

透過潜堤上の波浪変形計算に関する研究

西松建設(株) 正員 石田明雄
鳥取大学工学部 正員 松見吉晴
鳥取大学工学部 正員 木村 晃

1. まえがき: 最近, 海岸侵食制御等の目的で, 離岸堤にかわり捨石等で構成される潜堤の利用が注目を集めている。しかしこの構造物の機能はまだ十分明らかになっておらず, 設置に伴う波浪変形の解明が, 波浪低減効果や海浜地形変化を予測する上で急務となっている。本研究は幅広潜堤(人工リーフ)周辺における波浪場の計算手法の確立を目指したもので, 最近大山(1991), 後野(1988)らにより用いられている境界要素法を用いて, 潜堤周辺での波浪変形特性, 潜堤内部の流体運動などを計算できるようにした。

2. 解析方法: 潜堤外の流体域において, 水粒子の運動を非回転と仮定すると, 速度ポテンシャルが仮定できる。この領域での波の運動はラプラス方程式を透過壁面および自由表面における境界条件のもとで解くことにより得られる。潜堤内の浸透流場でも通常速度ポテンシャルが仮定され(井島, 1971), この領域の流体運動もラプラスの式を底面と周囲の境界条件のもとで解くことにより得られる。ラプラスの式が線形であること, ポテンシャルが仮定できること, また領域の境界条件として線形化された条件式を用いる等の理由から, 2つの領域に対してともに, 境界上における未知数を決定することで領域内部の全ての流体特性が計算できる境界要素法を適用する。

計算の対象とした領域の概略を図-1に示す。ここでは流体場を堤体内部と外部に分けて取り扱う。運動はすべて2次元とし, 紙面に直角方向の運動は考えない。堤体の空隙率を λ , 堤内の流量流速の x, y 方向成分を u, v 実流速を u_s, v_s とすると, これらの間には式(1)の関係がある。 u_s, v_s に対してはオイラーの連続式(2)が成立する。また図-1中に示す dx, dy の要素内での流体の運動方程式は x, y 方向に対してそれぞれ式(3)のように与えられる(Somchai, 1989)。ここに, F_i および F_d はそれぞれ, 要素 dx, dy が流体に及ぼす慣性力および抗力を表す。慣性力 F_i は質量係数 C_M を用いると式(4)で与えられる。また抗力 F_d は便宜的に定常流の場合の Forchheimer による式(5)で評価する。なお, K_p は長さの2乗の次元をもつ透水係数である。ここでは式(5)の流速の2乗に比例する抗力を Somchai らにならって Lorentz の等価仕事の原理を用いて線形化した。すなわち, 波の1周期の間に透水層単位体積部分で, 式(5)の右辺第1, 2項によって逸散する全エネルギーと等しいエネルギーの逸散が生じるようにこれらの項を線形式(6)で近似する。線形抵抗係数 f_p は Somchai らの定義式を用いた。流速が微小な場合式(3)の左辺に含まれる移流項が無視できるので式(3)は式

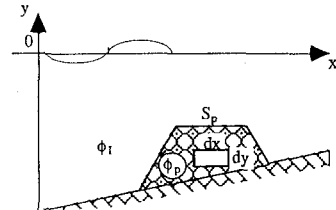


図-1 透水層内の運動

$$u = \lambda u_s, \quad v = \lambda v_s \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_s}{\partial x} + \frac{\partial v_s}{\partial y} = 0 \quad (2)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \rho \lambda \cdot \frac{Du_s}{Dt} &= -\nabla p - F_i - F_d \\ \rho \lambda \cdot \frac{Dv_s}{Dt} &= -\nabla(p + \rho g y) - F_i - F_d \end{aligned} \right. \quad (3)$$

$$F_i = -\rho C_M \frac{Du_s}{Dt} (1 - \lambda) \quad (4)$$

$$F_d = -\rho \left\{ \frac{\lambda v}{K_p} u_s + \frac{\lambda^2 C_f}{\sqrt{K_p}} |u_s| u_s \right\} \quad (5)$$

$$F_d = -f_p \rho \sigma u_s \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \tau \cdot \frac{\partial u_s}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + f_p \sigma u_s &= 0 \\ \tau \cdot \frac{\partial v_s}{\partial t} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + g + f_p \sigma v_s &= 0 \end{aligned} \right. \quad (7)$$

$$\tau = \lambda + C_M (1 - \lambda) \quad (8)$$

$$\frac{\tau \partial \phi}{\lambda \partial t} + \frac{p}{\rho} + g y + f_p \frac{\sigma}{\lambda} \phi = 0 \quad (9)$$

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial n} = \frac{\partial \phi_p}{\partial n} \quad \text{on } S_s \quad (10)$$

$$p_i = p_p \quad \text{on } S_s \quad (11)$$

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial t} = \frac{\tau \partial \phi_p}{\lambda \partial t} + f_p \frac{\sigma}{\lambda} \phi_p \quad \text{on } S_s \quad (12)$$

ここに

ρ : 水の密度 ν : 動粘性係数
 K_p : 透水係数 C_f : 乱流抵抗係数
 σ : 波の角周波数 f_p : 線形抵抗係数

(7)のよう線形化できる。また透水層内の流量流速に関して式(7)を用いると, 式(8)のベルヌーイ方程式が得られる。図-1に示す領域を堤外部 I, 堤内部 P にわけ, それぞれの速度ポテンシャルを ϕ_p , および ϕ_i とする。両境界面 S_p における運動学的境界条件および, 力学的境界条件をそれぞれ(9), (10)で与えると, (8), (9), (10)より境界 S_p 上での境界条件式(11)が得られる。次に f_p の計算について説明する。式(5)で与えられる抗力を f_p を用いて近似するには, 浸透流速 u_s, v_s , または流量流速 u, v が与えられていなければならない。しかしこの値を計算するためには逆に f_p が

必用である。そこで、 f_p の値を次のようにして求めた。すなわち、計算の初期段階において潜堤に波が到達していない状態では、浸透層内の流速は微小であるので式(5)の第2項が無視でき、 f_p の初期値は式(12)で与えられる。この値を第1波目が潜堤を通過するまで用いる。その後波の1周期分計算が進む毎に計算を中断し、まずその1周期間の浸透層内部全域での流速分布を境界要素法によって計算する。つぎに、全ての流速 u, v の値の頻度分布を図-2のように示す(階級幅: 0.2 cm/s)。図中の点の連なりは計算された u, v の値を1つずつ式(5)に代入して求めた F_d の値をプロットしたものである。また直線はこの F_d の値と、同じ u, v を式(6)に代入して計算した F_d との差が最小になるように決定したものである。この f_p の値を、次の1周期間の計算に用いた。この手順を浸透層内の流動状況が定常となるまで繰り返した。

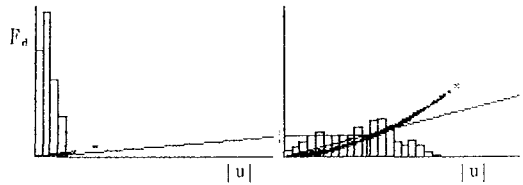
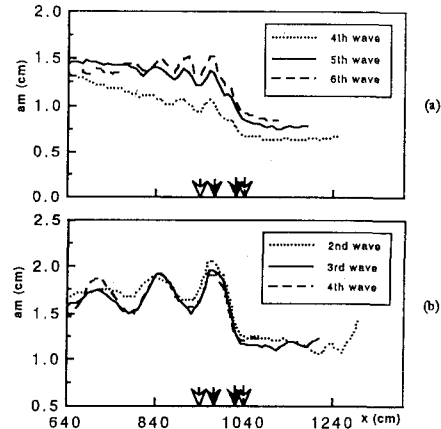
図-2 効力 F_d の近似

図-3 波の振幅の岸沖分布

3. 計算結果: 計算は2タイプの潜堤(タイプ1:天端幅 100cm 天端水深 8cm, タイプ2:天端幅 50cm 天端水深 5cm)に対して周期を 1s と 2s, 波高を 2, 3, 4cm と変化させて計 12 ケースについて行なった。潜堤の透水特性のパラメータである K_p, C_t は Diony の実験値(Somchaiら, 1989)を用いた。すなわち粒径 2.5cm, 空隙率 0.39 の場合の K_p および C_t の値としてそれぞれ $3.77 \times 10^{-3} \text{ cm}^2$ および 0.332 を用いた。図-3にタイプ2の潜堤における波高 3cm のケースの波の振幅 $a_m (= \sqrt{2} \eta_{rms})$ の岸沖分布を示す。(a)周期 1s, (b)周期 2s)。図より沖側法面での反射の影響、天端上での波高減衰の状況がよく計算できている。また図-4, 5は同じくタイプ2の潜堤における波高 4cm のケースの流速および動水圧の時間波形である。(a)周期 1s, (b)周期 2s)。実線は↑印の位置における水位の時間波形、点線および◇印を結んだ線はそれぞれ、↑印の位置を挟んで鉛直方向に上および下に 2cm 離れた点、すなわち浸透層外部と内部における計算結果である。図から、周期 2s のケースにおいて、波峰通過直前から通過後にかけてしばらくの間、潜堤内部における動水圧が堤体の外での値を上回っている状況が計算されており、人工リーフの被覆ブロックの安定性を考慮する上で興味ある結果が得られた。

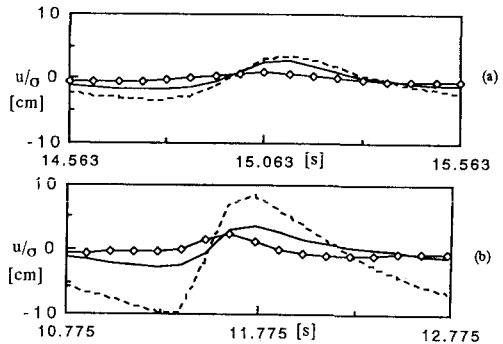
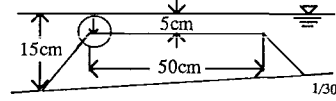


図-4 流速波形

4. 謝辞: 最後になりましたが本研究を進めるにあたり、貴重な資料の御提供および御助言を頂いた大阪工業大学後野正雄助教に謝意を表します。

参考文献

- (1) Somchaiら(1989); 透過性潜堤による波浪変形の解析モデル, 第36回海講論文集
- (2) 井島ら(1971); 透水性防波堤と岸壁に関する研究, 第18回海講論文集
- (3) 後野(1988); 海岸・港湾構造物に働く衝撃波力に関する基礎的研究, 大阪大学博士論文
- (4) 大山ら(1991); 数値波動水槽を用いた潜堤による波の分裂現象の解析, 第38回海講論文集

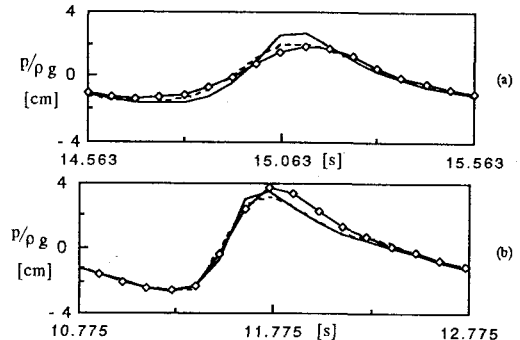


図-5 動水圧波形