

B-4

透水の考慮の有無が地盤の液状化挙動に与える影響

—地盤の層序の影響に関する検討—

Effects of Consideration of Permeability on the Liquefaction

-Examination of the Stratigraphy of the Ground-

○小島幹生¹, 山田雅一², 道明裕毅²

*Mikio Kojima¹, Masaichi Yamada², Yuki Domyo²

Abstract: In this study, we focused on the effects of permeability and stratigraphy, and performed effective stress analysis considering permeability for a simple sandy ground model. The results suggest that the possibility of liquefaction may increase by considering permeability. We also clarified that the liquefaction behavior changes depending on the stratigraphy of the coefficient of permeability, and verified the tendency.

1. はじめに

液状化に関する既往の研究の多くは、間隙水の移動（以下、透水）に必要な時間に対して地震動継続時間が比較的短いことから非排水条件で行われてきた。一方で、東北地方太平洋沖地震で発生した大規模な液状化被害の要因の一つに、地震動継続時間が非常に長かったことが挙げられ¹⁾、地震動中の透水を考慮する必要があると考えられる。

また、地盤は多種多様な要素で構成されており、地域によって異なる層序で存在している。それらの要素が透水の有無とどのように関係しているかを明らかにすることは、透水を考慮した研究を行う上で有意義である。

そこで、本研究では、簡易な砂地盤モデルに対して有効応力解析を実施し、透水の有無および層序の違いが地盤の液状化挙動に及ぼす影響について検討する。

2. 解析概要

解析には、1次元有効応力解析プログラム「YUSAYUSA-2」²⁾を用いた。解析に用いた地盤モデルを Fig.1 に示す。層厚は9m、GL-0~3mを不飽和砂層、GL-3~9mを飽和砂層の3層地盤モデルとし、全て相対密度 $D_r=60\%$ の豊浦砂で構成される一様地盤とした。主な解析条件を Table1 に示す。砂層の初期せん断剛性 G_0 は、Iwasaki ら³⁾による推定式を用いた。内部摩擦角 ϕ 、変相角 ϕ_p および間隙水圧モデルに必要なパラメータ B_p 、 B_u は、中空ねじりによる繰返しせん断試験結果

⁴⁾から算出し、同じく間隙水圧モデルに必要なパラメータ κ は 0.06 とした。せん断強度 τ_{max} は、内部摩擦角 ϕ と有効上載圧 σ'_v よりクーロンの破壊規準を用いて算出した。各層の応力-ひずみ関係は、H-D モデル⁵⁾を用いた。体積圧縮係数 m_v は、吉田らの示す実験式²⁾を用いた。

Table2 に解析 Case の一覧を示す。Case1 は非排水条件、Case2~5 では透水を考慮している。Case2~5 の透水係数 k は、Creager による方法⁶⁾の微粒砂および中粒砂の各区分における最大値を用い、微粒砂は $1.4 \times 10^{-4} \text{m/s}$ 、中粒砂は $7.5 \times 10^{-4} \text{m/s}$ である。

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た（最大加速度 300gal・350gal、刻み時間 0.01 秒、継続時間 180 秒）。入力地震動の加速度波形を Fig.2 に示す。

3. 解析結果

最大加速度（以下、 α_{max} ）=300gal の地震波を用いた 2 層目と 3 層目の解析結果として、Fig.3 に全ての Case の過剰間隙水圧比時刻歴を示す。各図において、Case1（非排水条件）を黒色の実線、Case2 を赤色の実線、Case3 を青色の実線、Case4 を緑色の実線、Case5 を黄色の実線でそれぞれ示す。また、 $\alpha_{max}=350\text{gal}$ の地震波を用いた 2 層目と 3 層目の解析結果として、Fig.4 に全ての Case の過剰間隙水圧比時刻歴を示す。各図において、Case6（非排水条件）を黒色の点線、Case7 を赤

Table1. Analysis conditions

Layer No.	Soil	Layer thickness H (m)	Unit weight (kN/m ³)	Initial shear modulus G_0 (kN/m ²)	Porosity	Coefficient of earth pressure at rest	Cohesion C (kN/m ²)	Internal friction angle ϕ (°)	Phase transformation angle ϕ_p (°)	Shear strength τ_{max} (kN/m ²)	B_p	B_u	κ	Coefficient of volume compressibility m_v (m ² /kN)
1	Toyoura sand	3	14.7	46892	0.43	0.5	0	30	26.8	17.0	—	—	0.06	4.79.E-05
2			18.9	65265						36.0	2.51	0.159		3.60.E-05
3			18.9	76591						51.8	2.51	0.159		3.13.E-05

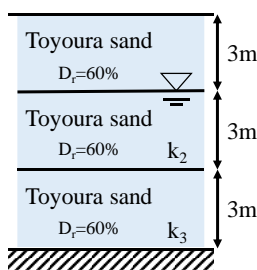


Fig.1 Ground model

Table2. Analysis cases

Case	Coefficient of permeability		Peak acceleration α_{max} (gal)
	k_2 (m/s)	k_3 (m/s)	
Case1	undrained		300
Case2	0.00075	0.00075	
Case3	0.00075	0.00014	
Case4	0.00014	0.00075	
Case5	0.00014	0.00014	
Case6	undrained		350
Case7	0.00075	0.00075	
Case8	0.00075	0.00014	
Case9	0.00014	0.00075	
Case10	0.00014	0.00014	

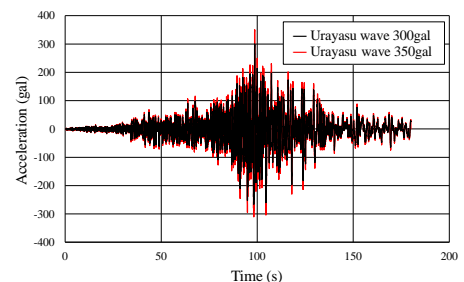


Fig.2 Input ground motion

1 : 日大理工・院(前)・建築 2 : 日大理工・教員・建築

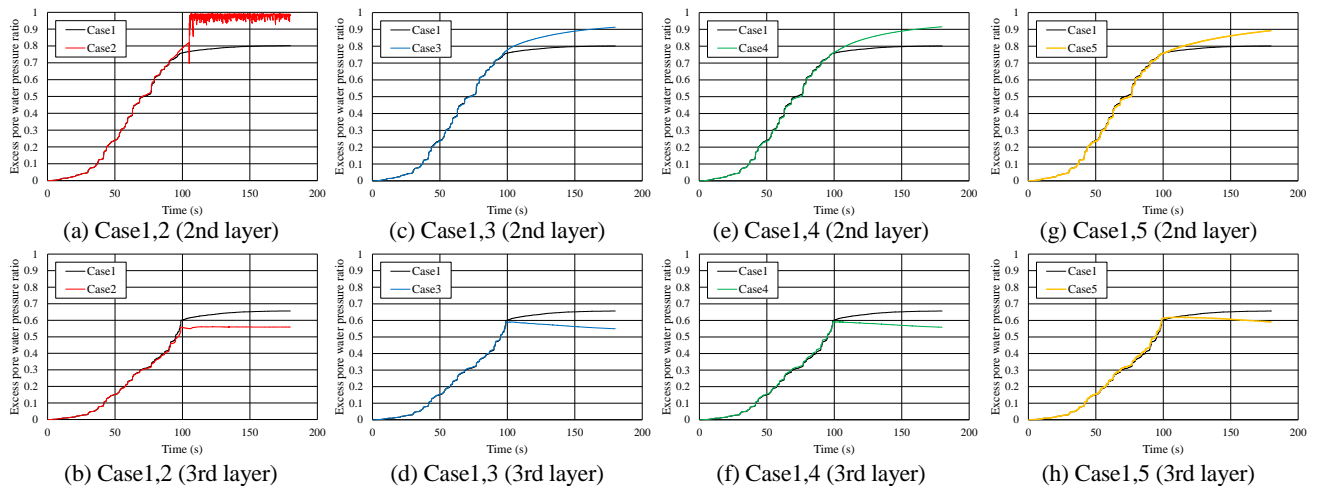


Fig.3 Excess pore water pressure ratio time history ($\alpha_{max}=300gal$)

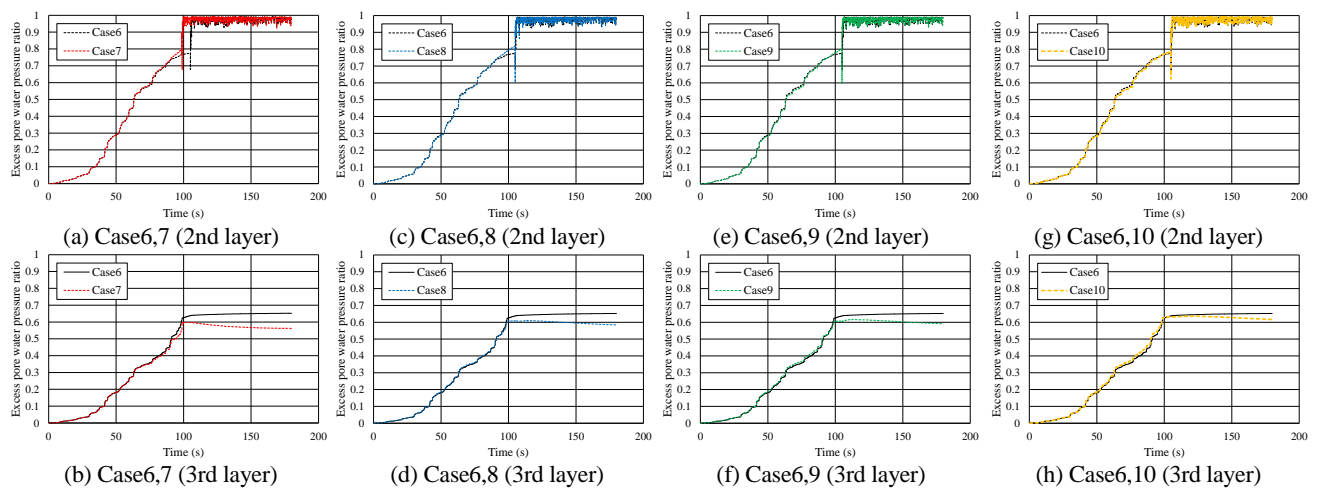


Fig.4 Excess pore water pressure ratio time history ($\alpha_{max}=350gal$)

色の点線, Case8を青色の点線, Case9を緑色の点線, Case10を黄色の点線でそれぞれ示す。

はじめに, $\alpha_{max}=300gal$ で検証した Fig.3の結果に着目する。Case1,2の結果を比較すると, 2層目では非排水条件のCase1に比べ, 透水を考慮したCase2の方が水圧が上昇する。一方, 3層目では非排水条件のCase1に比べ, 透水を考慮したCase2の方が水圧が減少する。これは, 透水を考慮したことにより, 3層目の水圧が2層目に伝搬したことが考えられる。なお, これらの傾向は, 本解析における地盤条件では, Case1~5のすべての解析結果において確認できた。

以上の結果が最も顕著に見られたのがCase1とCase2である。Case1では非排水条件で液状化に至らなかったのに対し, 透水を考慮した場合には過剰間隙水圧比が1に達して液状化の発生が確認された。一方で, 他のCaseでは同様の結果が確認できなかったことから, 透水係数の設定の差異により, 透水を考慮した場合に液状化が発生する可能性を示した。

一方で, Case3,4では上下層の透水係数を変化させており, Case3は上層の透水係数が大きい解析結果, Case4は下層の透水係数が大きい解析結果である。今回の地盤条件では, 上下層の透水係数の差異は解析結果にあまり影響を与えないことが確認された。これは, Yoshimiら⁷⁾の解析結果の傾向とは異なっているが, Yoshimiらは下層が完全に液状化している状態からの浸透圧密解析であり, 本報告では初期の地震動からの解析結果を示していることが要因だと考えられる。

次に, $\alpha_{max}=300gal$ で検証した Fig.4の結果に着目する。Case6,7の2層目の結果を比較すると, 非排水条件のCase6が液状化している一方, 液状化地盤に対して透水を考慮したCase7でも液状化していることがわかる。これらは層序を変えたいずれのCaseにおいても同様の結果となっており, 非排水条件で液状化した地盤に対して透水を考慮した場合, 概ね同様の結果となることを示唆した。

4. まとめ

本報告では, 透水の有無および層序の違いが地盤の液状化挙動に及ぼす影響について解析的検討を行った。結果より, 透水を考慮する必要性が示唆され, 透水係数の層序による影響を明らかにした。

参考文献

- 1) 上田恭平 他: 余震の発生が地盤の液状化挙動に及ぼす影響に関する解析的検討, 土木学会論文集A1, Vol.70, No.4, pp.578-585, 2014.
- 2) 吉田望 他: YUSAYUSA-2, SIMMDL-2 理論と使用法(改訂版 Version 2.10), 2005.
- 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, 1977.9.
- 4) 小島幹生 他: 損失エネルギーに基づく過剰間隙水圧モデルの検討—疑似エネルギー容量 PEC と変相角 ϕ_p の関係—, 第54回地盤工学研究発表会, 2019.
- 5) Hardin, B.O. et al.: Shear modulus and damping in soils -design equations and curves-, Proc. of the American Society of Civil Engineers, Vol.98, No.SM7, pp.667-692, 1972.
- 6) Creager, W.P. et al.: Soil tests and their utilization, Engineering for dams, Vol. III: Earth, Rock-fill, Steel and Timber Dams, John Wiley and Sons, pp.645-654, 1944.
- 7) Yoshimi, Y., et al.: Effect of subsurface liquefaction on the strength of surface soil, Soils and Foundations, Vol.13, No.2, pp.67-81, 1973.