

II-187

漸縮水路の高速流に関する一考察

日本道路公団 正 員 木村一郎
 京都大学工学部 正 員 細田 尚
 京都大学工学部 正 員 岩佐義朗

1. はじめに； 本研究は、開水路漸縮部を通る高速流について、特性曲線法を用いて数値解析を行い、従来の実験結果と比較・検討したものである。定常状態の平面流れに対する特性曲線法を用いた数値解析は、高速湾曲流に適用され、ほぼ妥当な結果が得られている。^{1), 2)}

2. 従来の研究； Ippen³⁾は、図-1に示す漸縮水路を用いて高速流（平面流れのFroude数が1をこえる流れ）の実験と図式解法による解析を試みている。本研究では、固定格子点での特性曲線法を用いて、この流れの再現を試みる。Jimenez・Chaudhry⁴⁾は、差分法により同様の解析を行っている。

3. 基礎式； 基礎式は定常状態での平面流れの基礎式であり、直交座標を用いて次のように表せる。

$$A_1 \frac{\partial U}{\partial x} + A_2 \frac{\partial U}{\partial z} = B \quad (1)$$

ここに、 A_1 , A_2 , B は次のように表せる。

座標系は図-1に示した通りである。

$$U = \begin{pmatrix} h \\ u \\ w \end{pmatrix}, \quad A_1 = \begin{pmatrix} u & h & 0 \\ g & u & 0 \\ 0 & 0 & u \end{pmatrix},$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} w & 0 & h \\ 0 & w & 0 \\ g & 0 & w \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ g \sin \theta - \frac{\tau_{xb}}{\rho h} \\ -\frac{\tau_{zb}}{\rho h} \end{pmatrix}$$

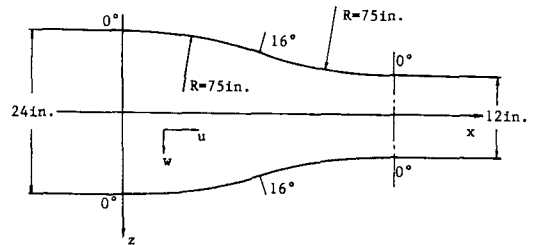


図-1 水路の形状

ここに、 h ；水深， (u, w) ；水深平均流速ベクトルの成分， θ ；路床勾配， (τ_{xb}, τ_{zb}) ；路床に作用する応力ベクトルの成分で摩擦係数を用いて $\tau_{xb} = f \sqrt{u^2 + w^2} \cdot u$ と評価する。

(1) 式の特性曲線を求め、特性曲線上の関係式を求めると次のようになる。

$$\mu_1 \left(\frac{\partial U}{\partial x} + A_1^{-1} A_2 \frac{\partial U}{\partial z} \right) = \mu_1 \left(\frac{\partial U}{\partial x} + \lambda_1 \frac{\partial U}{\partial z} \right) = \mu_1 A_1^{-1} B \quad (2)$$

ここに、 λ_i, μ_i は次のように表せる。

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= \frac{w}{u}; \quad \mu_1 = \left(1, \frac{u}{g}, \frac{w}{g} \right) \quad \text{stream line} \\ \lambda_2 &= \frac{uw + \sqrt{gh(u^2 + w^2 - gh)}}{u^2 - gh}; \quad \mu_2 = \left(\frac{\sqrt{gh(u^2 + w^2 - gh)}}{hu}, -\frac{w}{u}, 1 \right) \\ \lambda_3 &= \frac{uw - \sqrt{gh(u^2 + w^2 - gh)}}{u^2 - gh}; \quad \mu_3 = \left(-\frac{\sqrt{gh(u^2 + w^2 - gh)}}{hu}, -\frac{w}{u}, 1 \right) \end{aligned}$$

4. 数値解析法； (2) 式を固定格子点を用いて離散化する。離散化の方法は、著者らが高速湾曲流に対して用いたものと同様である。ただし、側壁の境界条件は図-2に示すように取り扱った。すなわち、側壁上のP点では、側壁が流線であることから λ_1 上の関係式が成立し、P点より下した λ_2 上の関係式と、幾何学的条件 $w = -u \cdot \tan \alpha$ を連立してP点の水理量が求められる。

5. 計算結果の考察； Ippen の実験と同様の条件の下で数値解析を行い、実験結果との比較を行った。すなわち、水路の幾何形状は図-1 に示したものと同様であり、入口のFroude数 $Fr=4.0$ 、 $h_0=0.5(\text{inch})$ 、また $f=0.005$ とした。図-3, 4 に水路中心線と側壁上の水深の変化を、水路入口での比エネルギーで無次元化して示した。漸縮部での、水路側壁に沿った水深の計算結果は、実験結果とほぼ適合しているが、漸縮部を過ぎると、計算値は立ち上がり急でなだらかに減少する形状となっている。このような結果は、Jimenez・Chaudhry による差分法を用いた計算結果にも見られ、鉛直加速度を考慮した基礎式⁵⁾を用いる必要性を示している。水面形の分布を図-5 に示した。漸縮部で生成された波が、水路中心線と側壁で反射されながら下流に伝わっていく様子が理解できる。

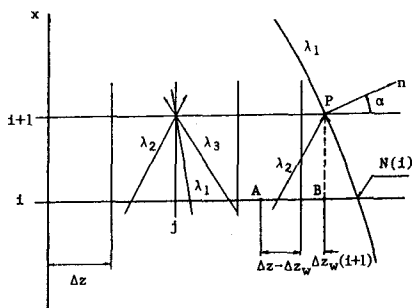


図-2 側壁の境界条件

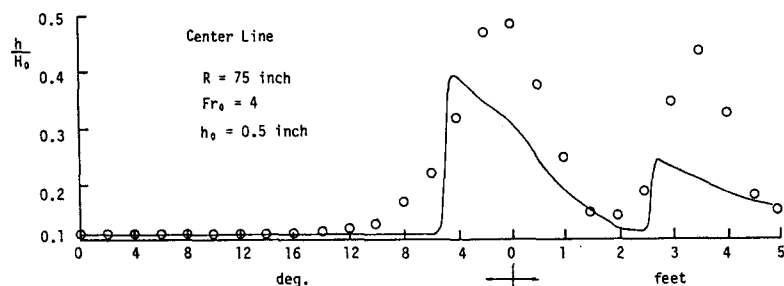


図-3 水路中心線上の水深変化

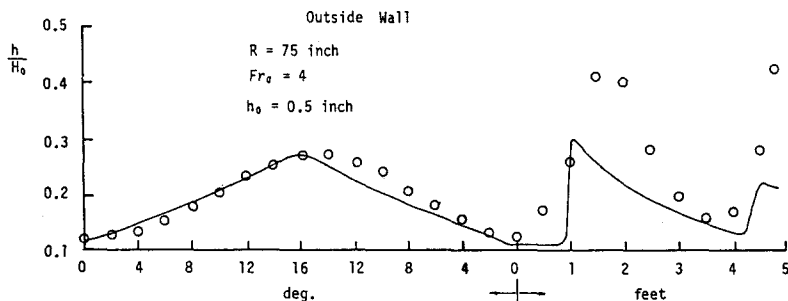


図-4 側壁に沿った水深分布

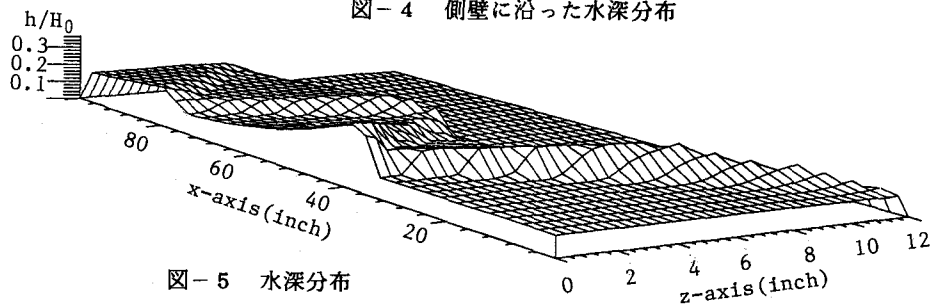


图-5 水深分布

- 参考文献：(1) 細田，余越；土木学会論文集，第387号／Ⅱ-8，1987，(2) Iwasa, Hosoda; Proc. HYDRO-COMP'89, 1989, (3) Ippen; Tran. ASCE, Vol.116, 1951, (4) Jimenez·Chaudhry; ASCE, J. Hy. Eng., Vol. 114, 1988, (5) 細田，岩佐；第26回水理講演会論文集，1982