

# 発破による岩の破断方法について

宮村南峨生\*, 山根 巖\*\*, 小原次郎\*\*, 緒方雄二\*\*\*

\* (株)カコー 発破事業部付 〒101-0037 東京都千代田区神田西福田町4-1  
e-mail: n\_miyamura@kacoh.co.jp

\*\* (株)カコー 発破事業部西日本支店 〒739-0024 広島県東広島市西条町御園宇3541-2

\*\*\* 独立行政法人産業技術総合研究所 爆発安全研究センター爆発利用環境安全研究チーム長  
〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1 産業技術総合研究所つくば西事業所  
e-mail: yuj-ogata@aist.go.jp

2004年3月9日 受付 2004年3月29日 受理

## 要 旨

社会整備に火薬類が果たした役割は大きく、遂行する為の作業を発破と言っている。採掘発破では、火薬類のエネルギーを最大限に生かす事を主眼として大量の岩石を効率的に破碎することを目的としていた。しかし、時代と共に火薬消費現場の環境が変わり、発破作業に伴う振動・飛石・崩落と言った現象が社会問題化するに至り、制御発破・ゆるめ発破など人・環境に優しい発破が主流になってきている。これらは工学的な解析が十分になされていないのが現状である。筆者は、火薬類の化学反応エネルギーを自由自在に制御出来れば、エネルギーや資源の有効活用になり発破の使用分野拡大にもつながる大きな課題と考えている。本研究では、発破による岩石の破断方法について火薬類の種類、装薬方法等から検討し、現地適用実験から良好な結果を得たので報告する。

## 1. はじめに

今日採石場においても、資源の有効活用が重要な課題となっている。現在、良質岩が少なくなり、従来は良質岩の石材採取だけであったが、不良岩も捨て石等として活用するようになった。ところが、碎石と石材採取の作業時間差違から碎石採取作業が先行する事で良質岩を駄目にするに危惧され、これを解決する方法として境界線を予め破断させる方法が考えられた。従来、石材の切り出し方法は<sup>1)</sup>周囲をクォーリーバードリルやジェットバーナー及びふかし発破で縁切りを行い、最後に切り取り発破で底部を切り離してきた。少しでも歩留まりを良くする為であるが手間も掛かる方法である。海外においては導爆線<sup>2)</sup>や低爆速・低爆力の爆薬による切り出し方法<sup>3)</sup>がある。そこで、制御発破工法の一つであるPS (Pre-Splitting) 発破工法<sup>4)</sup>を基本に置いて、新しい工法であるAir deck PS<sup>5)</sup>要素も取り入れることで、発破作業の効率性が向上することが期待できる。検討の結果から爆薬の種類としては、硝安油剤爆薬 (ANFO爆薬) ・PS爆薬・破碎薬を用いて実験を行った。

## 2. 実験

### 2.1 実験方法

実験現場は、現在稼働中の採石場で、花崗岩が対象となっている。実験場所は岩石の条件が異ならぬよう同じ位置の上部、下部で行える場所を選んだ。境界線上には50cmピッチで穿孔長6mの空孔穿孔列を実験に先立ちつくり、

影響が少なくなるように配慮した。実験現場の状況をFig. 1に示す。

通常、碎石発破で使用する油圧クローラドリルを使って穿孔し、Table 1の諸元で順次一列ずつ発破した。Test 1の実験 (1.1~1.4) では (1) 薬種の違いによる影響、(2) 適正薬量の把握を目的に実施した。この実験結果からTest 2の実験 (2.1~2.2) では (3) 岩体の性質による影響を観察する為、切断方向を90度変えた。最後に発破後岩体を後方に倒して、コアを採取の上、(4) 破断面の影響調査を実施した。また、採取したコアは、破碎領域を検討するため弾性波速度の計測および含水率の計測を実施した。ボーリングコアは、PS発破面に残された穿孔跡から採取し、発破上面から3箇所採取した。採取したボーリングコアは、約5cm間隔に切断して、乾燥状態での弾性波速度を計測し



Fig. 1 View of the test site.

Table. 1 Experimental parameter.

Test No	Explosive	Bit size (mm)	Burden (m)	Space (m)	Depth (m)	Charge (kg/hole)
1-1	PS	65	1.5	0.8	3.0	0.64
1-2	Demolition Agent	65	1.5	0.5	3.0	0.25
1-3	ANFO	65	1.5	0.6	3.0	0.28
1-4	PS	65	1.5	0.6	3.0	0.27
2-1	PS	65	6.0	0.6	3.0	0.27
2-2	PS	65	1.5	0.6	3.0	0.27

た。また、含水率を計測する実験では、乾燥状態と水中に浸した後の重量を計測して比較検討した。各発破孔の装薬状況をFig. 2に示す。

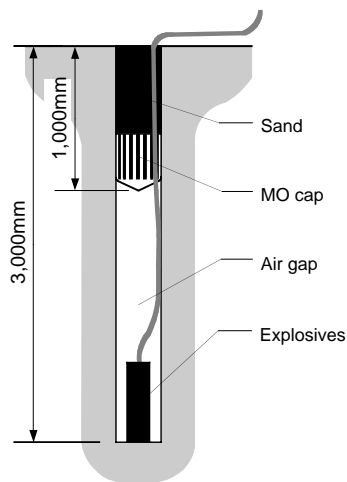


Fig. 2 Loading configurations.

## 2.2 実験結果

実験結果の概要を以下に示す。

実験1-1の結果をFig. 3に示す。PS発破を適用した実験で、岩石は直線上に切断されているがベンチの形になり大きく投げ出され大割れした。

実験1-2の結果をFig. 4に示す。これは黒色火薬に最も近い薬種である破砕剤を使用した実験で、ほぼ想定通りに破断できた。この実験では、前方半分と後方半分で装薬方法が異なり、前方半分の発破孔は破砕薬を細く長く装薬し、後ろ半分の発破孔は集中装薬とした事である。その結果前方（自由面側）の方は穿孔列から少し破断線が右側に振れたが、後方は、想定通りで破断された。

実験1-3の結果をFig. 5に示す。ANFO爆薬を使用した実験で、実験1-1と対称的なベンチの形で噴出ガス量も多くまだ装薬量が多いように見受けられる。残壁の状況を見ると



Fig. 3 The blasting result of experiment 1-1.



Fig. 5 The blasting result of experiment 1-3 (ANFO).



Fig. 4 The blasting result of experiment 1-2 (Demolition Agent).



Fig. 6 The blasting result of experiment 1-4 (PS Left side).



Fig. 7 The blasting result of experiment 2-1 (PS).



Fig. 8 The blasting result of experiment 2-2 (PS).

良好であった。

実験1-4は実験1-1の結果からPS爆薬の装薬量を減じて行った。結果をFig. 6に示す。良好な結果であった。しかし、後ろ側上部が一部欠落した。

下部盤では、上部盤発破結果(実験1)のよかったPS発破に絞って石材切り出しも視野に入れて実験2-1.2を行った。

実験2-1の結果をFig. 7に、実験2-2の結果をFig. 8に示す。両方とも良好な結果を得た。

**2.3 ボーリングコアによる発破損傷領域の推定結果<sup>6)</sup>**

Fig. 9にPS発破で採取したボーリングコアの弾性波速度の計測結果を示す。

縦軸は弾性破速度、横軸は破断面からの距離である。計測結果から発破破断付近ではある程度弾性波速度が減少することを示した。しかし、20cm以上深部では大きな弾性波速度の減少は少なく、PS発破による効果があったものと推定できる。また、含水率を計測した実験では、成形したサンプルコアによる差は、ほとんど見られなかった。しかし、サンプルコアに成形するボーリングコアの表面では、含水率が大きくなり、PS発破による影響を受けていることを示した。

Table. 2 Properties of used Explosives and Black powder.

	Density	Detonation velocity	Gas volume
Blasting powder	0.85 - 1.05	300 - 500	285
Emulsion	1.05 - 1.23	5500 - 6000	
PS	0.85 - 1.25	2700 - 3500	
ANFO	0.8 - 0.9	2500 - 3000	960 - 970
Demolition Agent	1.0 - 1.1	200 - 300	300 - 500

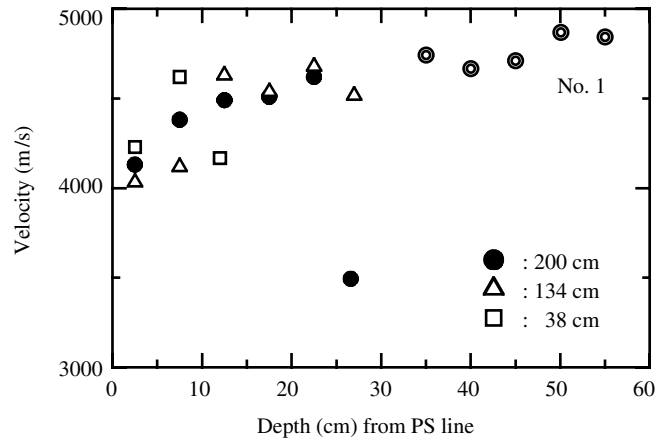


Fig. 9 Velocity of P wave of core samples.

**3. 考察**

**3.1 薬種の影響について**

爆薬の種類の影響については、Table 2の使用火薬類諸元にあるとおり、破砕薬は黒色鉱山火薬に諸元が一番近く、黒色鉱山火薬と同等の破断結果が得られた。また、PS用爆薬はANFO爆薬と比較して良好な結果が得られたが、起爆方法に問題があった。PS用爆薬の装薬量を少なくするほど親ダイの影響が大きくなり、親ダイ薬量を50gとしたが影響があった。このため、親ダイを使わない方法も必要と思われる。ANFO爆薬はガス量が多く、層理・節理の拡大・亀裂の増長をもたらす破壊制御は困難であった。ガス量を減らすためには、更に薬量を減らす事が必要となり、PS用爆薬以上に起爆方法が問題となった。

**3.2 込め物の影響について**

破砕薬の集中装薬における込め物長は十分であるが、分散装薬では込め物長が不足した。他の爆薬では込め物長が不足していたがこれも一つの緩衝装置になっていると思われる。今回は米国製填塞具MOキャップを補助に使用した。MOキャップを口元から1mの深さまで押し込み、その上に込め物を詰めている。この効果が大きいと考えている。穿孔径65mm~75mm用のMOキャップを使用したが脚線が切れないか作業者に不安を与えた。一旦キャップを挿入すると引き抜く事が困難で強引に押し込むか切り裂くしか手はない。実際は切れる事もなく完了したが絶対安全とは言えないところが難点であった。

**3.3 岩盤節理の影響について**

実験1と実験2の破断面は90度方向が変わっても違いがみられず、予定線上に形成できた。このため、今回の実験現場では岩盤節理の影響は少なかったと思われる。しかし、起爆点近傍に節理や自由面がある場合、ガス噴出現象を起こして対象岩体端部に想定外の割れや層理面剥離の助長など岩盤に損傷を与えている。又、起爆点から自由面から十分な距離にある場合は、奥に力が逃げてしまって表面に変化がみられなかった。従って、力が逃げないような対策と共に使用爆薬はガス量の少ない方が有利と考えられる。

### 3.4 破断面の損傷について

PS発破による損傷領域の検討では、採取したボーリングコアから弾性波速度が発破孔周辺では、ある程度は弾性波速度が減少することを確認した。しかし、約20cm以上の深部ではほとんど減少しないことから、Air deck PS発破の効果があることを示した。

### 4. 結論

これらの実験結果から以下の結論を得た。

- (1) 石材と捨石境界部にPS発破を施工する事により、石材への発破による影響を抑える事が出来る。
- (2) 標準破断発破設計は穿孔径65mm・孔間隔60cm・穿孔長3m・発破係数  $C = 0.13 - 0.15 \text{kg/m}^2$ であった。
- (3) 込め物におけるMOキャップの込め物効果はあるが、節理等がある場合はガス等逃げない対策が必要である。
- (4) ボーリングコアによる弾性波速度の計測結果からAir deck PS発破の効果があることを確認した。  
今後、節理対策を考えた長孔縁切り発破と硝安油剤爆薬での方法を確立したいと考えている。

### 謝辞

本実験の機会と多大なご協力をいただきました黒髪石材株式会社、上野副社長、守田取締役部長、千事業所長に深く御礼申し上げます。

### 文献

- 1) 黒色鉱山火薬による発破 昭和42年7月  
日本化薬株式会社テキスト。
- 2) GIORGIO BERTA EXPLOSIVES AN ENGINEERING  
TOOL ITALESPLOSIVI-MILANO 1990.
- 3) Atlas Powder Company Blasting Data Sheet No.118.
- 4) 社団法人 火薬学会 発破専門部会編 現場技術者のための  
発破工学ハンドブック 2001.
- 5) 西田 佑 “発破第28号” 発破工事協会誌 1991年11月。
- 6) 緒方雄二, 丁 佑鎮, 青木一男, 宮村南峨生  
ボーリングコアサンプルによる発破損傷領域の検討  
2002年5月度火薬学会年会講演。

---



---

## Control methods of rock blasting

Nagao Miyamura\*, Iwao Yamane\*\*, Jiro Obara\*\*, and Yuji Ogata\*\*\*

Explosives have shared a large part for development and maintenance of our society. The works that consumed explosives for destroying rocks and constructions are called blasting. Main purpose of the traditional way of blasting is that blasting works get the most out of energy of explosives and burst a large amount rocks efficiently. However, the environment around blasting work sites changes with the times, and the phenomena like vibration, noise, fly rocks and falling by blasting operations became objects of public concern. So, main purpose of blasting became eco-friendly such as controlled blasting and release blasting. Theses blasting methods are not analyzed sufficiently yet. If the chemical energy of explosives becomes to be controlled freely by us, control methods will promote more effective use of explosives, and will develop bigger market of blasting. In this paper, control blasting has been discussed from points of view of using different kinds of explosives and different charge methods, and good results obtained by the field test are described.

\*Blasting Division, KACOH Co., LTD, MEDIX BLDG 4-1, Kanda-Nishi Fukuda-cho, Chiyodaku, Tokyo 101-0037, JAPAN

\*\*Nishi nippon branch, KACOH Co., LTD, 3541-2, Misonou Saijyou cho, Higashi hiroshima City, Hiroshima 739-0024, JAPAN

\*\*\*Research Center for Explosion and Safty, Advanced Industrial Science and Technology, AIST TSUKUBA WEST, 16-1 Onogawa, Tsukuba 305-8569, JAPAN