

ワイヤーソ工法を利用した硬岩地山トンネルの掘削

The hard rock tunnel excavation by means of the wire saw pre-cutting method

岩崎 光¹⁾ 牧野 卓三²⁾ 荻野 守³⁾ 岡崎 稔⁴⁾

Hikaru IWASAKI, Takumi MAKINO, Mamoru OGINO, Minoru OKAZAKI

Hard rock tunnels are usually excavated by means of the drill and blasting method. But this may not be allowed due to noise or around vibration problems when the tunnel is located in urban areas or existing important structures. Since the number of these cases is increasing recently, the low vibration tunnelling methods are becoming more important.

The mechanical pre-cutting method using a wire saw machine has been developed. The method involves cutting the tunnel perimeter using a wire saw before the latter is excavated by the controlled blasting. This paper describes the outline of the method and its application to the intersection of the two tunnels at the Miharu dam.

Key Words: hard rock ground tunnel, wire saw method, low vibration tunnelling method, restricted space, controlled blasting

1. はじめに

既設重要構造物に近接した位置や市街地等周辺環境への影響が制約条件となる場所でのトンネル建設が増加している。このため、硬岩地山トンネル掘削に最も効率的な発破掘削の適用が困難な場合が多くなっている。また、施工途中での計画の変更や完成後に新たな機能を付加する場合、その施工においては上記条件に加えて作業スペースの制約を受ける場合がある。そこで、このような場合に対処する1工法として三春ダム本体建設工事で採用したワイヤーソ工法（以下WS工法という）を併用した制御発破工法について報告する。

2 工事概要

三春ダムは大滝根川に建設される多目的ダムである。本工事の1工種として、図-1に示すように仮排水トンネルより既設横坑にいたる交点部トンネル（掘削断面積 12m^2 、延長6 m）の施工がある。施工箇所の地山は中生代白亜紀の花崗閃緑岩（一軸圧縮強度約 2000kgf/cm^2 ）である。

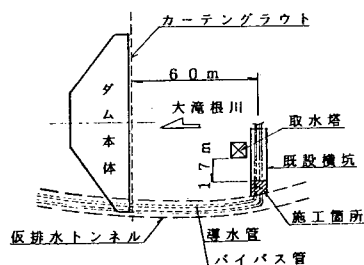


図-1 施工位置概要

施工にあたり以下の制約条件があった。

①施工場所に近接して取水塔およびカーテングラウト等重要構造物が完成している。

1) ~ 4) 正会員 關奥村組 東北支店土木部

- ②仮排水トンネル内からの施工となり、作業スペースが狭隘である。
- ③全体工程のなかで交点部トンネルの施工可能日数は30日である。

3. 工法の検討

重要構造物に近接した位置での施工となるため、低振動掘削工法の採用が必要であったが、既設横坑の施工実績より通常の制御発破では振動規制値を満足することはできないと判断した。このため、表－1に示す4工法について比較検討を行った。WS工法は、スチールワイヤにダイヤモンドビーズを取りつけ、毎秒25～30mの速度でワイヤを走行させ切断（切断幅10mm）する工法である。また、SD（Slot Drilling）工法はスロット穿孔機（SD機）によりトンネル切羽周縁と切羽面にスロット（溝）を穿孔して自由面を形成する工法である。表－1より、無発破工法は周辺構造物に対する影響はないが、工期とコスト面で採用が困難であったため、自由面形成工法を併用した制御発破（以下特殊制御発破という）の採用を検討した。

特殊制御発破のうち、経済性については①の工法がすぐれていたが、狭隘な場所での大型機械使用となるため安全性に問題があり、またコーナ部を余堀する必要があることから地山の安定性にも問題があった。このため、これらの問題のない②のWS工法併用制御発破を採用することにした。

表－1 工法比較表

工 法 名	自由面形成工法併用制御発破		自由面形成工法併用無発破掘削	
	①SDI法併用制御発破	②WS工法併用制御発破	③SDI法併用ブレーカ破砕	④全断面WSI法
工法の概要	SD機により掘削面に自由面を形成し、その後薬量を制限した制御発破を行う。	WSにより掘削面外周を切断し、その後薬量を制限した制御発破を行う。	SD機により掘削面に自由面を形成し、その後大型圧入ブレーカで破砕する。	WS機により岩盤をトンネル内より引き出し可能な重量・大きさに切断し、仮排水トンネル内に引き出す。
特 徴	・当現場で施工実績有り。 ・機械の方向と掘削の方向が直角となるためSD機の改造が必要となる。 ・コーナ部の余堀が必要となる。 ・発破振動による構造物への影響を考慮する必要がある。	・岩盤に対する当工法の施工実績が少ない。 ・汎用性の機械であり、設備が容易である。 ・狭隘な場所での施工が可能である。 ・トンネル外周を全延長にわたり切断するため、構造物に対する影響は①より少ない。	・当現場で施工実績有り。 ・①と同様SD機の改造が必要となる。 ・坑内で使用可能なブレーカ能力が小さいため、SD機によるスロットを多くする必要がある。 ・コーナ部の余堀が必要となる。 ・周辺構造物への影響が少ない。	・岩盤に対する当工法の施工実績が少ない。 ・ブロック切断を行うと、膨大なコストがかかる。 ・汎用性の機械であり、設備が容易である。 ・狭隘な場所での施工が可能である。 ・周辺構造物への影響はない。
工 程	25日	20日	45日	40日
経 済 性 (指数評価)	1.0	1.6	1.6	4.5
評 価	○	◎	×	×

(1) 振動規制値に対する検討

取水塔基礎およびカーテングラウトの振動規制値は、それぞれ5kine、0.5kineであった。掘削面外周切断による振動速度の低減効果は、当現場でのSD工法併用制御発破の実績から50％と推定し、振動規制値を満足するよう発破パターンを検討した（図－2）。本工事での振動速度の推定式を下式に示す。

$$ppv = K \cdot W^{2/3} \cdot D^{-2}$$

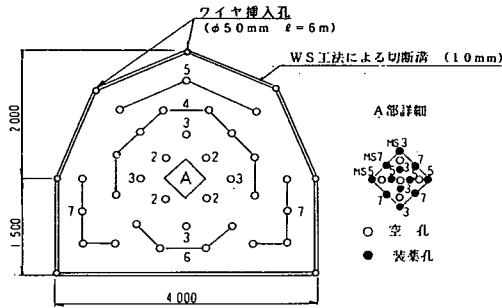
- ここに ppv：最大振動速度（cm/s=kine）
- K：係数＝300（既設横坑での実績平均の50％）
- W：段当たり薬量＝1.6（kg）
- D：対象物までの実距離（m）

(2) WS工法の岩盤への適応性の確認

WS工法を採用するにあたっては岩盤への適用例が少ないため、当現場より発生した岩塊（花崗閃緑岩）に対し試験施工を実施して切断速度およびワイヤの損耗に関するデータを収集し、適応性の可否を検討した（表－2）。試験結果より、鉄筋比率1.0~1.5 %程度の鉄筋コンクリートに対する実績と同程度であり、切断可能であることが検証され本工事に適用した。

段数	孔数	孔当たり薬量 (kg)	段当たり薬量 (kg)
MS 3	4	0.4	1.6
5	4	0.3	1.2
7	4	0.3	1.2
DS 2	4	0.3	1.2
3	4	0.2	0.8
4	8	0.1	0.8
5	3	0.1	0.3
6	4	0.1	0.4
7	8	0.1	0.8
合計	43		8.3

発破諸元



穿孔パターン

図－2 発破パターン

4. WS工法併用制御発破の施工

トンネル掘削面外周に、ワイヤを通すための孔を7孔（φ＝50mm ℓ＝6 m）ドリルジャンボで穿孔し（図－2）、その孔にワイヤを挿入し切断を行った。施工概要を図－3に、施工状況を写真－1に示す。一発破長は1サイクル当たり1.2 mとし、43孔／サイクルにより制御発破を行った。また、芯抜きにはバーンカット工法を適用し、極力振動が外部に伝播しないよう配慮した。実施工での発破振動に対する管理は、仮排水トンネル内のカーテングラウト位置および取水塔基礎部に3成分速度型振動計を設置し、計測結果を次工程にフィードバックする方法を採用した。管理フローを図－4に示す。

5. 施工結果

施工結果をまとめると下記のとおりである。また、既設構造物位置での振動規制値と予測値、および実測最大値を表－3に示す。

①振動規制値以下の振動速度に抑えて施工することができ、周辺構造物に悪影響を与えることなく無事工事を完了することができた。

表－2 試験施工結果

試験項目	試験結果	備考 ^(注)
切断速度	75 (分/㎡)	鉄筋比率1.0%のコンクリートと同程度
損耗率	0.35 (㎡/m)	鉄筋比率1.5%のコンクリートと同程度

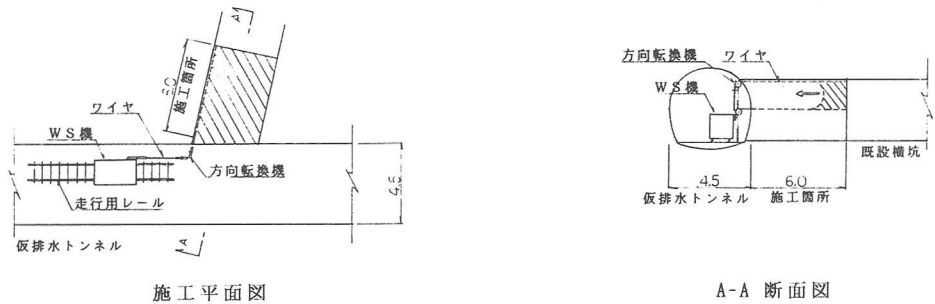
(注) 国土建設調査会 建設物価 技術資料 1993.8 №147)

表－3 振動規制値・予測値・実測最大値一覧
(振動速度は3成分の合成値を示す)

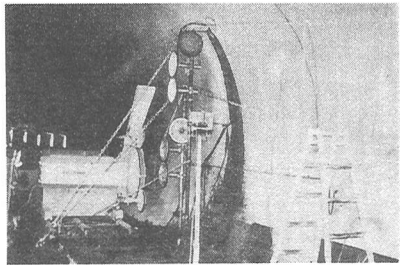
測定位置	振動規制値	予測値	実測最大値
カーテングラウト	0.5	0.1	0.2
取水塔基礎	5.0	1.4	1.0

(単位はkine 1kine=1cm/s)

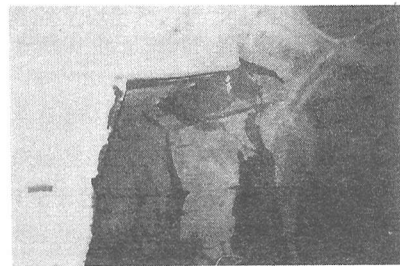
- ②振動推定式でのK値は、既設横坑の通常発破施工区間での実測値と比較して約1/2 に低減できた。
- ③単位装薬量は、既設横坑での施工実績と比較して約1/3 に軽減することができた。
- ④WS工法は、一軸圧縮強度が約2000kgf/cm²の岩盤に対し適応可能であった。
- ⑤WS工法は、ワイヤ方向転換機の設置・撤去を含め、1日当たり約5 ㎡の切断が可能であった。
- ⑥WS機は汎用性の機械で設備が容易で、また設備がコンパクトなので狭隘な場所でも施工が可能で、安全性にもすぐれていた。



図－3 施工概要

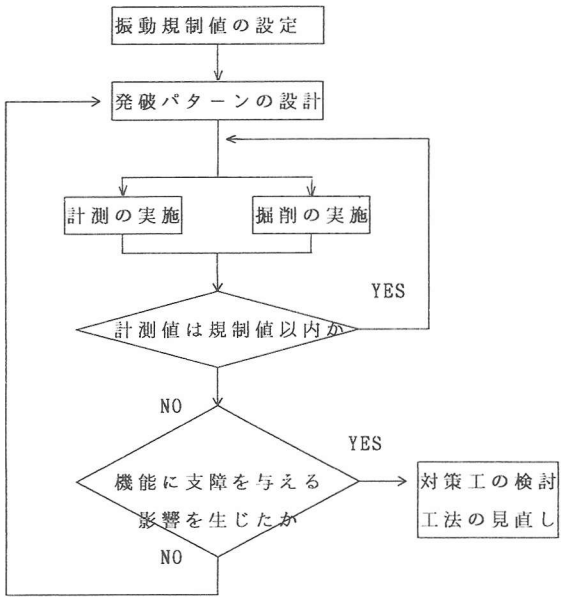


切断状況



掘削完了後状況

写真－1 施工状況



図－4 管理フロー

6. おわりに

本工事で採用したWS工法併用の制御発破工法は、切断コストが高いため現場条件が制約される場合でなければ採用がむずかしい。しかし、切断そのものは無振動・低騒音であり、硬岩地山にも適応可能であることが実証できたことから、低振動掘削工法のひとつとして有効な工法になりうると考える。