

清水建設研究所 正員 ○萩原運弘
同 正員 小島啓治

1. まえがき: Morison式に基づいて全波力を算定する場合, 抗力係数および質量係数をいかに評価し, 波の特性の計算にどのような波動理論を適用するかが重要な問題となる。従来より直円柱に関しては多くの人々によって研究が行われ, 抗力係数および質量係数として一般に $C_D=1.0, C_M=2.0$ の値が採用されている。しかし土屋山口は, この場合微小振幅波理論を用いると全波力の最大値を過小に評価する危険性を指摘し, 有限振幅波理論の有効性を示している。そこで, 本研究は波力に及ぶ柱体の断面形状効果と波動理論の適合性を調べるため, 円柱のほかに正四角柱(面を波の進行方向に向けた場合と45°に向けた場合の2種類)を取上げ, 微小振幅波理論および有限振幅波理論を適用して抗力係数, 質量係数および全波力の最大値について検討したものである。

2. 実験装置および実験手法: 実験は長さ45m, 幅0.8m, 高さ1.25mの2次元水槽のほぼ中央に鋼製板ばねと模型柱体からなる波力計を設置して行った。この波力計は下端が自由端である片持ばり構造で, 板ばねの表裏に4枚のストレインゲージを接着し, 歪量から全波力を求めるものである。実験に使用した柱体断面形状は円形(C-断面), 正四角形(S-断面), 正四角形-45°(D-断面)で, その代表径Dとして4.8cm, 11.4cm, 26.7cmのものを用いた。また水深hは50cm, 65cmの2種類とし, 周期T=1.5~3.5秒, 波高H=5~25cmの範囲の波を使用した。

3. 抗力係数および質量係数の計算方法: 微小振幅波理論に従えば抗力と質量力は全波力より分離でき, 抗力係数および質量係数は波の峯での実測波力 F_{η_0} および静水面位相での実測波力 $F_{\eta=0}$ を用いて, それぞれ次式により算出される。

$$C_D = \frac{F_{\eta_0}}{\frac{\rho}{2} D \int_{-h}^{\eta_0} u |u| dz} \dots\dots\dots (1), \quad C_M = \frac{F_{\eta=0}}{\rho \cdot A \int_{-h}^{\eta_0} \frac{du}{dt} dz} \dots\dots\dots (2)$$

ここに, η_0 : 静水面上の波峰高, ρ : 流体の密度, u : 水平水粒子速度, du/dt : 水平水粒子加速度, A : 柱体の投影面積である。しかし有限振幅波理論においては, 微小振幅波理論による場合のように水位変動の零点と水平水粒子加速度の零点が一致しないため質量力だけを分離することができない。そこで, 式(3)より質量係数を計算する。また Re 数, KC 数を算定するための水平水粒子速度については式(4)で示される自乗平均根を用いた。

$$C_M = \frac{F_{\eta=0} - \frac{\rho}{2} C_D D \int_{-h}^{\eta_0} u |u| dz}{\rho A \int_{-h}^{\eta_0} \frac{du}{dt} dz} \dots\dots\dots (3), \quad \sqrt{u^2} = \sqrt{\int_{-h}^{\eta_0} u^2 dz / (h + \eta_0)} \dots\dots\dots (4)$$

4. 実験結果と考察:

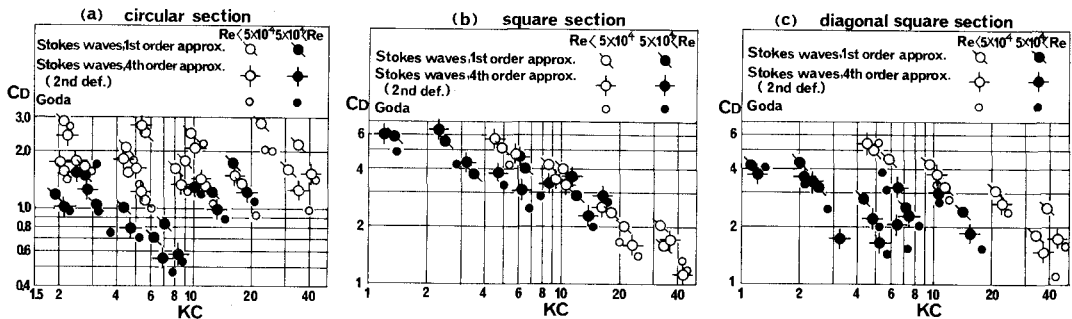


図-1 抗力係数

図-1は円柱と2種類の正四角柱に対して微小振幅波理論, Stokes波の第4次近似解および合田の提案した水平水粒子速度に波の有限振幅性を考慮した方法を用いて式(1)により算出した抗力係数のKC数に対する変化を示したものである。また抗力係数は Re 数の関数としても表わされるので $Re < 5 \times 10^4$ と $5 \times 10^4 < Re$ の2つの領域に分けた。C断面の場合実験結果のばらつきは大きい、従来の実験結果に近い傾向を示している。しかし $Re > 5 \times 10^4$ の領域ではKC数に対する変動が激しく、この領域で波運動場の乱れの大きいことがうかがえる。S断面の場合 Re 数による相違はみられないが、KC数の増加に対して線形的に減少している。この場合、一樣流中の抗力係数は $10^4 < Re < 10^5$ の範囲で $C_D = 2.05$ であり、実験結果は $1 < KC < 20$ でこれより大きく、 $20 < KC < 40$ ではこれより小さくなっている。一方D断面では、実験結果は一樣流中の $C_D = 1.55$ よりも大きく、KC数の増加とともに減少してゆく傾向を示している。また、これらの図から明らかなように微小振幅波理論で若干のばらつきがあるものの合田の方法およびStokes波の理論では抗力係数の値に大差は認められない。図-2はそれぞれの柱体に対して微小振幅波理論およびStokesの第4次近似解を用いて式(2)および式(3)より計算した質量係数とKC数の関係を示したもので、図中の実線、破線および一点鎖線はそれぞれ各柱体に対する質量係数の平均曲線である。この場合水粒子加速の最大値は静水面位相で評価されるため、いずれの理論を用いても差異は認められず質量係数の計算には波の非線形性の影響が現われてこないことがわかる。一方この実験条件では、各柱体の質量係数は2次元ポテンシャル流理論により円柱 $C_M = 2.0$ 、正四角柱 $C_M = 2.19$ で与えられるが、実験結果はKC数の小さい範囲でこれらの値よりも大きく、KC数の増加とともに減少する傾向を示している。特にD断面の場合の減少割合は他の断面のものに比べて急激になっている。図-3は各柱体に対して、それぞれ一樣流中の抗力係数および2次元ポテンシャル流理論による質量係数を用い、微小振幅波理論およびStokes波の第4次近似解により計算した全波力の最大値と実験結果とを比較したものである。微小振幅波理論に基づく場合C断面、S断面での計算結果は平均して実験結果よりも20~30%小さく、D断面では計算結果が約50%近くも小さくなっている。一方有限振幅波理論を適用した場合でも、D断面では依然3~4割計算値が小さくなっているが、C断面、S断面で若干計算値が小さく評価されているものの比較的良好な一致を示している。以上のことより、実際の設計において上述の抗力係数、質量係数を用いて波力の最大値を算定する場合、微小振幅波理論では過小に見積る危険性があり、有限振幅波理論を適用する場合でも柱体の形状により危険側に評価するおそれがあるので注意する必要がある。

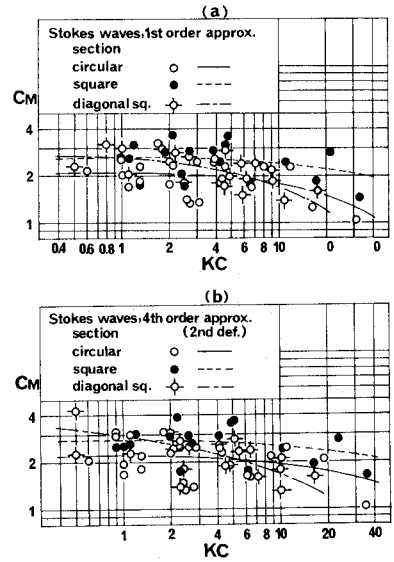


図-2 質量係数

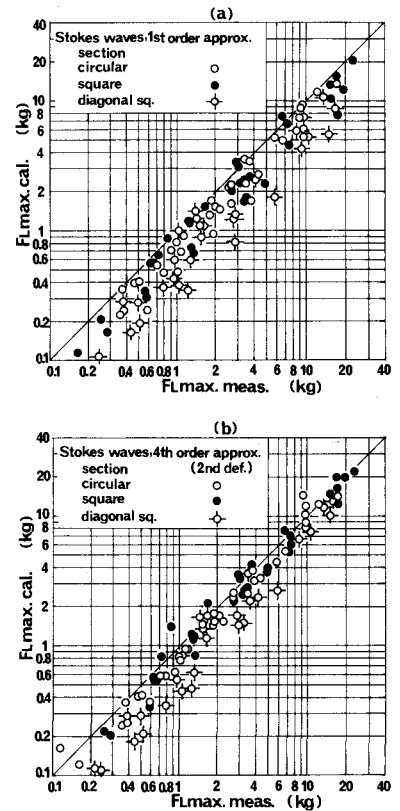


図-3 全波力の最大値に対する比較