

電力中央研究所 土木技術研究所 ○ 金 川 忠
林 正 夫
北 原 義 浩

1 ま え が き

筆者らは、現地のボーリングコアより試験片を作製し、一軸試験によるAcoustic Emission(AE)の測定を行って、そのカイザー効果より現地の地圧を推定する試みを行い、先に報告した^{(1),(2)}。今回は、その問題点をさらに検討し、若干の応用例を示した。

2. 測定方法と測定装置の改良

測定の準備として、まず特殊な形状の供試体を作製する必要がある。すなわち、現地より採取した岩石を25×25×75(mm)の角柱に切断し、両端部にアラルダイトとセメントの混合材料による特殊なハンチ(写真-2)を取り付ける。そして、その両端部に載荷板を接着させる。詳細は参考文献1)に示したが、応力集中によって供試体端部に発生し易いAEをできるだけ少なくし、供試体中央部の岩石内部からのAEを検出し易くするためである。

供試体の準備ができたなら、図-1に示すようにセンサーA, B, C, を供試体に取り付け、載荷装置(鷺宮製作所, SERVOPAC)にセットする。この載荷装置は、最大荷重10トンのサーボ機構方式による応力制御および変位制御が可能なタイプで、測定の電気的ノイズ源となる油圧源およびサーボ弁を本体より切り離してホースで連結し、載荷速度は十分に遅くできるようなデジタル式ランプジェネレータを取り付けた改良型である。供試体中央のセンサーB(DUNEGAN/ENDEVCO, D9203)は、200KHzの共振周波数をもつ圧電セラミック振動子で、本測定系の主体となるものである。

供試体端部のセンサーAとC(富士セラミックス社, AE-150)は、150KHzの共振周波数をもつ振動子で、供試体より発生するAEの発生位置を求めめるためのものである。測定装置(当所と応用地質調査事務所の共同開発)は、

従来のAE測定系列の他に、センサーAとCにより供試体を8等分してAEの発生位置を表示する機構と、AEが供試体中央部より発生した時だけ開くゲート機構とを備えている。このゲート機構は、ゲートへの入力波形のエンベロープより波形の振動時間を常に記憶し、ゲートが開いた時、す

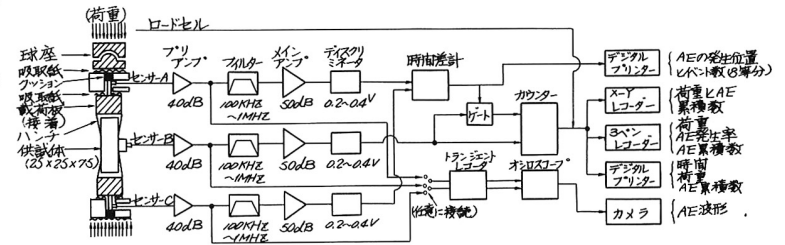


図-1 地圧推定用AE測定ブロックダイアグラム

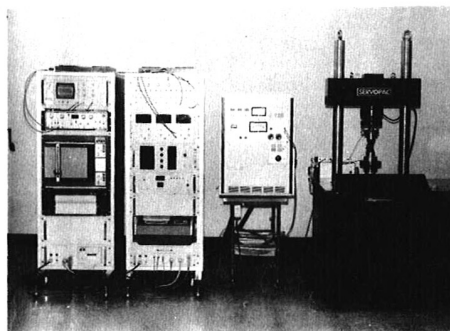


写真-1 AE測定記録装置

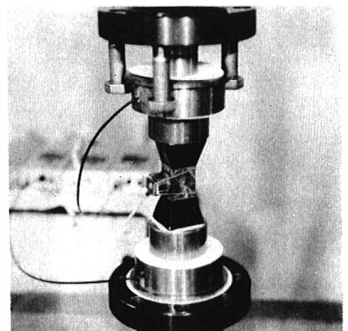


写真-2 地圧推定用岩石供試体の形状

なわちA Eが供試体中央部より発生した時だけ波形の振動時間を吐き出し、その時間にセンサーの共振周波数を乗じて見掛け上リングダウン計数方式によるカウントを行う機構である。本機構の十分な検討は今後の課題であるが、後述する図-7に一部を示した。

3. モルタル材料のA E発生特性とカイザー効果の関係

先行荷重を受けていないモルタル材料のA E発生特性は、図-2(1)に示すように、A Eが徐々に増加するa区間についてA E発生率がほぼ同等でその累積数が直線となるb区間が続き、最後にまたA Eが急増するc区間になって破壊する傾向が顕著にみられる。そしてb区間におけるカイザー効果は、図-2(2)にみられるように、先行荷重を受けた区間はA Eの発生が抑えられ、それ以上の荷重になると従来のb区間で発生するべきA Eが発生するものと思われる。したがって、同図のようなA E発生パターンを示す場合、その第一変曲点より先行荷重が推定でき、筆者らの行ったモルタル材料での先行荷重の推定結果と与えた先行荷重との誤差は、ほぼ15%以内であった。

4. モルタル材料の二軸先行載荷によるカイザー効果の方向性に関する検討

図-3に示すように、まず20cm角のモルタル材料に二軸試験機によって、 $\sigma_x = 80 \text{ kg/cm}^2$ 、 $\sigma_y = 120 \text{ kg/cm}^2$ の一定荷重を4日間にわたって載荷し続けた後その荷重を同時に除荷した。そして、直交3方向の供試体を切り出し、ハンチをつけて先行荷重の推定を行った。各方向の測定例を図-5に示したが、特に注目すべきは、z方向のA E発生状況で、図-2(1)に示した先行荷重を受けていない場合と同様の結果となった。XおよびY方向については、先行荷重の推定を行い、その結果を図-4にヒストグラムで示した。同図よりバラツキはあるが(標準偏差10~20 kg/cm^2)、それぞれの方向について先行荷重が推定できた。すなわちモルタル材料では方向によって異なる先行荷重を、カイザー効果としてそれぞれ記憶していることが判明した。

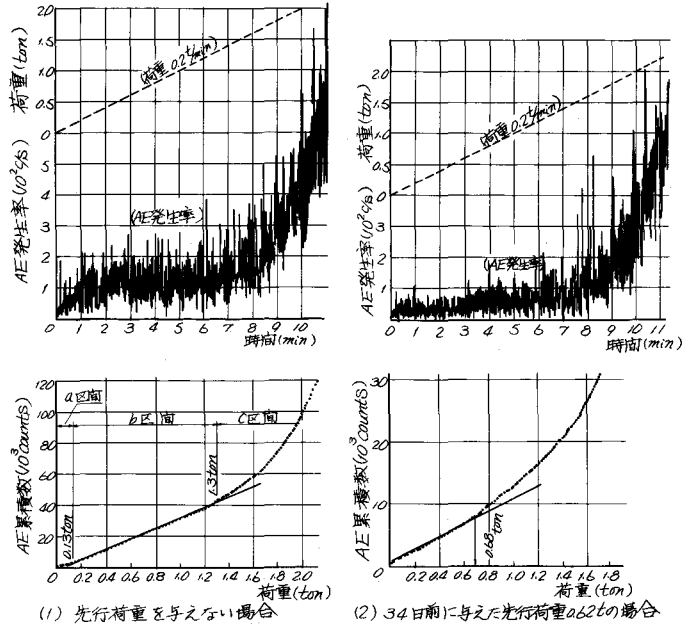


図-2 モルタル材料のA E発生特性とカイザー効果の顕著な例

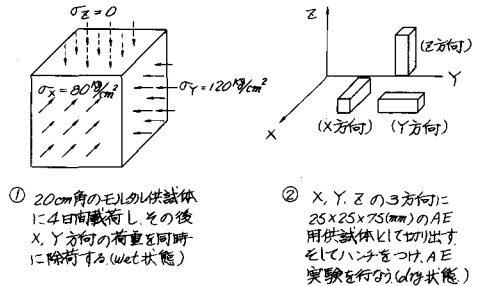


図-3 二軸試験の載荷方向と供試体の切り出し方向

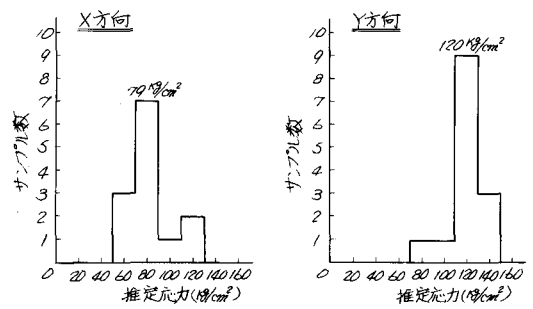


図-4 二軸載荷を行ったモルタル材料の先行荷重の推定結果

5. 泥岩のA E発生状況とカイザー効果の検討

カイザー効果の検討

現地でボーリング(φ89 mm)により採取した泥岩を、すぐにパラフィンシールし、湿潤状態のまま室内に持帰り、写真-2に示す形状に切り出して、すぐに試験を行った結果を図-6(1)に示す。また、同様に供試体を切り出し、室内に数日間放置した後試験を行った結果を図-6(2)に示す。両者を比較すると、強度は異なるが、ともに10 kg/cm²程度よりA Eが増加している。

実際の湿潤状態の地圧と室内で容易に実験できる乾燥状態での推定地圧とでは、かなりの相関があるように思われる。

図-7に泥岩のカイザー効果を調べた結果を示す。その結果、泥岩にもカイザー効果が存在することが判った。また同図の中央および下部にそれぞれ本測定装置のゲート機構を用いたA E累積数と荷重の関係を示した。すなわち、中央の図は供試体の上下に取り付けたセンサーによりA Eの発生位置を標定し、供試体の中央部より発生したA Eについて、中央のセンサーで捉えた波形のみをカウントした場合で、下の図は同様に供試体の中央部より発生したA Eについて、供試体下部のセンサーで捉えた波形よりカウントした場合の累積数である。第一変曲点まで累積数が直線的に増加しているのは、小さいA E信号を逃さないためにディスキミネータのレベルをかなり下げているため、

ノイズにより生じる現象である。両者の第一変曲点の荷重の値には若干の差はあるが、誤差15%を考えれば明瞭にカイザー効果が認められ、本ゲート機構がかなり有効であると思われる。また、中央のセンサーを主体として行ってきた本測定法も、このゲート機構の採用により、両端部のセンサーだけで測定が可能となることも

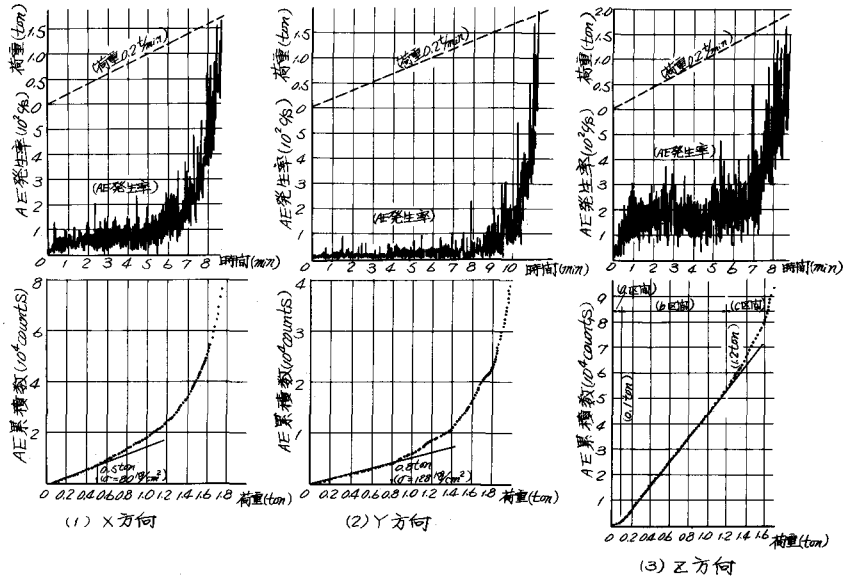


図-5 二軸載荷を行ったモルタル材料の各方向の先行荷重推定例

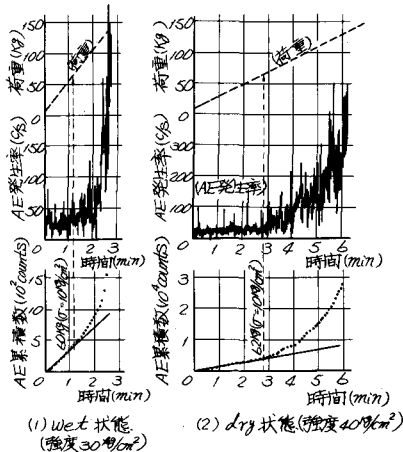


図-6 現地の状態を保ったwet状態の泥岩と室内乾燥させたdry状態の泥岩供試体におけるA E発生状況の比較 (FS地点)

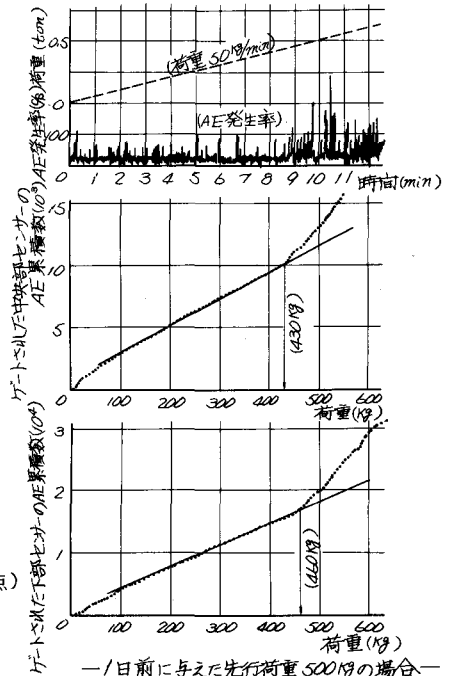


図-7 泥岩供試体におけるカイザー効果の検討 (測定装置のゲート機構を使用した例, H O地点)

考えられ、今後開発を予定している三軸試験によるAE測定にも十分に活用できるものと考えている。

6. 岩石への応用例

図-8に礫岩および花崗岩のカイザー効果について調べた例を示す。AE累積数の第一変曲点が、与えた先行荷重にほぼ等しく、カイザー効果の存在が明瞭に確認できる。特に礫岩の場合には、モルタル材料の場合とAEの発生状況が酷似しており、6 ton付近よりc区間に入る様子が明瞭に認められる。

図-9は緑色片岩の場合で、現地のオーバーコアリング法による地圧の測定結果と、同地点より採取した岩石についてAE法による地圧の推定結果を示したものである。当地点は、土木構造物築造のため、数年前に地山をカットし、現在では急勾配の岩盤からなる法面を形成している。この法面下部に地質調査用の試掘坑があり、オーバーコアリング法による地圧測定はこの試掘坑内において実施した。その結果同図に示すように、ほぼ現在の被り深さに対応する地圧が測定された。一方AE法においては、ヒストグラムで示したようにかなりのバラツキはあるが(岩石採取位置近傍に数本の断層が存在)、 1.4 kg/cm^2 程度の測定値が卓越しており、その値の掘削前の被り深さに対応する地圧の値と同程度となった。AEのカイザー効果の原理的な面を考慮すれば、掘削前の被り相当分の地圧を記憶していることは十分に考えられ、今後さらに検討を行う予定である。

7. 今後の課題

- (1) 現地におけるオーバーコアリング法とのケーススタディによる比較
- (2) 三軸試験によるAD地圧推定法の開発
- (3) 軟岩のAE測定技術の開発と含水量がカイザー効果に及ぼす影響の検討
- (4) 長期荷重と地震などの瞬時荷重によるカイザー効果の検討

8. 謝辞 本研究に対する岩石の提供およびオーバーコアリング法の実施に対し、各電力会社の関係の各位に深謝の意を表する。

9. 参考文献 (1) 金川・林・仲佐「岩石における地圧成分のAcoustic Emissionによる推定の試み」土木学会論文報告集 第258号, 1977年 2月
- (2) 金川・林・仲佐「岩石供試体から地圧の立体3成分を推定するAcoustic Emissionによる試み」第5回岩の力学国内シンポジウム, 1977年 2月

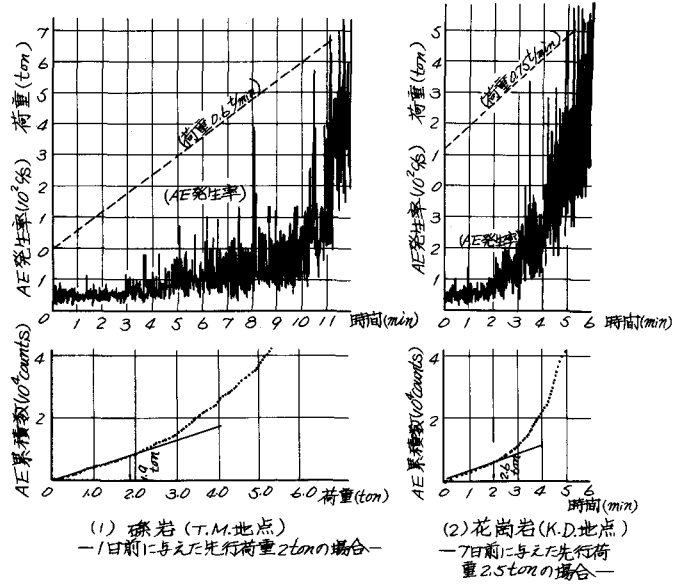


図-8 礫岩および花崗岩のカイザー効果の検討例

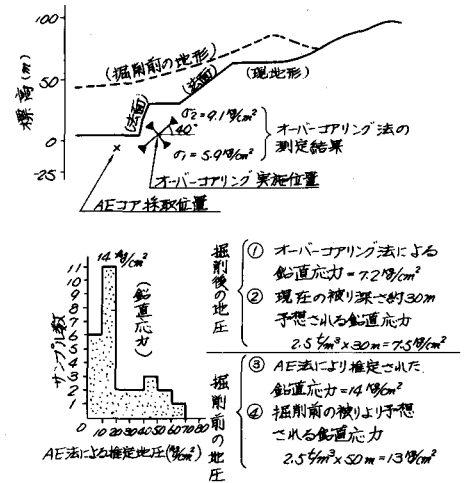


図-9 現地の岩石(緑色片岩)を用いたAE法による地圧推定例と同地点で行ったオーバーコアリング法による地圧測定結果の比較

Method of Estimation of Geo-Stress in Rocks Using the Kaiser Effect
of Acoustic Emission and Some Considerations

Tadashi KANAGAWA
Masao HAYASHI
Yoshihiro KITAHARA

Central Reserch Institute
of Electric Power Industry
Abiko, Chiba, JAPAN

Summary

We have been practising the estimation of geo-stress in rock samples using the Kaiser effect of A.E..
The followings show the results obtained by this experiment.

- (1) Improving the A.E. instrumentation system, it became possible to count signals emitted only from the middle part of the specimen.
- (2) As a result of measuring mortar materials pre-loaded from one direction, the maximum difference between estimated pre-load and the given one was less than 15%.
- (3) As a result of measuring mortal materials pre-loaded independtly from three perpendicular directions, it was found that mortar materials might remember different pre-load in each direction as the Kaiser effect.
- (4) At a construction site, the surface of which was deep cut in several years ago, comparing geo-stress components obtained by the conventional in-situ over-coring method with the ones determined by the A.E. method, the former corresponded to the existing overburden pressure and the later to the overburden pressure before cutting. Therefore the A.E. method might have tendency to estimate the historical maximum stress.