

56. スロットを利用した硬石トンネルの掘削工法

(株)奥村組： 萩森 健治・大野 浩平

1. まえがき

市街地近くで硬岩を掘削するトンネル工事が増えているが、これらの工事では、振動や騒音の影響の少ない無発破工法や低振動発破工法の採用を要請されることが多い。無発破工法では通常、膨張性破砕剤、油圧くさび、油圧ブレーカあるいは自由断面掘削機などが併用される。これまでのこの種の施工例をみると、施工能率を高めるために重要なこととして切羽に多くの自由面を作成することをあげており、そのための機械開発が最近になって著しいようである。当社においても自由面を作成するスロット削孔機（SD機と称する）とこれを利用する無発破あるいは低振動発破工法（SD工法と称する）を開発し、これまでに数件の施工を行ったので、その概要を報告する。

2. SD (Slot Drill) 工法の概要

SD工法は、SD機により溝状の自由面（スロットと称する）を作成することを基本とする工法で施工方法は図-1に示すとおりで、大きくわけて無発破、低振動発破としての使い方がある。このほか、アブレイブ・ジェットによる自由面作成あるいはブロック掘削工法も開発中である。施工に際しては岩質、トンネル断面、発破の制約の程度に応じてこれらの中から適切なものを選択する。

(1) SD機

SD機は図-2に示すように1台の油圧ドリフタで5本のロッド、ビットに打撃、回転を与える構造であり円形孔がラップした形状のスロットを作成できる。

ベース・マシンは通常油圧クローラジャンボを使用する。

削孔長1.0mの試作機製作後、試験施工や実施工を通じて改良を重ね、現有機は実用

機として十分な性能を有している。おもな改良点は以下の通りである。i) 削孔長をI型機1.5m、II型機2.2mと伸ばし、III型機はロッド継足し可能とした。ii) タベットの形状、ロッドとビットの

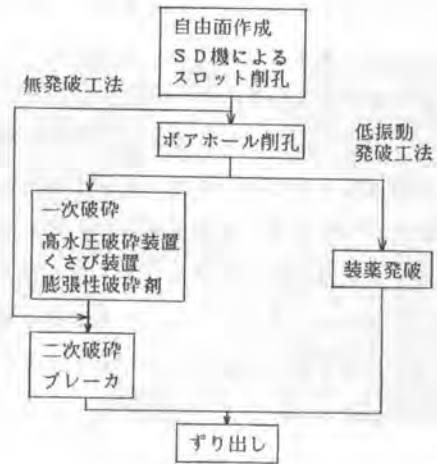


図-1 SD工法の概要

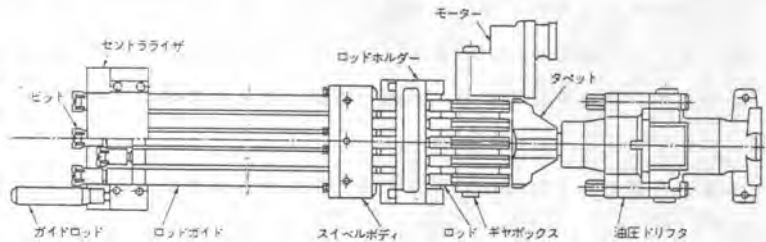


図-2 SD機の構造

形状、材質を改良した。iii) 油圧ドリフタをHD 260からHD 300と大型化した。

II型3ブームSD機の仕様を表-1に示す。I型機、II型機による花崗岩削孔時の削孔速度(のみ下り)を図-3に示す。一軸圧縮強度はシュミットロックハンマーの反発硬度から換算した。ブーム移動、ビット交換等を含む実削孔速度は、ここに示す値の80~70%となっている。

(2) 高水圧破碎装置

一次破碎には膨張性破碎剤、油圧くさび、高水圧破碎装置等が用いられる。これらのうち、当社ではゴムチューブ式の高水圧破碎装置を開発している。この装置は図-4に示すように5連ないしは10連の液圧管とポンプユニット、バルブユニット、制御装置とから構成される。加圧能力は100MPaである。制御装置では液圧を計測して割岩状態を判断し加圧操作の制御を半自動的に行う。液圧管の大きさは外径50mm、長さ450mmが標準である。

3: 施工例

これまでの実施工例を表-2に示す。いずれも一軸圧縮強度が100MPa以上の硬質の花崗岩を対象としている。試験施工を含めるとトンネル延長で840m、掘削数量で37000m³を無発破あるいは低振動発破工法により掘削した。

(1) Aトンネル(無発破掘削)

ここに示す施工

例は、道路トンネルの市街地および既設構造物に近接した区間(本坑300m、ランプ208m)にて無発破掘削を行ったものである。

| トンネル名 | 岩 質 | | 掘削断面積 (m ²) | 掘削延長 (m) | 掘 削 方 法 | | | | |
|---------|--------|--------------|-------------------------|-------------|--------------|--------|----------------------|---------|-------------|
| | 岩石名 | 一軸圧縮強度 (MPa) | | | 弾性波速度 (km/s) | 区分 | スロット削孔 | 前 岩 | ブレーカ重量 (Kg) |
| A (兵庫県) | 花崗閃緑岩 | 80~200 | 3.0~5.0 | 41~76 66 | 208 300 | 無発破 | 2ブームII型機 3ブームII型機 | なし | 2900 |
| B (広島県) | 黒雲母花崗岩 | 70~200 | 4.0 | 36 | 115 | 無発破 | 2ブームI型機 | 高水圧破碎装置 | 1100 |
| C (岡山県) | 黒雲母花崗岩 | 100~150 | 3.9~4.4 | 9.1 | 180 | スロット発破 | 2ブームI型機 | 爆 薬 | - |

表-1 SD機の仕様

| ベース・マシン | | | |
|---------|---|-------|-------------|
| 型式 | 全油圧クローラジャンボ (JCH-3) | | |
| 長さ | 15 100mm | | |
| 高さ | 4 330mm | | |
| ブーム | 上段用 J E 150 T R 全幅: 2 800mm 下段用 J E 160 T R 重量: 39tf (特) | | |
| SD機 | | | |
| 型式 | ZCA-6270 | ドリフター | HD 300 |
| 長さ | 5 507mm | 全 幅 | 500mm |
| 高さ | 581mm | | |
| 重量 | 950kgf (ガイドシエル含む) | | |
| 動作圧力 | 100~160kgf/cm ² | | |
| 回転数 | 0~250rpm | 打撃数 | 2 300bpm |
| フィード長 | 2 200mm | 使用水量 | 30~70 l/min |
| ビット | 径60mmクロスステーパー | | |
| ビット径 | 31.5mm | シャック部 | H-25 |

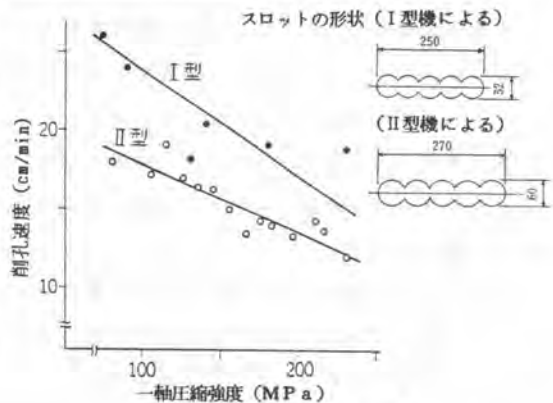


図-3 スロット削孔速度



図-4 高水圧破碎装置

表-2 SD工法の実施工例

a. 掘削方法

全断面ないしは上半先進、下半ベンチカット掘削を行った。断面が大きいため破砕能力の大きい超大型ブレイカを採用し、一次破砕は行わずスロット削孔後、ブレイカにより直接打撃破砕した。油圧ブレイカは、本坑上半は日本ニューマチックH-20Xのアームを改造して使用し、ランプおよび本坑下半はクラブMK B 2000をスライド式アームに搭載して使用した。

b. 削孔パターンとサイクルタイム

スロット削孔パターンは、切羽の観察結果とシェミット・ロックハンマーにより判断した岩質データとそれまでの施工データをもとに選定した。このため、各サイクル毎に削孔パターンは異なるが代表例を図-5に示す。1サイクルの掘進長は2.0~2.1mで、サイクルタイムは岩質によって大きくばらつき20~80時間となった。本坑上半の月進は23mである。

c. 計測

本坑の切羽通過前からの地中変位の計測結果によると、壁面に近い測点の最終変位は0.44mmで、2m以上離れた測点では変位はほぼ0であった。変位は切羽通過直後に生じ、そのまま収束した。支保は、5cm厚の吹付コンクリートのみである。

民家の直下(土かぶり50m)の掘削では、坑内で振動測定を行ったが、施工箇所から10m離れた地点でスロット削孔時は0.02カイン、ブレイカ打撃時は0.4カインであった。

(2) Bトンネル(無発破掘削)

当トンネルでは断面の制約により大型のブレイカを使用できなかったため、5連装の高水圧破砕装置により一次破砕を行ってからブレイカ破砕した。スロット削孔にはI型SD機を用い、削孔長は1.5m、掘進長は1.3mである。削孔パターンとサイクルタイムを図-6に示す。

(3) Cトンネル(スロット発破)

当工事では、発破使用の承諾は得られたが、振動、騒音の規制が厳しく、従来の制限発破工法の適用は難しい状況であった。そこで、図-7に示す外周スロット発破を試験発破した後に採用した。なお、比較のため心抜スロット発破、通常の制限発破を試行したが、地元からの苦情により数回の発破

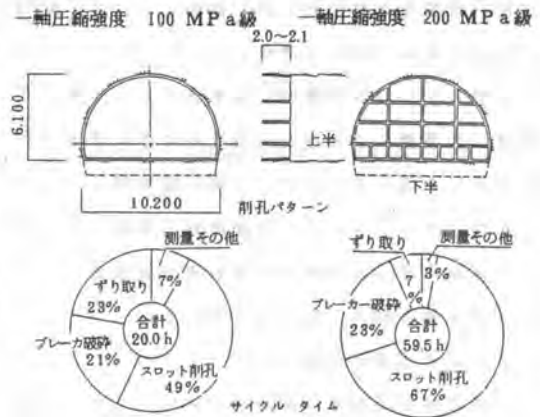


図-5 削孔パターンとサイクルタイム

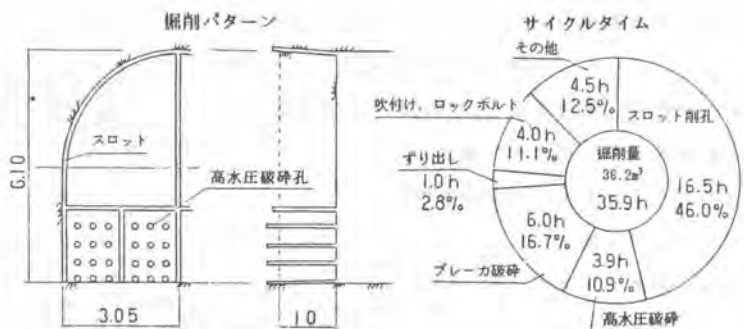


図-6 削孔パターンとサイクルタイム

で中止した。振動測定は、既設トンネル内（距離 6～50m）4ヶ所、地表部（距離 100～120m）1ヶ所、各3成分とし、計15ヶの速度計を用いて行った。発破結果を表-3に示す。外周スロット発破は通常の制限発破に比べ最大振動速度は1/6、薬量は1/3、K値は1/2程度となっている。このほか以下の特徴が明らかとなった。

i. 発破孔の削孔精度を必要とせず、確実に起破できる

ii. 発破後の壁面は、目視観察によれば壁面の損傷はみられず余堀が少ない

iii. 短所としては、今回実施した通常の制限発破と比べ施工能率、コストの面ではやや劣る

4. あとがき

本工法と他の無発破工法の平均月進を図-8に示す。岩質は花崗岩で、断面積は35～52m²の施工例である。同図より本工法は能率面でやや有利といえる。しかし、現状においては発破工法に比べかなり高価で能率も劣るため、今後はi)専用ベースマシンの製作と自動化、ii)ドリフタの大型化、iii)ロッド、ビットの改良を行う必要がある。また、小断面トンネルへの適用をはかるため、アブレイシブジェットとの併用を考えている。今のところ特殊ノズルにより、ノズル移動速度が10cm/minで稲田花崗岩に深さ20cmのスリットを切削できるようになっている。本装置の実用化も今後の課題である。

参考文献

- 1) 本田裕夫, 萩森健治, 古川浩平, 中川浩二; 硬岩トンネルの無発破掘削に関する研究、土木学会論文集、第379号/VI-8, pp.55-64, 1987年3月
- 2) 萩森健治, 竹知芳男, 古川浩平, 中川浩二; スリット工法を用いた低振動発破工法に関する研究、土木学会論文集、第381号/VI-8, pp.142-150, 1988年3月

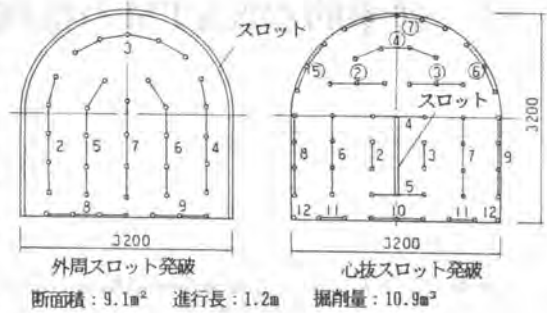


図-7 発破パターン

表-3 発破結果一覧

| 発破種別 | | 外周スロット発破 | 心抜スロット発破 | 通常制限発破 |
|----------------|------------|----------|----------|--------|
| 発破回数(回) | | 9 | 3 | 2 |
| 使用薬量(kg) | | 5.8 | 11.0 | 16.3 |
| 諸孔数(孔) | | 36 | 54 | 82 |
| 元m3当り薬量(kg/m3) | | 0.53 | 1.0 | 1.5 |
| m3当り孔数(孔/m3) | | 3.9 | 5.9 | 6.8 |
| 最大振動速度(Kine)*1 | | 0.020 | 0.041 | 0.123 |
| K値*2 | 最大値*3 | 464 | 794 | 1011 |
| | 平均値*4 | 281 | 394 | 493 |
| 騒音 | 250m地点(dB) | 57 | 67 | 66 |
| 振動レベル | 150m地点(dB) | 41 | 45 | 53 |

- *1 各発破毎の最大値の平均 (E観測のデータ)
- *2 $V = K \cdot W^{2/3} \cdot D^{-2}$ によりK値を算出 (E観測のデータ)
V: 速度 (Kine) W: 薬量 (kg) D: 距離 (m)
- *3 各発破毎の最大値の平均
- *4 各発破毎の平均値

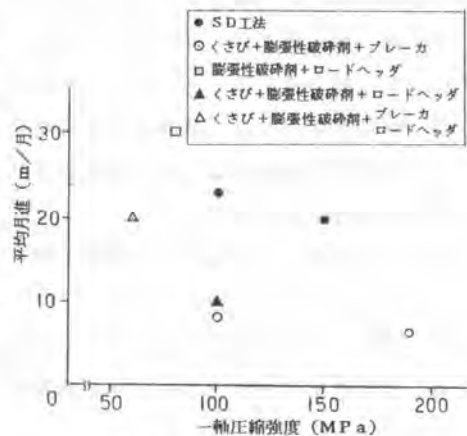


図-8 無発破工法の平均月進