

池田 駿 介 共 著 “三角形断面を持つ棧近傍の三次元流れ” への討議
柴田 宏

(土木学会論文報告集 第 280 号・1978 年 12 月掲載)

▶ 討議者 (Discussion)

宇 民 正・上野 鉄 男 (京都大学)

By Tadashi Utami and Tetsuo Ueno

筆者らは開水路流れの 3 次元特性に関心をもっておりました。それだけに本論文を興味深く読まさせていただきました。

筆者ら^{1),2)}は開水路横断方向に設置した広頂堰前面の局所流を実験的に検討したことがあります。その結果、そこでの局所流は隅角部の渦運動で特徴づけられ、しかもその渦は水路横断方向に一樣ではなく、U 字型の渦が広頂堰前面において水路横方向に連なった形で発生していることを見出しました。そしてその U 字型渦の立上り部分が接近流(主流)の横断方向流速分布のくぼんだ部分に対応していることを実験的に検証いたしました。

一方、本論文での実験に用いている棧は、上記のような広頂堰に比べて流れに対する抵抗が少ない形状を持っており、したがって構造物前面における流線の曲率は小さいと考えられます。しかし本論文では、棧前面の流況が横断方向に変化する現象は平坦路床上に発生する 3 次元流れとは異なるものであって、それは棧の存在によって生み出される慣性不安定による Görtler 渦によるものであることが結論づけられております。

本論文の上記結論に至る論理の展開には次のような疑問が感じられます。ご教示を賜れば幸いです。

(1) Görtler 渦であることを実証されるうえで、その基礎式(3)中の曲率半径 r をいかに評価するかがその要をなすと思います。この r を与えている式(6)の比例定数を C_1 として、

$$r = C_1 \cdot l^2 / h \dots\dots\dots (6)'$$

と表現し、式(3)と式(10)とは同じ式であることから C_1 の値を逆算して求めると、

$$C_1 = 88.43 (h/l)^{3/2}$$

が得られます。この式は式(6)の比例定数の中に式(6)中の変数が再び現われることを意味しており、本論文の論理展開上の矛盾のように思われます。

さらに、図-1 に示されている棧の各形状ごとに上式によって C_1 を求めてみますと、次のような値が得られます。

$$(a) \quad h=2 \text{ cm}, l=2 \text{ cm}; C_1=88.43$$

$$(b) \quad h=2 \text{ cm}, l=10 \text{ cm}; C_1=7.91$$

$$(c) \quad h=1 \text{ cm}, l=10 \text{ cm}; C_1=2.80$$

$$(d) \quad h=1 \text{ cm}, l=20 \text{ cm}; C_1=0.99$$

式(6)が示すように、本来 C_1 は 1 に近い数値であるべきです。それが上記のような結果となるのは、基礎式が実測値にあうように C_1 を決められた過程に無理があるのではないかとと思われます。

以上から、開水路の横断方向に設置された棧前面の流況の横断方向の変化を Görtler 渦であるとして説明することは、本論文の方法による限りでは無理なように思われます。

(2) 本論文では、棧前面の流況の横断方向の変化がその上流の平坦路床上の流れの 3 次元性によるものではないことが主張されており、その理由として図-5 が掲げられてあります。

しかし、平坦路床上の流れの 3 次元特性を示す λ をそのまま無次元化もせずに Re 数に関係づけてなんらかの結論を引出すことは無理なように思われます。すなわち、平坦路床上の流れにおいては、粘性底層およびその近傍においては λ は内部変数に規定され、 ν を動粘性係数、 U_* を摩擦速度とすると、

$$\lambda U_* / \nu \approx 100$$

となることが従来から指摘されておられ³⁾、それより外側では λ/H は Re と Z/H の関数としておおむね表現できることが実験的に確かめられております⁴⁾。ここで Z は水路路面から実測点までの鉛直距離、 $Re = UH/\nu$ です。

本論文での U_* の値はわかりませんが、 Re の値からして実測の行われた $Z=1 \text{ cm}$ の位置は上記の外側の領域に属すると推測されます。そこで、本論文の表-1 に示されている実測値を用いて、平坦路床の場合はもちろん、棧をおいた場合についても λ/H を Re と Z/H の関数として表示してみました。その結果、

$$\lambda/H = \alpha (Z/H)^\beta (UH/\nu)^\gamma$$

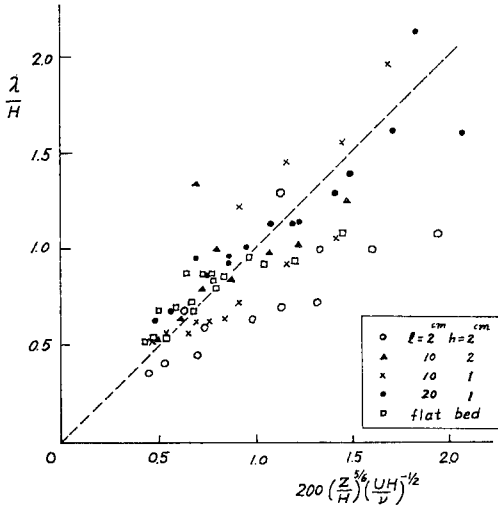


図-11 $\frac{\lambda}{H} = 200 \left(\frac{Z}{H}\right)^{3/4} \left(\frac{UH}{\nu}\right)^{-1/2}$ の検討

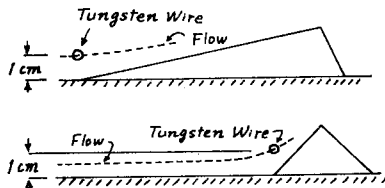


図-12 棧形状による計測地点の相対的高さの相違

とした場合、 $\alpha=200, \beta=5/6, r=-1/2$ が妥当な数値として得られました。その結果を図示すると 図-11 のようになります。

本図で $h=2\text{ cm}, l=2\text{ cm}$ の資料は他のものに比べて若干下の方にありますが、これは 図-12 に示すように、この場合には棧の前面（上流面）の立上がり角度が他の場合のそれに比べて特に急であるため、他の場合に比べて実質的には相対的に低い Z の位置での λ を実測した結果となったためと考えられます。

以上の点を考慮すると、図-11 をみる限りでは、棧をおいたときの λ の特性は平坦路床上の流れの λ の特性と異なっているとはいえないと思います。

参考文献

- 1) 宇民 正・上野鉄男：可視化法による大スケール乱れに関する研究，京都大学防災研究所年報，第 19 号 B，1976. 4.
- 2) 今本博健・宇民 正・上野鉄男・日紫喜剛啓・仲井公哉：構造物前面の局所流と大規模乱流構造との関連について，昭和 54 年度関西支部 年次学術講演会 講演概要，II-12，1979.6.
- 3) Kim, H.T., S.J. Kline and W.C. Reynolds：The production of turbulence near a smooth wall in a turbulent boundary layer, Jour. Fl. Mech., Vol. 50, Part 1, 1971.
- 4) 今本博健・宇民 正・上野鉄男・日紫喜剛啓・仲井公哉：開水路流れにおける流速の横断方向変化特性について，昭和 54 年度関西支部 年次学術講演会 講演概要，II-5，1979.6.

▶ 回答者 (Closure)

池田 駿介 (埼玉大学) ・柴田 宏 (竹中土木 (株))

By Syunsuke Ikeda and Hiroshi Shibata

討議に対しご回答いたします。

(1) 式 (6) 中の比例定数 C_1 が $C_1=88.43(h/l)^{3/2}$ となるのは論理の矛盾点であると指摘されていますが、これは本文中の式 (12) と同等であると思います。しかし、これはもともと式 (6) のような表現が正しくなかったことを示しているのであって、正しい (近似的に) 曲率半径の表示法を 4 種類の棧を用いて調べ、式 (12) の表現を得たと考えるのが妥当です。ところで C_1 は比例定数であり、

$$r \approx \frac{1}{d^2 Z} = C_1 \frac{l^2}{h}$$

とあります。 l, h はそれぞれ X 方向、 Z 方向のスケールとしてとったのであって、二次の微係数を $C_1 l^2/h$ のようにおいたときに C_1 が 1 のオーダーにならない理由はないと思います。

(2) 渦の波長が、

$$\frac{\lambda}{H} = \alpha \left(\frac{Z}{H}\right)^\beta (UH/\nu)^r$$

のように表現されるという主張について、本文の写真-1 に示すように渦の波長は水路床上においた過マンガン酸カリウムと高さ 1 cm の高さに張った水素気泡法によって測定されており、両者の波長が一致することを確かめています。また、過マンガン酸カリウムが渦の上昇部に当たるところではかなりの高さ (1 cm のオーダー) まで上昇し、横断方向の波長は棧上では各高さにおいて完全に一致しています。したがって、ここで考えている流れでは λ が Z の関数となるとは考えられません。

以上、筆者は本論文の最後に書いてありますようにここで展開された理論が厳密なものであるとは考えていません。しかし、渦の様相、あるいは定常性、規則性や写真-1, 2 で示されるように流線が棧に近くなると急激にねじ曲げられる点からみて、慣性不安定による渦と確信しています。