

大阪市立大学工学部 学生員 ○村本哲二

同 正 員 角野昇八・小田一紀

東洋建設(株)

正 員 芳田利春

1. まえがき 直立消波工の断面、特に前面板の天端高あるいは背面のバラバット天端高を決定するためには、消波室内外の水面変動量を正確に把握する必要がある。本研究は、昨年¹⁾の海講において発表¹⁾したものと同様の図-1に示すような縦スリット直立消波工を対象とし、今回は初步的ではあるが前面板におけるエネルギー損失の影響も考慮して、消波室内外の水面変動量およびその位相差を解析しようとするものである。解析には前回同様MAE法¹⁾を適用する。また、解析結果は実験値との比較によりその妥当性を検証する。

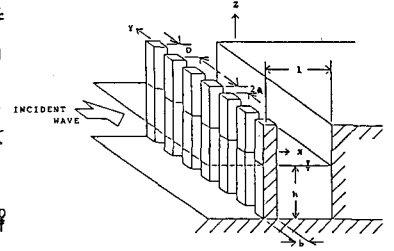


図-1 構造物の概要と座標系

2. 理論 $F(x, y)$ を支配方程式であるヘルムホルツの方程式の解とするとき、その外的解²⁾である消波室内外に存在する波として、図-2に示すように7種の波を考える。(i)は入射波、(ii)は不透過の柱体部から沖側に反射される波、(iii)はスリットから沖側に発生する波、(iv)はスリットから消波室内側に発生する波、(v)は柱体部から消波室内側に反射される波、(vi)は背面不透過壁よりの反射波である。また、(iv)'の波は、波が前面板を通過する際に発生する渦等による損失エネルギーを考慮に入れるために、今回新たに考察に取り入れた波である。すなわち、図-2に示す(iv)'の波がスリットから発生した直後は何の影響も受けませんが、消波室内を進行するにつれて乱れによりエネルギーを損失し続け、背面不透過壁には結局、(iv)'の波の波高の $(1-\epsilon)$ 倍の波高の波が到達するものと考えて仮定したが(iv)'の波である。したがって、この ϵ ($=0 \sim 1$) は波高の減衰の程度を表わしている。ここで、①前面板において(i)と(ii)の波による合成水平水粒子速度成分が0であること、②(v)と(vi)との波に対しても同様の条件が成り立つこと、③背面不透過壁において(iv), (v), (vi)の波による合成水平水粒子速度成分が0であること、の境界条件を考慮すれば、結局、消波室内外の波を表わす式として次式を得る。

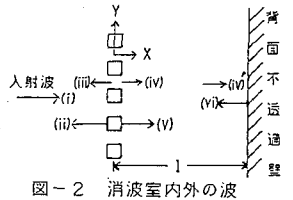


図-2 消波室内外の波

$$F(x, y) = A_i^{(i)} e^{ikx} + A_r^{(ii)} e^{-ikx} + \frac{1}{2} A_s^{(iii)} e^{-ikx} \quad (x < 0) \quad (1)$$

$$F(x, y) = -\frac{1}{2} A_s^{(iv)} e^{ikx} + (1-\epsilon) \left[-\frac{1}{2} A_s^{(v)} e^{-2ikl} - \frac{1}{2} A_s^{(vi)} e^{-2ikl} \right] e^{ikx} \quad (0 < x \ll l) \quad (2)$$

$$F(x, y) = (1-\epsilon) \left[-\frac{1}{2} A_s^{(iv)'} e^{ikx} - \frac{1}{2} A_s^{(v)} e^{-2ikl} - \frac{1}{2} A_s^{(vi)} e^{-2ikl} \right] e^{ikx} \quad (0 < x < l) \quad (3)$$

またこの場合の入射波の振幅に相当する複素定数 A_i は、外的解と内的解¹⁾との matching¹⁾により

$$A_i = -\frac{C}{2D} - \frac{i(e^{-2ikl} - \epsilon)}{2kD(e^{-2ikl} - 1)} \quad (4)$$

のように得ることができる。ここに、 D : 隣接柱体中心間隔、 l : 消波室幅、また C は "blockage coefficient" と呼ばれる理論定数であり、本研究で考察の対象とする矩形断面柱体列¹⁾については次式で与えられている¹⁾。

$$C = \frac{1}{2} \left(\frac{2a}{l} - 1 \right) + \frac{b}{l} \left[1 - \ln 4 \left(\frac{2a}{l} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{2a}{l} \right)^2 + \frac{789}{160} \left(\frac{2a}{l} \right)^4 \right] \quad (5)$$

ただし、 b は矩形断面の波向方向の辺長を表わし、 $2a$ はスリット幅である。以上により、未知の定数 ϵ を残した形で式(1)~(3)は確定されたことになる。

1) 消波室内外の水面変動量 さて、図-2の $z = x$ における消波室内外の水面変動量の入射波高に対する比は、上述の結果より以下のように求められる。

$$\frac{\eta_{Hi}}{\eta_i} = \sqrt{2 \left[(\sin kx - 2kC \cos kx)^2 (1 - \cos 2kl) + (1-\epsilon) \sin 2kl (\sin 2kx - 4kC \cos 2kl) + \{ (2\epsilon-1)(\epsilon - \cos 2kl) - \epsilon + 1 \} \cos^2 kx \right] / p} \quad (x < 0) \quad (6)$$

$$\frac{\eta_{Hi}}{\eta_i} = \sqrt{2 \left[\sin^2 kx (1 - \cos 2kl) + (1-\epsilon) \sin 2kl \sin 2kx + \{ (2\epsilon-1)(\epsilon - \cos 2kl) - \epsilon + 1 \} \cos^2 kx \right] / p} \quad (0 < x < l) \quad (7)$$

$$H_2 = \sqrt{2\{(1-E)^2(\sin 2kL \cdot \sin 2kx + \cos 2kL \cdot \cos 2kx + 1)\}}/P \quad (0 < x < L) \quad (8)$$

$$ここに \quad P = 2k^2 c^2 (1 - \cos 2kL) - 2kC(1-E) \sin 2kL - 2E \cos 2kL + (1+E^2) \quad (9)$$

2) 消波室内外の水面変動の位相差 同時に、柱体列前面と後面の水面変動の間の位相差 θ_1 、および柱体列前面と背面不透壁前面の水面変動の間の位相差 θ_2 は、各々以下のように求められる。

$$\theta_1 = \tan^{-1} \{E(1 - \cos 2kL) \cdot \cos kx_1 / \{(\sin kx_1 - 2kC \cos kx_1)(1 - \cos 2kL) + (1-E) \sin 2kL \cdot \cos kx_1\}\} \\ - \tan^{-1} \{E(1 - \cos 2kL) \cdot \cos kx_2 / \{(\sin kx_2 - 2kC \cos kx_2)(1 - \cos 2kL) + (1-E) \sin 2kL \cdot \cos kx_2\}\} \quad (\text{前面と後面}) \quad (10)$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} \{E(1 - \cos 2kL) \cdot \cos kx_1 / \{(\sin kx_1 - 2kC \cos kx_1)(1 - \cos 2kL) + (1-E) \sin 2kL \cdot \cos kx_1\}\} \\ - \tan^{-1} \{E(1 - \cos 2kL) \cdot \cos kx_2 / \{(\sin kx_2 - 2kC \cos kx_2)(1 - \cos 2kL) + (1-E) \sin 2kL \cdot \cos kx_2\}\} \quad (\text{前面と壁面}) \quad (11)$$

ここに、 x_1 は柱体列前面の地点の x 座標($x_1 < 0$)、 x_2 は柱体列後面の地点の x 座標($0 < x_2 < L$)である。式(10)、(11)からも明らかな様に、エネルギー損失を考慮しない($E=0$)場合、消波室内外の水面変動の間には位相差が存在しないことがわかる。すなわち、従来、実験において観察されてきた位相差は、線形効果によるものではなく、損失による非線形効果であることを結論づけることができる。

3. 実験値との比較および考察 1) 消波室内外の水面変動量 得られた理論値を昨年度に既に得られた

実験値と比較した。実験条件は前論文に記したと同様である。図-3(a)にはエネルギー損失を考慮しない($E=0$)場合の理論曲線と同じ条件下の実験値とともに示した。理論値算定の x 座標(原点は前面板中心線上)

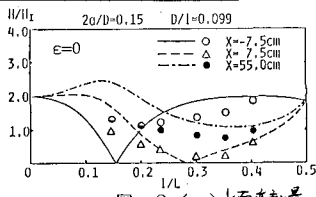


図-3 (a) 水面変動量

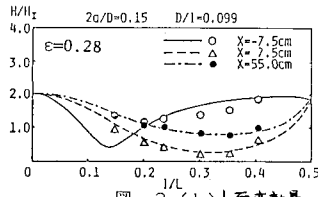


図-3 (b) 水面変動量

は、実験における波高測定地点と同じく、構造物表面より5cm離れた点の座標値である。同図によれば、両者はほぼよく似た傾向を有するものの、特に不透壁前面波高において若干の差異が認められる。そこで次に、不透壁前面波高の実験値と理論値とが bestfit するようにその値を逆算し、その値を式(6)および式(7)に代入してエネルギー損失を考慮した理論曲線を算定した。図-3(a)と同条件の値を示したものが図-3(b)である(この場合の $E=0.28$)。両図を比較するとき、 E を考慮することにより理論値と実験値との整合性が不透壁前面波高は勿論、いずれの地点の波高に対してもより良好となっているのが認められる。図-4~6には、これらとは異なる条件下における同様の図を示すが、いずれの場合にも理論曲線と実験値との整合性は良好である。

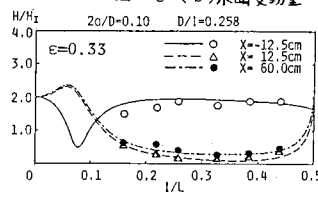


図-4 水面変動量

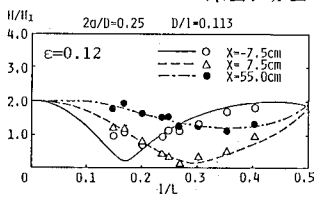


図-5 水面変動量

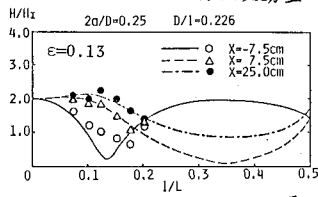


図-6 水面変動量

2) 消波室内外の水面変動の位相差 θ_1 および θ_2 の理論値と実験値との比較の一例を図-7に示す。この場合の条件は図-5の場合と同様であり、 E も同じ値を用いた。図によれば、理論値と実験値とはほぼ一致している様子が認められる。ただ、特に θ_2 においては、若干のズレが認められ、この点については今後さらに検討を要するものと考えられる。

4. まとめ 本研究より、今回提案したエネルギー損失の概念を導入したポテンシャル流理論がかなりの妥当性を有することがわかった。今後、 E について i) 複素係数と考えて解析する、ii) 支配要因となるパラメーターを明らかにし、iii) スリット間水粒子速度との関係についても考察する、などのより詳細な検討を加えてゆきたいと考えている。なお、実験値の測定には伊庭智生大学院生(現バロフィック・コンサルティングKK)に御協力頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

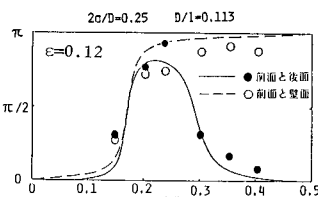


図-7 位相差

<参考文献> 1) 角野・小田・伊庭・茅田, 第31回海講, pp507~511, 1984