

液状化パラメータの設定に関する考察

大成建設株式会社 正会員 ○中野 正貴

1. はじめに

有効応力解析プログラム FLIP では、液状化パラメータを設定することで液状化時の地盤の挙動を再現出来る。一般的に液状化パラメータは、土質試験結果から得られた液状化強度曲線に要素シミュレーション結果から得られる液状化強度曲線を近付けるように、液状化パラメータを変動させてフィッティングを行う。

液状化パラメータのフィッティングにおいて、液状化パラメータの値は異なるが、液状化強度曲線に有意な差が現れない場合がある。しかし、液状化強度曲線が似通っていても、過剰間隙水圧の上昇傾向や、ひずみの増大傾向には差が現れる。こうした傾向について、考察した記録は少ないと思われる。そこで、形状が近似している液状化強度曲線の液状化パラメータ 4 ケースに対して、上述した傾向を比較した。更に 4 ケースの違いが、実際の地盤応答にどの程度違いを与えるのかを、一次元土柱モデルによる動的解析を実施し比較した。本稿では、その結果を報告する。

2. 検討方法

2. 1 要素シミュレーションによる比較

FLIPSIM (Ver.5.1.1) を用いて、繰返し単純せん断試験の要素シミュレーションを行う。使用する液状化土層（以降、土層 A と称す）の液状化パラメータを表 1 に、液状化強度曲線を図 1 に示す。変動させる液状化パラメータは w_1 , p_2 , c_1 とした。比較対象 4 ケースの液状化強度曲線は、case1 の液状化強度が最も小さく、case2, 3, 4 と順に液状化強度が大きくなるように設定した。

本検討では、表 1 に示す 4 ケースの要素シミュレーションから得られる過剰間隙水圧比の上昇傾向、せん断ひずみの増大傾向の違いを比較する。比較は、繰返し載荷回数が 10~20 回の応力振幅比 0.250 のシミュレーション結果を用いて行う。応力振幅比 0.250 に着目したのは、液状化強度を想定してのことである。

表 1 各ケースの液状化パラメータ

ケース No.	変相角	液状化の終局状態を規定するパラメータ	液状化特性全体を規定するパラメータ	液状化特性の前半を規定するパラメータ	液状化特性の後半を規定するパラメータ	液状化発生下限値を規定するパラメータ
	ϕ_p (°)	S_1 (—)	w_1 (—)	p_1 (—)	p_2 (—)	c_1 (—)
1	28	0.005	3.00	0.50	0.78	2.61
2	28	0.005	4.50	0.50	1.02	2.57
3	28	0.005	6.00	0.50	1.36	2.55
4	28	0.005	7.50	0.50	2.40	2.53

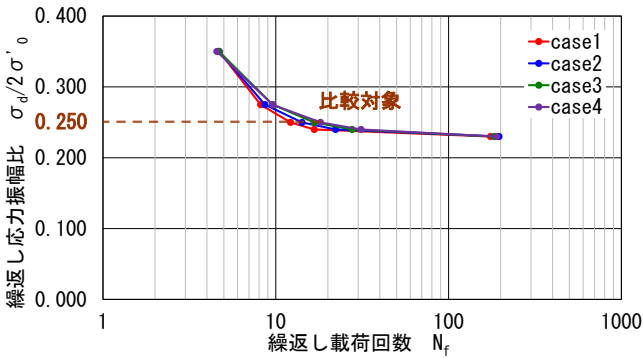


図 1 各ケースの液状化強度曲線
(せん断ひずみ片振幅 3.75%)

2. 2 一次元土柱モデルによる比較解析

表 1 に示す液状化パラメータの違いが、地震時の地盤応答に与える影響を比較するために、一次元土柱モデルを用いた FLIP (Ver8.0.3) による動的解析を行った。解析モデル図を図 2 に示す。

土層 A, B の動的変形特性パラメータを表 2 に示す。一次元土柱モデルに対して、図 3 に示す 2 方向の地震動をモデル下端から同時に入力し、液状化パラメータの違いによる土層 A のせん断ひずみ、加速度等を比較した。

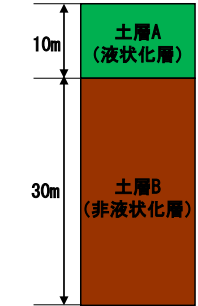


図 2 一次元土柱
解析モデル図

表 2 土層 A・B の動的変形特性パラメータ

土層	密度	基準平均有効拘束圧	基準せん断剛性	基準体積弾性係数	拘束圧依存係数	水の体積弾性係数
	ρ (—)	σ_{ma}' (kN/m ²)	G_{ma} (kN/m ²)	K_{ma} (kN/m ²)	$m_s=m_k$ (—)	K_w (kN/m ²)
A	1.90	73.50	4.30×10^4	1.12×10^5	0.50	2.222×10^6
B	1.95	98.00	1.31×10^6	5.02×10^6	0.00	2.222×10^6

キーワード 有効応力解析, 液状化パラメータ, 液状化強度曲線, 過剰間隙水圧比
連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社 TEL 03-5381-5420

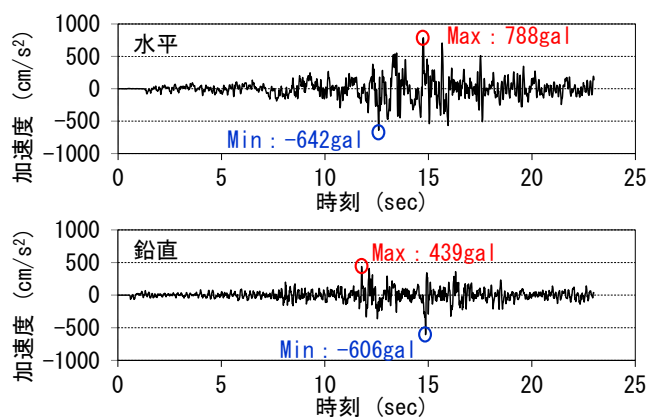


図3 入力地震動加速度波形図

3. 検討結果

3. 1 要素シミュレーションによる比較結果

過剰間隙水圧比の比較を図4に、せん断ひずみの比較を図5に示す。過剰間隙水圧比の上昇に関しては、 w_1 が小さいケースほど過剰間隙水圧比の上昇タイミングが早くなっている。また、case4の過剰間隙水圧比の最大値は、0.90未満となっており、液状化判定基準とされる0.95よりも小さい結果となっており不自然な挙動を示している。

次にせん断ひずみの増大傾向に着目すると、 p_2 が小さいケースほど、せん断ひずみ増大のタイミングが早くなっている。また、 p_2 が1.30よりも大きいcase3、case4は、せん断ひずみが後半に急増している。特にcase4では、最後の載荷時にせん断ひずみが-1%から6.5%まで急増しており、過剰間隙水圧比と同様に不自然な挙動を示している。case4に不自然な挙動が見られた原因は、 p_2 の値が一般的な 1p_2 の目安値1.0前後から2倍以上大きな値であるからだと考えられる。

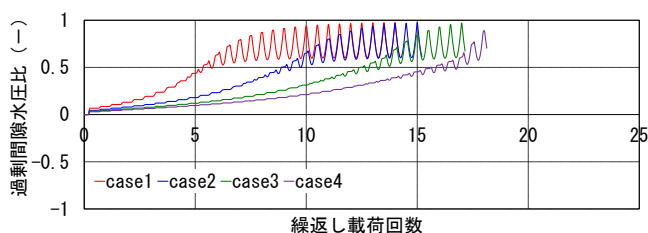


図4 過剰間隙水圧比の上昇の比較

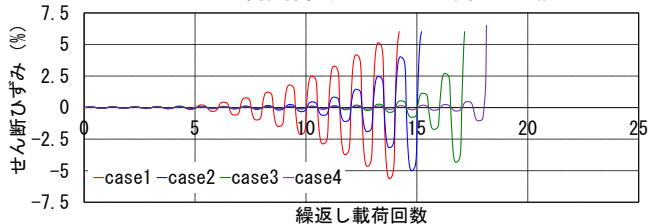


図5 せん断ひずみの比較

3. 2 一次元土柱モデルによる比較解析結果

各ケースの時刻歴最大値深度分布図を図6に示す。

まず、相対変位に着目すると、地表面位置での相対変位は全ケース同程度の値となっていた。しかし、標高35m付近では p_2 が小さいcase1が最も小さく、case2、3、4と順に相対変位が大きくなった。液状化強度はcase1が最も小さく、case4が最も大きいため、液状化強度が大きい方が必ずしも発生変位が小さくなるとは限らないことが分かった。

次に加速度とせん断ひずみに着目すると、せん断ひずみが大きい位置では、加速度が小さいことが分かる。これは、液状化による剛性低下が大きい位置では加速度が小さくなるためであると考えられる。また、せん断ひずみの最大値の大小関係も、相対変位と同様の関係となった。3.1で不自然な挙動を示していたcase4は、加速度、せん断ひずみともに急増している箇所がある。

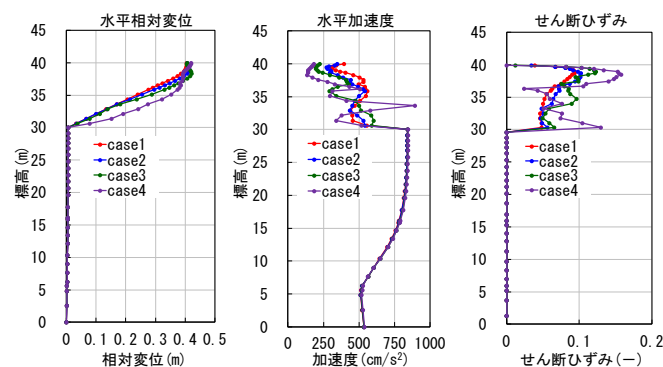


図6 時刻歴最大値深度分布図比較

4. まとめ

近似した液状化強度曲線の液状化パラメータ4ケースに対して、液状化地盤の挙動を比較した。液状化強度曲線は近似していても、せん断ひずみの増大や動的解析における応答値の結果に大きな差が生じることが分かった。また、液状化パラメータ p_2 は、目安値である1.0から大きく乖離すると不自然な挙動を起こすため、設定に注意することが必要である。液状化パラメータのフィッティング時は、液状化強度曲線のみを試験結果に近付けるのではなく、過剰間隙水圧比の上昇傾向や、せん断ひずみの増大傾向等も試験結果と照らし合わせながらフィッティングを行うことが重要である。

参考文献

- 1) 森田年一, 井合進, Hanlong Liu, 一井康二, 佐藤幸博: 液状化による構造物被害予測プログラム FLIP において必要な各種パラメータの簡易設定法, 港湾技研資料 No.869, 1997.