

京都大学大学院 学生員 日紫喜 剛啓
京都大学防災研究所 正員 今本 博健
熊谷組(株) 正員 藤田 徹

1. はじめに

円柱周辺における底面せん断応力は局所洗掘問題などと密接に関連しており、その特性を解明するため従来より多くの研究がなされている。例えば、中川・鈴木¹⁾らはプレストン管を用いて、またMelville-Raudkivi²⁾らは底面近傍での流速分布から円柱周辺における底面せん断応力を計測し、それぞれ興味ある結果を得ているが、いずれにおいても時間平均的なせん断応力が対象とされるとともに、プローブ挿入による流れへの影響が問題点として残される。本報告は、底面せん断応力計測用として最近実用化されたフラッシュ・マウンティング・プローブを用いて、開水路流れに設置された円柱周辺の平均および変動底面せん断応力を計測し、若干の検討を行なったものである。なお、実験水路は長さ13m、幅40cmであり、路床勾配は水平に保たれている。また、本実験における水理条件は表-1にまとめられている。

表-1

Series	Discharge Q(l/sec)	Depth H(cm)	Mean Velocity U _m (cm/sec)	Cylinder Diameter D(cm)	Reynolds Number Re=U _m D/ν	Froude Number Fr=U _m /√gH	Slenderness Ratio H/D
A-1	3.97	4.97	19.97	1.00	2.00 × 10 ³	0.29	4.97
2	2.02	2.55	19.78	1.00	1.98 × 10 ³	0.40	2.55
3	1.06	1.25	21.09	1.00	2.11 × 10 ³	0.60	1.25
B-1	4.21	5.08	20.73	4.00	8.29 × 10 ³	0.29	1.29

2. 円柱周辺の底面せん断応力分布

実験Aは一定の円柱径Dを用い、流量Qおよび水深Hを調節することにより、円柱レイノルズ数 $Re_D (=U_m D/\nu)$ (U_m :断面平均流速、 ν :動粘性係数) = 2000 の一定値に保つとともに、細長比 H/D あるいはフルード数 $Fr (=U_m/\sqrt{gH})$ (g :重力加速度)が変化されるようにしたものである。

図-1は、底面せん断応力の平均値 $\bar{\tau}/\bar{\tau}_\infty$ ($\bar{\tau}_\infty$:円柱が設置されない場合の底面せん断応力の平均値)の分布を実験Aの3種の場合について示したものであり、 $\bar{\tau}/\bar{\tau}_\infty$ はいずれの場合もよく似た分布形状を示し、 H/D による差異はほとんどない。すなわち、円柱側方および後流域では $\bar{\tau}/\bar{\tau}_\infty$ の大きくなる領域が認められ、円柱設置による底面せん断応力への影響域は円柱側方に $y/D = 6$ 程度、後流域には $x/D = 10 \sim 15$ のかかなり遠方にまで及ぶことが知れる。また、円柱前面 $x/D = -3$ 付近では $\bar{\tau}/\bar{\tau}_\infty = 0.5$ と底面せん断応力は低下している。

図-2は、底面せん断応力の変動値 $\sigma/\bar{\tau}_\infty$ ($\bar{\tau}_\infty$:円柱が設置されない場合の底面せん断応力のr.m.s.値)の分布を示したものであり、3種の場合による差異はほとんどないが、 $\sigma/\bar{\tau}_\infty$ の値の大きな領域は、 $\bar{\tau}/\bar{\tau}_\infty$ の場合と異なり、円柱近傍および後流域に限られることが知れる。

以上のように、後流域での平均および変動底面せん断応力は、いずれもかなり遠方まで円柱の設置されない場合に比しての値は小さくなるが、このような特性をより明確にするため $\bar{\tau}/\bar{\tau}_\infty$ および $\sigma/\bar{\tau}_\infty$ の後流軸上の流下方向分布を示すと図-3のようになる。この図よ

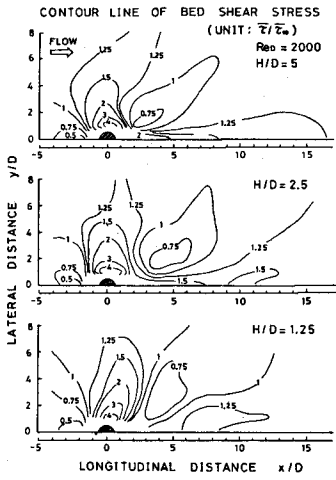


図-1

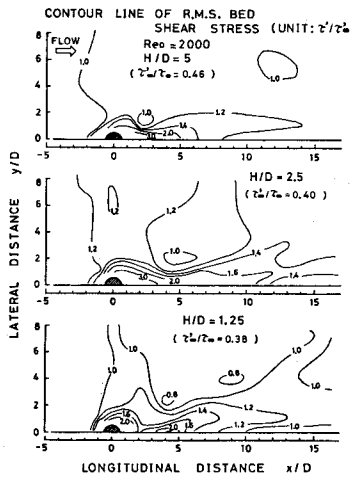


図-2

り、 $\overline{v}/\overline{v}_\infty$ および $v'/\overline{v}_\infty$ は $x/D < 40$ の領域ではほぼ一定勾配で減少し、 $x \geq 40$ では $\overline{v}/\overline{v}_\infty$ および $v'/\overline{v}_\infty$ はいずれも1に漸近することが知れる。

図-4は、サンプリング周波数 $f_s = 20 \text{ Hz}$ 、データ数 $N = 500$ および $f_s = 100 \text{ Hz}$ 、 $N = 2500$ の2種のデータより得られた底面せん断応力変動のスペクトル $S(f)$ を示したものであり、 $S(f)$ はとくに円柱のない場合、流速変動のスペクトルとほぼ同様な形状を示し、慣性領域に対応する $-5/3$ 乗則および粘性領域に対応する -3 および -7 乗則（図中では $f \cdot S(f)$ で表示されているため、それぞれ $-2/3$ 、 -2 、 -6 の勾配が対応する）の適用される領域の存在が確かめられるが、円柱が設置された場合、円柱背後の $x/D = 4$ では他の場合に比し $S(f)$ は全般的に大きく、広い周波数にわたる変動成分の存在していることが知れる。一方、ストローハル数 $St (= f_{ps} \cdot D / U_m, f_{ps}: \text{渦の離脱周波数}) = 0.2$ として f_{ps} を逆算すると $f_{ps} \approx 4 \text{ Hz}$ となり、 $x/D = 4$ にみられるピーク周波数 $f_p \approx 8 \text{ Hz}$ と比較すると、 $f_p = 2 f_{ps}$ であることが知れ、底面せん断応力変動は円柱の両側より離脱される渦に支配されるものと考えられる。なお、 $x/D \geq 40$ ではスペクトルも円柱が設置されない場合のものに近いものとなっている。

以上より、円柱近傍を除く円柱側方では底面近傍の流速勾配の変化が主要因となり、また後流域では渦の影響により底面せん断応力が増加するものと考えられるが、今後詳細な検討を要する。

3. 円柱近傍の底面せん断応力

実験Bは、円柱近傍の底面せん断応力の特性を把握するため、 $D = 4 \text{ cm}$ 、 $H/D = 1.25$ について実験を行ったものである。図-5は、 $\overline{v}/\overline{v}_\infty$ および $v'/\overline{v}_\infty$ の分布を示したものであるが、プローブの特性上、逆流域および底面せん断応力が正負に変動するような領域では計測の信頼性に欠けるため、計測結果から省略されている。この図より、 $\overline{v}/\overline{v}_\infty$ の大きな領域は円柱側方を中心に流れ方向へと広がり、また $v'/\overline{v}_\infty$ の分布も $\overline{v}/\overline{v}_\infty$ の分布と類似し、底面せん断応力の大きな領域はその変動もまた大きいことが知れる。従来の研究より、円柱周辺の局所流場は初期には円柱側方と馬蹄型渦の形成される前面で始まることが明らかとなっているが³⁾、円柱側方に関しては本実験結果とよく一致している。

4. おわりに

実験Aの計測領域では円柱設置に伴う底面流線の変形が小さく、底面せん断応力は流下方向に正の向きをもつものととして差し支えないが、実験Bにおいては底面流線の変形が大きく、必ずしも流下方向成分が卓越するとは限らないため、計測の信頼性はかなり低下しているものと考えなければならず、今後の検討課題としたい。

参考文献

- 1) 中川・鈴木：第16回水理講演会講演集，1972。
- 2) Melville - Raudkivi：J. Hyd. Res.，15, no.4, 1977。
- 3) 中川・鈴木：京大防災研究所年報，第17号B，1974。

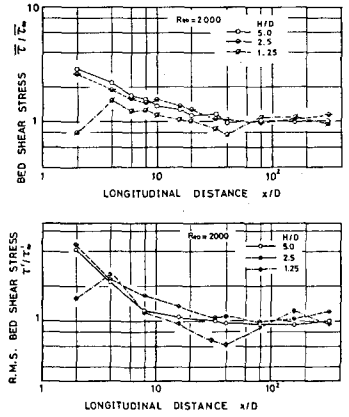


図-3

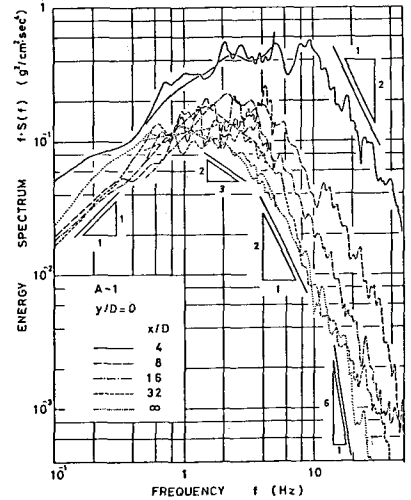


図-4

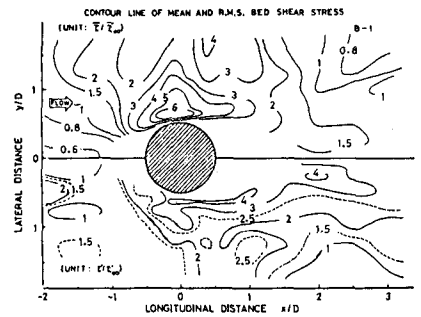


図-5