

トンネル外周装薬孔にノッチを形成し発破する方法の余掘り低減効果

(株) 奥村組 正会員 ○浜田 元 正会員 塚本 耕治
 正会員 浅野 剛 三浦 良平

1. はじめに

山岳トンネル工事において、効率的な施工を実現するには、掘削計画線に沿って過不足なく掘削を行うことが重要な課題である。近年、硬岩地山の発破掘削において、コンピュータジャンボを用いた装薬孔の穿孔精度の向上、特殊な雷管・爆薬を用いた爆砕方法の工夫などにより、効果的に掘削断面の余掘りを低減する事例が報告されている。ここでは、トンネル外周装薬孔の穿孔精度を確保したうえで、同孔内にウォータージェット (WJ) で切欠き (ノッチ) を形成し発破する方法について、現場実験を行った。現場実験から、ノッチ形成による掘削断面の余掘り低減効果を確認したので、結果を報告する。

2. 実験方法

現場実験は、2車線の道路トンネル (断面積 58m²) で実施した。実験区間の地質は中生代ジュラ紀の頁岩で構成されており、支保パターンはC_{II}、一掘進長は1.2mであった。実験区間において、切羽観察の結果から、地山性状は概ね同一と判断した。また、ポイントロード試験の結果から、換算一軸圧縮強さは100~200N/mm²であった。

現場実験に先立ち、岩石供試体を用いたWJによるノッチ形成の要素実験、ならびに爆砕時の亀裂進展シミュレーションを行い、それらの結果からノッチ形成深さの目標を10mm以上と定めた。また、前述の要素実験から、目標深さのノッチを形成するためのWJによる切削条件として、WJノズルの仕様をφ0.66mm×2穴、超高压水ポンプの吐出圧力を240MPa、ノズルの移動速度を500mm/minと定めた。

現場実験は、装薬孔の穿孔、孔内でのWJによるノッチ形成、装薬、発破、3Dレーザスキャナによる掘削断面測定の際に行った。実験ケースを表-1に示す。実験において、切羽左側はトンネル外周装薬孔にノッチを形成し発破する方法 (ノッチ付き発破)、切羽右側は現場の標準的な発破方法 (標準発破) とした。切羽の左右において、トンネル外周装薬孔の孔間隔や使用した雷管は同一条件とし、ノッチの有無と孔あたり装薬量の条件を変えた。

トンネル外周装薬孔の穿孔精度は、写真-1に示すとおり、切羽にマーキングした穿孔口にビット先端を合わせ、さらに、切羽後方の鋼製支保工に取り付けた指示棒を基準にガイドセルの姿勢を定め、穿孔を行うことで確保した。ノッチ形成に用いた装置を写真-2に、ノッチ形成作業の状況を写真-3に示す。掘削断面の測定は、測距精度±1.0mmの3Dレーザスキャナを用いて行った。

表-1 実験ケース

実験 No.	切羽(左側):ノッチ付き発破				切羽(右側):標準発破			
	装薬孔の間隔 (mm)	ノッチ深さ (mm)	装薬量 (kg/孔)	雷管	装薬孔の間隔 (mm)	ノッチ深さ (mm)	装薬量 (kg/孔)	雷管
①	750	10	0.45	4段	750	-	0.45	4段
②	750	10	0.30	4段	750	-	0.45	4段

※爆薬の種類: 含水爆薬 ※実験①は1回、実験②は2回実施



写真-1 穿孔状況 (外周孔装薬孔)

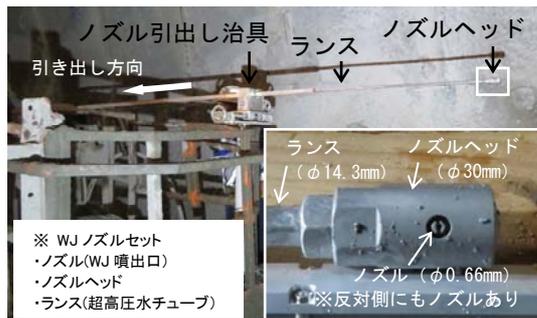


写真-2 ノッチ形成に用いた装置



写真-3 WJによるノッチ形成作業の状況

キーワード 山岳トンネル, 制御発破, ウォータージェット, ノッチ, 余掘り低減

連絡先 〒300-2612 茨城県つくば市大砂 387 (株) 奥村組 技術研究所 TEL 029-865-1521

3. 実験結果

現場実験に先立ち、実験区間近傍の岩盤に穿孔したφ45mm×長さ1.5mの孔を用い、前述したWJの切削条件により、ノッチを形成する事前実験を行った。事前実験におけるノッチ形成状況の一例を写真-4に示す。写真-4は、φ45mm孔をφ150mmでオーバーコアリングし、孔内を撮影したものである。なお、写真撮影は、オーバーコアリングを長さ30cm進めるごとに行った。撮影写真から、ノッチ形成深さは7~17mmであり、前述したWJの切削条件により目標深さのノッチをほぼ形成できると判断した。



写真-4 ノッチ形成深さの確認

3Dレーザスキャナによる掘削断面の測定結果を図-1に示す。図-1は発破直後の測定結果であり、掘進長1m位置の掘削断面を例示している。また、余掘り領域（掘削計画線より外側の領域）を赤色で、あたり領域（掘削計画線より内空側の領域）を青色で表示しており、一掘進長(1.2m)あたりの余掘り体積をあわせて示している。なお、余掘り体積は以下の手順で求めた。

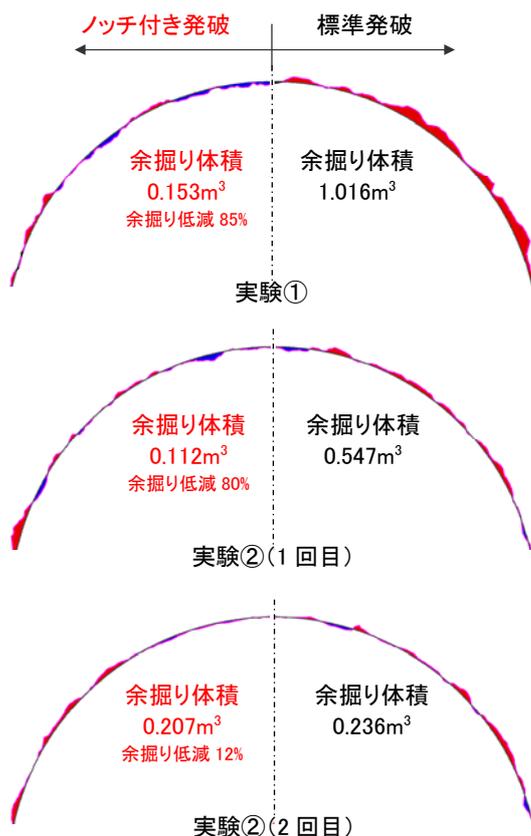


図-1 断面測定結果（発破直後）

- i. 掘進方向10cmごとの断面測定の結果から、掘削計画線に対する余掘り領域（図-1中の赤色で示す領域）について、面積（余掘り面積）を求める
- ii. 前後2断面の余掘り面積から、掘進方向10cmごとに余掘り面積の平均値を求める
- iii. 余掘り面積の平均値に各断面の離隔10cmを掛けて足し合わせ、一掘進あたりの余掘り体積を算出する

実験①の結果から、余掘り体積は、ノッチ付き発破で0.153m³、標準発破で1.016m³となった。余掘り体積は、ノッチ付き発破の方が標準発破に比べ15%と小さかった。実験①において、切羽の左右で、地山性状は概ね同一であり、発破諸元はノッチの有無だけが異なった。これらのことから、本結果は、ノッチの形成により、余掘りが85%低減したことを示すものと言える。

実験②（1回目）の結果から、余掘り体積は、ノッチ付き発破で0.112m³、標準発破で0.547m³となった。また、実験②（2回目）

の結果から、余掘り体積は、ノッチ付き発破で0.207m³、標準発破で0.236m³となった。1回目、2回目ともに、余掘り体積は、ノッチ付き発破の方が標準発破に比べ小さかった。実験②では、いずれの回においても、地山性状は概ね同一であり、発破諸元はノッチの有無に加え、孔あたり装薬量が異なった。これらのことから、本結果は、ノッチの形成により、孔あたり装薬量の低減（標準発破に比べ2/3）と余掘り低減を両立できることを示すものと言える。一方、実験②の結果から、余掘り低減は、1回目が80%、2回目が12%となり、両方で効果の大きさは異なった。同効果の相異について要因を特定することは難しいが、その一つとして、装薬孔内で形成したノッチの深さの違いが挙げられる。装薬孔周辺の軸方向における地山性状の相異に伴い、1回目と2回目でノッチ形成深さが異なり、同効果の大小として現れた可能性があると考えられる。

4. おわりに

発破掘削において、トンネル外周装薬孔にノッチを形成することにより、余掘りを低減できることを確認した。また、ノッチの形成により、装薬量の低減が図れることを確認した。本方法は、余掘りの増大が懸念される長孔発破においてより効果的であると考えられる。今後、そのような施工場面に対し、本方法を適用できればと考える。