

波の減衰に及ぼす空気圧の効果について

名大工学部 正会員 岩田好一郎 名大工学部 学生員 池野正明
 ○名大工学部 学生員 江黒 亮和 名大工学部 研究生 正員 中山和典

1. 緒言: 本報は固定された圧気型構造物の消波効果を, 領域分割法⁽¹⁾⁽²⁾とわき出し分布法を使つて解析し, その妥当性を水理模型実験で検証しようとするものである。

2. 理論解析: 一定水深 h の海域に設置

された構造物に周波数 ω の規則波が入射する場合を考える。二次元の波動場を取り扱うものとし, 速度ポテンシャル $\phi(x, z, t)$ $= \phi(x, z)e^{i\omega t}$ で与える。ここで, x と z はそれぞれ水平軸と鉛直軸で, t は時間とする。

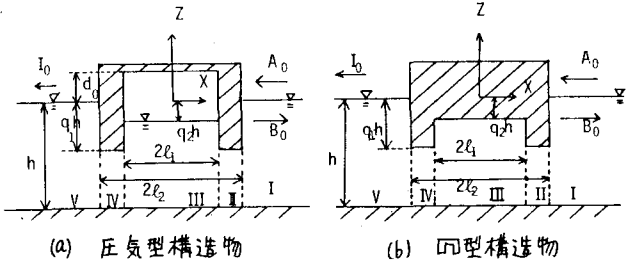


図-1 Definition Sketch

る。波の入射(入射波 A_0)に伴い, 反射波 B_0 と透過波 I_0 が生じる。また, 波動運動を非圧縮完全流体運動の微小振幅運動とする。著者のうち, 岩田池野の解析手法を若干修正すると, 図-1に示した流体域I~Vの速度ポテンシャル $\phi_i(x, z)$ ($i=1 \sim 5$)は次の式(1)~(6)で与えられることになる。

$$\phi_1 = \{A_0 e^{ik(x-l_1)} + B_0 e^{-ik(x-l_1)}\} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} + \sum_{n=1}^{\infty} B_n e^{-kn(x-l_1)} \frac{\cosh kn(h+z)}{\cosh knh} \quad (1)$$

$$\phi_2 = C_0 x + D_0 + \sum_{s=1}^{\infty} \{C_s \sinh \frac{s\pi x}{(1-g_1)h} + D_s \cosh \frac{s\pi x}{(1-g_1)h}\} \cos \frac{s\pi(h+z)}{(1-g_1)h} \quad (2) \quad \phi_4 = G_0 x + H_0 + \sum_{s=1}^{\infty} \{G_s \sinh \frac{s\pi x}{(1-g_1)h} + H_s \cosh \frac{s\pi x}{(1-g_1)h}\} \cos \frac{s\pi(h+z)}{(1-g_1)h} \quad (3)$$

$$\phi_3 = I_0 e^{ik(x+l_2)} \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} + \sum_{n=1}^{\infty} I_n e^{kn(x+l_2)} \frac{\cosh kn(h+z)}{\cosh knh} \quad (4)$$

$$\text{圧気型構造物については, } \phi_5 = (E_0 e^{ikx} + F_0 e^{-ikx}) \frac{\cosh k(h+z)}{\cosh kh} + \sum_{m=1}^{\infty} (E_m e^{kmx} + F_m e^{-kmx}) \frac{\cosh km(h+z)}{\cosh kmh} + \frac{iP_0}{\rho g} \quad (5)$$

$$\text{凹型構造物については, } \phi_3 = E_0 x + F_0 + \sum_{m=1}^{\infty} \{E_m \sinh \frac{m\pi x}{(1-g_2)h} + F_m \cosh \frac{m\pi x}{(1-g_2)h}\} \cos \frac{m\pi(h+z)}{(1-g_2)h} \quad (6)$$

なお, k, k_n, k', k'_m は波数であり, それぞれ $\omega^2 = gk \tanh kh = -gk_n \tanh knh = gk' \tanh k'h' = -gk'_m \tanh (1-g_2)h$ の関係を満たす。また A_0 は入射波の複素振幅, $B_n, C_s, D_s, E_m, F_m, G_s, H_s$ ($n=0, 1, \dots, s=0, 1, \dots, m=0, 1, \dots$)は, 複素未定係数を表す。式(5)の右辺第5項($\frac{iP_0}{\rho g}$)は空気の圧縮性により付加される圧力項である。圧気室内の体積変化を断熱変化とし, $\bar{P}_0 + P_0 e^{i\omega t} = \bar{P}_0 (\bar{V}_0/V)^{\gamma}$ ($\bar{P}_0 = P_{air} + \rho g_1 h, \bar{V}_0 = d_0 + q_1 h, \gamma=1.4$)の関係を使つて, 圧力変化を線形化する。 q_2 を圧気室内の水位変動量とすると, 単位幅当たりの圧気室内の体積変化 V_0 と圧力複素振幅 P_0 は次式で表現できる。なお, $q_0 = \frac{1}{2l_1} \int_{-l_1}^{l_1} q_2 dx$ とする。

$$V_0 = \frac{1}{2l_1} \int_{-l_1}^{l_1} q_2 e^{i\omega t} dx \quad (7) \quad P_0 = -\gamma \bar{P}_0 (-q_0) / (d_0 + q_1 h) \quad (8)$$

また, 流体内の圧力 $P_i = -\rho g \phi_i$, 水平方向の水粒子流速は $U_i = \partial \phi_i / \partial x$ ($i=1 \sim 5$)で与えられる。5つの領域の境界 $x = \pm l_2, \pm l_1$ において圧力と流速が連続であるとするとき, 次式をうる。

$$i) x = \pm l_2 \text{ で: } P_1(l_2, z) = P_3(l_2, z) \quad (9) \quad P_5(-l_2, z) = P_4(-l_2, z) \quad (10) \quad (-h \leq z \leq -q_1 h)$$

$$U_1(l_2, z) = \begin{cases} 0 & (-h \leq z \leq 0) \\ U_2(l_2, z) & (-h \leq z \leq -q_1 h) \end{cases} \quad (11) \quad U_5(-l_2, z) = \begin{cases} 0 & (-h \leq z \leq 0) \\ U_4(-l_2, z) & (-h \leq z \leq -q_1 h) \end{cases} \quad (12)$$

$$ii) x = \pm l_1 \text{ で: } P_2(l_1, z) = P_3(l_1, z) \quad (13) \quad P_3(-l_1, z) = P_4(-l_1, z) \quad (14) \quad (-h \leq z \leq -q_1 h)$$

$$U_3(l_1, z) = \begin{cases} 0 & (-g_1 h \leq z \leq -g_2 h) \\ U_2(l_1, z) & (-h \leq z \leq -g_1 h) \end{cases} \quad (15) \quad U_3(-l_1, z) = \begin{cases} 0 & (-g_1 h \leq z \leq -g_2 h) \\ U_4(-l_1, z) & (-h \leq z \leq -g_1 h) \end{cases} \quad (16)$$

ここで関数の直交性を利用し、圧力の連続式(9)(10)(13)(14)の両辺に $\cos \frac{S\pi(h+z)}{(1-g_1)h}$ を乗じ ($S=0, 1, 2, \dots$), $-h$ から $-g_1 h$ まで積分する。また、流速の連続式(11)(12)には $\frac{\cosh k_1(h+z)}{\cosh k_1 h}$ と $\frac{\cosh k_2(h+z)}{\cosh k_2 h}$ の2通りの値を乗じ、 $-h$ から 0 まで積分する。圧気型構造物については、式(15)(16)に $\frac{\cosh k_1(h+z)}{\cosh k_1 h}$ と $\frac{\cosh k_2(h+z)}{\cosh k_2 h}$ の2通りの値を乗じ、 $-h$ から $-g_1 h$ まで積分する。円型構造物については、式(15)(16)に $\cos \frac{m\pi(h+z)}{(1-g_1)h}$ を乗じ ($m=0, 1, 2, \dots$), $-h$ から $-g_2 h$ まで積分する。このようにして得られた式を解りて、反射波・透過波などの各未定係数を求める。

3. 計算結果と実験結果の比較検討 : ここでは、透過率だけを

取り上げて論議する。図-2は圧気型構造物による透過率の周波数応答特性、図-3は空気圧振幅の周波数応答特性、図-4は円型構造物による透過率の周波数応答特性を、それぞれ無次元表示で示したものである。図中の点線は、式(1)~(6)の級数項部分を省略した近似解法、実線は厳密解法、一点鎖線はわき出し分布法による計算結果であり、 $\bullet$ は実験値、 h と L は入射波高と入射波長で、 K_T は透過率で

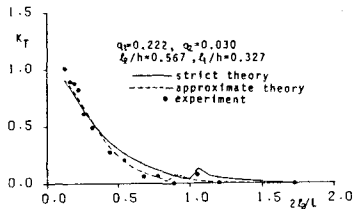


図-2 圧気型構造物の K_T と $2L/L$ の関係

ある。計算は吃水や圧気室の圧力を種々変化させて行なったが、計算結果と実験結果の対応性は、図-2 図-3 図-4に示すようにかなり良好であった。しかし、近似解法、厳密解法どちらがよく実験値と対応するかについては、検討の余地が残されている。図-2と図-3の計算値は、断熱変化($\gamma=1.4$)と仮定している。等温変化($\gamma=1.0$)についても清川⁴⁾によれば、両者に差がないと報告されている。図-5は、圧気型構造物、円型構造物による透過率の周波数応答特性を、無次元表示で示したものである。実線は圧気型構造物、点線は円型構造物の厳密解法による透過率の計算結果である。図-5に示すように、長周期側において圧気型の透過率は円型構造物の値より小さくなり、圧気による消波効果が見られる。しかし、近似解法の場合は図-5のような圧気の効果はないことも付け加えておかねばならない。なお、

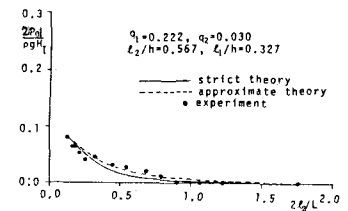


図-3 $2P_0/\rho g H_0$ と $2L/L$ の関係

本報では浮体の幾何寸法や実験装置と実験方法、わき出し分布法の理論については触れなかったが、これについては講演時に報告させ図-4 円型構造物の K_T と $2L/L$ の関係で頂く予定である。

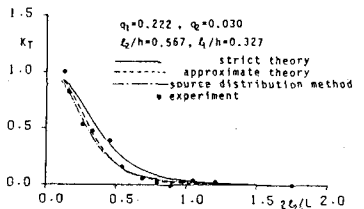


図-4 円型構造物の K_T と $2L/L$ の関係

4. 結言 : 以上、本報では圧気型構造物の圧気の効果について述べた。今後、圧気型構造物の基本特性について更に検討を加えていく所存である。

参考文献 : 1) 奥田・他 昭和60年度中部支部研究発表会, 1986

2) 岩田・他 第33回海岸工学講演会論文集, 1986

3) 伊藤・他 港湾技術研究所報告, 1972

4) 清川・他 土木学会論文集第375号, 1986

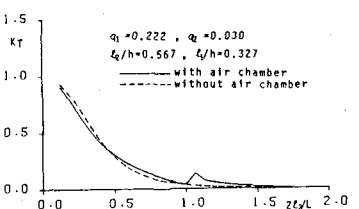


図-5 K_T と $2L/L$ との関係