

緩い砂の異方応力状態での液状化強度と損失・ひずみエネルギー

株式会社不動テトラ 正会員 原田 健二
 東京電機大学 正会員 石川 敬佑
 東京電機大学 フェロー会員 安田 進
 東京電機大学院 学生会員 ○金井 勇介

1. はじめに

我が国においてはこれまでに多くの地震を経験しているが、サンドコンパクションパイル（SCP）工法などの締固め工法による改良地盤での液状化被害が少なかったことがそれぞれの地震後の調査により報告されている¹⁾。これらの改良効果の実証事例に関する分析に基づいて締固め改良地盤の設計においても、締固め杭と杭間を複合地盤として扱う方法や K_0 の影響を考慮した評価方法が提案されている²⁾。さらに近年では、土の粘り強さを評価することができるエネルギーによる液状化判定法を設計に取り入れる試みが進められている。そこで本研究では、緩詰め³⁾の豊浦砂に対して液状化試験を行い、異方応力状態が液状化強度特性に与える影響をエネルギー的な見地から評価を試みた。

2. 液状化試験概要

試料には豊浦砂（土粒子の密度 $\rho_s=2.646\text{g/cm}^3$ 、最大間隙比 $e_{\max}=0.981$ 、最小間隙比 $e_{\min}=0.606$ ）を用いた。液状化試験には、繰返し中空ねじりせん断試験機で実験を行い、軸変位を固定することで異方応力状態を再現した³⁾。各供試体の寸法は、高さ 10cm、外径 10cm、内径 6cm の中空円筒供試体とし、相対密度 $Dr=50\%$ を目標に空中落下法にて供試体を作成した。二重負圧法により供試体を飽和させ、 B 値が 0.95 以上になることを確認した後に圧密を行った。背圧は 200kN/m^2 とし、圧密時間は 30 分とした。各供試体の応力状態を表 1 に示す。載荷方法は 0.1Hz の正弦波の応力制御で行った。

3. 液状化試験結果

図 1 に液状化強度曲線を示す。液状化強度比 R_{L20} は、有効鉛直応力 σ'_v で正規化した繰返しせん断応力比と両振幅せん断ひずみ $\gamma_{DA}=7.5\%$ に至った時の繰返し回数 N_c の関係から液状化強度曲線を作成し、繰返し回数が 20 回の時のせん断応力比を液状化強度比と定義した。図 1 より K_0 が大きいほど液状化強度比が大きくなった。また、 $K_0=0.5$ の有効拘束圧が違うケースを比較すると液状化強度比は同程度になった。次に $K_0=1.0$ と 0.5、1.5 での液状化強度比を比較したものを図 2 に示す。図 2 より本試験の結果と式 1 の関係はほぼ成立していることがわかる。

$$\left(\frac{\tau_l}{\sigma'_v}\right)_{\text{異方}} = \frac{1+2K_0}{3} \left(\frac{\tau_l}{\sigma'_v}\right)_{\text{等方}} \quad \dots (1)$$

次に、液状化試験結果の履歴ループから正規化累積損失・ひずみエネルギーを算出した⁴⁾。図 3、4 は 1 波当たりの過剰

表 1 供試体の拘束圧条件

K_0	σ'_v (kN/m ²)	σ'_h (kN/m ²)	σ'_m (kN/m ²)
0.5	100	50	66.7
	50	25	33.3
1	50	50	50
1.5	50	75	66.7

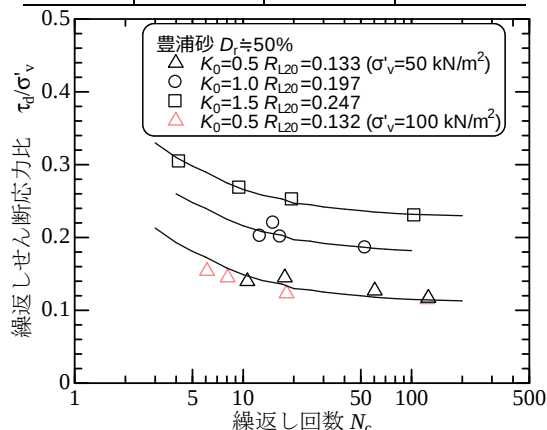


図 1 液状化強度曲線

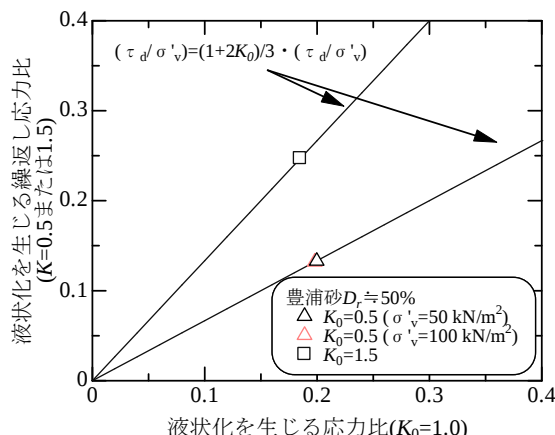


図 2 液状化強度に及ぼす応力異方性の影響

キーワード 異方応力、液状化強度、エネルギー

連絡先

〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂 東京電機大学 TEL 049-296-5819

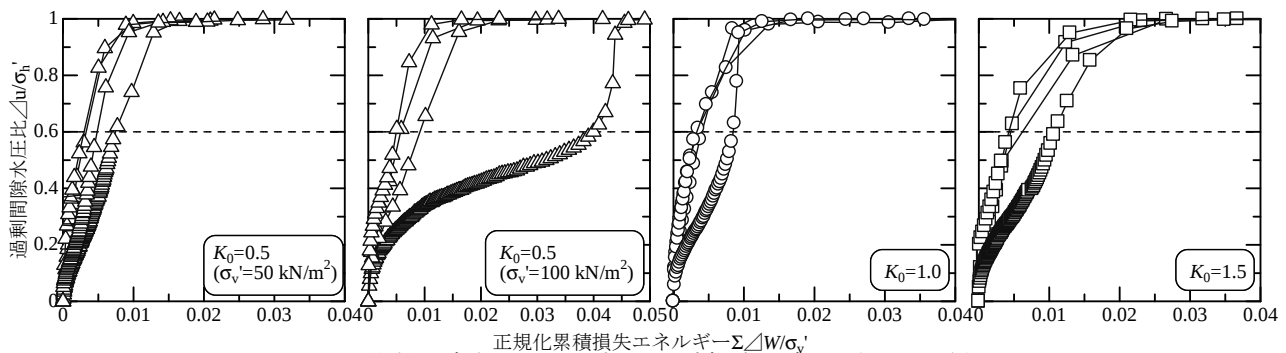


図3 過剰間隙水圧比と正規化累積損失エネルギーの関係

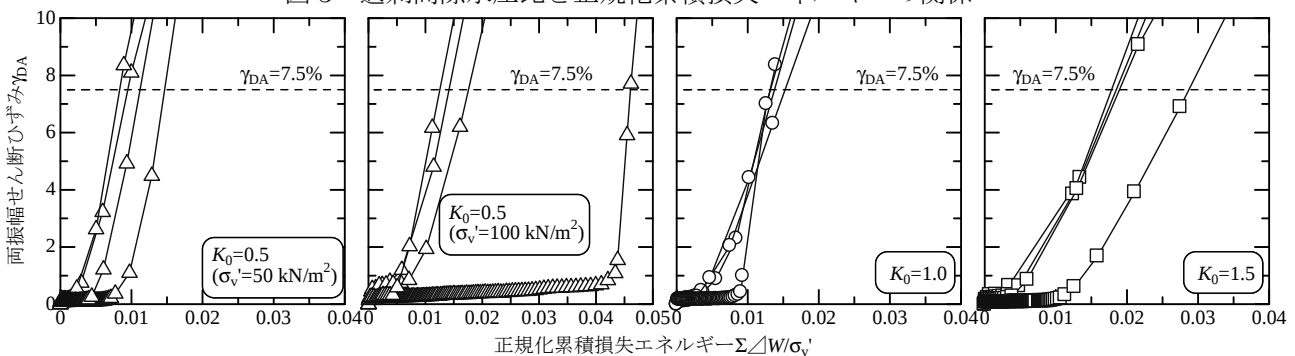


図4 両振幅せん断ひずみと正規化累積損失エネルギーの関係

間隙水圧比・両振幅せん断ひずみと正規化累積損失エネルギーをプロットしたものがある。図3、図4より、繰返し回数 N_c が多いと、過剰間隙水圧が急激に上昇するまでのエネルギー量が大きくなる事がわかる。また、過剰間隙水圧比が0.6程度からひずみが発展したため1波あたりのエネルギー量が増加することがわかる。

次に、繰返し回数 N_c と $\gamma_{DA}=7.5\%$ に至るまでの正規化累積損失・ひずみエネルギーの関係を図5に示す。図5より、 K_0 が0.5のケースでは、有効鉛直応力 σ'_{v0} が大きいと各エネルギー量は大きくなる。また、有効鉛直応力 $\sigma'_{v0}=50\text{kN/m}^2$ のケースでは、 K_0 が大きいほど各エネルギー量が大きくなる事がわかる。同条件の供試体ごとに比較すると、繰返し回数 N_c が多くなると各エネルギー量が増加することがわかった。図6に正規化累積損失・ひずみエネルギーの関係を示す。図6より、各エネルギー量の関係は、繰返し回数 N_c が多い場合を除いて、國生の提案線⁴⁾上に概ねプロットされた。

4.まとめ

異方応力状態の緩詰め豊浦砂に対して液状化試験を実施し、エネルギーによって液状化強度を評価したところ、 K_0 が大きいほど液状化に至るまでの正規化累積損失・ひずみエネルギー量は大きくなり、液状化に対して粘りを有することがわかった。

<謝辞>本実験を行うにあたり東京電機大学生の森陽氏にご協力いただきました。末筆ながらお礼申し上げます。

<参考文献>1)例えば、Yasuda, S. Ishihara, K., Harada, K. and Shinkawa, N.: Effect of Soil Improvement on Ground Subsidence due to Liquefaction, *Soils and Foundations, Special Issue*, p99-107, 1996. 2)日本建築学会：建築基礎のための地盤改良設計指針案 4.3 節 液状化判定 3. 改良地盤の液状化抵抗比の評価, pp.320-324, 2006. 3)龍岡文夫, 村松正重, 佐々木勉: 砂の平面ひずみ繰返しねじり単純せん断非排水試験, 第16回土質工学研究発表会, pp.585-588, 1981. 4) 國生剛治: エネルギーによる液状化判定の適用性検討とFL法との対比, 地盤工学ジャーナル Vol.8, No.3, p463-475

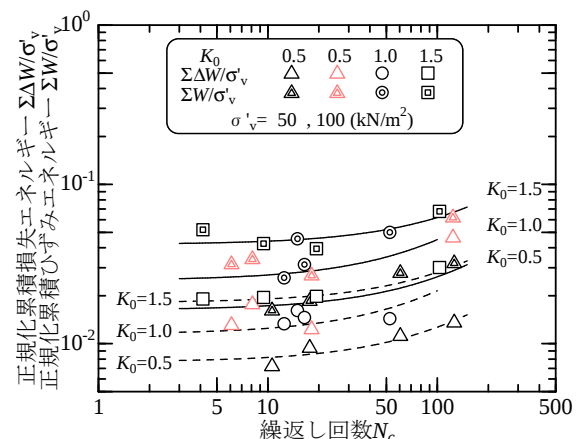


図5 繰返し回数とエネルギー

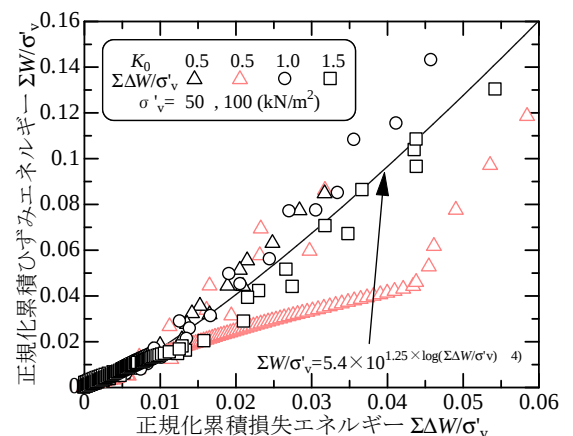


図6 正規化累積損失・ひずみエネルギーの関係