線鉄道トンネル坑門改築工事の報文。ダム湖に下る急斜面下部という特殊条件下（図 3）での浸食作用により表層剥離した岩屑斜面が作業を邪魔する中で、長期的な岩盤剥離挙動を極力避けながら坑門の構造的安定性を回復する必要があった。改築するトンネルは全長 310m、曲率半径 100m、勾配 2.5%、幅 4m、高さ 6m。レンガ造りの坑門は道床を保護するよう施工されたが（図 11）、山側側壁に落石岩屑が大量に堆積。その結果、開業後まもなく、山側側壁から延びる三角壁と RC 製ロックシェッドで道床を補強したが、その後も周辺で凍結融解作用による亀裂性岩盤の落石岩屑が堆積した。2007 年の詳細調査報告書より、坑門には落石防護工の破壊、アーチ上部の保護材の欠落、上部斜面からの落石の衝突、雨水の浸入、レンガの崩壊・分離・薄片化といった損傷が発覚。ロックシェッドには、山側側壁に堆積し続ける岩屑荷重による座屈挙動が現れている他、山側排水孔の閉塞、天井内側等での凝固、鉄筋の腐食、コンクリートの剥離・割れ目による雨水浸入で損傷が見られる。2008 年～2009 年の全 6 ヶ月間で改築完了。その方法として、岩屑を撤去して坑門を開業当時に戻すのか、或いは坑門を落石や雨水浸入から最低限保護するという 2 案の中から後者を選択。その理由は、山側擁壁を再現しても今後長期間に落石衝撃に耐えられる保障が無いこと、そして必ず落石堆積が再現するため。主な坑門改築工は、図 12 のとおり、⑫谷側側壁補強用のアンカーと⑥繊維補強吹付け、⑭アーチ部の注入と⑤排水孔、⑬坑内の繊維補強吹付け。山側側壁がその安定限界に達していたロックシェッドでは、天端落石岩屑を除去後にアンカー補強と防水吹付けを実施。その後、落石の衝撃から防護するため岩屑を元通りに天端へ盛り直した。



図 3 坑門周辺の立地条件

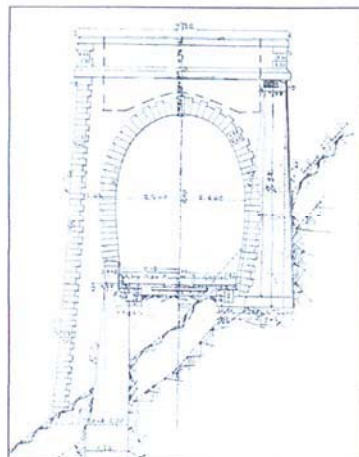


図 11 坑門横断面

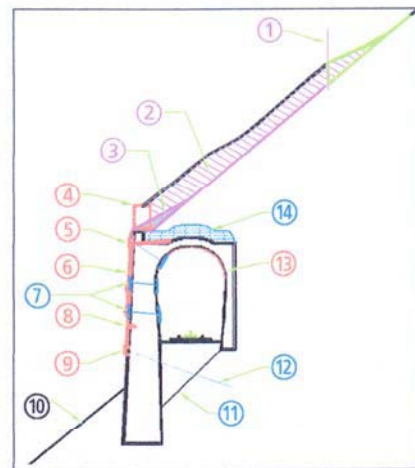


Figure 12 - Cross-sectional diagram of tunnel head works: 1 Protective netting - 2 Scree to be cleared - 3 Protective talus - 4 Remains of original wall, to be demolished - 5 Weep holes - 6 Fibre-reinforced shotcrete - 7 Ties and cross pieces - 8 Weep holes - 9 Bottom beam - 10 Talus - 11 Limit of rock substrate - 12 Supporting anchor - 13 Fibre-reinforced shotcrete - 14 Injected area.

図 12 坑門改築

③Lyon Metro – Work starts on the extension of Line B to Oullins: リヨン地下鉄—Bラインのウラン駅延伸工事の現況—, pp.121～126

2009年にスタートし2013年末に完了予定のリヨン地下鉄Bラインのジェルラン駅～ウラン駅間1.8km延伸工事の調査・設計・施工計画の記事で、特徴は河川横断と岩盤掘削。トンネルが通過する地盤は、ローヌ川沖積砂礫層、圧縮強度22MPaの中新世モラッセ、RQD25%未満の花崗岩(図1)。TBMの選定は、花崗岩ではカッティングツールを計画的に変更しながらクラッシャーを用いた、直径9.5mの泥水式シールドマシンを適用したDラインの河川横断時の経験をベースに実施。シールドトンネル(単一・併設)、沈埋トンネル、橋梁の3種類のローヌ川横断方法の中から、地質構造、用地、経済性等から最終的に単一シールドトンネルを選定。主要構造物は、全長362mの連壁間の矩形4m×7.6mの開削トンネル、深さ75mの発進立坑、全長972mで河床最小土被り13mのシールドトンネル、直径16mの中間換気立坑、全長78mのウラン駅、全長345mの操車場、直径15mの到達立坑(図4)。外径9.47mのヘレンクニヒト製シールドマシンの目標月進は、沖積層とモラッセが約200m、花崗岩が150m。シールド工事の問題点は、切羽に複数の地盤が混在し、河川横断時に大きな水圧(H=36m)が作用すること。河床部の転石と花崗岩をシールド掘進するため、47台のローラーカッター(ダブルを含む)を準備した(図7)。

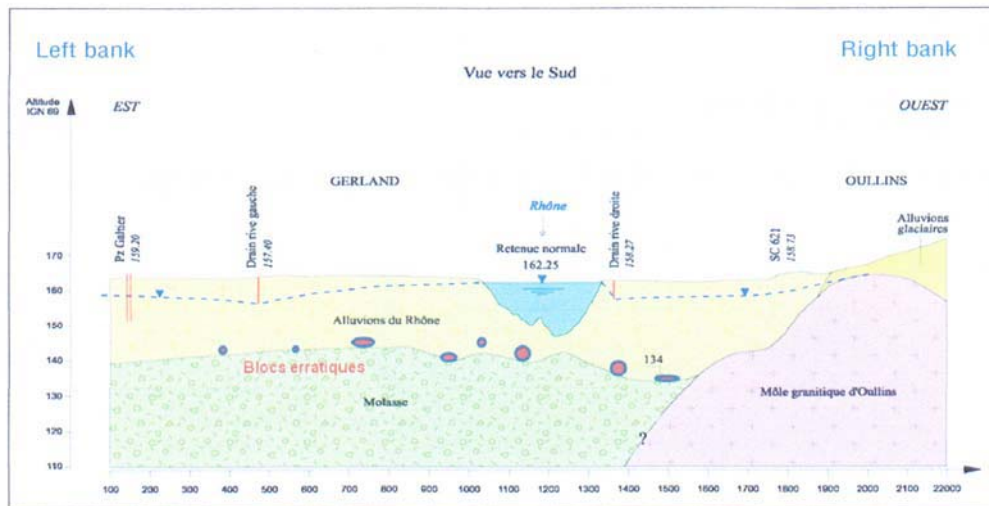


図1 地質縦断面図(ジェルラン駅～ウラン駅)

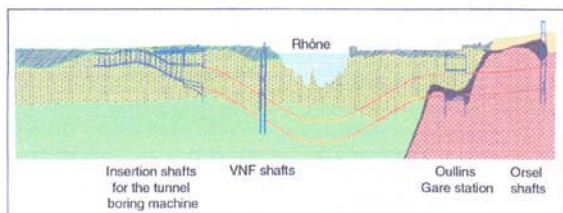


図4 構造物縦断面図

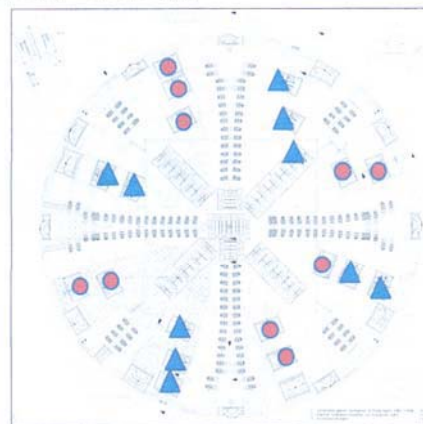


図7 土砂部用シールドマシン面板  
(花崗岩通過時は、青△部をダブルローラーカッターに変更、赤○部の空溝部にローラーカッターを装着)

④ Immersed tunnels – damage caused by a fire: 沈埋トンネル—火災による損傷、pp.134～138

過去 10 年間以上にわたり、プレキャスト RC セグメントを連結させて建設する沈埋トンネルの火災時の安全性が、特に火災後の補修との関連が、国際的な研究課題となってきた (図 1)。オランダ運輸省が委任した、この構造的損傷に関する研究プロジェクトの一部として、Efectis Nederland 社は接続トンネルのコンクリート構造物に発生するひび割れ進展に関する研究を実施。最初に、コンクリート強度、養生期間、ポリプロピレン繊維混入の有無・繊維径—繊維長、断熱材の有無、火災曲線の上限・下限、上載荷重の有無がひび割れ状況に与える影響を研究するため、10 分の 1 モデル試験を 9 回実施。試験結果 (図 4、図 5) から表 1 に示す相関性が判明。

- 天井スラブの変形量は上限火災曲線の方が大きく、断熱パネルを使用すると小さくなる。
- 断熱パネルを使用すると変形量と同様にひび割れの数と幅が低減する。
- ポリプロピレン繊維の混入は変形量の低減に役立たない。

次に、計算コード DIANA9.3 を用いた数値解析が行われ、縮小モデル試験結果の変形量、ひび割れ領域、ひび割れ幅等との良い相関が認められた (図 8)。最後に、この結果は実物大の沈埋トンネル設計に使用され、火災時の沈埋トンネルに生じるひび割れ挙動を予測する要素となり得ることが判明。

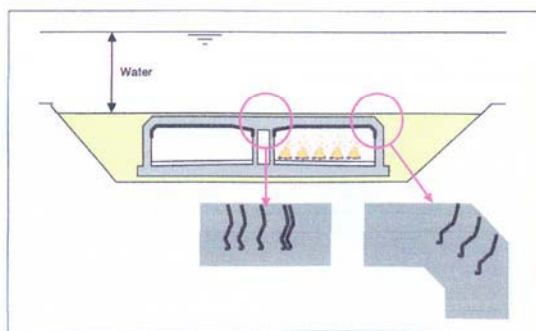


図 1 沈埋トンネル火災時の損傷イメージ

表 1 縮小試験結果におけるパラメータの影響

試験条件	変形の程度	ひび割れの幅	ひび割れの分布状況	湿度	温度
断熱材 or 下限火災曲線	小	狭い	少ない(特に、横断方向で)	影響無	低
ポリプロピレン繊維混入	無	狭い(繊維の寸法に抛らず)	多数(繊維の寸法に抛らず)	低	影響無
鉛直荷重	大	非検出	非検出	影響無	影響無

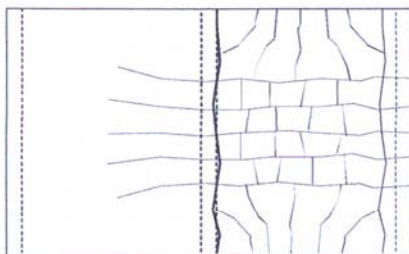


図 4 天井スラブ上面のひび割れ状況

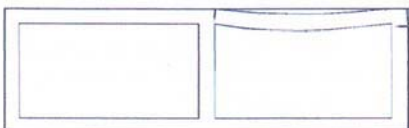


図 5 断面変形と主要ひび割れ状況



図 8 火災 30 分後のひび割れ幅計算値(断熱パネル有)

⑤Steel or synthetic fibres?: 鋼繊維か合成繊維か? pp.143~146

コンクリート補強用繊維の種類 (鋼繊維、ポリプロピレン繊維、ポリマー繊維、PVA 繊維、ア  
ミド繊維)、ヤング係数、クリープ特性、耐久性 (鋼繊維の腐食、合成繊維の耐火性)、安全性 (鋼  
繊維の表面突出) に関する簡単な記事。鋼繊維と合成繊維の性能を理解すれば、矛盾なく両者を  
コンクリート補強に用いるケースも今後出てくるものと断言できる、が結論。