

II-36

低反射型消波構造物に関する研究

日本文理大学 正員 ○竹光 義信

〃 〃 梶田 操

〃 〃 金子 哲男

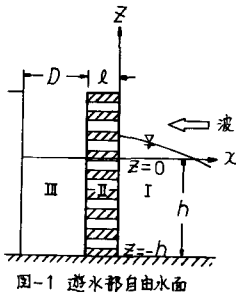
1. はしき

近年、遊水部をもつ消波構造物が多く研究開発され、実用に供される様になった。筆者らは、これら消波構造物その寸法に比して長い波長の波の消波に有効な案を鑑み、専ら長波理論によって水理特性の解析を試みた。その結果これら遊水部をもつ消波構造物における流体運動は極めて単純な振動問題に帰着し、ヘルムホルツ共振器による吸音と同様な動作原理によって波のエネルギーを吸収している事を見出すに至った。さらに、この事を利用して長波に對し一層消波効果の高い消波構造物の開発を試みた。

2. 理論

a) 遊水部が自由水面となっている場合

図-1に示すような型式の消波構造物の透過壁(開口率入の有孔壁)の幅を l 、遊水部の幅を D とし、その背後に不透過壁がある。水深は h で一定とする。座標軸を図のようにとし、領域を3分割する。すなわち、 $x \geq 0$ を領域I(堤外域)、 $-l \leq x \leq 0$ を領域II(透過壁部)、 $-(D+l) \leq x \leq -l$ を領域III(遊水部)とする。波は波長 λ の遊水部幅 D に比して十分に長く長波理論に従うものとする。波の周期は T とする。



領域Iにおける水面波形は、入射波振幅を a 、反射波振幅を b として次式で与える。

$$\zeta_1(x,t) = a \cos(kx + \omega t) + b \cos(kx - \omega t), \quad k = \frac{2\pi}{\lambda} \text{ (波数)}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T} \text{ (角速度)} \quad (1)$$

この水面波形に対応する流体の水平流速は、次のようになる。

$$u_1(x,t) = -\left(\frac{g\lambda}{\omega}\right) \{a \cos(kx + \omega t) + b \cos(kx - \omega t)\} \quad (2)$$

また長波では $kh \ll 1$ なる故、 $kh = \sqrt{gk}h$ 、あるいは、 $\sigma_0 \doteq \sqrt{gh}$ (g は重力の加速度)なる関係が得られる。

領域IIでは $D \ll \lambda$ となっているので、水面波形は x に關係なく、一様であると考えられるが未知関数とする。

領域IIIにおいてはDarcyの流を仮定し、流体の抵抗が流速 u_2 に比例するものとして、その抵抗係数を μ 、流体密度を ρ とすると、次の様な運動方程式が得られる。(u_2 は流量流速)

$$\frac{1}{\lambda} \frac{\partial u_2}{\partial t} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} - \mu u_2 \quad (3)$$

流体圧力 p は静水圧的で、右辺第一項の左力勾配は、 $\partial p / \partial x = \rho g \{ \zeta_1(0,t) - \zeta_2(x) \} / l$ と近似し、流体粒子の任意時刻の変位 ζ_2 を用いて($d\zeta_2/dt = u_2$, $D\zeta_2 = -\zeta_2$)、方程式(3)は次のように書き換えられる。

$$d\zeta_2/dt + \mu \lambda \zeta_2 + (g\lambda/l) \zeta_2 = -\left(\frac{g\lambda}{\omega}\right) a (1 + kr) \cos \omega t, \quad kr = b/a \text{ (反射率)} \quad (4)$$

これは明らかに強制振動の方程式であり、消波構造物内の流体の構造物外における流体運動を外力として、強制振動を行くと解釈する事が出来る。方程式(4)の解は次式で与えられる。

$\zeta_2(t) = \zeta_c + \zeta_p$, ζ_c : 余関数, ζ_p : 特殊解

$$\zeta_c = \zeta_0 e^{-\delta_1 t} \cos(\omega_0 t - \delta_1), \quad \zeta_0 = \sqrt{A^2 + B^2}, \quad \delta_1 = \tan^{-1}(B/A) \quad (5)$$

ここに A, B は複素積分定数である。また、 $\alpha = \mu\lambda/2$, $\sigma_0 = \sqrt{\lambda gh/Dl}$ とする。

$$\zeta_p = \frac{-(g\lambda/l) a (1 + kr)}{\sqrt{1 - (\sigma_0/\omega)^2 + 4(\sigma_0/\omega)^2 (\sigma_0/\omega)^2}} \cos(\omega t - \delta_2) \quad (6)$$

$$\cos \delta_2 = \frac{1 - (\sigma_0/\omega)^2}{\sqrt{1 - (\sigma_0/\omega)^2 + 4(\sigma_0/\omega)^2 (\sigma_0/\omega)^2}}, \quad \sin \delta_2 = \frac{2(\sigma_0/\omega)(\sigma_0/\omega)}{\sqrt{1 - (\sigma_0/\omega)^2 + 4(\sigma_0/\omega)^2 (\sigma_0/\omega)^2}}$$

しめしなから、式(6)の ξ_0 は減衰振動で、十分な時間の経過後は消滅する項であらう。 $t \rightarrow \infty$ では $\xi = \xi_0$ となる。
 なお、方程式(4)は、 α 、 σ を用いて次のように書く事が出来る。

$$d^2 \xi / dt^2 + 2\alpha d\xi / dt + \alpha^2 \xi = -(\sigma/h)^2 a(1+kr) \cos \sigma t \quad (7)$$

次に領域 I と領域 II における mass flux の連続性から $u_1(0,t) = u_2(0,t)$ となし、 $u_1(0,t) = -(9\%/h)a(1+kr) \cos \sigma t$ および、
 $u_2(0,t) = \frac{d\xi}{dt} = (\sigma/h)a(1+kr) \sin(\sigma t - \delta_2) / \sqrt{[1-(\sigma/\omega)^2]^2 + 4(\sigma/\omega)^2(\sigma/\omega)^2}$ を等置し、これがたの如何に拘らず成立しなればならぬ事を利用して kr に関する次式が得られる。

$$kr = \frac{\sqrt{D/h} \{ [1-(\sigma/\omega)^2]^2 + 4(\sigma/\omega)^2(\sigma/\omega)^2 \} - 2D(\sigma/\omega)(\sigma/\omega)^2}{\sqrt{D/h} \{ [1-(\sigma/\omega)^2]^2 + 4(\sigma/\omega)^2(\sigma/\omega)^2 + 2D(\sigma/\omega)(\sigma/\omega)^2 \}} \quad (8)$$

b) 遊水部静水面に水平有孔版を固定した場合

遊水部静水面に固定した水平有孔版の開孔率は、鉛直有孔壁と同一で λ 、厚さは d である。運動方程式(7)において $\sigma_0 = \sqrt{gh/D(1+\lambda d)} = \sqrt{gh/(Dl+hd)}$ とする。このとき kr は次のようになる。

$$kr = \frac{\sqrt{Dl+hd} \{ [1-(\sigma/\omega)^2]^2 + 4(\sigma/\omega)^2(\sigma/\omega)^2 \} - 2D(\sigma/\omega)(\sigma/\omega)^2}{\sqrt{Dl+hd} \{ [1-(\sigma/\omega)^2]^2 + 4(\sigma/\omega)^2(\sigma/\omega)^2 + 2D(\sigma/\omega)(\sigma/\omega)^2 \}} \quad (9)$$

c) 遊水部水面に浮体版を浮かせた場合

浮体版は厚さ d 、比重 s_0 とする。このとき $\sigma_0 = \sqrt{\lambda h g / (l + s_0 d)}$ 。従って kr は次のようになる。

$$kr = \frac{\sqrt{(l+s_0 d)/\lambda} \{ [1-(\sigma/\omega)^2]^2 + 4(\sigma/\omega)^2(\sigma/\omega)^2 \} - 2D(\sigma/\omega)(\sigma/\omega)^2}{\sqrt{(l+s_0 d)/\lambda} \{ [1-(\sigma/\omega)^2]^2 + 4(\sigma/\omega)^2(\sigma/\omega)^2 + 2D(\sigma/\omega)(\sigma/\omega)^2 \}} \quad (10)$$

3. 計算結果と実験値の比較

以上 a, b, c の三種のモデルについて、種々の諸元と条件で実験を行い、計算値との比較を行なった。その一部を図-4に示す。

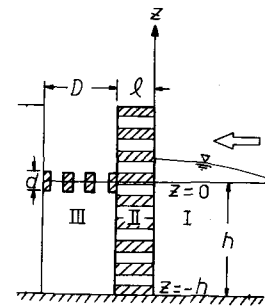


図-2 遊水部静水面に水平有孔版を固定

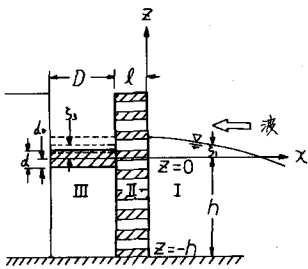


図-3 遊水部水面に浮体版を浮かせたもの

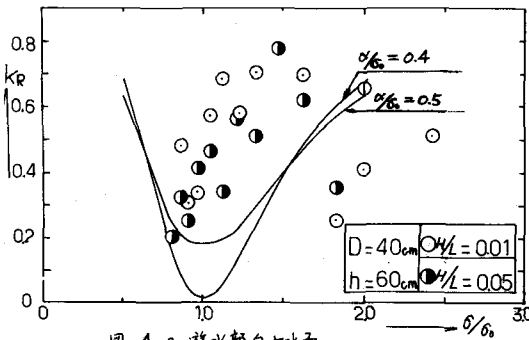


図-4 a 遊水部自由水面

鉛直有孔壁の幅
はいずれも 20cm
である。

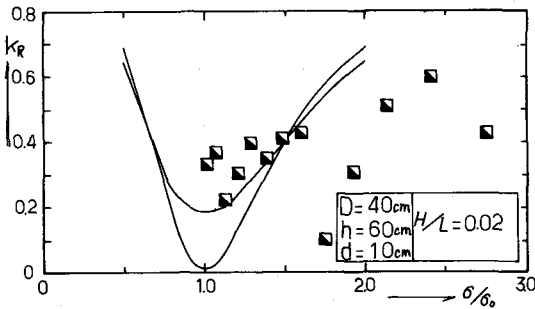


図-4 b 遊水部静水面に水平有孔版を固定

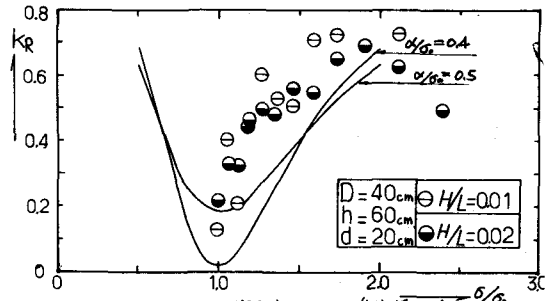


図-4 c 遊水部水面に浮体版を浮かせたもの

参考文献 1) 井島・奥田・湯村・坂井, 第19回海講,