

VI-206 形状記憶合金を用いた岩石破砕器の開発

－現場適用と静的破砕過程の解析－

西松建設(株)技術研究所 正会員○稲葉 力
 熊本大学工学部 正会員 金子勝比古
 熊本大学工学部 西田 稔
 (株)トーキン仙台研究所 山内 清

1. はじめに

筆者らが進めている「形状記憶合金を用いた岩石破砕器」の開発状況について報告する。現在、室内および現場で用いている破砕器のシステムを紹介し、さまざまな現場適用例を通して破砕器の能力を紹介する。さらに、引張軟化モデルを用いた静的破砕過程の解析について報告する。最後に今後の展望として、二方向形状記憶合金の利用等について述べる。

表－1 システムの諸元

装 置 名	諸 元
破 砕 器	6連の場合、ロードブラテンの長さ15cm ヒーターブロック込み で1.2kg
ヒ ー タ ー	単相200V、400W 長さ15cm、直径6.3mm 防水加工のケーブル付
電 源 ユ ニ ッ ト	縦200mm×横250mm×高 さ100mm、重量3kg ヒーター10組接続可 200V、40A
圧 縮 器 (通常は必要ない)	電気制御の油圧圧縮器 最大圧縮力50tf 電源3相200V、0.4kW 変位制御、応力制御可 二重の安全装置付き

2. 破砕器のシステムおよび現場適用実験

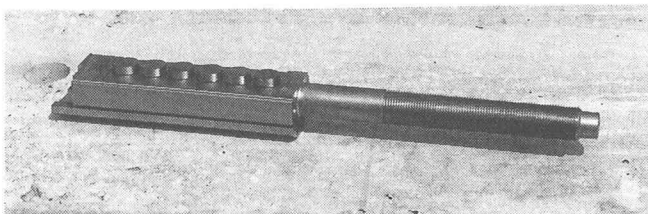
破砕器のシステムに関しては参考文献1)に詳細に述べた。ここでは表－1にシステムの諸元を示し、写真－1に破砕器（改良型）の全景を示すにとどめる。写真でも理解できるように本装置は大変コンパクトであり、しかも機械力を必要としない。電源は標準で3相200Vを用いる。破砕器を挿入する孔は、転石などを対象とする場合はジャッツハンマーを利用すれば効率よく、しかも孔壁のきれいな孔が開けられる。破砕器の直径は挿入時で45mmで、テーパーの作用で50mmまで拡大できる。

表－2にこれまでの主な現場実験適用例を示す。ここではNo.3とNo.7の例について報告する。

（例3）砂岩の転石の破砕

当工事はケーソン工である。ケーソン沈設に先立ち、掘削工事に伴って出現すると判断された転石の破砕実験を行った。環境上の理由で発破の使用がためらわれたためである。対象の砂岩の強度は一軸圧縮強度600～800kgf/cm²程度と考えられた。本例は断面で120cm×60cmの転石上面にジャッツハンマーを用いて25cm間隔で5孔削孔した。電源を入れてから2分半で鈍い音と共に亀裂が入った。深さ30cmの孔（使用ビット径はφ46）を開けるのに要する時間は各約3分間であった。孔壁は非常に滑らかでロードブラテンは面接触になっていたと考えられた。破砕状況を写真－2に示す。

（例7）RC壁（厚さ180mm）



写真－1 6連の破砕器（改良型）

表－2 現場適用実験例

番号	破砕対象	寸 法(mm) (幅×高×奥行)	推定強度（一軸 kgf/cm ² ）
1	花崗岩の転石	2500×1200×1200	1200kgf/cm ²
2	安山岩の転石	1000×500×1000	800kgf/cm ²
3	砂 岩の転石	1600×600×1200	600～800 "
4	花崗岩の坑道側壁		1500kgf/cm ²
5	無筋コンクリート基礎	3600×1200×1200	300kgf/cm ²
6	RC壁	厚さ150の壁	200kgf/cm ²
7	RC壁	厚さ200の壁	200kgf/cm ²

鉄筋コンクリートを対象とした例を示す。社宅の取り壊しの機会を利用してRC壁の破砕実験を行った。一軸圧縮強度は $200\sim 400\text{kgf/cm}^2$ 程度と考えられた。削孔間隔を 20cm から 55cm まで変化させた実験を行い、現状での最適な孔間隔を調べた。その結果、壁を完全に貫通した亀裂を発生させるには間隔 30cm までが適当と考えられた。コンクリートの場合には、亀裂は常に一番弱い部分に向かって走る傾向が明瞭に認められた。通電後2分程度で亀裂が一気に入り、その後徐々に亀裂が伸展する様子が窺えた。亀裂の発生状況を写真-3に示す。



写真-2 砂岩の転石の破砕状況 (③)

現場適用実験の結果、転石、コンクリートブロック、RC壁に関しては破砕器の効果が明らかになった。岩盤、マスコンクリートなど拘束効果の強いもの、三次元効果（奥行き）のあるものに関しては、引き続き検討している。

3. 岩石の静的破砕過程の解析および今後の展望

これまでDDM（変位くいちがい法）を用いて、単一孔載荷の場合、自由面を有する単一孔載荷の場合、二孔同時載荷の場合について、岩石のき裂伸張過程を解析してきたが³⁾実験結果を必ずしも説明できなかった。しかし、き裂の非線形特性を導入することにより、よくシミュレートできることがわかった²⁾。解析には2次元境界要素法を用い、き裂の非線形特性としては引張軟化則を採用した。引張軟化曲線は1/4モデルを採用した。解析の結果、同一の岩石で内外径比や孔間隔が一定（相似形）の場合には、ボアホール径が大きいほど破断し易いことが明かとなった。また、多孔間き裂連結を期待する場合には、孔間隔は小割破砕で可能な内外径比よりも若干小さくとる必要があることも示された。これらは実験結果を矛盾なく説明する結果である。

現在、現場実験では一方向の形状記憶合金を用いているが、室内実験では可逆性の形状記憶合金についても性能実験を行っている⁴⁾。可逆形状記憶処理法としては、合金に過剰な圧縮変形を与え、母相中に転移などの内部欠陥を導入させる方法を採用した。その結果、可逆性の形状記憶合金は回復力、回復ひずみとも一方向に比べると $1/2\sim 2/3$ であるが、破砕には十分能力があることがわかった。なお実験で用いた合金は、Ti-50.5NiとTi-50.8Niである。

参考文献)

- 1) 稲葉力、金子勝比古、西田稔、山内清：形状記憶合金を用いた岩盤破砕器の現場適用について、第24回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要集、pp415-419、1992年2月
- 2) 大塚浩、金子勝比古、稲葉力、尾原祐三：岩石の静的破砕過程の解析、資源・素材学会、平成3年度春季大会、pp35-36、1992年3月
- 3) 稲葉力、金子勝比古、西田稔、平田篤夫、石山宏二、山内清：形状記憶合金を用いた静的岩盤破砕の研究、第8回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、pp175-180、1990年11月
- 4) 金子勝比古、西田稔、稲葉力、山内清：形状記憶合金を利用した岩石破砕器の開発（第3報）—可逆形状記憶効果とその利用—資源・素材学会 平成3年度春季大会、pp313-314、1992年3月

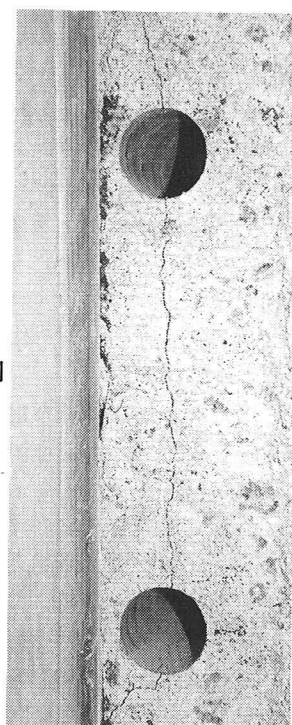


写真-3 亀裂の発生状況 (⑦)