

## 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 2 予備実験結果—

### Substructure Pseudo Dynamic Test Considering Permeability

#### -Part 2 Preliminary Experiment Results-

○朱俊毅<sup>1</sup>, 山田雅一<sup>2</sup>, 道明裕毅<sup>2</sup>, 井上健太<sup>3</sup>

\*Junyi Zhu<sup>1</sup>, Masaichi Yamada<sup>2</sup>, Yuki Domyo<sup>2</sup>, Kenta Inoue<sup>3</sup>

Abstract: In this study, developing a substructure pseudo dynamic testing system considering permeability and investigate the influence of permeability on the liquefaction behavior of the ground. In this report, a preliminary experiment was conducted on a simple sandy ground model using a developed system, and the preliminary experiment results are reported. In addition, Report on the influence of permeability consideration on ground behavior at the time of earthquake. In this model, by considering permeability, maximum shear strain was suppressed. Also, it was confirmed that the behavior of the excess pore pressure ratio changes due to the influence of the stratigraphy of the ground when permeability is considered.

#### 1. はじめに

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。前報その<sup>1)</sup>では、開発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について、開発システム概要、導入した透水方程式および過剰間隙水圧モデル、適用した誤差補正方法、システムフローなどを報告している。本報では、前報その<sup>1)</sup>で開発を行っ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、簡易な砂地盤モデルに対して予備実験を行い、その予備実験結果を報告するとともに、透水の考慮の有無が地震時の地盤挙動に与える影響について報告する。

#### 2. 実験概要

Table 1 に本実験で用いた地盤モデルを示す。本報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 3m の深さ 18m、6 層地盤とし、1 層目を層厚 3m の不飽和砂礫層、2~6 層目を層厚 3m の飽和砂層とした。また、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、解析層には、復元力モデルとして H-D モデルを用いた。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  $D_r=60\%$  とした。初期せん断剛性は、1 層目の砂礫層には Prange の経験式<sup>2)</sup>によって求めた値を用いる。2 層目(実験層)の初期せん断剛性は、供試体に  $\pm 10^5$  のひずみを与えて得られたせん断ひずみから求め

た値を用いる。3~6 層目の細砂層は、Iwasaki の経験式<sup>3)</sup>によって求めた値を用いる。なお、初期せん断剛性の算出に用いる間隙比は、1 層目の砂礫層には、森らによる試験結果<sup>4)</sup>における礫含有率 50% のときの値を用いる。3~6 層目の細砂層は、3, 4 層目は相対密度 70%, 5, 6 層目は相対密度 80% と仮定し、豊浦砂の土粒子密度と乾燥密度から算出した値を用いる。体積圧縮係数には、吉田らの実験式<sup>5)</sup>によって求めた値を用いる。透水係数は、Creager による方法<sup>6)</sup>によって求めた値を用いる。

Fig.1 に入力地震動の加速度波形を示す。入力地震動は、El Centro-NS 波(最大加速度 270gal, 刻み時間 0.01 秒, 継続時間 30 秒)を用いる。

サブストラクチャ・オンライン地震応答実験は、透水を考慮した場合(Case1)と透水を考慮していない場合(Case2)について実施した。

#### 3. 試験結果

まず、本システムに適用した誤差補正方法の精度の確認を行う。Fig.2 に、実験で測定したせん断ひずみ(以下、測定ひずみと称す)と数値積分より得られた応答変位に相当するせん断ひずみ(以下、目標ひずみと称す)の関係を示す。同図より、測定ひずみと目標ひずみの関係は一定となることが確認できる。次に、測定ひずみと目標ひずみの誤差に着目する。Fig.3 に、測定ひずみと目標ひずみの差の時刻歴を示す。同図より、測定ひずみと目標ひずみの差が  $\pm 10^5$  以内であることを確認した。次に、2 層目(実験層)の応答値に着目する。Fig.4 にサブストラクチャ・オンライン地震応答実験で得られた実験層の応答加速度の時刻歴を示す。Fig.4 中の黒い実線で示したデータは、透水を考慮し

Table 1. Ground model

Layer No.	Soil	Layer thickness H (m)	Wet density $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Void ratio e	Effective overburden pressure $\sigma_v$ (kN/m <sup>2</sup> )	Initial shear modulus $G_0$ (kN/m <sup>2</sup> )	Reference strain $\gamma_r$ (%)	Coefficient of volume compressibility $m_v$ (m <sup>2</sup> /kN)	Coefficient of permeability k (cm/s)
1	Sand and gravel	3	2.141	0.644	42.0	$1.48 \times 10^5$	0.012	$4.10 \times 10^{-3}$	0.2
2(Test)	Fine sand	3	1.929	0.756	142.8	$8.12 \times 10^2 \sim 8.45 \times 10^2$	—	$2.58 \times 10^{-3}$	0.002
3	Fine sand	3	1.949	0.719	237.8	$1.26 \times 10^5$	0.076	$2.12 \times 10^{-3}$	0.002
4	Fine sand	3	1.949	0.719	333.3	$1.46 \times 10^5$	0.092	$1.87 \times 10^{-3}$	0.002
5	Fine sand	3	1.970	0.682	429.3	$1.79 \times 10^5$	0.128	$1.70 \times 10^{-3}$	0.002
6	Fine sand	3	1.970	0.682	525.9	$1.92 \times 10^5$	0.144	$1.57 \times 10^{-3}$	0.002

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

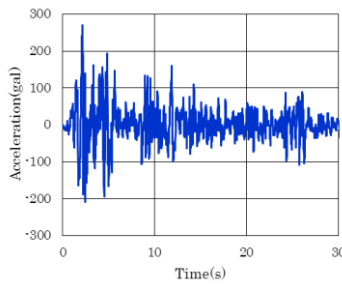


Fig.1. Input ground motion

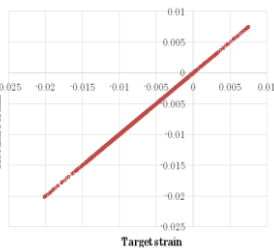


Fig.2. Relationships between measurement shear strain and target shear strain

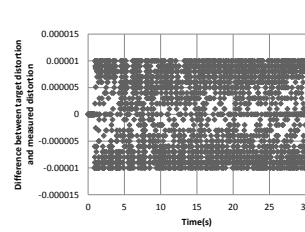


Fig.3. Difference between target distortion and measured distortion

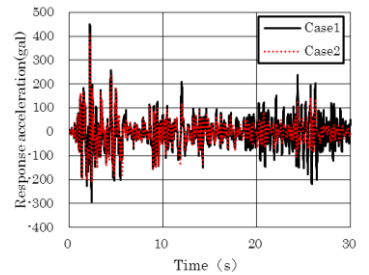


Fig.4. Response acceleration

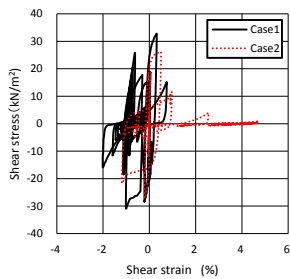
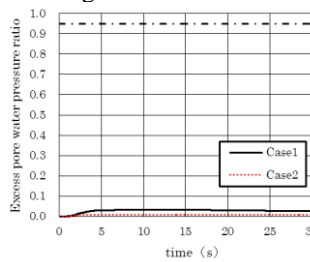
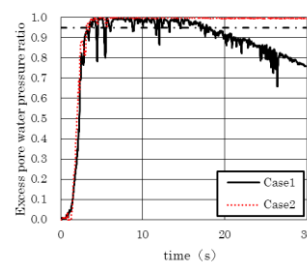


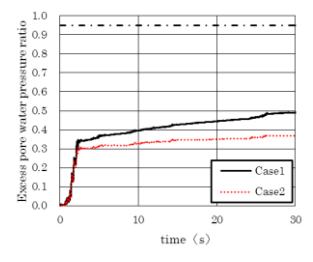
Fig.5. Shear stress-shear strain



(a)1st layer



(b)2nd layer



(c)3rd layer

Fig.6. Excess pore water pressure ratio time history

た試験結果 Case1 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 である。Fig.4 より、応答加速度は、20 秒を過ぎた辺りから、透水を考慮している Case1 と透水を考慮していない Case2 で差が見られはじめ、その後 Case1 の方が大きくなっていることが確認できる。

次に、せん断応力-せん断ひずみ関係に着目する。Fig.5 にサブストラクチャ・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示す。同図より、最大せん断応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抑制されていることが確認できる。

最後に、過剰間隙水圧比時刻歴に着目する。各層の過剰間隙水圧比時刻歴の中でも、透水が顕著に見られる 1~3 層目の試験結果を Fig. 6 に示す。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 の値を一点鎖線で併せ示した。同図(a)より、不飽和層である 1 層目(解析層)の透水を考慮していない Case2 は、過剰間隙水圧比の上昇が見られないが、透水を考慮している Case1 では、下層からの影響により若干の過剰間隙水圧比の上昇が確認できる。同図(b)より、2 層目(実験層)の透水を考慮している Case1 は、入力加速度が小さくなり始める 15 秒辺りから、過剰間隙水圧比が徐々に減少していることが確認できる。また、同図(c)の 3 層目(解析層)においては、入力加速度が大きくなる 2 秒辺りから、透水を考慮している Case1 と透水を考慮していない Case2 の試験結果で差が見られはじめ、

Case1 の試験結果が Case2 の試験結果に比べて高い値を示し、同図(b)で示した結果とは逆の傾向を示した。これにより、透水を考慮した場合、地盤の層序の影響により過剰間隙水圧比の挙動が変化することが確認できた。

#### 4. まとめ

本研究では、前報その 1<sup>1)</sup>で開発を行っ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、簡易な砂地盤モデルに対して予備実験を行った。本モデルにおいては、透水の考慮の有無により、最大せん断ひずみに違いが見られ、透水を考慮することで、最大せん断ひずみが抑制されることを確認できた。また、透水を考慮した場合、地盤の層序の影響により過剰間隙水圧比の挙動が変化することが確認できた。

#### 【参考文献】

- 1) 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 -その 1 システム概要-, 平成 30 年度日本大学理工学部学術講演会予稿集, 2018.
- 2) Prange, B. : Resonant column testing of railroad ballast, Proc. of the 10th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Vol.1, pp.273-278, 1981.
- 3) Iwasaki, T. et al. : Effects of grain size and grading on dynamic shear moduli of sands, Soils and Foundations, Vol.17, No.3, pp.19-35, 1977.
- 4) 森満雄 他：礫まじり土の締めめ密度の推定に関する研究, 土木学会論文集, No.541, pp.159-171, 1996.6.
- 5) 吉田望 他：YUSAYUSA-2 SIMMDL-2 理論と使用法(改訂版 Version 2.11), 2012.9.
- 6) 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.