

地下発電所など大規模な地中構造物建造のさいに、その空洞掘削時の力学的安定性に及ぼす一つの要因として、初期地圧の大きさおよび作用する方向が挙げられる。しかしながら、初期地圧の測定についてみると、その測定は必ずしも容易ではなく、また精度も十分ではない。ここでは、孔内にひずみ計を埋設して応力解放を行なった場合について実測結果と計算による推定値との比較について述べ、さらに一つの試みとして *Acoustic Emission* より初期地圧の推定を行なった結果について述べる。

している。計器は坑壁より 5～15 m の深さに埋設して計測を行なう。

オーバーコアリングによる実測ひずみ ϵ_0 は、初期地圧 S_0 、二層円筒の形状効果により生ずる応力 $\Delta S_1(S_0)$ およびセメントミルクの剛性により生ずる応力 $\Delta S_2(S_0)$ の和 $S_0 + \Delta S_1(S_0) + \Delta S_2(S_0)$ に対応する解放ひずみである(図-2)。求めたい値 S_0 は、この ϵ_0 と S_0 のひずみ感度 E が判れば定めることができる。この E は、二層構造の円柱の外圧に対する円柱軸方向および半径方向のひずみ感度に相当するので、単純な材料試験では求められない。そこで、現地でオーバーコアリングした岩石コア・埋設計器・セメントミルクが一体となった供試体を実験室に持込み、三軸試験によって $\Delta S_1(S_0)$ および $\Delta S_2(S_0)$ を再現するような状態で E を決定した。本来は三方向異なる応力を与える三軸試験による

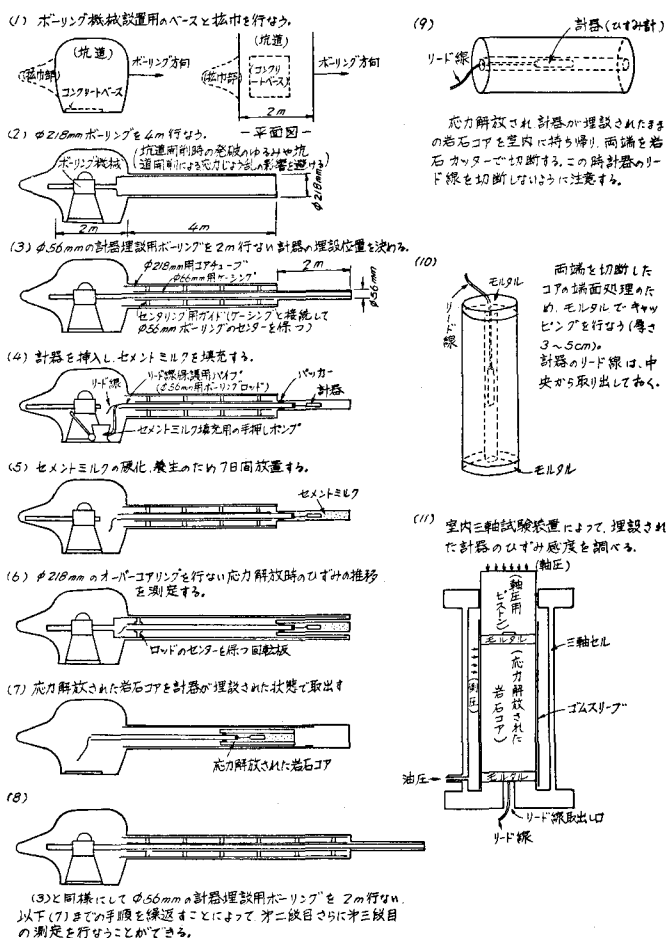


図-1 初期地圧の計測手順

べきであるが、装置が複雑すぎるので、側圧一定の三軸試験の方式をとった。

4. 孔軸方向と孔径方向のひずみ感度の違い（剛性の異方性の検証）

ひずみ感度 E は、孔軸方向と孔径方向でかなり異なった（図-5）。そこで、まず孔軸方向のひずみ感度について調べるために、図-3の(1)ボーリング孔のない岩体だけの場合と、(2)ボーリング孔内が中空の場合の単純な2ケースについてのひずみ感度を比較してみる。 S_0 は A_1 にだけ作用するものとする。供試体の外径、内径は $2a = 196\text{mm}$, $2b = 56\text{mm}$ であるので、(1)の場合のひずみ感度は $E_{L1} = S_0 / \varepsilon_{L1} = 1.09 E_R$, (2)の場合は $E_{L2} = S_0 / \varepsilon_{L2} = E_R$ となる。そこで、ボーリング孔内

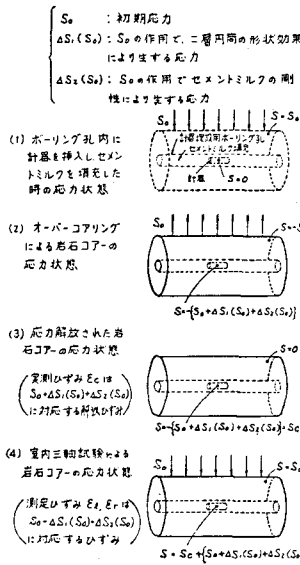


図-2 応力状態の変化

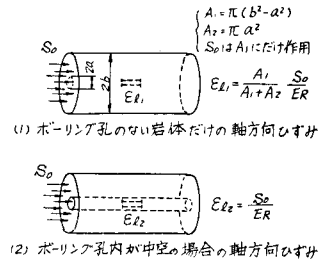


図-3 軸方向ひずみの違い

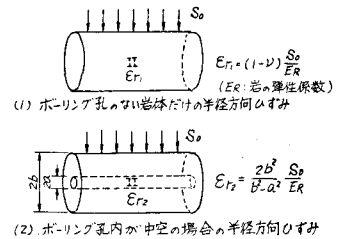


図-4 半径方向ひずみの違い

にセメントミルクが填充された実際の場合を考えると、セメントミルクの剛性 E_c は通常 E_R より小さいので、実際の孔軸方向のひずみ感度 E_L は $E_R < E_L < 1.09 E_R$ であることが想定される。つぎに、孔径方向のひずみ感度 E_r について、図-4より同様に調べると、ポアソン比 $\nu = 0.25$ を仮定すれば、 $E_{r1} = (1 - \nu) S_0 / \varepsilon_{r1} = E_R$, $E_{r2} = (1 - \nu) S_0 / \varepsilon_{r2} = 0.34 E_R$ となり、 $E_c < E_R$ を考慮すると、 $0.34 E_R < E_r < E_R$ となる。したがって、 $E_r < E_R < E_L$ であり、図-5の実測例においても孔軸方向のひずみ感度に比べ孔径方向のひずみ感度の方が小さくなったものと思われる。ただし、異方性の性質を持つ岩の場合にはこの限りではない。

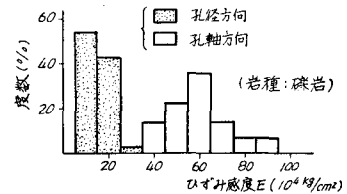


図-5 ひずみ感度の実測例

5. 初期地圧の算出法

図-6に算出手順を示す。孔軸方向と孔径方向のひずみ感度 E は異なるのでそれぞれの E を用いて、実測ひずみ ε_c を等方体としてのみかけのひずみ ε に補正してのち、地山の三次元初期地圧を算出した。その結果は8節に述べる。

6. 計測時の解放ひずみの推移の予測

図-7にオーバーコアリングの進行に伴う解放ひずみの推移の予測を計算した結果を示す。その結果、(a)孔軸方向については、軸圧と周圧の比率の差により解放ひずみの推移が異なった。また、(b)孔径方向については、セメントミルクの剛性 E_c の違いにより、解放ひずみ ε_c が著しく異なることが判った（この E_c の差による ε_c の

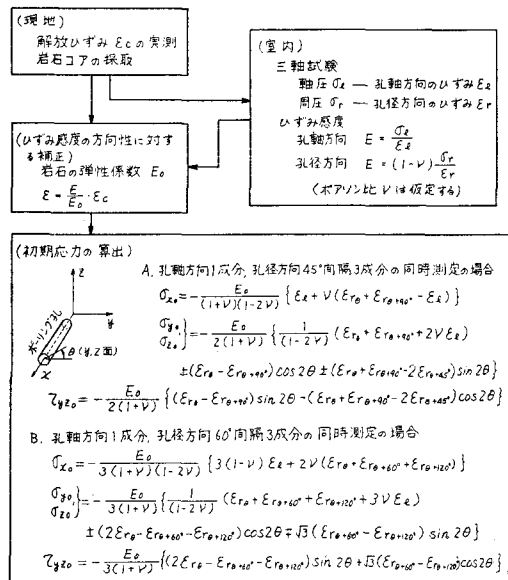


図-6 初期地圧の算出手順

違いについては、4節で述べたひずみ感度に表現され、補正された後に初期地圧が算出される。

つぎに、孔軸方向と孔径方向の解放ひずみの推移を比較すると、両者にはかなり特徴的な違いが認められる。すなわち、孔軸方向は一度ピーク値が現われ、その後安定するのに対し、孔径方向は最初圧縮され、その後解放ひずみとして安定する。この現象は、オーバーコアリング先端の切りかき部に地圧の作用で発生する応力集中の影響が埋設計器にまで及ぶためと思われる。したがって、計測時にはこれらの影響がなくなるまで十分にオーバーコアリングし、安定値を確認する必要がある。

7. 解放ひずみの計測例

図-8に計測例を示す。孔軸方向と孔径方向の解放ひずみの各特徴は、6節で予測した特徴とかなり一致している。したがって解放ひずみの推移を調べることにより、その計測が正しく行なわれたかどうかの推定をすることができ

8. 自重による地山の応力の推定と計測結果の比較

計測地点の地形状態を考慮し、有限要素法により、

自重による地山の

三次元応力計算を行ない、実測値と比較を行なった。

図-9に計算モデル・密度・変形係数を示す。変形係数は、現地のボーリングコアのR.Q.D.を参考に決定した。表-1

表-1 計算値と実測値の比較

	計算値 (kg/cm^2)	実測値 (kg/cm^2)
σ_x	-49	-51
σ_y	-54	-28
σ_z	-45	-44
τ_{xy}	0	-24
τ_{yz}	-32	-28
τ_{zx}	-1	-11
σ_1	-17	-3
σ_2	-49	-37
σ_3	-82	-83

図-9 地形状態を考慮した自重による地山の三次元応力計算 (F.E.M.)

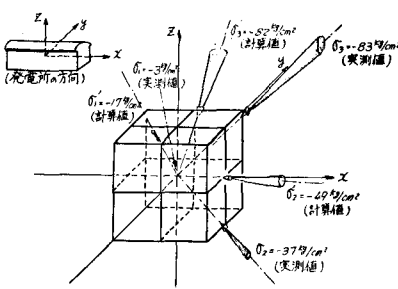


図-10 主応力の大きさと方向の比較

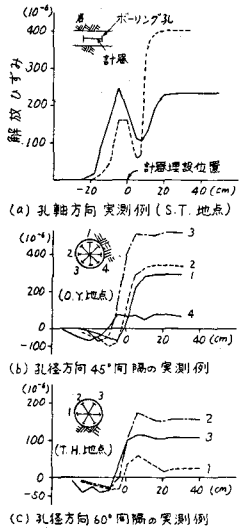


図-8 解放ひずみの実測例

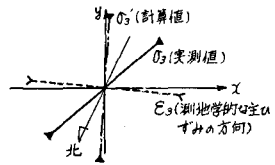
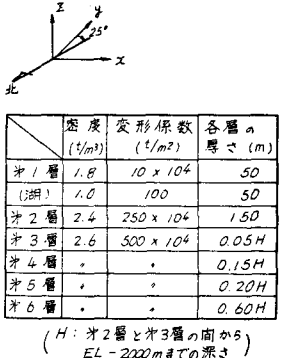


図-11 水平面内に投影した計算値・実測値および測地学的な主ひずみの方向の比較

に計算値と実測値の比較、図-10に主応力の大きさと方向の比較を示した。主応力の大きさは両者でかなりの一致をみたが、その方向は約45°の差を生じた。計算値の σ_3 の方向は、図-9の山頂の方向とほぼ一致している。計算値と実測値が異なった理由は、計算では断層や地層の違いを表現しなかったこと、地殻変動による地圧の変化が考慮できないこと、および実測値の精度が十分でないことなどが挙げられる。図-11に最近60年間

の一等三角点測量結果より算出した測地学的な主ひずみの方向と計算値および実測値の最大圧縮主応力の方向を示した。角度にして45°の違いはあるが、両者間にはある程度の関連がみられ、今後さらに検討したい。

9. Acoustic Emission (AE) の Kaiser

効果を利用した初期地圧推定の試み

AEは材料が応力を受けたとき、超音波振動を生ずる現象であり、従来金属材料関係の非破壊試験関係で多く利用されてきた。そして、材料に作用する応力を漸増させ、その応力値が過去に受けた値を超えるまではAEが発生しないという現象(Kaiser効果と呼ばれる)が知られている。このKaiser効果の有無を岩石について検証してみた。

まず、供試体にあらかじめ1.5 tonの圧縮荷重を先行荷重として与えたのち、図-12に示したように、今度は2 tonまで載荷した。その結果1.5 ton付近より

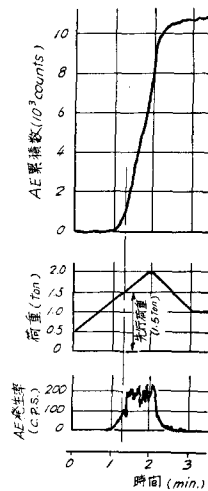


図-12 岩石のKaiser効果(花崗岩)

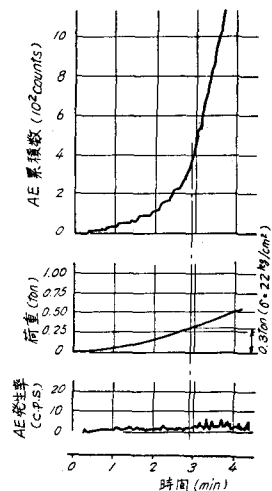


図-13 初期地圧の推定(花崗岩)

より急激にAEが増加することが判り、Kaiser効果の存在が確認された。このKaiser効果を利用して、ボーリングコアより地圧の推定を試みたところ、図-13に示したように、明確ではないが約2.2%程度の先行荷重を受けたコアであることが想定された。当地点のオーバーコアリング法による初期地圧の測定結果によれば、同じ方向で3.4%の値となった。両者の測定位置が若干異なるので、直接比較はできないが、本測定法についても更に研究を進めたいと思う。基本的課題としては、(1)先行荷重とKaiser効果の関係、(2)応力解放後の時間経過とKaiser効果の関係、(3)Kaiser効果の異方的性質、(4)側圧がKaiser効果に及ぼす影響、(5)含水量の違いがKaiser効果に及ぼす影響、(6)長期荷重と地震などの瞬時荷重によるKaiser効果の違い、(7)岩石に適切なセンサの検討およびAEの分析手法の検討などが挙げられる。

10. 今後の問題点

- (1) 1ヶ所の計測で3次元応力6成分が決定できる計測法の開発
- (2) 断層などの地質構造が地圧の大きさや方向に及ぼす影響
- (3) 地殻変動による地圧への影響
- (4) AEのKaiser効果を利用した初期地圧計測法の研究
- (5) 軟岩・軟弱地盤での初期地圧計測法の開発

11. 謝 辞

本研究を行なうに当たり、電力各社の地下発電所関係各位および計測に従事していただいた多くの方々に、ここに深く謝意を表します。

12. 参考文献

- (1) 林・日比野・金川 “地下発電所の掘削に関する弾塑・粘性解析と実測などの問題点” 第3回岩の力学国内シンポジウム, 1970年11月.
- (2) 林・日比野・金川 “地下の掘削における初期地圧, 偏圧などに関する二, 三の問題点” 第7回岩盤力学に関するシンポジウム講演概要, 1972年 2月.
- (3) 原田・葛西 “最近60年間における日本の地殻の水平歪” 測地学会誌, 第17巻 第1・2号, 1971年.

Some Problems on the Measuring Methods of Natural Ground
Pressure

Tadashi KANAGAWA
Masao HAYASHI
Satoshi HIBINO

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

Summary

Mechanical stability of a large cavity excavated for an underground structure, such as a power plant, partly depends on the state of natural ground pressure. The over-coring methods, however, have many problems on accuracy and technique.

Main results are followed:

- (1) There is a difference between E_l and E_r , where E_l and E_r are apparent Young's moduli of a core specimen in the direction of an axis of the core and in the direction of a normal to the axis respectively. E_l is greater than E_r and E_r/E_l is about 0.3.
- (2) Comparison between measured natural ground pressure and calculated one showed fairly good agreement.
- (3) The Kaiser effect of Acoustic Emission was tried to apply for measuring residual ground pressure.