

大阪工業大学 正員 久保弘一
 大阪工業大学 正員 井田保夫
 修成建設 正員 西 隆広
 コンサルタンツKK

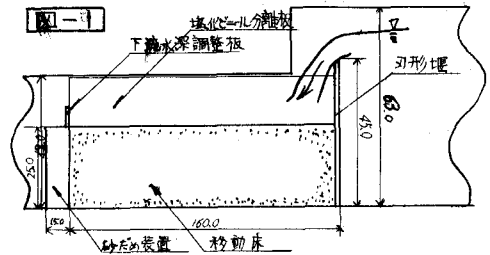
1. 緒言

堰堤あるいはこれに類似した水理構造物の安全性は越流水によって予想される下流側の洗掘状況と察知し、これをいかに防ぐかという点に帰着する。この洗掘を放置すれば、その進行に伴い、構造物の附属施設については構造物そのものの存在をも危くする。下流側の洗掘を防止するためには、副堰堤によって下流水深を増大し、落下水のエネルギーを減少せしめることによって河床を安定させる方法、水叩きによる洗掘防止法等が考えられる。しかしながら、一般の洗掘現象の機構や河川構造物設置に伴うエネルギー散逸現象は越流量およびその変動過程、越流水の落下高、下流水深、水流の作用時間、河床材料等の多数の物理量によって複雑多岐に変化するものであり、現在までの所では、まだ十分な解明が行われていないと考えざるを得ない。洗掘現象を説明する理論としては、ある有限の作用時間後に洗掘形態が平衡状態に達するという *Schoklitch* 系の理論と、洗掘形態が継続時間に関して等比級数的に増加するという *Rouse* 系の理論が知られているが、前者については勿論、後者についてもまだ水理機構との関係と明らかにしているとは言えない段階である。

この研究では堰堤あるいはこれに類似した河川構造物下流の複雑な洗掘機構をできるだけ単純な形で把握するため、鋭縁矩形堰を対象として落下水による下流側の洗掘形態、洗掘移動現象の時間的推移を明らかにすると同時に、洗掘防止対策のための基礎資料をも併せて得る目的で行ったものである。

2. 実験設備および方法

実験は幅 0.7^m 、深さ 0.4^m のコンクリート水路中に図-1に示すように刃形堰と移動床を設置した。刃形堰は構造物の model であると同時に流量測定にも利用し、越流水深から流量を求めた。移動床は堰下流から 160^cm の区間に設置したが、砂の粒径による洗掘形態



の相違を明らかにするために、塩化ビニール板によって水路幅を2分し、両側にそれぞれ粒径の異なる砂を填充した。移動床に用いた砂の物理的性質は表-1に示す通りである。

表-1 移動床材料の物理的性質

次に下流水深は洗掘形態を決定する重要な要素であるので、水位の調整には移動床下流端に設けた水深調整板の高さを調整して、所要の水深を得た。実験に用いた水理量を一括

記号	比重	粒径の範囲	平均粒径	標準偏差	平均沈降速度
A	2.52	1.2^mm 以下	0.58^mm	1.51	$9.0^cm/sec$
B	2.53	$1.2 \sim 2.5^mm$	1.68^mm	1.20	$19.3^cm/sec$

して表示すると表-2に示す通りである。なお、通水を始めてから流量が一定の状態に達するまでに移動床が洗掘されることは望ましくないので、定常状態に達するまでは水流は余水路を通じて直接、下流水路に放流した。また下流側の洗掘、砂の移動状況は流水状態のままで直接測定したものである。

3. 洗掘現象に関する考察

局所洗掘の現象は極めて複雑であるため、一般的方法論を確立することはほとんど不可能に近いと言ってもよい。従って、ここでは次元解析によって、現象を支配する諸要素間の関係を実験的に検討しようとするものである。

洗掘現象を表わす一般的関係は、

$$r_h = f_1(q, H, T_w, W_m, T, \rho, \rho_s) \quad (1)$$

また、洗掘堆積する範囲の長さ L についても、同様の物理量の関数として示される。

ただし、 q = 単位幅当りの流量、 H = 刃型堰越流部天端から移動床までの高さ、 T_w = 下流水深

T = 洗掘作用継続時間、 ρ = 水の比重、 ρ_s = 移動床材料の比重、

r_h = 洗掘深(初期移動床面から)、 L = 堰下流端から測定した洗掘堆積の範囲

ρ および ρ_s は一定であるから、式(1)に元定理を用いると次のような関係式が求められる。

$$\left. \begin{aligned} \frac{r_h}{H} &= \phi_1\left(\frac{qT}{H^2}, \frac{H}{T_w}, \frac{HW_m}{q}\right) \\ \frac{L}{H} &= \phi_2\left(\frac{qT}{H^2}, \frac{H}{T_w}, \frac{HW_m}{q}\right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

4. 実験結果と考察

(1) 洗掘作用時間 T と洗掘深の関係

実験結果を横軸に作用時間 T 、縦軸に洗掘深 r_h をとって整理した結果から、次の事が明らかにになった。

(a) 洗掘深は洗掘作用時間 T の等比数率的増加に比例し、かつ同一条件に対しては粒径の小さい A 砂の洗掘深の方が B 砂よりも洗掘深が大で、かつその増加率も大きい。両砂の洗掘深の相違は洗掘速度の相違が原因と考えられ、また洗掘深の増加率の相違は洗掘速度、標準偏差の相違によるものと考えられる。

(b) 洗掘深 r_h は他の条件が同一であれば、 q の増加に対して、明確な増加の傾向を示す。

(c) 洗掘深は他の条件を同一とすれば、 T_w の増加に伴って、明確な減少の傾向を示す。

(d) 洗掘深は他の条件が同一であれば、 H の増加に伴って、増加の傾向を示す。

次に、(2)式右辺の各無次元量と r_h/H との関係を示すために、 qT/H^2 、 H/T_w 、 HW_m/q をそれぞれ横軸に、 r_h/H を縦軸にとってグラフを作製した。本文には、 $qT/H^2 - r_h/H$ のみを示す。(図-2) その結果は、各水深、落下高、下流水深について、 qT/H^2 の等比数率的増加に対して、 r_h/H は明確に直線的な増加を示している。また、 HW_m/q と r_h/H との関係は $\log(r_h/H)$ と $\log(HW_m/q)$ とが直線的関係にあり、かつその勾配は A、B 砂とも -0.78 で、 HW_m/q の増加に従って、減少の傾向を示している。 T_w/H と r_h/H の関係は、両対数グラフに表わすと直線として示され、 $\log(r_h/H)$ と $\log(T_w/H)$ との間は直線的関係が存在する。その勾配は A、B 砂それぞれについて、-0.31、-0.24 である。

以上の各物理量の関係から洗掘深に関する実験公式を作成する。洗掘深の関数関係はすでに無次元量の関係として、(2)式に示されているが、ここでは、

$$\frac{r_h}{H} = (a + b \log \frac{qT}{H^2}) \left(\frac{HW_m}{q} \right)^c \left(\frac{T_w}{H} \right)^d \quad (3)$$

なる形をとるものとして、実験結果から得られた前述の各無次元量の相互関係を用いて、その結果を

表-2 実験の諸元

流量 (cm ³ /cm・sec)	60, 90, 120
落下高 (cm)	15, 20
下流水深 (cm)	1.8, 2.1, 2.6 (測定高 0 cm) 5.8, 6.1, 6.6 (" 4) 7.8, 8.1, 8.6 (" 6)
継続時間 (min)	1, 2, 4, 8, 16, 32 60, 90, 120, 240

堆積作用時間 T と砂堆末端移動距離 L との関係には全般を通じて次のような傾向が見出される。(a) T の等比数率的増加を示す。同一水理条件の下では粒径の小さいA砂の方がB砂よりも L が長く、かつその増加率もまた大である。これは前記(1)(a)の洗掘梁の大小と直接関係している。

(b) L は q 以外の条件が一定であるとき、 q の増加に対して増加の傾向を示す。(c) L は T_w 以外の要素が一定であれば、 T_w の増加に対し、明確に減少する。(d) L は H 以外の要素が一定である場合には、 H の増加に対して増加の傾向を示すが、一部はほとんど変化の見られないものもある。

次に移動床の洗掘、堆積の時間的推移を追跡して見る。その一例を示すと図-4の通り、洗掘の進行状況と砂堆の進行状況を明瞭に示している。

洗掘、堆積、移動の観察結果によると、下流移動床は越流水の落下開始と同時に、急激

に洗掘され始め

短時間でほぼ安定

した形状に近付き

その後は徐々に先

掘が行われ、砂を

下流へ流送するが、

初期に比べれば、

その変化量は非常に小さくなる。

図-3

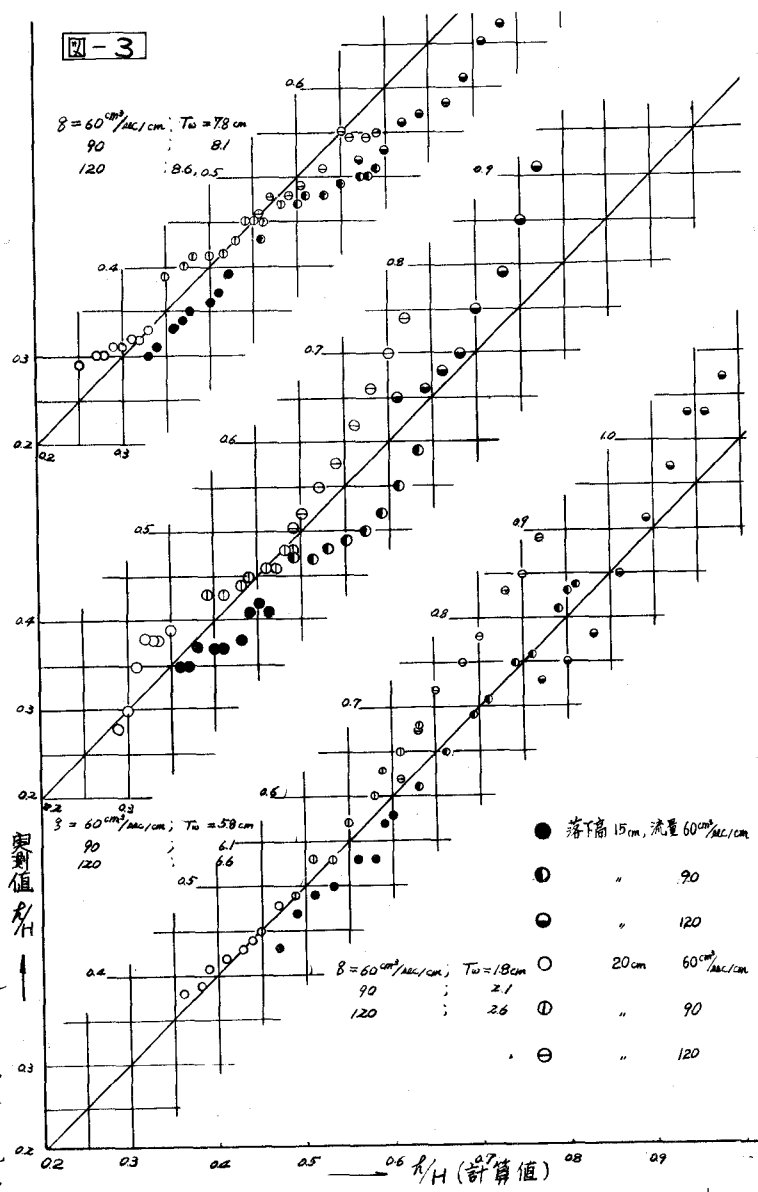


表-3

	Thomson	本実験
流量 (cc/sec)	0.0116~0.0465	0.006~0.012
下流水深 (cm)	3.81~6.1	1.8~8.6
平均粒径 (mm)	0.63	0.058 0.168
標準偏差	1.17, 1.33	1.51 1.20
作用時間	45~18 hr	1 min ~ 4 hr

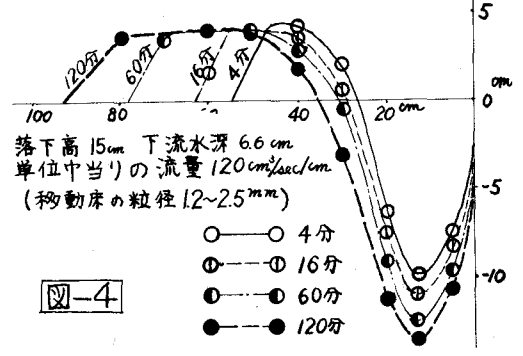


図-4