

(53) 液圧による静的破碎工法の基礎実験 (その2)

フジタ工業㈱ 技術研究所 正員 ○野間達也・門田俊一・和久昭正
㈱ブリヂストン 工業用品本部 上田滋夫・潤田久也・立浪敬造

BASIC STUDY ON STATIC FRACTURING METHOD BY FLUID PRESSURE (2)

Tatuya NOMA, Syuniti KADOTA, Akimasa WAKU, FUJITA CORPORATION
Shigeo UEDA, Hisaya URUTA, Keizo TATUNAMI, BRIDGESTONE CORPORATION

ABSTRACT

Blasting is the technique generally employed for the fracturing of rock masses. Although this method has superior fracturing properties, it always involves large vibrations and tremendous noise. With recent increases in rock excavations near residential areas, there has been a demand for a non-blasting fracturing method to reduce noise pollution.

In this paper, a new non-blasting method of fluid pressure fracturing is discussed as follows:

- (1) Outline of developed fracturing machine.
- (2) Description of basic fracturing experiments in a laboratory using a fracturing machine, granite block (80cm × 40cm × 70cm) and rock mass model by high strength concrete.

The following results were obtained;

- (1) The granite block and the rock mass model were broken by the fracturing machine.
- (2) It was confirmed that the fracturing machine was suitable for static fracturing.

1. はじめに

岩盤を破碎するには、発破工法を採用するのが最も効率が高く、低コストであることはいうまでもない。しかし、最近都市近郊におけるトンネル・斜面などの岩盤掘削工事が増加する傾向にあり、大きな振動・騒音を伴う発破工法は適用できない場合が多い。

このため、岩盤の静的破碎工法として、膨張性破碎剤による方法・油圧クサビによる方法・ガス圧、水圧等を利用した方法などが開発されてきている¹⁾。しかし、いずれの方法も、安全面や、破碎装置の規模が大掛かりになるなどの問題点がある。

筆者らは、これらの問題点を改善し、手軽でかつ安全な岩盤の破碎装置の開発に取り組んでいる^{2) 3)}。前報にくらべ、液圧による破碎装置 (以下割岩機と称す) を次のように改良した。

①高圧チューブの耐圧力をほぼ3倍に向上させた。

②加圧媒体を三角柱状から四角柱状に変更し、き裂の方向をより制御しやすくした。

本論文では、

①試作した割岩機の概要

②割岩機の機能検証実験

③80cm×40cm×70cmの大きさの花崗岩ブロックおよび超高強度コンクリートによる模擬岩盤への破碎基礎実験

について報告する。

2. 試作した割岩機の概要

割岩機を開発するにあたり、①手軽であること、②振動・騒音が発生しないこと、③繰り返し使用が可能なこと、④安全性が高いこと、の4点に重点をおいた。

本割岩機は、図-1・写真-1に示すように高压チューブを中心とし、周囲をゴム状弾性材料による四角柱形状をした加圧媒体（以下ゴムクサビと称す）、および90度間隔に配置したかまぼこ形状をした鋼製載荷板より成る。

図-2に今回開発した割岩機の高压チューブ部の構造を示す。この高压チューブは6部材より成り、各部材の機能は以下のものである。

- ①外被層：天然ゴム、合成ゴム等のゴム状弾性材料より成り、補強材への外傷を防止する。
- ②③補強材：高内圧による軸方向への変形を防ぎ、また内面ゴム層の高圧による破壊を防止する。
- ④内面ゴム層：ゴム状弾性材料より成り、密封製を高める。
- ⑤加締金具：高压チューブの両端を半径方向に圧縮し、同方向の変形を抑えると同時に軸方向への抜けも抑える。
- ⑥芯金具：加締金具による半径方向への圧縮による内面ゴム層の逃げを防止し加締反力を保持する。また、内圧を伝えるための液体を注入するホースをこの部分に接続する。
- ⑦中空部：径8mmの中空部であり、岩盤破碎時にはここに液体を充填し、圧力を加える。

割岩機の破碎機構は次のとおりである。まず、割岩機をボアホールに挿入する。次に、高压チューブ部に高液圧を作用することにより、ゴムクサビが膨張し、載荷板に圧力が伝達される。90度間隔に配置してある載荷板の頂点に圧縮力が働くことにより結果的に載荷板間に引張応力が生じる。この引張応力により岩盤を破碎する。また、90度間隔で引張応力を作用させることが可能なため、き裂の方向を制御することができ、効率的な岩盤破碎を実施できるものと考えられる。さらに、高压チューブをゴムクサビが保護しているため岩盤破碎時の急激な圧力開放に際してもチューブは損傷されず、繰り返し使用が可能なものと考えられる。

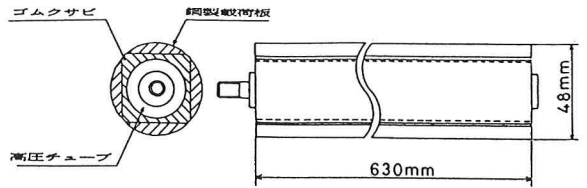


図-1 試作した割岩機

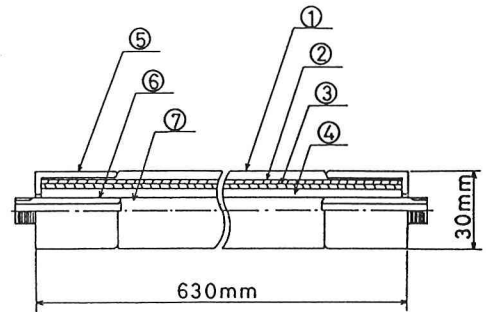


図-2 高压チューブ構造図

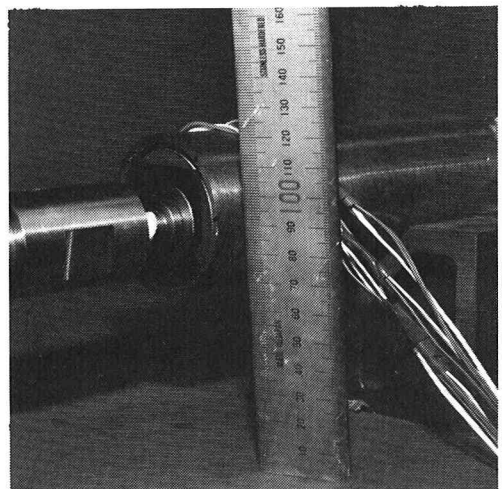
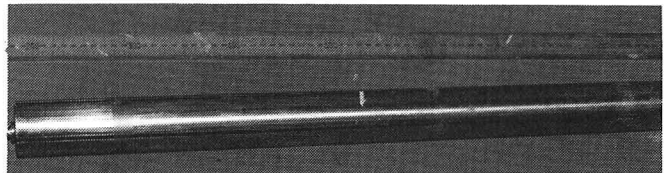


写真-1 試作した割岩機

3. 機能検証実験

試作した割岩機の機能を検証するため、次のような実験を行なった。

内径52mm、外径59mmの鋼管の中心部表面に45度間隔で8枚のひずみゲージを貼付する。このひずみゲージは二方向ゲージであり、鋼管の軸方向および半径方向のひずみを検出できる。この鋼管のなかに圧力測定フィルム（商品名プレスケール、富士写真フィルム㈱製）で被覆した割岩機を挿入する。割岩機に手動油圧ポンプを用いて一定の圧力（今回は100kgf/cm²）を載荷し、その時のひずみゲージの値をパーソナルコンピュータに記憶させる。さらに、試験後ただちに圧力測定フィルムが示す圧力を読み取る。圧力測定フィルムより、荷重は載荷板頂点部に約400kgf/cm²、載荷板間には約100kgf/cm²の集中荷重を与えることがわかった。

これより、図-3に示す要素分割および境界条件で有限要素解析を行ない、解析より得られる鋼管表面のひずみと、実測値を比較することにより、割岩機の機能を検証した。ここで、載荷板頂点部に400kgf/cm²の集中荷重を加えるとともに、ゴムクサビ自体の膨張も生じるので、載荷板間にも100kgf/cm²の荷重が加わるという仮定に基づき解析を実施した。

実験値および解析値の鋼管の半径方向におけるひずみの比較を表-1に示す。表より明らかなように、解析値と実験値とはほぼ一致しており、高圧チューブに100kgf/cm²の圧力を作用させると、載荷板頂点部にはほぼ400kgf/cm²の集中荷重が生じることが実証された。

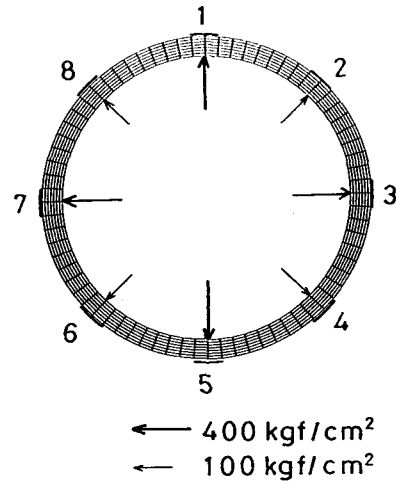


図-3 鋼管の要素分割図

表-1 実験値と解析値の比較

ゲージNO.	実験値 (マイクロストレイン)	解析値 (マイクロストレイン)
1	2623	2150
2	-672	-410
3	1542	2150
4	-555	-410
5	2063	2150
6	-494	-410
7	1079	2150
8	-587	-410

※引張を正としている

4. 岩盤破碎基礎実験

実際の岩盤を破碎する前段階として、花崗岩および超高強度コンクリートによる模擬岩盤を供試体として破碎実験を行ない、本割岩機の現場への適用性を検討した。表-2に実験に用いた茨城県笠間市産の稲田花崗岩および超高強度コンクリートの物性値を示す。

1) 花崗岩破碎実験

図-4に供試体の形状を示すが、供試体は縦40cm・横80cm・高さ70cmの直方体であり、横方向の中心線上に20cm間隔で

表-2 稲田花崗岩および超高強度コンクリートの物性値

	稲田花崗岩	超高強度コンクリート
一軸圧縮強度 (kgf/cm ²)	1890	1300
圧裂引張強度 (kgf/cm ²)	68	53
接線ヤング率 (kgf/cm ²)	5.9×10^5	3.8×10^5
ポアソン比	0.23	0.22

外径50mmのビットを用いて深さ65cmまで3本のボアホールを穿孔した。

実験方法は、中心のボアホールに割岩機を引張応力が供試体面と平行となるよう1本挿入し、最大油圧1000kgf/cm²の能力を有する油圧ユニットを用いて加圧した。

ほぼ10kgf/cm²/secの载荷速度で加圧したところ、300kgf/cm²の圧力で写真-2に示すように供試体中心の横方向にき裂が入り破砕した。

破砕に至る効率を調べる目的で、図-4に示す供試体を対象として、境界要素法による平面ひずみ状態を仮定した弾性応力解析を実施した。解析方法は、各ボアホールを36の一定要素に分割し、また、供試体周囲を48の要素で分割し、3.と同様に载荷板部に400kgf/cm²の集中荷重を作用させた。この荷重は100kgf/cm²の液圧をゴムチューブに作用させた場合と同じである。

図-5に、载荷したボアホール円周より2.5cm、7.5cm地点の応力として、主応力ベクトル、および、引張主応力の解析値を示す。この図より、ゴムチューブに100kgf/cm²の液圧を作用させた場合、ボアホール周辺にはほぼ80kgf/cm²の引張応力が発生することとなり、この値は、表-2に示す花崗岩の引張強度を超過している。実験では300kgf/cm²の圧力で供試体が破砕していることから、解析結果と実験結果は一致しない。この理由としては、3.で示した鋼管を用いた機能検証実験は、鋼管がほぼ真円であるが、花崗岩供試体の場合、実際の削岩機を用いて削孔したため、孔曲がりや壁面が滑らかでないことなどから、割岩機に与えられた圧力がすべて壁面に伝達されていないものと考えられる。以上から、実際のボアホールにおける破砕効率は、鋼管を用いた機能検証実験を基準とすればほぼ1/3となる。しかし、この伝達効率については、種々の状況によって変化するものと考えられるため、今後の検討課題としたい。なお、図-5では、供試体横方向を破砕する引張応力が、縦方向より卓越しており、実際の破砕状況と一致している。

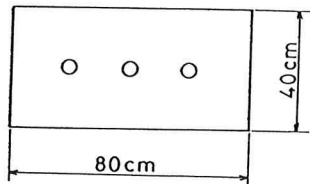


図-4 花崗岩供試体

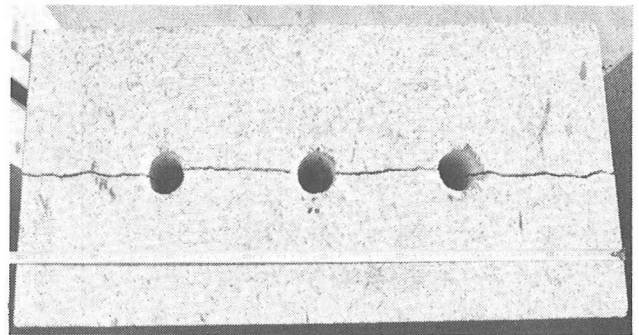


写真-2 破砕した花崗岩供試体

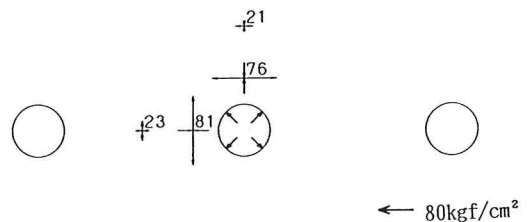
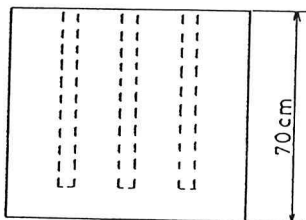


図-5 解析結果

2) 超高強度コンクリート破碎実験

前述した花崗岩の破碎実験は、周囲が拘束されていない、いわば自由面が多い条件下の破碎である。実際に岩盤を破碎するには、さらに自由面のない場合の検討が必要である。このため、図-6に示す内径2000mm、外径2327mm、長さ2430mmの下水道推進工法用鉄筋コンクリート管（推進管）に超高強度コンクリートを充填し、模擬岩盤として自由面のない条件下での破碎実験を行なった。

実験方法は、超高強度コンクリートを充填した推進管の中心に、図-6に示すように15cm間隔の格子状に外径50mmのビットを用いて深さ65cmのボアホールを9本穿孔する。9本のボアホールのうち5本に割岩機を挿入し、図の矢印の方向に載荷する。残りの4本のボアホールはバーンホールとする。矢印の方向に載荷することにより、垂直および水平方向にき裂が進展することを想定した。

花崗岩破碎実験と同様に、容量1000kgf/cm²の油圧ユニットを用いて、約10kgf/cm²/secの載荷速度で5本同時に載荷を続けたところ、220kgf/cm²のときに図に示すような垂直方向のき裂が発生した。このき裂は、ボアホール周辺のみならず、推進管全体に及んだ。き裂の発生後も送油を続けたところ、圧力はこの値でほぼ一定となり、き裂の幅が拡幅されていくのが観察された。

この実験結果より、本割岩機が自由面のない実際の岩盤にも適用可能なことが確認された。今後の課題としては、穿孔間隔およびバーンホールの必要性の有無の検討を行なうとともに、異なる強度の岩盤への適用性も検討して行きたい。

5. おわりに

高圧チューブ・四角柱状の形状をしたゴム状弾性材料による加圧媒体（ゴムクサビ）・載荷板より成る岩盤破碎機（割岩機）を試作し、岩盤破碎のための基礎実験を行なった。

機能検証実験として鋼管のなかに割岩機を挿入し載荷したところ、内圧100kgf/cm²の時に載荷板頂点部にほぼ400kgf/cm²の荷重が加わることが確認できた。さらに破碎基礎実験として、80×40×70cmの花崗岩ブロックおよび内径2mの大きさの推進管に超高強度コンクリートを充填した模擬岩盤の破碎実験を実施したところ、両者ともに破碎に至った。これより、本割岩機を実際の岩盤破碎に使用可能なことが確認できた。

今後の課題としては、高圧チューブの耐久性を上昇させるとともに、穿孔間隔等の検討・繰り返し載荷試験の実施を行ない、実岩盤破碎および既設コンクリート構造物の解体への適用を実施して行く予定である。

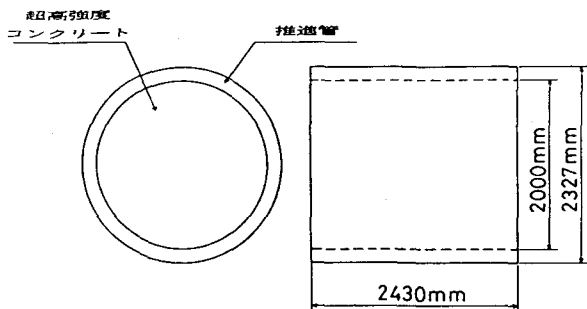


図-6 推進管を用いた模擬岩盤

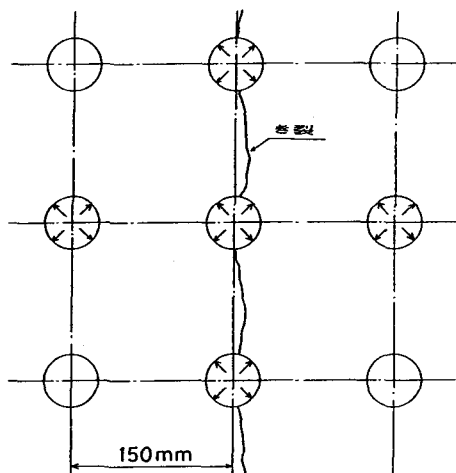


図-7 実験および破碎状況

- (参考文献) 1) 坂野良一：発破によらない低振動岩盤発破工法、建設機械vol.23、No.1、1987 2) 和久、門田、大倉、野間、村山：液圧による静的破碎工法の基礎実験、第20回岩盤力学に関するシンポジウム、1988 3) 和久、鎌田、門田、野間：岩盤の静的破碎工法の開発、フジタ工業技術研究所報、vol.24、1988