

(74) 岩石の一面せん断破壊過程における A E ・ 熱発生特性について

フジタ工業㈱技術研究所 正員○野間達也 村山秀幸
同 上 正員 城 和裕 門田俊一

Discussion for Acoustic Emission and Surface Temperature in Direct Shear Test of Rock

Tatsuya NOMA, Hideyuki MURAYAMA, Kazuhiro JYO, Shunichi KADOTA
(Technical Research Division, FUJITA CORPORATION)

ABSTRACT

Acoustic and thermal emissions are accompanied by rock broken. In this paper, characters of both acoustic and thermal emission are discussed in direct shear test of rock. Kinds of rock specimen are tuff and sandstone.

The results obtained are as follows;

- 1) Acoustic emission increases at 75 ~ 85% of shear failure stress.
- 2) In direct shear state of rock, the existence of "Kaiser Effect" is confirmed.
- 3) In a moment of rock ruptured, production of heat are observed. The range of heat is from 0.2 to 0.8 degree centigrade, and points of high temperature accord with crack planes.

1. はじめに

最近、岩盤斜面の安全管理の手法として、リアルタイムにAEを観測し、斜面崩壊の予知を行う手法が検討されてきている¹⁾。岩盤斜面の崩壊モードを考えるには、一面せん断状態における岩石のAE発生パターンを把握しておき、実際の施工管理にフィードバックする必要があると考えられる。また、岩石試験により発生するAEを評価する際には、過去の応力履歴の影響を検討しておく必要がある。すなわち、一面せん断状態でもカイザー効果が成立するかの確認が必要となってくる。

さらに、岩石が破壊する際に、岩石に蓄えられたエネルギーは、岩石自体の破壊のみならず、上述したAEや熱に変換される。筆者らは、岩石の一面せん断破壊過程において、岩石供試体のせん断面付近に熱が発生することをすでに確認している²⁾。

本報告は、以上の点をふまえ、斜面安定のモニタリング手法としてのAE計測法への基礎的実験として、岩石の一面せん断試験を実施し、この時に発生するAEおよび熱の発生特性について検討したものである。

2. 実験装置および実験方法

2-1 試験材料

今回用いた岩石は、島根県八束郡産の来待砂岩と福島県耶麻郡産の荻野凝灰岩の2岩種である。供試体は所定の形状に整形した後、シリカゲルを充填したデシケータに2週間以上保存し、絶乾状態とした。それぞれの岩石の物性値を表-1に示す。

2-2 一面せん断試験機

図-1に本研究に用いた一面せん断試験機を示す。実験方法は既報²⁾とほぼ同じであるが、今回は供試体の大きさを直径100mm、高さを200mmの比較的大きなものを用い、さらに供試体の端面に引張応力が作用することを極力抑えるためにせん断面の幅を3mmとした。実験条件としては、来待砂岩においては $15 \cdot 30 \cdot 60 \text{ kgf/cm}^2$ 、萩野凝灰岩は $15 \cdot 30 \text{ kgf/cm}^2$ の垂直応力（以下 σ_n ）で試験を実施した。また、 0.1 mm/min のせん断変位速度となるように変位制御で試験を実施した。

2-3 AE計測条件

AE計測には共振周波数140kHzのセンサを使用し、計測周波数帯50～200kHzの間で行い、イベントカウンタ（総合利得60dB、しきい値0.4V）を計測した。

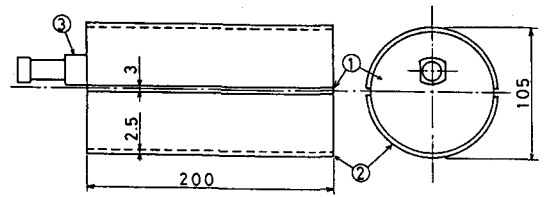
実験時には、センサの供試体への圧着が均一となるように図-2に示すようにセンサホルダを接着し、これを用いてセンサを取り付けた。なお、図-2で示しているポリエステル系樹脂は、供試体に垂直応力が一定に伝わるように供試体側面を被覆したものである。

図-3にセンサホルダを接着した供試体をせん断器に設置した状態を示す。せん断変位および垂直変位は、図に示した非接触型変位計により計測した。

図-4にせん断試験およびAE計測のフロー図を示す。せん断試験は図に示しているパーソナルコンピュータ

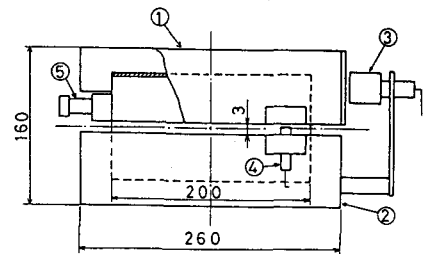
表-1 供試体の物性値

	一軸圧縮強度 (kgf/cm^2)	ヤング率 (kgf/cm^2)	ポアソン比
来待砂岩	300	6.12×10^4	0.19
萩野凝灰岩	610	7.92×10^4	0.17



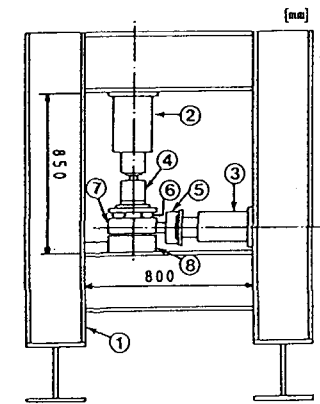
①岩石供試体 ②ポリエステル系樹脂 ③センサホルダ

図-2 供試体形状



①可動せん断器 ②固定せん断器
③非接触型変位計 (せん断変位用) ④非接触型変位計 (垂直変位用) ⑤センサホルダ

図-3 せん断器の詳細図



① 載荷フレーム (300H) ② 垂直荷重用油圧ジャッキ
③ せん断荷重用油圧ジャッキ ④ 垂直荷重用ロードセル
⑤ せん断荷重用ロードセル ⑥ ローラ・ベアリング
⑦ 可動せん断器 ⑧ 固定せん断器

図-1 一面せん断試験機概念図

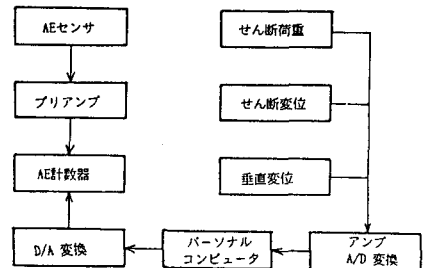


図-4 計測フロー図

ータにより計測・制御を行っているが、同時に計測値をそれぞれ応力・変位値とした後D/A変換しAE計数器に出力する。これより、AE計数器は、センサ・プリアンプを介して入力されたAE信号とせん断応力・変位の値を同時に記録することができる。

2-4 表面温度の測定方法

表面温度測定には、赤外線放射温度計を用いた。実験時には、赤外線放射温度計の検出部をせん断面正面から約50cmの位置に三脚を用いて水平に設置した。測定感度は 0.2°C とし、X-Y方向のズームを1.4倍とした。撮影範囲はせん断器全体がはいるようにした。なお、温度測定方法の詳細については、既報²⁾に示してある。

3. 実験結果ならびに考察

3-1 AE発生特性

図-5に來待砂岩の $\sigma_n=15, 60\text{kgf/cm}^2$ および荻野凝灰岩の $\sigma_n=15, 30\text{kgf/cm}^2$ におけるせん断応力～せん断変位～垂直変位～AE計数曲線を示す。ここで、AE計数は、試験時の変位 0.016mm に対するAE発生イベントカウントを連続的に示している。また、今回用いた供試体は大型であったため、破壊時に供試体に加わる荷重が大きく、せん断試験機の剛性との関係上供試体が破断する瞬間に変位が急増する。このため、AEのイベントカウントは破壊時に連続的に多発しており、計測は破壊直後に中止した。

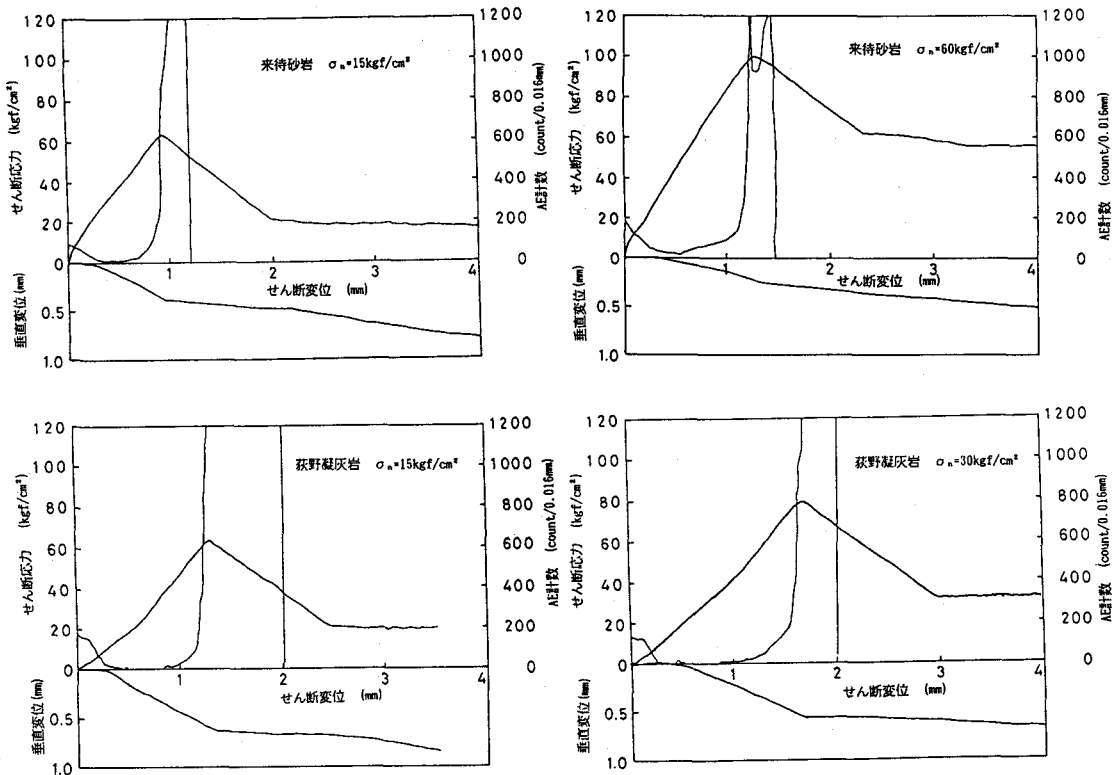


図-5 試験結果

AEは、載荷直後に供試体と載荷板が接触する等により生じると考えられる初期の増加が見られた後、ほぼ発生せずに応力が増加する。その後、明瞭にAEの発生が認められる点（以下A点）を経た後、AEの増加を示す点（以下B点）を経過し、AE発生の急上昇を示しながら破壊へと至る。

このA点・B点は、岩種および垂直応力により異なる。このため、横軸にA・B点のせん断変位 ($D\tau_{AE}$) をせん断破壊時の変位 ($D\tau_r$) で除し、縦軸にA・B点のせん断応力 ($\sigma\tau_{AE}$) を最大せん断強度 ($\sigma\tau_r$) で除し、百分率で整理したものが、図-6である。

この図に示されているように、AEが増加する点は、垂直応力が高いほど破壊に近い応力に移行する傾向は認められるものの、せん断破壊に至る過程の75~85%であることがわかる。従って、斜面の挙動をAEにより管理することは、AEの急増点を注目することより可能であると考えられる。

一方、AEの発生点に注目してみると、垂直応力が高いほど低い応力レベルでAEが発生する傾向にある。これは、垂直応力が低い、すなわち岩石に対する拘束力が小さいと、せん断力に対しまず岩石全体が変形し、その後き裂が発生・進展して破壊に至る。一方垂直応力が高い、すなわち岩石に対する拘束力大きいと、岩石自体の変形が起こりにくい。このため、微少なき裂が発生し、徐々にき裂の数が増加した後、破壊の直前に大きなき裂となり破断に至る、という垂直応力に依存した破壊モードの違いを示している可能性がある。

岩種による違いを検討してみると、荻野凝灰岩は、A点までは全くAEが観測されなかったのに比べ、来待砂岩はA点までにも微少なAEが連続的に観測された。これは、荻野凝灰岩は粘土鉱物化した細粒ガラス片が膠着したものに對し、来待砂岩は安山岩質ないし玄武岩質の中粒砂粒より形成されており、岩石の構成成分の違いによるものと考えられる。これより、AEによる現場管理には、岩種による相違を考慮に入れる必要があろう。

つぎに、岩石の一面せん断状態でのカイザー効果を確認するために、 $\sigma_n=60\text{kgf/cm}^2$ のもとでせん断応力を110kgf/cm²まで載荷した供試体を一週間放置した後、 $\sigma_n=30\text{kgf/cm}^2$ で試験を実施した。

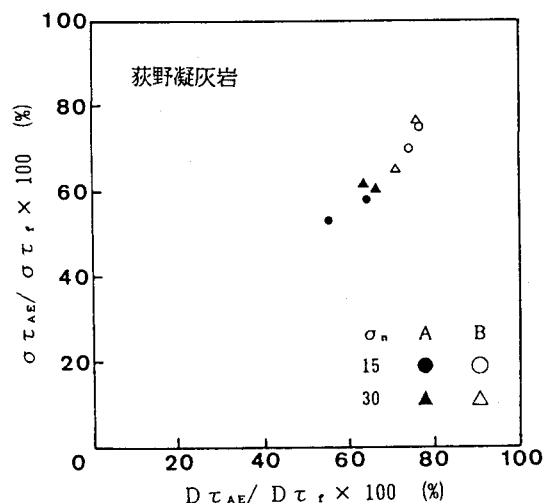
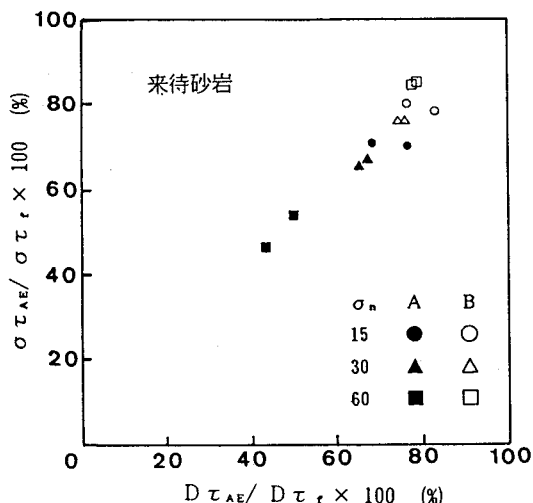


図-6 せん断応力・変位とAE発生の関係

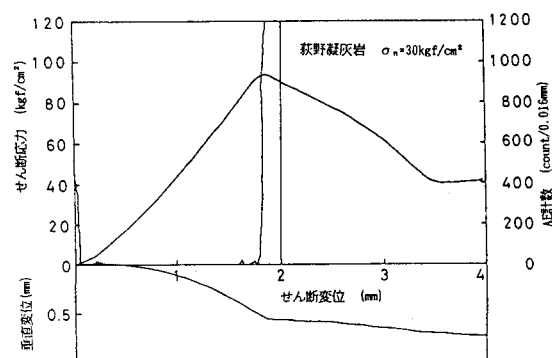


図-7 先行応力を受けた供試体の試験結果

試験結果を図-7に示す。図-5に示した試験結果と比較してみると、応力履歴を受けた供試体は、破壊直前まで全くAEを発生せず、破壊時に突発的にAEを発生していることがわかる。一面せん断状態における岩石のカイザー効果により、初期地圧を推定する等の評価はできないが、過去に強制的に応力を受けた岩石は、それ以下の応力のもとではAEを発生しないことは明かである。

3-2 熱発生特性

今回行った実験でも、破壊時に熱が生じることが確認できた。図-8に最も顕著に熱が発生した場合の温度差分布図を示す。熱の発生は、破壊までは全く観測されず、供試体が破断する瞬間に最大の熱が発生する。このため破壊直前の画像と破壊後の画像間において減算処理を行っている。ここで、熱が発生している位置は、供試体の破断部分と完全に一致している。なお、既報²⁾では、来待砂岩においては熱の発生は認められないと報告しているが、今回は発生が認められた。これは、供試体が気乾状態か、絶乾状態であるかの差によるものと考えられる。すなわち、今回のように赤外線放射温度計を用いて温度計測を行うには、対象物の含水状態により微妙に変化することを考慮に入れる必要があろう。

なお、今回の実験では、AEの発生・急増時点と

熱発生時点の関連性を把握することはできなかった。今後、AEセンサの数を増やし、ソースロケーションをすることなどにより、両者の関連性が認められる可能性はあろう。

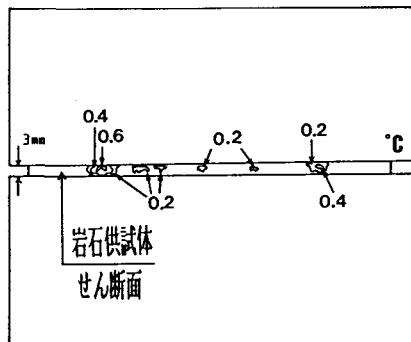
4. おわりに

岩石の一面せん断試験を実施し、この時に発生するAE・熱発生特性を検討した結果、以下のことが明らかになった。

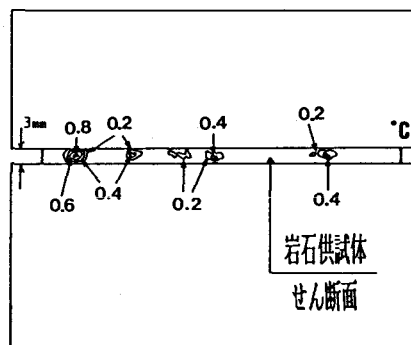
- ① AE計測の結果、せん断破壊応力の75~85%時よりAEの発生が急増する。これより、斜面の安全管理にAE計測を用いることは有効な手段であると考えられる。
- ② 岩石の一面せん断状態においても、カイザー効果が成立することが確認された。
- ③ 岩石の破断時に微少ではあるものの熱が発生し、破断面と一致することが確認できた。

今後は、岩石の一面せん断クリープ時、および様々な応力履歴を受ける時のAE・熱発生特性を把握すると共に不連続面を有する供試体の実験を行い、さらに現位置に近い状態での性状を検討して行く予定である。

(参考文献) 1) 秩父、城、中村、後藤：「斜面崩壊時に発生するAE特性について」、土木工学におけるAE研究発表会、1988 2) 村山、野間、大倉、和久：「岩石の破壊過程における表面温度分布特性について」、第21回岩盤力学に関するシンポジウム、1989



来待砂岩 $\sigma_n=30\text{kgf/cm}^2$



萩野凝灰岩 $\sigma_n=15\text{kgf/cm}^2$

図-8 温度差分布図