

斜め衝突噴流の平均流速特性について

西日本工業大学 正員○赤司 信義  
 西日本工業大学 正員 石川 誠  
 山口大学工学部 正員 斎藤 隆

1. はじめに： 砂防ダムや河川段落ち部等からの落水水は、下流水面に突入する際に水中に多量の空気を混入して、河床に斜めに衝突する流れとなる。気泡の混入を無視すると、この流れは、噴出軸が傾いた斜めもぐり噴流による河床衝突流れと見なすことができる。本研究は、著者らがこれまでに行った鉛直もぐり噴流による衝突流れ特性の検討手法を利用して、斜めもぐり噴流による衝突流れの速度分布特性を明らかにすることを目的とするものである。

2. 実験装置と実験方法

実験には、長さ 4 m、幅 0.2 m、高さ 1 m の両面アクリルガラス張りの鋼枠製水槽を使用した。装置の概略を図-1 に示すように、幅  $b_0 = 1$  cm のノズルを水槽片側から 75 cm の位置に  $45^\circ$  の傾きをつけて、設置した。滑面固定床にはアクリルガラス板を使用し、粗面固定床にはこの板に平均粒径  $d = 4.3$  mm のほぼ均一な粒度を持つ砂粒を張り付けたものを使用した。噴出速度  $u_0$  をほぼ 3 m/s とし、ノズルから底板までの垂直距離  $h$  を 11、21、31 cm とした。平均流速はレーザー流速計によって測定された。

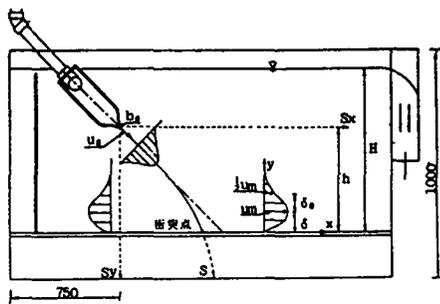


図-1 実験装置の概略

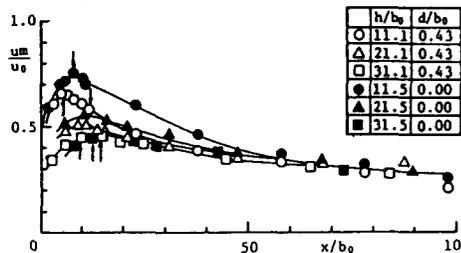


図-2 最大流速の変化(1)

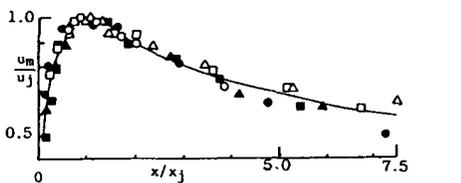


図-3 最大流速の変化(2)

3. 実験結果とその検討

図-2 は、衝突点から下流側の最大流速  $u_m/u_0$  の変化を示したものである。最大流速の変化は、衝突点より増大してピークに達した後、減速する傾向を示している。この最大流速のピーク値  $u_j/u_0$  を代表最大流速と呼び、衝突点から  $u_m$  が  $u_j$  になる位置 ( $x = x_j$ ) までを衝突域、その後を減速域と呼ぶ。図-3 は、図-2 の最大流速の変化を  $u_j$  と  $x_j$  で規格化して示したものである。この図から、 $u_m/u_j$  はほぼ一曲線で近似できることが分かる。図中の実線は、実験値の平均的傾向を示したもので、実験式化すると、次式となる。

$$\frac{u_m}{u_j} = 1 + 0.7 \left( \frac{x}{x_j} - 1 \right)^3 \quad \text{---- for } x < x_j \quad (1-a)$$

$$\frac{u_m}{u_j} = \sqrt{\frac{3.5}{x/x_j + 2.5}} \quad \text{---- for } x > x_j \quad (1-b)$$

図-4、図-5 は、それぞれ図-3 の規格化に用いた  $u_j/u_0$  と  $x_j/b_0$  を  $h/b_0$  に対して示している。

それぞれの図中の実線は、平均線を引いたもので、これらの実線を式で表すと、それぞれ次式となる。

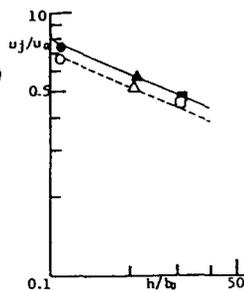


図-4 代表最大流速

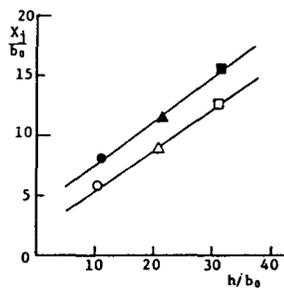


図-5 衝突域の長さ

$$\frac{u_j}{u_o} = 2.2 \left( \frac{h}{b_o} \right)^{-0.44} \quad \text{--- for } \frac{d}{b_o} = 0.0 \quad (2-a)$$

$$\frac{u_j}{u_o} = 1.9 \left( \frac{h}{b_o} \right)^{-0.44} \quad \text{--- for } \frac{d}{b_o} \neq 0.0 \quad (2-b)$$

$$\frac{x_j}{b_o} = 2.0 + 0.33 \frac{h}{b_o} \quad \text{--- for } \frac{d}{b_o} = 0.0 \quad (3-a)$$

$$\frac{x_j}{b_o} = 4.0 + 0.35 \frac{h}{b_o} \quad \text{--- for } \frac{d}{b_o} \neq 0.0 \quad (3-b)$$

図-6 は、境界層外主流部の流れの幅  $\delta_o/b_o$  (1/2 最大流速幅) を  $x/b_o + h/b_o$  に対して示したものである。図中の直線は、滑面床、粗面床の平均線を示していて、これらを式で表すとそれぞれ次式となる。

$$\frac{\delta_o}{b_o} = 0.075 \left( \frac{x}{b_o} + \frac{h}{b_o} \right) \quad \text{--- for } \frac{d}{b_o} = 0.0 \quad (4-a)$$

$$\frac{\delta_o}{b_o} = 0.090 \left( \frac{x}{b_o} + \frac{h}{b_o} \right) \quad \text{--- for } \frac{d}{b_o} \neq 0.0 \quad (4-b)$$

図-7 は、境界層速度分布を示したものである。図中の曲線は、斎藤が提案した次に示す壁面噴流の境界層速度分布(実用式)を渦動粘性係数  $\epsilon/um\delta_o = 0.04$  として計算されたものを示している。

$$\frac{u}{u_x} = \frac{1}{\kappa} \log \left( \frac{\eta}{\eta_o} \right) + \frac{1-E}{\kappa E} \log \frac{1-E\eta}{1-E\eta_o}$$

$$E = 1 - \frac{\alpha um \delta_o}{\kappa u_x \delta} \quad , \quad \alpha = \frac{\epsilon}{um \delta_o} \quad (5)$$

ここに、 $\eta = y/\delta$ 、 $\eta_o = y_o/\delta$  であり、 $\delta$  は境界層の厚さで、 $y_o$  は仮想壁面位置である。実験結果はほぼこの曲線と一致している。そこで、斜めもぐり噴流による境界層速度分布を壁面噴流の境界層速度分布で近似し、境界層運動量方程式にこの速度分布と式(1)~(4)を導入して、境界層の発達を計算すると、その結果は図-8 の様になる。又、図-9 は境界層の発達に関する計算過程で求められた壁面抵抗係数  $C_x$  を示している。図-8 から計算結果はほぼ実験結果と合致していることから、壁面抵抗係数  $C_x$  もほぼ妥当なものであると考えられる。

#### 4. おわりに

本研究によって、斜めもぐり噴流による衝突流れの平均流速特性がほぼ明らかになったものとする。今後、壁面粗度を種々変えた実験を行って、さらに流れの詳細を検討していきたい。なお、本研究を進めるに当たって、昭和 63 年度文部省科学研究費(No.63550380)の補助を受けたことを付記して謝意を表するものである。

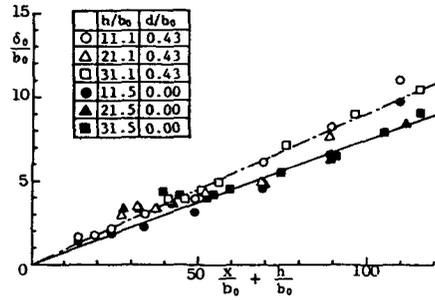


図-6 1/2 最大流速幅の広がり

h(cm)	x(cm)	d/b <sub>o</sub>	δ(cm)	δ <sub>o</sub> (cm)	u <sub>o</sub> (cm/s)	u <sub>o</sub> /u <sub>x</sub>
11.1	38.0	0.43	1.75	3.88	308	0.39
21.1	58.0	0.43	2.00	6.10	308	0.34
11.5	38.0	0.00	0.60	3.13	306	0.47
21.5	58.0	0.00	0.70	4.60	306	0.38

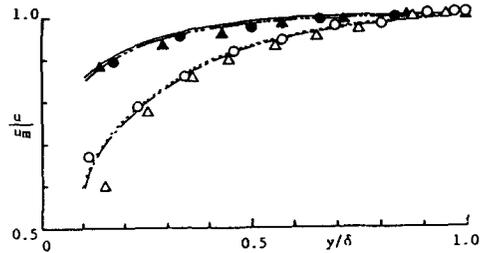


図-7 境界層の速度分布

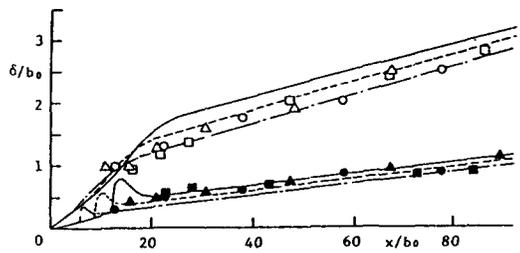


図-8 境界層の厚さ

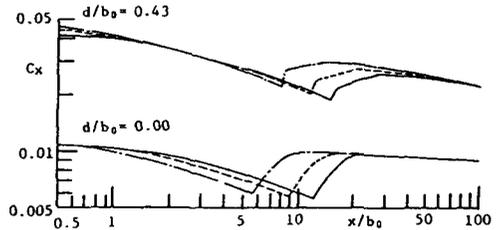


図-9 壁面抵抗係数