

II-172

気泡混入を伴う段落ち流れによる衝突流れの特性について

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 落下水脈が水面に突入する際に気泡を水中に混入することは日常的に散見される現象である。水深が十分に深ければ、水中に混入された気泡はある深さで下降を停止し、水流から離脱して上昇する。この深さを気泡の停滞深さと呼ぶが、一般的に堰や段落ち等の直下流の水深は気泡の停滞深さよりも浅い場合がほとんどである。河床が土砂で構成される場合、気泡の混入を伴った衝突流れによって河床は洗掘される事になる。この様な洗掘の現象を解明する上で、水中にどの程度の空気量が混入されるのか、又、混入空気量によって河床衝突流れ特性がどの様に規定されるのかと言った事等を明らかにしておくことは重要である。本研究は、これらの点について実験的な検討を行ったものである。

2. 実験装置と実験方法 実験に使用した水路は、全長 18.7 m、幅 0.2 m の水路途中に 0.86 m の段落ち高さを持つ開水路で、上流水路の高さは 0.4m、下流水路の高さは 1.26 m である。下流水路底面には底面圧力測定のために径 2 mm の孔が 1 cm 間隔であけられている。底板は鋼枠で支持されたアクリルガラスである。流速 u は外径 2 mm、総圧口径 0.5 mm のプラントル型ピトー管で、気泡存在率(ボイド率) f はボイドプローブで測定された。空気混入量 q_a は河床衝突前の数断面の速度分布とボイド分布を (1) 式に代入して求められた。 u_b は気泡の浮上速度で 25 cm/s とした。

$$q_a = \int f \cdot (u - u_b) dy \quad (1)$$

3. 実験結果とその検討 図 1 は主要な記号と共に流れの概略を示している。実験的な観察によれば水脈下流面と水面との境界面で多くの気泡が混入されていた。図 2 は、混入空気量 q_a と単位幅流量 q との比を示したものである。横軸の F_a は、空気混入量が二次元鉛直落下水による空気混入量を規定する関数形と同じもので表されると考えて、(2) 式で定義された。 u_i は水面突入速度、 b_i は水面突入幅 H は上流水路底から下流水路面までの高さである。 u_i 、 b_i を (3)、(4) 式で定めた。 u は段落ち部断面での平均流速、 h_d は段落ち部水深である。図中の実線は平均線

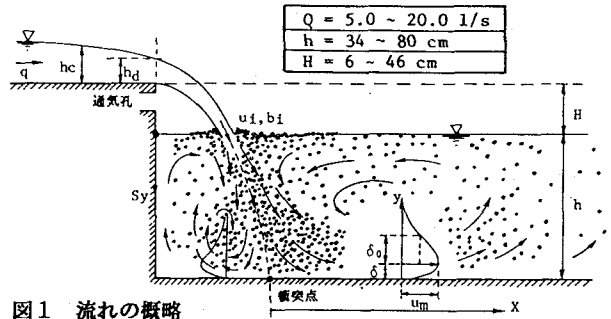


図1 流れの概略

$$F_a = \left(\frac{u_i b_i}{v} \right)^{1.4} \cdot \left\{ \frac{u_i}{f_g (H + h_d/2)} \right\}^{0.6} \cdot \left(\frac{H + h_d/2}{b_i} \right)^{0.9} \quad (2)$$

$$u_i = \sqrt{u^2 + 2g(H + h_d/2)} \quad (3) \quad b_i = q/u_i \quad (4)$$

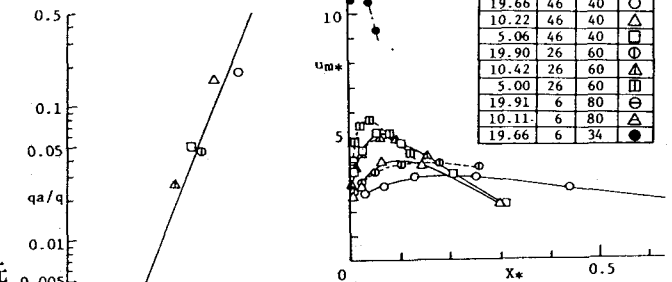


図3 最大流速の変化(1)

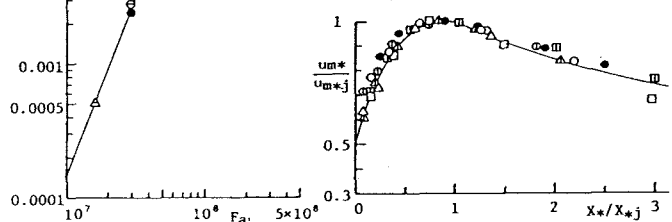


図4 最大流速の変化(2)

図2 空気混入量

を示している。

水面突入断面での噴出率 f_0 を $f_0 = qa/q$ とし、衝突後の流れの最大流速 um や流れの幅 δ_0 等を (5) 式の無次元量で表して、これらの実験結果を以下に示す。

$$\left. \begin{aligned} um* &= (Fd^2)^{1/3} \cdot um/uj \\ \delta_0* &= (Fd^2)^{-2/3} \cdot \delta_0/bi \\ X* &= (Fd^2)^{-2/3} \cdot X/bi \\ h* &= (Fd^2)^{-2/3} \cdot h/bi \end{aligned} \right\} \quad Fd^2 = ui^2 / f_0 g bi \quad (5)$$

図 3 は、最大流速 $um*$ の変化を示している、衝突点より増大し、ピークに達した後、減速する傾向を示している。ピークの値を代表最大流速、衝突点からピークまでの範囲を衝突域、それより下流を減速域と呼ぶ。

図 4 は、図 3 から代表最大流速 $um*j$ と衝突域の長さ $X*j$ を読み取り、これらを規準量として図 3 を描き直したものである。

この図から、最大流速 $um*j$ の変化は、ほぼ一曲線で表されることが分かる。

図 5 は代表最大流速 $um*j$ を示したもので、図中の実線は二次元鉛直落下水の場合の代表最大流速の変化を考慮して引かれたものである。図 6 は衝突域の長さを示している、衝突域の長さは、ほぼ水深の 0.4 倍になっている。図 7 は 1/2 最大流速幅 δ_0* を示したもので、傾きはほぼ 0.07 となっていて二次元壁面噴流の値に近くなっている。図 8 は底面圧力分布を示したもので、縦軸は底面圧力水頭から下流水深を差し引いた圧力水頭を最大圧力水頭で無次元化している。衝突域終端付近で底面圧力水頭が下流水深より低くなるのは、水脈周囲に生じた負圧による水面低下と水脈の突入によって混入された気泡の存在によるものと考えられる。なお、図 6、7、8 中の実線は、平均的な傾向を示したものである。図 9 は、衝突流れの境界層速度分布を壁面噴流の境界層速度分布で仮定し、境界層運動量方程式にこの速度分布と図 2 ～ 8 の実験結果を導入して求められた境界層の発達に関する計算結果を実験結果と比較したものである。又、図 10 は境界層発達に関する計算過程で求められた壁面抵抗係数を示している。図 9 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 本研究によって段落ち部からの落下水による空気混入量や衝突流れの平均流速特性の大略が、限られた実験条件ではあるが、明らかとなった。今後、壁面粗度を種々変えた実験を行うと共に空気混入機構についての検討を進めていきたい。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) の補助を受けた事を付記して謝意を表するものである。

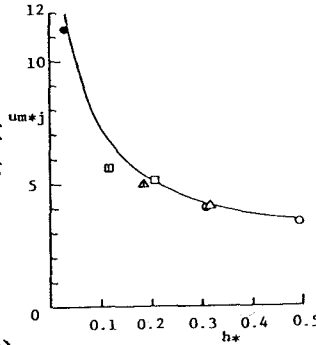


図5 代表最大流速

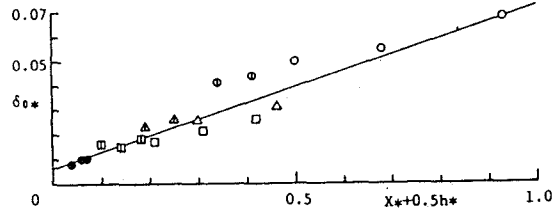


図7 1/2 最大流速幅

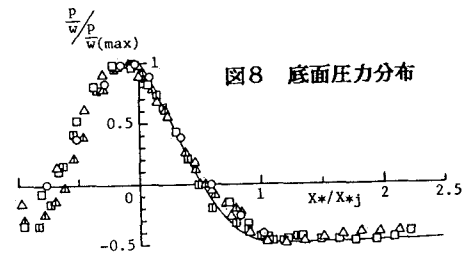


図8 底面圧力分布

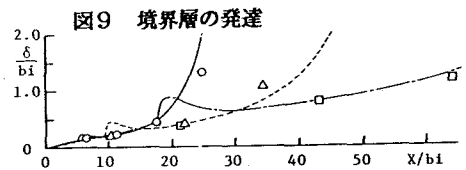


図9 境界層の発達

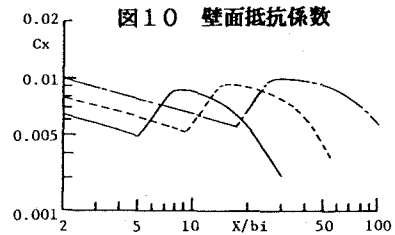


図10 壁面抵抗係数