

砂の相対密度が透水係数に与える影響 —有効応力解析を用いた検討—

Influence of Relative Density of Sand on Permeability Coefficient —Consideration Using Effective Stress Analysis—

○道明裕毅¹, 山田雅一¹, 井上健太²*Yuki Domyo¹, Masaichi Yamada¹, Kenta Inoue²

Abstract: In this report, we studied the influence of the permeability coefficient estimation method on the ground behavior. In the study, effective stress analysis was used. The ground model used 6-layer soil. 3 kinds of estimation methods were used for the permeability coefficient. From the analysis results, it was confirmed that the difference in coefficient of permeability influences excess pore water pressure behavior and response displacement of the ground.

1. はじめに

地盤の透水性を表す透水係数は、山留め工事における地下水の排水量の検討や、周辺環境への影響を検討する際に用いられる。また、地震動中の地盤の透水性を考慮した地震時の地盤挙動の検討¹⁾などにも用いられている。

地盤の透水係数を簡便かつ安価に求める方法として、砂の粒径から透水係数を推定する手法である Creager による方法²⁾や、Hazen の式³⁾などが広く用いられている。一方で、地盤の透水係数は、対象とする地盤を構成する粒子の粒径と間隙の大きさに依存するといえる⁴⁾。

そこで、井上ら⁵⁾は砂の相対密度を変化させた場合の定水位透水試験結果について報告した。

本報告では、透水係数の推定法が地震時の地盤挙動に与える影響を検討するために、井上らにより報告された透水係数を用いて、有効応力解析を行った結果を報告する。また、Creager による方法と Hazen の式を用いた有効応力解析結果についても併せて報告する。

2. 解析概要

地盤モデルを Table 1 に示す。地盤の層厚は 18m とし、地表面から深さ 3.0m までを不飽和砂礫地盤、深さ

3.0m から 18.0m までを飽和砂地盤と考え、不飽和層 1 層、飽和層 5 層の 6 層地盤モデルとした。砂層の初期せん断剛性 G_0 は、1 層目の砂礫層には Prange の経験式⁶⁾によって求めた値を用いる。2~6 層目の砂層は、Iwasaki らの経験式⁷⁾によって求めた値を用いる。体積圧縮係数 m_v には、吉田らの実験式⁸⁾によって求めた値を用いる。

透水係数 k には、① Creager による方法で得られる透水係数 k_C 、② Hazen の式より得られる透水係数 k_H 、③井上らにより報告された試験結果をもとに相対密度を考慮した透水係数 k_T 、をそれぞれ用い、3 パターンの有効応力解析を行った。なお、本報告では、砂層の挙動に着目して検討を行うために、1 層目の砂礫層についてはいずれの条件においても透水係数 $k=0.2$ (cm/s) とした。また、砂層は、10% 粒径 $D_{10}=0.11$ (mm)、20% 粒径 $D_{20}=0.12$ (mm) の豊浦砂 ($\rho_s=2.631$ g/cm³, $e_{max}=0.98$, $e_{min}=0.61$) で構成されている細砂層とした。

入力地震動は、El Centro-NS 波 (最大加速度 80gal, 刻み時間 0.01 秒, 継続時間 30 秒) を用いる。

解析は、一次元有効応力解析プログラム「YUSAYUS A-2」⁸⁾を用いて、H-D モデルを用いた有効応力解析を行った。

Table 1. Ground Condition

Layer No.	Soil type	Layer thickness H (m)	Density ρ_t (g/cm ³)	Void ratio e	Initial shear modulus G_0 (kN/m ²)	Reference strain γ_r (%)	Coefficient of volume compressibility m_v (m ² /kN)	Coefficient of permeability		
								k_C (cm/s)	k_H (cm/s)	k_T (cm/s)
1	SG	3	2.141	0.644	1.48×10^5	0.012	4.10×10^{-3}	0.2	0.2	0.2
2	FS	3	1.929	0.756	7.31×10^4	0.027	2.58×10^{-3}	0.002	0.017	0.035
3	FS	3	1.949	0.719	8.94×10^4	0.049	2.12×10^{-3}	0.002	0.017	0.030
4	FS	3	1.949	0.719	9.89×10^4	0.056	1.87×10^{-3}	0.002	0.017	0.030
5	FS	3	1.970	0.682	1.15×10^5	0.075	1.70×10^{-3}	0.002	0.017	0.027
6	FS	3	1.970	0.682	1.24×10^5	0.082	1.57×10^{-3}	0.002	0.017	0.027

1 : 日大理工・教員・建築 2 : 日大理工・院 (前)・建築

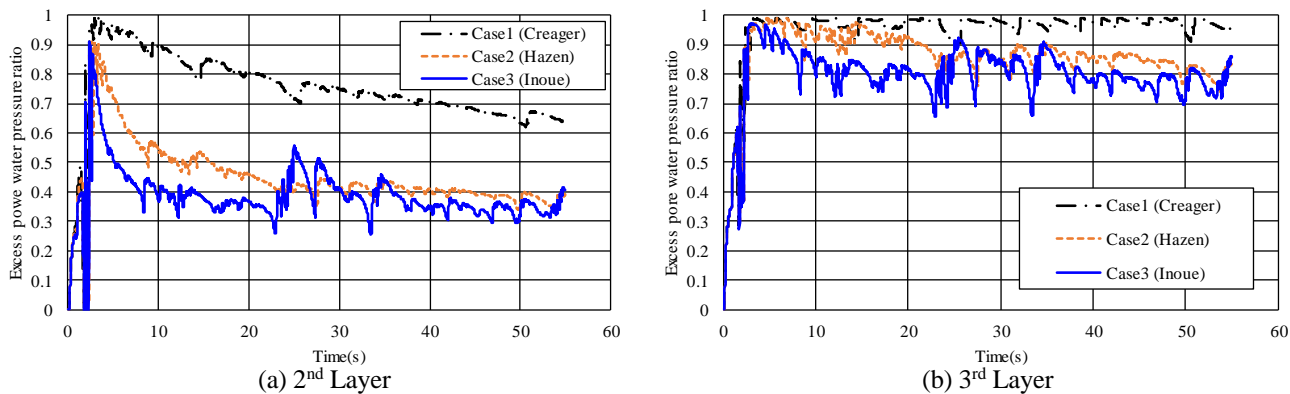


Fig. 1. Time history of pore water pressure ratio

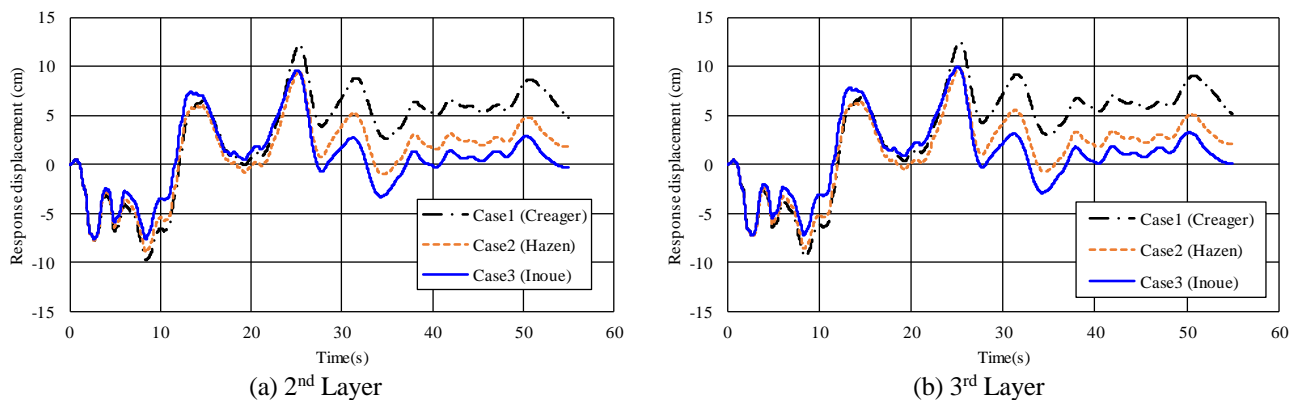


Fig. 2. Time history of response displacement

3. 解析結果

Fig.1 に解析結果より得られた過剰間隙水圧比の時刻歴を, Fig.2 に応答変位時刻歴をそれぞれ示す. なお, 本報告では, 特に挙動の変化が顕著にみられた 2 層目と 3 層目の結果を示した. 同図中にて, 黒の一点鎖線が Creager による方法で得られる透水係数 k_c を用いた結果 (以下, CASE1), 橙の点線が Hazen の式より得られる透水係数 k_H を用いた結果 (以下, CASE2), 青の実線が相対密度を考慮した透水係数 k_T を用いた結果 (以下, CASE3) である.

まず, Fig.1 (a)に示した 2 層目の過剰間隙水圧比時刻歴に着目する. CASE1 の結果と, CASE2 および CASE3 の結果を比較すると, 過剰間隙水圧比が 0.9 付近まで達する 4 秒付近までの挙動は同様の傾向を示す一方で, その後の消散傾向に顕著な差が見て取れる. Fig.2(a)に示した 2 層目の応答変位時刻歴に着目すると, 概ね同様の挙動を示しているが, 透水挙動の変化により, 最大応答変位に差異が発生していることがわかる.

次に, Fig.1(b)に示した 3 層目の過剰間隙水圧比時刻歴に着目する. 上述した 2 層目の結果と同様に, 5 秒以降に発生した過剰間隙水圧の消散傾向に差異が見られ, 特に, CASE1 では過剰間隙水圧比が 0.95 以上が概ね維持されており, 液状化が継続しているのに対し,

CASE2, CASE3 では消散が進行し, 過剰間隙水圧比が 0.9 を下回っていることが確認された. Fig.2(b)に示した 3 層目の応答変位時刻歴に着目すると, 2 層目の結果と同様に, 最大応答変位の値に差異が確認された.

4. まとめ

本報告では, 透水係数の推定法の違いが地震時の地盤挙動に与える影響を検討するために, 3 種の透水係数を用いて有効応力解析を行った. 有効応力解析結果より, 特に液状化が発生するような層において, 透水係数の推定法の違いが過剰間隙水圧比の挙動に影響を与える可能性を示唆した.

【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) 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.
- 3) Hazen, A. : Some physical properties of sand and gravels with special reference to their use in filtration, 24th Ann. Rep., Mass. State Board of Health, 1893.
- 4) 森田悠紀雄 他: 粒度分布と締め度合を考慮した概略透水係数推定式の提案, 第 39 回地盤工学研究発表会発表講演集, pp.1159-1160, 2004.
- 5) 井上健太 他: 砂の相対密度が透水係数に与える影響 - 3 種類の砂の定水位透水試験結果 -, 平成 30 年度日本大学理工学部学術講演会予稿集, 2018.
- 6) 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.
- 7) Iwasaki, T., and Tatsuoka, F. : Effects of grain size and grading on dynamic shear modulus of sands, Soils and Foundations, Vol.17, No.3, pp.19-35, 1977.
- 8) 吉田望 : YUSAYUSA-2 SIMMDL-2 理論と使用法(改訂版 Version 2.11), 2012.9.