

(44) 間隙水圧変化による堆積岩の収縮・膨張実験

地質計測 (株)

○ 兼 間 強

工業技術院 地質調査所

小 出 仁

1. まえがき

静岡県御前崎の半島が一年周期で上下変動していることが、水準測量の結果より観測されている¹⁾。この原因の一つとして地下水位の季節変化の効果が考えられている。また、地下水汲み上げ等による地下水位の変動に伴う地盤変動の例は、数多く報告されている。地盤変動の原因として、堆積層中の間隙水圧の変化が重要な役割をしている例が多い。本報告は、堆積岩について間隙水圧を変化させ、その収縮・膨張量を測定し、実験結果から地下水位の変化に伴う地盤変動を評価したものである。

2. 実験方法

試験試料

試験試料は、静岡県小笠郡浜岡町の国立防災科学技術センターによる佐倉観測井のボーリングコアから、28m, 35m, 48m, 98m, 201m, 252mの6深度の試料を使用した。上部の2試料は、第四紀の軟質なシルトで、下部の4試料は、新第三紀層・相良群層の砂質泥岩である。

実験装置

試験は、物性試験と間隙水圧変化による収縮・膨張試験を実施した。

間隙水圧の変化による収縮・膨張実験の実験システムを図-1に示す。試料の形状は、直径50mm、高さ約100mmの円柱状の試料である。試料を吸水飽和させた後モールド内にセットし、側方変位を拘束した状態で、採取深度に見合った上載荷重をかける。間隙水圧は試料の端面のポーラーストンを介して変化させている。図-2には、各試料の採取位置、上載荷重の値及び間隙水圧の変化の範囲を示した。上載荷重は、採取位置の地圧の値まで数ステップで増加させ、同時に上載荷重の約80%の間隙水圧を作用させる。所定の荷重に達した後は、上載荷重は一定とし、間隙水圧を数kg/cm²のステップで変化させ、試料の変位量を測定した。間隙水圧の変化に伴う変位は、クリープ的な変位を示す。各ステップの測定時間は、この変位が収束することを原則とし、約8時間程度とした。間隙水圧の変化は、採取位置の静水圧の値を中心にし、上昇・下降を数サイクル繰り返して測定した。

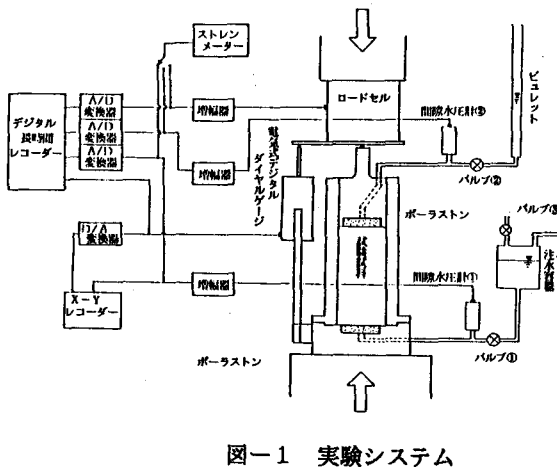


図-1 実験システム

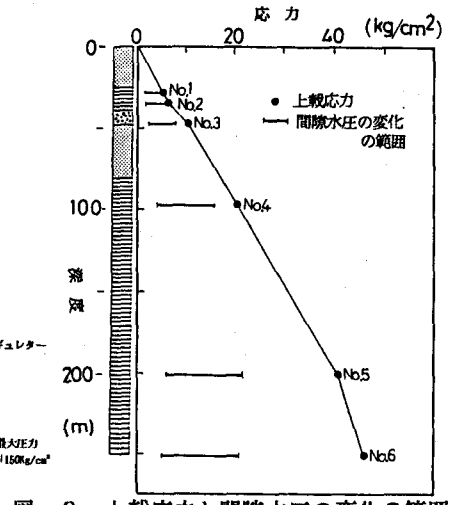
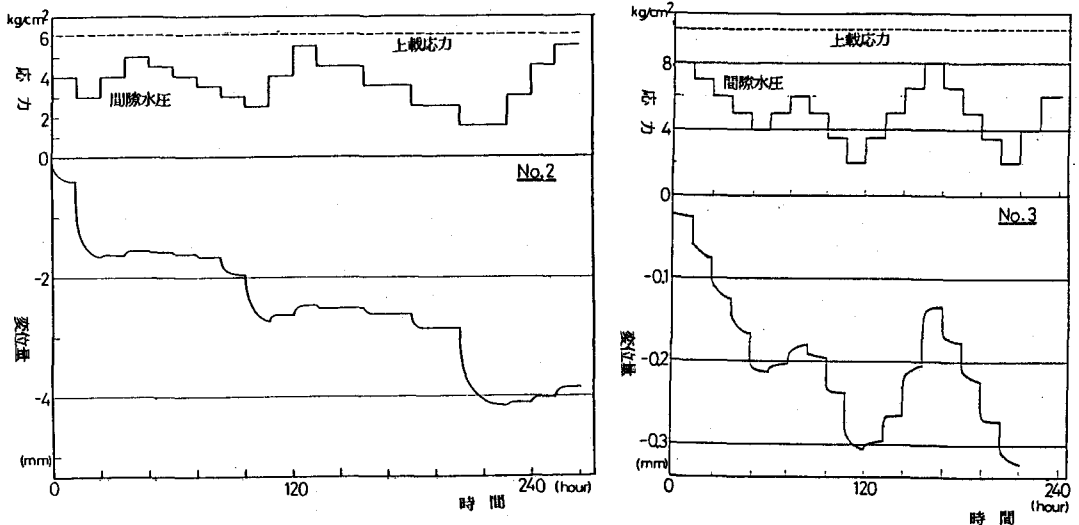


図-2 上載応力と間隙水圧の変化の範囲

3. 実験結果

図一3にNo.2、No.3の試料の間隙水圧と変位量の経時変化、図一4には間隙水圧の変化に伴う変位のヒステリシスを示す。間隙水圧の減少により、有効応力が増加し圧密が進行し試料は収縮する。一方間隙水圧の上昇時には、有効応力が減少し圧密回復により試料は膨張している。No.2の軟質なシルトの試料は大きな変位を示し、特に収縮量が目立っている。No.3の試料については、間隙水圧の上昇、下降を繰り返した時の収縮量に対する間隙水圧の上昇時の圧密回復の膨張量の比率が大きく、全試料中で最も圧密回復の程度が良好であった。

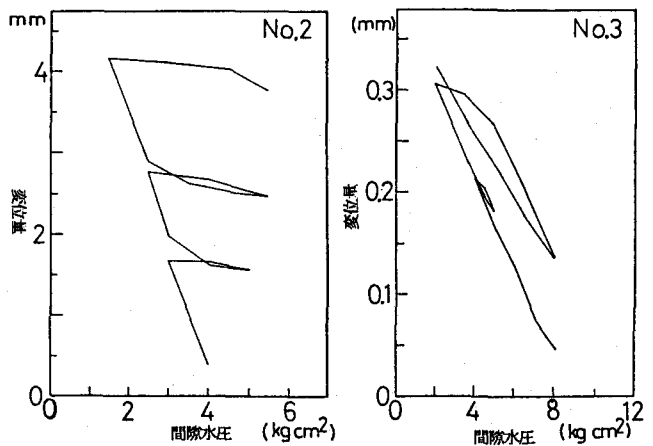


図一3 間隙水圧と変位の経時変化 (No.2, No.3)

図一5は、間隙水圧の上昇時と下降時に分けて、間隙水圧の変化に対する変位量を各サイクル毎にプロットしたものである。図中の丸印の数字は、間隙水圧を上昇、下降した時の変化の順序を示している。①は最初に間隙水圧を下降した時の圧密による収縮を示しており、この変化が最も大きくなっている。また間隙水圧を下降した時の圧密による収縮の方が、間隙水圧を上昇させた時の膨張量に比較して単位の間隙水圧の変化に対応する変位量が大きくなっている。

変位の変化のパターンを見ると間隙水圧の上昇時、下降時とも、間隙水圧の変化点

(上昇一下降または、下降一下昇)からの始めの変化に対する変位量は小さく、続いて間隙水圧を変化させてゆくと徐々に大きくなってゆく傾向がある。この理由は、間隙水圧の上昇時には、試料中の空隙に水が流入してゆくが、間隙水圧の変化の初期には、ある程度「水みち」がつくまでに時間を要し、「水みち」がついてしまうと、以後の水の流入は容易となり、単位当りの間隙水圧の変化に対する変位量が、初期の変位量に比較して、より大きくなるものと考えられる。



図一4 間隙水圧変化による変位のヒステリシス

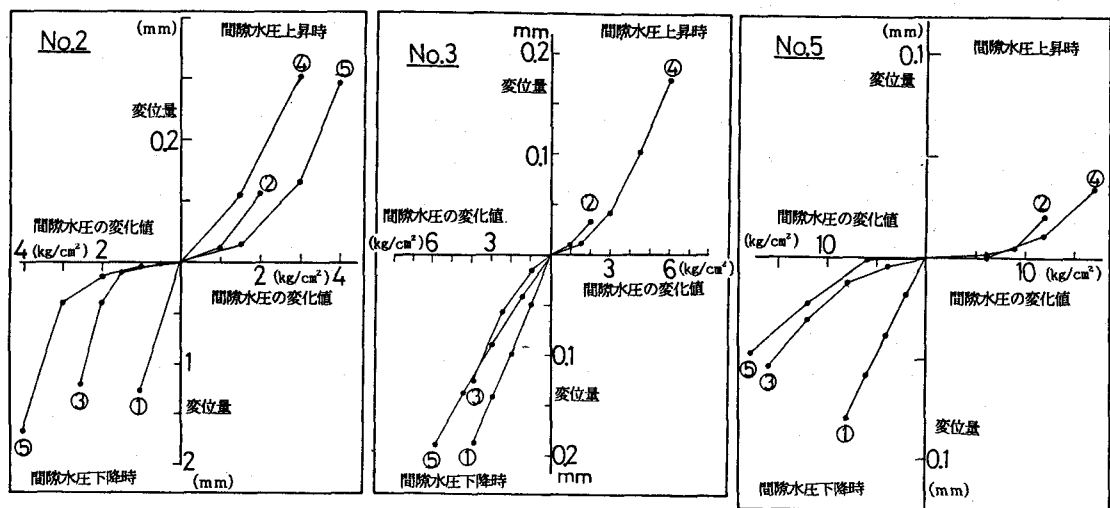


図-5 間隙水圧変化に伴う変位量

図-6は、すべての試料についての間隙水圧の上昇時の膨張量を歪量にしてプロットしたものである。No. 1、No. 2の軟質なシルトの試料は、間隙水圧の変化による膨張歪が大きく、No. 3の砂質泥岩は、中位であり、No. 4、No. 5、No. 6の試料は小さくなっている。間隙水圧変化による歪量の大ききで分類するとNo. 1、No. 2及び、No. 3、及びNo. 4～No. 6の3つのグループに分けられる。

以上の結果について、同時に実施した物性試験結果(表-1)と比較して検討する。

No. 1、No. 2の試料は一軸圧縮強度も 1.34kg/cm^2 、 2.05kg/cm^2 と小さく軟質なシルトであり、間隙水圧の変化による変位量が特に大きい、有効間隙率も $60.7\sim 64.8\%$ と大きく、圧密され易いことを示している。No. 3の試料は、間隙水圧変化による変位量は、全試料で比較すると中位であるが、間隙水圧を上昇、下降させた時の圧密回復の程度が最も良好であった。この理由は、この試料が試料中で最も砂分の多い試料であり、透水係数が最も大きく、透水性が比較的高い事によるものと考えられる。

No. 4、No. 5、No. 6の試料は、間隙水圧変化に対応する変位量は小さい。これは、一軸圧縮強度に示されるように強度が高く、透水係数も $10^{-7}\sim 10^{-9}\text{cm/sec}$ であり、透水性の低い、強度の大きな密な試料であることによる。

これらの結果から、間隙水圧の変化による変位は、圧縮強度、有効間隙率に代表される試料の緻密さに関係しており、また間隙水圧の減少により収縮した変位量が、間隙水圧の増加により再び膨張する圧密回復の程度は、砂分の多

試料	地質名	密度 (g/cm^3)	有効 間隙率 (%)	一軸圧縮 強度 (kg/cm^2)	透水係数 (cm/sec)
No.1	シルト	1.67	60.7	1.34	5.79×10^{-7}
No.2	シルト	1.58	64.8	2.05	2.43×10^{-7}
No.3	砂質泥岩	2.14	34.6	19.05	1.51×10^{-5}
No.4	砂質泥岩	2.22	31.7	104.0	6.55×10^{-7}
No.5	砂質泥岩	2.11	35.3	62.4	7.22×10^{-9}
No.6	砂質泥岩	2.19	31.2	148.0	2.55×10^{-8}

表-1 物性試験結果

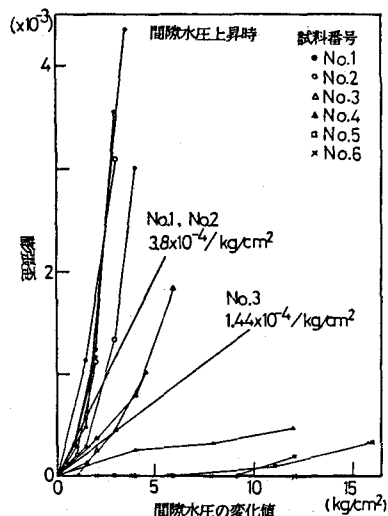


図-6 間隙水圧上昇時の膨張歪

い透水性の高い試料ほど良好であると考えられる。

4. 考 察

試験結果をもとに地下水位が変動した時の地盤の上下変動を予測してみる。

間隙水圧変化による歪量の変化より膨張率、収縮率を算出した。算出にあたっては実際の地下水位の変動は大きくても10mオーダーであろうと想定し、間隙水圧の変化として0～2 kg/cm²程度の低い変化に対応する歪量の変化をもとに算出することとし、No. 1、No. 2及び、No. 3、及びNo. 4～No. 6の3つのグループに分けて算出した。膨張率の算出例を図-6に示す。収縮率についても同様に算出した。

図-7は、実験結果から得られた、佐倉観測井の1 kg/cm²の間隙水圧の変化による膨張率、収縮率の地盤モデルをしめす。地表より深度38mまでの第四紀の砂及びシルト層は、No. 1、No. 2のデータで代表されるものとし、深度38m～80mまでは、砂分あるいは、礫が多く透水性の高いNo. 3の値で代表されるものとし、80m以深～250mまでの泥岩は、No. 4～No. 6の値で代表されるものとした。

図-7に示した数値を仮定して地盤の上下変動を見積もると、水位が1 m低下すると5 mm地盤が低下し、逆に水位が1 m上昇すると2 mm地盤が高くなると予想される。

佐倉観測井における観測によれば、水位の年周変化は30～40 cm程度であるから、間隙水圧による年周変動はせいぜい1～2 mm程度である。一方、御前崎の一年周期の上下変動は振幅が1.5～2.0 cmであり、¹⁾間隙水圧の変化の影響は比較的小さいものと推定される。

地下水の汲み上げによる地盤沈下、汲み上げ規制による地盤隆起については、各地でその例が報告されているが、川崎市における観測結果では、水位1 mの上昇に対し、約1 mmの地盤上昇が観測されている。³⁾正確には、川崎の堆積層の収縮・膨張試験が必要であるが、本実験結果とほぼあっている。

長期的な 地下水位の変化による地盤沈下および再上昇には、間隙水圧変化による収縮・膨張試験は、有効であろう。本実験の結果によれば、透水性の高い砂質堆積層の方が、透水性の低い泥質堆積層に比較して、地下水位が再上昇した場合の地盤の回復量の割合が大きい。

謝辞

試験試料を提供して頂いた国立防災科学技術センターに感謝いたします。

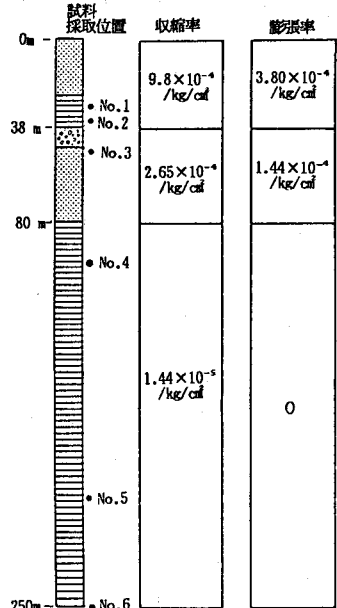


図-7 間隙水圧変化による収縮率膨張率の地盤モデル

参考文献

- 1) 国土地理院 (1984) 東海地方の上下変動 地震予知連絡会会報 第32巻 pp255-261
- 2) 池田隆司、塚原弘昭 (1985) 日本地下水学会講演会
- 3) 岸 和男、永井 茂 (1975) 川崎における異常地盤隆起の原因を探る。地質ニュース 第254号 pp22

- (44) Compaction and expansion of sedimentary rocks due to the pore water pressure change and their effect on subsidence and re-upheaval

Tsuyoshi KANEMA
(Chishitsu Keisoku Co.,Ltd.)
Hitoshi KOIDE
(Geological Survey of Japan)

Abstract

The change of pore water pressure in sedimentary layers is often a major cause of ground subsidence and re-upheaval. This paper reports on the experiment where the pore water pressure is applied to sedimentary rocks under compression, and the compaction and expansion of rock was then measured during the fluctuation of pore water pressure.

The samples used for the tests were cored from the six depths of a borehole up to the maximum depth of 250 metres at Hamaoka, Shizuoka Prefecture. A sample was set within a cylinder and weights were placed on the sample to produce compression equal to the overburden pressure at the sampled depth. Pore water pressure was then introduced from one side into the sample. The pore pressure was reduced and increased several times. The change in the height of sample was measured. It was observed that as the pore pressure increased, the sample expanded, and as the pore pressure decreased, the sample shrunk. We calculated the coefficient of expansion and compaction due to changes of pore water pressure.

The results of the experiments allow us estimation of amounts of ground subsidence or re-upheaval which would result from changes in the water level of the underground aquifer. When the underground water level falls 1 metre, the ground level subsides 5 millimetres. When the underground water level rises 1 metre, the ground level uplifts 2 millimetres.

The estimated change of ground level due to the pore water pressure change is too small to explain the observed seasonal fluctuation of the ground level of the tip of Omaezaki Peninsula, Shizuoka Prefecture, but in good agreement with the gradual re-upheaval at the Kawasaki City, Kanagawa Prefecture. The compaction experiment with the control of pore water pressure provides a valuable tool for estimation of subsidence and re-upheaval due to the change of water level of underground aquifer.