

変動水圧による砂層の液状化に及ぼす浸透水の影響について

岡山大学工学部 正員 名合 宏之
 岡山大学工学部 正員 前野 詩朗
 岡山大学工学部 学生員 舟橋 弘師
 中国電力(株) 正員 ○佃 勝二

1. まえがき

水理構造物周辺では、流れの乱れや波などによる強度の水圧変動が発生する場合があります、このような水圧変動は、地盤の脆弱化・破壊等と密接な関係があるものと考えられる。このような観点から、著者らは、従来より、鉛直1次元・鉛直2次元砂層モデルを対象として変動水圧作用下における砂層内間隙水圧・有効応力の解析を行ない、変動水圧の影響により砂地盤が脆弱化すること、また、ある条件のもとでは液状化することなどを明らかにしてきている¹⁾。

これらの研究では、地盤内浸透流の影響を考慮していないが、実際には図1に示すように浸透流の影響を考慮する必要がある場合も多い。

そこで、本研究では、変動水圧だけでなく浸透流の影響をも考慮に入れた鉛直1次元砂層を用いて、砂層内間隙水圧分布特性・有効応力分布特性を理論的・実験的に検討したものである。

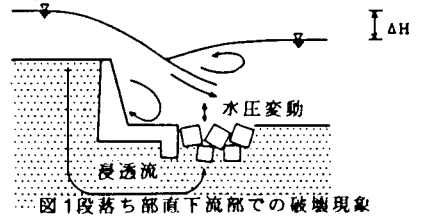


図1段落ち部直下流部での破壊現象

2. 理論解析方法

浸透流を考慮した場合の鉛直1次元砂層としては、図2に示すように、厚さDの砂層に対して砂層表面に $\rho gh_s(t)$ の変動水圧が作用し砂層底面に ρgh (一定) の浸透圧が作用している状態を対象とする。このようなモデルに対して砂層内間隙水圧分布を解析するための基礎式は次式のように表わされる。

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

また、間隙水圧と有効応力の和が上載荷重とつり合っているとすると、次式を得る。

$$\frac{\sigma_y}{(\rho_s - \rho) g y (1 - \lambda)} = 1 - \frac{\rho gh'}{(\rho_s - \rho) g y (1 - \lambda)} \quad (2)$$

ここに、 λ_a, λ_w : 空気および水の体積含有率、 λ : 間隙率、 α, β : 砂層および水の圧縮率、 h : 間

隙水圧水頭、 h_s : 変動水圧水頭、 h' : 過剰間隙水圧水頭、 P_0 : 大気圧、 g : 重力加速度、 k : 透水係数、 ρ : 水の密度、 ρ_s : 土粒子実質部分の単位体積重量、 σ_y : 有効応力である。ここで、砂層内の間隙水圧および有効応力分布は、境界条件「 $y=0$ で $h'=0$ および $y=D$ で $h=H$ 」のもとで式(1)、(2)を解くことによって得られる。なお、計算条件として砂層面上に作用する変動水圧は、実験で得られた水中変動水圧を用い、基礎式に含まれる諸定数として次のような値を採用して、表1に示すように浸透圧を変化させた5つの場合について理論解析した。

$$k = 0.025(\text{cm/s}), \lambda_w = 0.440, \lambda_a = 0.003, \alpha = 100 \times 10^{-6}(1/\text{atm}), \beta = 42.3 \times 10^{-6}(1/\text{atm})$$

3. 実験方法

実験は図3に示す鉛直1次元砂層を用い、表1に示される理論解析と同じ条件のもとで行なった。砂層構成材料と

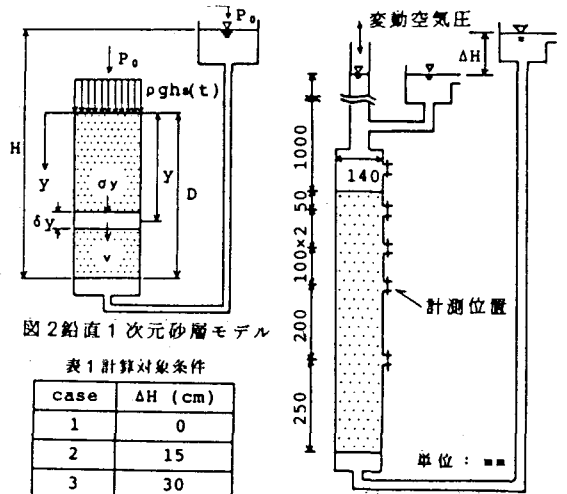


図2鉛直1次元砂層モデル

表1 計算対象条件

case	ΔH (cm)
1	0
2	15
3	30
4	40
5	50

図3 実験装置概要

しては、高飽和状態の豊浦標準砂 ($d_{50} \approx 0.25\text{mm}$) を用いた。砂層面上 $100\text{cm} (=h_0)$ まで水を張り、水面上に周期的変動空気圧を作用させることにより、砂層面上に変動水圧を作用させている。変動水圧は周波数約 0.6Hz 、振幅が水頭にして約 18cm のほぼ正弦的なものである。砂層内の水圧は、図3に示してある計測位置において、圧力変換器を用いることにより測定している。

4. 結果とその考察

(1) 間隙水圧分布特性

図4および図6は、case 4 の場合の間隙水圧の時間変化を示したものである。この図より、細かな差はあるものの実験値と理論値はよく一致しており、本研究で採用した理論解析法は妥当なものであることがわかる。図8はすべての場合における振幅の減衰 (a/a_0) と動水勾配 ($\Delta H/D$) を深さ y をパラメータとして示したものである。この図より、振幅の減衰は浸透圧 (動水勾配) の大きさにかかわらずほぼ一定であることがわかる。また、図9は位相の遅れ ($\Delta T/T$) と y/D の関係を示したものである。この図より、それぞれの場合における位相の遅れには多少のばらつきはあるものの、その差は小さく、浸透圧が砂層内間隙水圧の位相の遅れに及ぼす影響はほとんどないものとみなすことができる。

(2) 有効応力分布特性

図5および図7は、case 4 の場合の有効応力の時間変化を示したものである。この両図より、間隙水圧分布と同様に、理論解は実験結果をよく説明していることがわかる。また、図10および図11は case 1 および case 5 の場合の有効応力の時間変化 (実験) を示したものである。この両図および図7を見ると、浸透圧の増加とともに有効応力が減少しており、砂層そのものの強度が低下することがわかる。一方、ボーリング限界は理論値で $\Delta H=64.7\text{cm}$ ($\Delta H/D=0.92$)、実験値で $\Delta H=67.2\text{cm}$ ($\Delta H/D=0.96$) であり、case 5 の場合は変動水圧の振幅を加えると $\Delta H \approx 68\text{cm}$ となり瞬間的ではあるがボーリング限界を越えている。ところが今回の実験ではボーリングは発生しなかった。以上のことより、変動水圧作用下では、ボーリング限界を越える時間が短い場合はボーリングは発生しないが、砂層全体としての有効応力はかなり減少することがわかる。

5. 参考文献

1) 名合宏之, 前野詩朗: 変動水圧作用下における鉛直2次元砂層内の水圧分布特性, 昭和58年度文部省科学研究費・自然災害特別研究(1)研究成果報告書, 1984. 3

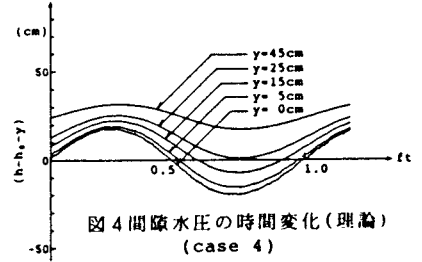


図4 間隙水圧の時間変化 (理論) (case 4)

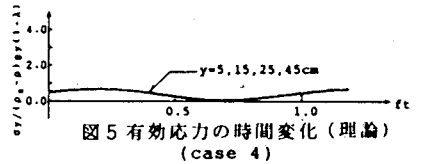


図5 有効応力の時間変化 (理論) (case 4)

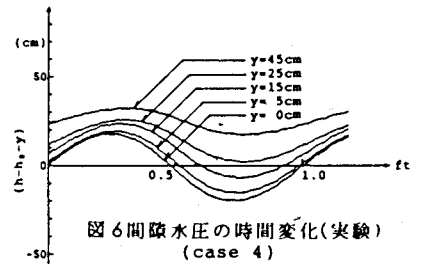


図6 間隙水圧の時間変化 (実験) (case 4)

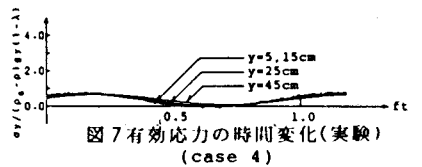


図7 有効応力の時間変化 (実験) (case 4)

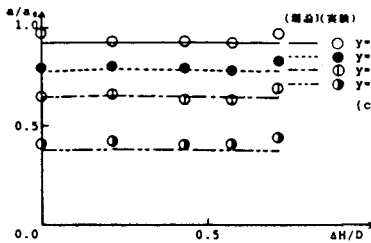


図8 振幅減衰特性

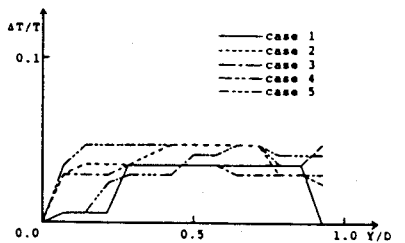


図9 位相の遅れ

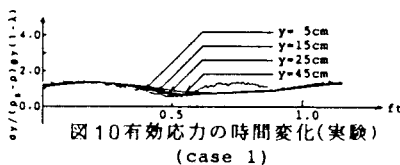


図10 有効応力の時間変化 (実験) (case 1)

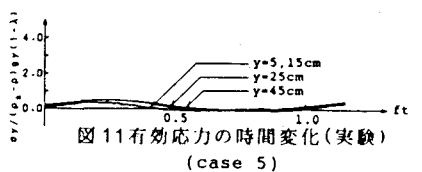


図11 有効応力の時間変化 (実験) (case 5)