

## II-281 直立円柱のおかれた波動場底面上の渦運動

|         |     |      |
|---------|-----|------|
| 東京大学大学院 | 学生員 | 横木裕宗 |
| 東京大学工学部 | 正 員 | 小林智尚 |
| 東京大学工学部 | 正 員 | 磯部雅彦 |
| 東京大学工学部 | 正 員 | 渡辺 晃 |

**はじめに** 波動場での円柱まわりの局所洗掘現象を説明するには、その円柱まわりの流体運動の特徴、すなわち円柱からの剝離渦や馬蹄形渦などの渦運動を捉えることが重要である。本研究では特に円柱前後の底面近傍の流れに着目し、その特徴を渦度の視点から定量的に計測して考察を行った。

**実験結果および考察** 実験は2次元波動水路中に直立円柱を設置し、円柱前後の底面近傍の鉛直断面（円柱中心軸を通り波の進行方向に平行な断面）内流速分布を2次元レーザー・ドップラー流速計で測定して、位相平均などの処理を行った。以下では、座標系は円柱の中心軸をz軸、底面を $z=0$ とし、波の進行方向にx軸をとる。また位相 $\theta$ は座標原点上の波峰通過時を $\theta=0(2\pi)$ とする。

まず、水深10.0cm、周期1.5秒、波高3.9cmでUrsell数が86の非線形性の強い波動場に直径48mmの直立円柱を設置して測定を行った。このときK.C.数は3.1であり、測定面 $y=0$ に関してはほぼ対称で、周期的再現性のある流況が観察された。

円柱の沖側の流況を渦度と位相平均流速ベクトルの分布によって図-1に示す（渦度 $\omega_y$ の単位は $s^{-1}$ で、時計まわりが正）。波峰通過時前後に底面では正の渦度が生成し（ $\theta=0$ ）、移流により円柱前面に集中する。そして、主流の減速反転時にはこの集中した渦度により円柱前面の底面から負の渦度が生成しはじめ、底面上では大きな沖向き流速が誘導されている（ $\theta=2\pi/8$ ）。主流の反転後、測定領域は後流域に入り、急激な乱れの発生が測定された。このとき、波峰通過時前後に底面より発生した正の渦度は底面ごく近傍に存在する負の渦度と混合し急激に減衰・消散していく（ $\theta=4\pi/8$ ）。ほぼ $\theta=6\pi/8$ より円柱前面近傍では円柱からの剝離渦に誘導された岸向きの流れが測定された。この流れによりほぼ $x=-35\text{mm}$ 付近を境にそれより沖側の底面上に生成された負の

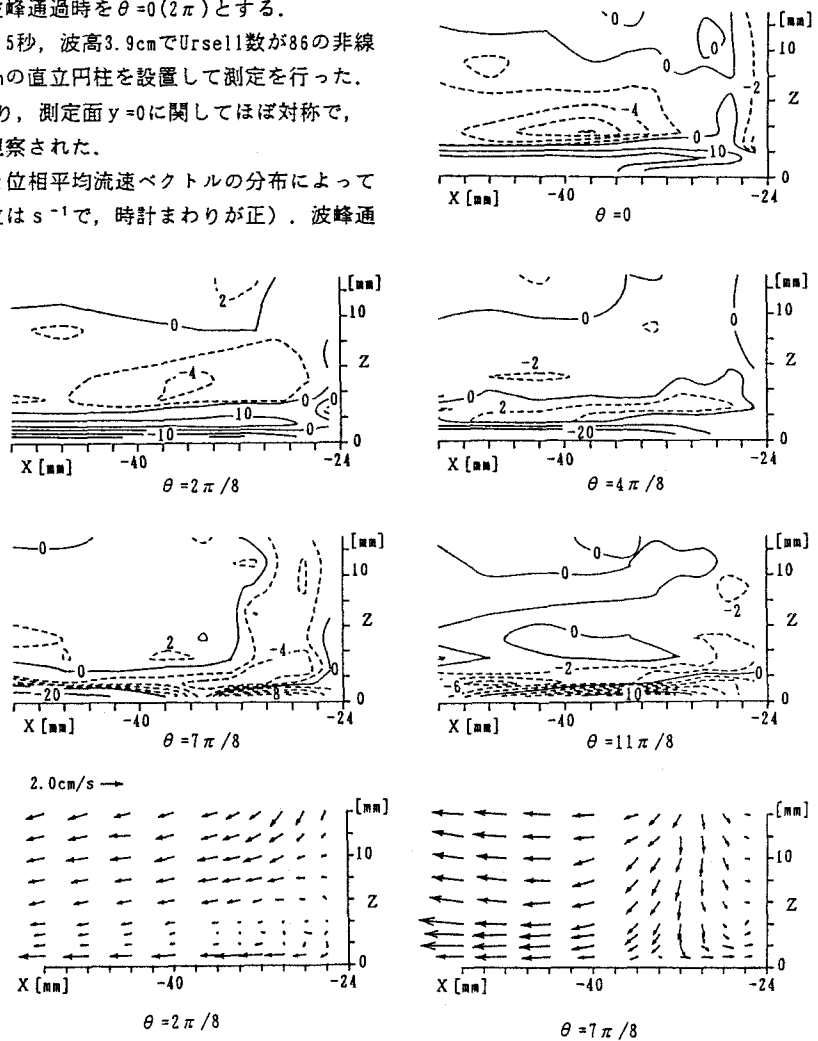


図-1 円柱沖側の流速分布と渦度分布（ $y=0$ ）  
（円柱表面： $x=-24\text{mm}$ ）

渦度は、主流により沖側に輸送され、波峰通過時( $\theta=0\pi/8$ )には主流に乗って再び円柱に接近する。他方上記の境界より岸側に存在する底面上の負の渦度は波峰通過直後とはほぼ同じメカニズムで円柱のすぐ沖側に集中し、今度は正の渦度を生成させている( $\theta=7\pi/8$ )。この集中した負の渦度は乱れの多い領域中にあるため $\theta=11\pi/8$ にはほぼ消散している。 $\theta=5\pi/8\sim 13\pi/8$ において円柱沖側の測定面内ではほぼ定常的な下降流が存在している。これは相対的に大きな底面流速による円柱からの剥離渦の3次元変形、あるいは円柱まわりの馬蹄形渦の存在に起因するものと考えられるが、これを明らかにするためには今後3次元的計測を行う必要がある。またこの下降流により円柱表面では寿命の短い負の渦度が発生している。円柱を設置しない場合と比較して、円柱沖側底面近傍では有意な渦度の分布領域の高さは2～3倍程度となっている。

円柱岸側底面近傍の測定平面内の流れを図-2に示す。本実験での円柱岸側の流れは波峰通過後の剥離渦によって特徴づけられている。非線形性の強い波を用いたため特に岸向き最大流速は大きく波峰通過時にはほぼ底面全面で大きな正の渦度が生成しているが、円柱近傍ではすでに負の渦度も生じはじめている( $\theta=0$ )。この負の渦度は、円柱沖側のような逆向きの渦度の集中(図-1:  $\theta=7\pi/8$ )により生成したものではなく、円柱からの剥離渦により誘導されたものである。波峰通過時に底面で発生した大きな正の渦度は、この負の渦度に打ち消され急激に減衰する( $\theta=\pi/8$ )。さらにこの負の渦度は、継続時間の長い強い沖向き流れ( $\theta=3\pi/8$ )によって円柱前面に集まり、円柱沖側(図-1:  $\theta=7\pi/8$ )より強い集中した負の渦度を示すようになる( $\theta=5\pi/8$ )。円柱岸側では円柱からの剥離渦により、波峰通過後すぐに強い沖向き流れが生ずる( $\theta=3\pi/8$ )。そしてこのとき円柱沖側の流れ(図-1:  $\theta=7\pi/8$ )と同様の下降流が生じている。この場合には波峰通過直後の円柱岸側の後流域にみられる水面低下の影響もあるのではないと思われる。波の谷の通過前後から主流の反転直前までは、円柱前面底面上(図-1:  $\theta=5\pi/8$ )で見られた負の集中渦度に誘導された正の渦度の発達も緩やかで、円柱岸側の測定面内の流況はそれほど大きな変化を示さない( $\theta=10\pi/8$ )。

次に水深27.0cm、周期3.0秒、波高10.0cmの波動場に直径117mmの円柱を設置し、同様の測定を行なった。このときのUrSELL数、K.C.数はそれぞれ121、13.7で、ともに前のケースより大きな値となっている。その結果、前の測定結果とはほぼ同じ特徴がみられたのに加えて、1) z方向に一様性が多少高くなり、2)円柱岸側での剥離渦が強くなってその影響で岸側測定面内では波峰通過直後の $\theta=\pi/5$ で沖向き最大流速が現れる(図-3)、などの現象が観察された。1)は、前のケースより強くなった円柱からの剥離渦が場を混合したためであると考えられる。

**結論** 波動場における円柱前面の底面上では、ほぼ半周期前に生成された渦度が新たな渦度の生成を助長し、ひいては底面上での大きな流速発生の一因となっている。また、非線形性の大きい波動場において、円柱岸側では剥離渦の誘導速度により長時間の沖向き流速が発生し、円柱前面の渦度生成に寄与している。

**参考文献** 1)西沢 勝, 他(1988): 第43回年講, pp.458-459

2)岩垣雄一, 他(1982): 第29回海講, pp.443-437

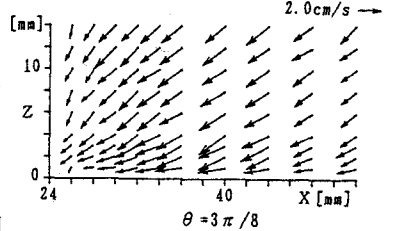
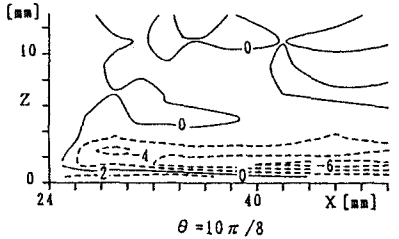
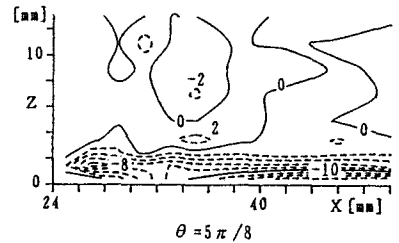
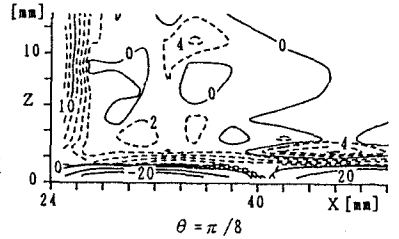
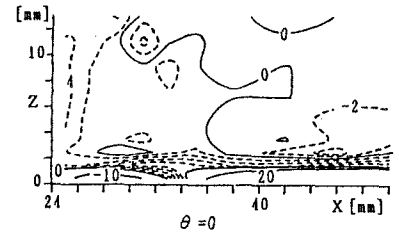


図-2 円柱岸側の流速分布と渦度分布  
( $y=0$ ) (円柱表面:  $x=24\text{mm}$ )

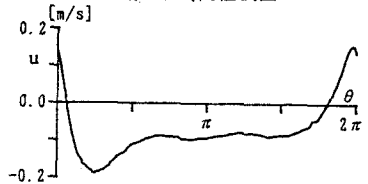


図-3 円柱沖側の流速  $u$   
( $x=74.5\text{mm}$ ,  $y=0\text{mm}$ ,  $z=8\text{mm}$ )