

岩石の変形に伴う AE と電磁放射の同時計測とその応用

日大生産工(院) ○福島 恵太

日大生産工 森 康彦

1. 緒言

AE(アコースティック・エミッション)とは、固体材料に局所的な変形や割れの進展が生じた際に放出される弾性波である。応力負荷によりき裂や欠陥が進展を開始すると、それが AE 源となり表面観察では検出できない材料内部の変化を AE により評価できる。一方、強誘電体材料である岩石が変形や破壊するとき、AE に伴って電磁放射 (electromagnetic emission, EME) が観察されることが知られている。電磁放射はき裂面上での電荷の再配分により発生する。すなわち、き裂の新たな生成に伴ってのみ発生することが明かにされてきている。そこで本研究では、これらの現象を変形や破壊挙動の解明手段に応用するために、岩石の圧縮変形試験と繰返し荷重試験を実施し、その際に AE と電磁放射の同時計測を行い、電磁放射の現象と破壊との関係を検討し、さらに岩石の応力履歴の推定法としての応用を提案しようとするものである。

2. 実験方法

岩石試験片は稲田花崗岩の断面 $15 \times 15 \text{ mm}^2$ 、高さ 60 mm の角柱を用いた。試験片は、Fig.1(a)に示すように、円形の厚紙を試験片の上下端面に取り付けた。これは、圧縮変形試験で試験片に均一な荷重を与えると同時に、鋼製圧縮治具との接触による雑音を抑制するためでもある。電磁放射(EME)の計測は、同図(b)のように、導電性接着剤を塗布することで試験片の側面に対向する一対の電極(A-A)を形成し、この電極間に生じる電位変化として検出した。検出された EME 信号は、超低雑音増幅器で 20 dB 増幅した後、さらに 40 dB 増幅した。AE 計測は、AE 変換子一つを試験片の側面中央に接着剤で取り付けて 40 dB 増幅した。増幅された EME と AE 信号は AE 計

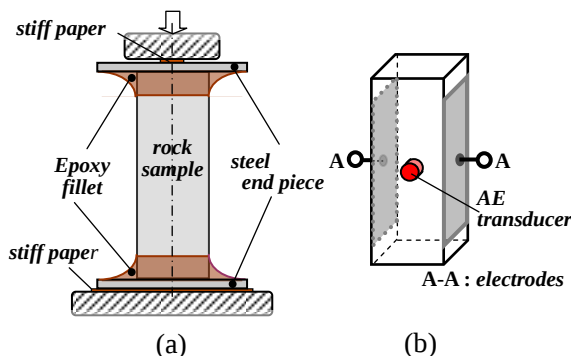


Fig. 1 Sample assembly: (a) setup for uniaxial loading and (b) arrangement of AE transducer, electrodes for EME detection, and strain gages.

測装置に入力し、波形記録方式で解析した。同時に、試験片の試験荷重を計測した。荷重負荷は変位速度 0.1 mm/min で行い、圧縮変形試験、繰返し荷重試験共に、試験片が破壊されるまで圧縮荷重を加えた。

3. 実験結果及び考察

3.1 単調増加圧縮変形試験

圧縮試験で同時に記録された AE 信号と EME 信号波形の例を Fig.2 に示す。この例では、AE 信号の発生には EME 信号の発生が伴っている。試料の大きさが小さく AE 波の伝搬距離が短いので、EME 信号は AE とほぼ同時に観察されるが EME はほぼ光速で伝わるので、弾性波の速度で伝搬する AE よりも早く検出される。

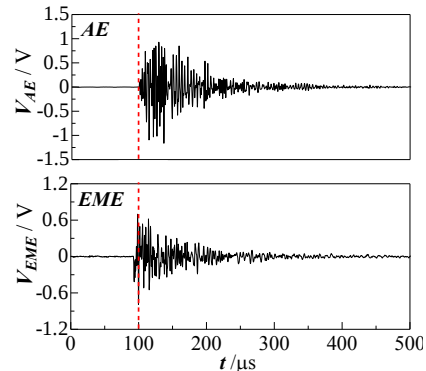


Fig. 2 A set of simultaneous measurement of EME and AE signals recorded in the compression test of Inada granite sample.

次に、Fig.3(a)に圧縮試験の経過時間 t に対する、荷重 P と AE, EME の累積事象数 N_{AE} , N_{EME} の変化を示した。AE の発生は荷重の増加が直線的な変化からずればじめる約 500 秒 のあたりから顕著に始まり、その後連続的に増加していく。そして、EME の発生も AE と同じ発生状況を示している。このような AE と EME の発生挙動は、圧縮試験におけるひずみ計測との考察から、試料の体積が圧縮荷重による収縮から圧縮軸に垂直な方向に膨張して微視的破壊が生じて AE が発生し、EME は引張型の微視割れの発生に伴って放射される、というこれまでの報告をよく再現している。次に、Fig.3 (b),(c) から明らかなように、試験時間の経過とともに、すなわち試験片の体積ひずみの増加とともに、より大きな振幅を持つ AE と EME 信号が発生するようになる。計測された EME 事象は例外なく AE の発生を伴っていた。Fig.4 は、その AE と EME の信号振幅 V_{AEp} と V_{EMEp} の関係を調べた結果である。これより、EME と AE の信号振幅には正の相関が明らかにあることが認められる。すなわち、AE で評価されるき裂の寸法が大きいほど、大きな振幅の EME 信号が発生すると言える。

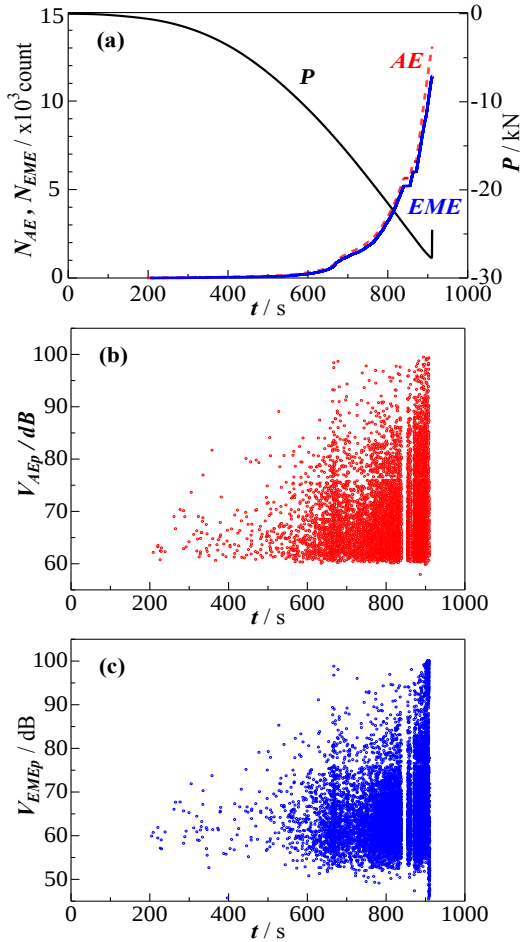


Fig. 3 Result of simultaneous measurement of AE and EME signals during compression test of Inada granite sample.

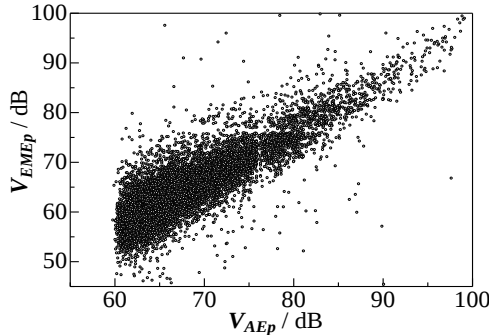


Fig. 4 Relationship between EME and AE signal amplitude.

3.2 繰り返し荷重試験

繰り返し荷重試験の結果を Fig.5 に示す. 試験は負荷応力曲線 σ に示した工程#0 から#6 で示すように, 負荷-徐荷-再負荷の繰返しを, 最大圧縮応力を 11MPa(破壊応力の約 14%)ずつ増しながら試験片が破壊するまで行った. AE は圧縮荷重が増加する過程だけでなく, 工程#3 から#5 の除荷の過程でも発生している. これに対して EME は, #4, #5 を除いては, 除荷中に発生していない. 除荷の過程で発生する AE は先行する負荷荷重によって試験片中に生じた微小き裂の表面同士の衝突や摩擦によって発生する雑音であることが明らかにされている. 従って EME は新

たにき裂が生成される時だけに発生することを物語っている.

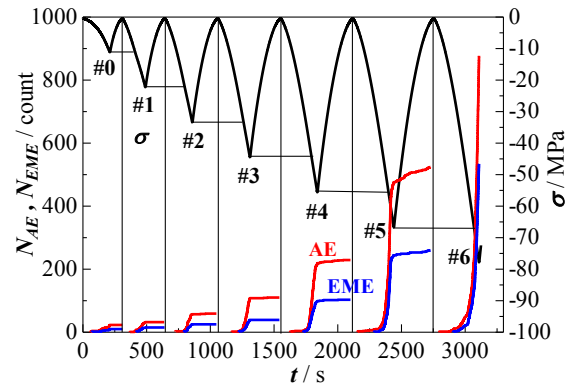


Fig. 5 History of the repeated stressing test and the result of simultaneous measurement of EME and AE signal.

次に Fig.5 で整理された各負荷の工程について, 圧縮応力が増加する過程で AE が急増し始める応力を σ_{AE} , また, 最初に観察される EME の発生応力を σ_{EME} として, それぞれの負荷工程における予応力を推定してみた. その結果を, 予応力 σ_{pre} に対して Fig.6 に, 試験片の圧縮強さ σ_b で正規化して整理した. この試験の結果, AE と EME による予応力の推定をみると AE と EME の予応力の推定をみてもと破壊応力 78MPa の約 30% までの範囲で, およそ 2% の誤差内で AE と EME とともに予応力が推定できる. しかし, 予応力がそれ以上となると, AE と EME の両者とも予応力の推定は過小評価となる. ここで注意すべきは, 計測される AE はき裂に伴うものばかりでなくき裂の開閉による摩擦の雑音も含まれている. 一方, EME は, 新たにき裂が生成されることによってのみ発生するものである. したがって, 予応力の推定には EME の計測が直接的であるといえる.

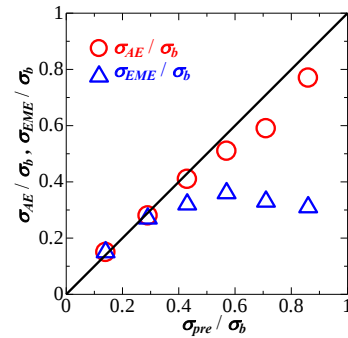


Fig. 6 Plots of estimated stresses σ_{EME} and σ_{AE} as a function of the pre-stress σ_{pre} .

4. 結言

本研究の結果は以下のように要約される.

- (1) 荷重の増加とともに, より大きな振幅を持つ AE と EME が発生する.
- (2) AE と EME の信号振幅には正の相関があり, き裂の寸法が大きいほど大きな振幅の EME の事象となる.
- (3) EME はき裂が生じるときにだけ発生すると結論される.
- (4) 予応力の推定法に EME 計測が応用できる.