

水面突入流れの流れ特性と洗掘特性

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

堰や段落ち部の流れによる洗掘現象を単純化すれば、鉛直落水脈の水面突入流れによる洗掘現象とみなされる。そして鉛直流れによる洗掘現象は、Rouse の研究以来気泡の混入しない鉛直もぐり噴流による洗掘現象として研究されてきた。著者らはこれまでにこうした鉛直もぐり噴流による洗掘現象を非平衡状態での河床変動の基礎式に基づき、流れ特性を導入した形で洗掘現象を数値的に解析してきた。一方、気泡混入を伴う落水脈の水面突入流れによる洗掘現象を実験的に検討し、気泡混入率と洗掘軽減率の関係を定性的に明らかにしてきた。図1は洗掘の概略を示している、図1-b はもぐり噴流によるものを示している。図1-a は気泡混入を伴う落水脈の水面突入流れによる洗掘の概略を示している。図1-a の u_i b_i が図1-b の u_o b_o に対応するものである。

最大洗掘深 D は次元解析的に次式と表される。
 $D/b_i = F(h/b_i, d/b_i, u_i^2/sgd, u_i t/b_i, fo)$
 ここに fo は気泡混入率、 d は平均砂粒径、 t は洗掘時間である。

本研究では h/b_i , d/b_i , u_i^2/sgd が図1-b と同じ値の時、洗掘は軽減されるのかどうかを見るため、洗掘形状や洗掘形状特性値である最大洗掘深の時間的変化を、もぐり噴流による洗掘解析手法と同じ手法を用いて数値的に検討している。

水平固定床に衝突する流れの概略を図2に示している。洗掘面上の流れは洗掘の進行に伴って変化するものである。洗掘形状の最大洗掘深の位置に水平粗面床があると考えれば、固定床の流れの実験結果を洗掘解析に取り入れることができ洗掘の進行に伴う流れの変化を近似的ではあるが考慮しうる。洗掘解析のために必要な流れ特性を以下に示そう。

水面突入流れの特性値を次式の無次元量として定義する。

$$u_{m*} = (F_d^2)^{1/3} \cdot u_m / u_i, \quad x_* = (F_d^2)^{-2/3} \cdot x / b_i$$

$$\delta o_* = (F_d^2)^{-2/3} (\delta o / b_i), \quad F_d^2 = u_i^2 / (f o g b_i) \quad \cdots \cdots (1)$$

x_* は衝突点より流下方向にとった水平距離である。このとき、それぞれの特性値をこれまでの実験結果から次式と示す。

$$u_{m*} / u_{m*j} = 0.95 + 0.05 (x_* / x_{*j}) \quad \cdots \cdots \text{for } x_* / x_{*j} < 1$$

$$u_{m*} / u_{m*j} = \{1.5 / (x_* / x_{*j} + 0.5)\}^{0.5} \quad \cdots \cdots \text{for } x_* / x_{*j} > 1 \quad \cdots \cdots (2)$$

上式の u_{m*j} は $x_* = x_{*j}$ での最大流速 u_{m*} であり、 x_{*j} は衝突域の長さであって衝突領域から減速域へと移る断面での最大流速でありそれぞれ次式と示された。

$$u_{m*j} = 2.1 \{ (x_{*h} - 0.04)^{-1/2} - (x_{*h} - 0.04)^3 \} \quad \cdots \cdots (3) \quad (4)$$

$$x_{*j} = 0.175 - 0.08 d/b_i \quad \cdots \cdots \text{for } x_{*h} > 0.5, \quad x_{*j} = (0.28 - 0.14 d/b_i) x_{*h} + 0.035 \quad \cdots \cdots \text{for } x_{*h} < 0.5$$

ここに $x_{*h} = (u_i^2 / f o g b_i)^{-2/3} \cdot h / b_i$ であって、水深が十分深い時形成される気泡停滞深さ x_e を用い

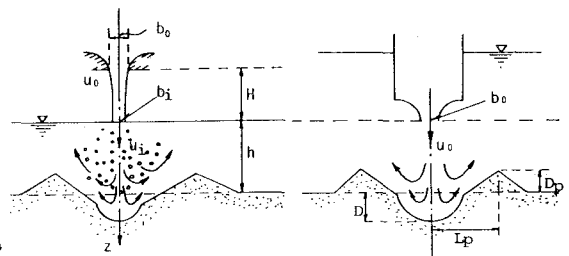


図3 鉛直流れによる洗掘の概略

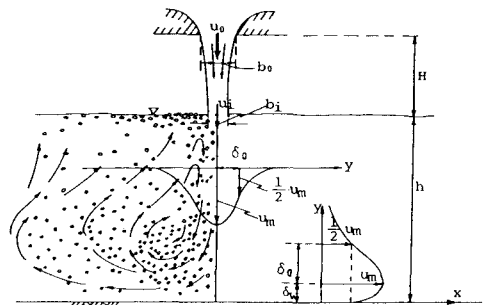


図2 衝突流れの概略

て表せば $x_{*h}=(h/Xe)$ となる。又、衝突後の流れの幅 $\delta\theta_*$ は次式として表された。

$$\delta\theta_*=0.17 \cdot 0.693 \{x_* + x_{*h}/2 + (x_* + x_{*h}/2)^6\} \dots\dots\dots (5)$$

衝突後の流れによる境界層の発達に底面圧力変化が影響するが、この圧力分布の実験結果及び上記の流れ特性を境界層運動量方程式に代入して計算した壁面抵抗係数 $C_x (=2u_*^2/u_m^2)$ の一例を図3に示す。

さて、気泡混入を伴う鉛直流れによる洗掘機構は、鉛直もぐり噴流による洗掘機構と大差ないことをこれまでの実験によって観察している。すなわち、初期洗掘流れはほぼ水平砂面に沿って流れ、河床の変化は砂移動の場所的变化に起因する。中期洗掘では、砂輸送に流れのはく離が大きく影響を及ぼす。後期洗掘では、洗掘穴斜面に及ぼす流体力と不安定堆積部の滑り落ちようとする力がつりあい、洗掘穴形状が堆積部形状につながる点で変曲点をもつ。そして洗掘の進行は洗掘穴から吹き上げられた流れによって流送される砂の砂堆部頂点を越える割合によって決定される。

そこで、こうした洗掘のモデル化に基づいて、本報告中に示された流れ特性を、もぐり噴流による洗掘解析法に組み込んで洗掘形状を計算した結果の一例が図4-bである。図4-aは実験結果であり、非常によく形状変化が表されているといえる。図5は最大洗掘深の時間的変化を比較したものである。計算結果は実験値の傾向をよく説明していて、本文中に示す流れのモデル(せん断力の評価を含めて)がほぼ適切なものであると考える。今後、洗掘計算結果から気泡混入を伴うことによる洗掘の軽減率を検討して行きたい。

	b_0 (cm)	d (cm)	u_0 (cm/s)	h (cm)	H (cm)	u_i (cm/s)	b_i (cm)	f_0	h/b_i	d/b_i	u_i^2/sgd	u_i^2/f_0gb_i	x_{*h}
参考文献 1)31回	2.0	0.26	176	47.0	3.0	192	1.83	0.039	25.7	0.142	87.7	527	0.39
水理講演会 : 気	2.0	0.26	177	21.0	10.0	226	1.57	0.099	13.4	0.166	121.3	334	0.28
泡混入を伴う衝突	2.0	0.26	301	43.0	7.0	323	1.86	0.253	23.1	0.140	248.0	226	0.62

壁面噴流の抵抗係数について(1987)
2) 西部支部講演概要集: 水面突入流れによる洗掘特性について(1986).

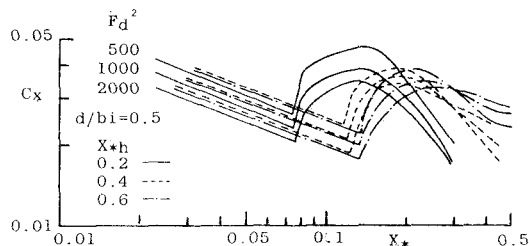


図3 気泡混入衝突流れによる壁面抵抗係数

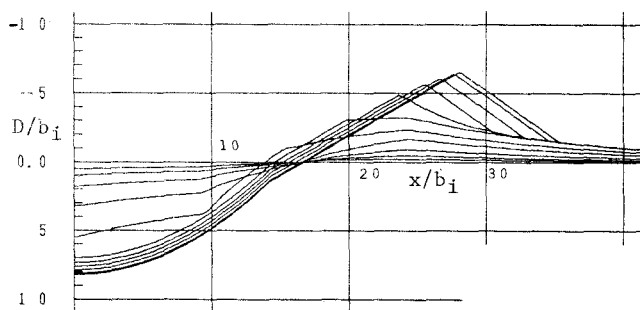
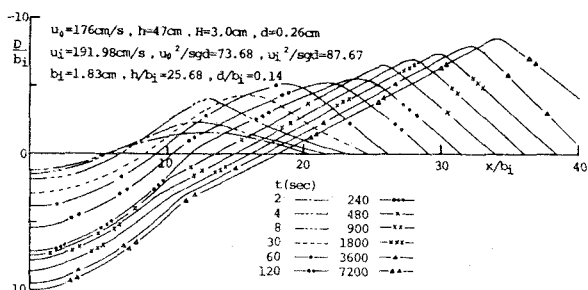


図4 洗掘形状の時間的変化(実験結果と計算結果)

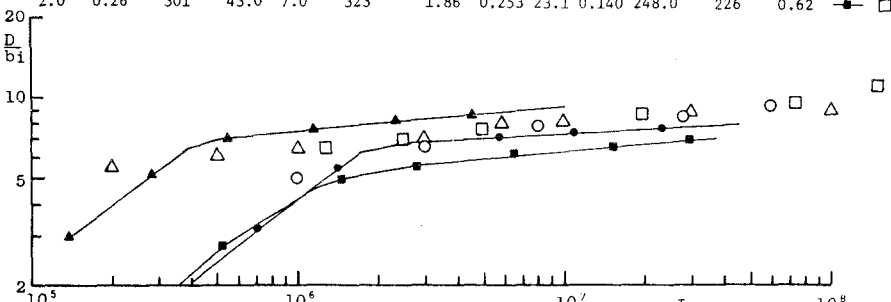


図5 最大洗掘深の時間的変化(実験値と計算値との比較)