

空孔を併設するプレスプリッティングの余掘り低減効果

(株)奥村組 正会員 ○徳永 満善 正会員 岩崎 光
(株)奥村組 横山 哲哉 正会員 浜田 元

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、トンネル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、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、トンネルの発破掘削に、空孔を併設するプレスプリッティングを適用し、掘削断面の余掘り低減効果や坑壁面の平滑化効果を確認したので結果を報告する。

2. 空孔を併設するプレスプリッティング

トンネル発破において、プレスプリッティングは、掘削断面の余掘り低減などを目的とする制御発破の一つと位置付けられる。プレスプリッティングによる発破掘削では、まず、トンネル外周装薬孔の爆薬を先行起爆することで掘削計画線に沿って人工的に亀裂を生成し、掘削対象岩盤と周辺岩盤を分離する。続いて、通常発破と同様に、掘削対象岩盤の中央部（芯抜き）から断面外周に向かって順次起爆し、掘削対象岩盤を爆砕する。

空孔を併設するプレスプリッティング（以下、空孔併設 PS 発破と記載）について、穿孔パターンと装薬方法を図-1 に示す。空孔併設

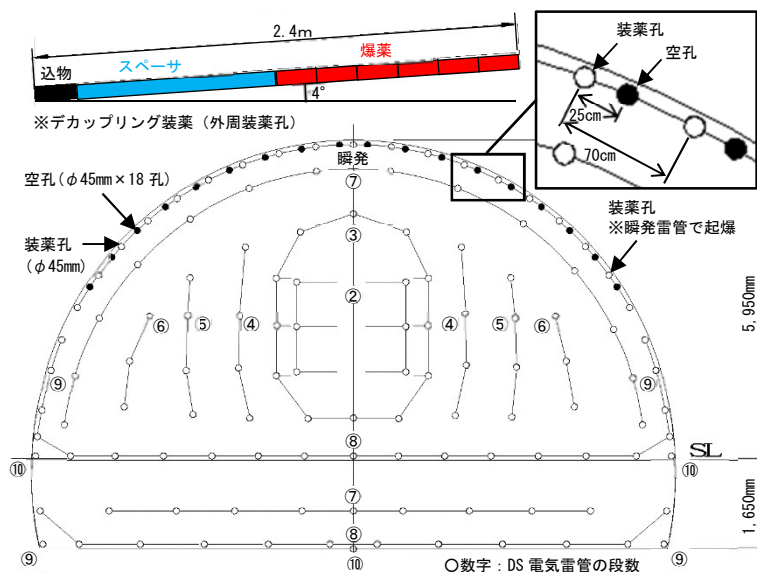


図-1 空孔併設 PS 発破

PS 発破において、トンネル外周装薬孔は通常発破より孔間隔を 20%程度狭くし、空孔は片側の装薬孔に寄せて配置し、孔長は装薬孔よりも 20cm 長くする。なお、空孔は爆破に伴う亀裂生成のためのガイドホールとして利用する。装薬量は通常発破の 80%程度とし、雷管には起爆秒時誤差が小さい瞬発雷管を用い、装薬は装薬孔にスペーサ（紙製の筒）を挿入するデカップリング装薬とする。これらの工夫を施すことで、爆破に伴う応力波の効果的な干渉や爆轟に伴う衝撃圧の減少などが生じ、爆破時の生成亀裂を掘削計画線に沿う方向へ進展させ、余掘りや坑壁面の凹凸が少ない掘削を実現する。

3. 空孔併設 PS 発破の現場実験

(1) 実験方法

空孔併設 PS 発破の余掘り低減効果などを確認するため、2 車線道路トンネルで現場実験を行った。地質は中生代三畳紀の砂岩・粘板岩の互層であり、掘削には補助ベンチ付き全断面工法による発破方式が採用された。

現場実験では、掘進 20m を目安に実験位置（掘削断面）を設定し、硬質地山（一軸圧縮強さ：150～200N/mm²）を対象として空孔併設 PS 発破を実施し、通常発破との比較を行った。空孔併設 PS 発破の穿孔パターンと装薬方法は図-1 に示したとおりであり、発破諸元を表-1 に示す。なお、外周装薬孔の穿孔精度は、切羽にマーキングした穿孔口にビット先端を合わせ、さらに切羽後方のマーキングと定規を基準にしてガイドセルの姿勢を定め、穿孔を行うことで確保した。掘削断面の余掘り量は、切羽にレーザーで照射した吹付けコンクリー

キーワード 山岳トンネル、制御発破、プレスプリッティング、空孔、余掘り、平滑化

連絡先 〒108-8381 東京都港区芝 5-6-1 (株)奥村組 東日本支社 TEL 03-5427-8469

トの施工計画線を基準とし、計画線に沿いに 1m 間隔で、外周地山との距離を専用定規により測定して求めた。なお、余掘り量の測定は、掘進長 2.3m 位置（発破掘削により出現を想定する切羽位置）を対象として行った。

(2) 実験結果

空孔併設 PS 発破による掘削断面の状態を写真-1 に示す。写真（上）は亀裂の少ない地山、写真（下）は亀裂の多い地山での状態を示している。亀裂の多少の違いがあっても、坑壁面（トンネル周方向の掘削面）にはノミ跡が残リ、計画線に沿った掘削が行えていると判断できる。

空孔併設 PS 発破と通常発破について、掘削断面の測定結果を表-2 に示す。表は、掘削断面ごとに、余掘り量の平均値と標準偏差（余掘り量のばらつき）を示しており、この数値は 1m 間隔で測定した複数点の余掘り量から算出している。空孔併設 PS 発破において、各断面の余掘り量の平均値は 48～113mm、9 断面全ての余掘り量の平均値は 81mm である。一方、通常発破において、各断面の余掘り量の平均値は 142～236mm、3 断面全ての余掘り量の平均値は 189mm である。断面全ての余掘り量の平均値から、空孔併設 PS 発破により、余掘り量を通常発破に対し 57%低減できたことがわかる。

空孔併設 PS 発破において、各断面の標準偏差は 36～83mm、9 断面全ての標準偏差の平均値は 48mm である。一方、通常発破において、各断面の標準偏差は 37～87mm、3 断面全ての標準偏差の平均値は 61mm である。断面全ての標準偏差の平均値から、通常発破に比べ、凹凸の少ない坑壁面が空孔併設 PS 発破により形成されたことがわかる。

4. おわりに

硬質地山での現場実験から、空孔併設 PS 発破により、通常発破に比べ、余掘りを約 60%低減できること、平滑な坑壁面を形成できることを示した。空孔併設 PS 発破は、特殊な雷管や爆薬を使用しない経済性に優れる制御発破である。また、通常発破に比べ、空孔の穿孔に要する時間が増加するものの、ずり出しやコンクリート吹付けの時間が短縮されるため、1 サイクルあたりの施工速度の向上が期待できる。今後は、現場への積極的な展開を進める中で、岩種の異なる地山、軟質な地山、長孔発破の適用が可能な地山などを対象として、空孔併設 PS 発破の余掘り低減や坑壁面平滑化の効果を確認していきたい。

表-1 発破諸元（空孔併設 PS 発破）

1. 使用爆薬(含水爆薬)	エミュライト Φ32*200mm 160g/本		
2. 使用雷管	DS電気雷管		
3. 地山	砂岩～粘板岩 qu=150～200N/mm ²		
4. 断面積(m ²)	加背		
	上半	下半	全断面
	55.582	19.532	75.114
5. 1発破掘進長(m)	2.3	2.3	2.3
6. 破砕量(m ³)	127.839	44.924	172.762
7. 穿孔数(孔)	96	24	120
8. 1m ² あたり穿孔数(孔/m ²)	1.73	1.23	1.60
9. 爆薬使用量(kg)	93.60	18.72	112.32
10. 1m ³ あたり爆薬量(kg/m ³)	0.73	0.42	0.65
上半			
段数	穿孔数	装薬量(kg)	
		孔あたり薬量	小計
瞬発	19	0.96	18.24
2	6	1.28	7.68
3	12	1.12	13.44
4	8	0.96	7.68
5	8	0.80	6.40
6	6	0.80	4.80
7	14	0.80	11.20
8	11	1.12	12.32
9	10	0.96	9.60
10	2	1.12	2.24
計	96		93.60
下半			
段数	穿孔数	装薬量(kg)	
		孔あたり薬量	小計
瞬発	—	—	—
2	—	—	—
3	—	—	—
4	—	—	—
5	—	—	—
6	—	—	—
7	9	0.64	5.76
8	12	0.80	9.60
9	2	1.12	2.24
10	1	1.12	1.12
計	24		18.72

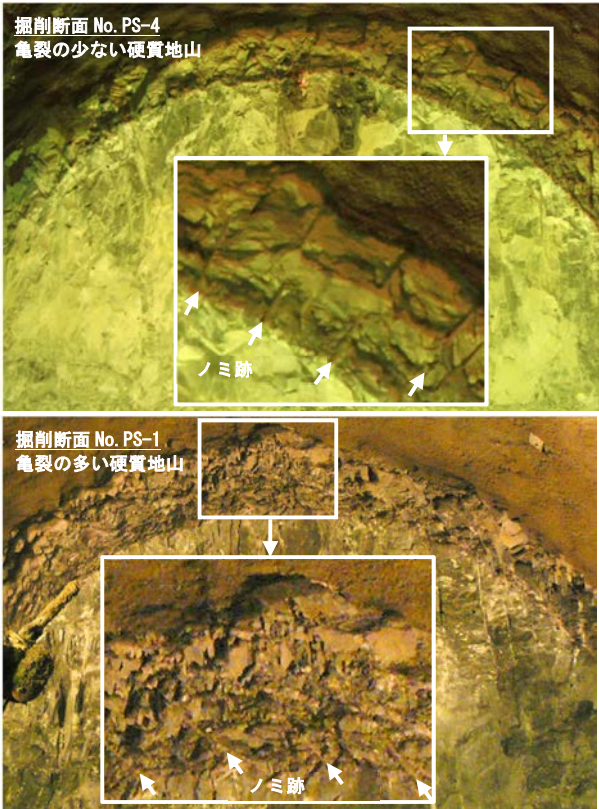


写真-1 掘削断面の状態

表-2 掘削断面の測定結果

発破の種別	空孔併設PS発破										通常発破			
掘削断面No.	PS-1	PS-2	PS-3	PS-4	PS-5	PS-6	PS-7	PS-8	PS-9	9断面全ての平均値	通常-1	通常-2	通常-3	3断面全ての平均値
余掘り量の平均値 (mm)	109	113	80	65	80	73	84	77	48	81	236	191	142	189
余掘り量の標準偏差 (mm)	83	46	44	39	36	56	48	46	36	48	58	87	37	61

【参考文献】 1) 石井康夫ほか：最新発破技術，森北出版，pp.31-32，1984.5