

波動場に設置された単独円柱周辺の河床せん断力計測

防衛大学校建設環境工学科 学生会員 ○斎藤 良
防衛大学校建設環境工学科 正会員 林建二郎

1. 目的

流水中に置かれた構造物の安全や水辺植生の生育維持において、これら物体周りの局所洗掘は大きな問題となる。筆者等は、開水路定常上流中に置かれた円柱群周りの局所洗掘特性を調べることを目的として、円柱周りの底面せん断応力の直接計測を試み、円柱群中の底面せん断力は、単独円柱の場合より増加することを明らかにした¹⁾。本研究は、波動場に設置された上記物体の局所洗掘特性と抵抗則を明らかにすることを目的として、2次元造波水槽内に鉛直設置された単独円柱周辺の底面せん断力の直接計測を試みたものである。

2. 実験方法

実験には、図-1に示す長さ40m、幅0.8m、高さ1mの吸収式造波装置付き2次元造波水槽を用いた。海洋構造物や植生と見立てた単独円柱 ($D=3\text{cm}$ 、長さ $l=1\text{m}$) 周辺に作用する波進行方向の底面せん断力を水路床下面に設けたせん断力計 (容量 1gf/cm^2 、固有振動数 40Hz) を用いて計測した。使用したせん断力計の精度確認のため、せん断力計の位置における流速及びレイノルズ応力の水深方向分布を2成分レーザードップラー流速計を用いて計測した。これら計測例の一例を図-2に示す。レイノルズ応力及び流速分布より求めた底面せん断応力の値はそれぞれ $\tau=1.8\text{mgf/cm}^2$ 、 2.0mgf/cm^2 であり、せん断力計で計測した値 $\tau=1.8\text{mgf/cm}^2$ との一致は良好であった。

まず、円柱がない場合の底面せん断応力計測 (周期 $T=2\sim 4\text{sec}$ 、波高 $H=2\sim 26\text{cm}$) 実施し、その後、 $T=2\text{sec}$ 、 $H=10\text{cm}$ の規則波 (KC 数 $=13$) を用いて単独円柱周辺のせん断力 τ 、波水粒子速度 U 及び波高 H を計測した。図-3に示すように、本実験においては安定した後流渦が半周期ごとに円柱の南側に発生する状況であった。せん断力の計測範囲は、 $-11.6\text{cm} < x < 11.6\text{cm}$ 、 $-10\text{cm} < y < 10\text{cm}$ である。なお、水路幅中央に設置した円柱中心から岸方向を x 方向の正、横断南方向を y 方向の正とした。

3. 結果および考察

(1) 円柱がない場合

円柱がない場合及び単独円柱を設置した場合の、せん断力 τ 、境界層外縁の波水粒子速度 U_b 及び水位変化 η の時間変化の一例 (規則波： $T=2\text{sec}$ 、 $H=10\text{cm}$) を図-4にそれぞれ示す。円柱のない場合、せん断力 τ は底面層流境界層外縁流速 U_b に対して、位相が約 $\pi/4$ 進んでいることがわかる。

円柱がない場合の、岸方向最大せん断力 τ_{max} 及び沖方向最大せん断力 τ_{min} の絶対値の流速 U_b 及び波高 H に対する変化特性を周期 $T=2, 3, 4$ をパラメーターとして図-5に示す。岸側斜面からのもどり流れの影響のため、岸方向のせん断力 τ_{max} より沖方向のせん断力 τ_{min} の方が若干大きくなっている。

(2) 単独円柱がある場合

単独円柱周りの岸方向の最大せん断力 τ_{max} 及び岸方向の最大波水粒子速度 U_{max} の横断方向分布を図-6に示す。岸方

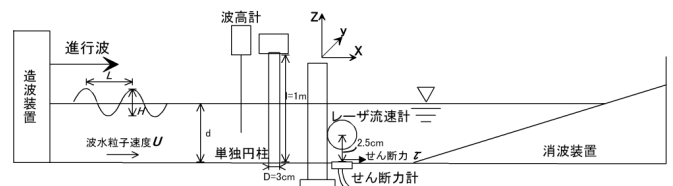


図-1 実験装置概要図

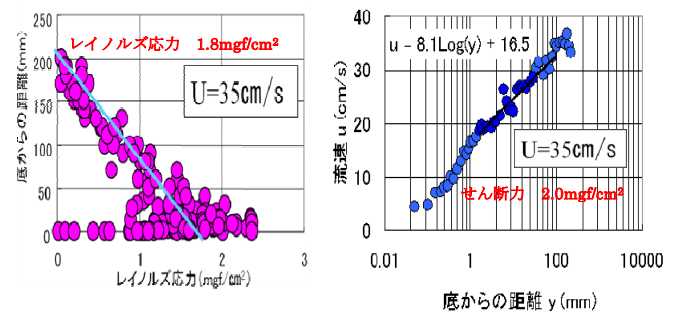


図-2 レイノルズ応力及び流速分布図

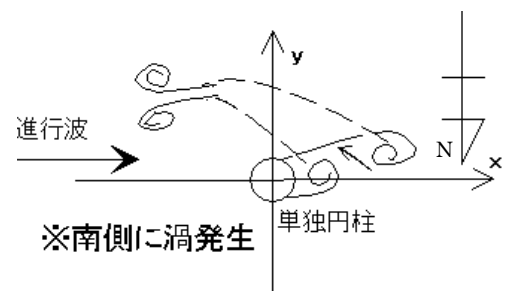


図-3 後流渦の発生状況

向の最大せん断力 τ_{max} 及び岸方向の最大波水粒子速度 U_{max} については、円柱のない場合の岸方向の最大せん断力 $\tau_{0max}=3.248\text{mgf/cm}^2$ 及び岸方向の最大波水粒子速度 $U_{0max}=20\text{m/s}$ でそれぞれ無次元化している。

円柱真横 $x/D=0$, $y/D=0.5$ において局所的に τ_{max}/τ_{0max} =約 5 倍の大きなせん断力が生じている。円柱の沖側方向においては、 $x/D=-3.3$ 程度離れると渦の影響がなくなっている。また、横断方向における渦の影響は $y/D>1.7$ 程度離れるとなくなっている。円柱の岸側方向においては、 $x/D=1.2$, $y/D=1$ において局所的に τ_{max}/τ_{0max} =約 5 倍の大きなせん断力が生じている。 $x/D>3.9$ 程度離れると渦の影響がなくなる。

後流域では、局所的に $x/D=1.9$, $y/D=1$ の付近において渦の影響に伴う大きなせん断力の出現が見られる。これは、北側に放出された渦の発達によるものだと考えられる。また、横断方向における渦の影響は $y/D>3$ 程度離れるとなくなる。

円柱の南側における強い渦の発生により、円柱南側でのせん断力は大きな値となっている。円柱近傍におけるせん断力の増加は馬蹄形渦の発生に伴うもので²⁾、円柱近傍における局所洗掘に影響を与える。岸方向の最大波水粒子速度 U_{max} は岸方向の最大せん断力 τ_{max} と概ね同様の傾向が認められる。一方、円柱近傍付近においてはその傾向が異なる場合がある。これは、大きな鉛直方向流速の円柱近傍での発生により、底面近傍での水平方向流速も大きくなり底面上での速度勾配が増加したことが原因である²⁾。

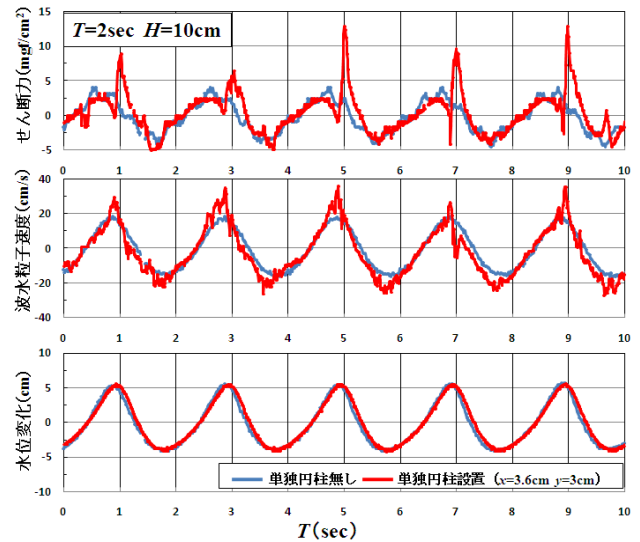


図-4 せん断力 τ 、波水粒子速度 U 及び波高 H の時間変化

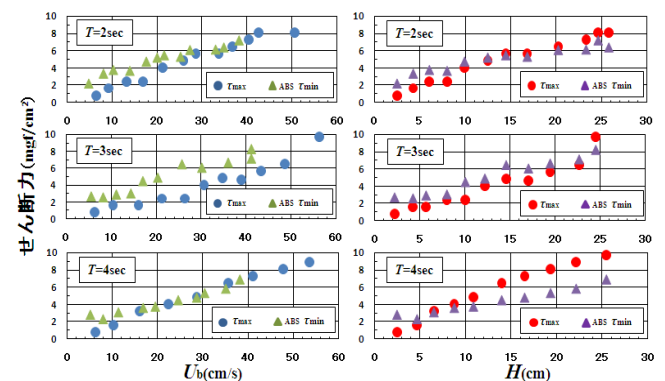


図-5 円柱がない場合の流速及び波高に対するせん断力特性

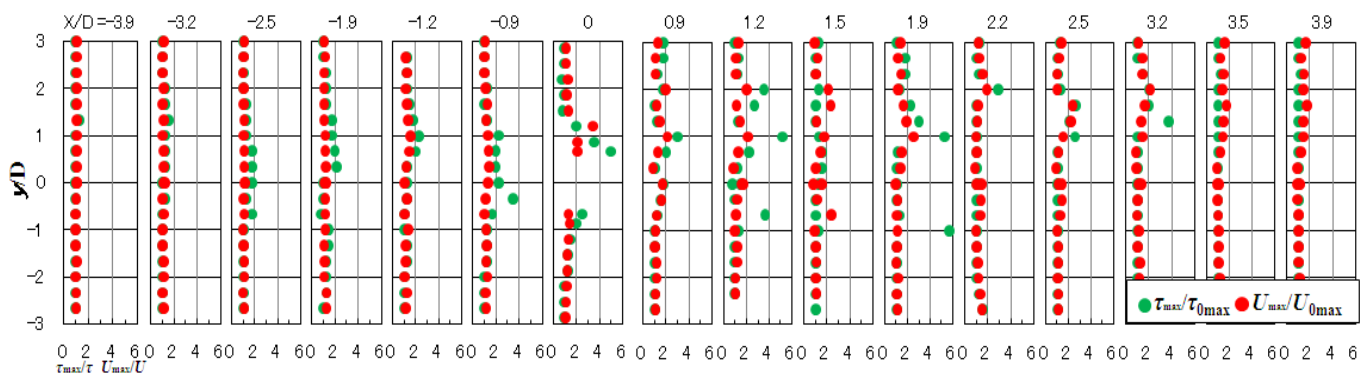


図-6 円柱周辺におけるせん断力分布図

4. 結言

せん断力の直接計測及び2成分レーザードップラー流速計測により、円柱の底面近傍に発達する馬蹄形渦及び円柱後流渦の、単独円柱周りの底面せん断分布特性に与える影響を調べた。波動場における単独円柱周辺の滑面河床には、円柱がない場合に比べて大きなせん断力が作用することを明らかにした。

参考文献

- 1) 林 ら：開水路中に設置された円柱群の河床せん断力計測 第63回年次学術講演会論文集 II-268
- 2) 石田ら：振動流中に設置された直立円柱周辺の馬蹄形渦および後流渦の特性 土木学会論文集 N0.705/II-59 pp.115-128