

岡山大学工学部 正員 名合 宏之
岡山大学工学部 正員 青木 照男
岐阜県庁 正員 〇川田 宏

1. まえがき：洪水時における河道災害の大半は洗掘に起因する護岸・床固めなどの構造物破壊である。構造物周辺の洗掘現象については従来より多くの研究がなされているが、その力学的機構については不明確な点が多く、洗掘防止対策法も確立されていないのが現状である。従来の研究においては、洗掘機構を考える場合、河床面上の流束の特性については詳細な検討がなされているが、洗掘される河床地盤の力学的性質の変化についてはほとんど考慮されていないようである。洪水時の流束は流速が大きいこと他にきわめて不安定な状態にあるのが特徴である。とくに構造物周辺の流束は強度の水面変動をともなう流束になっていることが観察される。このような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分布に影響し、地盤自体の力学的性質を変化させると考えられる。

本研究は、砂層の液状化に及ぼす変動水圧および砂層構成材の性質の影響について理論的な検討を行ない、実験と理論との比較検討を行なったものである。

2. 砂層の液状化に関する理論的考察

1) 解析方法：図-1に示されるような周期的な水面変動下にある鉛直1次元砂層を対象とし、砂層内の水の運動を弾性砂層内の非定常浸透流として以下の諸式を用いて解析する。

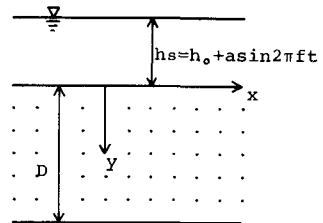


図-1 砂層モデル

$$\text{浸透流の連続式} \quad \partial/\partial t (\rho \lambda \omega \delta x \delta y) = -\partial/\partial y (\rho \nu \delta x) \delta y$$

$$\text{浸透流の運動方程式} \quad \nu = -k \partial/\partial y (r'), \quad r' = r - r_s - y$$

$$\text{砂層の弾性変形条件} \quad \partial/\partial y (\delta y) = \alpha \delta y$$

$$\text{応力の平衡条件} \quad q_y + p g r = \delta_s y + p g r_s$$

$$\text{気泡の体積変化} \quad \lambda a (p g r + p_0) = \bar{\lambda} a (p g \bar{r} + p_0)$$

$$\text{水の密度変化} \quad d\rho/\rho = \beta dp, \quad p = p g r + p_0$$

ここに、 α 、 β ：砂層および水の圧縮率、 λa 、 $\lambda \omega$ ：空気および水の体積含有率、 r ：間隙水圧水頭、 $p g r_0$ ：砂層面上の平均水圧、 a ：水面変動振幅、 f ：水面変動周波数、 p_0 ：大気圧、 k ：透水係数、 δ_s ：水を含む砂層の単位体積重量、 D ：砂層厚、 q_y ：有効応力、 $\bar{\lambda} a$ 、 $\bar{r}$ ：基準状態における空気含有率および砂層内平均水圧水頭である。以上の諸式より過剰間隙水圧水頭 r' に関して次式が得られる。

$$\left\{ \beta \lambda \omega + \lambda a / (p g r + p_0) - \alpha \right\} \partial r' / \partial t + 2\pi f a \left\{ \beta \lambda \omega + \lambda a / (p g r + p_0) \right\} \cos 2\pi f t = k / p g \partial^2 r' / \partial y^2$$

この式を境界条件 $y=0$ で $r'=0$ および $y=D$ で $\partial r' / \partial y = 0$ のもとで解くことにより、砂層内各点の水圧分布および有効応力分布が得られる。なお、液状化状態は $q_y = 0$ の状態と考えることにする。ここに上式を解く手法として Crank-Nicholson 法を用いている。

2) 解析結果：図-2は砂層内各点の有効応力の時間変化の一例を示したものである。この場合には表層から $y/D = 0.5$ 近傍まで $q_y = 0$ すなわち液状化する状態が現われていることがわかる。

図-3、図-4、図-5および図-6は、それぞれ $q_y = 0$ となる深さ y_e に及ぼす水圧変動量 Q 、空気含有率 $\bar{\lambda} a$ 、水含有率 $\lambda \omega$ 、および透水係数 k の

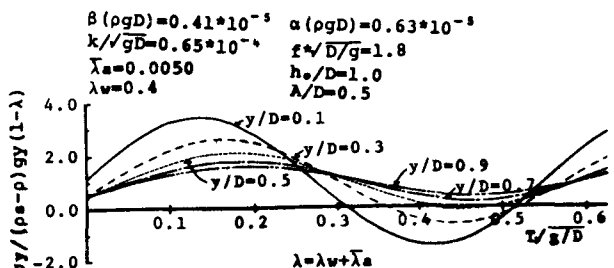


図-2 有効応力の時間的变化

影響を変動周波数をパラメータとして表わしたものである。これらの図より α , $\bar{\lambda}\alpha$, $\lambda\omega$ および β が大きくなるにつれて、また k は小さくなるにつれて液状化が進行することがわかる。

なお 本計算では、 $\beta_0/\beta_0 D = 10.3$, $\bar{\lambda}_0/D = 0.3$ としている。

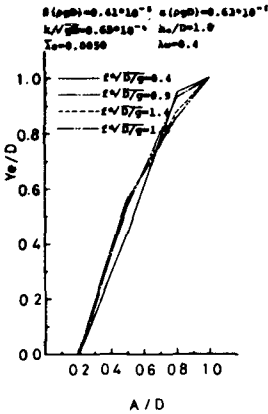


図-3 水圧変動振幅の影響

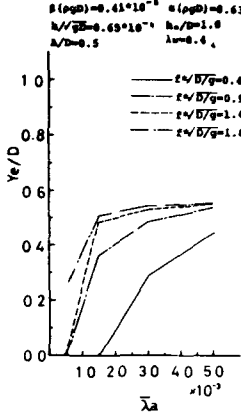


図-4 空気含有率の影響

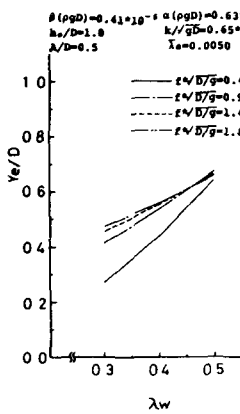


図-5 水含有率の影響

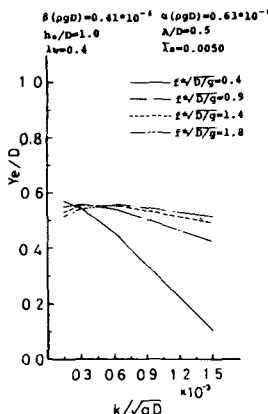


図-6 透水係数の影響

3. 理論と実験との比較検討

図-7 に示される実験装置を用いて、一次元模型実験を行ない、解析結果の妥当性を検討した。

図-8 は $\omega = 0$ となる深さ y_e に及ぼす変動周波数 f の影響を、実験値と理論値について表わしたものの一例である。

図-9 および図-10 は 各変動周波数に対する圧力変動域を実験値および理論値について表わしたものである。これらの図より理論値は実験値の特性を、かなりよく表現していることがわかる。

なお、理論解における脱気試料とは、次の条件で行なったものである。 $D = 0.65 \text{ m}$, $k = 0.023 \text{ cm/sec}$, $A = 0.95 \text{ m}$, $\alpha = 6.08 \times 10^{-5} \text{ /atm}$, $\beta = 4.56 \times 10^{-5} \text{ /atm}$, $\lambda\omega = 0.4$, $\bar{\lambda}\alpha = 0.0005$, $k_0 = 0.8 \text{ m}$

本研究では、以上のような結果が得られたが、理論解の適用性についてはさらに詳細な検討を加える必要がある。

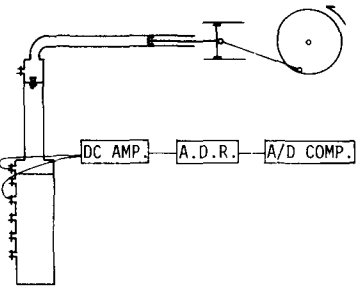


図-7 実験装置概要

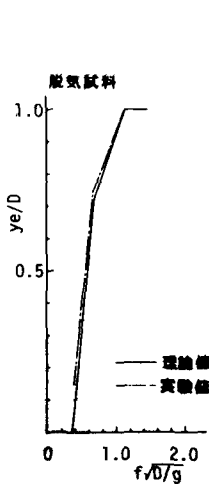


図-8 変動周波数の影響

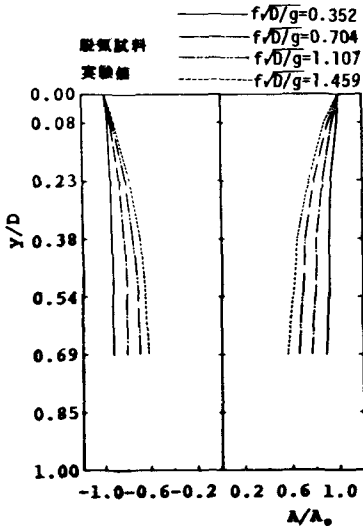


図-9 圧力変動域

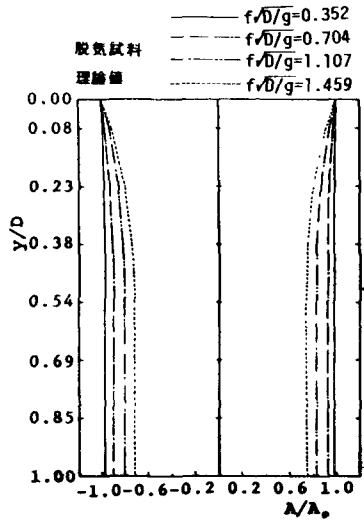


図-10 圧力変動域