

液状化に伴う傾斜地盤の流動の3次元残留変形解析

東京電機大学理工学部 フェロー会員 ○安田 進
 東北学院大学工学部 正会員 吉田 望
 JIP テクノサイエンス(株) 正会員 川口和広, 大矢陽介
 中央開発(株)九州支社 掛川智仁

1. はじめに

液状化にともなう傾斜地盤や岸壁・背後地盤の流動に関して、筆者達は2次元断面モデルを対象にして残留変形解析をもとにしたALIDで流動量を推定することを行ってきた。これに引き続き、複雑な地形の3次元傾斜地盤モデルに対してALIDの手法を適用し、3次元モデルでの流動量の解析を試みた。

2. 解析対象地区および解析方法

1983年日本海中部地震の際、能代市の砂丘端部の2地区では緩やかな斜面に沿って液状化にともなう地盤の流動が発生した。そのうち、前山を中心として傘状に緩やかな斜面が存在する地区では、図1に示すように、前山を中心として放射状に流動が発生した。この斜面勾配は2～3%と緩いが、図に示されるように最大で5m程度の地表面水平変位量が発生した。地震後にこの地区に関し地盤調査を行い、それをもとに前山からのいくつか放射状の測線に沿った2次元断面で液状化層の推定も行った¹⁾。さらに、2次元断面に対しALIDを適用した結果、このような緩やかな傾斜地盤の流動にもALIDが適用できる事が分かってきている²⁾。

そこで、緩やかな傾斜地盤の3次元モデルに対するALIDの適用性の検討にあたって、この前山を中心とした地区を対象にすることにした。モデル化した範囲は図2に示す東西500m、南北700m、深さ20mの範囲である。まず3次元モデルを作成するために以下のように地形や地層、液状化層の簡略化を行った。

1)前山の1点を頂点とする傘状の地形と仮定した。

2)既往の研究¹⁾では前山から放射状にとった15測線に対し2次元断面図が作成されているので、不足している区域に2本測線を加えた。それをもとに一部の土層構成が複雑な区域を除いて全体を4層の水平層からなる地盤と仮定した。液状化層に関しても、2次元断面で複雑な形状をしていても矩形の液状化層を仮定した。そして、17測線間の土層構成や液状化層を補間した。最表層の液状化領域を図3に示す。

3) 図2に平面的にみたメッシュ図を示す。解析に用いた有限要素は、10節点4面体要素及び15節点5面体要素である。また、解析規模はそれぞれ約34万要素、約21万要素である。

4)境界条件としては底部を3方向固定とし、周面では鉛直ローラーとした。

解析に用いたプログラムは汎用解析ソフトDIANA⁴⁾である。応力-ひずみ関係は液状化前後とも線形と仮定した。そして液状化前後の自重解析を行って、その変形量の差から液状化にともなう変形量を求めた。解析に必要な物性として単位体積重量や N 値、初期(液状化前)のせん断剛性、液状化に対する安全率 F_L などは2次元断面での解析²⁾で用いられた値と同じとした。なお、液状化層の N 値は4で細粒分含有率は3%であり、 F_L は0.8である。従って、液状化に伴うせん断剛性の低下割合 G_I/G_N は既往の関係³⁾から1/1000となるので、この値を用いている。また、液状化層上の非液状化層のせん断剛性の低下割合に関しては堤防の被災事例の逆解析より1/40程度が妥当であったため、この値を用いている。また、文献3)では応力-ひずみ関係を下に凸のバイリニアでモデル化しているが、本解析では線形としている。さらに、本解析では剛性の深さ方向の変化は考慮していなし、過剰間隙水圧消散に伴う沈下も考慮していない。

キーワード：液状化，流動，解析，砂地盤，地震

連絡先：〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂・TEL.049-296-2911・FAX.049-296-6501

3. 解析結果

図4に3次元解析による水平変位ベクトルの分布を示す。図1の実測変位分布と比較してみると解析での水平変位ベクトルも、実測のベクトルのような放射状の変位が再現できたと考えようである。全体的な変位量としては解析値の方が少し小さい傾向となっているが、局所的に実測の変位量と一致もしくは上回っているところも見られた。全体の変位量が小さいことについては、モデル化の段階で地層や液状化層を水平層に簡略化していることや、メッシュ数の関係で解析区域を水平な地盤まで広げられなかったこと等が要因と思われる。ただし、図3中に示した測線でS7, S11あたりでは解析結果が実測とよく合っている。S7断面は他の断面に比べ液状化層の層厚が厚いため、また、S11では液状化層上面の形状が斜面に沿うような形で存在しているため、変位が出易くなったと考えられる。なお、S5断面の変形を示すと図5となる。

4. まとめ

能代市の緩やかな傾斜地盤を対象にし、液状化に伴う流動に関して3次元モデルでALIDの手法を用いた解析を行った

結果、実測値に近い流動量が得られた。なお、本研究は大都市大震災軽減化特別プロジェクトの研究の一環として行ったものである。関係各位に深謝する次第である。

参考文献 1) Hamada, M., Yasuda, S., et. al. : Study on liquefaction induced permanent ground displacement, Association for the Development of Earthquake Prediction, Tokyo, 1986. 2) Yasuda, S., et., al. : Estimation of the zones susceptible to liquefaction-induced flow in Tokyo, Proc. of the 3rd International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering and 11th International Conference on Soil Dynamics & Earthquake Engineering, Vol.2, pp.545-552, 2004. 3) 安田進・吉田望・他：液状化に伴う流動の簡易評価法，土木学会論文集，No.638 / III-49, pp.71-89, 1999. 4) TNO DIANA B.V. : DIANA User's Manual release 8.1, 2003.

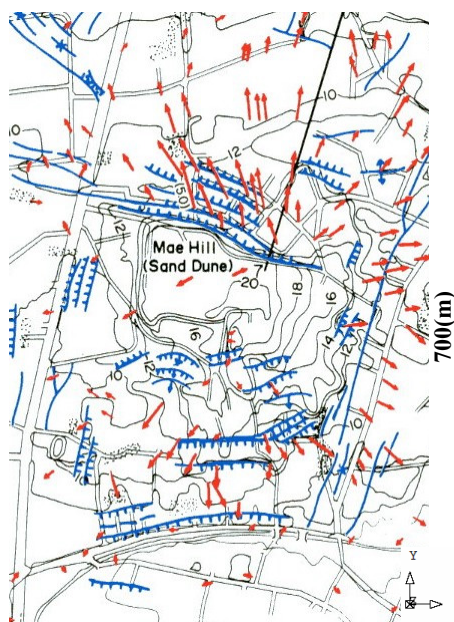


図1 能代市の前山地区の水平変位ベクトルの分布¹⁾

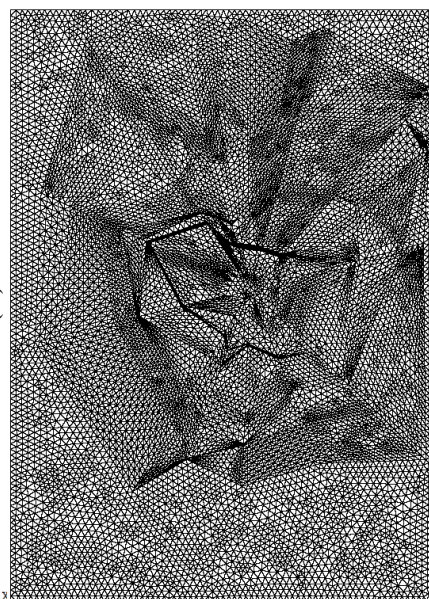


図2 解析領域とメッシュ

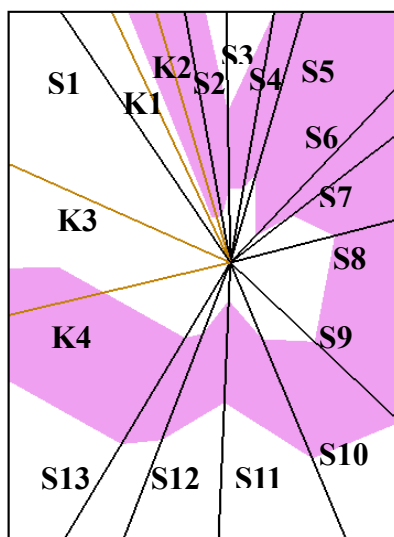


図3 最表層の液状化領域の平面による表示

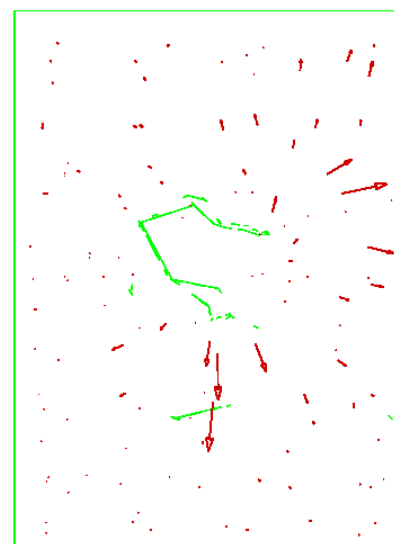


図4 3次元解析による水平変位ベクトルの分布

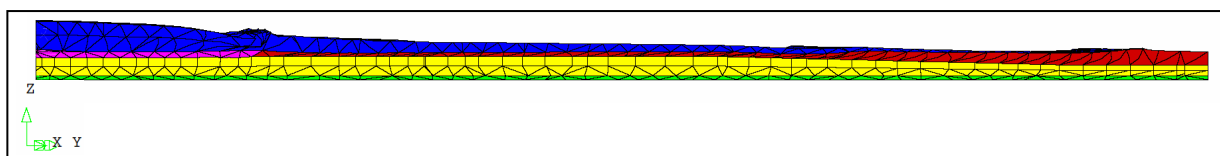


図5 3次元解析によるS5断面の変形図