

## 活断層のずれによる温度上昇の実験的検討—岩石の破壊時の温度測定—

## Laboratory Verification of Temperature Rise due to the Slide of Active Fault

後 藤 恵之輔 (ごとう けいのすけ)  
長崎大学教授 工学部

西 川 麗 (にしかわ うらら)  
(株)地研コンサルティング

柳 浩 二 (やなぎ こうじ)  
長崎大学大学院工学研究科修士課程

後 藤 健 介 (ごとう けんすけ)  
長崎大学大学院海洋生産科学研究科博士課程

## 1. はじめに

第1著者<sup>1)</sup>は、阪神・淡路大震災の前後における人工衛星熱画像の比較により、震災後のデータに活断層の分布と同じ位置で温度上昇があることを発見した。

この温度上昇は、活断層がずれることにより摩擦熱が発生したのではないと思われる。すなわち、二つの物体間にずれが生じたとき、摩擦抵抗によって発熱する。この摩擦の現象を踏まえれば、活断層のずれでも発熱すると考えてよい。阪神・淡路大震災で最も激動した活断層は、淡路島に存在する野島断層である。野島断層の破壊速度は2~3 km/sで、10~15 kmの長さで断層のずれが発生したと報告されている<sup>2)</sup>。このように破壊速度が非常に大きな値であることから、活断層における摩擦熱の発生は十分に考えられる。

そこで、人工衛星データに現れた温度上昇が、活断層のずれによる摩擦熱の発生を示すものであるかを、実験により検討する。その結果、これが正しければ、人工衛星による活断層の温度観測による地震予知の可能性が考えられる。この推定を念頭に、サーマルカメラを用いて、岩石の破壊に伴う温度測定を行った。

## 2. 試験方法

供試体は長崎県内の現場および石材店で採取して、円柱状に成形した後、一軸圧縮試験を行った。試験機の横に供試体と平行になるようにサーマルカメラを設置し、供試体の表面温度を測定した。この試験状況を写真1に示す。

供試体の大きさは直径5 cm、高さ10 cmである。圧縮速度は1 tf/minで行った。供試体表面の最上部から最下部へ1ポイント、2ポイントと任意に5ポイントを設け、各ポイントの表面温度を測定した。

## 3. 供 試 体

表1に試験に用いた岩石の種類とその物理的性質を示す。各岩石の諸性質<sup>4)~6)</sup>は以下のとおりである。

花崗岩は俗に御影石とも呼ばれる結晶質の堅硬な岩石である。カリ長石を主成分とするが、地球上の各地で基盤をなす岩石として産出する。結晶は十分に発達し、比

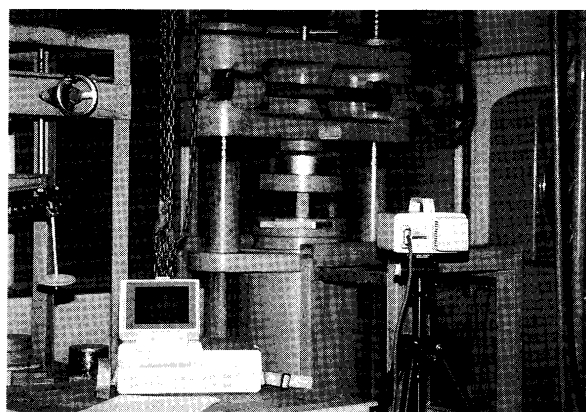


写真1 岩石の一軸圧縮試験の状況  
(右手前、三脚上の器械がサーマルカメラヘッド部)

表1 岩石の物理的性質<sup>3)</sup>

| 岩石名  | 空隙率 (%)  | 熱伝導率 $\times 10^{-3}$ (cal/cm $\cdot$ s $\cdot$ °C) |
|------|----------|-----------------------------------------------------|
| 花崗岩  | 0.05~2.8 | 6.2~9.0                                             |
| 珪岩   | 0.8~7    | 7.4~18.9                                            |
| 砂岩   | 0.5~42   | 3.5~7.7                                             |
| 玄武岩  | 0.1~9.9  | 4.0~8.6                                             |
| 黒色片岩 | 0.4~10   | 4.1~8.9                                             |
| 安山岩  | 2~11     | 4.0~8.5                                             |

較的丸い結晶独自の形を成しているものが多い。

珪岩は古い時代の堆積岩である。珪酸の白い脈が発達した極細粒砂岩である。

砂岩は機械的あるいは化学的に破壊された岩石が再び集合し、結合して岩石となった堆積岩の代表的なものである。通常、石英粒子やその他の鉱物粒子がこう結されてできた岩石である。

玄武岩は塩基性斜長石と輝石とを主成分とする緻密な火成岩で、熔融状態で流動性が高い。この岩石の地帯では、しばしば柱状節理、板状節理などと呼ばれる特異な景観が見られる。

黒色片岩は白雲母石墨片岩（いわゆる雲母片岩）を主とし、場所により曹長石斑晶をもつ点紋片岩となる。これは一般に粗晶である。

安山岩は斜長石、角閃石、輝石などが斑晶となっていて、石基もこれらの非常に細かい結晶の集まりで出来ている。

これら供試体を、花崗岩と安山岩を例にとり写真—2に示す。

#### 4. 試験結果

図—1 (a)～(g)は試験結果を図示したものである。縦軸に温度、横軸に荷重をとり、2.で述べたように供試体表面の上方から1ポイント～5ポイントをそれぞれp1～p5で表している。また、図中の●印は五つのポイントの平均である。この凡例を図—1 (a)の上方に示しておく。

岩石が破壊した時点で試験を終了しているため、それぞれの岩石での最終荷重が異なっているが、これは岩石ごとに強度が異なるためである。しかし、このことは本研究の目的に直接影響を与えるものではないことをあらかじめ断しておく。

図—1 (a)は花崗岩の温度変位を示す。温度変位は荷重1 tfで下がり、1.5 tfで最高値を示している。全体的に見れば、破壊に伴うにつれ温度が上昇していると言える。

図—1 (b)は珪岩の温度変位である。温度の上昇率に統一性がなく、28.35～28.70℃間を上昇下降と変動が激しい。5ポイントの平均値から見ても同じことが言える。

砂岩の温度変位は図—1 (c)に示すように、28.13～28.53℃間を変動しているが、珪岩ほど変動幅は大きくはないが、珪岩と同様な結果であると言える。

玄武岩の温度変位を、図—1 (d)に示すが、全体的に温度上昇が見受けられる。その中でも特にポイント1が最も温度が高い。これは、丁度ポイント1付近でクラックが発生したためであると考えられる。このことは実際、実験室で試験片の状態を見て確認できた。

黒色片岩-1の温度変位は、4 tfまでは下降線を描いているが、4 tf以降は上昇していることが分かる (図—1 (e)参照)。

黒色片岩-2の温度変位は、1 tfまでは多少下がるが、上昇傾向であると言える (図—1 (f)参照)。

図—1 (g)に安山岩の温度変位を示す。温度変位は、10 tf付近まではほとんど変化は見られないが、それ以降は破壊するまで温度が上昇している。口絵写真—10, 11はこの安山岩の実験開始時と破壊直後の熱画像である。両画像の比較により、供試体中央部で明らかに温度上昇のあることが認められる。

結論としては、珪岩、砂岩の温度変化にばらつきがあったが、花崗岩、玄武岩、黒色片岩-2、安山岩は、全体的に見て破壊に伴って温度が上昇している傾向となった。

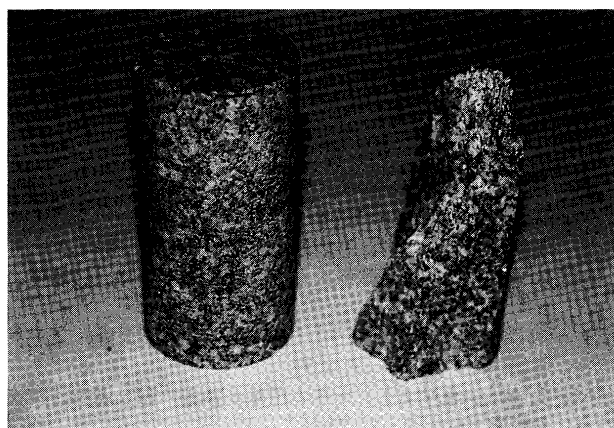
#### 5. 考察

以上のように、花崗岩、玄武岩、黒色片岩-2、安山岩は、荷重に伴う温度の上昇が見られた。珪岩、砂岩については、変動は見られるが、温度が上昇し続けたとは言えない。

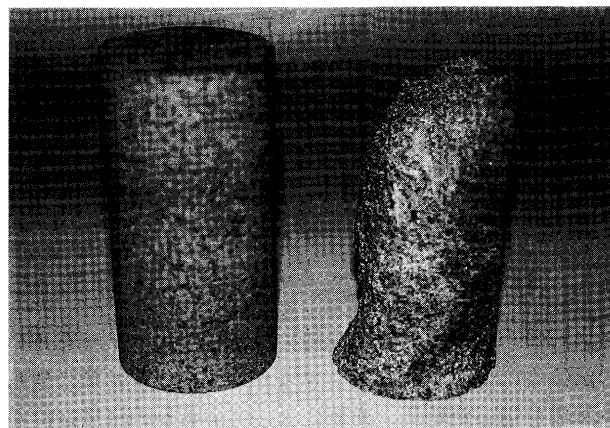
岩石によって発熱しなかった要因として、砂岩の場合は表—1に示すように、実験の対象とした岩石の中で最も熱伝導率が低く、さらに空隙率が高いことが挙げられる。空隙が大きければ、空気の熱伝導率は鉱物の熱伝導率よりも小さいため、空気が断熱材の役割を果たし、熱伝導の妨げとなる。珪岩は、砂岩より熱伝導率が高いが、空隙率が非常に大きい。空隙率がもう少し小さいものであれば、破壊に伴う温度上昇が見られたのではないと思われる。これらの理由により発熱しにくかったと考えられる。

摩擦作用により岩石の破壊に伴い温度が上昇することが分かったが、その中でも温度の上昇が顕著に見られた花崗岩、玄武岩、安山岩に着目すれば、いずれの岩石の性質とも空隙率が低く、熱伝導率が高いことが分かる。これにより、このような性質を持つ岩石が摩擦熱の影響を受けやすいことが判明した。

実験前には、供試体はすべて破壊に伴い温度が上昇すると推定していたが、実験開始直後に温度が下降する供試体があった。これは実験の際、供試体のセット時に敏感に実験者の熱を受けてしまったのではないのかと思われる。さらに供試体をセットした後、十分に時間を置かなかったことも原因の一つではないかと思われる。しか



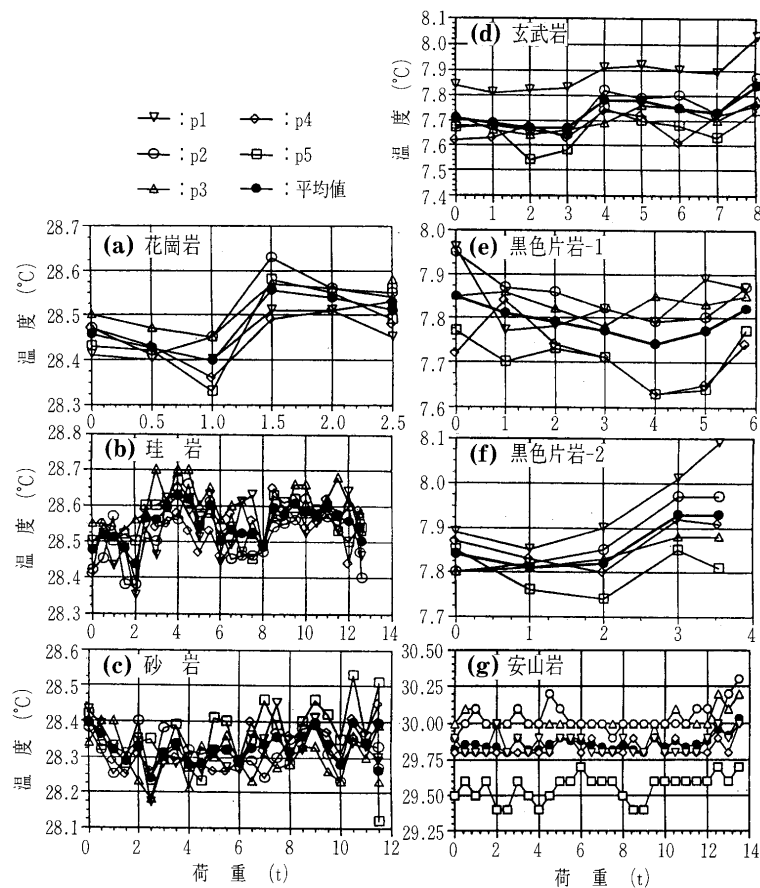
(a) 花崗岩



(b) 安山岩

写真—2 岩石供試体 (左:実験前, 右:破壊後)

## 事例報告



図一 各岩石における温度変化

し、実験を開始した後、温度が一旦下がるものの再び上昇したことから、実験者の熱による影響は除かれたと判断し、このような温度変位が見られたデータも検討対象として扱った（図一1 (e) 参照）。

今回の試験では、岩石の種類によって温度上昇に特徴があることが判明した。例え様に温度が上昇しなくても、温度変位が見られることが分かった。これは、活断層が動こうとするときの断層のずれによる摩擦熱の発生や、何らかの温度変位が見られることの裏付けになったと考えられる。よって1.で述べた阪神・淡路大震災の前後における人工衛星熱画像の差異は、活断層のずれに起因する可能性が大きくなった。

この活断層の温度変位を人工衛星データで経時的に観測していけば、地震の発生を予知することも可能であると考えられる。また、対象物が活断層という非常に大規模なものであるため、人工衛星の特徴でもある広域性を十分に活用して、容易に活断層を観測できる。例えば、米国の地球観測衛星 LANDSAT であれば16日ごとに観測することができ、継続的な活断層の温度観測が可能であるため、非常に有効的であると言える。

## 6. む す び

岩石の一軸圧縮試験と同時に、サーマルカメラを用いて試験中の供試体の表面温度を測定した。6種類の岩石供試体を用いた結果、摩擦によって何らかの温度変位が見られることが判明した。この温度変位は、岩石の種類

だけでなく、同種の岩石でも空隙の大きさや供試体に含まれる鉱物の割合などにより異なることも分かった。

以上の結果から、人工衛星熱画像の解析を行った時に発見した地震後の熱上昇箇所は、活断層であると考えられる。このことにより、人工衛星データを用いて活断層を経時的に観測していけば、容易かつ経済的に地震予知が可能であると思われる。

最後に、岩石破壊時の温度上昇の原因として、摩擦熱のほかにインターロッキングの影響も考えられる。地震時に活断層がずれる際には、岩石の破壊速度が極めて大きいため、摩擦熱が卓越してインターロッキングの影響は無視できる。

しかし、実験室での破壊実験では破壊速度が遅いことから、インターロッキングの影響も考えなければならない。破壊実験時の圧縮速度を上げるなどして、このことを今後の検討対象としたい。

## 参 考 文 献

- 1) 後藤恵之輔：宇宙からの地震予知，土と基礎，Vol. 44, No. 1, pp. 25~28, 1996.
- 2) 科学朝日臨時増刊，地震科学最前線，p. 9, 1995. 3.
- 3) 川本勝万ほか：新体系土木工学20，岩盤力学，技報堂，p. 75, 1985.
- 4) 山口梅太郎・西松裕一：岩盤力学入門 第2版，東京大学出版会，pp. 7~12, 1977.
- 5) 長崎県土地対策室：土地分類基本調査，国土調査，神浦，長崎県，pp. 14~17, 1975.
- 6) 三木幸蔵：わかりやすい岩石と岩盤の知識，鹿島出版会，p. 20, 1982.

(原稿受理 1998.9.2)