

豊浦標準砂の液状化特性と過剰間隙水圧の評価

福岡大学 学生会員○下川裕己
 福岡大学 正会員 佐藤研一
 福岡大学 正会員 吉田信夫
 西部ガス 正会員 木下貴夫

1. はじめに

これまで我が国では1964年の新潟地震以来、地震により多くの液状化被害を受け、現在では安全な国土や都市を建設するために、液状化は克服すべき重要な課題の一つとなっている。まだ記憶に新しい平成7年1月に起こった兵庫県南部地震では、ポートアイランドや六甲アイランドの埋立て地で大規模な液状化が起きている。砂地盤の液状化強度や土の動的変形特性を評価する室内試験として、非排水繰返し三軸試験法が広く用いられてきている。これは、過去に大量の実験結果の情報があること、室内力学試験の中では理解しやすい境界条件を有し、かつ最も簡便な試験法であること、ならびに他の試験法に比べて所定の実験精度を確保しやすいことなどが言われている。そこで、本研究では、新しく導入した繰返し三軸試験装置を使用し、豊浦標準砂を用い、実験装置の精度の確認と砂の動的特性の把握を行った。また、その結果を使って液状化過程において、発生する過剰間隙水圧を定量的に評価することを研究目的とする。

2. 実験概要

2-1 繰返し三軸圧縮試験装置について

実験には、空圧応力制御式繰返し三軸圧縮試験装置を使用した。図-1に試験装置の配管図を示す。この試験機の荷重システムは、ペロフラムシリンダーの上部の空気圧をファンクションジェネレーターにより波形、振幅および周期の伝達を電空弁に入力することにより、変化させ所定の実験条件による繰返し荷重を載荷することが可能である。載荷枠の下部には、ひずみ制御式の載荷装置があり、静的および液状化後の地盤強度の推定においても有効に利用できるようにしてある。

2-2 実験方法

実験試料には、豊浦標準砂を用い、空中落下法により目標相対密度 $Dr=40$ 、80%の供試体(直径約7.5cm、高さ約15cm)を作成し、表-1の実験条件で実験を行った。供試体は、高い飽和度を得るために供試体中に炭酸ガスを十分流して脱気水を通して飽和させた。背圧98kPaを加えた後、間隙圧係数 B 値が0.96以上であることを確認し、有効拘束圧98kPaで1時間等方圧密させた。非排水条件下で、実験条件に示す一定両振幅の正弦波の繰返し荷重を供試体に加え、両振幅軸ひずみが10%に達するとせん断を終了させた。実験中のデータサンプリングはパソコンで行い、一周約60点のデータを収集している。

3. 実験結果及び考察

図-2には $Dr=40$ 、80%の両振幅軸ひずみ $DA=5\%$ で整理を行った値と東京大学生産技術研究所の行った実験結果²⁾も併せて示している。図-2から、今回得られたデータは、ほぼ東京大学生産技術研究所の行った実験結果に沿っており、この実験装置から得られるデータの妥当性が確かめられた。 $Dr=80\%$ と $Dr=40\%$ を比べると明らかに密な供試体の $Dr=80\%$ の方が強い液状化強度を示していることが解る。

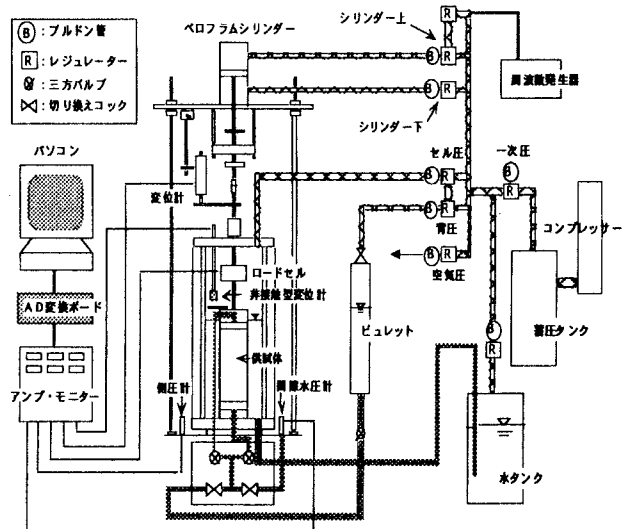


図-1 空圧制御繰返し三軸試験装置配管系統図

表-1 実験条件

	TEST. NO	繰返し応力比	相対密度(%)	σ_c (kPa)
豊浦標準砂 目標相対密度 $Dr=40\%$	D410	0.1	42	98
	D413	0.13	44	98
	D414	0.14	43	98
	D416	0.16	40	98
	D417	0.17	41	98
	D817	0.17	81	98
豊浦標準砂 目標相対密度 $Dr=80\%$	D822	0.22	83	98
	D825	0.25	77	98
	D826	0.26	81	98
	D829	0.29	83	98
	D832	0.32	73	98

4. 間隙水圧の評価法

飽和砂の液状化強度の予測は、液状化過程において発生する間隙水圧を正確に把握することによって可能であり、繰返し載荷中に発生する過剰間隙水圧は、載荷中に要素内に蓄積された損失エネルギー量、すなわち累積していくせん断仕事量に依存することが、累積せん断仕事をを用いた解析的研究³⁾などで明らかになっている。そこで本研究においても、豊浦標準砂の $Dr=40, 80\%$ についてのせん断仕事量に着目して過剰間隙水圧の評価を行った。

繰返し非排水せん断を受ける飽和砂の塑性変形は、偏差ひずみによる不可逆的な土粒子骨格に再配列に起因するせん断変形であり、繰返し荷重を受けたときの損失エネルギーはせん断仕事の累積量に等しい。各載荷ごとのせん断仕事の累積量 Ws は、軸圧 σ_1 、側圧 σ_3 およびひずみ増分 $\Delta\epsilon_1$ 、 $\Delta\epsilon_3$ を用いて表わされる各半サイクルごとに蓄積するせん断仕事量 Wi の N サイクルまでの累積量で表わされる。すなわち、

$$Ws = \sum_{i=1}^N Wi, \quad Wi = \int (\sigma_1 \Delta\epsilon_1 + 2\sigma_3 \Delta\epsilon_3) \quad (1)$$

ここで、このせん断仕事 Ws は、繰返し載荷に対する単調増加関係であり、塑性変形の特徴を表わすパラメーターである。繰返しせん断によって累積していくせん断仕事量と過剰間隙水圧比の関係を繰返し応力比別にプロットしたものが図-3(a),(b)である。この図より、せん断仕事量と過剰間隙水圧比の関係は、繰返し応力比の影響を受けずに両者の関係には一義的な関係があることがわかる。また、両者の関係は(2)式に示す双曲線で近似が可能である。

$$u/p_c' = \frac{Ws}{a + bWs} \quad (2)$$

これは、せん断仕事量を横軸に、せん断仕事量と過剰間隙水圧比の比を縦軸に取って整理した場合の切片 a と勾配 b によって求めることが調べられている⁴⁾。そこで図-4(a),(b)のように両者の関係をもとめると、 $Dr=40, 80\%$ それぞれ切片 $a=0.148, 0.226$ 、勾配 $b=1.0$ という結果が今回の実験から得られた。

5. 結論

(1) 今回新しく導入した試験機による繰返し三軸試験結果は、他の研究機関の結果とはほぼ同程度の精度を示した。(2) 累積していくせん断仕事量と過剰間隙水圧比の関係は、繰返し応力比の影響を受けずに両者の関係は一義的な関係を示し、双曲線により近似が可能である。最後に、このような結果を利用して、今後は液状化に関する解析を進めていきたいと思ひます。

参考文献

- 1) 土岐洋介他：飽和豊浦砂の共通仕様に基づく全国一斉非排水繰返し三軸試験の結果について、土の非排水繰返し試験に関するシンポジウム発表論文集、pp1~35、1987。
- 2) 龍岡文夫他：飽和豊浦砂の繰返し非排水三軸試験における変形特性に及ぼす諸要因に関する共同研究報告、生研セミナーテキスト、pp80~94、1985。
- 3) 坂井見他：せん断仕事に基づく飽和砂地盤の液状化解析、土木学会論文集、pp75~82、1986。
- 4) 王他：初期せん断を受けた低塑性粘性土の間隙水圧と残留変形のモデル化、第51回年次学術講演演義要集、Vol.3-A, pp170~171、1996。

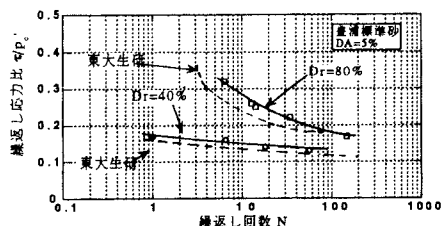
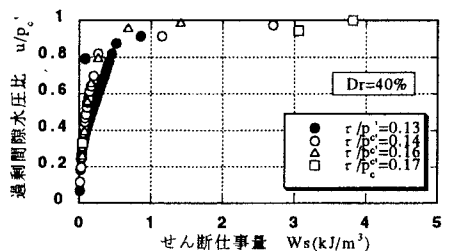
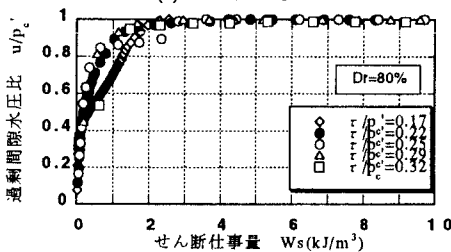


図-2 液状化強度曲線

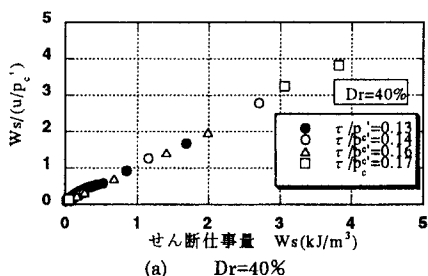


(a) $Dr=40\%$

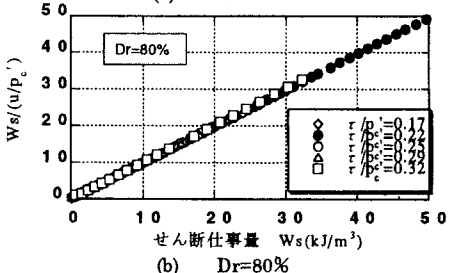


(b) $Dr=80\%$

図-3 せん断仕事量・過剰間隙水圧比の関係



(a) $Dr=40\%$



(b) $Dr=80\%$

図-4 Ws と $Ws/(u/p'_c)$ の関係