

II-288

波による防波堤周辺地盤の動的挙動

岡山大学工学部 正会員 前野 詩朗  
岡山大学工学部 正会員 名合 宏之  
岡山大学工学部 学生員 山田 弘

防波堤などの海岸構造物周辺では、波浪時において強度の水面変動が発生しており、構造物周辺地盤上には絶えず変動水圧が作用している。そのため、この変動水圧により構造物周辺地盤内は不安定な状態を呈していると考えられる。本報告は、捨石マウンドを有する混成堤の前面に重複波が作用した場合の構造物周辺地盤の動的挙動を理論的に検討し、砂地盤上に直接防波堤を設置する直立堤と比較し、防波堤形式の相違が砂地盤に与える影響について考察する。

1. 理論解析法の概要 解析モデルとしては、図1に示されるような砂層モデルを対象とし、構造物前面では完全重複波が発生しているものとする。砂層モデルの解析には次式で示される基礎式を適用している。

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

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

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

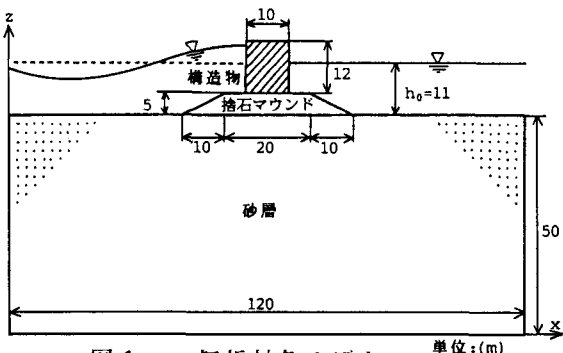


図1 解析対象モデル

ここに、 $h$ および $u_x$ 、 $u_z$ ：間隙水圧および $x$ 、 $z$ 方向の変位、 $\beta$ ：水の圧縮率、 $g$ ：重力加速度、 $P_0$ ：大気圧、 $k$ ：透水係数、 $G$ ：せん断弾性係数、 $\nu$ ：ポアッソン比、 $\lambda_a$ 、 $\lambda_w$ ：水および空気の体積含有率である。計算条件として、材料特性の1つである透水係数を表1のように砂層部と捨石マウンド部で変化させている。境界条件としては、構造物前面の地盤上には微小振幅波理論により次式で示される水圧 $P$ を作用させ、構造物背後では平均水位 $h_0$ を与えている。

表1 透水係数の計算条件

|         | $k(m/s)$           |
|---------|--------------------|
| 砂層      | $5 \times 10^{-4}$ |
| 捨石マウンド層 | $1 \times 10^{-2}$ |

$$P = \rho_w g H \frac{\sin[2\pi(x-x')/L] \cos[2\pi(t-t')/T]}{\cosh[2\pi h_0/L]}$$

ここに、 $m = 2\pi/L$ 、 $n = 2\pi/T$ 、 $H$ ：波高、 $L$ ：波長、 $T$ ：周期である。具体的な計算は、ガラーキン法による有限要素解析を適用した。また、砂地盤内の応力状態は、基礎式より求まる $u_x$ 、 $u_z$ を用いて応力一ひずみ関係により各応力 $\sigma_x$ 、 $\sigma_z$ および $\tau_{xz}$ を求め、モールの応力円の接線が $\sigma$ 軸となす角度（以下応力角と呼ぶ）により評価を行った。

2. 結果および考察

a) 混成堤の一般特性 図2は砂地盤内の変位状態を示したものである。この図より、防波堤の港内側では水圧変動による変位はほとんど生じず、港外側では水圧変動による大きな変位が生じていることがわかる。

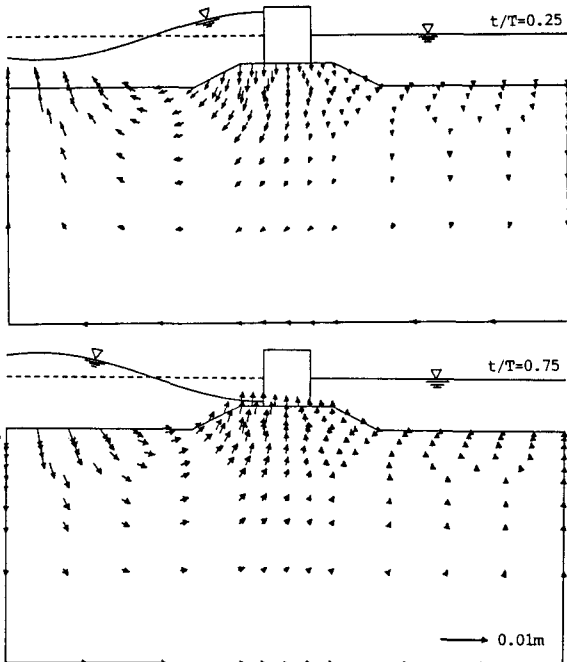


図2 混成堤の変位状態

また、防波堤前面に波の峰がくる場合( $t/T=0.25$ )変位は港外側へ向い、波の谷がくる場合( $t/T=0.75$ )変位は港内側へ向かっている。図3は間隙水圧（変動分）および応力角の分布を示したものである。これらの図より、波の峰の部分で間隙水圧は上昇し波の谷の部分で低下しており、波の峰から波の谷に向う浸透流が地盤内に生じていると考えられる。また、防波堤の背後では、間隙水圧には場所的・時間的に極端な変化がみられず、この部分では浸透流はほとんど生じていないものと考えられる。応力角分布については、防波堤下部周辺砂地盤の沖側部において $t/T=0.25$ および $t/T=0.75$ のとき応力角の大きな不安定領域が広がり、この不安定領域は沖側マウンド法尻下方砂地盤近傍にまで及んでいる。一般に混成堤において洗掘埋没は法尻部にあらわれるが、本解析においても法尻部は不安定領域となっている。

b) 防波堤形式の影響 図4は直立堤の間隙水圧分布および応力角分布を示している。図3および図4より防波堤下部の砂地盤では、直立堤の方が混成堤に較べ等間隙水圧線の間隔が狭く動水勾配が大きくなっている。また、 $t/T=0.25$ 、 $t/T=0.75$ において防波堤前面砂地盤では、混成堤に較べ直立堤の方が応力角の大きな不安定領域が広く分布している。これらの結果から、砂地盤の動的挙動の面からみても混成堤形式の方が直立堤形式に較べ安定した状態であるといえよう。

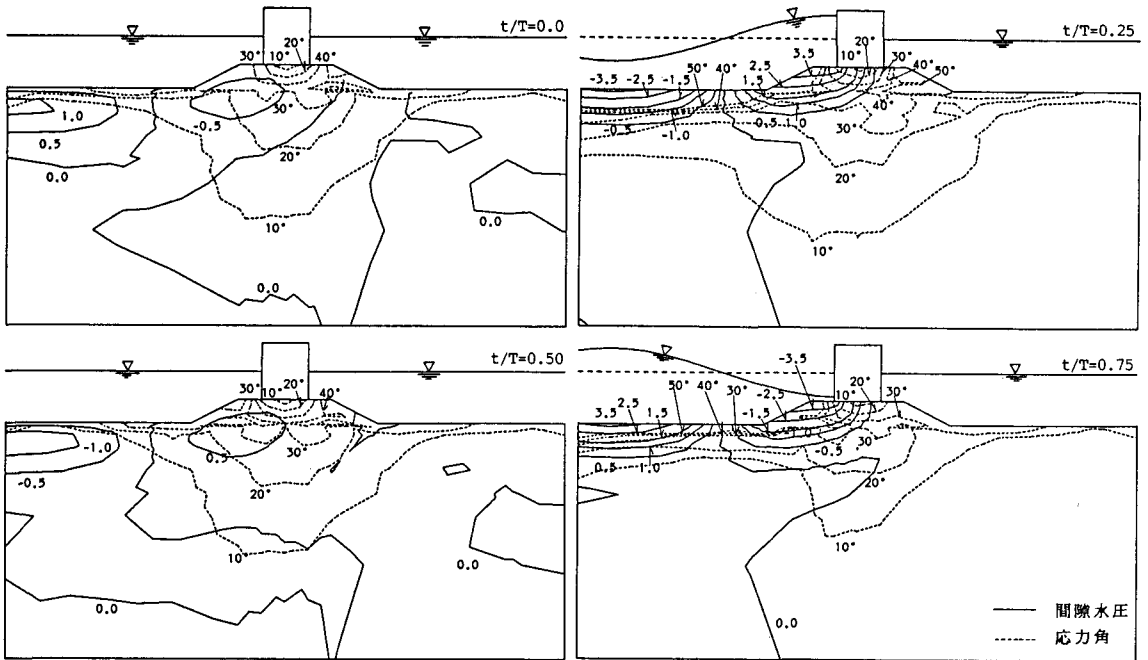


図3 混成堤における間隙水圧分布および応力角分布

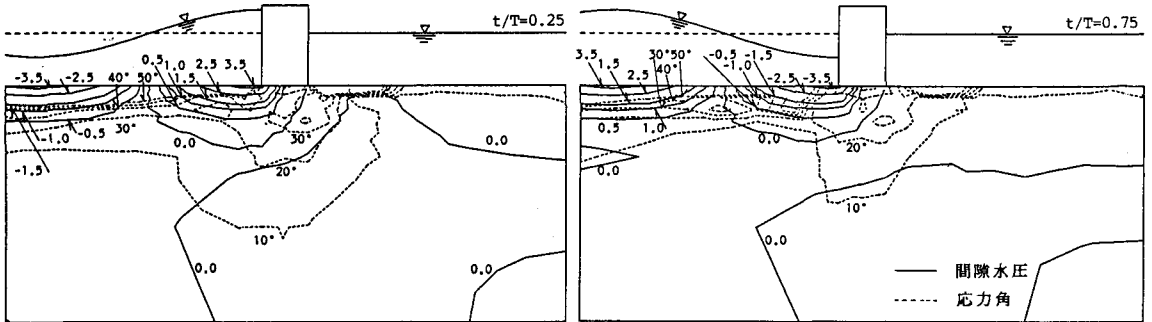


図4 直立堤における間隙水圧分布および応力角分布