

京都大学大学院 学生員 大森啓全
 京都大学工学部 正 員 丹羽義次
 京都大学工学部 正 員 小林昭一

1. はじめに

AE (アコースティック・エミッション) は、材料の不均一変形および破壊過程で瞬時に解放される弾性エネルギーによって生じる応力波である。最近では、圧力容器等における非破壊検査として実用化されるなど、注目を浴びているが、その周波数は鉱山で古くから知られていた rock noise のような可聴域のものから、現在検出が可能になった数 MHz に至るものまでの広範囲な領域に及んでいる。このような AE 特性の中で、カイザー効果は、載荷の履歴をうけた材料が再負荷されるときに、最大履歴荷重に至るまで殆ど AE を発生しないという非可逆的な現象をいう。岩質材料についても、この特性は岩盤の地圧推定の試みなどに利用し得るとされているが、この現象に関しての研究は、まだ十分でなく、その機構についても不明な点が多い。

本研究は、岩質材料におけるカイザー効果現象について、モルタルおよびコンクリートを用いた実験により、特性を調べ、さらにその機構について検討したものである。

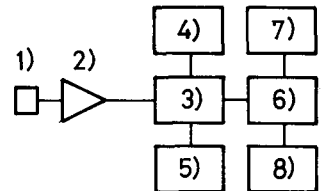
2. カイザー効果の諸特性

a) 実験概容

実験において用いたのは、 $10\phi \times 20\text{cm}$ の円柱供試体ならびに 10.5cm の立方供試体であり、配合は重量比にして、コンクリートで、セメント : 砂 : 碎石 : $\text{W} = 1 : 2 : 4 : 0.6$ (碎石の最大寸法 15mm) モルタルで、セメント : 砂 : $\text{W} = 1 : 2 : 0.6$ とした。各実験に際し、載荷面にシリコングリースを塗ったテフロンシートを減摩材として挿入した。AE は、供試体中央部にとりつけたピックアップから検出し、それを Fig. 1 に示す装置で 60dB 増幅した。なお、周波数帯域は、 $10\text{kHz} \sim 300\text{kHz}$ でディスプレイレベルは 100mV に設定した。

b) 一軸圧縮下の特性

一軸圧縮下の円柱供試体の試験では、コンクリート、モルタルいづれも、AE 頻度は初期の端面効果の影響によるものを除けば、体積ひずみの比例限度程度まで、ほぼ安定した一定の頻度が発生し、体積ひずみの勾配が逆転するあたりまでの間で、徐々に頻度が増え、その後急激に頻発して破壊することが確認されている。Fig. 2 はこの様子の概略を示したものである。また、同じ一軸圧縮下の立方体供試体の試験では、コンクリート、モルタルとも強度的には円柱供試体と同じ結果を得たが、AE 頻度は、初期のものを除き以後安定となり、体積ひずみの最大値付近に至っても、大きな変化がないまま、体積ひずみの符号が変わり膨脹側になるところで急激に頻発するといった非常に脆性的な挙動を示した。なお、この体積ひずみの符号が変わるのは、コンクリートで圧縮強度の約 80% 、モルタルで約 90% の段階であった。Fig. 3 はコンクリート円柱供試体の繰り返し圧縮荷重



1) ピックアップ 2) アンプ
 3) ディスクリミネーター 4) ハルス・ハイト・アナライザー
 5) カウンター 6) ウェーブメモリー
 7) パラレル・ロード 8) オシロスコープ
 Fig. 1 AE 計測装置ブロックダイヤグラム

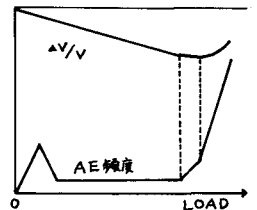


Fig. 2 体積ひずみとAE頻度関係

下での AE 頻度を示している。この図より明らかなようにカイザー効果は、約 240kg/cm^2 までの履歴荷重について見られ、それを越える荷重には、再びこの付近から AE が生じはじめている。一方、このシリーズの体積ひずみ比例限度が約 240kg/cm^2 (圧縮強度の約 75%) であったことを考慮すれば、カイザー効果の現れる限界は、体積ひずみの比例限度程度であると言える。また、この段階は、コンクリートにおいて、ボンダフラッフから、モ

ルタルクラックの卓越する領域への移行段階であると知られている事実とも一致する。つまり、ボンドクラックやそれに伴う微小なクラックが生じる局所的な破壊段階では、系全体の状態を変えないで安定であるが、これがモルタルクラックの連結するような段階に至つては、系全体の応力状態に攪乱を与え、履歴荷重以前で、新たな破壊の進展が生じるものと考えられる。

c) 方向依存性

まず、立方体供試体において二軸の順序荷重を行いながら、荷重を各カイフルごとに徐々に増加させた実験により、履歴の方向依存性を検討した。なお、この除荷の際には、完全には解放せず、低い拘束圧を与えておいた。コンクリートの場合についての結果をFig. 4に示す。これから明らかとなり、各方向ごとに独立に、一軸圧縮強度の75%以下の荷重に対してカイザー効果が見れることが分かった。一方モルタルについては、各方向とも、初期の崩壊以外、主破壊に至る直前までAEは殆ど検出されなかった。また、モルタルは載荷経路を様々に変えた二軸圧縮試験の場合にも、一軸圧縮強度の75%以下では、どのような履歴経路に対しても顕著なAEは検出されなかった。以上のことから、コンクリートについては、履歴による方向依存性が認められたが、モルタルについては、このようなAE発生パターンから、カイザー効果の方向性について議論することは困難であると思われる。

d) 応力解放後の時間経過とカイザー効果

応力解放後の時間経過について、まず、除荷ごとに供試体と載荷装置からとりはずして2時間後、さらに、24時間後と、カイザー効果の期待される応力下で繰り返し載荷を行った。この場合にカイザー効果は見られず、履歴後も、第1回目と同様に載荷初期のAE頻度があり、それ以後の挙動にも変化がなかった。なお、これは破壊源採取の結果、載荷初期に崩壊するAEが端面付近に限られていたことから、載荷面の状態が以後の系の挙動を決定して、履歴が消失させたかのように顕著な影響を与えることが知られた。

一方、完全には除荷せずに、25 kg/cm²程度の拘束圧を与えておいて、時間経過とともに少しずつ、荷重を増加させた場合には、今までの報告されているような、経過時間によるAEの回復現象は見られず、逆に安定化する結果を得た。この問題については、クリープ後の挙動も含めて、試験条件を検討して追跡する必要があると思われる。

なお、他の結果及び詳細については当日発表する。

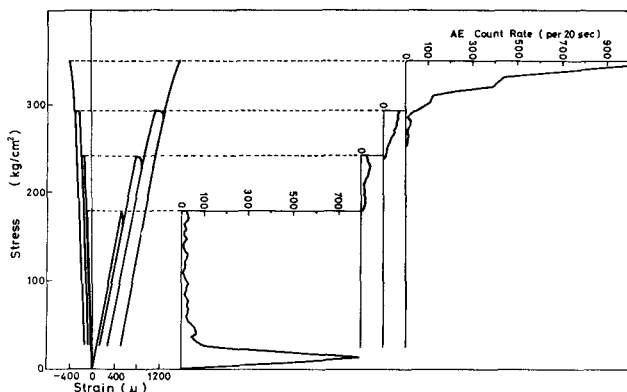


Fig. 3 一軸繰り返し載荷における応力-ひずみ曲線とAE頻度

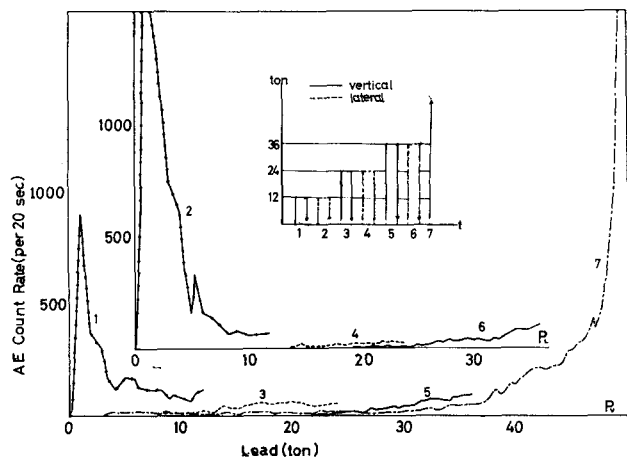


Fig. 4 二軸順序載荷によるAE頻度図(コンクリート立方体)