

神戸大学工学部 正員 高田至郎  
大阪ガス(株) 正員○西浦克敏

1 はじめに 液状化地盤の過剰間隙水圧消散過程において、地表面非排水条件のもとで地盤中に排水パイプを設置すれば、地盤中の水は水圧の高い地盤中から水圧の低い排水パイプへと流れ込む。この時、排水パイプから排水される水量は地盤中に発生した過剰間隙水圧の大きさと関係があるはずであるから、逆に排水パイプからの排水量を知ることによって、地盤中の過剰間隙水圧発生量を知ることができる。本研究では、ボーリングを用いた実験および、Biot理論を用いた有限要素法解析により、液状化の程度と排水量の関係を調べる。

2 実験方法

2.1 実験装置 実験には、図1に示す装置を用いた。流入パイプと流出パイプを用いて上向き浸透流を起こし、ボーリングを発生させる。また、地盤の圧力状態をコントロールするために、底面がゴム板でできた圧力室を設置し、圧力室内部に水を入れて地盤を加圧する。排水される水は排水パイプを通して排水越流部より流れ出る。また、この排水パイプは2重構造になっており先端のストレーナー部分を開閉できる仕組みになっている。

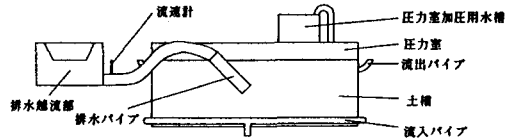


図1 実験装置

表1 実験材料の物性値

物性値	豊浦標準砂	粗骨材
比重 $G_s$	2.62	2.57
最大間隙比 $e_{max}$	0.93	-
最小間隙比 $e_{min}$	0.60	-
透水係数 $k$ (cm/sec)	$3.89 \times 10^{-2}$ ( $e=0.90$ ) $2.43 \times 10^{-2}$ ( $e=0.70$ )	$16.4$ ( $e=0.74$ )

2.2 実験材料 飽和砂層には豊浦標準砂を用いた。また、流入・流出パイプに砂がつまるのを防ぐために土槽底部と上部には砕石層を設けた。表1にこれらの物性値を示す。

2.3 実験手順 実験は図2に示す手順で行った。地盤作成は水中落下法によって行った。ただし、上載圧の変わらないケース間には、ボーリングによって地盤をゆる詰め状態に作成した。地盤作成時の相対密度はCASE1~CASE5は62%、CASE6~CASE15は71%であったが、ボーリングによる地盤作成の際に上載圧の影響で地盤が密になり、沈下量を計測すると、CASE6~CASE10では約84%に、CASE11~CASE15では約93%になっていたものと予想される。また、実験は過剰間隙水圧比と圧力室内水位をパラメータとし、表2に示す15ケースを行った。

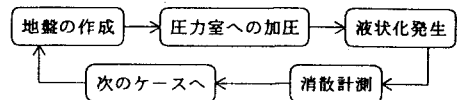


図2 実験手順

表2 実験ケース

ケース	過剰間隙水圧比	圧力室内水位(cm)
CASE1 ~CASE5	0.2~1.0	0
CASE6 ~CASE10	0.2~1.0	15
CASE11~CASE15	0.2~1.0	30

3 実験結果 実験結果に関しては、後述する解析結果との比較において述べる。

4 解析方法 解析は以下に示す、力のつり合い方程式、透水方程式を有限要素法で解くことによって行った。

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial P}{\partial x} + F_x = 0, \quad \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial P}{\partial y} + F_y = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{k_x}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{k_y}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - Q = 0$$

$k_x, k_y$ ;  $x, y$  方向の透水係数  $u, v$ ;  $x, y$  方向の変位  $P$ ; 過剰間隙水圧  
 $\rho$ ; 水の単位体積重量  $Q$ ; 単位時間内に要素から排水される流出水量

また、解析には実験で用いた土槽を2次元の3節点3角形要素でモデル化し、用いた。図3に解析モデルを示す。また解析ケースは表2に示す実験ケースと同じである。圧力室内水位は非液状化層厚で表した。地盤の相対密度は、実験の地盤作成直後の値であるCASE1~CASE5は62%、CASE6~CASE15は71%に設定した。

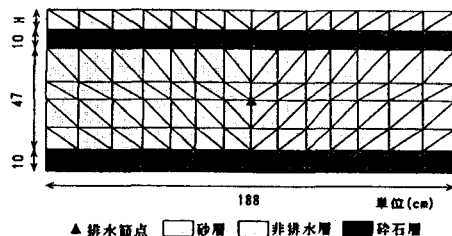


図3 解析モデル

**5 解析結果** CASE1~CASE5の過剰間隙水圧比と排水量の関係を図4に、CASE6~CASE10を図5に、CASE11~CASE15を図6に示す。なお、実験結果は○点で、解析結果は△点でプロットした。

なお解析結果の排水量は実験土槽と同じ奥行き45cmに換算したものである。これらの関係を見ると過剰間隙水圧比の増加につれ、排水量も増加していることが分かる。実験結果のCASE6~CASE10のものとCASE11~CASE15のものを比較すると、上載圧の大きいCASE11~CASE15の方が排水量が少ないが、これは地盤の密度の影響であると思われる。また、実験結果に比べると解析結果の方が小さい値になっている。この原因として3次元の実験土槽を2次元にモデル化する際の紙面鉛直方向の境界の影響であると考え、図3で示した解析モデルの幅だけを45cmと200cmに変えたものを計算した。その結果、単位幅当たりの排水量は45cmモデルの方が約6.7倍多かった。この結果より先に解析で得られた結果を6.7倍したものを図4, 5, 6中に●点でプロットし、示す。変換後の解析結果と、実験結果を比べるとCASE6~CASE10に関しては、比較的一致している。CASE1~CASE5では、過剰間隙水圧比が小さいレベルでは一致しているが、過剰間隙水圧比の増加にともなって差が大きくなっている。これは実験において上載圧のないケースでは地表面の沈下にもなって水位が低下し排水量が少なくなったためであると思われる。CASE11~CASE15で解析結果が大きくなったのは相対密度の影響と考え、CASE15を相対密度90%で計算すると図6中の●点のように、実験結果に近い値になった。

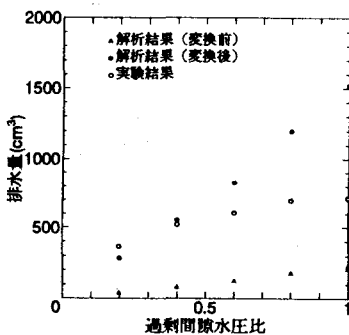


図4 過剰間隙水圧比と排水量 (CASE1~CASE5)

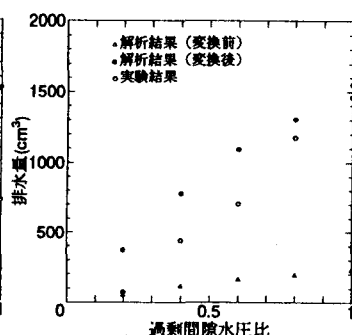


図5 過剰間隙水圧比と排水量 (CASE6~CASE10)

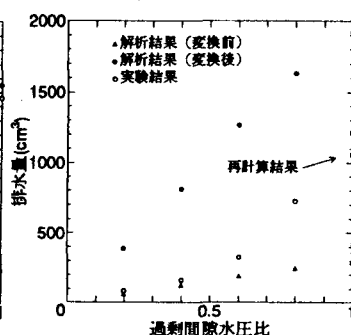


図6 過剰間隙水圧比と排水量 (CASE11~CASE15)

**6 まとめ** 実験と解析より、消散時に排水される排水量は過剰間隙水圧比と関係があることが分かった。また、上載圧の大きさと地盤の密度が排水量に影響を与えることが分かった。実験結果と解析結果の比較においては、モデル化の際の境界の影響が大きいが、それを考慮し、かつ精度の高い地盤モデルを用いれば、ほぼ妥当な解析結果が得られると思われる。