

(53) SBにおける切り欠き、ガイドホールの作用効果について

山口大学 中川浩二
清水建設 小野勇司

日本化学 西田 佑
山口大学 舟屋俊宏

1. はじめに.

スムーズブラスティング(以下SBと略)は地山とできるだけゆるめなけり同時にできるだけ掘削予定面に近い爆破断面を作製することを目座にして実施される。一般に掘削される岩盤が節理等の少ない場合には特に工夫を加えなくとも爆破断面は爆破孔を連ねたのみならずな状態となる。しかし岩盤が錯綜な節理等を含む場合にはSBの効果は一般に十分とはいえないものになりがちである。そこでSBを成功させるための方法として爆破孔に切り欠きをつけたり爆破孔位置あるいは爆破孔面にガイドホールと設ける方法が以前より行われてきているがその効果については十分に明らかにされているとはいえない。本研究はこの点と明らかにするために行ったいくつかの試験結果について報告するものとする。

2. 節理等を含む岩盤のSBとUnevenness.

図-1に示すような不連続面を有する岩盤を図のように穿れ、爆破するとする。そのとき不連続面の持つ不連続性の程度が低く(ほぼ均質な岩盤とみなせる場合には)破断面の形状は一般に図-1aのようになる。しかし不連続性の程度が高い場合には個々の爆破孔からのクラックはそれぞれ独立に不連続面に向って発達し、破断面の形成は図-1bあるいは図-1cのようになる。この場合破断面の形成が図-1bの形となるか図-1cの形となるかは爆破孔から不連続面までの距離、垂量、垂座、不連続面の持つ不連続性の程度などの影響を受ける。いまSBの効果を評価するための一つの方法としてUnevenness(破断面の非平直度; 破削予定面から実破断面までの距離の最大値)を考える。図-1bのように各爆破孔から不連続面へ垂量はクラックが発達して破断面が形成されたとし、これを図-2のように理想化する。その場合破断面のUnevennessはこの爆破孔面において

$$\left. \begin{aligned} \text{当り: } u_1 &= d_1 \cos \theta = S_1 \cos \theta \cdot \sin \theta \\ \text{余弦: } u_2 &= d_2 \cos \theta = S_2 \cos \theta \cdot \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

と表わされる。仮に $S_1 = S_2 = S/2$ (S は孔間隔)とすると余弦 u_1 と当り者々の値は等しくそれぞれ孔間隔に比例することになる。これにくらべて垂量が多いあるいは爆破孔位置が不連続面に近いなどの理由により破断面の形成が図-1cのようになる場合には u_1 は(1)式の値より小さく0に近くなり u_2 は大きくなる(破断面は最も地山側のクラックで与えられる)。垂量と一定とし破断面の形成が図-1bと図-1cの限界となる孔間隔と S_0 とし、予測されるUnevennessを孔間隔に対して図示すると図-3の斜線部となる(Unevennessは符号を含めると

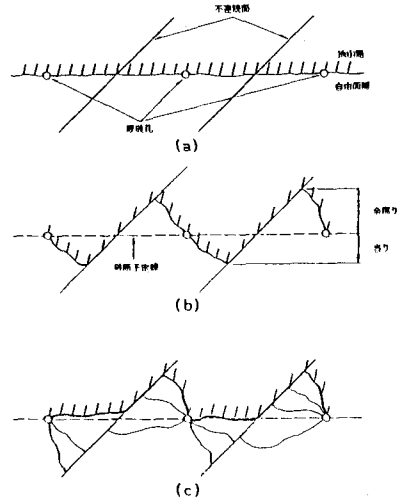


図-1. 不連続面を有する岩盤の爆破断面.

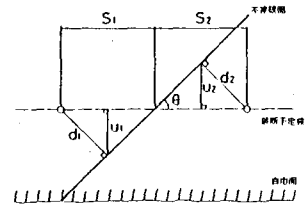


図-2. 不連続面破削予定面、爆破孔の関係.

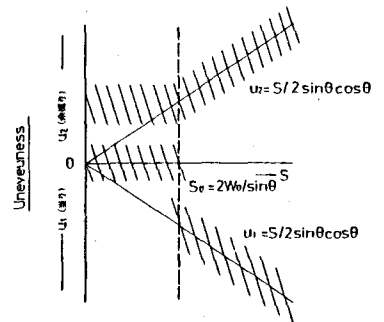


図-3. 予測されるUnevenness

表-1. 実験条件一覧

番号	被破砕材料	爆薬 (破砕薬)	供試体寸法 (cm)	不連続 面	爆破孔径 (mm)※	孔当り薬量
No. 1	アクリル樹脂	導爆線 (PETN)	33×40×1.0	ナシ	(1) 12.0 (2) 10.0	導爆線貫通
No. 2	コンクリート	導爆線 (PETN)	27×57×10.5	アリ	(1) 15.0 (a) (2) 12.5 (b)	導爆線貫通
No. 3	セメントモルタル	導爆線 (PETN)	27×57×10.5	アリ	(1) 15.0 (c) (2) 12.5 (d)	導爆線貫通
No. 4	セメントモルタル	コンクリート 破砕器	27×57×20	アリ	(1) 15.0 (e) (2) 12.5 (f)	点火器具 1 本 破砕器 1 g
No. 5	セメントモルタル	静的破砕剤	27×57×20	アリ	(1) 15.0 (g) (2) 12.5 (h)	破砕剤 スラ リー 充填

※ (1) 切り欠き試験用供試体 (2) ガイドホール用供試体

余振りと正、当りと負とする)。SBのにめの切り欠き、ガイドホールの効果とはどこをクラックと判断しようとする方向にクラックと発生させ、特に破断予定面より比山側には破壊の発生を抑制する効果のことである。従ってこの検討は孔間隔の大きい状態を余振り、当りとどれだけ〇に近づけうるかを検討することになる。

3. 実験

SBにおける切り欠き、ガイドホールの効果と検討するために原則として図2の状態をモデル化した爆砕実験を行うこととし、岩盤、爆薬に相当する材料を変化させている。その一覧を表-1に示す。No.2, No.3 の爆砕において両爆破孔の起爆は同時となるようにしている。またNo.4 において孔径は供試体厚さ20cmに対して15cmであり、5cm長さのモルタルによるタンピングを行っている。コンクリートには設計4週強度350kg/cm²のレディミクストコンクリート(最大骨材寸法20mm)、セメントモルタルには配合比C:S=1:1のレディミクストモルタルを用いており試験時温度はいずれも約10度である。

4. 実験結果と考察

写真1に厚さ1cmのアクリル板と導爆線を爆砕した場合の例を示す。この写真に示されるようにこの実験におけるクラック判断に対する切り欠きの効果は顕著である。切り欠き幅や深さの影響は若干厚さが増える方が切り欠き方向へのクラックの発生は著しくそれ以外の方向のクラックは短くなる。しかしガイドホールと両側の場合ガイドホールが爆破孔に近い場合には顕著な斜断効果が見られるが、ガイドホールと爆破孔との距離がある程度より大きくなると(本実験では約4cm)爆砕クラックはガイドホールに無関係に発生するものとなる。しかしアクリル板の強度特性は岩盤のそれと著しく異なるため比較的脆性の岩盤に近しいモルタルあるいはコンクリートをモデル材料として行った実験の結果が厚さである。写真2ではすべて孔間隔と25cmとするものについてのみ示しており、それ以外の爆破(破砕)条件は写真の説明および表-1に示すとおりである。これらの条件で形成される破断面のUnevennessと先の図3に述べた図示したものが図4である。以下写真2および図3の符号に従って検討を加える。

- (1): 不連続面のない均質な供試体と導爆線を同時起爆した場合より爆砕破断面は両爆破孔をほぼ直線状に結ぶこととなる。その結果Unevennessは孔間隔の増加とともに若干増加するが条件として小さい。
- (2): 先の状態において破断予定面と45°を交する不連続面が存在すると図3に示されたような斜断破断面が形成される。その結果孔間隔が20cm以上では爆破孔から不連続面に垂直なクラックのみ発生するようであり(1)式で予測される値とよく一致することになる。破断面のUnevennessは当り、余振りとともに著しく大きくなり、なめらかな破断面を作るというSBの目的に反する。この余振りあるいは当りを小さくするために切り欠き、ガイドホールと図1に結果が以下の通りである。
- (3) モデル材料とコンクリートとし、導爆線と爆砕して切り欠き効果を検討した場合である。クラックは切り欠き先端から発生するものとなるが必ずしも切り欠きを延長した方向へ発生するとは限らず、切り欠き先端あるいは爆破孔から直接不連続面へ向け発生する場合も多い。その結果孔間隔が短いときには当りを小さくする

効果はあるが孔間隔の増加とともに効果は低下する。

(b) 同じ条件でガイドホールの効果を検討している。爆破孔とガイドホールと連ねる方向に顕著なクラックが発生する。そのために当りはほとんど生じない。しかしガイドホール方向とは別に不連続面に垂直な方向にもクラックは発生するため余振りの減少はとれほど顕著とはいえない。

(c) セメントモルタルと導爆線と爆破し切り欠き効果を検討している。クラックの発生状態はコンクリートの場合とよく似て傾向にある。

(d) セメントモルタルと導爆線と爆破しガイドホールの効果を検討している。(c)と同様にガイドホール方向のクラックは顕著となる。

(e) セメントモルタルとコンクリート破砕器(商品名SLB)を爆破し切り欠きの効果を検討している。コンクリート破砕器の速度は数 m/sec であり衝撃波は発生しない。その結果クラックの発生方向はほぼ完全に切り欠き方向により制御される。クラック発生過程をいくらか不連続面の影響を受けるため全体として必ずしも余振りあるいは当りが生じる。この場合切り欠き先端からのクラックの発生により装薬孔内の圧力が解放されるため発生するクラックは切り欠き方向にのみ限定されることが多く、余振りもほとんど生じない。

(f) セメントモルタルとコンクリート破砕器と破砕し、ガイドホールの効果を検討する。このシリーズの実験では爆破孔とガイドホールとの孔間隔を 4cm としているが多くの供試体においてガイドホールがクラックの方向制御に効果をもたらしたと認められる。また切り欠きを有する装薬孔の場合とくらべてクラックの発生すなわちガス圧の解放に対する抵抗が大きいためタンピング方向がエネルギー解放方向となりいくつかの供試体で全脱状態となつて破砕が成りし

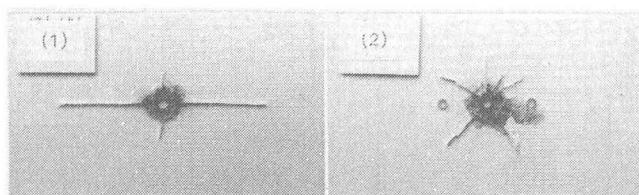


写真-1 アクリル板と導爆線の爆破 (1)と切欠き (2)ガイドホール

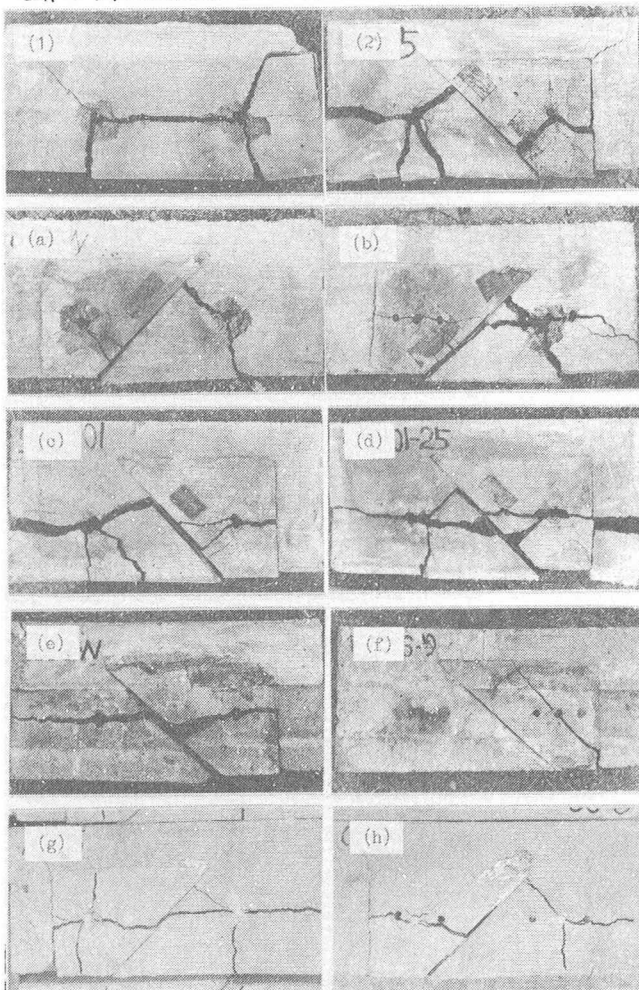


写真-2 コンクリートモルタルの破砕と破砕面の形成

- | | |
|------------------------|---------------------------|
| (1) モルタル+導爆線、不連続面なし | (2) モルタル+導爆線、不連続面あり |
| (3) コンクリート+導爆線、切欠き | (4) コンクリート+導爆線、ガイドホール |
| (5) モルタル+導爆線、切欠き | (6) モルタル+導爆線、ガイドホール |
| (7) モルタル+コンクリート破砕器、切欠き | (8) モルタル+コンクリート破砕器、ガイドホール |
| (9) モルタル+静的破砕剤、切欠き | (10) モルタル+静的破砕剤、ガイドホール |

てはいない。

(3) モルタルと静的破砕剤と破砕レリタき効果を検討する。クラック発生方向の制御に対する切り欠きの効果は顕著である。しかしそれは固定圧載荷のため一方へのクラックの発生があつてもそれは完全には抑制されない。そのため切り欠き方向以外へのクラックの発生もみられ余張りが大きくなることがある。

(4) モルタルと静的破砕剤と破砕レガイドボールの効果を検討する。破砕剤充てんれから発生するクラックは必ずしもガイドボールと通らない。発生するクラックはこの実験に拘しては必ずしも直線状ではなく方向も不連続面に支配されるとはいへない。その結果生じる余張り、当りとも明らかな傾向は認められない。

以上の結果をBにおける切り欠きガイドボールの効果について次のことが結論としよう。すなわち

(1) 爆薬の直り爆薬と爆破する場合、クラックの発生方向の制御における切り欠き効果は認められる。しかし切り欠き方向のクラックの発生がそれ以外のクラックの発生とくらべて特に著しいということはない。これにくらべてガイドボールはその方向のクラックの発生と特に著しくさせる。その結果切り欠きとくらべてガイドボールのクラック制御効果が顕著に認められまたSB効果も大きい。

(2) 爆薬(燃速)の直り爆薬を用いる場合剪断面の発生がないか又は小さいためガイドボール固定からのクラックの発生が困難である。そのためガイドボール固定のクラックが爆薬からのクラックと誘引する効果が生じない。従つてガイドボールによるクラック制御効果はほとんど認められない。しかもに切り欠きはその先端に応力集中を生じその方向へのクラック発生を生じさせるためクラック制御効果は大きく従つてSB効果は大きい。

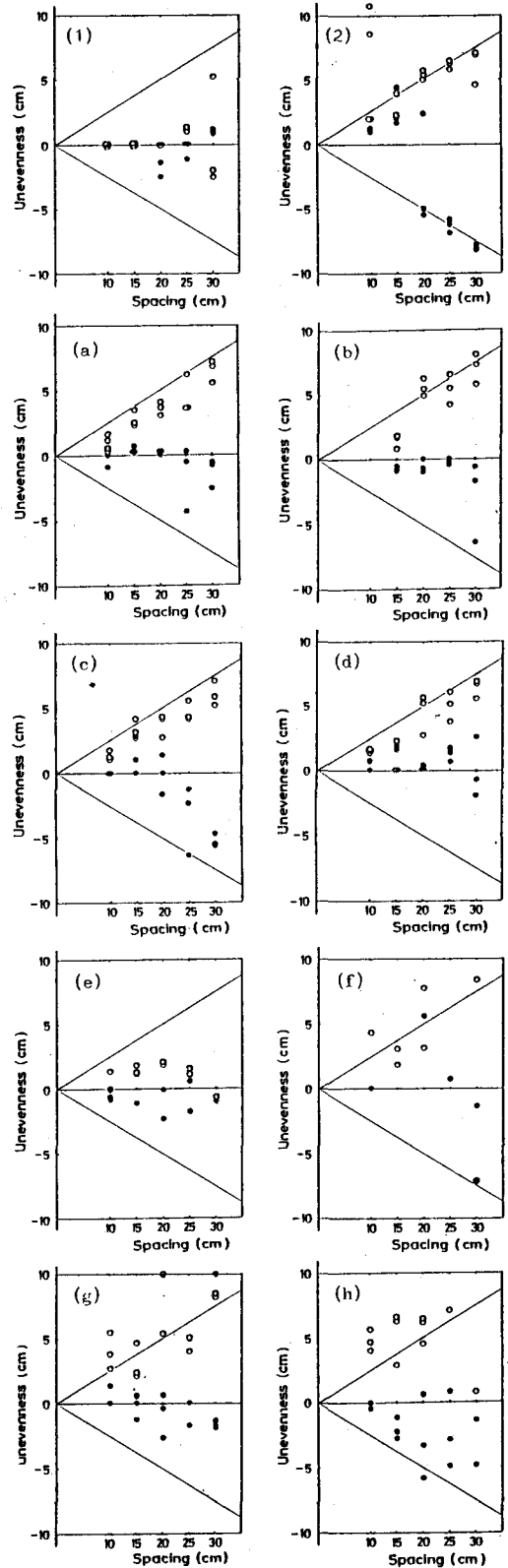


図-4. 示条件における破断面のUnevenness

- (1) モルタル+導爆線、静電起電 (2) モルタル+導爆線、不連続面あり
 (a) コンクリート+導爆線、切り欠き (b) コンクリート+導爆線、ガイドボール
 (c) モルタル+導爆線、切り欠き (d) モルタル+導爆線、ガイドボール
 (e) モルタル+コンクリート破砕剤 (f) モルタル+コンクリート破砕剤
 切り欠き ガイドボール
 (g) モルタル+静的破砕剤 (h) モルタル+静的破砕剤
 切り欠き ガイドボール

- (53) The mechanisms and effects of notched blast hole technique and guide hole technique on the smooth blasting contour formation.

by K. Nakagawa
T. Nishida
Y. Ono
T. Moriya

Underground drill and blast excavation is usually accomplished with small diameter holes loaded with high energy explosives. This causes several undesirable effects as overbreak at the perimeter and damage to or loosening of the remaining rock at the perimeter.

Modified drilling techniques, notched blast hole technique and guide hole technique, are sometimes employed in smooth blasting to minimize these effects. Model blast tests were conducted in order to simulate the propagation of cracks from the blast holes with notch or with guide hole. Through the tests, the following conclusions are summarized.

1. When the blast hole is blasted with high explosive, a lot of cracks propagate from the hole. The crack initiated from the notch tip is not extremely long comparing with other cracks.
2. By the blasting with high explosive, the shock wave creates cracks from the guide hole when it passes through the hole. This crack connects with the crack from the blast hole and they form a part of the blast contour along the expected line.
3. When the blast hole is blasted with low explosive, the shock wave level is not sufficient to create cracks from the guide hole. Then the guide hole is of no use in the blast contour formation.
4. When a notched blast hole is blasted with low explosive, only the crack from the notch tip may initiate from the blast hole. The blast contour is formed along the expected line.