

パイプ式潜堤の消波効果

愛媛大学工学部 正 員 伊 福 誠
愛媛大学大学院 学生員 〇金澤 剛

1. まえがき

近年、消波や砂の流失防止を目的として潜堤が築造されている。潜堤は捨石や消波ブロックを用いて築造されるのが大勢である。こうした場合、潜堤には空隙が生ずるため、波の変形を予測するには透過構造物としての取り扱いが必要となる。空隙内の水の流れる状態を層流と仮定して解析したものはあるが、乱流としての取り扱いがなされるべきだと考える。そこで、構造物内の空隙をパイプを用いてモデル化する。本研究ではパイプ式潜堤を傾斜海浜上に設けた場合の波の変形について検討する。

2. 基礎方程式

底面に沿って x 軸、底面に直角上向きに z 軸をとると運動方程式と連続の式は次式で与えられる。

$$u_t + u u_x + g \cos \theta \tilde{h}_x + g(S_f + \sin \theta + E_b) = 0 \quad (1)$$

$$\tilde{h}_t + u \tilde{h}_x + \tilde{h} u_x = 0 \quad (2)$$

ここに、 u は流速、 g は重力の加速度、 $S_f = n^2 u |u| / R^{4/3}$ (n : Manning の粗度係数、 R : 径深) であり、 E_b は単位長さ当りの碎波によるエネルギー損失量、 $\tilde{h} = h + \eta$ (h : 静水深、 η : 水面変動量) 添字の x, t は場所、時間に関する微分を意味する。

潜堤の沖側と岸側の2つの断面間に長さ l 、直径 D のパイプを付設する(図1)。管路における運動方程式と連続の式は次のように表せる。

$$g \frac{\partial u_p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u_p}{2g} + H_p \right) + \frac{f_p u_p |u_p|}{2D} = 0 \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (u_p A_p) = 0 \quad (4)$$

ここに、 u_p はパイプ内の流速、 A_p はパイプの断面積、 H_p はピエゾ水頭、 f_p はパイプの摩擦係数である。

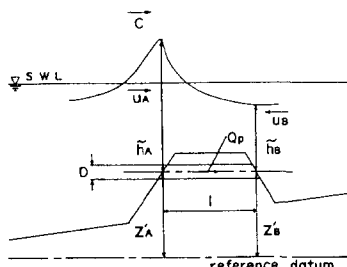


図1 パイプ式潜堤のモデル化

パイプ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ず、計算はかなり複雑となる。そこで以下のような簡略法を採用した。

簡略計算法

時間ステップを短くした場合、水位や流速の時間的変動は小さいものと考え、パイプ内の流量はパイプを付設した断面における1ステップ前の時間における水位と流速をもとに求める。すなわち、断面Aの全水頭が断面Bの全水頭より大きい場合、断面Aを図2のように3つの部分に分けて考える。断面1、2および3の流量を Q_1 、 Q_2 および Q_3 とすると次式が成立する。

$$Q_1 - Q_2 = Q_3 \quad (5)$$

また、パイプからの流出に伴う水頭の損失は0と仮定すると、次式が成立する。

$$\tilde{h}_1 = \tilde{h}_3 \quad (6)$$

式(1)、(2)、(5)および式(6)より断面Aにおける水位と流速が求まる。断面Bにおいても Q_2 の符号を考慮することにより同様に求まる。得た断面Aと断面Bの水位と流速より、パイプ内流速は次式となる。

$$u_p = \sqrt{\frac{2g(\tilde{h}_A - \tilde{h}_B + u_a^2 - u_b^2)}{\xi_a + \xi_b + f_p(l/D)}} \quad (7)$$

ここに、 ξ_a, ξ_b は入口および出口の損失係数である。

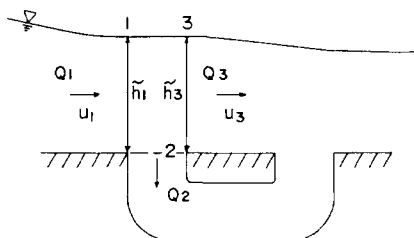


図2 パイプを付設した断面の水位及び流速の評価法

3. 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

$$\tilde{h}(x_j, 0) = \tilde{h}_j \quad (j = 1, \dots, N) \quad (8)$$

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。

$$\begin{aligned} \bar{h}(0, t) &= h_D + \eta_1(t) + \eta_R(t) \\ u(x_D, t) &= -Q_0 / \bar{h}(x_D, t) \end{aligned} \quad (9)$$

ここに、 h_D :断面Dでの平均水深、 $\eta_1(t)$ 、 $\eta_R(t)$:時刻tにおける入射波、反射波の水面変動量である。波が碎ける際の波頂角は 120° とし、Manningの粗度係数および単位幅当りの仮想流量は伊福ら(1989)が長波伝播の解析において得た値、 $0.04 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ および $5 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ を用いる。パイプの粗度係数は $0.015 \text{ m}^{-1/3} \cdot \text{s}$ とする。

海浜勾配1/30の傾斜海浜上に設置された場合を考える。潜堤ののり勾配は海岸保全施設築造基準解説(1987)に従い1/5とする。潜堤の天端水深は1.5 mと2 mの二通り、天端幅は5 m, 10 m, 20 mの三通りとし、潜堤に付設するパイプは、潜堤の岸沖両側ののり肩から下方5 m断面に単位幅当り5本ずつとする。パイプの直径は5 cm, 10 cm, 15 cmの三通りとした。

4. 解析結果

波高低減係数 R_D を

$$R_D = H_{s0} / H_s \quad (10)$$

で定義し、パイプ式潜堤の築造による波高の低減効果について検討する。ここに、 H_s 、 H_{s0} は無堤の場合、潜堤がある場合の各断面での波高である。図3は波高低減係数を沖側の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)とともに示したものである。パイプを付設した場合の潜堤の沖側における波高低減係数は0.72~1.02であり、部分重複波の最小波高を生じる付近ではパイプを付設しない場合に比べ、直径が大きいパイプを付設した場合ほど波高が大きくなり、最大波高と最小波高の差が小さくなっている。潜堤岸側の堤脚部付近から岸側では、パイプを付設した場合の波高低減係数は0.30~0.46であり、パイプを付設しない場合よりも60%~92%程度小さく、直径が大きいパイプを付設した場合ほど波高の低減効果が高いことがわかる。

パイプの影響係数 R_D を

$$R_D = H_p / H_{s0} \quad (11)$$

で定義し、パイプ付設の効果について検討する。ここに H_p および H_{s0} はパイプを付設した場合、不透過の場合の各断面における波高である。図4はパイプの影響係数をパイプの管長と直径の比 l/D (以後、相対管長と呼ぶ)とともに示したものである。図中の実線は、各天端幅の場合の沖側ののり肩より岸側のデータをもとに、非線形回帰分析によって求めたものである。潜堤沖側の堤脚部より岸側でパイプの影響係数は1以下を示し、相対管長が200以下で急激に小さくなる。また、広天端幅でパイプの直径が大きい場合ほどパイプ付設の効果が顕著である。

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の境界から汀線近傍まで、不透過の場合とともに示したものである。潜堤の沖側では潜堤に近づくにつれ反射率は徐々に増大し、その値は直径が大きいパイプを付設した場合ほど小さく、直径が15 cmのパイプを付設した場合反射率は0.1程度であり、パイプを付設しない場合の74%程度である。潜堤の沖側の堤脚部で反射率は最大となり沖側ののり肩まで減少するが、その後再び増大し岸側ののり肩でピークを生じている。

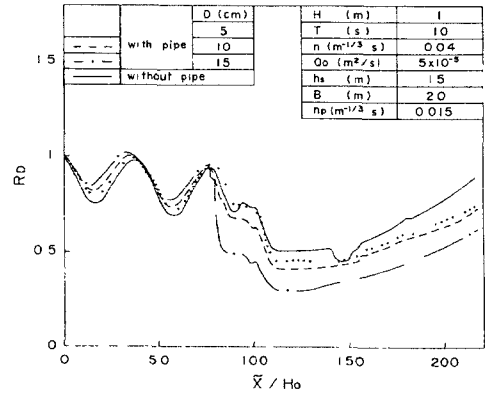


図3 波高低減係数と水平距離の無次元量との関係

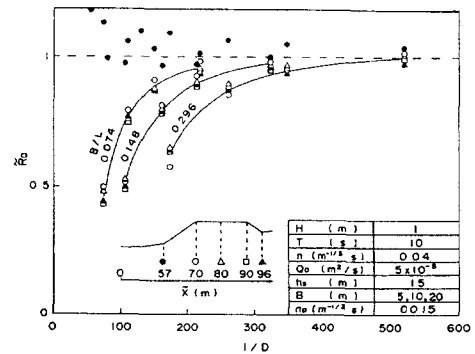


図4 パイプの影響係数と相対管長との関係

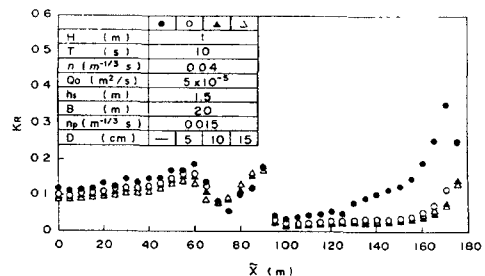


図5 海浜全域における反射率