

## 飽和砂地盤の透水を考慮したオンライン地震応答実験による液状化挙動 Liquefaction Behavior by using Pseudo-Dynamic Tests that Considers Permeability of Saturated Sands

○山田峻作<sup>1</sup>, 山田雅一<sup>2</sup>, 安達俊夫<sup>2</sup>, 寺木亨<sup>1</sup>Shunsaku Yamada<sup>1</sup>, Masaichi Yamada<sup>2</sup>, Toshio Adachi<sup>2</sup>, Toru Teraki<sup>1</sup>

Abstract : The objective of this paper is to present the improved testing system that can be used to evaluate correctly the permeability condition of the pseudo-dynamic tests.

### 1. はじめに

液状化を対象としたせん断試験では、飽和砂に非排水条件のもとで繰返しせん断を与えることにより液状化を再現し、定量的に評価することで多くの知見が得られている。一方、実際には地盤条件等により地震動中であっても間隙水の移動が発生し、非排水条件が成り立たないと考えられる。

そこで本報では、実地盤の地震時における過剰間隙水圧の上昇と消散を再現するため、一次元透水方程式を組み込んだオンライン地震応答実験（以下、オンライン実験）システムの開発を行い、2層系飽和砂地盤において透水が液状化挙動に及ぼす影響について検討する。

### 2. オンライン地震応答実験

#### 2.1. 概要

オンライン実験は、地震応答解析においてモデル化が困難な部分を要素試験から直接取り込む解析手法として、伯野・四俵らによって提案されたり<sup>1)</sup>。これを地盤工学の分野に応用し、現在に至るまで多くの研究がなされている<sup>例えば 2)3)</sup>。

オンライン実験では実験から得られる応答値を直接用いるため、実験の精度が復元力特性等に大きく影響を与える。したがって、本報では原地盤における土要素の応力・変形状態を比較的忠実に再現することができる中空ねじりせん断試験機を用いる。また、実験誤差の蓄積がオンライン実験の応答結果に影響を与えるという課題点が挙げられる<sup>4)</sup>。この実験誤差の補正方法には文献5)で報告した接線剛性による誤差補正方法を用いる。

透水の考慮に関しては、部分的排水条件と捉え、ダルシー則に基づく一次元透水方程式より地震による振動中に発生する間隙水の流量およびそれに伴う過剰間隙水圧の変化を算出し、圧力制御により透水現象の再現を行う。なお、本システムに組み込んだ透水方程式の詳細に関しては文献6)を参照されたい。

#### 2.2. 本システムの構成

本システムの構成の概略図を Fig.1 に示す。中空ねじりせん断試験機は、供試体への精度の高い载荷を行うために電動ジャッキによるアクチュエータ制御を行っている。また、透水による過剰間隙水圧の制御には圧力制御器を用いた水圧制御装置を使用し、供試体内部と圧力制御装置の間につないだ水槽内部との圧力差によって透水現象を具現する。また、水圧制御の際に圧力制御装置の制御精度から  $2.0\text{kN/m}^2$  の許容誤差を設けている。これら機器の制御および各センサーからのデータの取得、数値解析などはすべて PC によって操作・処理する。

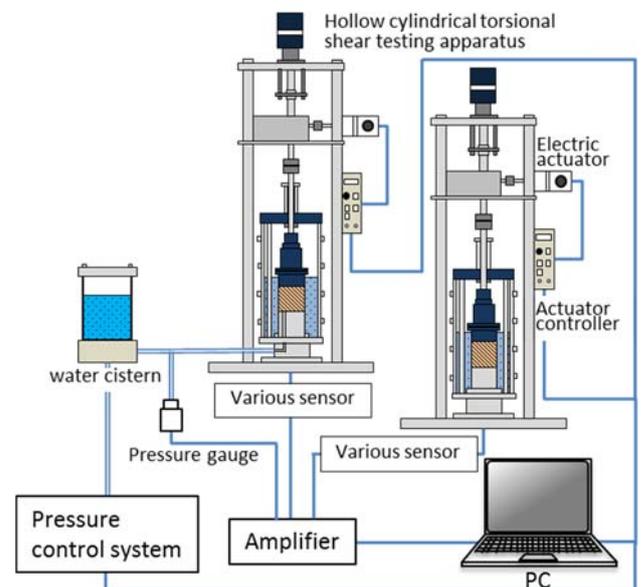


Fig.1 Development system configuration diagram

Table1 Experimental conditions

ケース	層	相対密度 (%)	初期せん断剛性 ( $\text{kN/m}^2$ )	有効拘束圧 ( $\text{kN/m}^2$ )	透水係数 ( $\text{cm/s}$ )
1	上層	60	38020	24.5	—
	下層	40	50437	73.5	—
2	上層	57	33109	24.5	$1.8 \times 10^{-2}$
	下層	38	55944	73.5	$1.8 \times 10^{-2}$

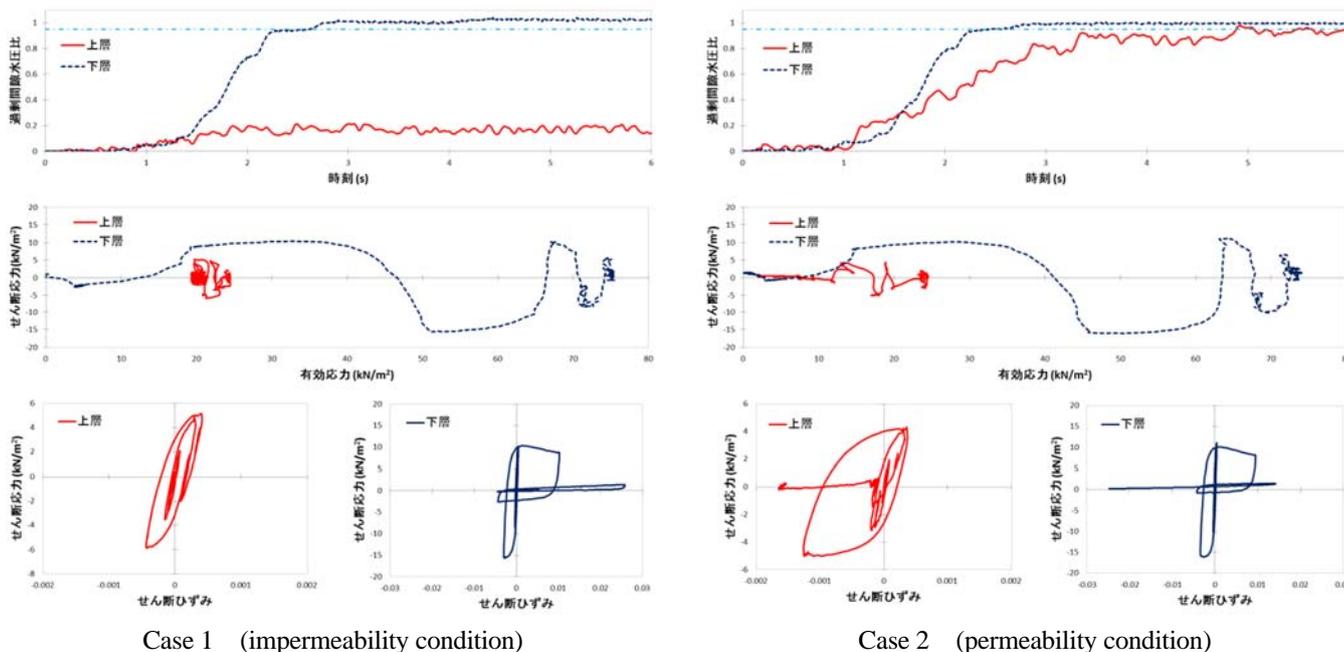


Fig.2 Pseudo-dynamic test results

### 3. 実験概要

深さ 10m (上層 5m, 下層 5m) の 2 層系飽和砂地盤を対象とした。

実験に用いた試料は、豊浦砂 ( $\rho_s=2.631\text{g/cm}^3$ ,  $e_{\max}=0.977$ ,  $e_{\min}=0.608$ ), 供試体を空中落下法により中空円筒状 (高さ 10cm, 外径 10cm, 内径 6cm) に作製し, 脱気水および背圧で飽和させた。その後各層の中心の応力状態を再現した。各実験ケースを Table1 に示す。ケース 1 では透水を考慮しないオンライン実験, ケース 2 では透水を考慮したオンライン実験を行った。なお, 透水の影響が顕著に表れるような相対密度の地盤を想定した。最大加速度を 270gal に調整した El Centro (1940) NS 成分を入力した。

### 4. 実験結果

ケース 1 およびケース 2 のオンライン実験の間隙水圧比時刻歴および有効応力経路, 応力-ひずみ関係を Fig.2 に示す。また, 過剰間隙水圧比の時刻歴には液状化と判断される過剰間隙水圧比 0.95 の値を一点鎖線で併せ示した。なお, 上層の過剰間隙水圧比は水圧の制御の際の許容誤差等により細かく変動していることが見て取れる。

ケース 1 では, 過剰間隙水圧比時刻歴より上層の過剰間隙水圧比が 0.95 に達していないことから液状化していないことがわかる。また, 上層のひずみも下層に比べほとんど発達していないことが応力-ひずみ関係から見て取れる。一方, ケース 2 では, 下層からの透水により時間と共に上層の過剰間隙水圧の上昇していることがわかる。また, 5 秒付近で上層の過剰間隙水

圧比が 0.95 に達していることから液状化していることが確認できる。また, 下層が先に液状化しているため, 上層は液状化しているにもかかわらず, ひずみがほとんど発達していないことが認められる。以上のことから, 地盤条件によっては透水による影響は無視できないものと考えられる。

### 5. まとめ

本報では, 地震時の透水を考慮するため, 一次元透水方程式を組み込んだオンライン実験システムの開発を行い, 同システムを用いて 2 質点系オンライン実験を行った。実験結果から透水現象が液状化の発生に大きく寄与する可能性を示唆した。

今後, システムの改良および透水の影響をより詳細に検討していく必要がある。

### 【参考文献】

- 1) 白野元彦他: 計算機に制御されたはりの動的破壊実験, 土木学会論文報告集, No.171, pp.1~9, 1969.11
- 2) 片田敏行他: オンライン実験による液状化地盤の非線形振動解析, 「土木学会論文報告集」, 第 318 号, pp.21~28, 1982
- 3) 日下部伸他: オンライン地震応答実験による 2 層系砂地盤の液状化挙動, 土質工学会論文報告集, Vol.30, No.3, pp.174 - 184, 1990.
- 4) Nakashima, M. et al. : Part 4 : Control of Experimental Error Growth in Pseudo Dynamic Testing (Stability and Accuracy Behavior of Pseudo Dynamic Response), Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), No.401, pp.129-138, 1989.
- 5) 寺木亨他: 地盤系オンライン地震応答実験システムにおける誤差補正方法の違いが応答結果に及ぼす影響, 日本大学理工学部学術講演会論文集, 2015
- 6) 道明裕毅他: 透水を考慮したオンライン地震応答実験システムの開発, 2014 年度日本建築学会関東支部研究報告集, pp.393 - 396, 2015.