

特殊スペーサを用いた粒状爆薬発破掘削の
スムーズブラスティングと岩石細粒化効果の検証

(株)大林組 正会員 ○秋山 剛史 正会員 中戸 敬明
正会員 末谷 吉宗 正会員 棚池 誠

1. はじめに

大断面トンネルや地下大空洞の掘削には、地山の損傷抑制による切羽の安定性向上を図るため、スムーズブラスティング（以下、SB と称す）工法が有効である。近年の発破方式のトンネル掘削では、装薬作業の安全性向上を目的として遠隔装填が可能な粒状爆薬の使用が多くなってきているが、粒状爆薬は発破孔内に密装填されるため、SB 工法の適用が困難である。

本研究では、発破孔内にスペーサを挿入することでデカップリング指数を確保する SB 工法に着目し、特殊な断面形状のスペーサを開発した。以下では、特殊スペーサの効果検証を目的に行った現場発破試験の結果を報告する。

2. 特殊スペーサ概要

特殊スペーサは、厚さ 2.0mm の円筒状紙スペーサの上部を内側に折込んだ双葉型の断面形状を有する（図 1）。これにより、SB 工法の最適デカップリング指数=2.0 を確保できるとともに、装填時の供給管挿入を阻害しないよう作業性にも配慮している。

スペーサは適度な弾力を有し、発破孔壁に密着・固定されるため、掘削予定線方向に合わせた設置が可能である（図 2）。

また、粒状爆薬の装填断面積を減少させることで、孔当り薬量の少ない SB 工法においても装薬長を長くすることができる（図 3）。

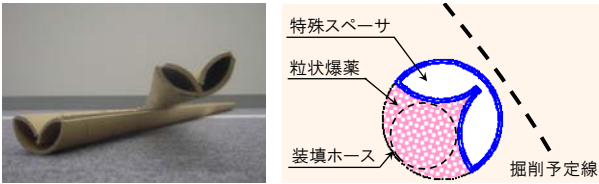


図 1 特殊スペーサ

図 2 特殊スペーサ設置断面図

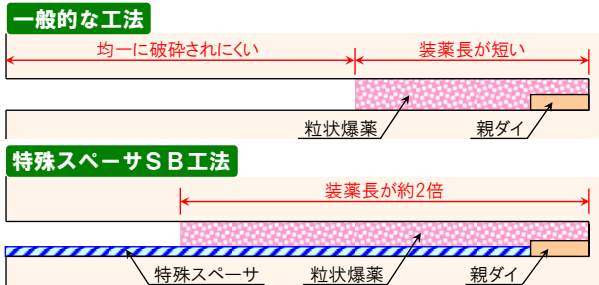


図 3 特殊スペーサ概念図

3. 現場発破試験の概要

特殊スペーサの効果を検証するため、当社施工中のトンネル工事現場において発破試験を実施した。

試験区間は、C I パターンの補助ベンチ付き全断面掘削であった。岩石自体は一軸圧縮強度が 100MPa 以上の硬質な珪質片麻岩であるが、亀裂が発達しており掘削面からの抜け落ち等が発生しやすい状況であった。

3-1. 試験発破パターン

試験区間の発破パターンを図 4、表 1 に示す。通常発破パターンの CASE-1 に対し、CASE-2 は最外周孔を弱装薬とし、特殊スペーサを使用する。CASE-3 は、CASE-2 に対して特殊スペーサを使用しないケースである。なお、総薬量や心抜き方式、使用雷管および段数などは、各パターンとも同条件とした。

表 1 試験発破諸元表

発破パターン	CASE1	CASE2	CASE3
総 薬 量	kg	135.6	135.0
1m ³ 当り爆薬量	kg/m ³	0.99	0.99
1m ² 当り 孔 数	孔/m ²	1.32	1.45
心 抜 き 方 式	シリンダーカット(φ127mm)		
払 孔 間 隔	mm	1,050	600
い 孔 当り薬量	kg	1.0	0.5
特 殊 ス ペ ー サ	無	有	無
払 孔 間 隔	mm	1,250	1,250
助 孔 当り薬量	kg	1.0	1.0
最 小 抵 抗 線	mm	1,200	800

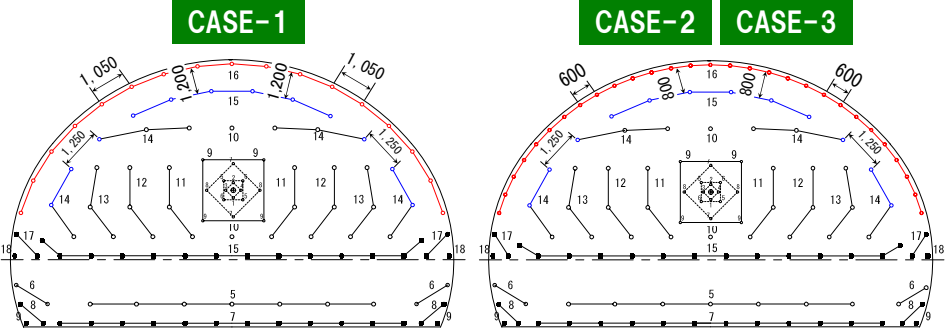


図 4 試験発破パターン図

キーワード 発破掘削、粒状爆薬、特殊スペーサ、スムーズブラスティング、発破ずり細粒化
連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟 (株)大林組本社生産技術本部トンネル技術部 TEL03-5769-1319

3-2. 計測項目、計測方法

特殊スペーサの効果を評価するために、余掘り量やのみ跡長、発破ずり粒度分布に関する計測を実施した。

余掘り量およびのみ跡長の計測は、3D レーザースキャナを用いた発破直後の断面測定により行った。3D レーザースキャナは、計測 1 回あたり約 140 万点の多点群データを高速スキャン可能であり、各々の測定点に 3 次元絶対座標を付加させることができる。余掘り量は、発破毎の計測データをトンネル軸方向および周方向に 10cm 間隔で抽出し、その平均値で評価する。のみ跡長は、計測されたのみ跡の始点・終点の絶対座標値から算出した。

発破ずりの粒度分布に関しては、画像解析による発破岩石粒度分布評価を実施した。本技術は、切羽で撮影した発破ずりのデジタル画像から発破ずり粒径加積曲線を短時間で算出する技術で、実ふり分け試験が困難な発破ずりの評価において、適用可能な評価技術である¹⁾。

4. 現場発破試験の結果

(1) 余掘り量・掘削面の平滑性

表 2 および図 5 に CASE-1 と CASE-2 の余掘り量測定結果を示す。

各パターンの平均余掘り量は、CASE-1 (通常発破) の 295mm に対して、CASE-2 (特殊スペーサ SB 工法) は 237mm と約 20%低減した。

また、余掘り量の標準偏差に着目すると、CASE-1 の 205 に対して、CASE-2 は 121 と約 41%低減した。これは、CASE-1 は 1 孔当りの発破エネルギーが大きいため、削孔位置の余掘りが大きくなりやすいのに対し、CASE-2 は爆薬量が分散されるとともに、スペーサが形成する空隙が発破エネルギーを適度に減衰させるため、掘削面の平滑性が向上したと推察される。

(2) のみ跡率

試験区間は亀裂の発達した地山状況であったため、CASE-1 ではのみ跡は計測されなかった。CASE-2 では、同様の地山状況にも関わらずのみ跡が計測され、のみ跡率 (=のみ跡長÷穿孔長×100%) の平均は 18.5%であった (図 6)。以上より、特殊スペーサの効果によりのみ跡が明瞭に残り、平滑性が向上する結果となった。

(3) 発破ずり粒度分布

図 7 および図 8 に CASE-2 と CASE-3 の発破ずり粒径加積曲線と粒径ヒストグラムの比較を示す。CASE-3 で粒径 0.5m~1.0m の比較的大塊のずりが発生しているのに対し、CASE-2 では粒径 0.3m 以下の発生率が増加している。以上の結果から、SB 工法のような弱装薬の場合、粒状爆薬が発破孔奥のみに密装填されるため、発破孔口付近の岩石が完全に破碎されず大塊のずりが発生しやすいと推察される。特殊スペーサを使用することで最適な装薬長が確保され、岩石が均一に破碎されることが確認された。

5. おわりに

本研究により、特殊スペーサを使用することで粒状爆薬用いた発破掘削においても SB 効果と岩石細粒化効果が得られることが確認された。近年、山岳トンネルの急速施工に伴い長孔発破が数多く行われている。上記効果は、長孔発破の成否を決定する重要な要素であることから、今後は本技術の長孔発破へ適用を検討するとともに、効果の検証を実施する予定である。

<参考文献>

- 1) 西政明 村下剛 野田英弘：発破における岩石細粒化(第一報)ー粒度分布評価技術の確立(実篩分け及び画像解析比較実験)ー、火薬学会 2000 年度年会講演要旨集、pp.81~82

表 2 余掘り量測定結果

CASE-1			CASE-2		
発破名称	余掘り量	標準偏差	発破名称	余掘り量	標準偏差
A-1	208	162	C-1	221	115
A-2	404	225	C-2	241	127
A-3	302	209	C-3	225	115
A-4	267	132	C-4	261	122
TOTAL	295.3	205	TOTAL	237.0	121

単位:(mm)

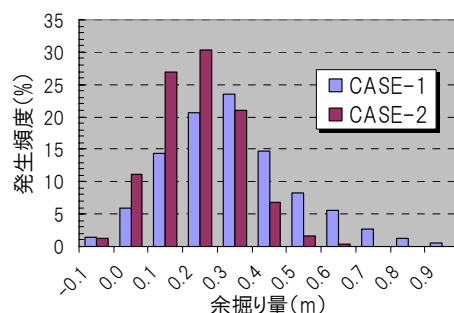


図 5 余掘り量ヒストグラム



図 6 のみ跡状況

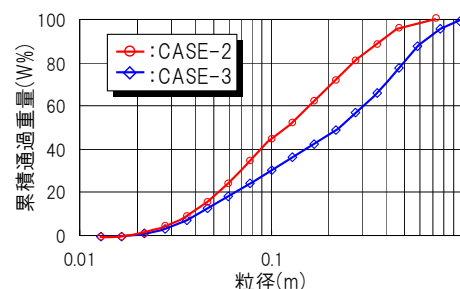


図 7 粒径加積曲線比較

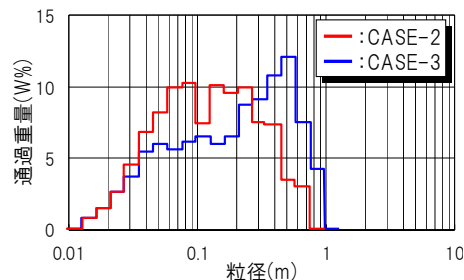


図 8 粒径ヒストグラム比較