

## 水平円柱に作用する流体力に関する実験的研究

|                |     |         |
|----------------|-----|---------|
| 八千代エンジニアリング(株) | 正会員 | ○ 徳田 幸司 |
| 鳥取大学 工学部       | 正会員 | 松見 吉晴   |
| 米子市役所          | 正会員 | 瀬尾 玲司   |

1.はじめに 従来より円柱に作用する流体力に関する研究は盛んに行われてきたが、その研究のほとんどは自由水面に対して鉛直に設置した円柱についてのもので、水平に円柱を設置した場合の波力については鉛直円柱に比べてまだまだ研究例が少ない。そこで本研究では自由水面に水平に設置した円柱に作用する流体力について、水理学的な特性を実験的に検討した。

2.実験方法 流体力測定装置は、端固定の片持梁形式で、造波板より 10mの位置に設置した。本研究では作用波力が水平方向と鉛直方向に分離して測定できるように片持梁の部材として正方形断面を用いており、2組の4歪みゲージ回路を設定している。表-1は、本研究で行った実験の条件であり、図-1は解析に用いた座標系である。実験では表-1の実験条件で作用波力と自由水面の時間変動を約30秒間同時に測定した。

3.直方向力について (1)解析方法：抗力係数 $C_D$ および慣性力係数 $C_M$ の算定方法として、次のような方法を用いた。水面波形の記録データをゼロダウンクロス法により1波毎に区分し、その1波毎の波力データより最小二乗法を用いて $C_D$ および $C_M$ の計算を行っている。

(2)実験結果：図-2は前述した方法により得られた抗力係数 $C_D$ とKC数の関係を示したもので、円柱の設置位置は $e/D$ （円柱の設置位置 $e$ と円柱径 $D$ の比） $=0.2$ である。図中黒丸で示したものが各実験ケースの1波毎に得られた結果であり、白丸は各ケース毎の平均値を表している。KC>5の範囲で $C_D$ はKC数の変化に関係なくほぼ一定値をとることがわかる。しかし KC $\leq 5$ の範囲では $C_D$ が大きくばらついており、この原因として次のことが考えられる。流況の可視化実験より KC $\leq 5$ の範囲では渦の剥離が確認することができなかったため、このKC数の領域では作用波力において慣性力が卓越して抗力が小さくなっているためと考えられる。次に図-3は、 $e/D=0.2$ での慣性力係数 $C_M$ とKC数の関係を表したものである。この図についても $C_D$ の図と同様に1波毎の結果と各ケース毎の平均値の結果をそれぞれ黒丸、白丸で表している。この図から分かるように、 $C_M$ はKCとの関係がほとんど見られず一定値をとることができる。一方、 $C_D$ および $C_M$ は $e/D$ によって変化することから、図-4、図-5はそれぞれ $C_D$ 、 $C_M$ を $e/D$ をパラメータとして表したものである。ここで図中の白丸は各 $e/D$ における平均値を表している。この図より、 $C_D$ 、 $C_M$ はともに $e/D$ が増加するに従って減少する傾向を示している。すなわち、円柱を底面近傍に近付けるに従って底面境界の影響により $C_D$ 、 $C_M$ が増加する傾向を示している。以上のことより、 $C_D$ 、 $C_M$ は（ $C_D$ については渦の剥離が確認できるKC>5の範囲では）KC数との関係は一定とみなせ、 $e/D$ のみにより変化すると指摘できる。そこで、 $C_D$ 、 $C_M$ と $e/D$ の関係を回帰分析により対数近似式で示したのが図-4.5の実線である。なお、それぞれの対数回帰式と相関係数 $R^2$ を図に併記している。これらの近似式により $C_D$ 、 $C_M$ と $e/D$ の関係を表しうることがわかる。

4.揚力について (1)揚力の定義：本研究では揚力係数 $C_L$ を算定するにあたって揚力を、実測の鉛直方向作用波力より鉛直方向水粒子の運動による直方向力の影響を除いたものとして、次のように定義した。

$$F_L = F_{vexp} - F_{calv}$$

ここに、 $F_{vexp}$ は実測の鉛直方向作用波力、 $F_L$ は揚力、 $F_{calv}$ は鉛直方向水粒子運動による直方向力、

$$F_{calv} = C_D \rho D \frac{|v|}{2} v + C_M \rho \frac{\pi D^2}{4} \frac{dv}{dt}$$

（ $\rho$ ：流体の密度、 $v$ ：円柱の中心位置での鉛直方向水粒子速度、 $dv/dt$ ：円柱の中心位置での鉛直方向水粒子加速度）である。そして、揚力係数 $C_L$ は次の式により求めた。

$$C_L = \frac{2 F_L}{\rho D |u| u}$$

ここで、 $u$ は円柱の中心位置での水平水粒子速度である。

(2)実験結果：図-6は $C_L$ とKC数の関係の1例として $e/D=0.2$ の結果を示したものである。なお、流況の可視化実験で渦の発生が認められなかった $KC \leq 5$ の範囲についてはプロットしていない。 $C_L$ とKC数の関係は $e/D$ によって異なるが、その変化特性はKC数が10以上の範囲で各 $e/D$ 毎に一定値をとる傾向を示している。図-7は $C_L$ を $e/D$ をパラメータとして表したものである。図中白丸は各円柱設置位置での平均値を表している。 $C_L$ は $C_D$ および $C_M$ と同様に円柱を底面近傍に設置した場合、底面からの影響を受けて、他の $e/D$ における $C_L$ の約2倍の値まで大きくなることがわかる。

5. おわりに 本研究により、直方向力について、波力係数 $C_D, C_L$ は $e/D$ の関数として表せることがわかった。また揚力についても $C_L$ がKC数および $e/D$ によって変化することが明らかになった。今後は直方向力と揚力を合わせた合成波力の定式化について、揚力の周波数特性も考慮した検討を行っていく予定である。

|        |          |                                   |
|--------|----------|-----------------------------------|
| 水深     | $h$ (cm) | 50.0                              |
| 円柱設置位置 | $e$ (cm) | 1.0, 4.0, 7.1, 17.1               |
| 周期     | $T$ (s)  | 0.8, 1.0, 1.4, 1.8, 2.1, 2.6, 3.0 |
| 波高     | $H$ (cm) | 2.0 ~ 18.0                        |

表-1 実験条件

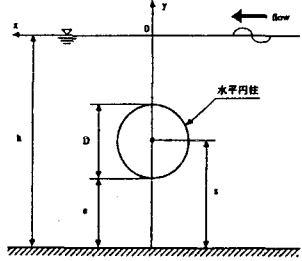


図-1 座標系

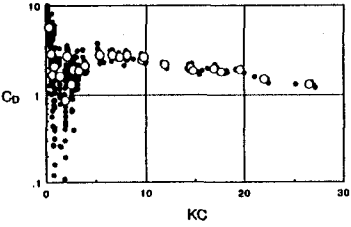


図-2 Relationship between  $C_D$  and KC ( $e/D = 0.2$ )

$$C_D = -0.84170 \log(\%D) + 1.5367 \quad R^2 = 0.948$$

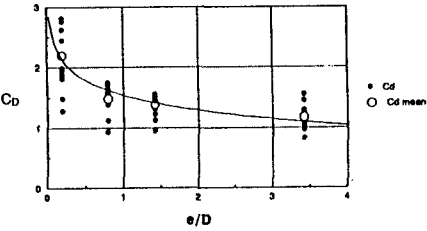


図-4 Relationship between  $C_D$  and  $e/D$  ( $KC > 5$ )

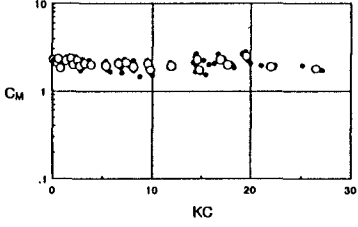


図-3 Relationship between  $C_M$  and KC ( $e/D = 0.2$ )

$$C_M = -0.47818 \log(\%D) + 1.7089 \quad R^2 = 0.958$$

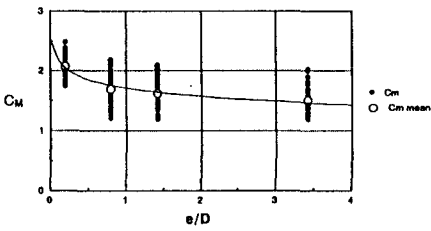


図-5 Relationship between  $C_M$  and  $e/D$

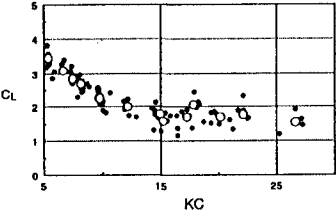


図-6 Relationship between  $C_L$  and KC ( $e/D = 0.2$ )

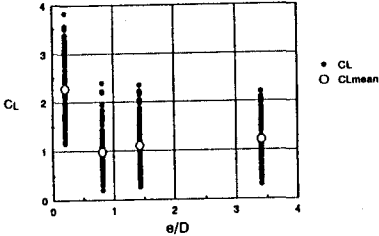


図-7 Relationship between  $C_L$  and  $e/D$