

段落ち落下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

河川段落ち部からの落下水による河床の洗掘(図1にその概略を示す)に関する研究は、従来数多くなされているが、気泡の混入が洗掘の進行にどの様に関わっているのか論じたものは見あたらない。本研究は、段落ち落下水による洗掘の形状の時間的変化を実験によって調べると共に、気泡混入量を増やした時洗掘量がどの程度減少するのか、又、鉛直落下水による洗掘(図2にその概略を示す)の計算によって求められる洗掘形状が段落ち落下水による洗掘形状とどの程度異なるのかを検討するものである。

2. 実験装置と実験方法

実験に使用した水路は、長さ 16.7 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 0.4 m、下流水路の高さは 1.26 m である。洗掘の実験は、図1に示す直角段落ち部からの落下水による場合と気泡混入量を増大させるために段落ち背面に図3に示す様な突起を取り付けた場合とについて行われた。突起の厚さは 5 mm、長さ L は 10 cm で、突起本数 n が 3 本と 7 本の場合について行った。流量 Q は 5.0 l/s と 10.0 l/s、落下高 H_r は 11 cm と 21 cm、水深 H は 34 cm と 44 cm で行った。河床材料としてほぼ均一な粒径を持つ 2 種類の砂(平均粒径 d が 0.135 cm と 0.33 cm)を使用した。

洗掘実験の前に、所定の条件で「ト」によって気泡混入率 f_0 ($= q_0/q$: q_0 は単位幅気泡混入量, q は単位幅流量)を測定した。突入速度 u_i は、段落ち地点の水深を h_d として、 $u_i = \sqrt{2g(H_r + h_d/2) + (q/h_d)^2}$ によって、突入幅 b_i は $b_i = q/u_i$ によって定めた。又、水深と気泡の停滞深さとの比 H_* は、鉛直落下水の場合について定められた関係式 $H_* = (H/b_i) \cdot (u_i^2 / f_0 g b_i)^{-2/3}$ に基づいて定めた。

3. 実験結果とその検討

図4は洗掘形状の時間的変化を示している。最大洗掘深地点は、洗掘の進行と共に下流に移動して、河床がない時の落下水脈の中心線(図中の破線)とほぼ合致している。又、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。図5は、 $Q = 10$ l/s、 $H_r = 11$ cm、 $H = 44$ cm と $Q = 5$ l/s、 $H_r = 21$ cm、 $H = 34$ cm の条件について、突起のない場合と突起を付けて気泡混入量を増大させた時の最大洗掘深 D/b_i と洗掘時間 τ ($= u_i^2 / \text{sgd} \cdot u_i / b_i \cdot t$ s は砂の水中比重で 1.65)との関係を示したものである。気泡混入

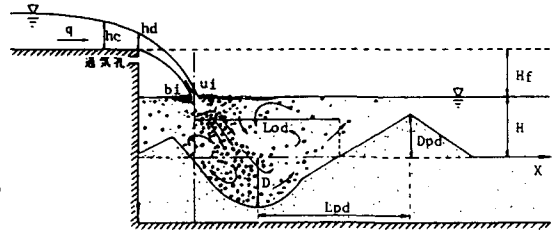


図1 段落ち落下水による洗掘の概略

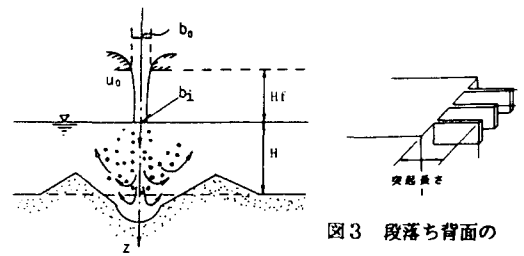


図2 鉛直落下水による洗掘の概略

図3 段落ち背面の突起の形状

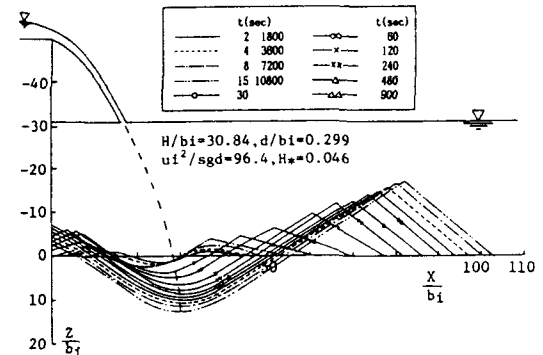


図4 洗掘形状の時間的変化

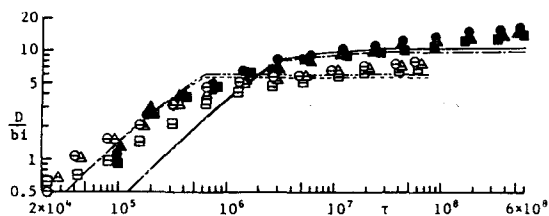


図5 最大洗掘深の時間的变化

Q (l/s)	L (cm)	n	b1 (cm)	H/b1	d/b1	ui ² / sgd	H*	記号
5.0	0	0	1.10	30.8	0.30	96	0.046	○
5.0	10	3	1.10	30.8	0.30	96	0.26	△
5.0	10	7	1.10	30.8	0.30	96	0.36	□
5.0	0	0	1.40	31.4	0.24	60	0.016	●
5.0	10	3	1.40	31.4	0.24	60	0.22	▲
5.0	10	7	1.40	31.4	0.24	60	0.35	■
10.0	0	0	2.58	17.0	0.13	70	0.048	○
10.0	10	3	2.58	17.0	0.13	70	0.22	△
10.0	10	7	2.58	17.0	0.13	70	0.27	□
5.0	0	0	1.10	30.8	0.12	236	0.046	●
5.0	10	3	1.10	30.8	0.12	236	0.26	▲
5.0	10	7	1.10	30.8	0.12	236	0.36	■
5.0	0	0	1.40	31.4	0.096	146	0.016	○
5.0	10	3	1.40	31.4	0.096	146	0.22	△
5.0	10	7	1.40	31.4	0.096	146	0.35	□

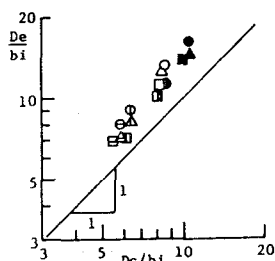


図6 実験終了時の最大洗掘深

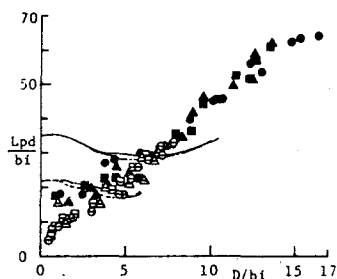


図7 砂堆頂長さと最大洗掘深の関係

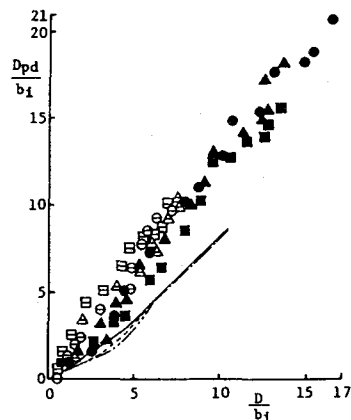


図8 堆積部高さとも最大洗掘深の関係

量が増えると（すなわち、気泡の停滞深さに対する相対水深 H^* が大きくなると）最大洗掘深が減少する事が分かる。（但し、突起をつけても水深が気泡停滞深さに近くなるほどの気泡が混入されなかったために著しい減少を観察できなかった。）図中の曲線は、段落ち落下水の洗掘を鉛直落下水による洗掘と見なして計算した時の結果を示している。計算結果は実験結果よりも小さくなっている。図6は、実験終了時の最大洗掘深 D_e/b_1 と鉛直落下水による洗掘と見なして計算した時の最終洗掘深 D_c/b_1 とを比較したものである。実験結果は計算結果のほぼ1.5倍になっている。この理由としては、段落ち落下水による衝突流れは洗掘穴内に斜めに衝突するため、洗掘穴からのふき上げ流れの傾きが鉛直落下水によるものよりも小さくなり、その結果洗掘穴の浮遊砂がより多く堆積部頂上を越えて輸送される事に起因していると考えられる。図7は、砂堆頂長さ L_{pd} と最大洗掘深 D との関係を、図8は堆積部高さ D_{pd} と最大洗掘深 D との関係を示したものである。両図から、本実験範囲内では、 H/b_1 、 d/b_1 、 u_i^2/sgd 、 H^* に関わらず L_{pd} と D 及び D_{pd} と D はそれぞれほぼ直線的な関係のある事が分かる。両図中の曲線は、段落ち落下水の洗掘を鉛直落下水による洗掘と見なして計算した時の結果を示している。段落ち落下水による洗掘では洗掘穴上流に堆積部がほとんど形成されず、洗掘量がほとんどすべて洗掘穴下流に堆積されるため、計算による最終洗掘深付近では L_{pd} 、 D_{pd} 共に鉛直落下水によるものよりも大きくなっている。

4. おわりに

段落ち落下水による洗掘の形状の特性が、限られた実験範囲ではあるが、ほぼ明らかになった。又、突起をつけて気泡混入量を増大させると洗掘量の減少する事、及び、最大洗掘深は、鉛直落下水によるもののほぼ1.5倍になる事が認められた。今後さらに、洗掘実験を進めると共に、水叩き長さや洗掘限界等についても考察を進めて行きたい。なお、本研究は平成元年度文部省科学研究費(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。