

中空円筒供試体を用いた三主応力下の AE カイザー効果

日本大学大学院 広井 雄大
日本大学工学部 正会員 渡辺 英彦

1.はじめに

AE とは材料が破壊する以前の微小な破壊に伴って放出する弾性波であり、AE のカイザー効果を用いて初期地圧の推定が行なわれている。この AE 法は金川ら¹⁾によって提案されたもので、採取したコア試料に一軸圧縮を行い、その際の AE 急増点から初期地圧を推定している。一軸圧縮による载荷では適用限界があることから、石橋ら²⁾はモデル軟岩を用いてピーク強度以降のカイザー効果を検討するため三軸圧縮による再载荷を行っている。また、今井ら³⁾は三軸圧縮を用いて先行载荷時と異なる拘束圧で再载荷を行うことで、AE の急増点が軸差応力と軸応力の 2 つの応力に対応することを報告している。このような三軸圧縮による再载荷においては、拘束圧を $\sigma_2 = \sigma_3$ として実験を行っている。しかし、原位置においては $\sigma_2 \neq \sigma_3$ の応力状態が一般的である。

本研究では σ_2 と σ_3 が異なる状態でのカイザー効果について検討するために、中空円筒供試体を用いて 3 つの異なる応力を载荷させて実験を行った。具体的には、先行载荷時とは異なる大きさの σ_2 、 σ_3 とした再载荷時の AE カイザー効果について検討を行った。

2.実験方法

(1)試料

試料は阿武隈山系より採取した花崗岩である。直径 5cm、高さ 10cm (端面の平行度 1/20 以内に整形) の円柱供試体を作製し、その後、中心に直径 2cm の穴を開けた。

(2)载荷圧力と発生する応力の関係

中空円筒供試体に液圧による外圧と内圧を载荷することにより、供試体の半径方向、円周方向にそれぞれ σ_r 、 σ_θ が発生する (図-1 参照)。さらに軸方向に载荷することにより σ_z が発生し、3 つの異なる応力を作用させた。中空円筒断面の応力分布は厚肉円筒理論より、外圧 3MPa、内圧 2MPa とした場合には

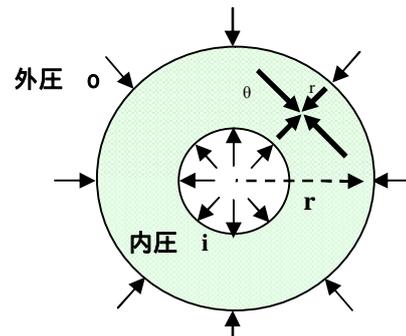


図-1 供試体断面図

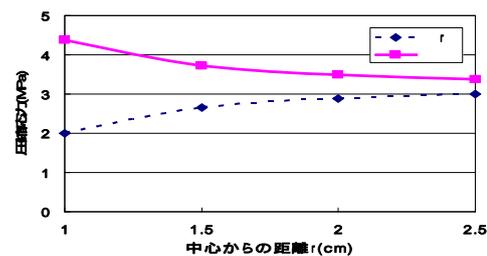


図-2 中空円筒供試体の応力分布

図-2 に示すようになり、供試体の中心からの距離 r により変化する。本実験では、まず、供試体の内側 ($r=1$) の応力に着目して検討を行った。

(3)载荷方法

本研究ではいくつかの载荷条件で実験を行っている。ここではその内の 2 パターンについて示す。パターン A は外圧 8MPa、内圧 6MPa とし、その後、軸方向に 10MPa 载荷した。その際に発生する応力は、 $\sigma_r=6$ MPa、 $\sigma_\theta=10.8$ MPa、 $\sigma_z=18.6$ MPa となる。パターン B は外圧 15MPa、内圧 10MPa、軸方向に 20MPa とした。発生する応力は $\sigma_r=10$ MPa、 $\sigma_\theta=21.9$ MPa、 $\sigma_z=36.6$ MPa となる。

再载荷における外圧と内圧の大きさは先行载荷とは異なる大きさに設定した。再载荷した圧力の大きさは、パターン A が外圧 3MPa、内圧 2MPa、パターン B は外圧 2MPa、内圧 1MPa とした。軸荷重は先行载荷を超える付近まで载荷を行い、発生する AE の計測を行った。

3.実験結果

再载荷時の軸応力と AE 発生状況を図 - 3、4 に示

す。累積 AE 事象数では急増点の判定が困難な場合が多いため、時間間隔 t ごとの AE 発生率増分から判定を試みた。時間間隔 $t=20, 40, 60, 80$ 秒とした。図-3 より複数のピークが観察された。本実験では、先行载荷時の最大軸応力と軸差応力($\sigma_1 - \sigma_2$)と($\sigma_1 - \sigma_3$)に着目して検討を行った。先行応力はそれぞれ最大軸応力 $\sigma_1=18.64\text{MPa}$ 、軸差応力は($\sigma_1 - \sigma_2$) $=7.88\text{MPa}$ 、($\sigma_1 - \sigma_3$) $=12.64\text{MPa}$ である。再载荷において、この先行応力状態となる軸応力を σ で示す。図-3 より、AE のピーク点が先行载荷時の最大軸応力 σ_1 、軸差応力($\sigma_1 - \sigma_2$)、($\sigma_1 - \sigma_3$)に対応しているようである。ピーク点を推定値として $\hat{\sigma}$ で示す。表-1 に推定結果を示す。先行応力との比は $0.87 \sim 1.06$ となり、3 つの急増点がそれぞれの先行応力値と近い値を示している。

パターン A で設定した载荷条件では軸差応力、最大軸応力の差が小さいため、AE 急増点との対応が判定しにくいことから、パターン B では推定を行う 3 点の間隔がより大きくなるよう先行応力を設定している。先行応力は最大軸応力 $\sigma_1=36.58$ 、軸差応力は($\sigma_1 - \sigma_2$) $=14.67\text{MPa}$ 、($\sigma_1 - \sigma_3$) $=26.58\text{MPa}$ とした。結果を図-4、表-2 に示す。推定値は先行応力の $0.96 \sim 1.20$ 倍と、パターン A と同様に近い値を示した。

中空円筒断面に発生する応力は中心からの距離 r により変化することから、中心からの距離 $r = 1, 1.5, 2, 2.5\text{cm}$ の 4 点で同様の検討を行った。結果を図-5 にまとめて示す。すべての位置で先行応力に対して誤差 $\pm 20\%$ 以内に推定されている。

4.まとめ

中空円筒供試体を用いて 3 つの異なる大きさの主応力状態のもとで AE のカイザー効果について検討した。先行载荷とは異なる応力状態で再载荷を行った結果、AE には複数の急増点が観察され、それらは軸応力、2 つの軸差応力に対応している傾向を示した。

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,土木学会論文集,第 258 号,pp.63~75,1977
- 2) 石橋 孝治:三軸圧縮試験を利用した AE 法による先行応力推定,第 24 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集,pp.376~380,1992
- 3) 今井 鉄平・齋藤 秀樹・豊田 徹:Post-failure 域におけるカイザー効果と拘束圧の関係,日本大学工学部平成 12 年度卒業研究論文

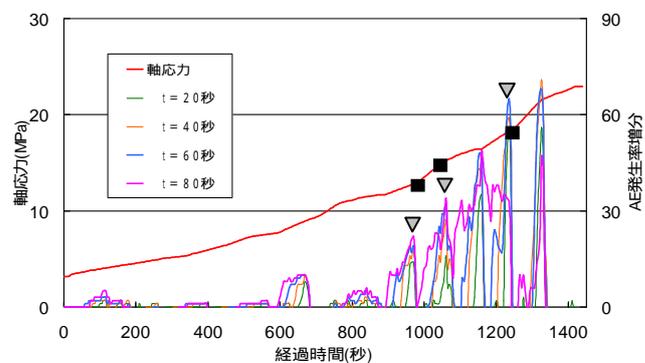


図-3 AE 発生率増分(パターン A)

表-1 応力推定結果(パターン A)

	先行応力	推定値	比
$\sigma_1 - \sigma_2$	7.88 MPa	7.02MPa	0.89
$\sigma_1 - \sigma_3$	12.64MPa	13.36MPa	1.06
σ_1	18.64MPa	16.19MPa	0.87

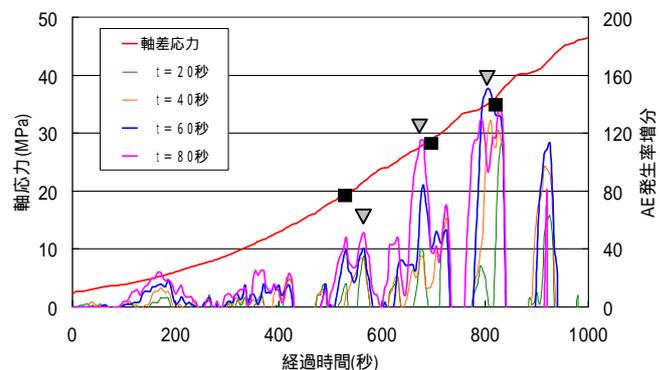


図-4 AE 発生率増分(パターン B)

表-2 応力推定結果(パターン B)

	先行応力	推定値	比
$\sigma_1 - \sigma_2$	14.67MPa	17.57MPa	1.20
$\sigma_1 - \sigma_3$	26.58MPa	26.09MPa	0.98
σ_1	36.58MPa	35.16MPa	0.96

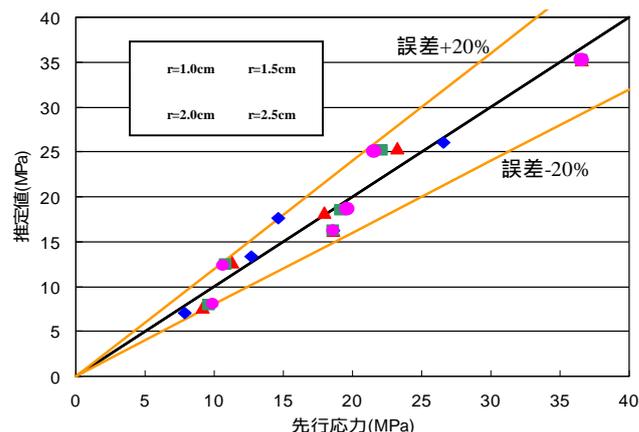


図-5 先行応力と推定値の関係