

流動する液状化地盤と杭基礎の相互作用に関する研究

東京都立大学大学院 学生会員 ○唐澤 里英
東京都立大学 土質研究室 正会員 吉嶺 充俊
 東京都立大学大学院 学生会員 早川 岩郎

1. はじめに

液状化被害は地盤単独で起こる現象というよりも、側方流動などの地盤変形が地中構造物へ与える被害によって甚大なものとなるが、液状化地盤中の構造物に作用する荷重の正確な予測はかなり困難である。従来の解析手法では、土の要素を完全非排水状態として取り扱うことが一般的であるが、地盤流動は地震後のかなり長時間にわたって継続する現象であるので、間隙水の移動を考慮する必要があると考えられる。特に地中構造物の近傍地盤では著しいひずみの集中とダイレタンシーによって大きな動水勾配が生じると考えられるが、構造物周辺の間隙水の移動やそれに伴う地盤の剛性や強度の変化と不均一性を適切に考慮した解析事例はあまりない。本研究は、液状化流動地盤の挙動を単純化した土のダイレタンシーと間隙水の透水問題としてとらえることにより、数値解析・モデル実験の両面から杭基礎との相互作用について検討を行ったものである。

2. 実験概要

実験では、定常的な液状化地盤中を球体（杭基礎の水平断面モデル）が移動する際の地盤中の間隙水圧分布および球に作用する荷重を計測した。地盤を定常的に液状化させるために、図1に示すような直径300mm、高さ600mmの円柱形土槽につながった水槽に水頭差を与えることにより上向き浸透流を生じさせた。試料は豊浦砂とし、球の直径は25mmである。モデル地盤内で球を異なった速度で引き上げることで、地盤との相互作用に及ぼす速度効果の把握を行った。

3. 実験結果

地盤の中央部分（地盤深さ30cm）における水平断面方向の過剰間隙水圧分布の経時変化を測定することにより、図2に示すような3次元（軸対称2次元）の水圧分布を得ることができる。引き上げ速度が速い場合（図2(b)）、過剰間隙水圧は瞬時に低下し、球に近いところほど大きな有効応力が回復し硬化領域が形成された。一方、引き上げ速度が遅い場合には（図2(a)）、高速の場合に比べ過剰間隙水圧の低下幅は極めて小さく、液状化状態がほぼ一様に継続されていることが分かる。一方、球に作用する荷重を、引き上げ速度によって比較したのが図3である。引き上げ速度が速いほうが、遅いほうに比べ荷重が大きいという傾向がみられる。球の深さ30cmの点では低速引き上げに比べ、およそ2倍の荷重が、高速引き上げの球にかかっている。

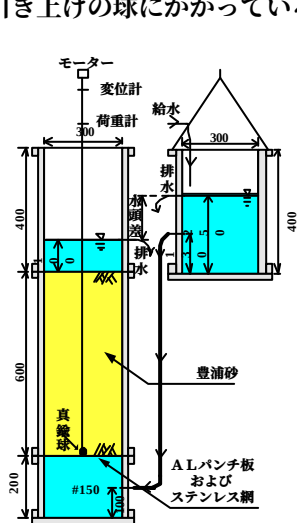


図1 実験装置全体図

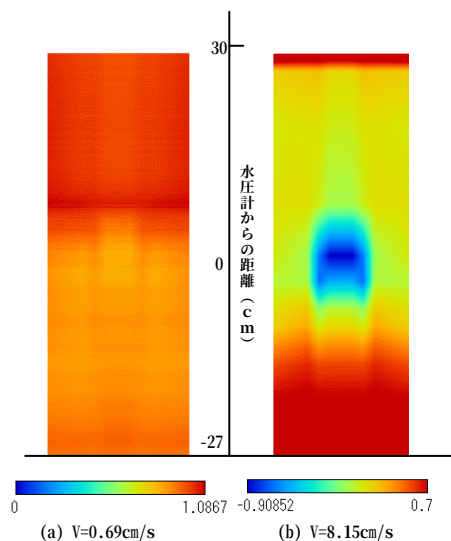


図2 過剰間隙水圧比の比較

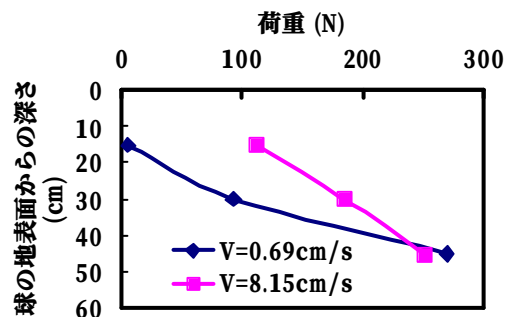


図3 球にかかる荷重の比較

キーワード 液状化、側方流動、杭基礎、有限要素法

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1 東京都立大学土木工学科、tel: 0426-77-2773

4. 数値解析

これらの実験を解析的に検証するために、2次元静的FEM有効応力解析プログラムを開発し、円柱を強制変位させた場合の周辺地盤の水圧分布および有効応力の時刻歴の算出を行った。プログラムのフローチャートを図4に示す。土のダイレタンシー-ひずみ関係および断塑性応力比-ひずみ関係は線形としてモデル化し、せん断強度比は間隙比によって変化させるとともに、ダルシー則による要素間の透水と、それによる間隙比の変化を考慮している。表1のように土の物性パラメータを設定した。また、解析ケースは、構造物を高速移動させた場合の速度を $V=10\text{cm/s}$ 、低速移動の場合を $V=1\text{cm/s}$ として、表2のような設定を行った。

図5は地盤が密な場合(初期間隙比 $e=0.5$)の解析結果である。変形速度が速いとき ($V=10\text{cm/s}$) は、杭まわりには間隙水圧の低下領域が形成されて土が硬化していることがわかる。変形速度が遅いとき ($V=1\text{cm/s}$) は、わずかな間隙水圧の低下は見られるものの、膨張領域に水が十分に供給されるために液状化は初期に近い状態で継続されていることがわかる。

一方、ゆるい地盤の場合(図6、初期間隙比 $e=0.9$)は、密な地盤に比べ移動速度の違いによる大幅な間隙水圧の低下領域は見られない。つまり、ゆるい地盤ではダイレタンシー特性が圧縮的になるためにせん断に伴って膨張領域が形成されないことが分かる。このような場合には杭の移動速度によらず構造物にかかる荷重は小さいまとなる。

5. まとめ

本研究では、液状化流動地盤をバネ-ダッシュポットや粘性流体として単純化するのではなく、非粘性要素からなる地盤構造の透水問題を考慮することにより、きわめて簡易な土の物性モデルを用いて構造物との相互作用に関する速度効果や地盤密度の影響を適切に評価できることを示した。

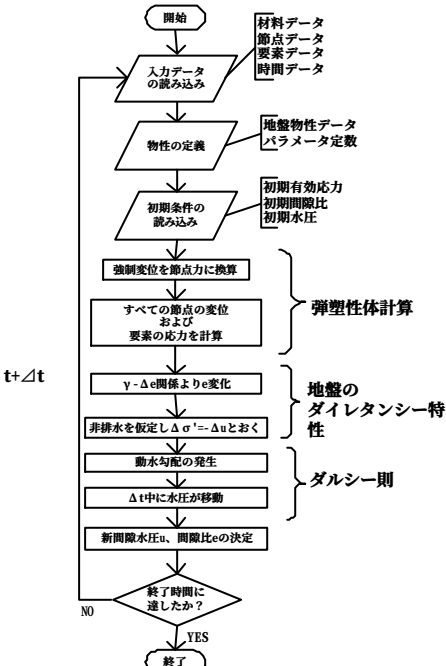


図4 解析におけるフローチャート

表1 土の物性パラメータの値

性質		記号	
応力-ひずみ関係	せん断強度比と間隙比の相関を表すパラメータ	k_e	0.5
	$e=0$ に対応する限界応力比	R_0	1
	限界せん断ひずみ	γ_Y	0.3
ダイレタンシー特性	限界間隙比	e_r	1
	$e-\sigma$ 関係の勾配	k_e	0.01
透水	透水係数 (cm/s)	k	1.0×10^{-4}

表2 解析条件

	$V=10\text{cm/s}$	$V=1\text{cm/s}$
$dx(\text{cm})$	0.1	0.01
$dt(\text{sec})$	0.01	0.01
1cm変位時のstep数	10	100
初期間隙比 e	0.5, 0.9	
初期間隙水圧 u	100	
初期有効応力 σ'	0	

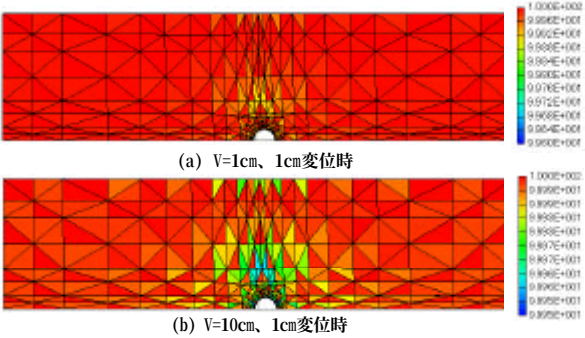


図5 過剰間隙水圧の分布（初期間隙比 $e=0.5$ ）

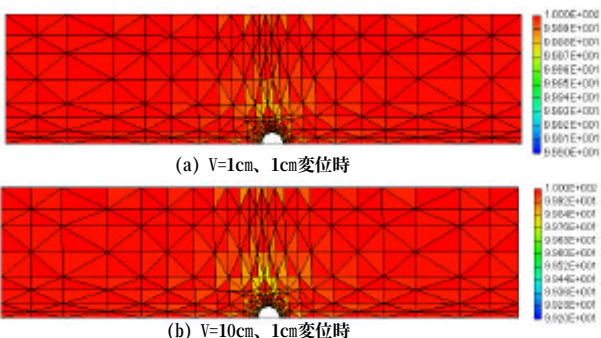


図6 過剰間隙水圧の分布（初期間隙比 $e=0.9$ ）