

粘塑性有限要素法による液状化時の地盤の側方流動解析

千葉工業大学大学院 学生会員 中村 智則

千葉工業大学工学部 正会員 小宮 一仁 渡邊 勉

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。

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

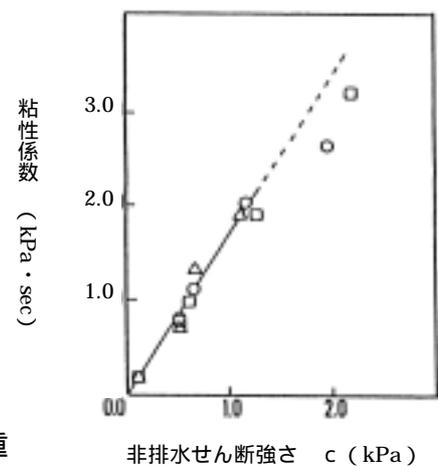
本研究の有限要素法解析は、通常の弾塑性動的過渡応答有限要素法解析と粘塑性流動有限要素法解析を組み合わせたものである。解析フローは次のとおりである。まず、一般的に用いられている陽的弾塑性動的過渡応答有限要素法解析によって各要素の応力を計算する。ここで、地震時における地盤の液状化判定に Mohr-Coulomb の破壊規準を用いる。要素の応力状態が、Mohr-Coulomb の破壊規準に達しないうちは、要素には弾性変形が生じるとして、自重を考慮した動的過渡応答有限要素法解析によって各節点の変位を計算する。一方、要素の応力状態が Mohr-Coulomb の破壊規準に達した時点で地盤は破壊（液状化）したとし、液状化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行った。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。粘塑性流動解析において超過応力が残留しているうちは流動解析を続け、超過応力が消散した要素については一般の動的過渡応答解析に戻し、計算を続行した。

3. 液状化地盤の粘性係数 の決定

Bingham 流動側を用いるにあたり、液状化地盤の粘性係数の評価が重要となる。液状化地盤の粘性係数決定のためにはさまざまな方法が提案されているがここでは、以下のように粘性係数を決定した。Skenpton ら²⁾ は、実験的研究により液性限界の含水比を有する土のせん断強さが 1.0kPa 程度であるとした。そこで、地盤が流動する液状化時の非排水せん断強さは 1.0kPa 以下と仮定し非排水せん断強さと粘性係数の関係を調べた。図-1 は鉄球引き上げ実験³⁾ によって求めた土の非排水せん断強さと粘性係数の関係である。図-1 から粘土の非排水せん断強さが 1.0kPa 程度より小さい土の非排水せん断強さ c と粘性係数 の換算式は次のようになる。

$$= 1680 \cdot c \quad (\text{kPa} \cdot \text{sec}) \quad (1)$$

本解析では、 $c = 1.0\text{kPa}$ に等しい場合についての解析を行った。



記号	半径 r	運動速度 v (10^{-6}m/s)
○	1.508	16.7
□	1.270	16.7
△	1.270	8.33

図-1 非排水せん断強さと粘性係数の関係

キーワード 液状化 側方流動 有限要素法 変位

連絡先：〒275-0016 習志野市津田沼 2-17-1 TEL：047-478-0449 FAX：047-478-0474

表-1 入力パラメータ

(弾塑性計算)	
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
(粘塑性計算)	
弾性係数 E	1000.0 kPa
ポアソン比 ν	0.490
粘性係数 μ	1650.0 kPa·s

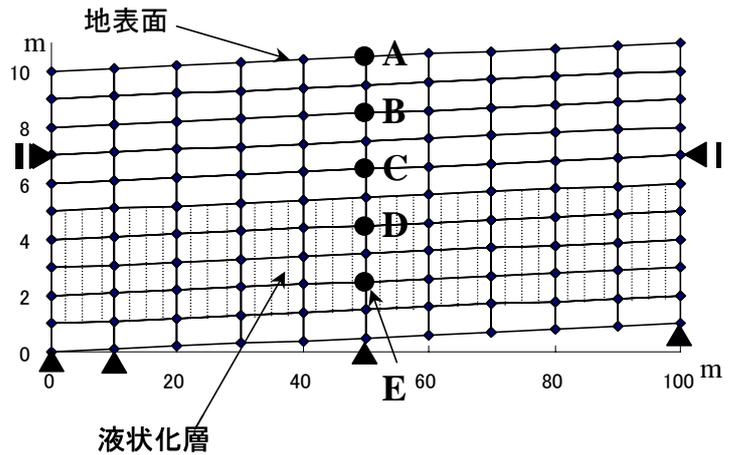


図-2 解析モデル

4. 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-2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、単純化した傾斜地盤モデルとして長さ100m、深さ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-2の破線部)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-2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/s²、周波数4.0Hzの水平方向正弦波である。

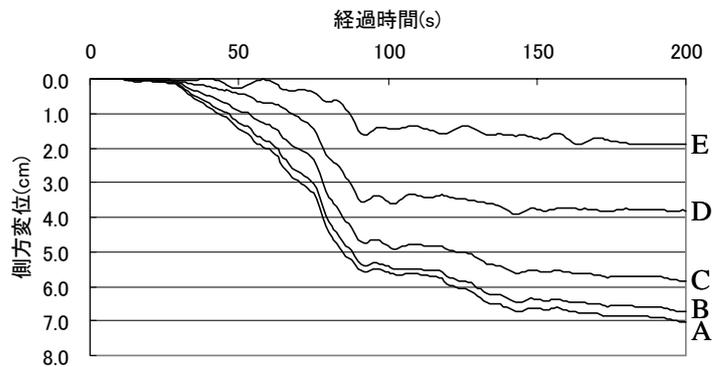


図-3 液状化による地盤の側方変位と経過時間の関係

図-3は、図-2に示すA,B,C,D,E点の水平方向変位(斜面下方向を正とする)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、振動開始約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。振動終了後も地盤の側方流動は止まらずさらに大きくなり、振動開始約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、パラメーターの決定法とうの問題点はあるが、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) Skempton, A.W., Northery, R.D.: The Sensitivity of Clays, Geotechnique, vol.3, p.30-53, 1953
- 3) kagi, H., Komiya, .: Earth pressure applied to tunnel due to the settlement of soft clay, 沿岸域の開発における地盤工学的諸問題に関する国際論文集, Vol, p153-158, 1991