

(16) AE計測の岩盤監視・破壊予知への適用性について

(株) 間組技術研究所

平井光之

世一英俊

蓮井昭則

山下 亮

日本技研コンサルタント(株) 安井義英

1. はじめに

地下発電所をはじめとする地下空洞・トンネル等を岩盤内に施工するにあたっては、工事に伴う周辺地山の挙動を十分把握する必要がある、そのためには地山の地形・地質条件等についての十分な情報が必要とされる。このため、実施工の段階における地山挙動の計測・評価が地下構造物の設計・施工において特に重要であり、地山の挙動を計測する種々の技術が提案され実際に用いられている。

岩盤等の脆性材料が破壊する際に発生する Acoustic Emission (AE) の計測も施工中あるいは施工後の岩盤挙動の把握に有効であるとして近年盛んに研究・開発が行われている。たとえば、カイザー効果を用いた地山の初期地圧の推定¹⁾、石炭鉱山における落盤の予知²⁾、地すべりの予知³⁾、グラウトの施工管理⁴⁾への応用等が行われている。その他、岩盤監視法としての利用(LPG地下備蓄槽周辺、高レベル放射性廃棄物処分施設周辺、岩盤空洞安定性の監視)等にAEが利用されつつある。

本研究は、岩盤のゆるみに伴って起こる微細な亀裂の発生を感知し危険箇所の推定を行って、そこに適切な処置を講ずることにより岩盤の大規模な崩落を未然に防止する手助けとするなどの岩盤の施工管理、特にAE計測を用いた岩盤監視法のシステム化を目的としている。ここでは、その適用の可能性について検討すべく、花崗岩ブロック(約1m³)を静的破碎剤を用いて破碎しその際に発生するAEの計測を行い、表面亀裂の発生に先立つAEイベントの検知、AE発生源位置の推定ならびに実破断面との対応等について検討した結果を報告する。

2. 実験方法

実験には約1050x1200x850mmの茨城県稲田産花崗岩ブロックを用いた。ブロックはほとんど風化していない新鮮な状態で割れ目

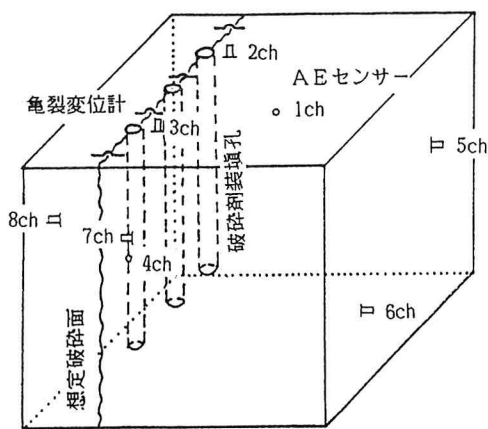


図-1 センサー・変位計取付け位置図

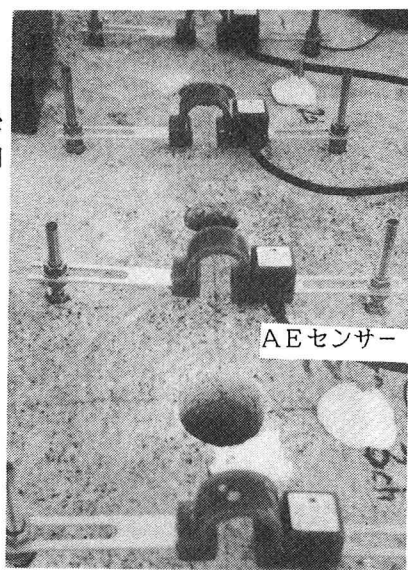


写真-1 亀裂変位計・AE
センサーの設置状況

等は見あたらない（P波速度は4970m/s）。ブロック上面から同一面内に3本のボーリング孔の削孔を行い、孔内に静的破碎剤を装填した。（図-1、写真-1にAEセンサー、亀裂変位計の設置位置を示した。）想定される破碎面をはさんで4ヶの亀裂変位計を設置し表面亀裂幅の経時変化を測定した。AEセンサーは共振周波数150kHzのPZTトランスデューサー（直径12mm）を用いた。使用したAE計測システムは図-2、写真-2に示すように8チャンネルのセンサー群、プリアンプ、ディスクリミネータ、トランジェントメモリ、カウンターモジュール（4チャンネル）およびパソコンから成る。センサーの配置は図-1に示すように、想定破碎面から等距離の位置に1ch-4chの4ヶ（この4チャンネルはAEイベント数およびAE波形の収録を行う。）、破碎面を立体的に取り囲むように5ch-8chの4ヶ（AE波形のみ収録）を配置し、AEイベント数の経時変化およびAE発生位置決定用波形の計測を実施した。

AEセンサーに入力された信号は、プリアンプによって40dB増幅された後ディスクリミネータに送られる。ディスクリミネータでは、メインアンプでさらに増幅を行い、所定のディスクリレベルを越えた波形についてAEイベントが発生し、カウンターモジュールに送られ計数される。一方、波形データは、トランジェントメモリを通してパソコンに入力される。パソコンでの波形データのセーブに数秒の転送時間を要し、これがシステムの波形取込みに関するデッドタイムとなる。本試験は比較的試験時間が長いこともあり、代表的なAEの取込みを効率的に行うために、波形の取込みに関するディスクリレベルを高くするとともに、波形取込み時間間隔を原則として1分とした。

AEセンサーの接着は、シリコングリースを塗ったAEセンサーの回りを石膏で囲み、岩石ブロックに密着させることにより行った。

3. 実験結果・考察

3-1 破碎の進行状況

バックグラウンドの雑音によるイベント計数値は毎分数個～数十個である。破碎剤装填から2時間ほどはAEイベント計数値の増加は見られない。しかしながら、破碎剤装填孔の近傍のAEセンサーの波形モニターには破碎剤装填直後からAEと思われる突発型の波形がしばしば入力され破碎剤装填孔の近傍では早

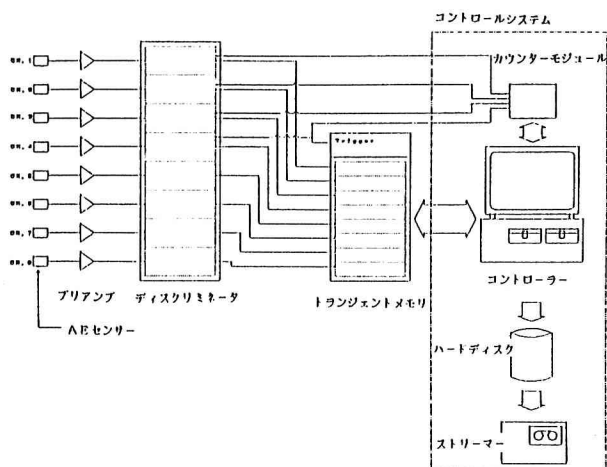


図-2 AE計測システムブロック図

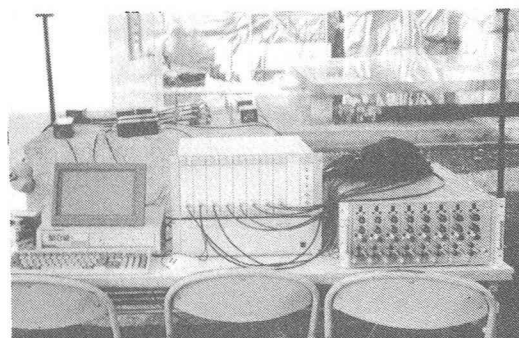


写真-2 実験装置全景

くから微細な破壊が始まっていることが示唆された。図-3に1分間ごとのAEイベント計数値と亀裂変位の経時変化の例を示す。破砕剤装填から2時間を経過した頃からAEイベント計数値が4チャンネル全てで増加し始め、5ヶ以上のセンサーに取り込まれるAE波形が頻繁になり始めた。この後ごくゆるやかにAEイベント計数値が増えていく状態が続いた。3時間30分を経過した頃急激にAEイベント計数値の増大が始まり、その約10分後に岩石ブロック上面に設置した亀裂変位計の読みに変化が現れた。それまで0mmであったのが全変位計とも約5mm/hourの割合で表面亀裂が広がり始めた。表面亀裂の発生は目視によっても確認された。その数分後各チャンネルともAE

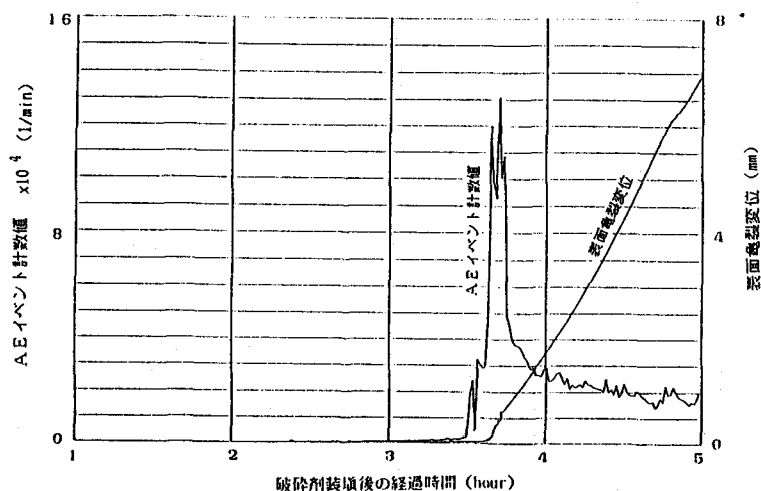


図-3 AEイベント数・表面亀裂変位の経時変化

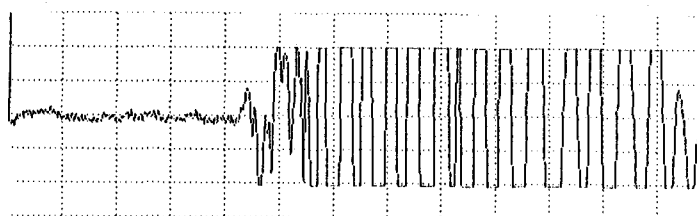


図-4 AE波形例

Eイベント計数値はピークに達し、毎分10万～16万個を記録した。ピークに達した後、AEイベント計数値は毎分数千～2万個程度まで急速に減少するが、以後はゆっくりとした減少傾向をたどる。一方、亀裂変位はその後もほとんど同じ割合で増え続けており、AE波形の取込みも継続したが、主な破壊が終了したと考えられた時点で計測を終了した。

3-2 AEの発生と岩石の破壊の関係

表面亀裂の発生時点を中心に前後のAEの発生状況を破壊予知の観点からまとめると以下のようなものである。破砕剤装填孔の近傍のAEセンサーの波形モニターにより破砕剤装填直後からAEと思われる突発型の波形が見られることを記したが、このことは、あらかじめ破壊位置の目安のついている本試験のような場合、周辺岩盤の挙動監視に対してAE計測がかなり有効な手段となる可能性を示していると考えられる。

表面亀裂発生前の1時間40分前にはAEイベント数が徐々に増え始めており、大規模な破壊に至るまえに、岩石ブロック内部における微細な破壊の進展を検知できることが確かめられた。さらに、表面亀裂の発生する直前(約10分前)にAEイベント数が急増したことは、大規模な破壊の直前予兆として重要である。AEイベント数がピークに達するのと表面亀裂の発生とがほぼ同時刻である点も注目すべきである。

う。表面亀裂の発生後もどんどん亀裂は進展し続けるにもかかわらず、A E イベント数は急激に減少していく。これらのことは破壊のエネルギーが、自由面に接したために急速に失われていくことと対応していると思われる。

3-3 A E 発生源位置の推定ならびに

実破断面位置との対応

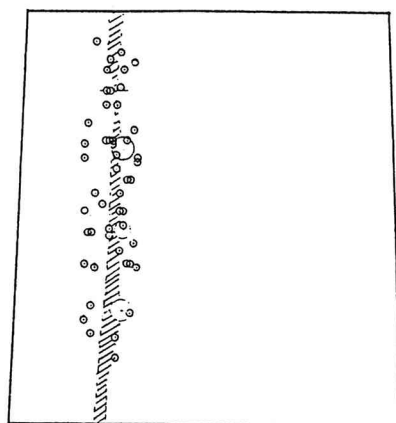
記録されたA Eのうち50個についてA E 発生源位置の標定を行うことができた。図-5にA E 発生源位置の標定結果を示す。図中の斜線部は実際に岩石ブロックが破断した面である。標定には、各センサーに到達したP破の初動立ち上がり時間差を用いた。A E 発生源位置の標定には8ケのセンサーのうち5ケ以上のセンサーにA E 波形が記録されたものについて行った。標定されたA E 発生源位置は破断面から数cm-10cmの間に分布しており、破断面の位置にほぼ対応している。A E の発生時期と発生位置の関係はあいまいであった。

4. まとめ

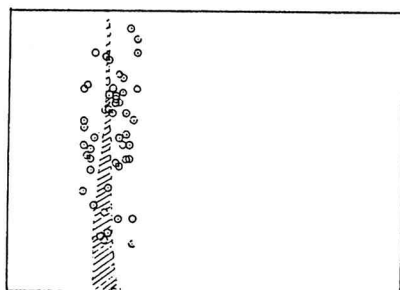
岩石ブロックの破碎実験において示されたように岩盤監視技術としてA E 観測の適応性はかなり高い。しかしながら、岩盤の状況の定量的な把握のためには多くの課題がある。例えば、本試験におけるA E イベント数の増加中のどの段階で危険と判断するか、あるいは、破壊の形態と発生するA E の特性との関係の把握などの問題である。今後は、現場におけるA E 計測の実施を進めデータの集積を図りたい。

参考文献

- 1)例えば、金川ら：岩石のカイザー効果を利用した地圧測定法、電力中央研究所研究報告No.381004、1981
- 2)後藤ら：山鳴り震源位置の特徴について、日本鉱業会誌、1982
- 3)新妻ら：A E 法による地すべりの予知、第4回アコースティック・エミッション総合コンファレンス論文集、1983
- 4)上田ら：ダム基礎岩盤のグラウチングに伴うA E 特性、第19回土質工学研究発表会、1984



平面図



立面図

図-5 A E 発生源位置
標定結果と実破断面

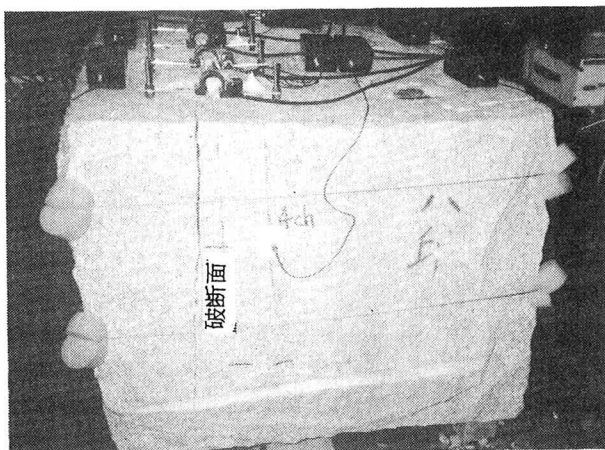


写真-3 岩石ブロック破碎状況

(16) THE APPLICABILITY OF ACOUSTIC EMISSION
ON MONITORING THE BEHAVIOR OF ROCK MASS

by

Hazama-Gumi, Ltd.

Mitsuyuki HIRAI

Hidetoshi YOICHI

Akinori HASUI

Ryo YAMASHITA

Nihon Giken Consultant, Ltd.

Yoshihide YASUI

ABSTRACT

To investigate applicability of acoustic emission (AE) on monitoring the behavior of rock mass, AE measurement at the time of failure experiment of Inada granite using breaking agent were carried out. AE event count rate, displacement of the surface fracture were measured. And hypocenters of AE were located.

AE event count rate was slowly increasing prior to the appearing of the surface fracture displacement. That is, interior micro cracks already began to occur.

After the suddenly increasing of AE event count rate, the surface fracture coincided with the AE event count rate peak. It means that the ultimate failure had been over when the fracture reached to the exterior. Further, spatial distribution of hypocenters was nearly fit for the observed fracture surface.

In this reseach, it has been indicated that AE monitoring can be one of the significant technique to predict the ultimate failure of rock.