

東北大学工学部 学生員 山村明義
東北大学工学部 正会員 首藤伸夫
東北大学工学部 松留英夫

1. まえがき ダム破壊によるドライ ベッド上の急変不定流について実験を行い、波先端部付近の抵抗係数と数値計算によるその流れの再現性について若干の検討を行った。本研究の結果は津波の陸上遡上問題と表裏一体をなしている。

2. 実験方法 図-1に示す幅30cmの水路部が断面ガラス張りである鋼製矩形水路を用いて実験を行った。ゲートは引き揚げ式である。測定量はゲート下流0.3mから1mごとに設置された計6本の塩浜線式波高計による時間波形、ゲート下流0.16mに設置された電磁流速計による流速の時間変化と68コマ/sec.による波先端位置の16mm連続撮影である。水路底条件は横断方向に粗度を付けた場合とそうでない場合の2通りである。粗度は5×5×300mmの木製棧(棧高K=5mm)を5cm間隔(棧間隔S=5cm)で配置してある。各々にて、貯留水深 h_0 を10~60cmまで8通り行った。

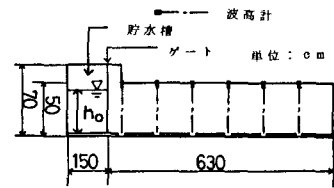


図-1 実験装置

3. 結果および考察

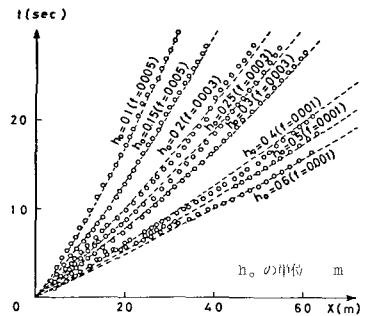
3-1 波先端部の軌跡 図-2の白丸と黒丸印は波先端部の軌跡を示す。(A)は粗度がない場合で(B)はある場合である。図中の破線は各々の実験結果に最も適合するWhitham¹⁾の近似理論解で示される。

$$\alpha = 2\sqrt{gh_0}t - \frac{h_0}{g}(\alpha_0/823P^8 + 0.0193P^5 + 0.01287P^6 + 0.00807P^7 + 0.00893P^8 + 0.0027/P^9 + 0.00167P^{10}) \quad \text{----- (1)}$$

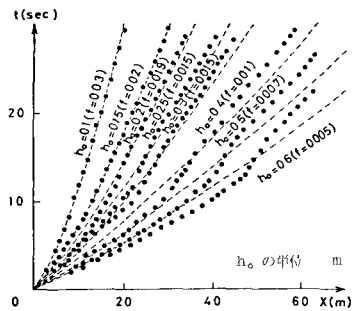
$$t = \frac{1}{\sqrt{g}} \sqrt{\frac{h_0}{P}} (0.0283/P^3 + 0.02163P^2 + 0.01896P^5 + 0.0078/P^6 + 0.00563P^7 + 0.00328P^8 + 0.00186P^9) \quad \text{----- (2)}$$

ここで、 α :波先端位置、 g :重力加速度、 t :時間、 $\sqrt{g}$:抵抗係数、 $P: P = 2 - \frac{1}{\sqrt{gh_0}} \frac{dh}{dt}$ で表現される $0 \leq P \leq 2$ のパラメータ、

(A)によると、本実験範囲内ではWhithamの考え方波先端部の軌跡を非常によく追えることが判る。また、貯留水深により波先端部の抵抗係数が変化しており、従来の様に唯一の水路固有の抵抗係数で実験結果を整理することは許されないことが判る。本実験からChézyの流速係数を計算すると $Ch = 82 \sim 99$ となり、従来の若干の整理例における Ch はこの範囲内に入っており、一応妥当な数値を選定していると言える。(B)は粗度を設置した場合の結果である。粗度がない場合に比べ、貯留水深が大きくなると先端部の挙動は若干不安定になっている。しかし、本実験範囲内ではWhithamの考え方でも予測可能と言えよう。抵抗係数については、粗度がない場合と同様のことが言え、粗度が加わった効果分だけ大きくなっている。



(A) さん粗度がない場合



(B) さん粗度のある場合

図-2 波先端部の軌跡

3-2. 数値計算 本研究の数値計算の目的は Whitham の考え方のどの程度現象をシミュレートできるかを確認することにある。よって、支配方程式として浅水理論を用いる。但し、Whitham のいう先端部の境界層領域では摩擦項をも考慮する。計算手法は特性曲線法である。ゲート位置を $x=0$ とすると波先端部の境界条件は(1)と(2)式から得られる曲線上で、 $C=0$ が $u=\sqrt{gh_0}(2-P)$ ----- (3) 背後の境界条件は、波の波峰が水槽発端に達するまでは、 $x=-\sqrt{gh_0}t$ とし、 $C=\sqrt{gh_0}$ が $u=0$ ----- (4) 後端に達した後は、 $x=-L_0$ とし、 $C=\frac{1}{2}\sqrt{gh_0}+\frac{3}{2}\frac{u}{\sqrt{gh_0}}$ が $u=0$ ----- (5) 但し、 $t \geq \frac{L_0}{\sqrt{gh_0}}$ 。ここで、 L_0 : 貯留長。

実験値と計算値の比較を図-3に示す。(A)は $x=0.3, 1.3$ と 2.3 m での水流の時間波形である。同図中の一点鎖線は境界層の存在を考慮しない場合の計算値である。実験で囲まれた斜線部のみが Whitham のいう境界層領域でないところである。これによると、初期の波先端部付近の波形を降いて水流の厚さや水深の増・減といった定性的な傾向は Whitham の考え方でかなり再現できることが判る。(B)は $x=0.16$ m での流速に関するもので、波形同様定性的にはかなり再現できることが判る。実験では波先端部通過初期の立ち上がりうまく得られていないが、これは着流時の用いた電磁流速計の感度の鈍さによるものであると思われる。

3-3 波先端部の抵抗係数 粗粒度がある場合の抵抗則について、定常流の条件のもとで足立²⁾がかなり一般的な実験的研究を行っている。足立によると、底面にのみ粗粒度がある二次元流の場合の抵抗則は次式で与えられる。

$$f = [1.50 \log_{10} \frac{S}{k} - 1.91 + \{5.75 + 0.12(\frac{S}{k})^{0.8}\} \log_{10} \frac{H}{k}]^{-2} \text{ ----- (6) 但し、} 8 < S/k < 160. \text{ ここで、} H: \text{水深。}$$

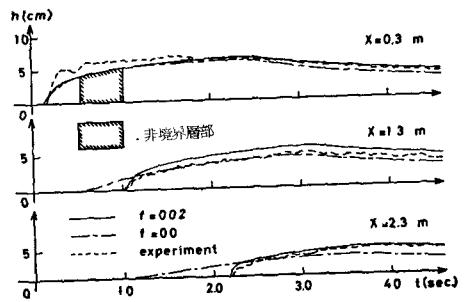
本研究にこの抵抗則を適用する際生ずる問題は H の選定である。しかし、この領域の代表的水深はゲート位置での一定水深 h_0 に支配されるだろう。この点の水深と先端部から求めた抵抗係数との関係を整理したものが図-4の黒丸で示されている。図-4の曲線は $S/k=10$ の場合の(6)式に示す足立の実験式である。図-4は両者の相関を示したものである。両者はかなりよく一致しており、粗粒度の場合の Whitham の抵抗係数はゲートでの水深を境界層での代表水深とすると足立の式によりかなりよく予測し得る可能性があることが判った。数値計算による再現は本実験範囲内では Whitham の考え方でかなり可能であることが判った。

4. 七すび Whitham の考え方における波先端部の抵抗係数は貯留水深によりかなり変化すること判らうとなり、水路固有の抵抗係数といった議論は許されない。特に、粗粒度を有するもののそれはゲートでの水深を境界層での代表水深とすること足立の式によりかなりよく予測し得る可能性があることが判った。数値計算による再現は本実験範囲内では Whitham の考え方でかなり可能であることが判った。

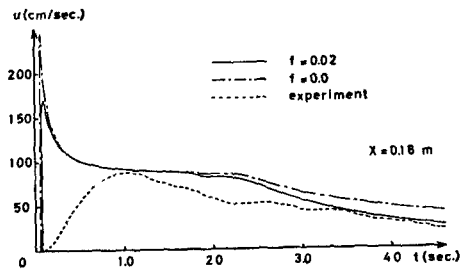
最後に、本研究の遂行にあり東北大学工学部 山路弘人校官の多大なる助力を得た。記して感謝の意を表す。

1) Whitham, G. B.: Proc. Royal Society, A, Vol. 227, pp. 379~407, 1955 2) 足立 昭平: 土木学会論文集 108号, pp. 33~44, 1964.

5. 参考文献



(A) 時間波形



(B) 流速の時間変化

図-3 実験値と計算値の比較 ($h_0=0.15$ m の場合)

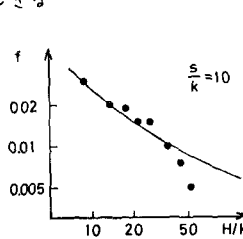


図-4 実験値と足立の式の比較

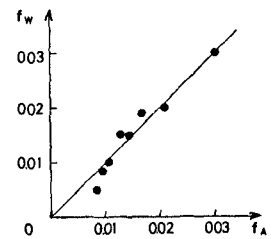


図-5 Whitham の抵抗係数 f_W と足立の抵抗係数 f_A の相関