

千葉工業大学 学生会員 ○中村 智則

正会員 小宮 一仁 渡邊 勉 清水 英治

1. まえがき

新潟地震によって多大な被害が報告されて以来、地震時の液状化に伴う地盤の側方流動が注目されている。側方流動による変位は、地盤の土質特性はもちろん、地震の規模や地層構成あるいは地盤の幾何学的境界条件の影響を受けるため、その最終変位量を予測するのは困難である。しかしながら、コンピューターおよび数値解析法の進歩により、近年ではかなり複雑な境界条件を有する力学的問題の多くが、数値解析的に評価できるようになっている。

液状化に伴う地盤の側方流動の数値解析が困難な要因のひとつに、液状化発生後の地盤の挙動を合理的に表すモデルが完成されていないことがあげられる。そこで本報告では、液状化後の地盤の挙動を粘塑性流動と仮定し、一般化 Bingham 流動則を構成則に用いた粘塑性流動解析を、従来用いられている弾塑性動的過渡応答解析に組み込むことによって、液状化に伴う地盤の側方流動の数値解析を試みた。

2. 解析の概要

本研究の有限要素法解析は、通常の弾塑性動的過渡応答有限要素法解析と粘塑性流動有限要素法解析を組み合わせたものである。解析フローは次のとおりである。まず、一般的に用いられている陽的弾塑性動的過渡応答有限要素法解析によって各要素の応力を計算する。本解析では、地震時における地盤の側方流動を計算するために、構成則には Mohr-Coulomb の破壊規準を用いる。要素の応力状態が、Mohr-Coulomb の破壊規準に達しないうちは、要素には弾性変形が生じるとして、自重を考慮した動的過渡応答有限要素法解析によって各節点の変位を計算する。一般的な弾塑性解析では、要素の応力状態が Mohr-Coulomb の破壊規準に達した場合は、破壊規準を降伏曲面として弾塑性節点変位を計算する。しかしながら、本解析では要素の応力状態が Mohr-Coulomb の破壊規準に達した時点で地盤は破壊したとし、破壊後の地盤の変位挙動を決定する手段として粘塑性流動有限要素法解析を用いた。粘塑性流動有限要素法解析では、まず破壊規準に達した時点の要素の弾性応力を一時的な超過応力と見なし、超過応力から得られた要素のストレッチングを Hohenemser と Prager¹⁾ によって提案された次式の一般化 Bingham 流動則で計算した。

$$2\eta v_{ij} = \begin{cases} 0 & (F < 0) \\ F \cdot S_{ij} & (F \geq 0) \end{cases} \quad (1)$$

ここに、 η は塑性粘度、 v_{ij} はストレッチング、 S_{ij} は偏差応力テンソル、 τ_y は降伏規準（ここでは Mohr-Coulomb の破壊基準値を用いる）、 J_2 は偏差応力テンソルの第 2 不変量、 F は次式で表される降伏関数である。

$$F = 1 - \frac{\tau_y}{\sqrt{J_2}} \quad (2)$$

次に (1) 式で求まる要素のストレッチングに弾性剛性マトリクスを乗じて計算される応力を生じさせるのに必要な節点力を積分により逆算し、この節点力を用いて弾性計算を行って要素の変形を決定した。

キーワード ; 液状化 側方流動 有限要素法

連絡先 ; (住所 : 〒275-8588 習志野市津田沼 2-17-1 ・ 電話 047-478-0449 ・ FAX : 047-478-0474

3. 地震時の液状化に伴う地盤の側方流動の粘塑性有限要素法解析

ここでは、2. に示した粘塑性有限要素法を用いて、地震時の地盤の液状化に伴う側方流動のシミュレーションを行う。図-1に解析モデル（初期状態）、また表-1に入力パラメータを示す。ここでは、長さ100m、厚さ10mの1/100 傾斜の斜面を考える。液状化層は地表面から1.0m~5.0mの4.0mの範囲（図-1点線部）にあり、その他の地盤は非液状化層とした。振動加速度は図-1に示すモデルの下端の節点に水平方向に50秒間作用させた。入力加速度波は、最大加速度 4.9 m/s^2 、周波数 4.0 Hz の水平方向正弦波である。粘塑性流動解析における粘性係数の値は、Akagi・Komiya²⁾によって提案された式を用いて決定した。

図-2は、図-1に示すA,B,C,D,E点の水平方向変位（図-1左側正）の経時変化を示したものである。A,B,C点は液状化層上部地盤内にあり、D,E点は液状化層内にある。図から、加振開始約30秒後から地盤が傾斜面下方に側方流動し始めているのがわかる。加振終了後も地盤の側方流動は止まらずさらに大きくなり、加振開始約90秒後にほぼ収束した。最終的な側方流動変位量は、A点が約7.0cm、B点が約6.8cm、C点が約6cm、D点が約4cm、E点が約2cmであった。

液状化層内部のD,Eの変位量は地表面からの深さの小さいD点が大きく、これに対し非液状化層内のA,B,C点には変位量の大きな違いが見られない。これは、液状化によって粘塑性変形に移行した液状化層は大きくせん断変形し、粘塑性変形を伴わない非液状化層は液状化層の変形に身を任せて移動していることを示している。まだ試行回数が少なく、パラメータの決定法等の問題点はあるが、以上の結果から粘塑性流動解析を用いて液状化後の変形をモデル化することによって、液状化による地盤の側方流動の定量的な評価が可能であると考えられる。

参考文献

- 1)Fung, Y.C. 著, 大橋義夫ら訳: 連続体の力学入門, 培風館, p.225-227, 1974
2)Akagi,H. & Komiya,K.: Proceedings of The International Conference on Geotechnical Engineering (Geo-coast'91), Vol.1, p.153-158, 1991

表-1 入力パラメータ

(弾塑性動的応答解析)

弾性係数 E	1000.0 kPa
ポアソン比 ν	0.380
地盤の密度 ρ	1.50 g/cm ³
摩擦角 ϕ	30.0 deg
粘着力 c	1.00 kPa
時間ステップの長さ	0.001 s

(粘塑性解析)

弾性係数 E	10000.0 kPa
ポアソン比 ν	0.490
粘性係数 μ	1650.0 kPa·s

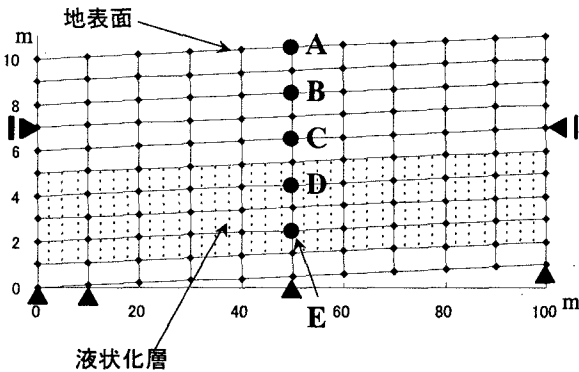


図-1 解析モデル(初期状態)

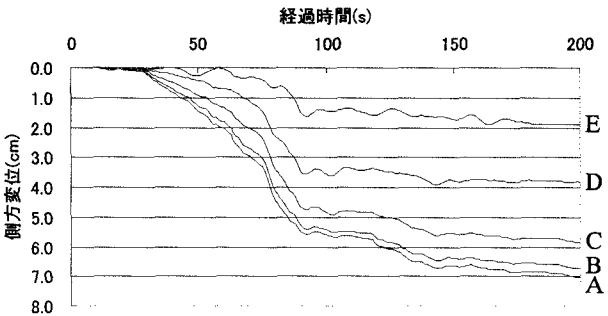


図-2 側方変位の時間変化