

(22) AEによって初期地圧を求めるための実験的研究

京都大学 名誉教授 正 村山 朔郎
摂南大学 講 師 正 道広 一利
大林組 技術研究所 正 藤原 紀夫
同 上 正○吉岡 尚也

1. はじめに

AEのカイザー効果を利用して、岩盤が有している初期地圧の推定を試みた例が、村山他¹⁾や金川他²⁾によって報告されている。村山他¹⁾は、その中で種々の形状を有した岩石供試体に、繰り返し载荷によって既知の先行応力を与えて、岩石におけるカイザー効果の存在を確認し、ついで花崗岩地山から採取した供試体におけるカイザー効果から初期地圧を推定している。

しかしながら、現位置における岩石は、地殻応力や土被り圧等による三主応力を長期にわたって受けている。しかも、このような三主応力状態のもとで、岩石にはクリープひずみが生じているはずである。したがって、現位置から採取した岩石供試体を用いて、岩盤内におけるある方向の初期地圧をカイザー効果から求めようとする場合には、カイザー効果が他方向からの初期地圧の影響を受けずに表われているかどうかを、まず解明しておかねばならない。ついで、クリープひずみを生じている岩石供試体において、カイザー効果がどのように表われるのかについても調べておく必要がある。そのため、これらの問題点を解明するために以下のような実験を行なった。

2. 実験方法

現位置における岩石は、三主応力を受けて残留ひずみが飽和した状態にあるので、室内においてこのようなひずみ飽和状態を再現するために、図1に示した大きさ $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ の立方供試体に、大きさの異なる三つの応力を繰り返し载荷によって与えた。すなわち、供試体のX方向に 9.8 MPa の応力で繰り返しを50回行ない、ついでY方向に 14.7 MPa の応力で繰り返しを50回行なう。さらに、Z方向に 19.6 MPa の応力で繰り返しを50回行なった。この50回という繰り返し载荷数は、繰り返しによる残留ひずみの増進がみられなくなる状態である。このような载荷方法で、現位置におけるひずみ飽和状態が再現された立方供試体から、図2のような円柱供試体をボーリングによって採取する。その後、この円柱供試体に単調载荷を行なつて、AEのカイザー効果を調べた。ところで、図1の立方供試体に与えた三主応力は、村山他¹⁾の方法によって推定した初期地圧の約1.3倍から2倍の大きさである。

また、現位置における岩石は、クリープひずみも飽和した状態にあるはずである。そのため、室内において径 3 cm 、高さ 6 cm の円柱供試体に、 14.7 MPa の応力をクリープひずみが一定になるまで作用させた。そして、除荷したのち再び 16.7 MPa まで応力を単調的に载荷することによって、この供試体から発生するAEを観測し、クリープひずみを生じた供試体におけるカイザー効果を調べた。

上述した実験に用いた岩石供試体は、稲田産の花崗岩で、約 300 m の土被りを有するところから採取されたものである。また、この実験において測定される量は、単調载荷時における軸圧と供試体の軸ひずみおよび供試体から発生するAE累積数である。ただし、AEの観測は、イベント

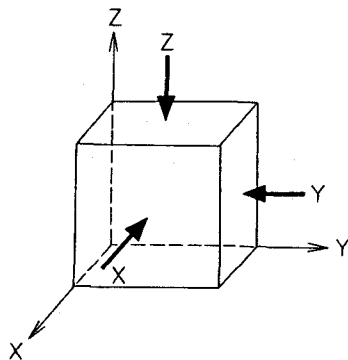


図1 立方供試体と三主応力の作用方向

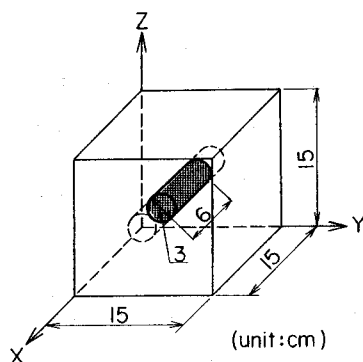


図2 三主応力を受けた岩石試料における円柱供試体の採取例

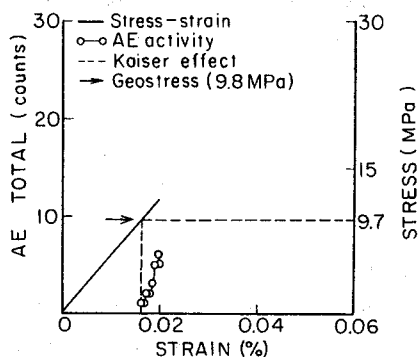


図3 X方向から採取した供試体における応力とひずみおよびAEの関係

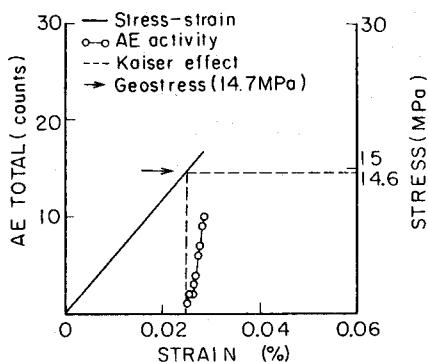


図4 Y方向から採取した供試体における応力とひずみおよびAEの関係

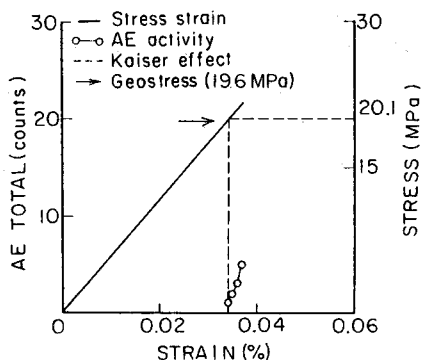


図5 Z方向から採取した供試体における応力とひずみおよびAEの関係

計数法によるものである。

3. 実験結果とその考察

3.1 大きさの異なる三主応力を受けた供試体におけるカイザー効果

現位置における岩石は、土被り圧などによる三主応力を長期にわたって受けており、この三主応力のもとで生じた岩石の残留ひずみは飽和した状態になっているはずである。このようなひずみ飽和の状態を室内において作り出すために、速い載荷速度で繰り返しを行なった。

図2は、繰り返し載荷を受けて残留ひずみが飽和した状態にある供試体のX方向の初期地圧を調べるために、円柱供試体を採取する位置を示したものである。ところで、図2の立方供試体に与えた三主応力は、X方向が9.8 MPa、Y方向が14.7 MPa、Z方向が19.6 MPaとなっている。この立方供試体から円柱供試体を切り出し、これに単調載荷を行なったときの応力とひずみおよび累積されたAEの関係を示すと図3のようになる。図3において、AEが最初に発生したところをカイザー効果であるとみなした場合、カイザー効果から推定されるX方向の初期地圧は9.7 MPaとなる。一方、立方供試体のX方向に与えられた応力が9.8 MPaであることを考えれば、カイザー効果から推定された初期地圧9.7 MPaは、Y方向およびZ方向からの初期地圧の影響を受けていないことがわかる。

つぎの図4と図5は、三主応力を受けて残留ひずみが飽和した新たな立方供試体から円柱供試体を切り出

し、それぞれY方向とZ方向における初期地圧をカイザー効果によって求めたものである。したがって、カイザー効果から推定されるY方向の初期地圧は14.5 MPa、Z方向の初期地圧は20.1 MPa となつて、この場合も初期地圧が精度よく推定されていることがわかる。

以上より、残留ひずみが飽和した状態にある岩石供試体における初期地圧は、AEのカイザー効果を利用することによって、精度よく推定できることがわかった。

3.2 クリープひずみを受けた供試体におけるカイザー効果

現位置における岩石は、長期にわたって三主応力を受けているだけでなく、この三主応力によってクリープひずみが飽和した状態にある。そのため、径3 cm高さ6 cmの大きさを有する円柱供試体に14.7 MPaの応力をクリープひずみが一定になるまで作用させた。そして、除荷したのち再び16.7 MPaまで応力を単調的に加えて、AEを観測した。このときの結果を応力とひずみおよび累積されたAEとの関係で描くと図6のようになる。図6において、応力14.7 MPaのもとで供試体に生じた全ひずみは0.031 %である。これに対し、再載荷時にひずみが0.032 %に達したとき、カイザー効果が表われている。このようにひずみに注目すると、AEのカイザー効果は、供試体に生じた残留ひずみに大きく依存していることがわかる。すなわち、カイザー効果から推定される応力は14.73 MPaとなり、与えた応力14.7 MPaにほぼ等しい。

さらに、つぎのような実験も行なった。すなわち、

円柱供試体に14.7 MPaの応力をクリープひずみが一定になるまで与える。そして、今現在供試体が受けている14.7 MPaの応力を9.8 MPaまで減少させ、この応力減少によって回復するひずみが一定になるまで、9.8 MPaの応力を作用させた。その後、一旦荷重を無負荷にし、再びこの供試体に単調的な応力を加えながら、AEの観測を行なった。これは、岩盤が地殻応力の変化あるいは風化に伴う土被り圧の変化等を受けたときのカイザー効果特性を調べるためのものである。

図7は、供試体に作用させていた応力14.7 MPaを9.8 MPaそして0 MPaへと除去し、その後16.7 MPaまで単調的に応力を加えたときの応力とひずみおよび累積されたAEの関係を描いたものである。この図におけるカイザー効果は、応力9.8 MPaを除去する直前に供試体が有していたひずみに依存して表われている。このため、この供試体が受けた最大応力は14.7 MPaであるが、カイザー効果から推定される応力は9.82 MPaとなる。この値は、供試体が最終的に受けていた応力9.8 MPaにほぼ等しい。

ところで、現位置応力測定法としてよく用いられている応力解放法は、解放ひずみが測定されているに他ならない。それゆえ、図6に示されている除荷時の解放ひずみは、応力解放法による解放ひずみに相当するものと考えられる。一方、図6と図7におけるカイザー効果は、応力が解放される直前に供試体に生じていたひずみに依存して表われている。したがって、カイザー効果から推定される初期地圧は、岩盤が過去に受

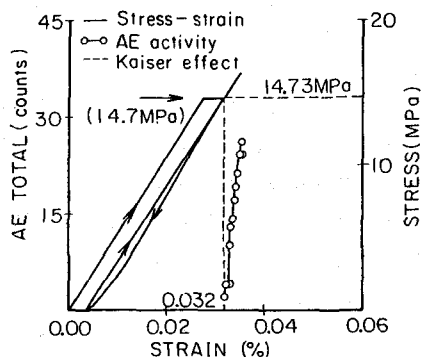


図6 応力14.7 MPaのもとでクリープひずみを受けた供試体のカイザー効果

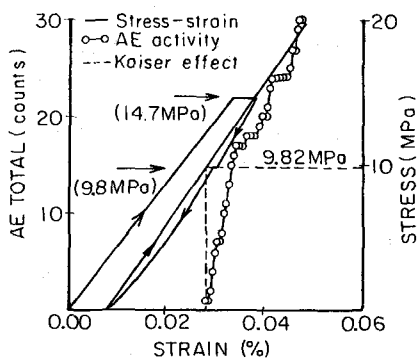


図7 応力減少によってひずみが回復した供試体におけるカイザー効果 (14.7 MPa から9.8 MPaになった場合)

けた最大の応力ではなくて、応力解放法によって求められる初期地圧にほぼ等しいと言える。

つぎの図 8 は、応力が解放されて供試体の残留ひずみが回復しつつあるいろいろな時点で A E を観測し、カイザー効果から推定された応力と残留ひずみの回復率との関係を示したものである。この図から、残留ひずみの回復率が 20 % 以内であれば、その供試体は応力が解放される直前に受けていた応力を記憶していることがわかる。ちなみに、応力が解放されてから残留ひずみが 20 % 回復したときは 4 日目であった。このことは、現位置から供試体を採取した後、4 日以内に初期地圧の推定を試みなければならないことを暗示している。なお、この実験で与えた応力は、すべての供試体とも 14.7 MPa であった。

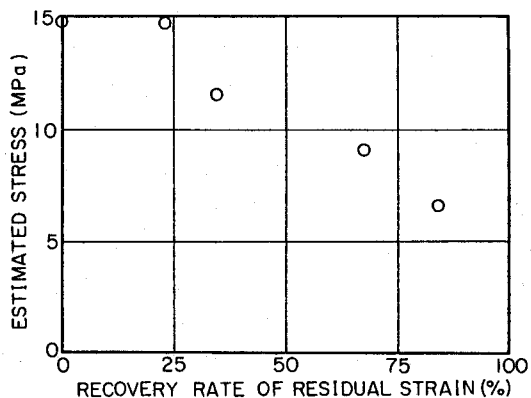


図 8 カイザー効果によって推定された応力と残留ひずみの回復率との関係

4. おわりに

岩盤内の初期地圧を推定するために、A E のカイザー効果を利用することができる。そこで、カイザー効果を利用する上での問題点の解明をはかった。得られた結果をまとめると以下のようになる。

- 1) 繰り返し载荷によって、大きさの異なる三主応力が与えられた立方供試体から円柱供試体を採取する。そして、カイザー効果を利用して初期地圧を推定したところ、推定された初期地圧は、互いに異なる方向からの初期地圧の影響を受けていないことがわかった。
- 2) ある応力のもとで、クリープひずみが飽和した供試体のカイザー効果は、ひずみに依存して表われている。言い換えれば、このひずみを生じさせた応力がカイザー効果から推定されていることになる。
- 3) A E のカイザー効果から推定された岩盤内の初期地圧は、岩盤が過去に受けた最大応力であると言われている。しかし、今回行なった実験によると、現在供試体に生じているひずみに依存した形でカイザー効果が表われている。それゆえ、カイザー効果から推定される初期地圧は、岩盤が現実を受けている応力であると言える。
- 4) 現位置から採取された供試体を用いて、カイザー効果から初期地圧を推定する場合には、残留ひずみの回復率が 20 % 内、すなわち応力が解放されてから 4 日以内に実験しなければならない。

なお、この研究を進めるにあたり、榎大林組技術研究所の畑浩二研究員から多大な援助を戴いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 村山朔郎, 道広一利, 斉藤二郎, 藤原紀夫, 吉岡尚也, 畑浩二; アコースティック・エミッションによる初期地圧の推定方法, 第 16 回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.160 ~ 164, 1984
- 2) 金川忠, 林正夫, 仲佐博裕; 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, pp.63 ~ 75, 1977

(22) Study on Estimating Geostresses by Acoustic Emission

S. MURAYAMA

Professor Emeritus, Kyoto University

K. MICHIIRO

Lecture, Setsunan University

T. FUJIWARA, H. YOSHIOKA and K. HATA

OHBAYASHI Corporation

ABSTRACT

Since a triaxial stress condition is common in rocks, the effects of stresses in different direction from the loading direction was investigated to interpret the Kaiser effect of AE. Cubic specimens with dimensions of 15cm x 15cm x 15cm were subjected to repeated stresses of fifty cycles in three principal directions. The stresses which were applied in the X, Y and Z directions one after another were 9.8, 14.7 and 19.6 MPa, respectively. And monotonous stress was given to applied to a specimen cored from X direction up to 11.8 MPa. As a result, the previous stress could be estimated without adverse effects of stresses in other directions by means of the Kaiser effect of AE.

Additionally, creep strains of rock under in-situ stress conditions are considered to have reached steady state, referred to as saturated strain state here. Cylindrical specimens in the saturated strain state were prepared at the laboratory under a constant stress of 14.7 MPa to achieve a constant rate of creep strain. After removal of the applied load, reloading stress of 16.7 MPa was gradually applied on the specimen to monitor its AE activities. Therefore, it is possible by means of the Kaiser effect of AE to find the previous stress which corresponds to the same strain as the maximum one for the previous unloading event.

It is clearly concluded from the results of the experimental studies described here that geostresses of granite in saturated-strain state can be estimated by means of Kaiser effect of AE even when there are different principal stresses.