

VI-3

静的破碎剤による岩石の破断面方向制御に関する基礎的研究

北見工業大学大学院 学生員 井 窪 将
シン航空写真機 近 藤 峰 男
北見工業大学工学部 平 松 雅 宏
北見工業大学工学部 正 員 森 訓 保

1. はじめに

昨今、都市部における人口集中・地価高騰による影響から、ウォーター・フロント計画、ジオ・フロント計画が注目を浴びようになり、建設業界も高度な技術が要求される時代となってきた。さらに、都市部においても近代化にともない、美観・機能性さらには充分な耐用年数を兼ね備えた、新しい構造物が求められているなか、岩盤掘削やコンクリート構造物の解体作業を行わねばならない工事が、最近急増してきている。しかし、都市部における地下空間建設や構造物の撤廃にあたっては、振動・騒音を伴う発破類・大型機械類の使用は困難である。その打開策として注目を浴びたのが静的破碎剤を用いた破碎工法である。

この静的破碎剤を用いた破碎工法は、岩石やコンクリートなどが、引張力に弱いことに着目し、生石灰の膨張圧を利用したもので、許可なしで使用でき振動・騒音が発生しないので、発破や大型機械類が使用できない所での工事が行える。しかしながら、この破碎工法は、火薬に比べ破碎力が極端に小さいため経費が割高になり、経済性が悪いという欠点も持ち合わせている。

本研究では、静的破碎剤の基本的な特性は、今までに多数報告されているので省略し、破碎剤の膨張圧によって発生した亀裂に着目し、モルタル供試体を用いて充填孔にいろいろな切口（切り欠きの上面だけをつけたものを切口と名付ける）をダイヤモンド・カッター（ $D=36\text{cm} \times W=0.2\text{cm}$ ）でつけ、破碎実験から亀裂の発生・進展に及ぼす切口の影響を解明して行くことを目的とし、数値解析したものと比較検討し、考察した結果を述べる。

2. 実験方法

2.1 供試体

実験に使用した供試体は、充填孔から自由面まで等距離にするために円柱型にし、粒子のサイズが均等で、より等方性に近い物質にするためにモルタルを用い、破碎実験の供試体に円柱モルタル供試体を用いた。この供試体を用いることにより、切口による亀裂の発生・進展の影響が破碎実験から明確になるといえる。これらの亀裂の発生・進展機構を岩石に応用していくためにこれらの供試体を用いて破碎実験を行う。この円柱モルタル供試体は、外寸（ $d=40\text{cm} \times h=50\text{cm}$ ）の中心に充填孔（ $d=5\text{cm} \times h=45\text{cm}$ ）を設け、それに切口を上面より付けたものを使用する（Fig.1）。

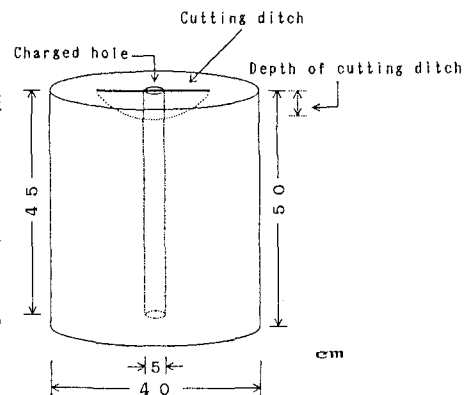


Fig.1 Mortar specimen

A study of direction control of broken-section for rock by using static expansive demolishing agent.
by Masashi IKUBO, Mineo KONDOH, Masahiro HIRAMATSU, Noriyasu MORI

また、切口深さ・切口幅は6種類・12個の供試体を用意し、それぞれの切口の影響を調べるために破砕実験を行う。切口と供試体の関係を次に示す（Table.1）。

Table.1 Relationship between cutting ditch and mortar specimen

Depth of cutting ditch	Width of cutting ditch	Number of experiment
10 cm	2 mm	No.2・No.6
9 cm	2 mm	No.9
8 cm	2 mm	No.3・No.8・No.10
6 cm	2 mm	No.5・No.7・No.13
	15 mm	No.11・No.12
non	--	No.4

※第1回実験は、予備実験として行ったので破砕実験としては記載しない。

2. 2 破砕実験

6種類・12個の供試体に破砕剤（スーパーブライスター2000（株）小野田製）を充填し、10秒毎に供試体の表面における歪値（56ch）と供試体上面におけるAEカウント数（3ch）を測定する。また、1分毎に充填孔内（3点）及び供試体表面の温度（充填孔より近い点・遠い点）そして室温を測定する。なお歪値は、UCAM-10A・USB-51Aにより、AEカウント数は、AEセンサ・プリアンプ・ディスクリミネーター・AEカウンターを通しそれぞれコンピュータに同時にデータを入力する。温度は、PROCOS-VIIにより出力する（Fig.2）。

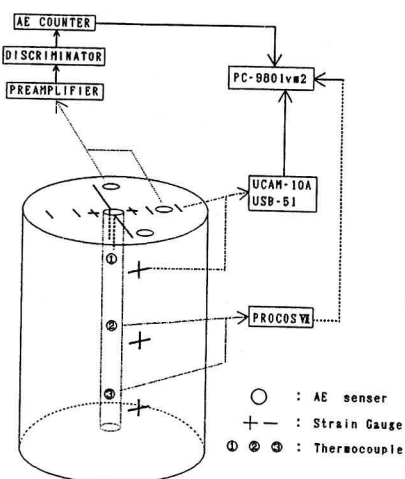


Fig.2 Block diagram of measuring system.

3. 実験結果

6種類・11個の供試体を用いた破砕実験の結果は以下のようなものである。

・第2回実験（切口深さ10cm）

亀裂が切口上から発生・進展し、意図する破断面が形成できた（Fig.3）。

・第3回実験（切口深さ8cm）

亀裂は、切口方向から発生・進展している。しかしながら、第3の亀裂が切口と直行した形で発現した（Fig.4）。

・第4回実験（切口なし）

いままで報告されたている通り3方向に亀裂が生じた。

・第5回実験（切口深さ6cm）

亀裂は、切口と直行する形で発生・進展した。さらに、第3の亀裂が切口上に発生した。側面においても上下2分割されるような形で亀裂が発生して計6分割された状態になっている。

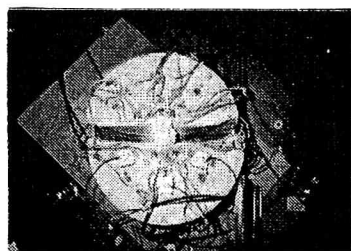


Fig.3 Result of 2nd experiment.

・第6回実験（切口深さ10cm）

亀裂が切口上から発生・進展し、意図する破断面を形成することが出来た。

・第7回実験（切口深さ6cm）

亀裂は、切口と直行するかたちで発生・進展した。切口と垂直な破断面が形成されてしまった。側面における亀裂も直進して、供試体は2分割された（Fig.5）。

・第8回実験（切口深さ8cm）

亀裂は、切口上から発生・進展した。しかし、今回も切口方向以外に第3の亀裂が発生した。そのため、意図する破断面は形成されなかった。さらに、側面においても上下2分割するような亀裂が発生した。

・第9回実験（切口深さ9cm）

亀裂は、切口深さ10cmのときと同様に切口上から発生し、意図する破断面を形成することが出来た。

・第10回実験（切口深さ8cm）

亀裂は、切口上から発生・進展したが、また第3の亀裂が発生した。この亀裂により意図する破断面は形成できなかった。

・第11回実験（切口深さ6cm・切口幅15mm）

亀裂は、切口上から発生・進展し、意図する破断面が形成された。

・第12回実験（切口深さ6cm・切口幅15mm）

亀裂は、切口上から発生・進展し、意図する破断面が形成された。（Fig.6）

・第13回実験（切口深さ6cm・切口幅2mm）

亀裂は、切口に直行して発生した。さらに切口方向と切口から30度位置に亀裂が発生し3分割された。

これらの結果をまとめると以下のようなになる（Fig.7）。

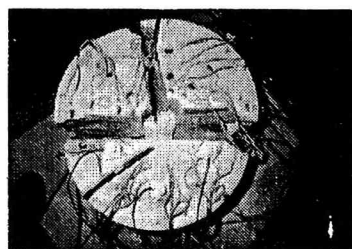


Fig.4 Result of 3rd experiment.

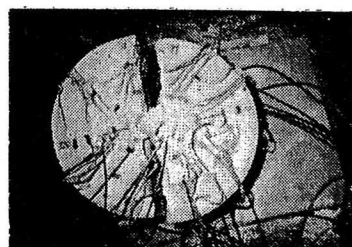


Fig.5 Result of 7th experiment.

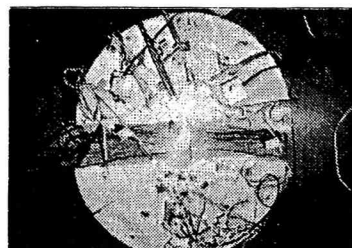


Fig.6 Result of 12th experiment.

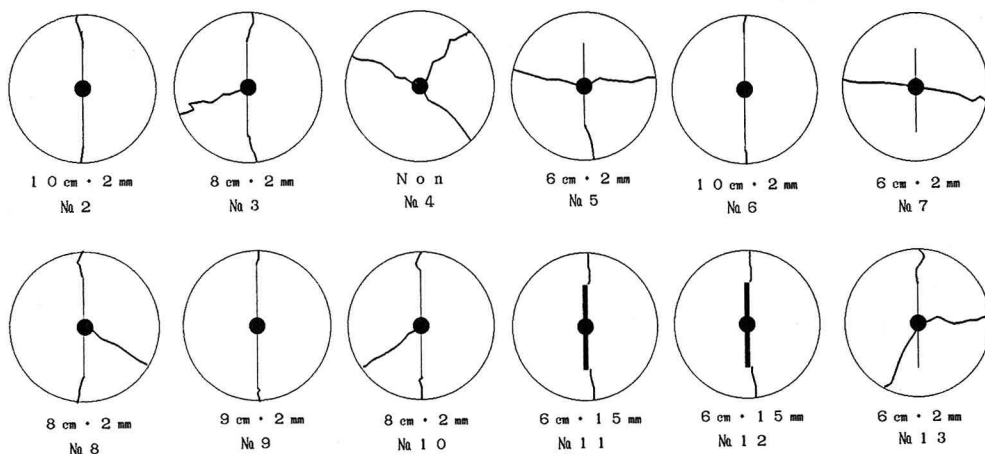


Fig.7 Results of all experiments.

4. 実験による考察

これらの実験において、上面における歪値（歪ゲージは半径に垂直方向に貼る）から亀裂発生時までの応力状態を調べてみると、はじめは全体的に引張応力が発生している。しかし、第1の亀裂発生直前に亀裂発生方向の引張応力が大きくなり、その反対方向の応力が、圧縮応力に変わっている。これは、全ての実験において共通であり、切口深さ10cm・9cm・8cm（切口幅2mm）の供試体と切口深さ6cm・切口幅1.5mmの供試体については、切口方向に引張応力と圧縮応力が働いているので切口方向に亀裂が発生するのが明確である。しかし、切口深さ6cm・幅2mmの供試体では、切口方向から90度位置のところで、引張応力・圧縮応力が発生している。その結果、第1の亀裂は切口と直行して発生している。

側面における歪値は、全ての供試体において亀裂発生時まで、微妙に圧縮を示している。これは供試体全体が、横に膨張しているために側面は、縦方向に収縮したのと考えられる。

温度については、亀裂発生直前までめだった動きは見えられず、亀裂発生後に急激に充填孔上部から温度が上昇し始めた。温度は、すべての破碎実験においても同様のことがいえ、亀裂発生時の温度は、約40～50℃の間で、充填時には30℃前後であるからして、亀裂発生までに10～20℃前後しか上昇していないことになる。AEカウンタ数は、正確な微小亀裂発生時間を求めるために使用した。

切口方向の亀裂と切口に直行した亀裂の発生時における応力分布の一例を次に示す（Fig.8）。

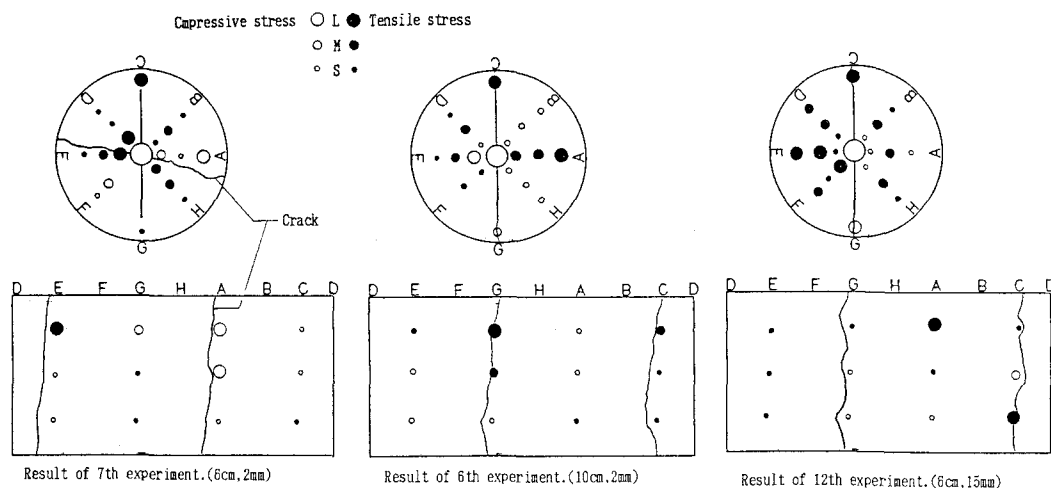


Fig.8 Stress distribution.

5. 有限要素法による数値解析

今回の破碎実験に用いた供試体の静的破碎剤による亀裂の発生・進展を解析するために有限要素法を適用した。この2次元解析により応力状態を計算し引張応力・圧縮応力より亀裂発生を考える。解析モデルは、以下に示す（Fig.9）。なお切口深さ10cm・幅2mm、切口深さ6cm・幅2mm、切口深さ6cm・幅1.5mmについて解析を行っ

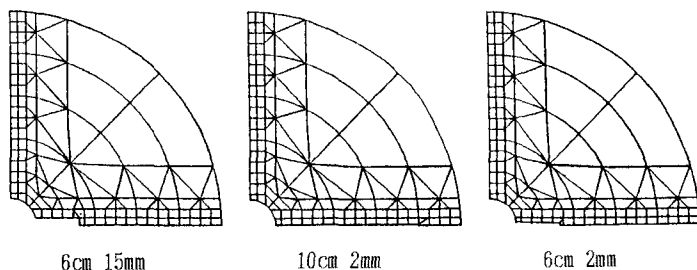


Fig.9 Divided elements used for numerical analysis.

たが、装薬孔内の圧力は等分布とし、切口幅15mmの供試体だけ切口から破砕剤による膨張圧の影響を受けるものとする。解析を行う際に必要な物理的性質を (Table.2) の値を用いている。これは、供試体作成時に同時に作成したテストピースを物性試験により求めたものである。

以上の条件をふまえて亀裂を考えると (Fig.10) のようになる。

切口深さ6cm・幅15mmの供試体の場合、とても大きな引張応力が切口方向に発生し、切口と90度方向には圧縮応力が少しはた

Table.2 Physical properties of mottar specimen.

Compressive strength (kgf/cm ²)	545.713
Tensile strength (kgf/cm ²)	43.677
Tangential Young's modulus (kgf/cm ²)	2.836×10^6
Poisson's ratio	0.315

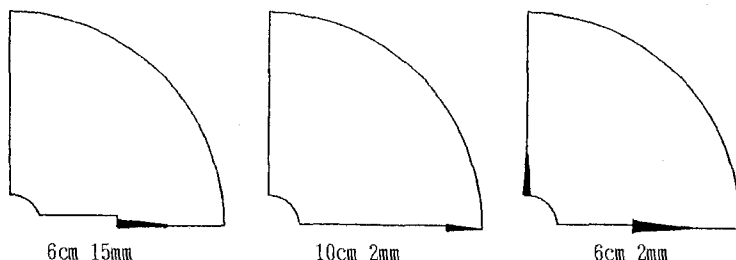


Fig.10 Expected crack obtained by numerical analysis.

り亀裂は、切口方向に発生すると考えられる。切口深さ10cm・幅2mmの供試体の場合、圧縮応力は全体的にかかっていて、切口方向に大きな引張応力が発生し、切口と90度方向には、引張応力が発生していない。このことから亀裂は、切口方向に発生すると考えられる。このように切口深さ6cm・幅15mmの供試体と切口深さ10cm・幅2mmの供試体の解析結果を見てみると同じ様な結果が得られた。

ここで切口深さ6cm・幅2mmの供試体の場合を考えてみると、圧縮応力は供試体全体にかかっている。また引張応力は、切口方向と切口と90度方向の両方にでている。引張応力は切口方向のほうが少し大きい、亀裂は切口方向と、切口と90度方向のどちらに発生してもおかしくない状態と考えられる。

ここで実際の実験結果と対比すると、切口深さ10cm・幅2mmの供試体は切口方向に亀裂が発生している。また切口深さ6cm・幅2mmの供試体では、切口方向に直行して亀裂が発生しているものと、切口に直行して亀裂が入り、さらに切口方向にも亀裂が発生したものがある。切口深さ6cm・幅15mmの供試体は、切口方向に亀裂が発生している。このことから有限要素法による解析結果と一致するといえる。

6. 結論

静的破砕剤を充填孔に充填して破砕を行った際に形成される通常の破断面の状況からみて (第4回破砕実験)、充填孔に切口をつけ切口深さをある程度とれば、所定の破断面のみを形成できることが明らかになった。また、切口深さがそれに達しない場合には、破断面の方向制御は困難であり、悪影響を及ぼすこともある。しかしながら、切口深さが十分にとれない場合でも、切口の幅を太くすることにより、所定の破断面のみを形成することができると明確になった。

以上の結果から、静的破砕剤を用いた破砕工法において、被破砕体に切口をつけることにより亀裂発生・進展に影響を及ぼすので、切口による破断面方向制御、そして破壊制御は可能であるといえよう。

7. おわりに

本研究では、静的破砕剤の欠点である経済性の悪さを改善するために、亀裂の発生・進展方向を制御することにより、欠点を克服しようとしたものである。また、"正確な方向制御が可能である"ということが明確になれば、さらに静的破砕剤の需要がのびることによって、先ほどの欠点を克服できるのではないかと考えた。そこで今までに報告されている切り欠きを用いた破砕制御においては、実際現場には使用困難であ

ろうとの見解から、容易にできる方法の一つとして、上面だけを切り欠きした切口というものを考案し実験を行い、有限要素法により数値解析を行い切口の有効性を明らかにした。しかしながら、切口自体が円弧状の形をしているため有限要素法の2次元数値解析では、明確に出来ない部分もでてきている。よってこのことは、3次元の数値解析を行わなければならないところでもある。また、切口深さと供試体との関係・切口深さと切口幅との関係をも追求して行かなければならない点である。

これからの方針としては、以上のような問題点を解決していくとともに、ガイドホールなど他の方法と組み合わせた方法を試みたり、どのような岩石においても利用できるような方法で、且つ安易で経済的な方法を考えて行くことを目的としていく。

本研究の遂行にあたり、次の方々に御協力をいただいたことを以下に記し厚く感謝する。

北見工科大学部開発工学科11期生 谷 章智氏、同12期生 後藤節也氏、山田敏之氏、同13期生 西村健次氏、大倉 勉氏、同14期生 佐藤雅利氏、同15期生 石橋 元氏、同16期生 山角浩一氏、同17期生 近藤峰男氏、小坂光令氏、同18期生 佐藤英隆氏、同18期生 小林利文氏、同 掘削工学講座助教授 後藤隆司氏、同 開発基礎学講座技官 岡田包儀氏

参考文献

- 1) 稲田善紀・松本三郎・横田公忠・谷口浩二：日本工業会誌 VOL.104, NO.1204 (1988-6)
膨張剤を利用した静的破碎に関する基礎的研究
- 2) 坂野良一：電力土木 NO.209 (1987-7)
発破によらない最近の岩盤破碎工法
- 3) 小林秀男・厨川道雄・笠間恒雄：採鉱と保安 VOL.31 (1988-6)
静的破碎剤による岩石の破断面方向制御に関する研究
- 4) 町田和美・涌井直正・内藤 博：技術ダイジェスト VOL.24, NO.5
静的破碎剤の動向
- 5) 中川浩二・工藤洋三・新田宏基：
静的破碎剤充填孔に設けられた切り欠き、ガイドホール効果について