

粘塑性有限要素法による高盛土の液状化地盤の側方流動について

千葉工業大学 学生員 中村 智則 千葉工業大学 正会員 小宮 一仁
 千葉工業大学 正会員 渡邊 勉 ケミカルグラウト(株) 正会員 高橋 正光

1. まえがき

本研究では、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。その中で、粘性係数の決定法には中空ねじりせん断試験による粘性係数の時間変化の式を用いた解析を実際の現象への比較で妥当性を証明し、液状化防止工法の1つである地盤改良工法を行ったときの側方変位抑制効果について考察をした。

2. 解析の概要

本研究の解析フローは次のとおりである。まず、液状化前の地盤の挙動を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によって解析する。この段階の構成則には Mohr-Coulomb の破壊規準を用いる。動的過渡応答解析によって応力状態が Mohr-Coulomb の破壊規準に達した要素については液状化が発生したとし、液状化後の地盤の挙動を求めるために、次ステップから粘塑性流動有限要素法解析を行う。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 Prager によって提案された次式の一般化 Bingham 流動則で計算する。

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

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する。粘塑性流動解析によって超過応力が消散した要素については液状化が終了したとし、次ステップからは再び通常の動的過渡応答解析を行う。

3. 粘性係数の時間変化

中空ねじりせん断試験によって、液状化後の土の粘性係数の時間変化を求めた。これによると、液状化開始時から時間が経過すると液状化土の粘性係数が増加することが示されている。本研究では、川村ら¹⁾の実験結果に基づき、液状化地盤の粘性係数を次式で評価した。

$$= 45.5 \cdot t \quad (\text{kPa} \cdot \text{s})$$

ここに、 t は液状化発生後の時間(s)である。この粘性係数の式を粘塑性解析に組み込むことにより、側方流動の遅延効果を得られたため、この方法で液状化解析を行った。

キーワード：液状化，有限要素法，側方変位

連絡先：〒275-8588 習志野市津田沼 2-17-1 TEL 047-478-0449 FAX 047-478-0474

4. 解析の結果

ここでは、2. で示した粘塑性有限要素法を用いて、兵庫県南部地震で液状化による側方流動の被害があった高盛土の解析を行い、併せて側方流動防止工法について検討する。図 - 1 は、この高盛土の地層断面をもとに作成した有限要素法モデルである。表 - 1 は入力パラメーターであり全ての地盤の内部摩擦角 30° 、粘着力 $c = 1.00\text{kPa}$ とした。入力加速度は、最大加速度 4.9m/s^2 、周波数 4.0Hz の正弦波で 50 秒間加振した。

解析における変位境界は、底面の x 軸方向固定し、側面の y 軸方向固定とした。図中の変位測定ポイント (S 点) で観測した実際の変位量は、 3.94m であった。

図 - 3 の A は、解析によって得られた S 点の側方流動変位の経時変化である。図から解析で得られた最終変位量は 3.64m となり現場での記録と良い精度で一致した。

次に液状化に伴う地盤の側方流動の防止工法について検討した。ここでは図 - 2 に示す矢板下部の地盤改良を想定した解析を行う。図 - 3 の B、C、D は図 - 2 に示すそれぞれの地盤改良を施工した場合の側方流動変位の解析結果である。矢板の外側を改良した B と C では改良なしの場合に比べ側方流動防止効果があり、それぞれの最終変位は、 $B = 2.68\text{m}$ 、 $C = 2.83\text{m}$ であった。一方矢板の内側だけを改良した D では、改良範囲が広いにも関わらず、流動防止効果は見られなかった。

解析結果によると、液状化時に高盛土部分の重力によって液状化層の外側に流動した矢板の外側を地盤改良することによってこの流動変位が抑えられる。

参考文献

- 1) 川村ら：第 4 回構造物の破壊過程解明に基づく地震防災性向上に関するシンポジウム論文集、2003

表 - 1 入力パラメーター

	弾性係数	ポアソン比
層1	1.00E+12	0.35
層2	17500	0.38
層3	5000	0.45
層4	5000	0.38
層5	75000	0.35
改良地盤	2.00E+05	0.35
矢板	1.00E+14	0.33

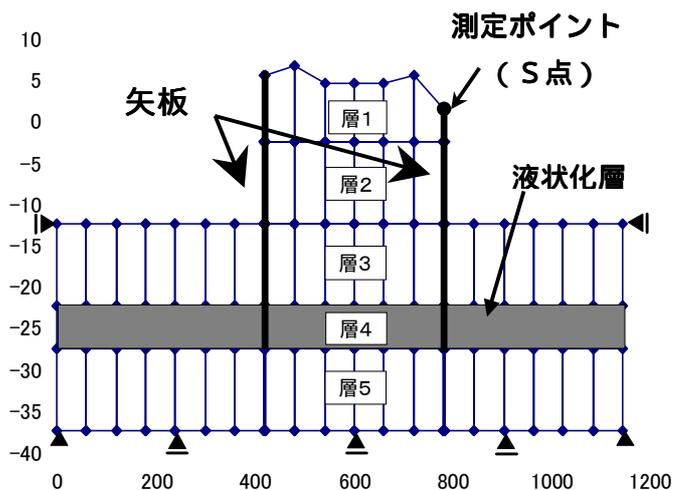


図 - 1 解析モデル

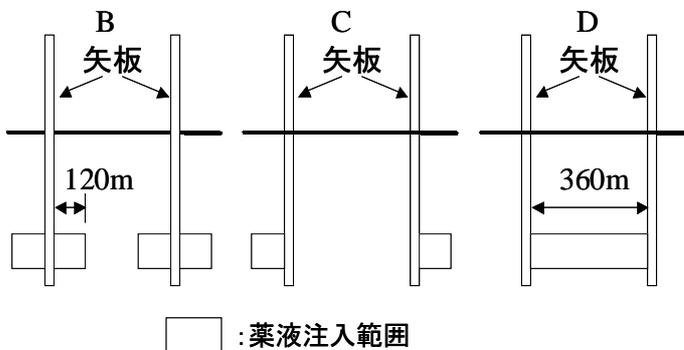


図 - 2 地盤改良状況

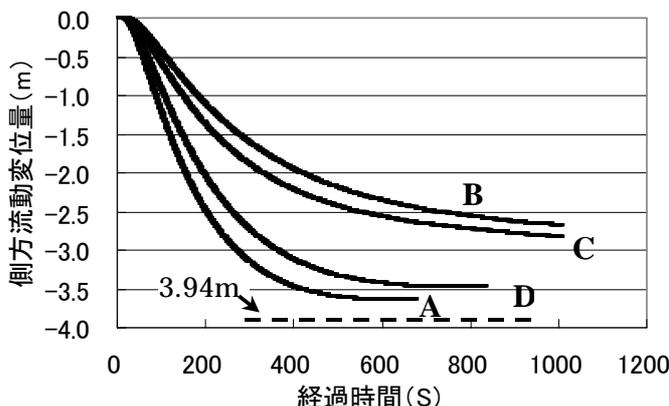


図 - 3 地盤の側方変位の経時変化