

切羽写真・削孔データを用いた発破システムの活用取組み

前田建設工業(株) 正会員 ○篠原 孝希
前田建設工業(株) 正会員 中山 泰起
前田建設工業(株) 正会員 小熊 登

1. はじめに

東市布トンネルは大野油坂道路(和泉・油坂区間 15.5km)のうち延長 1,163m の NATM 工法による山岳トンネルである。地質調査から塊状の砂岩を主体とし、部分的に泥岩を挟む泥岩砂岩互層である。地山の亀裂性岩盤が多く分布している D1 区間(1,163m のうち 376m)では余掘りに及ぼす影響が大きくなることから、亀裂への発破の影響を低減することは余掘り量の低減と切羽安定性の観点から特に重要である。トンネルの掘削量を最小化するためには、地質に対応した発破計画(削孔位置、装薬量等)により変化する地質に応じた適正な装薬量を設定することが重要である。



図-1 大野油坂道路位置図

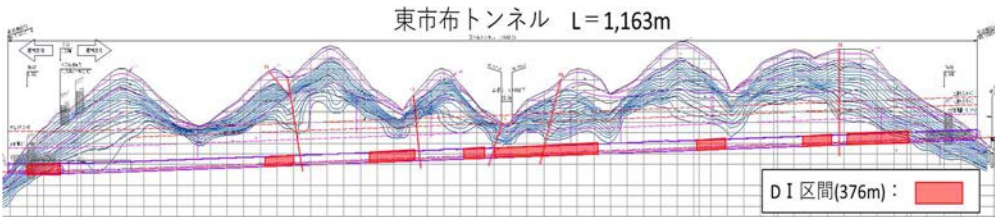


図-2 トンネル縦断面図

2. 実施方法と目的

上記の課題を解決するため、全自動型フルオートコンピュータジャンボを使用し、穿孔データに連動した発破システムを活用する。①穿孔パターンを基にボタン操作一つで 3 ブームの移動・穿孔位置決めから孔内の洗浄、次孔への移動に至るまでの動作を全自動で行い、位置、角度、深さをコンピュータ制御する。②穿孔毎に穿孔実績可視化ソフトに記録された穿孔データを 3 次元で計画線と照合し、穿孔精度を確認する。③ズリ出し後、切羽と 3D スキャナ(LIDAR)の位置を測定し、投影画像を座標と合わせることでにより投影位置を 3 次元上で確定させる。④測定した出来形計測結果と切羽状況、穿孔実績及び火薬使用量から次サイクルの発破システムに活用する。発破システムを活用することで、余掘り量を低減することによって吹付コンクリート量と火薬量が低減できると考えられる。

3. 削孔パターンの施工検討

①削孔位置

支保工の内面から 150mm,200mm,250mm 離れた 3 パターンの削孔位置で標準積算の D1 区間における余掘り量(170mm)に対しての余掘り測定を各 2 回行う。(表-1~3)

表-1~3 より上記の結果、余掘り量が最も多かったのは表-1 の 50.5mm。最も少なかったのは表-3 の -43.5mm。近似値を示したのが表-2 の 37.0mm である。施工時の留意点として、150mm(表-1)では削孔後の引抜き時に先端ビットが手前支保工に接触する。250mm(表-3)では手前支保工裏側の岩塊が当たりとなって残る。以上の結果・留意点をふまえて、発破システムより最適な削孔開始位置を支保工の内面から 200mm とした。

表-1 支保工内面から 150mm

No.	計測箇所				
	左SL	左肩	天端	右肩	右SL
1	50	60	45	45	60
2	40	55	40	60	50
平均値	50.5				単位: mm

表-2 支保工内面から 200mm

No.	計測箇所				
	左SL	左肩	天端	右肩	右SL
1	25	35	40	50	50
2	20	40	40	30	40
平均値	37.0				単位: mm

表-3 支保工内面から 250mm

No.	計測箇所				
	左SL	左肩	天端	右肩	右SL
1	-35	-45	-50	-45	-60
2	-40	-35	-45	-30	-50
平均値	-43.5				単位: mm

キーワード 発破システム,発破パターン, 全自動型フルオートコンピュータジャンボ
連絡先 〒541-8529 大阪市中央区久太郎 2 丁目 5-30 前田建設工業(株)(関西支店) TEL 06-6243-2383

②火薬量

本坑の掘削断面は 106.1 m²であり,D I 区間における火薬量 (0.6kg/m²)はトンネル発破計画図より 63.6kg が目安となる.余掘り量に大きく影響する最外周孔には発破計画図に基づき 1 孔あたり 0.4kg の火薬量を基準とする.前回の穿孔データに連動した発破システムにより,地山の変化に応じて最外周に使用する火薬量の最小単位 100g として発破孔毎に火薬量を調整する.手動削孔による火薬使用量と発破システムを活用した火薬量の比較を行った. 表-4 の結果から,手動削孔は D I 区間における火薬量の目安である 63.6kg 程度ではあるものの,発破システムを活用した自動削孔により核部分の孔数を減らすことで手動削孔に比べて火薬使用量が約 30%低減した.100g の火薬を使用することで最外周の極端な余掘りと当たりが無くなった.

(実績：本トンネルと仕上がり断面(90 m²以上)、断面形状(上半三心円)、支保パターン等が類似している他の現場で実証済み. 結果,余掘り厚さを平均 7 cm低減できた.)

4. 検討結果と評価

検討結果より,削孔位置は支保工内面から 200mm の位置から削孔を開始し,発破システムによる 100g 単位で火薬量の調整を重ねた結果,余掘り量と火薬量のバラつきが少なくなった.

手動削孔時と比較すると,D I 区間におけるトンネル発破計画の目安である火薬量 63.6kg から,自動削孔時の平均火薬使用量を 44.6kg に約 30%低減できた.発破システムを用いることで R700 の左曲線トンネルでは切羽左側に当たりが出やすく,切羽右側に余掘りが大きくなる傾向があった.この結果をふまえ,切羽左肩部の削孔角度の外側に 1° 大きく,切羽右肩部最外周孔の火薬を 1 本 200g から 100g に変更することで,2 次吹付のコンクリート量を全体の 6.3%にあたる 1.5 m³低減できた.これにより,発破システム活用による掘削精度の向上が評価できる.

5. おわりに

今回は,亀裂性岩盤が分布する D I 区間で発破システムを活用することで,測定した出来形計測結果と穿孔実績,火薬使用量から次サイクルの発破システムにフィードバックして活用することで余掘り量を低減できた.また,穿孔パターンをトンネル線形や切羽状況に応じて調整することで,掘削精度が向上した. C II 区間においても支保工間隔が 1.2m,余掘り量が 200mm となり余掘り量,当たり量が増大しやすくなるため,今後は D I 区間だけでなく支保パターン及び岩種に応じた汎用性を検証する.

参考文献

- ・コンクリート標準仕様書【施工編】公益社団法人 土木学会,2017 年
- ・トンネル標準仕様書【共通編】公益社団法人 土木学会,2016 年

表-4 火薬量比較

	手動削孔	自動削孔		
計測回数	200g薬量	200g薬量	100g薬量	合計薬量
1	66.8	40.8	0.6	41.4
2	67.6	52.2	0.6	52.8
3	64.6	40.0	1.0	41.0
4	64.0	47.0	0.5	47.5
5	69.0	52.0	1.0	53.0
6	62.4	37.8	0.6	38.4
7	59.2	35.6	1.0	36.6
8	59.6	40.6	0.8	41.4
9	62.2	48.8	0.9	49.7
10	68.4	43.6	0.5	44.1
平均値	64.4	—		44.6

単位：kg

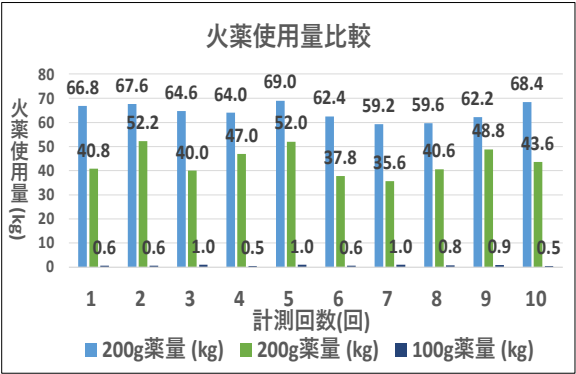


図-3 火薬使用量比較

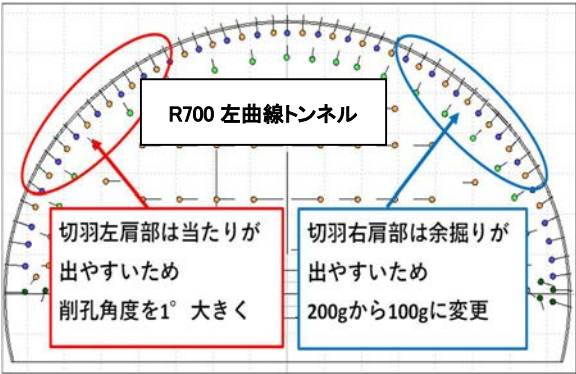


図-4 発破システムによる穿孔パターン