

III-A 166

砂の非排水繰返しせん断試験のシミュレーション

東電設計（株） 正会員 小瀬木 克己 王 均
 東電設計（株） 正会員 黒瀬 浩公 佐藤 正行
 東京電力（株） 正会員 石川 博之 藤谷 昌弘

1.はじめに

筆者らは、ケーソン式護岸の地震時安定信頼度の向上を目的として一連の研究^{1)~4)}を行っている。ケーソン式護岸の地震時の安定性を評価するためには、背後地盤での非線形的な挙動を評価することが必要であり、土骨格と間隙水の相互作用を考慮した非線形地震時応答解析手法についても検討を行っている。今回、遠心模型振動実験⁴⁾で背後地盤材料として用いた豊浦砂の液状化試験を行い、同解析手法を用いて要素レベルでの砂の非排水繰返しせん断時の挙動を解析したので、その結果について報告する。

2.非排水繰返しせん断試験（液状化試験）

試験は、豊浦砂の相対密度を65%とし、中空ねじりせん断試験機(外径70mm,内径30mm,高さ70mm)を用いて、拘束圧 $\sigma_c=0.5,1.0,2.0\text{kgf/cm}^2$ の下で圧密・非排水条件にて繰返し応力を0.1Hzの正弦波で与えることにより行った。

3.非排水繰返しせん断の解析

(1) 解析条件 解析には、飛田・吉田⁵⁾によって提案されている土の構成則を若干変更して用いた。解析は平面ひずみを仮定し、下端固定・上端水平ローラー・非排水条件にて初期応力 $\sigma_{x0}=\sigma_{y0}=\sigma_c$ 、 $\tau_{xy}=0.0\text{kgf/cm}^2$ の状態 で液状化試験におけるせん断応力波形を与えることによって行った。

(2) 入力パラメータ 解析に用いた材料パラメータは、土質試験結果に基づき表-1のように定めた。なお、作用応力が変相角を越えると過剰間隙水圧の発生が顕著になること、作用応力が大きいほど1サイクル当りの過剰間隙水圧上昇量が大きくなること等を考慮し、硬化パラメータ H_p を次式にて表すこととし、飛田・吉田モデルに対して平均有効主応力と初期有効拘束圧の比である $(\sigma'_m/\sigma'_0)^n$ の項と任意の応力比 R_i が作用した際の液状化に至る繰返し回数 N_i と基準とする繰返し回数 N_1 との比である $(N_i/N_1)^s$ の項を付加するものとした。 R_i と N_i の関係については(2)式に示すように両対数軸上で直線関係にあるものとした。

$$H_p = \left\{ H_{RO} e^{\phi_p'} \left(\frac{\sigma'_m}{\sigma'_0} \right)^n \left[1 - \left(\frac{r}{r_c} \right)^m \right] + H_p' \left(\frac{r}{r_c} \right)^m \right\} \left(\frac{N_i}{N_1} \right)^s \quad (1)$$

$$N_i = 10^{1/a(\log R_i - b)} \quad (2)$$

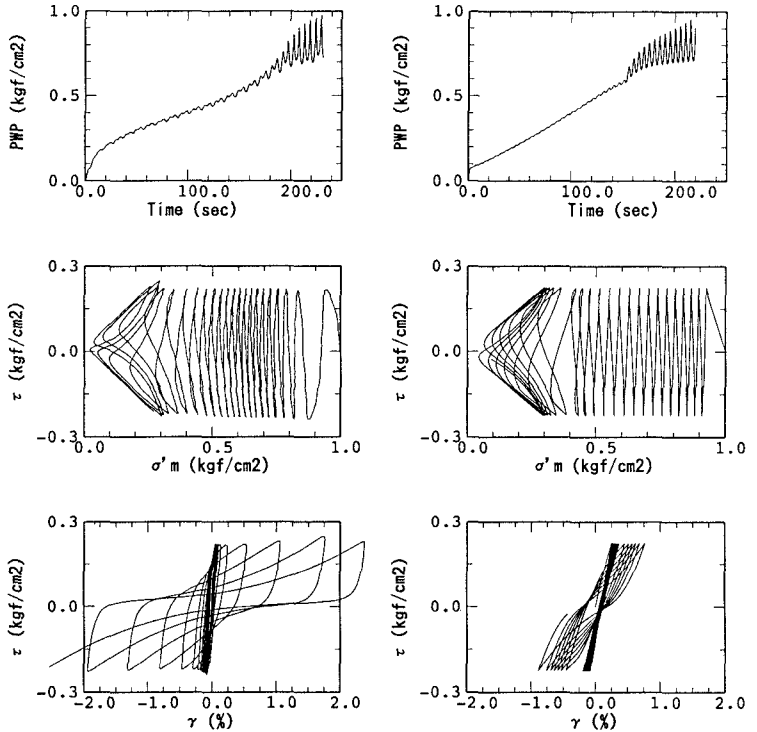
(3) 解析結果と試験結果の比較 図-1(a)に液状化試験における過剰間隙水圧の経時変化、せん断応力～平均有効主応力関係およびせん断応力～せん断ひずみ関係を、また、同図(b)にその解析結果を示す。(a)からわかるように、繰返しせん断を受けることにより過剰間隙水圧が発生し次第に平均有効主応力は減少する。変相角を越えると平均有効主応力が減少から増加へと反転するが、過剰間隙水圧の累積量は大きくなり、液状化に至っている。液状化に至った後も、繰返しせん断にともない平均有効主応力は増加し、いわゆるサイクリック・モビリティ現象を示す。(b)の解析結果はこのような試験結果とよく一致しており、サイクリック・モビリティの様子も表現できている。一方、せん断ひずみについては、徐々に増加しているものの、全般的に試験結果に比べて小さい値となっている。

次に、試験並びに解析で得られた過剰間隙水圧が初期有効拘束圧の95%となった時点の作用応力比～繰返し回数関係を図-2に示す。解析結果は異なる拘束圧、作用応力比のもとでも試験結果の作用応力比～繰返し回数関係をほぼ再現できている。

4.まとめ

若干変更した飛田・吉田の構成則を用いて砂の非排水繰返しせん断試験の解析を行い、試験値との比較を行った。その結果、せん断応力～平均有効主応力および作用応力比～繰返し回数の関係は試験結果をよく再現できている。しかし、せん断ひずみについては試験値に比べて値が小さいことから今後さらに改良する予定である。

最後に、本解析は佐藤工業（株）吉田望氏による解析コードSTADASの構成則を若干変更して使用しており、実施に際しても有益なご助言を賜りました。同氏に謝意を表します。



(a) 試験結果 (b) 解析結果

図-1 試験結果と解析結果の比較

表-1 解析に用いた材料パラメータ

γ_t (tf/m ³)	G (kgf/cm ²)	K (kgf/cm ²)	ϕ_t (deg.)	ϕ_p (deg.)
1.963	150.0	290.0	54.1	22.0
A	H ₂ O	θ	m	
0.0009	9.5×10^7	1.2×10^5	6.0×10^{-5}	
a	b	N ₁	n	s
-0.168	-0.410	6	1.8	0.35 (1.2)

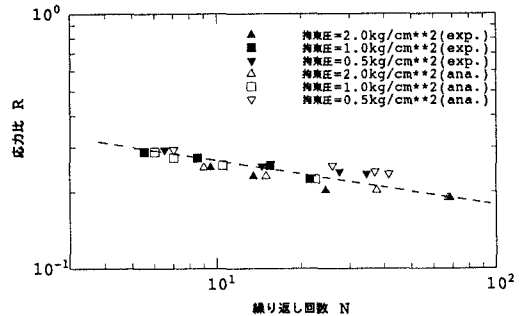


図-2 応力比～繰返し回数関係

参考文献

- 1) 安田登, 他: 護岸構造物の地震時挙動に関する実験的研究 (その1), 土木学会第47回年次学術講演会, 平成4年
- 2) 福井史朗, 他: 護岸構造物の地震時挙動に関する実験的研究 (その2), 土木学会第47回年次学術講演会, 平成4年
- 3) 佐藤正行, 他: 護岸構造物の地震時挙動に関する実験的研究 (その3), 土木学会第48回年次学術講演会, 平成5年
- 4) 小瀬木克己 他: 遠心模型実験による護岸構造物の地震時挙動に関する研究, 土木学会第50回年次学術講演会, 平成7年
- 5) Tobita, Y. Yoshida, N.: An isotropic bounding surface model for undrained cyclic behavior of sand: Limitation and Modification, Proc., International Symposium on Pre-Failure Deformation of Geomaterials, Sapporo, pp. 457-462