

II-232

段落ち落水水による粗面河床上の衝突流れについて

西日本工業大学 正員 石川 誠

西日本工業大学 正員 赤司 信義

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泡を混入して、河床に斜めに衝突する流れになる。構造物直下流の河床が土砂で構成される場合には、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したり、洗掘の防止を目的として設置される水叩きの長さを検討したりする場合には、河床衝突流れの特性を明らかにしておく必要がある。著者らは、これまでに、滑面河床上の衝突流れを検討してきた¹⁾。本研究では、この検討結果を参考にしながら、粗面河床上の衝突流れの特性と空気混入との関係を明らかにする事を目的としている。

2. 実験装置と実験方法 図1はこの実験で観察された流れの概略を主要な記号と共に示したもので、実験装置は、幅20cm高さ40cm長さ12.95mの開水路下流に幅20cm高さ1.35m長さ3.75mの開水路を接続した直角段落ち水路で、上流水路底から下流水路底までの高さは86cmである。水路底面には、粗面床として、アクリルガラス板にはほぼ均一な粒径を持つ砂を張り付け、平均粒径 $d = 0.69\text{ mm}$ と 4.3 mm の場合について測定を行った。流速測定には、レーザー流速計と

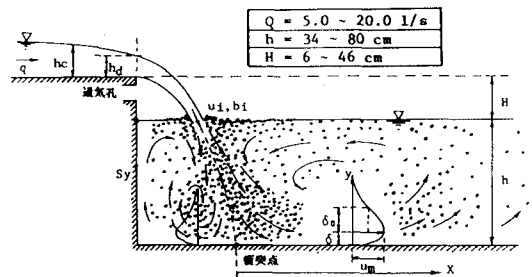


図1 流れの概略

外径2mm、総圧口径0.5mmのプラントル型ピトー管を併用した。気泡の時間的存在率を表すボイド率の測定には、ボイドプローブを使用した。落水水の水面突入によって静水中に混入される空気量 q_a は、河床衝突前で測定された速度分布とボイド分布を次式に代入して求められた。 $q_a = \int f(u-u_b) dy$ 。

u_b は気泡の浮上速度で、この値を 25 cm/sec とした。なお、落水水脈の突入速度 u_i 及び突入幅 b_i は、段落ち地点の水深を h_d とし、それぞれ

$u_i = \sqrt{2g(H + h_d/2) + (q/h_d)^2}$ 、 $b_i = q/u_i$ によって定めた。又、落水水の水面突入点で様なボイド率 f_0 を持つとして、これを $f_0 = q_a/q$ で表し、最大流速や流れの幅等の代表値を次の様に無次元化して表す事にする。

$d = 0.630\text{ cm}$											
Q (l/s)	h (cm)	H (cm)	u_i (cm/s)	b_i (cm)	u_i^2 $f_0 g b_i$	f_0	u_m	X_m	h_w	記号	
20.0	36	46	341.3	2.93	202.9	0.2000	3.81	0.143	0.351	△	
10.0	36	46	325.7	1.54	587.6	0.1200	4.34	0.106	0.330	△	
20.0	56	26	278.0	3.80	436.7	0.0500	4.34	0.132	0.267	△	
10.0	56	26	258.6	1.93	1176.7	0.0300	4.76	0.102	0.258	△	
20.0	34	6	195.2	5.12	2919.4	0.0026	11.52	0.021	0.032	△	
10.0	30	10	189.5	2.85	8037.6	0.0017	15.27	0.014	0.028	△	
10.0	40	22	243.0	2.06	1464.0	0.0200	6.65	0.059	0.151	△	
20.0	40	22	263.6	3.79	373.6	0.0500	5.41	0.094	0.203	△	

$$u_{m*} = \frac{u_m}{u_i} (Fd^2)^{1/3}, \delta_0* = \frac{\delta_0}{b_i} (Fd^2)^{-2/3}, h_* = \frac{h}{b_i} (Fd^2)^{-2/3}$$

$$X_* = \frac{X}{b_i} (Fd^2)^{-2/3}, Fd^2 = \frac{u_i^2}{f_0 g b_i}$$

3. 実験結果とその検討 これまでの衝突流れの検討結果¹⁾によれば、河床に垂直な断面内での最大流速は、衝突点 ($X = 0$) より急に増大して、ある位置 (衝突点よりこの位置までを衝突域と呼ぶ) でピーク値に達し、その後減少する。衝突点よりピーク値までの

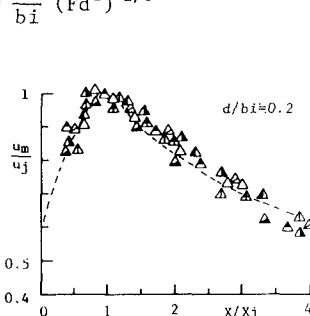


図2 最大流速の変化

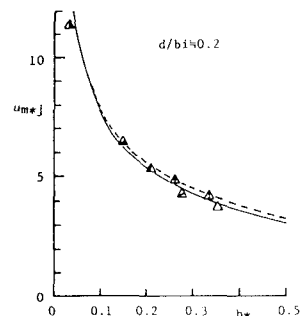


図3 代表最大流速

衝突域の長さを X_j 、その無次元量を X_{*j} 、最大流速のピーク値（これを代表最大流速と呼ぶ）を u_j 、その無次元量を u_{*j} として、各実験条件での X_{*j} 、 u_{*j} を読み取り、最大流速の変化を規格化したものが図2である。ばらつきが大きい、ほぼ一曲線で近似できる事が分かる。図中の破線は、滑面河床上の衝突流れの平均線である。

図3、4は、それぞれ図2の規格化に用いた u_{*j} 、 X_{*j} を示している。両図中の破線は滑面河床上の衝突流れの平均線である。 $d/bi = 0.2$ の場合、 u_{*j} 、 X_{*j} はそれぞれこの線よりも若干高くなっている。

図5は、流れの代表幅として定めた $1/2$ 最大流速幅 δ_{0*} を示している。ばらつきが大きい、幅の広がり、滑面河床の場合よりも若干大きくなっている。

4. 底面せん断力の検討 図6は、境界層運動量方程式に前述の流れ特性等を導入して計算された境界層の発達に関する結果を示している。計算結果は実験結果とよく合致していて、空気混入量が少なくなるほど、境界層の発達は緩やかになる事を示している。図7は、図6の計算過程で求められた底面せん断力の分布を示している。空気混入量が多いと底面せん断力が低下する事が分かる。図8は、種々の条件で計算された底面せん断力の最大値を示したものである。この図から、最大底面せん断力は、 h_* がほぼ0.5付近で、急激に低下している事が認められる。これは、空気混入量が増えても h_* が0.5を越える程でないと、底面せん断力を減少させる効果は非常に少ない事を意味している。

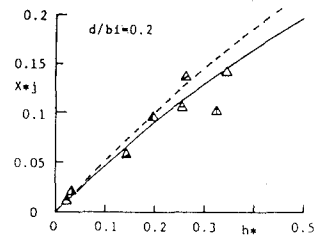


図4 衝突域の長さ

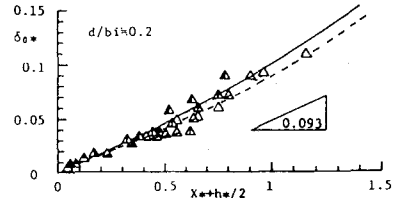


図5 $1/2$ 最大流速幅

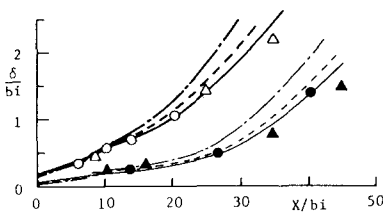


図6 境界層厚(計算結果と実験結果との比較)

h/bi	d/bi	Fd^2	
23.1	0.28	○	
19.4	0.21	△	
23.1	0.0	●	
19.4	0.0	▲	

calculated result			
h/bi	d/bi	Fd^2	
20	0.2	150	—
20	0.2	400	- - -
20	0.2	2000	· · ·
20	0.0	150	—
20	0.0	400	- - -
20	0.0	2000	· · ·

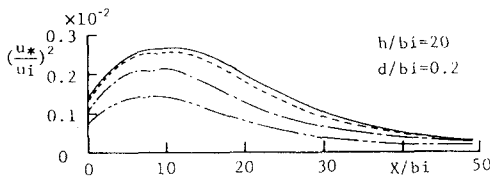


図7 底面せん断力分布(計算結果)

Fd^2	
2000	—
400	- - -
200	· · ·
150	—

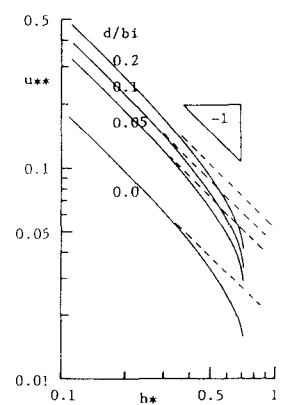


図8 最大底面せん断力
(計算結果)

5. おわりに 限られた実験範囲ではあるが、段落ち落下水による粗面床上の衝突流れの平均的特性がほぼ明らかになった。又、本研究によって、滑面河床の場合でも示された様に、空気混入量が多くなるほど衝突流れの速度や底面せん断力が小さくなる事が示された。今後、洗掘限界や水叩き長さについての検討を進めて行きたい。なお、本研究は、平成元年度文部省科学研究費一般研究(C)の補助を受けて行われた事を付記して、謝意を表するものである。

参考文献 1) 赤司 信義・石川 誠・斎藤 隆：空気混入による段落ち落下水の減勢効果に関する研究、水工学論文集、第34巻、1990。