

秋田大学 土木工学科 ○ 学生員 山根 好行
秋田大学 土木工学科 正会員 松富 英夫

1. まえがき

定常等流の抵抗則は確立されているが、不定流の抵抗則はいまだに確立されていない。この理由は、解析的には支配方程式の非線型性により、実験的には測定された水理量の系統だった取り扱い方・解釈の仕方が定まっていないからであると思われる。しかしながら、ダム破壊流れや津波の陸上遡上流れの解析の精密化には是非とも不定流の抵抗則を知ることは緊要な問題である。よって、本研究はドライ・ベッド上の急変不定流の先端部の抵抗特性を2つの方法で調べることにした。1つはWhithamの理論に基づくもの、もう一つは著者らが提案する方法²⁾である。そして、それ等の抵抗則を用いてドライ・ベッド上の流れの数値解析を行い、実験結果と比較・検討を行ってみた。

2. 実験装置および方法

実験に用いた水路は、図-1に示す様に幅0.3m、深さ0.5m、長さ7.5mの両面ガラス張りの鋼製矩形水路を用いた。貯水槽はその水路の一端に設けられ、水路床は常に水平で床面に粗度は設置しなかった。貯水槽と水路の間にはゲートが設けられていて、手動により引き揚げを行う。ゲート下流の水路床は、鋼製鉄板に実験caseにより粗度間隔を変えた木製棧粗度(5×5×300mm)を張り付けた。ゲート下流2mの地点に抵抗線式波高計を設置して水位の時間変化を求め、ビデオシステムにより流れ先端の軌跡、先端部の空間波形を求めた。

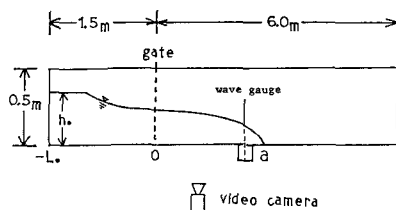


図-1 実験装置

3. 結果及び考察

図-2及び図-3は棧粗度(棧高 $K=0.5$ cm, 棧間隔 $S=5, 20, 40, \infty$ cm)に関する先端軌跡に関する実験値を使って、次式に示すWhitham理論により抵抗係数 f_w を評価したものである。但し、流れの代表水深は $\frac{4}{9}h_0$ としてある。

$$A = \frac{h_0}{f_w} (0.04862p^3 + 0.02503p^4 + 0.01262p^5 + 0.00635p^6 + 0.00319p^7 + 0.00161p^8 + 0.00081p^9 - 0.00167p^{10} \dots) \dots \dots (1)$$

$$t = \frac{1}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{h_0}{f_w}} (0.02431p^3 + 0.02163p^4 + 0.01496p^5 + 0.00941p^6 + 0.00563p^7 + 0.00328p^8 + 0.00186p^9 \dots) \dots \dots (2)$$

ここで、 A : ゲートから波先端までの水平距離、 h_0 : 初期貯留水深、 f_w : Whithamの抵抗係数、 t : 時間、 g : 重力加速度、 p : $(2\sqrt{gh_0} - \dot{a})/\sqrt{gh_0}$ で示される無次元速度

図-2の実線は、粗面開水路抵抗則において $h = \frac{4}{9}h_0$ とおいた次式で示されるものである。

$$\sqrt{\frac{t}{f_w}} = 5.75 \log_{10} \frac{K}{K_s} \left(\frac{4}{9} \frac{h_0}{K_s} \right) + 6.0 \dots (3) \quad \text{但し, } \frac{K}{K_s} \text{ は人工粗度の経験則から与えられる。}$$

図-2の点線は棧粗度上の定常等流に対する足立の経験的抵抗則において $h = \frac{4}{9}h_0$ とおいた次式で示されるものである。

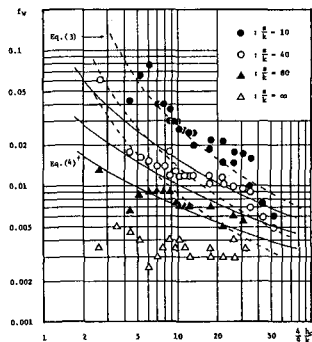


図-2 Whitham の抵抗係数

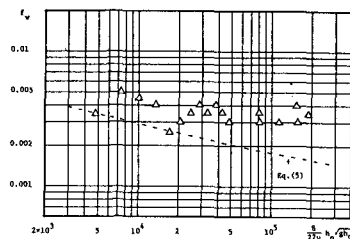


図-3 Whitham の抵抗係数 ($S/K = \infty$)

$$\sqrt{\frac{1}{f_w}} = 1.50 \log_{10} \left(\frac{S}{k} \right) - 1.91 + \left\{ 5.75 + 0.12 \left(\frac{S}{k} \right)^{0.8} \right\} \log_{10} \left(\frac{4}{9} \frac{h_0}{k} \right) \dots (4)$$

但し、適用範囲は $8 < S/k < 160$ 。

図-3 の点線は開水路滑面則において ($h = \frac{4}{9} h_0$, $U_x = v \sqrt{f_w}$, $v = \frac{2}{3} \sqrt{g h_0}$) とおいた次式で示される。

$$\sqrt{\frac{1}{f_w}} = 5.75 \log_{10} \sqrt{f_w} \left(\frac{8}{27} \frac{h_0 \sqrt{g h_0}}{v} \right) + 3.0 \dots (5)$$

図-2, 3 から粗度効果が強い時は(4)式、弱い時は(3)式で近似されよう。粗度無しの場合は、(5)式より抵抗が若干大くなる。

次に著者が提案した方法による評価結果を示す。この方法では流れ先端部では次式が成立すると仮定し、

$$\chi' = \frac{gH}{\ddot{a} + i\ddot{g}} - f g \left(\frac{\dot{a}}{\ddot{a} + i\ddot{g}} \right)^2 L_n \left(1 + \frac{\ddot{a} + i\ddot{g}}{f \dot{a}^2} H \right) \dots (6)$$

その成立範囲の終端は次式とするものである。 $\frac{L}{H} = \frac{\dot{a}^2}{gH} = Fr^2 \dots (7)$

よって、図-4 に示された様な水位の時間波形と先端の軌跡のデータ、及び $\dot{a}$ と $\ddot{a}$ を用いて(7)式を満足する水量を決定し、その水量の時に満足される関係式(6)式に代入して先端部の抵抗係数の評価が行われる。そしてその時の H を $\frac{4}{9} h_0$ として整理したものが図-5(A)~(C)の黒丸印である。

図-5(A)において(7)式による値が小さく表われたのは、粗度が密なため、波先端部が空気も吸い込んだ形で連続していき、波高形が実際の波高より小さい値を出した結果によると思われる。

4. 数値解析例

図-6 は、 $S/k = 80$ の場合について(3)式と(4)式の両方の抵抗則を用いて数値解析した時の先端軌跡と、実験による先端軌跡を表わす。この図から判ることは、時間を長くとした場合において、より正確な抵抗則を使うかどうかで先端移動距離に大きな差が生じてしまうことが判る。

5. わすび

ドライ・ベッド上の流れの先端部の抵抗係数を2つの方法で評価してみた。その結果、Whitham理論を用いる方法と著者等の方法からはほぼ同じ値を得ることが判った。そのことからWhitham理論によらずとも著者等の方法で種々の流れや粗度条件に対してより簡単に抵抗係数の評価が可能になった。

参考文献 1) Whitham, G. B: The effects of hydraulic resistance in the dam-break problem, Proc. of Royal Society of London, series A, Vol. 227, pp. 399~407, 1955. 2) 不本高 英天: ドライ・ベッド上のダム破砕波の先端移動距離, オオカ川水害調査報告書, pp. 409~416, 1982.

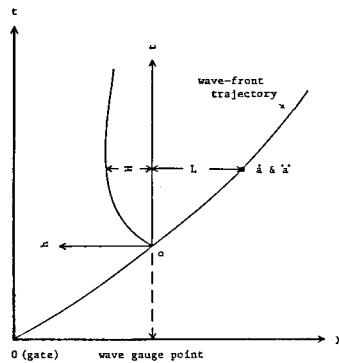
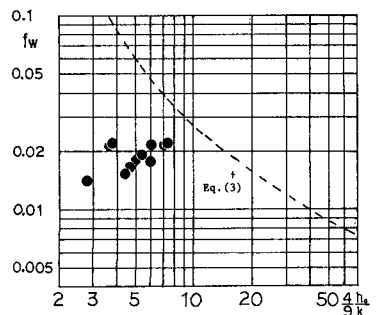
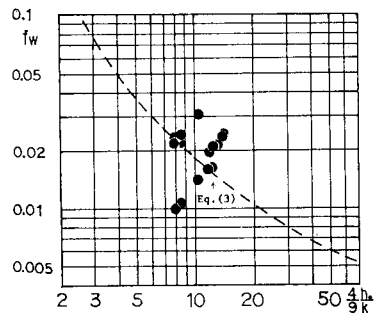


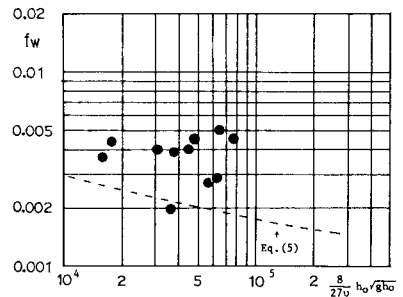
図-4 抵抗係数評価方法の説明図



(A) $s/k = 10$



(B) $s/k = 40$



(C) $s/k = \infty$

図-5 本研究の方法による抵抗係数評価

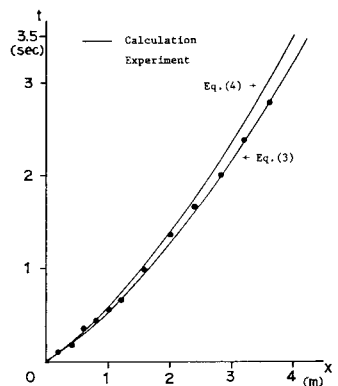


図-6 先端の軌跡 ($s/k = 80$)