

透過潜堤周辺の波浪変形

愛媛大学工学部 正 員 伊福 誠
東洋建設(株) 正 員 〇金澤 剛

1. まえがき

近年、消波や砂の流失防止策として、捨石や消波ブロックを用いて潜堤が築造されている。こうした透過潜堤の空隙は複雑な流路形態をなすであろうことから、波の変形を予測する場合は透水係数等を用いるのではなく、空隙内の水の挙動を乱流とした取扱いが必要であると考え。そこで堤体内の空隙を屈折を有する管でモデル化し、透過潜堤を傾斜海浜上に築造した場合の波の変形について数値解析的に検討する。

2. 潜堤内流路のモデル化

潜堤岸沖両側の断面間の長さ l の間で直径が D の管が水平方向に屈折する場合を考える。ただし、水平方向に隣合うすべての管は同一の形状をなすものとする。図1のように管の屈折の振幅を a_p 、屈折の波長を Δl 、屈折がない部分の長さを l_0 とすると、管の屈折角 α_1 および α_2 は次式で表される。

$$\alpha_1 = \tan^{-1}(4a_p / \Delta l) \quad (1)$$

$$\alpha_2 = 2\alpha_1 \quad (2)$$

屈折した管が岸沖両側の開口部中心を結んだ線と交差する点の数を M とすると、管の経路長 l' は次式で表せる。

$$l' = 2l_0 + (M+1)\Delta l / 2\cos\alpha_1 \quad (3)$$

屈折による損失係数は、屈折角を α として次式である。

$$f_{be}'(\alpha) = 0.946\sin^2(\alpha/2) + 2.05\sin^4(\alpha/2) \quad (4)$$

したがって、管一本当たりの全損失係数は次式となる。

$$f_{be}(\alpha) = 2f_{be}'(\alpha_1) + (M+1)f_{be}'(\alpha_2) \quad (5)$$

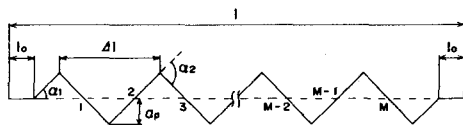


図1 管の屈折の諸元

3. 基礎方程式

底面に沿って x 軸、底面から鉛直上向きに z 軸をとると波動場の運動方程式と連続の式は次式で与えられる。

$$u_t + u u_x + g \cos \theta \tilde{h}_x + (S_f + \sin \theta + E_b) + Q_p u / \tilde{h} = 0 \quad (6)$$

$$\tilde{h}_t + (u \tilde{h})_x = Q_p \quad (7)$$

ここに、 u は流速、 g は重力の加速度、 θ は底面と水平面のなす角、 $\tilde{h} = \eta + h$ (η : 水面変動量、 h : 静水深)、 S_f は摩擦勾配 ($S_f = n^2 u |u| / \tilde{h}^{4/3}$; n : Manning の粗度係数)、 E_b は単位長さ当たりの碎波によるエネルギー損失量、 Q_p は単位時間当たりの流矢・流入量 (流矢を正)、添字の

x, t は場所、時間に関する微分を意味する。

また、図2のように潜堤内岸沖方向水平に管を付設するので、管路における運動方程式と連続の式は次式となる。

$$g(u_P)_t + (u_P/2g + H_P)_x + f_P u_P |u_P| / 2D = 0 \quad (8)$$

$$(u_P A_P)_x = 0 \quad (9)$$

ここに、 u_P は管内の流速、 H_P はピエゾ水頭、 A_P は管の断面積、 f_P は管の摩擦損失係数である。

管を付設した断面では、上記の4つの方程式を同時に解かねばならないという複雑さを省く伊福ら(1990)の簡略計算法を用いた。ただし、管内流速は管の屈折による損失を考慮して次式で算出する。

$$u_P = \sqrt{\frac{2g(\tilde{h}_A - \tilde{h}_B) + u_A^2 - u_B^2}{\xi_e + \xi_o + f_P(l/D) + f_{be}}} \quad (10)$$

ここに、 $\tilde{h}_A, u_A, \tilde{h}_B, u_B$ は管両端の断面における水位と流速、 ξ_e, ξ_o は入り口および出口の損失係数である。

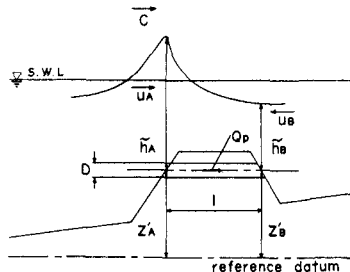


図2 透過潜堤のモデル化

4. 数値解析法

解析は特性曲線法による。

初期条件および境界条件

$$\tilde{h}(x_j, 0) = \tilde{h}_j \quad (j = 1, \dots, N) \quad (11)$$

ここに、 $\tilde{h}_j$: 岸側の境界から仮想流量 Q_0 を流した際、不等流計算によって求めた各断面の水位、 N : 断面の数である。

$$\tilde{h}(0, t) = h_D + \eta_I(t) + \eta_R(t)$$

$$u(x_U, t) = -Q_0 / \tilde{h}(x_U, t) \quad (12)$$

ここに、 h_D : 断面0での平均水位、 $\eta_I(t), \eta_R(t)$: 時刻 t における入射波、反射波の水面変動量である。Manning の粗度係数および単位幅当たりの仮想流量は伊福ら(1989)が長波伝播の解析の際得た値 $0.04 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ および $5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ を用いる。管の粗度係数は $0.015 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ とした。

海浜勾配 1/30 の傾斜海浜上に潜堤を設置した場合を考

える。潜堤の法勾配は1/5、天端水深は1.5 m、天端幅は5 m、10 m、20 mの三通りとする。潜堤に付設する管は直径が10 cmとし、単位幅当たり5本、鉛直方向には潜堤岸沖両側の法肩から下方10断面の間に5本から10本付設する。管の屈折の振幅は0.05 m、屈折の波長は1 m、0.5 m、0.25 mの三通り、屈折がない部分の長さは0.5 mとした。

5. 解析結果

沖側境界からの水平距離の無次元量 $\bar{x}/H_0$ (H_0 : 深海波の波高) に対する無次元波高分布 H/H_0 を図3に示す。潜堤の沖側では部分重複波が形成されており、部分重複波の最小波高を生ずる付近で管の屈折がある場合の波高は屈折がない場合の波高より小さい。潜堤上では管の屈折がある場合の波高は屈折がない場合の波高より大きく、また、管の屈折の波長が短いほど波高は大きい。しかしながら、潜堤岸側ではいずれの場合の波高もほぼ同一である。さらに、不透過の場合の波高と比較した場合、潜堤上から潜堤岸側では管の屈折がある場合の波高は屈折がない場合の波高と不透過の場合の波高との間に分布し、屈折の波長が短いほど不透過の場合の波高に漸近することが得られた。

潜堤容積に対する管が占める容積の比を空隙率 λ_v と定義し、さらに、伝達率 K_T を次式で定義する。

$$K_T = PC(100) / PC(50) \quad (13)$$

ここに、 $PC(50)$ および $PC(100)$ は潜堤岸沖両側の断面50および断面100における岸向き特性量 (Guzaら(1984))の波高である。図4は伝達率と空隙率との関係を示す。潜堤の天端幅を固定した場合、伝達率は空隙率の増大にともない、すなわち、管の屈折の波長が短くなるにともない大きくなる。また、広天端幅では空隙率の変化にともなう伝達率の変化は小さい。加えて、それぞれの場合における伝達率は鉛直方向の管付設本数が多い場合が若干小さい。こうした天端幅を固定した場合の空隙率の増大に伴う伝達率の増大は、空隙率が大きい場合は管の屈折の波長が短いので、管内の形状損失が増大するために管内流量が減少することに起因することを得た。

図5はGuzaら(1984)の方法で算出した岸向き特性量と沖向き特性量をもとに算出した反射率を、沖側境界からの水平距離が50 m付近から110 m付近までの潜堤近傍について5断面ごとに示したものである。管の屈折の波長がいずれの場合も反射率はほぼ同一の値を示しており、管の屈折が反射率に及ぼす影響は比較的小さいようである。また、一般に透過の場合の反射率は不透過の場合のそれより小さいと言われているが、潜堤上では屈折がある場合の反射率が不透過の場合の反射率より大きい断面がみられた。さらに、屈折がある場合の反射率は、屈折の波

長が短い場合は不透過のそれに、また、屈折の波長が長い場合は屈折がない場合のそれに近いことが得られた。

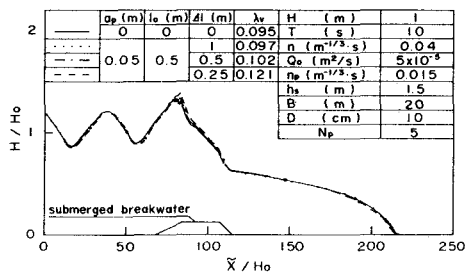


図3 波高分布

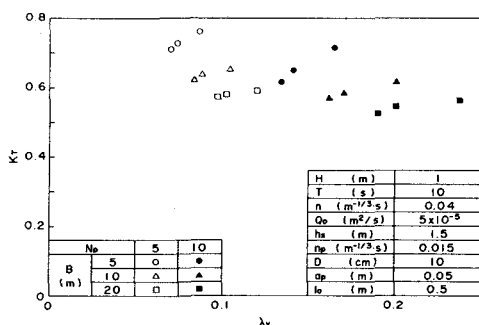


図4 伝達率と空隙率との関係

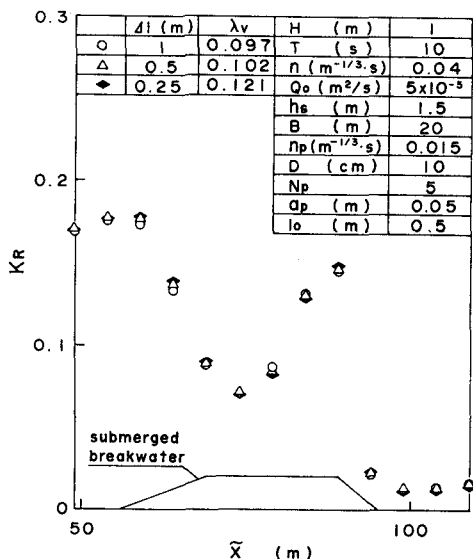


図5 潜堤近傍における反射率