

(35) 亀裂を有する岩石の初期地圧測定試験の適用性について

基礎地盤コンサルタンツ (株)	正会員	○松村 真一郎
同	上	薛 自 求
同	上	正会員 西垣 好 彦

Application to the Laboratory Tests for Geo-stress Evaluation in Jointed Rock

Shin-ichiro MATSUMURA	Kiso-Jiban Consultants Co., Ltd.
Ziqiu XUE	"
Yoshihiko NISHIGAKI	"

Abstract

Laboratory tests, AE¹⁾, DRA²⁾, ASR³⁾ and DSCA⁴⁾ method, to evaluate in-situ stress by rock specimen have been suggested. The applied rock samples in the development of these test methods are generally intact. However, on practical business, most of the core samples obtained from fields are jointed rocks. Effects of joint on the evaluation of geo-stress is a problem that should not be ignored. In this paper, AE and DRA methods were carried out under atmospheric and hydrostatic pressure. The application to the these tests for geo-stress evaluation in four jointed rocks were discussed. They are jointed sandstone, slate with bedding plane, gypstone with discontinuous plane and jointed tuff.

Results of the tests under the atmospheric pressure, AE rate count in jointed rocks increased remarkably in low stress level and then decreased. This behavior of AE rate count is concerned with the sliding of the discontinuous plane. Therefore, the application of AE method to the jointed rock is difficult. On the other hand, DRA method applied under the hydrostatic pressure is available because joint remains through the period of tests.

1. はじめに

最近、岩石コアを用いた室内初期地圧測定試験、たとえばAE法¹⁾、DRA法²⁾、ASR法³⁾、DSCA法⁴⁾等の試験が実施されるようになり、測定値が原位置試験と比較され、それらの有用性が報告されている。これらの方法は簡便にして低コストで、大深度コアでの測定が可能であるといった利点があるものの、まだ研究段階の技術であり、基本原理に関する理論的説明が不十分であることが指摘されている^{5) 6)}。

今後の研究課題として基本原理の解明はもちろんであるが、地下発電所やトンネル等、実務で対象とする岩盤は亀裂が顕著なことが多く、地質的不連続面を有する岩盤の初期地圧の測定についてどのように対処すべきか検討することは急務である。この点に関する研究は、瀬戸ら⁷⁾が不連続面を有する岩石のAE発生挙動を調べているが、まだ研究例は少ない。

本論文では亀裂を有する岩石に対し、AE試験、DRA試験および静水圧繰り返し試験を行った結果を示し、試験法の適用性について検討した。なお、ここで取り扱う亀裂とは観察可能な地質的な不連続面を意味するものとする。

2. AE試験, DRA試験

(1) 試験方法

試料は採取後7日以内に円柱供試体 (h 60mm, ϕ 30mm) に整形した。端面には亀裂が走っていないことを確認した。供試体とエンドキャップおよび載荷板の間にはテフロンシートを挟み、端面摩擦によるノイズの発生を防いだ。AE試験では側面にAEセンサー (共振周波数 140kHz) をセットし、80dB で増幅した測定波形をしきい値 60mv, 40mv の2段階でイベントカウントした。側面にひずみゲージが貼付できる場合は対角方向に縦横クロスして貼り、DRA試験を併用した。載荷方式はひずみ制御 (ひずみ速度 0.1%/min) による一軸圧縮載荷である。

(2) 試験結果

① 亀裂性砂岩

現場の地質は砂岩・粘板岩が互層を成し、粘板岩の一部は破碎されている。用いた試料は硬質の砂岩であるが、採取付近のRQDは 15~20 と亀裂性に富む。試験はAE法とDRA法の併用試験を行った。繰り返し回数は4回で最終段階で破壊させた。図-1にAEの発生状況を示す。AE累積数(AE Event Count)を見ると2回目以降の載荷に対しても若干のAEが発生している。AE発生率(AE Rate Count; 1秒あたりのAE発生数)は、載荷1回目と最終破壊過程で発生したAEを示しているが、軸ひずみ 0.13%付近で山型をなし、その後鎮静化することがわかる。

図-2はDRA法の整理結果である。差ひずみは載荷4回目と2回目のひずみの差とした。図のように差ひずみの変曲点は明瞭であり、載荷応力 145kgf/cm² 付近にある。一方、図-2(b)は図-1(b)と同じデータを載荷応力に対してプロットしたものである。差ひずみ変曲点に対応するAE発生率の変曲点を見いだすことはできない。このようにAEよりも差ひずみで評価できるケースは他にも数例あった。

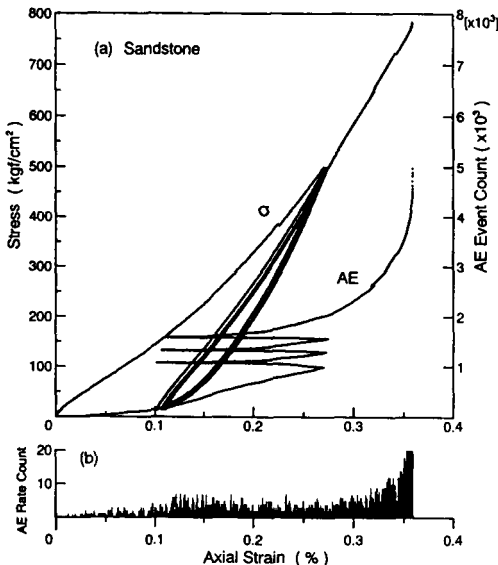


図-1 AEの発生状況

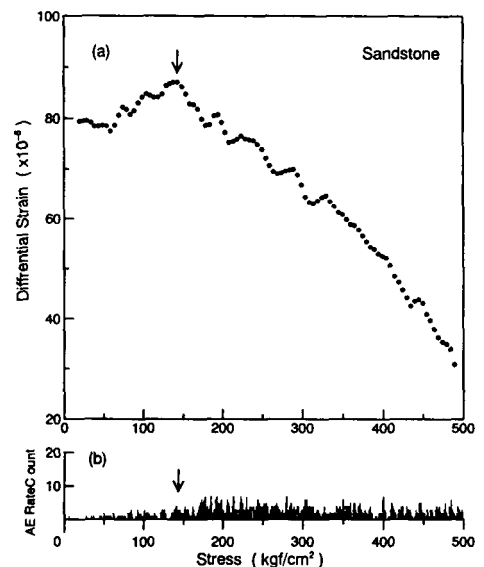


図-2 差ひずみの挙動

② 粘板岩

採取付近の地質は中~古生代の粘板岩、砂岩およびチャートが分布し、粘板岩は層理が発達し風化している。採取ブロックは風化の影響が少なく層理が密着しているものを選んだ。供試体は層理に沿ってすべりやすいように、載荷軸と層理面の角度が 30° になるようにブロックから切り出した。ひずみゲージは層理を跨

いで縦、横に貼付し、側面にA Eセンサーをセットして一軸圧縮試験を行った。

図-3に試験結果を示す。横ひずみ (ϵ_L) の挙動を見ると載荷初期でほとんど生じていないことがわかる。一方、A E発生率はこの区間で顕著であり、前述の砂岩と同様に山型を示す。また、軸ひずみ 0.06%付近からA Eの発生が落ち着き始め、これに呼応するように横ひずみが急増することがわかる。横ひずみとA Eの対応性から、載荷初期に発生するA Eは層理面の挙動に起因している可能性がある。

③石膏

以上のような低応力（ここでは強度の2割以下程度）でのA Eの発生は既往研究^{5) 7)}でも指摘されているが、このレベルにおけるA Eが既存亀裂に起因したものであるとすれば、A E急増点から地圧を推定するのは問題である。なお前例のような層理の顕著な粘板岩では、層理が地質的な構造変化を受けていると考えれば、発生するA Eは地圧に關与している可能性もある。

そこで、亀裂とA E発生の基本的関係を把握するため、図-4のように人工的に不連続面のある石膏供試体を作成し、A E試験を実施した。図-5は不連続面のない石膏とある石膏のA E測定結果を比較したものである。横ひずみの挙動を見る

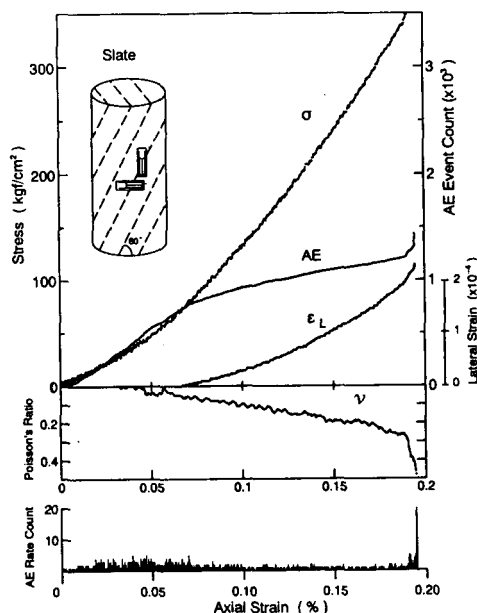


図-3 粘板岩のA E試験

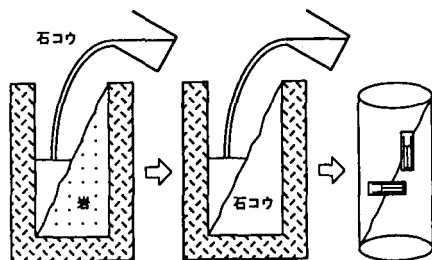


図-4 石膏供試体の作成手順

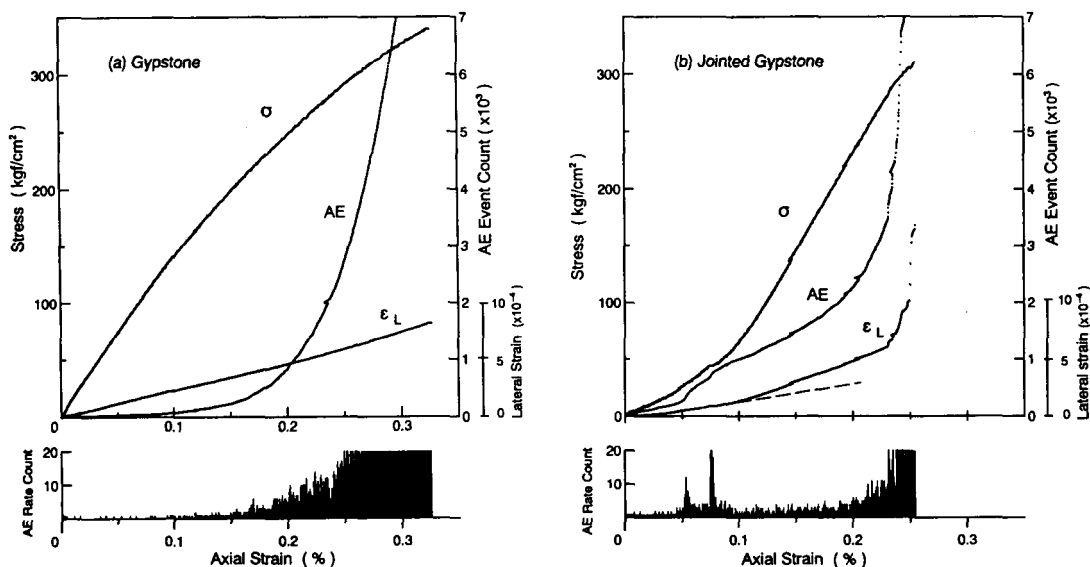


図-5 石膏のA E試験

と両者の違いは明かである。すなわち、不連続面のない場合は横ひずみとAE累積数の増加傾向は異なるが、不連続面のある場合は似た傾向を示す。これは不連続面の動きに対応してAEが発生することを示すものと言える。

さらに、不連続面のある場合はAE発生率が低応力レベルで山型を示し、発生が落ち着いた頃に横ひずみが徐々に増加する。これは前ケースと同様の挙動である。この低応力レベルでのAEの発生は不連続面の凹凸の噛み合わせに起因すると仮定すれば、AE発生率の増加は凹凸の接触を、減少は接触した凹凸が離れたことを意味し、それに伴い亀裂方向の変位が進行した結果、横ひずみが急増したものと考えることができる。

3. 静水圧繰り返し試験⁸⁾

(1) 試験方法

亀裂面のすべりの影響を避けるためには亀裂面の状態を変えない試験、たとえば静水圧下での試験が有利である可能性がある。そこで、採取深度GL-900mと・1500mの亀裂の多い凝灰岩（TUFF-1；写真-1）とそうでない凝灰岩（TUFF-2）を用いて、静水圧下でDRA試験を行った。繰り返し応力は100MPa、繰り返し回数は2回である。大気圧における弾性波速度はそれぞれ3.6km/sec、4.1km/secである。試料は図-6のように整形し、各平面にひずみゲージを貼付した。その後、表面をシリコンでシールし圧力容器にセットした。

(2) 試験結果

図-7、図-8に差ひずみ（载荷2回目と1回目のひずみ差）と静水圧の関係を示す。図のように、差ひずみは端面（水平面；●）より側面（鉛直面；○）で大きい傾向にある。また差ひずみの減少傾向は亀裂の多いTUFF-1とそうでないTUFF-2とで明かに異なる。差ひずみの急減点はTUFF-1で認められ、A、E、D面を除けば、側面、端面ともに概ね40MPaである。一方、TUFF-2は亀裂がない緻密な試料であるため、この圧力範囲で生じる差ひずみはTUFF-1の5分の1程度と小さく、また差ひずみの急減点も見出せない。差ひずみの挙動がTUFF-1と異なる理由は

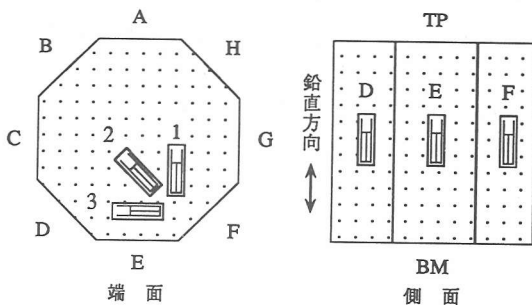


図-6 供試体形状とひずみゲージ貼付位置

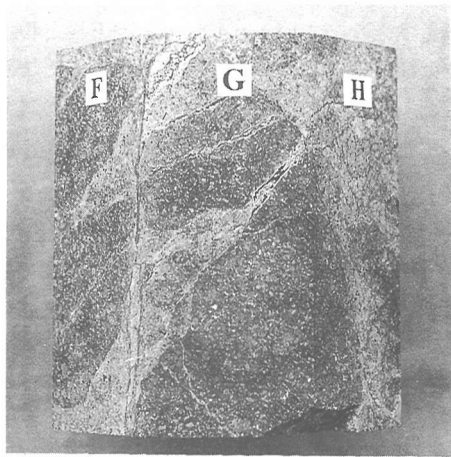


写真-1 凝灰岩の亀裂面（TUFF-1；GL-900m）

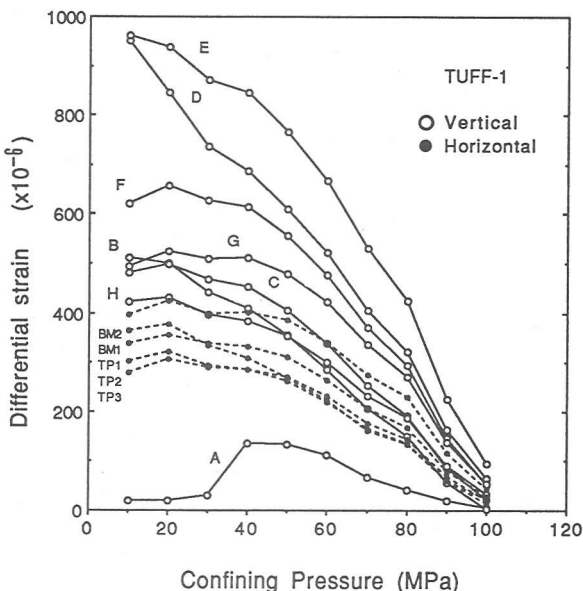


図-7 凝灰岩の差ひずみと静水圧の関係

不明であるが、弾性変形が卓越する岩石では差ひずみが微少で、急減点の読み取りが困難であることは山口ら⁹⁾の実験結果でも指摘されている。この試験で地圧の測定が可能であるかは、今後A E法も含めた併用試験を行った上で判断したい。しかし、少なくとも本試験は亀裂のある岩においては差ひずみの測定上、有利な方法であると言える。

4. まとめ

岩盤内初期地圧の測定は原位置試験においては弾性論を、室内試験では亀裂のない岩石を用いた研究が基本となっている。しかし、地下構造物の建設で対象となる岩盤は不連続性岩盤であることが多く、初期地圧の測定は原位置試験、室内試験を問わず、存在する地質的不連続面と対峙しなければならない。今回、亀裂を有する岩石に対する

初期地圧測定試験を実施し、試験法の適用性を検討した。得られた結果をまとめると次のようである。

- ・亀裂性の砂岩では低応力レベルにおいてA E発生率がいったん増加した後に減少する傾向を示した。
- ・層理面が顕著である粘板岩においても低応力レベルでA E発生率の傾向が山型を示した。これは不連続面を人工的に作成した石膏供試体においても確認された。
- ・A E発生率の傾向が山型になる現象は、A Eが亀裂面のすべりに起因して発生しているためと考えられる。この場合の地圧推定は注意を要する。ただし、層理面のある岩で発生するA Eは層理に起因するものと考えれば、測定値は地圧に関連している可能性もある。
- ・亀裂のある凝灰岩においては、差ひずみの測定上、静水圧下でのD R A試験が有効であった。今後、A E法を用いた併用試験を行うことで、地圧測定が可能であるか検討する必要がある。

最後に、工業技術院地質調査所の西澤修氏と桑原保人氏にはコアの提供と貴重な御助言をいただいた。ここに感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 金川, 林, 仲佐(1977): 岩石における地圧成分のAcoustic Emissionによる試み, 土木学会論文報告集, 第258号, pp.63-75.
- 2) 山本, 桑原, 平澤(1983): 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, p.245.
- 3) Teufel, I. W. (1982): Proc. 23th U.S.Symposium. on Rock Mech., pp.238-245.
- 4) Ren, N. K. and J. C. Roegiers (1983): 5th. International Conference ISRM, Melbourne, Australia.
- 5) 松木(1991): コアを用いた地圧計測法の現状と展望, コアを用いた地圧計測ワークショップ論文集, pp.1-7.
- 6) 石島(1991): D S C A法—方法と現状, コアを用いた地圧計測ワークショップ論文集, pp.8-15.
- 7) 瀬戸, 歌川, 勝山(1994): 不連続岩石のA E発生挙動, 第9回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.473-478.
- 8) 薛, 西澤, 桑原(1994): 静水圧下における湯坪地熱地帯ボーリングコアの弾性波速度とひずみ, 第26回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集.
- 9) 山口他(1990): D S C A法による原位置応力の推定, 第8回岩の力学国内シンポジウム講演論文集, pp.303-308.

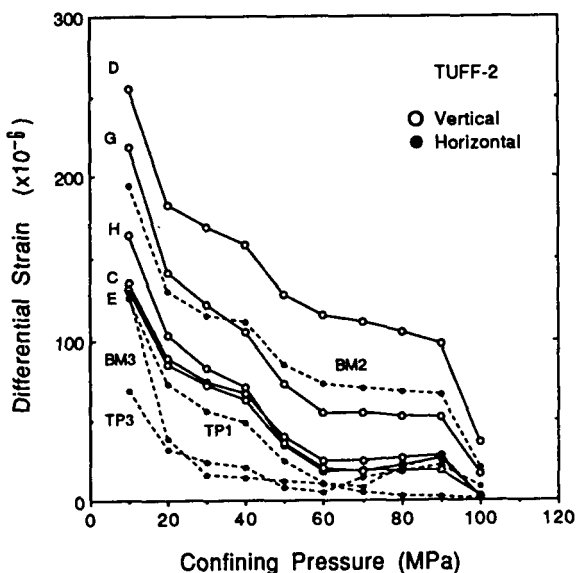


図-8 凝灰岩の差ひずみと静水圧の関係