

① Mechanized Mining: Are TBMs the Way into the Future?

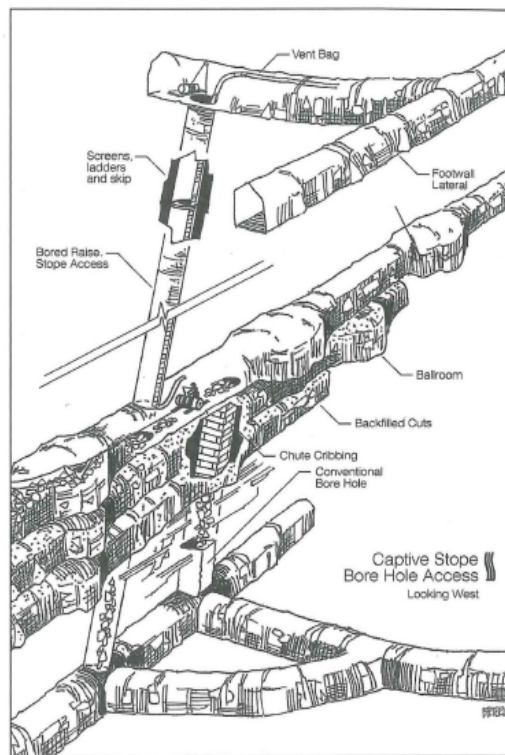
機械採鉱:TBMは未来への道?

米国のモンタナ州Stillwater鉱山では4番目の、径が5.5mのメインビームTBMを2012年夏に発進する。「トンネル掘削では地下の空洞が完成物であるのに対し、採鉱ではトンネルは終点にたどり着く手段である。土木事業と同じように採鉱でもTBMを用いることが出来るが、鉱山関連会社はその技術を学び、自信を持って運転できるようになる必要がある。」と、次世代の機械採鉱の波を予想して、鉱山におけるTBM使用の現状と展望を伝えている。

TBMは従業員を減らすことができ、労働環境は発破工法と比較して優る。より速い前進、より正確なコントロールができ、換気も良く、掘削面もスムーズで、支保も少なく済み、処理するズリも一様で、機械掘削の利点がある。しかし、大きな初期投資（高額な機械の購入）だけでなく、曲り半径の大きさ(採鉱:20m、TBM:300m)、機械を動かすための人員の教育や技術者の雇用と言う壁もいくつか存在する。

Stillwater 鉱山：プラチナとパラジウムの鉱山では、径が4.0mのケリータイプTBMを1988年に購入し、斑レイ岩、ノーライト、斜長岩からなる鉱山のアクセストンネルを掘削した。1999年にはアリゾナ州の銅鉱山から中古のメインビームTBMを購入し、アクセストンネルの掘削に使用した。動いているTBMの中で最も古いもののひとつで、20年以上使われており、5.6km掘削した後は修理を必要としていない。

Blitz トンネル：鉱山東部の鉱脈についての情報を得る7.1km長の開発トンネル。径が5.5mのTBMは2012年夏にトンネル掘削を開始し、TBMと相対的な鉱脈の位置を同定すると同時に閉山まで用いられる軌道式の運搬トンネルを構築する。2本のコアドリルを用いて機械の先、上、そして横で150m毎にコアボーリングコアを掘削し、掘削中にコアログを作成し、その結果を解釈する。また、前方探査を168m毎に行い、弱い岩石、水、岩脈など、前方の概略的な地盤性状についても知る。状況に応じて、支保は鋼製支保、吹付コンクリート、ロックボルトから、連続した鋼製のすきま板からなるMcNally天端支保にまで及ぶ。



鉱山での操業では、鉱脈にアクセスするための横坑、ならびに異なるレベルを結ぶための立坑がTBMにより構築される。

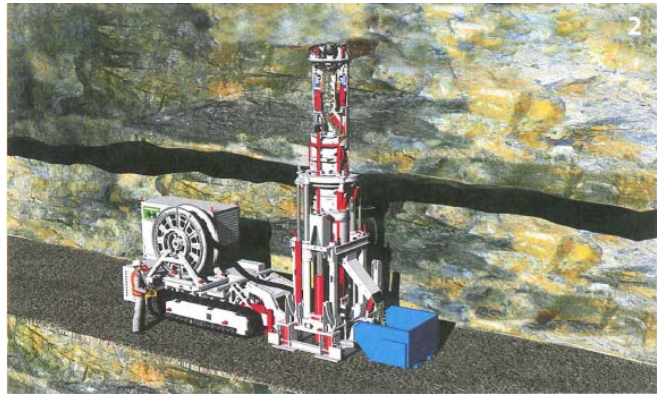


McNally 支保

② New Technology for Creating Slot Holes

スロットホールを掘削する新技術

地下鉱山では、小口径の鉛直もしくは傾斜したスロットホールをたくさん掘削する必要がある。この目的で、マイクロトンネル掘削のパイプジャッキ法に基づいて遠隔操作のできる新しいボックスホールボーリングマシン（BBM）が開発された。新しいBBM技術では、より高い安全基準と最小ドリフト長を用いることで高い生産速度を確保し、通常の発破工法と比較して、時間を大きく節約できる。スロットホールを早く、より安全に建設す



BBM システム概観

ればするほど実際の鉱山での生産を早く開始、再開できる。今日ではBBMは通常ブロックケービング法と一緒に主に金属鉱山で用いられ、換気立坑掘削、生産・運搬レベル間の鉱石運搬用の坑道掘削だけでなく、生産過程でドロポイント（鉱石の抽出点）の構築に大きく貢献する。

BBMは、硬岩層で径が最大1.5m、最長60mの鉛直もしくは傾斜したスロットホール（鉛直から $\pm 30^\circ$ の範囲）を素早く安全に構築するために開発された。遠隔操作の機械のため、設計では主に安全性の増強、高い生産性、素早い移動と最小空間での稼働性などが鍵となるファクターである。コンパクトクローラユニットは、閉鎖された地下条件で柔軟に素早く移動できる。またモジュラーの設計により、空間的に狭い環境でも操作が可能である。ジャッキフレーム、掘削ユニット、ケーブルドラムと電源箱は別々に置くことができる。

原位置試験:BBM1100のプロトタイプを2011年初頭に組み立てた後、ドイツ南部のBlack Forestにある小さな「Ciara 鉱山」で4週間にわたり実証試験を実施した。一軸強度が最大250MPaの岩盤状況下で、鉛直、および傾斜した径1.1mの孔を5時間で9m掘削した（瞬間掘進速度は毎分80-100mm）。

Cadia East 地下プロジェクトへの適用: オーストラリア、シドニーの260km西、ニューサウスウェールズにある「Cadia East」はオーストラリアで最大の地下鉱山であり、使用年数が約30年の世界で最も深いブロックケービング鉱山で、埋蔵原石材料の掘削を2005年に開始した。鉱脈は長さ約2.5km、幅600mで、深さは1.9kmにも及ぶ。これらの埋蔵鉱からは約1,900万オンスの金と300万トンの銅を算出すると見積もられている。2011年9月に搬送後、BBMは深度約700mでの試掘削と立上げ中に一軸強度が200MPaに及ぶ亀裂性でブロック状の岩盤で3本の鉛直孔を深さ約18mまで掘るのに成功した。2013年の生産開始をめざし、BBMは現在深度約1,000mでドロポイントの開発に用いられている。2012年6月現在で40本以上のスロットホールが平均長16.5m、平均掘進速度毎時1.5m（週3本ペース）で掘削されている。今後BBMは同鉱山で2基目が、そしてもう1基がチリ市場で運用される予定である。

③ Safely through the Tunnel? - How People behave in Tunnel Fires

安全にトンネルを通過？トンネル火災で人はどのような行動を取るか

道路トンネルで万一火災が発生したら、迅速に正しく行動することが大切である。危険を早期に発見し、火災発生を知らせる音を鳴らし、トンネルから避難することで人命を救うことが出来る。運転者の多くが危険に正しく反応せず、間違った行動で危険に身をさらすのは依然重要な問題点として残っている。トンネル火災では、例えば緊急電話で援助を要請し、安全確保のために避難出口を用いる目的で、車を出来るだけ早く離れることが特に重要だとされている。

ここでは、45人の被験者を無作為に3グループに分け（Gr. 1: 安全行動に関する事前情報なし。Gr. 2: 安全パンフレットを予習。Gr. 3: パンフレット予習とバーチャル運転シミュレータを用いた火災時の正しい行動訓練）、トンネル内で火災を伴う事故の現場シミュレーションを行い、観察要項（observation protocol）とビデオ収録に基づく行動観察結果を報告している。

情報、訓練なしのGr. 1では、不適切で自ら危険を招く行動が真っ先に生じた。場合によっては20%以上の方が、すっかり煙に包まれるまで車の中にとどまった。事故現場近くの緊急避難口や緊急電話を見つけようとしたのは、このグループの半数以下であり、被験者の中には火災に近づきすぎた、車の中に留まった、戻ろうとした者がおり、かなりの危険を意味する。

これに対し、予備知識を与えられたGr. 2の75%と訓練を受けたGr. 3全ての被験者は正しい対応をし、非常出口やSOS電話の方向に向かって事故現場の車から離れた。

Gr. 1では、男性と女性が異なる行動を取ったと言う結果も得られている。SOS電話や非常出口を真っ先にめざしたのは全て女性であった。男性の被験者は、車に留まる傾向があった。パンフレット情報（Gr. 2）は、男女間の差を減らすのに十分であった、またバーチャル空間での訓練は、調査に関わった男性の好ましくない行動を全て消し去っている。その他、行動形態とは別に、自己救済までに経過する時間も大切なファクターである。訓練を受けたGr. 3は他のグループより平均で20秒も早く非難した。行動に関する訓練が手順の記憶の中に取り込まれているという理由によるとしている。

安全基準の考え方は、事故などの重要なイベントが起きる確率を減らすこと（一次防止策、例：眠気の兆候を運転者に告げる居眠り警報システム）であり、危険なことが万一起きたとき、使用者のために被害の程度（二次防止策）を減らす必要があることである。上記のシミュレータ訓練は一次、二次防止策の両方に分類されている。

人的なミスはトンネル火災の場合致命的である。万が一使用者が予想通り「合理的に」行動をしない場合、最新の安全基準であっても絶対的な安全を提供することが出来ない。使用者の行動を改善するためのアプローチとしてバーチャルリアリティによる行動訓練の適用が強調される。



図 2 バーチャルドライビングトレーニングのスクリーンショット。

④ The Doha Metro -Tunnelling in special Dimensions

特別な規模でのドーハ地下鉄トンネル掘削

カタールの首都ドーハでは、2022年のFIFAワールドカップに向けて、地下鉄・鉄道システムの建設が計画されている。駅と地下鉄の地下部（25駅、総延長82km）を建設するフェーズ1では約100億ユーロが投資される。2050年までには、カタールとサウジアラビア、バーレーンを結ぶ主要ネットワークが構築される予定である。カタールではこれまで鉄道や地下鉄の経験がなく、トンネル掘削の専門知識が少ないため、データだけでなく規則や法令も存在しない。またドーハ市内でのその他の主要計画と絡み、物流問題や広範囲にわたるインターフェース問題が生じている。

カタールはアラビア湾に向かって北に延びる半島上にあり、アラビア湾堆積盆の一部である。地質調査では、計画経路に沿って123本の探査孔が深度25-70mまで掘削された。室内試験に加え孔内水理試験も行われ、浸透率や地下水の連結状況が調査された。

地質は不均質で、カルスト状の亀裂を含む異方性を示す。盛土・細粒で空洞、シルト岩で充填された不規則な亀裂や薄層のロームを挟在する石灰岩・化石を含む頁岩とRus層（残留塩水を含む広範囲な石膏層）からなる。地震ゼロ地域に分類されており、火山活動や雪崩も除かれている。

地形は主に低く平坦で河川や湖沼が存在しない。降雨量は少なく強い日差しと風のため乾燥しているが、高い地下水位（深度5-15m）が確認されている。季節的な降雨とアラビア湾に起因する浸透が涵養源である。新しい地下システムによって地下水位の変化が考えられる。3年間で8m上昇した事例もある。地下水は高濃度の硫酸塩（最大4,000 mg/L）と塩化物（最大54,000 mg/L）を含む。地下水はコンクリートや鋼に腐食性を呈する。地下水温度は平均で28℃である。

また、トンネル計画のための追加調査では、腐食性の強い地下水、120年の供用機関、掘削進度、連絡坑の本坑への結合、特に維持管理の問題が建設方法に大きな影響を及ぼす。これらの問題は、問題を技術的な条件で処理する建設会社に委ねられた。

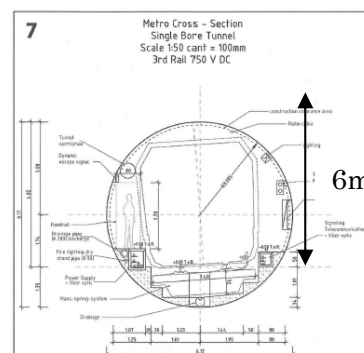


図7 地下鉄トンネル断面図

表2 トンネル計画の基礎パラメータ

パラメータ	決定事項	備考
トンネルシステム	双設単軌道	最大安全レベル
地下鉄運用	750WDC、3rd Rails	世界中地下鉄運用の通例
地下鉄車両サイズ	幅3,000mm、高さ4,000mm	ドーハ地下鉄用に開発
軌道	質量 - バネシステム	騒音、振動対策として市街地で必要
最大バンクング	100mm	80km/hでの運行と最小半径から得られる経路パラメータ
避難経路	W=800/2,200mm	NFPA130の要件より若干増加
構造的に使用可能なスペース	100mm	RIL853に基づく値
安全装置	トンネル換気、粉式消火器、CCTV	NFPA130とカタール鉄道の火災人命安全要件に従う
芯々距離	概して15.70m	経路位置からの距離