

## 繰返しせん断による体積変化モデルの構築と液状化強度の予測

愛媛大学 学生会員 ○曾根 悠真, フェロー 岡村 未対, 正会員 小野 耕平

### 1. はじめに

本研究では、三軸試験で求まる少数のパラメータで決定できる実用的な繰返しせん断による体積変化モデルを構築し、これを用いて非排水繰返しせん断による水圧発生及び液状化強度の予測を行った。

### 2. 実験概要

非排水繰返しせん断による過剰間隙水圧の上昇は、粒子骨格の体積圧縮（正の塑性体積ひずみ）によって生じ、有効応力減少による弾性体積膨張（負の弾性体積ひずみ）と釣り合うことで等体積条件が満足される<sup>1)</sup>。そこで本研究では、排水繰返しせん断による体積圧縮ひずみ増分 $\Delta\varepsilon_{vp}$ と体積弾性係数 $E_r$ から過剰間隙水圧増分( $\Delta u = E_r \Delta\varepsilon_{vp}$ )を求めるモデルを構築し、三軸試験結果と比較することによりその妥当性を検証する。

試験に用いた試料は豊浦砂( $G_s=2.64, e_{max}=0.977, e_{min}=0.605$ )である。空中落下法により作成した相対密度 50% 及び 80%, 初期有効拘束圧 $\sigma'_0=100\text{kPa}$ の供試体に対して三軸試験を行った。体積弾性定数 $E_r$ は $\sigma'_0$ で等方圧密された供試体にシリンジポンプで間隙水を注入・排出することにより有効応力を増減させて測定した。塑性体積ひずみ $\varepsilon_{vp}$ については、排水状態で応力比(CSR)一定の繰返し载荷試験を行い、体積ひずみ～繰返し回数の関係を異なる CSR の試験に対して計測した。

### 3. 実験結果

$Dr=50\%$ の供試体を用いた等方除荷・再载荷試験の結果を図 1 に示す。4 本の試験から得られた  $E_r$  はほぼ同じ値 23500kPa となった。また  $Dr=80\%$ の供試体では 28000kPa であった。また、 $E_r$  を繰返し排水試験で体積ひずみが 1%程度生じた供試体でも計測したところ、ほとんど変化していないことが確認できた。

次に、繰返し排水三軸試験で得られた塑性体積ひずみ曲線を図 2 に示す。繰返し応力比振幅 CSR が大きくなるにつれて体積ひずみが大きくなり、曲線形状は CSR によらず相似である。これより、応力振幅一定の繰返し排水せん断による体積変化を表す近似式を次のように求めた。

$$\varepsilon_{vp50} = A_{50} N^{0.34} \quad A_{50} = 0.23 CSR^{3.4} \quad (1)$$

$$\varepsilon_{vp80} = A_{80} N^{0.22} \quad A_{80} = 0.0265 CSR^{2.8} \quad (2)$$

試験結果と近似式の比較を図 3 に示す。繰返しせん断による $\varepsilon_{vp}$ の増加は繰返し回数  $N$  と共に減少する。すなわち、塑性体積ひずみの増加と共に 1 回あたりの増分 $\Delta\varepsilon_{vp}$ は減少する。Martin ら<sup>2)</sup>はランダムな地震波を受ける場合の $\varepsilon_{vp}$ を求めるため、その時点までに生じた $\varepsilon_{vp}$ を考慮した $\Delta\varepsilon_{vp}$ の予測法を提案しており、本研究でもそれを用いた。

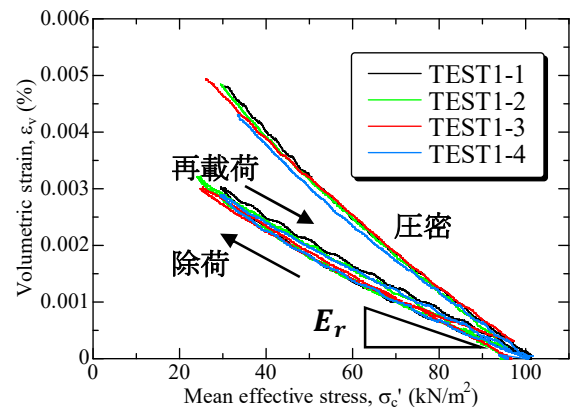


図 1. 等方除荷・再载荷試験の結果

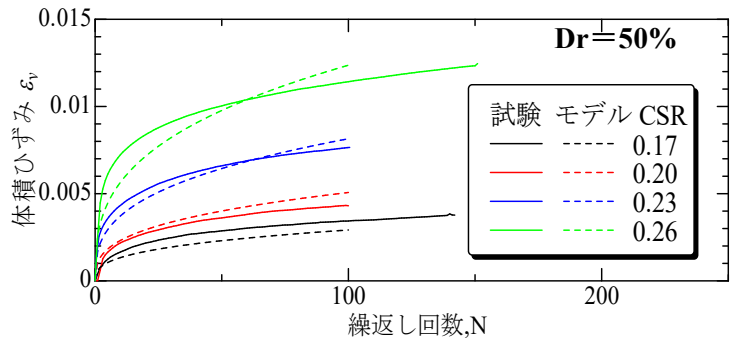


図 2. 塑性体積ひずみ曲線(Dr=50%)

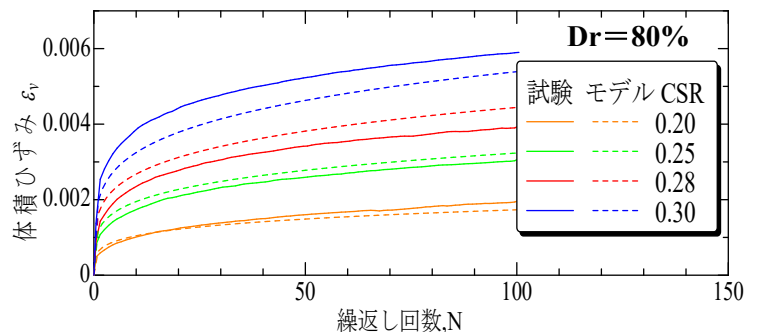


図 3. 塑性体積ひずみ曲線(Dr=80%)

#### 4. モデルと試験の比較

三軸液状化試験結果と体積変化モデルから求めた過剰間隙水圧と液状化強度曲線の比較を図4, 5, 6に示す. なお図5, 6には龍岡<sup>3)</sup>らの試験結果もプロットした. これらより, 過剰間隙水圧の上昇と液状化強度曲線は, 本モデルで上手く再現できていることが分かる. 次に本研究では, 三軸液状化試験中にシリンジポンプを用いて一定速度

で排水する部分排水試験を行った. CSRは0.17で一定とし, 排水速度を変えた試験を3回行った. CSRと排水量(体積ひずみ)を図7

に, 過剰間隙水圧を図8に示す. 非排水試験では4波で液状化したが, 0.0025%/cycleの部分排水で液状化回数は20回まで延び, さらに0.0037%/cycleでは液状化なかった. この部分排水液状化試験の過剰間隙水圧を体積ひずみモデルを用いて計算した結果を図9に示す. これより, 本モデルで部分排水時の水圧挙動も上手く再現できることが分かる.

#### 5. まとめ

- ①排水状態の繰返し三軸試験から実用的な塑性体積変化モデルを構築した.
- ②本モデルを中密な砂及び密な砂の三軸液状化試験をシミュレーションした結果, 過剰間隙水圧及び液状化強度を上手く再現できた.
- ③1波あたり0.0025%オーダーの体積ひずみ排水で液状化挙動が大きく変化した. また, 本モデルはこの部分排水試験の過剰間隙水圧も上手く再現できた.

#### 【参考文献】

- 1) Seed, H.B. and K.L. Lee (1966), "Liquefaction of Saturated Sands During Cyclic Loading", J. Soil Mech. and Found. Div., 92(SM6), 105-134.
- 2) Martin, G.R., Finn, W.D.L. and Seed, H.B. (1975): Fundamentals of liquefaction under cyclic loading. J. Geotech. Eng. Div. 101(5), 423-438.
- 3) Tatsuoka, F., et al. (1988). Liquefaction of sands subjected to sustained pressure, Soils and Foundations, 28(1), 119-131.

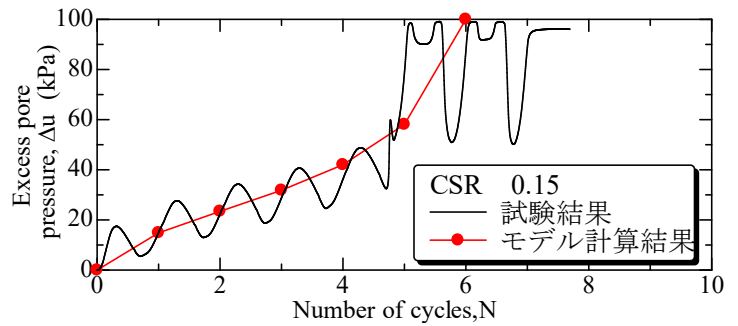


図 4. 非排水状態の水圧比較(Dr=50%)

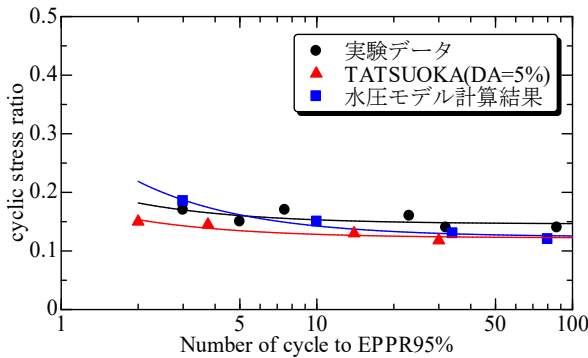


図 5. 液状化強度曲線の比較(Dr=50%)

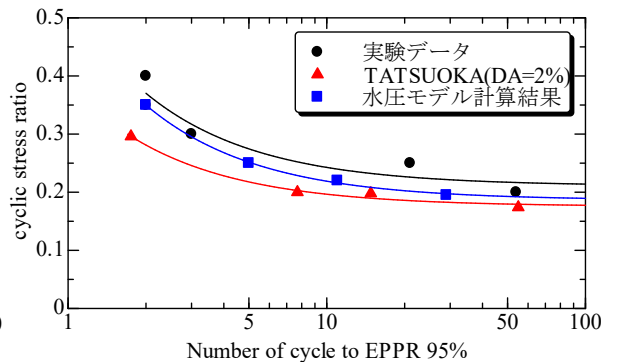


図 6. 液状化強度曲線の比較(Dr=80%)

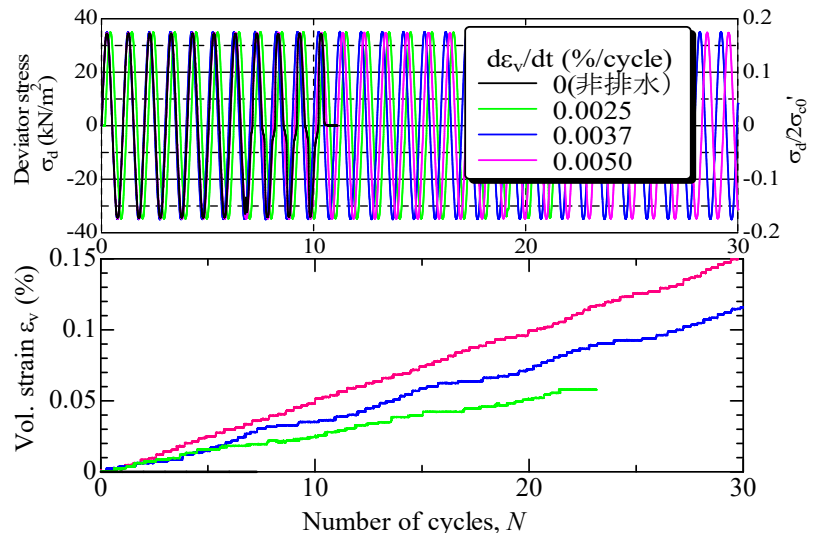


図 7. 排水量(体積ひずみ)と CSR

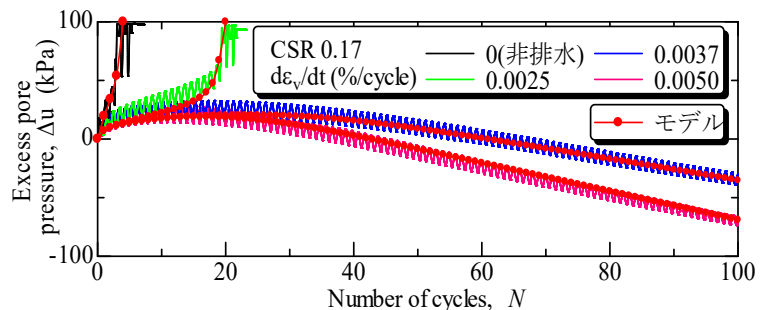


図 8. 部分排水状態の水圧比較