

斜面の液状化時側方流動予測への3次元液状化解析手法の適用

NKK基盤技術研究所 正会員 関口 宏二
 京都大学大学院 正会員 岡 二三生

1. はじめに

地震時に液状化する恐れのある斜面部に設置される埋設管などライフラインの耐震設計においては、地震時の側方流動量およびその3次元的な流動パターンを予測することが重要である。この課題に対するアプローチとしては、地震時被災事例のデータに基づく統計的手法^{1),2)}、遠心模型実験による方法、数値シミュレーションによる方法³⁾、が提案されている。しかし、についてはケースヒストリーが不足しているため、予測モデルの確立にはなお時間がかかること、については国内最大規模の動的遠心模型実験装置を用いたとしても、平面寸法で75 m x 15 m程度の地盤しか模擬できないため、平面的な広がりを考慮することが難しいこと、などの問題点がある。の数値シミュレーションによる手法は、入力地震動の波形・継続時間や地盤条件の影響を直接考慮でき、また平面的な広がりも考慮できる有望な手法である。ここでは、有効応力法に基づく3次元液状化解析手法⁴⁾の適用性について、単純な斜面モデルを対象に検討を実施した結果について報告する。

2. 解析条件

国内最大規模の動的遠心模型実験土槽（寸方で長さ150 cm、高さ50 cm、奥行き30 cm）を用いて、50 G場での検証実験を行うことを想定し、実物の解析規模を長さ75 m、高さ25 m以内、奥行き15 mと設定した。その大きさに収まるように、斜面の傾斜角を1, 2, 5, 10%とした4種類のモデルを図1に示すように考えた。いずれのモデルも、斜面中央部における液状化層厚（平均液状化層厚）は6.25 mであり、斜面部分の長さは25 mである。また、斜面の法肩および法先より25 mの区間は水平部とし、水平部の外側には固定された境界が存在すると考えた。地盤は全て飽和された一様な緩い地盤と仮定し、その材料パラメータは、未改良浅間山砂の繰り返しねじりせん断試験結果⁵⁾を参考に設定した（図2）。入力地震動としては、八戸波（最大水平加速度170 Gal、鉛直動は入力せず、20秒間）、神戸PI波（最大水平加速度527 Gal、最大鉛直加速度173 Gal、25秒間）を、水平（斜面傾斜）方向（+鉛直方向）に入力した。

3. 解析結果

図3に、5%勾配モデルに入力した後の斜面の変形、および平均有効応力減少比（ $L = 1 - \sigma'_m / \sigma'_{m0}$ 、ここに σ'_m = ある時刻の平均有効応力、 σ'_{m0} = 初期平均有効応力、 L が1に近いほど完全液状化状態に近い）の分布を示す。変形は構造物スケールの3倍で表示した。同図では、法肩および法先以遠の平坦部で液状化の程度が激しく、斜面部では液状化の程度はそれほど激しくなっていない。これは、地盤の初期せん断応力の存在に対応しており、初期せん断応力の存在する斜面部では、完全液状化に至る前に地盤がせん断破壊するからと推定される。この傾向は、斜面勾配が急になるほど顕著に見られた。

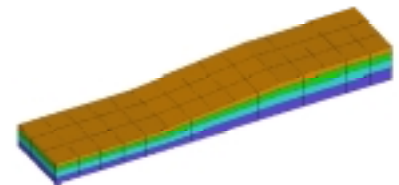
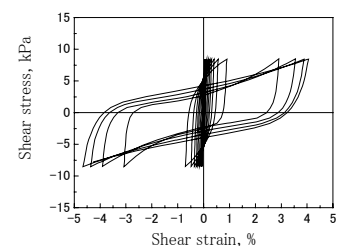
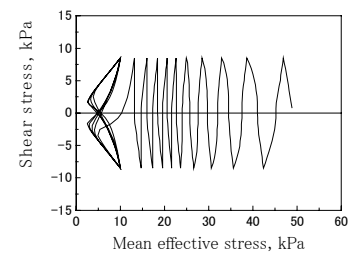


図1 解析モデル（10%勾配斜面，平坦部の平面メッシュサイズは5m x 5m）



(a) せん断応力～ひずみ関係図



(b) 応力経路図

図2 要素シミュレーション結果

キーワード 液状化解析，斜面，側方流動，3次元解析，埋設管

連絡先 〒210-0855 川崎市川崎区南渡田町1-1 NKK基盤技術研究所 都市工学研究部 TEL 044-322-6222

図4に、5%勾配モデルに八戸波および神戸PI波を入力した後の地表面の斜面方向残留水平変位分布を示す。残留水平変位は、斜面中央部付近で最も大きく、従来からモデル化されているように正規分布曲線に類似した形状となった。他の斜面勾配の場合でも同様の分布形状であった。

図5に、4種類の斜面モデルに関する全8ケースの解析における最大残留水平変位量を、下記の回帰式と比較して示す。

$$\text{浜田らの式}^1) : D = 0.75 \times H^{1/2} \times \theta^{1/3} \quad (\text{m})$$

ここに、 H =液状化層の厚さ(m) , θ = 地表面勾配および液状化層下面勾配のうち最大の勾配(%)
(元データでは、7.3%)

$$\text{若松らの式}^2) : D = 0.57 \times H \times \theta \quad (\text{m})$$

(元データでは、2.3%)

図5より、本解析結果は、浜田らの式と同様に、地表面勾配が大きくなると最大水平変位が飽和する傾向にある。神戸PI波入力時の最大水平変位は、浜田らの式よりやや小さいが、同式の精度が倍半分であることを考えるとほぼ同レベルと言える。若松らの式は、その適用範囲を地表面勾配が2.3%以下と限定したとしても、本解析結果および浜田らの式に比べてかなり大きい最大水平変位量を与えている。

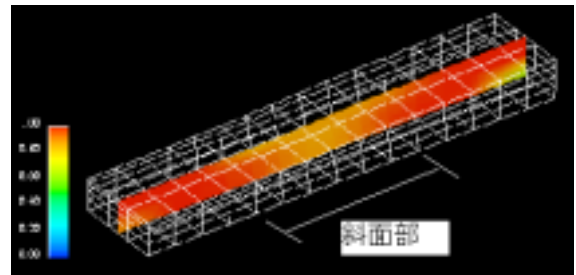
4. まとめ

斜面の液状化時側方流動変形予測における3次元液状化解析手法の適用性について、予備的な検討を行った。その結果、本解析結果は浜田らの提案式と良く整合することが確認された。今後は、遠心模型実験や実事例の解析による精度評価に取り組みたいと考えている。

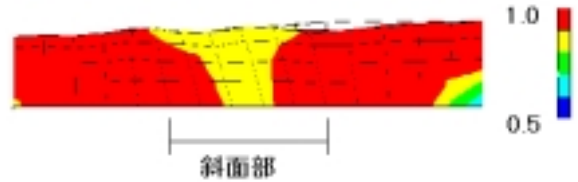
参考文献

- 1) 浜田政則ほか：液状化による地盤の永久変位と地震被害に関する研究，土木学会論文集，第376号/ -6, pp.221-229, 1986.
- 2) 若松加寿江ほか：液状化による地盤の側方流動のメカニズム（その1），地震時の地盤・土構造物の流動性と永久変位に関するシンポジウム発表論文集，地盤工学会，pp.305-308, 1998.
- 3) 地盤工学会： 文献2)のシンポジウム発表論文集.
- 4) Oka, F. et al.: A cyclic elasto-plastic constitutive model for sand considering a plastic-strain dependency of the shear modulus, Geotechnique, 49, No.5, pp.661-680, 1999.

- 5) 関口宏二ほか： 超多点注入工法による液状化対策技術 ～大型土槽注入実験結果～、第44回地盤工学シンポジウム，pp.371-376, 1999.



(a) 斜視図



(b) 側面図

図3 変形および平均有効応力減少比の分布図
(5%勾配, 八戸波 170Gal 入力)

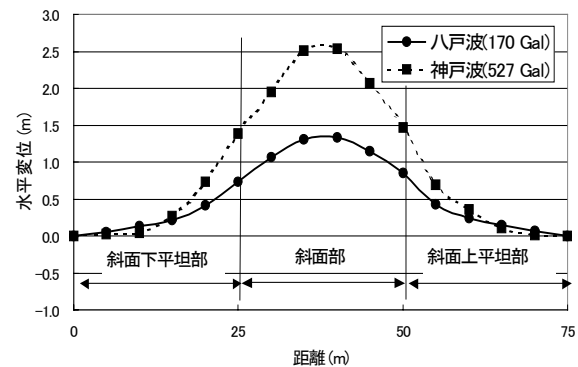


図4 地表面の斜面方向残留変位（5%勾配）

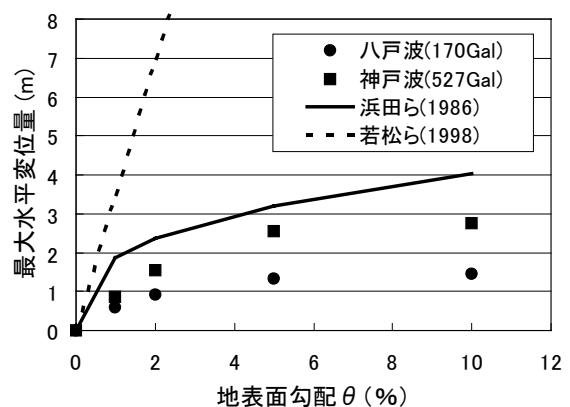


図5 既往の回帰式と解析結果の比較