

## 1. まえがき

落盤・崩壊など岩盤の破壊現象に伴う災害は、岩盤力学や施工技術の進歩などによって、かなり減少してきているが、岩盤強度の不明確さや掘削に伴う挙動の多様性などもあって上記の災害の防止を困難なものにしている。このような不確定要素の多い破壊現象に関連する災害防止の手段の一つとして、危険予測技術の開発が強くのぞまれている。岩石微震音は岩盤破壊の前駆的現象として発生するもので、落盤・崩壊の予測の手段として利用できる可能性は高いものと思われる。今までに各種の岩石について、微震音の性状および発生特性について追求してきたが、栃木県下にある大谷石採石場で発生した崩壊災害を契機として、大谷石の微震音の発生特性について室内実験・現場実験を通して検討した。大谷石は岩石学上流紋岩質軽石・凝灰岩であり、外観は粗く多孔質（空隙率20%）で風化侵蝕に弱いが経理に乏しい。見掛け比重1.8前後で圧縮強度は湿潤状態で約60 $\text{kg/cm}^2$ である。

## 2. 実験

大谷石微震音の性状や発生特性を知るために、岩石試料について単純増加圧縮荷重・一定持続圧縮荷重・繰返し圧縮荷重および曲げ荷重による破壊過程において発生する微震音を測定し解析した。室内実験では圧縮の場合は $7 \times 7 \times 15 \text{ cm}$ の試料を、曲げの場合は $15 \times 15 \times 60 \text{ cm}$ の試料を用いた。採掘現場での実験では岩盤を $45 \times 45 \times 45 \text{ cm}$ に整形し岩盤ジャッキ試験を行なった。微震音の検出は圧電型加速度ピックアップを試料に取付け、チャージアンプにより増巾（利得は約90dB）し、テープレコーダに録音した。変形測定は差動トランス型変位計・ダイヤルゲージを用いた。

## 3. 結果と考察

(1) 波形と周波数 微震音は一種の弾性衝撃波と考えられ立ち上りがはやくかつ減衰もはやいラップ状の振動波形を示し、周波数は6 kHz前後のものが多い。各種の荷重条件による相違はあまり認められない。

(2) 微震音の発生パターン（荷重および変形と微震音の発生状況）

単純増加圧縮荷重による破壊過程：載荷と同時に微震音は頻発するが、荷重の増加とともにその発生数は低下する傾向を示し、さらに荷重が増加し破壊が近づくと再び頻発するようになる。花崗岩・砂岩など他の多くの岩石では、載荷直後に頻発することはなく、通常破壊応力の60~70%の応力到達して発生数が増加しはじめ、破壊に近づくにつれて頻発するのがふつうである。大谷石にみられる特異の発生パターンは、岩石の構成物質および組織の特殊性に依存するものと考えられる。顕微鏡観察によれば、岩石の大部分は軽石と火山ガラスより成り、一部に結晶鉱物と火山岩礁が点在している。また軽石部分には発泡の痕跡があり、ガラス質は粘土鉱物に変化している。この事実から、低応力下で発生する微震音は岩石組織内の空隙の閉塞、あるいは粘土化した軽石部のすべりまたはキレツの発生に伴うもので、その後の全体破壊にいたるまでに発生するものは、結晶鉱物とガラス部の境界におけるすべりあるいは鉱物内部のキレツに伴うものと推定される。このことは微震音の発生と岩石の変形の進行との相関がたかいことから説明できる。（図1）なお図中Nは各応力区間における発生数で、 $\Delta E_t$ はその応力区間におけるひずみの増加量である。

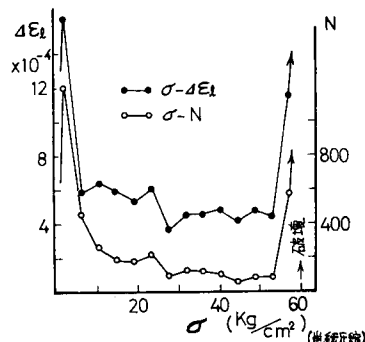


図1 微震音発生頻度曲線とひずみの変化量曲線

一定荷重持続荷重による破壊過程：この場合には定荷重（破壊荷重の約90％）に達するまでの発生パターンは、前述の単純増加と同様であるが、定荷重状態での発生状況は図2にみられるように定荷重に達した直後は荷重増加中の影響を受けているが、その後ひずみ速度が減少するにつれて発生数も減少し、ひずみ速度が一定となる区間での発生は少ない状態に推移し、さらに時間の経過とともに再び発生数が増加しはじめ、それと同時にひずみ速度も増加し、やがて破壊にいたる。このように定荷重下での発生パターンは、クリープ破壊であられると言われている3つのひずみ速度の変化に対応したパターンを示す。

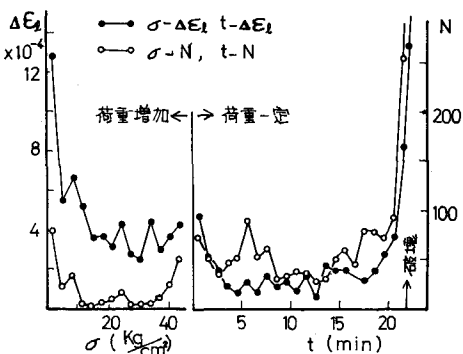


図2 微震音発生頻度曲線とひずみ速度曲線(一定荷重クリープ)

曲げ破壊過程：この過程における微震音の発生状況は前述の圧縮破壊でみられたパターンとはかなり異なっている。すなわち 図3にみられるとおり全体的に発生数が少なく、載荷初期にもあまり頻発しない。また破壊の直前で頻発するというパターンとなる。これは両者の破壊のメカニズムの相違によりもたらされたものと考えられる。一般に岩石の引張破壊は岩石を構成する粒子を結合している接着物質の破壊によるものであり、圧縮破壊にみられる空隙の閉、粒界のすべりやクラックがあらわれず、接着物質の引張破壊が直ちに全体破壊に連なるなるとすると、ここに示されたパターンも想定できる。

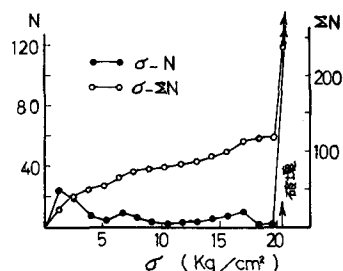


図3 微震音累積発生頻度と発生頻度曲線(曲げ破壊)

(3) 微震音の大きさ別発生頻度：すでに過去の実験によって明らかにしたことがあるが、破壊過程において発生する微震音は、その振巾に大小がある。発生総数を大きさ別に分けそれぞれの発生度数を求めると、両者の間には  $N(w) = k \cdot w^{-m}$  という統計的規則性が存在する。ここに  $N(w)$  はエネルギー  $w$  を有する微震音の数、 $k$  は定数、 $m$  は勾配指数、 $w$  は振巾を2乗して微震音のエネルギーと定義したものである。今回の各種の破壊過程において発生した微震音についても上述の関係は成立した。 $m$  の値は圧縮の場合で1.7前後となり、曲げの場合では1.5前後となっている。(図4)

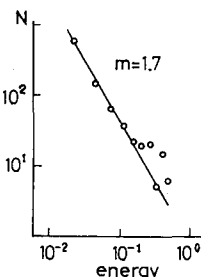


図4 エネルギー大きさ別発生頻度分布

(4) 微震音の伝播による減衰：試験試料のような小片の岩石では、微震音の発生源とピックアップの間の減衰は無視し得るが、実際の岩盤の場合には伝播による減衰が問題になる。この解明のためにピックアップ位置からある距離は離れた何点かの岩盤を打撃することによって衝撃波を発生させ、その受信振巾から伝播による減衰度を推定した。その結果は図5に示すように伝播による減衰はかなり大きいことが判明した。

#### 4. あとがき

大谷石微震音と他の岩石の微震音との相違点として、エネルギーレベルが小さいこと、低応力域での発生頻度がたかいこと、全体破壊と頻発時期の間隔が比較的短いことがあげられる。これらの事実が、微震音の検出による崩壊の予測を行う上であまり有利なものとは考えられない。しかし、変形と微震音の発生パターンとの相関が高いことなどから、今後危険想定岩盤での微震音の検出と変位測定などを併用し、多くのデータを集積することによって、予知技術を確立したいと考えている。

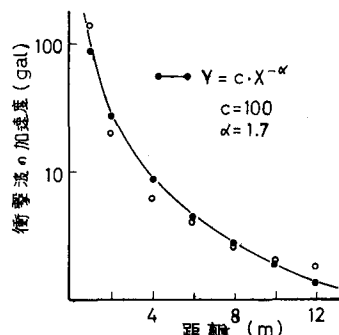


図5 打撃衝撃波の減衰試験

参考文献：岩石の一軸圧縮破壊過程における微震音の発生特性  
前中尾、材料 1917, No. 181