

II-303

縦スリット直立消波工の消波室内外水面変動量とその位相差(その2)

大阪市立大学大学院○学生員 村本哲二

大阪市立大学工学部 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 図-1に示すような縦スリット直立消波工の消波室内外の水面変動量およびその位相差について、スリットにおけるエネルギー損失の影響をも考慮に入れたM.A.E.法¹⁾による解析の結果を昨年の年講において報告した²⁾。計算結果は実験値と比較的良く一致するものであったが、エネルギー損失量とスリット通過水粒子速度との関係には不明確な点が残されており、まだ完全とは言えないものであった。今回は、前回とは違った立場より問題を捉え、両者の関係を取り入れた理論を導き、解析結果と実験値とを比較することによりその理論の妥当性を検証する。

2. 理論 本研究の内的問題¹⁾で採用している、柱体列をはさむ領域の速度ポテンシャルは次式のように表わされる。

$$\Phi = \{ (x-C)U + C_0 \} \cdot \cosh(k(h+z)) / \cosh(kh) \cdot \exp(-i\sigma t) \quad x < 0 \quad (1)$$

$$\Phi = \{ (x+C)U + C_0 \} \cdot \cosh(k(h+z)) / \cosh(kh) \cdot \exp(-i\sigma t) \quad x > 0 \quad (2)$$

ここに、U は柱体列を過ぎる一様流の速度振幅であり、C₀は複素定数、i² = -1、σ は角周波数である。また、C は blockage coef. と呼ばれる純理論定数(実数)であり、本研究で解析の対象とする矩形断面柱体列については $C = b/2 \cdot (D/2a - 1) + D/\pi \cdot [1 - Zn(4 \cdot (2a/D)) + 1/3 \cdot (2a/D)^2$

$$+ 28L/180 \cdot (2a/D)^4] \quad (3)$$

と与えられる¹⁾。ただし、b は矩形断面の波向方向の辺長を表わし、D は隣接柱体中心間隔、2a はスリット幅。このCの有する物理的意味は、式(1)および式(2)より誘導される柱体列前後の圧力差を表わす式

$$\Delta p = -2 \cdot \rho \cdot C \cdot \dot{u} \quad (\rho: \text{流体の密度}) \quad (4)$$

を導けば明らかにされるように、水粒子加速度 \dot{u} に比例する慣性抵抗係数を表わしている。さてここでいま、このCを実部とする複素定数C₁、即ち、C₁ = C + iC₂を式(1)および式(2)中のCと置換することを考えてみよう。この場合には、C₁を用いた場合の圧力差を表わす式

$$\Delta p = -2 \cdot \rho \cdot C \cdot \dot{u} - 2 \cdot \rho \cdot \sigma \cdot C_2 \cdot u \quad (5)$$

より明らかなように、C₂は水粒子速度uの1乗に比例する抵抗の係数を表わすことになり、従ってこのC₂(Cと同様に長さの次元をもつ)にエネルギー損失の影響を盛り込むことができる。ただしこのC₂はuに対して線形の抵抗係数であるので、通常用いられるuの2乗に比例する抵抗の係数(f)とは、両者の抵抗が波の一周期間になす仕事量は等しいとする関係、いわゆる「ローレンツの等価仕事原理」により対応づけることができる。このfとC₂との関係は、既に得られているスリット通過水粒子速度を表わす式^{1),3)}を適用することにより、柱体列の場合には、

$$f = 9\pi \cdot (\sinh(2kh) + 2kh) / (16 \cdot (\sinh^2(kh) + 3)) \cdot \sqrt{k^2 C_2^2 + (kC_2 + 1)^2} \cdot (L/H) \cdot (D/L) \cdot (C_2/D) \quad (6)$$

また柱体列の背後に不透過壁を有する直立消波工の場合には、

$$C_2/D = 16 \cdot (\sinh^2(kh) + 3) / (9\pi \cdot (\sinh(2kh) + 2kh)) \cdot \sqrt{2 \cdot (1 - \cos(2kL)) / (2k^2 \cdot (C^2 + C_2^2))} \cdot (1 - \cos(2kL)) - 2kC \cdot \sin(2kL) + 1 + 2kC_2 \cdot (1 - \cos(2kL)) \cdot (L/D) \cdot (H/L) \cdot f \quad (7)$$

のように表わされる。ここで、k は波数、h は水深、L は波高、H は波高で、L は消波室幅。また、直立消波工の場合にはC₂'とし、柱体列の場合のC₂と区別した。

このようにして、線形抵抗係数C₂を内的解に形式的に導入することにより、実質的には慣性抵抗および非

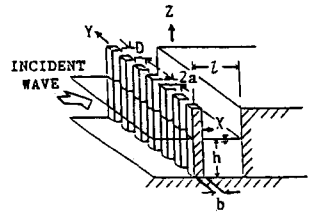


図-1 縦スリット直立消波工

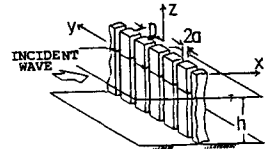


図-2 柱体列

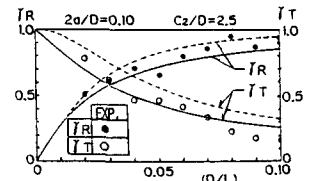


図-3 柱体列からの反射率、透過率

線形抵抗の両者を、さらには非線形損失エネルギーをただ1つの複素係数 C_1 に含めて考えることができるようになる。結局、従来のM.A.E.法の理論展開に於いてCの代わりに C_1 を用いた内的解を外的解とMatchingさせることによって速度ポテンシャルが確定されることとなる。いま、ここで対象とする直立消波工の場合の消波室内外の水面変動は、このようにして得られる速度ポテンシャルより式(8)、式(9)のように与えられ、また内外水面変動の位相差は式(10)のように与えられる。

$$\eta = \sigma / 2gkD \cdot \{ (\sin(kx) - 2kC \cdot \cos(kx) + \sin(2kL) / (1 - \cos(2kL))) \cdot \cos(kx) \cdot \sin(\sigma t) + 2kC_2 \cdot \cos(kx) \cdot \cos(\sigma t) \} \quad x < 0 \quad (8)$$

$$\eta = \sigma / 2gkD \cdot \{ (\sin(2kL) / (1 - \cos(2kL))) \cdot \cos(kx) + \sin(kx) \cdot \sin(\sigma t) \} \quad x > 0 \quad (9)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{2kC_2 \cdot \cos(kx_1)}{(\sin(kx_1) - 2kC \cdot \cos(kx_1) + \sin(2kL)) / (1 - \cos(2kL)) \cdot \cos(kx_1)} \right) \quad A > 0 \quad (10-a)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{2kC_2 \cdot \cos(kx_1)}{(\sin(kx_1) - 2kC \cdot \cos(kx_1) + \sin(2kL)) / (1 - \cos(2kL)) \cdot \cos(kx_1)} \right) + \pi \quad A < 0 \quad (10-b)$$

$$A = \sin(2kL) / (1 - \cos(2kL)) \cdot \cos(kx_2) + \sin(kx_2)$$

ここで、 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(8)、式(9)によれば、エネルギー損失を考慮しない場合($C_2=0$)、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確認される。

3. 結果および考察

具体的な C_2 、あるいは C_2' の計算方法としては、柱体列の場合の諸量について(例えば、図-3に示すような透過率について)、 C_1 を用いたM.A.E.法による計算値(図中の実線)と実験値とがbest-fitするように、開口率別に C_2 を逆算してその値を決定する。 f は、その C_2 を式(6)に代入することにより求めることができる。また、直立消波工の場合の C_2' は、得られた f を式(7)の超越方程式に代入すれば求められ、さらにそれを式(8)~式(10)に代入すれば、水面変動量や位相差が求められることになる。このようにして得られた計算値を一年度に既に得られている実験値と比較したものを、 η については図-4および図-5に、また位相差については図-6および図-7に示す。実験条件は前論文に記したのと同様である。また、図-8には、図-7と同条件にある従来の解析手法による結果を示した(昨年度の図においては、データの整理方法および計算結果に一部誤りがあった)。計算における f の値としては、柱体列において波浪条件ごとに得られた値を平均化したものを用いている。図-4~7を通して、理論値と実験値との整合性は良好であり、本理論の妥当性を確認することができる。なお、位相差を表わす図において、スリット前面と後面との位相差が、ある相対消波室幅 L/l の値に於いて急変している箇所が認められる。これは、消波室内に発生した部分重複波の節の位置が L/l の値の変化に伴い、スリット後面に設置した波高計の前後にずれ、位相差が急変することによるもので、 $A \geq 0$ に於いて式(10-a)あるいは式(10-b)となることに対応している。

4. まとめ

上記の結果より、ここで対象とした諸量について、エネルギー損失の影響を考慮に入れた本理論の妥当性を確認することができた。今後は、他の水理特性についても同様の検討を加えたい。

最後に、実験値の測定には伊庭智生大学院生(現、ハジツック・コンクリート

KK)、村田利幸学部生(現、京都府)に御協力頂いた。ここに記して感謝する。 <参考文献> 1) '83海講 pp.395-399 2) '85年講 pp.573-574 3) '84海講 pp.507-511

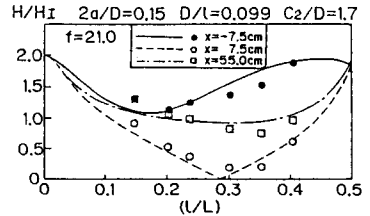


図-4 水面変動量

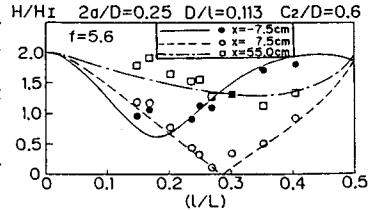


図-5 水面変動量

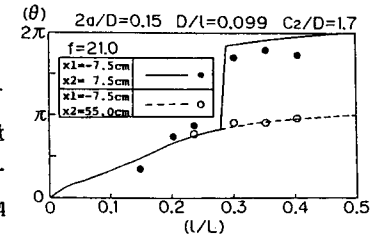


図-6 位相差

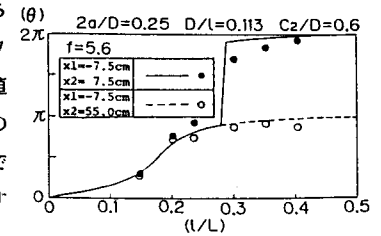


図-7 位相差

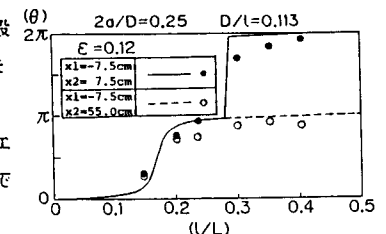


図-8 位相差