

【討 議】

木村喜代治 著 “長方形水路における流れの一近似解析” への討議

(土木学会論文報告集第251号・1976年7月掲載)

▶ 討議者 (Discussion)

池田 駿 介 (埼玉大学)

By Shunsuke Ikeda

著者は理論展開に際し最も重要な仮定として、長方形断面水路の速度分布に対数則を積の形で表現した式、

$$u = \frac{K}{k} \ln\left(\frac{y}{y_1'}\right) \ln\left(\frac{z}{z'}\right)$$

を近次度の高い式として採用されているが、討議者はこの点に関して次のような疑問を持っている。

(1) 積の形に表現した力学的根拠が明白でない。積の形で表現できない理由としてたとえば 図-1 のような

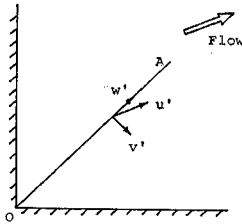


図-1 乱れの成分

場合を考えてみると二等分線 OA 上では u' と v' の相関は 0 でなければならない^{1),2)} (なぜなら OA に関して速度場は対称である) ので、結局

$$\tau = \rho \overline{u'v'} = 0$$

となり、OA 面を通して時間平均的には運動量の輸送はない。したがってこの面を境にして速度分布は互いに独立に決定される。

(2) ところが平行平板間の流れの取り扱いに際して

は著者は一転して両壁面からそれぞれ対数則で表現し、積の形にしていない。この点で長方形断面の場合と取り扱いが異なっており力学的に一貫した取り扱いがなされていない。

(3) このような対数の積の形で速度分布を表現する方法は Goncharov³⁾ によってすでに行われているが、それによれば積の形の表現方法は速度分布を正しく表わさないことが指摘されている。

以上のような観点から討議者は壁面、底面からそれぞれ対数則を仮定しこれらを積の形にして速度分布を表現する方法に疑問を持っており、むしろ足立⁴⁾ が行ったように等流速線は壁に平行であるとする断面分割法が力学的に矛盾を生じないし、速度分布も正しく表現しようと考える。以上の諸点についてご回答を頂きたいと思えます。

参 考 文 献

- 1) Hinze, J. O.: Turbulence, McGraw-HILL, 1959.
- 2) 吉川秀夫・池田駿介: 正方形断面を持つ直線水路の速度分布に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第251号, 1976.
- 3) Goncharov, V. N.: Dynamics of Channel Flow, Israel Program for Scientific Translations, 1969.
- 4) 足立昭平: 長方形断面水路の側壁効果に関する研究, 土木学会論文集, 81号, 1962.

▶ 回答者 (Closure)

木村喜代治 (日本大学)

By Kiyoji Kimura

著者の小文に対するご討議に感謝申し上げます。

長方形水路の流れに二次流が存在することは明らかであり、本論は二次流の存在および開水路における水面の影響を考慮していない近似的な取り扱いをしていることは本文にも記載してある通りである。しかし長方形水路の流れはその任意の点において底面および側壁面よりの影響を受けるのではないかと考えている。実用的な観点から、一般に広く用いられている Prandtl の壁法則を用

いて全断面の流速分布、摩擦速度分布、側壁の影響その他を推算する一方法を述べたものである。したがって二次流や水面の影響の多い流れでは適合性が悪くなり、特に流速分布ではこの点が顕著になる。概略的にいって h/b がほぼ $1/5 \sim 1/6$ 以下程度に壁面近くを除いて適合するのではないかと考えている。しかし、流れを全体として取り扱った平均流速などにおいては実験結果と照合しているように h/b の比較的大きなところまで適合す

るものと思われる。以下討議の順にしたがって私見を述べる。

(1) 長方形管路の水平、鉛直両中心線上においては、円管の流れの中心あるいは平行壁間の流れの中央線と同様に、それを横切る時間平均の運動量輸送はない。著者も水路の中央分割線上および水面では同様に取り扱っている。討議者 図-1 の OA 線上においては、いま図示と変えて底面、壁面に平行な方向の変動流速をそれぞれ v', w' とすると、それらの主流変動流速 u' との相関は 0 でないと考える。たとえば、Brundrett と Baines の正方形管の実測¹⁵⁾によると $\overline{u'v'}/U_{*R}^2, \overline{u'w'}/U_{*R}^2$ は管の中心では 0 であるが、それ以外では 0 でなく、両値とも等量である。すなわち、OA 面を通して時間平均的にそれぞれ底面壁面に平行方向の等量の運動量輸送があることを意味する。これらが合成されて討議者の 図-1 のように考えると、見かけ上 OA を横切る運動量の輸送はない。このことの意味は討議者が 図-1 を参照して $\overline{u'v'}=0$ とされていることに異論はないが、 $\overline{u'w'} \neq 0$ であり OA 面に直角主流方向に作用するせん断応力が存在することを意味する。著者の取り扱いによっても、この場合、主流等流速線は討議者 図-1 の OA 線に直交し、対称となるから OA 面に沿ったせん断応力は働かない。なお、原点を通る長方形水路の等流速線に直交する曲線方程式は、

$$z^2 \{ \ln(z/z') - 1/2 \} = y^2 \{ \ln(y/y') - 1/2 \}$$

となる。これにより粗度などの異なる場合も含めた OA 曲線（一般にほぼ直線に近い）が示される。

(2) 本文に記載してある通り平行壁間の流れを二つの領域に分け、一方の領域については反対側の壁面の影響はないものとして取り扱っており、これを長方形断面にも適用している。このことは力学的にこの分割線ではこれを横切る時間平均的運動量の輸送がないことを意味している。長方形水路の流れを水平、鉛直二方向の二次元流れの組み合わせと考えると取り扱っているから、平行壁間の流れは水路幅が有限で水深が無限に深い場合（またはその反対）に当たる。いま、水路幅が有限で水深が無限の場合を考えてみる。両壁面が等粗面の長方形の場合流速は本文式(21)で示される。平行壁間の流れであるからこの式の $h \rightarrow \infty, z \rightarrow \infty$ の部分について考えることになる。このとき本論を参照して、

$$\lim_{\substack{h \rightarrow \infty \\ z \rightarrow \infty}} K \ln \left(\frac{z}{z'} \right) = \lim_{\substack{h \rightarrow \infty \\ z \rightarrow \infty}} \left\{ U_{*R} \sqrt{\frac{1+b/(2h)}{[\ln(h/z')-1]^2-1} + b/(2h) \cdot [\ln(b/(2y'))-1]^2-1}} \cdot \ln \left(\frac{z}{z'} \right) \right\} = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$$

となる。よって本文式(21)は、このとき

$$u = \frac{1}{h} \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \cdot \ln \left(\frac{y}{y'} \right)$$

となって、平行壁間の流れに対する本文式(5)で $b_1 = b/2, y_1' = y'$ とした式が求まる。よって一貫した取り扱いになっている。なお、ここでは簡単のため両壁面粗度の等しい場合を取り扱った。

(3) Goncharov は自身の流速式と実験との比較から幅 1 m、水深 0.3 m の場合に二次流の影響、水面の影響をかなり詳細に述べているが、この程度の水路幅に対する水深ではこれらの影響が現れる場合である。しかし、幅 40 cm の水路では底面粗度の大きいとき、水深 6.2 cm と 7.1 cm の実験ではこれらの影響がないとしている。

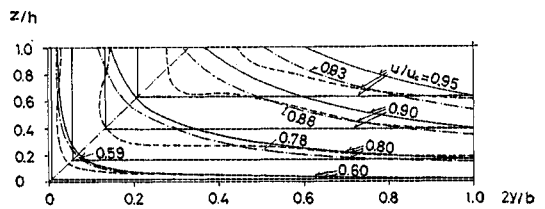


Fig. 29 Velocity Contours in Smooth Rectangular Duct ($2h/b=1/3, Re=14\ 000$)

Fig. 29 は Leutheusser による空気流に対する $2h/b = 1/3$ の長方形管路で、 $Re=1.4 \times 10^4$ のとき u/u_0 の実測¹⁶⁾（破線で示す）と著者ならびに Keulegan の方法とによる計算（実線で示す）とを示した。ただし、 u_0 : 管の中心における流速、これを用いて実測と論文による計算の等流速線との関係を調べてみる。さて、Leutheusser のデータを用い論文の計算法によって摩擦係数を計算すると実測値に比べほぼ 4% ほど小さくなる¹⁷⁾。したがって平均流速は 2% ほど計算値が大きくなる。実測の u_0/U と計算の u_0/U とは同じになるかどうかはわからない。しかし、ほぼ同じであるとしても大差がないと考え、Fig. 29 で等流速線は u/u_0 の実測値に対し 2% ほど計算値が減少した値が対応することになる。よって u/u_0 の実測値の 0.95, 0.90, 0.80, 0.60 は計算値のそれぞれ 0.93, 0.88, 0.78, 0.59 がほぼ対応する（このときの計算曲線を一点鎖線で表す）。なお、この図で 0.59 の計算値は底面付近では 0.60 にほとんど一致し、実測値ともよく一致している。これより実測、計算の等流速線を比較すると、実測の u/u_0 の値で 0.60, 0.80, 0.90, 0.95 ではそれぞれ $2y/b$ がほぼ 0.15, 0.4, 0.45, 0.6 より大なる部分で多少の差はあるが一致しているとみてよいであろう。これに対し Keulegan の流水断面積分法によると平均流速が実測よりほぼ 2% ほど小さな値になり¹⁷⁾、実測の等流速度線に対応する u/u_0 の計算値は 2% ほど大きくなる。計算の等流速度線は図より管路の

中心に移動する。流速分布は実測とかなり異なる。また、二次流のない流れとして流水断面積分法を用いれば、隅角二等分線付近の二次流は通説に対し逆向きとなる。Leutheusser の実験は滑面風洞により行われたが、本文で解析した Bazin のデータはほとんど粗面水路であり、粗面水路であれば主流に対する二次流の影響はより少なくなるのではないかと考えている¹⁸⁾。論文による平均流速式は本文の Fig. 24 に示した Powell の滑面のデータとの比較にみられるように ($2h/b$ が 1 に近いものも含まれている) 観測値が計算値より大きいという矛盾がなく、また、Leutheusser の滑面空気流のデータを用いた摩擦係数が同様に観測値より計算値が大きいという矛盾がない¹⁷⁾ のに反し、Keulegan の式などによる計算値はこのような矛盾を含んでいることを考えると、また、さらに一般的に側壁の影響を評価して中心付近で二次元流として取り扱うような解析における長方形水路の流れの二次流の影響は正方形管路の流れに比べてかなり小さいのではないかと予想されることを考えれば、本論

の取り扱いに近似的ではあるが Keulegan などによる流水断面積分法より適合性があるのではないかと考えている。また、本論では左右壁面の粗度が異なる場合も取り扱っているが、このとき、流速分布が左右対称でなく鉛直分割線が滑面側に寄る。このことは実験からも推察される^{18),19)}。

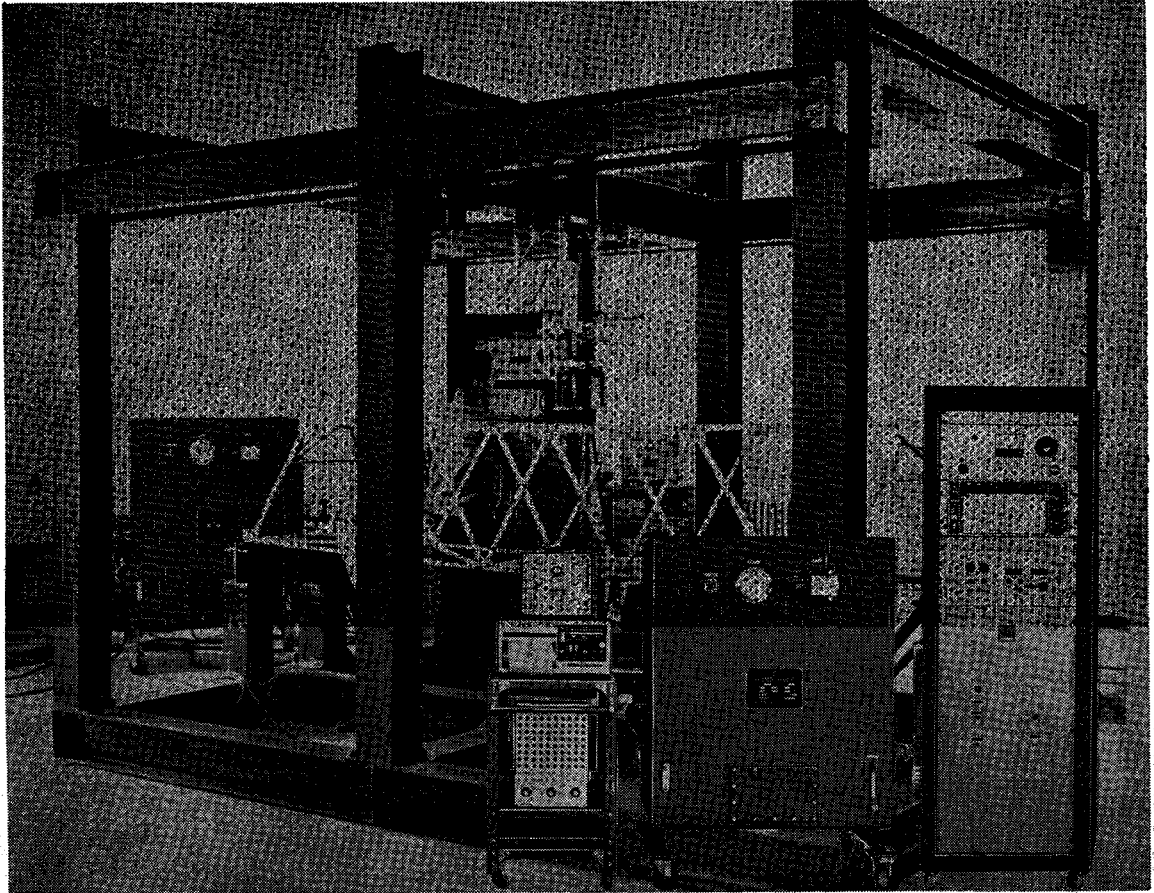
参考文献

- 15) Brundrett, E. and W. D. Baines: The production and diffusion of velocity in duct flow, *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 19, 1964.
- 16) Leutheusser, H. J.: Turbulent flow in rectangular ducts, *Proc. A.S.C.E.*, May 1963.
- 17) 木村喜代治: 長方形水路の抵抗係数に関する二次流の影響, 第 19 回日大工学部学術研究報告会講演要旨集, 昭和 51 年 12 月.
- 18) Fukuoka, S. and H. Kikkawa: Characteristics of open-channel flow with sediment, 東工大土木研究報告, 1971 年 10 月.
- 19) 本文, 9)

土木学会誌・論文集総索引 (第1巻～第60巻) 予価8000円
日本土木史 昭和16年～昭和40年 36000円 大正元年～昭和15年 24000円
日本の土木技術 一近代土木発展の流れ一 3200円
土木製図基準 昭和51年版 2800円
海外建設工事の契約・仕様 6000円
建設プロジェクトの進め方 2800円
水理公式集 5000円
水理公式集例題集 1800円
構造力学公式集 6600円
コンクリート標準示方書 昭和52年版 2800円
コンクリート標準示方書解説 昭和52年版 3200円
遠心力大径PC杭設計施工指針案 1000円
トンネル標準示方書(山岳編)・同解説 昭和52年版 2450円
トンネル標準示方書(シールド編)・同解説 昭和52年版 2450円
開削トンネル指針 昭和52年制定 2450円
沈埋トンネル耐震設計指針案 1000円
海洋鋼構造物設計指針(案)解説 1800円
海上作業足場の設計要領 2000円
ダム基礎岩盤グラウチングの施工指針 900円
ダム基礎岩盤グラウチングの施工実例集 13000円
ダムの地質調査解説 52年6月予定
わが国におけるトンネル掘進機の実績と展望 15000円
土木技術者のための岩盤力学 昭和50年版 12000円
鋼鉄道橋設計標準解説 昭和49年版 3000円
国鉄建造物設計標準解説 昭和49年版 4500円
斜張橋資料集成 14000円
港大橋工事誌 30000円
構造物の安全性・信頼性 5000円
地下構造物の設計と施工 4700円
製図のかき方 52年7月予定
土木材料実験指導書 昭和52年版(基礎編)700円(基礎編・応用編)1500円
土木構造実験 昭和52年版 550円
〒160 東京都新宿区四谷1丁目 土木学会 ☎355-3441 (販売) 振替東京 6-16828

MARUI MIV-4600 電気油圧サーボシステム

電気油圧式 振動疲労試験機



MIV-4600シリーズは中小規模・材料・構造物・構造物模型
部品等の実働波による振動・疲労試験に最適品です。

特長 ◆ 振動、疲労波形を任意の波形運転することができます。

(正弦・三角・矩形・複合・ランダム・磁気テープ入力による運転も可能)

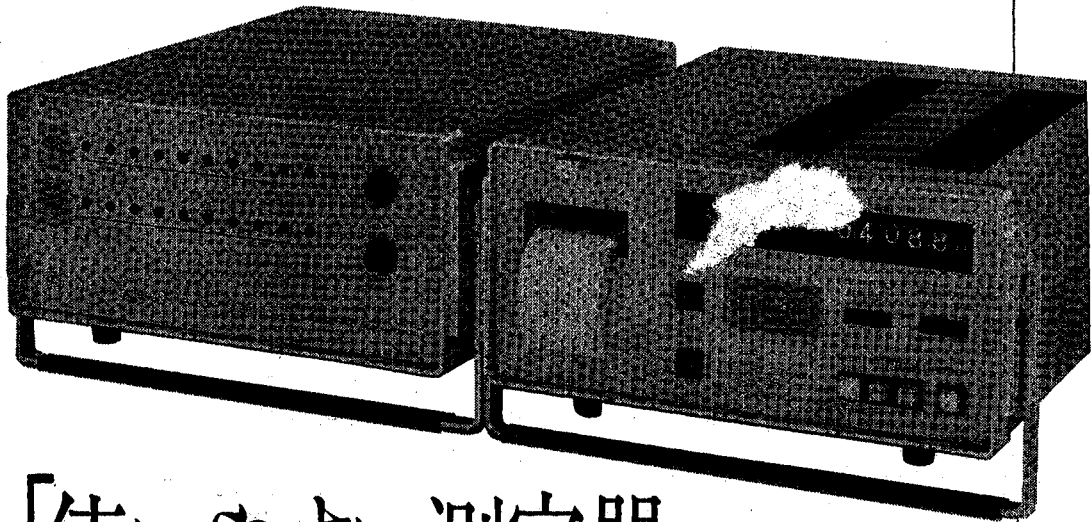
- ◆ 制御方式を広い範囲に選択することができます(荷重・変位・加速度の制御が可能)
- ◆ 複数の加振器を組合せて同時に運転できます(振巾・位相等を変えて運転が可能)
- ◆ 出力は±50ton～±100kg各種製造いたしています。
- ◆ 任意の場所で設置し試験が可能です。



土木建築用材料試験機

株式会社 **マルイ**

東京営業所 東京都港区芝公園2丁目9-12 ☎東京 (03) 434-4717
大阪営業所 大阪市城東区中央1丁目11-1 ☎大阪 (06) 934-1021
名古屋営業所 名古屋市中村区牧野町5丁目10 ☎名古屋(052)452-1381
九州営業所 福岡市博多区比恵町4番17 ☎福岡 (092)411-0950



「使いやすい測定器」と
 ご好評をいただいております。

初期値記憶式—バランス調整不要

共和の携帯型デジタルひずみ測定器
 SD-500A, ASB-50A

計測開始時に測定点の初期不平衡出力をコアメモリに記憶し、次に負荷時のひずみを測定し、すでに記憶している初期不平衡分とを演算し、真のひずみを求めます。ひずみ値は、デジタル表示すると共に、内蔵プリンタでプリントアウトします。
 小型、軽量、可搬型で現場用。実験室用としてラックタイプもあります。また自動無人計測用のオプション機器の準備があり、データ解析処理のためのパーソナルコンピュータにも接続できます。

特長

- 調整時間が大幅に短縮できる
- 計測時間は1点あたり0.5秒以下
- 直流ブリッジ電源採用により、高精度な測定ができる
- 測定点の開始、終了の任意設定可能
- オプション機器が豊富

仕様

- 測定範囲……………0—±39999×10⁻⁶ひずみ
- 計測時間……………0.5秒/点
- 多点切換点数………20点(カスケード接続10台)
50点(カスケード接続4台)
- ゲージブリッジ ……
- 回路切換……………1、2、4枚ゲージ法、全点共通または単独切換
- 精度……………±(指示値0.1%+2数値)
- 電源……………AC100V
- 寸法……………350×160×400mm

オプション機器

- デジタルクロック ……ASC-50A
- スタータ ……AST-50A
- 紙テープさん孔装置 ……QPC-50A
- ケーブルアダプタ

未来をひらく電子計測器メーカー

株式会社共和電業

本社・工場
 東京都調布市調布ヶ丘3の5の1
 電話=0424-87-2111(大代)

東京営業所
 東京都港区芝西久保明舟町19
 電話=03-502-3551(大代)

大阪営業所
 大阪市東区森之宮東2の544(三双ビル)
 電話=06-942-2661(代)

名古屋営業所
 名古屋市中区田代町字根杖1の57(東山大木ビル)
 電話=052-782-2521(代)

福岡営業所
 福岡市博多区博多駅東2の5の20(松永ビル)
 電話=092-411-6744(代)

広島営業所
 広島市東白島町5の9(くまきビル)
 電話=0822-21-9536

札幌営業所
 札幌市中央区南四条西9丁目(観光ビル)
 電話=011-261-7629

水戸営業所
 水戸市上水戸2の6の5
 電話=0292-25-1074