

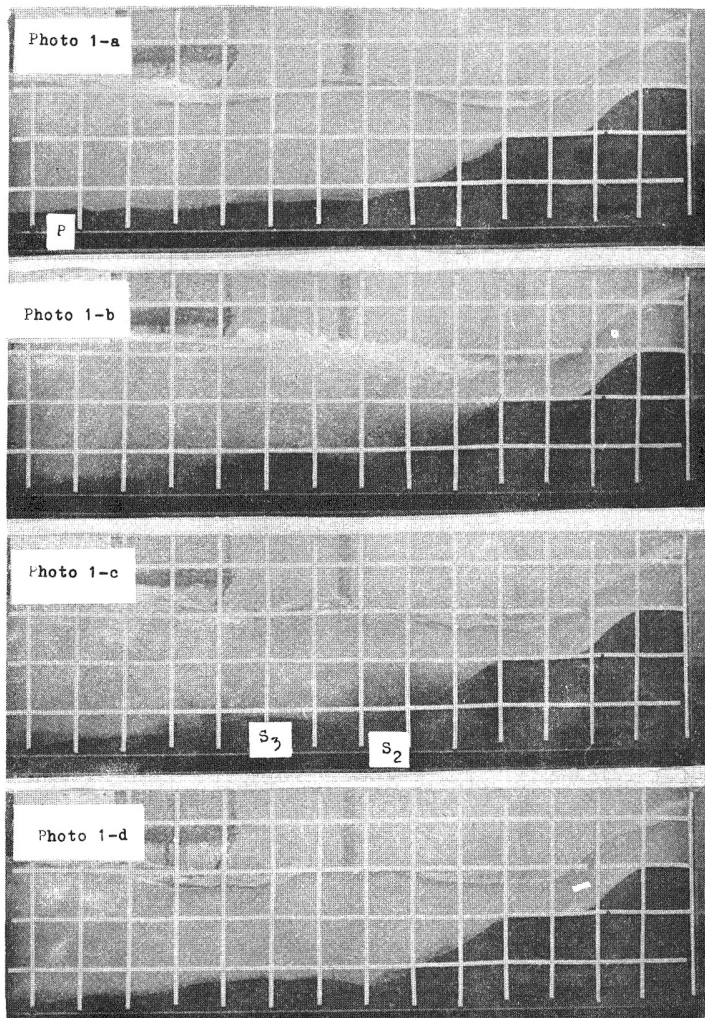
Ⅱ-9 水叩き下流側の洗掘機構について

大阪大学大学院 正員 劉 世燁

水叩きの長さや洗掘量の推定については、Bligh, Khosla, Leliavsky, Davey-McAlpine, Veronese, Ahmad 等に依つて実測や模型実験に依つて研究されている。最近では基礎研究として自由噴流或いは wall jet に依る洗掘に関し、Rouse, 栗原-椿, Thomas, Scimemi, 岩垣, 土屋, 栗津等に依つて活潑に研究されている。特に、境界層の理論を用いて洗掘限界を導き出して土屋の基礎的研究は興味ある成果を挙げている。然し、水叩き下流側に自由表面を持つ跳水部の洗掘機構に対してはその水理現象が非常に複雑かつ測定上にも可成りの困難があるため、解析はほとんどなされていない現状である。従つて解析に前立つてこれらの水理現象と洗掘機構を的確に把握する必要がある。本研究はこういった観点から実験を行い、今迄観測された二、三の特性を報告すると共に減勢工を設けた場合の比較実験結果の一例をも述べる。

実験装置は写真 1 に示した枠に幅 15 cm、高さ 50 cm、長さ 200 cm の両面は透明の塩化ビニール板の矩形水路で、上下流端は夫々 $100 \times 80 \times 100$ cm と $80 \times 50 \times 80$ cm の矩形水槽に接続し、所定のダム模型を水路の上流端に嵌込み、夫々固定床と移動床の場合について実験を行うものとする。移動床の構成材料は Fig. 1 の A 線に示した粒度分布曲線をもつ混合砂で水叩き面と同一平面に水路全面に亘つて敷くものとする。越流水深と下流側の水深は任意に調節しうる枠に考慮した。

洗掘過程は写真 1-a ~ 1-d に示した枠に、周期的現象を繰り返して洗掘部が発達していくことが観測された。即



ち、まず写真1-aの奥P(最大洗掘深さの奥から少し下流側にある)から上下流側に分かれて砂粒が掃流の形式で輸送されていく。そして洗掘孔上流側の勾配、即ち、Fig 4の $\tan \theta_c$ がある一定の値に達すると水流のある平衡状態が破れ、jumpのfrontが段波の型で短時間に水叩き終端迄前進して碎波して、非常に大きい乱れ、その水理条件に対応し、瞬間的に最大最強の roller を生じる。このとき回転方向が互いに逆であるようないわゆる ground roller と surface roller が交互に作用し砂粒を浮遊して写真1-bに示した称に主に浮遊形式で下流側に輸送されていく。その後は写真1-cに示した称に上流側の二次洗掘孔 S_2 の部分はすぐ下流側の突起部 S_3 からの bed load で埋められ、限界勾配 $\tan \theta_c$ に達する迄上流に向う掃流輸送が続けられる。再び $\tan \theta_c$ に達すると前述した瞬間的な過渡現象が繰り返され洗掘孔が発達していく。この洗掘機構の周期の二、三の例を示すと Fig. 2 の如くである。図に依れば、洗掘周期の変化は非常に複雑であるが、全体の傾向としては最大洗掘深さに収束するのに対応するようである終局的な周期に漸近していくようである。本実験での平均周期は約40分~60分の order であり、これらの平均周期を整理すると y_1 or F_1 に伴って増加していくようである。そこで、 y_1 は水叩き終端の水深、 y_2 は下流側の水深で、 F_1 は水叩き終端の Froude 数と表わす。

さて、前述の限界勾配について二次元解析すると、

$$\tan \theta_c = f_1 \left(F_1, \frac{H}{y_1}, \frac{B}{y_1}, \frac{d_{50}}{y_1}, \frac{L}{y_1}, \frac{y_2}{y_1} \right) \quad (1)$$

ここに、 B は水路の幅、 d_{50} は混合砂の代表粒径、 L は水中に於ける混合砂の安息角、 H は跳水に依る損失水頭、 L は構造物を支配する長さ、例へばここは水叩きの長さとする。 y_1 が一定の場合、 $\tan \theta_c$ は一定になるはずで、さらに本実験に用いた砂種は一定であるから $\frac{d_{50}}{y_1}$ と L も一定である。又、 $\frac{B}{y_1}$ と $\frac{H}{y_1}$ はともに

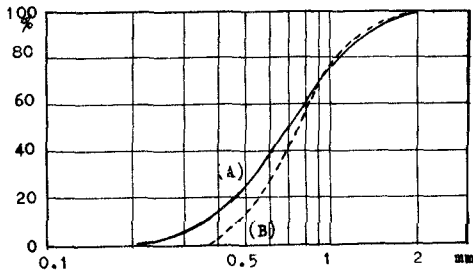


Fig.1 Size distribution curves.

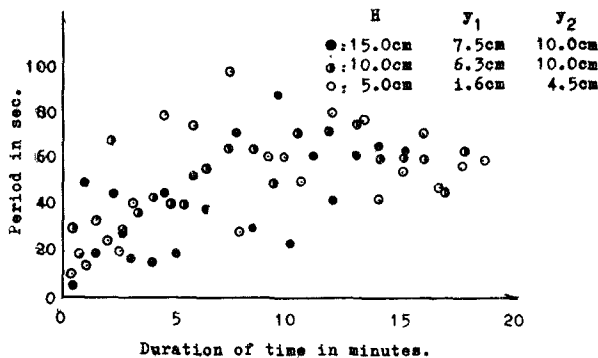


Fig.2 Occurrence of periodical scour during the development of scour holes.

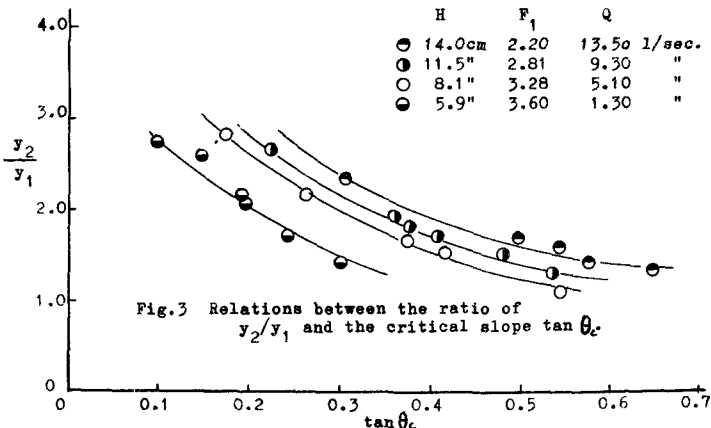


Fig.3 Relations between the ratio of y_2/y_1 and the critical slope $\tan \theta_c$.

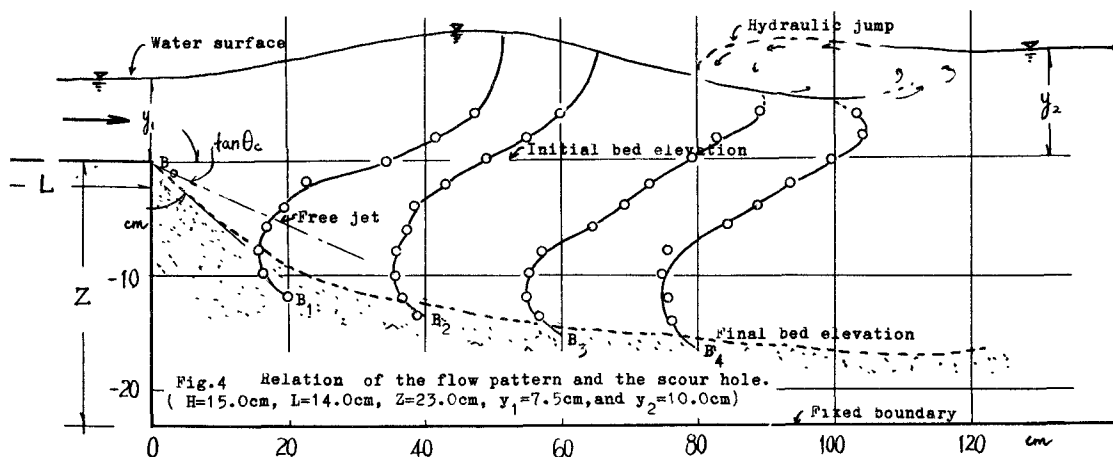
y/y_1 と F_1 の関数であるから、(1)式は $\tan \theta_c = f_2(F_1, y/y_1)$ (2)

従つて(2)式に基づいて F_1 を変数として実験結果を整理すると Fig. 3 の様になる。図から判る様に可成り systematic な関係を示している。

Fig. 4 は流況と洗掘孔の形状の一例であつて、この図から興味深い傾向が見出される、即ち、洗掘孔の上流側の形状はほぼ固定床の場合の ground roller の下側 boundary (Fig. 4 の $B_1, B_2, B_3, \dots$ を結ぶ線)と一致している。これに依ると自由噴流の拡散理論は第一近似としても適用出来なくなる。従つて、自由表面と固定境界(高さ Z)を有する場合の流速分布、拡散幅、eddy zone 等の特性を的確に把握する必要であらう。又、この図から判る様に Albertson 等の自由噴流から半経験的に求められた噴流の nominal boundary の拡がり角度は本実験の場合に比べて小さいことが判る(土屋の行った wall jet の実験と逆の傾向を示している)。この相違は自由表面の存在、即ち、free hydraulic jump の発生が大きく影響していると思われる。

長時間通水した後、洗掘孔上流部分の表層砂粒を粒度分析すると Fig. 1 の (B) 線になつてゐる。これは周期洗掘の際、浮遊に依る粒度の sorting effect がきいてゐるものと考えられる。従つて、河床の粒径は洗掘の発達過程には影響を与えると思われるが、終局的な洗掘形状、例へば、上流側の洗掘孔の縦断面形状、 $\tan \theta_c$ には無関係であるようである。

次に、水叩き終端に sills や エプロン部に baffle piers 等 (Fig. 5 参照) を設けた場合の洗掘に関して比較実験を行い、その結果を Fig. 6 に示す。end sill があることに依つて systematic な roller が小さされ、乱れの scale が小さくなり、洗掘量は軽減される。特に、dentated sill の効果が著しい。但し、S-1 と S-2 の型の sills はこの場合については逆の効果を示している、これは減勢工の設置にもかかわらず、このよつなフリップ型ではかえつて水勢を助長することになる。尚、basin の長さを伸ばして、baffle piers と dentated sill を并用すると可成り効果的である。このときは周期性洗掘はほとんど起らず、洗掘量は約半分に減り、最大洗掘深さも 45% 減少している。この場合の砂粒輸送は主に掃流形式であり、これは周期性洗掘で現われる瞬間的な強い攪乱がなく、減勢構造物に依つて定常的で均質な乱れに変換されるためであるといえよう。



以上、水叩き下流側の洗堀機構に関し、特に submerged した自由表面の効果の大きさは流れ特性に着目し、考察したところを要約すれば次の如くである：

1) 洗堀の発達には roller の生長に伴った掃流形式と間歇的な浮遊輸送が周期的に繰り返えし、次第に洗堀孔を拡大していく。このうち輸送量としては浮遊に依るものが遙かに大きい。洗堀孔上流側の限界勾配と縦断面形状は各水理条件に対して一定であり、粒径にほとんど無関係である。

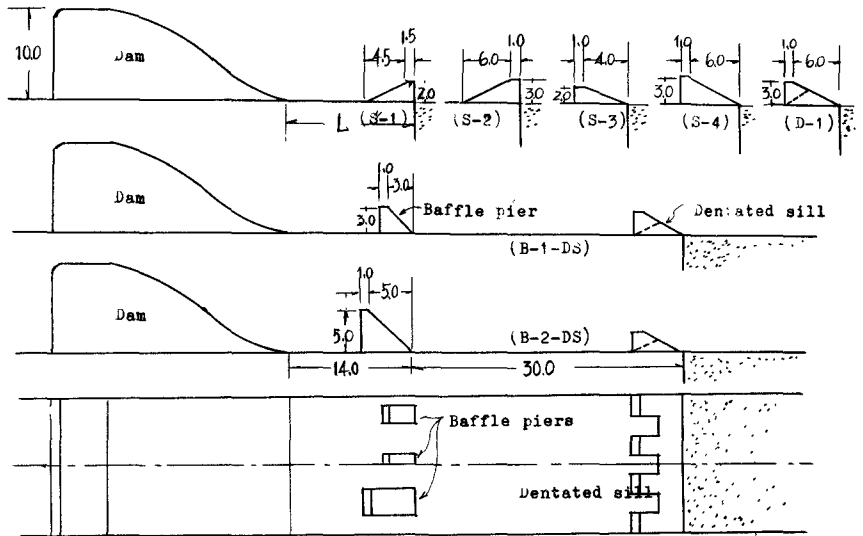


Fig.5 Various types of baffle piers and end sills

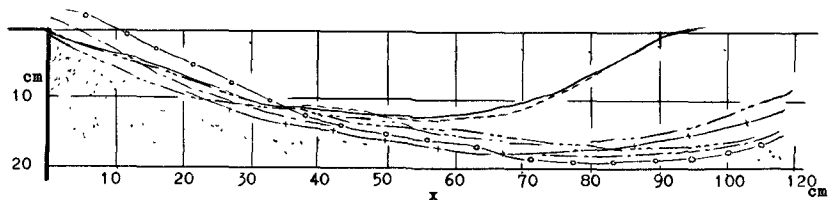


Fig.6 Comparison of the scour holes for the various types of stilling basins after 15 minutes. (---:S-1; - - - :S-2; - · - · :S-3; - + - + :S-4; ---:D-1; ---:B-1-DS; ---:B-2-DS.)

- 2) 洗堀孔上流の洗堀勾配は下流側の水深と上流側の水深との比、及び上流側の Froude 数に依って変化する。
- 3) 洗底部の流速分布は自由噴流の拡散特性と可成りの相違があり、洗堀孔上流側の縦断面形状は固定床の ground roller の下側の boundary とほとんど一致する。従ってこの場合の流速分布の特性が明らかであるならば、第一近似として洗堀孔の形状を予測することが出来る。
- 4) 水叩き部に end sill を設けるときは、その形状と上流側の水理条件を注意する必要がある。水叩き下流部の各断面の流速分布を control し、乱れを均質的に是れしてその scale を小さくすることに依って洗堀量を軽減することが出来る。

最後に本研究にあつて、終始御指導を賜つた 室田 明 助教授に深く感謝すると共に、実験の勞をわすらわした大学院学生 神田、佐藤、渡邊、岡田諸君に謝意を表する。