

柱体列前後における波の位相差

大阪市立大学工学部 正会員 角野 昇八 小田 一紀
 大阪市立大学大学院 学生員 村本 哲二
 京都府 正会員 ○村田 利幸

1) まえがき

図-1に示すような角柱列や円柱列などで構成された透過性構造物からの波の透過、反射問題については種々の研究がなされ、筆者らも、既に、M.A.E.法を適用した解析結果を発表している¹⁾。これらの研究は透過率および反射率の算定に主眼が置かれ、柱体列を通過する際の波の位相差について触れられた例はまだほとんど見られない。しかるに、柱体列前後の波の位相差はそれそのものに対する水理学的興味、他、縦スリット直立消波工の消波機能との関連においても興味深いものがあると思われる。そこで今回、位相差について若干の理論的および実験的考察を加えたので、ここに報告する。

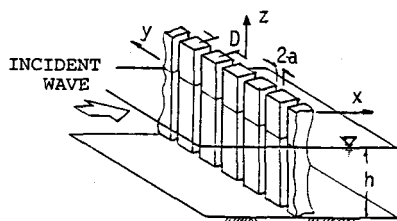


図-1 波浪中の多柱構造物

2) 理論

$F(x, y)$ を変数分離形で表わした速度ポテンシャルの平面座標項とすると、その外的解¹⁾である柱体列前後に存在する波は図-2に示すように4種の波を考えれば十分であり、これらの波は柱体列における境界条件を考慮することによって入射波の振幅に相当する複素定数 A_i を除いて、す

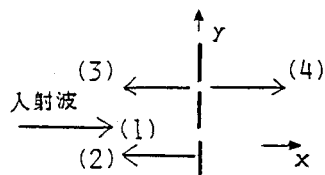


図-2 外的解

べて確定される。さらに、内的解¹⁾とのMatchingによりこの A_i も確定され、結局、入射波および柱体列前後の波の速度ポテンシャルの平面座標項を表わす式として次式を得る。

$$F(x, y) = A_i \cdot \exp(ikx) \quad (1)$$

$$F(x, y) = A_i \cdot \exp(ikx) + A_r \cdot \exp(-ikx) + i/2kD \cdot \exp(-ikx) \quad (x < 0) \quad (2)$$

$$F(x, y) = -i/2kD \cdot \exp(ikx) \quad (x > 0) \quad (3)$$

$$A_r = -i/2kD - C/2D \quad (4)$$

ここに、 C はblockage coefficientと呼ばれる理論定数であり、例えば、矩形柱列に対しては次式で与えられる¹⁾。

$$C = b/2 \cdot (D/2a - 1) + D/\pi \cdot (1 - \ln(4 \cdot 2a/D) + 1/3 \cdot (2a/D)^2 + 281/180 \cdot (2a/D)^4) \quad (5)$$

(D :隣接柱体中心間隔, $2a$:スリット幅, b :矩形断面の波向方向の辺長)

また円柱列に対する C も容易に求めることができる²⁾。

式(1)～式(3)の各式を平面座標項として有する速度ポテンシャルの形より、入射波および柱体列前後の水面変動は次式のように求められる。

$$\eta = \sigma / 2gkD \cdot \sqrt{(KC)^2 + 1} \cdot \cos(\sigma t - kx - \arctan(-KC)) \quad (6)$$

Shohachi KAKUNO, Kazuki ODA, Tetsuji MURAMOTO, Toshiyuki MURATA

$$\eta = \sigma / 2gkD \cdot ((\sin(kx) - 2KC \cdot \cos(kx)) \cdot \sin(\sigma t) + \cos(kx) \cdot \cos(\sigma t)) \\ = \sigma / 2gkD \cdot \sqrt{\alpha 1^2 + \alpha 2^2} \cdot \cos(\sigma t - \arctan(\alpha 2 / \alpha 1)) \quad (x < 0) \quad (7)$$

$$\eta = \sigma / 2gkD \cdot (\sin(kx) \cdot \sin(\sigma t) + \cos(kx) \cdot \cos(\sigma t)) \\ = \sigma / 2gkD \cdot \cos(\sigma t - kx) \quad (x > 0) \quad (8)$$

$$\text{ここに、} \alpha 1 = \cos(kx), \alpha 2 = \sin(kx) - 2KC \cdot \cos(kx) \quad (9)$$

結局、柱行列の地点 ($x=0$) の入射波の位相に対する透過波の位相の差は、式(6)と式(8)より式(10)のようになる。また、柱体列前面(列中心よりの距離 $X1$)における部分重複波の位相に対する柱体列後面(列中心よりの距離 $X2$)の透過波の位相の差は式(7)および式(8)より、式(11)のようになる。

$$\theta 1 = -\arctan(-KC) \quad (10)$$

$$\theta 2 = -\arctan(\alpha 2' / \alpha 1') + kx2 \quad (\alpha 1' = \cos(kx1), \alpha 2' = \sin(kx1) - 2KC \cdot \cos(kx1)) \quad (11)$$

3) 実験 実験には長さ50m, 幅1m, 高さ1.75mの造波水槽を用い、造波板から構造物模型までの距離は約30m, 水深は50cmで一定とした。構造物模型は正方形断面を有する角柱列および円柱列を使用し、構造物条件として $2a/D$ (開口率)を角柱列に対しては0.05~0.25、円柱列に対しては0.03~0.23の各4通りに変化させて実験を行なった。波高計は構造物の前面および後面にそれぞれ約50~60cm離して設置した。また、位相差の実験値は、上記2地点において柱体列前面の部分重複波と柱体列後面の透過波の時間波形が、ZERO-UPCROSSINGする点の時間差より読み取った。実験装置の制約から、入射波と透過波の間の位相差は測定できなかった。

4) 結果と考察 角柱列の場合の位相差の理論値および実験値を、 D/L の間数として表わしたものを図-3に示す。この図によれば、理論値と実験値とはほぼ一致しており、したがって位相差についても本理論の妥当性が確認できた。また、いずれの場合にも、実験値が理論値を下回っている(円柱列の場合にも同様)のは、ポテンシャル流理論である本理論では考慮できないエネルギー損失によるものであると考えられ、位相差はポテンシャル・フロー(即ち、慣性抵抗)およびエネルギー損失の双方の効果によって生ずることが示されている。次に図-5は、入射波の位相に対する透過波のその差の本理論による値(式(10))を岩垣・楳木³⁾による値 $\theta 1 = 2\pi b/L$ とともに示したものである。双方の傾向は一致しているものの、式(10)による値は岩垣・楳木による値よりかなり大きい。

<参考文献> (1) 角野・伊庭他, 第3回 海講, pp395-399, 1983
(2) 角野, 円柱列のblockage coefficientの厳密解(未発表), 1985
(3) 岩垣・楳木, 海洋工学, 共立出版, p301, 1982

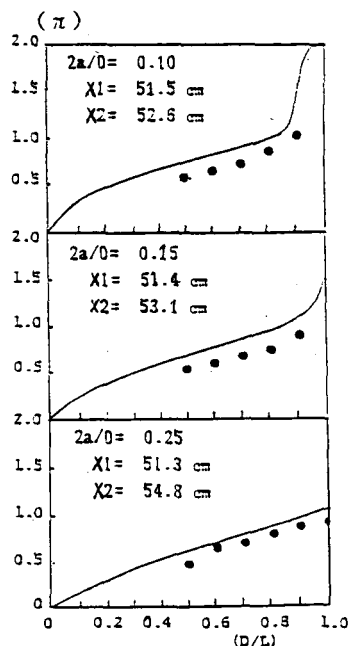


図-3 柱体列前後の位相差

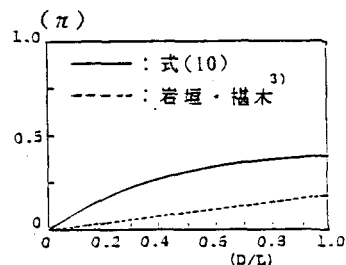


図-4 入射波-透過波の位相差