

加振中の過剰間隙水圧の消散に着目した薄い砂層の液状化実験

愛媛大学大学院 学生会員 ○井上洋
愛媛大学大学院 国際会員 岡村未対

1.はじめに

我が国の河川堤防には、砂質土を用いて十分な締固めがなされずに施行されたものが多く存在するため、過去の地震により繰返し被害を受けてきた。これまで地震被害の主たる原因は基礎地盤の液状化が原因であると考えられてきたが、2011年の東北地方太平洋沖地震では液状化しない粘性土地盤上の堤体底部の薄い飽和層の液状化が原因とされる被害が数多く確認された¹⁾。

現行の液状化判定法は、地震中の過剰間隙水圧の消散については考慮されていないため、透水性の良い薄い飽和地盤に対して液状化判定を行うと、過度に安全側の判定となる。今後発生するとされる地震に備え、多くの堤防を点検・液状化対策を行うにあたって、排水の影響を考慮した判定を行うことが合理的である。そこで、本研究では薄い飽和層の排水の影響を明らかにすることを目的とし、遠心模型実験を行った。

2.実験概要

本研究で行った遠心模型実験の模型は豊浦砂を用い、空中落下法で作製した層厚 4cm、相対密度 45%または 75%の飽和した水平地盤であり、25g の遠心加速度場にて加振実験を行った。図 1 に模型の概略を示す。間隙流体には水または粘性の異なるメチルセルロース溶液を用い、透水係数の異なる地盤を作製した。加振は液状化するまで段階的に入力加速度を大きくしてステップ加振を行った。実験条件と主な結果をまとめて表 1, 2 に示す。なお、表中の透水係数は、原型スケールに換算したものである。

3.結果

図 2 に結果の一例としてシリーズ 1, case2 の A3 地点での応答加速度と過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。t=10.0s で過剰間隙水圧比がほぼ 1 に達し、応答加速度波形には顕著なスパイク波が現れており地盤が液状化したことがわかる。液状化し

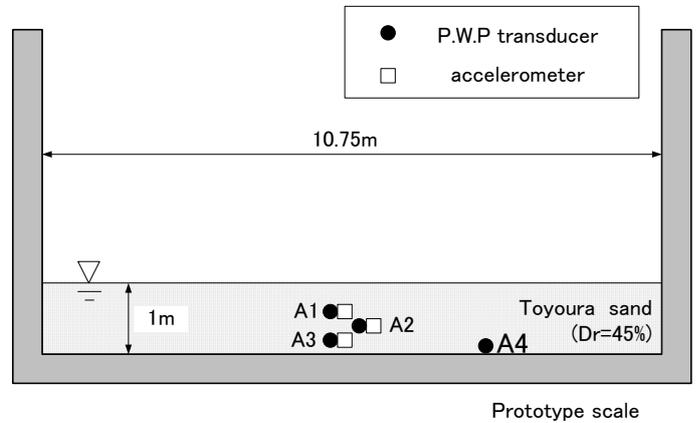


図 1 加振実験の模型概略図

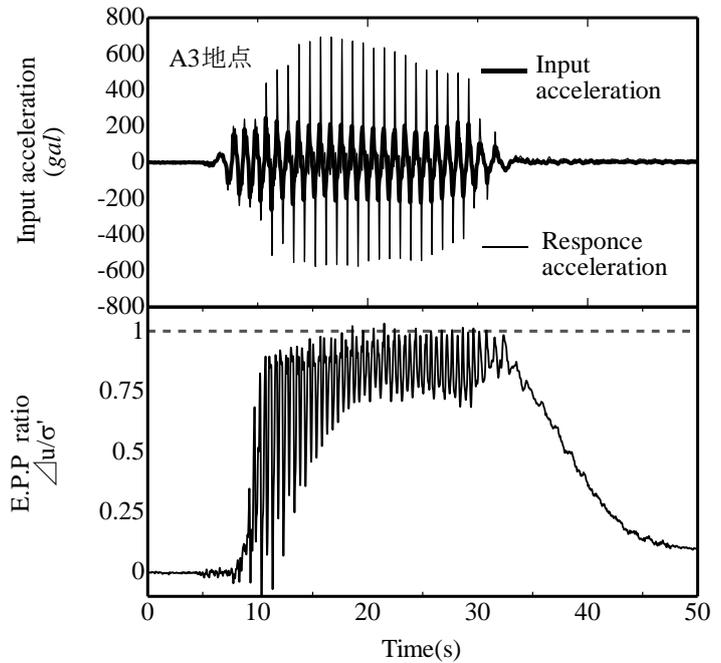


図 2 200gal 加振時の応答加速度と過剰間隙水圧

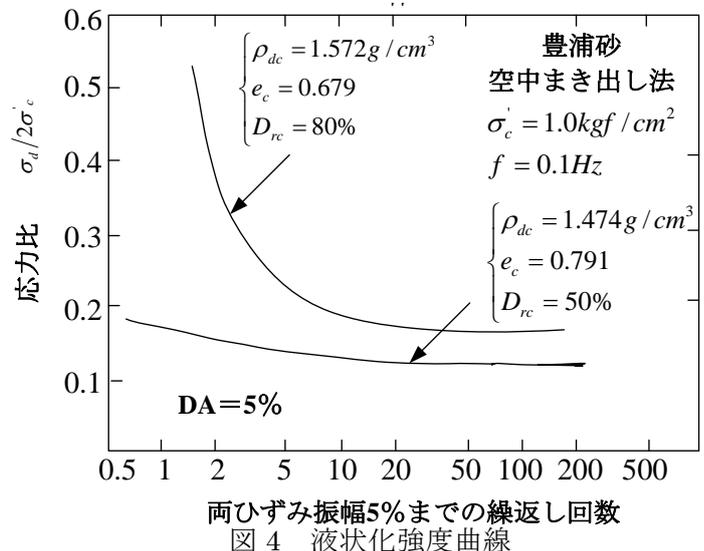


図 4 液状化強度曲線

た時点での波数は、
ケースによって 3～
13 回と必ずしも一
定ではなかったので、
このときの入力加速
度振幅 α と図 4 に
示す液状化強度曲線
②を用いて波数 20 回

で液状化する加速度 α' を次式
により求めた。ここで、 R_n は
遠心実験で液状化するまでの
波数(n) に対応するせん断力
比、 R_{20} は繰返し回数 20 回で
のせん断応力比である。

$$\alpha' = \frac{R_{20}}{R_n} \times \alpha$$

各ケースにおいて初めて液状
化した加振ステップでの α' と
透水係数の関係を図 5 に示す。

また、過剰間隙水圧の消散に

は透水係数、体積圧縮係数、飽和層厚、液状化するまでにかかった時間で表される時間係数が支配的パラメータであり、これを図 5 の上軸に示した。体積圧縮係数は圧密試験を行い、除荷過程での測定値を用いた。シリーズ 1 の体積圧縮係数は $1.3 \times 10^{-4} (\text{m}^2/\text{s})$ 、シリーズ 2 では $7.5 \times 10^{-5} (\text{m}^2/\text{s})$ である。液状化する際の加速度は透水係数あるいは時間係数が小さい範囲では一定となっており、この範囲では加振中に地盤は非排水状態となっているものと考えられる。このときの α' は図 4 の液状化試験から得られる液状化強度を用い、現行の液状化判定法③で $FL=1$ となる加速度 57gal(シリーズ 1)、87gal(シリーズ 2)にほぼ一致している。一方、透水係数が $2.7 \times 10^{-5} (\text{m/s})$ 以上(時間係数が 0.2 以上)の範囲では、 α' は透水係数の増加と共に増大しており、排水の影響により地盤が液状化しにくくなることがわかる。シリーズ 2 でもシリーズ 1 と同様な傾向がみられる。

4.まとめ

本研究では、現行の液状化判定法で考慮されていない加振中の排水の影響を明らかにするために、薄い飽和層の模型地盤で液状化実験を行った。その結果以下の結論が得られた。

- 1) 透水係数および時間係数の増加に伴い、ある一定以上の範囲では排水の影響が現れて、液状化しにくくなる。
- 2) 時間係数の値が 0.2 付近までは液状化強度比が一定であることから、時間係数が 0.2 付近までは非排水状態であり、それ以上では排水の影響がみられる。

参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所，独立行政法人土木研究所：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震土木施設災害調査速報，国総研資料第 646 号
- 2) 安田進：液状化の調査から対策工まで，pp.56，1988 年 11 月 15 日
- 3) 社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編(平成 14 年 3 月)

表 1 実験条件(シリーズ 1)

case	1	2	3	4	5	6	7	8	9
透水係数(m/s)	3.2×10^{-3}	3.2×10^{-4}	3.0×10^{-4}	2.2×10^{-4}	1.3×10^{-7}	6.5×10^{-5}	2.7×10^{-5}	6.3×10^{-6}	3.2×10^{-6}
加振開始から液状化に要した時間(s)	2.5	3	3	3.5	4.8	9	10	12	9.5
加振開始から液状化するまでの波数	4	5	4	3	3	5	7	8	8

表 2 実験条件 (シリーズ 2)

case	1	2	3
透水係数(m/s)	1.2×10^{-4}	4.6×10^{-5}	1.5×10^{-5}
加振開始から液状化に要した時間(s)	9.5	17.5	12.5
加振開始から液状化するまでの波数	13	12	12

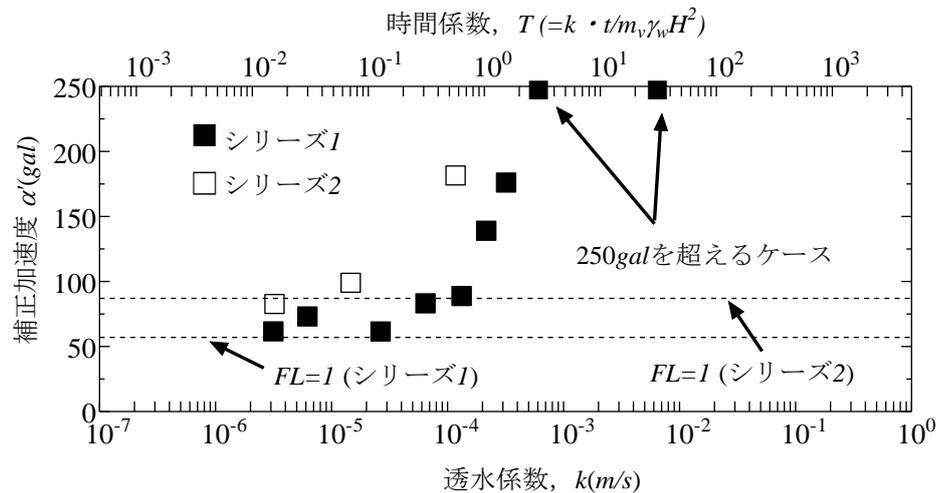


図 5 入力加速度・時間係数・透水係数の関係