

II-154

堰下流部の局所洗掘についての一考察

(株)熊谷組 正員 小田 晃
日本大学理工学部 正員 栗津 清蔵

1. まえがき 堰下流側における洗掘現象は、堰の倒壊などの災害につながる重要な問題である。このような災害を防ぐため、堰下流側には水叩き部が設けられる。しかし、水叩き下流端において洗掘が発生し、水叩き部が破壊される場合がある。このときの修復に費やされる負担を考えると、堰の基礎をより深くする方が経済的な場合もあると思われる。その基礎の深さを決定するために、堰下流側における洗掘現象を知る必要がある。堰下流側の洗掘現象については、伏谷¹⁾、木村²⁾、林³⁾らにより研究が行われている。本研究は、ナップが堰下流側水面に貫入する部分に注目し、堰上流側の水路床からの堰高を変化させる洗掘実験をもとに、堰下流側の洗掘現象について検討を行った。

2. 実験条件 実験条件は、流量 Q が $2507 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、 $5011 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、 $7508 \text{ cm}^3/\text{s}$ の三種類、堰高 h_{SD} は 15 cm 、堰上流側水路床からの堰高 h_{SU} は 0 cm 、 7.5 cm 、 15 cm の三種類とした。堰下流側の移動床は、厚さ 14 cm 、長さ 130 cm で、平均粒径 d_m は 0.3 cm 、 0.6 cm 、 1.2 cm の砂礫をそれぞれ単独で用いた。なお、堰上流側の移動床も、堰下流側で用いた砂礫と同じ径の砂礫を用いている。実験水路は、幅 40 cm の長方形断面開水路で、水路中央部に、水路を横断するしんちゅう製の堰板(厚さ 3 mm)を設置した。堰下流側水深 h_D は、全ケースとも、水路下流端のゲートを同じ高さに固定したため、流量によってのみ変化する。また、ナップ裏側は、通気を施してあるため大気圧に等しい。

3. 実験結果 実験の観察から、本実験の範囲では洗掘孔形状はほぼ二次元であることが確認された。従って、洗掘深や洗掘孔形状は、水路側面のガラス面で測定を行っている。図-2は、初期河床面からの通水状態での平衡洗掘深 d_{DE} で、鉛直方向の距離 x と流下方向の距離 l を無次元化した図である。図中の記号は h_{SU} の違いを表している。この図より、 h_{SU} の違いによる影響は示されていない。図-3は、最大洗掘深 d_D の時間的变化である。この図より、 h_{SU} の違いによって、洗掘中の d_D が異なることが示されている。しかし、傾きについてはどの h_{SU} の場合もほぼ同じである。

4. 考察 実験の結果より、 h_{SU} は洗掘深に影響する。そこで、 h_{SU} の違いが表れるナップに注目して、平衡洗掘深の実験式を求める。ナップ厚 D とナップが堰下流側水面に貫入する角度 θ は、Creager⁴⁾のナップ形状の図をもとに、 h_D 、 h_{SD} 、 h_U から読み取った。ナップ貫入後

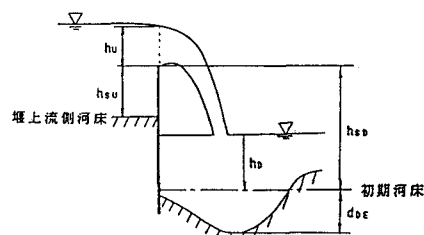


図-1 記号略図

記号	Case	$h_{SU}(\text{cm})$	$Q(\text{cm}^3/\text{s})$	$d_m(\text{cm})$
○	6	0	2507	0.6
△	7	7.5	2507	0.6
□	8	15.0	2507	0.6

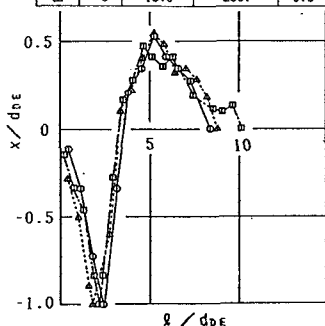
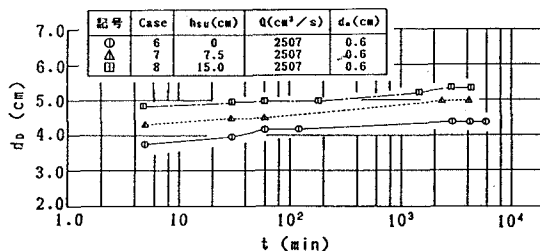


図-2 無次元洗掘孔形状

図-3 d_D の時間的变化

の中心流速 v_1 は、堰下流側の水クッションにより、ナップ貫入時の流速 v_0 よりも小さくなる。この v_1 の減衰がもぐり噴流の減衰にしたがうものと考えて、

$$\frac{v_1}{v_0} = k_0 \left(\frac{D}{l_1} \right)^{1/m} \quad (1)$$

ここに、 k_0 , m は係数、 l_1 は堰下流側水面から v_1 までの距離で $l_1 = (h_D + d_{DE}) / \sin \theta$ である。 v_0 は、水路幅を B とし、 θ を考慮して、 $v_0 = Q / (B \cdot D \cdot \sin \theta)$ と表す。河床面に沿った流速 v_b は v_1 に比例し、洗掘孔内での河床面上における摩擦速度 v_* は v_b に比例すると仮定すれば、

$$v_b = k_1 v_1, \quad v_* = k_2 v_b \quad (2)$$

ここに、 k_1 , k_2 は係数である。平衡状態では、 v_* は砂礫の限界摩擦速度 U_{*c} にほぼ等しいとすれば、式(2)より $v_1 = U_{*c} / k_1 k_2$ となる。式(1)に、 v_0 , v_1 , l_1 を代入すると、

$$\frac{h_D + d_{DE}}{D \cdot \sin \theta} = (k_0 k_1 k_2)^m \left(\frac{q}{U_{*c} \cdot D \cdot \sin \theta} \right)^m \quad (3)$$

ここに、 $q = Q / B$ である。式(3)をもとに、実験値をプロットしたものが図-5である。 U_{*c} は岩垣の式を用いて計算した。この図より、通水状態における平衡洗掘深に関する実験式として次の式が得られた。

$$\frac{h_D + d_{DE}}{D \cdot \sin \theta} = 0.367 \left(\frac{q}{U_{*c} \cdot D \cdot \sin \theta} \right)^{1.28} \quad (4)$$

この実験より得られた指数 $m=1.28$ は、林氏³⁾の得た値 ($m \approx 1.33$) に近い値である。また、図-5中に木村氏²⁾の実験値から得た値を●印で示す。 D と θ については越流水深と堰下流側水深をもとに、Creager⁴⁾の図を用いて読み取った。ただし、木村氏の洗掘深は、実験開始から150分の値であるが、図-3からも見られるように、平衡洗掘深 d_{DE} はそれから約1割程度増加するだけである。したがって、図中の●印はほぼ平衡洗掘深であるとみても大きな違いはないと思われる。

5. まとめ ナップに注目して、堰上流水路床からの堰高 h_{su} を変化させる洗掘実験より次の結果が得られた。1) h_{su} の変化は、洗掘孔形状には影響しないが、洗掘深には影響を及ぼす。2) ナップの厚さと貫入角度を用いて求めた式(4)が、従来の実験値に対してもよい結果を示している。今後の問題点としては、各係数の決定や、堰高、下流側水深の変化などがあげられる。

《参考文献》 1) 伏谷伊一：渓流工学，地球出版，1970，p.179～180。 2) 木村喜代治：水理構造物を越流する自由ナップによる洗掘の機構，土木学会論文集，第39号，1956，pp.34～37。 3) 林 拙朗：砂防ダム下流部における洗掘深さについて(Ⅱ)，新砂防，117号，1980，pp.10～14。 4) Creager, W.P., Hind, J. and Justin, J.D.: Engineering for Dams, John Wiley and Sons, 1945, p.358～359。

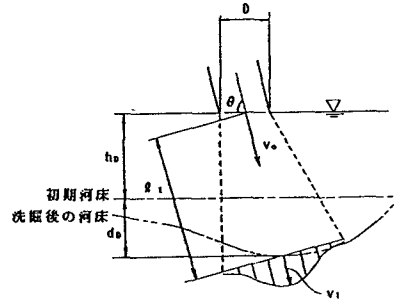


図-4 ナップ貫入部分の略図

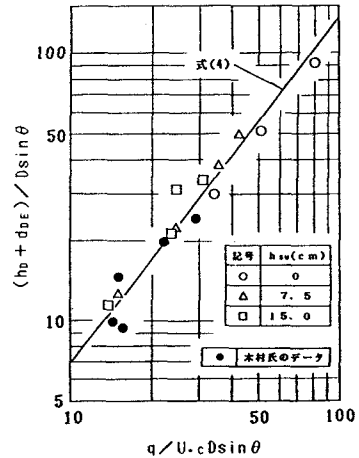


図-5 $(h_D + d_{DE}) / D \sin \theta$ と $q / U_{*c} D \sin \theta$ の関係