

## 20. KOMET SYSTEM

日本国土開発(株)：宮地 明彦・川上 裕  
生木 泰秀・水野征四郎  
菅原 隆夫・市神 元英  
\*藤沢 均

### 1 はじめに

民家直下や周辺でのトンネル工事において、発破振動を抑制するために各種の無発破工法や低振動制御発破工法が採用されている。KOMET (Kokudo Mechanical Tunneling) システムは、発破振動を抑制するために開発した大断面トンネル用機械掘削システムである。このシステムは、特殊な穿孔機によるスロット(自由面)の作成と、油圧クサビによる割岩を特徴としており、ロードヘッダーやブレーカによる掘削が困難な硬岩における無発破掘削や機械心抜き制御発破掘削に威力を発揮する。

### 2 KOMETシステムの概要

#### (1) 無発破トンネル掘削

当社は、明かり工事における岩盤の機械掘削工法として大型クサビによる無発破岩盤掘削工法(KNBB工法)を開発しており、トンネル工事にこの技術を応用した。

硬岩を破碎するには、岩の破壊に伴う体積膨張を吸収する空間が必要であり、トンネル切羽における1自由面状態では強力なエネルギーを持つ火薬による発破工法となる。したがって、油圧クサビによる割岩を可能とするために最初にスロット(写真-1)を掘削して2自由面状態とした後、割岩孔を穿孔して油圧クサビにより掘削する。油圧クサビはトンネル用に小型化しているが、人力のみによる作業は困難であり重量物操作アームに懸架して作業するため、外周には約50cmのデッドゾーンができる。この範囲は静的破碎剤を充填してブレーカーやブームヘッダーにより掘削する。作業フローを図-1に示す。



写真-1 スロット

#### (2) 機械心抜き制御発破

発破振動低減のためには発破振動の大きい心抜きを機械的に行い自由面を多くしてK値を低減させ、さらに1段当たりの火薬量を低減させる方法が有効である。したがって、前述した方法により機械的に心抜きを行い、外周を制御発破することにより発破振動が大幅に低減できる。試験発破では約20%の機械心抜きを行うと通常の制御発破に対してK値が50~60%に低減する結果が得られている。作業フローを図-2に示す。

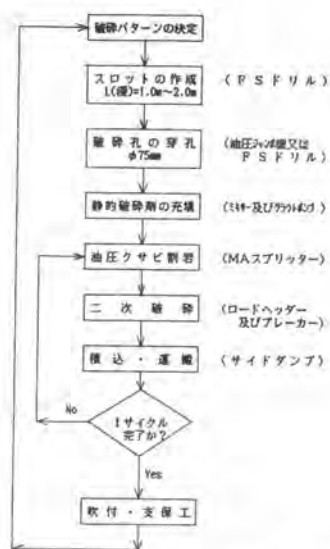


図-1 無発破トンネル掘削作業フロー

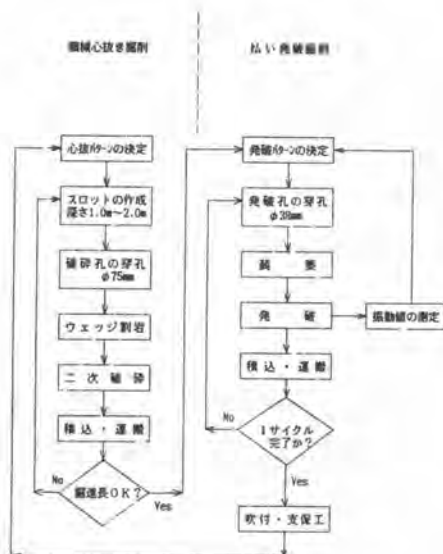


図-2 機械心抜き制御発破作業フロー

### (3) スロットの作成方法

スロットは、以下の手順により穿孔穴を連結させて溝状にして作成する(図-3)。完全なスロットの作成には、隣接孔にビットをとられる(穴曲がりする)ことなく正確な間隔で平行にガイド孔を穿孔する必要があり、穿孔機械は特殊仕様となっている。

- ① 最初にφ75mmガイド孔を15cm(2φ)間隔で平行に穿孔する。
- ② 次にビットをφ150mmのリーミングビット(図-4)に交換する。
- ③ 各々のガイド孔をφ150mmに拡孔して連続させる。

《穿孔機械(Free Slideドリル:図-5)の仕様》

- a) ガイドセルを剛性の高いフレームで2点固定し、平行移動させる機構であり、移動量はロータリエンコーダにより自動制御する。ガイドセルの平行移動範囲は2.5mで、1回の機械据付により幅2.5m、深さ1.0m~2.0m、厚さ15cmのスロット穿孔ができる。
- b) テーブルフレームの回転とアームジャッキの伸縮、昇降により高さ6.0mまで、外周から50cmの任意の位置にスロットの穿孔ができる。また、大型油圧ドリフタ(YH-150)を2連装備し、遠隔操作ができる。全長17.66m、総重量45tfである。

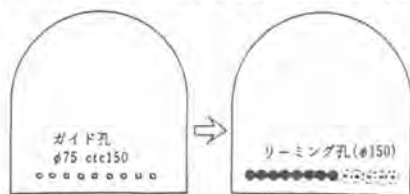


図-3 スロットの作成方法

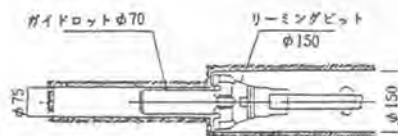


図-4 リーミングビット

#### (4) 油圧クサビ

油圧クサビは、従来のタイプを小型化（310kgf）、強力化（割岩力670tf）したものであり、穿孔径をφ75mmとしてトンネル油圧ジャンボで穿孔可能な口径とした。自走式のステージ台車（図-6）に2台装備し、重量物操作アーム（油圧ウインチワイヤー装備）で各々懸架して人力により割岩孔に挿入して割岩する。クサビの長さは60cmと80cmの2タイプとした。

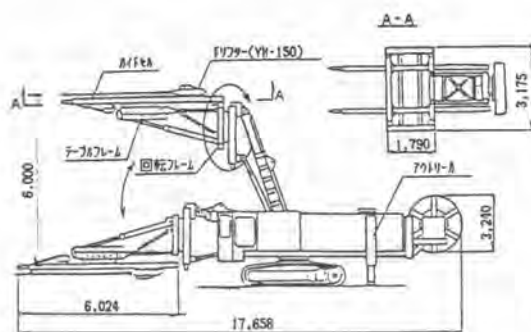


図-5 FSDドリル

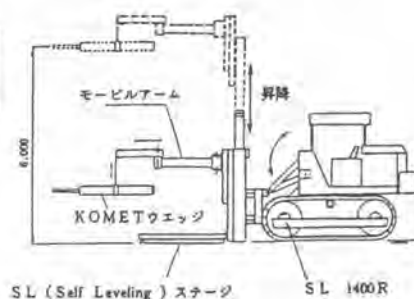


図-6 自走式ステージ台車

### 3 施工例（山陽自動車道武田山トンネル東工事）

#### (1) 全面機械掘削

一軸圧縮強度 $q_u=1,500\text{kgf/cm}^2$ 以上の花崗岩における道路トンネル工事において、上半断面 $43.9\text{m}^2$ を図-7に示すパターンで10m区間を試験掘削した。

##### ① スロットと割岩孔の穿孔

FSDドリルによるスロットの穿孔と油圧クローラジャンボ（2連）による割岩孔の穿孔を並行して行った。1サイクル長は、スロットの連続性から1.0mとし、スロット深さ1.2m、割岩孔長1.7m（割岩長1.0m＋クサビの貫入長0.6m＋余裕0.1m）、静的破碎剤長1.4mとした。

スロットは $t=150\text{mm}$ 、割岩孔・静的破碎剤孔はφ75mmであり、破碎孔間隔は $400\text{mm}\times 500\text{mm}$ 、静的破碎剤孔間隔は $400\text{mm}\times 400\text{mm}$ である。

##### ② 静的破碎剤孔の充填

口径がφ75とやや大きいため静的破碎剤はブライスター100-Cを使用した。充填は、孔口にスポンジ（10cm角）を施し、注入パイプを孔底まで挿入して充填した。水比は25%である。

##### ③ 割岩および外周の破碎

油圧クサビによりスロット近傍から割岩したが、岩が硬く割岩力不足で1mの掘進に1孔当たり3～4

回の割岩が必要であった。

静的破碎剤を充填した外周の払いは、1,300kg 級トンネルブレイカ及びブームヘッダーを使用して行ったが、相当の労力を要した。したがって、斜め追加穿孔し油圧クサビを使用する（重量が大きい上にシリンダーが外周に当たり掘削能率は悪い）等の対策を取った。

④ 作業編成と日進量

機械編成は表-1に示す編成で行い、労務編成はトンネル世話役1人、坑夫7人、機械工1人の編成とした。日進量は、岩の強度や下半の作業の影響を受け、0.5～1.0m/日であった。

表-1 機械標準編成

工種	機械名	仕様	使用台数	備考
スロット作成	FSドリル	YH-150(75MP) 2速	1台	
穿孔	油圧クローラジャンボ	30MP 2速	1台	
割岩	MAスプリッター	油圧クサビ(F=670t) 2速	1台	#75
破砕剤	モルタルプラント	100Lミキサー、モノポンプ	1式	
2次破砕	1300kg級ブレイカ	トンネル用	1台	
	ブームヘッダー		1台	
既土掘込	サイドダンプ	WA-350級	1台	
	バックホー	0.4m <sup>3</sup> 級	1台	

(2) 機械心抜き制御発破

団地直下80mの掘削に当たって、発破振動をV=0.1kine以下に制御するために図-8に示す機械心抜き制御発破工法を採用した。岩質は一軸圧縮強度qu=1,200～1,800kgf/cm<sup>2</sup>の広島型花崗岩である。

上半断面A1=52.4m<sup>2</sup>の約15%に当たる8.1m<sup>2</sup>の機械心抜きを行った後、低爆速火薬（カヤソフト：デカップリング比2.11）を使用して制御発破した。この結果、機械心抜きを行わない場合の発破振動に対して約40%振動値を低下し（試験発破結果）、K≤500，V<0.1kine（団地内観測点）に制御して団地直下を259m施工した。進捗は、平均月進約30mである。

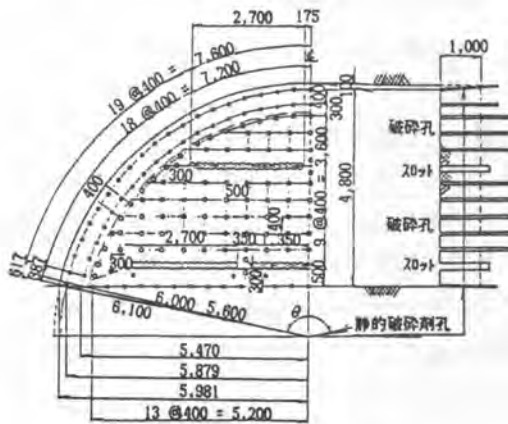


図-7 無発破掘削パターン

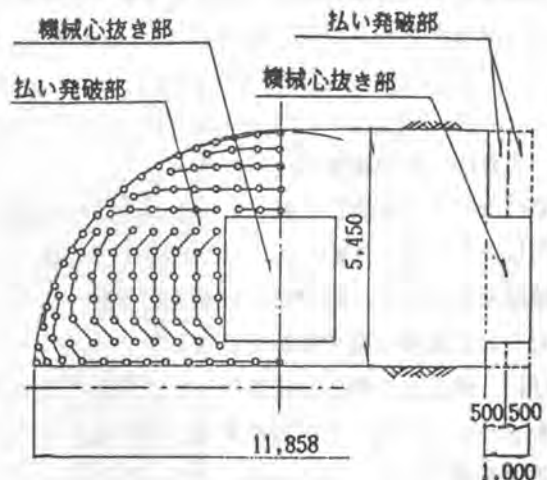


図-8 機械心抜き制御発破パターン

4 おわりに

トンネルの無発破掘削や機械心抜き制御発破における岩盤の機械掘削は、まさに岩盤と機械の力の戦いであり“技も力なり”と言った表現が良く合っていると思われる。トンネル掘削機械には、起動性（足まわり）と耐久性（振動、粉塵）が要求され、今後、さらに改良を加えていく所存である。