

(88) 椎谷泥岩の吸水膨張特性について

東電設計㈱ 正会員 ○ 三室 俊昭

東電設計㈱ 正会員 岡 信彦

清水建設㈱ 傳田 篤

Swelling Characteristics of Shiya Mudstone

Toshiaki Mimuro Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.

Nobuhiko Oka Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.

Atsushi Denda Shimizu Corporation

Abstract

Recently, there has been yearly increases in Japan in the construction of rock engineering structures on/in Tertiary soft rocks. There has also been considerable increases of geo-mechanical engineering problems in site due to such inherent properties of Tertiary soft rock as swelling, slaking, creep and strain softening.

In order to study these particular characteristics, a series of laboratory tests relating to slaking, swelling and other deterioration characteristics was carried out. And various consideration was given to the test results.

In this paper, swelling characteristics of Shiya mudstone, which is one of typical Tertiary formations in Japan, are focused on. According to the examination, the following conclusions were obtained.

1. Specimens, which have undergone overstress larger than consolidation yield stress, tend to show high swelling potential compared with intact specimens.
2. Specimens which have once been dried are apt to show large amount of swelling.
3. However, only a small amount of load could control swelling to a large extent.

1 はじめに

近年、わが国においては、原子力発電所、本州四国連絡橋、青函トンネルのような新第三紀の堆積軟岩を基盤とする重要、かつ大規模な岩盤構造物の建設が増えてきている。しかし、この堆積軟岩の多くが、吸水膨張、スレーキング、クリープ、ひずみ軟化、異方性などといった軟岩特有の性質を持っており、これらの性質に起因した工学的な問題も増加の傾向にある。表-1¹⁾はこれらの軟岩固有の性質と地盤災害との関係を示したものである。このように、一般的には軟岩構造物における工学的問題点の多くが、

表-1 代表的な地盤災害と堆積軟岩固有の性質との結びつき¹⁾

地 盤 災 害	要 因
地 す べ り	吸水膨張特性 クリープ特性 ひずみ軟化特性（残留強度）
切り土斜面の崩壊	吸水膨張特性 スレーキング特性 クリープ特性 ひずみ軟化特性（残留強度）
トンネルの変状	クリープ特性 吸水膨張特性 ひずみ軟化特性（残留強度） 破壊面に おいてのみ
岩砕盛土の沈下	スレーキング特性

- 437 -

3 試験方法

吸水膨張試験は、標準圧密試験装置を利用した一次元吸水膨張試験であり、次のような2種類の吸水膨張試験を実施した。

ひとつは、ある所定の上載荷重から段階的に除荷していく方法で、圧密試験の除荷過程に相当する試験であり、現在 I S R M (国際岩の力学会) で標準化が進められている試験方法⁷⁾ の1つである。この試験では、それぞれの荷重段階での吸水膨張がほぼ終了したと考えられる時点で次の荷重段階に移るものである。もうひとつは、ある上載荷重から所定の荷重まで一度に除荷し、そのときの吸水膨張量を測定する方法である。ここでは便宜上、前者を段階除荷試験、後者を急速除荷試験と呼ぶことにする。

これら2つの試験を、自然含水状態(飽和状態)の試料と、乾燥試料との2ケースについて行った。自然含水状態の試料に対しては、試料採取時の土被り圧相当の 1 kgf/cm^2 を初期の上載荷重として載荷し、以降 $0.4, 0.255, 0.05$ 、および 0 kgf/cm^2 の荷重段階を採用した。一方、乾燥試料に対しては、まず最初に試料を完全拘束状態にして試験を行い、それによって最大吸水膨張圧力を求めてから、それを初期の上載荷重とし、以降の各荷重段階での荷重を前荷重段階での荷重の $1/2$ となるように決定した。また、乾燥試料の急速除荷試験では、最初から所定の上載荷重を載荷しておき、いきなり水浸させることによって吸水膨張させた。

表-3に、吸水膨張試験の仕様を示す。

4 試験結果と考察

一次元圧密試験では、圧密降伏応力以下の応力レベルで1回、圧密降伏応力以上の応力レベルで2回、それぞれ除荷試験を行った。その結果、図-2から明らかなように、圧密降伏応力以下の応力レベルでは、除荷による膨張はそれほど大きいものではないが、圧密降伏応力以上の荷重を作用させた後の除荷過程では、かなり大きな膨張が観測されている。これは、圧密降伏応力以上の荷重を受けることによって、試料の粒子間のセメンテーションが破壊され、固結した泥岩から、粒子間の結合力がそれほど大きくない土のような状態への、ある意味での構造変化が生じているためではないかと考えられる。

次に図-3、4、および5に自然含水状

表-3 一次元吸水膨張試験の仕様

試料	試験仕様
自然	1) 段階除荷試験 $1. 0 \rightarrow 0.8 \rightarrow 0.4 \rightarrow 0.2 \rightarrow 0.1 \rightarrow 0.025 \rightarrow 0 \text{ kgf/cm}^2$ 2) 急速除荷試験 $1. 0 \rightarrow 0.4 \text{ kgf/cm}^2$ $1. 0 \rightarrow 0.255 \text{ kgf/cm}^2$ $1. 0 \rightarrow 0.05 \text{ kgf/cm}^2$ $1. 0 \rightarrow 0 \text{ kgf/cm}^2$
乾燥	1) 完全拘束状態での吸水膨張試験 最大吸水膨張圧 (σ_{max}) の測定 2) 段階除荷試験 $\sigma_{max} \rightarrow \sigma_{max}/2 \dots \rightarrow 6.4 \rightarrow 3.2 \rightarrow 1.6 \rightarrow 0.8 \rightarrow 0.4 \rightarrow 0.2 \rightarrow 0.1 \rightarrow 0.025 \rightarrow 0 \text{ kgf/cm}^2$ 3) 急速除荷試験 上載荷重 = $3.2, 1.6, 0.8, 0.255, 0.05, 0 \text{ kgf/cm}^2$

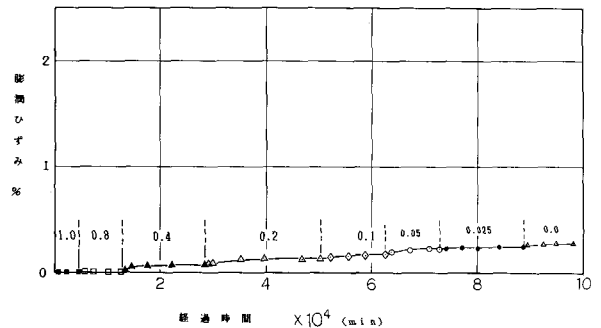


図-3 吸水膨張試験結果
(自然試料、段階除荷)

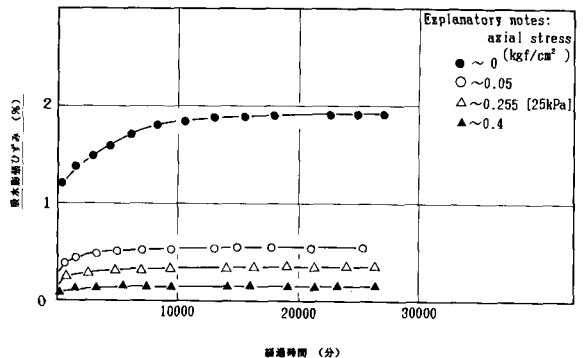


図-4 吸水膨張試験結果
(自然試料、急速除荷)

乾燥試料の段階除荷試験、および急速除荷試験の結果を示す。

いずれも試料採取時の土被り圧相当の上載荷重からの除荷試験であるが、全体的にみて急速除荷試験結果の方が大きな吸水膨張ひずみ（軸方向ひずみ）が発生しており、上載荷重 0 kgf/cm² の自由膨張状態においても、段階除荷試験では 0.3% 程度の吸水膨張ひずみしか発生していないのに対し、急速除荷試験では 2% 弱もの吸水膨張ひずみが発生している。

このように、吸水膨張ひずみについては、試験方法の違いが試験結果にも顕著に現れるのに対し、吸水膨張現象が定常状態に達するまでの所要時間については、両者の間にそれほど大きな差は認められない。

図-6 は乾燥試料の完全拘束状態における吸水膨張試験結果である。時間とともに徐々に吸水膨張圧が発生しており、最大 24.8 kgf/cm² にも達していることがわかる。このように、この種の堆積泥岩では、一度乾燥させて拘束状態におき、それを湿潤状態に置いたときにはきわめて大きな吸水膨張圧が発生することがわかる。

図-7、8、9 は、乾燥試料の段階除荷試験と急速除荷試験との結果を示したものである。乾燥試料については、両者ともほぼ同様な結果を示しており、両者の間にはそれほど大きな違いは認められない。

また、図-9 から明らかなように、両者ともわずかな上載荷重が載荷されているだけで、吸水膨張が抑制されている。いいかえれば、掘削等による応力解放によって吸水膨張が起こる可能性があるのは、掘削面の表面近傍の土被り圧が比較的小さな領域に限られることになる。

自然含水状態試料と乾燥試料とを比較してみると、乾燥試料では、自然含水状態の試料に比べて、きわめて大きな吸水膨張が発生しており、自然含水状態試料の場合の 10 倍以上もの大きな吸水膨張ひずみとなっている。

しかし、吸水膨張が落ち着くまでの所要時間については、両者の間にはそれほど大きな違いはないようである。

このように、この種の堆積泥岩では、一旦乾燥させると、湿潤時にはきわめて大きな吸水膨張圧、あるいは吸水膨張ひずみが発生するものが多い。また、乾湿繰り返しだけでなく、一次元圧密試験結果から推察できるように、機械的な応力による構造破壊によっても、吸水膨張ポテンシャルを増長させる結果となっている。

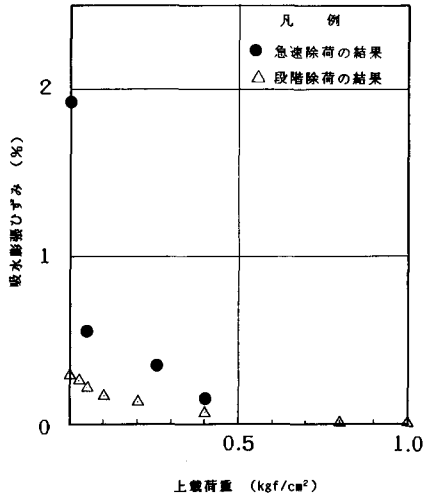


図-5 吸水膨張ひずみと上載荷重との関係（自然試料）

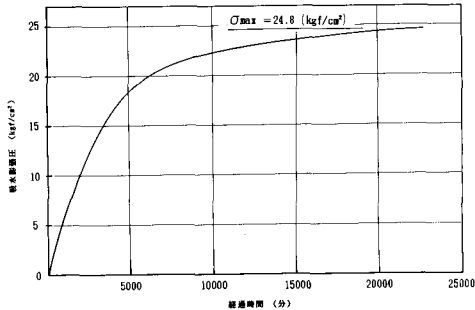


図-6 完全拘束状態での吸水膨張試験結果（乾燥試料）

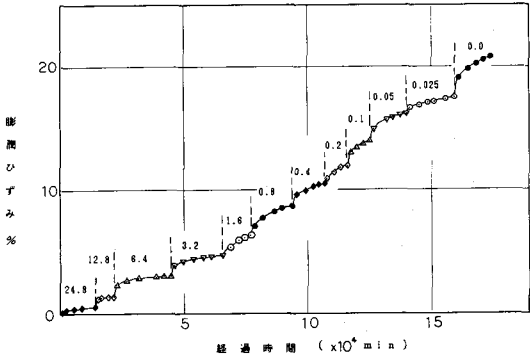


図-7 吸水膨張試験結果（乾燥試料、段階除荷）

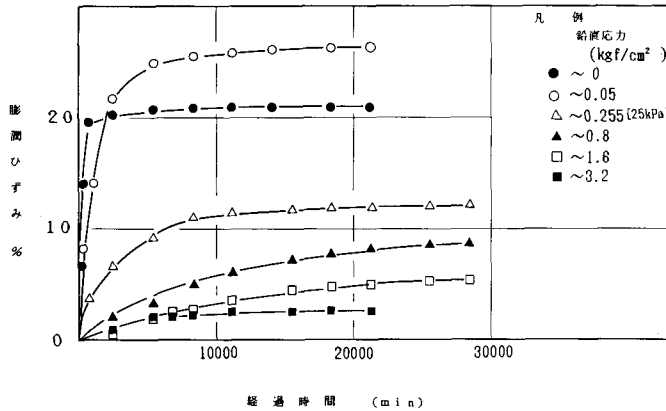


図-8 吸水膨張試験結果
(乾燥試料、急速除荷)

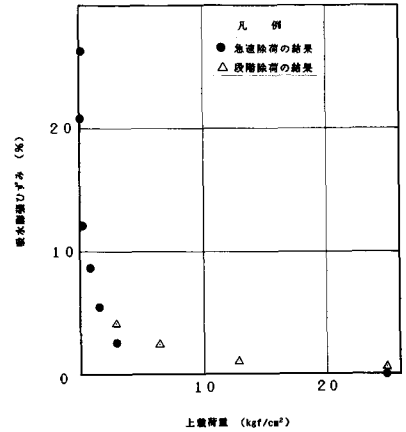


図-9 吸水膨張ひずみと
上載荷重との関係
(乾燥試料)

したがって、この椎谷泥岩を対象とした岩盤工事を行う際には、岩盤表面を乾燥させたり、あるいは機械的な力によって岩盤の構造破壊を避けるべく、留意する必要があるものと考えられる。

5 おわりに

筆者らは、過去2～3年にわたって新第三紀堆積泥岩のスレーキング特性について研究を行ってきたが、この一連の研究においても、この種の泥岩が、自然状態のままでは比較的堅固な状態を保っているものの、いったん乾燥状態に置かれた後に湿潤状態に置かれると、急速に吸水し、泥状化してしまう傾向にあることが確認されている。この椎谷泥岩についても、大きな吸水膨張ひずみが発生したものは、いずれもほとんどが粘土化していることが観測されており、やはり他の泥岩と同様に乾湿繰り返しによって、きわめて急速に劣化してしまう性質を持っていることが明かとなった。

参考文献

- 1) A. Denda and K. Watanabe : Construction problems of Mudstone in Japan, Procs. 8th Asian Reg. Conf. on SMFE, Vol.2, pp.193-194, 1987
- 2) K. Kikuchi, T. Mimuro, R. Yoshinaka and N. Sato : Slake Durability of Rocks and its relation to Slope Stability, Procs. Int. Symp. on Engineering in Complex Rock Formations, pp.415-421, 1986
- 3) 吉中、三室、岡、佐藤：スレーキング試験結果の解釈と利用、第18回岩盤力学に関するシンポジウム講演集、pp.226-236、1986
- 4) 三室、岡、吉中、傳田：スレーキング試験結果の解釈と利用(その2)、第7回岩の力学シンポジウム講演論文集、pp.97-102、1987
- 5) 三室、傳田、藤岡：軟岩のスレーキング試験に関する比較検討、第23回土質工学研究発表会発表講演集、pp.1135-1136、1988
- 6) 三室、藤岡、傳田：堆積軟岩のスレーキング特性—スレーキング試験結果の解釈—、日本応用地質学会昭和63年度研究発表会講演論文集、pp.49-52、1988
- 7) ISRM Commission on Swelling Rock : Suggested Methods for Laboratory Testing of Argillaceous Swelling Rocks (Draft), 1987