

I-34 局所洗掘の相似則について

大阪大学大学院 正員 劉世煒

水理構造物下流側の局所洗掘に関する問題は現在迄にはすでに多数の研究結果が發表されているが、模型の實驗結果から実物に再現出来る様な適当な縮尺関係は未だ求められていないのである。一般に局所洗掘の問題の処理に當つて大別すると2つの方法がある、その一つは流水の特性を完全に把握し、此等の量と洗掘量との間の関係を確立することである。この方法では乱流理論と流砂の運動機構に関する的確な知識が必要とされる。局所洗掘の場合ではその現象と機構が複雑であるため、特に洗掘孔の発達過程に対して時間的平均値を用いることが問題となる。他の一方法は縮尺模型の實驗結果から流水の條件、河床構成材料の特性と水理構造物の砂狀に依る洗掘孔の時間的発達過程と洗掘孔の様相を実物に対応させることである。本報告は後の方法において最も問題となるべき相似則を明らかにすべく、Fig. 1 に示す二種の水理構造物について、河床構成材料、流れ特性を広範囲に変えて實驗を行い、洗掘孔最大深さの縮尺関係を、近似的にエネルギー保存法則が適用しうるとした仮定の下で次元解析法を用いて整理し、このような局所洗掘を支配すべき相似則について提案したものである。

Fig. 1 に示したように終局の洗掘状態に到達した場合について考える。洗掘孔部において乱れ、砂狀抵抗と河床粒子の摩擦抵抗に依つて損失される単位幅単位時間のエネルギーを ΔE とすると、

$$\Delta E = F_1(\mu, \gamma, \gamma_s, d, U_{sc}, w_o, g, h_{max}, L_o) \quad (1)$$

の関数となる。ここで、 μ :水の粘性係数、 γ :水の単位体積の重量、 γ_s :水中に於ける砂粒の単位体積の重量、 d :混合砂の代表粒径、 U_{sc} :砂粒限界摩擦速度、 w_o :洗降速度、 g :重力加速度、 h_{max} :最大洗掘深さ、 L_o :洗掘孔の長さを表す。今、 γ 、 U_{sc} と h_{max} を循環変数として整理し、適当に変換すると

$$\frac{\Delta E}{\gamma h_{max} U_{sc}} = F_2\left(\frac{Re_*}{Fr_*}, Fr_*^2, \frac{\gamma_s}{\gamma}, \frac{d}{h_{max}}, \frac{L_o}{h_{max}}, \frac{w_o}{U_{sc}}\right) \quad (2)$$

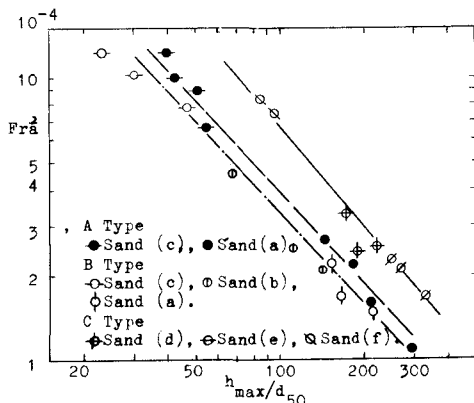
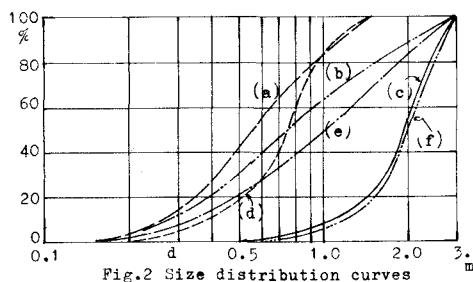
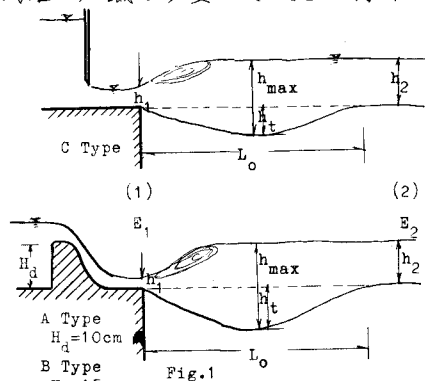


Fig. 3 Relationships between the relative height and Fr_*^2 .

ここに、 $Fr_a^2 = U_{ac}^2 / g h_{max}$, $Re_s = U_{ac} \cdot h_{max} / \nu$ 。 ν は動粘係数。今、流れを完全乱流とすると、 Re_s の項を省略することが出来る、 ν/μ の項はこの場合は一定で、 ω/U_{ac} の項は粒径 d に比例するが、この項の効果は後の実験結果 (Fig. 5) から判る様に粒径に対して省略出来る程度である。Fig. 3 と Fig. 4 に示した実験結果から L_o/h_{max} は Fr_a^2 に無関係で一定であることから洗掘量は水理構造物に従属し幾何学的に相似であることが判る、相対高さ h_{max}/d_{50} は Fr_a^2 の直線的関数で表わされるから、(2) 式は最終的に

$$\frac{\Delta E}{h_{max} \cdot U_{ac}} = A(Fr_a^2) \quad (3)$$

となる。従って Fig. 1 から断面 (1) と (2) との間に単位幅単位時間のエネルギーは $E_1 = \Delta E + E_2$ とし表せる。(2) 式を (3) 式に代入

して各断面に於ける運動量補正係数を近似的に 1 とすると、

$$h_{max}^2 = \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2} \right) \beta^3 / 2g \cdot U_{ac} \cdot A(Fr_a^2), \quad \text{or} \quad A(Fr_a^2) = (E'_1 - E'_2) \beta / h_{max} \cdot U_{ac} \quad (4)$$

ここに β : 単位幅の流量、 E'_1 と E'_2 は夫々断面 (1) と (2) に於ける比エネルギーを表す。上の式を縮尺に直すと、

$$n_A^{1/2} = n_h \cdot n_\beta^{1/2} / n_{h_{max}} \cdot n_{U_{ac}}^{1/2} \quad (5)$$

ここに n は縮尺を表す、添字 h は垂直方向の特性長さ、 ν は特性流速である。(5) 式を用いて模型と流水条件を一定にして、混合砂 (Fig. 2) を種々変えて実験した結果を Fr_a の縮尺に対して plot すると Fig. 5 に示した結果となる。この結果から判るように $n_A^{1/2}$ は n_{Fr_a} に無関係であるにもかかわらず、1 の値に近似している。この偏差は実験で用いられた水理条件 (Fig. 1) に依る周期的洗掘の発生、洗掘孔表層砂粒の sorting 効果⁽¹⁾ に依る洗掘前後の粒度分布曲線が異なるため、縮尺計算に用いられた粒径の変化に伴う U_{ac} の値の相違に歸するものと考えられる。粒度分布曲線の比較的相似しているもの、例へば Fig. 2 の (a) と (c)、または (d) と (f) のものが $n_A^{1/2}$ の値は 1 に近い。今、近似的に $n_A^{1/2} \approx 1$ とすると、

$$n_h \cdot n_\nu^{1/2} / n_{h_{max}} \cdot n_{U_{ac}}^{1/2} = 1 \quad (6)$$

(6) 式から最大洗掘深さの模型縮尺関係を近似的確立することが出来る。尚、 $n_A^{1/2}$ の偏差の明確な評価は今後の水理構造物と流水条件を変え、多くの実験結果を待たなければならない。

本研究に当り終始懇切なる御指導を賜った 室田 明 先生に深く感謝すると共に、実験に大なる労をわすれられた 構築工学科学生 野呂 一進君 (現阪神高速道路公団勤務) に謝意を表する。

参考文献: (1) 劉 世 煒 水叩き下流側の洗掘機構について 昭和 38 年度 関西支部年次学術講演概要。

(2) 室田 明・劉 世 煒 洗掘急変部での河床の自所変動について (第一報) 第 17 回 年次学術講演会講演概要。

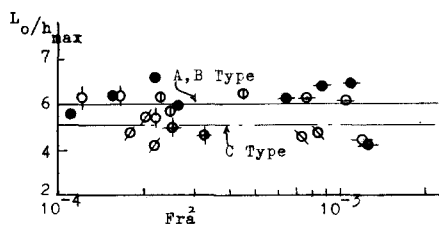


Fig. 4 Relations of L_o/h_{max} with Fr_a .

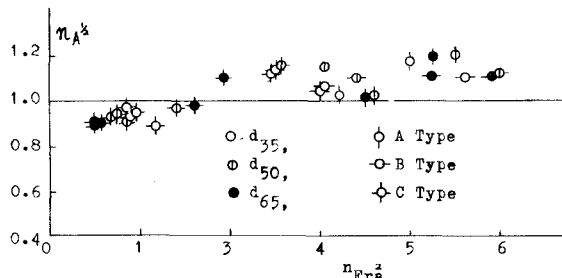


Fig. 5 Experimental results.