

透水の考慮の有無が地盤の液状化挙動に与える影響

—入力最大加速度の影響に関する検討—

Effect of Permeability Consideration on Liquefaction Behavior of Ground

- Study on Effect of Input Peak Acceleration -

○高橋善弥¹, 山田雅一², 道明裕毅²

*Yoshiya Takahashi¹, Masaichi Yamada², Yuki Domyo²

Abstract : The peak acceleration and the duration of input earthquake motion are thought to affect the excess pore water pressure behavior of the ground. In this paper, we analyzed two types of input earthquake motion with different duration of earthquake motion by changing the peak acceleration to 150gal, 250gal, 350gal using effective stress analysis considering permeability. When the duration of input earthquake motion is long, the difference of peak acceleration affect the excess pore water pressure of the ground.

1. はじめに

地盤の液状化挙動に対して道明ら¹⁾は、地震動中の地盤内の透水に着目し、透水を考慮した場合と考慮しない場合の有効応力解析を行った。有効応力解析の結果から、透水係数を変動因子とし、透水の考慮の有無が液状化の発生の有無に影響を及ぼす可能性を示唆した。これは、比較的小さな最大加速度かつ継続時間の長い地震動に対して検討が行われたが、一方で地震動中の透水は、水の時間依存により急激な間隙水圧の上昇に対して一般に砂程度の透水係数であればほとんど発生しないと考えられる。そこで、本報では、簡易な緩い砂地盤モデルに対し、最大加速度を 150gal, 250 gal, 350gal と変化させて有効応力解析を行い、最大加速度の差異が地震時の間隙水圧挙動に与える影響について検討した。

2. 解析概要

解析は、1次元有効応力解析プログラム「YUSAYUSA-2」²⁾を用いた有効応力解析を行った。なお、有効応力

解析において、過剰間隙水圧の消散の影響を検討するために、透水の考慮の有無を変化させて解析を行った。

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 を飽和砂層の地盤モデルとし、全層豊浦砂で構成される相対密度 $Dr \approx 40\%$ 程度の一様地盤とした。主な解析定数を Table 1 に示す。砂層の初期せん断剛性 G_0 は、Iwasaki らによる推定式³⁾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となるパラメータである 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となる 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。各層の最大減衰定数 h_{max} は、0.30 とした⁵⁾。各層の応力-ひずみ関係は、修正 R-O モデル⁶⁾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。透水係数 k は、定水位透水試験により得られた値 0.00063m/s として解析を行った。

Table 1. Model parameters

Soil type	Layer thickness H (m)	Unit weight γ (kN/m ³)	Initial shear modulus G_0 (kN/m ²)	Porosity n	Coefficient of earth pressure at rest K_0	Cohesion c (kN/m ²)	Internal friction ϕ (°)	Phase angle ϕ_p (°)	τ_{max} (kN/m ²)	h_{max}	Liquefaction strength R_{ls}	B_p	B_u	κ	Coefficient of volume compressibility m_v (m ² /kN)	Coefficient of permeability k (m/s)
Toyouura sand	3	14.1	39667	0.453	0.5	0	38	33	22	0.3	0.19	3.7	0.068	0.06	4.86E-05	0.00063
Toyouura sand	3	18.6	55209	0.453	0.5	0	38	33	47	0.3	0.19	3.7	0.068	0.06	3.65E-05	0.00063
Toyouura sand	3	18.6	64790	0.453	0.5	0	38	33	67	0.3	0.19	3.7	0.068	0.06	3.18E-05	0.00063

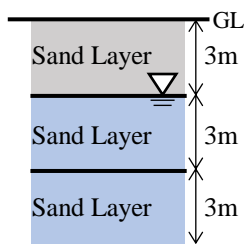


Fig. 1. Ground model

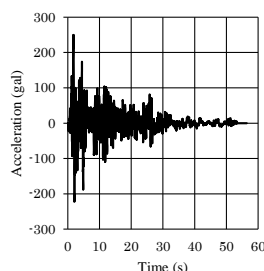


Fig. 2(a). Acceleration waveform of input earthquake motion (El-Centro NS wave)

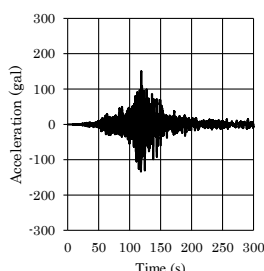


Fig. 2(b). Acceleration waveform of input earthquake motion (Urayasu EW wave)

Table 2. Analysis conditions

CASE	Consideration of permeability	Peak Acceleration	Input earthquake motion
1	○	150gal	El-Centro NS
2	×		
3	○		
4	×	250gal	
5	○		
6	×		
7	○	150gal	Urayasu EW
8	×		
9	○		
10	×	250gal	
11	○		
12	×		

1 : 日大理工・学部・建築 2 : 日大理工・教員・建築

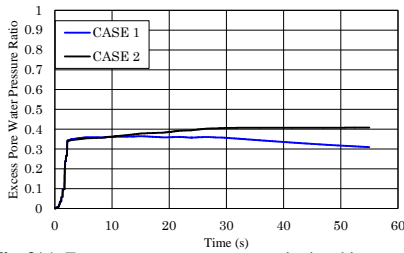


Fig. 3(a). Excess pore water pressure ratio time history
El-Centro NS wave (2nd layer, $\alpha_{max}=150gal$)

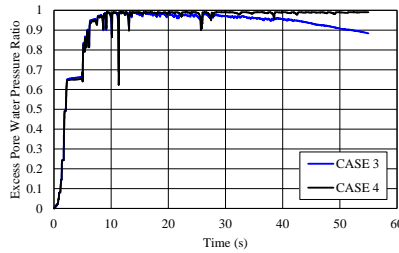


Fig. 3(b). Excess pore water pressure ratio time history
El-Centro NS wave (2nd layer, $\alpha_{max}=250gal$)

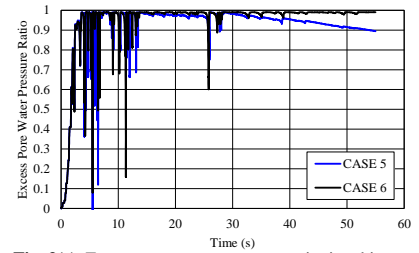


Fig. 3(c). Excess pore water pressure ratio time history
El-Centro NS wave (2nd layer, $\alpha_{max}=350gal$)

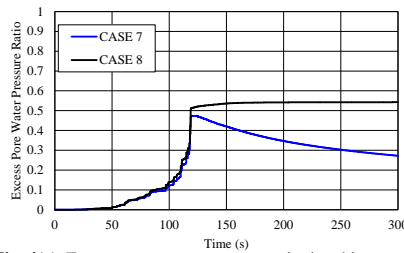


Fig. 4(a). Excess pore water pressure ratio time history
Urayasu EW wave (2nd layer, $\alpha_{max}=150gal$)

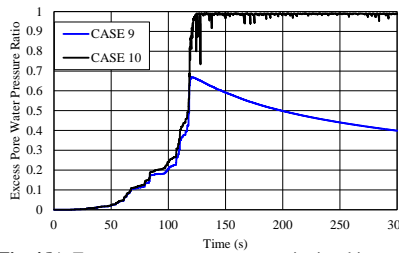


Fig. 4(b). Excess pore water pressure ratio time history
Urayasu EW wave (2nd layer, $\alpha_{max}=250gal$)

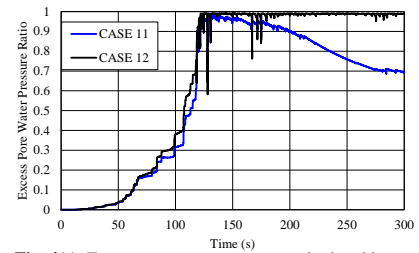


Fig. 4(c). Excess pore water pressure ratio time history
Urayasu EW wave (2nd layer, $\alpha_{max}=350gal$)

入力地震動は、El-Centro NS 波(刻み時間 $\Delta t=0.01$ 秒, 継続時間 55 秒)を最大加速度 $\alpha_{max}=150gal$, 250gal, 350gal に調整したものと, 2011 年東北地方太平洋沖地震の千葉県浦安市近傍で観測された地震波(刻み時間 $\Delta t=0.01$ 秒, 継続時間 300 秒)を最大加速度 $\alpha_{max}=150gal$, 250gal, 350gal に調整したもの(以下, 浦安波と称す)を用いた。入力地震動の加速度波形を Fig. 2 に示す。上述の解析条件を Table 2 に示す。

3. 解析結果

Fig. 3 に、El-Centro NS 波を用いた解析結果から得られた過剰間隙水圧比時刻歴を示す。ここで、透水を考慮した結果を青の実線、透水を考慮していない結果を黒の実線で、それぞれ示した。なお本報では最も結果の差異が顕著に表れた 2 層目の結果について示す。同図より過剰間隙水圧の上昇傾向について、いずれのケースにおいても透水の考慮の有無による差異は確認されなかった。同図(b), (c)に着目すると、同図(b)では、約 10 秒程度、同図(c)では約 5 秒程度で過剰間隙水圧比がおおむね 1.0 に達していることから、CASE3~6 では液状化に至っていることが見て取れる。過剰間隙水圧の消散傾向については、透水を考慮した CASE1, 3, 5 において若干の過剰間隙水圧の消散が見られたが、入力最大加速度の差異による有意な差は見られなかった。

Fig. 4 に、浦安波を用いた解析結果から得られた過剰間隙水圧比時刻歴を示す。各解析結果のデータは Fig. 3 と同様に表現している。同図より過剰間隙水圧の上昇傾向については、透水を考慮した CASE7, 9, 11 において透水を考慮していない CASE8, 10, 12 と若干の差異が確認された。また、同図(b)に着目すると、透水を考慮していない CASE10 については、120 秒程度で過剰間隙水圧比がおおむね 1.0 に達している一方で、透水を考慮した CASE9 の解析結果においては、過剰間隙水圧比が 0.7 に達する前に過剰間隙水圧の消散が確認

された。同図(c)に着目すると、透水を考慮した CASE11 と透水を考慮していない CASE12 のいずれのケースにおいても約 120 秒程度で過剰間隙水圧比がおおむね 1.0 に達しており、液状化に至っていることが見て取れるが、約 300 秒程度で過剰間隙水圧比が 0.7 程度まで減少することが確認された。

最後に、入力地震動の違いに対する過剰間隙水圧挙動の変化について比較する。上述のとおり、El-Centro NS 波を用いた解析結果では、それぞれの最大加速度における、透水の考慮の有無による間隙水圧挙動の差異は見られなかったのに対し、浦安波を用いた解析結果については、最大加速度の差異が透水の考慮の有無による間隙水圧挙動の差異に影響を与えることが確認された。

4. まとめ

本報告では、最大加速度を 150gal, 250gal, 350gal と変化させ、簡易な地盤モデルに対して有効応力解析を行い最大加速度の違いが地盤の間隙水圧挙動に与える影響について検討した。継続時間の異なる 2 種類の地震動を用いた有効応力解析結果より、入力地震動の継続時間が長い場合には、最大加速度の差異が地盤の間隙水圧挙動に影響を及ぼす可能性を示した。

【参考文献】

- 1) 道明裕毅 ほか: 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, pp.375-376, 2019.7
- 2) 吉田望 ほか: YUSAYUSA-2, SIMMDL-2 理論と使用方法 (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 ほか: 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, pp.384-385, 2019.7
- 5) 土の動的変形定数試験方法基準化委員会: 室内繰返し載荷試験による豊浦砂の変形特性に関する全国一斉試験の実施と試験結果の解析, 土と基礎, Vol.42-11(442), pp.85-88, 1994.
- 6) 大崎順彦 ほか: 地盤振動解析のための土の動力学モデルの提案と解析例, 第 5 回日本地震工学シンポジウム, pp.697-704, 1978.