

III-84 砂の非排水繰返しせん断時の挙動のシミュレーション

清水建設(株) 正 ○荻迫栄治 出羽克之  
玉置克之 森信夫 近藤司

1. はじめに

著者らは、止水壁を用いた地中構造物の地震時の液状化による浮き上がり防止策の効果の把握を目的として一連の研究を行っている。地震時の地盤の安定性を詳細に検討するためには、地盤内の応力～ひずみ関係を忠実に追跡し、地盤の非線形的な挙動を直接的に評価することが必要であり、このような観点から著者らは、土粒子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を開発した。今回、止水壁の効果について行った実験と同じ土試料を用いて液状化試験を行い、本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. 液状化試験

試験に用いた試料は木更津砂で、その物性値は表-1に示すとおりである。試験は中空ねじりせん断試験機(外径100mm, 内径60mm, 高さ100mm)を用いて、拘束圧 $\sigma_c=1.0\text{kgf/cm}^2$ の下で圧密・非排水条件にて、繰返し応力を周波数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時の挙動解析

(1)解析条件 2. で述べた液状化試験について、非線形解析手法を用いて非排水繰返しせん断時の挙動解析を行った。解析においては、土の構成式として西らによって提案されている弾塑性理論に基づいた多次元応力場に対する応力～ひずみ関係式<sup>1)</sup>を用いた。解析は平面ひずみを仮定し、側方拘束・非排水条件にて初期応力 $\sigma_{x0}=\sigma_{y0}=\sigma_{z0}=1.0\text{kgf/cm}^2$ ,  $\tau_{xy0}=0\text{kgf/cm}^2$ の状態では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。なお、解析ケースとしては初期相対密度 $D_r=60\%$ のせん断応力比 $\sigma_d/2\sigma_c=0.30$ (ケース1)と0.22(ケース2)の2ケースとした。

(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-2のように定めた。なお、相対応力比 $\eta^*$ が一たん変相角 $M_m$ を越えるとせん断ひずみおよび過剰間隙水圧の発生が顕著なることを考慮し、履歴曲線(相対応力比 $\eta^*$ と塑性せん断ひずみ $\gamma$ の関係)における初期接線勾配 $G_o^*$ を塑性せん断ひずみの関数として次式にて表すこととした。

$$G_{o(n)}^* = G_{o(n-1)}^* \cdot (\gamma_m / \gamma_{max}) \quad (1)$$

ここに、 $G_{o(n)}^*$ はnサイクル目の $G_o^*$ 、 $\gamma_{max}$ は(n-1)サイクル目における両振幅塑性せん断ひずみ、 $\gamma_m$ は(n-1)サイクル目において変相角 $M_m$ を越える時点の塑性せん断ひずみである。

(3)解析結果と試験結果との比較 図-1および図-2に液状化試験におけるせん断応力～平均有効主応力およびせん断応力～せん断ひずみの関係を、また、図-3および図-4にその解析結果を示す。

図-1および図-2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。そして、相対応力比が変相角 $M_m$ 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、ついには完全液状化に至っている。図-3および図-4の解析結果はこのような試験結果とよく一致しており、いわ

表-1 砂試料の物性値

比重 $G_s$	2.698
均等係数 $U_c$	2.71
平均粒径 $D_{50}$ (mm)	0.38
最大粒径 $D_{max}$ (mm)	4.76
最大間隙比 $e_{max}$	0.979
最小間隙比 $e_{min}$	0.643

表-2 材料パラメータ

	せん断剛性率 $G_o$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	膨潤指数 $\kappa$	ポアソン比 $\nu$	初期間隙比 $e_o$	初期接線勾配 $G_o^*$	内部摩擦角 $\phi$ (°)	変相角 $\phi_m$ (°)	$m^*$ (cm <sup>2</sup> /kgf)	n
ケース1	220	0.00326	0.3	0.799	3210	36.6	20.0	0.33	5.0
ケース2	220	0.00326	0.3	0.795	3290	36.6	20.0	0.33	5.0

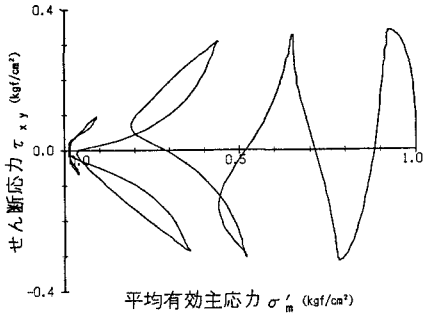


図-1 試験結果(ケース1)

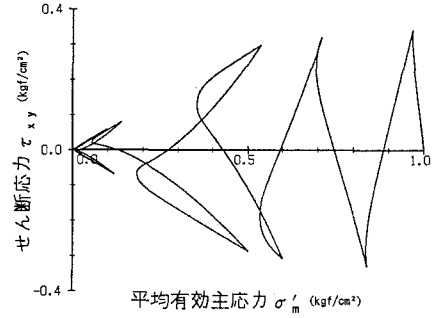


図-3 解析結果(ケース1)

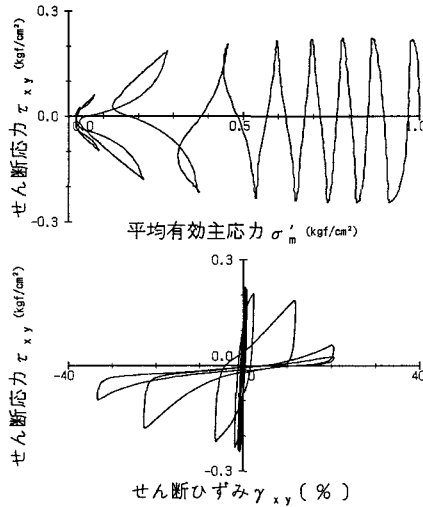


図-2 試験結果(ケース2)

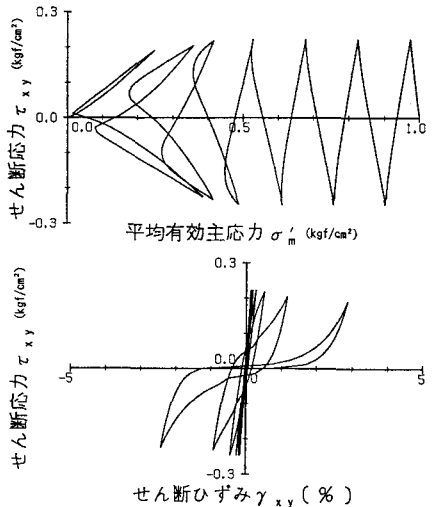


図-4 解析結果(ケース2)

ゆる砂のサイクリック・モビリティの様子をうまく表現し得ている。

また、せん断ひずみは、解析値が試験値より小さい傾向にあるが、両者とも相対応力比が変相角を越える時点からひずみの発生量が大きくなっており、定性的には解析結果は試験結果をよく表していると言える。

4. まとめ

砂の弾塑性構成式に基づいて砂の非排水繰返しせん断時の挙動解析を行い、試験値との比較を行った。その結果、解析はかなり精度よく実際の挙動を表現し得ており、実スケールの地震時応答解析への適用性を示唆するものである。

謝辞 本解析を行うに際し土の構成式に関して有益なご助言を賜った電中研西氏に深甚の謝意を表します。

参考文献 1) 金谷・西：地震時における基礎地盤の安定性評価(その6)，電力中央研究所報告，1988。