

(112) 熱履歴を受けた岩石の A E 法と D R 法による カイザー効果の実験的研究

(財) 電力中央研究所 正会員 金川 忠
応用地質 (株) 正会員 横山 幸也
応用地質 (株) ○小倉 均

Experimental Study of Kaiser Effect on Heated Rocks
Using Acoustic Emission Method and Deformation Rate Method

Tadashi KANAGAWA, Central Research Institute of Electric Power Industry
Tatsuya YOKOYAMA, OYO Corporation
Hitoshi OGURA, OYO Corporation

ABSTRACT

The Acoustic Emission method and Deformation Rate method are ways to evaluate in-situ rock stress. These methods using test specimens have some possibilities to evaluate in-situ stress of rocks in deep and hot conditions. For this purpose, we carried out laboratory experiments as applying these methods to heated rocks.

Using these kinds of rocks (granite, andesite, and welded tuff) which had artificially pre-stressed in laboratory, we conducted experiments to prove pre-stress reproduction after the rocks underwent heat history at 250 °C and 500°C by AE method and DR method.

The results showed that as the temperature became higher, the pre-stress reproduction of granite became unclear, whereas the pre-stress reproduction of andesite and welded tuff was clear within the specified temperature range.

1. はじめに

地熱や石油などの地下に賦存するエネルギーを開発する方法として地下深部の岩盤を破碎させ人工的に発生させた亀裂を利用する研究が進められている。亀裂を生じさせる加圧力を定めるには、あらかじめ初期地圧を把握しておく必要がある。一般に、地下深部では温度が高くなり、特に地熱開発の対象となるような地域では 200 °C 以上の高温岩体が分布している。このような、地下深部で高温状態にある岩盤の初期地圧の推定法としては、原位置での水圧破碎法と室内での岩石コアを用いた方法が考えられる。

筆者等は、コアを用いた初期地圧推定法として A E 法¹⁾と D R 法²⁾を併用した測定法を提案し^{3), 4)}、その有効性について確認してきた。今回は、室内で人為的に先行応力を与えた 3 種類の岩石を用い、これらの岩石に熱履歴を与えた後に、A E 法と D R 法により先行応力の再現性の検証実験を行った。

2. 実験の概要

2. 1 岩石試料と先行応力の与え方

実験に用いた岩石試料は茨城県真壁産の花崗岩、神奈川県真鶴産の安山岩および福島県白河産の溶結凝灰岩である。岩石試料の大きさおよび形状は縦、横 25mm、高さ 75mm の角柱形とした。岩石試料に加えた先行応力の値は、別途試験によって得た同じ岩石の一軸圧縮強度および A E 発生状況を考慮し、花崗岩で 300 kgf/cm²、安山岩で 100 kgf/cm²、凝灰岩で 50 kgf/cm² とした。先行応力を各岩石試料に与えるには、軸方向に最大 60 回の

繰り返し载荷を行った。繰り返し回数については、次の2つの条件から決定した。

- ① 図-1に示す繰り返し回数と最大応力時のひずみの関係において、ひずみがほぼ収束すること。
- ② 繰り返し過程において発生するAEを計測し、それがほぼ消滅すること。

2.2 岩石試料の加熱方法

先行応力を与えた直後に電気炉を用いて岩石試料を加熱した。加熱温度は 250℃および 500℃の2種類とし、加熱する速度は極力小さくした。加熱は、次の要領で行った。

- ① 昇温速度 20 ～40℃/hで所定の温度まで加熱を行う。
- ② 所定の加熱温度で 24 時間保持する。
- ③ 降温速度 20 ～40℃/hで室内温度に戻す。

2.3 測定方法

先行応力载荷後10日目にカイザー効果の検証実験を行った。载荷に用いた試験機は20ton 容量の油圧式サーボコントロール試験機である。载荷速度は毎秒 1kgf/cm² とし、荷重制御により4回の繰り返し载荷を行った。AEの測定には共振型（200KHz）の圧電センサーを用いた。ひずみの測定には、ゲージ長 1cmのひずみゲージを用いた。载荷時の荷重、AEのカウント数、軸ひずみを1秒間隔でコンピュータに収録した。図-2に計測システムの概要を示す。

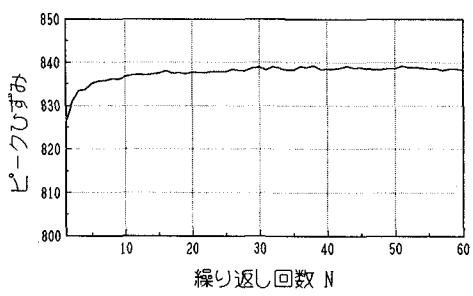


図-1 繰り返し回数とピークひずみとの関係

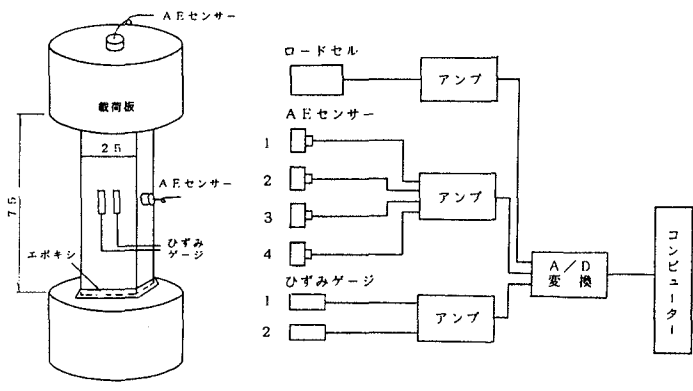


図-2 計測システム概要図

3. 実験結果

3.1 加熱による各岩石の物性変化

図-3～図-5にそれぞれ花崗岩、安山岩、溶結凝灰岩の応力-ひずみ曲線を示す。花崗岩では、室温、250℃、500℃と加熱温度が増加するにつれて、応力-ひずみ曲線の形状に大きな差異がみられる。これに対し安山岩や溶結凝灰岩では、加熱による応力-ひずみ曲線の形状の変化は比較的小さい。

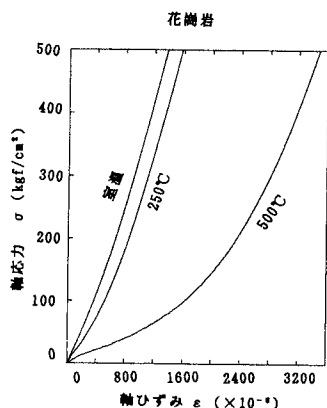


図-3 花崗岩の応力-ひずみ曲線

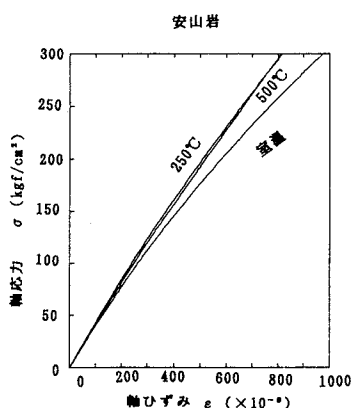


図-4 安山岩の応力-ひずみ曲線

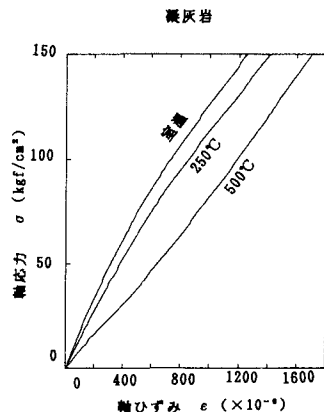


図-5 凝灰岩の応力-ひずみ曲線

図-6は、それぞれの岩石試料の弾性係数と加熱温度との関係である。ここで弾性係数は最大応力ひずみ曲線の1/2 付近の接線勾配として求めたものである。花崗岩は、加熱温度の増加とともに弾性係数が大きく減少しているが、安山岩と溶結凝灰岩は加熱による弾性係数の変化は少ない。

3. 2 AEの発生特性

図-7～図-9は、花崗岩、安山岩、溶結凝灰岩について、AE法、DR法により得られた試験結果を示したものである。図の横軸は応力、縦軸はAE累積数とDR法による差ひずみ $\Delta \epsilon$ （繰り返し載荷時での同一の応力レベルにおけるひずみの差）である。

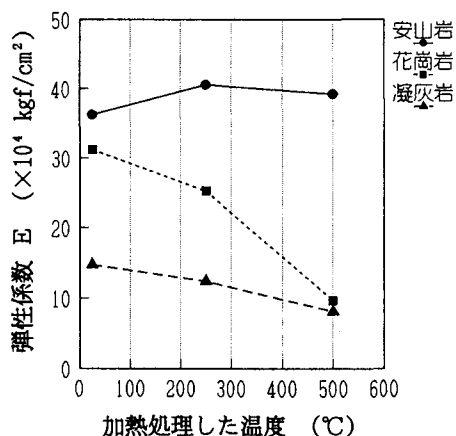


図-6 弾性係数と加熱温度との関係

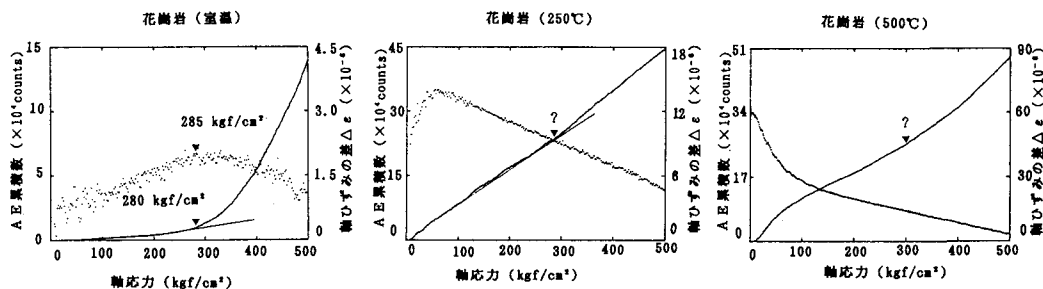


図-7 花崗岩の加熱後におけるAE法、DR法による測定結果

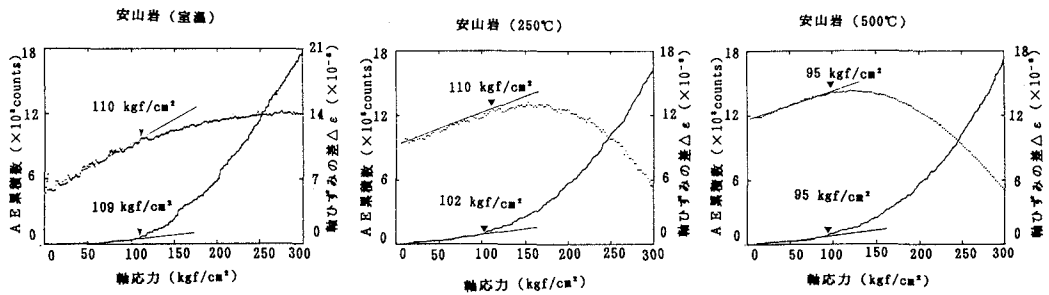


図-8 安山岩の加熱後におけるAE法、DR法による測定結果

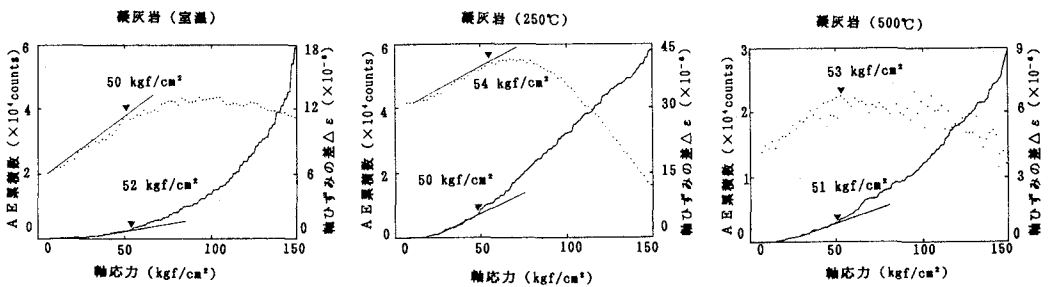


図-9 凝灰岩の加熱後におけるAE法、DR法による測定結果

花崗岩の場合、室温状態においてのAE累積数はほぼ先行応力の付近で急増し、明瞭な変曲点を有している。DR法においても差ひずみ曲線の変曲点付近が先行応力の値に相当している。250℃に加熱した花崗岩においてのAE累積数は、室温状態に比較して载荷初期よりAEの発生が多く、顕著な変曲点はみられないものの先行応力付近で僅かながら勾配の変化がみられる。一方、DR法では先行応力付近での差ひずみの変化はみられない。500℃に加熱した花崗岩においても、载荷初期よりAEの発生が多く、先行応力の前後で緩やかな変曲点がみられる程度である。また、DR法でも250℃加熱での結果と同様に差ひずみの変化はみられない。

安山岩、溶結凝灰岩では、室温、250℃、500℃のいずれの加熱温度においても、先行応力付近でAEの急増点およびDR法での差ひずみ曲線の変曲点が明瞭にみられる。

図-3に示した花崗岩の応力-ひずみ曲線は、加熱処理をした場合特に低応力レベルで著しい非線形性を示している。そこで計測されたAEの発生数をひずみ増分で除して一定のひずみ増分に対応する値として次式で補正した。

$$AE \text{ 累積数} = \sum \left(\frac{AE \text{ 発生数} (\sigma)}{\varepsilon (\sigma) - \varepsilon (\sigma-1)} \times \frac{1}{E} \right) \dots \dots \dots \text{式 (1)}$$

但し、 $\varepsilon (\sigma)$: ある応力における供試体のひずみ

E : 平均的な弾性係数

この(1)式を用い、図-7の250℃と500℃におけるAE累積数を補正して図-10に示す。AE発生数を補正することで先行応力を読みとることができる。

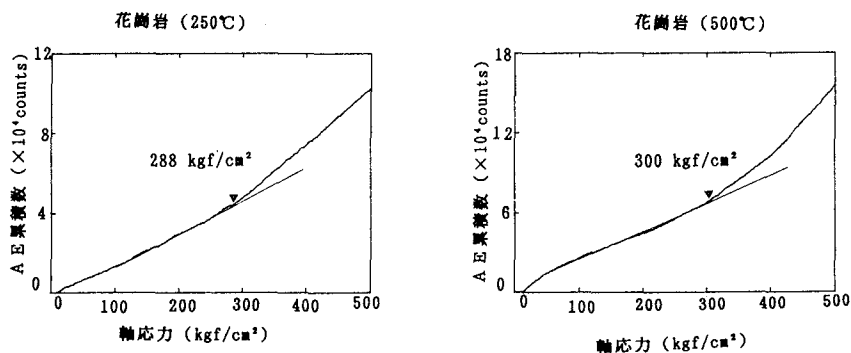


図-10 花崗岩(250°C, 500°C)のAE累積数を補正した結果

なおカイザー効果の時間依存性について検討するため、同一の先行応力と温度履歴を与えた他の岩石試料について、先行応力載荷後 30 日目にも試験を行った。その結果、各岩石のそれぞれの温度条件において、上記とほぼ同様の結果が得られており除荷後の経過時間の影響は認められなかった。

4. おわりに

花崗岩、安山岩、溶結凝灰岩を用いて人為的に先行応力を与えた後電気炉によって加熱し、AE法、DR法により先行応力の再現性の検証実験を行った。その結果以下のことが明らかになった。

- ① 花崗岩では、250°C、500°Cに加熱することでAEのカイザー効果が不明瞭になり、またDR法による先行応力の推定はできなかった。
- ② 安山岩、溶結凝灰岩については、250°C、500°Cに加熱した場合でもAEとDR法それぞれにおいて先行応力の確認ができた。
- ③ カイザー効果の時間依存性については、今回の実験範囲内(先行応力載荷後10日と30日)では経過時間の影響は認められなかった。

今回の実験は予備的なものであり、今後は加熱による岩石物性の変化とAE発生特性との関係や加熱と先行応力を同時に与えた場合等についても検討していく必要がある。

【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、1977年 2月
- 2) 山本清彦・桑原保人・平澤朋郎「変形率変化を用いた先行応力の推定」地震学会講演予稿集 No.1, 春季大会 1983年 4月
- 3) 金川忠・山本清彦・田中達吉・横山幸也「AE法と変形率変化法を併用した室内試験による地圧測定」第7回岩の力学国内シンポジウム講演論文集、1987年12月
- 4) 横山幸也・田中達吉「AE法と変形率変化法を併用した初期地圧測定」日本応用地質学会 平成元年度研究発表会 (1989, 10)