

形状記憶合金を用いた岩盤破砕器

平田 篤夫*
Atsuo Hirata

稲葉 力**
Tsutomu Inaba

石山 宏二***
Kōji Ishiyama

1. はじめに

近年、都市部あるいは重要構造物の近傍で岩盤等の破砕を実施することが多くなってきている。これにともなう、各種の無発破破砕工法が考案され、実際に工事に適用されている。これらは水圧セル、油圧セルあるいは油圧くさびといった液圧式のものと膨張性破砕剤のような化学反応によって膨張圧を作用させるものとに大別できる。破砕時間の点では前者が有利であるものの、周辺設備が不要である面では後者が有利となるなど両者とも施工を行ううえで一長一短を有している。

技術研究所では、上記の問題点を考慮して、新しい原理のもとに簡便かつ高能率な岩盤の静的破砕器の開発を行っている。すなわち、通常油圧ジャッキの代わりに形状記憶合金を用い、その回復力を利用して岩石を破砕するものである。

ここでは、試作破砕器について概説し、コンクリートおよび花崗岩供試体を破砕した結果について報告する。

2. 破砕器の概要

形状記憶合金は線材もしくは板材として使用され、引張変形もしくは曲げ変形後の回復変形や回復力が利用されることが多く、圧縮変形後の回復を利用する使い方は極めて少ない。しかし、圧縮型の回復力は岩石を破砕するために十分な力を示すと考えられている。ボアホール孔壁に一軸載荷を行う形式の破砕器の場合、Fig. 1 に示すように、ボアホール半径を R 、分布荷重を p 、載荷領域の中心角を 2β とおくと、ボアホール周囲岩盤の応力場および変位場は Airy の応力関数を用いて求めることができる。 β の値が小さい場合には最大引張応力は載荷領域端部近傍に生じるが、この領域を除けば載荷域間の

孔壁上の引張応力の値はほぼ一様となる。この値を σ_θ とし、壁面上の引張応力を代表させることとすると、 $\sigma_\theta = S_t$ (S_t : 引張強度) とおくことにより孔壁上のき裂発生条件が与えられる。また、岩盤の荷重・変形特性は β の値に依存したものとなる。以上の点と、孔壁上に発生したき裂がある程度の長さまで成長させること、初期状態において破砕器とボアホールの間にある程度のクリアランスがあること等を考慮して破砕器の設計基準を単位荷重 P_u/R 、ストローク率 u/R で表現すると次式の関係となる。

$$P_u/R > \xi_1 S_t \pi \sin \beta / 2\beta$$
$$u/R > \xi_1 \xi_2 S_t K \pi \sin \beta / 2\beta E + \delta$$

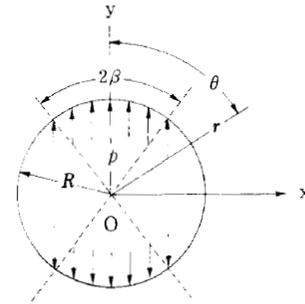


Fig.1 解析モデル

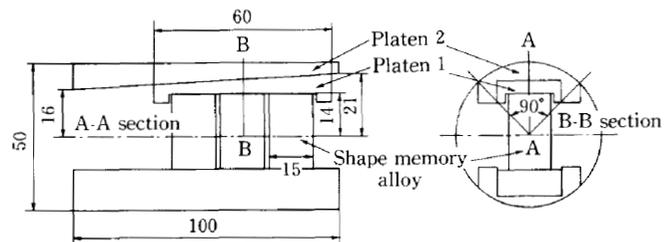


Fig.2 試作破砕器構造

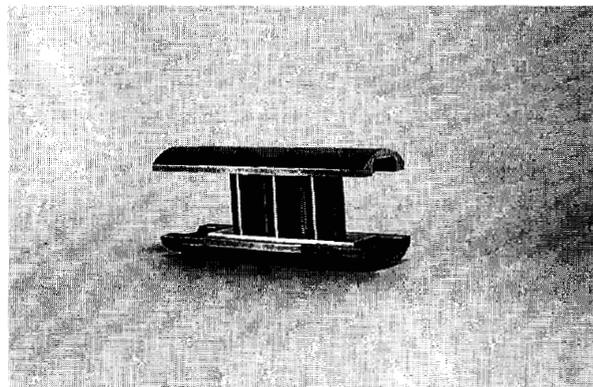


Photo.1 試作破砕器

*技術研究所土木技術課係長

**技術研究所土木技術課副課長

***技術研究所土木技術課

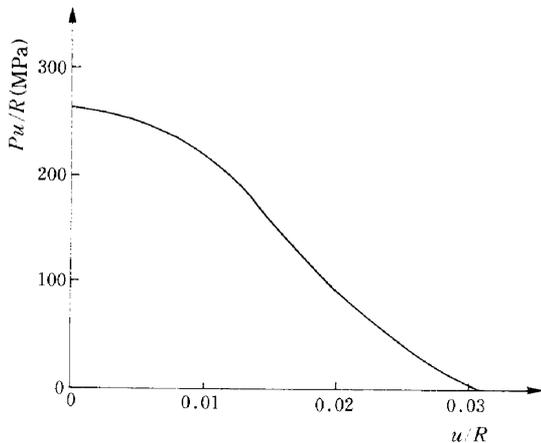


Fig.3 試作器能力

ただし、 E はヤング率、 δ =(クリアランス/ボアホール直径)、 ξ_1 、 ξ_2 はき裂長さに関係した定数で、き裂を有する円孔のDDM解析結果によると、き裂長がボアホール径の数倍程度の場合にはその値は大略2~3となる。 K は β の値によって変動する係数であり、試作器においては大略 $K=1$ である。形状記憶合金としてはTi-Ni合金を使用し、加熱はコードヒータもしくは、ステンレスヒータにより行う。回復温度は、作業性を考え50°C前後に設定している。

3. 破砕能力

試作器として、Fig. 2および Photo 1 に示すような構造のものを製作した。この試作器の単位荷重 P_u/R とストローク率 u/R の関係は Fig. 3 のようになる。すなわち、ストロークは小さいが、極めて高い载荷能力を有することがわかる。ここで前述の設計破砕基準のき裂長さに関係した定数を、 ξ_1 、 $\xi_2=3$ として、例えば超硬岩($S_t=20\text{MPa}$ 、 $E=60\text{GPa}$)および中硬岩($S_t=1\text{MPa}$ 、 $E=10\text{GPa}$)の破砕を想定すると、破砕条件は次のようになる。

超硬岩の場合 $P_u/R > 85\text{MPa}$ $u/R > 4.2 \times 10^{-3} + \delta$
 中硬岩の場合 $P_u/R > 4.2\text{MPa}$ $u/R > 1.2 \times 10^{-3} + \delta$

従って、Fig. 3 の関係と上記の値から超硬岩の場合には $\delta < 1.6 \times 10^{-2}$ 、中硬岩の場合には $\delta < 3.0 \times 10^{-2}$ となるようにクリアランスを調整すれば、試作器によってもこれらの破砕が可能であると考えられる。

そこで、試作器による破砕実験を行った。破砕対象物は花崗岩(50mm×500mm×500mm)、モルタル(50mm×400mm×400mm)の板状供試体であり、中央部に破砕器装着用の40mmφのボアホールを穿孔した。破砕器の花崗岩供試

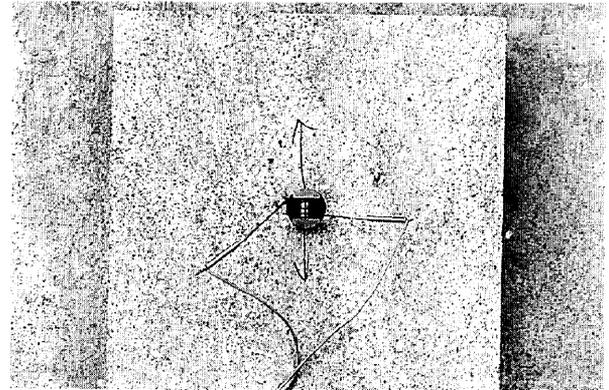


Photo.2 破砕器装着状況

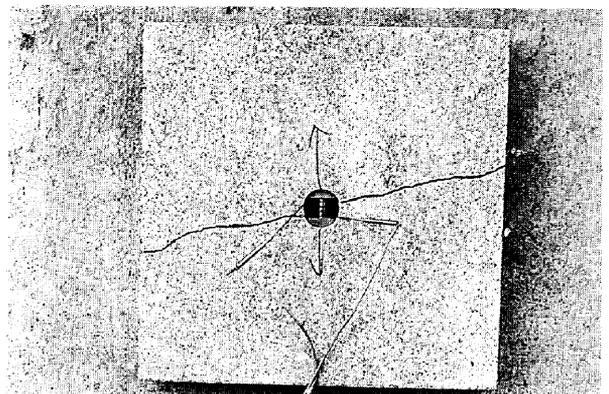


Photo.3 花崗岩供試体破断状況

体への装着状況および実験後の破断状態はそれぞれ Photo 2,3 に示すとおりである。なお、花崗岩およびモルタルの場合は加熱後1分程度で孔壁から瞬時にき裂が成長し、供試体が破断した。

4. まとめ

形状記憶合金の回復力を利用した岩盤およびコンクリートの静的破砕器を設計、試作し、その性能を実験的に検討した。その結果、本破砕器は極めて高い载荷能力を有し、硬岩破砕にも利用できることを確認した。しかも、本破砕器は小型で加熱用電源以外の周辺設備を必要としないため作業性が高く、実用化は容易と考えられる。

なお、本研究は熊本大学工学部材料開発工学科、金子勝比古助教授、西田稔助教授および株式会社トーキンとの共同研究の成果であり、現在、実用化に向けて研究を継続中であることを付記する。