

山岳トンネルにおける発破掘削時の余掘り低減対策

青木あすなろ建設(株) 清水 功, 高木 将光, 正会員 ○影林 義賢
青木あすなろ建設(株) 正会員 町永 正樹, 正会員 高橋 裕之

1. はじめに

山岳トンネルにおける発破掘削時の余掘り低減対策として、近年、コンピュータジャンボを導入し発破最外周孔を高精度に削孔するとともに、削孔時の削孔エネルギーにより最外面の装薬量を調整して発破する事例が増えている。当社施工のトンネル工事において、コンピュータジャンボの導入により余掘り低減対策を実施したので、その施工内容について述べる。

2. 地形・地質概要

当社が施工した山岳トンネルの地質縦断面図を図-1に示す。本トンネルは、事前調査より地山等級がCM級、CH級の中硬岩が主体で弾性波速度は3.5km/sec～4.5km/secの区間が多く、地質境界部や低速度帯周辺では、亀裂の多い低強度地山が分布すると判断された。

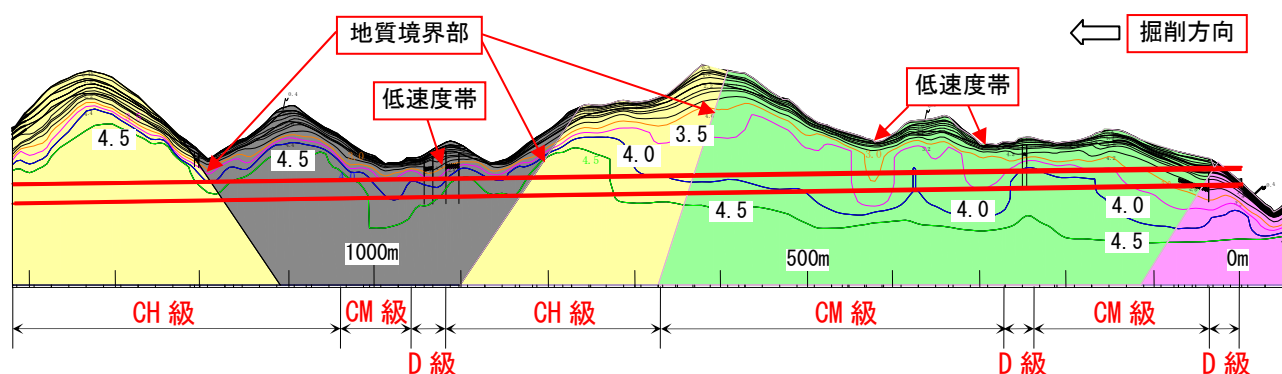


図-1 地質縦断面図

3. 余掘り低減対策

(1) ドリル NAVI による高精度の削孔

発破掘削においては、設計掘削断面に対し、掘削面の凹凸や支保工設置時の施工余裕、施工誤差等を考慮した支払い線で掘削するため、余掘りが発生する。余掘り量の最小化のため、オペレーターの経験や技量にかかわらず高精度な穿孔の実施が必要となる。そのため、発破最外周孔において、ドリル NAVI 搭載型ドリルジャンボ（NETIS：KK-160012-VE）による高精度な削孔を実施した（写真-1，2）。



写真-1 ドリル NAVI 搭載型
ドリルジャンボ

(2) 穿孔エネルギーによる装薬量の調整

本トンネルの地山は、低速度帯の分布や地質境界部が点在するため、地山の硬軟の変化が大きいと判断された。そのため、地山の硬軟に適した薬量に調整しない場合、余掘り量の増大が懸念された。よって、地山の硬軟を把握するためドリル EXPLORER を導入し、穿孔中の油圧データにより穿孔エネルギーを測定した。穿孔エネルギーにより切羽鏡面の硬軟を把握し、装薬量を調整した。

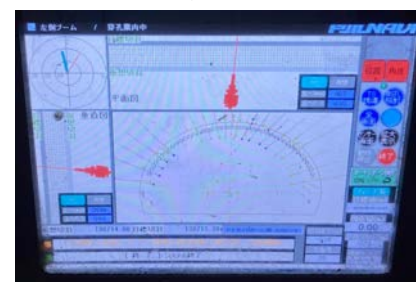


写真-2 誘導モニタ

キーワード ドリル NAVI, 穿孔エネルギー, EDD 雷管, 3D スキャニングシステム
連絡先 〒101-0053 東京都千代田区神田美土代町1 TEL 03-5439-8513

装薬量の調整は、最外周面の穿孔エネルギーが約 $250\text{J}/\text{cm}^2$ の場合は、最外周面の装薬量を $200\text{g}/\text{孔}$ 以下とした（図-2）。また、 $150\text{J}/\text{cm}^2$ 以下で粘土が介在する場合には、ガイドホール（空孔，装薬量 $0\text{g}/\text{孔}$ ）を設けた（図-3）。

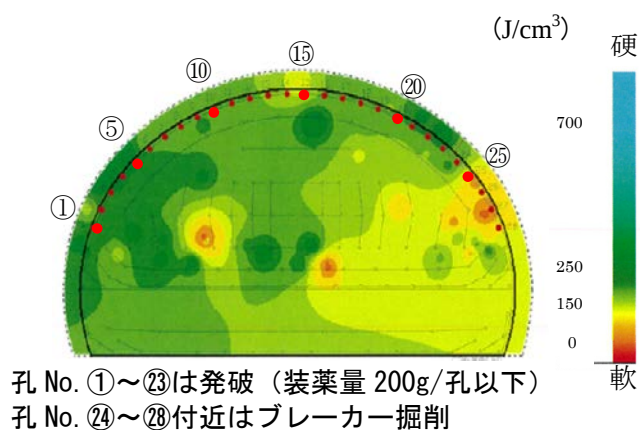


図-2 硬質地山の場合

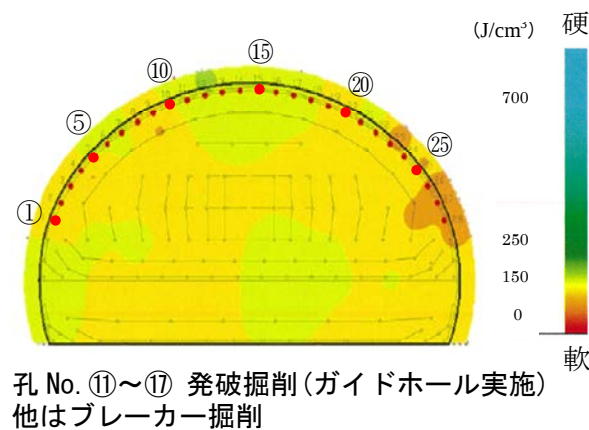


図-3 脆弱地山の場合

(3) スムースブラスティング工法の実施

発破最外周面の発破では、爆破による亀裂の方向を制御できるスムーズブラスティング工法を実施した（図-4）。最外周面の孔間隔は通常より小さくして、スムーズブラスティング用電子雷管（EDD 雷管，起爆秒時精度 0.2ms ）により一斉に発破することで、外周孔を連結する方向に亀裂を発生させ易くした。また，削孔径より細径のスムーズブラスティング用爆薬（SB 用爆薬）を使用し，爆破のエネルギーを抑制し，周辺地山の損傷を抑制した。

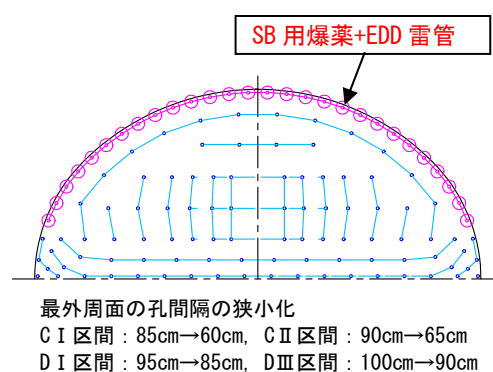


図-4 スムースブラスティング

4. 余掘り量の低減効果について

支保パターン変化時，及び 20m 毎に 1 回，発破完了後，車載式トンネル 3D スキャニングシステムにより掘削後の断面外周面の余掘り量を測定した（写真-3，図-5）。発破方法（穿孔位置，さし角，装薬量）の修正を図った。発破最外周面の地山に粘土や細かな亀裂が存在する場合は，装薬量が多いと余掘り量が 20cm 以上発生するため，装薬量を $200\text{g}/\text{孔}$ 以下に減らすとともにガイドホールを施工することで，余掘り量を低減した。



写真-3 3D スキャニングシステム

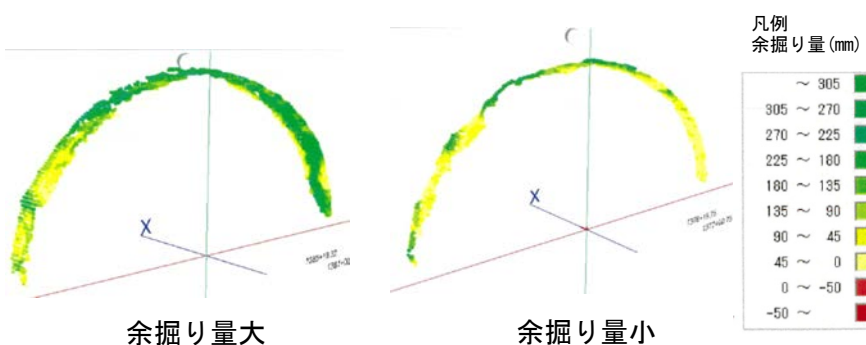


図-5 測定結果

5. まとめ

削孔精度の向上と最外周孔の穿孔エネルギーを考慮した装薬量の調整により，余掘り量を低減できた。特に C I 及び C II パターンの区間においては，設計余掘り量 $200\text{mm} \sim 220\text{mm}$ に対し， 150mm 程度と大きな低減効果が見られた。今後は，削孔精度の更なる向上と穿孔エネルギーによる発破方法（穿孔位置，さし角，装薬量）の修正方法を確立すべく現場検証を重ねていく予定である。