

II-416

水平消波管の消波特性に関する理論的研究

前田建設工業

正員○船越 功

日本大学理工学部 正員 長尾義三

竹中工務店

正員 名越健二

日本大学理工学部 正員 藤井敬宏

日本大学大学院 学生会員 滝瀬敦士

1. はじめに

近年、沿岸域の開発が盛んに行われるようになると、閉鎖性水域内における海水浄化問題や景観上の問題などから、透過性異形ブロックのテトラポット等に代るものとして、直立多孔壁消波構造物の研究が着目された。

本研究は、その中の1つである水平消波管の消波特性について理論的に解析し実験値と比較した後、求めた理論式の有用性を考える。

2. 実験装置

本実験で用いた模型は相似率を1/50とし、図-1に示す2種の模型を水路中央付近に8層32列で設置し、基礎部には開口率40%の透過ブロックを用いた。なお、水深は30cmとした。

3. 理論解析¹⁾

今回、理論の解析にはポテンシャル理論²⁾を用いた。解析に用いた式を表-1に示す。

理論解析をするにあたって図-2に示すように、水深 h の一様な水域において消波管ブロックで構成された直立堤を想定する。また、領域は、図-2入射波と反射波の共存する領域Ⅰ、水平往復流の存在する領域Ⅱ、透過波のみが存在する領域Ⅲに領域を分割した。

領域Ⅰの速度ポテンシャル ϕ_1 は微小振幅波理論を用いると(1)式となり、領域Ⅲでは(2)式となる。

(1)式の ϕ_1 と(2)式の ϕ_3 の間には任意の z の値において、(3)式の連続条件式が成り立つと考える。

次に、領域Ⅱにおいてパイプ内の流体の運動方程式として、ベルヌイの定理を用いると(4)式となる。

パイプ内の狭窄部を図-3のようにモデル化すると流速 v は(5)式で表せる。

(4)式第2項の圧力勾配は、管の両端における圧力差による平均勾配に等しいと仮定すると(6)式となる。損失勾配を図-3の各部に分けて表すと(7)式となる。

(1)、(2)式を考慮し(5)～(7)式を(4)

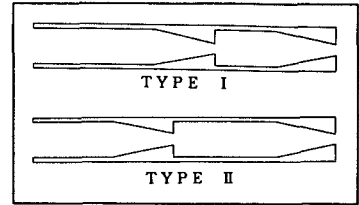


図-1 実験模型のTYPE別形状

表-1 式一覧表

$$\phi_1 = \frac{g}{\sigma} \{ a \cos(kx - \sigma t) + b \cos(kx + \sigma t + \theta_1) \} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$\phi_3 = \frac{g}{\sigma} \{ c \cos(k(x-l) - \sigma t + \theta_3) \} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\left(\frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right)_{x=0} = \left(\frac{\partial \phi_3}{\partial x} \right)_{x=l} \quad \dots \dots \dots (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p}{\rho} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{v^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial x} (gHJ) = 0 \quad \dots \dots \dots (4)$$

$$v = \begin{cases} v_s = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right)_{x=0} & (0 < x < l_1, \quad l_1 + l_s < x < l_1 + l_s + l_2) \\ v_s = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial x} \right)_{x=0} & (l_1 < x < l_1 + l_s) \\ v_s = \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\partial \phi_3}{\partial x} \right)_{x=l} & (l_1 + l_s + l_s < x < l) \end{cases} \quad \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p}{\rho} \right) = \frac{1}{l} \left\{ \left(\frac{\partial \phi_1}{\partial t} \right)_{x=0} - \left(\frac{\partial \phi_3}{\partial t} \right)_{x=l} \right\} \quad \dots \dots \dots (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (H_L) = \begin{cases} \frac{1}{l_1} \left(q_{s0} + f' \frac{l_1}{R_1} \right) \frac{|v_s| v_s}{2g} dx & (0 < x < l_1) \\ \frac{1}{l_s} \left(q_{s0} + f' \frac{l_s}{R_s} + f_{s0} \right) \frac{|v_s| v_s}{2g} dx & (l_1 < x < l_1 + l_s) \\ \frac{1}{l_2} \left(f' \frac{l_2}{R_2} \right) \frac{|v_s| v_s}{2g} dx & (l_1 + l_s < x < l_1 + l_s + l_2) \\ \frac{1}{l_2} \left(f_{s0} + f' \frac{l_2}{R_2} + f_{s0} \right) \frac{|v_s| v_s}{2g} dx & (l_1 + l_s + l_s < x < l) \end{cases} \quad \dots \dots \dots (7)$$

$$\beta C_0 B \{ (1 - K_r \cos \theta_1) \cos \sigma t + K_r \sin \theta_1 \sin \sigma t \} - \frac{B}{K_l} \{ (K_r \sin \theta_1 + K_s \sin \theta_2) \times \cos \sigma t + (1 + K_r \cos \theta_1 - K_s \cos \theta_2) \sin \sigma t \} + \frac{1}{2} \beta^2 f A \frac{B}{3\pi} \times \{ (K_r \sin \theta_1)^2 + (1 - K_r \cos \theta_1)^2 \} \{ \cos \theta_1 \sin \sigma t + \sin \theta_1 \cos \sigma t \} = 0 \quad \dots \dots \dots (8)$$

$$\{ (1 - K_r \cos \theta_1 - K_s \cos \theta_2) \sin \sigma t - (K_r \sin \theta_1 + K_s \sin \theta_2) \cos \sigma t \} = 0 \quad \dots \dots \dots (9)$$

ここに、 a, b, c : それぞれ入射波、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および透過波の位相差、 σ : 入射の角周波数、 k : 入射波の波数、 T : 波の周期、 L : 波長、 v : パイプ内流速、 p : パイプ内圧力、 ρ : 水の密度、 H_L : 損失水頭、 v_s, v_{s0} : 直径 D_1 部分、直径 D_2 部分および D_3 部分の流速、 γ : 消波管正面の開口率、 R_1, R_2, R_3 : 直径 D_1 部分、直径 D_2 部分および D_3 部分の半径、 l : 消波管長、 l_1, l_s, l_2 : 各部の長さ、 f_{s0}, f_{s0} : 管の入口および出口の損失係数、 f', f'', f''' : 直径 D_1 部分、直径 D_2 部分および D_3 部分の摩擦損失係数、 f_{s0}, f_{s0}, f_{s0} : 急縮および急膨の損失係数、 $\beta = 1/\gamma, A = \pi/l$

$$B = \frac{2 \sin h^2 kh}{kh + \sinh kh \cdot \cosh kh}, \quad \theta' = \frac{-K_r \sin \theta_1}{1 - K_r \cos \theta_1}$$

$$C_0 = \frac{1}{l} \{ l_1 + \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 l_s + l_2 + \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 l_2 \}$$

$$f = \left\{ \left(f_{s0} + f' \frac{l_1 + l_2}{R_1} + f_{s0} + f' \frac{l_s}{R_s} + f_{s0} \right) \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 + \left(f' \frac{l_2}{R_2} + f_{s0} \right) \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right\}$$

式に代入し、ローレンツの等価仕事の原理に基づき非線形項の線形化を行い、積分したものが（8）式となる。

また、（1）、（2）式を（3）式に代入すると（9）式となり、（8）式と連立で解くことにより反射率、透過率が求まる。

4. 結論

図-4、図-5は、反射率 K_r 、透過率 K_t の理論値と実験値を相対水深 h/L との関係で示したものであり。実験値と理論値はほぼ同じような結果が得られた。また、TYPE IとIIで比較すると、狭窄部の位置は、反射率と透過率には、ほとんど影響しないことがわかる。理論値を計算する際にも、図-3の l_1+l_2 は常に等しくなるので、理論上、狭窄部に関しては、狭窄部分長、狭窄部開口率、形状のみが影響し狭窄部の位置は関係ないといえる。

ただし、 $l_1=0$ の場合には、狭窄部管径が開口部の直径と等しくなり、消波管の開口率が変化するため、図-6に示すように、管内中央に狭窄部がある場合と、反射率・透過率ともに大きく違いがみられる。また、管前面部の開口率が反射率に大きく影響することがわかる。

理論式を導いた結果概ね実験結果と一致しており、本論の理論解析は有用なものと考える。

また、理論式を用いることにより、

- ① 消波管の狭窄部の特性を把握
- ② 反射率・透過率を考慮した管形状の設計に利用できるものと考ええる。

以上のことより、従来の経験的な断面形状作製に対して、最適な断面形状を求める上で有効な理論式を導くことができた。

5. 今後の課題

今後の課題には、理論値と実験値との間で生じる次のような誤差の発生原因を明確にし、理論値と実験値との誤差を少なくするように考えていく必要がある。

- ① 理論式を求める際、領域Iと領域IIIは連続と仮定したが、実際は波が狭窄部で反射し、不連続となっているのではないか。
- ② 模型の摩擦損失係数の正確さ、狭窄部のテーパ角のモデル化等が、影響しているのではないか。

参考文献

- 1) 小田一紀：狭窄部を有するパイプ式透過堤の水理特性に関する研究，海洋開発シンポジウム，第13回，1988．
- 2) 堀口孝男：両面多孔壁式防波堤の水理解析，海岸工学論文集，第24回，PP. 276～280，1977

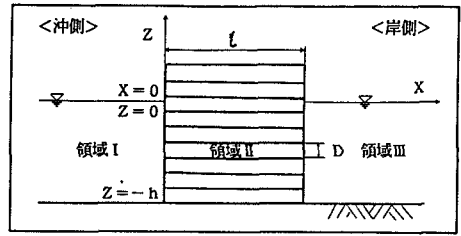


図-2 座標系

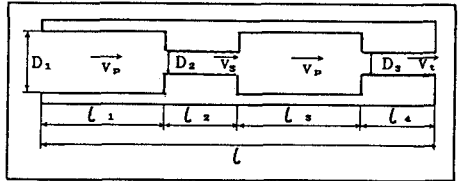


図-3 狭窄部のモデル化

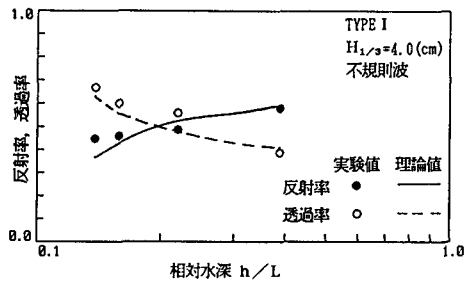


図-4 相対水深と反射率、透過率の関係（実験値と理論値の比較）

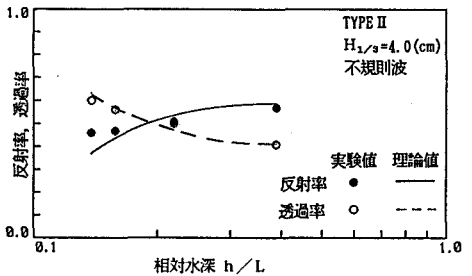


図-5 相対水深と反射率、透過率の関係（実験値と理論値の比較）

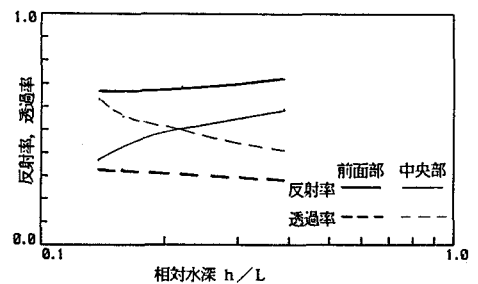


図-6 相対水深と反射率、透過率の関係（前面部と中央部別）