

不規則波を用いた不攪乱試料の中空ねじりせん断試験

建設省土木研究所 正会員 齊藤由紀子 松尾 修 佐々木哲也
(株)東京ソリサーチ 正会員 堀越 信夫

1. はじめに

簡易液状化判定法(たとえば文献 1)では、地震動の不規則性に関して応力比の補正が行われる。これについては、従来より再構成試料を用いた試験結果に基づきいくつかの提案が行われている。本研究では、凍結サンプリングした不攪乱試料に対し、正弦波と2種類の地震動波形を用いて中空ねじりせん断試験を行い、液状化強度におよぼす波形の不規則性の影響について調べたので報告する。

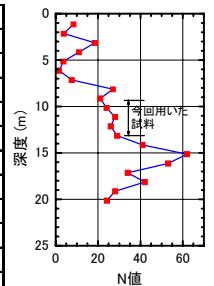
2. 実験方法

不攪乱試料は千葉県松戸市の江戸川左岸で凍結サンプリング法により採取した。試料および試験の条件を表 1 に示す。本研究では、GL-9.0m~13.0m の試料を用いた。供試体は 15cm の凍結試料を外径 10cm、内径 6cm、高さ 10cm の中空円筒形に成形し、19.6kPa の拘束圧を加えた状態で解凍した。脱気水で飽和させた後、196kPa の背圧を加え、現位置の有効上載圧にほぼ等しい拘束圧等で方圧密した。載荷波形は正弦波、ノースリッジ地震波、千葉県東方沖地震波の3種類で、それぞれに対しせん断応力レベルを変えて4供試体、計12供試体の中空ねじりせん断試験を行った。試験に用いた地震動波形を図 1 に示す。石原ら¹⁾に従うと、波形のタイプとしてノースリッジ地震波は衝撃型、千葉県東方沖地震波は振動型に分類できる。正弦波は 0.1Hz、不規則波は時間軸を 40 倍にして用いた。なお、試験器の追随性を考慮し、振動型の千葉県東方沖地震波には 5Hz のローパスフィルターをかけた。

表 1 試験条件

入力波形	正弦波				ノースリッジ地震(衝撃型地震波)				千葉県東方沖地震(振動型地震波)			
	S-1	S-2	S-3	S-4	N-1	N-2	N-3	N-4	T-1	T-2	T-3	T-4
供試体 No.												
採取深度 (m)	9.0~10.0				11.0~12.0				12.0~13.0			
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.84	2.83	2.83	2.88	2.86	2.85	2.79	2.85	2.91	2.83	2.88	2.76
細粒分 F_c (%)	6.6	7.6	6.2	5.2	8.2	5.2	7.5	7.7	5.3	6.3	4.4	5.3
平均粒径 D_{50} (mm)	0.22	0.24	0.26	0.30	0.47	0.44	0.48	0.43	0.37	0.43	0.39	0.48
均等係数 U_e	2.58	3.09	3.09	3.04	5.33	4.01	4.51	4.56	3.20	3.70	3.21	3.78
間隙比 e^*	0.951	0.990	0.967	0.887	0.820	0.852	0.800	0.867	0.812	0.867	0.797	0.791
相対密度 D (%)	66.3	61.5	61.6	62.2	65.6	62.1	62.1	61.7	75.0	68.2	77.1	75.3
有効拘束圧 σ'_c (kPa)	98.0	98.0	98.0	98.0	117.6	117.6	127.4	127.4	127.4	127.4	127.4	127.4
繰返しせん断応力比 τ/σ'_c	0.39	0.57	0.49	0.44	-	-	-	-	-	-	-	-
最大せん断応力比 τ_{max}/σ'_c	-	-	-	-	0.48	0.88	1.15	1.04	0.50	0.97	0.59	0.70

* 圧密後



3. 実験結果

正弦波を用いた液状化試験結果を図 2 に示す。片振幅せん断ひずみ ϵ_{sa} が 2、5、7.5、15%に達した時点の繰返し載荷回数とせん断応力比の関係を示している。繰返し載荷回数 20 回におけるせん断応力比は、それぞれ 0.41、0.43、0.44、0.45、0.46 である。

次に、不規則波を用いた試験の時刻歴の一例を図 3 に示す。最大せん断応力 τ_{max} と最大せん断ひずみ ϵ_{max} は図に示すように定義して、以下の整理に使っている。図 4 に最大せん断応力比 τ_{max}/σ'_c と ϵ_{max} の関係を示す。 σ'_c は初期有効拘束圧である。図によると同じ ϵ_{max} を生じさせるのに必要な τ_{max}/σ'_c は正弦波、振動型地震波、衝撃型地震波の順に大きくなっている。また、衝撃型は発生する最大せん断ひずみ ϵ_{max} が大きい程、最大せん断応力比 τ_{max}/σ'_c も大きくなっているが、正弦波は τ_{max}/σ'_c (N=20) が 15%の範囲では τ_{max}/σ'_c がほとんど変わらなかった。不規則波試験の過剰間隙水圧比は τ_{max}/σ'_c が約

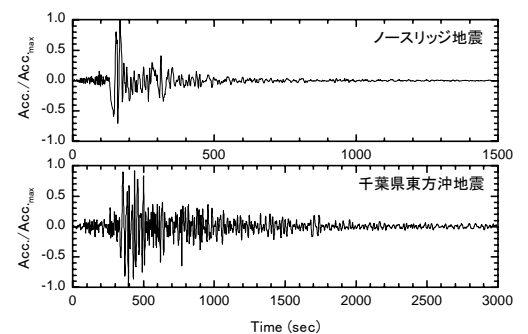


図 1 地震動波形

キーワード：中空ねじりせん断試験、不攪乱試料、不規則波

連絡先：〒305-0804 つくば市旭 1、Tel 0298-64-4969、Fax 0298-64-2576

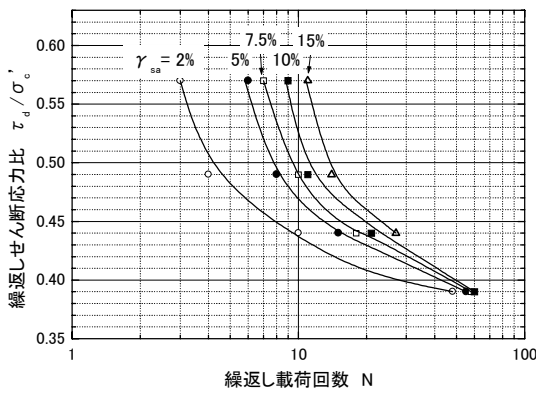


図2 正弦波の試験結果

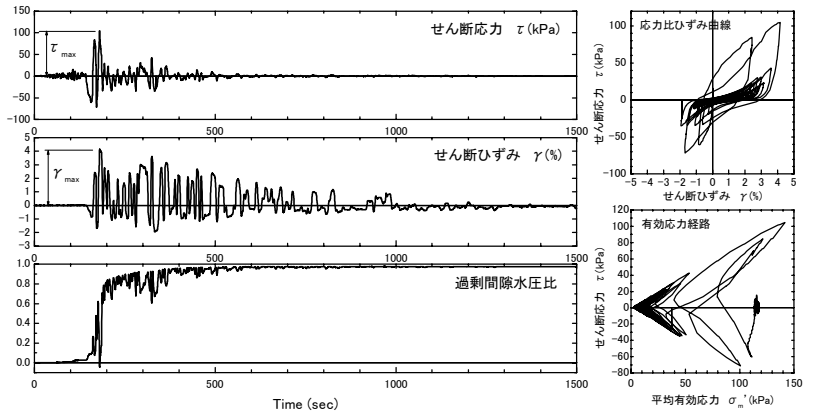


図3 時刻歴例 (N-2)

0.5 の 2 ケース (N-1, T-1) を除き、ほぼ 1 に達した。

石原らは、繰返しねじりせん断試験結果から正弦波の繰返し載荷回数 20 回におけるせん断応力比 d/c' を不規則波載荷による最大せん断応力比 max/c' に換算する係数を求めた¹⁾。 max/d として、衝撃型で 1/0.55、振動型で 1/0.70 を得ている。同義の換算係数として道路橋示方書耐震設計編 (以下、道示)²⁾ では、地震動波形の繰返し特性を考慮する補正係数として c_w を規定している。 c_w は応力の異方性に関する補正係数 $c_1 (= (1+2K_0)/3$ 、 K_0 : 静止土圧係数) と地震動特性による補正係数 c_2 を掛け合わせた値 $c_w = c_1 c_2$ として定義されている。 K_0 を 0.5 とした道示の c_2 と、本研究の試験結果 ($max=5\%$) を比較したものを図 5 に示す。 図中には波形の繰返し特性を表す係数 a も示している³⁾。 a は波形が衝撃的になるほど大きくなる。 振動型の補正係数を a の値が比較的近い道示のプレート境界型地震の c_2 と比べると、両者はほぼ一致した。 一方、衝撃型の補正係数は内陸直下型地震の c_2 より小さい値を示した。 また、同じく不攪乱試料を用いて内田ら⁴⁾ が行った試験結果を図 5 にプロットすると、補正係数は一部を除いて道示の値より小さくなった。 なお、図 4 よりわかるように、5% より大きい max で R_{L20} を規定すれば、補正係数の値は図 5 に示すよりも大きくなる。

4. まとめ

凍結サンプリングした不攪乱試料に対し、正弦波と 2 種類の地震動波形を用いて繰返し中空ねじりせん断試験を行い、液状化強度におよぼす波形の不規則性の影響について調べた。 道路橋示方書で規定されている波形の不規則性を考慮する補正係数 c_2 と比較すると、振動型地震波はプレート境界型地震と同程度の値、衝撃型地震波は内陸直下型地震より小さい値を示した。

付記：本研究は(社)地盤工学会の「液状化メカニズム・予測法と設計法に関する研究委員会」(委員長：岡二三生京都大学教授)における活動の一環として行ったものである。

参考文献 1) Ishihara, K. and Yasuda, S. : Sand liquefaction in hollow cylinder torsion under irregular excitation, Soils and Foundations, Vol.15, No.1, pp.45-59, 1975.

2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説・耐震設計編、1996.

3) 東拓生他：地震動波形の繰返し特性を考慮した液状化強度評価法、土木技術資料、No. 39、Vol. 9、pp.50-55、1997.

4) 内田明彦他：不規則波荷重が不攪乱砂の液状化強度に及ぼす影響、第 34 回地盤工学研究発表会講演集、pp.981-982、1999.

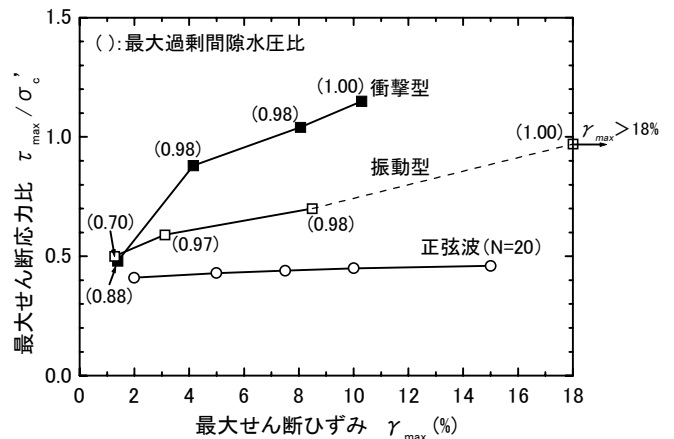


図4 最大せん断ひずみと最大せん断応力の関係

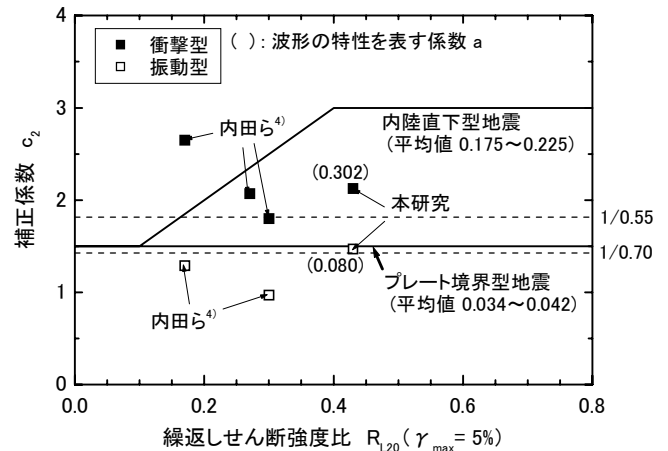


図5 道路橋示方書との比較