

(32) 三軸圧縮応力下における人工軟岩のAE発生特性

佐賀大学 理工学部 正会員 ○ 石橋 孝治

Acoustic Emission of an Artificial Soft Rock under Triaxial Compression

Koji ISHIBASHI, Saga University

Abstract

Acoustic emission (AE) of an artificial soft rock (unconfined compressive strength is about 30 kgf/cm²) was measured under triaxial compression (confining pressure up to 9 kgf/cm²). AE transducer was glued to the bottom surface of specimen with pressurized in order to measure the AE signal directly. Axial compressive load vs axial strain and cumulative AE count vs axial strain were simultaneously recorded. Axial compressive load was applied at speed of 0.1 mm/min.

When axial compressive stress was applied to the specimen repetitively under the existence of certain levels of confining pressure (case A), Kaiser's effect was observed in the pre-failure region, while in the strain softening region, it did not come into existence. These characters of AE activity were observed in uniaxial compression tests too. When triaxial compressive loads were maintained at some certain levels for two hours before applying the uniaxial load (case B), the point where AE activity increased rapidly corresponded to the maximum principal stress in pre-loading state. When axial compressive stress was applied to the specimen which was taken out of pre-loaded rock mass under the existence of certain levels of confining pressure (case C), the point of rapid increase of AE activity corresponded to the maximum principal stress in pre-loading state independently of the confining pressure level. More investigations will be required in this case.

1. はじめに

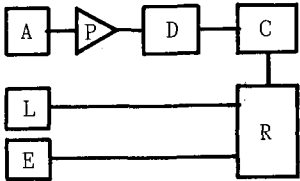
揚水式発電所の地下設置や原油の地下備蓄のための巨大地下空洞などに代表される大規模な地下構造物を合理的に設計し安全に施工する上で、岩盤内の初期応力の大きさとその方向に関する情報は極めて有用な情報の一つとなる。地山内の初期応力を測定する方法として現在、応力解放法と水力破壊法が実用化されており、地山内応力の実測例もかなりの量に達している。一方、アコースティック・エミッション (AE) のカイザー効果を利用して地山内の初期応力を推定する方法 (AE法) も提案され、その適用例も報告されている¹⁾。AE法では、地山内から抽出したコア供試体についての一軸圧縮試験が行われる。このとき、コアの抽出後の応力解放の時間依存性と、原位置と試験時との間での岩石が置かれている周囲の拘束剛性の変化が問題となる。前者の問題に関しては、村山ら²⁾がカイザー効果の時間依存性について報告している。本研究は、後者の問題に関するアプローチであり、主応力の方向と試験時の載荷方向が一致する最も単純な場合を対象として、拘束剛性が比較的小さい環境を三軸圧縮試験により再現すると共に、人工軟岩に対する繰り返し載荷を行って、AEおよび応力とひずみの関係を調べ、拘束剛性の変化がカイザー効果に与える影響について検討を行ったものである。

2. 実験方法の概要

本実験で用いた三軸圧縮試験装置の载荷能力は、最大周圧が10 kgf/cm²、最大軸方向荷重が1,000 kgfである。このため、試験装置の能力内でAEの発生特性が捕捉できるよう、一軸圧縮強度が50kgf/cm²以下になるように配合して製作した人工軟岩を三軸圧縮試験に供した。人工軟岩は炭酸カルシウムを混入したセメントモルタルとエスメントモルタルである。CHEN RONG³⁾によれば、供試体内から発生するAE波は、AEセンサーを供試体に直接取り付け測定する場合（直接測定）と、AEセンサーを軸方向荷重载荷ピストンに取り付けて測定する場合（間接測定）とでは、AE波の多重反射等により波形が異なると報告している。そこで本実験では、直接測定ができるよう装置に改良を加えた。図-1に本実験で用いた三軸圧縮試験装置の概略図を示す。また、使用するAEセンサーの大きさを考慮して、供試体は直径が5 cmで高さが10cmの円柱とした。AEの計測は図-1に示したように、供試体の底面にグリースを挟み圧着した。使用したAEセンサーの共振周波数は約150kHzであり、100kHzから200kHzの周波数帯で高い利得を有している。AE信号はプリアンプで40dB、ディスクリミネーターで30dB増幅し、0.1MHzから1MHzのバンドパスフィルターを通して計測した。また、本実験では連続型のAE波にも対処できるよう、200 mVと100 mVの2つのしきい値を設定した。採用した

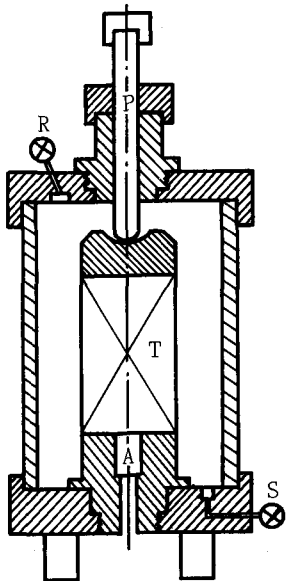
AEパラメータはAE発生総数だけである。図-2にAE計測のブロックダイアグラムを示す。

本実験では、周圧を一定とする場合のみを取り扱い、表-1に示した3つのケースを設定した。なお、軸圧は 0.1 mm/min の変位速度を与えて载荷した。



A: AE transducer P: Pre-amp
 D: Discriminator L: Loadcell
 C: Rate/Total counter
 E: Extensometer R: X-Y recorder

図-2 AE計測のブロックダイアグラム



P: Piston
 T: Testpiece
 A: AE transducer
 S: Air pressure supply valve
 R: Air pressure reducing valve

図-1 三軸圧縮装置の概略

表-1 三軸圧縮試験の载荷パターン

case A	Axial compressive stress was applied to the specimen repetitively under the existence of certain levels of confining pressure.
case B	Triaxial compressive loads were maintained at some certain levels for two hours before applying the uniaxial load.
case C	Axial compressive stress was applied to the specimen which was taken out of pre-loaded rock mass under the existence of certain levels of confining pressure.

3. 実験結果と考察

3.1 case A

周圧が0 kgf/cm²での試験（一軸圧縮試験）は数多く行われているので、ここでは周圧が 2.0kgf/cm²,

5.0kgf/cm², 9.0 kgf/cm² の3つの場合について軸圧の繰り返し载荷を行った。いずれの場合でも、除荷は差応力が強度破壊点に達する以前の領域で2回、以後の領域で1回行った。一例として、図-3と4に周圧が5.0kgf/cm²と9.0 kgf/cm²の場合の差応力と軸ひずみの関係およびAE発生総数と軸ひずみの関係を示す。なお、同図中のnは载荷次数であり载荷回数を示している。2次载荷と3次载荷の結果は、いずれの周圧においても、n次载荷時の差応力レベルが(n-1)次载荷時の除荷差応力レベルに達する付近からAEが急激に発生し始め、いわゆるカイザー効果が認められることを示している。一方、4次载荷の場合、差応力レベルが3次载荷時の除荷差応力レベルに達し得ないため、先行応力との対応を示しているカイザー効果は成立していない。この場合には、先行最大ひずみと対応させたカイザー効果の解釈が必要となる。一軸圧縮試験結果を行ってAEを計測した場合にも、このようなAEの発生特性が観察されることを既に報告している⁴⁾。したがって、三軸圧縮試験と一軸圧縮試験において観察される軸圧の繰り返し载荷時のAE発生挙動には、大差は無いと言える。

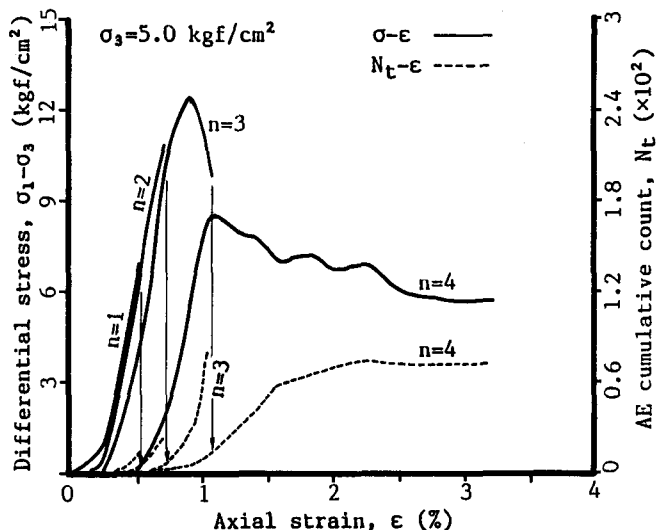


図-3 応力～ひずみ曲線とAE発生総数の関係

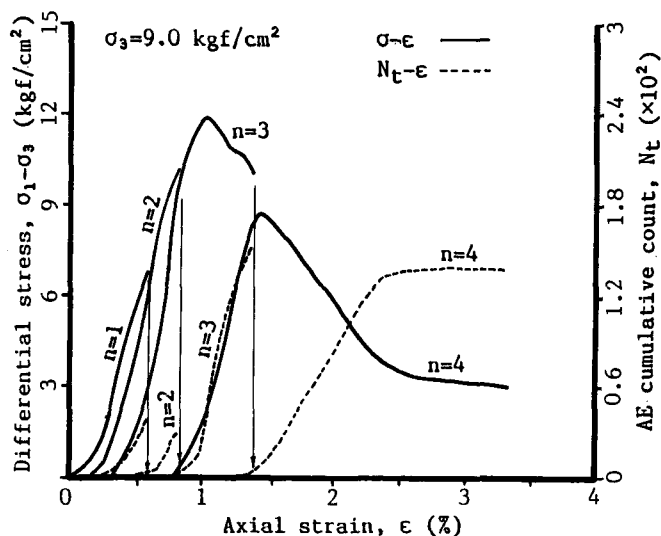


図-4 応力～ひずみ曲線とAE発生総数の関係

3.2 case B

本実験ケースでは、周圧が2.0kgf/cm², 5.0kgf/cm², 9.0 kgf/cm²の3つの場合について、それぞれ約10 kgf/cm²（一軸圧縮強度の約35%）の差圧力を2時間作用させ、これを応力の初期履歴とした。周圧と軸圧を除荷して2時間後、一軸圧縮試験を行いAEを計測した。図-5と6に一例として周圧が5.0 kgf/cm²と9.0 kgf/cm²の場合の差応力と軸ひずみの関係およびAE発生総数と軸ひずみの関係を示す。いずれの周圧においても、一軸圧縮試験における载荷応力レベルが、ほぼ初期履歴の最大応力レベルに達する付近からAEが急激に発生し始めている。AE発生の急増点の評定法や供試体数等の問題もあるが、本実験ケースの結果はAE発生の急増点は、初期载荷時の最大履歴応力(σ₁)と良く対応することを示している。AE法が既存の最大地圧を検出するとされる根拠が示されたものと考えられる。

3.3 case C

本実験ケースでは、15cm×15cm×15cmの立方体人工軟岩塊の対向する2面に、直径75mmの剛板を介して200kgfの圧縮荷重 ($\sigma_1=4.5\text{kgf/cm}^2$) を14日間以上作用させ、これを応力の初期履歴とした。この岩塊から初期圧縮荷重の載荷軸方向に直径50mmコアを採取し、高さ10cmの供試体を作製した。これらの供試体を、周圧がそれぞれ 0 kgf/cm², 2.0kgf/cm², 5.0kgf/cm² のもとで圧縮試験を行いAEを計測した。図-7と8に各周圧下における差応力と軸ひずみの関係およびAE発生総数と軸ひずみの関係を示す。一部にAE発生急増点を評定することが難しい場合もあるが、AE発生急増点を与えるひずみレベルと等しいひずみレベルを応力～ひずみ曲線に求め、この点を与える差応力を求めると、これらの値はほぼ 4.5kgf/cm² 前後の値を示している。初期に与えた軸方向応力の大きさが一軸圧縮強度の約15%程度と小さかったが、本実験ケースの結果は、case Bの実験結果を追証する結果を与えている。

本実験ケースについては、初期に与える軸方向応力と試験時に与える周圧の相対的な大きさを考慮したさらなる検討が必要である。

4. まとめ

本研究では、AE法により初期地圧を推定する際の問題点の一つである、原位置と試験時との間の拘束条件の変化に関して初歩的なアプローチを行った。三軸圧縮試験の能力的問題から、拘束応力が比較的小さい環境の再現と人工軟岩を対象とせざるを得なかった。本研究から次の事柄が明かとなった。

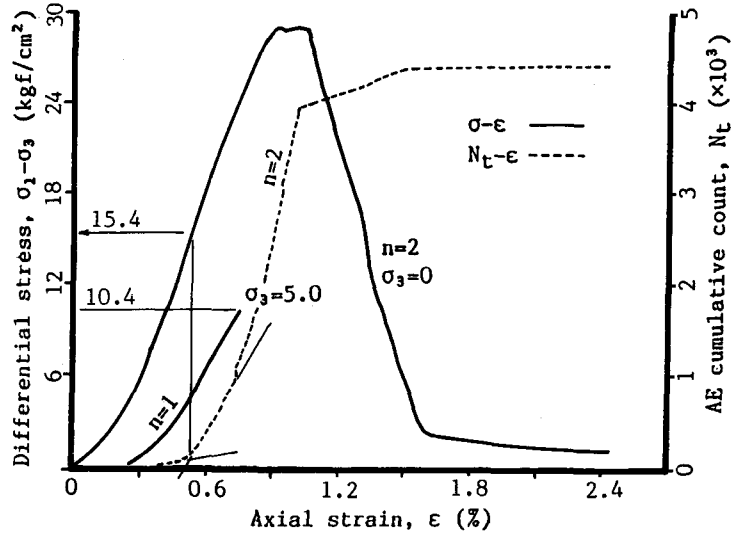


図-5 応力～ひずみ曲線とAE発生総数の関係

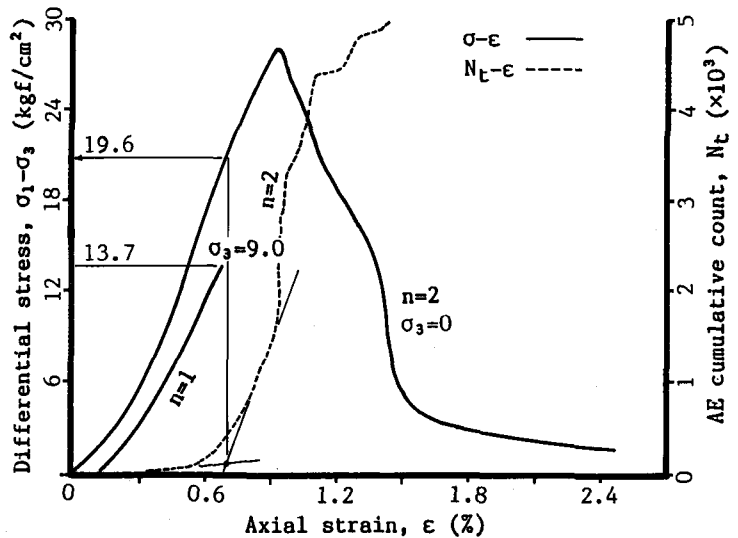


図-6 応力～ひずみ曲線とAE発生総数の関係

① 周圧が一定の応力条件下において、応力が強度破壊点に達する以前の応力範囲内においてはカイザー効果が成立するが、強度破壊点以降の応力範囲内においてはカイザー効果が成立しないということが確認された。したがって、周圧一定下の三軸圧縮試験において観察されるAEの発生挙動は、一軸圧縮試験において観察されるそれと大差は無いと言える。

② AE発生急増点は初期載荷時の最大履歴応力に対応しており、カイザー効果を利用するAE法は周圧の大きさをも取り込んだ応力を評価している。

装置の改良を加え、周圧の繰り返しも含めさらに詳細な検討を加えてゆく予定である。なお、本研究は文部省科学研究費補助金奨励研究(A)(課題番号 63750504)を受けたことを付記して、厚く御礼申し上げます。

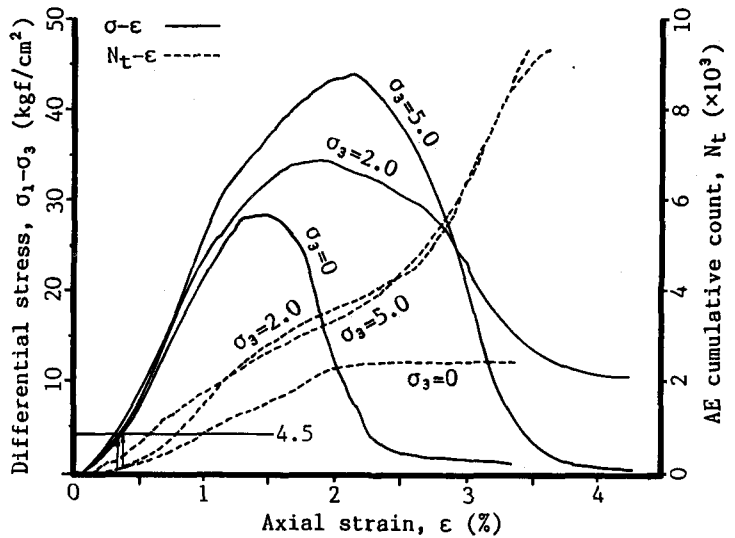


図-7 応力～ひずみ曲線とAE発生総数の関係

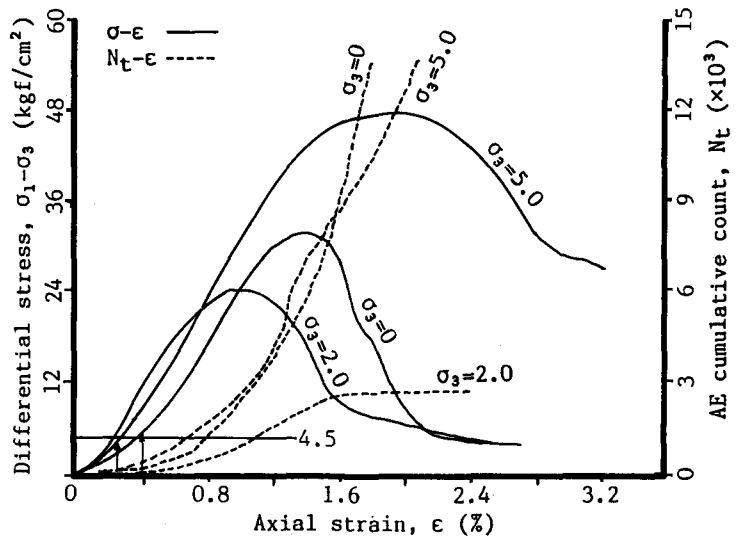


図-8 応力～ひずみ曲線とAE発生総数の関係

参考文献

- 1) 例えば、金川 忠、北原義浩、林 正夫：岩石のAEカイザー効果を利用した地圧測定法——軸試験による測定法の詳細と適用例——，電力中央研究所報告，研究報告 381004，1981，7
- 2) 村山朔郎，他4名：原位置から採取された花崗岩におけるカイザー効果の時間依存について，第18回岩石力学に関するシンポジウム講演論文集，pp. 271-275，1986
- 3) Chen Rong：Acoustic Emission of Rocks under Triaxial Compression with Various Stress Paths，Int. J. Rock Mech. Min. & Geomech.，Abstr. vol. 16，pp. 401-405，1979
- 4) 石橋孝治，他3名：AE法による一次地圧の推定に関する基礎的研究，土木学会論文集，第364号，III/4，pp. 23-30，1985