

## II-170 球状粗度の水理特性に関する実験的研究

早稲田大学 大学院 学生員 岩下 友也  
 大成建設(株) 正 員 岡本 俊彦  
 早稲田大学 理工学部 正 員 吉川 秀夫

## 1. はじめに

河川の護岸近傍の流れを知ることが防災上極めて重要である。護岸モデルとして球状粗度を用い、前報<sup>1)</sup>の球状粗度に働く流体力の特性に続き、本研究では壁面せん断力、粗度要素近傍の流況について検討した。

## 2. 実験概要

実験は、長さ900cmの水路を用い、図1に示すように径 $d=3.8$ cmの半球を底面に配置した場合のCase1、側面に配置した場合のCase2、Case3について表1の条件で行った。粗度球No.は図1のようにCase1では対称面の球から側壁に向かってA～E、Case2では底面から水面に向かってA～B、Case3ではA～Dと定める。流速測定には、プロペラ流速計、及びX型熱線流速計を用いた。粗度要素に働く流体力測定は、図2のように球に0.2mmの孔をあけ、その孔の位置を $\phi$ は $10^\circ$ 、 $\theta$ は $20^\circ$ きざみに動かし、孔から取った圧力と境界層外の静圧との差圧を微差圧計を用いて行った。

## 3. 実験結果

表2に、Case2と及びそれとアスペクト比が等しく全潤辺が滑面である場合<sup>2)</sup>との各潤辺に働くせん断力を示す。また図3、4は、無次元化した局所せん断応力分布である。図中のSは側壁の水面から壁に沿ってとられた潤辺座標である。また、粗度のついた側壁のせん断応力は粗度要素に働く抗力を図1の受け持ち面積 $a'$ で割ったものが均等に働くとした。表2よりCase2において、粗度側壁の受け持つせん断力は全潤辺が滑面の場合のほぼ2倍となっている。また、それを補うせん断力の欠損分として図4より粗度側壁に近い底面の部分が特に大きい。他の滑壁面部分もほぼ均等に欠損している。図5に、各球の抗力係数( $C_D$ )と粒子Re数の関係を示す(図中の $u_0$ は各々の粗度球上の境界層外縁流速)。この図より $C_D$ はほぼ一定値をとる。よって境界層外のポテンシャル領域の流速を決めれば、粗度要素に働く抗力がわかり粗度壁面のせん断力が算出することができる。

図6は、Case1～3の粗度球に働く圧力の等圧線図である。水の流れ方向は図面の左から右である。底面配置であるCase1は、流下方向の中心線に関して対称であるのに対し、側面配置であるCase2、3は、底面の影響で鉛直方向に流速勾配があり、球の上下で流速差があるために、正の最大圧力は球の上半分に存在している。また、Case1の等圧線は主流方向に対し垂直になっているが、Case2、3の場合は垂直になっておらず圧力の最大値と最小値を結ぶ線が下降している。よって、粗度要素近傍の流れが下降流となっているといえる。表3に、球状粗度要素に働く抗力(D)と、その方向( $\psi$ )を示す。ここに抗力(D)は壁面に平行で、主流速方向の力(FX)と、主流と垂直な方向の力(FZ)の合力として表され、方向( $\psi$ )は抗力が主流方向となす角度である。表3よりCase1では $\psi$ はほとんど0で抗力は主流方向を向いているが、Case2、3では $\psi$ は下方を向く大きな角度となり粗度球が側壁配置の場合は粗度球に抗力が下向きに作用していることがわかる。

図7は、Case3の側壁から球頂の高さで切った面における流向図である。図7の  領域は流向が下方に向いている領域である。図7の粗度球上の流向と、図6の圧力変化の方向はよく一致し、側壁粗度近傍の流れは下降流となっていることが確認される。また図7のD球付近では、流れは上昇流となっているが、これは水が自由水面に逃げるからであるが、表3のD球の抗力が下向きであるので上昇流となっているのは球頂付近のみであることがわかる。

## 4. 結 論

1) 境界層外縁流速がわかれば粗度壁面のせん断力を算出できる。2) 粗度が側壁に配置されている場合、粗度近傍では下降流が生じる。

【参考文献】 1) 岡本・岩下・渡戸・吉川：球状粗度に働く流体力の特性，水工学論文集 第34巻，1990。

2) 富永晃宏：直線開水路流の三次元乱流構造に関する研究

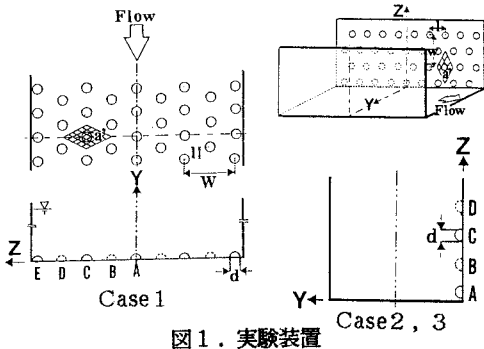


図1. 実験装置

表1. 実験条件

| Case | H<br>cm | B<br>cm | B/H | W<br>cm | l<br>cm |
|------|---------|---------|-----|---------|---------|
| 1    | 10.5    | 81      | 7.7 | 19      | 4.75    |
| 2    | 18.5    | 71      | 3.8 | 19      | 4.75    |
| 3    | 39.0    | 40      | 1.0 | 19      | 4.75    |

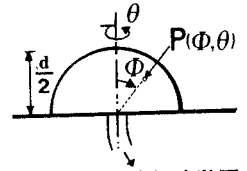


図2. 圧力分布測定装置

表2. 壁面せん断力

| せん断力   | 底面<br>× 10 <sup>4</sup> | 側面 × 10 <sup>4</sup> |               | Total<br>× 10 <sup>4</sup> |
|--------|-------------------------|----------------------|---------------|----------------------------|
|        |                         | 滑                    | 粗度            |                            |
| Case 2 | 8.90<br>(56%)           | 1.73<br>(11%)        | 5.28<br>(33%) | 15.91<br>(100%)            |
| 全潤辺滑面  | 11.02<br>(70%)          | 2.40<br>(15%)        |               | 15.81<br>(100%)            |

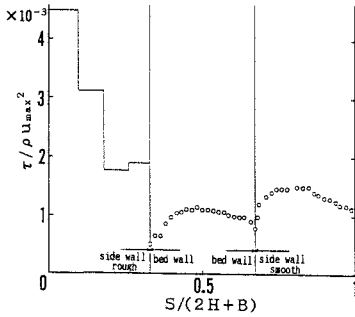


図3. 壁面せん断応力分布(Case 3)

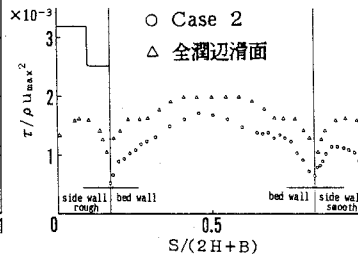


図4. 壁面せん断応力分布(Case 2)

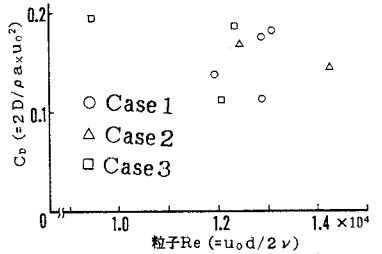
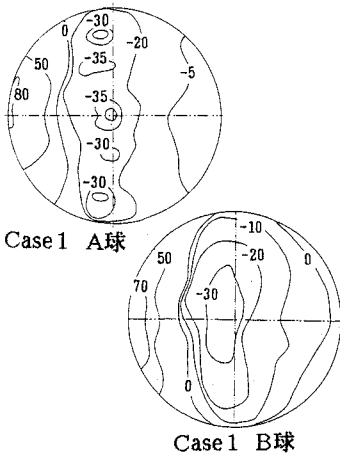
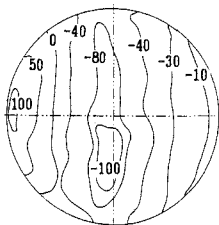


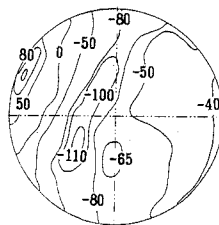
図5. 抗力係数と粒子Re数の関係



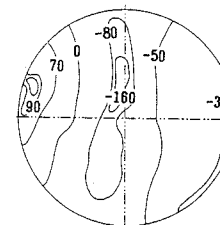
Case 1 B球



Case 2 B球



Case 3 C球



Case 3 D球

図6. 球表面圧力等圧線図 単位: g/cm<sup>2</sup>

表3. 粗度要素に働く抗力とその方向

|        |   | FX   | FZ    | D    | ψ      |
|--------|---|------|-------|------|--------|
|        |   | gf   | gf    | gf   | deg    |
| Case 1 | A | 2.25 | -0.14 | 2.25 | -3.56  |
|        | B | 2.11 | 0.12  | 2.11 | 3.26   |
|        | C | 1.35 | -0.04 | 1.35 | -1.70  |
|        | D | 1.42 | -0.09 | 1.42 | -3.63  |
|        | E | 2.41 | -0.06 | 2.41 | -1.43  |
| Case 2 | A | 1.82 | -0.55 | 1.90 | -16.81 |
|        | B | 2.11 | -0.27 | 2.13 | -7.29  |
| Case 3 | A | 1.26 | -0.25 | 1.29 | -11.22 |
|        | B | 1.17 | -0.28 | 1.20 | -13.46 |
|        | C | 2.07 | -1.19 | 2.39 | -29.89 |
|        | D | 2.98 | -0.60 | 3.04 | -11.38 |

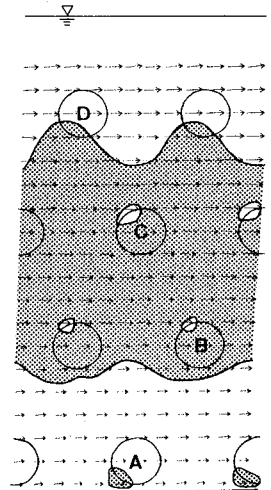


図7. 粗度壁球頂面での流向図 (Case 3)