

透水を考慮したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験

—その4 地震動の継続時間が液状化挙動に与える影響—

Substructure Pseudo Dynamic Test Considering Permeability

—Part 4 The Influence of Duration of Earthquake Motion on Liquefaction Behavior—

○韓業偉¹, 山田雅一², 道明裕毅², 井上健太³*Yewei Han¹, Masaichi Yamada², Yuki Domyo², Kenta Inoue³

Abstract: In this paper, we conducted a ground the Substructure pseudo dynamic test considering permeability. The influence of duration of earthquake motion on liquefaction behavior was investigated. From the experimental results, it was confirmed that the maximum shear strain is suppressed as compared with the case where permeability is not considered when considering permeability. In addition, it was confirmed that when the duration of earthquake motion is long, the occurrence time of liquefaction becomes faster when considering permeability as compared with the case where permeation is not taken into consideration.

1. はじめに

地盤の液状化特性を室内の要素試験を用いて定量的に評価する際、地震動の継続時間が比較的短いことから間隙水の移動（以下、透水を称す）が無いものとみなし、非排水条件のもとで繰返しせん断試験を行って液状化強度を把握する。一方、地盤の表層付近において飽和砂層の液状化の可能性を検討する場合や透水性の高い砂層が直近に存在する場合には、地震動の継続時間中においても透水が起るものと考えられる¹⁾。また、液状化強度の高い砂層においても下部砂層の液状化による過剰間隙水圧の伝搬で液状化近くまで至る可能性も示唆されている²⁾。

2011年の東北地方太平洋沖地震では、東北地方から関東地方の広い範囲において地盤の液状化現象が確認された。このとき、千葉県浦安市では、震源から約400km離れた地点で、かつ観測された地表面加速度は約160galと比較的小さかったのにも関わらず、甚大な液状化被害が確認されている。このように、震源から離れており地表面加速度も小さいながら甚大な被害が起きた原因の一つとして、地震動の継続時間が長かったことが挙げられる³⁾。

そこで、本研究では、透水を考慮したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験システムを開発し、透水が地盤の液状化挙動に与える影響について検討する。

本報告では、前報その1⁴⁾で開発を行った、透水を考慮したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験システムを用いて、地震動の継続時間が液状化挙動に与える影響について検討する。

2. 実験概要

Table 1に地盤モデル、Table 2に実験条件を示す。本報告で実施した透水を考慮したサブストラクチャ・オ

ンライン地震応答実験で想定する地盤は、地下水位2mの深さ20m、4層地盤とし、1層目を層厚2mの不飽和砂層、2~4層目を層厚6mの飽和砂層とした。2層目をオンライン地震応答実験層（液状化対象層）、他の層を非線形解析層とした。オンライン地震応答実験には中空ねじりせん断試験機を用いた。供試体は各層の中心の有効上載圧を再現した。解析層には、H-Dモデルを用いた。透水係数はCreagerのによる方法⁵⁾によって求めた値を用いる。実験に用いた試料は、豊浦砂（ $\rho_s=2.631\text{g/cm}^3$, $e_{\max}=0.98$, $e_{\min}=0.61$ ）、供試体はJGS 0550に準拠し、空中落下法により中空円筒状（高さ10cm、外径10cm、内径6cm）に製作し、相対密度 $Dr=60\%$ と

Table 1. Ground model

Layer NO.	Initial shear modulus G_0 (kN/m ²)	Reference strain γ (%)	Coefficient of volume compression m_v (m ² /kN)	Coefficient of Permeability k (cm/s)
1	2.48×10^4	0.045	7.18×10^{-4}	0.2
2	$5.49 \times 10^4 \sim 5.80 \times 10^4$	0.02	5.72×10^{-4}	
3	8.25×10^4	0.238	4.97×10^{-4}	0.002
4	1.02×10^5	0.239	4.49×10^{-4}	

Table 2. Experimental conditions

Case NO.	Considering permeability	Earthquake wave	Maximum acceleration (gal)	Duration of earthquake motion (s)
1	○	Urayasu wave	157.3	300
2	×			
3	○	EL Centro-NS wave	270	50
4	×			

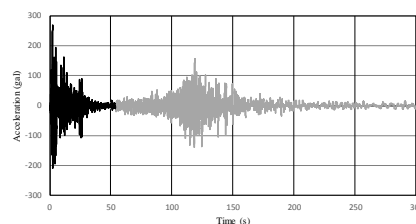


Figure 1. Input ground motion

1: 日大理工・学部・建築 2: 日大理工・教員・建築 3: 日大理工・院(前)・建築

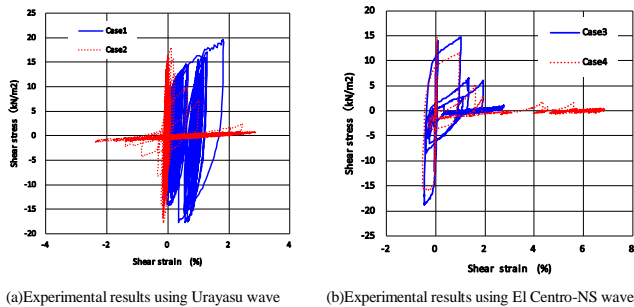
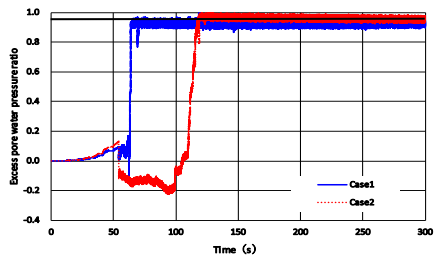
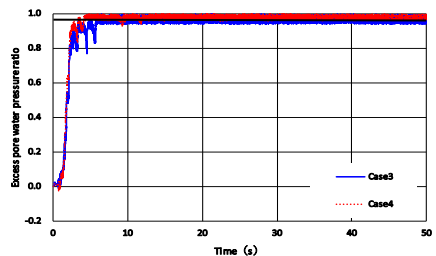


Figure 2. Relationship between shear stress and shear strain



(a) Experimental results using Urayasu wave



(b) Experimental results using El Centro-NS wave

Figure 3. Excess pore pressure ratio time history

した。Figure 1 に K-NET より、浦安市で観測された地表面波（最大加速度 157.3gal，刻み時間 0.01 秒，継続時間 300 秒）（以降、浦安波と称す）と El Centro-NS 波（最大加速度 270gal，刻み時間 0.01 秒，継続時間 50 秒）を示す。入力地震動は浦安波と，El Centro-NS 波の地表面最大加速度を 270gal に調整した地表面加速度を，k-SHAKE[®]により引き戻し計算をして求めた基盤波を用いる。

3. 実験結果

サブストラクチャ・オンライン地震応答実験で得られた実験層のせん断応力-せん断ひずみ関係を Figure 2 に，過剰間隙水圧比時刻歴を Figure 3 に示す。同図中の青い実線で示したデータは，透水を考慮した試験結果（Case1，3）であり，赤い点線で示したデータは，透水を考慮していない試験結果（Case2，4）である。また，過剰間隙水圧比時刻歴には液状化と判断する過剰間隙水圧比 0.95 の値を直線で併せ示した。Table3 には，各実験ケースでの最大せん断応力，最大せん断ひずみ，液状化の発生時刻を示した。まず Figure 2(a) に示した，浦安波を用いた Case1 と Case2 の各実験結果に着目する。Figure 2(a) と Table 3 より，最大せん断応

Table 3. Experimental result

Case NO.	Maximum shear stress (kN/m ²)	Maximum shear strain (%)	Liquefaction occurrence time (s)
1	19.56	1.82	65.00
2	17.96	2.87	116.95
3	14.81	2.77	3.43
4	14.72	6.85	2.75

力に大きな差は見られないが，透水を考慮している Case1 では，透水を考慮していない Case2 に比べ，最大せん断ひずみが 1%程度，抑制されていることが確認できる。また，Figure 3(a) と Table 3 より，過剰間隙水圧比の上昇傾向に違いがみられ，透水を考慮した Case1 の方が 1 分程度早く液状化が発生している。

次に，El Centro-NS 波を用いた Case3 と Case4 の各実験結果に着目する。Figure 2(b) と Table 3 より，透水を考慮している Case3 では，透水を考慮していない Case4 に比べ，最大せん断ひずみが 4%程度，抑制されていることが確認できる。一方で，Figure 3(b) と Table 3 より過剰間隙水圧比時刻歴に着目すると，液状化の発生時刻に大きな違いは見られなかった。

4. まとめ

本研究では，透水を考慮したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験システムを用いて，地震動の継続時間が液状化挙動に与える影響について検討した。本モデルにおける試験結果を以下にまとめる。

- (1) 透水を考慮した場合，考慮していない場合に比べ，最大せん断ひずみが抑制されることが確認できた。
- (2) 地震動の継続時間が長いと，透水を考慮していない場合に比べ，透水を考慮した場合の方が液状化の発生時刻が早くなることが確認できた。

【参考文献】

- 1) 梅原靖文 他:排水効果を考慮した飽和砂の液状化強度,港湾空港技術研究所報告,Vol.20,No.1,1981.3.
- 2) 小林恒一 他:液状化が上部非液状化層に及ぼす影響,第 41 回地盤工学研究発表会, pp.2045-2046, 2006.7.
- 3) 日本建築学会:2011 年東北地方太平洋沖地震災害調査速報, pp.535-536,2011.
- 4) 粉谷拓実 他:透水を考慮したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験の開発 - その 1 開発システムの概要 -,日本大学理工学部卒業研究梗概,2018.
- 5) Creager, W.P., et al:soil tests and their utilization, in Engineering for dams, Vol. III:Earth,Rock-fill,Steel and Timber Dams,John Wiley and Sons,pp.645-654,1944.
- 6) 構造計画研究所:k-SHAKE Version 3.0, 2000.