

不飽和地盤の繰返しせん断に伴う体積圧縮特性に関する室内試験

東京電力(株) 正会員 ○佐藤 博, 末広俊夫, 谷 智之
東電設計(株) 正会員 北爪貴史, 小瀬木克己, 佐藤正行

1. はじめに

2007年新潟県中越沖地震により柏崎刈羽原子力発電所内の埋戻し地盤で沈下が生じた¹⁾。地盤沈下の要因として、建屋に接する地盤のすべり破壊、建屋から離れた不飽和地盤の繰返しせん断に伴うダイレタンシーによる体積圧縮、飽和地盤における液状化後の過剰間隙水圧の消散、が推定された(図-1)。このうち、を要因とする沈下はよく知られている。また、を要因とする沈下は、剛構造物である建屋と比較的軟質な地盤の地震時せん断応答の差により、建屋に接する地盤が建屋から離れ、その際に主働楔が形成されることによって生じることが1G 場模型振動台実験の実施により判明した²⁾。

本報は、を要因とする沈下の発生機構を明らかにする目的で実施した中空ねじり繰返しせん断試験により得られた不飽和埋戻し地盤の体積圧縮特性について報告するものである。

2. 埋戻し地盤の沈下と基本特性

1号機原子炉建屋近傍埋戻し地盤の沈下分布の一例を図-2に示す。この地点では、埋戻し地盤と原子炉設置地盤の境界部(GL.-25m)に地下水位が認められ、埋戻し土は不飽和状態にある。建屋から12~20m離れた地点の沈下量は30~40cmである。埋戻し土は細粒分含有率約10%、平均粒径0.3~0.5mmの均一な砂である(図-3)。S波速度は表層で約100m/s、深部で300~350m/s、N値は表層で5~20、GL.-10m以深で20~50以上である。乾燥密度は1.5~1.7g/cm³(平均1.6g/cm³)、相対密度は80~100%である。

3. 埋戻し地盤の体積圧縮特性

図-2に示した埋戻し地盤の表層から攪乱試料を採取し、1.6g/cm³の平均乾燥密度に再調整した供試体(外径70mm、内径30mm、高さ70mm)を用いて中空ねじりせん断試験機(二重セル式装置)により繰返しせん断変形を与え、その際の体積変化(圧縮)量を測定した。中空ねじり繰返しせん断試験における平均拘束圧 σ'_m は、埋戻し地盤の深さ(25m)を考慮して $\sigma'_m = 50, 100, 300 \text{ kN/m}^2$ の3種類とし、各々の拘束圧に対してせん断応力比 τ_d / σ'_m を4種類変えた12個の供試体について実施した。

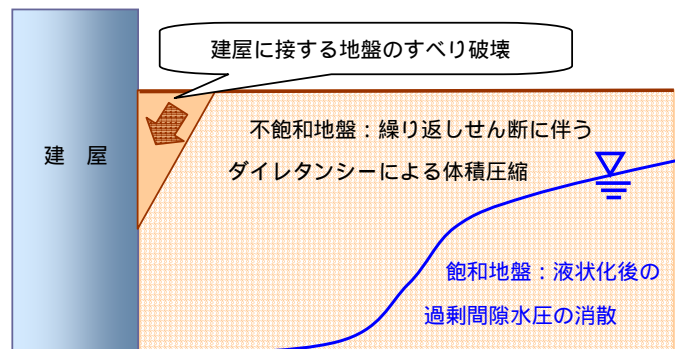


図-1 埋戻し地盤の沈下要因の推定

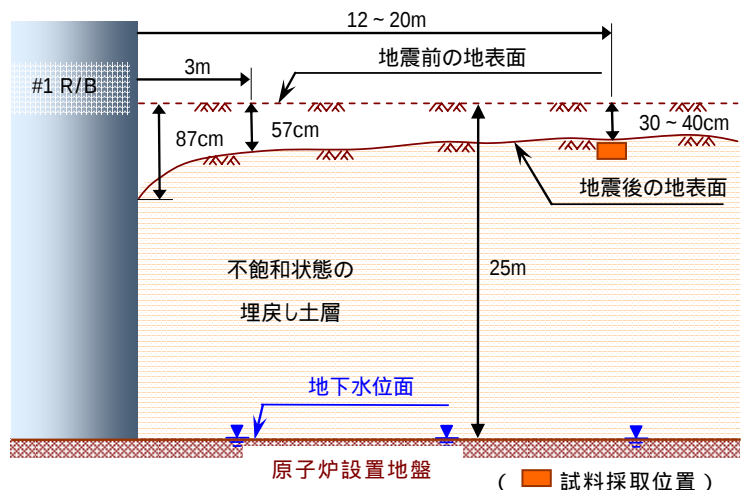


図-2 1号機原子炉建屋(#1R/B)埋戻し地盤の実測沈下量

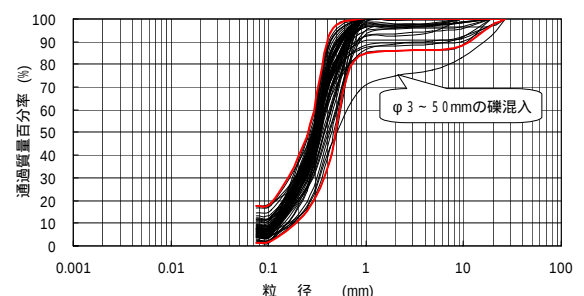


図-3 埋戻し地盤の粒径加積曲線

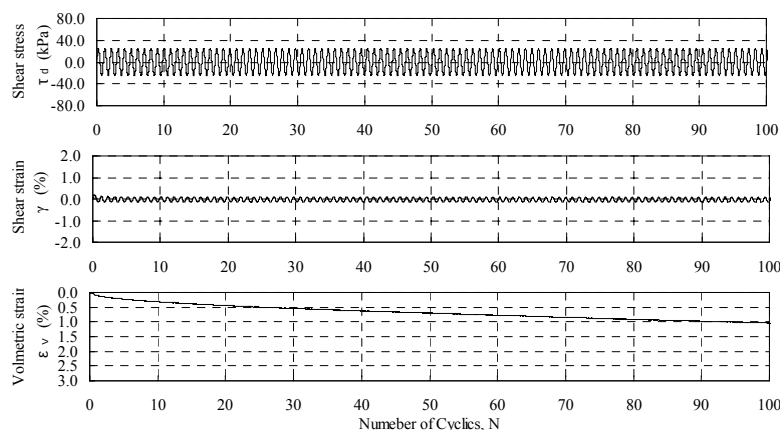
キーワード：2007年新潟県中越沖地震、不飽和地盤、沈下、繰返しせん断、体積ひずみ

連絡先：〒110-0015 東京都台東区東上野 3-3-3 東電設計(株)耐震技術部 TEL 03-6372-5536

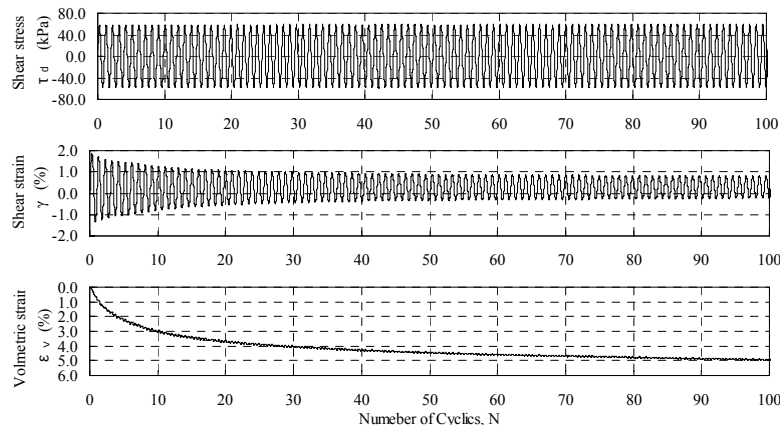
図-4 に、平均拘束圧 σ'_m が 100kN/m^2 、せん断応力比 τ_d/σ'_m が 0.25 及び 0.6 の場合の繰返し載荷回数とせん断ひずみ、体積ひずみとの関係、せん断応力とせん断ひずみの関係を比較して示す。せん断応力比が 0.25 の場合は、繰返し載荷に伴うせん断ひずみの変化は顕著ではないが、体積ひずみは僅かではあるが徐々に圧縮側に増加する傾向を示す。これに対し、せん断応力比が 0.6 の場合には、せん断ひずみは載荷初期段階には大きいですが、繰返し載荷に伴い次第に小さくなり一定値に収束する傾向を示す。また、体積ひずみはせん断ひずみの挙動と対応して、載荷初期段階に急激に圧縮側に増加し、次第に一定値に収束する傾向を示す。これは、繰返し載荷に伴い供試体が体積圧縮し、剛性が増加するためであり、せん断応力とせん断ひずみの関係でも、繰返し載荷に伴い履歴曲線の傾きが次第に急になり剛性が増加していくことが認められた。

拘束圧ごとに繰返し載荷回数と体積ひずみとの関係を整理して図-5 に示す。これらから、繰返し載荷回数及びせん断応力比 ($SR_d = \tau_d/\sigma'_m$) の増加にともない、体積ひずみも圧縮側に増加する傾向にあることなど、その基本特性を定量的に把握した。

参考文献 1) Sakai, T. Suehiro, T. Tani, T. and Sato, H.: Geotechnical performance of the Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Station caused by the 2007 Niigataken Chuetsu-oki EQ., JS-Tokyo2009, Case History Volume, 2009. 2) 河井正, 石丸真, 佐藤博, 末広俊夫, 谷智之: 剛な構造物近傍地盤の地震時沈下挙動に関する 1G 場模型振動台実験(その 1) 変形メカニズムについて, 土木学会第 63 回年次学術講演会概要, 2008.



(a) せん断応力比 0.25 の場合



(b) せん断応力比 0.60 の場合

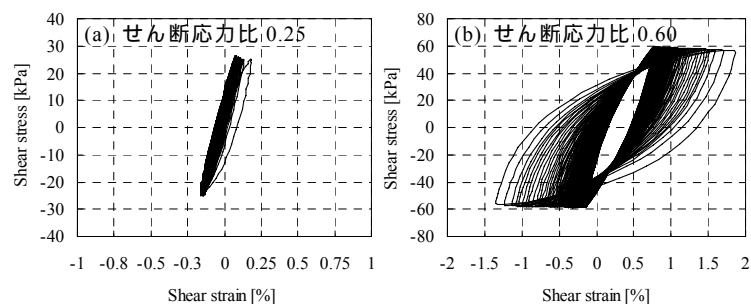
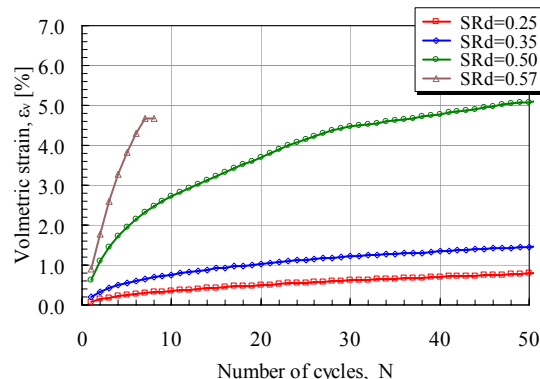
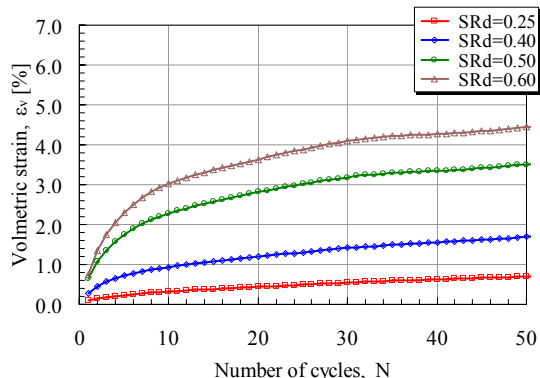


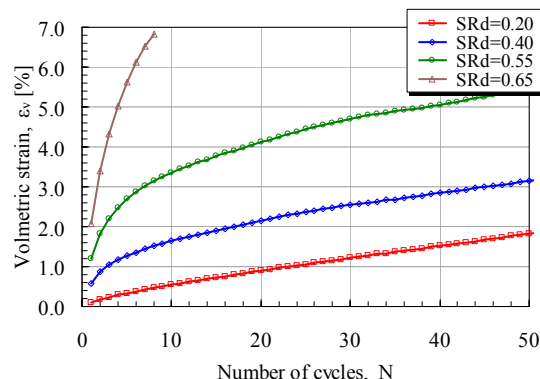
図-4 不飽和地盤の中空ねじりせん断試験結果 ($\sigma'_m = 100\text{kN/m}^2$)



(a) $\sigma'_m = 50\text{kN/m}^2$ の場合



(b) $\sigma'_m = 100\text{kN/m}^2$ の場合



(c) $\sigma'_m = 300\text{kN/m}^2$ の場合

図-5 繰返し回数と体積ひずみの関係