

京都大学工学部 赤井 浩一
 京都大学工学部 大西 有三
 京都大学大学院 O八嶋 厚

1. まえがき

地盤内に働く主応力の大きさと方向を知る事は、地盤の変形を理解していく上において、非常に重要な事である。初期地圧測定方法としては、従来より、応力解放法、応力再現法などがよく用いられているが、本研究においては、水の圧力を利用して岩石を破壊させる、水圧破砕(Hydraulic Fracturing)という考え方を採用し、モデル実験を行ってきた。今回は、破壊の際の応力状態に影響を与える因子として、特に内圧上昇率(Pressurization rate)に着目し、これが水の貫入係数(Degree of Penetration) α と相関を持って、実験結果にどのように影響しているのかを調べた。また、このモデル実験の結果から実際の岩盤における応力測定の際に起こり得る問題点について考察を加える。

2. 実験概要

今回の実験に用いた試料は、新元三紀鮮新世、福岡層に属するもので、粒度分析の結果、砂質シルト岩と判断される。物理的性質は、表-1に示した通りである。また材料としては、ほぼ等方質である。この試料を実験室において、外径: 5cm, 内径: 1cm, 長さ: 9cmに成形し供試体を作る。この供試体を図-1に示すような装置にセットし、軸圧: 8kg/cm², 側圧: 2kg/cm², Back Pressure: 1kg/cm²を各々作用させた後、供試体の飽和、システムからの空気の追い出し、透水の安定などのために1日間放置する。1日後、ニードルバルブのつまみと調節しながら内圧上昇率の値を0.1〜100 (kg/cm²)/min.の各値に固定して、何回かの実験を重ね、傾向をつかんでゆく。

3. 実験結果

用いた供試体を弾性体と仮定し、中空円における軸対称問題として応力分布を解くと、円孔壁面での接線方向の有効応力 σ_{θ} は、

$$\sigma_{\theta} = \frac{1}{8} (12.503 - 6.5R) - u \quad (2-1)$$

(σ_{θ} : 側圧, R : 内圧, u : 内孔壁面での間隙水圧) として表わされる。今回の実験においては、内圧上昇率として0.1 (kg/cm²)/min. を採用した場合には、便宜上、図-2(a)に見られるようなFull Penetrationを仮定しており、この時は、各内圧に対して常に定常浸透が起こるものと考えている。この時、(2-1)式における u の値は、内圧 R に一致する。しかし、内圧上昇率を徐々に上昇させて実験を重ねていくと、非定常浸透の度合いが高まり、図-2(a)に見られる浸透遅れを生じる。

PHYSICAL PROPERTIES	
Dry density	$\gamma_d = 1.14 \text{ g/cm}^3$
Wet density	$\gamma_t = 1.68 \text{ g/cm}^3$
Void ratio	$e = 1.22$
Porosity	$n = 55.0 \%$
Degree of saturation	$S_r = 100.0 \%$
Water content	$w = 47.5 \%$
Specific gravity	$G_s = 2.561$

表 - 1

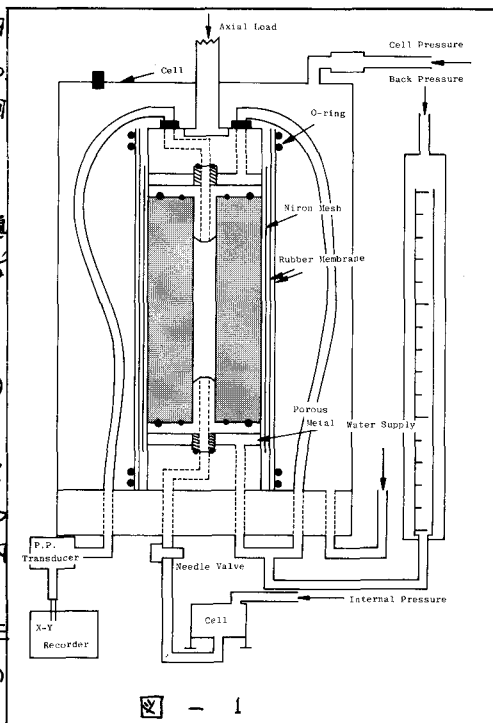


図 - 1

この時、内孔壁面との間がキ水圧 u は、

$$u = \text{Back Pressure} + \alpha \cdot \Delta P_i \quad (3-2)$$

(α : 水の浸入係数, ΔP_i : 内圧の増分)

として表わされる。 α は内圧増分の何割を内孔壁面へ浸透させるかを示しており上述のように、図-2(1)では、 $\alpha = 1.0$ 、図-2(2)では、 $0 < \alpha < 1.0$ 、図-2(3)では、 $\alpha = 0$ をそれぞれ示している。実際の岩盤における応力測定の際には、図-2(1)の状態を想定している。

さて、今回の実験において、それぞれの内圧上昇率における破壊時の内圧の値 (Breakdown Pressure) は図-3に示したとおりであり、内圧上昇率の上昇に伴って、Breakdown Pressureは曲線的に上昇している。 $0.1 \text{ (kg/cm}^2\text{)/min.}$ における Breakdown Pressure から $\alpha = 1.0$ として σ'_b を計算すると、 $\sigma'_b = 5.92 \text{ kg/cm}^2$ という値を知る事ができる。いまこの値をこの供試体の引張強度と考えると、(3-1)、(3-2)式より、

$$\frac{1}{8}(12.5\sigma'_b - 6.5P_b) - (\text{Back Pressure} + \alpha \Delta P_i) = -5.92 \quad (3-3)$$

という式が導き出される。(3-3)式にそれぞれの内圧上昇率における Breakdown Pressure を図-3から読み取って代入すると、それぞれの場合における水の浸入係数 α が求まる。これを図-4に示す。また内圧上昇率の軸を対数で取れば、図-4の曲線は直線関係として表わす事ができ、内圧上昇率 $2.0 \text{ (kg/cm}^2\text{)/min.}$ で、 $\alpha = 0$ とする事ができる。この事は、内圧上昇率が $0.1 \text{ (kg/cm}^2\text{)/min.}$ で、 $\alpha = 1.0$ を仮定した場合、 $2.0 \text{ (kg/cm}^2\text{)/min.}$ では不透水状態を想定できるという事である。次に、実際の岩盤における掘削孔壁面の応力分布は、

$$P_b = T + 3\sigma'_b - \sigma'_r - u \quad (3-4)$$

(P_b : Breakdown Pressure, T : 岩盤の引張強度)

となる。仮定として u の値は $\alpha = 0$ と仮定しているが、透水性の良い岩盤内圧上昇率が低い範囲では、 α は、 $0 < \alpha < 1$ の値を持ち、 P_b 値も真実の値よりも低下させ、そのため地盤内の最大主応力の推定値は多少小さくなる事が予想される。本研究の補足実験として、内孔にメンブレーンをはかせて、人為的に不透水状態、つまり $\alpha = 0$ を作り出し、同条件で実験を行った結果、破壊時における σ'_b は予想以上に負の方向に大きな値を示し、この事からも、内圧上昇率が、 $0.1 \text{ (kg/cm}^2\text{)/min.}$ において $\alpha = 1.0$ を仮定した事には不備のある事がわかった。今後の実験としては、内圧上昇率の範囲をさらに広げて、より低い内圧上昇率で $\alpha = 1.0$ を仮定したい。

4. まとめ

実際の岩盤においては、内圧上昇率の適切な選択によって、不透水状態($\alpha = 0$)を作り出すわけであるが、これを完全に得る事は不可能であり、今後残された課題である。

参考文献: 八嶋 厚 "軟岩の水圧破壊と透水係数の応力依存性についての実験的研究" 京都大学卒論, 1979

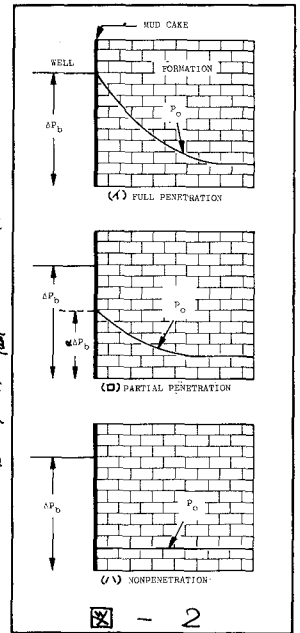


図 - 2

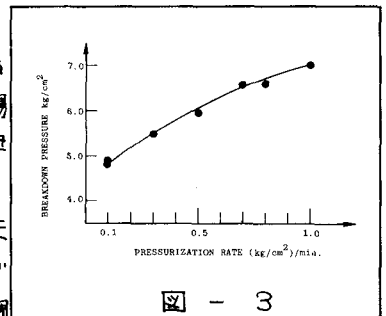


図 - 3

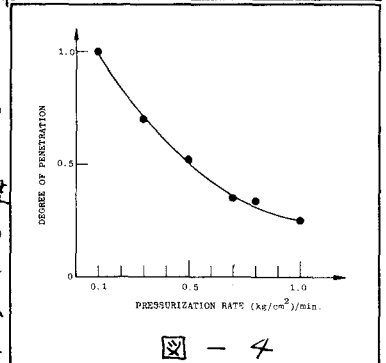


図 - 4