

切り欠きを有する発破孔を用いた平滑発破

飯星 茂*, 川上 純*, 五十嵐孝文**, 中尾健児*

本文は、ウォータージェットにより発破孔に切り欠き入れることにより、効果的に平滑発破を行う工夫に関する一連の研究結果について述べたものである。実施した内容とその結果の概要は次の通りである。

(1) アブレイシブジェットランスの開発

今回開発したジェットランスは、ボアホール内での切削試験で良好な切断性能を示した。これにより従来の水ジェットによる方法と比較してジェットポンプの低圧化、低出力化が可能となった。

(2) モルタルブロックによる底面平滑発破試験

低爆速火薬を使用した時のみ底面平滑発破が可能である。

(3) スロットを用いた現場スムーズブラस्टィング試験

亀裂性岩盤においても、また高速爆薬を用いても良好な結果を得ることができる。

(4) ディスクを用いた現場底面平滑発破試験

低爆速火薬の使用が必要であり、また装薬室に岩盤の亀裂が多い場合は、良い効果が得られない。

最後に、発破試験の結果については、破壊力学による考察を行い、上記(4)については、新しい発破法の提案を行った。

1. 緒 言

発破孔に切り欠きを設けてスムーズブラस्टィング(以下、SBという)を行う方法については、既に理論、実験について幾つかの研究例^{1), 2), 3)}が見られる。しかし、実用化に当たっては、次のような問題点がお存在し、実施工例はほとんど見られない。

- (1) 現在、実用化されている超高压ウォータージェット(吐出圧力200~300MPa)では、切削が不可能な岩種が存在する。
- (2) ウォータージェット装置の導入によりコストアップになる可能性がある。
- (3) スロットによるSBに関しては、定性的には効果が確認されているものの、発破設計が行えるまでに至っていない。
- (4) ディスクによる底面平滑発破では、その効果も確認されていない。

そこで本研究では本発破工法の実用化を図るべく、一連の研究開発を実施した。上記(1), (2)の問題点に関しては、高速ウォータージェットに、研磨材を連行したアブレイシブウォータージェットランス(以下、AJLという)を開発し、その適用可能な岩種の拡大とジェット装置の動力の低減を図った。また、(3), (4)については、モルタルブロックによる試験発破及び現位置発破試験を行い、切り欠きからの亀裂伝播様式および破壊効果を観察するとともに、適正な薬種について検討した。

その結果、ウォータージェット装置については、性能向上が見られるとともに小型化が可能となり、また、スロット、ディスクもその効果がより明確となった。

2. AJLの開発

高压ウォータージェットを用いれば、Fig. 1に示したようなジェットランスを用いて、Fig. 2に示したようなスロット、ディスクを穿孔内に入れることができる。スロットはSBに、ディスクは底面平滑発破に利用される。発破に効果的なスロット、ディスクの深さは、破壊力学による考察⁴⁾によれば、穿孔直径の25%程度と考えられている。一般のSBでの穿孔直径は30~50mmであるから、切り欠き深さは8~13mm程

昭和62年10月2日受理

*大成建設(株)技術研究所

〒245 横浜市戸塚区名瀬町 344-1

TEL 045-812-1211

**大成サービス(株)

〒245 横浜市戸塚区名瀬町 344-1

TEL 045-812-1211

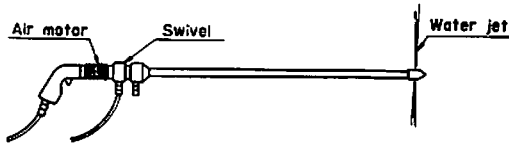


Fig. 1 Water jet lance

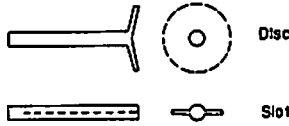


Fig. 2 Disc and slot notched by water jet lance

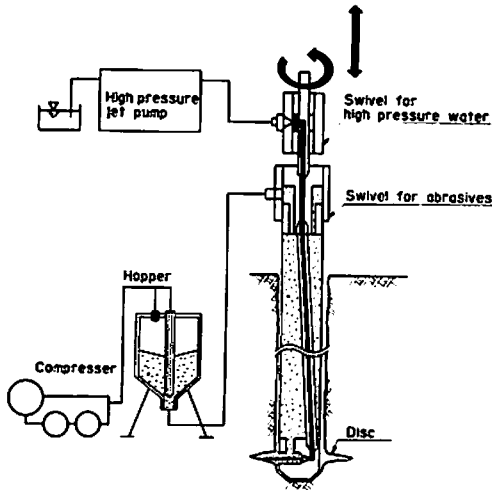


Fig. 3 Configuration of abrasive jet lance system

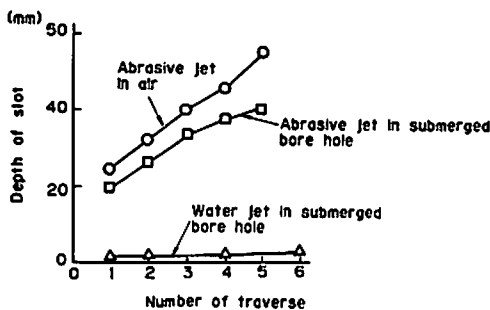


Fig. 4 Depth of slot

Cutting parameters:
 Discharge pressure of Jet 180MPa
 Dia. of orifice 0.35mm
 Flow rate of abrasives 35g/s
 Type of abrasive Garnet
 Specimen Dolomite

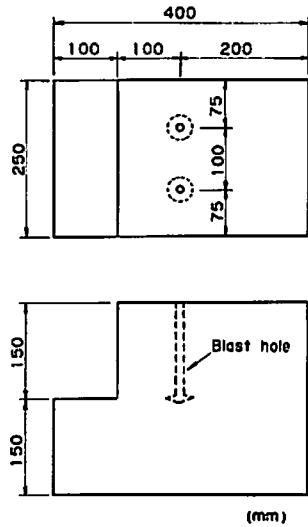


Fig. 5 Outline of mortar specimen

いては、飯星等⁴⁾によって、ジェット吐出圧力 195~357MPa の範囲で実験が行われている。この結果によれば、前記の圧力によっても切削が不可能な岩石が存在するとしている。また、使用しているジェットポンプの動力も 60kw 以上と大きい。そこで、Fig. 3 に示したような AJL を試作し、切断試験を実施した。Fig. 4 は従来の水のみでのジェットと切断深さを比較したものであるが、極めて切断性能が向上していることがわかる。なお、本試験でのポンプ動力は 25kw、トラバース速度 20cm/min である。アブレイシブウォータージェットでは、切断不可能な岩種は見出されていないことから、前記(1)、(2)の問題点については、大幅に改善されたと考えられる。

3. 模型による発破試験

スロットを用いた模型による SB 試験は中川等³⁾によって実施されている。この結果によれば、スロットは、不連続面を含む場合でも平滑面の形成に効果があり、また、薬種はコンクリート破砕器のような低爆速のものが良いとしている。本模型実験では、中川等の実験を参考にし、ベンチ発破を対象として行った。発破孔には、スロット、ディスクを種々組合せて行った。

3.1. モルタル供試体

実験には、Fig. 5 に示すような片側にベンチを付けたモルタルブロックを用いた。供試体の下部には鉄筋を入れ拘束を強くしてある。スロットは、Fig. 6 に示すように長さ 4mm とし、先端は、45° に切り落してある。また、ディスクは直径 5cm、厚さ 1cm とした。スロットはアクリル板で、ディスクは発砲スチロールで作成し、それぞれ鋼棒に接着させておき、モルタル打設後に鋼棒を引き抜くことにより作成した。

度が必要である。

岩石の超高圧ウォータージェットによる切削性につ

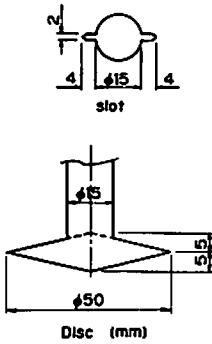


Fig. 6 Shape of slot and disc

モルタル配合はTable 1の通りであり、打設後約5週後で実験に供した。実験時のモルタルの一軸圧縮強度は、47MPa、引張り強度は2.4MPaである。

3.2. 発破方法

実験では、スロット・ディスクなし、スロットのみ、ディスクのみ、スロット+ディスク(以下それぞれ、ナン、S、D、S+Dと記す)の4種類の供試体について実験を行った。使用した火薬類は、

(1) 0号雷管+第2種導爆線(以下DFと記す)

(2) 点火具+コンクリート破砕器(以下CBと記す)の爆速の異なる2種類を用い、薬量を変えて供試体の破壊状況を観察した。なお、0号雷管はペンスリット換算で0.13g、導爆線はペンスリット約10g/mで爆速は約6400m/sである。点火具は、コンクリート破砕薬が0.4g入っており、コンクリート破砕薬の爆速は60m/sである。装薬孔長は15cmであるが、上部

Table 1 Mix proportion of mortar

Water/Cement W/C	Sand/Cement S/C	Weight for 1m ³		
		Water W(kg)	Cement C(kg)	Sand S(kg)
0.45	2	293	649	1303

7.5cmはエポキシ樹脂でタンピングしたので、装薬室の実質上の長さは7.5cmである。

3.3. 実験結果

3.3.1 破壊限界薬量

各供試体について、薬量を小さいものから徐々に増していき、破壊限界量を求めた。Table 2, 3にDFおよびCBによる発破試験の結果を示す。表中の装薬室圧力は、ペンスリットの比エネルギーf値を13320kgf/cm²、コンクリート破砕器のf値を2364kgf/cm²として求めたものである。表中の⊙印は破壊しなかったもの、●印は破壊した供試体を示す。

DFの場合は、D供試体が他に比べて破壊にやや多くの薬量を必要としたが、装薬室内圧力はほぼ同程度であった。

CBの場合は、ナンに比べてS、Dとも小薬量で破壊し、特にD供試体ではナンの1/2の装薬室内圧力で破壊している。

3.3.2. 破壊状況

供試体の破壊状況からあきらかになった点を以下に示す。

(1) ナン供試体では、CBによる発破では、2孔間は

Table 2 Blasting test results using low explosive(for concrete cutting, CCR)

Specimen	Igniter + CCR(g)					Limit for breakage			
	0	0.5	1.5	2.5	3.5	4.5	5	Charge weight	Calculated pressure in hot note
Without notch	⊙	⊙	●	●	●			1.9 (g)	34 (MPa)
With slot	⊙	⊙	●	●	●	●		1.4	25
With disc (D)	⊙	⊙	●	●	●	●		1.4	17.3
With slot and disc	⊙	⊙	●	●	●	●		1.4	17.3
Total charge weight of explosives(g)	0.4	1.4	2.4	3.4	4.4				

● : Broken

⊙ : Not broken

Table 3 Blasting test results using detonating fuse

Specimen	No.0 Igniter + detonating fuse(cm)							Limit of Breakage			
	0	1	2	3	4	5	6	7	Charge weight	Calculated pressure in shot hole	
Without notch		⊗	⊗	●		●			0.43 (g)	43.2 (MPa)	
With slot			⊗	●	●	●			0.43	43.2	
With disc			⊗	⊗	⊗	●		●	0.63	43.9	
With slot and disc			⊗	⊗	●	●		●	0.53	37.0	
Equivalent charge weight for PETN(g)											
	0.13	0.23	0.33	0.43	0.53	0.63	0.63				

● : Broken
⊗ : Not broken

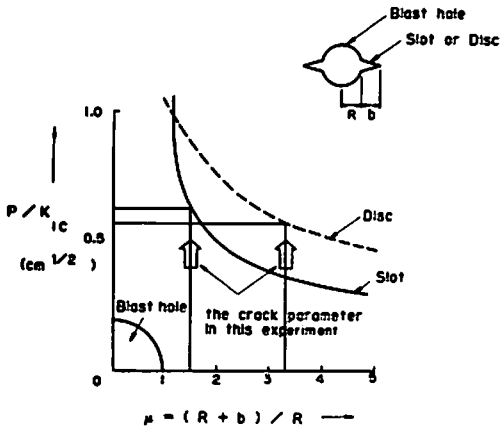


Fig. 7 Relationship between limit pressure of crack propagation and crack parameter μ ($R=0.75\text{cm}$)

破断されず、側面が漏斗状に破壊されるだけであった。DFの場合も薬量が多くなると2孔間破断の他に側面破壊が加わる。

一方、S供試体では、例外なく2孔間で破断され、スロットの破断方向制御および他の方向へのクラックの抑止効果が認められた。

- (2) D供試体に関しては、DFによる発破ではディスクに平行な方向、スロット方向及び側面方向への破断と、3方向への破断が生じていた。またディスクからのクラックも下方45°方向に伸びており、DFによる発破ではディスクの破断方向制御の効果は見られなかった。一方、CBによる発破では、ディスクの方向のみの破断しか生ぜず、その破断面も非常にきれいであり、ディスクの破断方向制御の効果が認められた(Photol参照)。

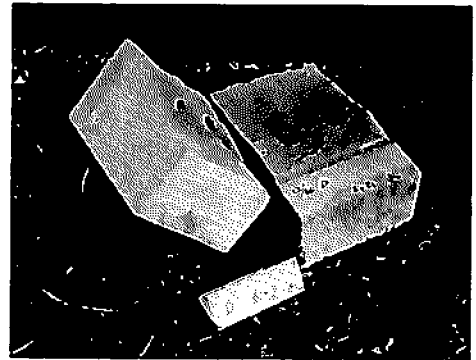


Photo 1 Broken face of disc specimen (CCR 2.5g)

- (3) C+D供試体では、スロット又はディスク又は両方への破断となり、特にどちらかが卓越するという事はなかった。

3.4 まとめ

スロットとディスクの破壊進展限界圧力は、破壊力学によれば、以下のようになる。

スロット半径Rの装薬孔に、長さbのスロットがある場合のクラック進展限界圧 P_s は、開口型の破壊靱性値を K_{Ic} とすると、

$$P_s = \frac{K_{Ic}}{a\sqrt{\pi}\mu R} \quad (1)$$

となる。ここで $\mu = (R+b)/R$ で、 a は μ によって決まる数値⁵⁾である。

ディスク半径aのディスクのクラック進展限界圧 P_D は、装薬孔を無視すれば、

$$P_D = K_{Ic} \frac{\pi}{2\sqrt{\pi}a} \quad (2)$$

Table 4 Summary of blasting test

Blasting pattern	Number of blast holes	Spacing between hole m	Minimum burden m	Charge weight kg/m	Slot	Test results	
						Observation of blasted face	Convex (+) and Concave (-) volume per m ² (m ³ /m ²)
A	4	1.0	1.3	0.1	x	Irregular surface Lower part of bench was not broken	0.043 -0.030
B	4	1.0	1.3	0.2	x	Fairly smooth surface	0.009 -0.020
C	9	1.0	1.3	0.1	○	Excellent smooth surface	0.008 -0.006

○ holes with slot
x holes without slot

となる⁶⁾。(1)式と(2)式を図示すると、Fig. 7のようになる。(2)式と(1)式から K_{IC} を消去すると、

$$\frac{P_D}{P_S} = \frac{\pi\alpha}{2} \sqrt{\frac{\mu R}{a}} \quad (3)$$

さらに、 $\mu \geq 1.5$ の時 $\alpha \approx 1.0$ であり、 $a = \mu R$ であることを考慮すれば、

$$\frac{P_D}{P_S} \approx 1.6$$

となる。すなわち、スロットとディスクの先端が、装薬孔の壁面から同位置にある場合、ディスクのクラック進展限界圧は、スロットの場合と比較して約1.6倍大きくなる。

今回の実験条件はFig. 7に矢印で示したように、ほぼ同じ進展圧であり、そのため同程度の薬量で両者とも破壊されたものと考えられる。

4. 現位置発破試験

モルタルブロックによる発破試験の結果では、スロット及びディスクとも破壊方向制御及び他の方向へのクラック抑止効果が認められた。

しかし、現位置においては、岩盤には既存クラックが存在しており、上記の効果が薄れる可能性がある。そこで、石灰岩の採石場において、スロット及びディスクの効果を確認するために、発破試験を行った。なお、石灰岩の一軸圧縮強度は、約165MPaである。

4.1. スロットを用いた現位置発破試験

4.1.1. 実験方法

高さ2mのベンチ面において、破断方向制御を目的とした発破工法であるSBにスロットを適用し、その効果を確認する実験を行った。

発破は、Table 4に示すように、通常のSBであるスロットナシのA、Bパターンとスロットを入れたCパターンの計3パターンを行い、その破壊状況を比較

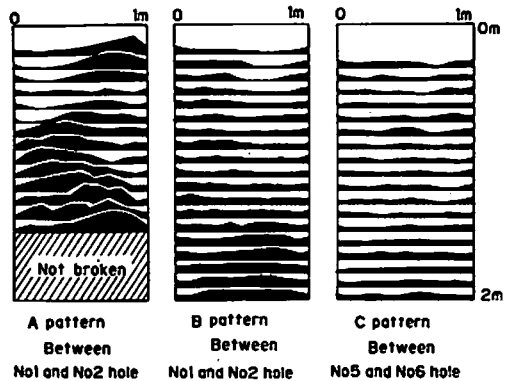


Fig. 8 Concave and convex of rock face after blasting

した。穿孔径はジットノズルの都合上38mmとし、孔長2mにスラリー爆薬(アイレマイト、直径20mm、爆速4200~5200m/s)を使用して、発破を行った。なおこの実験では、AJL装置の開発は終わっていなかったため、ウォータージェットでスロットを作成した。作成されたスロットの深さは5mm前後であった。

4.1.2. 実験結果

Photo 2は、破壊された岩石を取り除いた後の、各発破パターンの写真である。また、破断面の滑らかさを表すために、破断面の凹凸を10cm間隔で測定した。Fig. 8はその代表的な凹凸を示したものである。また、Table 4の右側の欄には、測定値から算出した1m²あたりの凹凸体積を示した。

これらの図から、スロットを入れたことにより、半分の薬量でもより平滑な破断面が形成されたことが分かる。孔壁から発達するクラック面をみると、Fig. 9のようにBパターンでは基準面からはずれ、当たりや余堀が多いが、Cパターンではクラックは孔間を結ぶ

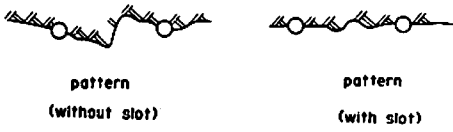
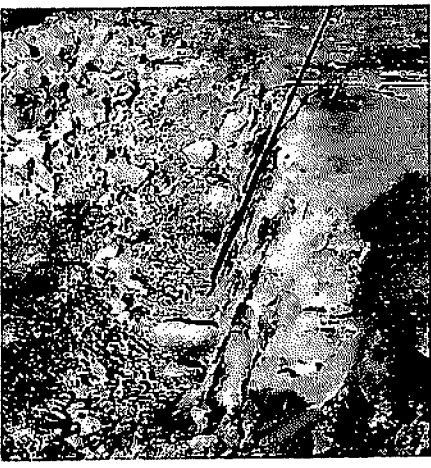


Fig. 9 Sketch of breaking faces



(a)



(b)

Photo 2 Results of smooth blasting using slot holes

- (a) hole No.1-4 ; A pattern
hole No.5-8 ; B pattern
- (b) C pattern

面上を進み、孔間の中心部の幅30cmで初めて凹凸が生じている。この形状は、不連続面を持つモルタル実験の結果と同じ傾向となっており、既存クラックを持つ亀裂性岩盤においても、スロットは優れた破断方向制御性を持っていることが確認された。

4.2. ディスクを用いた現位置発破試験

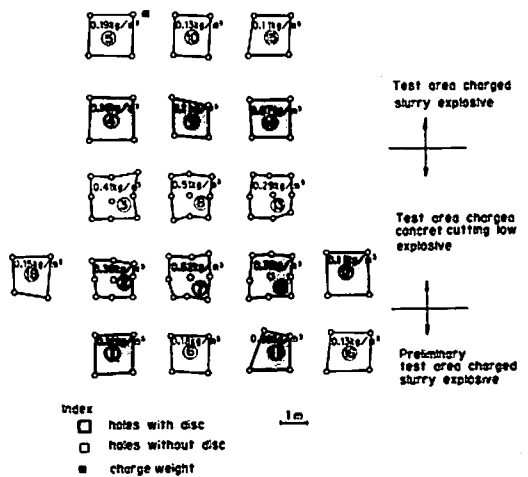


Fig. 10 Blasting test patterns for effect of disc

4.2.1. 実験内容

スロットの実験と同じ現場において、発破孔の孔底にディスクを入れた、底面平滑発破の現地実験を行った。

モルタルブロックの実験結果によると、低爆速のコンクリート破砕器を使用した方が、良い結果が得られているため、火薬類としてはコンクリート破砕器(直径50mm)と爆速の速いスラリー爆薬(チタマイト、直径25mm、爆速5300~5800m/s)の2種類を用い、ディスクを入れたパターンと入れないパターンとを比較した。

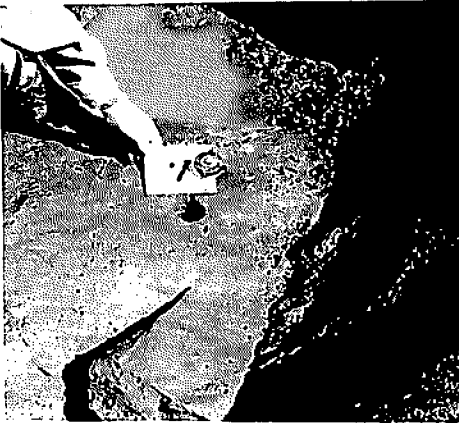
ディスクの作成は、新たに開発したAJL装置を用いて、1孔当たり1分で切断深さは、20~30mmとした。なお吐出圧力は1800MPa、水量1.6l/min、研磨材2kg/minの条件である。

発破パターンは、Fig. 10に示すようにスラリー爆薬の場合は、孔間隔1.5mの4孔で1パターンとし、コンクリート破砕器の場合は、孔間隔0.75mの9孔で1パターンとし、それぞれ薬量を3種類変えて発破を行った。穿孔径は68mmで孔長は1.2mとしたが、岩盤表面凹凸のため孔長は各孔で少しばらついている。

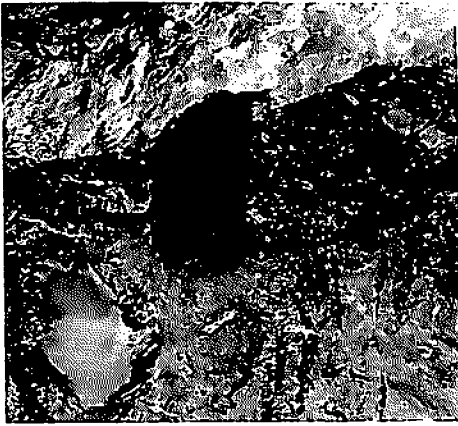
実験の目的は、バックレイクをおさえた底面平滑発破であるため、スラリー爆薬の場合は、エア・デカップリングをとるようにした。すなわち装薬室は長さ60cmとし、上部を砂でタンピングするいわゆる「ゆるめ発破」とし、薬量は少なめに設定した。コンクリート破砕器は、装薬部の隙間に砂を詰め上部をモルタルでタンピングした。

4.2.2. 実験結果

発破は3回に分けて行い、全パターン発破終了後に



(a)



(b)

Photo 3 Results of disc blasting

- (a) broken from natural crack of rock
- (b) broken from disc

破碎された岩石をバックホーで取り除き、岩盤面の状況を観察した。

(1) スラリー爆薬による発破の場合

ディスクを入れたパターンと入れていないパターンとの差は見られず、ほとんどの孔がディスクより上の既存クラックから破壊されているか、ディスクより下で破壊されており、ディスクによる効果は認められなかった。

(2) コンクリート破砕器による発破の場合

スラリー爆薬と同様に Photo 3-(a)に示すように、岩盤の既存クラックから破壊されている孔が多かったが、中にはディスクから破壊されている孔もあり、ディスクの効果がある程度認められた。Photo 3-(b)は、ディスクから水平に破断された例であるが、孔の片側はディスクから破壊され、もう片方はディスクから幅1cm程度のクラックが長さ約1mに渡って生じている。このように、ディスクのそばに既存クラックが無い場合は、ディスクからクラックが発生するが、既存クラックがある場合は、クラックの発生はほとんど既存クラックに支配されてしまう結果となった。

スラリー爆薬の場合に、ディスクからクラックが発

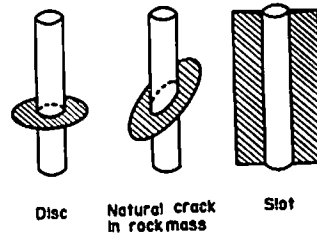


Fig. 11 Variation of angle between notch and bore hole

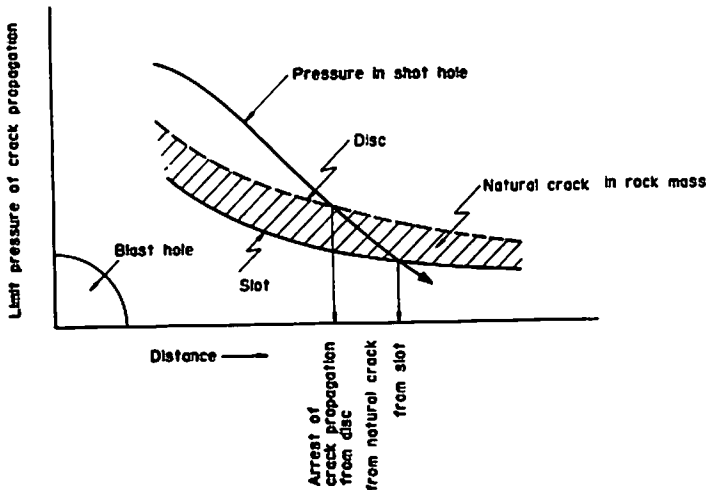


Fig. 12 Limit pressure and Arrest of crack propagation

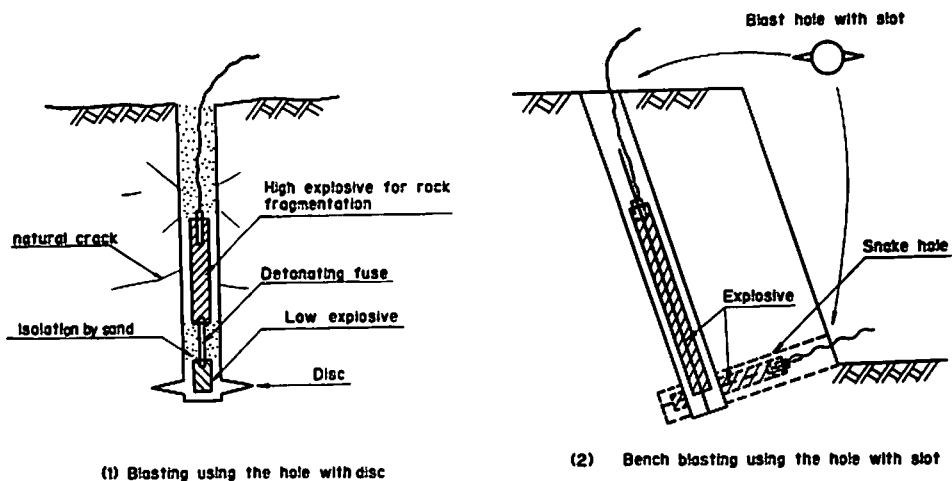


Fig. 13 Proposed blasting method for jointed rock mass

生しなかったのは、60cmのエア・デカップリングをとったため、薬室にクラックが存在する確率が多くなったこともその要因のひとつであろう。

4.3. まとめ及び考察

現位置発破試験では、スロットを用いたSBは、良好な結果を得たが、ディスクの場合は良好な結果を得られなかった。これは以下の理由によると考えられる。

今、Fig. 11のように、ディスク、スロット及び既存クラックが発破孔と交わる面を考えると、ディスクは円、スロットは直線、既存クラックは一般的に楕円となる。それぞれの切り吹きが進展するための限界圧力はFig. 12のようになり、クラック進展のための限界圧力は、スロット、既存クラック、ディスクの順で高くなる。したがって、火薬類の爆発直後は高圧力のためディスク、既存クラック、スロットは全て進展していくが、クラックが進展して装薬孔内の圧力が下がると、まずディスクからのクラックが停止し、次に既存クラックが停止する。そして最後にスロットからのクラックが停止することになる。このことから、亀裂性岩盤においては、ディスクからのクラックは進展しにくいことが分かる。

したがって、亀裂性岩盤において底面平滑発破を行うには、例えばFig. 13のように、孔底のディスク付近に低爆速の火薬類を集中装薬して、ディスクのみ圧力を作用させるようにし、その上部は砂等で縁切りした上に岩起砕用の爆薬を装填するような工夫が必要となろう。また、他の方法としては、ベンチ下面に横方向からスロットを入れたスネークホールを設ける方法も考えられる。

5. 結語

ウォータージェットにより爆破孔にスロットやディ

スクを設けてSBを行う方法について、モルタルブロック試験及び現位置発破試験を行い、実験的に検討した。その結果以下の事項が明らかとなった。

- (1) 今回開発したジェットランス、ボアホール内での切削試験で良好な切断性能を示した。これにより従来の水ジェットによる方法と比較してジェットポンプの低圧化、低出力化が可能となった。
- (2) モルタルブロック実験のように、既存クラックが存在しない場合は、スロット、ディスクとも破壊方向制御及び他の方向へのクラック抑止効果が認められた。なお、低爆速火薬を使用したほうが破断面は、より平滑となる。
- (3) 亀裂性岩盤では、ディスクからのクラックは発生しにくく、底面平滑発破を行うには、ディスクのみに圧力が作用するような工夫が必要である。

本研究に関して、山口大学の中川教授には、数々の助言を頂いた。また、吉澤石灰工業株式会社からは、実験場所の提供を頂くとともに、現場作業で御世話になった。ここに、深甚な謝意を表するものであります。

文献

- 1) Rock Fracture Mechanics ; CISM Courses and Lecture No.275 p31~68(1983)
- 2) K. Hoshino, S. Shikita, T. Kusada, K. Miyashita, Y. Ono and T. Morie ; Proc. 5th Int. Symp. Jet Cut. Tech. P165~180(1980)
- 3) 中川浩二, 西田 佑, 小野勇司, 川上 純 ; 土木学会論文集, No.375/VI-5, P131~138(1986)
- 4) 飯星 茂, 川上 純, 五十嵐孝文, 中尾健児 ; 大成建設技研報, No.19, P207~217(1986)
- 5) Rock Fracture Mechanics ; CISM Courses and Lecture No.275 P43 (1983)

Smooth Blasting using Blast Holes with Notch

by Shigeru IIHOSHI*, Jun KAWAKAMI*, Takafumi IGARASHI**
and Kenji NAKAO*

This paper describes some experimental studies on smooth blasting using blast holes with notch. The items of experiments and results are summarized as follows:

(1) Development of abrasive waterjet lance system

A newly developed abrasivejet lance system indicated excellent cutting performance in notching bole. This success brings large benefit in reduction of power of jet pump and operation jet pressure.

(2) Smooth base-blasting test using mortar block specimen

A good result was obtained only when low explosive was employed.

(3) Smooth blasting test in the field using blast holes with slot

This type of blasting was easily achieved even in the case of when high explosive was employed and where rock was highly jointed.

(4) Smooth blasting test in the field using blast holes with disc.

Low explosive should be employed. However, disc holes did not work well under the presence of many natural fractures in the shot holes. That is, the energy of gas pressure is consumed to open the natural fractures rather than to initiate crack propagation from the tip of disc.

Finally, results of blasting tests are discussed based on fracture mechanics and new methods for smooth base-blasting are proposed.

(*Technology Research Center, Taisei Corp., Nasemachi 344-1 Totsuka-ku
Yokohama

**Taisei Service Ltd., Nasemachi 344-1 Totsuka-Ku Yokohama)

静的破砕剤について

山崎之典*

岩石やコンクリート等の脆性物体の破砕や解体の静的破砕工法に用いる薬剤として定着しつつある静的破砕剤につき、その開発経過および最近の傾向について紹介した。

1. はじめに

静的破砕剤とは、岩石やコンクリートを無公害で安全に破砕したり解体する工法の静的破砕工法に用いられる水和膨張性物質のことであり、他に、膨張性破砕剤、化学的破砕剤、静的破壊剤とも言われている。

近年、破砕対象となる物件は、生活環境が複雑化される中で、単なる破砕とか、解体から、部分破砕、限定破砕や周辺生活活動への配慮をした特殊破砕等と多様化してきている。また、都市部では、再開発の必要が高まる中で、構造物の解体には、環境破壊や公害の点から、適用できる工法が、限定されてきている。

一方、ビル解体については、これまで、日本では使用が難しいとされていた火薬による一斉破砕の方法が見直され、その破砕効率、解体期間の短縮の効果を活用するための関係機関の検討が昨年より開始され、5年後には許可されるのではないかと報道もある。

こうした中で、静的破砕剤は、昭和54年4月に初めて市販され、取り扱い上で、火薬類や危険物のような法的規制もないことから、その適用分野を拡げてきた。現在、推定使用数量は、3000~3500t/年で、市場規模は20~30億円、やや横ばい状況である。しかし、昨年従来品より短時間で破砕できる商品が市販され、新しい動きが出始めている。

2. 従来タイプの静的破砕剤の経過

静的破砕剤の研究は、昭和40年頃より始ったようである。その当時は、セメント膨張材が市販された時代で、水和膨張性の物質をうまくコントロールして活用しようとする気運があった頃である。このあたりの事情については、笠井¹⁾が詳しく紹介しているので、その要点を記す。

CaOやMgOの水和膨張性物質をコンクリートの破砕に利用する技術は昭和43年に技研興業株式会社よ

り特許出願されている²⁾。その内容は、生石灰あるいはMgOを水で練って、コンクリートに穿孔した孔に充填し、その水和反応による膨張圧によって建物を壊す工法である。この当時の生石灰の膨張圧による破壊方法については、笠井より昭和44年に「構造物の解体工法の現状と将来」³⁾に記載されたのを含め、数か所に開発中として紹介されている^{4)・5)}。当初は、生石灰の水和反応が早いので、生石灰スラリーの混練やスラリーの充填までの作業時間を確保するために、水和反応の遅延剤の研究に主眼が置かれていた。遅延剤としては、グリセリン、アルコール等があげられている。また、発生する膨張圧としては、持続圧縮応力と膨張率との関係から300~350kgf/cm²が、期待されていた。

昭和47年頃になると生石灰以外に水和膨張性物質の利用も考えられ、セメント膨張材に利用されていたC.S.A.やエトリンガイトを生成するCaO、Al₂O₃、S O₃を含有する物質の組み合わせ、普通セメントとせつこう、CaO等との混合物系組成物による破砕剤の研究も行われている⁶⁾⁷⁾。

この他にも、生石灰と水との反応時間や、作業時間も確保するために、生石灰を充填後に水と接触させたり、水を注入する方法等いろいろ考案されている。

しかし、以上のいずれの方法でも膨張反応の制御、施工上の煩雑さおよび経済性の理由から実用化には至らなかった。

昭和50年代になって、生石灰系のセメント膨張剤が静的破砕剤に応用できることが見いだされている⁸⁾。この技術を発展させて、世界で初めて実用化された静的破砕剤が、昭和54年4月に発売された小野田セメント(株)の“ブライスター”である。これは、CaOを50%含有する3CaO-CaO-CaSO₄系クリンカの粉末で、CaO結晶粒を3CaO-SiO₂やCaSO₄-3CaO-Al₂O₃-4CaO-Al₂O₃-Fe₂O₃系の間隙物質で包むことによってCaOの水和反応を制御し更に、膨張圧を高め、作業性を改善するために減水剤が添加されていること

昭和62年10月7日受理

*日本セメント株式会社 中央研究所
〒135 東京都江東区清澄 1-2-23
TEL (03)642-7171