

「機械掘削と発破掘削」の併用掘削の合理的な選定

前田建設工業（株）

正会員

○田中 貴大

前田建設工業（株）

非会員

下垣 裕幸

1. はじめに

新釜屋トンネル(仮称)は、国道 178 号浜坂道路Ⅱ期事業の居組 IC と新温泉浜坂 IC 間に位置する延長 180m の NATM 工法による山岳トンネルである。本トンネルは延長 180m と短く岩区分が全線 D 等級で（図-1）、一軸圧縮強度（以下 qu ）は $1.4\sim19.6\text{N/mm}^2$ であることから「機械掘削（自由断面掘削機）」が選定されていた。しかし、坑口部から 23m 掘進した地点で、自由断面掘削機（ブームヘッダー）では掘削に長時間を要する硬質な花崗岩が出現した（写真-1）。なお、地質縦断面図には弾性波速度 $4.5\sim4.7\text{km/sec}$ の CM 級岩盤が示されていることもあり、掘削効率が極端に低下することが懸念されたため、「機械掘削と発破掘削」の併用掘削を検討した。一方で、「機械掘削と発破掘削」の併用掘削の選定方法について標準的な考え方は存在しない。本稿では、点載荷試験から一軸圧縮強度を推定し、「機械掘削と発破掘削」の併用掘削における発破範囲と火薬量について検討した内容について詳細を報告する。

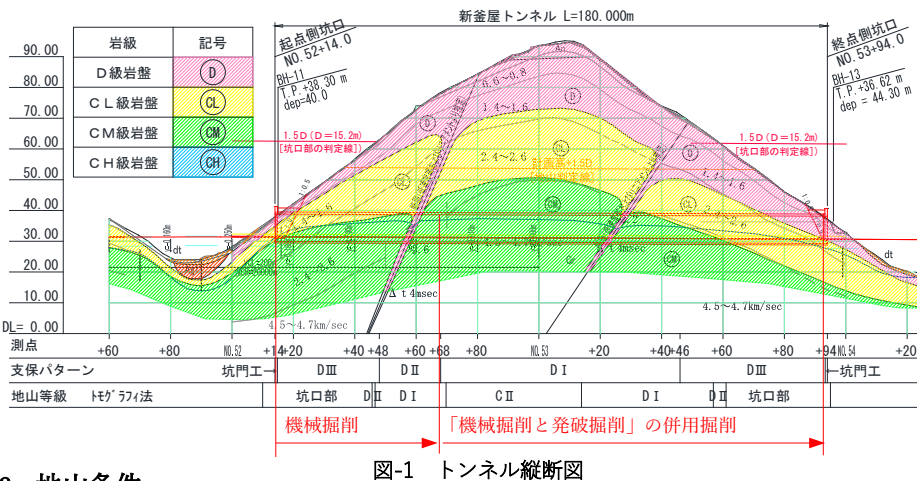
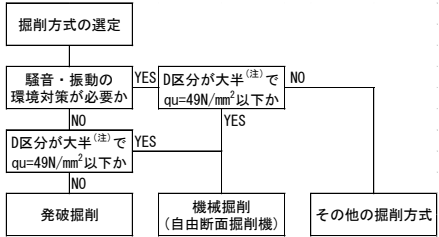


図-1 トンネル縦断面図



写真-1 機械掘削状況(No.52+38)



※大半の区分は90%程度を目安とする。

図-2 掘削方式の選定フロー

2. 地山条件

本トンネルの地質は山陰花崗岩類に属する第三紀の宮津花崗岩から構成される。当初設計で実施された両坑口の水平ボーリング（BH-11、BH-13）では掘進長 40～44m 付近でも、長石の白濁化や割れ目の褐色酸化が認められ、風化変質や熱水変質の影響を被っていることが確認された。割れ目も多く、全体に 15～20cm の割れ目間隔を示す。そのため当初設計では、本トンネルの地山全体が風化変質および熱水変質を被っていると考えられ、弾性波速度の地山等級は CII と硬岩の評価であるが、支保パターンは D 区分とされていた。しかし、実際は TD40～44m 以奥に熱水変質を受けていない硬質な花崗岩が存在すると推測される。

3. 掘削方式の選定

当初設計では、国土交通省近畿地方整備局設計便覧に基づく掘削方式の選定フローに従い（図-2）、岩区分が全線 D 区分で、 qu は 49N/mm^2 以下であることから「機械掘削（自由断面掘削機）」が選定されている。

併用掘削の選定には、 qu と相関性が高い点載荷試験（ポイントロード試験）（写真-2）を採用し、国土交通省の選定フローと同様、 49N/mm^2 を超える箇所に発破掘削を適用した。また、強度算定方法については点載荷強度 St を $St = 0.9 \times \frac{P}{D^2}$ （ D ：載荷点距離、 P ：点載荷荷重）によって求め、一軸圧縮強度は $qu = 25 \times St_{(50)}$ によって求める。

キーワード 掘削方式の選定, 機械掘削, 発破掘削, 併用掘削, 点載荷試験

連絡先 〒541-8529 大阪市中央区久太郎町 2-5-30 前田建設工業株式会社 関西支店 TEL06-6243-2383

St は供試体寸法により変化するため、D=5cm の時の St を標準とし非整形試料の場合、寸法が一定でないので7個の供試体で試験を実施した（写真-3）。発破範囲は $qu \geq 49\text{N/mm}^2$ の新鮮な岩石（白緑色）の箇所を対象とし、点載荷試験結果の大小に応じて火薬使用量を調整した。



写真-2 供試体載荷状況(NO.53+27) 写真-3 破断状況(NO.53+27)



写真-4 NO.53+01 発破掘削の範囲 写真-5 NO.53+27 発破掘削の範囲

表-1 機械掘削時間の積算基準比較

機械掘削 (RH-8J)	積算基準 (RH-8J)	差	機械掘削 (RH8J+ブレーカ)	併用掘削	低減効果
5.6h/m	3.8h/m	1.8h/m	2.8h/m	1.5h/m	54%

表-2 併用掘削時間の低減効果

4. 試験結果および考察

DIIからDIへのパターン変化点となるTD54m (NO.52+68) の地点から「機械掘削と発破掘削」の併用掘削を開始した。切羽写真の新鮮な岩石の面積から上半掘削断面に対しての割合を算定した硬岩範囲(%)は土被りが大きくなるにつれて、大きくなりNO.53+01において最大値は87%であった(写真-4)(図-3)。一軸圧縮強度も土被りが大きくなるにつれて、大きくなりNO.53+27において最大値は126N/mm²であった(写真-5)(図-4)。

火薬量は硬岩範囲に対して、国土交通省土木工事標準積算基準書のD区分の0.6kg/m³を初期値とし、その後は前切羽と比較して一軸圧縮強度が変化した場合、次切羽の火薬量を最大C区分の0.8kg/m³を目安として調整した(図-5)。図-5は火薬量の変化を示すため、硬岩範囲に使用した火薬量を上半掘削断面で除したものである。

国土交通省土木工事標準積算基準書の掘削時間はブームヘッダーのみで3.8h/m(DI区分)、TD53mまで(DIII・DII区分)はブームヘッダーとブレーカの2台同時掘削で2.8h/mであるため、ブームヘッダーのみだと2倍の時間がかかる2.8×2=5.6h/mと換算でき、積算基準を1.8h/mを超えることが想定される(表-1)。「機械掘削」の場合は掘削に2.8h/m程度要していたのに対し、併用掘削の場合は1.5h/m程度と約54%の低減効果があった(表-2)。また図-6から、併用掘削により一軸圧縮強度×硬岩範囲が大きいほど、掘削時間を低減できたと言える。

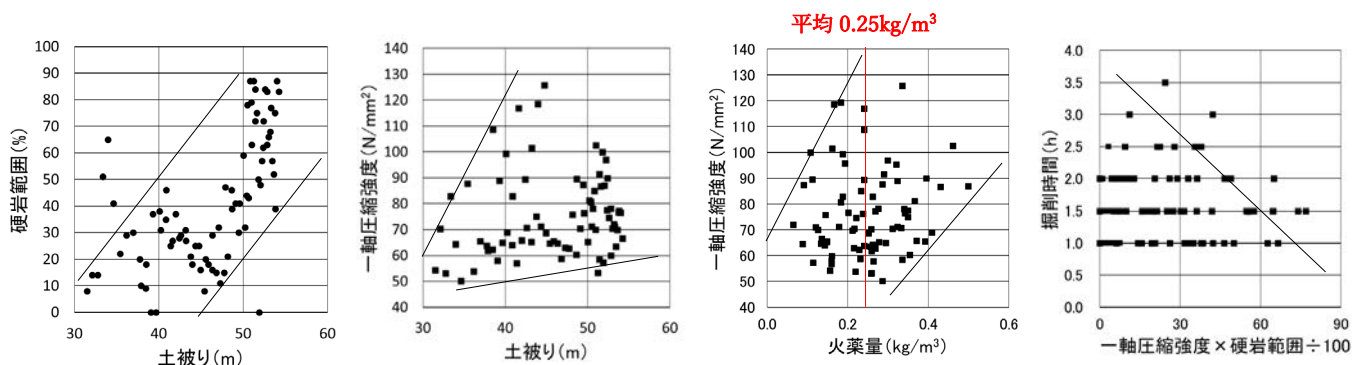


図-3 土被りと硬岩範囲

図-4 土被りと一軸圧縮強度

図-5 火薬量と一軸圧縮強度

図-6 $qu \times$ 硬岩範囲と掘削時間

5. おわりに

DI区分において上半掘削断面から1m³当りの平均火薬量を算出すると0.25kg/m³でD区分の0.6kg/m³より小さく、一軸圧縮強度に応じて火薬量を調整することで、掘削の費用を低減できた。また、硬岩範囲は発破掘削、軟岩範囲は機械掘削とすることで、地山を必要以上に緩めることなく安全な施工を実現できた。そして、当初設計の地質縦断図にCM級岩盤が存在していたため、監督官庁への許認可の申請・届出を事前に行うことで、遅滞なく火薬を使用し工期短縮できた。これらの適切な調査と施工により合理的な掘削方法を選定できたと言える。

NO.53+13の新鮮な岩石からコア(φ50mm)を採取して一軸圧縮強度試験をしたところ $qu=52.9\text{N/mm}^2$ となり、点載荷試験では $qu=53.3\text{N/mm}^2$ となったため推定式において比例係数 $a=25$ は適切であったと評価できる。

本稿が切羽内に良好な箇所と劣悪な箇所が混在する地山において、「機械掘削と発破掘削」の併用掘削を検討する際の参考になればと期待する。