

III-193

液状化による側方流動地盤の数値解析手法について

東京電力 正会員 佐藤 博 ○正会員 土居 賢彦
 東海大学 正会員 浜田 政則
 篠塚研究所 正会員 中村 孝明

1. まえがき 液状化による地盤の側方流動に関しては、発生のメカニズム、地中構造物に及ぼす影響について未解明な部分が多いのが現状である。本報告は側方流動のメカニズムを検討するため、実験による側方流動地盤の挙動について2種類の数値解析によりシミュレーションを行ったものであり、実験結果を再現できる見通しが得られたので、以下にその内容を報告する。

2. 数値解析の概要 (1) 一次元解析

図-1に示すように斜面を有する地盤モデルを考える。砂層をVoigtモデルで表せられる粘弾性体とすれば、砂層の微小領域の力の釣合により、運動方程式はつぎのとおりである。

$$(\rho/g) (\partial^2 u / \partial t^2) - \eta (\partial^3 u / \partial t \partial z^2) - G (\partial^2 u / \partial z^2) = \rho \theta \quad \text{-- ①}$$

ここに η : 粘性係数、 G : せん断弾性係数

既往の実験結果¹⁾を基に、流動変位の深度分布を多次モード

まで含めた正弦関数で近似し、このうち支配的となる1次モードのみを考慮すると、1次モードの地表面変位 a_1 を用いて流動方向の運動方程式は次のとおり表される。

$$(\rho/g) \ddot{a}_1(t) + (\pi^2 \eta / 4H^2) \dot{a}_1(t) + (\pi^2 G / 4H^2) a_1(t) = 4\rho \theta / \pi \quad \text{-- ②}$$

(2) 二次元解析 a. 解析方法

実地盤のように、地表に非液状化層がある場合、対象断面が二次元的に変化する場合、さらには将来流動地盤中にある構造物への影響を検討する場合等を考慮すると、より詳細なモデル化が必要である。既往の被害事例の分析ならびに室内の側方流動実験¹⁾から、液状化した地盤は流体的な挙動を示すのではないかとの推測が示されている。ここではこのことを考慮して、図-2に示すように液状化層を流体、非液状化層を弾性体とし、それぞれをBEM、FEMにてモデル化する。

液状化層である領域 Γ では非圧縮、非回転の完全流体とし、速度ポテンシャル ϕ が存在すると考えると支配方程式は次のとおりである。

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad \text{in } \Gamma \quad \text{----- ③}$$

$$(B.C.) \quad \partial \phi / \partial n = Vn \quad \text{on } S_1 \quad \text{-- ④}$$

$$\partial \phi / \partial n = 0 \quad \text{on } S_2 \quad \text{-- ⑤}$$

ここに Vn は非液状化層の運動速度の法線成分である。

次に、解析上の処理の容易性を考慮して流体を疑似粘性流体とし、粘性抵抗力は速度に比例すると仮定すると液状化層の圧力方程式は次のとおりである。

$$P/\rho = -(\partial \phi / \partial t) - (u^2 + v^2)/2 - \alpha \phi - gz \quad \text{-- ⑥}$$

ここに α は流動抵抗係数と定義し、その他は

u, v : 速度の x, y 成分 z : 基準面からの高さである。また、液状化層から非液状化層に作用する流体力は図-3に示すとおり圧力 P と摩擦せん断力 q とし、この

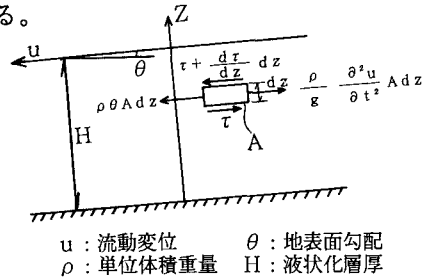


図-1 一次元解析モデル

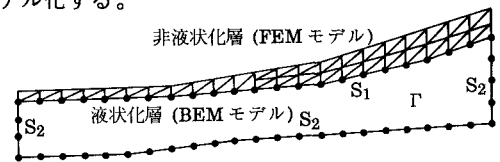


図-2 二次元解析モデル

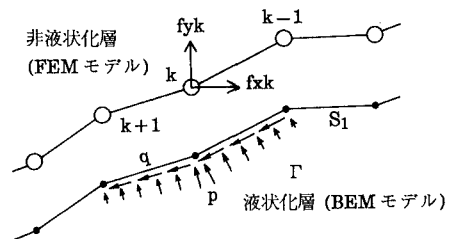


図-3 液状化層から非液状化層に作用する流体力

q は疑似粘性流体との仮定から、次のように表す。

$$q = \beta (\partial \phi / \partial s) \quad \partial \phi / \partial s : \text{接線方向の速度} \quad \text{----- ⑦}$$

β はせん断力係数と定義する。非液化化層については、減衰を考慮せず、剛性のみを考慮するものとする。

b. α 、 β と粘性係数 η との関係

底面に平行な層流状態の流れを考える。粘性流体では速度は深度方向に放物線分布となるが、疑似粘性流体では一様分布と考える。両者の流量が等しいと置くことにより、両者の速度の間には次の関係がある。

$$U = (3/2) u_a \quad U : \text{粘性流体の最大速度} \quad u_a : \text{疑似粘性流体の一様速度} \quad \text{----- ⑧}$$

粘性流体、疑似粘性流体における圧力勾配、壁面のせん断力がそれぞれにおいて等価と置くことにより、疑似粘性流体の流動抵抗係数 α 、せん断力係数 β と粘性流体の粘性係数 η との間には次の関係がある。

$$\alpha = 12\eta / (\rho H^2) \quad \beta = 6\eta / H \quad (\text{非液化化層有り}) \quad \rho : \text{単位体積重量} \quad H : \text{液化化層厚} \quad \text{-- ⑨}$$

$$3\eta / (\rho H^2) \quad (\text{非液化化層無し})$$

3. 側方流動実験結果の数値シミュレーション

図-4に示す実験装置を用いて、液化化による側方流動を発生させ、これにより計測された地表面の変位、速度の経時変化について、前記の解析によるシミュレーションを行った。二次元解析については表層の非液化化層がない場合に相当する。一次元解析では液化化層を流体と仮定し、地表面勾配 θ は実験から求められる流動継続時間内、時間に比例して減少するものとした。

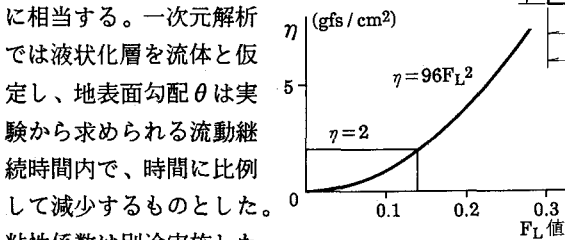


図-5 要素実験結果による粘性係数の推定

粘性係数は別途実施した要素実験により液化化地盤中を移動する物体に作用する荷重から推定される粘性係数と地盤のFL値との関係を求め²⁾、これから推定した(図-5)。また、二次元解析における α 、 β は式⑨より算定した。

シミュレーション結果を図-6に示す。これによると、一次元解析では流動の継続時間に実験値を用いているが、このことを考慮しても比較的良好に実験結果を再現できている。二次元解析では式⑧を考慮し、計算結果を3/2倍している。最大速度がやや大きくなるものの継続時間を含め実験値に近い結果となった。

4. あとがき 室内実験のように砂層が完全液化化状態を保持して流動している状態においては、これを(疑似)粘性流体として取り扱うことにより、流動地盤の挙動を再現できる見通しが得られたと考えられる。実地盤においては、地盤の不均一性による剛性の存在、大変形時における剛性の回復が考えられること等課題は多く残されている。今後は、大変形時の液化化地盤の物性評価とあわせて、流体として取り扱う二次元モデルの適用性について検討を進める予定である。

(参考文献) 1) 浜田他：液化化による側方流動のメカニズムに関する実験的研究、第28回土質工学研究発表会、1993 2) 浜田他：液化化している砂の物性に関する実験的研究、第28回土質工学研究発表会、1993

実験条件	遠州灘周辺浜砂 ($D_{50}=0.24\text{mm}$) $Dr=13\%$, 入力：正弦波 166gal (奥行方向)
------	--

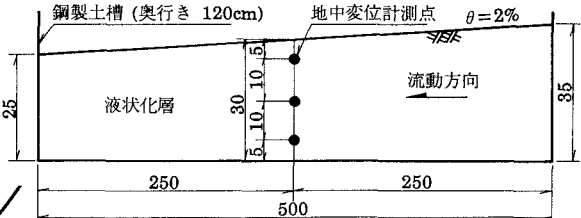


図-4 実験の概要 (単位: cm)

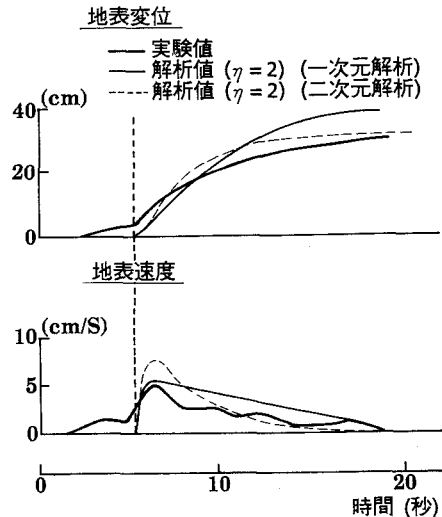


図-6 シミュレーション結果