

III-239

岩石のせん断破壊過程における発生熱量とせん断面の特性について

フジタ工業機械技術研究所 正員 ○村山幸幸 野間達也 門田俊一

1. はじめに

筆者らは、岩石のせん断破壊過程においてせん断破壊面付近で微少ではあるが熱が発生する現象についてすでに報告した¹⁾。また、せん断破壊過程でのAE発生特性についても考察を行っている²⁾。これらは、岩石に蓄えられたエネルギーの一部が破壊時に熱やAEエネルギーに変換される現象であり、物質の破壊過程における定性的な現象といえる。従来、岩盤の崩壊現象の予測には、岩盤の変位を測定してその挙動を評価する手法が一般的である。しかし、岩盤表面の温度分布を非接触に測定し、表面の温度状態によって岩盤の破壊現象を評価できれば別な観点から破壊現象を評価できると考えられる。

本報告では、岩石のせん断破壊過程におけるせん断面の表面温度を測定し、破壊時に発生する熱量を概算するとともに、せん断面の性状について考察を行った結果について述べる。

2. 実験方法²⁾

実験に用いた岩石は、来待砂岩と荻野凝灰岩である。供試体の物性を表-1に示す。供試体の寸法は直径100mm、高さ200mm、せん断幅3mmであり、デシケータにて2週間以上保存し絶乾状態とした。実験は、垂直応力を15、30、60kgf/cm²とし、せん断変位速度0.1mm/minで行った。図-1にせん断器の詳細図を示す。

表面温度の測定には赤外線放射温度計を用い、せん断面から約50cmに検出部を設置し、測定感度0.2℃、放射率1、X-Y方向ズーム1.4倍で撮影を行った。測定範囲はせん断面全体、測定間隔は20秒である。

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
荻野凝灰岩	610	7.92×10^4	0.17

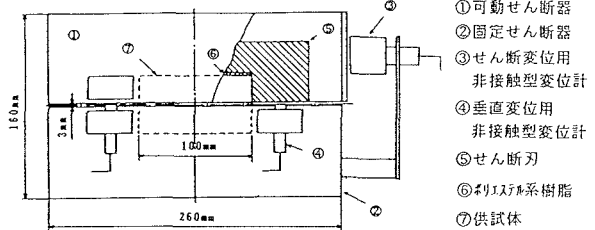


図-1 せん断器の詳細図

3. 表面熱量の概算

発生した熱量を定常状態における平板の放射熱量の近似式を用いて算出する。表面温度 t_n 領域における単位面積(1m²)当たりの放射熱量 Q_n は、 $Q_n = (h_c + h_r)(t_n - T_a)$ 、 $h_c = 2.2(t_n - T_a)$ [Kcal/m²・h・℃]、 $h_r = 4.88 \cdot 10 \cdot E_m \{ (t_n + 273)^4 - (t_n - T_a)^4 \} / (t_n - T_a)$ [Kcal/m²・h・℃]である。ただし、 t_n :表面温度(℃)、 T_a :周囲温度(℃)、 E_m :放射率である。 t_n 領域の面積 S_n は、測定する全面積より算出できるので、 t_n 領域から放射される全放射熱量 Q_t は、 $Q_t = Q_n \cdot S_n$ となる。測定された温度区間において Q_n を算出し加算すれば全放射熱量を算出できる。

実験では、表面での温度差は破壊後に確認できるので、破壊直前と破壊後の熱画像におけるせん断面の全放射熱量を算出し、破壊直前の放射熱量を0とした場合の熱量差を算出した。

4. 実験結果および考察

図-2に来待砂岩（垂直応力 30kgf/cm²）と荻野凝灰岩（垂直応力 15kgf/cm²）のせん断応力-せん断変位-垂直変位図を示す。実験は、岩石のせん断破壊後の挙動を把握するためにせん断変位4mmまで行っている。

図-3に、破断後の供試体上部・下部の破断面に発生したガウジ（gauge:岩石がすべる際に発生する碎屑物質³⁾）の発生箇所（黒塗り部分）の分布を示した。ただし、この図のガウジ発生箇所は、破壊直後からせん断変位4mmに至る過程で発生した箇所である。さらに、

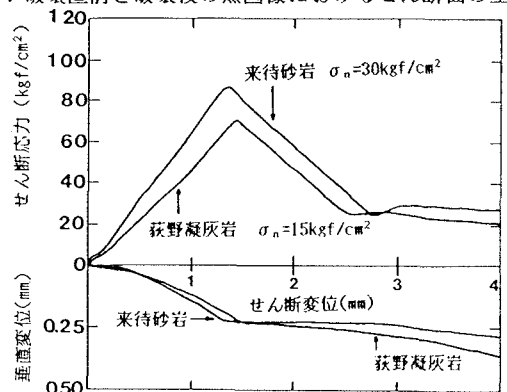


図-2 せん断応力-せん断変位-垂直変位図

図にはせん断面の温度測定で得られた最大温度差発生箇所も示した。温度差は、破壊直前の熱画像と破壊後の熱画像を減算処理した値である。また、この図は破壊後の破断面を写真撮影し平面投影したものをトレースしたので、破断面の凹凸(粗度)は考慮していない。

図によれば上部・下部の破断面に生ずるガウジの分布は、ほぼ対称であるが若干発生箇所が異なる。これは破断面の凹凸と平面投影の影響である。また、ガウジの発生分布がせん断荷重作用端面と逆の固定端部側に片寄るのは、供試体にモーメントが若干作用するからである。

破断面の凹凸の測定は行っていないが、破断面の観察よりガウジは下部の破断面の凸を乗り越える箇所に発生していることがわかる。

さらに、温度差を確認できる箇所は、ガウジ発生箇所とよく一致する。このように岩石表面で温度差を確認できる箇所は、ガウジ発生などのせん断面の性状と関連性が高いといえる。実際の岩盤の破壊現象においても、まずある部分に破壊現象が集中し、順次破壊が進行し全体破壊に至ると考えらる。故に破壊の初期段階で破壊の集中する箇所を岩盤表面で確認できれば破壊予知に有効であると言える。

図-4に破壊後の経過時間に対する発生熱量差を示す。来待砂岩では熱量差のピークは破壊直後であり、荻野凝灰岩では破壊後80秒後にピークが見られる。このように荻野凝灰岩では、残留強度時に熱量の発生がピークに達することがわかる。これは、岩石の熱定数などの影響であると思われる。また、せん断強度や岩種の違いによって発生熱量に差を確認できない。確認可能な発生熱量は最大で0.1cal程度であった。

また、前回の報告¹⁾では来待砂岩において温度差を確認できなかった。これは、岩石供試体の状態が前回とは自然乾燥状態であるのに対し、今回は絶乾状態で実験を行ったからであると考えられる。このように物質表面の温度は物質の含水状態に左右されると考えられる。

5. おわりに

本報告をまとめると以下のようである。

- ①せん断破壊時に発生する熱の発生箇所は、破断面のガウジ発生箇所とよく一致する。
- ②発生熱量のピークは岩種により異なり、来待砂岩では破壊直後にピークに達し、荻野凝灰岩では残留強度時にピークに達する。また、岩石表面で確認可能な最大熱量差は0.1cal程度である。
- ③物質表面の温度は、物質の含水状態の影響を受け易い。

今後、野外での測定を行い実際に岩盤が破壊する過程でこのような熱量が発生するかどうかを検証する必要があると考えている。

【参考文献】 1)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，1989.2 2)野間・村山・城・門田：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，第22回岩盤力学に関するシンポジウム，1990.2 3)M.S.ハターソン著，荻野・水田・佐野共訳：実験岩石力学，p80～102，古今書院，1986

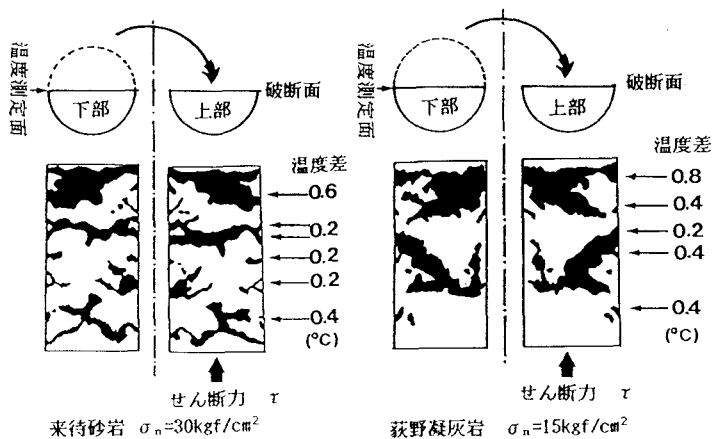


図-3 破壊後の破断面に発生するガウジ分布図

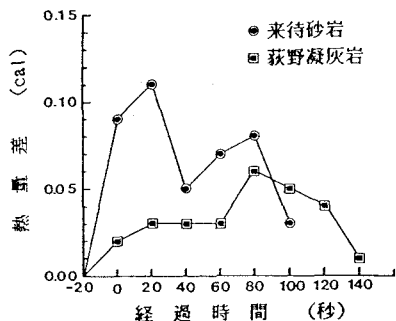


図-4 破壊後の経過時間に対する熱量差