

繰り返し載荷時のAE発生特性を用いた応力履歴岩石からの先行応力推定

瀬戸政宏*・歌川 学**・勝山邦久***

先行応力を人為的に与えた岩石の繰り返し載荷試験時に計測されたAEの発生特性から先行応力の推定を行い、先行応力推定に及ぼす経過時間の影響について検討した。その結果、先行応力除荷後の経過時間が長くなるとカイザー効果が不明瞭になるが、その場合においても、2回目以降の載荷時において先行応力相当点にAE急増点が出現し、先行応力を精度良く推定できることを示した。この繰り返し載荷時のAE特性による推定精度は、経過時間が400日までの範囲で平均1.5%であった。

Keywords : kaiser effect, acoustic emission, cyclic loading, pre-stress, elapsed time

1. 緒 言

AE (Acoustic Emission) のカイザー効果を利用した地圧測定 (AE法)¹⁾では、まず原位置岩盤にボーリングを行い、岩石コアを採取する。これを実験室において整形し、供試体とした後に、一軸圧縮載荷試験を行なってその際のAEを計測し、カイザー効果によるAE発生数の急増開始点を求めて地圧を測定する。したがって、AE法においては原位置で岩石コアを採取した時点、すなわち岩石コアに作用していた地圧を解放した時点から地圧測定のための一軸圧縮載荷試験までに時間の経過が発生する。

そのため、この時間経過がAE法による地圧推定精度に影響を及ぼすことが考えられる。これについて、いくつかの検討結果が報告されてきている。例えば、村山ら²⁾、道広ら³⁾によれば、カイザー効果による先行応力の推定値は5日目より減少し始め、20日後には実際の値の半分になると報告している。また、吉川ら^{4),5)}は先行応力の圧縮強度に対する比が増加すると時間の経過とともに推定応力値が減少する傾向にあるが、その比が40%以下であれば減少の度合は、3年を経過しても2割程度であると報告するとともに、繰り返し載荷での2回目以降の載荷時のAE発生特性を考慮した先行応力推定法も提案している。栗田ら⁶⁾は花崗岩において、数時間から数日間までは明瞭にカイザー効果が認められ、2~3週間まではなんとか認めることができたと報告している。一方、金川ら⁷⁾は花崗岩による実験で、先行応力

を除荷した300日後でもカイザー効果により高い精度で先行応力の推定が可能であると報告している。

上記のように、カイザー効果に対する時間経過の影響に関しては諸説があるが、もし、数日の時間経過でカイザー効果による先行応力の推定精度が急激に低下するとしたら、AE法による地圧測定は実用にならなくなる。しかし、この時間経過の影響は岩石の組織、含水比、及び強度に対する解放された地圧の大きさに影響されると考えられる^{4),5)}。また、一軸圧縮試験方法、及びAEの計測・解析方法によっても時間経過の影響評価は異なったものになると思われる。

そこで、本研究においてはこれらの点を考慮して、岩石としては堆積性岩石と結晶質岩石を用い、先行応力は、ダイレイタンスの影響を無視できると考えられる一軸圧縮強度の20%以下の範囲に限定して検討した。AEの計測・解析方法としては、4個のセンサーによって計測を行い、そのすべてのセンサーで同時に計測され、ソースロケーションによって岩石内で発生したと判定されたAEについてのみ解析に供することとした。

また、先行応力除荷後の岩石に荷重速度一定の条件で繰り返し載荷を行ない、1回目だけではなく2回目以降の載荷時のAE発生特性と先行応力との関係について検討した。

本論文では、まず先行応力除荷後の岩石の1回目載荷時のAE発生挙動から検討し、カイザー効果に対する時間経過の影響について述べる。次に、各種時間経過を経た岩石の繰り返し載荷時のAE発生挙動について述べ、2回目以降の載荷時のAE発生挙動から先行応力の推定が可能であることを示す。最後に、繰り返し載荷時のAE発生特性を用いて推定した先行応力の推定精度と経過時間との関係について述べる。

* 正会員 工業技術院資源環境技術総合研究所破壊工学研究室主任研究官
(〒305 つくば市小野川16の3)

** 正会員 工修 工業技術院資源環境技術総合研究所破壊工学研究室研究員

*** 正会員 工博 工業技術院資源環境技術総合研究所破壊工学研究室長

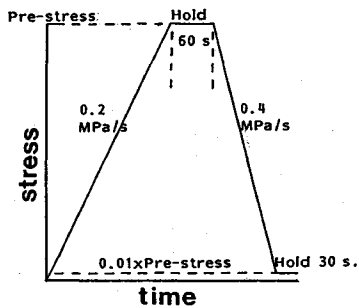


Fig.1 Loading pattern of pre-stress.

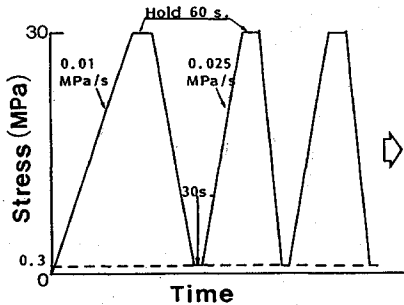


Fig.2 An example of loading pattern in cyclic loading.

2. 実験の概要

(1) 岩石試料と先行応力条件

実験に用いた岩石試料は堆積性岩石として凝灰岩（通称、田下石）、白浜産砂岩、結晶質岩石として稲田産花崗岩の計 3 種類で、試料の寸法、形状は縦、横 30 mm、高さ 60 mm の角柱形とし、端面の平行度は $\pm 1/50$ mm 以内に仕上げた。

岩石に加えた先行応力の値としては、岩石の一軸圧縮強度を考慮して、5 MPa、10 MPa と 20 MPa の 3 種類を選んだ。なお、本研究で用いた 3 種類の岩石の一軸圧縮強度は、凝灰岩が 50 MPa、白浜砂岩が 60 MPa、稲田花崗岩が 185 MPa である。また、先行応力の印加方法は、Fig.1 に示す載荷パターンを 50~70 回繰り返す、繰り返し載荷である。この繰り返し回数は、繰り返し載荷によって AE が発生しなくなるまでの約 2 倍の回数に相当する。したがって、岩石内に形成されたマイクロクラックの状態は、加えられた先行応力によりマイクロクラックが十分に進展した状態になっているものと考えられる。

(2) 実験方法

(1) の方法で先行応力を加えた後の繰り返し載荷実験では、先行応力を加えた方向と同一の方向への載荷を行い、原則として 2 回目以降の載荷速度を 1 回目の 2~2.5 倍とし、4 回の繰り返し載荷を行った。これは、当初 1 回目と 2 回目以降の載荷速度を同じにした場合、2

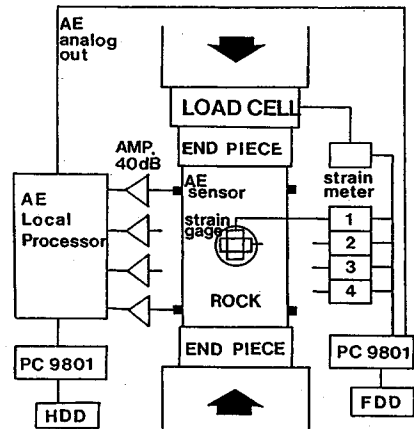


Fig.3 AE-Strain-Load measuring system.

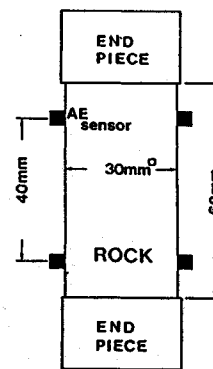


Fig.4 Array of AE sensors.

回目以降の載荷時の AE 発生数が 1 回目にして極めて少なくなるのではないかと予想して設定した条件である。実際には、1 回目と 2 回目以降の載荷速度を同一にした条件でも、2 回目以降の載荷時において AE 発生数が極端に減少するという事はなかった。繰り返し載荷パターンの一例を Fig.2 に示す。なお、繰り返し載荷時の最小応力レベルは、最大印加応力の 1% とした。載荷は MTS 製 810 型サーボ制御式材料試験機（最大荷重容量 100 ton）により荷重速度制御で行った。載荷に際しては、試料の各側面に貼られたひずみゲージの載荷軸方向のひずみの進行速度がほぼ同じになるように実験開始前に載荷板を調整し、試料に対する載荷板の片当りが起きないように十分配慮した。

本実験で用いた AE・ひずみ・荷重計測システムの概略を Fig.3 に示す。AE の計測では、岩石試料の側面に AE センサーを 4 個接着した。4 個のセンサーは相対する試料側面に 2 個ずつ接着し、4 個のセンサーによって取り囲まれる領域の形が長方形になるように配置した (Fig.4)。使用した AE センサーは NF 製 AE-904 DM 型で、その共振周波数は 500 kHz であり、200 kHz から 550 kHz で高い利得を有している。AE センサーから

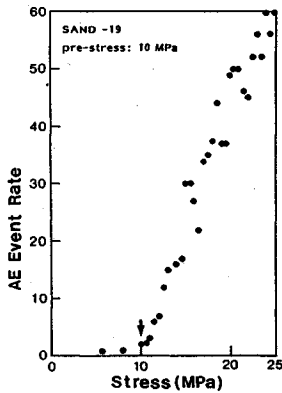


Fig. 5 AE event rate history of SANDSTONE in the first loading. Elapsed time is 1 hour.

の出力は、まずプリアンプで40 dB増幅し、その後AE解析装置(NF製9600ローカルプロセッサ)に送って更に40 dB増幅した。そして、ディスクレベル: 220 mV(ノイズレベル180-200 mV)を越えたAE信号についてコインシデンス処理(2次元のソースロケーション)を施し、試料とエンドピースの接触部、油圧源等に起因するノイズを除去し、岩石試料内部で発生したAEのみを計数した。したがって、本実験で計測されたAEデータは非常に信頼性の高いものである。この計数されたAEイベントデータは、イベントデータ1個につき、タイムコードとしてのAE発生時刻、リングダウンカウント数、最大振幅、継続時間、立ち上がり時間等から構成される合計32バイトのデジタルデータとしてディスクに記録した。実験終了後、記録されたAEイベントデータからAE特性パラメータの解析を行い、そのAE特性パラメータの変化と载荷応力との関係から先行応力の推定を行った。本研究で用いたAE特性パラメータは、イベントカウントの他、発生するAEの規模を考慮するために、リングダウンカウント数及び最大振幅の2乗値(以下、厳密には違うがエネルギーと呼ぶ)を含めた計3種類である。

試料の各側面に貼られた4枚のひずみゲージ及びロードセルの出力、AE解析装置からのAEイベント数のアナログ出力は、1秒毎にA/D変換してコンピュータに取り込み、実験終了後ディスクに記録した。

3. 実験結果と考察

(1) カイザー効果に対する時間依存性

ここでは、先行応力を除荷してから所定の時間経過した岩石のカイザー効果に対する時間依存性について述べる。

砂岩に10 MPaの先行応力を55回の繰り返し加えた直後に、25 MPaまでの载荷を行った結果をFig. 5に示

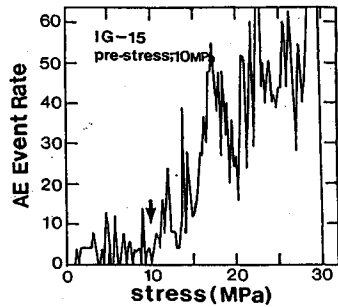


Fig. 6 AE event rate history of GRANITE in the first loading. Elapsed time is 1 day.

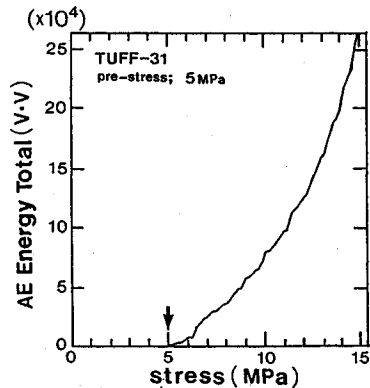


Fig. 7 AE energy total history of TUFF in the first loading. Elapsed time is 3 days.

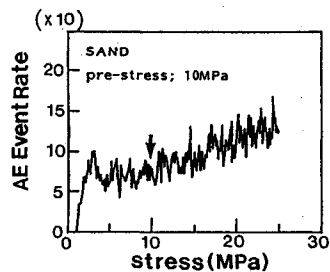


Fig. 8 AE event rate history of SANDSTONE in the first loading. Elapsed time is 7 days.

す。応力10 MPa(↓印)に明瞭なAE急増点が認められる。次に、花崗岩に先行応力10 MPaを加えた1日後に、30 MPaまでの载荷を行った結果をFig. 6に示す。砂岩の場合と同様に、応力10 MPa(↓印)に明瞭なAE急増点が認められる。Fig. 7には、凝灰岩に先行応力5 MPaを加えた3日後の結果を示すが、応力5 MPaに明瞭なAE急増点が認められる。なお、図中のエネルギートータルとは、各応力レベルで発生したAEの最大振幅2乗値の累積値である。例えば、応力10 MPaでのエネルギートータル値は約 8×10^4 (V·V)であるが、この値は応力0 MPaから10 MPaまでに発生したAEの最大振幅2乗値の累積値を示している。

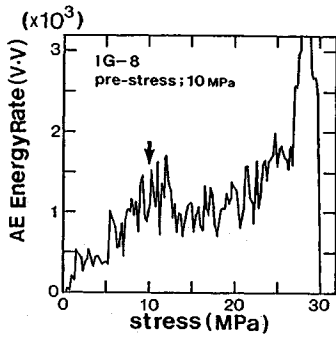


Fig. 9 AE energy rate history of GRANITE in the first loading. Elapsed time is 38 days.

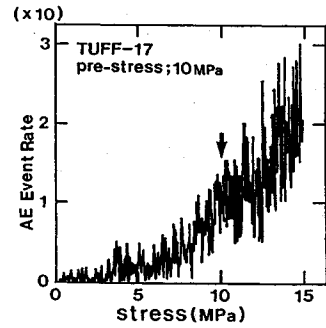


Fig. 10 AE event rate history of TUFF in the first loading. Elapsed time is 30 days.

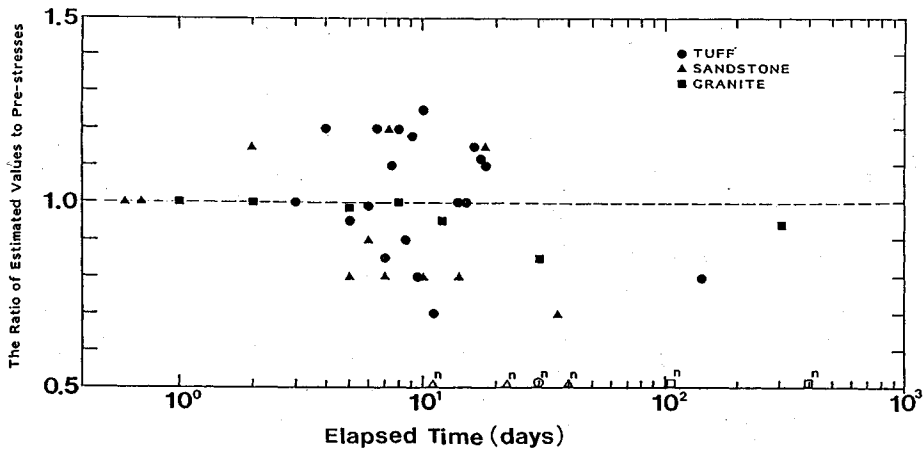


Fig. 11 The ratio of estimated values to pre-stress as a function of elapsed time. Stress values were estimated by the Kaiser effect in the first loading.

したがって、上記したように先行応力除荷後の経過時間が短い場合には、先行応力解放後1回目の載荷時にカイザー効果が明瞭に現れることが分かった。この結果は、既に報告されている研究結果とほぼ同様の結果である^{2), 3), 6)}。

次に、先行応力除荷後の時間経過が長い場合の結果を示す。

まず、Fig. 8 に、砂岩に先行応力 10 MPa を加えた 7 日後に、25 MPa までの載荷を行った結果を示す。AE は載荷直後から激しく発生しており、カイザー効果による先行応力 10 MPa に相当する応力での AE 急増点は非常に不明瞭である。

Fig. 9 に、花崗岩に先行応力 10 MPa を加えた 38 日後に、30 MPa までの載荷を行った結果を示す。載荷直後から増減を繰り返しながら AE が激しく発生しており、カイザー効果による AE 急増点は認められない。

また、Fig. 10 に、凝灰岩に先行応力 10 MPa を加えた 30 日後に 15 MPa までの載荷を行った結果を示すが、載荷直後から頻度が増加しながら AE が発生しており、先行応力相当点での AE 急増は非常に不明瞭で

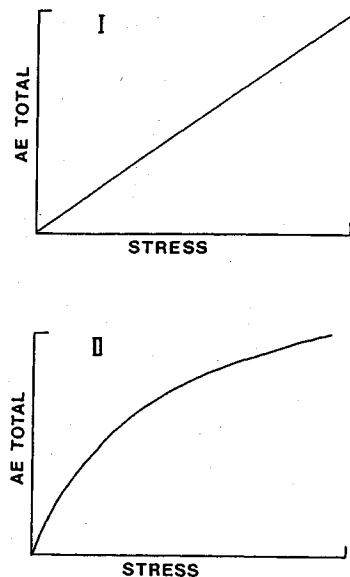


Fig. 12 Typical AE activity patterns in the first loading when elapsed time is long.

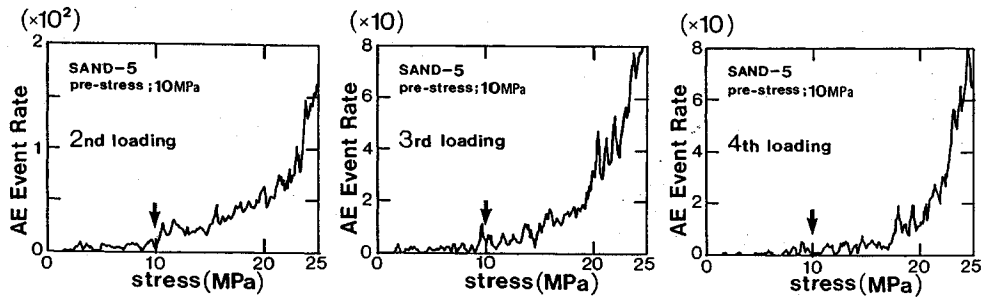


Fig.13 AE event rate histories of SANDSTONE shown in Fig.8 from the second to the fourth loading.

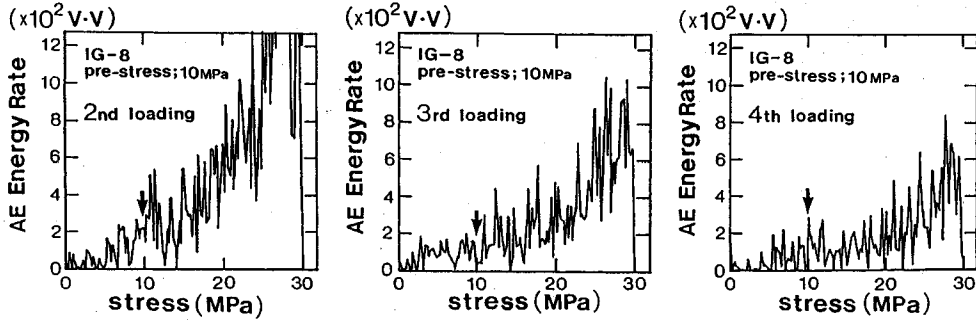


Fig.14 AE energy rate histories of GRANITE shown in Fig.9 from the second to the fourth loading.

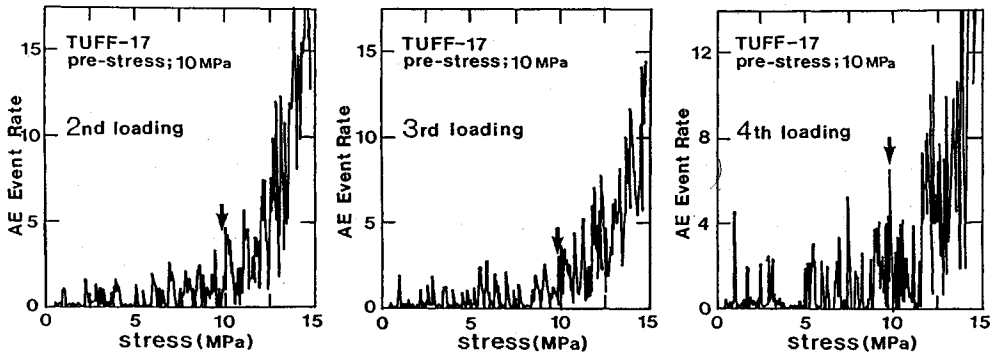


Fig.15 AE energy rate histories of TUFF shown in Fig.10 from the second to the fourth loading.

ある。

つまり、先行応力除荷後の経過時間が長くなると、砂岩、花崗岩、凝灰岩のすべてにおいて、カイザー効果によるAEの急増が不明瞭になるか、又は観察されなくなり、先行応力の推定精度低下の原因になる。これは、先行応力除荷後の時間経過に伴い岩石内部で新たなマイクロクラックの再形成、再配置が行われ、それがAEのカイザー効果の出現に影響したものと思われる。

Fig.11に、先行応力除荷後の1回目載荷時のAE発生挙動に基づく先行応力の推定精度と経過時間との関係を示す。ここでの推定精度は、推定した応力値の先行応力値に対する比として示した。同図における○^a、△^a、□^a印は、それぞれ凝灰岩、砂岩、花崗岩について推定

が不可能であったものを示している。同図より、経過時間が長くなると全岩種において推定精度が低下する傾向にあり、特に、凝灰岩、砂岩の場合には、経過時間が5日以上になると急激に低下していることが分かる。しかし、花崗岩においては、300日程度経過した後でも8%程度の誤差で先行応力の推定が可能な場合も存在した。つまり、カイザー効果の時間経過による劣化は、結晶質岩石である花崗岩に比して堆積性岩石である凝灰岩、砂岩に対して大きく現れる傾向を示し、岩種による差異が存在するものと推察される。また、時間経過が10日以上になると推定が全く不可能であった場合も出現しているが、推定不可能な場合のAE発生パターンとしては、Fig.12に示すようなものであった。推定が可能であっ

た場合の推定誤差は、最大で 30%、平均で 11.6% であった。

(2) 応力履歴岩石の繰り返し載荷時の AE 発生特性

先行応力除荷後の時間経過が長くなると、先行応力除荷後 1 回目の載荷時においては AE のカイザー効果が不明瞭になることを、前節において示した。本節では、先行応力除荷後に繰り返し載荷試験を行った過程での AE 発生特性と先行応力との関係について述べる。

Fig.8 において示した結果の 2 回目以降の繰り返し載荷時の結果を、Fig.13 に示す。ここでは、25 MPa まで 4 回の繰り返し載荷を行った。1 回目の載荷時の AE イベント数の変化においては、10 MPa 以前においても激しく AE が発生しており、10 MPa でのカイザー効果が非常に不明瞭であった。しかし、2 回目と 3 回目の載荷時の結果をみると、先行応力点 (10 MPa, ↓印) において AE の急増開始点が認められ、この結果から精度良く先行応力を推定できることが分かる。4 回目の載荷時の AE の結果においては、10 MPa からの AE の急増開始は認められなくなっているが、これは 25 MPa までの繰り返し載荷の影響によって、岩石内のマイクロクラックの状態が 25 MPa に対応した状態に徐々に変化したためと思われる。

次に、Fig.9 において示した結果の 2 回目以降の繰り返し載荷時の結果を、Fig.14 に示す。ここでは、30 MPa まで 4 回の繰り返し載荷を行った。1 回目の載荷時においては、カイザー効果による AE 急増点は認められなかったが、2 回目、3 回目の載荷時においては先行応力として加えた応力 10 MPa (↓印) に AE 急増点が認められる。4 回目の載荷時においては、砂岩の場合と同様に、先行応力相当点からの AE 急増開始は認められなくなっている。

また、Fig.10 において示した凝灰岩の結果の 2 回目以降の繰り返し載荷時の結果を、Fig.15 に示す。2 回目、3 回目の載荷時においては、先行応力として加えた応力 10 MPa (↓印) に明瞭な AE 急増点が認められる。4 回目の載荷時においては、先行応力相当点での AE の急増は認められない。

したがって、経過時間の影響によって 1 回目の載荷時において、カイザー効果としての AE 急増が不明瞭であるか、又は認められない場合においても、2 回目以降の繰り返し載荷時において、AE の発生総数は減少するが先行応力相当点に AE 急増点が出現し、それによって先行応力の推定が可能であると考えられる。

ここで、(1) と (2) で述べた経過時間の影響、及び繰り返し載荷の 2 回目以降の載荷時において先行応力点で AE の急増点が出現することについて考察する。

応力を加えることによって岩石内にマイクロクラックが発生し、それに伴って AE が発生することはよく知ら

れているが⁹⁾、ある一定の応力を AE が発生しなくなる回数まで繰り返し加えると、岩石内にはそのマイクロクラックが集合したマイクロクラック域(以下、プレクラック域と呼称)が形成されるものと考えられる⁹⁾。また、カイザー効果とその後の載荷で明瞭に出現する条件は、先行応力以下の応力レベルではプレクラック域を含めた岩石の全領域において AE の発生がないことと、先行応力以上の応力レベルではプレクラック域からのクラックの進展に起因する AE が支配的に発生することと考えられる。

しかし、実際には先行応力を除荷したことによる影響で、プレクラック域内においてクラックの再配置が時間の経過とともに進行しているものと考えられる。したがって、先行応力除荷後の経過時間が長い岩石に載荷を行うと、プレクラック域内のクラックが再配置しているために、先行応力以下の応力レベルでもプレクラック域内のクラックが載荷応力に対して反応するものと考えられ、そのためにカイザー効果が不明瞭になるものと推察される。

2 回目の載荷時においては、プレクラック域での再配置したクラックが 1 回目の載荷によってプレクラック域内で十分進展してしまうために、先行応力以下の応力レベルでの AE の発生が減少すると考えられる。しかし、先行応力以上の応力レベルになると、載荷応力に対応したマイクロクラック分布に変化すべくプレクラック域からのマイクロクラックの進展が発生するために、それに対応した AE が発生し、そのことが先行応力点での AE の急増として現れると推察される。その後、繰り返し回数の増加に伴って、プレクラック域からのクラックの進展がさらに進行し、岩石内のマイクロクラックの分布状態が載荷応力に対応した状態に変化するために徐々に先行応力点での AE 急増が認められなくなるものと考えられる。

したがって、上述した考察によれば、(1) と (2) で述べた現象は、繰り返し載荷時の載荷応力、先行応力レベル、経過時間の長さ、岩種等の条件に影響されることが予想されるが、本研究で対象とした 3 種類の岩石に対して設定した条件、すなわち先行応力は一軸圧縮強度の 20% 以下、繰り返し載荷時の載荷応力は一軸圧縮強度の 50% 以下で、かつ先行応力の 1.5~3 倍、さらに経過時間は最大 400 日という条件においては一般的に認められた現象であった。

(3) 繰り返し載荷時の AE 特性による先行応力推定法と推定精度

繰り返し載荷時の AE 発生挙動を計測することにより、先行応力除荷後の時間経過が長い岩石の場合でも先行応力を推定できる可能性を前節において示した。そこで、本節においては、繰り返し載荷時の AE 発生特性

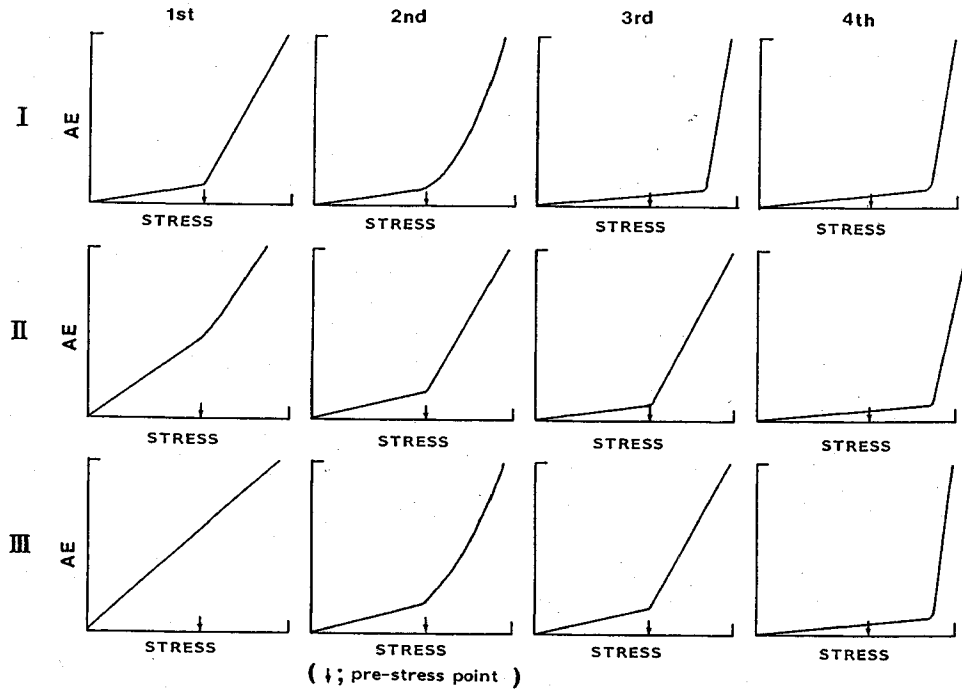


Fig.16 Typical AE activity patterns in cyclic loading.

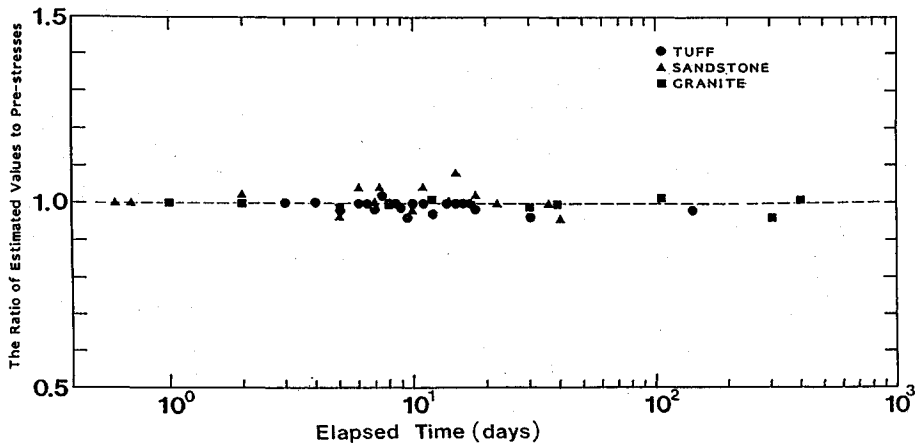


Fig.17 The ratio of estimated values to pre-stress as a function of elapsed time. Stress values were estimated by the AE characteristics in cyclic loading.

から先行応力の推定を行うが、その推定手順を計測の段階から述べると、次の①～④に示すようになる。

① 繰り返し載荷試験時の AE の計測は、ディスクリレベルを環境ノイズレベル近傍に設定し、かつ AE のロケーションと組み合わせを行い、AE 特性パラメータとしては、AE の規模も考慮できるように、リングダウンカウント、エネルギー等の解析を行う。

② 次に、AE 特性パラメータの変化と応力との関係を整理すると、経過時間の長短によって、繰り返し載荷時の AE 発生特性は模式的に Fig.16 に示すような I～

III のパターンが得られる。

③ 経過時間の影響が小さく、1 回目の載荷時において明瞭な AE 急増点が認められる場合 (パターン I) には、その AE 急増点相当応力を先行応力値とする。

④ 経過時間の影響が大きく、1 回目の載荷時においては、AE の明瞭かつ特徴的な急増点を示さない場合 (パターン II, III) には、2 回目、3 回目の載荷時における AE 発生特性から AE 急増点を読み取り、先行応力値とする。

次に、上述した推定手順によって推定した先行応力の

推定精度と経過時間との関係について述べる。

Fig.17 に、経過時間と先行応力推定精度との関係を示す。同図における先行応力推定精度は、推定された応力値と加えた先行応力値との比として示した。繰り返し載荷時の AE 発生特性から求めた推定値は、経過時間が 400 日と長い場合においても推定精度は良く、最大で 8%、平均で 1.5% の推定精度であった。

したがって、繰り返し載荷試験時の AE 発生特性を用いた先行応力の推定法によれば、先行応力除荷後の経過時間が 1 年以上の長期の場合でも、推定精度は非常に高く、原位置で採取されるボーリングコア岩石への適用性も高いものと考えられる。

4. 結 言

先行応力を人為的に与えた岩石（凝灰岩、砂岩、花崗岩）に繰り返し載荷試験を行い、その際に岩石内で発生する AE の計測を行った。計測された AE の発生特性から先行応力の推定を行い、先行応力の推定に及ぼす先行応力除荷後の経過時間の影響について検討した。以下、得られた結果について要約する。

① 先行応力除荷後の 1 回目の載荷時の AE 発生挙動において、先行応力除荷後の経過時間が短い場合にはカイザー効果が明瞭に現れるが、経過時間が長くなるにつれてカイザー効果が不明瞭になり先行応力の推定精度が低下する（最大推定誤差 30%）か、または推定が不可能になることを示した。

② 先行応力除荷後の岩石の繰り返し載荷時の AE 発生特性を調べた結果、1 回目の載荷時においてカイザー効果が認められない場合においても、2 回目以降の載荷時において先行応力相当点に明瞭に AE 急増開始点が出現し、先行応力の推定が可能であることを示した。

③ 繰り返し載荷時の AE 発生特性を利用した先行応力推定法を提案し、その方法による先行応力推定精度に

ついて調べた結果、経過時間が 400 日程度の範囲までであれば、推定誤差は最大 8%、平均で 1.5% の高精度で先行応力の推定が可能であることを示した。

参 考 文 献

- 1) 金川忠・林正夫・仲佐博裕：岩石における地圧成分の Acoustic Emission による推定の試み，土木学会論文報告集，第 258 号，pp.63-75，1977.
- 2) 村山朗郎・道広一利・藤原紀夫・畑浩二：花崗岩のクリープひずみとカイザー効果の関係，土木学会論文集，第 370 号/Ⅲ-5，pp.41-46，1986.
- 3) 道広一利・畑浩二：AE のカイザー効果特性，資源素材関係学協会合同秋季大会分科研究会資料，地圧計測の現状と動向，pp.13-16，1989.
- 4) 吉川澄夫・茂木清夫：岩石の AE 活動度の応力履歴効果による応力推定法 (AE 法) 第 6 報，時間依存性について，地震学会講演予稿集，1，p.232，1983.
- 5) Yoshikawa, S. and Mogi, K. : Experimental Studies on the Effect of Stress History on Acoustic Emission Activity-A Possibility for Estimation of Rock Stress, Journal of Acoustic Emission, Vol.8, No.4, pp.113-123, 1990.
- 6) 栗田敬・藤井直之：岩石変形における Kaiser 効果の Recovery と H₂O 効果，地震学会講演予稿集，2，秋季大会，1977.
- 7) 金川忠・新孝一：地圧測定のためのカイザー効果に関する検討—AE 法，DR 法および音弾性法を用いて—，第 22 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集，pp.431-435，1990.
- 8) Fonseka, G.M., Murrell, S.A.F. and Barnes, P. : Scanning Electron Microscope and Acoustic Emission Studies of Crack Development in Rocks, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol.22, No.5, pp.273-289, 1985.
- 9) 瀬戸政宏・歌川学・勝山邦久：岩石の AE カイザー効果とマイクロクラッキングの関係，(資源・素材学会誌投稿中).

(1991.6.22 受付)

THE ESTIMATION OF PRE-STRESS FROM AE CHARACTERISTICS IN CYCLIC LOADING OF THE PRE-STRESSED ROCK

Masahiro SETO, Manabu UTAGAWA and Kuniyoshi KATSUYAMA

Cyclic loading tests of the pre-stressed rock were conducted in order to estimate the pre-stress of the rocks. In these tests 4 AE sensors were used to determine the hypocenters. The results showed that the shorter the elapsed time after the applied pre-stress loading, the clearer the Kaiser effect. With the increase of the elapsed time, however, the Kaiser effect became less clear. But, in that case, the rapid AE increase appeared at the pre-stress point on and after the second loading. Therefore, it was possible to estimate the pre-stress even when the Kaiser effect was not observed clearly in the first loading. We suggest the pre-stress estimation method using the AE characteristics in cyclic loading. According to the suggested method, we could estimate the pre-stress with the average error of 1.5% for the elapsed time range of 1 hour to 400 days.