

回折波による円柱周辺の水粒子速度について

京都大学 工学部 正 員 岩垣雄一
 京都大学 大学院 学生員 石田 啓
 京都大学 研究生 正 員 喜岡 渉

1. 緒 言 円柱状構造物に作用する波力の算定には、一般にモリソン公式を用い、特に大口径円柱の場合には、MacCamy-Fuchs らによる回折理論を用いるが、前者においては抗力係数の特性が不明確であり、後者では、後流剝離などに伴う抗力が考慮されていない欠点がある。したがってより正確に波力を算定するためには、円柱周辺の波の内部機構と波力の発生機構との関係について調べる必要があり、その第一段階として、本研究では、円柱のまわりの回折波の水粒子速度について取り扱うこととする。

2. 理 論 座標系を図-1 のようにとると、回折波の水平方向水粒子速度の円柱壁に沿う方向の成分 U と半径方向の成分 V は、MacCamy-Fuchs の誘導した速度ポテンシャル中より、

$$U = \frac{1}{r} \frac{\partial \phi}{\partial \theta} = \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kR} \frac{1}{kR} \left[-\sum_{n=1}^{\infty} E_n \cdot n \left\{ J_n(kr) - \frac{J_n'(kR)}{H_n^{(2)}(kR)} H_n^{(2)}(kr) \right\} \sin n\theta \right] \cdot e^{i\omega t} \quad (1)$$

$$V = \frac{\partial \phi}{\partial r} = \frac{\pi H}{T} \cdot \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kR} \cdot \left[\sum_{n=0}^{\infty} E_n \left\{ J_n'(kr) - \frac{J_n'(kR)}{H_n^{(2)}(kR)} H_n^{(2)'}(kr) \right\} \cos n\theta \right] \cdot e^{i\omega t} \quad (2)$$

で表わされる。ここに、 H は波高、 T は周期、 h は水深、 z は測定点、 R は半径、 k は波数、 ω は角周波数、 J_n 、 $H_n^{(2)}$ および J_n' 、 $H_n^{(2)'}$ は n 次のベッセル関数、 n 次の第2種ハンケル関数およびそれらの導関数であり、 E_n は $E_0=1$ 、 $E_n=2(-i)^n$ 、 $n \geq 1$ である。

図-2 は、式(1)の回折波の水粒子速度 U と、進行波の水平方向水粒子速度の最大値との比を、 $\theta=90^\circ$ 、 $t/T=0.25$ の場合について計算したもので、円柱の径が波長に比べて小さい場合 ($kR \leq 0.5$) には、壁面上 ($r/R=1$) の水粒子速度は、進行波の水粒子速度の約2倍となるこ

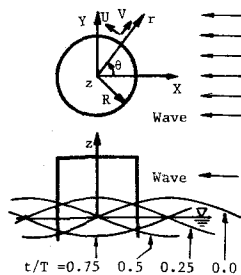


図-1. 座標系

とがわかるが、これは、定常流の場合に、円柱壁面上の $\theta=90^\circ$ での流速が、主流速度の2倍になることに対応していると言える。また、円柱から遠ざかるにつれて水粒子速度は小さくなり、 $r/R \geq 5$ では、進行波の水粒子速度にほぼ一致することがわかる。

3. 実 験 回折波の水粒子速度を測定するために、長さ17.5m、幅1.5m、深さ75cmの水槽の中央に、図-3に示すように、半径 $R=10$ cm のアクリル製円柱を設置し、直流

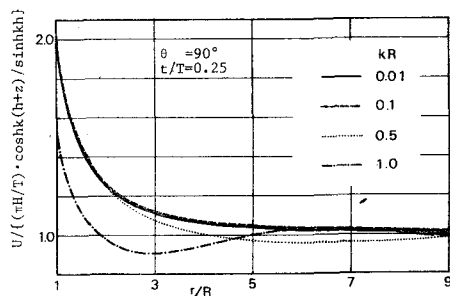


図-2. 回折波の水粒子速度 U ($\theta=90^\circ$)

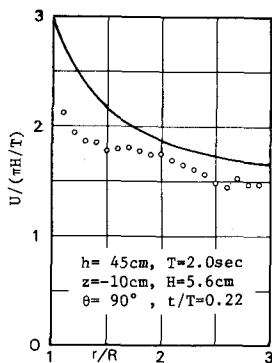
パルス発生装置を用いて、円柱側壁から水平に張った白金線(直径 0.1 mm)より水素気泡列を発生させ、これを水面上より写真撮影したが、白金線にはほぼ 1 cm ごとにペンキが塗付されており、気泡の r 方向および θ 方向の移動位置を知ることができる。その一例を写真-1 に示すが、これらの写真から、気泡間隔を読みとり、気泡発生時間間隔で割ることにより、 U および V の値を算出した。

4. 結果および考察 実験結果の数例を図-4 (a)~(e) に示す。図中の白丸は測定値であり、実線は式(1)あるいは式(2)による理論曲線である。両者の傾向はほぼ一致していると言えるが、値そのものは、全般的に実験値の方が小さい。しかしながら、測定値には、速度場が時間的場所的に変化することにもとづく誤差が混入しており、したがって、より正確を期すためには、ストリークラインそのものの形状について、理論値と実験値と比較することが考えられる。

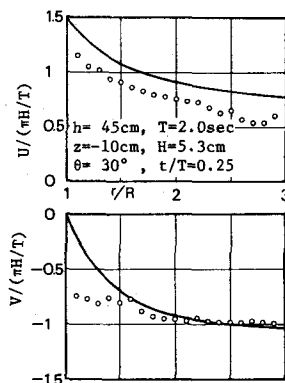
なお本実験の範囲では、層流剝離やそれに伴う後流渦などは発生しなかったが、これらについても、すでに理論的および実験的研究をおこなったので、次の機会に述べることにする。



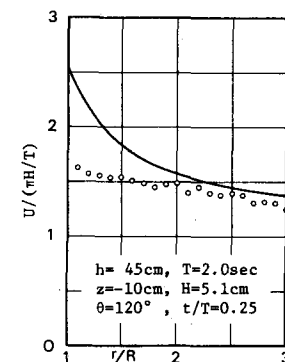
写真-1. 気泡列($\theta=30^\circ$)



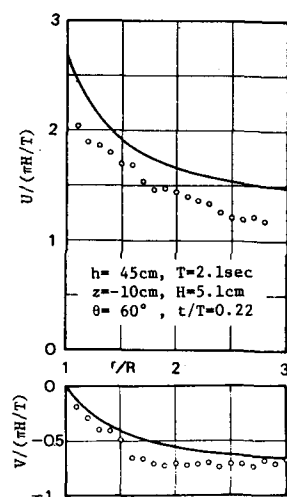
(c) $\theta=90^\circ$



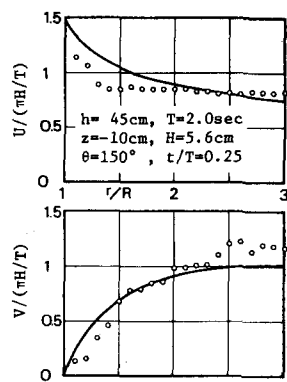
(a) $\theta=30^\circ$



(d) $\theta=120^\circ$



(b) $\theta=60^\circ$



(e) $\theta=150^\circ$

図-4. 円柱波の水粒子速度 U および V の分布

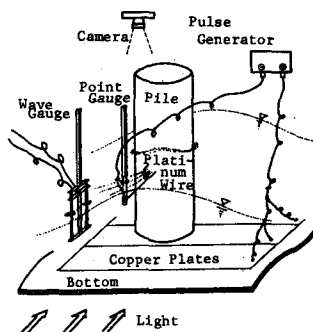


図-3. 実験装置模式図