

液圧を用いた岩盤・コンクリートの静的破碎工法の開発[†]

DEVELOPMENT OF STATIC FRACTURING METHOD OF ROCK MASS AND CONCRETE BY HYDRAULIC PRESSURE

野間達也*・村山秀幸*・門田俊一**・上田滋夫***

By Tatsuya NOMA, Hideyuki MURAYAMA, Shunichi KADOTA and Shigeo UEDA

Although blasting is an effective method of fracturing rock mass, the method involves tremendous shock waves and noise. Due to recent increase in rock excavation near residential areas, there have been growing demands for alternative methods of excavation to avoid excessive noise pollution. A new static fracturing method of rock excavation and demolition of concrete structures using pressurized fluid was developed to satisfy such demands.

This paper describes the outline of fracturing machine and fracturing system used in the method, function check experiments of the machine and applicability of the method to rock slope excavation and demolition of top of concrete piles.

It is confirmed that the method shows sufficient function to fracture rock mass and concrete structures.

Keywords: static fracturing, rock mass, concrete, hydraulic pressure

1. はじめに

岩盤を破碎するには、効率が良く低コストである発破工法が一般的に採用されている。しかしながら、最近の急速な都市化の進展に伴い、一般住居近傍あるいは重要構造物近傍の岩盤掘削工事が増加しつつあり、この場合には大きな騒音・振動を伴う発破工法を採用できないことが多い。また、最近では、都市域のコンクリート構造物解体工事においても、大きな振動・騒音が発生する工法の採用が困難になりつつある。したがって、岩盤・コンクリートを静的にかつ効率的に破碎する工法（静的破碎工法）の開発は急務である。

従来の静的破碎工法では、破碎対象物に亀裂を生じさせることを目的とした一次破碎、および、完全に破碎するためのリッピング、ブレイカ等による二次破碎が一般的な施工手順である¹⁾。二次破碎については、現在のところ、上述したリッピング、ブレイカによる方法が最も

一般的に採用されている。一次破碎の方法については、1) 膨張性破碎剤、2) 油圧くさび、3) 水圧破碎器、などによる方法が採用される機会の多い工法であるが^{2), 3)}、種々の問題点を有している。すなわち、膨張性破碎剤による方法は、破碎作業が比較的簡単であるものの、効果が発現するまでに8~10時間必要であること、破碎剤充填後蒸気を噴発することなど、作業効率や安全面において問題がある。油圧くさびによる方法は、大きな破碎力を示すものの、油圧シリンダを利用するために装置自体が大きく高重量であること、機械が高価であることなどの問題点を有している。水圧破碎器による方法は、軽量であるために作業性に優れかつ比較的大きな破碎力を示すものの、破碎器としてゴムチューブが用いられているために、亀裂発生時に本体が亀裂に挟まり破損することが多く、繰り返し使用が不可能であることから経済性に問題がある。なお、最近では、形状記憶合金を用いた破碎器⁴⁾、ウォータージェット・レーザーを用いる方法などが研究段階にある。

上述した岩盤・コンクリートの静的破碎工法に関する現状の問題点を踏まえ、著者らは、作業性が良好でありかつ、安全・効率的な一次破碎に対する静的破碎装置(以下、割岩機と称す)の開発を目的とした一連の研究を行ってきた^{5), 6)}。本論文では、これらの研究成果をまとめ、

[†] 本論文の一部は、第8回岩の力学国内シンポジウム⁹⁾において発表している。

* 正会員 工修 (株)フジタ技術研究所第一研究部岩盤研究室 (〒223 横浜市港北区大瀬町74)

** 正会員 工修 (株)フジタ技術研究所第一研究部岩盤研究室長 (同上)

*** (株)ブリヂストン工業用品本部土木資材開発室長 (〒244 横浜市戸塚区柏尾町1)

以下について述べる。

1) 高圧ゴムチューブを鋼製載荷板などで補強した割岩機の構造とその破碎機構、ならびに、破碎システムの特長を示す。

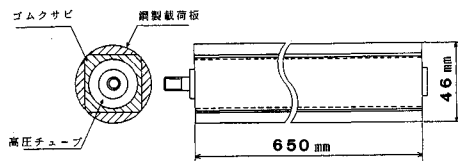
2) 鋼管を用いた載荷実験、および花崗岩ブロックを用いた破碎実験により、割岩機の破碎機能を検証する。

3) 岩盤斜面掘削工事、および、コンクリート構造物破碎への適用例としてリバース杭頭処理工事への適用事例を示し、破碎システムの実用性について検討する。

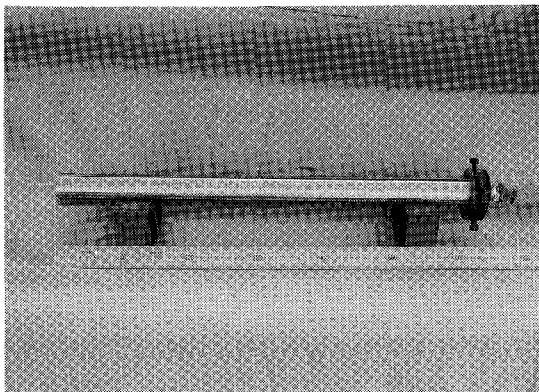
2. 割岩機の概要と破碎システムの特長

(1) 割岩機の構造

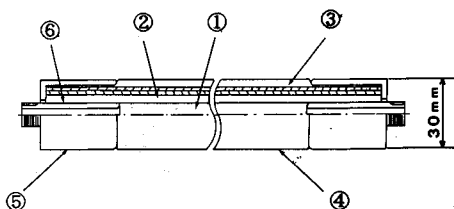
開発した割岩機は、図一1、写真一1に示すように、中央に位置する高圧チューブ、その周囲を取り囲むゴム製の四角形状をした加圧媒体（以下ゴムくさびと称す）、さらにゴムくさびの周囲に90度間隔に配置したかまぼこ形状の4枚の鋼製載荷板を主要構成部材とする。割岩機の寸法は長さ650mm、直径46mmであり、重量は4.5kgfである。



図一1 割岩機の構成部材



写真一1 試作した割岩機的全景



図一2 高圧チューブ構造図

図一2に高圧チューブの構造詳細図を示す。高圧チューブは主要5部材よりなり、各部材の機能は次に示すとおりである。

① 中空部：直径8mmの中空部であり、この部分に液圧（水圧）が作用する。

② 内面ゴム層：高品質ゴム状弾性材料よりなり、中空部に充填される液体の密封性を高める。

③ 補強材：2層よりなり、中空部に作用する液圧による軸方向変形を防止し、さらに、内面ゴム層の液圧による破壊を防止する。なお、この部材は、高品質ゴムを高強度アラミド繊維（ケブラー）で補強している。

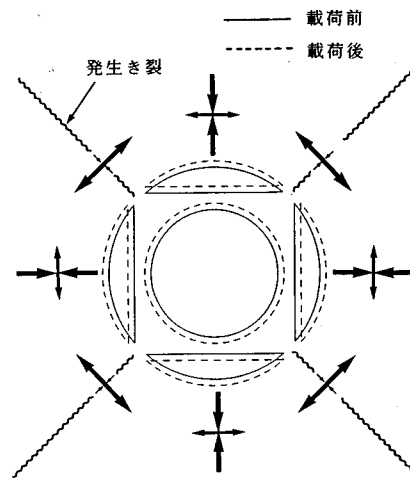
④ 外被層：天然ゴム、合成ゴム等のゴム状弾性材料よりなり、補強材への外傷を防止する。

⑤ 加締金具：上記した②～④の各部材の両端を半径方向に圧縮し、同方向への変形および軸方向への抜けを防止する。

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。なお、中空部に液圧を供給するためのホースはこの部分に接続される。

(2) 割岩機の破碎機構

割岩機の破碎機構は次のとおりである。まず、削孔したポアホール内に割岩機を挿入する。次に、高圧チューブ部に圧力を作用させることにより、高圧チューブ部およびゴムくさびが膨張し、載荷板に圧力が伝達される。図一3は、これらの状況を有限要素解析した結果に基づき、圧力が作用することによる高圧チューブ、ゴムくさび、鋼製載荷板の動き、ならびに、岩盤内に発生する主応力を模式的に示したものである。この図に示すように、90度間隔に配置した載荷板の頂点に圧縮応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、この引



図一3 破碎機構

張応力により破碎対象物内に亀裂が発生する。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、亀裂の方向を制御することができ、効率的な岩盤破碎が可能である。さらに、高圧チューブをゴムくさびおよび鋼製載荷板が保護しているために、破碎時における本体の損傷を防ぎ、繰り返し使用が可能であると考えられる。

(3) 割岩機システムの概要

割岩機システムの概要を図-4に示す。本システムは、油圧ユニット、制御マイコン、および、上述した割岩機により構成されている。油圧ユニットは、油圧ポンプを圧力発生源とし、油圧交換増圧器により油圧を水圧に変換すると同時に圧力を増幅している。なお、油圧交換を行う理由は、油によるゴムの劣化を回避したためである。次に、制御マイコンは、圧力変換器を介して載荷中の液圧を常に計測すると同時に、割岩機への載荷、亀裂発生後の除荷を電磁弁を介して自動制御する。この制御マイコンは油圧ユニット内に内蔵されている。ここで、油圧ユニットには最大10本の割岩機が接続可能であり、複数の割岩機を同時に稼動することができるため、より効率的な破碎が可能である。

なお、割岩機本体の耐圧力は1600 kgf/cm²であるが、安全率を2以上とし、常用最大使用圧力は700 kgf/cm²に設定している。

(4) 割岩機システムの特長

以上に述べた割岩機およびそのシステムの特長をまとめると以下のとおりである。

- 1) 割岩機は、鋼製載荷板およびゴムのみで構成されており、軽量であり作業性が良好である。
- 2) 亀裂の方向を制御でき、さらに、複数の割岩機を同時に稼動可能なため、効率的に破碎できる。
- 3) ゴムくさびおよび鋼製載荷板で高圧チューブ部を保護しているために、繰り返し使用が可能であり経済的

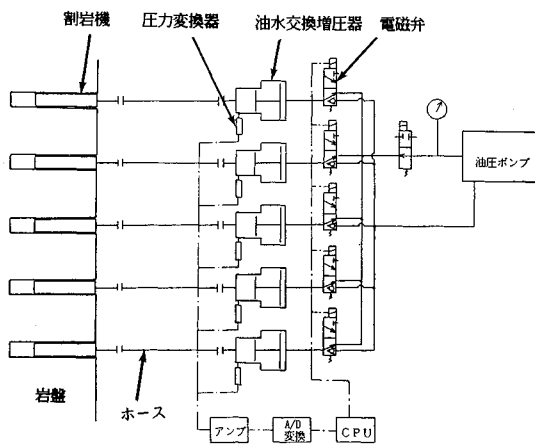


図-4 割岩機システムの概要

である。

4) 割岩機自体の安全率を2以上としているため、安全性が確保されている。

3. 機能検証実験

2. で述べた割岩機の破碎機能を検証することを目的とし、1) 表面にひずみゲージを貼付した鋼管による圧力伝達確認実験、2) 花崗岩直方体ブロックを用いた破碎実験、を実施した。

(1) 鋼管載荷実験

割岩機に作用させた圧力の破碎対象物への伝達機構を調べるために、以下に示す実験を実施した。

写真-2に示すように、内径52 mm、外径59 mmの鋼管の中心部表面に45度間隔で8枚の2方向ひずみゲージ(軸方向および半径方向のひずみを測定)を貼付し、この鋼管の中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(株)製)で被覆した割岩機を挿入する。次に割岩機に一定の圧力(今回は100 kgf/cm²)を載荷し、鋼管表面のひずみを計測する。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。なお、圧力測定フィルムは、作用する圧力の大小に応じて赤色の濃度が変化するものである。

実験結果として、まず、圧力測定フィルムの濃度分析より、鋼管に作用した圧力は、鋼製載荷板頂点部に約400 kgf/cm²、載荷板間に約100 kgf/cm²であることがわかった。この結果より、図-5に示す鋼管断面の要素分割および荷重条件で有限要素解析を実施し、解析から得られる鋼管表面ひずみと実測値を比較することにより、割岩機の圧力伝達機構を検証した。荷重条件は、載荷板頂点部に割岩機軸方向単位長さ当たり400 kgfの集中荷重を与えるとともに、載荷板間においてもゴムくさび自体の膨張による集中荷重を考慮し、100 kgfの集中荷重を与えている。鋼管半径方向ひずみの実験値および

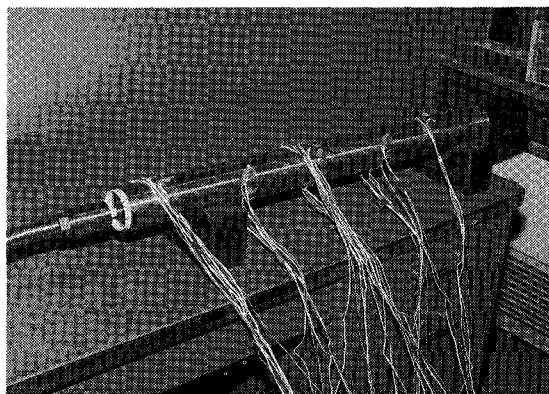


写真-2 鋼管実験状況

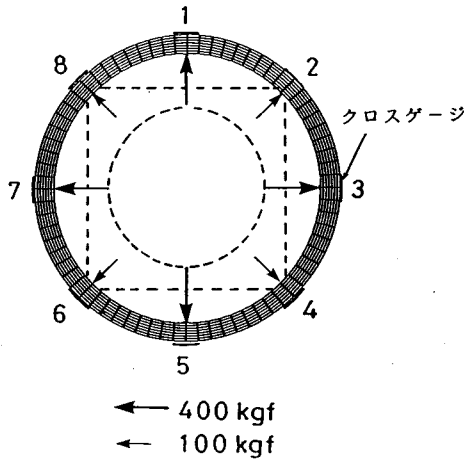
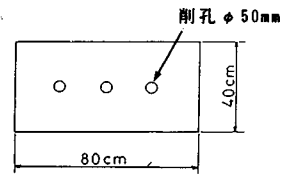
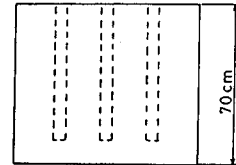


図-5 鋼管の要素分割図



(a) 平面図



(b) 側面図

図-6 花崗岩供試体

表-1 実験値と解析値の比較

チ-7NO.	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	1542	2150
6	-555	-410
7	2063	2150
8	-587	-410

注) 引張りを正としている。

解析値の比較を表-1に示す。表より明らかなように、実験値と解析値はほぼ一致していることから、高压チューブに圧力 100 kgf/cm² を作用させることにより、図-5に示す荷重が破碎対象物内に伝達されることが確認できた。

(2) 花崗岩ブロック破碎実験

圧力伝達機構について、前述した鋼管パイプのような理想的な状況と実岩盤破碎に近い状況との差異を比較するために、以下に示す花崗岩ブロックを用いた破碎実験を行った。

図-6に実験に用いた花崗岩供試体の形状・寸法を示す。供試体は、縦 40 cm、横 80 cm、高さ 70 cm の直方体であり、長手方向の中心線上に 20 cm 間隔で 50 mm のピットにより深さ 65 cm の 3 本のボアホールを削孔した。なお、供試体は茨城県笠間市産の稲田花崗岩であり、物性値は、一軸圧縮強度 1 900 kgf/cm²、圧裂引張強度 70 kgf/cm²、ヤング率 6.0×10⁵ kgf/cm²、ポアソン

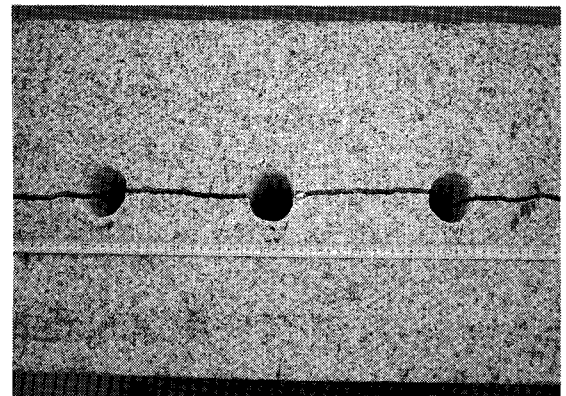


写真-3 破碎した花崗岩供試体

比 0.23 である。

実験方法は、中央のボアホールに割岩機を 1 本挿入し、油圧ユニットにより載荷する。このとき、割岩機の載荷方向は、割岩機により生じる引張応力が供試体長手方向と平行となるようにした。実験開始後、ほぼ 10 kgf/cm²/s の載荷速度で加圧したところ、圧力 300 kgf/cm² で写真-3に示すように供試体中心の長手方向に亀裂が発生し破碎した。

破碎に至る伝達圧力の効率を調べるために、図-6に示す供試体平面図を解析モデルとし、境界要素法による平面ひずみ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、供試体周囲を 48 の一定要素で分割し、3.(1)で得られた実験結果より、載荷板頂点部に 1 200 kgf および載荷板間のゴムくさび部に 300 kgf の集中荷重を作用させた。この荷重は、割岩機に液圧 300 kgf/cm² を作用させた場合を想定している。

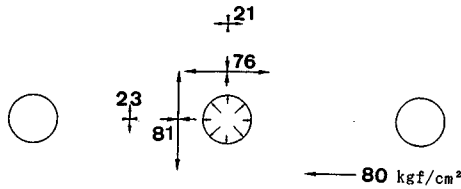


図-7 解析結果

図-7に、解析結果として、載荷した中央のボアホール円周から2.5 cm、7.5 cm 地点の応力について、主応力ベクトルおよび引張主応力値を示す。この図より、割岩機に 300 kgf/cm² の圧力を作用させた場合、ボアホール周辺にはほぼ 80 kgf/cm² の引張応力が発生することとなり、この値は、花崗岩の圧裂引張強度 (70 kgf/cm²) をやや超過している。実験では、作用圧力 300 kgf/cm² で供試体が破碎していることから、解析結果と実験結果は完全には一致していないことがわかる。これは、鋼管による機能検証実験では、用いた鋼管がほぼ真円であるのに対し、花崗岩供試体の場合には、実際の割岩機を使用して削孔したために、孔曲りや壁面が滑らかでないことなどから、載荷板が孔壁に完全に密着せず割岩機に与えられた圧力がすべて孔壁に伝達されないことによるものと考えられる。さらに圧裂引張強度と破碎実験で生じた引張応力とは載荷条件が異なるために一概に比較できず、また弾性解析においては三次元問題を平面ひずみとして扱ったために実際との差異が生じたものと考えられる。なお、図-7では、供試体長手方向を破碎する引張応力が縦方向より卓越しており、これは実際の破碎状況と一致している。

以上の実験結果から、本割岩機は、実用上十分な破碎機能を有していることが確認できた。

4. 岩盤斜面掘削事例

開発した割岩機システムの岩盤掘削工事への適用性を検討するために、現時点までに小断面トンネル掘削および岩盤斜面掘削の試験施工を実施しているが、トンネル掘削例については既報⁹⁾に示しているため、本論文では、岩盤斜面掘削事例について示す。ここで述べる事例では、1) 実際の岩盤を対象とした割岩機の繰り返し使用回数の把握、2) 本割岩機システムによる掘削能率の把握、などを主たる試験目的としている。

(1) 試験施工の概要

施工場所は、広島市内の市街地における宅地造成に伴う岩盤掘削工事現場であり、周囲に民家が密集しているために、発破を全く使用できない環境にあった。当該地質は、細粒の花崗岩 (いわゆる広島型花崗岩) である。ブロックサンプリングにより求めた岩石の物性値は、一

表-2 工種別使用機械仕様

工種	機械名称	仕様
削孔	低騒音型油圧クローラドリル	打撃力: 7kg・m 回転数: 0~300r.p.m. 回転力: 5.6kg・m
二次破碎	小型油圧式ブレーカ	重量: 120kg 打撃数: 600~850b.p.m. 打撃エネルギー: 58kg・m
ざり出し	小型油圧ショベル	容量: 0.06m ³

軸圧縮強度 1 800 kgf/cm²、圧裂引張強度 60 kgf/cm²、ヤング率 4.5×10⁵ kgf/cm²、ポアソン比 0.22 である。また、現位置岩盤におけるシュミットロックハンマーの反発度は 50~60 を示す。なお、電研式岩盤分類では、C_M~C_H 級の岩盤であると推定される。

試験施工は、削孔、一次破碎 (割岩)、二次破碎、ざり出しを 1 サイクルとする施工手順で実施した。表-2 に使用した建設機械の仕様を示すが、今回の試験施工では狭所での施工を想定し小型の建設機械を使用した。写真-4~7 に一連の作業状況を示す。

(2) 割岩機の転用性

試験施工における削孔パターンは格子状および千鳥状とし、削孔ピッチは 50~100 cm とした。これらの削孔条件における削孔ピッチと岩盤の破碎圧力との相関性はなく、50~400 kgf/cm² の範囲で大きくばらついた。これは、岩盤内に含まれる亀裂 (いわゆる「目」) や岩盤の力学的異方性などが破碎圧力に影響を与えた結果であると推定できる。すなわち、岩盤に「目」がある場合には亀裂は「目」の方向に進展しやすく、「目」による影響が大のときは低い圧力で、小のときは高い圧力で亀裂が生じた結果と考えられる。

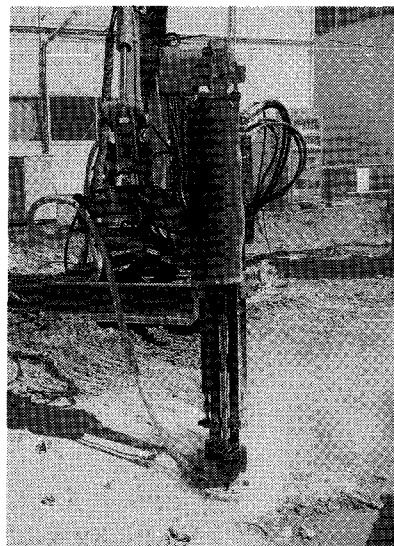
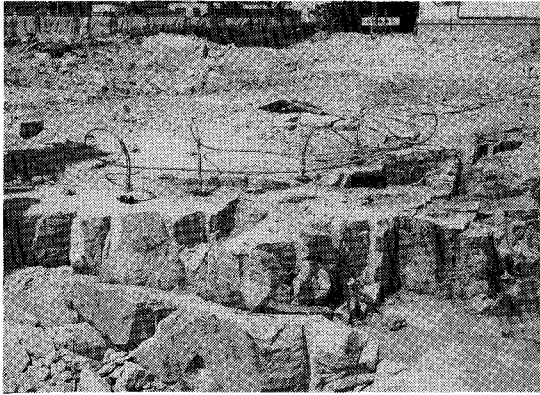


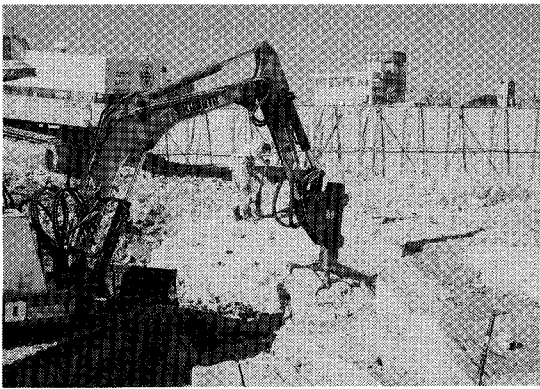
写真-4 削孔状況



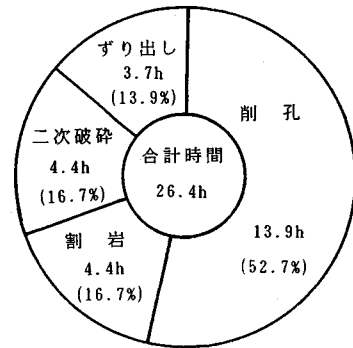
写真一五 割岩状況



写真一七 二次破碎終了時



写真一六 二次破碎状況



図一八 各工種別のサイクルタイム

試験施工では、削孔した孔すべてに割岩機を挿入したが、試験状況としては上記した作用圧力の範囲内で同時に3~4本の割岩機を載荷し、同一の割岩機により40~50回の繰り返し載荷を試みた。その結果、割岩機の損傷は全く認められず、本割岩機は繰り返し使用に十分に耐え得ることが実証された。なお引き続き実施工における繰り返し載荷を行い本割岩機の使用限界を求める必要があるが、室内試験では現在内径55mmの耐圧鋼管を用いた0~400 kgf/cm²の繰り返し載荷実験を実施しており、200回までの繰り返し耐用性を確認している。

(3) 作業時間と掘削能率

作業時間と岩盤掘削量の関連であるが、今回の試験施工では、延べ26.4時間の作業により約30m³の岩盤を掘削できた。各工種別のサイクルタイムを図一八に示す。なお、1本当たりの削孔時間は約4分、1回の破碎に必要な時間は約5.5分であったが、これらには機械装置の移動時間などが含まれており、割岩機のノミ下がり時間は約1分、実際に破碎に要する時間は約3分であった。図一八に示されているように、今回の試験施工において最も作業時間を要する工程は削孔であり、全体の約50

%以上の割合を占めている。これは、割岩機の使用を1台としたためであり、複数の割岩機を使用することにより、さらに作業能率が向上するものといえる。また、今回の試験施工では、詳細な作業時間を把握するために各工種の並行作業は行わず、順次連続した作業形態を採用したが、図一八より、削孔中にその他の作業、すなわち割岩、二次破碎、ずり出し等の作業を並行に実施することが可能であれば、作業効率は約2倍に向上するものと考えられる。さらに、今回の試験施工においては、ずり出しの作業能率を考慮し、削孔間隔は50cmを主体としたが、破碎圧力には常用使用最大圧力に比較してかなり余裕があるため、削孔間隔をさらに大きくすることが可能である。したがって、今回使用した建設機械よりさらに大型の機種を用いることにより、さらに掘削能率を高めることが可能であるといえる。

(4) 発生騒音に対する検討

包括的な静的破碎工法とするためには、各作業で発生する騒音レベルを極力低減する必要がある。これらについて検討するために、各工種で発生した騒音レベルと発生源からの距離の関係を表一三に示す。表より明らかな

表-3 各工種で発生する騒音レベル

工種	1m地点 (db)	10m地点 (db)	30m地点 (db)
削孔	95	75	65
一次破碎	—	—	—
二次破碎	120	95	75
ずり出し	85	65	—

ように、二次破碎時に生じるブレーカの打撃音が突出しており、油圧削岩機による騒音が続いている。ずり出し時には油圧ショベルの機械音のみであり、本割岩機システムを用いた一次破碎においては騒音は発生していない。したがって、二次破碎にブレーカを使用せざるを得ない状況では、騒音を低減するにはブレーカの使用時間を極力抑制する必要がある。ここで、ブレーカによる二次破碎効率と亀裂開口幅には大きな相関関係があることが今回の試験施工でも明確であり、亀裂の開口幅が5mm以上の場合には、数度のブレーカの打撃により二次破碎可能であった。また、十分な亀裂開口幅を確保できる場合には、ブレーカ以外の二次破碎方法としてリッパ等の使用も考えられる。いずれにしても、二次破碎時の発生騒音レベルを低減するためには、一次破碎時の亀裂開口幅を大きくする必要があり、この意味で、本割岩機はゴムチューブが主要構成部材であるために、割岩機の膨張量が大きく、十分な亀裂開口幅を得ることが可能である。なお、現状では割岩機を直径60mmまで膨張させることは実用上問題なく可能である。それ以上の膨張を与えることについては、耐圧力が減少する傾向にあり、膨張量と耐圧力・繰り返し回数との関係を現在検討中である。しかしながら、実用上60mm程度の膨張量で十分な破碎効果が得られている。

5. リバースサーキュレーション杭杭頭処理への適用

コンクリート構造物に対する本割岩機システムの適用性を検討するために、場所打ち杭の杭頭処理工事に本システムを適用し、その有効性を検討した。

(1) 杭頭処理工事における現状の問題点

リバースサーキュレーション杭やベント杭等の場所打ちコンクリート杭の杭頭処理方法は、従来、ブレーカを用いて設計高さまで破碎する方法が採用されてきた。しかしながら、この方法では、ブレーカによる振動騒音などの公害問題、作業員の安全衛生問題、作業時間の長大化など、多くの問題点を有している。これらの問題点を解決するために、最近では、エアジェットを使用する方法、石灰の膨張力を利用する静的破碎剤による方法など、種々の工法が提案されている^{7),8)}ものの、確定的な手法は定着していないのが現状である。

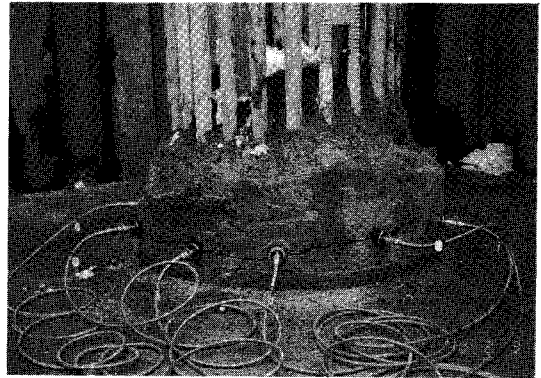


写真-8 破碎状況

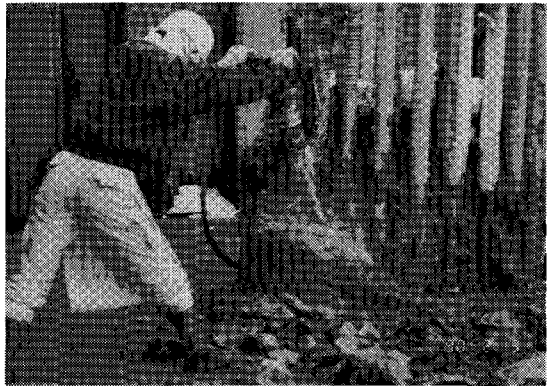


写真-9 ブレーカ使用状況

(2) 試験施工の方法

試験施工は、杭径 $\phi=1500$ mm、D51の鉄筋をピッチ15cmで二重に配筋したリバースサーキュレーション杭で実施した。打設コンクリートの一軸圧縮強度は約 300 kgf/cm^2 である。

施工手順は、まず杭頭処理計画高付近に $\phi 52$ mmのビットを用い、約60cmピッチで水平削孔する。この場合、削孔速度の迅速化、作業の省力化を目的として油圧式水平削孔機を使用した。次に、割岩機を挿入し、油圧ユニットより圧力を作用させることにより、杭頭処理予定高に水平亀裂を発生させる。ここで、亀裂が垂直に発生することを防ぐこと、および杭の直径が大きいことを考慮に入れ、1本の杭につき9か所削孔し、すべての孔に割岩機を挿入し、同時に载荷を行った。実験では、 $200\sim 300\text{ kgf/cm}^2$ の圧力を作用させた結果、写真-8に示すように処理予定高さ付近に亀裂が発生した。破碎後、亀裂は表面のみならず杭の中心部まで達しており、さらに亀裂は十分に開口していることから、鉄筋とコンクリートの付着は完全に断ち切れていることは明らかであった。次に、写真-9に示すように、ブレーカを用い

表—4 作業時間・騒音の在来工法との比較

割岩機システム					在来工法				
作業内容		使用機械	作業時間(min)	騒音(db)	作業内容	使用機械	作業時間(min)	騒音(db)	
鉄筋外側 コンクリート 破砕	削孔	削孔機	60	90	鉄筋外側コンクリート 破砕	ブレーカ	300	115	
	破砕	割岩機	10	—					
	撤去	ブレーカ	180	105					
鉄筋内側 コンクリート 撤去	撤去	レッカー	20	—	鉄筋内側 コンクリート 撤去	削孔、破砕	空圧ドリル	10	115
	高さ調整	ブレーカ	30	105		撤去	レッカー	20	—
合計			300	—	合計		330	—	

注) 騒音測定は1m地点のものである。

て鉄筋より外側のコンクリートを撤去したが、鉄筋とコンクリートとの付着が完全に断ち切れているため、容易に撤去することができた。最後に、鉄筋内側のコンクリートをレッカー車で吊り上げ、作業を終了した。

(3) 試験結果と在来工法との比較

在来工法との作業時間・発生騒音の比較を表—4に示す。なお、在来工法では、鉄筋外側のコンクリートをブレーカのみで破砕するものである。この表より、全体の作業時間が短縮されており、また騒音が大きくかつ最も作業に負担がかかるブレーカによる破砕時間が30%低減されていることがわかる。

以上の検討から、本割岩システムは杭頭処理工事に有効に適用でき、さらに、比較的大きな径の鉄筋(D51)とコンクリートの付着を断ち切ることができたため、既設コンクリート構造物の解体工事にも十分に使用できることが確認できた。

6. 結 論

岩盤・コンクリートを静的に破砕することを目的とし、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(ゴムくさび)・載荷板よりなる岩盤破砕機(割岩機)およびこれを用いた破砕システムの開発を行い、以下に示す結果が得られた。

(1) 鋼管内に割岩機を挿入した載荷実験より、内圧100 kgf/cm²を加えることにより載荷板頂点部にほぼ400 kgf/cm²の荷重が加わることが確認できた。さらに、80×40×70 cmの花崗岩ブロックの破砕実験を実施したところ、本割岩機は実用上十分な破砕機能を有することが検証された。

(2) 実際の岩盤掘削への適用として、堅固な花崗岩盤を対象とした斜面掘削施工を行ったところ、本割岩機および破砕システムにより無騒音・無振動で効率よく一次破砕が行えることが実証された。また、割岩機は繰り返し使用が可能であることが実証され、経済性も高いことが判明した。

(3) コンクリート構造物破砕への適用性を確認するために、リバースサーキュレーション杭の杭頭処理を対象とした試験施工を行ったところ、在来工法に比べて作業時間および騒音発生時間を短縮可能であることが実証された。

最後に、今後の課題としては、本割岩機を用いた場合の経済性の正確な評価を把握する必要がある。このためには、さらに数多くの実施工を行うことにより割岩機の使用限界を得るとともに、割岩機本体の性能向上を図る予定である。

謝 辞：最後になりましたが、本割岩機システムの開発にあたり、試験施工に協力していただいた関連作業所の皆様に厚く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 中川浩二：発破を用いない最近の岩盤掘削法，橋梁，No.2，pp.42～46，1987。
- 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，土木学会論文報告集，第379号，pp.55～64，1987。
- 3) 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。
- 4) 稲葉 力・金子勝比古・西田 稔・平田篤夫・山内 清：形状記憶合金を用いた静的岩石破砕技術，土木学会第22回岩盤力学に関するシンポジウム，pp.221～225，1990。
- 5) 野間達也・門田俊一・和久昭正・上田滋夫・潤田久也・立浪敬造：液圧による静的破砕工法の基礎実験(その2)，土木学会第21回岩盤力学に関するシンポジウム，pp.261～265，1989。
- 6) 村山秀幸・門田俊一・野間達也・上田滋夫・潤田久也・立浪敬造：液圧による静的破砕工法の実用化実験，土木学会第22回岩盤力学に関するシンポジウム，pp.241～245，1990。
- 7) 江川常次郎：静的破砕工法の現状と将来(静的破砕剤の応用をめぐって…)，石灰石，217号，pp.29～38，1985。
- 8) 佐野英雄・春日康孝・平岡正二：現場造成ぐいのくい頭

処理方法, 土木施工, 25 卷, 18 号, pp. 40~56, 1984.

- 9) 野間達也・門田俊一・村山秀幸・上田滋夫・近藤三樹
郎・立浪敬造: 液圧を用いた岩盤の静的破碎工法の開発,

岩の力学連合会第 8 回岩の力学国内シンポジウム講演論
文集, pp. 181~186, 1990.

(1990.10.24・受付)
