

討 議

第 29 卷 第 6 號 昭和 18 年 6 月

射流現象特に射流の流體抵抗に就て (I)

(土木學會誌第 28 卷第 5 號所載)

正會員 佐 藤 清 一*

最近私は射流の水深變化を計算しなければならぬ事になり、その抵抗を如何にとり入れたらよいかに行惱んだのでありますが、學會誌第 28 卷第 5 號に寄せられた論文を拜見し極めて得る所が多かつた事を深く感謝致します。

以前から學會の方から幾つかの論文に對する討議(どうも此の討議といふ言葉は穩當ではない様です。discussion といふ言葉に對する譯語の積りなんでせうが、漢字で討議といふと如何にも喧嘩を吹かけて議論をしなければならないといふ様な語調をもつてゐます。併し私達が discussion といつて感じてゐる氣持は、研究の對照について互に意見を交へつゝ研究し合ふといふ事にあると思ひます。もう少し何とかうまい言葉がないものでせうか。一寸横道にそれて了ひましたが、之は常々感じてゐた事なのでつひこゝに述べて了つた次第です。)を依頼されてゐたのですが、今たまたま實際の必要に迫られた事と流體抵抗乃至は損失について日頃興味を抱いてをりますことから、今回拜見した論文について、甚だ時期が遅くなつたのではありますが、感想と私見とを述べてみたいと存じます。

Lane が係數として射流の場合も常流の場合と同一に取扱つてよいと主張し、之を O'Brein 等が支持してゐるのに對し Jegerow が實驗的に之の成立しない事を主張してゐる。確かに之は面白い問題で、而も Jegerow によれば λ は $R_f = 1$ を越えると變化を生じ始めるといふのですが、之等は亂れと境界層の現象に對する示唆を多く含んでをり、今後大いに研究されねばならない問題だと思ひます。

先づ 圖-14 についてありますが、今回行はれた實驗に於ては一定の R_f に對し λ は勾配の緩なる程小となつてをりますが、Jegerow の實驗ではそれが反對になつてをります。之は如何に説明さるべきものでせうか。Jegerow の實驗では R_f が示されてをりませんので 圖-14 から丈では分かりませんが此の點どうお考へになつてをりますか。

次に × 印の點を餘り信頼出來ないと云つてをられますがそれには何か實驗中に缺陷でもあつたのでせうか。私には實驗中の詳しい事狀が分りませんので只 圖-14 と 圖-15 とから判斷しますに、圖-15 を各勾配について整理しますと 圖-1 (討議の圖) 太線の如く金網張りの場合も、鉋仕上げの場合も、かなりきれいに整理されますので必ずしも捨てなくてもよいのではないかとも思へます。

此の様に (圖-1) 線を引いてみますと金網張りの場合も鉋仕上げの場合もかなり規則的に傾きのそろつた曲線が得られますが、この様に λ が或る一定の R_f について勾配により大きな差が出来るといふ事は如何に説明さるべきものでせうか。

今 圖-14 と 圖-15 とを見較べてみますに、圖-15 に於て Jegerow 氏の實驗とのつながりを考へてみますと、 $Re = 19\ 000$ といふ線は Jegerow の $Re = 14\ 000$ といふ線と略々つながる様です。兩者は略々レーノーズ數

* 内務技師 内務省土木試験所

が似通つてをりますから大體に於てこの
2 線はつないで考へて差支へないと思ひ
ます。

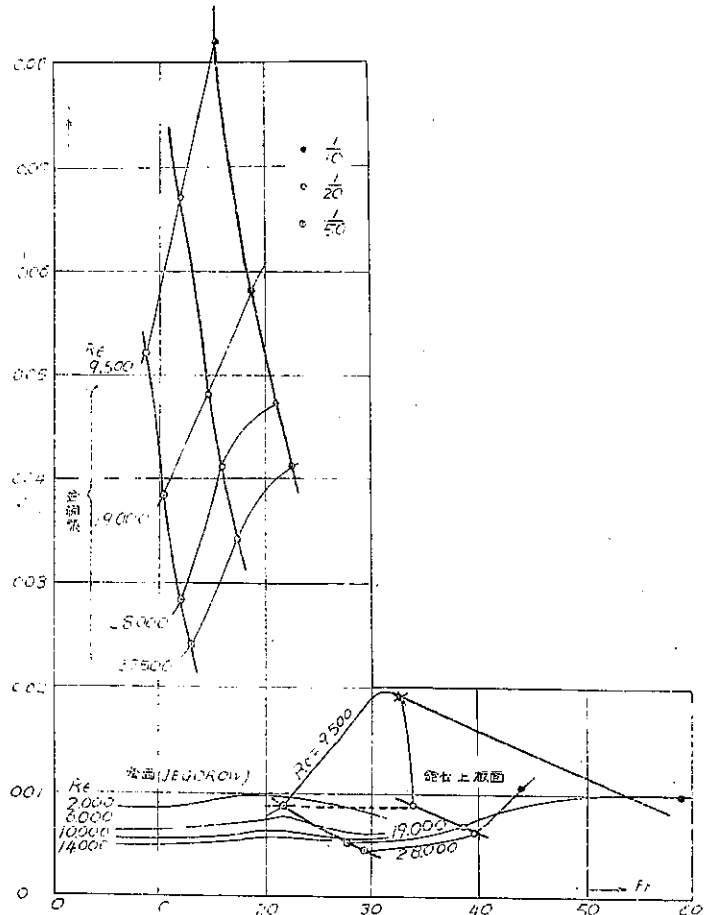
この様にしますと此の線は勾配 1/20
を大凡の境として λ が著しく變つてき
ます。この性質は $Re=28\ 000$ なる線に
於ても著しく現はれ、又 $Re=9\ 500$ の曲線
については點の結び方を圖-15 の如くに
結ばないで勾配の急になる順に結びます
と、同様の性質がより著しく現はれてく
る事に氣付きます。所で圖-14 をみます
と、Jegorow の實驗は勾配が約 1/20 より
緩なる場合について行はれてある様で
す。圖-15 に示してある彼の實驗結果も
その様であるとすれば、今回行はれた實
驗と Jegorow の實驗とから少くとも次
の事がいへるのではないかと思ひます。
即ち λ は勾配の緩なる時は大體に於て
 Fr に無關係で Re の函數となり、勾配
が急になると之が成立しなくなる。而し
てその境界勾配は大凡 1/20 なるもの
如し、と。

そこで又疑問が生れます。勾配が著し
く急になると何故 λ は Fr にも關係し
て來るのだらうか。之れは今少し多くの實驗を行はなければならぬでせう。

私は、射流になると internal friction と skin friction とはかなり明瞭に分けられてくるのではないかといふ
事を直感的に考へてをります。つまり skin friction は grenzschrift に於て行はれ、その grenzschrift より
發生する Turbulenz は射流の獨立性のために Schießen の内部へは傳達され難いのではないかと考へてをりま
す。而も Schießen の内部に於ても Turbulenz は傳達し難いのではないか、従つて open channel で幅の極めて
廣い 2 次元の Schießen を作った時、その流速分布は底の近所まで略々一様な分布をなし、底の近所丈で速度
勾配が出来るのではないかと考へてをります。この事は Schießen の水深を段々増してやれば明らかとなつてく
るわけです。

一方 Schießen の獨立性は Schießen が障害物を乗越えるといふ事から考へられると思ひます。Schießen が
障害物をのり越えるといふ事は、下の流層は上の流層を單に上に押しやる丈で、障害物によつて與へられた下の流
層の Störung が上の流層に流質の混合として入つて行かず單に之を上を押し上げるのであるといふ事を、乃
至はその様な傾向があるといふ事を示してあるものと考へられます。この事を只今 Schießen の獨立性といふ言

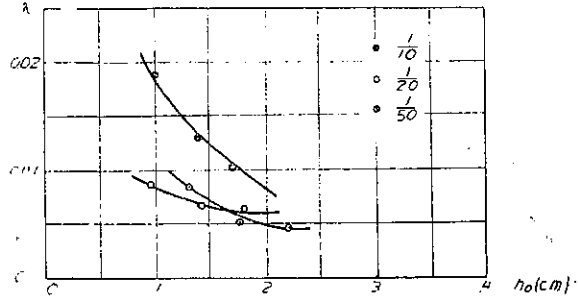
圖-1.



葉で表現してみたのです。

以上の様な考へからして水深全體についての loss といふものは、水深の増加する程減じて來るのではないかと考へます。といひますのは、skin friction による loss の水深全體に對する loss に對する受持ちが少くなる爲めと考へるからです。そして水深を大きくして行けば λ はその内容の中の内部に對する部分が零に近づくか又は一定値に近づくかではないかと考へられます。之は少し極端な考へ方ですが、そこで本間さんの得られた實驗結果をお借りしまして λ と h_0 との關係を各勾配について調べてみました。それが圖-2 です。之によりますと次の事が判ります。

圖-2.



1) 断面全體に對する抵抗係數 λ は勾配の如何に拘はらず水深 h_0 の増す程減少する。

2) 而してその減少の仕方は勾配の急なる程大である。

3) 水深が大なれば λ の値は勾配による區別がなくなる可能性がある。

4) 水深が小なれば λ の値は勾配による差別が大きく、然も勾配の大なる程 λ は大となる傾向をもつ。といふ事が云へると思ひます。それでは之等の事は何を意味してゐるのでせうか。之について私は次の如くに考へます。

即ち、1) なる事實は断面全體に對する抵抗係數を internal friction によるものと skin friction によるものとの 2 つから成立つものと假定した場合、内部は skin からかなり獨立して loss があり、然も之が小さい。而して skin の loss もかなり獨立して存在し内部には傳達されにくい。従つて断面全體としての抵抗係數 λ は水深の増す程 skin friction の受持ちが小となるため減少するのではないかと、といふ今までの考へ方を肯定してゐるものと考へられます。

次に 2) なる事實は、勾配が急といふ事は一般に速度が大といふ事を意味しますので、skin friction は底部に於ける速度勾配の大なる程大である事を意味するとともに上述の考へを矢張肯定するものと考へられます。

又 3), 4) なる事實は之又上述の考へを肯定してゐるものと考へられます。

そこで次に断面全體に對する抵抗係數である所の λ の内容を考へてみようと思ひます。

- 1) λ は internal resistance と skin resistance とよりなる。
- 2) skin resistance は mean velocity (實際は底に於ける速度勾配) の大なる程大である。
- 3) internal resistance は Schießen の獨立性のため略々一定である。
- 4) 全體としての λ は h_0 の小なる程大きく、大なる程小である。
- 5) 而して λ は $h_0 = \infty$ なる時に $\lambda = C$ となる。
- 6) 又 $h_0 = 0$ の時に λ は $\lambda = \infty$ となる。

こんな風に思ひ切つた假定をしてみると λ の形は實用的には次の様な形で現はれて來やしまいと思ひます。

$$\lambda = \left(C + \frac{k}{h_0^a} \right)$$

茲に k は底流速及び底の Rauhgigkeit に關係する常數、即ち $k = f(v, n)$ といつたものです。

又更に、この様に λ に對して具體的な假定を與へないとしても少くも λ の性質として上述の 1) から 6) までの事が假定出來さうに思はれるのでありますが、この 6 ケの中 1) から 4) までは今までに實驗の結果等から推論して來た所で説明は既に一應すんでをるのでありますが、残り 2 つは一體何を意味するかと残つてをります。

先づ 5) は次の様になります。今 $i = \frac{\lambda}{h_0} \frac{v^2}{2g}$ を $i = \frac{\lambda}{2} F_0$ とかきかへますと、程度が考へられた或る Schießen について水深が極めて大になつても損失は存在し而もその Schießen の單位長當りの損失は一定となる。又之を逆に云ひますと、水深の極めて大きい等流の射流を作つた場合、その勾配によつて射流の程度が定まつてくるといふ事になります。この事はなほ實驗を行はなければ確かな事はいへないわけです。

次に 6) といふ事はある射流については水深を小とする程その射流を流し得るためには勾配を急にしなければならぬといふ事になるわけです。

尙ほ竹内俊雄君の行はれた溢流堰堤の實驗資料*をお借りしますと、堰堤水叩上に於ける射流の平均流速の計算値に對する比 α は水叩上に於ける射流水深 h (cm) の増加する程 1 に近づいてゐる事が判ります (圖-3)。

茲に計算値とは $v = \sqrt{2gh}$ に依つたもので、 h には溢流水深の中央面から水叩上射流の水深の中央面までの高さをとりました。

この圖-3 によりますと、水叩上の射流水深の増加するに従つて、即ち射流水脈の増加するに従つて抵抗が減じて來てゐる事を示してゐます。併しこの様に h の増す程 α が 1 に近づいて行くといふ事は、堰堤の場合には流體抵抗が減るといふ事の外になほ h の増す程、従つて溢流水深の増加する程傾斜面の射流には自由落下(極端に溢流水深を増す時は nappe は crest より離れて全くの自由落下となる)の性質が加はつて來ますので、簡単に抵抗が減じたといふわけには行きませんが、此の實驗の場合には溢流係數から考へても自由水脈の出来るには未だかなりの間がある事と、この堰堤の crest の形は構造上からかなり水平部の大きい事とにより、抵抗が減じたのではないかと考へます。

以上大分勝手な考へ方をして來たのですが、射流の抵抗といふ事は Turbulenz や Grenzschicht の現象探求上大なる役割を果してくれさうな氣がいたします。

著者 正會員 工學博士 本 間 仁*

拙論に對して畏友佐藤君の御討議を得た事を感謝して居ります。

第一に λ と h_0 の圖に於て λ と勾配の關係が Jegorow の實驗と私の實驗とで傾向が逆になつてゐる事に就

* 水壘堰堤について行はれた實驗、模型の堰堤の高さ約 61 cm、未發表の資料

* 東京帝國大學教授

圖-3.

