

透水を考慮したオンライン地震応答実験
—その1 地震動の最大加速度が地盤の液状化挙動に与える影響—
A Pseudo-Dynamic Test Considering Permeability
—Part1 Influence of the Peak Acceleration of Input Wave on Liquefaction—

○井上健太¹, 山田雅一², 道明裕毅², 堀田寅男³
 *Kenta Inoue¹, Masaichi Yamada², Yuki Domyo², Torao Hotta³

Abstract: In this paper, pseudo-dynamic test capable of allowing for the permeability was conducted. The effect of the peak acceleration of input wave on the occurrence of liquefaction in the ground was investigated for the earthquake motion with a long duration. The target ground is a simple single-layer ground of 10 m. From the test results, when permeability was not taken into account, liquefaction occurred regardless of the peak acceleration of input wave. When permeability was taken into account, it was confirmed that the peak acceleration of input wave had an effect on the occurrence of liquefaction in the ground.

1. はじめに

地盤の液状化特性について、一般に地震動の継続時間が短いことから、地震動中の間隙水の移動（以下、透水）が無いものとみなし、検討が行われる。しかし、地震動の継続時間が長い場合など、特定の条件下においては、地震動の継続時間中においても透水が発生する可能性があることが示唆されている¹⁾。

本研究では、開発した透水を考慮したオンライン地震応答実験システム²⁾を用いて、継続時間が長い地震動を対象に、透水を考慮した際に地震動の最大加速度が地盤の液状化発生の有無に与える影響について検討する。

2. 実験概要

Table 1 に実験条件を示す。本研究で実施した透水を考慮したオンライン地震応答実験で想定する地盤は、地下水位 0m の深さ 10m, 1 層地盤とした。オンライン地震応答実験には中空ねじり試験機を用いた。供試体は層の重心位置の平均有効主応力を再現した。実験に用いた試料は霞ヶ浦砂 ($\rho_s=2.755\text{g/cm}^3$, $e_{\max}=0.944$, $e_{\min}=0.605$), 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）に作製し、圧密後の相対密度 $D_r=60\%$ とした。地盤モデルの各パラメータについて、初期せん断剛性 G_0 は、供試体に $\pm 10^{-5}$ のせん断ひずみを与えて得られたせん断応力-せん断ひずみ関係から求めた値を用いる。体積圧縮係数 m_v には、吉田らの実験式³⁾によって求めた

値を用いる。透水係数は、JIS A 1218 に準じた定水位透水試験によって求めた値を用いる。Figure 1 に入力地震動を示す。入力地震動は、K-NET より、2011 年東北地方太平洋沖地震の際に千葉県浦安市で観測された地表面波を調整したものをを用いる（最大加速度 157gal・350gal, 刻み時間 0.01 秒, 継続時間 198 秒）。オンライン地震応答実験は、2 つの入力地震動の最大加速度に対して、それぞれ透水を考慮した場合（Case1, Case3）と考慮していない場合（Case2, Case4）について実施した。

3. 実験結果

本実験で得られた、過剰間隙水圧比時刻歴を Figure 2 に、応答加速度を Figure 3 に、せん断応力-せん断ひずみ関係を Figure 4 に示す。各図中の赤い実線で示したデータは、透水を考慮した実験結果（Case1, Case3）であり、黒い点線で示したデータは、透水を考慮していない実験結果（Case2, Case4）である。

まず、Figure 2 に示した過剰間隙水圧比時刻歴に着目する。同図 (a) より、地震動の最大加速度が小さい場

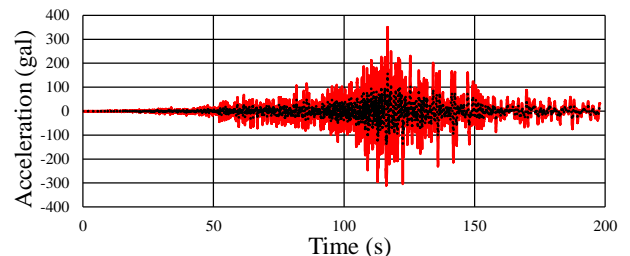
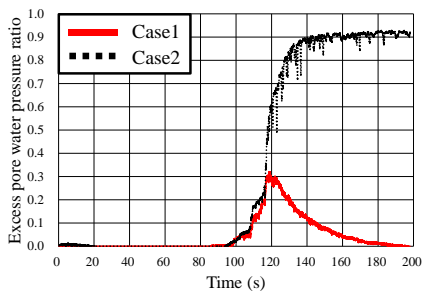


Figure 1. Input waves

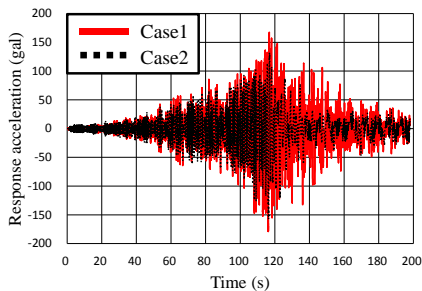
Table 1. Test conditions

Case No.	Considering permeability	Peak acceleration (gal)	Layer thickness H (m)	Mean effective principle stress σ'_m (kN/m ²)	Density ρ_s (g/cm ³)	Initial shear modulus G_0 (kN/m ²)	Coefficient of volume compressibility m_v (m ² /kN)	Coefficient of permeability k (m/s)
1	○	157	10	43.9	2.010	4.87×10^4	3.53×10^{-3}	1.03×10^{-3}
2	×				2.016	4.98×10^4		—
3	○	2.010			5.28×10^4	1.03×10^{-3}		
4	×	350			2.001	4.26×10^4		—

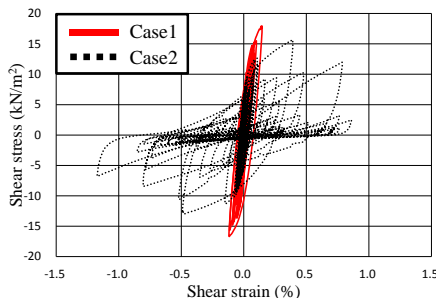
1 : 日大理工・院（前）・建築 2 : 日大理工・教員・建築 3 : 日大理工・学生・建築



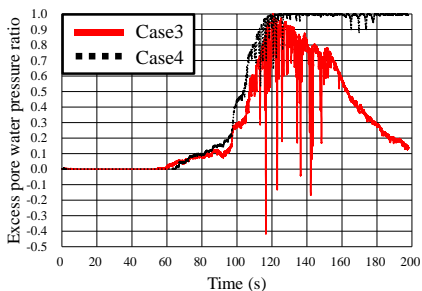
(a) Peak ground Acc. = 157gal



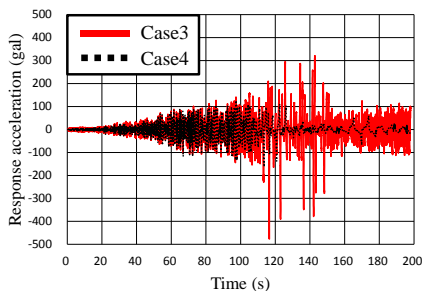
(a) Peak ground Acc. = 157gal



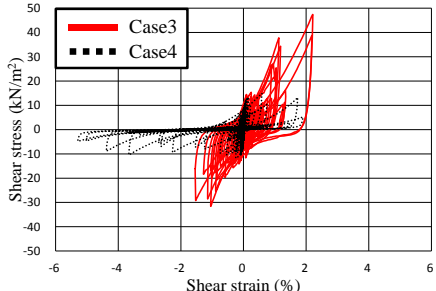
(a) Peak ground Acc. = 157gal



(b) Peak ground Acc. = 350gal



(b) Peak ground Acc. = 350gal



(b) Peak ground Acc. = 350gal

Figure 2. Excess pore water pressure ratio time history

Figure 3. Response acceleration time history

Figure 4. Relationship between shear stress and shear strain

合、透水を考慮した Case1 では過剰間隙水圧比が 0.3 程度までしか上昇せず、その後の地震動の落ち着きとともに消散していることが確認できる。それに対し、透水を考慮していない Case2 では過剰間隙水圧比が 0.9 程度と液状化近くまで至っており、透水の考慮の有無により過剰間隙水圧挙動に顕著な違いが見られる。また、同図 (b) より、地震動の最大加速度が大きい場合、透水の考慮の有無によらず Case3, Case4 とともに過剰間隙水圧比が 1.0 付近まで上昇しており、液状化に至ることが確認できる。しかし、透水を考慮した Case3 では、液状化に至った後に過剰間隙水圧の消散が見られるとともに、透水を考慮していない Case4 に比べ、サイクリックモビリティによる非常に大きな過剰間隙水圧の減少が確認できる。これより、透水の考慮の有無が地盤の液状化発生と液状化後の水圧挙動に影響を与える可能性が示唆された。

次に、Figure 3 に示した応答加速度時刻歴に着目する。同図 (a), (b) より、透水を考慮していない Case2, Case4 では、透水を考慮した Case1, Case3 に比べて応答加速度が小さくなっていることが確認できる。これは、過剰間隙水圧比の上昇に伴う地盤の剛性低下によるものと考えられる。また、透水を考慮した Case3 では、サイクリックモビリティに伴う応答加速度の増大が見られ、透水を考慮していない Case4 では、一般的にサイクリックモビリティと共に見られるスパイク状の加速度応答が確認できる。

最後に、Figure 4 に示したせん断応力-せん断ひずみ関係に着目する。同図 (a), (b) より、透水を考慮していない Case2, Case4 では、せん断応力が 0 に近い値で、せん断ひずみの大きな増減が発生しており、このことから液状化に至っていることが確認できる。また、同図 (b) の地震動の最大加速度が大きい場合、透水を考慮した Case3 では、ダイレイタンスーによる剛性の回復が顕著に見られた。

4. まとめ

本研究では、透水を考慮したオンライン地震応答実験を行い、継続時間が長い地震動を対象に、透水を考慮した際に地震動の最大加速度が地盤の液状化発生の有無に与える影響について検討した。本モデルにおける実験結果から、透水を考慮していない場合については、地震動の最大加速度の違いによらず液状化が発生したが、透水を考慮した場合は、地震動の最大加速度が地盤の液状化発生の有無に影響を与えることが確認できた。

謝辞：本検討にあたり、防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET で観測された地震波を使用させていただきました。ここに記して感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 道明裕毅 他：透水係数の違いが砂地盤の液状化挙動に与える影響-その 2 有効応力解析を用いた検討-, 第 54 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp. 375-376, 2019, 7.
- 2) 道明裕毅 他：サブストラクチャ・オンライン地震応答実験による透水が液状化挙動に与える影響 - その 1 開発システムの概要 -, 第 53 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.487-488, 2018, 7.
- 3) 吉田望 他：YUSAYUSA-2 SIMMDL-2 理論と使用法(改訂版 Version 2.11), 2012.9.