

小口径円柱に作用する多方向不規則波の波力に関する一考察

名古屋大学大学院 正会員 ○ 水谷法美 名古屋大学大学院 フェロー 岩田好一郎
 名古屋大学大学院 学生会員 吉田幸一 名古屋大学工学部 学生会員 栗本あかね
 中部電力㈱電力技術研究所 正会員 川島直人

1. はじめに：構造物の作用波力の特性に及ぼす波の多方向性の影響を解明することは、構造物の設計上極めて重要である。平石ら¹⁾は、多方向不規則波による主波向き方向の作用全波力は一方不規則波の場合よりも小さくなることを報告しているが、与えられた流速の振幅に対しては多方向性が強い方が主波向きの波力は大きくなることが著者らによって指摘されている²⁾。著者らは多方向不規則波動場中の小口径円柱の部分波力に対する波力係数についても報告しているが、その範囲は KC 数が比較的小さく慣性力の卓越する範囲に限られていた。本研究では、KC 数の範囲を広げるために円柱の直径が小さい場合の水理実験を行って、多方向不規則波の作用波力について検討を加えたので、その結果の一部を報告する。

2. 水理実験：実験を中部電力(株)電力技術研究所の平面水槽で行った。静水深 h を 70cm で一定とし、多方向不規則波を作用させた。不規則波の周期 $T_{1/3}$ を 1.2, 1.6, 2.0s の 3 種類、波高 $H_{1/3}$ を 8.0, 10.0, 12.0cm の 3 種類変化させ、それぞれの波に対して S_{max} の目標値を 10, 25, 75, 999 の 4 種類変化させた。使用した円柱の直径 D は 4cm である。実験では、部分波力測定用と全波力測定用の 2 種類の円柱模型を作成し、同一の波浪条件で部分波力と全波力を計測した。部分波力は、静水面下 $d=15, 25, 45\text{cm}$ の位置に取り付けた高さ $dz=2\text{cm}$ の部分波力計測用セグメントの変位を円柱内部にセットした片持梁のひずみで検出し、波力に換算した。全波力の計測は、三分力計を計測台車に取り付け、この分力計に波力計測用の円柱を取り付けて行なわれた。なお、円柱がない状態での円柱セグメント位置における x, y 両方向の水粒子速度 u と v の計測も別途行った。すべての計測は静水状態から約 2 分間行い、その間の時間変化を時間間隔 50ms で離散化したデータをハードディスクに記録し、解析に使用した。

3. 解析方法：円柱前面 10cm の位置に固定した水位計の時間変化を使って、波力計測実験と流速計測実験の位相を合わせ、以降の解析を行った。まず、部分波力 dF_x と dF_y に式(1)と式(2)のモリソン式を適用し、計測した流速とそれから求めた加速度を使って最小自乗法によりモリソン式中の抗力係数 C_{DX} と C_{DY} 、および慣性力係数 C_{MX} と C_{MY} を計算した。

$$dF_x = 0.5C_{DX}\rho Du\sqrt{u^2 + v^2}dz + 0.25C_{MX}\rho\pi D^2\ddot{u}dz \quad (1) \quad dF_y = 0.5C_{DY}\rho Dv\sqrt{u^2 + v^2}dz + 0.25C_{MY}\rho\pi D^2\ddot{v}dz \quad (2)$$

ここに、 ρ は水の密度である。なお、この際、円柱前面の水位計の時間波形にゼロダウンクロス法を採用して決めた波別解析波毎に波力係数を計算するとともに、一つの時系列に対して一組の波力係数も計算した。さらに、波別解析波毎の最大波力などの計算も合わせて行った。ただし、紙面の都合上、本論では部分波力の波別解析波の波力と波力係数について議論することとする。

4. 最大波力の特性：図-1 と図-2 にそれぞれ x, y 方向の無次元最大波力と KC 数の関係を示す。ばらつきはあるものの全般的に $F_{xm}/\rho v_m^2 D dz$ は $KC_x(=u_m/T/D)$ の増大に伴いほぼ KC_x の-1 乗に比例して減少する。これは慣性力が支配波力成分であることを示す結果である。しかし、 KC_x が 10 前後になると減少の傾きは緩やかになる傾向が認められ、この付近で抗力の寄与が大きくなることを示唆している。一方、 $F_{ym}/\rho v_m^2 D dz$ は $KC_y(=v_m/T/D)$ の増加に伴い減少するが、その傾きは若干大きくなっている。また、同一の KC 数に対する無次元最大波力は x 方向よりも y 方向の方が大きい。多方向不規則波の中では、剥離渦の大きさは x, y 方向の流速の振幅よりもむしろ流速ベクトルの大きさに依存すると考えられる。したがって、同一の KC 数の値に対しては多方向不規則波の方が剥離域は大きいことが考えられ、そのため波力としては大きくなると考えられる。特に、本研究では主波向きを x 方向に設定しており、全般的には x 方向の水粒子の運動が y 方向よ

りも卓越する。したがって、x 方向波力に対する y 方向の水粒子運動の寄与よりも y 方向波力に対する x 方向の水粒子運動の寄与の方が大きいため y 方向の無次元最大波力が大きくなり、KC 数に伴う減少の割合が大きくなったと考えられる。ただし、無次元最大波力と KC 数の関係に及ぼす S_{max} の影響については、明瞭なものは現段階では見いだせず、水粒子の水平面内での運動パターンと波力の最大値の関係については今後更に検討が必要である。

5. 波力係数の特性： 図-3～6 に波力係数と KC 数の関係を示す。KC 数が約 5 以下の小さい範囲では慣性力係数にもばらつきが認められるが、全般的に慣性力係数は d/h に関係なく 2.0 前後の値であることがわかる。一方、抗力係数については、y 方向の値は KC 数の範囲が限られているが KC 数が 10 前後以上になると剥離渦の影響が強くなり、一定値に収束していく傾向がある。ただし、収束値は限られたデータ数ではあるが、1.5 前後であり、従来広く使われている値 1.0 よりは大きくなるといえる。これは、先に述べた波の多方向性の効果と考えられる。

ところで、これらの図は同一の波浪条件における波力係数の結果であるが、モリソン式による波力の計算値と実験値の相関の悪いものは除外してある。そのため、データ数に大きな差があり、したがって y 方向の波力に対するモリソン式の適用性は x 方向に比べて悪いことを示唆する。球体に作用する波力に対して、水粒子の運動の振幅の関係からモリソン式の適用範囲が示されているが、円柱であっても多方向不規則波動場では水平面内の水粒子の運動は u と v の二成分があり、球体と同様、モリソン式の適用範囲があるものと考えられる。この点についても今後のさらに検討する必要がある。

6. おわりに： 多方向不規則波動場中の小口径円柱の作用波力について考究した結果、波力の作用方向と直角方向の水粒子の運動の影響が無視できないことが判明した。今後これらについて定量的に論議していく所存である。〈参考文献〉1) 平石ら, 海工論文集, 第 41 巻, pp.836-840, 1994. 2) 水谷ら, 海工論文集, 第 43 巻, pp.866-870, 1996.

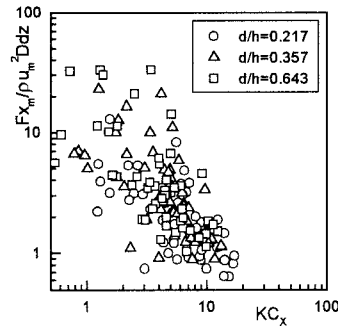


図-1 $F_{x_m} / \rho v_m^2 D dz$ と KC_x の関係

($D/h=0.057$, $h/gT_{1/3}^2=0.018$, $H_{1/3}/D=3.0$, $S_{max}=25$)

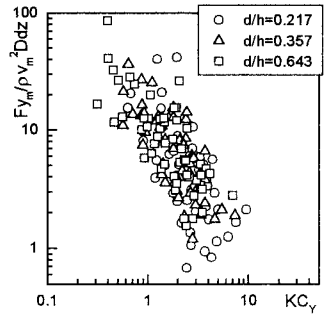


図-2 $F_{y_m} / \rho v_m^2 D dz$ と KC_y の関係

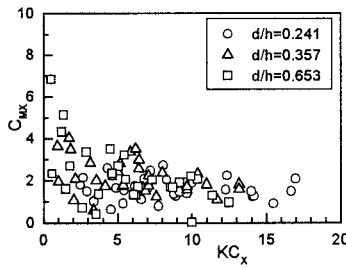


図-3 C_{Mx} と KC_x の関係

($D/h=0.057$, $h/gT_{1/3}^2=0.018$, $H_{1/3}/D=3.0$, $S_{max}=25$)

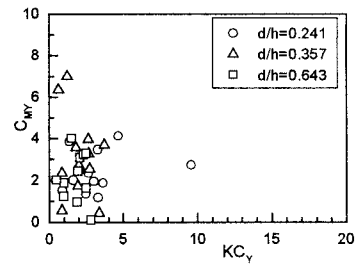


図-4 C_{My} と KC_y の関係

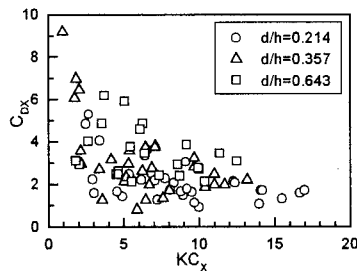


図-5 C_{Dx} と KC_x の関係

($D/h=0.057$, $h/gT_{1/3}^2=0.018$, $H_{1/3}/D=3.0$, $S_{max}=25$)

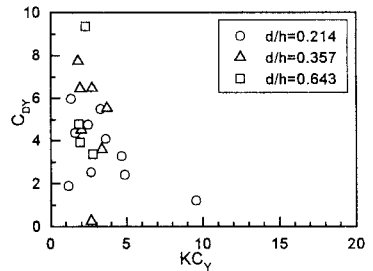


図-6 C_{Dy} と KC_y の関係