

地震動波形の特性と砂の液状化に関する振動台実験

山梨大学大学院 学生会員 島村 誠
山梨大学工学部 正 会 員 後藤 聡

1.はじめに

地震動波形の特性と液状化の関係は不明な点が多い。そこで、本研究では振動台実験を用いて、入力地震動波形の特性が砂の液状化に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。ここで、模型砂地盤の加速度計からせん断応力比を計算し、さらに、間隙水圧計から過剰間隙水圧比を計算する。これらの計算値から、最大せん断応力比、最大過剰間隙水圧比および入力地震動の最大加速度などの関係について検討する。

2.実験に用いた試料の物理特性

本研究で用いた試料は、山梨県の釜無川で採取されたものである。この砂の主な物理特性は、土粒子の密度 $\rho_s=2.642\text{g/cm}^3$ 、平均粒径 $D_{50}=0.32\text{mm}$ 、最大間隙比 $e_{\max}=0.772$ 、最小間隙比 $e_{\min}=0.557$ である。

3.実験方法および実験ケース

3.1 実験方法

実験に用いたアクリル土槽の断面図を図-1に示す。アクリル土槽は、幅 950mm、高さ 550mm、奥行き 200mm である。また、すべての実験において同じ条件になるために、ボーリングを利用して、均質な緩い模型砂地盤を作成した。各種計測装置の配置図を図-1に示す。間隙水圧計は、アクリル壁に 3 個(U1, U2 および U3)設置し、深度は、地表面からそれぞれ、100, 200 および 300mm である。また、加速度計は、地盤内に 2 個(A1 および A2)設置し、深度は地表面からそれぞれ、150 および 250mm である。さらに、振動台に加速度計(A3)を設置する。なお、地盤を非排水状態にするために、地表面にビニールシートを敷いて、アクリル土槽に固定した。

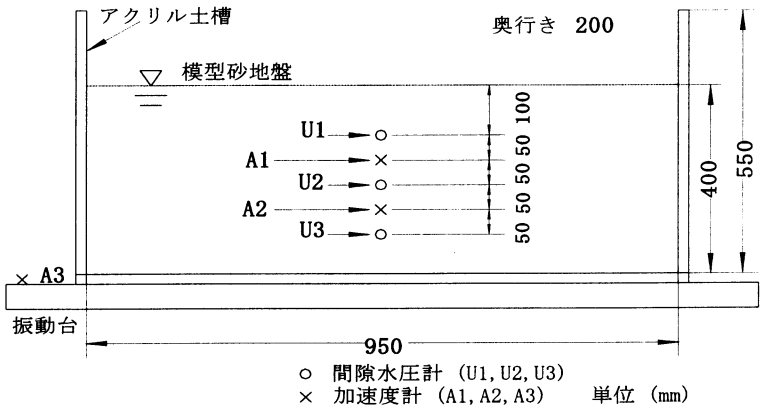


図-1 アクリル土槽の断面図と各種計測装置の配置図

3.2 実験ケース

本実験では、表-1 に示す 4 種類の地震動波形についてそれぞれ最大加速度を 3 段階に分けて、計 12 ケースの実験を行った。また、表-1 には、A3 の加速度記録から地震動波形の特性(海洋型か直下型か)を表す係数 a^1 を求め、それらの値を示す。

係数 a は、地震動波形が海洋型の場合は、0.03～0.45 程度の値を取り、地震動波形が直下型の場合は、0.1 以上の値をとるものとされている¹⁾。この係数 a を用いて、実験した地震動波形を検討してみると、宮城県沖地震大船渡防潮堤波は海洋型であるが、係数 a は 0.1 以上の値を示した。これは、振動台の性能により実際の波形と異なったためであると考えられる。よって、この係数 a により本実験の地震動を海洋型(ケース 1～6)と直下型(ケース 7～12)に分類することができる。

表-1 実験ケースおよび波形の特性を表す係数 a

実験 ケース	地震名	最大加速度 $\alpha_{\max}$ (Gal)	地震動波形の特性 を表す係数 a
1	十勝沖地震 八戸波	140	0.059
2		172	
3		203	
4	宮城県沖地震 塩釜波	156	0.048
5		224	
6		230	
7	宮城県沖地震 大船渡防潮堤波	211	0.153
8		361	
9		416	
10	兵庫県南部地震 ポートアイランド波	185	0.237
11		232	
12		259	

4.実験結果および考察

代表的な実験結果の例として、実験ケース 7 の場合を図-2、図-3 および図-4 に示す。図-2 は、加速度計(A3)の時刻歴を示す。図-3 は、U2 の間隙水圧計から計算した過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。図-4 は、砂地盤に発生した、せん断応力比-せん断ひずみ関係を示す。ここで、せん断応力は、地盤内に設置した加速度計記録(A1 および A2)から求めた。さらに、せん断ひずみは、地盤内に設置した 2 個の加速度計記録(A1 および A2)をそれぞれ 2 回積分することにより求めた。図-3 より、過剰間隙水圧比が 1.0 付近まで上昇しているの、砂地盤は液化化しているといえる。また、図-4 より、明瞭ではないが、要素試験で得られるような、せん断応力比-せん断ひずみ関係の挙動が確認できる。

すべての実験ケースより、せん断応力比-せん断ひずみ関係を計算して、図-5 および図-6 に示す最大せん断応力比を求めた。図-5 は、最大せん断応力比と U2 から得た最大過剰間隙水圧比の関係を示す。図-6 は、最大せん断応力比と A3 から得た最大加速度の関係を示す。図-5 と図-6 において、白抜ききの点および黒抜ききの点は、先に示した係数 a の分類により、それぞれ、海洋型および直下型を示す。図-5 より、地震動波形の特性に関係なく、最大せん断応力比が 0.2 以上の大きさでは、最大過剰間隙水圧比は 0.95 以上の値となることが分かる。図-6 より、A3 から得た最大加速度の値に比例した最大せん断応力比が、砂地盤内に発生していることが確認できる。また、最大せん断応力比は、地震動波形の特性によって異なることが分かる。

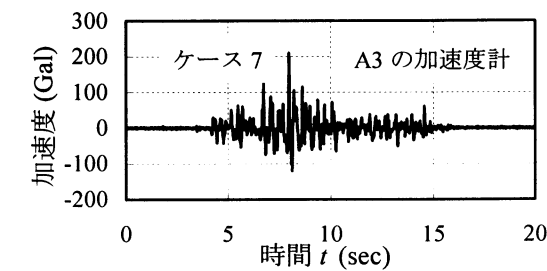


図-2 加速度計の時刻歴

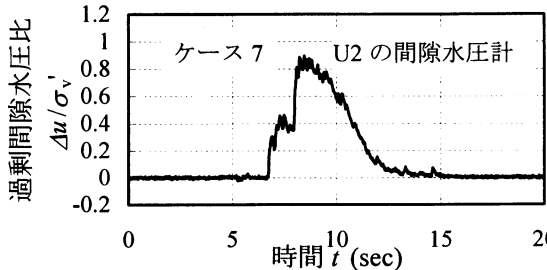


図-3 過剰間隙水圧比の時刻歴

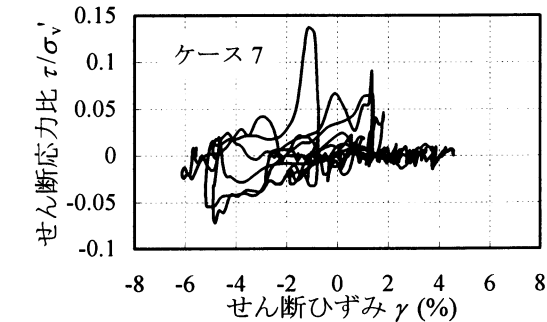


図-4 せん断応力比-せん断ひずみ関係

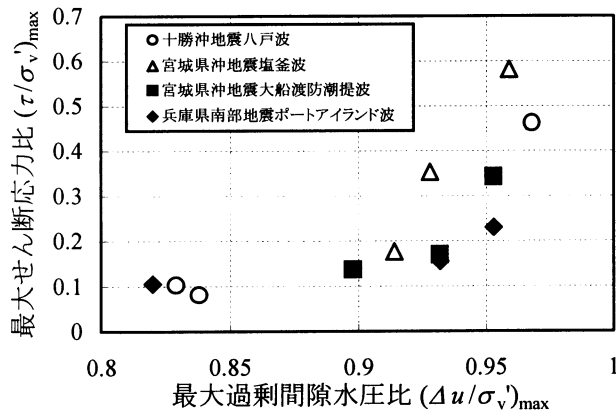


図-5 最大せん断応力比と最大過剰間隙水圧比の関係

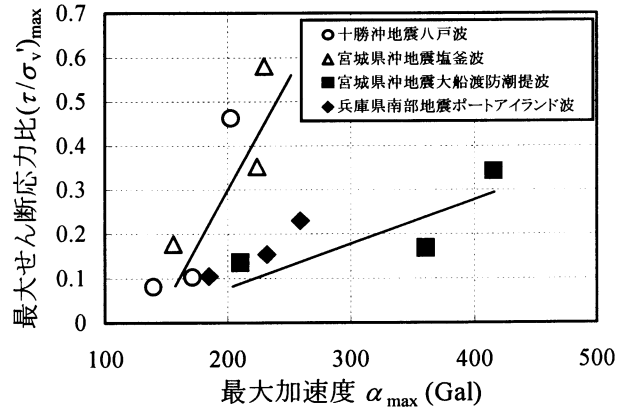


図-6 最大せん断応力比と最大加速度の関係

5.まとめ

本実験による均質な緩い模型砂地盤において、模型砂地盤内に発生する最大せん断応力比が 0.2 以上の大きさでは、地震動波形の特性に関係なく、最大過剰間隙水圧比は 0.95 以上の値となることが分かった。さらに、地盤内での最大せん断応力比は、入力した最大加速度の値に比例し、地震動波形の特性によって異なることが分かった。謝辞 応力ひずみ関係を求めるプログラムを利用させていただいた M.Cubrinovski(基礎地盤コンサルタンツ(株))氏に深く感謝の意を表します。参考文献 1) 東拓生, 田村敬一, 二宮嘉明: 地震動波形の繰返し特性を考慮した液化化判定法に関する研究, 土木学会第 51 回年次学術講演会概要集, III, pp.196-197, 1996.