

II-313 パイプ式直立透過堤の水利特性に関する理論的解析

大阪市立大学工学部 正会員 小田一紀
 大阪市立大学大学院 学生員 志村友行 ○大東秀光
 大阪市立大学工学部 山中 悟

はじめに 近年、防波堤の前面水域における航行環境および港内水質の保全の観点から、低反射で、且つ海水交流機能を有する透過性堤体が注目されている。本研究は、このような機能だけでなく、水面付近におけるエアレーション効果と従来にない正面形態美を有する親水性構造物としての要素も備えた堤体構造の開発を目指すものである。その構造概要は図-1に示すものであり、その消波原理は堤体内に設置されたパイプによって波動を流れに変換し、その中の漸縮・漸拡型狭窄部で生じる剣離渦によってエネルギーを消散させる方式のものである。この種の構造物の水利特性に関する理論的研究は多孔壁式防波堤に関する堀口^{1),2)}らのものがあるが、本研究で取り扱う堤体の構造は透過堤である点でそれらとは異なる。本研究では、パイプ式透過堤の基本的な水利特性である反射率・透過率を理論的に予測するために、線形ポテンシャル理論によって近似的な境界値問題解析を行い、その理論値と実験値とを比較することによって理論の妥当性を検証した。

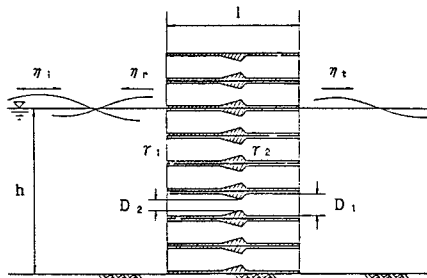


図-1 構造概要

理論の展開 図-2に示すような領域(I)～(III)を設定すると、その速度ポテンシャルは、

領域(I)：堤体前面(入射波+反射波)

$$\Phi_1 = \frac{g}{\sigma} \{a \cos(kx - \sigma t) + b \cos(kx + \sigma t + \theta_1)\} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad (1)$$

領域(III)：堤体背面(透過波)

$$\Phi_3 = \frac{g}{\sigma} \{c \cos(k(x-l) - \sigma t + \theta_2)\} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh}$$

ここで、 a, b, c ：入射波、反射波および透過波の振幅、 θ_1, θ_2 ：入射波に対する反射波、透過波の位相差、 σ ：角周波数($2\pi/T$)、 k ：波数($2\pi/L$)、 T ：周期、 L ：波長

また境界条件として、パイプ両端における直径が等しいとき、流量の連続性より任意の z において、

$$\left(\frac{\partial \Phi_1}{\partial x}\right)_{x=0} = \left(\frac{\partial \Phi_3}{\partial x}\right)_{x=l} \quad (3)$$

が成立しなければならない。次に、領域(II)において、堤体内のパイプを通過するときの水の運動を管路におけるものと類似な現象として考えると、パイプ内の単位重量の流体に対して運動方程式は、

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{v^2}{\rho} \right\} + \frac{\partial}{\partial x} \left\{ \frac{V^2}{2} \right\} + \frac{\partial}{\partial x} g H_f = 0 \quad (4)$$

ここで、 v ：堤体内流速、 H_f ：損失水頭。

パイプ内の狭窄部を図-3のようにモデル化する。単位面積当

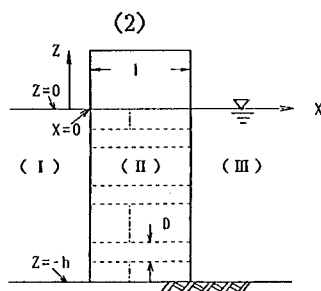


図-2 座標系

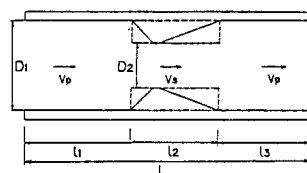


図-3 狭窄部のモデル化

りのパイプ開口部の面積を A_p 、非開口部の面積を A_u 、開口率を $\gamma (=A_p/(A_u+A_p))$ とすると、堤体内の流速 v は、

$$v = \begin{cases} v_p = \frac{1}{\gamma} \cdot \left(\frac{\partial \Phi_1}{\partial x} \right)_{x=0} & (0 < x < l_1, \quad l_1 + l_2 < x < l) \\ v_s = \frac{1}{\gamma} \cdot \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \cdot \left(\frac{\partial \Phi_1}{\partial x} \right)_{x=0} & (l_1 < x < l_1 + l_2) \end{cases} \quad (5)$$

式(4)中の圧力勾配は、近似的にパイプ両端における圧力差による平均勾配に等しいと仮定して、

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p}{\rho} \right) = \frac{1}{l} \left\{ \left(-\frac{\partial \Phi_3}{\partial t} \right)_{x=l} - \left(-\frac{\partial \Phi_1}{\partial t} \right)_{x=0} \right\} \quad (7)$$

損失勾配については、図-3のように管路内の流れを考えると次のようになる。

$$\frac{\partial}{\partial x} H_f = \begin{cases} \frac{1}{l_1} (f_e + f' \cdot \frac{l_1}{R_1}) \frac{|v_p| v_p}{2g} & (0 < x < l_1) \\ \frac{1}{l_2} (f_{ge} \cdot f_{se} + f'' \cdot \frac{l_2}{R_2}) \frac{|v_s| v_s}{2g} & (l_1 < x < l_1 + l_2) \\ \frac{1}{l_3} (f_o + f' \cdot \frac{l_3}{R_1}) \frac{|v_p| v_p}{2g} & (l_1 + l_2 < x < l) \end{cases} \quad (8)$$

ここで、 f_e, f_o : 入口、出口の損失係数、 f_{sc}, f_{se} : 急縮、急拡の損失係数
 f', f'' : 管部、絞り部の摩擦損失係数、 R_1, R_2 : 管部、絞り部の径深

式(5)~(10)の関係を考慮して式(4)を $x=0 \sim l$ まで積分し、さらに、式(1),(2)のポテンシャルを代入し、 $z=-h \sim 0$ まで積分すると次式が得られる。

$$\begin{aligned} & B C_0 B \cdot \{ (1 - K_r \cos \theta_1) \cos \sigma t + K_r \sin \theta_1 \sin \sigma t \} \\ & - \frac{B}{kl} \{ (1 + K_r \cos \theta_1 - K_t \cos \theta_2) \sin \sigma t + (K_r \sin \theta_1 - K_t \sin \theta_2) \cos \sigma t \} \\ & + \frac{1}{2} \beta^2 \cdot f \cdot A \cdot \frac{8}{3\pi} \{ (1 - K_r \cos \theta_1)^2 + (K_r \sin \theta_1)^2 \} \cdot \{ \cos \theta' \sin \sigma t + \sin \theta' \cos \sigma t \} = 0 \quad (11) \end{aligned}$$

$$A = \frac{a}{l}, \quad B = \frac{2 \sinh^2 kh}{kh + \sinh kh \cdot \cosh kh}, \quad C_0 = \frac{1}{l} \{ (l - l_2) + \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 l_2 \}, \quad \beta = \frac{1}{\gamma}$$

$$\theta' = \tan^{-1} \frac{-K_r \sin \theta_1}{1 - K_r \cos \theta_1}, \quad K_r, K_t : \text{反射率、透過率}$$

また、式(3)に式(1),(2)のポテンシャルを代入して整理すると、

$$\{ (1 - K_r \cos \theta_1 - K_t \cos \theta_2) \sin \sigma t - (K_r \sin \theta_1 + K_t \sin \theta_2) \cos \sigma t \} = 0 \quad (12)$$

式(11)および(12)を連立で解くことによって、反射率・透過率を求めることができる。

結果と結論 反射率・透過率について、ポテンシャル理論から得られた理論値を実験値と比較した結果、

図-4にその一例を示すように透過率については両者はよく一致したが、反射率については理論値は実験値

より若干大きめの値を与える。この傾向は、他の実験条件の場合もほぼ同様であった。これは堤体の側面における境界条件の設定方法に若干の問題があること、および反射波が堤体の沖側反射面における水面付近の僅かな境界条件の違いの影響、すなわち境界条件の非線形性の影響を強く受けるからであると考えられる。

<参考文献>

- 堀口孝夫、中道峰夫：多孔壁防波堤の消波機構と波力、第23回海岸工学講演会論文集 pp.89~94, 1976.
- 堀口孝夫他：両面多孔壁防波堤の水理解析、第24回海岸工学講演会論文集、pp.276~280, 1977.

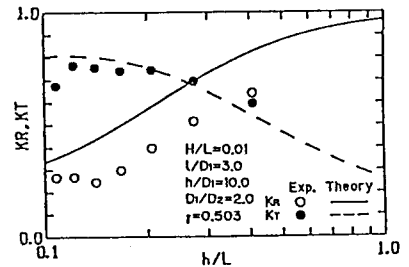


図-4 計算値と実験値との比較