

(株)奥村組 技術研究所 正員 ○寺田 道直
 同上 北角 哲
 同上 杉本 博史

1. まえがき

近年、トンネルや地下発電所などの地下掘削工事は大型化するとともに地下深部におよぶ傾向にあり、落盤や崩壊予知の問題が重要視されている。これらの予知手段の一つに、岩石が破壊する際のAcoustic Emission (一種の微小振動放出現象であり、以後AEと称す)の利用が考えられる。今回、奥吉野地下発電所において掘削に伴う空洞周辺岩盤のAEの観測を試みたのでその概要について報告する。

2. 観測方法

AEの観測に際しては周波数領域の設定と振動子およびアンプの選定が重要なポイントとなる。AEの周波数は岩石試料ではおよそ $10^3 \sim 10^6$ Hzの範囲にあるが、今回の観測では周波数領域を100 Hz \sim 20 kHzに設定した。理由は、観測地点の岩盤が葉理、層理、節理などの不連続面に富んでいるため高周波のAEは検出が困難であること、観測周波数が可聴域にあるほうがモニタ上都合がよいことなどによる。振動子は上記の周波数に対しほぼ感度一様な圧電素子(共振周波数500 kHzのチタン酸バリウム圧電振動子)を使用した。この圧電素子は図-1に示す円筒状のものであり、これに抵抗 R_1 (計測器の入力インピーダンス)を負荷したときの特性 e_1/P は次の式(1)で与えられ、

$$\left. \begin{aligned} \frac{e_1}{P} &= \frac{G_0}{\sqrt{1+(\omega_1/\omega)^2}} \\ \omega_1 &= 1/C_0R_1 \end{aligned} \right\} \dots (1)$$

ここに、 e_1 : 圧電素子電極間の電圧
 P : 圧電素子に加わる圧力
 G_0 : 単位圧力当りの起電力定数

ω_1 を限界角周波数とした一種のロー・カット・フィルタ状の特性を示す。また、 ω は入力インピーダンス R_1 によって変化する。したがって、インピーダンスの整合とSN比確保のため圧電素子にプリアンプを組み込むこととし、図-2のようなAE受信ゾンデを製作した。ゾンデの設置は、岩盤に5°下向き、直径65mm、長さ1.5mのボーリングを行い、この中に固定した。また、設置方法の比較のため一部のゾンデは岩盤表面に直接固定した。ゾンデの設置位置および時期と地質のスケッチを図-3に示す。

AEの観測は工事の休止時間内に5箇所に分割して行うこととし、各箇所につき3チャンネル以上の同時観測を行った。また、1箇所の観測時間は3分間とした。なお、AEの記録および分析方法は岩石AEの室内観測と同じでありここでは省略する。

3. 観測結果および考察

(1) 波形および周波数

岩盤から検出したAEの波形は図-4に示すように、立上がりが鋭く、しかも減衰の速いものである。卓越周波数は、周波数分析(写真-1参照)の結果、およそ800

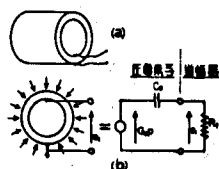


図-1 圧電素子と等価回路

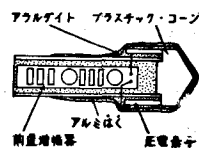


図-2 AE受信ゾンデ

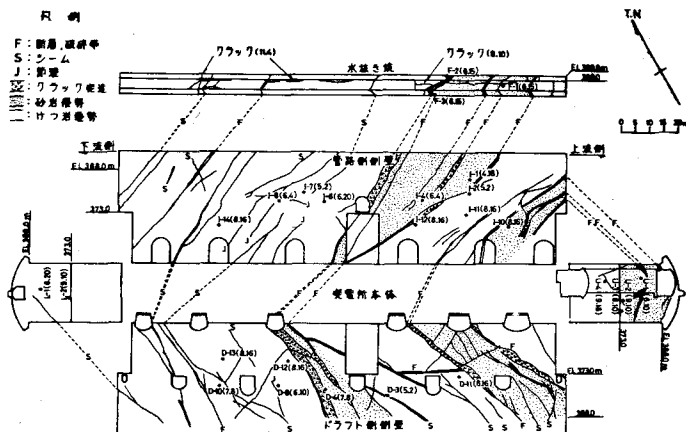


図-3 ゾンデの設置位置および地質のスケッチ

～2 kHzの範囲にあるが、観測時期とともに上記の範囲内を変化する。

(2) 発生回数と掘削状況

A E発生総数と掘削状況の関係の一例を図-5に示す。図から、A Eは掘削の進行に伴い活動期と休止期を繰り返しつつある時期にかけてexponentialに増加すること

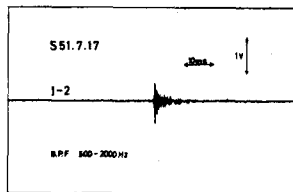


図-4 A Eの代表的波形

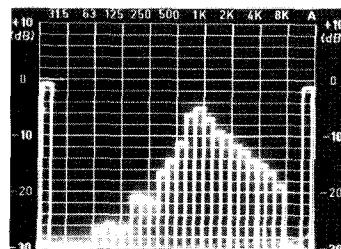


写真-1 周波数スペクトルの一例

ことがわかる。室内観測でもこれと類似の関係が得られており、A Eがexponentialに増加する時期に対応して岩石は破壊する。また、筆者らが第三紀の泥岩地帯で行った岩盤の破壊実験からも同様の結果を得ている。これらの結果を考慮すれば、図のA E発生時期には地山内部に局部破壊が生じたものと推定される。事実、I-1およびI-6,7,14のA E発生時期にほぼ対応するように木抜き坑でクラックが発見されている(図-3参照)。また、I-6,7などでは掘削完了後にA Eの急増がみられることおよび周辺岩盤の静的変状観測結果¹⁾を考慮すれば、掘削完了後も時間依存性に関連して地山の応力状態が変化していることが考えられる。

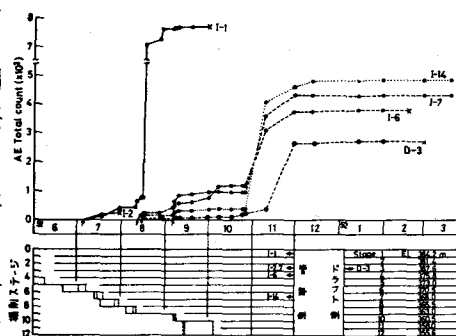


図-5 A E発生総数と掘削状況

(3) 振幅分布

検出したA Eの最大振幅を求め、これを大きさ別にプロットすると、図-6に示すように対数目盛上で一つの直線になる。すなわち、最大振幅を a とし最大振幅が a と $a+da$ の間にあるA E数を $N(a)da$ とすると、これらの間に式(2)の関係が成立する。

$$N(a)da = N_0 a^{-m} da \quad \dots (2) \quad \text{ここに, } m, N_0: \text{const.}$$

上式はある地域のある期間内に発生する地震の最大振幅と発生回数との間に成立する石本-飯田の統計式²⁾と一致する。上式の定数 m は図-6の直線の勾配であるが、媒質の内部構造や応力状態によって異なる値をとる。今回の観測では $m=1.4\sim 2.4$ の値を得た。地震では火山性の地震を除き、 $m=1.5\sim 2.0$ の範囲をとるとされており、岩盤のA Eはこれに近い値をとる。図-7は m の経時変化の一例である。この図から、上記のA E発生時期には m の値が小さくなる傾向が認められる。 m が媒質の内部構造や応力状態によって異なることを考慮すれば、振幅分布(m の変化)を調べることによって破壊を予知できる可能性がある。

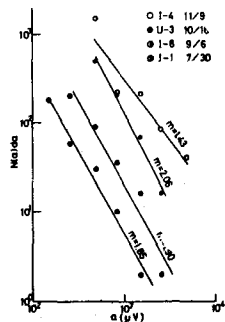


図-6 A Eの振幅分布

4. あとがき

今回の観測の結果、室内観測(岩石のA E)と原位観測(岩盤のA E)の間に多くの共通点が認められ、発生回数や振幅分布(特に発生回数)による破壊の予知が可能であり、地下空洞施工上の安全性確保の目安として実用化できる確信を得たが、ゾンデの間隔やアンプのダイナミックレンジなどの観測方法および破壊源の標定などのデータ処理方法に多くの問題点を残している。また、A Eは地質や地山の初期応力³⁾により異なった特性を示すと考えられる。今後、室内および原位観測を重ね、実用化をめざしたい。

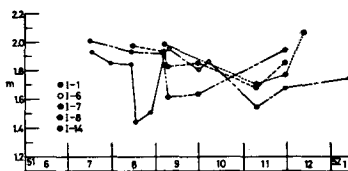


図-7 mの経時変化の一例

<参考文献> 1) 篠原, 小林, 芳賀; 地下空洞掘削に伴うPS工の緊張力の変化と岩盤変位の判定例, 第34回土木学会年講Ⅲ-241. 2) 鈴木; 地震統計, 地震, Vol.20, No.4, pp.137~139, 1967. 3) 寺田, 西村, 杉本; 8素子ゲージを用いた孔底ひずみ法による地山応力の一定例, 第34回土木学会年講Ⅲ-240.