土柱モデルを対象にした有効応力解析の液状化パラメタの感度解析

東電設計 正会員 ○大塚 悠一
東電設計 正会員 茂木 寛之
東電設計 正会員 溜 幸生

１．はじめに

地震発生時の液状化地盤の挙動を有効応力解析により再現する上で，地盤の液状化特性に関する解析パラメタの設定は重要である．実務的には、室内試験から得られた液状化強度曲線を再現できるよう液状化パラメタを試行錯誤で設定するが，同様の液状化特性のもとで，液状化パラメタが微妙に異なることで地震動に対する液状化地盤や構造物の応答がどのように変化するかについてはあまり知られていない．筆者らは 3 次元有効応力解析プログラム FLIP3D[1] を用いて液状化パラメタに関する多数解析を行い，複数のせん断ひずみ両振幅の繰返し回数を再現しうる液状化パラメタを設定した上で，E-Defense による地盤-杭-構造物系の大型振動台実験の再現解析を行った[2]．本研究では，この研究の一環で行った土柱モデルの液状化パラメタを変えた多数解析を対象に，液状化強度曲線の変化が液状化地盤の応答に与える影響について検討する．

２．検討方法

解析モデルは水平成層を仮定した高さ 0.1m の六面体要素を鉛直方向に積み重ねた土柱モデルを用いた．表 1 に地盤の物理特性および動的変形特性を示す．この土柱モデルに対して図 1 で示した入力波形を用いて粘性境界を介した二方向入力の地震応答解析を行なった．液状化層である相対密度 Dr=60%の土層の変相角と液状化パラメタを変化させたときの地表面加速度と過剰間隙水圧比について調べた．表 2 に Dr=60%の土層の液状化特性に関するパラメタを，図 2 にパラメタごとの液状化強度曲線を示す．ここで，繰返し回数 20 回においてせん断ひずみ両振幅 γ_{DA} = 7.5 %となるせん断応力比（以下、“RL20”）を 0.310 に統一している．

３．検討結果

図３にケースごとの地中の過剰間隙水圧比と地表面の加速度時刻歴を示す．7 秒付近と 9.5 秒付近に見られる過剰間隙水圧比の落ち込みとそれに伴う加速度振幅の増大が異なることが分かる．Case3 のようにせん断ひずみ両振幅ごと繰返し回数がおおむね同様の（ひずみが急激に発生する）場合は，過剰間隙水圧比の落ち込みと加速度の増大が緩やかになっている．一方で Case4 のようにせん断ひずみ両振幅ごとの繰返し回数が異なっている（ひずみが徐々に進展する）場合は，過剰間隙水圧比の落ち込みと加速度の増大が急になっている．

４．まとめ

本検討では，土柱モデルを対象に，同じ RL20 のもとで液状化パラメタを変化させた地震応答解析を行った．同じ RL20 を再現した強度曲線であっても，パラメタが異なれば，過剰間隙水圧比の挙動と加速度振幅が大きく異なることが示された．地盤の液状化パラメタを設定する際は，特定の繰返し回数の液状化強度を合わせるだけでなく，せん断ひずみ両振幅ごとの強度曲線も合わせることが重要といえる．今後は，液状化地盤－構造物連成系における構造物の応答への影響について検討する予定である．

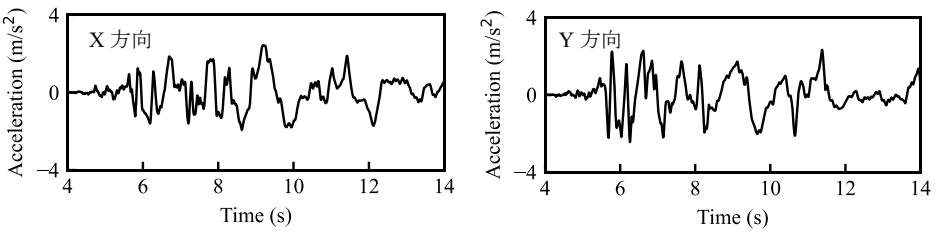


図-1 入力波形

キーワード 有効応力解析，液状化パラメタ，感度分析，連絡先 135-0062 東京都江東区 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F TEL 03-6372-5384

© Japan Society of Civil Engineers

表-1 地盤の物理特性動的変形特性

Layer	G.L. (m)	ρ (t/m^3)	n (-)	V_s (m/s)	G_{ma} (kPa)	σ'_{ma} (kPa)	ν (-)	ϕ_f (deg.)	h_{max} (-)
D_r=60% (乾燥)	0.0 to -0.5	1.700	0.383	160	43520	2.22	0.33	38.7	0.24
D_r=60%	-0.5 to -5.3	2.006	0.383	160	51342	21.21	0.33	38.7	0.24
D_r=90%	-5.3 to -6.3	2.058		200	82338	43.36	0.33	38.7	0.24

ρ: 密度; n: 間隙率; Vs: せん断波速度, G_{ma}: 拘束圧$\sigma'_m = \sigma'_{ma}$におけるせん断剛性; -σ'_{ma}': 基準拘束圧; Ko: 土骨格の体積弾性係数; ν: ポアソン比, ϕ_f : 内部摩擦角度 , h_{max}: 最大減衰比.

表-2 ケースごとの Dr60 の土層の液状化特性

No.	RL20	K_w (kPa)	ϕ_p (deg.)	S1	w1	p1	p2	c1
1	0.310	2200000	28	0.005	7.850	0.500	1.000	3.090
2	0.310	2200000	30	0.005	5.900	0.500	0.700	3.090
3	0.310	2200000	30	0.005	3.800	1.450	1.025	2.900
4	0.310	2200000	30	0.005	2.900	0.900	0.600	3.090

ϕ_p: 変相角度; K_w: 水の体積弾性係数; p1:,p2, w1; s1: 液状化パラメタ; RL20 液状化強度

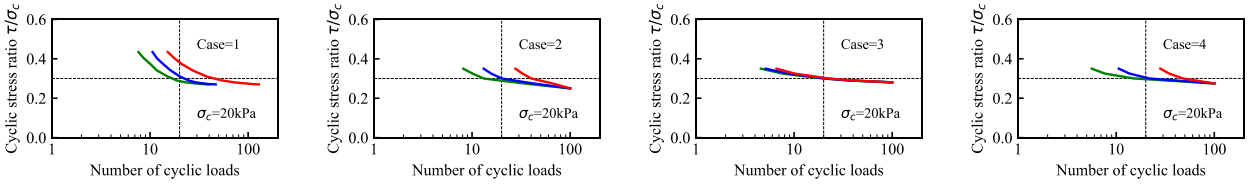
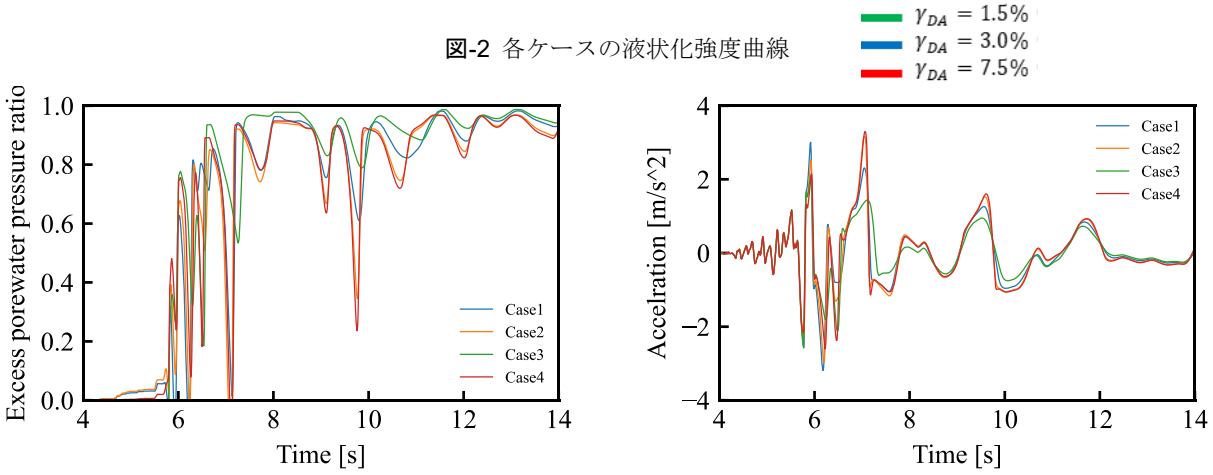


図-2 各ケースの液状化強度曲線



(1) G.L= -1.0 の過剰間隙水圧比　　(2) 地表面の加速度波形 (Y 方向)

図-3 各ケースの解析結果

参考文献

[1] Iai, S.: Three dimensional formulation and objectivity of a strain space multiple mechanism model for sand. *Soils and Foundations*, 33 (1), 192-199, 1993.

[2] 大塚 悠一、溜 幸生、堀 宗朗、安田 進 : E-Defenseの地盤-杭 - 構造物の大型振動台実験を再現する三次元有効応力解析の液状化パラメタ、地震工学研究発表会講演論文集, 2021.

© Japan Society of Civil Engineers