

平行芯抜き発破に関する現場実験結果の検討

山口大学大学院
佐藤工業(株)
佐藤工業(株)
スクエーション爆破研究所
山口大学工学部

学生員○畑山 昌之
正会員 南出 英男
加納 米二
マイクロニ、フィン
正会員 中川 浩二

1. はじめに

発破工法における施工面での課題として施工速度の向上や1発破進行長の延長化が挙げられる。筆者らは、それらの解決策の一案として平行芯抜きによる長孔発破の採用を考えた¹⁾。しかし、現状では平行芯抜き発破の設計基準はLangefors等によるもの²⁾がほとんど唯一であり、しかもその基準は高爆速爆薬を対象としており、今後の低爆速爆薬の使用頻度の増加を考えるとそれらの設計基準の適用性を再検討する必要がある。そこで本研究では、原則としてLangefors等の手法に準拠し、石灰岩を対象に高爆速爆薬と低爆速爆薬の2種類の爆薬を使用して平行芯抜き発破に関する現場実験を行い、その作用効果に関する検証を行った。

2. 実験概要

(1)実験場所：埼玉県秩父郡武甲鉱山の山頂付近の石灰石採掘現場であり、ベンチ高さ約10m、ベンチ傾斜約70°の斜面を利用して平行芯抜き発破実験を行った。対象岩盤の地質は、石灰岩が主体であり、部分的に粘土化した輝緑凝灰岩が認められた。対象岩盤は石灰石の採掘による応力解放や風化がかなり進んでいたため、節理・亀裂が著しく発達した岩盤であった。そのため、弾性波速度は平均2300m/s程度であった。

(2)実験ケース：以下に示す条件のもとで、26ケースの平行芯抜き発破実験を行った。

固定条件：削孔形状（図-1参照）、計画削孔長4m、起爆秒時差75ms以上、空孔2×φ102mm以上

可変条件：空孔径φ144mm、φ102mm、装薬孔径φ48mm、φ45mm、φ43mm、

計画抵抗線長200～400mm、計画空孔間隔150～300mm

使用爆薬：エマルジョン爆薬（爆速…4500～5800m/s³⁾）、ANFO爆薬（爆速…約3000m/s³⁾）

3. 実験結果及び考察

実験結果を表-1の判断基準に従って良、可、不可に分類した。判断基準は空間断面積と進行率で分類し、前者において大とは空孔2孔と装薬孔2孔の4孔が連結した場合、中とは空孔2孔と装薬孔1孔の3孔が連結した場合、小とはすべての孔がうまく連結しなかった場合であり、後者は下側の空孔での発破長/削孔長である。

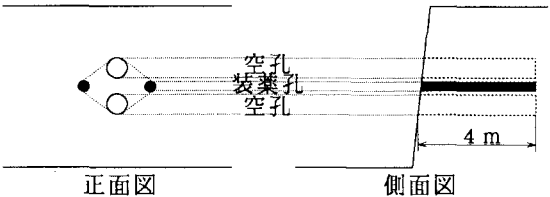


図-1 削孔形状

前述のように、平行芯抜き発破の設計基準はLangefors等によるものがほとんど唯一であるため、まず今回の実験結果もその基準に基づいて検討を行う。Langefors等による設計基準は空孔径、抵抗線長、及び装薬集中度（m当たり装薬量）の関係を示す式(1)ですべて表現される。

$$l = 1.5 \cdot 10^{-3} (a/\phi)^{3/2} (a - \phi/2) \quad \dots(1)$$

ここに、l：装薬集中度(kg/m)、a：抵抗線長(mm)、φ：空孔径(mm)

図-2に1段目の発破（空孔から見て片側の装薬孔の発破）における抵抗線長と装薬集中度の関係を整理

空間 断面積	進行率	
	90%以上	90%未満
大・中	良	可
小	不可	不可

する。図-2において実線で示す曲線は式(1)で空孔を $2 \times \phi 102\text{mm}$ とした場合の抵抗線長と装薬集中度の関係であり、破線で示す曲線はLangefors等による破砕が可能な領域の上限である。今回の結果では、高爆速爆薬であるエマルジョン爆薬を使用した場合でも領域内では不可が多い。また、低爆速爆薬のANFO爆薬を使用した場合は全体的に高い装薬集中度でありながらも良が多くなっている。

次に平行芯抜き発破を幾何学的にとらえた設計基準⁴⁾に基づいて検討を行う。平行芯抜きは空孔から破砕ずりを手前に排出して自由面を拡大していく発破のため、空間体積が破砕ずり体積より大きいことが条件となる。平行芯抜き発破は空孔と装薬孔がともに切羽面に垂直で、しかもそれぞれが平行な孔であるため、以下の検討は便宜上面積を用いて行う。図-3に示す位置関係から破砕面積(地山) $S1$ と空間面積 $S2$ が求められる。岩石は破砕されると見かけ上体積が増加するために、体積の増加率を B とすると、 $S2 > S1 \times B$ のときに芯抜きが可能となる。ここで、今回の実験の対象岩盤の硬さに対応させて $B=1.7$ を設定すると、抵抗線長 a の最大値は、式(2)により与えられる。

$$a_{\max} = \frac{\pi(D^2+d^2)}{2(B-1)(D+d)} + \frac{D+d}{2} = \frac{\pi(D^2+d^2)}{1.4(D+d)} + \frac{D+d}{2} \quad \dots(2)$$

図-4にANFO爆薬の1段目の発破における設計空孔径と抵抗線長の関係を整理する。ここに、設計空孔径とは両空孔の面積和と同面積の空孔が両空孔の中間位置に1つあるものと想定した場合の空孔の径である。図-4において、上側の実線は式(2)で求められる最大抵抗線長であり、実線より下側の部分は破砕が可能な領域である。また、斜線で囲まれた範囲はLangefors等による基準で破砕が可能な領域である。図-4を観察すると、Langefors等による設計基準では破砕が困難な領域でも良となったケースがあるが、式(2)で求められる領域では、これらのケースは良に分類されている。

4. まとめ

- (1) ANFOチャージャーによって支持される装薬集中度は全体的に高く、本研究で対象とした岩盤においてANFO爆薬を使用した場合は、Langefors等による基準に当てはまらない場合が多い。
- (2) 平行芯抜き発破を幾何学的にとらえた設計基準は、岩盤の硬さに応じて破砕が可能な領域を設定でき、我が国のような地質的变化の激しい地域でANFO爆薬を使用する際の基準としては有効である。

<参考文献>

- 1) 南出英男、加納米二、杉野ニヲツ、中川浩二：平行芯抜き発破現場実験の一考察、第25回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、pp. 391~395、1993年2月
- 2) Ulf Langefors and Bjorn Kihlstrom: The Modern Technique of Rock Blasting, third edition, 1978
- 3) 日本火薬工業会資料編集部：一般火薬学、1991年
- 4) 三谷 健：発破騒音・振動を軽減するトンネル掘削の研究、東京工業大学学位論文、pp. 132~133、昭和62年11月

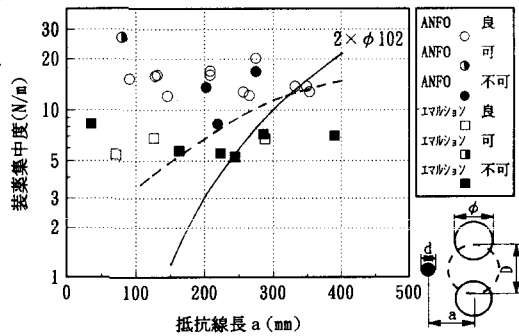
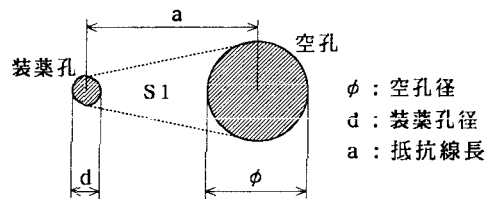


図-2 抵抗線長と装薬集中度の関係



破砕面積: $S1$
空間面積: $S2 = S1 + (\text{空孔と装薬孔の面積和})$

図-3 空孔と装薬孔の位置関係

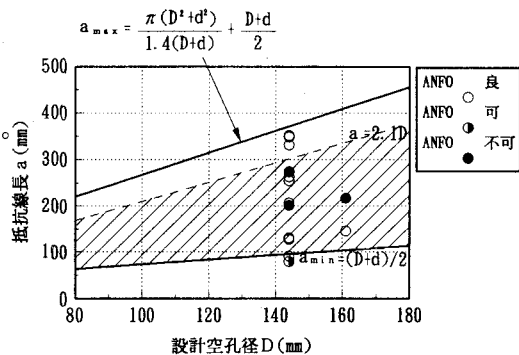


図-4 設計空孔径と抵抗線長の関係