

## 論 説 報 告

### 満洲國河川に對する平均流速公式（其の2）

(康徳8年11月29日第1回學術講演會講演)

副 會 員 永 井 莊 七 郎\*

#### 内 容 目 次

##### 第5章 概 説

###### 第1節 緒 言

第2節 移動床河川に於ける走水の研究及びその批判

##### 第6章 移動床河川に對する新流速公式の確立

第1節 移動床の小水路及び自然河川に於ける流速公式の關係

第2節 指數式  $v = \frac{1}{n^r} Ra l^\beta$  に於ける指數 $\alpha$ の決定

##### 第3節 指數式 $v = \frac{1}{n^r} Ra l^\beta$ に於ける指數 $\beta$ の決定

###### 第4節 新流速公式

##### 第7章 新流速公式と在來流速公式との誤差比較

###### 第1節 遊河水系

###### 第2節 松花江水系

###### 第3節 Donau河

##### 第8章 結 論

## 第5章 概 説

### 第1節 緒 言

自然河川に於ける平均流速公式は河川工學上基本的な重要問題であるから、之が決定は極めて慎重に行はねばならない。而して此の流速公式を作製するには、獨り河川に於ける實測資料のみに依つては不可能にして、必ず多數の基礎的實驗が必要である。然し又一般に小實驗水路に於ける流水と自然の大河川に於ける流れとは可なり相違するを以て小水路に於ける實驗のみに依つて自然河川に對する流速公式を作ることも出來ないのであつて、茲に自然河川に於ける流速公式作製の困難性が存するのである。即ち多數の基礎實驗と多數の實測とがあつて初めて河川に對する平均流速公式は完全に確立され得るのである。

小水路に於ける流れと、之に比し遙かに大なる自然の大河川に於ける流れとが相當に異なることに注意し始めたのは極く最近のことにして、水理學が餘り發達しなかつた頃に作られた流速公式には此の點に關する考慮が欠けてゐると思はれる。例へば Bazin (は 1~2m 幅の人工

開水路に於ける實驗値のみによつて彼の公式を作り、之を以て直に自然の大河川の流れにも適用せん考へた。又今迄廣く世界各國に於て使用されて居た Ganguillet-Kutter 式の如きは、上記の如き小實驗水路に於ける Bazin の實驗値と、河幅が 900~1500m、水深の最大が 45m、水面勾配が 0,000068~0,0000342 なる如き極めて大にして且緩かなる Mississippi 河に於ける極く僅かな實測値 (而も流速は浮ふ測量である) とを一緒にして、chezy 式中の流速係數 C の函数を兩資料に合ふ如く作られたるものにして、現在に於ては斯る方法は水理學的に極めて不合理である。C が整深、水面勾配及び粗度係數の極めて複雜なる式となるのも當然である。

本論文その 1 に於て移動床水路に於ける流れが固定床水路に於ける流れと著しく相違してゐることを述べたが、

自然河川に於ても同様に、移動河床の流れは固定河床の流れと著しく相違するものと考へられる。從つて固定河床河川に於ける實測資料により造られた從來の流速公式は移動床河川には全く適用することは出來ないのである。

日本内地の河川の河床は一般に砂利、玉石、岩石或は岩盤等より成つてゐる爲出水時以外は河床は一般に固定し、從つて河水は多くの場合清澄であるが、之に反し満洲の河川の河床は良く知られてゐる如く、河床が一般に微細なる砂礫より成つてゐる爲、河床砂礫は水流によつて容易に掃流されて流動し、又その微粒子は水中に巻上げられて流水中に浮遊し、爲に水は赤褐色或は黒褐色に渾濁してゐる。斯る移動床河川（満洲の河川特に遼河水系の諸河川は世界的に見ても床河砂礫の移動の激しい河川ではないかと思はれる）に於ては Ganguillet-Kutter 式等の在來流速公式は全く不適當にして、流速公式に關する今迄の考へを放棄し、移動床水路に於ける基礎的實驗と移動床河川に於ける多數の實測資料とにより、新しき平均流速公式を確立しなければならないのである。

## 第2節 移動床河川に於ける從來の研究びその批判

移動床河川の流れに關する研究は極めて稀にして、その流速公式に關しても 1~2 の式が發表されてはゐるが、それは或る特定の移動床河川に對してのみ適用し得るもので凡ての移動床河川に適用し得る如き流速公式は確立されてゐなかつた。從つて満洲國に於ても、又ドイツ、アメリカ等の移動床河川に於ては止むを得ず Kutter 式 Manning 式等の固定床河川に對する流速公式を近似的に使用して來た様である。然し實際に遼河の河川調査に關係された技術者、又ドイツのライン河、ドナウ河エルベ河等、アメリカのミソーリー河等の調査をなした河川技術者の中には、之等の移動床河川には在來の流速公式が適用出來ないことに氣付いて居た如くである。

### (1) Matakiewicz 式 (ドイツ 1927 年發表)

M. Matakiewicz 氏は土砂の流動せる水路又は河川に於ては、床面の粗度は水流の作用により變化するものにして、その粗度は鉛深及び水面勾配により表はさる可いものであると考へ、 $I \leq 0.01$  の範圍に對し次式を發表した。

$$v = 35.4 I^{0.493+10I} R^{0.7} [m/sec] \dots\dots (1)$$

此の Matakiewicz 氏の考へ方の半はは妥當である

が、尙未だ不十分であると考へられる。即ち同氏の云ふ・床面の粗度は水面勾配及び鉛深による勿論であるが、尙更に砂礫の種類によつても大いに異なるのであるから、流速公式中には必ず床面砂礫の種類により變化する係數が必要にして、若し此の係數を除去するならば、その式は或る種類の混合砂礫より成る河川にのみ適用し得るものにして凡ての 1 種類の混合砂礫の河川に適用し得る普遍的な公式とはなり得ないのである。著者は (1) 式を遼河水系の諸河川、ドナウ河等に於ける多數の實測資料に就てその誤差を検したるに、ドナウ河のみに於ては平均誤差 7% にして良好なる結果を示したるも、遼河水系に於ては平均誤差は 10~25%、最大誤差は 23~54% にして餘り良好なる結果を與へなかつた。ドナウ河に於ては良好なる結果を示したのは、(1) 式がドナウ河及び之に類似したる河川に於ける實測資料から作製された爲であると考へられる。

### (2) 溝江式(昭和 7 年)

溝江昇氏は自然河川に於ても小型の砂水路に於ける。流速式と同一の式形をとる可きであると、 $V = MR^{0.710.56}$  中の  $M = a \cdot bIm$  と置き、此の  $a$ ,  $b$ , 及び  $m$  の値をドイツ、アメリカ、フランス等の河川に於ける 117 個の實測資料を用ひて最小自乗法により決定し次式を得てゐる。

$$v = (90-122 I^{0.186}) R^{0.7} I^{0.56} [m/sec] \dots\dots (2)$$

溝江氏が今より 10 年前に於て、移動床河川に於ける流速公式が固定床河川に於けるものと異なる可きであることに想到し、(2) 式を作りたることに對しては敷腹に値するも、同氏も又 Matakiewicz 氏と同様、移動床水路の渦旋に於ける抵抗係數に就て基礎的研究を行はなかつたので、抵抗係數或は粗度に關する考への不備の點、同一缺陥を示してゐると考へられる。從つて式も又凡の種類の混合砂礫の河川に適用し得る普遍的な公式とはなりたくない。著者は遼河水系の諸河川、ドナウ河等に於ける多數の實測資料に就て (2) 式の誤差を検したるに、その平均誤差は 16~22%、最大誤差は 23~53% にして一般に最も大なる誤差を示した。

### (3) その他

W, R, Kutter (1873年) は移動床の粗度は水深が増加すると最初は減少し、その後再び増大する。此の粗度の増大は砂礫の運動が激しい程、又砂粒が大きい程益大であると稱してゐる。ライン河のグレペナウに於ける實測値から Kutter 式中の粗度係数  $n$  の變化を次式で示してある。

$$n = N \sqrt{\frac{\sqrt{R I}}{\left(23 + \frac{0.00155}{I}\right) \frac{v}{\sqrt{R}}}} \quad [m - \text{Sec 單位}]$$

即ち Kutter 自身も既に彼の流速公式が移動床河川には適用出来ないことを認めていたのである。

## 第6章 移動床河川に対する新 流速公式の確立

## 第1節 移動床の小水路及び自然河川に於ける流速公式の關係

本文その1に於て示した移動床小水路に於ける平均流速公式より抵抗係数を求むれば

$$\Psi = 2g_0 N^2 I^{0.64} R^{-0.06}$$

今  $2g, nN^2 = 5$  と置けば

既に記述せる如く  $\Psi$  は僅かではあるが  $R$  の増大と共に減少することが判る。 (3)式より  $\Psi$  は一般に次式の如く書き得る。

$$\Psi = K' \left( \frac{k'}{R} \right) a l b \dots \dots \dots \quad (4)$$

茲に  $K'$  は常数にして、 $a > 0$  及び  $b > 0$  である。然る時は流速式は一般に

$$v = \sqrt{\frac{2g}{K'k'a}} R \frac{1+a}{2} I \frac{1-b}{2}$$

$$\sqrt{\frac{2g}{K'k'a}} = \omega \text{ と置けば}$$

$$v = R \frac{1+a}{2} \frac{1-b}{2} \dots \dots \dots (5)$$

歟の値は周邊を形成する砂礫の種類により異なる係数である。又  $a > 0$  及  $b > 0$  たり。

但し  $a$  は小なる数であるから  $\frac{1+a}{2} - \frac{1}{2} = \frac{a}{2}$  は極めて小である。(5)式は移動床小水路及び河川に對する平均流速式の基本形である。

(3) 式の誘導に使用したる著者の実験値は、実験水路の幅は 0.55 m、水深は 2~18 cm 位であるに對し、その床面の砂礫は自然河川の河床砂礫と同一のものである。従つて此の実験水路内の流れは、河床がそれと同一の砂礫より成る自然河川の流れに比較して、

(a) 主として床面に於ける粗度の増大の爲流水の抵抗  
が著しく大である。

(b) この抵抗の増加に因り、徑深及び勾配が増加しても流速はそれ程増加しない。即ち  $\log v / \log \psi R = 1 + a/2$  及び  $\log v / \log I = 1 - b/2$  の値は自然河川に於けるより小さくなる。然し此の  $R$  及びの指數の変化は固定床の小水路及び大河川に於ける變化程大ではない。

## 第2節 指數式 $V = \frac{1}{nN} R^\alpha I^\beta$ に於ける指數 $\alpha$ の決定

流速公式としては小水路に於けると同様に自然の大河川に於ても指數公式が最適であると考へられるが特に自然河川に於ける流速公式はその使用者が主に實際河川技術者なるを以て、小實驗水路に於ける流速公式より更に計算に便利にして且式形が簡単で記憶に容易なることが必要である。

### 平均流速公式

と置き、指數  $d$  及び  $\beta$  並に砂礫係數  $nN$  を自然河川に於ける多數の實測値と、第1節にて記したる小水路に於ける流速式と大河川に於ける流速式との關係より決定した。

自然河川の或1地點に於ては砂礫係数  $nN$  は一定にして、水面勾配  $I$  の変化は一般に僅少である。故に1地點に於ける實測資料中より、 $I$  が略一定にして徑深  $R$  が成る可く大きく變化したる場合を擇出し、それ等の實測資料を用ひて最小自乘法よりその地點に於ける指數  $n$  を求むることが出来る。

交通部遼河治水調査處は康徳 5 年、6 年及び 7 年の 3 ケ年間、遼河全水系に亘り極めて多數の流量測量を行つた。然し之等多數の實測資料中にはその測量方法に疑點のあるものもあつたので、著者はそれ等の資料を調査し、流速、水面勾配及び特に日々の流水断面積等の測定が最も精確に行はれてゐる地點数個所を選び、それ等の地點に就ては出来る限りその測量の實施者に会つて測

量方法等を聞正し、又著者自身もそれ等の流量測量地點に行つて、河状、河床砂礫の状態等を實際に観察し、その實測資料に十分なる信頼の置き得るもののみを更に嚴選し次表の 7 個所を決定して、流速公式の確立或はその精度の検査に使用した。但し實測流速は凡て流速計（廣井式及びプライス式）により測定したものである。

表-7. 遼河水系主要實測地點

支川名	流域面積 [km <sup>2</sup> ]	實測地點	流域面積 [km <sup>2</sup> ]	實測數	$\alpha$ の決定に使 用した實測數	$\alpha$
渾河	11,717	奉天	8,163	54	49	0.524
渾河	✓	遼渾沐 (康徳 6 年)	4,854	100	74	0.542
渾河	✓	遼渾沐 (康徳 7 年)	✓	91	91	0.563
渾河	✓	遼順	6,830	55	—	—
太子河	14,026	遼陽	8,178	86	66	0.582
本流	224,653	通遼	63,645	37	—	—
柴河	1,407	太平寨	1,149	74	—	—

以上 7 個所の中、水面勾配 I が略一定にして徑深 R が大きく変化した資料を多數含む地點は、奉天、遼渾沐(康徳 6 年及び 7 年)及び遼陽の 3 個所であつたでその地點に於て指數  $\alpha$  の値を求めた。此の外に通遼に於ける資料も此の條件には好都合であつたが、測量地點が橋梁の下流 100m 以内にあつて、水面勾配の測定に不正確な點が存すると思はれたので  $\alpha$  の決定には除外した。

(7) 式に於て  $I=$ 一定であれば

$$v = KR\alpha \quad \dots \dots \dots (8)$$

となる。兩邊の對數をとると

表 - 2.

實測地點	實測數 N	$x$ $\log R$	$y$ $\log v$	$\frac{xx}{(\log R)(\log R)}$	$\frac{xy}{(\log R)(\log v)}$
奉天	49	-16.31731	-13.98581	6.50969	5.22129
遼渾沐 (7年)	74	-24.24966	-11.16935	15.86916	7.95488
遼渾沐 (7年)	91	-19.42811	-9.13358	5.79233	2.87645
遼陽	66	-5.11024	-10.75806	1.81523	1.65954

之等の値を (10) 式に代入して夫々  $\alpha$  及び  $\beta$  を求むれば

奉天に於ては  $\alpha=0.524$ ,  $\beta=-0.11089$

竜渕(6年)に於ては  $\alpha = 0.542$ ,  $\beta = 0.02670$

竪溝休(7年)に於ては  $\alpha = 0.563$ ,  $b = 0.01991$

遼陽に於ては  $a = 0.582$ ,  $b = -0.11792$

(11a)～(11d)のUとRとの関係を兩軸對數方眼紙上に  
圖示すると圖-1,2,3 及び 4 の如くである。

天奉圖-1.

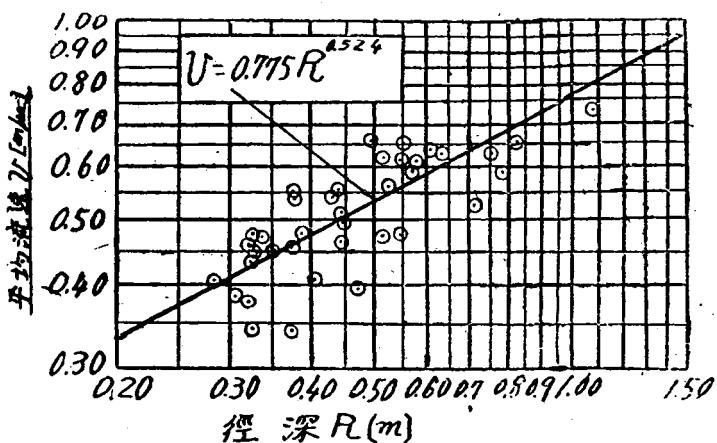
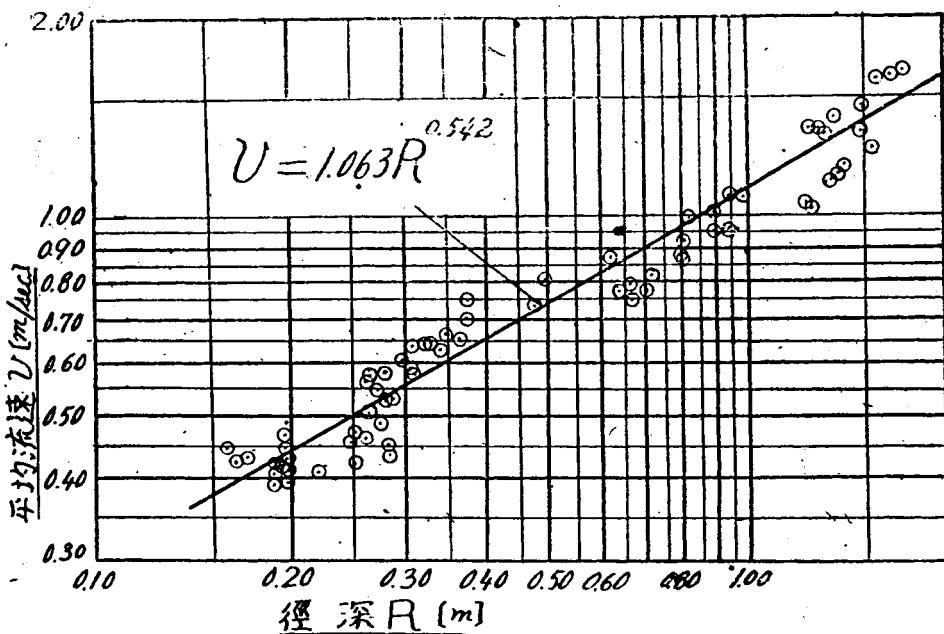


圖-2. 築漁汰 (康德6年)



國-3. 零渾沫 (康德7年)

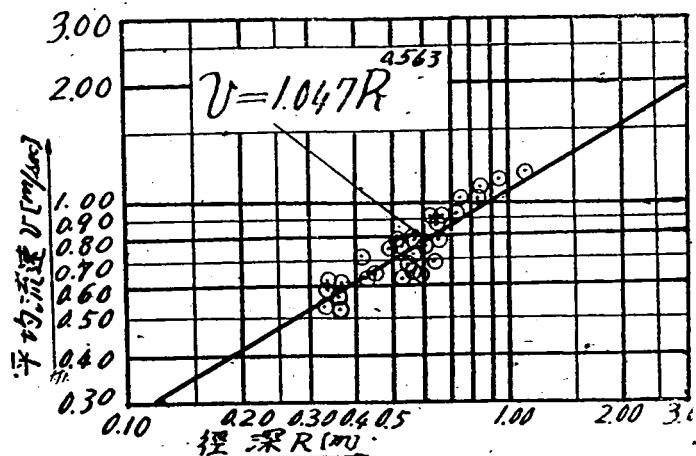
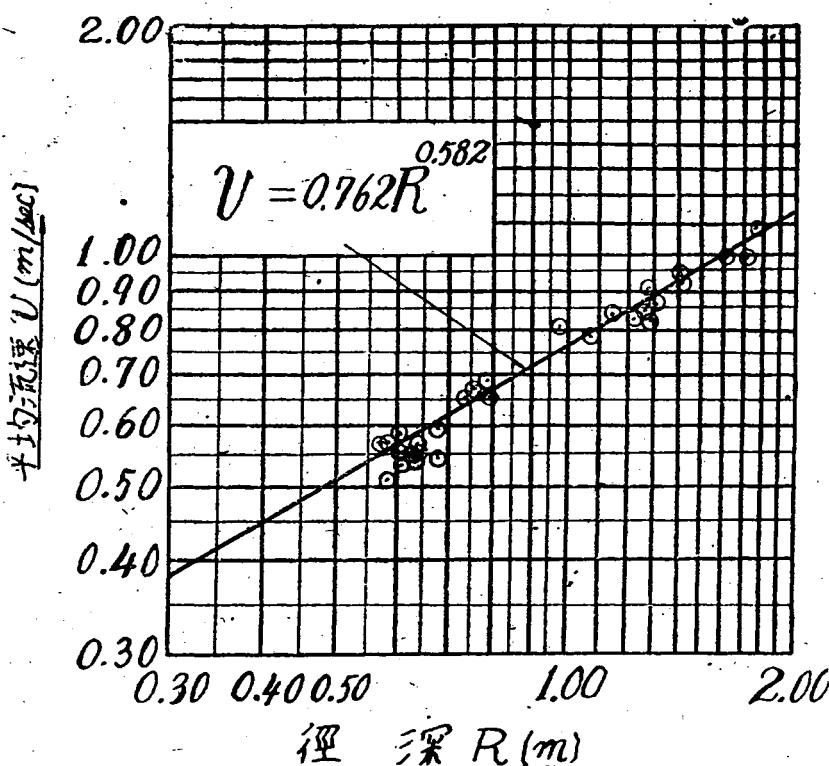


圖-4. 遠 濁





河川に於ては  $\beta = 0.18$  又は  $\beta = 0.20$  が最も適當であると考へられる。

#### 第4節 新流速公式

・移動床河川に於ける平均流速公式として(13)式又は(14)式が最適であることが明かになつたが、著者は既に記述したる如く、河川に於ける流速公式は實際河川技術者の便宜の爲に式形が簡単にして計算に容易で且記憶し易きことが必要であるとの考へより、移動床河川に於ける平均流速公式として(14)式を決定した。即ち

式中  $R$  = 徑深 [m],  $I$  = 水面勾配,  $nN$  = 砂礫係数である。既述せる如く  $nN$  は主として河床にある砂礫の粒径、形状、比重、混合状態等による係数にして、固定床河川に対する流速公式中の粗度係数  $n$  とは全く別個のものである。而して同一種の河床砂礫に對しては  $R$  及び變化には無關係に一定である。

(14)式は移動床小水路に於ける流速公式と同様、水面勾配上の指數が極めて小なることがその最大の特長である。即ち移動床小水路及び河川に於ては、水面勾配が流速に及ぼす影響は固定床小水路及び河川に於けるより遙かに大であることが考へられる。従つて斯る河川に於ては水面勾配の測定は特に精密に行ふ必要がある。例へば松花江本流の如く、水面勾配が $1/-400.00$ より遙かなる緩流河川に於ては、同時水位測定用量水標の目盛を細かくし、且上下流の量水標の距離は極めて大にすることが

必要である。治水調査處が遼河水原に於て行つた實測資料を調査したるに、同時水位を讀む可き上下流の量水標の間隔が一般に短か過ぎる如く考へられる。滿洲國の河川は日本内地の河川に比較すれば一般に水面勾配が緩かである上に、移動床河川であるから水面勾配が局部的に變化してゐると考へられるから、水面勾配の測定には特に注意を要すると思ふ。又流水断面積が絶えず變化してゐる假令水位が同一であつても流積は一般に変化してゐるのである。それ故流量測量の際は毎回必ず流積を出来る限り正確に測定する必要がある。遼河水原に於ける實測資料中には毎回の流積の測定を怠つたものがあつたが斯る資料は極めて價値少なきものである。

次に本流速公式を使用するに當り尙注意す可きことは砂礫係数  $nN$  の撰定である。徑架  $R$  及び水面勾配  $I$  を如何に精確に測定しても、若し砂礫係数  $nN$  の撰定を誤るならば本流速公式の精度は低下し、従つて本公式の價值も少くなるのである。

されば砂礫系數の決定は極めて慎重に行ふ可きものである。現存の移動床河川に於ける砂礫系數の決定は、水位變化の最も大なる時機を選び、少くとも30回以上、出来る限り多數の流量測量を行ひ、その結果より各場合の  $nN$  を(16)式よへ計算し、その平均値を以てその地點に於ける砂礫系數と定むる。

(以下次第)