

硬岩トンネル掘削機 TM-100 による硬岩掘削について

西日本高速道路株式会社

浜田 文年

大成建設株式会社

正会員

足達 康軌

大成建設株式会社

正会員

○天野 元輝

1. はじめに

近年のトンネル工事は住宅地、道路、鉄道、重要施設などに近接している場所が多く、法規制や環境上の配慮から火薬を使用する発破掘削や打撃音を発生させるブレイカ掘削などを適用できない工事が増えている。このような施工環境下の硬岩部では、一般にロードヘッダ等のブーム掘削機による機械掘削を行うが、一軸圧縮強度が 30MPa を超えた段階から掘削能力が極端に低下し、進捗の大幅な低下は避けられないのが現状である。

新名神高速道路川西トンネル工事における当初地質調査では、トンネル中間部の住宅地近接箇所において一軸圧縮強度 90MPa のチャート、東側坑口部の国道近接箇所においては 100MPa の砂岩が確認されており、既存の機械ではトンネル掘削を行うことが困難であると想定された。そこで一軸圧縮強度が 100MPa を超える硬岩を効率的に掘削可能な硬岩トンネル掘削機 TM-100 を開発した(写真-1)。ここでは、TM-100 の機械特性と掘削実績および今後の展望について記述する。

2. 機械の特徴

一般のブーム掘削機はカッタビットで岩盤を切削する方式のものが主流である。しかし、この方式では岩盤の一軸圧縮強度が 40~50MPa までの中硬岩が限界であり、それ以上の硬岩域ではカッタビットの摩耗、機体の故障が著しくなる。そのため、掘削作業のほとんどがビット交換作業等に費やされ、掘削能力の著しい低下、コスト増大が発生する。一方 TM-100 は直径 2.7m のカッタホイールに、TBM (Tunnel Boring Machine) で使用されるものと同様のディスクカッタ(写真-2)が中央に 8 個、両サイドに各 4 個の計 16 個が配置されており、これらにより岩盤を圧砕によって掘削する。圧砕とは図-1 の概念図に示すように、回転するカッタホイールを横移動させてディスクカッタの切羽へ当たる位置をずらすことにより、ディスクカッタを岩盤に押し付けた時に発生するクラックを繋ぎ岩盤を剥離させる方法である。発生するクラックは、カッタホイールの回転数とブームのスイング速度によって決まるディスクカッタを押し付ける間隔(カーブ幅)と、押し付ける推力によって決まる貫入量(切り込み深さ)に依存するため、岩盤の強度や不連続面(節理、片理、層理など)の状況に応じ最適な値に設定可能である。

表-1 TM-100 仕様

項目	仕様
寸法(全長×全幅×全高)	28.5m×3.8m×4.8m
カッタホイール径	2.7m
全総質量	約 280t
スラスト量	1.2m
掘削断面(高さ×幅)	6.45m×8.6m
掘削可能断面積	約 50m ²
カッタホイール電動機	225/150kW(2段, 4/6P), 2台 1000/1100V(50/60Hz)
カッタホイール形状(交換可能)	ディスクカッタ型 ピック型
カッタホイール回転数	22.3/14.9 min ⁻¹ (2速, 4/6P)
カッタ周速	3.2/2.1 m/s(2速, 4/6P)
カッタ数量	15.5in ディスクカッタ 8個 ゲージカッタ 左右各 4個 丸ピック 174個
クローラ(幅×長さ)	1.12m×7.86m(片側)
接地圧	0.17MPa
走行速度	低速 2.7/3.2 m/min(50/60Hz) 高速 5.0/6.0 m/min(50/60Hz)
油圧用電動機	225kW(4P) 2台, 空冷



写真-1 TM-100 全景



写真-2 ディスクカッタ

キーワード ブーム掘削機, 硬岩トンネル掘削機

連絡先 〒542-0081 大阪府大阪市中央区南船場 1-14-10 TEL 06-6265-4603

3. 掘削方法

TM-100 は2車線高速道路トンネル相当の上半部を左右交互に半断面ずつ掘削することを想定しており、1回の機械の設置により50m²の範囲を掘削できる仕様となっている。また、トンネル掘削方向には、最大1200mmの掘削が可能なスラストジャッキを機械中央部に有しており、移動によるタイムロスを小さくでき、切羽の自立性や採用する支保パターン等の状況に合わせて掘進長を調整できる。掘削に際しては、岩質に応じて設定した貫入量でカッターホイールを岩盤に押し付ける。一つのサイクルが完了すれば、再度貫入量分を押し付けて掘削を繰り返す。つまり、進行長を1200mmとし貫入量を10mmと設定すれば、このサイクルを120回行うことになる。また、切羽の一部だけが硬質の場合は、その硬質部分のみ掘削するプログラムを設定することで、効率的な掘削方法の選択も可能である。

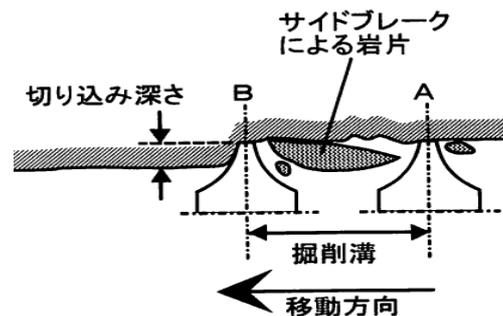


図-1 圧砕掘削の概念図

TM-100 は、本機に座標計測用のターゲットと傾斜計及びストローク計を搭載し、後方に設置したトータルステーションによる自動追尾により、予めプログラムされた軌跡を描く自動掘削方式を採用している。また、最適な掘削開始位置を計算し機械をナビゲーションする誘導システムを備えている。この機体設置の許容精度は±200mmであり、機体設置が容易なシステムとしている。

4. 掘削性能および掘削実績

掘削の性能確認を行うため、掘削部を先行して製作し、模擬岩盤による掘削性能試験を行った。模擬岩盤は一軸圧縮強度110MPaの花崗岩(1.5m×1.5m×1.1m)4個を、一軸圧縮強度50MPaのコンクリートに埋め込んで製作した。試験では、カーブ幅を52mm, 70mm, 84mmの3種類、貫入量を6mm, 9mm, 13mmの3種類とし、合計9通りの試験を行った。



写真-3 掘削後の模擬岩盤

掘削試験の結果、花崗岩は理想的な扁平形状で剥離された(写真-3)。また、一般のロードヘッダ等の掘削機で使用される切削ビットが備えられたカッターホイールに交換して掘削を行ったが、ビットが欠けてしまう結果となった。以上より、硬岩部ではディスクカッターによる圧砕掘削の有効性が確認された。

表-2 掘削性能試験結果

移動速度 (m/min)	貫入量 (mm)	掘削量 (m ²)	掘削時間 (sec)	純掘削能力 (m ³ /h)
8.0 (カーブ幅 52mm)	6	0.043	24	6.5
	9	0.064	24	9.6
	13	0.092	24	13.8
11.5 (カーブ幅 70mm)	6	0.043	18	8.6
	9	0.064	18	12.8
	13	0.092	18	18.4
15.0 (カーブ幅 84mm)	6	0.043	15	10.3
	9	0.064	15	15.4
	13	0.092	15	22.1

川西トンネル工事におけるTM-100の純掘削能力については、スイングブームの移動速度が15m/min、貫入量を13mmと設定した時に最大22m³/hの掘削量を確認した。家屋近接部のチャート部では、最大200MPa以上の強度の岩が確認されており、貫入量が13mmと大きくなると機体の振動も大きくなった。そこで、一軸圧縮強度が100MPaを超える硬岩では貫入量9mm程度が機体損傷の恐れのない実用的な掘削能力と考えられるため、純掘削能力は約15m³/hと言える(写真-4)。

5. まとめ

今回TM-100が導入された岩盤の一軸圧縮強度が平均100MPaを超える硬岩部において、問題なく掘削が可能であることが確認できた。今後は、掘削性能や掘削精度、サイクルタイム、振動・騒音についての調査と運用方法の検討や機器の改良を加えて、他現場への展開を予定している。



写真-4 トンネル掘削状況