

(12) 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

山口大学 工学部 ○中川 浩二
京都大学 工学部 矢富 盟祥
日本化薬厚狭工場 村上 忠昭
大成建設 技研 川上 純

1. はじめに

NATMの採算性がよくないことが問題にされ、その原因の一つとして発破における余堀が論じられることが多い。この余堀を低減するために種々の方法のスムーズブラスティング（以下SBと略）が以前より提案されてきている。SBを問題にする場合にまず最初に考えられるのは削孔した孔間を爆破クラックでつなぐことである（筆者らはこれを第一段階のSBと呼んでいる）。そのために、SB孔壁の破断予定方向に切り欠きを設け、発破によるクラックの方向を制御する方法がある。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が、近年、water jetによる切り欠き作製技術の著しい発達によりトンネル掘削における実用化も十分に考えられるようになってきた。

この切り欠きを用いて爆破クラックの発生、発達を制御する方法は古くから知られており、モデル実験¹⁾のみならず、現場実験の報告^{2), 3)}もみられる。また切り欠きによるクラックの発生、発達、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⁴⁾。しかし、その実際の岩質材料への適用性をはじめ、いろいろな点で十分に解明されたとはいえない。

そこで本研究では切り欠きを設けた爆破孔からのクラックの発生、発達の条件、機構などについて基礎的な実験的研究を行ったのでこれを報告する。

2. 実験

セメントモルタル供試体を用いた爆破実験により、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。

供試体は図に示すとおり20×20×40cmの直方体であり、中央に底部5cmを残して（深さ35cm）直径15mmの爆破孔を設けた。爆破孔としては厚さ2mm、深さ2mm、4mm、8mmの切り欠きを孔の両側にそれぞれ設け、さらに比較のために切り欠きを設けないものを作製した。供試体材料には早強ボルトランドセメントと海砂を用い、配合はC:S:W=1:2:0.45とした。爆破実験時の材令は約2週間とした。実験時の材料強度はおよそ、圧縮強度43.6MPa、圧裂強度2.7MPaである。

爆破実験は孔中に爆薬等を装てんし、孔上部を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15cmをとったため、実装薬孔長は20cmとなっている。装薬量は供試体の破断の生じる限界の薬量を規準に、そ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、表に示すとおりとした。

爆薬等としては、6号雷管+導爆線（以下DF）、点火具+コンクリート破砕器（以下CB）の2種類を採用した。6号雷管は起爆

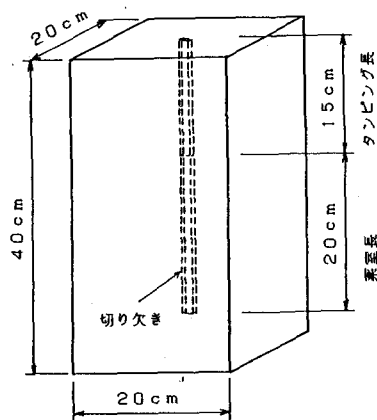


図 供試体寸法

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とされている。また導爆線の薬量は10.7g/mである。点火具はコンクリート破砕器約1gを含んでいる。両者の爆速はそれぞれおよそ7000m/secと60m/secとされており、爆薬等としての猛度は両極端といえる。

爆破実験の結果、破断された供試体についてはその破断状況、破断面等の観察を行った。破断されなかった供試体については供試体上部を切断し、爆破孔中に赤インクをアセトンで薄めたものを満たした。その後、インクを抜き取り静的破砕剤を孔に充填して、切り欠き方向に破断を生じさせ、切り欠き先端からの発破によるクラックの発生の有無を検討した。

表 実験条件と破砕片数(個)、爆破クラック面積(cm²)

	切り欠きなし	切り欠き0.2cm	切り欠き0.4cm	切り欠き0.8cm
雷管(ED)+導爆線(DF)				
EDのみ	×(5.4)	×(11.5)	×(11.3)	×(0)
ED+DF0.5cm	鉄砲	×(13.8)	×(19.1)	×(10.0)
ED+DF1.0cm	×(9.8)	×(12.9)	×(11.6)	×(10.9)
ED+DF1.5cm	4	2	2	6
ED+DF2.0cm	4	5	3	7
ED+DF2.5cm	2	6	2	9
ED+DF3.0cm	5 7	3 6	4 5	4 5
ED+DF5.0cm	8 9	9 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+コンクリート破砕器(CB)				
点火具のみ	×(0)	×(0)	×(0)	×(0)
点+CB0.2g	×(0)	×(0)	×(0)	×(0)
点+CB0.2g	×(0)	×(0)	×(0)	×(0)
点+CB0.6g	×(0)	×(8.5)	2	×(0)
点+CB0.8g	×(0)	×(3.1)	2	2
点+CB1.0g	2	2	2	2
点+CB2.0g	5 6	3 3	3 4	3 5
点+CB3.0g	8 鉄砲	4 4	3 4	3 鉄砲
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

3. 実験結果と検討

表に切り欠き深さと薬量に対し、爆破の結果とその時に生じた破砕片の数を示している。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再現性は良く、ある薬量(CBでは点火具+コンクリート破砕器1.0g、DFでは6号雷管+導爆線1.5cm)以上の薬量では破断することがほぼ確実となるようである。

破断条件に切り欠きの有無あるいはその深さは特に大きな影響を持たず、ほぼ薬量のみによって支配される。

写真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CB(写真-1)とDF(写真-2)で破断した供試体について最少の薬量に近い場合を示したものである(CBではコンクリート破砕器換算2.0g、DFではPETN換算0.61g)。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4mmのものを示している。

前に示したように切り欠きの有無によって、破断限界の薬量には特に相違はみられないようである。しかし供試体の破断の状況には明らかな相違がある。すなわち、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、切り欠きの無い供試体では破断面の方向は不定である。またこのほぼ破断限界の薬量で爆破したとき、爆薬等の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をうかがうことができた。またこれらの状況は両種の爆薬等の種類にはかわらないこ

とが認められた。

次に写真-3に上記の薬量で破断された場合の破断面の状況を示す。CBを用いた場合、破断面は切り欠き先端に始まる非常に凹凸の小さいなめらかな平面状となる。この切り欠き先端からのクラックの発達は破断面の模様からうかがうことができる。これに対してDFを用いる場合、破断面は切り欠き先端に始まる平面状とみれるが面の凹凸は著しく大きい。この理由として次のようなことが考えられる。すなわち、CBの場合には爆圧は比較的ゆっくりと増加するため切り欠きあるいはクラック先端の応力集中はゆっくりと増加し、クラックは徐々にそしてやがて不安定な発達を示す。これに対してDFを用いた場合には爆圧はほぼ瞬時に最高値に達する。そのため切り欠きあるいはクラック先端のエネルギーは限界エネルギーを常に上回り、かつクラックの発達して行く方向の応力場は反射波などにより著しく乱れていることになる。このためCBではクラック発達が一つの方向に安定するのに対し、DFでは大きく乱れるものと考えられる。

次にそれぞれの薬種、切り欠き長を同じにして薬量を増加した場合の破断状況を写真-4、5に示す。この場合の先の写真-1、2に示したものに對する薬量はCBの場合3倍であり、DFの場合PETN換算にして約1.6倍となっている。またDFの導爆線長を増して薬量を限界薬量の約2.5倍としたところ供試体の形状を復元することは困難であった。このことおよび写真からわかるようにDFを用いた場合、薬量のわずかの増加によりクラックの制御に関して切り欠き効果は顕著ではなくなることが認められた。これに対して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ことが認められた。このことは先の破断面の形状の形成に関する解釈からも理解されよう。

さらに、爆破により破断されなかった供試体を孔中へ静的破碎剤を充填することにより破断させたものの破断面を写真-6に示す。いま仮に切り

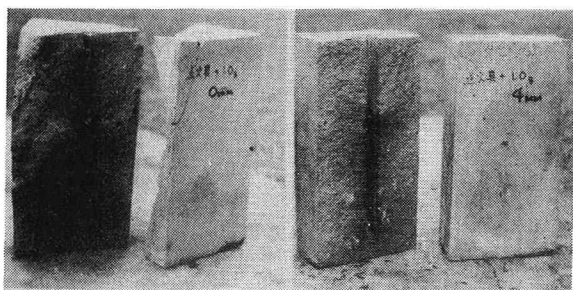


写真-1 コンクリート破砕器による供試体の破砕
左:切り欠きなし 右:切り欠きあり(4mm)
(換算薬量2.0g)

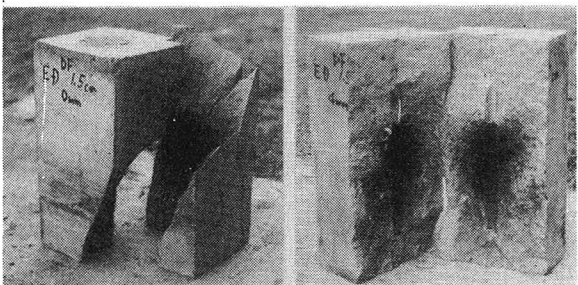


写真-2 導爆線による供試体の破砕(換算薬量0.61g)
左:切り欠きなし 右:切り欠きあり(4mm)

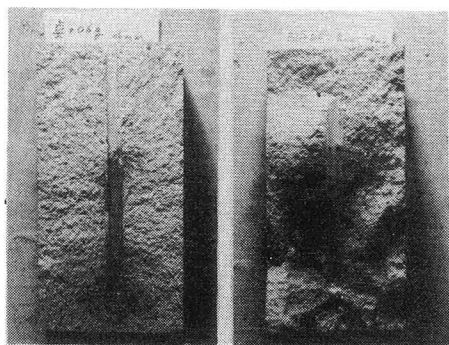


写真-3 最少薬量による切り欠き供試体の破断面
左:CBによる破断 右:DFによる破断

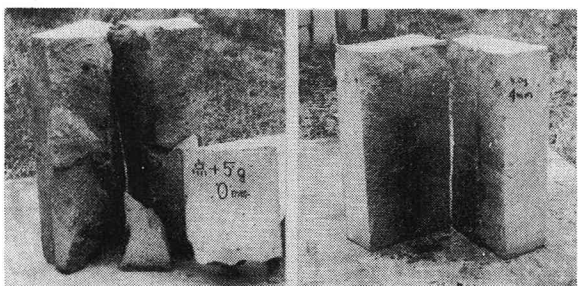


写真-4 コンクリート破砕器による供試体の破断
左:切り欠きなし 右:切り欠きあり(4mm)
(換算薬量6.0g)

欠き先端から爆破によるクラックが発生しているとすればそのクラック面は静的破砕剤による破断面の形成に大きく支配的な要因となると考えられる。そのことから、破断面上に赤インクが認められるか否かを爆破クラックの存在の判定理由とした。計測結果を表中にまとめて示している。すなわち表中の×印の後の()内に示したものが赤インクの痕跡のおよその面積である。これによると切り欠きのない供試体では赤インクの痕跡を認めることはできなかった。また切り欠きを有する供試体の場合、CBを用いたものは少数の例外を除いて、ほとんどの供試体で赤インクの痕跡を認めることはできなかった。DFを用いた場合は逆にほとんどの供試体で切り欠き先端に1cm程度の深さの痕跡を残していた。このことからCBを用いた供試体では爆圧はゆっくり増加するため切り欠き先端からクラックが発生した場合、直接供試体の破断につながるが、DFの場合は最初の衝撃波によりクラックが発生するが、急速な爆圧の低下によりクラックの発達 は停止するためこのような現象が生じるものと考えられる。

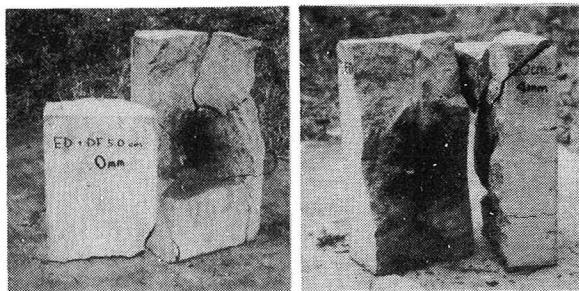


写真-5 導爆線による供試体の破碎(換算薬量0.98g)
左: 切り欠きなし 右: 切り欠きあり(4mm)

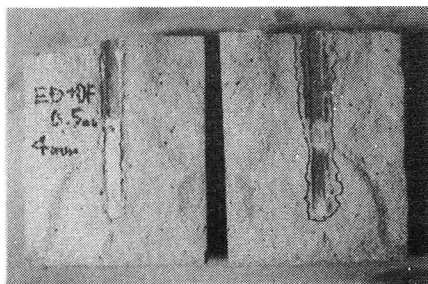


写真-6 赤インクにより検出した爆破クラック

4. おわりに

本研究においてはモルタル供試体中に設けられた切り欠きをつけた爆破孔中で爆破を行うことにより、その破断のための限界の薬量を検討し、また破断面の性状について検討を行った。その結果、切り欠きはクラックの方向制御には効果があるが、破断のための薬量低減には特に著しい効果はないこと、高性能爆薬により破断された破断面は凹凸が大きいがコンクリート破砕剤による破断面は非常になめらかな平面状となることなどが認められた。

なお本研究を行うにあたって山口大学の学生諸君ならびに日本化薬厚狭工場の諸氏には非常にお世話になった。記して謝意を表する。

参考文献.

- 1) 例えば中川浩二他. 第16回岩力シンポジウム(1984).
- 2) Sperry, W. L. et. al. Proc. of RETC(1979).
- 3) 本田裕夫他. Water Jet 技術研究会資料(1984).
- 4) Fourny, W. L. in Rock Fracture Mechanics(1983).

(12) On the blast cracks from the notched boreholes

Koji Nakagawa
Chikayoshi Yatomi
Tadaaki Murakami
Jun Kawakami

Abstract

Notching of borehole can be used to initiate blast cracks at desired locations and hence to control the fracture plane. When overloading of charge is placed in the borehole, cracks start at other locations in addition to the notch location.

In this study, the fundamental experimental study was conducted in order to make clear the fracture mechanism of blast cracks which initiated from the notch tips.

Through the tests, the followings were clarified.

1. Notching of boreholes can initiate blast cracks at desired locations. It does not reduce the amount of charge to fragment the specimen.
2. The fracture plane from the notch tips is very rough when it is generated by high explosive detonation. It is smooth when it is generated by the gas pressure of low explosive combustion.