

II-235 段落ち落水水による洗掘の形状特性について

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 著者らは、これまでに鉛直落水水による空気混入の現象を取り扱い、空気混入量や空気混入量と流れの特性との関係等を明らかにし¹⁾、洗掘の機構の考察に基づいて、空気混入の洗掘への影響を明らかにしてきた²⁾。又、段落ち部からの落水水による衝突流れの特性を空気混入量と関係づけて調べ、空気混入量が多くなるにつれて掃流砂量を規定する底面せん断力が減少する事を示した³⁾。本研究では、段落ち落水水による洗掘の実験を行って、洗掘過程を観察すると共にこれまでに示した洗掘計算法を応用して、洗掘過程の計算を試みたものである。

2. 実験装置と実験方法 図1は、洗掘の概略を示している。実験に使用した水路は、文献3)に示すものと同じである。直角段落ち形状での実験をRUN-A、空気混入量を増やすために段落ち背面に長さ $L=10$ cm の突起を3本つけた場合をRUN-B、7本つけた場合をRUN-Cとして、実験を行った。実験条件を記号

表中に示す。洗掘時間を2～4時間とし、洗掘形状は35mmカメラ及びビデオカメラの撮影画像から読み取られた。なお、段落ち落水水の空気混入率 f_0 、及び水深と気泡の停滞深さとの比 H/b_i は、文献3)と同じ方法で定められた。

3. 実験結果とその検討 図2は、洗掘形状の時間的变化を示している。洗掘穴上流の堆積部は、洗掘深が増大するに連れて消失している。この消失は、洗掘深が大きくなるにつれて最大洗掘深地点上流側に堆積した砂が洗掘穴に滑り落ちる事に起因している。上流側堆積部の消失に伴って、洗掘された砂は全て下流側に堆積されて、下流側の堆積部が増大していく。最大洗掘深地点は洗掘の進行と共に下流に移動している。図3は、最大洗掘深地点 X_m/b_i の軌跡を、最大洗掘深 D/b_i に対して示したもので、ほぼ $X_m/b_i = X_{m0}/b_i + 0.5 D/b_i$ で近似される。 X_{m0}/b_i は、初期砂面上での衝突点の位置である。図4は、洗掘穴の形状を、 $D-Z$ を Z_T として、 Z_T/b_i と X/b_i とで表示したものである。ある洗掘条件のもとでは、ほとんど同じ形状を保ちつつ洗掘が進行している事、又、衝突距離 H/b_i が大きくなるにつれて洗掘穴の形状の曲率は小さくなっている。図中の実線は、 $Z_T/b_i = a (X/b_i)^2$ の二次曲線を示している。

4. 洗掘過程の計算 落水水による洗掘では、最大洗掘深地点上流側で洗掘された砂は、上流側にふき上げられて沈降堆積するが、ふき上げ角度が急なため、ほとんどの砂が洗掘穴側の斜面に堆積し、噴流の動揺に伴う斜面の崩落によって、洗掘穴が埋め戻され、結局は、最大洗掘深地点より下流側へと輸送されて、洗掘穴から下流側に向かうふき上げ流れによって洗掘穴下流の堆積部付近に輸送されてしまう。図5は、噴流の動揺に

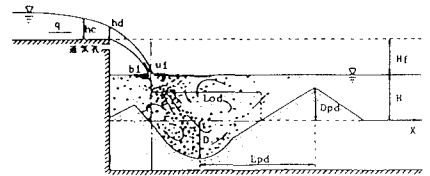


図1 洗掘の概略

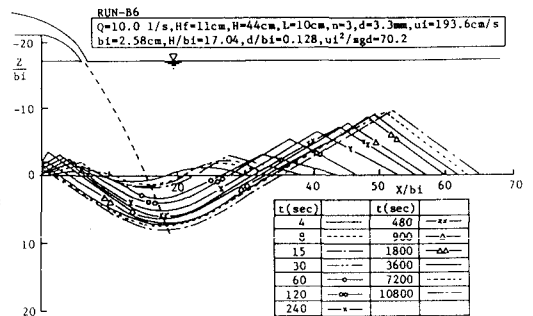


図2 洗掘形状の時間的变化

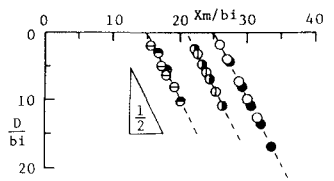


図3 最大洗掘深地点の軌跡

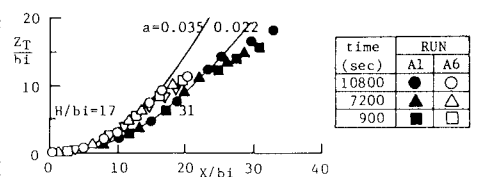


図4 洗掘穴の形状

表 1 実験条件

RUN	Q (l/s)	Hf (cm)	L (cm)	n	H (cm)	d (mm)	bi (cm)	H /bi	d /bi	ui ² sgd	f ₀	H _*	
A1	5.0	21	0	0	34	1.35	1.10	30.8	0.12	236	0.003	0.046	●
B1	5.0	21	10	3	34	1.35	1.10	30.8	0.12	236	0.036	0.26	▲
C1	5.0	21	10	7	34	1.35	1.10	30.8	0.12	236	0.06	0.36	■
A2	5.0	11	0	0	44	1.35	1.40	31.4	0.096	146	0.001	0.016	○
B2	5.0	11	10	3	44	1.35	1.40	31.4	0.096	146	0.014	0.22	△
C2	5.0	11	10	7	44	1.35	1.40	31.4	0.096	146	0.027	0.35	□
A3	10.0	11	0	0	44	1.35	2.58	17.0	0.052	172	0.002	0.048	●
B3	10.0	11	10	3	44	1.35	2.58	17.0	0.052	172	0.022	0.22	▲
C3	10.0	11	10	7	44	1.35	2.58	17.0	0.052	172	0.03	0.27	■
A4	5.0	21	0	0	34	3.3	1.10	30.8	0.30	96	0.003	0.046	○
B4	5.0	21	10	3	34	3.3	1.10	30.8	0.30	96	0.036	0.26	△
C4	5.0	21	10	7	34	3.3	1.10	30.8	0.30	96	0.06	0.36	□
A5	5.0	11	0	0	44	3.3	1.40	31.4	0.24	60	0.001	0.016	○
B5	5.0	11	10	3	44	3.3	1.40	31.4	0.24	60	0.014	0.22	△
C5	5.0	11	10	7	44	3.3	1.40	31.4	0.24	60	0.027	0.35	□
A6	10.0	11	0	0	44	3.3	2.58	17.0	0.13	70	0.002	0.048	○
B6	10.0	11	10	3	44	3.3	2.58	17.0	0.13	70	0.022	0.22	△
C6	10.0	11	10	7	44	3.3	2.58	17.0	0.13	70	0.03	0.27	□

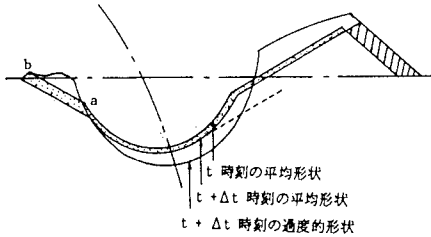


図 5 洗掘穴斜面の崩落モデル

に伴う不安定斜面の崩落を模式的に示したものである。この様な洗掘穴内での掃流砂量の評価は非常に困難であるので、次の様に取り扱って、これまでに示した洗掘計算法に組み込む事にする。

①洗掘穴の形状は最大洗掘深地点に対して対称とする。②洗掘穴上流側の堆積部を無視して、洗掘された砂は全て洗掘穴下流にふき上げられるものとする。

図 6 は、最大洗掘深の時間的変化について、計算結果を実験結果と比較したものである。空気混入の効果が少ないため、顕著な洗掘深の減少は見られないが、計算結果は空気混入量の増大に伴って減少していて、実験結果とほぼ合致している。なお、時間的変化率の変化する時刻が一致していない結果もみられるが、洗掘穴の砂の水中安息角より急な斜面に働く力の釣り合いをさらに精度よく定める事が必要と考える。

図 7 は、 H_* を 0.05、0.4、0.5、0.6 と変化させた時の計算結果を示している。 H/b_i 、 d/b_i 、 u_i^2/sgd が一定で、空気混入量が増えて、水深が気泡停滞深さに近づくにつれて、すなわち、 H_* が 1 に近づくにつれて、洗掘深が減少していく事が分かる。図 8 は、 L_p/b_i と D/b_i との関係について、図 9 は、 D_{pd}/b_i と D/b_i との関係について、計算結果を実験結果と比較したものである。 D/b_i の大きい時期では、計算結果は実験結果とほぼ合致している。

5. おわりに 段落ち落下水による洗掘の形状の特性が、ほぼ明らかになった。洗掘計算によって、水深が気泡の停滞深さの 1/2 程度以下になればかなり減少する事を示した。なお、本研究での洗掘計算は洗掘穴内での砂輸送を適切に評価していないが、今後この点について検討を進めて行きたい。おわりに、本研究は、平成元年度文部省科学研究費一般研究の補助を受けて行われたものである事を付記して謝意を表する。

参考文献：

- 1) 赤司 信義、斎藤 隆：気泡混入を伴う衝突壁面噴流の抵抗係数について、第 31 回水講演文集、1987。
- 2) 赤司 信義、斎藤 隆：鉛直二次元衝突流れによる洗掘に及ぼす気泡混入の影響、土論、Vol.387、1987。
- 3) 石川 誠、赤司 信義、斎藤 隆：段落ち落下水による粗面河床上の衝突流れについて、45 回年講、1990。