

変動水圧による構造物の沈下機構に関する研究

岡山大学工学部 正会員 名合宏之
岡山大学工学部 正会員 前野詩朗
(株) 間組 正会員 ○西岡 操

1. はじめに

水圧変動が常時作用する水理構造物周辺地盤では、圧力変動が地盤内に振幅の減衰、位相の遅れを伴いながら伝播し、それによって、過剰間隙水圧が発生し、地盤内の応力が不安定な状態となる。特に、砂層地盤上に設置される水理構造物の沈下現象には、周辺地盤の液状化による砂の側方流動に起因していると考えられるケースが多くみられる。

本研究では、最終沈下と思われるまでの半年の間、沈下実験を行い、その結果をもとに、構造物周辺地盤内の応力分布状態から、砂の側方流動に対して検討を行なうものである。

2. 実験および理論解析の概要

2. 1 実験装置および実験方法

実験には、図1に示す奥行き40cmの鉛直2次元砂層模型を用いた。砂層材料としては、高飽和状態の砂試料(豊浦標準砂 $d_{50} \approx 0.25\text{mm}$)を用いている。約100cmの水を砂層面上に張り、水面上に周期的変動水圧を作用させている。変動圧振幅は水頭にして約40cmであり、周波数は約1.0Hzである。砂層の間隙率は約0.38である。水中および砂層中の水圧は小型の拡散型半導体圧力変換器により、図中の○印の位置において検出する。実験は約30万分(約211日)行い、沈下量の計測は、ブロックの両端に取り付けてあるスケールにより計測した。

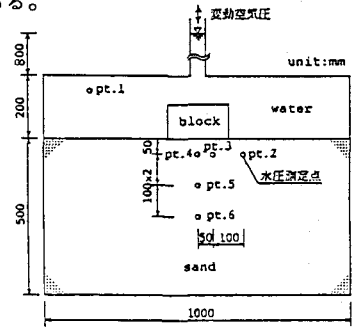


図1 実験装置

2. 2 理論解析

地盤上に変動水圧が作用する場合の地盤内における動的挙動を求めるための基礎式は、著者らが地盤内におけるごく微量の空気量をも考慮して導いた以下の式(1)を用いる。

$$\begin{aligned} G \left\{ \frac{\partial^2 U_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} \right\} + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right\} &= \rho_w g \frac{\partial h}{\partial x} \\ G \left\{ \frac{\partial^2 U_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} \right\} + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right\} &= \rho_w g \frac{\partial h}{\partial z} \\ \rho_w g \left\{ \beta \lambda_w + \frac{\lambda_a}{P_0 + \rho_w g h} \right\} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \left\{ \frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_z}{\partial z} \right\} &= k \left\{ \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right\} \end{aligned} \quad \text{式(1)}$$

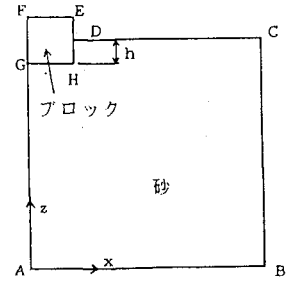


図2 解析領域

ここに、 U_x , U_z : 水平および鉛直方向の変動変位, h : 変動間隙水圧水頭, G : セン断弾性係数, ν : ポアッソン比, ρ : 水の密度, β : 水の圧縮率, λ_w , λ_a : 水および空気の体積含有率, P : 大気圧, g : 重力加速度, k : 透水係数である。計算方法は、重み付き残差法によるガラーキンの有限要素法が用いられる。応力成分は、砂層地盤の自重および構造物の荷重による初期応力と、変動水圧により生じる変動応力との和で成り立っている。理論解析では、実験装置が左右対称であることを考慮して、図2に示される領域を対象とした。境界条件および計算条件は実験条件をも考慮して以下のような条件を用いた。

1) 境界条件

- a) AG, BC, DHにおいて、 $U_x = 0$, $\partial h / \partial x = 0$
- b) ABにおいて、 $U_z = 0$, $\partial h / \partial z = 0$
- c) CD, FEにおいて、 $h = h_s(t)$, $n_x \sigma_x + n_z \tau_{zx} = n_x \tau_{zx} + n_z \sigma_z = 0$

ここに、 $h_s(t)$ は実験より得られる水中変動水圧、 n_x, n_z は境界における方向余弦である。

2) 計算条件

砂層部 ; $\lambda_s = 0.005, \lambda_w = 0.38, k = 0.015(\text{cm/sec}), \beta = 43 \times 10^{-11}(\text{m}^2/\text{N}), G = 6.9 \times 10^7(\text{N/m}^2), \nu = 0.43$
 ブロック部 ; $\lambda_s = 0.0, \lambda_w = 0.0, k = 0.0(\text{cm/sec}), \beta = 0.0(\text{m}^2/\text{N}), G = 8.1 \times 10^{10}(\text{N/m}^2), \nu = 0.30$
 その他 ; $\Delta t = 0.01(\text{sec}), g = 9.8(\text{m/sec}^2), \rho = 1.0 \times 10^3(\text{Kg/m}^3), P = 1.013 \times 10^5(\text{N/m}^2)$

この条件のもとで、微小面での応力状態を考える。沈下は、構造物下部の砂の側方流動により進行していると考え、砂をX方向に押す力Fは、鉛直応力 σ_z に圧縮応力が働いている時は式(3)で、鉛直応力に引張り応力が働く時は、せん断応力 τ_{xz} 、水平応力 σ_x は生じていないと考えられ式(4)で表す。

$$F = -\frac{\partial(\sigma_x + P)}{\partial X} \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial Z}$$

$$F = -\frac{\partial P}{\partial X}$$

3. 結果および考察

3. 1 実験結果

図3に時間変化に伴う沈下量を示している。沈下は時間の経過とともに進むが、実験開始後2日程度で全沈下量の約1/3に達し、その後ゆっくりと沈下が進むことが明らかにされた。

3. 2 解析結果

図4の解析位置のA, B, CおよびA', B', C'線上での場所的・時間的な側方流動を発生させるものと考えら

れる力Fの変化を図5と図6に示す。Fの変化を時間的にみると、変動水圧下降時($t=0.5 \sim 0.8\text{sec}$)の間に著しく発生しており砂がX方向に押し出されようとする危険な時間であることが分かる。鉛直方向のFの変化をみると、構造物から下方に離れるにしたがって減少している。また、沈下前後を比較すると沈下前の方が急激な減少をとまっているのが分かる。水平方向のFの変化をみると、構造物下端部におけるFが沈下前後ともに大きい、構造物から水平方向に離れるにしたがって減少しており、構造物下端部が最も砂が押し出されやすくなっていることが分かる。沈下前後のB, B'線上におけるFを比較すると、沈下の進行とともに構造物下端部において顕著に小さくなっており、砂層地盤内は側方流動に対して安定な状態となっていくものと考えられる。

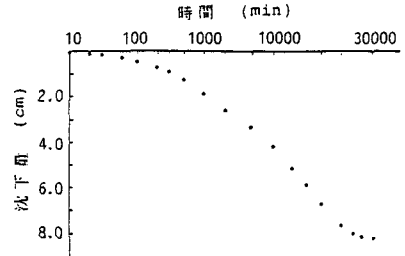


図3 沈下量

式(3)

式(4)

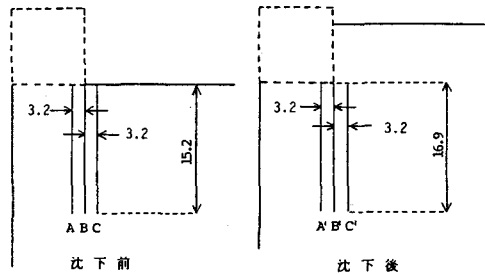


図4 解析位置

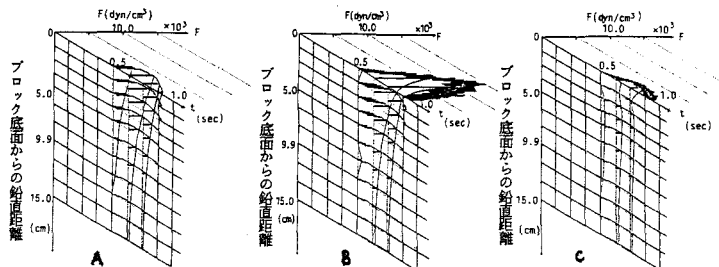


図5 Fの時間的場所的变化(沈下前)

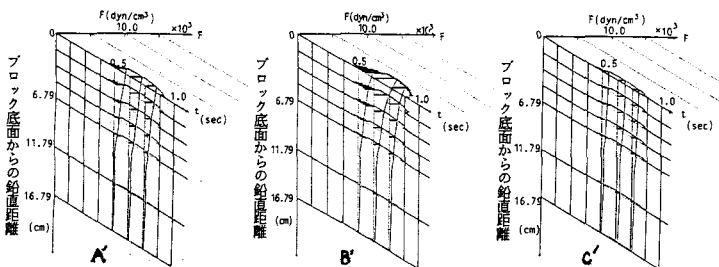


図6 Fの時間的場所的变化(沈下後)