

スライド式油圧岩盤破碎機の加圧板および空孔 が破碎に及ぼす影響

稲田善紀¹・木下尚樹²・川口隆³・山内秀基⁴・渡辺広明⁵

¹フェロー会員 工博 愛媛大学教授 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

E-mail: inada@eng.ehime-u.ac.jp

²正会員 工修 愛媛大学助手 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

³正会員 愛媛大学技官 工学部環境建設工学科 (〒790-8577 愛媛県松山市文京町3)

⁴正会員 工修 ㈱芙蓉調査設計事務所 (〒791-8022 愛媛県松山市美沢1丁目2-30)

⁵正会員 白石建設工業㈱ (〒792-0026 愛媛県新居浜市久保田町3丁目9-20)

岩盤の静的破碎工法の一つとして加圧孔に4方向同時に加圧することで希望する破碎方向に方向制御できるピストン式油圧岩盤破碎機を試作し、効率的な岩盤破碎を行うための実験および理論解析を行い検討した結果については既に報告した。今回はさらに機構の異なるスライド式油圧岩盤破碎機を試作し、室内および現場実験、理論解析を行い、空孔および加圧板の面積が岩盤破碎に及ぼす影響について検討した。その結果、ピストン式油圧岩盤破碎機と同様にスライド式岩盤破碎機においても空孔が破碎に要する力の低減に効果があることがわかった。また、スライド式油圧岩盤破碎機において加圧孔に対する加圧板の面積を大きくすることによって破碎に要する力および仕事量が軽減されることなどがわかった。

Key Words : hydraulic rock fracture machine, slide type, empty hole, pressure plate

1. 緒言

岩盤破碎工法は大別して動的破碎工法と静的破碎工法に分けられる。動的破碎工法は従来から岩盤破碎の主流であり、火薬による発破、大型掘削機械による破碎工法等があるが、騒音や振動、粉塵等の問題点があり、周辺環境に影響を及ぼすことがあるので現在では採用が困難になることも多い。このような場合には、静的破碎工法を採用した施工が行われている。静的破碎工法には静的破碎剤による工法、油圧ジャッキ工法等があるが、静的破碎剤による工法では孔全体を加圧するため亀裂の方向制御性に問題があり、また、経済性や破碎時間においても問題がある。油圧ジャッキ工法においては装置が大型でありその規模が問題となる¹⁾⁴⁾。

静的破碎工法の内、油圧くさび工法⁵⁾は加圧孔にくさびを挿入することでウェッジにより2方向に加圧し岩盤を破碎する工法で、比較的良く用いられている方法である⁶⁾⁹⁾。

筆者らは希望する破碎方向に方向制御することを

目的として、加圧孔に4方向同時に加圧できる油圧岩盤破碎機を試作し、検討を行ってきている¹⁰⁾。これまでの検討の結果、ピストン式油圧岩盤破碎機は効率的に岩盤を破碎できることがわかっている。しかし、1つのピストンでも故障すると加圧できず、岩盤の破碎ができなくなることや加圧孔内で岩盤の硬軟の変化が大きい場合にピストン変位が揃わず、加圧板に偏荷重がかかるなどのデメリットを併せ持っている。これらの検討結果を基に、ピストン式油圧岩盤破碎機とは機構の異なるスライド式油圧岩盤破碎機を試作した。

本研究ではピストン式油圧岩盤破碎機において有効性が確認されている空孔について、スライド式油圧岩盤破碎機を用いた場合についても実験と理論解析にて検討した。また、加圧孔に対する加圧板の面積を変化させた場合の破碎性について、実験と理論解析にて検討した。

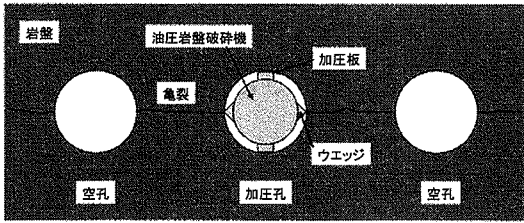


図-1 岩盤破砕時の破砕機の配置

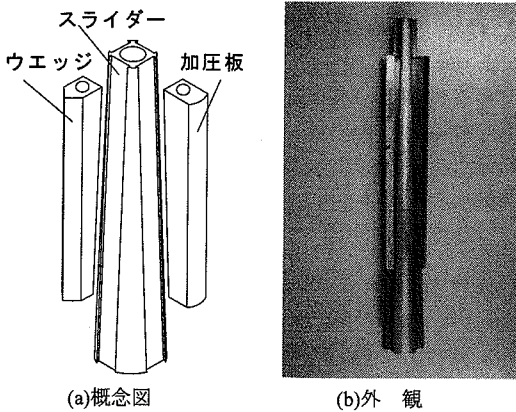


図-2 スライド式油圧岩盤破砕機

2. 油圧岩盤破砕機の概要

(1) 油圧岩盤破砕機による岩盤の破砕

油圧岩盤破砕機を用いて岩盤破砕を行う場合、加圧孔に油圧岩盤破砕機を装填し、孔に荷重を与えることにより破砕する。図-1 に示すように破砕機は亀裂を進展させる方向にウエッジ、それに対して直交する方向に加圧板を装着しており、ウエッジはくさびの効果により亀裂を発生・進展させる役割を持ち、加圧板は加圧孔を変形させて孔全体に緊張を与え、ウエッジの効果を高める役割と、亀裂を進展させる役割を持つ。これまでの研究により、油圧岩盤破砕機を用いて岩盤破砕を行う場合、ウエッジの延長線上に空孔を設けると破砕に要する力は軽減されることがわかっている¹⁰⁾。また、ウエッジの刃先の角度は、破砕効率、耐久性を考慮すると 90° 程度が適当であることもわかっている¹⁰⁾。

実際の岩盤を破砕する場合には、加圧孔と空孔の適切な配置を複数組み合わせることで施工することになる。

(2) スライド式油圧岩盤破砕機

スライド式油圧岩盤破砕機概念図と外観を図-2 に示す。スライド式油圧岩盤破砕機は、中央部のス

表-1 スライド式油圧岩盤破砕機の諸元

| | |
|----------------------|--------------------------|
| 全長 | 664 mm |
| 重量 | 22.75 kg |
| 岩盤破砕を行う部分の外径 | 100.0 mm |
| 破砕有効長(加圧板の長さ) | 407 mm |
| ストローク | 280 mm |
| スライダのテーパ部傾斜角 (片側) | 2° |
| (両側) | 4° |
| 割岩ストローク (片側) | 9 mm |
| (両側) | 18 mm |
| 材質 | SCM445 |
| シャフト材質 | PC 鋼棒 SBPR1080/1230 |
| ウエッジの刃先の角度 | 90° |
| 加圧板の加圧孔を加圧する部分の形状 | 加圧孔曲率と同じ $r = 100$ mm |

ライダに挿入したシャフトをセンターホールジャッキにより引き上げ、くさびの原理でウエッジと加圧板を押し出すことにより加圧孔に4方向同時に荷重を与えることができる構造になっている。従来の油圧くさび工法とはくさびの向きが逆で、加圧孔の深さ方向でウエッジおよび加圧板を均等に歪ませることができる。

スライド式油圧岩盤破砕機の寸法等の諸元は表-1 に示す。現在実用化されている油圧くさび工法で使用される破砕機の一つは削孔径が $\phi 100$ mm、ウエッジ長が1,150 mmである⁹⁾。これを参考にし、スライド式油圧岩盤破砕機も削孔径 $\phi 100$ mmで破砕できるようにしている。また、試作機のため、ウエッジおよび加圧板の有効長は407 mmであるが、スライダの傾斜角を小さくすることで、実機では有効長は長くできる。

実験時の破砕機が加圧孔(岩盤)に与える荷重はスライダの引抜荷重を測定し、くさびの原理¹¹⁾を用いて求めた。スライダを引き抜いた際に破砕機および岩盤に作用する力は図-3 のようになるものと考えられる。スライダの頂角は 2θ 、スライダの引抜荷重は F 、スライダに作用する力は、加圧板からの反力としての接触面に垂直な力 N_1 、接触面に沿った摩擦力 f_1 が生ずる。加圧板に作用する力は、スライダからの反力として接触面に垂直な力 N_1 、接触面に沿った摩擦力 f_1 、反力板からの反力として N_2 、同じく接触面に沿った最大摩擦力 f_2 と、岩盤からの反力として加圧孔に与える力 N が生ずる。岩盤に作用する力は N である。これらの

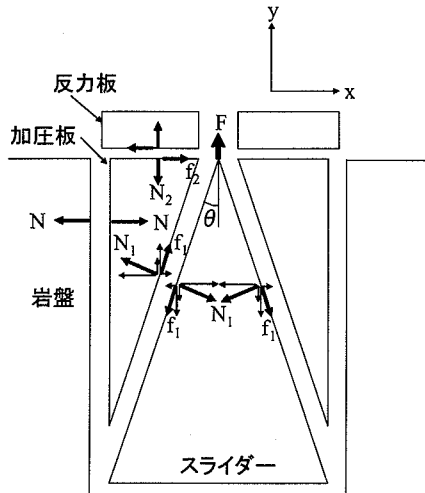


図-3 破砕時に作用する力

力のつりあいを考えると、 F と N の間には式(1)の関係がある。

$$N = \frac{F}{2} \left(\frac{\cos\theta - \mu \sin\theta}{\sin\theta + \mu \cos\theta} - \mu \right) \quad (1)$$

ただし、 μ は加圧板とスライダおよび反力板との摩擦係数である。

摩擦係数 μ の値は以下に述べる測定実験により求めた。図-4に示すように2枚の拘束板をひずみゲージを貼付した4本のシャフト(一般構造用圧延鋼材)で固定し、破砕機を装填する。スライダを引き抜いた際のひずみゲージからの出力を測定することによって、引抜荷重がどれだけ加圧孔に与える荷重に変換されるかを測定することが可能となる。実験結果から引抜荷重と加圧孔に与える荷重は比例関係にあり、 $\mu = 0.282$ を得た。なお、ウエッジを用いて摩擦係数の測定実験を行っても同じ摩擦係数を得た。摩擦係数は材質と表面の平坦度に起因するものであるが、ウエッジと加圧板の材質および表面の平坦度は同じものであり、従って同じ摩擦係数を得たものと考えられる。また、ウエッジにおいても式(1)は成り立ち、ウエッジおよび加圧板から岩盤に作用する力はスライダの引抜荷重より求めることができる。

以上の結果より、本研究で使用した油圧ジャッキの最大揚力は490 kNなので、スライド式油圧岩盤破砕機の加圧孔に与える力は、最大で696.3 kNとなる。

スライド式油圧岩盤破砕機はピストン式油圧岩盤

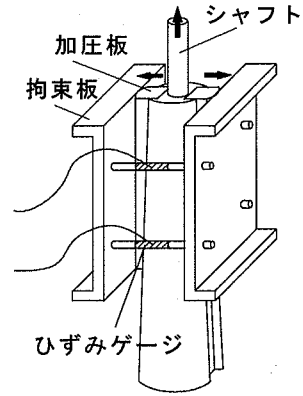


図-4 摩擦係数測定実験の概念図

破砕機の以下の点を考慮して作製したものである。ピストン式油圧岩盤破砕機は機構上1つのピストンでも故障すると、他のピストンに油圧がかからず岩盤の破砕ができなくなる。そのため、スライド式油圧岩盤破砕機はジャッキ部分だけに油圧がかかるようにしている。ジャッキが故障してもジャッキ部分は地上にあり、取り替え可能である。また、ピストン式油圧岩盤破砕機では加圧孔の岩盤で硬い部分と軟らかい部分でピストンのストロークが異なり、垂直方向に様な破砕が行われない場合がある。スライド式油圧岩盤破砕機ではウエッジと加圧板を同ストロークで押し出すため、垂直方向に様な破砕が行える利点がある¹²⁾。

ピストン式油圧岩盤破砕機は、ウエッジと加圧板に同荷重を与える、いわゆる荷重制御型であり、スライド式油圧岩盤破砕機はその機構からウエッジと加圧板は同変位量の変位制御型である。

3. 空孔が破砕に及ぼす影響

ピストン式油圧岩盤破砕機では空孔が破砕に要する力を軽減できることがわかっているが¹³⁾⁻¹⁵⁾、スライド式油圧岩盤破砕機についてはまだその効果が確認されていない。そこで、理論解析および実験により検討した。

(1) 解析による検討

有限要素法を応用した亀裂解析法¹⁶⁾を用い2次元解析を行った。亀裂解析法は、引張応力が岩盤の引張強度を越えた場合、要素は破壊せず隣接要素間の目地に亀裂が入ると想定した解析手法である。破壊の判定方法はMohrの破壊包絡線説に従うものとする。

表-2 解析に用いた花崗岩の強度・変形定数

| | |
|-------------|--------|
| 一軸圧縮強度(MPa) | 177.28 |
| 圧裂引張強度(MPa) | 6.36 |
| 接線弾性係数(GPa) | 39.0 |
| ポアソン比 | 0.21 |

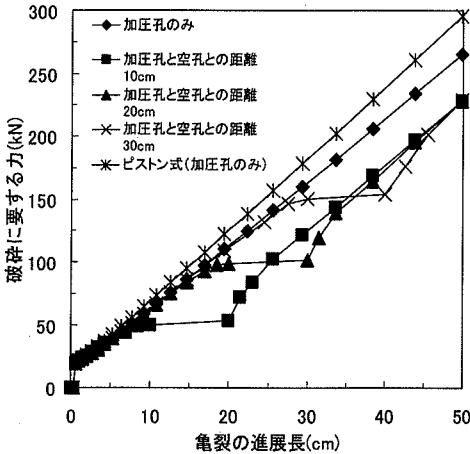


図-5 亀裂の進展長と破碎に要する力の関係 (空孔の効果, 解析結果)

る¹⁷⁾。解析に用いたモデルは加圧孔の直径は 100 mm として, 加圧孔のみの場合と加圧孔の両側のウエッジの延長線上加圧孔と等倍(100 mm), 2 倍(200 mm), 3 倍(300 mm)の間隔で直径 100 mm の空孔を設けた場合とした。解析では 5 m×5 m の花崗岩を対象とし, 境界は固定端とした。強度・変形定数を表-2 に示す。

荷重条件として, ピストン式油圧岩盤破碎機ではウエッジと加圧板に等荷重を, スライド式油圧岩盤破碎機では等変位を与えている。なお, スライド式油圧岩盤破碎機では荷重時にウエッジおよび加圧板が変形し厳密には等変位とはならないが, 今回の解析の目的である空孔の効果の検討やピストン式油圧破碎機との比較をする上では, ウエッジおよび加圧板の剛性と荷重の大きさから考えても変形は無視できる程度のもと考えられる。

解析により得られた結果から, 亀裂の進展長と破碎に要する力の関係を図-5 に示す。なお, ここでは岩盤に作用する力(加圧孔に与える力)すなわち亀裂の進展に要する力を破碎に要する力としている。加圧孔のみの場合と空孔を設けた場合では空孔を設けた場合の方が少ない力で亀裂が進展していることがわかる。さらに空孔は加圧孔に近いほど破碎効率

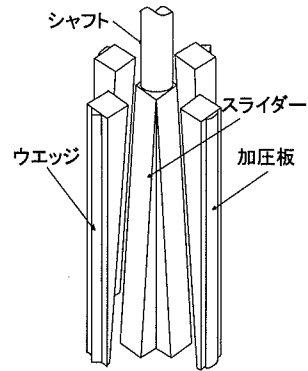


図-6 スライド式油圧岩盤破碎機概念図

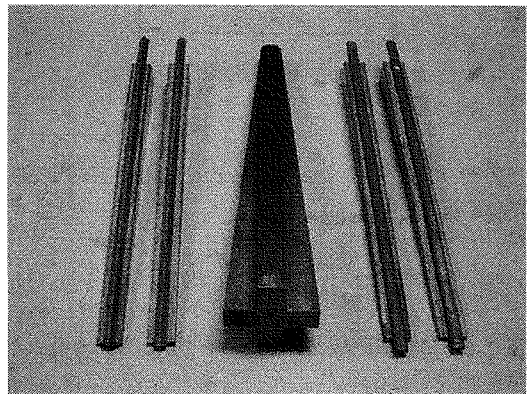


図-7 スライド式油圧岩盤破碎器の外観

が良くなるものと考えられる。

また, ピストン式油圧岩盤破碎機とスライド式油圧岩盤破碎機を用いた解析ではスライド式油圧岩盤破碎機を用いた方が少ない力で破碎できる結果となった。これは, スライド式油圧岩盤破碎機ではウエッジに対して加圧板の方が荷重面積が大きく従って等変位の条件下では加圧孔に与える力が大きいため, 加圧板の亀裂を進展させる効果がより現れたものと考えられる。このことは後述する図-11 および図-21 にも現れている。

(2) 室内実験による検討

実験には, 室内実験が可能な小型のスライド式油圧岩盤破碎器を使用した。本研究では室内実験用の「油圧岩盤破碎器」と現場実験用の「油圧岩盤破碎機」を区別して記述している。概念図を図-6 に, 外観を図-7 に示す。供試体には岩石に比べ比較的均質な材料であり, 製作が容易なセメントモルタルを用いた。配合は重量比で, 砂(海砂):セメント(早強ポルトランドセメント):水を 5:2:1 とした。

表-3 セメントモルタル供試体の強度・変形定数

| | |
|-------------|-------|
| 一軸圧縮強度(MPa) | 51.60 |
| 圧裂引張強度(MPa) | 5.02 |
| 接線弾性係数(GPa) | 2.12 |
| ポアゾン比 | 0.20 |

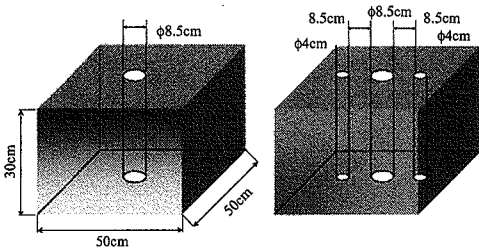


図-8 室内実験に用いた供試体の孔配置

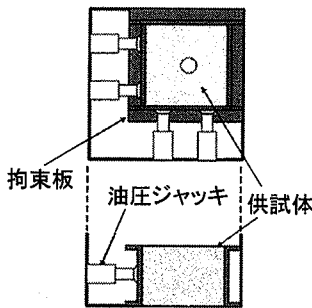


図-9 供試体の設置状況

供試体寸法は 50 cm(縦)×50 cm(横)×30 cm(高さ)で、直方体型枠に打ち込み後 24 時間で脱型し、7 日間湿布養生し、その後室内で 20 日間気中養生させたものを用いた。また、直径 5 cm、高さ 10 cm の円柱形供試体を作製し、一軸圧縮試験および圧裂引張試験を行い、圧縮強度、引張強度、接線弾性係数およびポアゾン比を求めた。強度・変形定数を表-3 に示す。

孔配置は、以下の 2 種類とした。

- 1) Type A：加圧孔 1 孔のみ
- 2) Type B：加圧孔 1 孔と空孔 2 孔

加圧孔は供試体の中心に設け、直径は 8.5 cm、空孔の直径は 4 cm とし、空孔の位置は加圧孔と等倍の 8.5 cm 離れた位置に設けた。供試体の概念図を図-8 に示す。自由面から離れた位置での 1 自由面の破砕を想定して、供試体の鉛直方向の自由面を拘束板と油圧ジャッキによりすべて拘束した。供試体の設置状況の概念図を図-9 に示す。センターホールジャッキによるスライダの引抜量は 1/1000 mm まで測定できるダイヤルゲージを用い測定した。供試体表面の挙動を調べるために、加圧孔および空孔

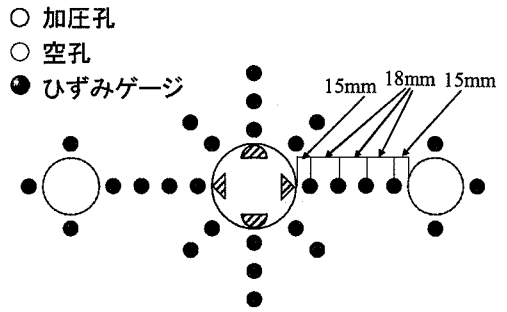


図-10 ひずみゲージの貼付位置

の周辺にゲージ長 5 mm の 2 軸ひずみゲージを貼付し測定を行った。加圧孔周辺では、8 方向にそれぞれ加圧孔壁面から 15 mm、33 mm および 51 mm の位置に、空孔周辺では 4 方向にそれぞれ空孔壁面から 15 mm の位置にひずみゲージを貼付した。貼付位置を図-10 に示す。実験はセンターホールジャッキの引抜荷重をロードセルで計測しながら、引抜荷重で約 1 kN/s の荷重制御で、供試体が破断するまで載荷した。

実験の結果、供試体が破断する直前に引抜荷重が最大になり、その値は Type A で 59.4 kN、Type B で 50.4 kN となった。結果はそれぞれの条件において最低 3 回実験を行った結果を平均している。また、2. (2) で述べた摩擦係数の測定実験と同様の実験により求めたスライド式油圧破砕器の摩擦係数は $\mu = 0.0840$ であり、現場実験用の破砕機とは材質およびウエッジ、加圧板とスライダが接触する面の平坦度の違いにより摩擦係数が異なる。

式(1)に得られた摩擦係数と供試体が破断する直前の引抜荷重(最大引抜荷重)を代入し、供試体に作用する力に換算したものを破砕に要する力とすると、破砕に要する力は Type A で 246.6 kN、Type B で 209.3 kN となった。引抜量をテーパ部の勾配から水平方向にウエッジと加圧板を押し出す量に換算した破砕時の加圧板の変位量は Type A が 0.917 mm、Type B が 0.412 mm である。加圧孔に与える力が 124 kN の時の供試体の表面ひずみを図-11 に示す。加圧孔に与える力が 124 kN の状態ではいずれの実験においても供試体表面に亀裂は観察されず、ひずみゲージによるひずみも計測され、ひずみゲージの剥離や破断が生じていない。計測されたひずみも最大で 600 μ 程度であり、ひずみゲージの測定範囲内に充分入る値である。これ以上の荷重になると、供試体に亀裂が生じ、ひずみゲージに剥離や破断が生

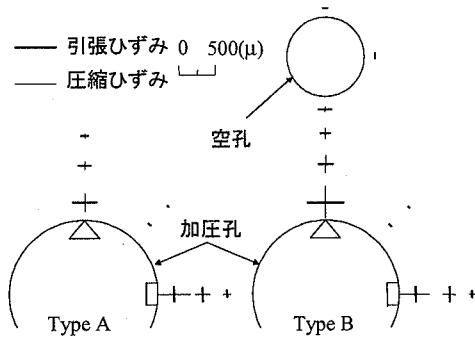


図-11 加圧孔に与える力が124 kN時の表面ひずみ

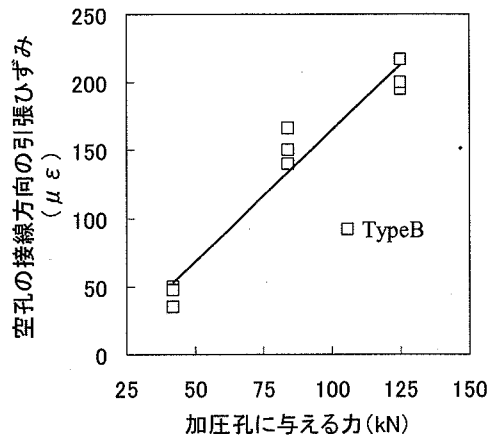


図-13 加圧孔に与える力と空孔近傍の接線方向の引張ひずみ

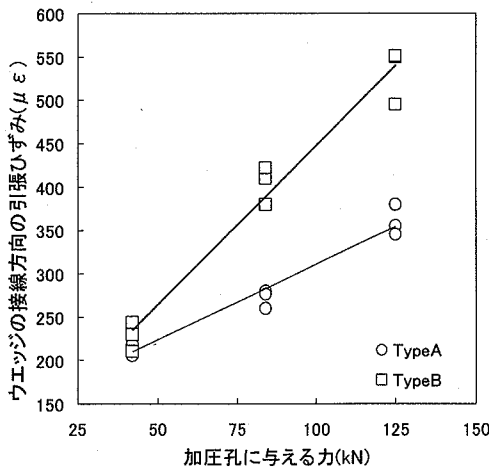


図-12 加圧孔に与える力とウエッジ近傍の接線方向の引張ひずみとの関係



図-14 現場実験に使用した岩石供試体の一例

じ、ひずみの計測ができない場合があった。

加圧孔に与える力とウエッジ近傍の接線方向の引張ひずみとの関係を図-12に、加圧孔に与える力と空孔近傍の接線方向の引張ひずみとの関係を図-13に示す。加圧孔に与える力が大きくなるに従ってそれぞれの引張ひずみが増加している。Type AとType Bを比べると、Type Bのウエッジ近傍の接線方向の引張ひずみが大きくなっている。これはウエッジの延長線上に空孔を設けたために、自由面があるのと同じ効果でウエッジと空孔の近傍の引張ひずみが大きくなったものと考えられる。また、引抜荷重と引抜量との関係から破碎時の仕事量を求めるとType Aで115.5 J、Type Bで61.0 Jとなった。

(3) 現場実験による検討

愛媛県新居浜市の採石場において和泉砂岩の転石

を用いた破碎実験を行った。供試体は同時期に地山の同場所で採取した岩石で、図-14に一例を示すように150 cm(幅)×100 cm(奥行き)×100 cm(高さ)でそれぞれの辺の長さの差が±10 cmのほぼ直方体である。実験に使用した岩石の強度・変形定数を表-4に示す。現場実験で用いるのはスライド式とピストン式の油圧岩盤破碎機である。加圧孔およびその両側に設ける空孔は供試体の上面である150 cm×100 cmの面に削岩機で直径100 mm、深さ650 mmに削孔した。削孔例を図-15に示す。また、孔配置と用いる破碎機の組み合わせを表-5に示す。

スライド式油圧岩盤破碎機を用いた実験では、センターホールジャッキによるスライダの引抜荷重はロードセルにて、引抜量については1/100 mmダイヤルゲージを用いて測定した。破碎機の装填状況を図-16に示す。なお、岩石供試体に潜在的に亀裂

表-4 実験に用いた和泉砂岩の強度・変形定数

| | |
|-------------|-------|
| 一軸圧縮強度(MPa) | 96.14 |
| 圧裂引張強度(MPa) | 7.39 |
| 接線弾性係数(GPa) | 25.1 |
| ポアソン比 | 0.15 |

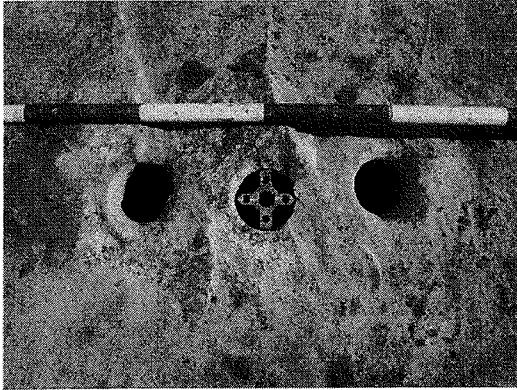


図-15 加圧孔と空孔の外観

表-5 孔配置と用いる破砕機の組み合わせ

| 孔配置 | 破砕機 | |
|-----------------------|---------|---------|
| | スライド式 | ピストン式 |
| 加圧孔のみ | Type SA | Type PA |
| 加圧孔と空孔の距離 : 100 mm | Type SB | Type PB |
| 加圧孔と空孔の距離 : 200 mm | Type SC | Type PC |

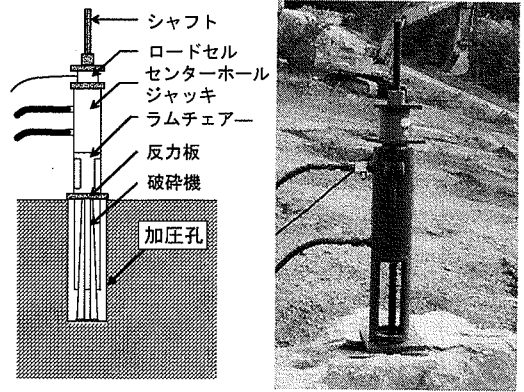


図-16 スライド式油圧岩盤破砕機の装填状況

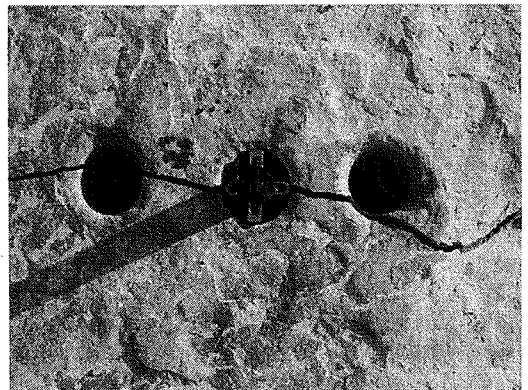


図-17 実験結果の一例

を含んでいたりして、正常に破砕できなかった実験は結果をまとめる際に除外した。ここでいう正常な破砕とは亀裂の希望方向である供試体の 150 cm(幅)×100 cm(高さ)の面にほぼ平行に亀裂が生じ、空孔のある孔配置では空孔を通過し、かつ、供試体が破断したものである。

実験結果の一例を図-17に実験結果を表-6に示す。結果はそれぞれの条件において最低3回実験を行った結果を平均している。ここでも破砕前の引抜荷重の最大値を式(1)に代入し、算出したものを破砕に要する力とした。

破砕に要する力について Type SA と比較すると Type SB は 88%、Type SC で 96%となった。また加圧板の変位量について Type SA と比較すると Type SB は 55%、Type SC で 76%となった。次に、引抜荷重と引抜量との関係から、破砕時の仕事量を求めると Type SA で 9223 J、Type SB で 4528 J、Type SC で 6436 Jとなった。以上の結果からスライド式油圧岩盤破砕機においても空孔が破砕に有効で

表-6 現場実験の結果

| | 引抜加重 (kN) | 破砕に要する力(kN) | 破砕時の加圧板の変位量(mm) |
|---------|--------------|-------------|-----------------|
| Type SA | 345.0 | 490.2 | 5.96 |
| Type SB | 301.9 | 429.0 | 3.32 |
| Type SC | 330.5 | 469.6 | 4.56 |

| | 破砕時の油圧 (MPa) | 破砕に要する力 (kN) |
|---------|-----------------|-----------------|
| Type PA | 998 | 552.8 |
| Type PB | 940 | 520.7 |
| Type PC | 965 | 534.5 |

あることがわかった。また、加圧孔と空孔の距離が近いほど空孔の効果がより発揮されるものと考えられる。ただし、現場実験を行った結果、削孔の施工性を考えると加圧孔と空孔の距離は加圧孔の径である 100 mm 程度が限界であると考えられる。

スライド式油圧岩盤破砕機とピストン式油圧岩盤

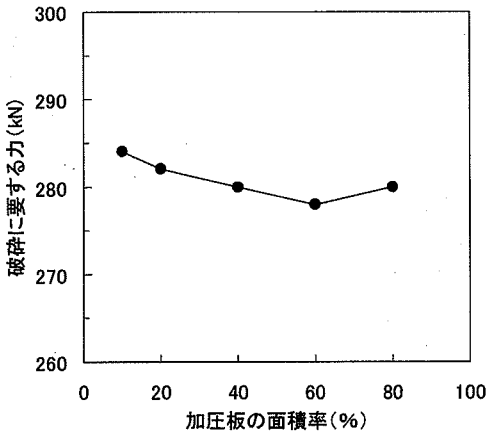


図-18 加圧板の面積率と破碎に要する力との関係 (解析結果)

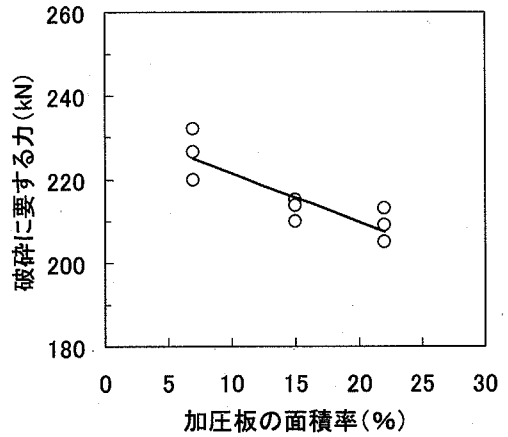


図-19 加圧板の面積率と破碎に要する力との関係 (室内実験結果)

表-7 室内実験に用いた加圧板

| | 加圧板の幅 | 加圧孔に対する加圧板の面積率 |
|--------|-------|----------------|
| Type 1 | 10 mm | 7 % |
| Type 2 | 20 mm | 15 % |
| Type 3 | 30 mm | 22 % |

破碎機を用いた場合を比較すると、すべての場合でスライド式油圧岩盤破碎機の方がピストン式油圧岩盤破碎機より破碎に要する力が小さくなった。

4. 加圧板の面積が破碎に及ぼす影響

ここでは、スライド式油圧岩盤破碎機において加圧板の荷重面積を変化させた場合の破碎に及ぼす影響を理論解析と室内および現場実験を行い検討した。

(1) 解析による検討

解析方法および用いた強度・変形定数は3で述べたものと同様である。孔配置は加圧孔を1孔のみ設けた場合とし、加圧孔の直径は10 cmとした。加圧板の荷重面積は加圧孔に対する加圧板の面積率で10~80%とした。

解析により得られた結果から、加圧板の面積率と破碎に要する力(加圧孔から一方に亀裂を1 m進展させるのに要する力)との関係を図-18に示す。加圧板の面積が大きくなるのに伴い、破碎に要する力が減少していることがわかる。しかし、面積率80%の場合には逆に破碎に要する力が増加しており、加圧板の面積率には最適値があることがうかがえる。

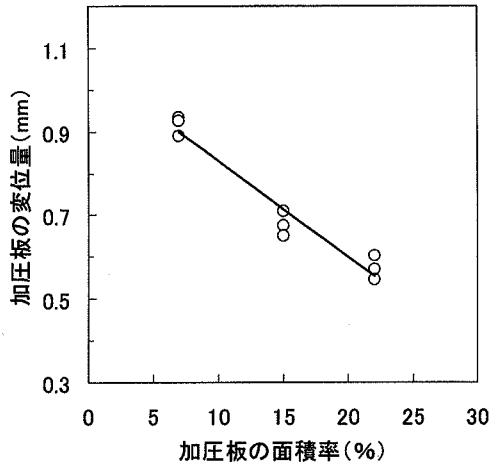


図-20 加圧板の面積率と破碎時の加圧板の変位量との関係 (室内実験結果)

しかし、後述する室内実験および現場実験のように面積率を大きくするには破碎機の構造上限界があり、その最大は20数%であるため、現実には面積率が大きい方が破碎に要する力は減少するとしてもよいものと考えられる。

(2) 室内実験による検討

実験方法および用いた供試体は3で述べたものと同様である。孔配置は加圧孔を1孔のみ設けた場合とし、表-7に示す3種類の加圧板を使用した。なお、室内実験用の油圧岩盤破碎器では、加圧板の幅は3 cm程度が大きくできる限界である。

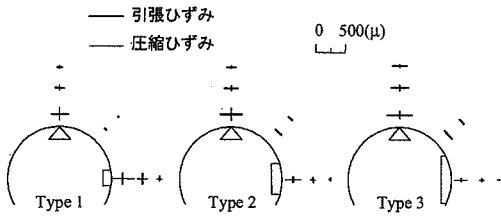


図-21 加圧板の面積率を変化させた場合の表面ひずみ (加圧孔に与える力が 124 kN 時)

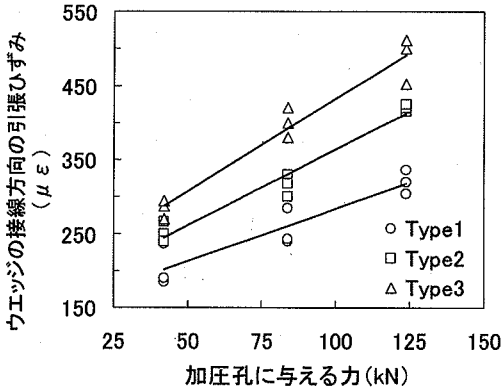


図-22 加圧板の面積率を変化させた場合の加圧孔に与える力とウエッジ近傍の接線方向の引張ひずみとの関係

実験結果から加圧板の面積率と破砕に要する力との関係を図-19 に示す。また、図-20 に加圧板の面積率と破砕時の変位量との関係を示す。加圧板の面積が大きくなるのに伴い、破砕に要する力および加圧板の変位が小さくなるのがわかる。図-21 は加圧孔に与える力が 124 kN の時の供試体の表面ひずみを示している。また、加圧孔に与える力とウエッジ近傍の接線方向の引張ひずみの関係を図-22 に示している。加圧板の面積が大きくなるに伴って、引張ひずみも大きくなっているが、このことが破砕に要する力と密接な関係にあるものと考えられる。

次に、引抜荷重と引抜量との関係から破砕時の仕事を求めると Type 1 で 115.5 J, Type 2 で 85.0 J, Type 3 で 79.7 J となり、加圧板の面積が大きくなるのに伴い仕事量も減少している。

(3) 現場実験による検討

実験方法および用いた供試体は 3 で述べたものと同様である。加圧板は表-8 に示す 2 種類を使用し

表-8 現場実験に用いた加圧板

| | 加圧板の幅 | 加圧孔に対する加圧板の面積率 |
|---------|-------|----------------|
| Type S1 | 20 mm | 13 % |
| Type S2 | 40 mm | 25 % |

表-9 加圧板の面積率と破砕に要する力および破砕時の変位量の関係 (現場実験結果)

| 加圧板の面積率 (%) | 破砕に要する力 (kN) | 加圧板の変位量 (mm) |
|-------------|--------------|--------------|
| 13 | 429.1 | 3.315 |
| 25 | 376.4 | 2.063 |

た。孔配置は加圧孔 1 孔と空孔 2 孔を設ける場合とした。

実験結果から加圧板の面積率と破砕に要する力および破砕時の変位量との関係を表-9 に示す。加圧板の面積が大きくなるのに伴い、破砕に要する力および加圧板の変位が小さくなるのがわかる。

次に、引抜荷重と引抜量との関係から破砕時の仕事を求めると Type S1 で 4528 J, Type S2 で 3135 J となり加圧板の面積が大きくなるのに伴い仕事量も減少している。

解析、室内実験および現場実験の結果から加圧板の面積を大きくすることによって破砕効率は向上することがわかった。

5. 結言

本研究では、ピストン式油圧岩盤破砕機とは機構の異なるスライド式油圧岩盤破砕機を試作し、空孔が破砕に及ぼす影響について、実験と理論解析にて検討した。また、加圧孔に対する加圧板の面積を変化させた場合の破砕性について、実験と理論解析にて検討した。

得られた結果を要約すると以下のとおりである。

(1) 空孔を設けることにより破砕に要する力、加圧板の変位量が軽減され、仕事量も小さくなる。さらに空孔は加圧孔に近いほど破砕に有利である。

(2) 現場実験において、スライド式油圧岩盤破砕機とピストン式油圧岩盤破砕機を用いた場合を比較すると、すべての場合でスライド式油圧岩盤破砕機の方が破砕に要する力が小さかった。

(3) スライド式油圧岩盤破砕機において加圧孔に対する加圧板の面積を大きくすることによって破砕に要する力、加圧板の変位量が軽減され、仕事量は小

さくなる。ただし、解析の結果より加圧板の面積率には最適値があることがうかがえる。

参考文献

- 1) 土木学会編：土木工学ハンドブック，pp. 1571-1596，技報堂，1974.
- 2) 本田裕夫，萩森健治，古川浩平，中川浩二：硬岩トンネルの無発破掘削に関する研究，土木学会論文集，No. 379 / VI-6，pp. 55-64，1987.
- 3) 氏本幸伸，粕谷忠則，中村吉男，石山彰一，中嶋康行：低騒音・低振動掘削工法(4)割岩工法の現状と施工事例，トンネルと地下，Vol. 24，No. 7，pp. 51-56，1993.
- 4) 野間達也，土屋敏郎，波田光敬：新しい自由面形成と割岩方法による硬岩トンネルの機械化掘削，土木学会論文集，No. 567 / VI-35，pp. 81-90，1997.
- 5) 例えばヤマモトロックマシン：「超大型油圧式岩盤破砕機BIGGER」カタログ.
- 6) 中川浩二，庄野豊，石井吉宏，仙石博嗣：割岩工法で環境問題を克服，トンネルと地下，Vol. 22，No. 9，pp. 17-24，1991.
- 7) 萩森健治，豊田九里夫，栗原信介，大山宏，村上誠：低騒音・低振動掘削工法(5)割岩工法の現状と施工事例，トンネルと地下，Vol. 24，No. 8，pp. 57-63，1993.
- 8) 岡野成敏，岡野幹雄，平田篤夫，落石雅宣，丸山功：低騒音・低振動掘削工法(6)割岩工法の現状と施

工事例，トンネルと地下，Vol. 24，No. 9，pp. 73-82，1993.

- 9) Summers, D.A., Blaine, J.G., Fossey, R.D. and Tyler, L.J.: Low Pressure Abrasive Waterjet Use for Precision Drilling and Cutting of Rock, *Proc. of 11th Int. Conf. on Jet Cutting Technology*, 1992.
- 10) 稲田善紀，野原浩一，上原健，松本番，岡本將昭，宮村長生：油圧式岩盤破砕機による岩盤破砕に関する基礎的研究，土木学会論文集，No. 568 / III-39，pp. 249-258，1997.
- 11) 渡辺彬：摩擦の基礎，pp. 6-7，パワー社，1979.
- 12) 稲田善紀，木下尚樹，福岡正志，川口隆：油圧式岩盤破砕機を用いた効率的破砕に関する一考察，愛媛大学工学部紀要，Vol. 20，pp. 115-124，2001.
- 13) 稲田善紀，横田公忠，岡本將昭：油圧式岩盤破砕機の試作と破砕に関する考察，愛媛大学工学部紀要，Vol. 12，pp. 109-118，1992.
- 14) 稲田善紀，横田公忠，岡本將昭，新田稔，武石文暢：油圧式岩盤破砕機の試作的研究，第13回西日本岩盤工学シンポジウム論文集，pp. 33-38，1992.
- 15) 稲田善紀，上原健，岡本將昭，新田稔，武石文暢：油圧式岩盤破砕機による施工時の岩盤の破砕機構，第14回西日本岩盤工学シンポジウム論文集，pp. 32-37，1993.
- 16) 稲田善紀：岩盤工学，pp. 189-191，森北出版，1997.
- 17) 前掲 16)，pp. 85-86.

(2003.7.18 受付)

EFFECT OF PRESSURE PLATE OF HYDRAULIC ROCK FRACTURE MACHINE AND EMPTY HOLES ON ROCK FRACTURE

Yoshinori INADA, Naoki KINOSHITA, Takashi KAWAGUCHI,
Hideki YAMAUCHI and Hiroaki WATANABE

As one of the quiet rock fracture methods, a slide-type hydraulic rock fracture machine was made on a trial basis. This machine was able to add a concentrated load in the pressure hole using a wedge in four directions perpendicularly for obtaining an effective fracture.

Using this machine, the effect of empty holes and size of pressure plate on rock fracture was investigated by theoretical analysis, laboratory and field tests. Results of the investigations showed that empty holes are effective to reduce the force required for fracture. It was also found that the force and energy required for fracture decrease with increasing size of the pressure plate.