

## II - 45 小口径円柱に作用する斜交波の部分波力と全波力の波力係数に関する実験的研究

名古屋大学大学院 正会員 ○水谷法美<sup>1</sup>・岩田好一朗

東亜建設横浜支店 高柳伸次

中部電力電力技術研究所 上海義樹

## 1. はじめに：

海岸・海洋構造物の設置海域が大水深化の傾向にあり、多方向不規則波を設計外力として考慮する必要性が高まっている。多方向不規則波による小口径円柱の作用波力に関する研究は、最近いくつか行われ、重要な成果が蓄積されつつあるが、実際の設計にあたって必要な波力係数の研究は非常に少ない。さらに、多方向不規則波に限らず、円柱に対する波力係数に関する研究は、全波力を対象としたものと部分波力を対象としたものの2種類の二種類があり、両者の関係は必ずしも明らかにされていないのが現状である。本研究は、多方向不規則波の最も単純な波である二成分斜交波により小口径円柱に作用する部分波力と全波力を水理実験により計測し、それぞれの波力係数の特性を考察したのでその結果について報告するものである。

## 2. 水理実験：

表-1 斜交波の実験諸元

実験を中部電力(株)電力技術研究所の平面水槽で行った。水槽内に直立円柱を設置し、円柱底部に設置した六分力計により x(造波板法線)方向と y(造波板平行)方向の全波力  $F_x$  と  $F_y$  を計測した。さらに、円柱内部に取り付けた部分波力計により静水面下 15, 25, 45cm における幅 2cm の円柱セグメントに作用する部分波力  $dF_x$  と  $dF_y$  の計測も行った。実験では、円柱の直径  $D$  を 2 種類

| 波高<br>$H_1, H_2(\text{cm})$ | 周期<br>$T_1(\text{s})$ | 周期<br>$T_2(\text{s})$ | 交差角<br>(deg.) |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| 4.0, 6.0                    | 1.4                   | 1.0                   | 0, 30, 60     |
|                             |                       | 1.4                   | 30, 60, 90    |
|                             |                       | 1.8                   | 0, 30, 60     |
|                             | 1.8                   | 1.8                   | 30, 60, 90    |
|                             |                       | 2.0                   | 0, 30, 60     |
|                             |                       |                       |               |

(4, 8cm) 変化させた。静水深  $h$  を 70cm で一定とし、表-1 に示す斜交波を生起させた。また、部分波力計中心位置での  $x$  と  $y$  方向の流速  $u$  と  $w$  を、円柱がない状態で 3 台の電磁流速計を使って同一の発生波の条件で計測した。計測時間は静水状態から約 2 分間とし、計測したすべての時間変化を時間間隔 50ms で AD 変換し、ハードディスクに記録した。

## 3. 解析方法：

両実験で同一地点で計測した水位変動の記録より、流速計測実験と波力計測実験の 2 つの実験結果の位相を合わせ、その後の解析を行った。そして、全波力に対して、式(1)に示すモリソン式を適用し、計測波力と式(1)による計算波力が最もよく合うよう、最小自乗法により、抗力係数と慣性力係数を計算した。

$$F_x = C_{DX} \frac{\rho D}{2} \int_{-h}^{\eta} u \sqrt{u^2 + w^2} dz + C_{MX} \frac{\rho \pi D^2}{4} \int_{-h}^{\eta} \dot{u} dz, \quad F_y = C_{DY} \frac{\rho D}{2} \int_{-h}^{\eta} w \sqrt{u^2 + w^2} dz + C_{MY} \frac{\rho \pi D^2}{4} \int_{-h}^{\eta} \dot{w} dz \quad (1)$$

ここに、 $C_{DX}$  と  $C_{DY}$  は抗力係数、 $C_{MX}$  と  $C_{MY}$  は慣性力係数、 $\rho$  は水の密度、である。なお、この際、流速と加速度の鉛直方向分布を推算する必要があるが、本研究では、以下のように取り扱った。すなわち、線形理論を仮定すると、流速の表示式は次式のように書ける。

$$\begin{pmatrix} u(x, y; t) \\ w(x, y; t) \end{pmatrix} = \sum_{i=1}^2 \begin{pmatrix} \sin \theta_i \\ \cos \theta_i \end{pmatrix} A_i \sigma_i \frac{\cosh k_i(h+z)}{\sinh k_i h} \cos(k_i x \sin \theta_i + k_i y \cos \theta_i - \sigma_i t - \varepsilon_i) \quad (2)$$

ここに、 $\theta$  は波の入射角度、 $\sigma$  は角周波数、 $k$  は波数、 $A$  は振幅、 $\varepsilon$  は初期位相であり、添字  $i$  は波の成分を示す。式(2)中の  $A_i$  と  $\varepsilon_i$  を最小自乗法により、3ヶ所の部分波力計の中心位置での流速  $u$  と  $w$  に最もよく合

キーワード：小口径円柱、抗力係数、慣性力係数、全波力、部分波力、斜交波

<sup>1</sup> 〒464-01 名古屋市中千種区不老町 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 TEL/FAX 052-789-4630

うように決定した。なお、加速度も線形理論により式(2)と同様に評価した。また、部分波力に対する抗力係数と慣性力係数も上述の手法で評価した流速と加速度を使って計算した。なお、本研究では、線形理論を適用することから、式(1)の積分を静水面までとした。

#### 4. 結果とその考察：

図-1 と図-2 に最小自乗法により求めた波力係数をを使って計算した  $x$  方向波力を実験値と比較した結果を例示する。両図より、部分波力、全波力ともに計算値は実験値を精度良く再現している。

図-3 と図-4 に部分波力と全波力に対する波力係数を同時に図示する。まず、慣性力係数は、ばらつきはあるが、Keulegan&Carpenter 数(KC 数)が 1.5 以上では、ほぼ 1.3~1.9 程度の一定値をとると見なせる。

一方、抗力係数は KC 数の小さい範囲の負の値を含め広範囲に分布している。この範囲(KC 数が 3.5 以下)は慣性力が卓越しており、相対的に抗力係数に含まれる誤差が大きくなるため、このように広範囲に分布すると考えられる。なお、波力全体に対する抗力係数の寄与は非常に小さいことを確認している。KC 数が 3.5 以上になると分布の範囲は狭くなり、0.5~1.0 程度の範囲に収束する傾向が認められる。これらの傾向は部分波力と全波力に共通である。しかし、全波力の波力係数と部分波力の波力係数の値を比較すると全波力の波力係数は最も静水面に近い  $d/h=0.214$  の部分波力に対する値に近いことがわかる。これは、波力の絶対値は自由表面に近いほど大きく、全波力の波力係数はこの絶対値の大きい静水面近傍の部分波力の結果に近くなったためである。このことより、静水面近傍の部分波力から波力係数を推算しても全波力の予測に使用可能と考えられる。

#### 5. おわりに：

本研究では、斜交波の部分波力と全波力に対する波力係数を求め、全波力の波力係数は自由表面近傍の部分波力に対する値に近いことを明らかにした。今後、交差角の影響や、KC 数のさらに大きな範囲の特性などについて引き続き検討を加える所存である。

最後に、本実験に際し、多大なご協力を賜った中部電力(株)および中電工事(株)の関係各位に感謝の意を表します。

#### <参考文献>

- 1)岩垣ら：円柱に作用する不規則波力について、第20回海講演文集,pp.1-5,1973.
- 2)樺木・中村：円柱に作用する不規則波力の特性—慣性項の支配的となる場合について—、第20回海講演文集,pp.6-10,1973.

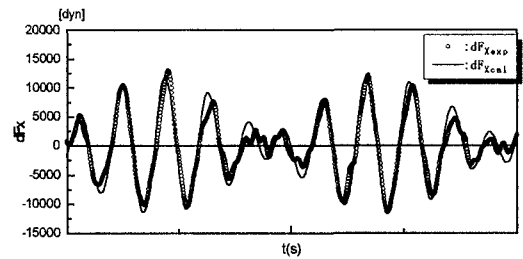


図-1 部分波力の計算値と実験値( $d/h=0.214$ )  
( $H_1=H_2=6\text{cm}$ ,  $T_1=1.8\text{s}$ ,  $T_2=2.2\text{s}$ , 交差角  $30^\circ$ )

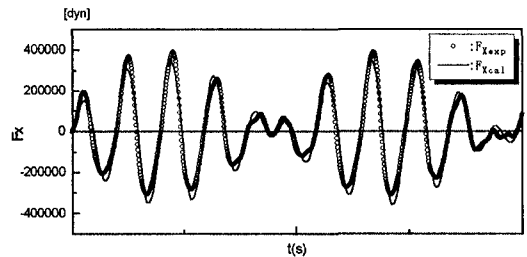


図-2 全波力の計算値と実験値  
( $H_1=H_2=6\text{cm}$ ,  $T_1=1.8\text{s}$ ,  $T_2=2.2\text{s}$ , 交差角  $30^\circ$ )

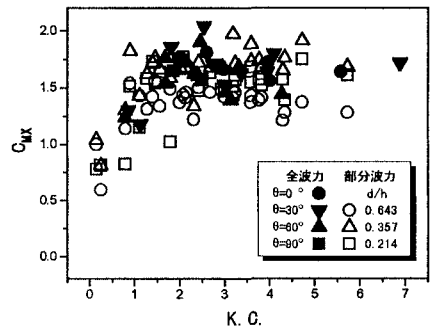


図-3 全波力と部分波力の慣性力係数

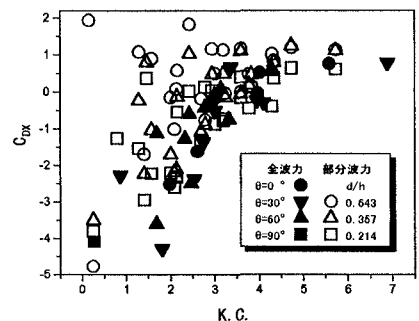


図-4 全波力と部分波力の抗力係数