

大成建設機技術研究所

正会員

里 優

青木智幸

中尾健児

1. 諸 言

岩盤は、多くの場合空隙に水を蓄えており、空洞の掘削によって自由面が形成されると、この間隙水は直ちに移動を始める。本報告では、この水の移動が岩盤の変形や応力状態に及ぼす影響について実験的に検討した結果を示す。

2. 支配方程式の検討

飽和した岩石の体積変化は、図-1に示すごとく非排水状態で外力により生じたもの（図中の過程4）と排水により生じたもの（同3）に分けて考えることができる。さらに非排水状態での体積変化は、排水を許して岩石に外力を付加した場合のもの（1）と、このとき排出された水量を逆に岩石に圧入し生じたもの（2）に分けられる。変形が拘束されていない場合に、水の流入出に伴う岩石の体積変化及び間隙水圧の変化が（8）式により表わされるとすれば、非排水状態での応力-ひずみ関係は（1）式又は（2）式で表わされ、従って全体積変化は（3）式又は（4）式で表わされる。ここに、 β は、変形が拘束されていない場合の間隙水圧に対する岩石の変形性を表わす定数である。いま仮に $1/\beta$ が排水時の体積剛性 K_d に等しいとすれば（即ち外力に対しても間隙水圧に対しても岩石が同様に変形すれば）、（3）式は飽和土の構成式と同形となる。

他方、飽和した岩石では（5）式で表わされる質量保存則が成り立つ。（5）式では、（7）式で示すような体積変化と空隙率変化の関係を仮定した。式中の定数 C は、岩石の構成粒子が剛体であれば1となる。（5）式を用い非排水状態での岩石の体積変

$$\epsilon_v^u = \epsilon_v^a + \epsilon_v^b$$

$$- \frac{\sigma_m}{K^u} - \beta \phi^u \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\text{又は } \epsilon_v^u = - \frac{\sigma_m}{K^u} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\epsilon_v = \epsilon_v^u + \epsilon_v^d$$

$$- \frac{\sigma_m}{K^d} - \beta (\phi^u + \phi^d)$$

$$- \frac{\sigma_m}{K^d} - \beta \phi \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\text{又は } \epsilon_v = - \frac{\sigma_m}{K^u} + \epsilon_v^d \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left[K_{ij} \frac{\partial \phi}{\partial x_j} \right] = - \frac{n}{K_w} \frac{\partial \phi}{\partial t} + \rho C \frac{\partial \epsilon_v}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{\partial \epsilon_v^u}{\partial t} = - \frac{n}{\rho C K_w} \frac{\partial \phi^u}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{ここに}$$

$$\frac{\partial n}{\partial t} = C \frac{\partial \epsilon_v}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$\epsilon_v^d = - \beta \phi^d \quad \dots \dots \dots (8)$$

ϵ_v^u : 非排水時の体積ひずみ

ϵ_v^d : 排水時の体積ひずみ

K^u : 非排水時の体積剛性

K^d : 排水時の体積剛性

ϕ^u : 非排水時の間隙水圧

ϕ^d : 排水時の間隙水圧

K_w : 水の体積剛性

n : 空隙率

K_{ij} : 透水係数

ρ : 水の密度

ただし、 ϵ_v^d 、 ϕ^d は変形が拘束されていない場合に水の流入出によって生じたひずみ及び間隙水圧

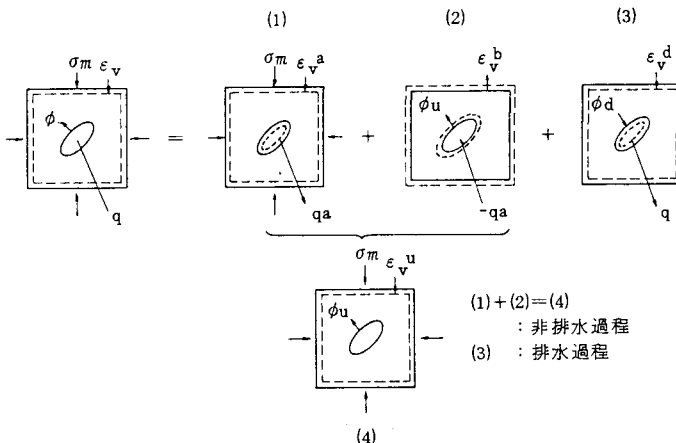


図-1 岩石の変形と間隙水の相互作用

化と間隙水圧変化の関係を求めると(6)式が得られるが、外力により体積変化を生じさせ、このときの間隙水圧を計測することによりCを求めることができることがわかる。

3. 定数 β 及びCについて

飽和した岩石の挙動は、(3)式及び(5)式により表わされることがわかった。これらの式で $1/\beta = K_d$, $C = 1$, $K_w \rightarrow \infty$ の場合はこれらの式は土の圧密方程式と同形となる。そこで、島根県産の来待砂岩(乾燥一軸強度38MPa, 空隙率22.6%)を用い、 β 及びCの値を調べてみた。

図-2~6に実験結果を示す。図-2及び3は、非排水状態で等方圧を作用させた場合の圧力、ひずみ、間隙水圧の関係を示している。図-2からは、岩石が非排水状態でも変形することがわかり、また図-3からは、この変形と間隙水圧の変化との間に線形的な関係があることがわかる。図-3での比例定数は(6)式で与えられており、これを用いてCを算定すると、

$$C = 1.16$$

が得られた。図-4~6は、排水状態で等方圧を作用させ、この後間隙水圧を加えるという操作を数回くり返して得られた圧力、ひずみ、間隙水圧の関係である。図-5からは本岩石の排水状態での体積剛性 K_d が、また図-6からは、間隙水圧変化に対する岩石の変形性を表わす定数 β がそれぞれ求まる。得られた値を示すと次のとおりである。

$$K_d = 4.35 \times 10^3 \text{ MPa}, 1/\beta = 4.76 \times 10^3 \text{ MPa}$$

4. 結 言

本報告では、岩石の変形と水の移動に関する支配方程式を検討するとともに、式中の定数を実験的に求めてみた。得られた値は、 $C = 1$, $1/\beta = K_d$ であり岩石の構成粒子が極めて硬いものであることを示しており、同時に、岩石の構成式においても土の場合と同様に間隙水圧の効果を考慮できることを示唆している。ただし、飽和した岩石で瞬時変形が生ずることや、加えた外力と間隙水圧が等しくならないことは土の場合と大きく異なり、注意が必要である。ともかく、水の移動は岩石の変形に大きな影響を及ぼし、このことには充分配慮して岩石の性質を検討しなければならない。

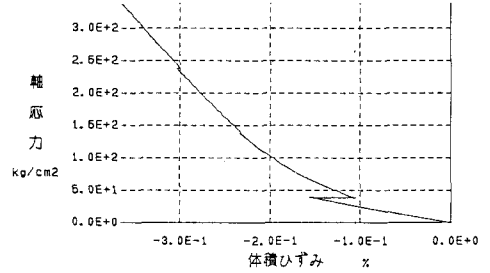


図-2 等方圧と体積ひずみ(非排水)

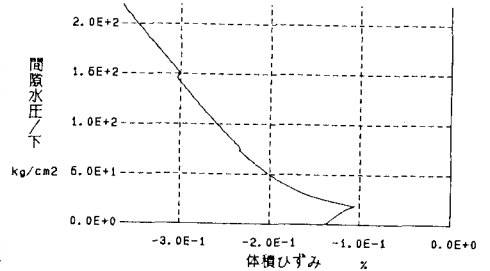


図-3 間隙水圧と体積ひずみ(非排水)

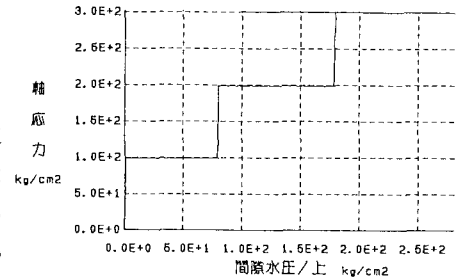


図-4 载荷経路(排水)

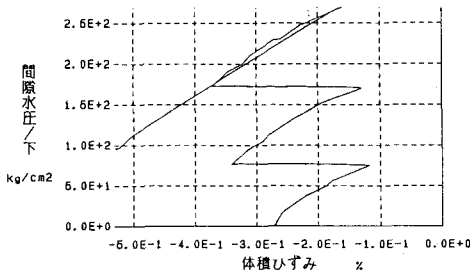


図-6 間隙水圧と体積ひずみ(排水)

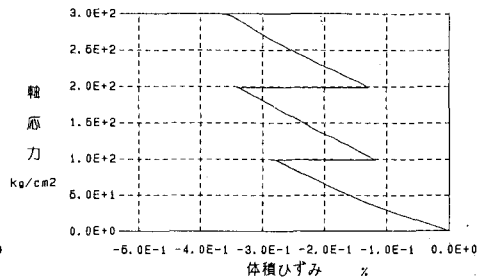


図-5 等方圧と体積ひずみ(排水)