

## スムーズブラस्टィングにおけるガイドホールの 利用に関する基礎実験

中川浩二\*, 坂本 佐\*\*, 吉開亮介\*

この研究ではスムーズブラस्टィングを効果的に行なうための一つの工夫としてのガイドホールについて模型実験による検討を行なっている。そのため実験用供試体としてアクリル樹脂板およびコンクリートブロックを用い、爆薬としては導爆線を用いた。

まず爆破孔からガイドホールまでの距離の変化にともなうガイドホール方向およびそれ以外の方向へのクラック発達を検討した。その結果ガイドホールが爆破孔に近いときにはガイドホールは効果的であるが、ある程度離れるとその効果は顕著でなくなることが認められた。続いてガイドホールの存在によりクラックで連結される孔間距離の増加について検討しその効果を認めた。

### 1. はじめに

近年トンネル掘削における NATM の普及などにもない、スムーズブラस्टィング（本文ではスムーズブラस्टィングを広義に解釈し、以下 SB と略）の重要性が見直されている。

SB の方法としてはラインドリリング、プリスプリッティング、クッションブラस्टィングなどの方法がある。またこれらに加えて爆破によるクラックの発生、発達を方向を何らかの方法で制御し、定められた方向へのクラックの発達を卓越させると同時にそれ以外の方向へのクラックの発達を抑えようとする方法がある。これらの方法としては i) 爆破孔のあらかじめクラックを発達させたい方向に切り欠きを設けておく方法、ii) 特殊な形状の爆薬あるいは特殊な爆薬容器を用いる方法、iii) 爆破孔の近辺にクラックを卓越させたい方向に空孔（ガイドホール）を設けておく方法、などが考えられる。これらの方法のうち i) の方法はウォータージェットあるいは特殊なビットを用いる等により可能であるが特殊な装置が必要となる。また ii) の方法には種々の応用が考えられるが、経費あるいは効果の点で疑問がある。しかるに iii) の方法は最近の大型油圧ジャンパーの普及により、比較的容易にかつ正確に穿孔することが可能になりつつあることを考慮する

と、今後多く用いられる可能性のある方法であると思われる。

爆破に際して爆破孔の近くに空孔（以下ガイドホールと称する）を設けておくとその空孔の方向へクラックが成長することはよく知られている。しかしその評価は必ずしも一定ではなく、この点についての検討が必要であると思われる。

そこで本研究ではガイドホールの SB における効果を (1) ガイドホール方向へのクラックの発達およびガイドホール方向以外へのクラック発達の抑制、(2) 同一薬量で爆破したとき、クラックによる連結可能な爆破孔間距離のガイドホールの存在による増大、という 2 点に限定し、模型実験により検討した結果を報告するものである。

### 2. 従来の研究と問題点

SB におけるガイドホールの効果に関しては以前より知られており、実際に利用もされているようである。しかしその効果の程度に関する評価はまちまちであり必ずしも定説をみない。

Langefors<sup>1)</sup>はその著 Rock Blasting 中のガイドホールに関する記述の中で樹脂板を用いた実験結果を示し、ガイドホールが爆破孔に近い位置にある場合にはその方向へクラックを誘発するのに有効であると述べている。また実際の施工においては 0.6~0.8m の爆破孔間隔、30mm の孔径に対して爆破孔からガイドホールまでの距離は 0.1~0.2m が適当であるとしている。山口<sup>2)</sup>はモルタルブロックを 6号電気雷管で爆破する簡単な実験を行ない、ガイドホールに関する検討を行っているが、その結果ガイドホールは爆破孔

\*山口大学工学部土木工学科  
〒755 宇部市常盤台  
TEL 0836-31-5100 内線 255

\*\*日本化薬㈱ 厚狭工場  
〒757 山口県厚狭郡山陽町大字郡 2300  
TEL 08367-2-1234

間の連結を確実化する効果はあるが、爆破孔間距離を大きくする効果はないとしている。また伊藤ら<sup>3)</sup>は爆破孔の近くに存在する空孔周辺からのクラックの発達を爆波衝撃波の伝播にともなう空孔周辺の応力集中から説明し、これをもとにSBの機構そのものに説明を加えている。また勝山ら<sup>4)</sup>はガイドホールからのクラックの発達の抑制の機構をクラックの発生、発達による応力解放波の概念から説明し、さらにアクリル樹脂板を用いた簡単な実験を示している。これらはいずれもガイドホールの効果をそれぞれのレベルで肯定的に示したものである。これらとは別にDallyら<sup>5)</sup>は樹脂板を用いた実験の中でガイドホールのクラック方向制御の効果は必ずしも明らかではなく、時にはたまたまその方向へ進んできたクラックを捕捉し、それ以上の発達を停止させることもあるとする否定的な報告を行っている。

このようにSBにおけるガイドホールの効果の評価はまちまちであり、定性的にすらあまりはっきりしていない状態である。すなわち、これらの従来の研究においてはガイドホールの効果に関する系統的な実験はみられず、いずれも少数の実験例をもとに定性的な解釈を行ったり、あるいは理論的に解釈しようとしたものである。また現場技術者の間でもガイドホールの効果に関してはその効果を肯定する考えも、またそれほど有効でないとする考えもあるようである。

### 3. 実験

前述のようにSBにおけるガイドホールの効果は多く肯定されているが中には否定的な考え方もみられる。したがってガイドホールについて系統的な基礎的実験を行ない、その効果について資料を得ることは有用なことであると思われる。そこで本研究ではSBにおけるガイドホールの効果を前述の2点に限って検討することにし、そのための基礎的実験を行った。

#### 3.1 アクリル板供試体

縦横40×33cm、厚さ1.0cmのアクリル板の中央に爆破孔を設け、その片側あるいは両側に中心間隔が2.0, 3.0, 4.0, 5.0cmとなるようにガイドホールを設けた。孔径はいずれも10.0mmである。爆破に際してアクリル板の上下面に厚さ1.0cmの鋼板を重ねて置いた。これは鋼板に穿孔された径6mmの孔を利用することによって爆薬を爆破孔中心に保ち、また爆破孔外にある爆薬あるいは雷管の影響から供試体を保護するためのものである。同時に爆発生成ガスの瞬間的な流出を防ぎ、クラックの発達にガス圧の効果を含めさせることも若干は期待している。

用いた爆薬は導爆線である。導爆線の外径はおよそ5.2mmであり、心薬にPETNを用い、その薬量は10.7g

/mである。従って本実験の薬量は一孔当り0.107gとなる。起爆には6号電気雷管を用い、保護鋼板の外部で起爆している。爆破後アクリル板に現われたクラックパターンからガイドホールにより指定された方向およびその他の方向へのクラック長を計測した。

#### 3.2 コンクリート供試体

供試体寸法は57.0×27.0×10.5cmである。打設に際して所定の位置に直径約12.5mmの丸棒を埋め込み、数時間後に抜き取ることにより孔を設けた。供試体は打設後1日で脱型し、その後試験まで湿潤状態を保つようにした。材令は4週である。爆破による供試体の破断を防止する目的で供試体の外周に沿って径6mmの丸鋼を□の字型に二重に配した。コンクリートはレディミクストコンクリートにより、最大骨材粒径13mm、スランプ8cm、4週強度350kg/cm<sup>2</sup>を設計値とした。爆薬には取り扱いが容易であり、かつ再現性が良いことからアクリル板供試体の場合と同じ導爆線を用い、起爆は6号電気雷管により供試体の外部で行った。装薬に際して導爆線を爆破孔中心に保持するため、2ヶ所にテープを巻きつけた。導爆線は供試体を貫通しており、薬量は一孔当りPETN約1.12gとなる。

ガイドホール方向へのクラックの発達の実験およびそれ以外の方向へのクラックの抑制効果に関する実験においては供試体中央に爆破孔、その片側あるいは両側にガイドホールを中心間隔が1.25, 2.5, 3.75, 5.0, 7.5, 10.0cmとなるように設けた。爆破により発生したクラックのうち肉眼で認めうる範囲のものをクラックとし、黒色インクでトレースし、写真撮影に供した。

またガイドホールの存在によるクラックの連結可能な爆破孔間距離の変化に関する実験では爆破孔を2孔、そしてガイドホールを両爆破孔の間に1あるいは2孔設けた。爆破孔間距離を20, 25, 30, 35, 40cmと変化させるとき、ガイドホールの存在によりクラックによる連結可能な爆破孔間隔がどのように変化するかを検討した。ガイドホールが1孔の場合にはその位置は両爆破孔のちょうど中間に設けることとしたが、2孔の場合にはその位置の種々の変化が考えられ、両爆破孔をクラックにより連結させるための適切なガイドホール位置に関する検討を行っている。すなわちFig.1のように両爆破孔の間隔 $l$ に対して $b$ の値を種々変化させている。 $l$ の値は20, 25, 30, 35, 40cmであり、 $b$ としては2.5, 5.0, 7.5, 10.0, 12.5, 15.0, 17.5cmと適宜とっている。

#### 4. 実験結果と考察

Photo 1に爆破孔の両側にガイドホールを有するアクリル板供試体の爆破例を示す。写真からみられるよ

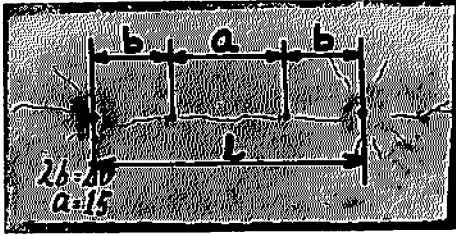


Fig. 1 Blast hole pattern in the concrete specimen with two guide holes

うに爆破孔のまわりには破砕域および面外破損の生じる範囲が存在し、それを越えてクラックが放射状に発達する。実験によると爆破孔とガイドホールとの中心間距離が3.0cmまでは爆破孔とガイドホールとを結ぶクラックが発生し、かつこのクラックはガイドホールを越えてかなり長く伸長する。しかし中心間距離が4.0cmとなるとガイドホール方向に発達したクラックはガイドホールに捕捉される形となり発達を停止する。さらに5.0cmとなるとクラックの発達に関してガイドホールの影響はほとんどみられない。爆破孔の片側

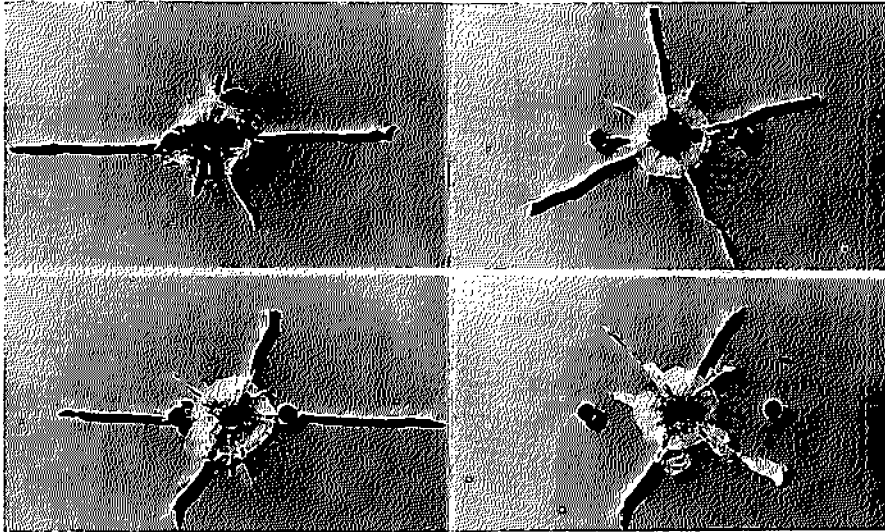


Photo 1 Crack patterns from blast hole with guide holes (Acrylic resin specimen)

のみにガイドホールのある場合にも大きな変化はなく、同様の結果が得られている。実験に用いた供試体数は各条件について2個ずつであるが、全条件について上述の意味での同じ結果が各2個の供試体について得られた。いまこの状況を変えたものがFig.2である。爆破孔からガイドホール方向へ伸びたクラックの長さを両孔の中心間距離に対してとり、両側にガイドホールのある場合には2本のクラックの平均値を表示している。この図からガイドホール方向へのクラックは爆破孔からガイドホールまでの距離に大きく影響されることが明らかであり、また両側にガイドホールのある場合、片側のみにある場合とくらべて30%程度その方向へ伸びるクラック長が大となることが認められた。またある程度以上孔間隔があるとアクリル板の実験からみればDallyらの結論にあるようにガイドホールの効果はないことも認められた。

次にコンクリート供試体において爆破孔の両側にガイドホールがある場合をPhoto 2に示す。この結果を

前述のアクリル板の場合と同様に図にしたものがFig. 3である。実験結果によると片側のみにガイドホールのある場合、爆破孔とガイドホールとの中心間距離5.0cmまでは3個の供試体に対してすべてクラックによる連結が認められたが、7.5cm、10cmとなるとその連結は不確実となった。そして爆破孔の両側にガイドホールのある場合には孔間距離が7.5cmまではクラックによる連結がみられ、10.0cmに対しては3個の内、2個の供試体に対して連結がみられた。

先のPhoto 1によるとアクリル板供試体ではガイドホールにより方向制御されたクラックが発達する場合、その近くでは他の方向のクラックが著しく短かくなっているかのようである。しかしPhoto 2のコンクリート供試体ではその傾向は明らかではない。すなわちアクリル板供試体とはガイドホール以外のクラックの発達に対するガイドホールの影響に差があるかのようである。アクリル板供試体ではガイドホールが有効となる孔間距離は3cmと著しく短い。そしてガ

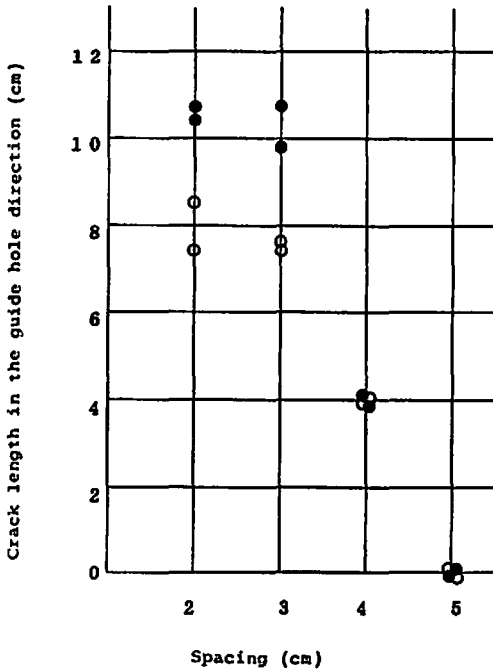


Fig. 2 The crack length in the guide hole direction (Acrylic resin specimen)  
○ : one guide hole ● : two guide holes

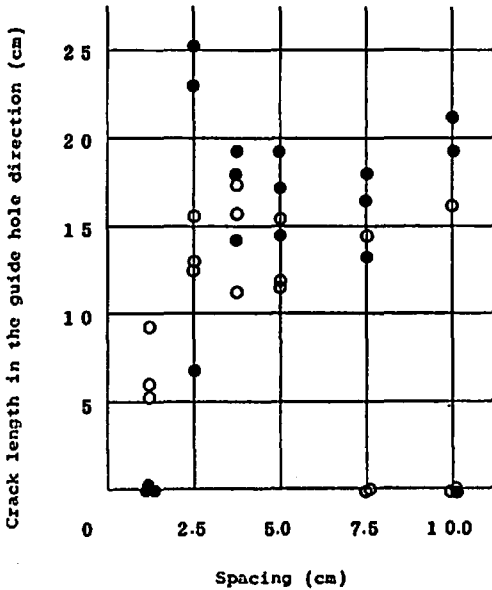


Fig. 3 The crack length in the guide hole direction (concrete specimen) ○ : one guide hole ● : two guide holes

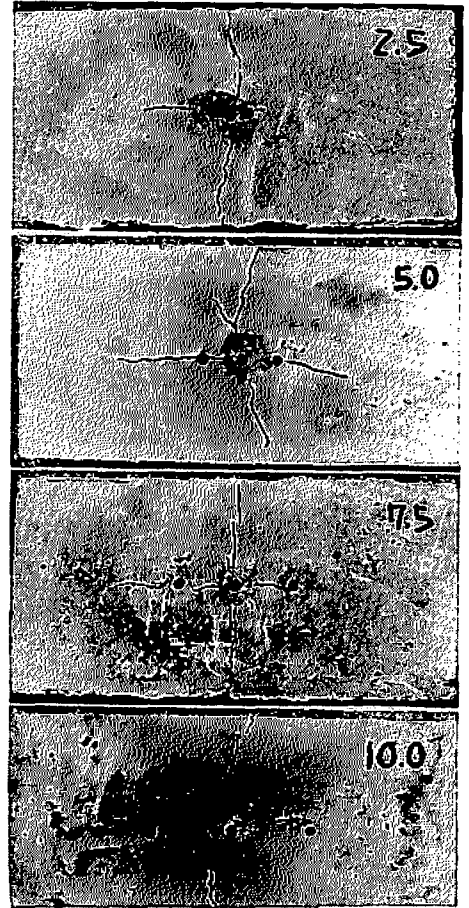


Photo 2 Crack patterns from blast hole with guide holes (Concrete specimen)

イドホールが爆破孔に近く、その方向に長いクラックが発達する場合は他方向へのクラックの抑制は認められるが、孔間距離が増大し、ガイドホール方向への長いクラックが発達しなくなると抑制効果はない。またコンクリート供試体では肉眼で認められるクラックのみを検出したため、爆破孔周辺に発生しているであろう多数の微小なクラックは検出せず、孔から大きく発達したクラックのみを取り出している。この場合供試体の短辺方向が最少抵抗線方向となり、この方向へのクラックが生じやすいこともあって短辺方向のクラックの影響がみられる。

ここで実験結果を定量的に変わすための一つの方法としてガイドホールにより方向制御されたクラック以外の方向のクラックを考える。アクリル板供試体の場合、爆破孔から多数のクラックが発生するのがみられる。しかし大きなクラックはガイドホール方向を含めて通常4方向に発達するようである。そこでガイドホ

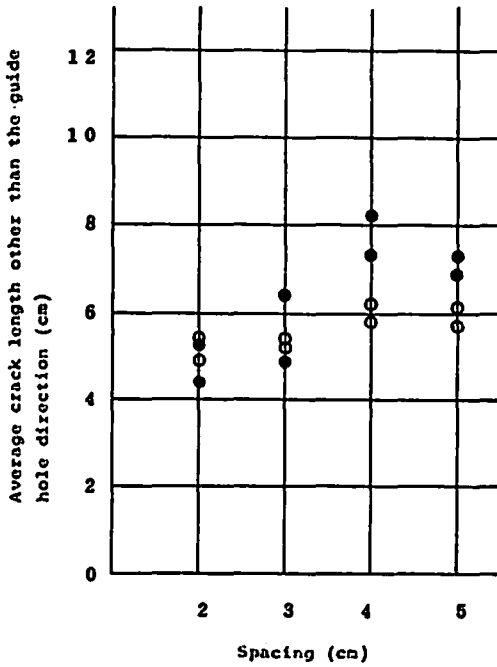


Fig. 4 The average crack length other than the guide hole direction ○ : one guide hole ● : two guide holes

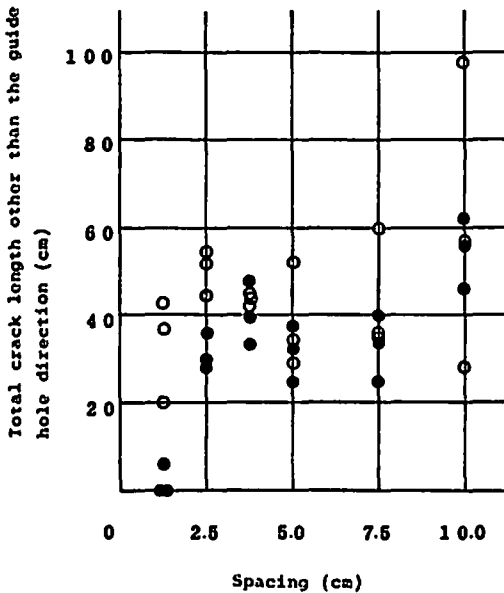


Fig. 5 Total crack length other than the guide hole direction ○ : one guide hole ● : two guide holes

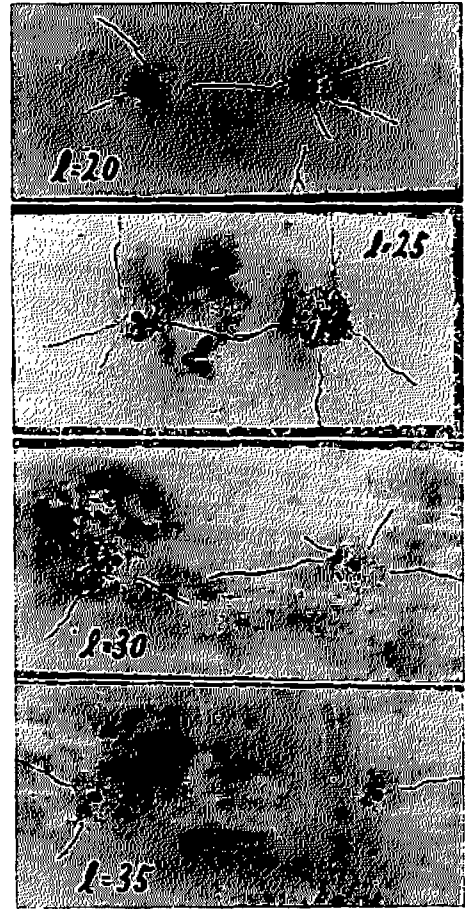


Photo 3 Crack patterns between adjacent blast holes (without guide hole)

ール1個の場合は3本の、ガイドホールが2個の場合は2本のクラックを長い方から順にガイドホール以外の方向にとる。その平均値をそれぞれの供試体について表わしたものがFig. 4である。これによると孔間隔の増加にともない平均クラック長は増加し、ガイドホール方向のクラックの発生によりいくらか他方向のクラック長は抑制される傾向にあるのがみられるが、その程度は大きくない。しかしFig. 2のガイドホール方向のクラック長とくらべるとその値は50~60%程度であり両者の差は著しい。

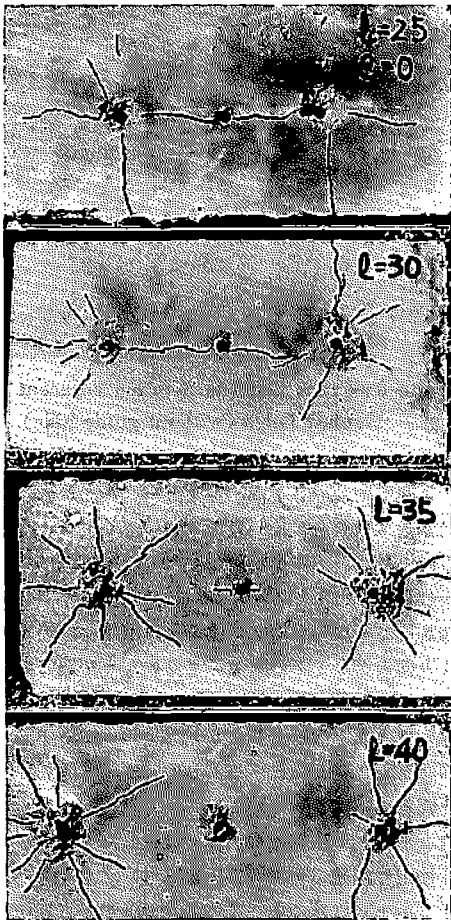
コンクリート供試体の場合、発生したクラックの正確な検出は困難であるので検出されたクラックのうち、ガイドホール以外のすべてのクラックの長さの総和をとり Fig. 5に示すが特に顕著な結果は得られていない。SBにおいて重要なのは爆破孔のすぐ近くに発生する短いクラックではなく、大きく成長する数本のクラックの抑制である。本実験の結果によればガ

**Table 1 Crack formation connecting the adjacent blast holes (without guide hole)**

<i>l</i>	20	25	30	35	40
	○○○○	○○○	△△××	××××	××

**Table 2 Crack formation connecting the adjacent blast holes (with one guide hole)**

<i>l</i>	20	25	30	35	40
	○○○	○○○	○○○○ ○○	△△××	××××
				××	××



**Photo 4 Crack patterns between adjacent blast holes (with one guide hole)**

イドホールはその方向へクラックを誘引する効果は大きい、他方向への発達抑制については特に有効であるとするだけの結果は得られていない。

次にガイドホールの存在によりクラック連結が可能となる爆破孔間距離の変化に関する実験結果について検討する。Photo 3にガイドホールを爆破孔間に設けない場合を示す。写真によると爆破孔間の距離が25cmの場合にはクラックによる両爆破孔の連結はみられるが35cmとなると連結はみられない。中間の30cmに対しては写真の供試体では否定的である。これらの状態をすべての供試体についてまとめたものが Table 1である。ここで△印は連結状態であまいものであり、○、×印は明確に連結されたものとされなかったものを示している（以下同じ）。表からみられるように爆破孔間距離25cmでは確実に連結されるが、30cmとなると4個のうち2個の供試体では全く連結されず、他の2個は連結状態があまいである。また35cmとなると連結は期待できない。このことからこの実験結果での孔間の連結は25cmまでとすることができよう。

2個の爆破孔の中間位置に同径のガイドホールを1個設けた場合の例が Photo 4であり、結果を表にしたものが Table 2である。これによると爆破孔間隔30cmに対しては完全な連結が期待できるが、40cmでは全く連結せず、35cmに対して時にあまいな連結状態となるのがみられる。このことからガイドホールを爆破孔間の中央に設ける場合にはガイドホールのない場合の連結限度が25cmであったものが30cmへと増大することが認められる。

爆破孔間にガイドホールを2個設ける場合、爆破孔間隔を一定に、かつ両爆破孔に対するガイドホールの位置を対称にしたとしても Fig. 1における a, b のとり

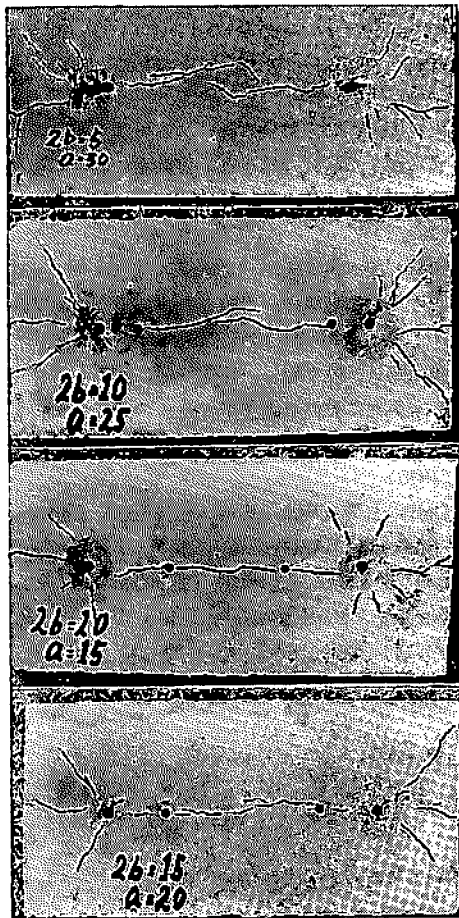


Photo 5 Crack patterns between adjacent blast holes (with two guide holes)

方に種々の変化が考えられる。a, bのいくつかの値に対する実験例がPhoto 5であり、それらの結果をまとめたものがTable3である。変からみられるように爆破孔間隔が30cmまでは2個のガイドホール位置にかかわらず爆破孔間のクラックによる連結は期待できる。しかし間隔が35cm, 40cmとなるとこの状況は変化する。すなわちbが小さい場合、ガイドホールに誘引されたクラックはその方向に大きく伸び、両爆破孔を連結するのに必要なだけの長さ発達するが、発達する間に両爆破孔を結ぶ面から外れ、両爆破孔の連結はあいまいとなり、連結が実現しないことも多い。また連結はみられても平滑度の低下する可能性がある。これに対してbが大きい場合には前のガイドホール1個の場合とよく似た状態となり、爆破孔の中央近くにおいて応力集中を生じ、クラックを誘引し、平滑な壁面により連結を確実にする効果は大きい。l=40cmとなると爆破孔とガイドホールとの距離が増大し、連結は期待できない。bの値が7.5cm程度の場合に本実験に関して最も有効に爆破孔間の連結が生じるようである。この間隔は本実験の限りでは爆破孔からの衝撃波によりクラックがガイドホールを越えて発達し、かつクラックを制御するガイドホールの間隔が大きすぎないという条件を与えるものと考えられる。また爆破孔間の連結距離については2個のガイドホールを設けることによりl=35cm まではガイドホールの位置にかからず連結が期待され、適当な配置(ここでは b=5.0~7.5 cm)を選ぶことによりその状況は確実になると思われる。この値はLangeforsらが実際の施工において適当として与えた0.6~0.8mの爆破孔間隔に対して0.1~0.2mのガイドホールと爆破孔との間隔という値と

Table 3 Crack formation connecting the adjacent blast holes (with two guide holes)

$b \setminus l$	20	25	30	35	40
2.5	○○○	○○○	○○○	○△△	△△×
5.0	○○○	○○○	○○○○ ○	○○○○ △	△△△×
7.5	○○○	○○○○ ○	○○○○ ○	○○○○ △	○△△△ ×
10.0		○○○	○○○○ ○○	○○○○ △	××××
12.5			○○○	○○○	××××
15.0				○○×	××
17.5					×××

同様な割合にある。

以上のようにガイドホールを有さない場合とくらべてガイドホールの存在により連結可能な爆破孔間距離の増大は明らかであり、1個のガイドホールに対しておよそ20%、2個に対しておよそ40%程度の増加をみている。

このように同一の薬量に対して爆破孔間隔を増大させることが可能になるということは、爆破孔間隔を増大させない場合には薬量を減じたり、あるいはガイドホールの存在により爆破孔間の連結を確実にする程度が高くなることを意味する。またこの場合爆破孔をつなぐクラックはガイドホールを通ることになり、最終壁面の平滑化に著しく貢献することになる。

#### 5. 謝 辞

末筆ながら本研究を行うにおいて多数の方々のご援助を受けたことに謝意を表す。中でも実験に便宜をお計りいただいた日本化薬厚狭工場長石井旭氏、終始実験を手伝っていただいた荒木又一氏、そして実験に協力いただいた山口大学、徳山高専の教職員、学生の諸氏に心から感謝する。

#### 文 献

- 1) Langefors, U. and B. Kihlstrom, "The Modern Technique of Rock Blasting" John Wiley, New York, 1979
- 2) 山口梅太郎, 下村弥太郎, "スムーズブラस्टィングに関する研究(第1報) 実験室における模型実験" 工業火薬協会誌, Vol. 28, No. 6, pp. 29~37, (1967)
- 3) 伊藤一郎, 佐々宏一, "スムーズブラस्टィングにおける破壊機構の一考察" 日本鉱業会誌, Vol. 84, No. 964, pp. 1059~1065 (1968)
- 4) 勝山邦久, 佐々宏一, 伊藤一郎, "スムーズブラस्टィングにおけるガイドホールの効果について" 日本鉱業会誌, Vol. 86, No. 984, pp. 195~200 (1970)
- 5) Dally, J. W., W. L. Fourney and A. Ladegaard-Peterson, "A Dynamic Photoelastic Evaluation of Some Current Practices in Smooth Blasting" Mining Engineering, Vol. 30, No. 2, pp. 184~189 (1978)

---

### Model Study of the Guide Hole Effect on Smooth Blasting

by Koji NAKAGAWA\*, Takeshi SAKAMOTO\*\*  
and Ryoosuke YOSHIKAI\*

This paper describes a series of experiments to show the effects of guide hole on smooth blasting.

Acrylic resin plates and concrete block specimens were blasted with detonating fuse. Fracture control was achieved by guide holes opened near the blast holes. When the guide hole was close to the blast hole, the cracks from the blast hole were dominant in guide hole direction. However, especially in acrylic specimen, the guide hole effect on crack propagation decreased with the distance rapidly.

Another experiment in order to get the limit spacing between the blast holes which can join together with blast cracks was conducted with concrete block specimens. A remarkable increase of spacing was shown by opening guide holes between the blast holes.

(\*Yamaguchi University, Tokiwadai, Ube

\*\*Nippon Kayaku Co., Ltd., Chiyodaku, Tokyo)