

岡山大学工学部 正員 名倉 宏之  
 同大学院 学生員 ○安倉 俊雄  
 同大学院 学生員 高井 欽次

1. まえがき: 洪水時の河道災害の大半は、水理構造物周辺で発生する洗掘に起因するものである。洗掘機構を考へる場合、河床面上の流れの特性および洗掘される河床地盤の力学特性について考察する必要がある。前者に関しては詳細に検討されているが、後者については不明確な点が多い。構造物周辺の流れは、強度の水面変動をとらう流れて、こうした水面変動は河床面に対して変動水圧として作用し、河床地盤内の間隙水圧に時間的変化をもたらす。過剰間隙水圧を発生させ、地盤自体の力学的性質を変化させるものと考えられる。著者の一人は、変動水圧による砂層内の水圧分布を標準砂を用いた試料について測定し、ある条件のもとでは液状化することを確かめており<sup>1)</sup>。また、砂層内の流れを弾性砂層内の1次元非定常浸透流と仮定した解析を行ない、このような液状化現象が定性的に説明できることを示している<sup>2)</sup>。本研究は、透水係数の変化にとらう砂層内の水圧分布・有効応力分布の変化について、理論的かつ実験的に検討したものである。

2. 理論解析法の概要

図1に示されるような鉛直1次元砂層モデルを対象として解析する<sup>3)</sup>。砂層内間隙水圧分布の基礎式は次のように表わされる。

$$\left\{ \beta \lambda_w + \lambda_a / (\rho g h + P_0) + \alpha \right\} \frac{\partial h'}{\partial t} + \left\{ \beta \lambda_w + \lambda_a / (\rho g h + P_0) \right\} \frac{\partial h_s}{\partial t} = k / \rho g \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \quad (1)$$

ここに、 $\alpha$ : 砂層および水の圧縮率、 $\lambda_a$ : 空気および水の体積含有率、 $\rho$ : 水の密度、 $g$ : 重力加速度、 $h$ : 間隙水圧水頭、 $h'$ : 過剰間隙水圧水頭、 $h_s$ : 砂層面上の水圧水頭 (=  $h_0 + a_0 \sin 2\pi ft$ )、 $a_0 \cdot f$ : 変動水圧の振幅および周波数、 $P_0$ : 大気圧、 $k$ : 透水係数、である。上式を境界条件  $y=0$  で  $h'=0$  および  $y=D$  で  $\partial h / \partial y = 0$  のもとで解くと砂層内の水圧分布が求まる。また、有効応力  $\sigma_y$  は次式で表わされる。

$$\sigma_y = \gamma_s y + \rho g h_s - \rho g h$$

ここに、 $\gamma_s$  は砂層の単位体積重量であり、 $\rho_s$  を砂の密度とすると、 $\gamma_s = \rho_s g (1 - \lambda_w - \lambda_a) + \rho g \lambda_w$  と表わされる。

式(1)は非線型微分方程式であり、解析解を求めることは一般に困難である。ここでは、Crank-Nicholson法による数値解析により理論解を求める。

3. 実験的考察

1) 実験装置および実験方法: 実験には図2に示されるような円筒型の鉛直1次元砂層モデルを用いた。砂試料を入れる下部円筒の内径は 7.9 cm であり、高飽和状態の砂試料が容器の底から約 6.5 cm の高さまで入れられている。砂層面上の水深は約 8.0 cm であり、水面上に周期変動空気圧を作用させている。変動圧振幅は水頭で約 3.5 cm、周波数は 2.15 ~ 5.08 Hz に変化させている。砂試料としては、表1に示されるような透水係数の異なる5種の試料を用いている。空気含有率  $\lambda_a$  および含水率  $\lambda_w$  は各試料ともそれぞれ約 1.0% および約 40% である。

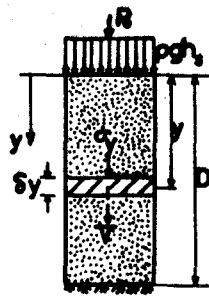


図1 鉛直1次元砂層モデル

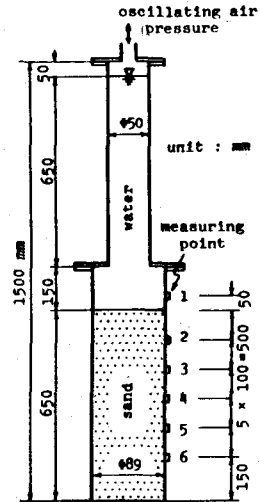


図2 実験に用いた砂層模型

2) 実験結果とその考察: 図3および図4は、透水性の最も小さい試料(標準砂)およびかなり大きいと思われる試料(試料3)について、間隙水圧の時間変化を示したものである。これらの図ではいずれの試料についても間隙水圧は砂層面から深くなるに従って減衰しかつ位相の遅れが生じていることがわかる。また、減衰の割合および位相の遅れは透水性が小さくなるほど著しいことがわかる。間隙水圧の波形についてみると、透水性の大きい試料では、砂層中の各点の波形は砂層面に作用する変動水圧の波形とほぼ同様な正弦波を示しているのに対し、透水性の小さい試料では、砂層面から深くなるに従って正弦波から歪んでいくのがわかる。

|      | 粒 径 (mm)                 | 透水性係数                              |
|------|--------------------------|------------------------------------|
| 試料 1 | 標準砂<br>( $d_{50}=0.25$ ) | $0.150 \times 10^{-1}$<br>(cm/sec) |
| 試料 2 | 0.42<br>1 0.84           | 0.139                              |
| 試料 3 | 0.84<br>1 1.19           | 0.385                              |
| 試料 4 | 2.00<br>1 2.38           | 1.310                              |
| 試料 5 | 2.83<br>1 3.36           | 1.936                              |

表1 試料の透水性係数

図5および図6は、図3・図4の間隙水圧分布に対応した有効応力の時間変化を砂層面下5cm(測点2)において数値解の有効応力と比較したものである。これらの図では、透水性の小さい試料は、有効応力が0になる状態、すなわち液状化状態が発生していることが認められるが、透水性の大きい試料は液状化を程していないのがわかる。つまり、透水性が小さくなるほど液状化しやすくなるのがわかる。

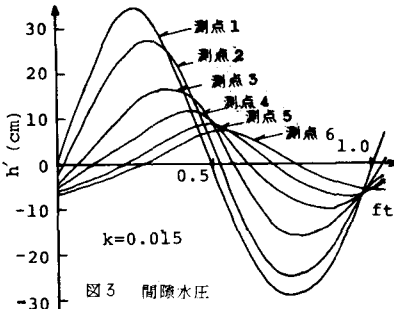


図3 間隙水圧

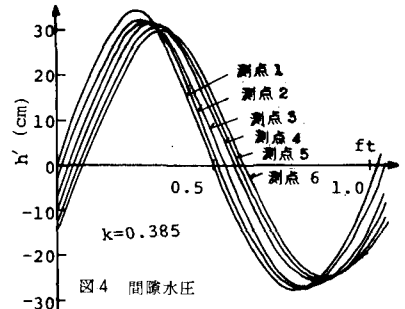


図4 間隙水圧

また、図7は有効応力 $\sigma_y$ の最小値を各深さ(各測点)ごとに透水性を変化させて示したものである。この図からも、透水性が小さくなるに従って液状化しやす

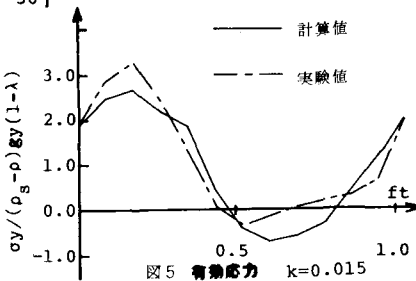


図5 有効応力

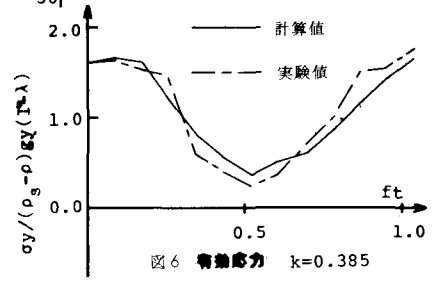


図6 有効応力

いのがわかる。また、深さ15cm(測点3)までは、液状化が発生しうる透水性の値が数値解および実験値ともよく一致している。なお、解析には次の条件で行なったものである。 $D=65\text{cm}$ ,  $\lambda_a=0.01$ ,  $\lambda_w=0.4$ ,  $\alpha=5.58 \times 10^{-3} \text{ 1/atm}$ ,  $\beta=4.38 \times 10^{-5} \text{ 1/atm}$ ,

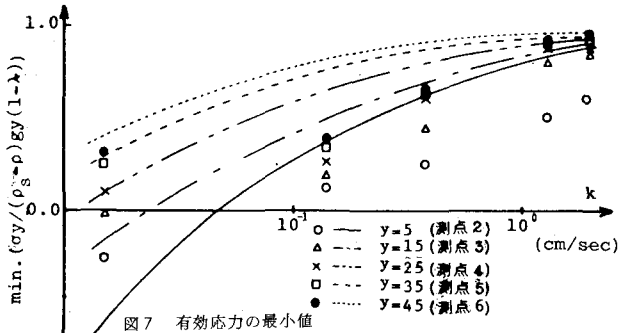


図7 有効応力の最小値

<参考文献>

- 1) 名倉・青木; 変動水圧の河床地盤に及ぼす影響, 第17回自然災害シンポジウム, 1980
- 2) 名倉・青木・川田; 変動水圧作用下における砂層内水圧分布特性に関する研究, 中四支部年講, 1981
- 3) 名倉; 変動水圧による砂層の液状化に関する研究, 第26回水理講演会論文集, 1982