

徳島大学 正員 ○岡部 健士
同 正員 杉尾 捨三郎

1. まえがき

貯水池の堆砂メカニズムを水理学的に考察し、実用的なシミュレーションモデルを開発する試みがある。そこでは、流砂と流水に関するいくつかの基礎式を合理的かつ能率よく解く方法が考究され、いくつかの注目すべき成果が報告されている¹⁾。しかし、これらの内の大部分は流砂の挙動に力点を置いたものであり、流水については、抵抗則、流速分布則、拡散特性に関する知見のあいまいさを指摘しながらも、止むを得ずいわゆる漸変流（擬似等流）に対する計算法をそのまま適用することが多いようである。

本報告は、貯水池堆砂に関する研究の一環として行なわれた2次元開水路漸拡流の流速分布実測実験の概要と結果を紹介するとともに、流速分布式の提案を行なったものである。

2. 実験概要

幅0.6m、深さ0.4m、長さ13mの室内実験水路の一部に

図-1のような貯水池モデルを作り、定常流量の清水を通じつつ水面形と水路中心線上の流速分布を測定した。測定断面としては、堤体モデルから十分遠く、しかも水深が比較的小さい（7～10cm）ものを選んだ。流速分布の測定には、口径1.6mmのピトー管を用い、一点につき2分以上の測定時間をかけた。実験諸元は表-1のとうりである。表中のフレキシブルボードとは、表面に0.5mm程度のほぼ一様な凹凸を有する石綿セメント板であり、粗面として使用したのであるが、結果として水理学的に完全な粗面とはならなかった。

3. 流速分布と分布式

漸拡流は一様管路内の流れや等流とは異なり、その流速分布を対数則で代表させることは適切でない。これについてはすでに平野²⁾も報告している。実例として、実験1、2および3の流れから1断面づつを選び、流速分布図を片対数紙上に描いたのが図-2である。ただし、ここでは流速 u と路床からの距離 y を、それぞれ摩擦速度 u_* と長さのスケール y/u_* （ ν =動粘性係数）で無次元化している。なお、 u_* は実測値ではなく、路床近傍の領域（ $70 < \frac{u_* y}{\nu} < 150$ ）において局所的に次式のような対数型流速分布式が成立すると仮定して推算されたものである。

$$\frac{u}{u_*} = 2.5 \ln \frac{u_* y}{\nu} + 5.5 \quad (1)$$

推算値は、自作の極細ピトー管による測定値（バラツキが大）と大差なく、Coles³⁾、Samuel-Joubert⁴⁾、Andersen-Kays-Moffat⁵⁾などのdiffuserにおける実験結果の報告を参照しても、 u_* の推算法は十分妥当であると言える。

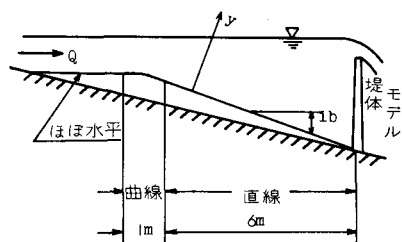


図-1 実験設備

実験	1b	Q(l/s)	底面
1	1/34.06	11.90	滑面仕上げ
2	1/56.82	13.93	滑面仕上げ
3	1/70.42	12.06	滑面仕上げ
4	1/45.24	14.80	フレキシブルボード
5	1/82.33	12.40	フレキシブルボード
6	1/119.25	12.55	フレキシブルボード

表-1 実験諸元

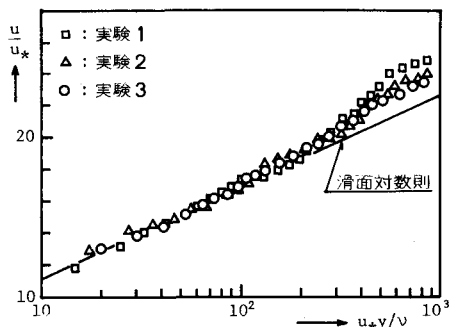


図-2 流速分布図の代表例

さて、Coles³⁾は数多くの乱流境界層内の流速資料を整理した結果、境界層は

- (i)内部層(inner layer): 流速分布が対数則に従う。
(ii)外部層(outer layer): おしろ自由乱流に近い流れの層であるが、流速の代表スケールとしては u_* をとるのがよい。
という2つの層に区別するのが好都合であると指摘し、全層厚にわたる流速分布式として次式を提案した(2層モデル)。

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{u_* y}{\nu} + B + \frac{2}{\kappa} \Pi(x) \sin^2\left(\frac{\pi y}{2\delta}\right) \quad (2)$$

ここに、 κ =Kármán定数(≈ 0.4)、 δ =境界層厚、 B =定数。
 $\Pi(x)$ はAmplitude Factorと呼ばれ、 $2 \sin^2(\frac{\pi y}{2\delta})$ はWake Functionと名付けられている。(2)式は純経験式であるが、PrandtlやBoussinesqらの乱流理論(仮説)に立脚した半理論式に勝るとも劣らぬものである⁶⁾。そこで、着者らも(2)式を利用して開水路漸拡流の流速分布式を求めてみた。

(2)式を開水路に適用するときには δ の代りに水深 h を用いばよいと思われる。このときWake FunctionとしてColesの関数がそのまま使用し得るかを検討したのが図-3である。本図は図-2を表面流速 u_0 からの欠速度を示すよう描き直したものであり、図中の曲線は(2)式を

$$\frac{u-u_0}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln(y/h) - \frac{2}{\kappa} \Pi(x) \sin^2\left(\frac{\pi y}{2h}\right) \quad (3)$$

と書き直し、 $\Pi(x)$ に最適値を与えて插いたものである。図より、ColesのWake Functionは当該流れに対してかなり有用であることがわかる。つぎに、上述のように決定された $\Pi(x)$ と他の基本的な水理量との関係を調べてみた。その結果、 $\Pi(x)$ は無次元量 $g h / u_*^2$ (g =重力の加速度)と良い相関をもつことがわかった。 $\Pi(x) \sim g h / u_*^2$ 関係を示したのが図-4であり、本図より下記の実験式を得た。

$$\Pi(x) = 0.922 \log(g h / u_*^2) - 3.044 \quad (4)$$

以上をまとめて2次元開水路漸拡流の流速分布式は次式のようになる。

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{u_* y}{\nu} + A + \frac{2}{\kappa} \{0.922 \log \frac{g h}{u_*^2} - 3.044\} \sin^2\left(\frac{\pi y}{2h}\right) \quad (5)$$

ここに、 A は滑面路床に対しては定数5.5であるが、粗面路床では粗度レイノルズ数の関数である。

4. あとがき

2次元野水池モデルにおける流速分布特性を実験的に考察し、流速分布式を提案した。今後は、流砂がある場合および幅が変化する場合についての実験を行なう予定である。

- [参考文献] 1) 芦田 編: ダム堆砂文献資料集成, 河鍋, 5, 51. 2) 平野・金子・式: 開水路漸拡流の流速分布について, 西部技報, 549.
3) Coles: J. Fluid Mech., 1, 1956, PP.191~226. 4) Samuel・Joubert: J. Fluid Mech., 3, 1974, PP.481~505.
5) Andersen・Kays・Moffat: J. Fluid Mech., 6, 1975, PP.353~375 6) Reynolds: Turbulent Flows in Engineering, Chap.8, 1974.

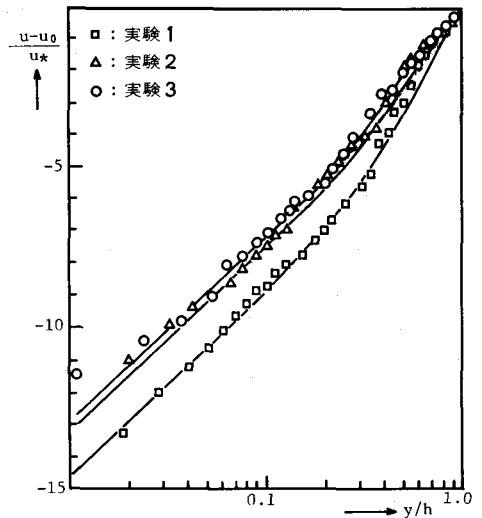


図-3 Wake Function の検討

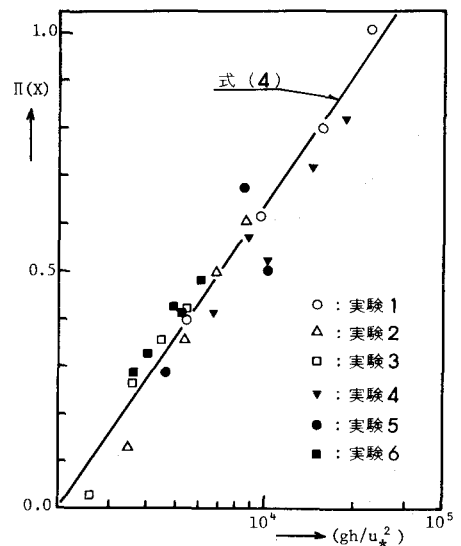


図-4 $\Pi(x) \sim g h / u_*^2$ 関係図