

日本水工設計院 正 員 阿久根 徹

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

1. まえがき

離岸堤の沈下現象や土砂の吸い出しによる海岸堤防の損壊などは、波浪時における構造物周辺地盤の動的な挙動と密接な関係があると考えられる。このような観点から、著者らは従来より、変動水圧が砂地盤の強度に及ぼす影響について鉛直1次元および鉛直2次元モデルを用いて理論的かつ実験的な研究をすすめてきた。その結果、変動水圧作用下では、地盤内の間隙水圧が時間的・場所的に変化することにより、地盤が脆弱化あるいは液状化することを実験的に確かめるとともに、その力学機構の理論的説明が可能であることを示した^{1), 2)}。このような成果を踏まえ、本研究では、実際の構造物災害の力学機構を解明するための基礎として、図1

2. 理論解析法の概要

図1に示されるような砂層モデルを対象として解析する場合の基礎式は次式のように表わされる。

$$G\left(\frac{\partial^2 u_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2}\right) + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = \rho_w g \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$G\left(\frac{\partial^2 u_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2}\right) + \frac{G}{1-2\nu} \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = \rho_w g \frac{\partial h}{\partial z}$$

$$\rho_w g \left(\beta \lambda_w + \frac{\lambda_a}{P_0 + \rho_w g h} \right) \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} \right)$$

(1)

ここに、 h および u_x , u_z : 間隙水圧水頭および x , z 方向の変位で、それぞれ、初期状態からの変動分である。また、 β : 水の圧縮率、 g : 重力加速度、 P_0 : 大気圧、 k : 透水係数、 G : せん断断性係数、 ν : ボアソン比、 λ_w , λ_a : 水、空気の種類含有率である。境界条件としては、構造物前面の砂層面上に図2に示してある周期的な変動水圧 $\rho_w g h_s(t)$ を作用させ、構造物の背後では平均水位 h_0 を与えている。また、基礎式に含まれる諸定数は $\lambda_a = 0.003$, $\lambda_w = 0.4$, $k = 0.015 \text{ cm/sec}$, $\beta = 43.8 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{kg}$, $G = 1.69 \times 10^6 \text{ kg/m}^2$, $\nu = 0.48$ を用いた。具体的な計算は、図3に示されるように解析領域を三角形要素で分割し、ガラーキン法による有限要素解析を適用することにより行った。

砂層内の応力状態を評価する方法として以下に示す2つの方法を試みた。すなわち、基礎式より求められる水平および鉛直方向の変位 u_x および u_z を用いて、応力一ひずみの関係より各応力 σ_x , σ_z および τ_{zx} を求め、図4に示してあるモールの応力円より主応力 σ_1 および σ_2 を算出し、この主応力の大きさと方向を図示する方法と、原点とモールの応力円の接線が σ 軸となす角度 ϕ (以下応力角と呼ぶ) と砂の内部摩擦角 ϕ' との比較により検討する方法とによった。なお、破壊時における応力状態として、前者の場合は主応力が負になる

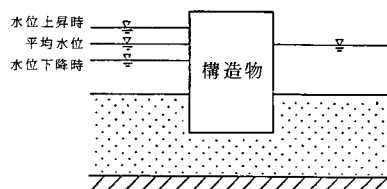


図1 砂層モデル

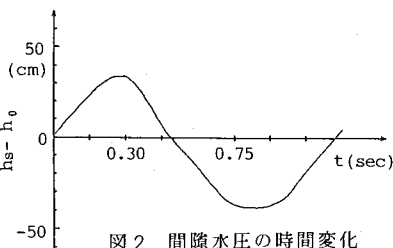


図2 間隙水圧の時間変化

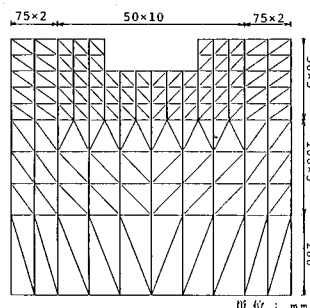


図3 要素分割図

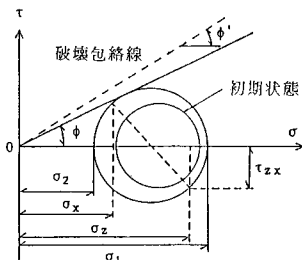


図4 モールの応力円

状態，すなわち，引張領域が発生する状態を取り上げ，後者の場合は $\sin \phi' - \sin \phi \leq 0$ が成り立つ場合とし，ここでは内部摩擦角の値として $\phi'=45^\circ$ を採用した。

3. 結果および考察

ここでは，図1および図2からもわかるように，現象を特徴的に説明すると考えられる水位上昇時（ $t=0.30\text{ sec}$ ）および水位下降時（ $t=0.75\text{ sec}$ ）における砂層内の挙動に焦点をあてて検討する。

図5および図6は，砂層内の変位および変動間隙水圧を示したものである。これらの図より，水位上昇時をみると，変位は構造物下部を回って背後に回りこむようであり，同様に間隙水の流れも構造物の前面から構造物下部へと回りこむようである。ところが，水位下降時には，変位および間隙水の流れは，前者の場合と比較して逆方向であることがわかる。

図7および図8は，砂層応力状態を検討するために応力角および主応力分布を示したものである。これらの図より，応力角でみると，水位上昇時には応力角が 45° 以上となる部分はないが，水位下降時には構造物前面近傍で応力角が 45° 以上となる領域が発生しており，強度の面からみて砂層が非常に不安定な状態に置かれているのがわかる。さらに，主応力分布図からも同様なことがいえる。すなわち，水位下降時において構造物前面付近で引張領域が発生しているということである。これらのことより，変動水圧作用下では，水位下降時において，地盤が強度的に不安定となる領域が発生することが明らかにされた。今後は，より実的な現象を対象として検討していく必要があると考えている。

参考文献

- 1) 名合宏之：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
- 2) 名合宏之，前野詩朗，阿久根徹：変動水圧作用下における構造物周辺地盤内の水圧および有効応力分布特性，第29回水理講演会論文集，1985

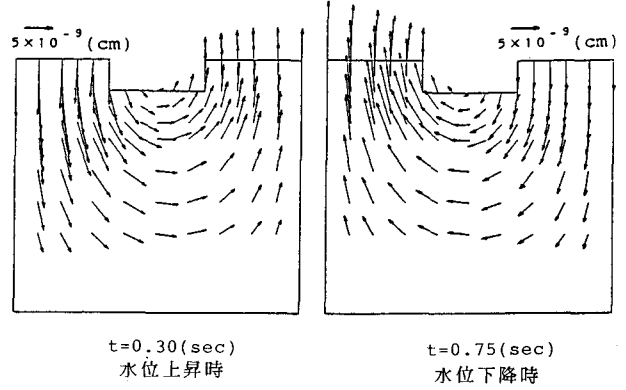


図5 変位

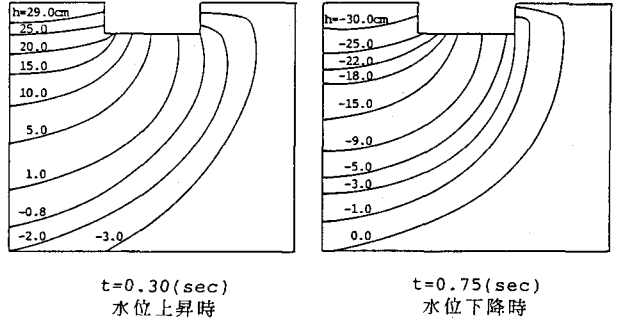


図6 変動間隙水圧

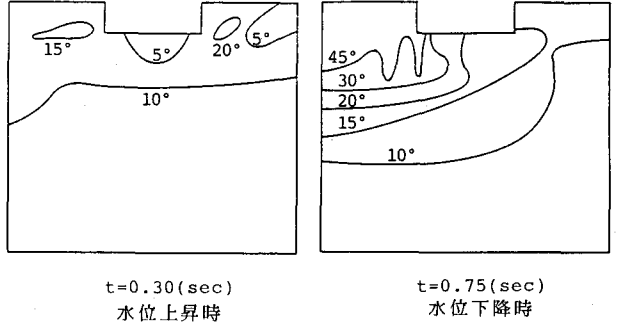


図7 応力角

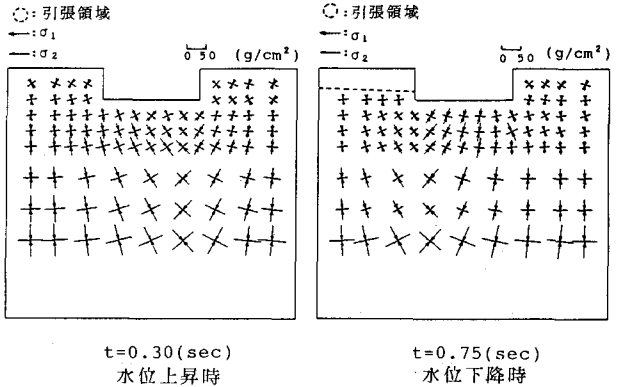


図8 主応力