

緩やかに傾斜した液状化層の側方流動特性に関する一考察

基礎地盤コンサルタンツ 正会員 鶴見 哲也

1. はじめに

過去の地震において、液状化に伴って生じた側方流動や噴砂現象は、地震動終息後かなり長時間継続していたことが知られている。なぜ液状化現象が長時間継続し、いつどのように終了するのかという疑問に対して著者等が行った研究¹⁾では、液状化は地下水における土粒子の沈降という物理現象であることが、理論的かつ國生の実験結果²⁾を引用して実証的に説明されている。その中で、過剰間隙水圧の消散は土粒子の沈降と再堆積の状態に依存し、均質な液状化層においては再堆積面が層底部から表層に向かって等速上昇することが分かった。このような液状化現象の過程を考慮して、著者は³⁾緩やかに傾斜した液状化層における側方流動の発生と終息のメカニズムを図-1のように考えた。すなわち、液状化発生とほぼ同時に過剰間隙水圧が発生し、地表面の傾斜勾配による側方流動の駆動力により液状化層の流動が始まる。時間の経過に比例して再堆積面が上昇する際、固相を回復した再堆積部分は上記駆動力程度ではほとんど変形しないと考えられるから、再堆積面以浅で主たる流動が継続する。流動層厚は再堆積面上昇により徐々に減少し、全ての土粒子の再堆積によって流動が終息する。本稿は、この側方流動のメカニズムに基づいて、液状化層厚、液状化層の透水性、地表の傾斜勾配、および、流動層の粘性係数が及ぼす定性的な側方流動特性に関する検討結果を報告するものである。

2. 解析方法

図-1のように x 方向に無限に広がる傾斜を想定した側方流動モデルに対して、流動層の運動をナビエ・ストークスの運動方程式により次式で与えた。

$$\frac{\partial v}{\partial t} - \frac{m}{r} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} = gi$$

ここに、 $v(y,t)$ は流動速度、 r は密度、 m は粘性係数、 g は重力加速度、および、 i は地表面勾配である。解析には差分法を適用し、その際、地表面においてせん断応力ゼロ、および、再堆積部分の流動速度ゼロの条件を満足させている。実施した解析条件の一覧を表-1に示す。

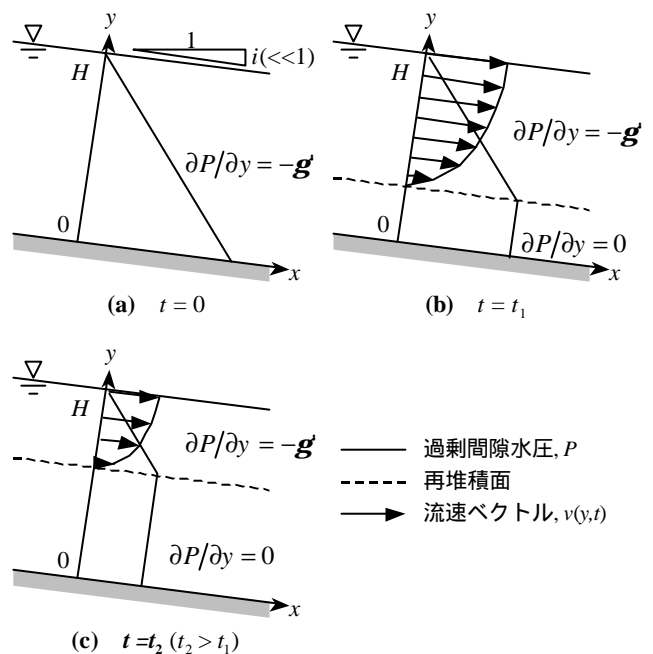


図-1 側方流動のメカニズムの概念図

表-1 解析条件一覧表

検討項目	ケース名	検討条件	備考	検討項目	ケース名	検討条件	備考
透水性 k (m/s)	Case1-1	$k=1.0 \times 10^{-5}$	$H=3.0$ (m) $i=0.1$ (%) $m=1.0 \times 10^3$ (Pa-s)	傾斜勾配 i (%)	Case3-1	$i=0.05$	$k=1.0 \times 10^{-4}$ (m/s) $H=3.0$ m $m=1.0 \times 10^3$ (Pa-s)
	-2	$k=3.2 \times 10^{-5}$			-2	$i=0.1$	
	-3	$k=1.0 \times 10^{-4}$			-3	$i=0.2$	
	-4	$k=3.2 \times 10^{-4}$			-4	$i=0.4$	
	-5	$k=1.0 \times 10^{-3}$			-5	$i=0.8$	
液状化層厚 H (m)	Case2-1	$H=1.0$	$k=1.0 \times 10^{-4}$ (m/s) $i=0.1$ % $m=1.0 \times 10^3$ (Pa-s)	粘性係数 m (Pa-s)	Case4-1	$m=1.0 \times 10^2$	$k=1.0 \times 10^{-4}$ (m/s) $H=3.0$ m $i=0.1$ (%)
	-2	$H=3.0$			-2	$m=3.2 \times 10^2$	
	-3	$H=4.0$			-3	$m=1.0 \times 10^3$	
	-4	$H=7.0$			-4	$m=3.2 \times 10^3$	
	-5	$H=10.0$			-5	$m=1.0 \times 10^4$	

計算条件； $g' = 8.82 \text{ kN/m}^3$, (液状化層の沈下量/液状化層厚) = 3%, $dt \leq 1/5000 \text{ sec}$, $dy = 5 \text{ cm}$

キーワード：液状化，側方流動，過剰間隙水圧の消散，土粒子の沈降

連絡先（〒135-0016 東京都江東区東陽 3-22-6, TEL: 03-5632-6825, FAX: 03-5632-6816, E-mail: tsurumi.tetsuya@kiso.co.jp）

3. 解析結果

図-2～5 に地表における最終の側方変位量と検討した諸要因の関係を示す．液状化層の透水性が悪い，および，液状化層が厚い場合には最終変位量が加速的に大きくなる傾向にある．地表面勾配と最終変位量には線形関係が認められる．また，粘性係数が大きいと最終変位が小さくなること分かる．

4. おわりに

本稿では，側方流動の定性的な特性を簡易に評価する目的で，運動方程式の適用が容易なモデル化を行ったため，図-1 において地下水面は傾斜した液状化層表面に一致しており， x 座標方向に無限に連続する傾斜を考慮する場合に現実的ではないことを述べておく必要がある．また，実際の側方流動を取扱う際には，非液状化の表層部の勾配の分布，液状化層厚の分布などの考慮が必要であり，地表面における変位となれば非液状化表層部の運動を考えなくてはならない．このように，現実的な側方流動の評価のためには，モデル化における課題や今後考慮すべきいくつかの要因が残っている．本稿で示した液状化層の定性的な流動特性は，必ずしも傾斜地盤の全てについて適切であるとは言えないが，側方流動という現象を考える上での一助となれば幸いである．

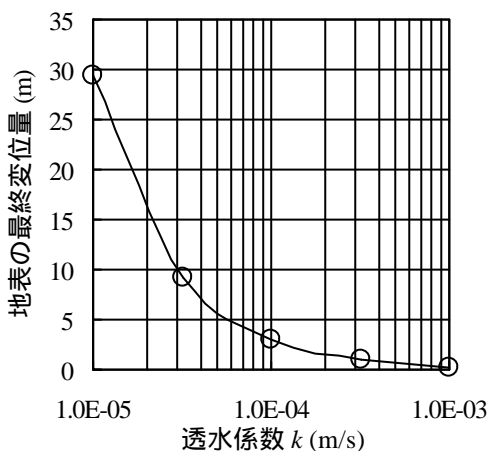


図-2 透水性係数による影響

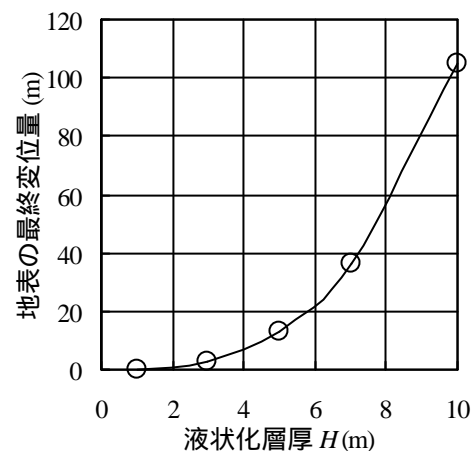


図-3 液状化層厚による影響

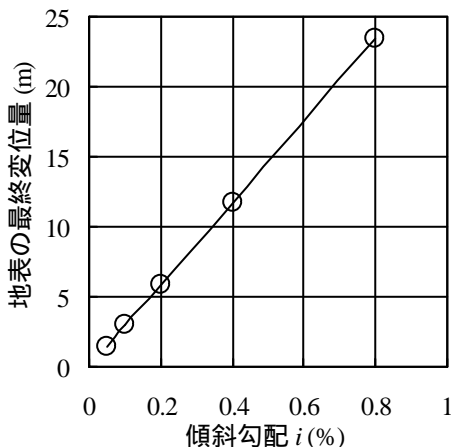


図-4 傾斜勾配による影響

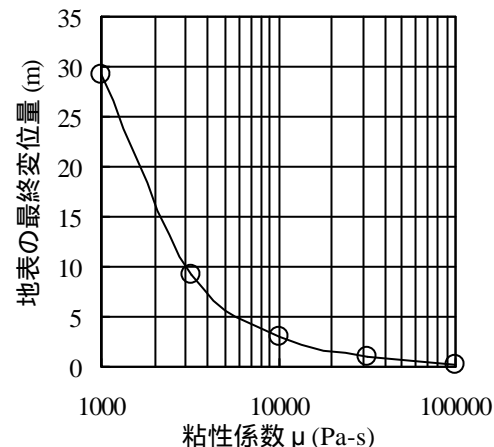


図-5 粘性係数による影響

謝辞 本研究の遂行に当たり，埼玉大学の渡邊教授，および，中央大学の國生教授より，貴重なご意見と多大なご指導を賜りましたので，ここに感謝の意を表させていただきます．また，ご意見を賜った東京理科大学の中澤助手，および，基礎地盤コンサルタンツの水本氏にも併せて感謝の意を表させていただきます．

<参考文献>

- 1) Tsurumi, T., Nakazawa, H. and Mizumoto, K.: **Consideration on the physical cause of liquefaction**, has been submitted for possible publication to *J. of Geotech. and Geoenviron. Engng., ASCE*.
- 2) Kokusho, T.: **Formation of water film in liquefied sand and its effect on lateral spread**, *J. of Geotech. and geoenviron. Engng., ASCE*, Vol.125, No.10, pp.817-826, 1999.
- 3) 鶴見哲也: **液状化地盤の側方流動特性に関する一考察**, 第 55 回土木学会年次学術講演会, 仙台, III-A147, CD-ROM, 2000.