

## (11) 岩石供試体の動的性質から推定される岩盤の力学特性

西松建設株式会社 正会員 ○ 平田 篤夫  
西松建設株式会社 正会員 石山 宏二  
西松建設株式会社 正会員 稲葉 力

### 1. 緒 論

現位置岩盤においては、構造運動や風化作用の履歴が異なれば、同種の岩盤といえども力学的特性を一般形で同定できないことはいうまでもない。しかし、空洞掘削後の空洞周辺岩盤の静的な力学特性を検討する場合、室内試験による静的な力学試験結果が重要な情報の一つとされることが多い。それは、岩石供試体の一軸圧縮強度等の資料の蓄積が膨大<sup>1)</sup>であり、それらによって定性的な岩盤物性が推定され、概略設計の参考資料になるためと考えられる。

ところで、静的な試験の場合、室内試験、現位置試験にかかわらず、得られるデータは試験ヶ所の点の情報である。2あるいは3次元に拡張して岩盤状態の変化を評価するためには、弾性波伝播速度等の動的な試験結果がその指標になることが多いが、それは物質固有の値ではなく、割れ目密度や応力度に影響を受けたものである<sup>2)</sup>ことは、インタクトな岩石と割れ目を介在している岩盤のP波伝播速度比等から、岩盤の割れ目の程度を評価していることから明かである。

静的な強度と弾性波伝播速度との間には正の相関関係があることはよく知られているが、室内あるいは現位置での動的な試験によって求められる弾性定数は、一般に静的弾性定数の数倍の範囲で大きくばらつき、弾性波伝播速度のような初動走時のみで岩盤の静的力学特性を推定することは困難である。

本研究では、動的な室内試験による試験結果の中には多くの情報が含まれているものと考えられるため、脆性を示すインタクトな岩石の動的特性について、静的な性質と関連づけて検討する。

### 2. 計測概要

供試体は花崗岩、安山岩、およびコンクリートを $\phi 5\text{cm}$ ,  $L10\text{cm}$ の円柱に成形し、目視で潜在的な割れ目のないものを選んだ。静的な荷重は一軸状態で載荷し、ロードセルで軸荷重を、載荷軸方向および軸直交方向に貼付したストレインゲージで静ひずみを測定した。載荷は  $0.01\sim 0.001\ \%/ \text{min}$  の範囲の載荷速度で行った。載荷時に超音波パルス法を用いて、超音波伝播速度(P波)を測定した。超音波パルス入力波形と出力波形、またマイクロフラクチャーの発生にともなって生じるAE波形を12bit分解能のFFTアナライザーを用いてAD変換し、GPIBを経由してパーソナルコンピュータに取り込んだ。

計測系の総合周波数特性は $50\sim 500\text{kHz}$ の範囲で平坦で、利得は70dBである。

### 3. 破壊特性

#### 3-1 弾性波伝播速度

硬質な岩盤の力学の性質が、そこに存在する割れ目に大きく影響を受けた結果であることはよく知られている。インタクトな岩盤といえども、発破による影響や局所的に過大な応力集中のために切羽付近の岩盤は常時劣化が進行している。このことは、大清水トンネルにおいて、岩盤の弾性波伝播速度が掘削の進行にともなって低下傾向を示したことから指摘されている<sup>3)</sup>。

岩石試料についても、三軸応力下におけるランダムな微小破壊によるマイクロクラックの発達過程で、超音波伝播速度を測定し、体積ひずみとの相関関係が高いことが示されている<sup>4)</sup>。しかしながら、三軸試験でも低拘束圧下や一軸試験ではその傾向は明瞭でなくなる。Fig.1 に示すように載荷直後での潜在的な割れ目の閉塞による超音波伝播速度の増加部分と体積ひずみの最小点からダイラタンシーが顕著になる領域での

減少部分以外は応力-ひずみ関係を明確に特徴づけることはできない。波動の伝播速度の変化より振幅の減衰に関する指標が岩石内部のマイクロクラックの増加との関係において、敏感で、しかも正確であることは既に指摘されている<sup>5)6)</sup> ことでもある。

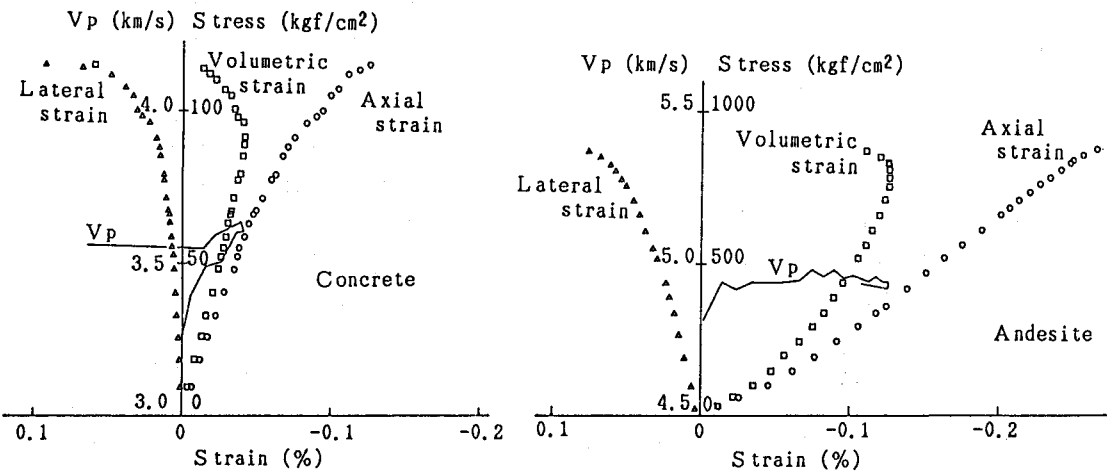


Fig.1 Stress-strain curve and relation between Vp and volumetric strain.

### 3-2 AE発生特性

Fig.2 は花崗岩試料の一軸圧縮試験でのAE計測結果の累積リングダウンカウントと累積イベントの関係である。応力の増加にともなう、その勾配の変化からイベント当りのリングダウンカウントが多くなっていることがうかがえる。このことは、応力の増加にともなう、微小破壊のサイズが徐々に大きくなっていくことを示している<sup>7)</sup> ものといえる。しかしながら、供試体程度の寸法の破壊試験から発生するAEは、個々の結晶間の粒界亀裂の発生のためと考えられるので、その規模として結晶粒程度の寸法の破壊長を想定すれば、载荷の初期と破壊直前では極端な破壊規模の違いはない。AE波形の最大値も応力状態に関係なく、無秩序に発生する。

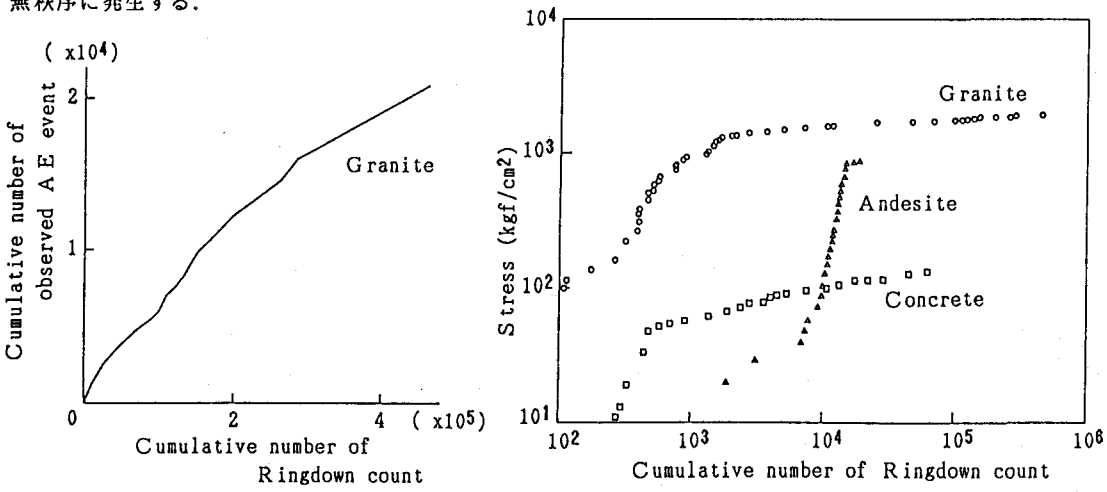


Fig.2 Relation cumulative number of ringdown count and AE event on Granite.

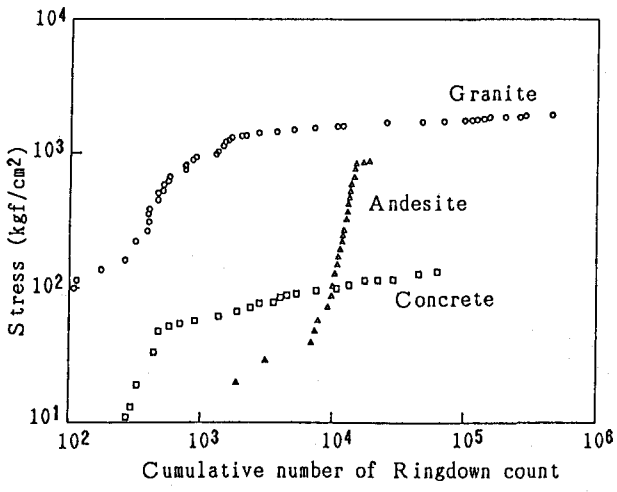


Fig.3 Cumulative number of ringdown count under the uniaxial stress state.

Fig. 3 は各供試体における累積リングダウンカウントと軸応力の関係である。

破壊直前に破壊規模が大きくなるにともなう、リングダウンカウントが大きくなることは指摘したが、その開始点は材質によって異なっている。安山岩では、体積ひずみの最小点からリングダウンカウントの増加傾向が生じ、コンクリートの場合には、弾性領域からその傾向が始まっている。

以上のことは鉱物組成と密接に関係しているものと考えられるが、材料の破壊靱性とも相関性があるようで興味深い。

Fig. 4 は安山岩試料の繰り返し载荷を行った場合の応力-ひずみ関係である。4 サイクル目で破壊している。

Fig. 5 はその場合の累積リングダウンカウントと応力の関係を示したもので、マイクロクラックの増加にともなう、リングダウンカウントの増加する応力レベルが低下している。また、その変化点は材質の剛性の低下にしたがって明瞭でなくなる。しかし、破壊強度には大きな差はない。

### 3-3 AE スペクトル特性

地震学で説明される移動震源モデルが AE にも適用できると仮定すると、破壊長 (L)、破壊速度 (Vr)、マグニチュード (M) の間には次式が経験的に成り立つ。

$$\log(L/Vr) = a M + b$$

ここで、a, b は定数である。

L/Vr は破壊時間に相当し、地震波の卓越周期がマグニチュードに依存して長くなるという経験式とも調和的である。

AE 波動についても破壊直前において、卓越周波数より低い周波数部分のレベルが大きくなる傾向が認められる。Fig. 6 は花崗岩における AE 波形のフーリエスペクトルから、卓越周波数 (160kHz) のスペクトル値に対する 100kHz の周波数のスペクトル値の比をプロットしたものである。ばらつきは大きいものの

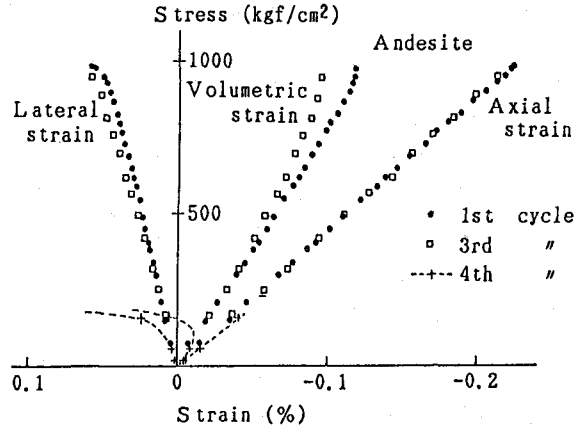


Fig. 4 Cyclic stress-strain curve on Andesite.

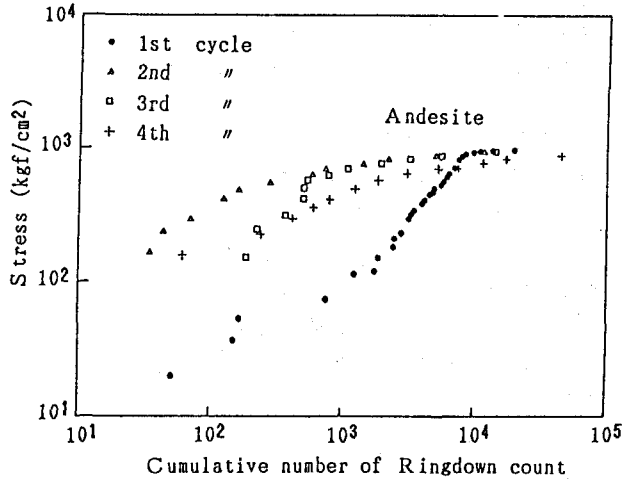


Fig. 5 Cumulative number of ringdown count on Andesite under the cyclic stress state.

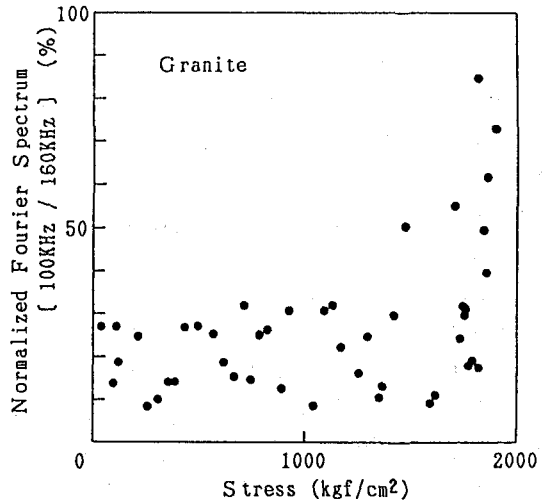


Fig. 6 Fourier spectrum ratio under the stress state.

破壊直前で卓越周波数より低周波数側のレベルが大きくなる傾向を示している。

Fig.7 は花崗岩における軸応力  $\sigma = 620$ ,  $1900 \text{ kgf/cm}^2$  時点の AE 波形のフーリエスペクトルを正規化したものである。 $\sigma = 1900 \text{ kgf/cm}^2$  は破壊直前の状態であり、フーリエスペクトルの卓越帯域が低周波数側へ移動している。スペクトルからも破壊直前には破壊規模が大きくなっていることがうかがえる。

#### 4. 結 論

種々の供試体の静的な一軸荷重載荷時に発生するマイクロフラクチャーの増加にともなって変化すると考えられる静的岩石物性を、動的な波動伝播特性を用いて、室内試験で評価、検討した。

供試体レベルの寸法の破壊に際しても、その応力増加の過程では材料の強度に応じて、ある特定の応力状態から破壊の大きさが急増するポイントが存在している。現場における岩盤破壊のメカニズムが供試体レベルと同等という前提で、この応力状態を推定することができれば、大規模な岩盤破壊を事前に予知できる可能性がある。

#### 【謝 辞】

本研究を実施するに当たり、熊本大学工学部、金子勝比古助教授には懇切な御助言を頂きました。西松建設(株)斉藤義信氏、千葉了氏には試験用岩石ブロックを提供して頂きました。記して謝意を表します。

#### 【参考文献】

- 1) 土木学会編：トンネルの地質調査と岩盤計測
- 2) 下村弥太郎，高多明：岩石の物理性とボーリング速度との関連に関する研究，日本鉱業会誌 74巻 844号 1958
- 3) 下河内稔，小田重雄，木沢恒雄：大清水トンネルにおける山はね現象からの一考察，第5回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，1977
- 4) 谷口敏一郎，縮見晴重，寺岡克己，松井誉志成：岩石組織と三軸応力下における弾性波伝播特性ならびに変形特性との関係について，第7回岩の力学国内シンポジウム講演論文集，1987
- 5) 金子勝比古，井上博之，佐々宏一，伊藤一郎：岩石の破壊の進展に伴う弾性波伝播速度の変化—岩石の破壊の進展に伴う弾性波伝播特性に関する研究（第1報）—，日本鉱業会誌 94巻 1080号 1978-2
- 6) 井上博之，金子勝比古，佐々宏一，伊藤一郎：岩石の破壊の進展に伴う弾性波の振幅の減衰—岩石の破壊の進展に伴う弾性波伝播特性に関する研究（第2報）—，日本鉱業会誌 94巻 1083号 1978-5
- 7) 菅原勝彦，金子勝比古：長壁式採炭における地圧と破壊音，日本鉱業会誌 102巻 1177号，1986-3

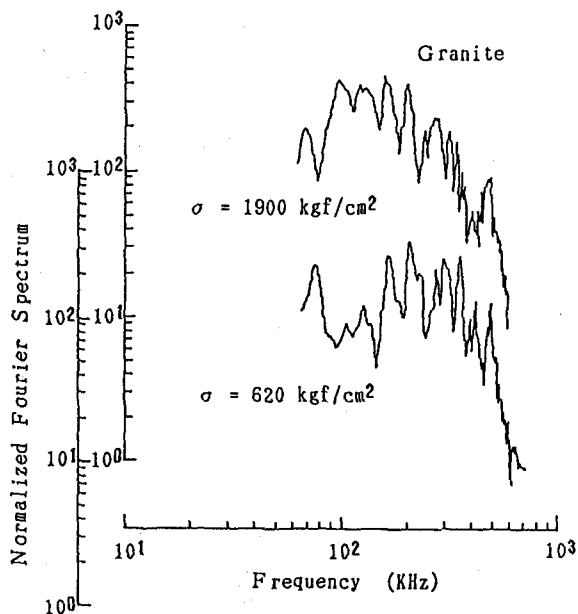


Fig.7 Normalized Fourier spectrum on Granite under the uniaxial stress state  $\sigma = 620$  and  $1900 \text{ kgf/cm}^2$ . The stress state of  $\sigma = 1900 \text{ kgf/cm}^2$  is just before a failure on this Granite.

(11) CHARACTERISTICS OF ROCK MASS ESTIMATED BY DYNAMIC TEST ON SPECIMEN

Atsuo Hirata , Kouji Ishiyama & Tsutomu Inaba  
Nishimatsu Construction Co., Ltd.

ABSTRACT

Laboratory tests of rock specimen were made for the purpose of getting informations about the characteristics of in-situ rock mass. Dynamic characteristics of intact specimen change as increasing of micro crack, that grows around the crystal. Specimen was made of Andesite, Granite and Concrete, their size was  $\phi 50\text{mm}$ , H100mm.

Acoustic emission(AE) and a longitudinal wave velocity were measured under the uniaxial stress state. Ringdown count to be considered a index of micro crack size increse just before a failure. The increse point of Ringdown count do not agree with materials of specimen. It is probable this point influence on the material strength and the modulus of deformation. The dominant frequency of AE wave move to low frequency side with the increasing of the uniaxial stress state. The size of micro crack has relation to the dominant frequency. There is a good chance to estimate the rupture of in-situ rock, if the failure mechanism of specimen is similar to the large size one on rock mass.