

孔壁に設けられた切り欠きによる爆破クラック の制御とその SB 効果

BLAST CRACK CONTROL AND SMOOTH BLASTING USING NOTCHED BLAST HOLE TECHNIQUE

中川 浩二*・西田 佑**・小野 勇司***・川上 純****
By Koji NAKAGAWA, Tasuku NISHIDA, Yuji ONO
and Jun KAWAKAMI

Tunnel blasting causes several undesirable effects, for example, overbreak at the perimeter and damage to or loosening of the remaining rock at the perimeter. Notched blast hole technique is sometimes employed in order to minimize these undesirable effects.

Model blast tests were conducted in order to simulate the propagation of blast cracks from the notched holes. Through the tests, the following conclusions were summarized.

- (1) Notching of blast holes can initiate blast cracks from the notch tips.
- (2) The fracture plane from the notch tip is rough when the hole is loaded with high explosive detonation. It is smooth when the hole is loaded with low explosive combustion gas pressure.
- (3) When the notched holes are used as perimeter blast holes, underbreak can be reduced remarkably.

1. 緒 言

NATM におけるトンネル支保の考え方の特徴として周囲の岩盤の強度を最大限に利用することが挙げられ、そのためには発破の段階で岩盤がもともと有している強度をできるだけ損なわないようにすることが望ましい。一方 NATM の採算性が悪化していることが問題にされているが^{1),2)}、その原因の1つとして発破による余掘りが挙げられることが多い。周囲の岩盤をできるだけ緩めず、なめらかな地山掘削面を作ることにより不必要な地山応力の集中を防止し、さらに余掘りを小さくするための発破工法としてスムーヅブラスティング (以下 SB と略) が提案されている³⁾。

孔間を爆破クラックでなめらかにつなぎ、かつ地山の損傷をできるだけ小さくするためのいくつかの SB 技術

の中で、SB 孔壁の破断予定方向に切り欠きを設け、爆破によるクラックの方向を制御する手法がある。この切り欠きを設けて爆破クラックの発生、発達を制御する方法は以前から知られている⁴⁾。またその制御の可能性については破壊力学的な立場からの説明も行われている⁵⁾が実験的な裏付けはみられないようである。

この方法は過去においては爆破孔壁に切り欠きをつける技術に実用上の問題があった。しかし、近年、water jet 技術等の著しい発達により切り欠き作製も困難でなくなり、トンネル掘削における現場実験の報告もみられる^{6),7)}。

以上のことを考慮すると現状においては切り欠きを設けた爆破孔からのクラックの発生、発達のみならず、その SB への適用に関する基礎的研究の不足が感じられる。そこで、本研究においてはまず爆破孔に切り欠きを設けることによる爆破クラックの方向制御や薬量の低減効果、そしてクラックの性状などについてモデル実験により検討した。続いて、切り欠きを設けた爆破孔を用いて不連続面を含む岩盤モデルの SB 実験を行い、その SB 効果を検討した。

* 正会員 工博 山口大学教授 工学部建設工学科
(〒755/山口県宇部市常盤台 2557)

** 正会員 日本化薬 火薬事業部

*** 正会員 清水建設ロックエンジニアリング部

**** 正会員 大成建設技術研究所地盤研究室

2. 孔壁に設けられた切り欠きからの爆破クラック

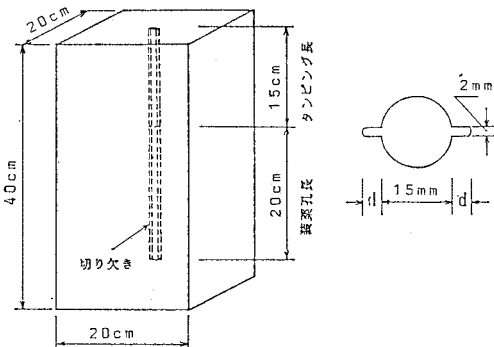
まず最初に孔壁に設けられた切り欠きからの爆破クラックについて検討した。ここでは発生するクラックの方向制御のみならず、切り欠きを設けることによる薬量の低減効果、さらには切り欠き先端から発生するクラックの性状についての検討も行っている。

(1) 実験

セメントモルタル供試体を用いた爆破実験により、爆破クラックの発生位置、方向に対する切り欠きの効果、切り欠きを有する供試体を破断するのに必要な薬量と破断された供試体の状況を検討した。

供試体は図一1に示すとおり 20×20×40 cm の直方体であり、中央に底部 5 cm を残して（深さ 35 cm）直径 15 mm の爆破孔を設けた。爆破孔に設けた切り欠きの幅は 2 mm であり深さはそれぞれ $d=2$ mm, 4 mm, 8 mm である。さらに比較のために切り欠きを設けない爆破孔をもつ供試体をも作製した。孔および切り欠きは切り欠きに対応する突起を有する丸棒を打設時にモルタル中へ埋め込み、モルタルの半硬化後に抜き取ることによって作製した。また切り欠きの先端は矩形断面の隅角部を丸めたものを用いている。この形状は water jet により穿たれた切り欠きの実際の形状を参考に決定した。爆破実験時のセメントモルタルの強度はおよそ、圧縮強度 43.6 MPa, 圧裂引張強度 2.7 MPa である。

爆破実験は孔中に爆薬等を装填し、孔上部を急結剤で混練したセメントモルタルでタンピングすることにより密閉状態として行っている。タンピング長は 15 cm であり、実装薬孔長は 20 cm となっている。装薬量は供試体の破断が生じる限界の薬量を基準に、この薬量近くでの供試体の挙動を検討することを目的にし、予備実験の結果から表一1に示すとおりとした。



図一1 爆破クラックの制御における切り欠き供試体と切り欠き断面 (d : 切り欠き深さ)

表一1 実験条件と破砕片数 (個)

薬材の種類	雷管 (ED) + 導爆線 (DF)							
	切り欠きなし		切り欠き0.2cm		切り欠き0.4cm		切り欠き0.8cm	
EDのみ	×	×	×	×	×	×	×	×
ED+DF0.5cm	6	6	×	×	×	×	×	×
ED+DF1.0cm	×	×	×	×	×	×	×	×
ED+DF1.5cm	4	2	2	2	2	2	6	6
ED+DF2.0cm	4	6	3	3	3	3	7	7
ED+DF2.5cm	2	6	2	2	2	2	9	9
ED+DF3.0cm	6	7	3	6	4	5	4	5
ED+DF5.0cm	6	9	1	10	7	8	7	9
ED+DF10.0cm	多数	多数	多数	多数	多数	多数	多数	多数
点火具 (点) + コンクリート破砕器 (CB)								
点火具のみ	×	×	×	×	×	×	×	×
点+CB0.2g	×	×	×	×	×	×	×	×
点+CB0.4g	×	×	×	×	×	×	×	×
点+CB0.6g	×	×	×	2	2	2	×	×
点+CB0.8g	×	×	×	2	2	2	2	2
点+CB1.0g	2	2	2	2	2	2	2	2
点+CB2.0g	6	6	3	3	3	4	3	5
点+CB3.0g	6	6	4	4	3	4	3	6
点+CB5.0g	6	7	3	6	4	4	2	4
点+CB7.0g	6	6	4	7	3	4	4	6

×:破断せず

爆薬等としては、6号雷管+導爆線、点火具+コンクリート破砕器の2種類を採用した。6号雷管（以下ED）は起爆薬としてのDDNP、添装薬としてのPETNとTNTよりなっており、およそその威力はPETN換算で0.45g、導爆線（以下DF）の薬量はPETN 10.7g/mである。点火具（以下点）はコンクリート破砕器（以下CB）約1gを含んでいる。両者の爆速（燃速）はそれぞれおよそ7000 m/sと60 m/sであり、爆薬等としての猛度は両極端のものといえる。

(2) 実験結果と検討

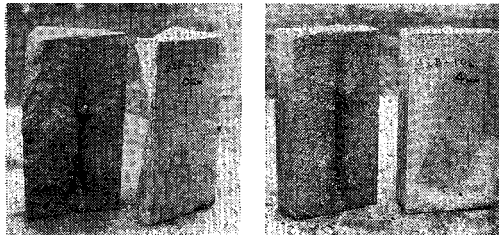
1) 表一1に切り欠き深さと薬量に対し、爆破の結果とそのときに生じた破砕片の数を示している。表中×印は破断しなかった供試体を意味する。表からみられるように破砕状況と薬量の関係についてはかなり明確な関係があり、ある量（ED+DF 1.5 cm および点+CB 1.0 g）以上の薬量では供試体は確実に破断している。

表一1によると破断条件に切り欠きの有無あるいはその深さは特に明確な影響はもたない。したがって供試体が破断するか否かは切り欠きの有無や深さにはかわらず、ほぼ薬量のみで支配されることがわかる。また薬量が増加したとき破砕片数は点+CBの場合と比べてED+DFの場合にはかなり多くなる。これについては後の3), 4)の理由から説明される。

2) 写真一1, 2は切り欠きのある場合とない場合についてそれぞれED+DF（写真一1）と点+CB（写真一2）



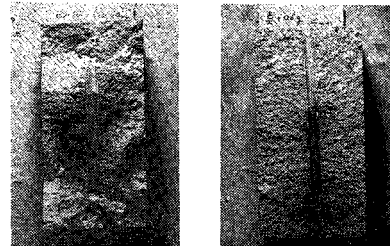
切り欠きなし 切り欠きあり
写真-1 導爆線による爆破 (ED+DF 1.5 cm)



切り欠きなし 切り欠きあり
写真-2 コンクリート破砕器による爆破 (点+CB 1.0 g)

で破断した供試体について最少に近い薬量の場合を示したものである (ED+DF 1.5 cm および点+CB 1.0 g)。ここで切り欠きを有する供試体については切り欠き深さ 4 mm のものを示している。これからみられるように供試体の破断の状況は切り欠きの有無によって明らかな相違を示す。すなわち、写真-1, 2 にみられるように切り欠きを有する供試体ではクラックが切り欠き先端から生じ、供試体はほぼ2つに破断される。これに対して、切り欠きのない供試体では破断面の方向は不定である。この状況は爆薬等の種類にはかかわらない。またこのほぼ破断限界の薬量の点+CB で爆破したとき、爆発音がしてから一呼吸して供試体の破断が生じ、破壊がゆっくり進行する状況がうかがえた。

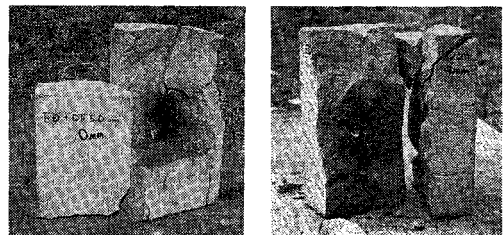
3) 写真-3 にそれぞれの爆薬等で 4 mm 深さの切り欠きをもつ供試体が最少薬量で破断された場合の破断面の状況とその凹凸の状況の比較のために示す。これによると ED+DF を用いる場合、破断面は切り欠き先端を通る平面状とみなせるが面の凹凸は大きい。点+CB を用いた場合、破断面は切り欠き先端を通る凹凸の小さいなめらかな平面状となる。この理由として次のようなことが考えられる。すなわち、ED+DF を用いる場合爆圧は数 μ ~数十 μ s で最高値に達する。爆破孔がこの爆圧により載荷される結果供試体中には衝撃的な応力波が発生する。さらにこの応力波は供試体境界で反射され供試体中には複雑な応力場が生じる。クラックはその発達過程において反射波により分岐が生じたり発達方向が変化する。そのためクラックの発達方向は必ずしも一定しない。一方、点+CB を用いる場合爆圧が最高値に達する



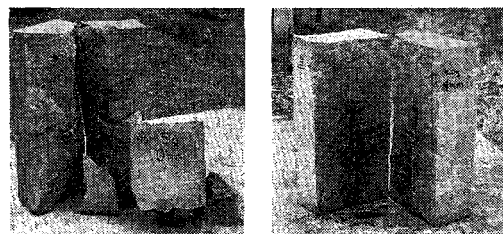
ED+DF による 点+CB による
写真-3 薬種による切り欠き供試体の比較

には ED+DF と比べてはるかに長い時間を必要とし、衝撃的な応力波は発生しない。したがって切り欠き先端の応力拡大係数はゆっくりと増加し、やがてクラックが発生、発達する。そのためクラック先端の動的応力拡大係数 K_D は分岐のために必要とされる値を越えることはなく、また反射波の影響も小さいため安定したクラックの発達がみられる。この点について Fournery⁹⁾ は Plexiglass に穿たれた孔中で推進薬を爆轟 および爆燃させたときの破断面の性状について同様な結果を報告している。

4) 薬量の増加による破断状況の変化を示すため、切り欠き深さを同じにして薬量のみを増加した場合の結果を写真-4, 5 に示す。この場合、先の写真-1, 2 に示したものに對する薬量は ED+DF の場合 PETN 換算にして約 1.6 倍であり、点+CB の場合 CB 換算にして3倍となっている。これらの写真を比較して次のことがいえる。すなわち、ED+DF を用いる場合には薬量の増加により切り欠き先端からのクラックは発生するが、その発達の方向は切り欠きを延長した方向のみとはいえず、



切り欠きなし 切り欠きあり
写真-4 導爆線による爆破 (ED+DF 5.0 cm)



切り欠きなし 切り欠きあり
写真-5 コンクリート破砕器による爆破 (点+CB 5.0 g)

またそれ以外のクラックも著しく発達する。点+CB を用いる場合には薬量がかかなり大きくなってもクラックの制御に関する切り欠き効果は顕著であり、また形成される破断面もなめらかな平面が保持される。

(3) ま と め

爆破孔からのクラック制御に関する切り欠き効果はモデル実験の結果、かなり明らかとなった。要約すると以下のとおりである。

- 1) 爆破孔に設けられた切り欠きは爆破クラックの発生位置および方向の制御に効果はあるが、供試体を破断させるための薬量低減の効果はみられない。
- 2) ED+DF により破断された供試体の破断面の凹凸は大きい。薬量が増加すると切り欠き先端のみならず他の位置からのクラックも発達し、また供試体境界での反射波の影響も大きくなるため切り欠き方向のみ供試体を破断することは困難となる。
- 3) 点+CB により破断された供試体の破断面はなめらかであり、これは薬量が若干増加しても大きな変化はない。
- 4) 切り欠きは爆速の遅い爆薬等との併用で特に効果がある。

3. SB のための切り欠き効果の検討

前章の検討の結果、爆破孔に設けられた切り欠きは爆破クラックの制御にかなり効果があることが認められた。一方実施工の立場からは不連続部を含む岩盤における通常の爆薬を用いた SB において、なめらかな破断面形成のために爆破孔に設けた切り欠きがどの程度効果をもつかを検討することが必要である。そこで本章ではモデル供試体を用いて、不連続面を含む岩盤等における SB 面形成のための切り欠き効果を実験的に検討した。

(1) 節理等を含む岩盤の SB と Unevenness

モデル実験により節理等を含む岩盤の SB 効果を評価する方法については先に筆者らが提案している⁹⁾が、本研究でもこれを用いることにし、簡単に説明する。

すなわち、図-2 に示すような不連続面を有する岩盤を図のように穿孔、爆破するとする。そのとき、不連続面のも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-2 (a) 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かって発達し、破断面の形成が図-2 (b) あるいは図-2 (c) の形をとる。このいずれをとるかは爆破孔から不連続面までの距離、薬量、薬種、不連続面の不連続性の程度な

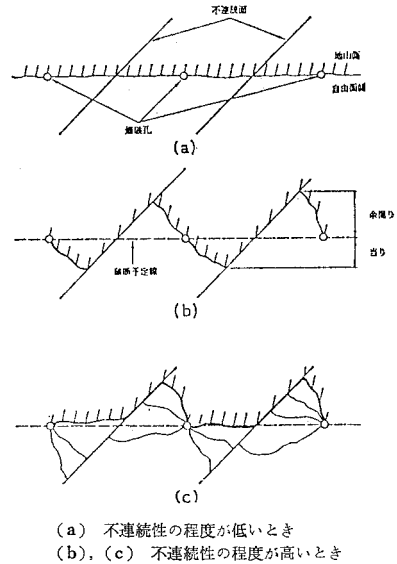


図-2 不連続部を含む岩盤における爆破破断面の形成

どの影響を受ける。

SB の効果を評価するために Unevenness (破断面の非平滑度、破断予定面から実破断面までの距離の最大値) を考える。図-2 (b) のように各爆破孔から不連続面へ垂直なクラックが発達して破断面が形成されたとし、これを図-3 のように表わす。その場合、破断面の当りと余掘りはこの爆破孔間において、

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

で表わされる。いま $S_1 = S_2 = S/2$ (S は孔間隔) とすると当りと余掘りおのおのの値は等しく、孔間隔に比例することとなる。これに比べて薬量が多いか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-2 (c) のようになる場合には u_1 は式 (1) の値より小さくなり、 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)。薬量を一定とし、破断面の形成が図-2 (b) と図-2 (c) の限界となる孔間隔を S_0 として、予測される Unevenness を孔間隔に対して図示すると図-4 の斜線部となる (Unevenness は符号を含めて考え、余掘りを正、当りを負とする)。筆者ら⁹⁾ は先にこれらの考え方を検証するためのモデル実験を行って次の結果を得ている。すなわち薬量、不連続面の条件を同一にして不連続面の近くで単一の爆破孔を爆破する。そのとき孔から不連続面に向かって発達し不連続面に到達するクラックが単一の垂直に近いもののみとなるか、2本以上の放射状となり破壊域を形成するかは孔と不連続面との距離による。いま、この限界となる距離を W_0 とすると前述の S_0 の値は $S_0 = 2 W_0 / \sin \theta$ となる。異なった不連続面の傾きや条件に対しては異なった W_0 、

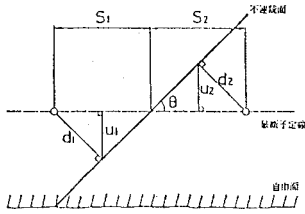


図-3 不連続面と爆破孔との位置関係

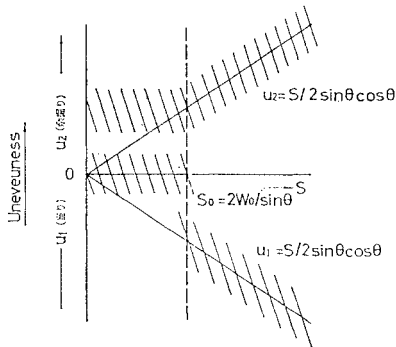


図-4 不連続面の傾き、孔間隔 S に対して予測される Unevenness (斜線部)

したがって S_0 の値が得られるが3つの不連続面に対していくつかの孔間隔で爆破実験を行ったところ前述の考え方はうまく実験結果を説明しており、とりわけ不連続面の不連続性の程度の高い場合に不連続面の傾きにかかわらず予測値と実験結果との一致は顕著であった。

以上のことより、SBのための切り欠き効果とは切り欠きにより破断予定方向にクラックを発達させ、特に破断予定面より地山側には破壊の発達を抑制する効果のことであるといえる。したがって本章の目的は図-4において切り欠きを設けることにより孔間隔の大きい状態で余掘り、当りをどれだけ0に近づけ得るかを検討することになる。

(2) 実験

SBにおける切り欠き効果を検討するために図-3の状態をモデル化したセメントモルタル供試体の爆破実験を行った。用いた供試体は図-5に示すとおりであり、用いた材料の強度等は前章の実験とほぼ同様である。

供試体の作製に際してまず中央部の台形部分を打設、作製する。その後台形部分を形枠中に固定した状態でその周囲の部分の打設する。打設に際して、不連続面を指定した位置に厚さ0.3mmのビニールシートを埋め込む。不連続面の破断予定面に対する傾きは Unevenness に不連続面の影響が最も大きくなる45°をとっている。採用した爆破孔間隔は10, 15, 20, 25, 30cmである。また爆破により供試体が分離飛散するのを防ぐ目的で供試

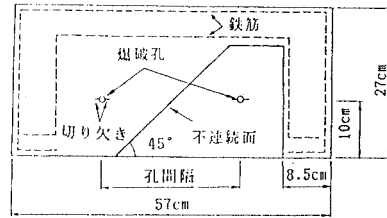


図-5 不連続面を含む岩盤の切り欠き孔によるSBモデル供試体

体中図-5に示すように6mm丸鋼を2段、2重に配している。

爆薬等としては通常のSB用爆薬と比べて強力であるが取り扱いの容易さから前と同じく導爆線(DF)を用いている。また今後のSBの1つの可能性検討のためにコンクリート破砕器(CB)についても検討を行った。ただし、DFを用いる場合には破断面の凹凸をより正確に評価する目的からDFが供試体を貫通した二次元状態で実験を行い、供試体外で起爆している。このため実質的な爆破に雷管は寄与しておらず、用いた爆薬はPETNのみとなっている。この場合、供試体厚さは10.5cmであり、したがって薬量は孔当たり1.12gとなる。またCBを用いる場合には装薬部を密閉する必要上供試体厚さは20cmとし、孔深さは15cmとして上部5cmをセメントモルタルでタンピングしている。用いた薬量は孔当たり、点+CB 1.0gである。

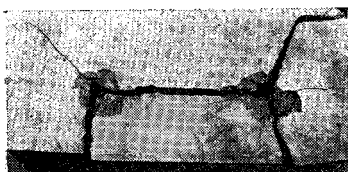
用いた標準の孔径は15mmである。したがって、ここで用いた薬室内の薬量を前章の供試体の破断に必要であった最小薬量と比較するとDFでPETN換算にして約3.7倍、CBで2倍となっている(DFの場合前章では密閉状態であったのに対して本章では孔の両端が開放状態となっているので直接比較はできないが参考のため)。切り欠き幅は前章と同じ2mmとし、深さを4mmおよび8mmとしている。用いた供試体の条件の一覧を表-2に示す。

爆破後供試体表面に発生、発達したクラックを検出した。爆破により供試体中に発生、発達するクラックには種々のレベル(幅)のものがあるが、ここでは肉眼で検出できるもののみを取り上げることとした。検出されたクラックを黒色インクでトレースし、写真撮影ならびに

表-2 SBモデル実験条件

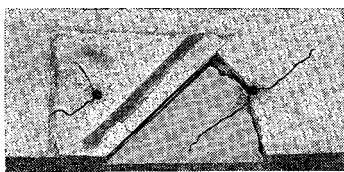
実験条件	図、表、番号	不連続面	切り欠き(深さ)	孔径(mm)	装薬等
I)	G-(a)	なし	なし	15	DF
II)	G-(b)	あり	なし	15	DF
III)	G-(c)	あり	4mm	15	DF
IV)	G-(d)	あり	8mm	15	DF
V)	G-(c)	あり	4mm	15	点+CB

不連続面：なし 孔径：15 mm
切り欠き：なし 爆薬等：導爆線



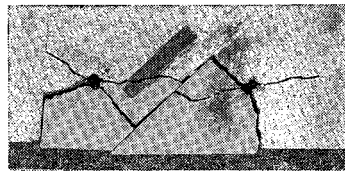
(a)

不連続面：あり 孔径：15 mm
切り欠き：なし 爆薬等：導爆線



(b)

不連続面：あり 孔径：15 mm
切り欠き深さ：4 mm 爆薬等：導爆線



(c)

計測に供した。

(3) 実験結果と考察

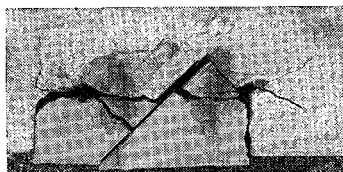
1) 写真—6 (a) に不連続面を含まない供試体の孔間隔 25 cm のものを爆破例として示す。この場合には Unevenness は孔間をつなぐ実破断面の凹凸の中で最も地山側および最も自由面側にあるものの破断予定面からの距離をとりそれぞれ○および×で図—6 (a) に示している。この図から不連続面を含まない場合には孔に切り欠きがなくとも孔間は直線状に近いクラックで連結されることが認められる。すなわち Unevenness は孔間の長い場合を除いて 0 に近くなる。このことは一枚岩といわれるような岩盤においてはしばしば良好な SB 結果が得られることと対応している。

2) 写真—6 (b)～(e) には表—2 に示した実験条件のⅡ～Ⅴについて孔間隔 25 cm のものについての例を示している。破断面は左右それぞれの爆破孔から発達した最も地山側のクラックにより形成される。このことから、これらが不連続面と交わる点の破断予定面からの距離を Unevenness として符号を含めてとる。これらの値を対応する実験条件ごとに爆破孔間隔に対して示したものが図—6 (b)～(e) である。ただしここでは左側爆破孔から出たクラックによる Unevenness を×、右側爆破孔から出たクラックによる Unevenness を○で表わしている。また図には前述の式 (1) で与えられる Unevenness を実線で表わしている。

3) 写真—6 (b) および図—6 (b) は切り欠きを設けない孔をもつ供試体を爆破した場合である。ここで実験条件の比較的近い前報の結果⁹⁾ にならって $S_0=12.5$ cm ととれば、孔間隔と Unevenness の関係は先に図—4 に示したようになる。すなわち、孔間隔が 10 cm では左側および右側の孔から出たクラックによる Unevenness は 0 近くあるいは正の値となる。そして孔間隔が 15 cm より大きくなると左右それぞれの孔から出たクラックによる破断面は当りおよび余掘りを形成し、Unevenness は式 (1) で示された直線に近づく。

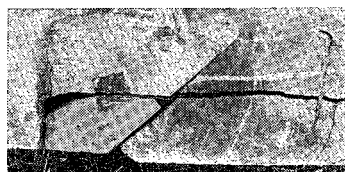
4) 切り欠きを設けない供試体に対応する写真—6

不連続面：あり 孔径：15 mm
切り欠き深さ：8 mm 爆薬等：導爆線



(d)

不連続面：あり 孔径：15 mm
切り欠き深さ：4 mm 爆薬等：コンクリート破砕器



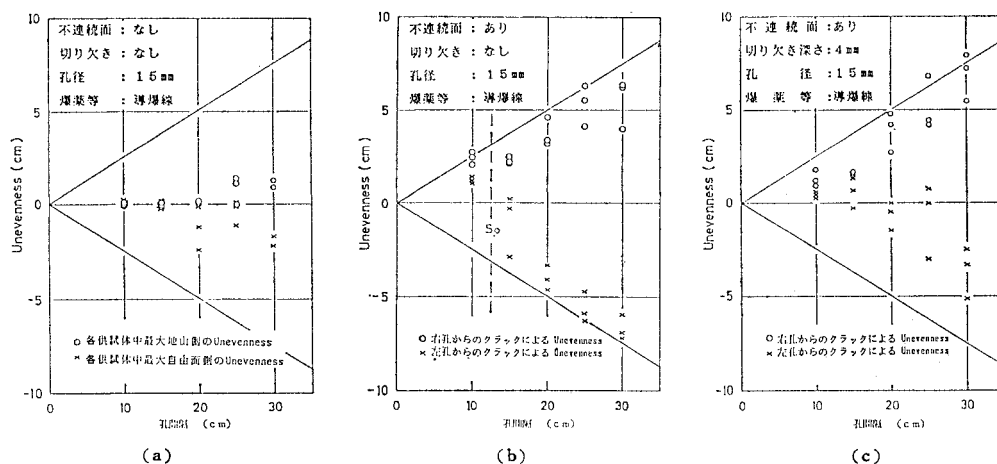
(e)

写真—6 不連続面の有無、切り欠き深さ、孔径、爆薬等の種類による爆破破断面形成状況の変化

(b)、図—6 (b) と切り欠き深さがそれぞれ 4 mm および 8 mm である供試体に対応する写真—6 (c)、図—6 (c) および写真—6 (d)、図—6 (d) を比較すると SB 破断面の形成に明らかな切り欠き効果がみられる。すなわち爆破孔から不連続面へ向けて垂直に発達するクラックは切り欠きを設けてもなくならないが、それ以外に切り欠き方向へクラックが発達し特に左孔からのクラックは破断面を形成する。したがってここで行った実験条件では切り欠きを設けることにより余掘りを減少させることは困難であるが、当りを著しく減少させることが可能となる。

5) 切り欠き深さの影響の検討のため図—6 (c) と図—6 (d) を比較すると右孔からのクラックによる Unevenness には特に差はないが、左孔から出たクラックによる Unevenness にはかなり顕著な差が認められる。すなわち、切り欠き深さ 4 mm では孔間隔 20 cm あたりから当りがしだいに大きくなり、孔間隔 30 cm では 2.5～5 cm 程度となる。これに対して、切り欠き深さ 8 mm では孔間隔 25 および 30 cm において当りが若干みられるが、その値は 2 cm 程度であり、切り欠きが深いほど効果があることが認められる。

6) モルタル供試体を CB で破断する場合には図—6 (e) のように余掘り、当りともに著しく小さくなる。すなわち、写真—6 (e) のようにそれぞれの孔からは切り欠き方向以外へはクラックはほとんど発達せず、破断面は図—2 (a) に近い状態で形成される。その結果、Unevenness は孔間隔が大きくなって特に大きくなることはない。またこの場合発達するクラックは DF によるものと比べて著しくなめらかである。



(4) まとめ

不連続面を有する岩盤モデルにおける切り欠きを用いた爆破孔のSB効果を検討した結果、以下に述べる諸点が明らかとなった。

1) 不連続面を含む岩盤モデルの爆破において爆破孔に切り欠きを設けることにより切り欠き方向にクラックを発生、発達させ得る。その結果、切り欠きによるSB効果として当りをなくすることが可能となる。この効果は切り欠きが深いほど顕著であった。

2) 本実験のうち導爆線を用いた場合には切り欠きの有無にかかわらず爆破孔から不連続面に垂直なクラックが発達した。そのため切り欠きを設けても余掘りを低減することはできなかった。

3) コンクリート破砕器により爆破する場合、クラックの発生、発達に対する切り欠き効果は明らかであり、クラックの発生および発達の方向をほぼ完全に制御することが可能となる。その結果、不連続面を含む岩盤モデルのSBにおいて当りのみならず余掘りをも顕著に小さくすることができた。

4. 結 言

本研究ではセメントモルタル供試体を用いて、爆破孔に設けた切り欠きによる爆破クラックの発生、発達方向の制御や薬量低減の効果、その結果としての不連続面を含む岩盤モデルにおけるSB効果を検討した。この検討結果から実岩盤のSB孔の切り欠き効果について次のことが予想される。

1) 爆破孔に切り欠きを設けることによってクラックは破断予定方向に確実に発達する。そのためかなり過装薬となっている通常のSBにおいて薬量低減が可能とな

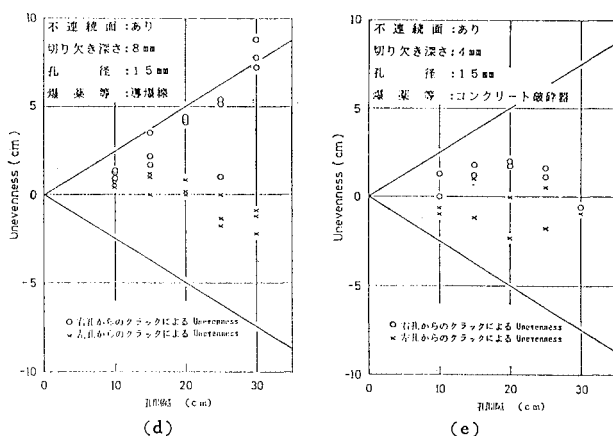


図-6 不連続面の有無および、切り欠き深さ、孔径、爆薬等の種類による Unevenness の変化

る。このことは地山に損傷を与えることが少なく、余掘りの低減につながる。

2) 破断予定面と不連続面との傾きが小さい場合は爆破孔からのクラックが不連続面に垂直な方向に発達し、切り欠きによる余掘り低減効果は小さい。しかし傾きが大きくなると不連続面に垂直に近い方向に発達するクラックは切り欠き先端からのものが主となると思われ、その結果当りのみならず、余掘りの低減も期待される。

3) 低爆速爆薬を用いることによって切り欠き効果が特に有効となることが期待される。特にもしコンクリート破砕器を用いたSBが実用上可能なら切り欠きによるクラック制御効果は顕著となるであろう。またこの場合には地山の損傷も非常に小さいと考えられる。

切り欠きをもつ孔の爆破という爆破技術が実施工に用いられるためには施工サイクルをも考慮した機器の開発等解決すべきいくつかの問題が予想される。しかし、トンネルのSBのみならず岩盤内重要構造物の建設における地山の保護等を考慮するとこれらの問題の解決ととも

に切り欠きをつけた孔の爆破技術が1つの岩盤掘削技術として発達することが期待される。

なお、本研究の実験を実施するにあたり日本化薬(株)厚狭工場 村上課長をはじめ日本化薬の諸氏、山口大学工学部建設工学科の坂尾和男技官および多数の学生諸君には多大の労力をかけた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 座談会：NATMの不採算性を衝く、実態に合った積算を、建設業界，pp. 16~23, 1984年10月。
- 2) 官民懇談会：高まる契約・積算改善への気運、建設業界，pp. 26~31, 1984年8月。
- 3) 日本トンネル技術協会：トンネル爆破技術指針，p. 102, 1982。
- 4) たとえば，Langefors, U. and Kihrstrom, B.: The Modern Technique of Rock Blasting, John Wiley and Sons, p. 301, 1979。

- 5) Fournery, W.L.: Fracture Control Blasting, in Rock Fracture Mechanics, ed. by H.P. Rossmanith, Springer-Verlag, 1983.
- 6) Sperry, P.E., Fournery, W.L., Thompson, D.E. and Mckown, A.F.: Controlled Blasting Experiments at Porter Square Pilot Tunnel, Proc. of R.E.T.C., pp. 1130~1157, 1979.
- 7) 本田裕夫・奥田一宏・五十嵐勉：ウォーター ジェットを用いた経済的なトンネル掘削，Water Jet 技術研究会要旨，1984。
- 8) Fournery, W.L.: Gas Well Stimulation Studies, in Rock Fracture Mechanics, ed. by H.P. Rossmanith, Springer-Verlag, 1983.
- 9) 中川浩二・西田 佑・橋本堅一：節理等を有する岩盤のスームズプラスティングの機構について，土木学会論文報告集，第338号，pp. 123~130, 1983。

(1986.4.30・受付)

●「土木技術者のための振動便覧」正誤表のお知らせ●

「振動便覧」の正誤表が完成しましたので、下記までご連絡いただければお送りいたします。

○土木学会事務局編集課 電話 03-355-3441 番、内線 153

●土木学会新刊案内●

コンクリート・ライブラリー第58号

エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる

鉄筋コンクリートの設計施工指針(案)

B5判一部カラー 174 ページ 定価 4000 円 会員特価 3500 円 (〒 350)

脚光をあびつつある EP 鉄筋のすべてがわかる新しい指針案なる

●土木学会新刊案内●

コンクリート・ライブラリー 57 号 ● 土木学会コンクリート施工研究小委員会編

コンクリートのポンプ施工指針(案)

B5判 210 ページ 4200 円 会員特価 3700 円 (〒 350)

I. コンクリートのポンプ施工指針(案) 1章 総則 2章 施工計画 3章 材料および配合 4章 コンクリートの製造および供給 5章 圧送 9章 コンクリートの打込み 7章 品質管理および検査

II. 参考資料 1. コンクリートポンプの形式および作動機構 2. コンクリートポンプの機種ならびに諸元 3. 輸送管と関連部品および付帯機器 4. コンクリートポンプ車の不具合、原因と対策 5. デストリビュータの種類と性能 6. 加圧ブリージング試験方法 7. 試験圧送による管内圧力損失の求め方 8. 関連規準類抜粋 9. 流動化コンクリートのポンプ圧送性 10. 全圧連の概要 11. コンクリートポンプによる施工実績 12. 参考文献

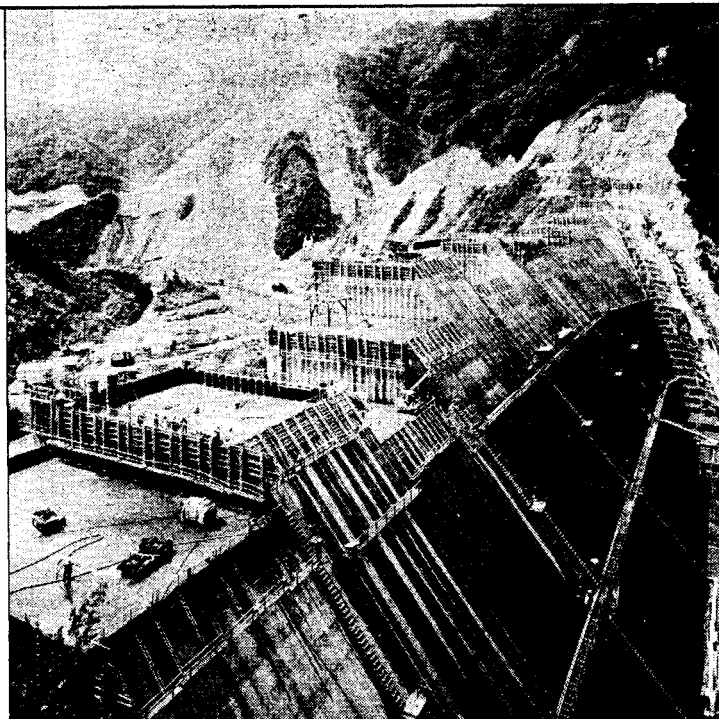
正誤のお知らせ：145 頁「表 40 スランプの許容差」のスランプの数値 3 以上 18 以下を 8 以上 18 以下と訂正

技術は
社会へ還る

OHYAYASHI

東京本社
〒101 東京都千代田区神田司町2-3
☎03-292-1111
本店
〒540 大阪市東区京橋3-37
☎06-943-1131

大林組



地球は文化の生命体

顧客第一、品質優位
鹿島の永遠のテーマです。

デミング賞<実施賞>
受賞企業



鹿島建設

代表取締役会長 石川六郎

代表取締役社長 鹿島昭一

本社：東京都港区元赤坂1丁目2番7号 電話 03 (404)3311(大代)
支店：札幌・仙台・横浜・北陸・名古屋・大阪・広島・四国・九州

●弊社へのご相談・ご意見・ご提言は鹿島相談コーナーへ

鹿島相談コーナー……………電話 03 (404)2266