

越流堰下流部の洗掘特性について

京都大学工学部 正員 中川 博次
 京都大学工学部 正員 大坪 国順
 シェル石油株式会社 正員 見玉 充生

1. まえがき

床固め下流部での河床低下は、床固め自体の破壊を誘因する重大な問題である。本研究は局所洗掘に対する床固めの安全性を確かめるために、床固め下流部での局所洗掘現象の一般的特性を実験的に明らかにしようとしたのである。床固め下流部の洗掘特性は、洗掘初期と、洗掘が発達した場合では、異なった傾向を、後者においては、洗掘孔付近に発生する流況の変動と、洗掘孔特性との間に興味ある事実を見出された。

2. 実験の概要

実験に用いた水路は、幅50cm、高さ30cm、長さ5mの木製水路である。水路の側壁は写真撮影のために、一部透明アクリル板と使っている。水路上端から150cm下流、高さ2cm、及び4cm、幅2cmの鉛直堰を設置した。表-1に各実験ケースの水理量と、固定床における多次元掃流力 τ_x の最大値を示す。 τ_x の特性は流量 Q による変化は、おおよそ顕著ではなく、堰高に大きく影響している。

洗掘実験に用いた砂の粒径は0.14mmである。砂は堰下流部全体にわたって、最大15cm、最小7cmの厚さになる。実験を行うに、洗掘深の時間的変化の測定は写真撮影と超音波測深器とを併用した。超音波測深器を用いた場合測定は水路中央断面で行った。洗掘初期には形状はほぼ2次元であるが、洗掘孔が発達すると、側壁の影響で形状は3次元になる。初期の解析は写真を用い、発達したものは超音波測深器に併用した。

3. 実験結果とその考察

図-1は各実験ケースでの最大洗掘深 Z_{sm} の時間的変化を示したものである。(以下の図中の記号は図-1の記号に準拠する。) 流量による差は、おおよそ顕著ではなく、堰高 W の影響が顕著である。次に洗掘特性と洗掘初期とを以後に命じて説明する。

初期の洗掘特性 洗掘初期での Z_{sm} は時間の経過で変化する。この間の洗掘孔付近の流況は、堰下、

床固めの時間的変化は、洗掘孔の縦断形状は時間に対して相似形を保ち、このため、実験条件による初期形状

Case	i	d (cm)	W (cm)	Q (lit/s)	τ_x	h_c (cm)
2-1			2	4.43	0.082	2.0
2-2			2	6.44	0.087	2.57
2-3			2	9.23	0.090	3.26
2-4			2	12.73	0.094	4.04
2-5	1	1000	0.14	13.80	0.092	4.27
4-1			4	4.04	0.132	1.88
4-2			4	6.42	0.117	2.56
4-3			4	9.09	0.125	3.23
4-4			4	12.30	0.122	3.95
4-5			4	14.00	0.122	4.31

表-1

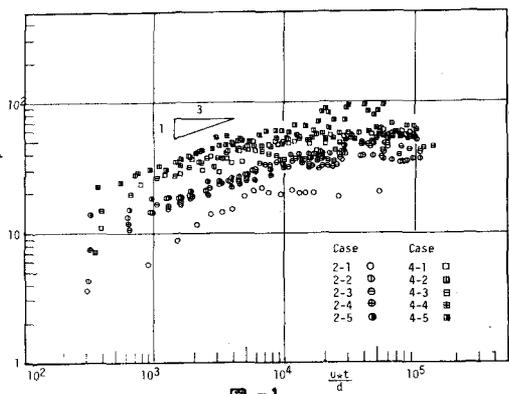


図-1

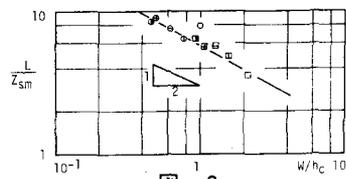


図-2

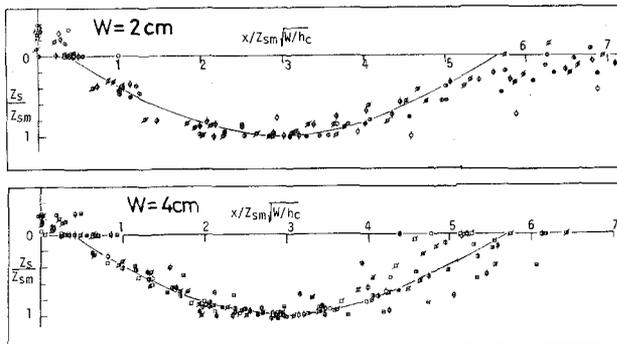


図-3

異なる。各実験における L/Z_{sm} と W/h_c の関係を調べたのが図-2である。これは洗掘孔の長さである。この図から $L/Z_{sm} \sim (W/h_c)^{1/2}$ の関係がわかれる。事実上の洗掘孔の縦断面形状を縦軸に Z/Z_{sm} 、横軸に $Z/Z_{sm} \cdot W/h_c$ を用いてプロットした図-3の通り、全の実験ケースの洗掘形状はほぼ一本の次式の曲線で表わされる。 $Z/Z_{sm} = \sin \frac{\pi}{3.5} \left(\frac{Z}{Z_{sm}} \sqrt{W/h_c} - 2.4 \right) - (1)$

(1)式より単位幅当りの洗掘孔の体積は $V = \frac{10.6}{\pi} \sqrt{h_c/W} Z_{sm}^2 - (2)$ で表わすことができる。 Z_{sm} の時間的変化特性は(2)式より、洗掘初期における流量 q_{Bx} は $q_{Bx} \propto Z_{sm}^{-1}$ との関係が予想され、 q_{Bx} と Z_{sm} に対して図-4の通りこの関係が認められる。図中実験の $q_{Bx} = 2.70 \sqrt{h_c/W} C_x^2 (Z_{sm} W)^{-1} - (3)$ となる式が導かれる。図-4は(3)式における C_x が一定値をとる C_{xmax} を用いた。(3)式の理論的寄与が十分とせば、堰上から流下する流れと噴流との洗掘深の増加に伴う噴流の最大流速の遞減効果がある。流砂量 q_{Bx} は Z_{sm} の-1乗に比例して減少する。これは q_{Bx} と $C_x(Z)$ との関係の決定が今後の課題として残る。

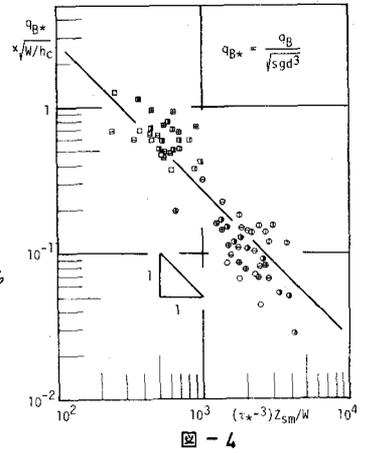


図-4

初期以後の洗掘特性 洗掘孔の相似形を保持する程度拡大した堰付直の流況は突然形状跳木となり、主流の河岸側に衝突する位置は洗掘孔後端に下る。洗掘孔内は荷領域に入り渦を起すおと洗掘孔内は埋戻しとなり、一方下流域は主流となり洗掘孔は、洗掘孔が浅く幅広い形状に変化する。

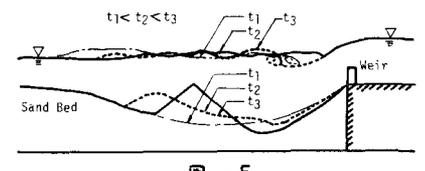


図-5

この現象は長くと継続せず、流況が再び静りに移行し洗掘孔上流部に局部的な深堀り。深堀りの時間は数十秒から数分程度であり、再び流況が形状跳木に移行し洗掘孔内の埋戻しが始まる。以後は2つの現象が繰り返される。流況と洗掘孔特性の時間的変化は模式的に示された図-5である。この現象の間、水路の最下流端の水深はほとんど変化がみられない。深堀りから次の深堀りまでの時間間隔は実験条件により異なるが、数十秒から数分程度である。

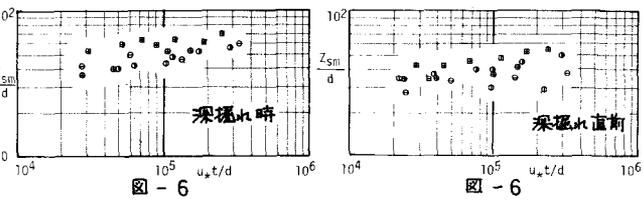


図-6

図-6

今回の実験では系統的な傾向が認められる。図-6は深堀り時、及び深堀りに発生直前における Z_{sm} の時間的変化を示したものである。各実験ケースを通じて、2つの現象は最大洗掘深の時間と比べて徐々に増加する傾向がある。図-7は深堀り時、及び深堀り直前における L/Z_{sm} の時間的変化を示す。これは L は $Z_s = Z_{sm}$ の位置の洗掘孔上端からの距離である。洗掘孔の上流側斜面上で実験条件によりそれぞれ現象と似た相似形が認められる。図-8は、深堀り開始直前における L/Z_{sm} の時間的変化を示したもので、この図から洗掘孔の下流側部分の最大洗掘深の進行に比べて上流側は割合的に拡大はしないことがわかる。初期以後の洗掘特性の系統的把握のため、砂粒径、水路の局定係数を変えた実験が必要である。洗掘孔内の流れを実験的に明らかにする必要はある。流れを解明するため、現在検討中である流況の遷移の問題を解明するためにも役立つと思われる。

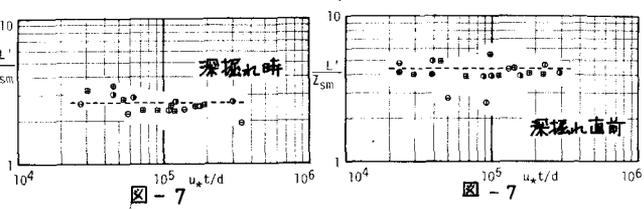


図-7

図-7

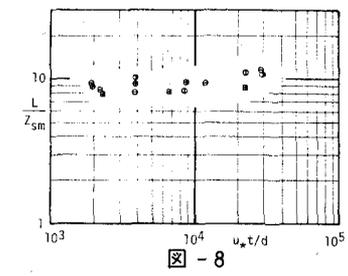


図-8