

(4-8) 模型水路の人工粗度について

准員 京都大学防災研究所 足 立 昭 平

開水路水理現象の究明にあつて模型実験の有用性は早くから認められているのであるが、模型水路の distortion とともに模型水路に与えられるべき粗度の問題は、いまなお十分に検討されていないように思われる。本報告はこの問題に関する考察と実験の第1報である。

実在の流れと模型の流れが相似であるためには、それぞれの流れを記述する方程式の各項の比が等しくなければならない。いま、流れが平均流速 u_m で代表できるような場合をとりあげると、運動方程式及び連続方程式及び連続式はそれぞれ (1), (2) 式で書き表わされる。

$$\frac{\partial u_m}{\partial t} + u_m \frac{\partial u_m}{\partial x} = -\frac{\lambda}{2R} u_m^2 + g \left(i - \frac{\partial h}{\partial x} \right) \quad (1)$$

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (u_m A) = 0 \quad (2)$$

ただし水路床に沿つて下流方向に x 軸をとり、平均流速を u_m 、水深を h 、水路床勾配を i 、径深を R 、摩擦抵抗係数を λ 、断面積を A 、重力加速度を g で表わす。

つぎに実在の流れに関するものに添字₁を、模型のそれに添字₂をつけて (1), (2) 式の各項の比を等しくおけば

$$\frac{u_{m2}}{u_{m1}} \frac{t_2}{t_1} = \left(\frac{u_{m2}}{u_{m1}} \right)^2 \frac{x_2}{x_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \cdot \frac{u_{m2}}{u_{m1}} \frac{R_2}{R_1} = \frac{h_2}{h_1} \frac{x_2}{x_1} \quad (3)$$

$$\frac{A_2}{A_1} \frac{t_2}{t_1} = \frac{u_{m2}}{u_{m1}} \cdot \frac{A_2}{A_1} \frac{x_2}{x_1} \quad (4)$$

(3), (4) から

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{R_2}{R_1} \frac{x_2}{x_1} \quad (5)$$

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{x_2}{x_1} \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (6)$$

(5) 式が模型水路に与えられなければならない抵抗係数を規定するものであり、(6) 式は模型の時間縮尺を決定する。(5) 式はさらに粗面水路乱流の抵抗法則から水路床の凹凸の高さ k の比に書き換えることができる。すなわち

$$\sqrt{\frac{2}{\lambda}} \frac{u_m}{u_{R*}} = A_r + \left(\frac{1}{\kappa} \right) \ln \frac{R}{k} + \left(\frac{\beta}{\kappa} \right) - \epsilon \left(\frac{u_m}{u_{R*}} \right) \quad (7)$$

ただし u_{R*} : 摩擦速度, A_r, κ : 常数, k : 水路床の凹凸の高さ, β : 水路断面形状による影響, $\epsilon \left(\frac{u_m}{u_{R*}} \right)$ は自由表面及び剪断応力の不均一性による影響である。

(7) 式を用いて (5) 式を書き換えて整理すると、

$$k_2 = a \cdot k_1^b \quad (8)$$

ただし、 a, b は $R_2, x_2/x_1, h_2/h_1, h_2/B_2$ の函数である。

実験は巾 20 cm, 高 15 cm, 全長 20 m の鋼製組立式小水路に木棧を敷き並べて粗度を与え、Pneumatic wave generator によつて孤立波を発生せしめて水深の異なる 2 つの case に対する人工粗度の適否を検討した。この結果一応の目安として (8) 式を採用できることが認められた。しかしながら人工粗度の形状、配置、また不定流であることから R が時間的に変化することなどについて検討の余地があるように思われる。これらについては引き続き究明する予定である。

(4-9) 流砂に関する二、三の問題

正員 九州大学応用力学研究所 工博 ○篠 原 謹 爾

准員 同 薄 慶 治

河川の流れによつて土砂が運ばれる現象は かなり古くから研究せられており、運ばれる土砂量を推定する方法

についても、実験式や半理論的な式が発表されている。しかし、その大部分は経験的なし実験的なもので、理論的な根拠が薄弱で実用性も疑わしい。近年アメリカで H.A. Einstein や Lane 及び Kalinske が発表している方法は流砂の移動機構を考慮しておりある程度信頼できるように思われる。事実 Einstein は自己の計算方法を用いてアメリカの河川では成功していると述べている。筆者は数年このかたこれらの式及び山口大学椿東一郎氏の発表した式を用いてえられる流砂量の妥当性について検討を行い、一部は昭和 27 年の年次講演会で報告し¹⁾ また阿蘇谷溪流に対して計算した結果を九州大学応用力学研究所報に発表した²⁾、ここに、これらの方法のもつ種々の不備な点を指摘するとともに、河川の勾配や河床の土砂の粒径が流砂量に及ぼす影響について報告したいと考えている。

Einstein 等の方法によつてえられる流砂量 q_T は掃流砂量 (Bed load) q_B と浮流砂量 (Suspended load) q_S であつて河川のある断面を通過する量を推定する場合あらかじめ知つておかねばならない量は

- (1) 河川の断面形状、すなわち水位と径深 R 、または水深 H 、潤辺 S 、流積 A との関係
 - (2) 水面勾配 I
 - (3) 河床土砂の性質すなわち粒度分布、平均粒径 D 、比重 γ_s 、沈降速度 v_s 、等
- である。次にそれらの計算式を示すと、

橋 式

$$q_T = \frac{67.6}{\gamma_s - 1} \sqrt{gRI} (\gamma RI - 0.8 T_\phi) \left\{ \frac{RI}{(\gamma_s - 1)D} \right\}^{0.6} M^{-0.435}$$

$$\log_{10} M = 3.48 \left\{ 1 - 0.225 \sqrt{\frac{(\gamma_s - 1)D}{RI}} \right\}$$

Einstein 式

$$q_T = q_B (PI_1 + I_2 + 1)$$

$$q_B = \gamma_s \sqrt{\frac{(\gamma_s - 1)D}{R'I}} \varphi \left\{ \frac{(\gamma_s - 1)D}{R'I} \xi \cdot Y \cdot \left(\frac{\beta}{\beta_x} \right)^2 \right\}$$

$$q_S = 11.6 \sqrt{gR'I} C_\alpha \cdot a \cdot \left\{ 2.303 \log_{10} \left(\frac{30.2 H}{d} \right) I_1 + I_2 \right\}$$

$$P = \frac{1}{0.434} \log_{10} \left(\frac{30.2 x}{k_s/R} \right)$$

Kalinske 式

$$q_T = q_B + q_S$$

$$q_B = \gamma_s D \sqrt{gRI} f \left\{ \frac{RI}{(\gamma_s - 1)D} \right\}$$

$$q_S = \gamma_s \cdot q \cdot C_\alpha \cdot p \cdot e^t$$

$$C_\alpha = \Delta F(D) \cdot \varphi_1(m) \quad p = \varphi_2 \left(m, \frac{n}{\sqrt{H}} \right)$$

$$t = 15 \frac{a}{H} m, \quad m = v_s / \sqrt{gRI}$$

これらの式は流れが等流で輸送される土砂は河床土砂に起因するものであり、移動する土砂と河床土砂との間に平衡状態が成立していること、すなわち土砂の移動によつて河床状態は変化しないという仮定にたつている。洪水時の流れがもたらす流砂の大部分は河床土砂に起因しない浮泥 (Wash load) のようである。昨年 6 月末白川の氾濫により熊本市内にもたらされた泥禍は主として浮泥によるものである。筆者等は昨年秋及び冬、白川において流砂の観測を行つて、平水時における土砂の移動状況を調査した。それによると、白川の支流黒川では洪水時に河床に堆積した土砂が河状により局部的に浸食洗掘流送されていることが知られた。従つて流砂に対して、平水時の河床安定の問題と洪水時の流速土砂の問題は区別して考える必要があるように思われた。この研究は熊本県土木部より提供された研究費、昭和 28 年度文部省特殊研究費 (九州地方河川の流出量及び流砂量の研究) 及び、文部省科学研究費 (安藤博士を首班として行われつつある総合研究「北九州等の洪水に関する研究」の援助によつて行われたものである。

文 献

- 1) 「河川の流砂量の推定について」土木学会第 8 回年次学術講演会、昭和 27 年
- 2) 「阿蘇谷溪流の流砂量推定について」九州大学応用力学研究所報第 3 号、昭和 28 年