

II-195

球状粗度に働く流体力の特性について

早稲田大学 大学院 学生員 渡戸正義

早稲田大学 大学院 学生員 植松龍二

早稲田大学 理工学部 正 員 吉川秀夫

1、はじめに、

河床砂れき及び護岸に働く流体力の特性の解明は防災上重要である。しかし、流れを三次元的に考えて、底面が粗面についての横断方向の底面せん断力を測定した研究は、過去に余りないと思われる。そこで、本研究では、河床上の砂れきや護岸等のモデルとして、風洞の底面に半球を密に敷き詰めた粗面を考え、半球に働く流体力の測定、また可視化を用いて、粗度要素近傍の流れの状況を観察することにより、横断面内での二次流の、粗度要素に働く流体力に及ぼす影響について検討を加えたものである。

2、実験装置

実験は、長方形風洞の底面に径 $d=3.8\text{cm}$ の半球を六角形配置で密に敷き詰めた粗面を用い、境界層の発達した付近で、図1の横断方向に異なる4つのCASEについて、4つの異なる流速場で行った。粗度要素に働く流体力は、図2に示してあるように、粗度要素の1か所に小さな孔をあけ、その孔を ϕ と θ を 10° きざみの点におき、孔から取った圧力を測定することにより、算定し、また粗度上の流速分布はx型のHOT-FILMを用いることにより測定した。そして、粗度近傍の流れの状況を観察するために、半球に孔を開け、内側より煙を発生させ、孔から出た煙をビデオ解析することにより観察した。

3、実験結果と考察

表1は、測定された実験諸量をまとめたものである。

ここで、 δ ：横断面中央部での境界層厚(cm)， U ：境界層内での平均流速(cm/s)， d ：粗度要素の径(cm)

D ：抗力(gf)， B ：横力(gf)， δ_D ：抗力の作用点と球の中心との距離(cm)

δ_B ：横力の作用点と球の中心との距離(cm)

図3は、CASE1での抗力(D_0)で無次元化した横断方向の抗力分布である。この図より、各RUNにおいて、図中で示されているようにほぼ1本の線に従うことが明かとなった。また、図4は、図3と同じように横力を無次元化した横断方向の横力分布図であり、この図より、横力はほぼ全てのRUN,CASEにおいて壁面方向を向いているが各流速において横断分布は形の異なったものとなった。

そして、図6は、図5のように、半球頂点から流れ出る煙の流下方向(X軸)との偏角 ω の値をビデオ解析により求めた、偏角の確率密度分布を、RUN1のCASE2について例示する。ここで、偏角の平均値($\bar{\omega}$)、その標準偏差(σ)の値は、それぞれ 13.3° 、 23.5° となった。図7は、偏角の周波数スペクトルを示している。図6から、明かなように、半球のごく近傍では流速は壁面を向いていることがわかる。またこのことは上述したように、横力が壁面に向いていることの妥当性を示している。

一方、一般的には、滑面上の流れにおける二次流は、図8のようになると以前より報告されている。しかし、本研究のように大きな粗度要素上では、山田ら¹⁾は、図9のように底面近くでは縦渦が発生すると報告していることより、本研究の場合もそのような縦渦が発生しており、中央側の縦渦が壁面側のそれよりも多少大きいことが、半球が壁面方向に力を受け、また、半球頂点での流れが壁面方向を向いている原因と思われる。

図7から明かなように卓越周波数(f)は8Hz程度であり、この値は半球より発生する縦渦の発生周期に関係していると思われる。そこで、半球頂点近傍の流速 $U=205(\text{cm/s})$ と半球の径 $d=3.8(\text{cm})$ を用いたStrouhal数 $S=fd/U$ は、0.15となる。この値は、一様流中の円柱で得られたStrouhal数0.2と同程度の値となっている。

表 1、実験諸量

CASE	RUN	$Re = \frac{\bar{u} d}{\nu}$	D gf	B gf	$\frac{\delta y}{d/2}$	$\frac{\delta y}{d/2}$
1	1	3.17×10^4	0.0252	—	0.638	—
	2	4.74×10^4	0.0424	—	0.649	—
	3	6.63×10^4	0.0837	—	0.645	—
	4	8.05×10^4	0.1120	—	0.629	—
2	1	3.17×10^4	0.0219	0.0020	0.666	0.523
	2	4.74×10^4	0.0421	0.0118	0.627	0.397
	3	6.63×10^4	0.0723	0.0166	0.656	0.501
	4	8.05×10^4	0.1124	0.0234	0.619	0.363
3	1	3.17×10^4	0.0126	0.0015	0.643	0.396
	2	4.74×10^4	0.0266	0.0048	0.659	0.422
	3	6.63×10^4	0.0453	0.0110	0.637	0.395
	4	8.05×10^4	0.0720	0.0129	0.638	0.400
4	1	3.17×10^4	0.0079	-0.0002	0.755	0.578
	2	4.74×10^4	0.0173	0.0013	0.767	0.403
	3	6.63×10^4	0.0334	0.0042	0.736	0.343
	4	8.05×10^4	0.0544	0.0064	0.763	0.401

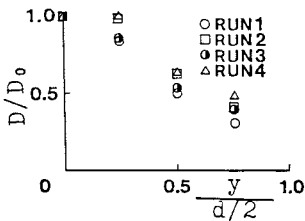


図 3、抗力の横断方向の分布図

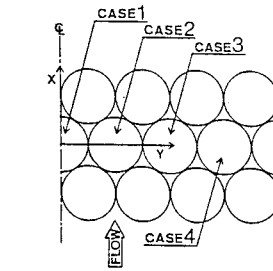


図 1、実験装置図

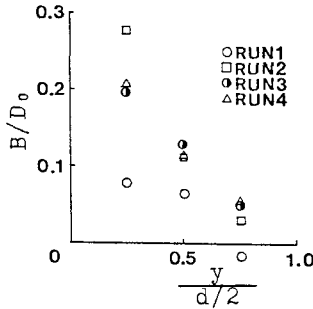


図 4、横力の横断方向の分布図

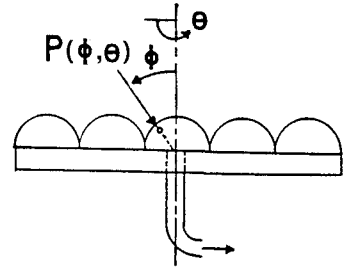


図 2、流体力測定装置図

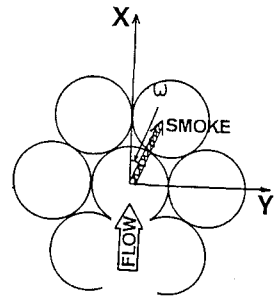


図 5、半球近傍の流れ状況図

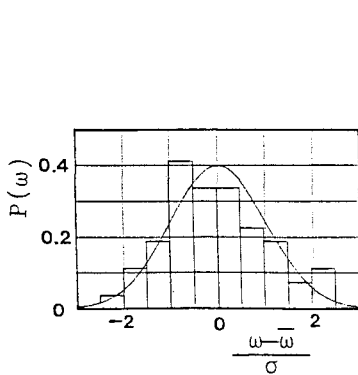


図 6、偏角の確率密度分布

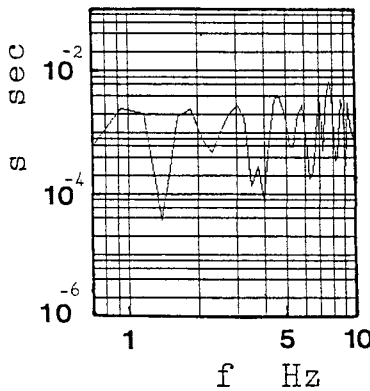


図 7、偏角の周波数スペクトル

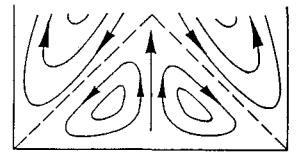


図 8、滑面上の二次流の模式図

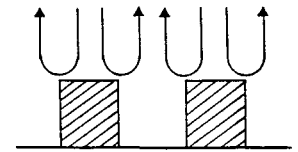


図 9、粗面上の二次流の模式図

4、おわりに

本研究では、横断面内の二次流の、粗度要素に働く流体力に及ぼす影響について、実験結果をもとに考察を加えたものである。そして、滑面上に発生する二次流で予想されるものとは、逆向きの力を粗度が受けることが明らかになった。横断面内における、粗度近傍に発生する縦渦が、この現象の原因であると、本研究においては考えた。したがって、今後の課題として、粗度近傍の流速を細かく測定することにより、この渦の存在を、またその渦の強さを調べることににより、以上の結論をなお厳密に確かめる所存である。

参考文献

- 1) 山田・吉川・中沢・川端：浸透性の壁面を有する流れの基礎的研究，第23回水理講演会論文集，1979
- 2) 城・植松・藤崎・吉川：粗度近傍の流れと流体力に関する実験的研究，第31回水理講演会論文集，1987
- 3) 植松・浜地・渡戸・吉川：河床砂れきに働く流体力について，第32回水理講演会論文集，1988
- 4) Schlichting, H: Boundary-Layer Theory, Seventh-Edition, McGraw-Hill