

数値解析に基づくガイドホールの破断面平滑効果

西松建設 (正) 石山宏二、(正) 木村 哲
戸田建設 (正) 岡村光政、(正) 内藤将史
北海道大学 (正) 金子勝比古、 福田大祐

1. はじめに

山岳トンネルの掘削工法として最も採用されている発破工法には、余掘りによる採算性低下という課題がある。そこで、従来発破技術より低コストで効果的、実現可能な新しい技術を確認するために、切羽発破パターン最外周部(段)に着目し、装薬孔の間にガイドホール(空孔)を配置する制御発破技術を検討している。特に、大孔径のガイドホールを採用することで、装薬孔とガイドホールを結んだ設計掘削断面上に引張亀裂が発生・進展し易くなり、結果的に平滑な破断面が形成され、余掘量が低減すると考えた。本報では、実際の発破による動的破砕現象を模擬するために、亀裂の発生・進展を考慮できる動的有限要素法¹⁾により、ガイドホールの孔径、あるいは孔間距離、最小抵抗線長の違いによるガイドホールの破断面平滑性に及ぼす効果を検討した。

2. 解析モデル・解析条件

最外周部前段の払い発破により生じる自由面の影響を考慮して、解析モデルは図1に示す一自由面を有する半無限岩盤中の長方形領域とし、自由面と平行な方向に左右2つの装薬孔とその間にガイドホールを配置した。岩盤物性は超硬岩を想定し、装薬孔内に作用する発破の圧力はJWL状態方程式により表現している²⁾。また、デカップリング係数は通常発破で使用する1.5程度に設定した。起爆条件はDS雷管の秒時誤差を想定し、最初に装薬孔1を起爆後、それに伴う破壊・応力状態がほぼ平衡に達する1000 μ s後に装薬孔2を起爆した。なお、解析条件は表1に示す4ケースとし、岩盤の不均一性を確率的に評価した10パターンについて、各々数値解析を実施した。

3. 破断面形成プロセス

ケース4の1パターンについて、装薬孔1を起爆後の時間経過に伴う破断面の形成プロセスを図2に示す。装薬孔1が起爆し、同心円状に広がった応力波(50 μ s)が隣接するガイドホールに到達すると、設計掘削断面上となるガイドホールの左右に引張応力(赤色表示)が集中する。最初に、より大きな応力集中を示す起爆側のガイドホール左孔壁に引張亀裂が発生し、装薬孔1から放射状に伸長した亀裂の1つと連結する(200 μ s)。次いで、ガイドホール右孔壁にも亀裂が発生し、自由面に沿って装薬孔2に向かう亀裂が選択的に卓越・進展し(300 μ s)、装薬孔2と連結することで、平滑な破断面が形成される(700 μ s)。その後、装薬孔2が起爆し、装薬孔1と同様なプロセスで周囲に亀裂が伸長し(1100 μ s)、2500 μ s後までには破壊・応力状態がほぼ平衡に達する。

4. ガイドホールによる余掘り低減効果

岩盤の物性を同一に設定した4ケースの解析結果、最終破壊形態(2500 μ s)を図3に示す。平滑な破断面の有無、あるいは孔間連結亀裂の設計掘削断面から岩盤奥部側への離隔(余掘り深さ)に着目して各図を比較した場合、

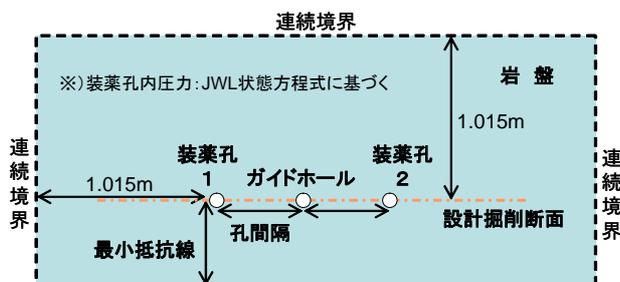


図1 解析モデル

表1 解析条件

	ガイドホール孔径	孔間距離(m)	最小抵抗線長(m)
Case 1	ϕ	0.40	0.40
Case 2	2 ϕ	0.40	0.40
Case 3	ϕ	0.45	0.45
Case 4	2 ϕ	0.45	0.45

※) ϕ : 装薬孔径(=45mm)

表2 解析結果から求めた平均余掘り深さ

	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4
余掘り深さ(m)	0.091	0.049	0.134	0.114

キーワード 制御発破、余掘り低減、破断面形成、数値解析、ガイドホール

連絡先 〒105-8401 東京都港区虎ノ門1-20-10 TEL. 03-3502-0263

明らかに孔間隔及び最小抵抗線長が短く、またガイドホール孔径の大きい方が優れていることが分かる。そこで、ケースごとに実施した 10 パターンの最終破壊結果に対し、余掘深さを測定、平均化してみた。その結果、サンプル数は多くはないが、表 2 に示すように上述と同様な傾向のガイドホール効果が定量的に示されたといえる。

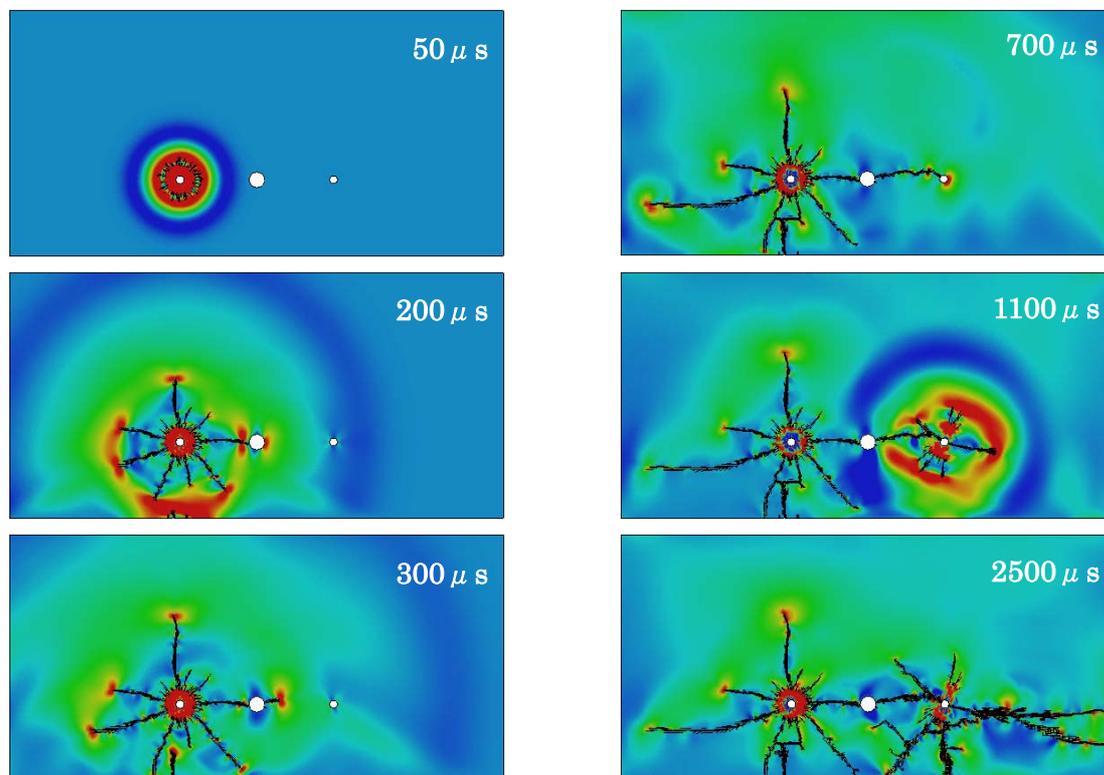


図2 発破による動的破壊プロセスを模擬した亀裂の発生・進展状態 (ケース4)

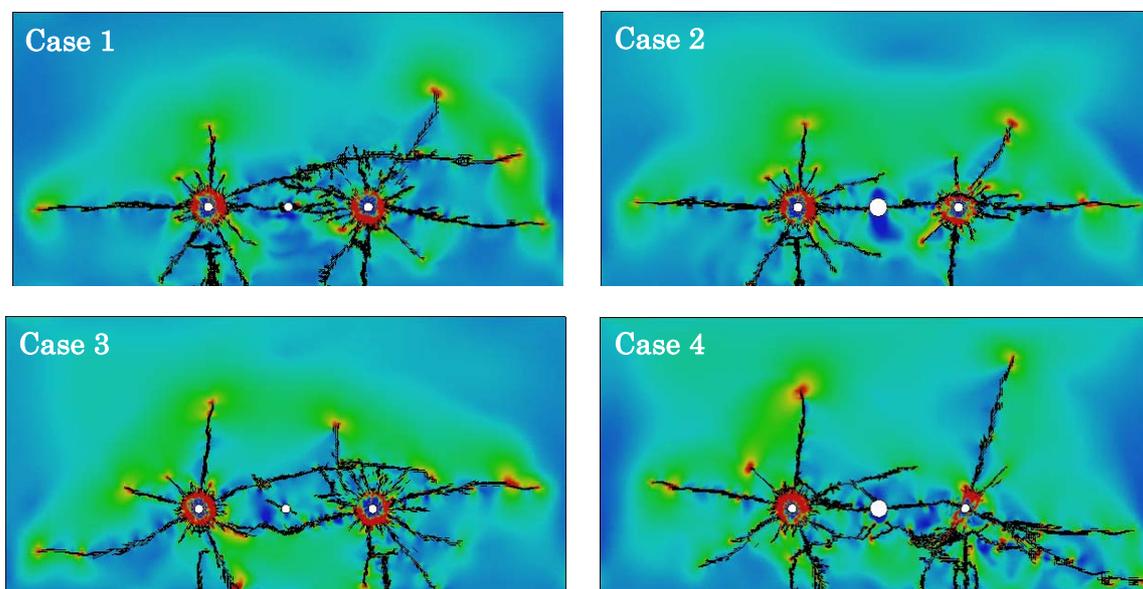


図3 同一岩盤物性モデルで解析した4ケースの最終破壊形態 (2500 μs)

5. おわりに

数値解析結果から、発破におけるガイドホールの破断面平滑効果が定性的・定量的に示されたと考える。今後は、試験施工を重ねデータを蓄積し、余掘り低減を考慮した設計に反映できるよう適用範囲を検討・確認していきたい。

【参考文献】

- 1) 金子, 松永, 山本: 発破における岩石破砕過程の破壊力学的解析. 火薬学会誌, No. 5, Vol. 56, pp. 207-216, 1995.
- 2) 金子, 山本, 諸岡, 田中: スムースブラスティングにおける起爆秒時精度の影響. 火薬学会誌, No. 3, Vol. 58, pp. 91-99, 1997.