

論 說 報 告

第 28 卷 第 7 號 昭和 17 年 7 月

移動床を有する小水路及び自然河川に於ける 新流速公式 (後 編)

(昭和 16 年 10 月 31 日第 3 回年次學術講演會に於て)

准會員 永 井 莊 七 郎*

要 旨 移動床水路の流れに関する基礎的研究に依り、移動床水路の流れが固定床水路の流れと著しく相違し、従つて移動床水路に於ては全く新しい流速公式が必要であることを明かにしたが、移動床の自然河川に於ても同様に、在來の流速公式は適用出來ず、新しい流速公式 $v = \frac{1}{n} R^{0.55} I^{0.02}$ が最適であることを示したものである。

目 次 (後 編)

第 6 章 概 説

第 1 節 緒 言

第 2 節 移動床河川に於ける従來の研究及びその批判

1. Matakiewicz 式
2. 溝江式
3. 其の他

第 7 章 移動床河川に對する新流速公式の確立

第 1 節 固定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 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 3 節 指數式 $v = \frac{1}{n} R^{\alpha} I^{\beta}$ に於ける指數 α の決定

第 4 節 指數式 $v = \frac{1}{n} R^{\alpha} I^{\beta}$ に於ける指數 β の決定

1. $\beta = 0.18$ とした場合
2. $\beta = 0.20$ とした場合
3. $\beta = 0.36$ とした場合
4. 3 式の誤差比較

第 6 章 概 説

第 1 節 緒 言

平均流速公式は河川工學上基本的な重要問題にして、之が決定は極めて慎重に行はねばならない。而して自然河川に對する流速公式は獨り河川に於ける實測資料のみによつては決定することが出來ず、必ず多數の基礎的實驗が必要である。然し又小實驗水路に於ける流速公式と自然河川に於ける流速公式とは一般に可なり相違するを

第 5 節 新流速公式

第 6 節 新流速公式に因る計算流速の誤差

第 8 章 新流速公式と在來流速公式との誤差比較

第 1 節 遼河水系

1. 太子河筋遼陽
2. 潭河筋奉天
3. 渾河筋窪渾林
4. 渾河筋撫順
5. 遼河本流筋通遼

6. 柴河筋大平寨

第 2 節 松花江水系

嫩江筋江橋

第 3 節 Donau 河水系

Donau 河本流筋 Wien

第 9 章 結 論

第 1 節 新流速公式の適用範圍

1. 常時移動床河川
2. 半移動床河川
3. 一時的移動床河川

第 2 節 結 言

* 工學士 京城帝國大學助教授

以て、小水路に於ける實驗のみによつて自然河川に對する流速公式を作ることも出来ないであつて、茲に流速公式確立の困難性が存するのである。

従來の流速公式に關する研究には一般に此の點に對する考慮が缺けて居つた爲、現在の水理學に於ては到底是認し得ざる方法により作られたるものが多いのである。例へば今迄廣く世界各國に於て使用されて居つた Gan-gillet-Kutter 公式の如きは、小實驗水路に於ける Bazin の實驗資料と、河幅及び水深が極めて大なる Missis-sippi 河に於ける僅かの實測資料とを一緒にして、Chèzy 式の流速係數 C を兩資料に合ふ如く造られたるものにして、斯る方法は現在に於ては水理學的に極めて不合理であると考へられる。 C が徑深、水面勾配及び粗度係數の極めて複雑なる式となるは當然にして、水理學的には價値少き式であると言はざるを得ないのである。

前編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することを述べたが、自然河川に於ても同様に、移動河床に於ける流れは固定河床に於ける流れと著しく相違するものと考へられる。従つて固定床河川に於ける實測資料により造られた在來の流速公式は移動床河川には全く適用することは出来ないのである。

日本内地の河川は一般に河床が砂利、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固定し、従つて河水は多くの場合澄澄であるが、之に反し大陸の河川は一般に河床が微細なる砂礫より成つてゐる爲、河床砂礫は常に流動し、その微粒子は水中に卷上げられ、河水は常に、恰も洪水時に於て日本内地の河川に見らるるが如く甚だしく濁濁してゐるのである。斯る河川に於ては 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従來の研究及びその批判

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 の式が發表されてゐるがそれ等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居なかつた。従つて滿洲國、ドイツ、米國等の移動床河川に於ては一般に 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やうである。然し Donau 河、Rhein 河、Elbe 河等の改修に直接關係した技術者の中には、之等の移動床河川に於ては、固定床河川に對する流速公式が適用出来ないことに氣付いて居つたやうである。

1. Matakiewicz 式(西紀 1927 年)

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で、その粗度は徑深及び水面勾配により表はさる可きものであると考へ、 $I \leq 0.01$ の範圍に對し粗度係數を含まざる次式を發表した。

$$v = 35.4 I^{0.493+10 IR^{0.7}} \quad (\text{m/sec}) \quad \dots\dots\dots (74)$$

その後 Warschau 水路局が急傾斜に於て行ひたる百餘個の實測⁽¹²⁾の結果に依れば、 $I = 0.0001 \sim 0.016$ の範圍では上式が適用出来るが、 $I \geq 0.016$ の急流に於ては次式を用ふ可きであると云つてゐる。

$$v = 2.38 I^{0.7} \quad (\text{m/sec}) \quad \text{或は} \quad v = 2.38 H^{0.7} \quad (\text{m/sec}) \quad \dots\dots\dots (75)$$

此の Matakiewicz 氏の考へ方の半ばは妥當であるが、尙未だ不十分であると考へられる。即ち同氏の云へる床面の粗度は結局床面に形成される砂礫の大小、形狀及び數によるものであるが、之等のものは水面勾配及び徑深

(12) Zeitschr. Österreichischen Ing. u. Arch. Vereines, 6 Mai 1922, S. 85.

によるは勿論、尙更に砂礫の種類によつても大いに異なるのである。又流量も砂礫の種類により變化するのであるから、前編(24)式で明かな如く、移動床水路又は河川に於ける渦流の抵抗係数は主として床面砂礫の種類及び水面勾配に因るものにして、径深の影響は非常に僅少である。従つて流速公式中には必ず床面砂礫の種類により變化する係数が必要にして、若し此の係数を除去するならば、その式は或る 1 種類の砂礫より成る河川にのみ適用し得るものにして、普遍的な公式とはなり得ないのである。従つて(74)式も舊ポーランド、舊オーストリア等の河川及び之と類似せる河床を有する河川にのみ適用し得るもので、河床を構成する砂礫の種類が異なる河川には適用し得ない式である。著者は(74)式を遼河水系の諸河川、Donau 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、Donau 河に於ては平均誤差 7% にして良好なる結果を與へたるも、遼河水系に於ては平均誤差 10~25%，最大誤差 23~54% にして餘り良好なる結果を與へなかつた(表-18, 26, 36)。

2. 溝江式(昭和 7 年, 西紀 1932 年)

溝江氏は自然河川に於ける流速公式も小型の砂水路に於ける流速式前編(60)式と同一の形式をとるものとし、 $v = MK^{0.7}I^{0.66}$ 中の $M = a - bI^m$ と置き、此の a, b 及び m 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次式を得てゐる。

$$v = (90 - 122 I^{0.186}) R^{0.7} I^{0.66} \text{ (m/sec)} \dots\dots\dots (76)$$

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、(76)式を作りたることに對しては敬服に値するも、同氏が使用したる實測資料は河床構成砂礫が種々雑多なる河川に於ける資料を蒐集し、恰も同一種類の河床砂礫より成る移動床諸河川に於ける實測資料の如く考へて(76)式を作つてをられる。即ち同氏は Matakiewicz 氏と同様、移動床河川に於ける渦流の抵抗係数が河床砂礫の種類により變化することを考慮してをられない。(76)式は種々なる河床砂礫の河川に於ける實測資料により作られたものであるから、凡ての移動床河川に對して近似的な平均流速を與へるであらう。溝江氏が(76)式の作製に用ひたる Elbe, Rhein, Donau 河等に於てさへも、同氏の使用したる資料と測定時日及び場所を異にする實測値に對しては(76)式は可なり大なる誤差を示すものと考へられる。著者は遼河水系の諸河川、Donau 河等に於ける多數の實測資料に就て(76)式の誤差を検したるに、平均誤差は 16~22%，最大誤差は 32~52% にして一般に著者式、Matakiewicz 式、Kutter 式、Manning 式等に比し最も大なる誤差を示した(表-18, 26, 36)。(74)、(75)及び(76)式は共に河床砂礫の種類により變ずる係数を含まざるを以て、その式を使用する上には甚だ便利であるから、平均誤差 25% 位迄、最大誤差 55% 位迄を許す近代式として使用すれば有利であると思はれる。

3. 其 の 他

W. R. Kutter 氏(1873 年)は移動河床の粗度は水深が増加すると共に最初は減少し、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々大であると云つてゐる。又 Rhein 河に於ける Grebenau の實測値から Ganguillet-Kutter 流速式中の粗度係数 n に對して次式を得てゐる。

$$n = \sqrt{\frac{\sqrt{RI}}{\left(23 + \frac{0.00155}{I}\right) \frac{v}{\sqrt{R}}}} \text{ (m/sec)} \dots\dots\dots (77)$$

即ち Kutter 氏自身も彼の流速式が移動床河川には適用出来ないことを認めて居つたのである。

Du Boys 氏(1879 年)は當時の流速公式は、その作製に當り移動河床には何等考慮を拂つて居らぬから式中

の係数は移動床河川に於ては非常に不確實であると稱してゐる。又 P. Schreiber 氏 (1890 年) は Elbe 河に於ける實測結果より Gangnillet-Kutter 式中の n が水深と共に變化することを述べてゐる。

A. Schoklitsch 氏 (1914 年) は既に前編に於て記述したる如く、單一粒径の小球より成る移動床小水路に於ける實験の結果、Bazin 流速式中の粗度係数が掃流力と共に増大することを明かにしたが、又 Lech, Ipp 及び Iller 河に於ける實測資料から Chèzy 式中の流速係数 C を算出し、 C が高水時には著しく減少することを表示してゐる。

第 7 章 移動床河川に對する新流速公式の確立

第 1 節 固定床の小水路及び自然河川に於ける流速公式の關係

前編 (11) 式より、固定床小水路に於ける抵抗係数 ψ は Reynolds 数が非常に大ならざる時は一般に次式で表はされる。

$$\psi = f\left(\frac{k}{R}, \frac{1}{\Re_e}\right)$$

今此の式を次の如く置く。

$$\psi = K \cdot \left(\frac{k}{R}\right)^a \left(\frac{1}{\Re_e}\right)^b \dots\dots\dots (78)$$

但し $a > 0$ 及び $b > 0$ にして、 K は常數とする。(78) 式を前編 (4) 式に入れると

$$v = \sqrt{\frac{2g}{\psi}} \cdot \sqrt{RI} = \sqrt{\frac{2g}{Kk^a}} \cdot R^{\frac{1+a}{2}} \Re_e^{b/2} I^{1/2}$$

$\Re_e = \frac{Rv}{\nu}$ であるから

$$v = \sqrt{\frac{2g}{Kk^a}} \cdot R^{\frac{1+a+b}{2}} I^{1/2} \nu^{b/2} v^{-b/2}$$

$$\therefore v = \left(\frac{2g}{Kk^a}\right)^{\frac{1}{2-b}} \nu^{\frac{b}{b-2}} R^{\frac{a+b+1}{2-b}} I^{\frac{1}{2-b}}$$

g, ν 及び K は一定常數にして、 k は同一種類の水路に於ては一定であるから

$$\left(\frac{2g}{Kk^a}\right)^{\frac{1}{2-b}} \nu^{\frac{b}{b-2}} = \Re$$

と置けば

$$v = \Re R^{\frac{a+b+1}{2-b}} I^{\frac{1}{2-b}} \dots\dots\dots (79)$$

(79) 式は固定床小水路に對する平均流速公式の基本形である。

$a > 0$ 及び $b > 0$ であるから

$$\frac{a+b+1}{2-b} > \frac{1}{2-b} > \frac{1}{2} \dots\dots\dots (80)$$

即ち固定床小水路に於ける流速公式の径深 R 及び勾配 I の冪は共に 0.5 より大にして、且 R の冪が I の冪より大でなければならない。

固定床小水路に於ける實験の結果に依れば

$$\frac{a+b+1}{2-b} = 0.75, \quad \frac{1}{2-b} = 0.54 \dots\dots\dots (81)$$

$$\left. \begin{aligned} \therefore a &= 0.241 \\ b &= 0.148 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (82)$$

故に (78) 式は

$$\psi = K \left(\frac{k}{R} \right)^{0.241} \left(\frac{1}{Re} \right)^{0.148} \dots\dots\dots (83)$$

(83) 式は $Re < 10^6$ の範囲に於て成立する式にして、前編 (10) 式に相當するものである。

(79) 式は Reynolds 数が餘り大ならざる場合の流速式であるが、 Re が大となるにつれて抵抗係数は Re には無關係となるから b は 0 となる。故に Re が大なる場合、即ち一般に自然河川に於ては (79) 式は

$$v = \mathfrak{M} R^{\frac{a+1}{2}} I^{1/2} \dots\dots\dots (84)$$

となる。故に固定床の自然河川に對する平均流速公式は、勾配 I の冪は 0.5 にして、徑深 R の冪は 0.5 より大でなければならない。

(79) 及び (84) 式を比較すれば、固定床水路に於ける流速公式中の R 及び I の指數は、流水が大きくなるに伴ひ減少することが考へられる。此のことは小水路に於ける松尾式、水力發電水路に於ける Forchheimer 式及び自然河川に於ける Manning 式が證明してゐる。今後若し Re と a 及び b との關係を明かにすることを得れば、之等流速公式の適用範圍を明確に知り得ると考へる。

第 2 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

前編 (62) 式より抵抗係數 ψ を求むれば

$$\psi = 2g \cdot n^2 \cdot I^{0.64} R^{-0.06} \dots\dots\dots (85)$$

今 $2gn^2 = \zeta$ と置けば

$$\psi = \zeta \cdot I^{0.64} R^{-0.06} \dots\dots\dots (86)$$

(86) 式は前編 (24) 式に相當するものである。前編に於て既に記述せる如く ψ は僅かではあるが R の増大と共に減少することが判る。(85) 或は (86) 式より ψ は一般に次の如く書き得る。

$$\psi = K' \left(\frac{k'}{R} \right)^a I^b \dots\dots\dots (87)$$

茲に $a > 0$, $b > 0$ にして、 K' は常數である。然る時は流速式は一般に次式の如くなる。

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

$\sqrt{\frac{2g}{K' k'^a}} = \mathfrak{M}$ と置けば

$$v = \mathfrak{M} R^{\frac{1+a}{2}} I^{\frac{1-b}{2}} \dots\dots\dots (88)$$

\mathfrak{M} は周壁を形成する砂礫の種類により變る係數である。(88) 式は移動床小水路及び自然河川に對する平均流速公式の基本形である。

$a > 0$ 及び $b \gg 0$ であるから

$$\frac{1+a}{2} > \frac{1}{2}, \quad \frac{1-b}{2} \ll \frac{1}{2} \dots\dots\dots (89)$$

a は極めて小なる値であるから $\frac{1+a}{2}$ は $1/2$ に近く、又 b は 1 に近い値であるから $\frac{1-b}{2}$ は $1/2$ より遙かに小なる値である。故に移動床水路に於ては流れが小なる時も大なる時も、流速公式中の徑深 R の指數は略 0.5 に

近く、勾配 I の指数は 0.5 より遙かに小である。

(62) 式従つて (85) 式の誘導に使用したる著者の實驗値は、水路幅は 0.55 m であるに對して、その床面の砂礫は自然河川の河床砂礫と同一のものより成る實驗水路に於て得たるものである。従つて此の實驗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水に比較して、

- (a) 主として床面に於ける粗度の増大の爲、流れの抵抗が著しく大である
- (b) 此の抵抗の増加に因り、徑深及び勾配が増加しても平均流速はそれ程増大せぬ。即ち流速公式中の R 及び I の指数は自然河川に於けるより小である

ことが考へられる。

第 3 節 指數式 $v = \frac{1}{n_N} R^\alpha I^\beta$ に於ける指數 α の決定

平均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單で記憶にも容易なることが必要である。

先づ流速公式を

$$v = \frac{1}{n_N} R^\alpha I^\beta \text{ (m/sec)} \dots\dots\dots(90)$$

と置き、指數 α 及び β 並びに砂礫係數 n_N を自然河川に於ける多數の實測値及び小水路に於ける流速公式からの推論に依り決定した。

自然河川の或る一地點に於ては、砂礫係數 n_N は一定にして、又水面勾配 I の變化は一般に僅少である。故に一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流速を選出し、それ等の實測資料を用ひて最小自乗法よりその地點に於ける指數 α を求むることが出来る。

滿洲國交通部は昭和 13 年、14 年及び 15 年（康德 5 年、6 年及び 7 年）の 3 ケ年間遼河全水系に互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斷面積の變化等の測定が最も精密に行はれてゐる地點數個所を選び、尙それ等の地點に就てはその測量實施者より測量方法、測量地點の狀況等を聞き正し、又著者自身もそれ等の測量地點に行つて、河狀、河床砂礫の狀態等を實際に視察し、その實測資料に十分なる信頼の置き得るもののみ 6 個所を厳選した。此の 6 個所に於ける實測資料中の約半數を用ひて指數 α を決定した。表-11 中の全實測資料 497 個及びその他本論文に於て使用せる實測流速は總て廣井式又はブライス式流速計によるもので、浮子測定によるものはその精度が不明であつたので凡て除外した。

以上 6 個所の中、水面勾配 I が略一定にして徑深 R が大きく變化した資料を多數含んだ地點は奉天、^{ワフーム} 窪潭流（昭和 14 年及び 15 年）及び遼陽の 3 個所であつたので、此の 3 地點に於ける各々の α 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 100 m 以内にあつて水面勾配の測定に不正確な點があつたので α の決定には除外した。

(90) 式に於て、 I = 一定 であるから

$$v = KR^\alpha \dots\dots\dots(91)$$

となる。兩邊の對數をとると

$$\log v = \alpha \log R + \log K \dots\dots\dots(92)$$

表-11. 遼河水系主要實測地點及びその實測數

河川名	流域面積 (km ²)	實測地點	流域面積 (km ²)	實測數	α の決定した實測數	α
渾河	11 717	奉天	8 163	54	49	0.524
"	"	窪渾沐 (14年)	4 854	100	74	0.542
"	"	窪渾沐 (15年)	"	91	91	0.563
"	"	撫順	"	55	ナシ	
太子河	14 026	遼陽	8 178	86	66	0.582
遼河本流	224 658	通遼	68 045	87	ナシ	
柴河	1 407	大平築	1 149	74	ナシ	
合計				497	280	平均 0.553

今 $\log v = y$, $\log R = x$ 及び $\log K = b$ と置けば

$$y = \alpha x + b \dots\dots\dots (93)$$

之より正等式を作り α 及び b を求めれば

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \frac{N(xy) - (x)(y)}{N(xx) - (x)^2} \\ b &= \frac{(xx)(y) - (x)(xy)}{N(xx) - (x)^2} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (94)$$

(94) 式中の各値を奉天、窪渾沐及び遼陽の實測値に就て計算したる結果を表記すれば表-12 の如くである。

表-12.

實測地點	實測數 (N)	$\sum x$ $\sum (\log R)$	$\sum y$ $\sum (\log v)$	$\sum (xx)$ $\sum (\log R)(\log R)$	$\sum (xy)$ $\sum (\log R)(\log v)$
奉天	49	-16.3173 1	-13.9858 1	6.5096 9	5.2212 9
窪渾沐 (14年)	74	-24.2496 6	-11.1693 5	15.8691 6	7.9548 8
窪渾沐 (15年)	91	-19.4281 1	- 9.1335 8	5.7923 3	2.8764 5
遼陽	66	- 5.1102 4	-10.7580 6	1.8152 3	1.6595 4

之等の値を (94) 式に代入して夫々 α 及び b を求めれば次の如し。

$$\left. \begin{aligned} \text{奉天} & \quad \alpha = 0.524, \quad b = 0.1108 9 \quad \therefore v = 0.775 R^{0.524} \\ \text{窪渾沐 (14年)} & \quad \alpha = 0.542, \quad b = 0.0267 0 \quad \therefore v = 1.063 R^{0.542} \\ \text{窪渾沐 (15年)} & \quad \alpha = 0.563, \quad b = 0.0199 1 \quad \therefore v = 1.047 R^{0.563} \\ \text{遼陽} & \quad \alpha = 0.582, \quad b = -0.1179 2 \quad \therefore v = 0.762 R^{0.582} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (95)$$

之等の v と R との關係を兩軸對數方眼紙に圖示すれば圖-16~19 の如し。

(95) 式に於ける 4 個の α の値を平均すると

$$\alpha = 0.553 \approx 0.55 \dots\dots\dots (96)$$

を得る。此の α の値は前編 (92) 式に於ける $\alpha = 0.529 \approx 0.5$ よりも約 4% 大である。即ち移動床河川に於ける流速公式中の α の値は移動床小水路に於ける α の値より僅かに大にして、第 7 章第 2 節に於ける所論の正しいことを證するものである。

第4節 指數式 $v = \frac{1}{n_N} R^\alpha I^\beta$ に於ける

指數 β の決定

一河川の上流部と下流部とに於てはその水面勾配 I の差異は比較的大なるも、河床砂礫の種類が異なる場合多く、又河床砂礫が略々等しい地點に於ては I の變化は一般に僅少である。更に一地點に於ける I の變化は尙僅かである。故に n_N 及び R が略一定にして I が大きく變化したる實測資料は殆んど得ることが出来ないのである。著者が入手したる遼河全水系に互る極めて多數の實測値に於ても、此の條件に合ふものは見出せなかつた。従つて指數 β の値は河川に於ける實測値のみに依り決定することは不可能にして、小水路に於ける多種の實驗に基いて作られたる流速公式から推論により定め、その β の値の適否を河川に於ける實測流速を用ひて檢すると云ふ方法の外ないのである。

1. $\beta=0.18$ とした場合

第7章第2節にて記述したる如く移動床大河川に於ける β の値は移動

圖-16. 奉 天

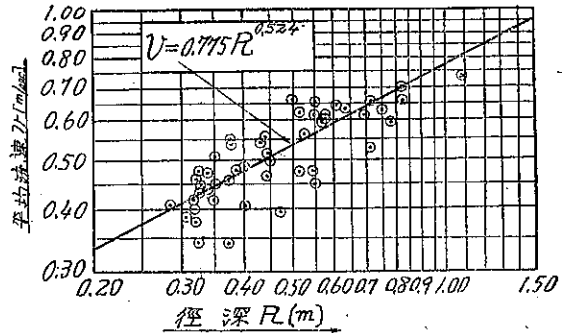


圖-17. 窪 渾 沔 (昭和 14 年)

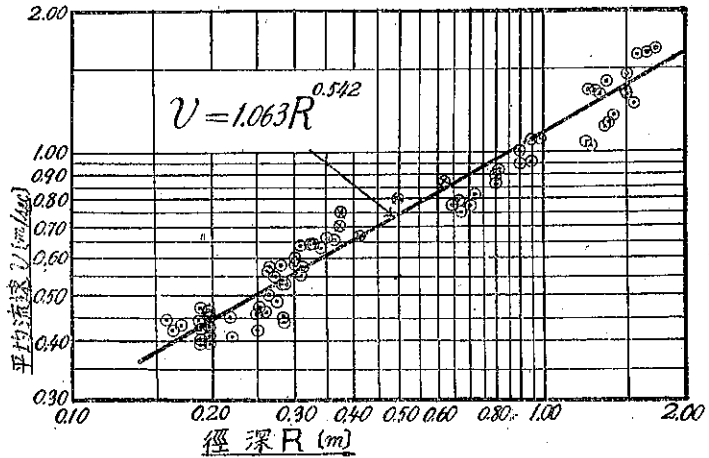


圖-19. 遼 陽

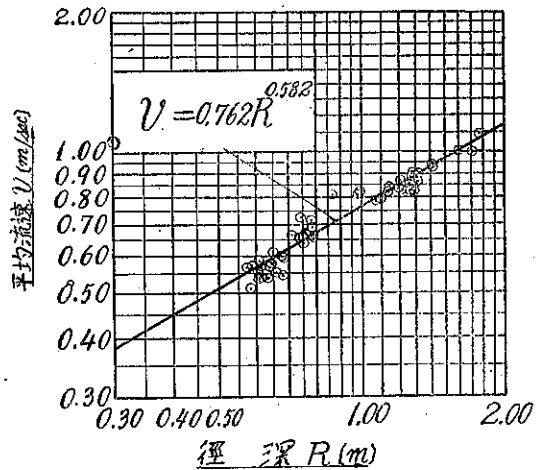
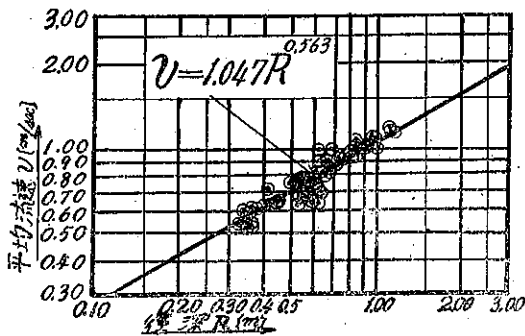


圖-18. 窪 渾 沔 (昭和 15 年)



床小水路に於ける β の値より稍大であると考へられるから、大河川に於ては β の値は前編 (62) 式に於ける $\beta = 0.176$ よりも稍々大でなければならない。故に先づ $\beta = 0.18$ とすれば (90) 及び (96) 式より流速公式は

$$v = \frac{1}{n_N} R^{0.55} I^{0.18} \quad (\text{m/sec}) \dots\dots\dots (97)$$

となる。

2. $\beta = 0.20$ とした場合

$\beta = 0.176 \approx 0.18$ より稍々大なる round number は 0.20 であるから, $\beta = 0.20$ と置けば流速公式は

$$v = \frac{1}{n_N} R^{0.55} I^{0.20} \quad (\text{m/sec}) \dots\dots\dots (98)$$

となる。

3. $\beta = 0.36$ とした場合

渾河筋に於ける窪渾沐と奉天とは河床砂礫が比較的類似してゐて, 而も水面勾配の差異は比較的大である。即ち昭和 15 年窪渾沐に於ける 實測資料 91 個に於て $I = 0.0010 \sim 0.0015$, 奉天に於ける資料 54 個に於て $I = 0.00033 \sim 0.000867$ なるを以て, 兩地點の砂礫係數 n_N を近似的に等しいとし, 兩實測値 145 個を用ひて最小自乗法により n_N, α 及び β を求めた。即ち (90) 式の兩邊の對數をとり, (56) 式より α, β 及び γ を求めると

$$N = 145$$

$$\left. \begin{aligned} \sum x &= \sum (\log R) = -36.75126 & \sum xy &= \sum (\log R \cdot \log I) = 113.44400 \\ \sum y &= \sum \log I = -434.91508 & \sum xz &= \sum (\log R \cdot \log v) = 8.30628 \\ \sum z &= \sum \log v = -24.14317 & \sum yy &= \sum (\log I \cdot \log I) = 1347.87325 \\ \sum xx &= \sum (\log R)(\log R) = 12.51076 & \sum yz &= \sum (\log I \cdot \log v) = 76.05296 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (99)$$

$$\begin{aligned} \therefore \alpha &= \frac{\{(8.30628)(-434.91508) - (76.05296)(-36.75126)\} \{145(1347.87325) - (-434.91508)^2\}}{\{(12.51076)(-434.91508) - (113.44400)(-36.75126)\} \{145(1347.87325) - (-434.91508)^2\}} \\ &\times \frac{-\{145(76.05296) - (-434.91508)(-24.14317)\}}{-\{145(113.44400) - (-36.75126)(-434.91508)\}} \\ &\times \frac{\{(113.44400)(-434.91508) - (1347.87325)(-36.75126)\}}{\{(113.44400)(-434.91508) - (1347.87325)(-36.75126)\}} \\ &= \frac{\{-817.48432\} \{6290.49444\} - \{527.45049\} \{197.53392\}}{\{-1271.90825\} \{6290.49444\} - \{465.70282\} \{197.53392\}} \\ &= 0.64829 \\ \beta &= \frac{\{527.45049\} - \{465.70282\} 0.64829}{6290.49444} = 0.35854 \\ \gamma &= 1.07321 \end{aligned} \quad \left. \dots\dots\dots (100) \right\}$$

を得る。然し α の値は既に (96) 式にて得られてゐる故, (100) 式中の β の値のみを採用すれば $\beta = 0.36$ を得る。故に流速公式は

$$v = \frac{1}{n_N} R^{0.55} I^{0.36} \quad (\text{m/sec}) \dots\dots\dots (101)$$

となる。

4. 3 式の誤差比較

(97), (98) 及び (101) 式の何れが實測流速に最も近い流速を與へるかを, 窪渾沐に於ける 33 個, 奉天に於ける 12 個, 遼陽に於ける 12 個及び大平寨に於ける 16 個の實測値に就て檢したるに表-13~16 の如くである。但し大平寨に於ける 16 個の資料は之等 3 式の作製に全く用ひなかつたものである。又各式中の砂礫係數 n_N の値

表-13. 窪 渾 沐

(1) $v_{(1)} = \frac{1}{0.288} R^{0.55} I^{0.18}$, (2) $v_{(2)} = \frac{1}{0.252} R^{0.55} I^{0.20}$, (3) $v_{(3)} = \frac{1}{0.0861} R^{0.55} I^{0.26}$

実験 番号	径 深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 v_0 (m/sec)	計算流速 $v_{(1)}$ (m/sec)	誤 差 $\frac{v_{(1)}-v_0}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(2)}$ (m/sec)	誤 差 $\frac{v_{(2)}-v_0}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(3)}$ (m/sec)	誤 差 $\frac{v_{(3)}-v_0}{v_0}$ (%)
1	0.3243	0.0010	0.536	0.539	+1	0.536	0	0.520	-3
2	0.3470	0.0013	0.543	0.589	+8	0.589	+8	0.595	+10
3	0.3401	0.0013	0.552	0.581	+5	0.580	+5	0.587	+5
4	0.3367	0.0014	0.596	0.585	-2	0.586	-2	0.599	+1
5	0.3613	0.0012	0.619	0.591	-5	0.591	-5	0.589	-5
6	0.3391	0.0014	0.569	0.587	+3	0.588	+3	0.602	+6
7	0.3409	0.0014	0.541	0.589	+9	0.590	+9	0.603	+12
8	0.4088	0.0014	0.722	0.642	-11	0.644	-11	0.658	-9
9	0.3699	0.0010	0.612	0.580	-5	0.577	-6	0.559	-9
10	0.3624	0.0013	0.530	0.601	+13	0.601	+13	0.608	+16
11	0.4379	0.0014	0.644	0.676	+5	0.677	+5	0.692	+8
10	0.7712	0.0011	0.898	0.883	-2	0.881	-2	0.867	-3
71	0.7704	0.0015	0.889	0.930	+5	0.937	+5	0.969	+9
72	0.7896	0.0015	0.925	0.943	+2	0.949	+3	0.982	+6
73	0.8163	0.0011	0.966	0.910	-6	0.907	-6	0.893	-8
74	0.8537	0.0012	1.015	0.949	-7	0.948	-7	0.946	-7
75	0.8214	0.0014	0.909	0.955	+5	0.957	+5	0.979	+8
76	0.9663	0.0012	1.003	1.014	+1	1.013	+1	1.011	+1
77	0.8471	0.0014	0.924	0.971	+7	0.973	+6	0.995	+8
78	0.8465	0.0014	1.049	0.971	-7	0.973	-7	0.995	+5
79	1.0165	0.0011	0.980	1.029	+5	1.026	+5	1.010	+3
80	0.9205	0.0011	0.989	0.973	-2	0.971	-2	0.955	-3
81	0.9807	0.0012	1.045	1.024	-2	1.023	-2	1.021	-2
82	0.9398	0.0013	1.014	1.015	0	1.015	0	1.026	+1
83	0.9037	0.0013	0.981	0.994	+1	0.993	+1	1.004	+2
84	0.9698	0.0013	1.032	1.045	+1	1.045	+1	1.066	+2
85	0.9779	0.0011	1.073	1.006	-6	1.003	-6	0.988	-8
86	0.9763	0.0010	1.081	0.988	-9	0.983	-9	0.953	-12
37	1.1055	0.0012	1.035	1.094	+6	1.093	+6	1.090	+5
88	0.9961	0.0010	1.066	0.999	-6	0.995	-7	0.964	-10
89	1.1393	0.0011	1.134	1.094	-3	1.091	-4	1.074	-5
90	1.1820	0.0011	1.123	1.117	-1	1.113	-1	1.096	-3
91	1.1411	0.0010	1.158	1.077	-7	1.072	-8	1.039	-10

表-14. 壱 天

(1) $v_{(1)} = \frac{1}{0.322} R^{0.55} I^{0.18}$, (2) $v_{(2)} = \frac{1}{0.277} R^{0.55} I^{0.20}$, (3) $v_{(3)} = \frac{1}{0.0845} R^{0.55} I^{0.26}$

実験 番号	径 深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 v_0 (m/sec)	計算流速 $v_{(1)}$ (m/sec)	誤 差 $\frac{v_{(1)}-v_0}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(2)}$ (m/sec)	誤 差 $\frac{v_{(2)}-v_0}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(3)}$ (m/sec)	誤 差 $\frac{v_{(3)}-v_0}{v_0}$ (%)
1	0.634	0.000800	0.688	0.670	-3	0.675	-2	0.707	+3
2	0.493	0.000667	0.659	0.564	-14	0.567	-14	0.577	-13
3	0.575	0.000599	0.620	0.602	-3	0.604	-3	0.604	-3
4	0.572	0.000599	0.610	0.601	-1	0.602	-1	0.602	-1
5	0.812	0.000400	0.700	0.677	-3	0.673	-4	0.631	-10
6	0.681	0.000667	0.620	0.674	+9	0.677	+9	0.689	+11
7	0.511	0.000667	0.620	0.576	-7	0.578	-7	0.588	-5
8	0.551	0.000667	0.660	0.600	-9	0.603	-9	0.613	-7
9	0.511	0.000533	0.480	0.553	+15	0.553	+15	0.542	+13
10	0.446	0.000532	0.496	0.513	+3	0.513	+3	0.503	+1
12	0.376	0.000400	0.534	0.444	-17	0.441	-17	0.413	-23
44	0.706	0.000667	0.528	0.688	+30	0.691	+31	0.702	+33

は實測流速より逆算して求めた n_N の値の平均値を採用した。

以上の表により 3 式の誤差を比較すれば、(97) 式及び (98) 式の誤差は殆んど同一にして、且大部分の場合に於て (101) 式より誤差が僅少である。故に移動床河川に於ては $\beta=0.18$ 或は $\beta=0.20$ が最適であると考へられる。

表-15. 遷 陽

(1) $v_{(1)} = \frac{1}{0.310} R^{0.65} I^{0.18}$, (2) $v_{(2)} = \frac{1}{0.270} R^{0.55} I^{0.20}$, (3) $v_{(3)} = \frac{1}{0.0753} R^{0.55} I^{0.36}$

実験 番号	径 深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 v_0 (m/sec)	計算流速 $v_{(1)}$ (m/sec)	誤 差 $\frac{v_0-v_{(1)}}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(2)}$ (m/sec)	誤 差 $\frac{v_0-v_{(2)}}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(3)}$ (m/sec)	誤 差 $\frac{v_0-v_{(3)}}{v_0}$ (%)
1	0.989	0.00040	0.820	0.784	-4	0.770	-6	0.789	-4
2	0.870	0.00030	0.811	0.694	-14	0.677	-16	0.663	-18
3	0.785	0.00030	0.644	0.656	+16	0.640	+13	0.627	+11
4	0.684	0.00030	0.594	0.608	+2	0.593	-0	0.581	-2
5	0.676	0.00030	0.605	0.604	-0	0.589	-2	0.577	-5
6	0.660	0.00030	0.552	0.596	+8	0.582	-2	0.570	+3
7	0.651	0.00030	0.610	0.592	-3	0.577	-5	0.565	-7
9	0.632	0.00030	0.537	0.582	+8	0.568	+6	0.556	+4
44	1.422	0.00040	0.932	0.691	-3	0.678	-2	0.695	-2
45	1.330	0.00040	0.887	0.923	+4	0.906	+2	0.929	+5
52	1.773	0.00045	1.087	1.104	+2	1.086	-0	1.135	+5
53	1.732	0.00045	1.006	1.090	+8	1.073	+7	1.121	+11

表-16. 大 平 塚

(1) $v_{(1)} = \frac{1}{0.287} R^{0.55} I^{0.18}$, (2) $v_{(2)} = \frac{1}{0.250} R^{0.55} I^{0.20}$, (3) $v_{(3)} = \frac{1}{0.0828} R^{0.55} I^{0.36}$

実験 番号	径 深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 v_0 (m/sec)	計算流速 $v_{(1)}$ (m/sec)	誤 差 $\frac{v_0-v_{(1)}}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(2)}$ (m/sec)	誤 差 $\frac{v_0-v_{(2)}}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(3)}$ (m/sec)	誤 差 $\frac{v_0-v_{(3)}}{v_0}$ (%)
1	0.4154	0.001100	0.550	0.630	+15	0.631	+15	0.641	+17
2	0.3513	0.001058	0.491	0.571	+16	0.571	+16	0.576	+17
3	0.3161	0.001058	0.485	0.539	+11	0.539	+11	0.544	+12
4	0.3298	0.001041	0.515	0.550	+7	0.550	+7	0.554	+8
5	0.2905	0.001091	0.451	0.518	+15	0.519	+15	0.526	+17
6	0.2483	0.001100	0.418	0.475	+14	0.476	+14	0.483	+18
7	0.2074	0.001140	0.372	0.433	+16	0.434	+17	0.443	+19
8	0.1745	0.000961	0.402	0.383	-5	0.382	-5	0.380	-6
9	0.1833	0.000922	0.374	0.389	+4	0.388	+4	0.383	+3
10	0.1602	0.000980	0.349	0.345	-1	0.366	-1	0.364	-1
11	0.1526	0.000921	0.415	0.353	-15	0.352	-15	0.347	-16
49	0.1027	0.000900	0.335	0.282	-16	0.282	-16	0.277	-17
50	0.1001	0.000900	0.339	0.278	-18	0.277	-18	0.273	-20
51	0.1167	0.000800	0.374	0.297	-21	0.295	-21	0.285	-24
52	0.2020	0.000900	0.398	0.409	+3	0.408	+2	0.401	+1
55	0.0948	0.000900	0.354	0.270	-24	0.270	-24	0.265	-25

第 5 節 新流速公式

移動床河川に於ける平均流速公式として (97) 式或は (98) 式が最適であることが明かとなつたが、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、式形が簡單で計算に容易にして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 (98) 式を選定した。即ち

$$v = \frac{1}{n_N} R^{0.55} I^{0.20} \quad (\text{m/sec}) \quad \dots \dots \dots (98)$$

式中 R=径深 (m), I=水面勾配, n_N =砂礫係数である。既述せる如く n_N は主として河床砂礫の粒徑, 形状, 比重, 混合状態等により變る係数にして, 固定床河川に對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。而して同一種類の砂礫に對しては R 及び I の變化に拘らず常に一定である。移動床小水路に於ける流速公式と同様, 水面勾配 I の指數が極めて小なることが本式の最大の特長である。即ち移動床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水路及び河川に於けるより遙かに大である。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ことが必要である。例へば松花江本流の如く水面勾配が 1/10 000 より緩かなる如き緩流河川に於ては, 同時水位測定用の量水標は特に目盛を細かくし, 成る可く數を増し, 且上下流端の量水標の

間隔を大にとることを要する。

本流速公式を使用するに當り尙注意すべきことは砂礫係數 n_N の選定である。 R 及び I を如何に精確に測定しても、若し砂礫係數 n_N の選定を誤るならば、本流速公式の精度は低下し、従つて本公式の價値も少くなるのである。されば n_N の決定は極めて慎重に行ふ可きものである。現存する移動床河川の改修計畫に於ては、砂礫係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 回以上の流量測量を行ひ、その結果より各場合の n_N を (102) 式より計算し、その平均値を以てその河川に於ける砂礫係數と定める。

$$n_N = \frac{R^{0.55} I^{0.20}}{v} \quad (\text{m-sec}) \dots\dots\dots (102)$$

第 6 節 新流速公式に因る計算流速の誤差

一の河川或は水路に於て流速公式に因り平均流速及び流量を算定するには、實測により流水斷面積 A 、潤邊 S 及び水面勾配 I を求め、河床及び河岸の狀況により係數 (n_N 又は n) を推定しなければならぬ。

移動床河川に於ては、流水斷面積は絶えず變化し、又水面勾配も變化し易い。従つて徑深 R 及び水面勾配 I の測定には多少の誤差は免れない。現存河川の砂礫係數 n_N は多數の實測資料より決定すれば精確に求まるが、新水路の計畫に於ては n_N の推定は相當困難である。故に流速公式は之等 R, I 及び n_N の不正確さに基く計算流速の誤差を成る可く小ならしむる如き式形をとることが望ましい。

一般に流速公式が (90) 式の如き形をとる時はその誤差は

$$\frac{dv}{v} = -\frac{dn_N}{n_N} + \alpha \frac{dR}{R} + \beta \frac{dI}{I} \dots\dots\dots (103)$$

にて表はされる。故に流速公式としては dn_N/n_N 、 α 及び β の値が成る可く小なるものが望ましい。

以上の考へよりすれば著者の公式 (98) 式は $\alpha=0.55$ 及び $\beta=0.20$ にして、從來の何れの公式よりも α 及び β の値が小なるを以て、著者公式に因る計算流速の誤差も又最も小なりと云ふことが出来る。

第 8 章 新流速公式と在來流速公式との誤差比較

移動床河川なる遼河、松花江及び Donau 河に於ける實測資料 543 個に就て著者公式と Ganguillet-Kutter 式、Manning 式、Matakiewicz 式、溝江式等との誤差を比較した。但し實測値 543 個中の 280 個は徑深 R の指數 α の決定に使用したものである。又此の計算に於て著者公式中の砂礫係數 n_N 及び Kutter 公式、Manning 公式中の粗度係數 n の値は各地點に於て求めたる夫々の値の平均値を採用した。

第 1 節 遼河水系

遼河本川、太子河、渾河及び柴河に於て、昭和 14 年及び同 15 年の 2 ヶ年間に得たる實測資料 497 個 (流速測定は凡て廣井式又はブライス式流速計に因る) に就て各流速公式の誤差を比較した。

1. 太子河筋遼陽

遼陽流量觀測地點に於ける河床は平均直徑 $dm=0.20$ mm 位の砂に直徑 $d=5\sim 20$ mm 位の礫及び小玉砂利が粗に混じたる砂礫より成り、遼河水系中では最も粗なるものに屬する。著者が昭和 16 年 9 月採取したる河床砂礫の篩分結果を示せば表-17 の如くにして、その中の砂 (直徑 2 mm 以下) のみの粒度曲線を示せば圖-20 の如くである。

此の地點に於て昭和 15 年 7 月及び同年 8 月に行ひたる實測資料 86 個中の 25 個に就て、著者 Kutter, Matakiewicz 及び溝江の 4 公式に因る計算流速及びその誤差を示せば表-18 の如く、之等 4 式の誤差を比較すれば

表-17. 遼陽河床砂礫の篩分表

通過篩	残留篩	通過篩目 (mm)	残留篩目 (mm)	重量百分率 (%)	砂のみの重量百分率 (%)
—	—	—	19.05	17.86 (301.44 gr)	
—	—	19.05	9.53	31.75 (535.92 ")	
—	No. 4	9.53	4.76	3.82 (64.54 ")	
No. 4	No. 8	4.76	2.38	0.97 (16.39 ")	
No. 8	No. 16	2.38	1.19	0.39 (6.52 ")	0.85
No. 16	No. 30	1.19	0.590	1.24 (20.97 ")	2.72
No. 30	No. 50	0.590	0.297	3.82 (64.41 ")	8.36
No. 50	No. 100	0.297	0.147	37.62 (635.21 ")	82.53
No. 100	No. 200	0.074	0.074	2.53 (42.63 ")	5.54
砂の $d_m = 0.213 \text{ mm}$ 比重 $\gamma = 2.63$				100.00 (1688.03 gr)	100.00 (769.74 gr)

表-19 の如くである。

表-19 に依れば、著者公式が他の 3 式より遙かに精度高く、Kutter 式が之に次ぎ、溝江式及び Matakiewicz 式は誤差が極めて大にして適用し難い。

次に同實測資料 86 個全部に就て、著者及び Kutter の兩式に因る平均流速及びその誤差を計算すれば表-20 の如く、又兩式の誤差を比較すれば表-21 の如くである。

圖-20. 遼陽河床砂の粒度曲線

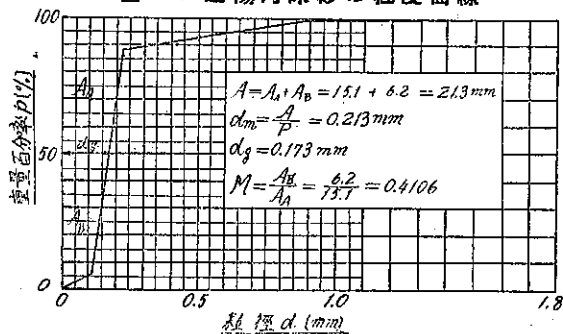


表-18. 4 流速公式に因る計算流速及び誤差

実験番号	水深 R(m)	水深 I	実測流速 $v_1(m/s)$	計算流速 $v_2(m/s)$	誤差 $(v_2 - v_1)(%)$	計算流速 $v_3(m/s)$	誤差 $(v_3 - v_1)(%)$	計算流速 $v_4(m/s)$	誤差 $(v_4 - v_1)(%)$
1	0.989	0.00040	0.820	0.796	-3	0.891	+9	0.719	-12
2	0.870	0.00030	0.811	0.701	-14	0.705	-13	0.574	-29
3	0.785	0.00030	0.564	0.662	+17	0.656	+16	0.535	-5
4	0.684	0.00030	0.594	0.614	+3	0.594	0	0.485	-18
5	0.676	0.00030	0.605	0.610	+1	0.590	-2	0.481	-21
6	0.660	0.00030	0.552	0.602	+9	0.580	+5	0.473	-14
7	0.651	0.00030	0.610	0.597	-2	0.574	-6	0.469	-23
8	0.651	0.00030	0.559	0.597	+7	0.574	+3	0.469	-16
9	0.632	0.00030	0.537	0.588	+10	0.562	+5	0.459	-15
10	0.630	0.00030	0.547	0.587	+7	0.560	+2	0.458	-16
44	1.422	0.00040	0.932	0.701	-2	1.139	+22	0.612	-14
45	1.330	0.00040	0.837	0.937	+6	1.089	+23	0.593	-33
52	1.773	0.00045	1.087	1.124	+3	1.394	+28	1.138	+5
53	1.732	0.00045	1.006	1.110	+10	1.374	+37	1.120	+11
67	0.960	0.00020	0.886	0.882	-23	0.616	-30	0.508	-43
68	0.883	0.00020	0.740	0.653	-11	0.583	-21	0.481	-35
69	0.840	0.00020	0.649	0.634	-2	0.560	-14	0.462	-29
70	0.826	0.00020	0.694	0.628	-10	0.554	-20	0.457	-34
71	0.802	0.00020	0.716	0.618	-14	0.542	-24	0.448	-37
72	0.792	0.00010	0.688	0.534	-22	0.377	-45	0.317	-54
73	0.758	0.00015	0.665	0.565	-15	0.445	-33	0.373	-44
74	0.752	0.00020	0.610	0.596	-2	0.518	-15	0.428	-30
75	0.758	0.00020	0.700	0.599	-15	0.520	-26	0.430	-39
76	0.790	0.00020	0.650	0.613	-7	0.536	-18	0.443	-33
77	0.826	0.00025	0.693	0.657	-5	0.620	-11	0.506	-27

- (1) $v(1) = \frac{1}{0.261} R^{0.55} I^{0.20}$,
- (2) Kutter 式, $n = 0.0223$,
- (3) Matakiewicz 式,
- (4) 溝江式

表-19. 4 流速公式の誤差比較

誤差 $\frac{v_{計}-v_{實}}{v_{實}}$ (%)	実測数 (総数25個)			
	著者式	Kutter式	Matkiewicz式	瀧江式
0~±10	17	9	2	5
±11~±20	6	7	8	7
±21以上	2	9	15	13
平均誤差	9(%)	17(%)	25(%)	22(%)
最大誤差	-23(%)	-45(%)	-54(%)	-52(%)

表-20 の (I). 著者式及び Kutter 式に因る計算流速及び誤差

表-20 の (II). 著者式及び Kutter 式に因る計算流速及び誤差

(1) 著者式 $v_{(1)} = \frac{1}{0.261} R^{0.55} I^{0.20}$, (2) Kutter 式, $n = 0.0223$ (1) 著者式 $v_{(1)} = \frac{1}{0.261} R^{0.55} I^{0.20}$, (2) Kutter 式, $n = 0.0223$

実測 番号	径深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 $v_{實}$ (m/sec)	計算流速 $v_{計}$ (m/sec)	誤差 $\frac{v_{計}-v_{實}}{v_{實}}$ (%)	実測 番号	径深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 $v_{實}$ (m/sec)	計算流速 $v_{計}$ (m/sec)	誤差 $\frac{v_{計}-v_{實}}{v_{實}}$ (%)	実測 番号	径深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 $v_{實}$ (m/sec)	計算流速 $v_{計}$ (m/sec)	誤差 $\frac{v_{計}-v_{實}}{v_{實}}$ (%)
11	0.627	0.00030	0.590	0.585	-1	42	0.774	0.00040	0.678	0.696	+3	0.751	+1				
12	0.629	0.00030	0.589	0.586	-0	43	0.785	0.00040	0.714	0.701	-2	0.779	+9				
13	0.629	0.00030	0.588	0.586	-0	46	1.329	0.00040	0.865	0.937	+8	1.088	+26				
14	0.608	0.00030	0.587	0.575	-2	47	1.147	0.00040	0.842	0.864	+3	0.985	+17				
15	0.605	0.00030	0.588	0.574	-2	48	1.207	0.00040	0.840	0.888	+6	1.020	+21				
16	0.608	0.00030	0.583	0.575	-1	49	1.141	0.00045	0.824	0.882	+7	1.041	+26				
17	0.591	0.00030	0.571	0.566	-1	50	0.986	0.00040	0.811	0.795	-2	0.888	+9				
18	0.613	0.00030	0.570	0.578	+2	51	1.284	0.00040	0.949	0.919	-3	1.063	+25				
19	0.605	0.00030	0.553	0.574	+4	54	1.605	0.00045	1.016	1.064	+5	1.307	+29				
20	0.613	0.00030	0.536	0.578	+8	55	1.422	0.00045	0.940	0.995	+6	1.207	+28				
21	0.605	0.00030	0.563	0.574	+2	56	1.371	0.00039	0.935	0.948	+2	1.100	+18				
22	0.605	0.00030	0.536	0.574	+7	57	1.282	0.00039	0.890	0.914	+3	1.051	+18				
23	0.605	0.00030	0.549	0.574	+5	58	1.272	0.00039	0.850	0.910	+7	1.046	+23				
24	0.613	0.00030	0.538	0.578	+7	59	1.272	0.00039	0.824	0.910	+10	1.046	+27				
25	0.605	0.00030	0.559	0.574	+3	60	1.292	0.00039	0.901	0.918	+2	1.057	+17				
26	0.583	0.00030	0.511	0.562	+10	61	1.292	0.00039	0.832	0.918	+10	1.057	+27				
27	0.573	0.00030	0.568	0.567	-2	62	1.212	0.00039	0.832	0.886	+7	1.012	+22				
28	0.651	0.00030	0.607	0.597	-2	63	1.094	0.00039	0.795	0.838	+6	0.945	+19				
29	0.630	0.00030	0.618	0.587	-5	64	1.064	0.00039	0.788	0.825	+5	0.926	+18				
30	0.613	0.00030	0.570	0.578	+2	65	1.085	0.00039	0.775	0.834	+8	0.901	+16				
31	0.600	0.00030	0.560	0.571	+2	66	1.212	0.00039	0.870	0.886	+2	0.919	+6				
32	0.638	0.00035	0.599	0.591	-1	78	0.826	0.00020	0.689	0.628	-9	0.554	-20				
33	0.638	0.00035	0.592	0.591	0	79	0.790	0.00020	0.667	0.613	-7	0.536	-18				
34	0.742	0.00035	0.653	0.644	-2	80	0.752	0.00010	0.637	0.519	-18	0.363	-43				
35	0.762	0.00037	0.662	0.679	+3	81	0.740	0.00020	0.623	0.591	-5	0.612	-18				
36	0.787	0.00035	0.691	0.684	-1	82	0.712	0.00020	0.617	0.579	-6	0.497	-19				
37	0.736	0.00035	0.672	0.659	-2	83	0.712	0.00020	0.618	0.579	-7	0.497	-20				
38	0.711	0.00030	0.664	0.627	-6	84	0.684	0.00020	0.545	0.566	+4	0.483	-11				
39	0.737	0.00035	0.678	0.659	-3	85	0.647	0.00020	0.578	0.549	-5	0.464	-20				
40	0.736	0.00030	0.658	0.639	-3	86	0.725	0.00020	0.553	0.585	+6	0.504	-9				
41	0.746	0.00035	0.726	0.664	-8												

表-20, 21 に依れば, 表-19 に於けると同様, 著者公式の精度が常に遙かに高く, その誤差は Kutter 公式の大體半分である。

2. 渾河筋奉天

奉天流量観測地點に於ける河床は殆んど砂のみから成り, 深部に於て直径 20~30 mm 位の玉砂利が僅かに混じてゐるに過ぎない。昭和 15 年 10 月 10 日著者が現地に於て採取したる河床砂の篩分結果は表-22 の如くにして, その粒度曲線は圖-21 である。之に依れば河床砂の平均粒径 $d_m = 0.32$ mm である。

昭和 14 年 7 月及び同年 8 月に行ひたる實測資料 54 個に就て, 著者式及び Kutter 式に因る計算流速及び

表-21. 兩式の誤差比較

誤差 $\frac{v_{計}-v_{實}}{v_{實}}$ (%)	実測数 (総数 86 個)	
	著者式	Kutter 式
0~±10	77	43
±11~±20	7	22
±21	2	21
平均誤差	6(%)	13(%)
最大誤差	-23(%)	-45(%)

表-22. 奉天河床砂の篩分表

通過篩	残留篩	通過篩目 (mm)	残留篩目 (mm)	重量百分率 (%)
No. 8	No. 16	2.38	1.19	0.21 (0.78 gr)
No. 16	No. 30	1.19	0.59	4.68 (17.31 "
No. 30	No. 50	0.59	0.297	27.79 (102.80 "
No. 50	No. 100	0.297	0.149	67.04 (248.00 "
No. 100	No. 200	0.149	0.074	0.28 (1.02 "
dm = 0.224 mm γ = 2.64				100.00 (369.91 ")

その誤差を示せば表-23 の如くにして、兩式の誤差を比較すれば表-24 の如くである。

表-23, 24 に依れば、此の場合に於ても著者公式の誤差が Kutter 公式の誤差より可なり僅小である。

3. 渾河筋窪渾沫

窪渾沫流量観測地点の河床は大部分が平均粒径

表-23 の (I). 著者式及び Kutter 式に因る計算流速及び誤差

- (1) 著者式 $v(1) = \frac{1}{0.282} R^{0.55} I^{0.20}$
- (2) Kutter 式, $n = 0.0258$

実験番号	径深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 v_0 (m/sec)	計算流速 v_1 (m/sec)	誤差 $\frac{v_1 - v_0}{v_0}$ (%)	計算流速 v_2 (m/sec)	誤差 $\frac{v_2 - v_0}{v_0}$ (%)
1	0.634	0.000800	0.688	0.663	-4	0.794	+15
2	0.493	0.000667	0.659	0.557	-15	0.602	-9
3	0.575	0.000599	0.620	0.593	-4	0.639	+3
4	0.572	0.000599	0.610	0.591	-3	0.636	+4
5	0.812	0.000400	0.700	0.661	-6	0.669	-4
6	0.681	0.000667	0.620	0.665	+7	0.763	+23
7	0.511	0.000667	0.620	0.568	-8	0.618	-0
8	0.551	0.000667	0.660	0.592	-10	0.654	-1
9	0.511	0.000533	0.480	0.543	+13	0.552	+15
10	0.446	0.000532	0.496	0.504	+2	0.498	+0
11	0.374	0.000467	0.545	0.445	-18	0.407	-25
12	0.376	0.000400	0.534	0.433	-19	0.378	-29
13	0.349	0.000467	0.449	0.429	-4	0.386	-14
14	0.371	0.000400	0.342	0.430	+26	0.374	+9
15	0.319	0.000400	0.399	0.396	-1	0.333	-17
16	0.320	0.000333	0.375	0.382	+2	0.303	-19
17	0.325	0.000333	0.341	0.385	+13	0.307	-10
18	0.307	0.000333	0.333	0.373	+3	0.294	-23
19	0.472	0.000333	0.393	0.474	+21	0.409	+4
20	0.385	0.000467	0.480	0.453	-6	0.417	-13
21	0.399	0.000467	0.409	0.461	+13	0.428	+5
22	0.339	0.000533	0.431	0.433	+0	0.405	-6
23	0.322	0.000400	0.441	0.398	-14	0.335	-27
24	0.315	0.000400	0.412	0.392	-5	0.330	-20
25	0.327	0.000467	0.431	0.414	-4	0.368	-15
26	0.340	0.000533	0.475	0.435	-8	0.406	-15
27	0.330	0.000467	0.441	0.416	-6	0.370	-16
28	0.283	0.000467	0.407	0.382	-6	0.329	-19
29	0.325	0.533	0.471	0.423	-10	0.392	-17
30	0.348	0.000533	0.506	0.440	-3	0.413	-18

圖-21. 奉天河床砂の粒度曲線

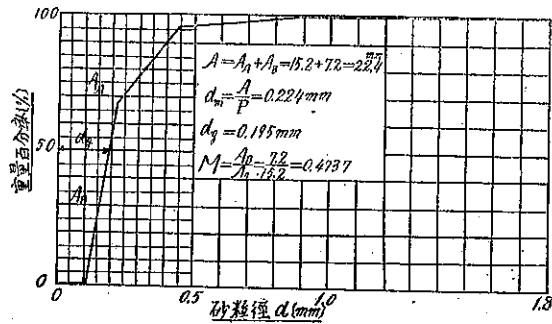


表-23 の (II). 著者式及び Kutter 式に因る計算流速及び誤差

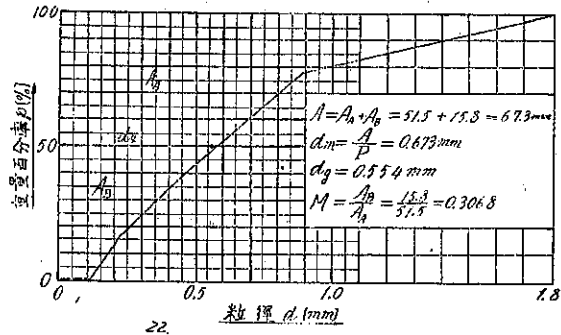
- (1) 著者式, $v(1) = \frac{1}{0.282} R^{0.55} I^{0.20}$
- (2) Kutter 式, $n = 0.0258$

実験番号	径深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 v_0 (m/sec)	計算流速 v_1 (m/sec)	誤差 $\frac{v_1 - v_0}{v_0}$ (%)	計算流速 v_2 (m/sec)	誤差 $\frac{v_2 - v_0}{v_0}$ (%)
131	0.349	0.000467	0.419	0.428	+2	0.386	-8
32	0.370	0.000633	0.452	0.455	+1	0.433	-4
33	0.442	0.000600	0.517	0.513	-1	0.526	+2
34	0.434	0.000533	0.552	0.496	-10	0.488	-12
35	0.429	0.000667	0.546	0.516	-5	0.543	+1
36	0.440	0.000667	0.466	0.523	+12	0.553	+19
37	0.391	0.000600	0.484	0.480	-1	0.479	-1
38	0.570	0.000867	0.638	0.635	-0	0.764	+20
39	0.577	0.000733	0.547	0.619	+3	0.709	+30
40	0.522	0.000667	0.561	0.675	+2	0.622	+12
41	0.541	0.000667	0.479	0.586	+1	0.645	+36
42	0.675	0.000733	0.586	0.674	+15	0.794	+35
43	0.701	0.000733	0.674	0.688	+2	0.816	+21
44	0.706	0.000667	0.528	0.678	+28	0.723	+48
45	0.637	0.000667	0.636	0.641	+1	0.727	+14
46	0.570	0.000600	0.608	0.590	-3	0.635	+4
47	0.780	0.000600	0.599	0.702	+17	0.797	+33
48	0.550	0.000600	0.619	0.579	-6	0.618	-0
49	1.083	0.000533	0.737	0.821	+11	0.946	+28
50	0.829	0.000400	0.662	0.589	-11	0.679	+3
51	0.747	0.000467	0.631	0.652	+3	0.681	+8
52	0.702	0.000533	0.655	0.647	-1	0.696	+6
53	0.609	0.000533	0.640	0.598	-7	0.628	-2
54	1.293	0.000600	0.940	0.926	-1	1.134	+21

表-24. 2式の誤差比較

誤差の割合 (%)	實測數(總數 54 個)	
	著者式	Kutter 式
0~±10	37	23
±11~±20	14	18
±21 以上	3	13
平均誤差	9%	14%
最大誤差	+28%	+48%

圖-22. 窪渾沐河床砂の粒度曲線



$d_m=0.70$ mm 位の砂より成り、之に直径 $d=3\sim 20$ mm 位の礫及び砂利が粗に混じてゐる。昭和 16 年 9 月著者が現地に於て採取したる河床砂礫の篩分結果は表-25 にして、その中の砂のみの粒度曲線は圖-22 である。

表-25. 窪渾沐河床砂礫の篩分表

通過篩	残留篩	通過篩目 (mm)	残留篩目 (mm)	重量百分率 (%)	砂のみの重量百分率 (%)
—	—	—	19.05	6.36 (82.78 gr)	
—	—	19.05	9.53	17.08 (222.33 ")	
—	No. 4	9.53	4.76	8.62 (112.21 ")	
No. 4	No. 8	4.76	2.38	7.03 (91.47 ")	
No. 8	No. 16	2.38	1.19	13.38 (174.20 ")	21.96
No. 16	No. 30	1.19	0.590	23.40 (304.71 ")	38.42
No. 30	No. 50	0.590	0.297	14.01 (182.46 ")	23.01
No. 50	No. 100	0.297	0.147	9.80 (127.52 ")	16.08
No. 100	No. 200	0.147	0.074	0.32 (4.23 ")	0.53
				100.00 (1301.91 gr)	100.00 (793.12gr)
				砂の $d_m=0.673$ mm	
				比重 $\gamma=2.64$	

窪渾沐に於て昭和 15 年 7 月及び同年 8 月に行ひたる實測資料 91 個中の 25 個に就て、著者、Kutter, Manning, Matakiewicz 及び溝江の 5 公式に因る各計算流速及び誤差を示せば表-26 の如くにして、それ等の誤差を比較すれば表-27 の如くである。

- 窪渾沐に於ける實測流速より逆算に因り求めたる Kutter 式及び Manning 式中の粗度係數の値は比較的一定してゐて、その變化は遼河水系中では最も少きものに屬する。換言すれば遼河全水系中で Kutter 式及び Manning 式に因る計算流速が實測流速に最も近い値を與へ得る地點の一つは窪渾沐である。故に表-26 及び表-28 に示されたる Kutter 式及び Manning 式の誤差は遼河全水系中で最も小にして、兩式は此の地點で兩式の與へ得る最良の結果を示すものと考へられる。實際に計算したるに表-27~29 で明かな如く、窪渾沐に於ける Kutter 式及び Manning 式の誤差は他の何れの地點に於ける兩式の誤差よりも小である。然るに此の場合に於ても尙著者の公式は之等 2 公式より更に誤差が僅小である。

表-26. 5 流速公式に因る計算流速及び誤差

- (1) $v_{(1)} = \frac{1}{0.253} R^{0.55} I^{0.20}$, (2) Kutter 式, $n=0.0311$, (3) Manning 式, $n=0.0321$,
 (4) Matakiewicz 式, (5) 溝江式

実験川 番号	径 R(m)	水面勾配 I	実測流速 V ₀ (%)	計算流速 V ₁ (%)	誤差 V ₁ -V ₀ (%)	計算流速 V ₂ (%)	誤差 V ₂ -V ₀ (%)	計算流速 V ₃ (%)	誤差 V ₃ -V ₀ (%)	計算流速 V ₄ (%)	誤差 V ₄ -V ₀ (%)	計算流速 V ₅ (%)	誤差 V ₅ -V ₀ (%)
1	0.3243	0.0010	0.536	0.534	-0.0427	-2.0	0.537	-1.3	0.500	-7.0	0.534	-0	
2	0.3490	0.0013	0.543	0.586	+8.0	0.533	-2.0	0.545	+2.0	0.587	+8.0	0.632	+16
3	0.3401	0.0013	0.552	0.573	+5.0	0.518	-6.0	0.552	-1.0	0.577	+5.0	0.620	+12
4	0.3367	0.0014	0.596	0.584	-2.0	0.537	-10.0	0.548	-5.0	0.590	-1.0	0.636	+7
5	0.3613	0.0012	0.618	0.588	-5.0	0.520	-16.0	0.619	-12.0	0.532	-6.0	0.625	+1
6	0.3391	0.0014	0.569	0.586	+3.0	0.540	-5.0	0.569	-0.0	0.593	+4.0	0.639	+12
7	0.3409	0.0014	0.541	0.588	+9.0	0.538	-1.0	0.542	+5.0	0.596	+10.0	0.642	+19
8	0.4083	0.0014	0.722	0.641	-11.0	0.619	-14.0	0.722	-12.0	0.666	+8.0	0.717	-1
9	0.3699	0.0010	0.612	0.575	-6.0	0.483	-21.0	0.613	-17.0	0.548	+10.0	0.586	-4
10	0.3624	0.0013	0.530	0.599	+13.0	0.544	+3.0	0.530	+8.0	0.603	+14.0	0.649	+22
70	0.7712	0.0011	0.878	0.877	-2.0	0.884	-2.0	0.877	-3.0	0.952	+6.0	1.022	+14
71	0.7704	0.0015	0.889	0.933	+5.0	1.031	+16.0	0.889	+14.0	1.085	+22.0	1.171	+32
72	0.7895	0.0015	0.925	0.945	+2.0	1.050	+14.0	0.924	+12.0	1.103	+19.0	1.191	+29
73	0.8143	0.0011	0.966	0.904	-6.0	0.920	-5.0	0.967	-7.0	0.989	+2.0	1.062	+10
74	0.8537	0.0012	1.015	0.944	-7.0	0.993	-2.0	1.015	-4.0	1.062	+5.0	1.141	+12
75	0.8214	0.0014	0.909	0.953	+5.0	1.043	+13.0	0.909	+12.0	1.102	+21.0	1.188	+31
76	0.9643	0.0012	1.003	1.009	+1.0	1.090	+8.0	1.003	+5.0	1.168	+15.0	1.243	+24
77	0.8471	0.0014	0.924	0.969	+5.0	1.074	+16.0	0.923	+13.0	1.126	+22.0	1.213	+31
85	0.9779	0.0011	1.073	1.000	-7.0	1.051	-2.0	1.071	-5.0	1.124	+5.0	1.207	+12
86	0.9753	0.0010	1.081	0.979	-9.0	0.998	-8.0	1.080	-10.0	1.081	0.0	1.155	+7
87	1.1055	0.0012	1.035	1.038	+0.3	1.197	+16.0	1.035	+12.0	1.273	+23.0	1.368	+32
88	0.9961	0.0010	1.066	0.991	-7.0	1.013	-5.0	1.065	-8.0	1.097	+3.0	1.172	+10
89	1.1393	0.0011	1.134	1.087	-4.0	1.172	+3.0	1.134	-1.0	1.252	+10.0	1.344	+16
90	1.1820	0.0011	1.123	1.109	-1.0	1.202	+7.0	1.124	+3.0	1.284	+14.0	1.378	+23
91	1.1411	0.0010	1.153	1.067	-8.0	1.117	-4.0	1.159	-11.0	1.207	+4.0	1.289	+11

表-27. 5 流速公式の誤差比較表

誤差 $\frac{v_{計}-v_{實}}{v_{實}}$ (%)	實 測 数 (總 数 25 個)				
	著 者 式	Kutter 式	Manning 式	Matakiewicz 式	溝 江 式
0~±10	23	16	16	18	8
±11~±20	2	8	9	3	9
±21	ナシ	1	ナシ	4	8
平均誤差	5%	9%	7%	10%	16%
最大誤差	-11"	-21"	-17"	+23"	+32"

昭和 15 年に於ける實測資料 91 個全部に就て、著者、Kutter 及び Manning の 3 公式に因る計算流速及びその誤差を示せば表-28 の如く、その誤差比較は表-29 の如くである。表-27 及び表-29 に依れば窪渾湊に於ては Manning 式が Kutter 式より誤差が僅小である。

次に同地點に於て昭和 14 年 7 月及び同年 8 月に行ひたる實測資料 100 個に就て、著者式に因る計算流速及びその誤差を示せば表-30 の如くにして、その平均誤差は 8% である。

4. 渾河筋撫順

撫順は奉天と窪渾湊との略中間にあり、その流量観測地點に於ける河床は平均粒徑 $dm=0.30$ mm 位の砂に、直徑 $d=3-20$ mm 位の玉砂利が比較的多く混じてゐる。昭和 16 年 9 月採取したる河床砂礫の篩分結果は表-31 の如く、その中の砂のみの粒度曲線は圖-23 の如くである。

表-28 の (I). 3 流速公式に因る計算流速及び誤差

実験 番号	径深 R(m)	水の勾配 I	実測流速 V ₀ (m/sec)	計算流速 V ₁ (m/sec)	誤差 V ₁ -V ₀ (%)	計算流速 V ₂ (m/sec)	誤差 V ₂ -V ₀ (%)	計算流速 V ₃ (m/sec)	誤差 V ₃ -V ₀ (%)
11	0.4379	0.0014	0.644	0.674	+ 5	0.644	+ 4	0.657	+ 2
12	0.3850	0.0013	0.634	0.619	- 2	0.594	- 6	0.571	-10
13	0.4171	0.0012	0.630	0.637	+ 1	0.602	- 4	0.581	- 8
14	0.4770	0.0012	0.718	0.685	- 4	0.659	- 8	0.649	-10
15	0.5141	0.0013	0.757	0.726	- 4	0.721	- 5	0.712	- 6
16	0.5451	0.0013	0.680	0.749	+10	0.749	+10	0.744	+10
17	0.5680	0.0013	0.716	0.766	+ 7	0.770	+ 7	0.767	+ 7
18	0.4543	0.0013	0.646	0.678	+ 5	0.664	+ 3	0.647	+ 0
19	0.5246	0.0013	0.635	0.734	+16	0.730	+15	0.723	+14
20	0.5325	0.0013	0.752	0.740	- 2	0.738	- 2	0.737	- 2
21	0.5237	0.0013	0.712	0.733	+ 3	0.730	+ 2	0.722	+ 1
22	0.5172	0.0012	0.745	0.717	- 4	0.695	- 7	0.685	- 8
23	0.5563	0.0013	0.753	0.758	+ 1	0.760	+ 1	0.755	+ 0
24	0.5266	0.0014	0.719	0.746	+ 4	0.760	+ 6	0.751	+ 4
25	0.5262	0.0013	0.770	0.735	- 4	0.732	- 5	0.724	- 6
26	0.5781	0.0013	0.638	0.774	+21	0.847	+22	0.783	+23
27	0.4505	0.0013	0.750	0.707	- 6	0.699	- 7	0.687	- 8
28	0.6419	0.0012	0.666	0.807	+17	0.803	+17	0.806	+18
29	0.5254	0.0014	0.764	0.745	- 3	0.759	- 1	0.749	- 2
30	0.6094	0.0013	0.735	0.691	- 6	0.807	+19	0.814	+11
31	0.5781	0.0013	0.749	0.856	+14	0.779	+ 4	0.783	+ 5
32	0.6355	0.0012	0.847	0.802	- 5	0.798	- 6	0.800	- 6
33	0.5501	0.0014	0.670	0.765	+14	0.783	+17	0.777	+16
34	0.5273	0.0012	0.679	0.724	+ 7	0.704	+ 4	0.695	+ 2
35	0.5323	0.0012	0.688	0.728	+ 6	0.709	+ 3	0.700	+ 2
36	0.6315	0.0014	0.699	0.825	+18	0.858	+23	0.861	+23
37	0.5344	0.0012	0.726	0.730	+ 0	0.711	- 2	0.707	- 3
38	0.6365	0.0012	0.750	0.803	+ 7	0.799	+ 7	0.801	+ 7
39	0.5444	0.0012	0.724	0.737	+ 2	0.719	- 1	0.712	- 2
40	0.5491	0.0012	0.777	0.788	+ 1	0.721	- 7	0.714	- 8
41	0.6764	0.0012	0.833	0.830	- 0	0.831	- 0	0.836	+ 0
42	0.6879	0.0013	0.809	0.853	+ 6	0.877	+ 8	0.887	+10
43	0.5427	0.0012	0.718	0.736	+ 3	0.718	0	0.711	- 1

$$(1) v_{(1)} = \frac{1}{0.253} R^{0.55} I^{0.20},$$

$$(2) v_{(2)} = \frac{1}{0.0321} R^{2/3} I^{1/2},$$

$$(3) v_{(3)}: \text{Kutter 式}, n=0.0311$$

表-28 の (II). 3 流速公式に因る計算流速及び誤差

実験 番号	径深 R(m)	水の勾配 I	実測流速 V ₀ (m/sec)	計算流速 V ₁ (m/sec)	誤差 V ₁ -V ₀ (%)	計算流速 V ₂ (m/sec)	誤差 V ₂ -V ₀ (%)	計算流速 V ₃ (m/sec)	誤差 V ₃ -V ₀ (%)
44	0.5183	0.0012	0.751	0.707	- 4	0.696	- 7	0.686	- 9
45	0.5546	0.0013	0.861	0.757	-12	0.758	-12	0.754	-12
46	0.5237	0.0012	0.698	0.721	+ 3	0.701	+ 1	0.692	- 1
47	0.5326	0.0013	0.739	0.739	0	0.738	0	0.737	- 0
48	0.6215	0.0013	0.814	0.805	- 1	0.818	+ 1	0.821	+ 1
49	0.5569	0.0013	0.815	0.758	- 7	0.760	- 7	0.756	- 7
50	0.6553	0.0014	0.803	0.842	+ 5	0.880	+10	0.884	+10
51	0.6031	0.0013	0.757	0.792	+ 5	0.802	+ 6	0.802	+ 6
52	0.5484	0.0013	0.859	0.745	- 13	0.752	-12	0.752	-12
53	0.5547	0.0012	0.791	0.752	- 5	0.727	- 8	0.723	- 9
54	0.5350	0.0011	0.758	0.756	- 0	0.725	- 4	0.724	- 4
55	0.5573	0.0011	0.804	0.734	- 9	0.700	-13	0.695	-14
56	0.6478	0.0011	0.880	0.797	- 9	0.774	-12	0.778	-12
57	0.5506	0.0012	0.822	0.771	- 5	0.760	- 8	0.757	- 8
58	0.6277	0.0011	0.885	0.783	-11	0.758	-14	0.760	-14
59	0.6347	0.0011	0.845	0.788	- 7	0.763	-10	0.766	-10
60	0.6514	0.0015	0.817	0.851	+ 4	0.907	+11	0.911	+12
61	0.6561	0.0011	0.793	0.803	+ 1	0.780	- 2	0.785	- 1
62	0.6688	0.0015	0.893	0.863	- 3	0.923	+ 3	0.929	+ 4
63	0.6214	0.0011	0.854	0.782	- 8	0.757	-12	0.758	-11
64	0.6368	0.0011	0.869	0.789	- 9	0.765	-12	0.768	-12
65	0.6799	0.0015	0.819	0.871	+ 6	0.933	+14	0.941	+15
66	0.6344	0.0011	0.978	0.788	-19	0.763	-22	0.766	-22
67	0.7417	0.0013	0.903	0.888	- 2	0.920	+ 2	0.936	+ 4
68	0.7181	0.0014	0.864	0.885	+ 2	0.935	+ 8	0.946	+10
69	0.7035	0.0011	0.973	0.834	-14	0.817	-16	0.827	-15
78	0.8465	0.0014	1.049	0.969	- 8	1.043	- 1	1.074	+ 3
79	1.0185	0.0011	0.980	1.022	+ 4	1.046	+ 7	1.072	+10
80	0.9205	0.0011	0.989	0.967	- 2	0.973	- 1	1.006	+ 2
81	0.9807	0.0012	1.045	1.019	- 2	1.065	+ 2	1.103	+ 6
82	0.9398	0.0013	1.014	1.011	- 0	1.078	+ 6	1.110	+18
83	0.9037	0.0013	0.981	0.990	+ 1	1.050	+ 7	1.086	+11
84	0.9898	0.0013	1.032	1.040	+ 1	1.115	+ 8	1.153	+12

$$(1) v_{(1)} = \frac{1}{0.253} R^{0.55} I^{0.20},$$

$$(2) v_{(2)} = \frac{1}{0.0321} R^{2/3} I^{1/2},$$

$$(3) v_{(3)}: \text{Kutter 式}, n=0.0311$$

表-29. 3 流速公式の誤差比較表

誤 差 $\frac{V_{計}-V_{実}}{V_{実}} (\%)$	實 測 數 (總數 91 個)		
	著 者 式	Kutter 式	Manning 式
0~±10	78	62	66
±11~±20	12	25	22
±21	1	4	3
平均 誤 差	6 %	8 %	7 %
最 大 誤 差	+21 "	+23 "	+23 "

表-30 の (I). 著者公式に因る計算流速及び誤差

$$v_N = \frac{1}{0.246} R^{0.55} I^{0.20}$$

表-30 の (II). 著者公式に因る計算流速及び誤差

$$v_N = \frac{1}{0.246} R^{0.55} I^{0.20}$$

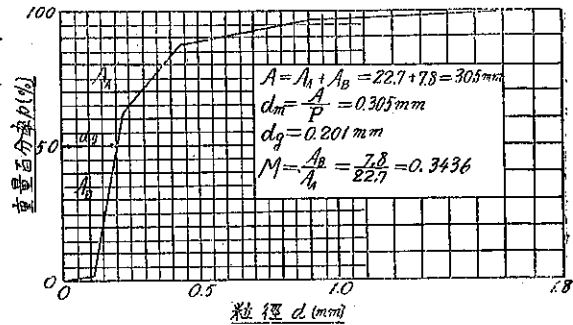
實測 番号	径 深 R(m)	水面勾配 I	實測流速 v (m/sec)	計算流速 v _N (m/sec)	誤差 % $\frac{v_N-v}{v}$	實測 番号	径 深 R(m)	水面勾配 I	實測流速 v ₀ (m/sec)	計算流速 v _N (m/sec)	誤差 % $\frac{v_N-v_0}{v_0}$
1	0.198	0.0012	0.398	0.435	+ 9	34	0.308	0.0013	0.638	0.563	-12
2	0.198	0.0012	0.460	0.435	- 5	35	0.324	0.0012	0.643	0.570	-11
3	0.198	0.0013	0.427	0.430	+ 1	36	0.326	0.0013	0.644	0.581	-10
4	0.188	0.0013	0.399	0.429	+ 8	37	0.340	0.0013	0.630	0.594	- 6
5	0.165	0.0013	0.424	0.399	- 6	38	0.361	0.0013	0.656	0.614	- 6
6	0.162	0.0012	0.446	0.389	-13	39	0.351	0.0013	0.664	0.605	- 9
7	0.173	0.0013	0.433	0.410	- 5	40	0.376	0.0012	0.704	0.618	-12
8	0.218	0.0013	0.446	0.466	+ 4	41	0.411	0.0012	0.668	0.649	- 3
9	0.222	0.0012	0.410	0.463	+13	42	0.375	0.0012	0.747	0.617	-17
10	0.197	0.0013	0.428	0.440	+ 3	43	0.495	0.0012	0.791	0.719	-22
11	0.189	0.0013	0.471	0.430	- 9	44	0.647	0.0013	0.775	0.847	+ 9
12	0.187	0.0013	0.443	0.428	- 3	45	0.624	0.0013	0.866	0.830	- 4
13	0.197	0.0013	0.429	0.439	+ 2	46	0.668	0.0013	0.792	0.862	+ 9
14	0.249	0.0013	0.422	0.501	+19	47	0.677	0.0013	0.751	0.868	+16
15	0.253	0.0012	0.472	0.497	+ 5	48	0.705	0.0013	0.772	0.888	+15
16	0.210	0.0011	0.421	0.441	+ 5	49	0.721	0.0013	0.810	0.899	+11
17	0.246	0.0013	0.455	0.498	+ 9	50	0.799	0.0013	0.857	0.951	+11
18	0.267	0.0013	0.500	0.520	+ 4	51	0.799	0.0013	0.855	0.951	+11
19	0.284	0.0011	0.448	0.521	+16	52	0.799	0.0013	0.899	0.951	+ 6
20	0.277	0.0012	0.489	0.523	+ 7	53	0.808	0.0013	0.916	0.957	+ 4
21	0.259	0.0011	0.465	0.495	+ 6	54	0.892	0.0013	0.941	1.010	+ 7
22	0.264	0.0012	0.574	0.509	-11	55	0.898	0.0013	1.001	1.014	+ 1
23	0.285	0.0011	0.442	0.522	+18	56	0.942	0.0013	0.954	1.041	+ 9
24	0.270	0.0013	0.551	0.524	- 5	57	0.944	0.0013	1.057	1.042	- 1
25	0.311	0.0012	0.574	0.557	- 3	58	0.988	0.0013	1.058	1.069	+ 1
26	0.285	0.0013	0.527	0.540	+ 2	59	1.234	0.0013	1.050	1.208	+15
27	0.236	0.0013	0.570	0.486	-15	60	1.274	0.0013	1.026	1.229	+20
28	0.308	0.0013	0.553	0.563	+ 2	61	1.246	0.0013	1.348	1.214	-10
29	0.261	0.0013	0.565	0.514	- 9	62	1.282	0.0013	1.350	1.234	- 9
30	0.281	0.0013	0.579	0.535	- 8	63	1.357	0.0013	1.133	1.273	+12
31	0.281	0.0013	0.526	0.535	+ 2	64	1.318	0.0013	1.326	1.253	- 6
32	0.299	0.0013	0.581	0.554	- 5	65	1.355	0.0013	1.404	1.272	- 9
33	0.300	0.0013	0.597	0.555	- 7	66	1.380	0.0012	1.149	1.264	+10

表-30 の (III). 著者公式に因る計算流速及び誤差

$$v_N = \frac{1}{0.246} R^{0.55} I^{0.20}$$

実測 番号	径 深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 v_0 (m/sec)	計算流速 v_N (m/sec)	誤差 % (誤差%)
67	1.410	0.0011	1.470	1.251	+ 5
68	1.506	0.0013	1.464	1.348	- 8
69	1.498	0.0012	1.342	1.322	- 1
70	1.518	0.0011	1.326	1.309	- 1
71	1.559	0.0013	1.268	1.374	+ 8
72	1.591	0.0011	1.600	1.343	-16
73	1.671	0.0011	1.626	1.380	-15
74	1.737	0.0011	1.655	1.410	-15
75	0.163	0.0015	0.382	0.407	+ 7
76	0.191	0.0015	0.408	0.445	+ 9
77	0.176	0.0015	0.412	0.426	+ 3
78	0.187	0.0014	0.401	0.434	+ 8
79	0.179	0.0015	0.497	0.430	-13
80	0.188	0.0015	0.395	0.442	+12
81	0.170	0.0015	0.391	0.418	+ 7
82	0.163	0.0015	0.430	0.408	- 5
83	0.199	0.0015	0.401	0.456	+14
84	0.221	0.0014	0.465	0.476	+ 2
85	0.191	0.0014	0.413	0.439	+ 6
86	0.210	0.0014	0.421	0.463	+10
87	0.197	0.0014	0.465	0.447	- 4
88	0.234	0.0014	0.483	0.491	+ 2
89	0.326	0.0010	0.489	0.551	+13
90	0.339	0.0010	0.530	0.563	+ 6
91	0.330	0.0010	0.552	0.555	+ 1
92	0.347	0.0009	0.530	0.559	+ 5
93	0.353	0.0010	0.623	0.576	- 8
94	1.415	0.0009	1.470	1.210	-18
95	1.438	0.0009	1.265	1.221	- 3
96	1.457	0.0009	1.484	1.230	-17
97	1.498	0.0009	1.516	1.249	-18
98	1.761	0.0010	1.441	1.394	- 3
99	1.770	0.0010	1.520	1.398	- 8
100	1.847	0.0009	1.644	1.401	-15

圖-23. 撫順河床砂の粒度曲線



此の地點に於て昭和 14 年 7 月及び同年 8 月に
 行ひたる實測資料 55 個に就て著者流速公式に因る計算
 流速及びその誤差を示せば表-32 の如くにして、そ
 の平均誤差は 7% である。此の地點に於ける資料は
 著者公式の作製には全然用ひなかつたものであるが、
 極めて良好なる結果を示してゐる。

5. 遼河本流筋通達

通達流量觀測地點は橋梁下流約 100 m にして、そ
 の水面測定用水量標は橋脚に因る水面波動の及ぶ範囲
 内にある爲、水面勾配の測定に遺憾の點があると思は
 れる。従つて此の地點の實測資料は流速公式の精度を
 檢するには不適當であるが、唯參考までに昭和 15 年
 夏季に行ひたる實測資料 37 個に就て著者式及び
 Kutter 式に因る計算流速の誤差を檢したるに表-33
 及び表-34 の如くである。兩式共に誤差は可なり大

表-31. 撫順河床砂礫の篩分表

通過篩	殘留篩	通過篩目 (mm)	殘留篩目 (mm)	重量百分率 (%)	砂のみの重量 百分率 (%)
			19.05	20.25 (255.32 gr)	
		19.05	9.53	0.84 (10.62 ")	
	No. 4	9.53	4.76	4.54 (57.23 ")	
No. 4	No. 8	4.76	2.38	8.11 (102.21 ")	
No. 8	No. 16	2.38	1.19	2.46 (31.05 ")	3.72
No. 16	No. 30	1.19	0.59	5.63 (71.03 ")	8.50
No. 30	No. 50	0.590	0.297	16.90 (213.05 ")	25.51
No. 50	No. 100	0.297	0.147	40.00 (504.21 ")	60.36
No. 100	No. 200	0.147	0.074	1.27 (15.97 ")	1.91
砂の $d_m = 0.305$ mm $\gamma = 2.72$				100.00 (1260.69 ")	100.00 (835.29 gr)

であるが、之は上記の理由により水面勾配の測定に不備があつた爲であると考へられる。而して表-33 及び表-34 より明かな如く此の場合に於てもやはり、著者公式の方が Kutter 公式より精度が高い。

表-32 の (I).

著者公式に因る計算流速及び誤差

$$v_N = \frac{1}{0.205} R^{0.65} I^{0.20}$$

表-32 の (II).

著者公式に因る計算流速及び誤差

$$v_N = \frac{1}{0.205} R^{0.65} I^{0.20}$$

実験 番号	径 深 R(m)	水面勾配 I	実験流速 V ₀ (m/sec)	計算流速 V _N (m/sec)	誤 差 $\frac{V_N - V_0}{V_0}$ (%)	実験 番号	径 深 R(m)	水面勾配 I	実験流速 V ₀ (m/sec)	計算流速 V _N (m/sec)	誤 差 $\frac{V_N - V_0}{V_0}$ (%)
1	0.258	0.00063	0.580	0.530	- 9	33	0.180	0.00073	0.419	0.448	+ 7
2	0.396	0.00073	0.689	0.691	+ 0	34	0.191	0.00073	0.419	0.463	+11
3	0.291	0.00073	0.760	0.584	-23	35	0.189	0.00073	0.432	0.460	+ 6
4	0.271	0.00073	0.636	0.561	-12	36	0.182	0.00073	0.416	0.451	+ 8
5	0.285	0.00080	0.626	0.587	- 6	37	0.174	0.00073	0.421	0.440	+ 5
6	0.270	0.00060	0.471	0.549	+17	38	0.171	0.00080	0.443	0.444	+ 0
7	0.230	0.00066	0.473	0.503	+ 6	39	0.167	0.00080	0.482	0.438	- 9
8	0.216	0.00066	0.539	0.486	-10	40	0.165	0.00080	0.419	0.435	+ 4
9	0.191	0.00073	0.482	0.463	- 4	41	0.205	0.00073	0.464	0.481	+ 4
10	0.208	0.00073	0.502	0.485	- 3	42	0.190	0.00073	0.462	0.462	0
11	0.197	0.00073	0.463	0.471	+ 2	43	0.181	0.00073	0.471	0.449	- 5
12	0.194	0.00073	0.456	0.467	+ 2	44	0.356	0.00080	0.551	0.664	+21
13	0.183	0.00073	0.466	0.452	- 3	45	0.280	0.00073	0.685	0.571	-17
14	0.173	0.00073	0.433	0.438	+ 1	46	0.281	0.00066	0.505	0.561	+11
15	0.167	0.00073	0.429	0.430	+ 0	47	0.222	0.00066	0.509	0.493	- 3
16	0.165	0.00073	0.452	0.427	- 6	48	0.365	0.00073	0.662	0.661	- 0
17	0.147	0.00073	0.418	0.401	- 4	49	0.355	0.00060	0.666	0.626	- 6
18	0.153	0.00073	0.358	0.410	+15	50	0.308	0.00073	0.586	0.683	+17
19	0.143	0.00080	0.415	0.402	- 3	51	0.302	0.00073	0.618	0.596	- 4
20	0.133	0.00080	0.422	0.386	- 9	52	0.365	0.00060	0.690	0.636	- 8
21	0.150	0.00080	0.440	0.413	- 6	53	0.411	0.00073	0.700	0.706	+ 1
22	0.138	0.00080	0.350	0.394	+13	54	0.352	0.00073	0.686	0.648	- 6
23	0.129	0.00080	0.370	0.380	+ 3	55	0.333	0.00066	0.603	0.616	+ 2
24	0.129	0.00080	0.393	0.380	- 3						
25	0.145	0.00080	0.377	0.405	+ 7						
26	0.145	0.00073	0.554	0.398	-28						
27	0.274	0.00066	0.536	0.553	+ 3						
28	0.248	0.00066	0.534	0.524	- 2						
29	0.249	0.00073	0.494	0.536	+ 9						
30	0.236	0.00073	0.485	0.520	+ 7						
31	0.195	0.00073	0.439	0.468	+ 7						
32	0.195	0.00073	0.453	0.468	+ 3						

表-33. 著者式及び Kutter 式に因る計算流速及び誤差

(1) $v_{(1)} = \frac{1}{0.278} R^{0.65} I^{0.20}$, (2) $v_{(2)}$; Kutter 式, $n=0.0250$

実験 番号	径深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 V ₀ (%)	計算流速 V ₁ (%)	誤差 V ₁ -V ₀ (%)	計算流速 V ₂ (%)	誤差 V ₂ -V ₀ (%)
1	0.882	0.000330	0.675	0.675	0	0.666	-1
2	0.713	0.000440	0.719	0.637	-12	0.660	-8
3	0.764	0.000380	0.808	0.642	-21	0.644	-20
4	0.713	0.000418	0.560	0.631	+13	0.643	+15
5	0.716	0.000420	0.758	0.632	-17	0.647	-15
6	0.848	0.000325	0.652	0.659	+1	0.646	-1
7	1.467	0.000360	0.795	0.910	+14	0.989	+24
8	1.537	0.000395	0.639	0.953	+49	1.068	+67
9	1.171	0.000400	0.740	0.820	+11	0.893	+21
10	0.927	0.000420	0.725	0.729	+0	0.777	+7
11	0.957	0.000417	0.735	0.742	+1	0.792	+8
12	0.932	0.000412	0.651	0.727	+12	0.773	+19
13	1.011	0.000410	0.690	0.761	+10	0.816	+18
14	0.922	0.000390	0.547	0.716	+31	0.753	+38
15	0.881	0.000380	0.504	0.694	+38	0.713	+41
16	0.812	0.000375	0.456	0.664	+46	0.668	+46
17	0.717	0.000380	0.579	0.620	+7	0.615	+6
18	0.630	0.000380	0.477	0.578	+21	0.560	+17
19	0.641	0.000362	0.474	0.577	+22	0.553	+17
20	0.805	0.000420	0.854	0.674	-21	0.703	-18
21	0.825	0.000418	0.738	0.552	-25	0.714	-3
22	0.560	0.000390	0.605	0.549	-9	0.522	-14
23	0.670	0.000385	0.558	0.546	+2	0.524	-6
24	0.566	0.000350	0.509	0.515	-1	0.497	-2
25	0.627	0.000385	0.619	0.653	+25	0.460	-11
26	0.445	0.000300	0.423	0.455	+8	0.383	-9
27	0.481	0.000360	0.560	0.493	-12	0.446	-20
28	0.413	0.000380	0.534	0.445	-17	0.381	-29
29	0.390	0.000300	0.433	0.423	-2	0.347	-20
30	0.385	0.000305	0.441	0.422	-4	0.346	-22
31	0.446	0.000361	0.604	0.473	-22	0.422	-30
32	0.431	0.000390	0.665	0.471	-29	0.429	-35
33	0.437	0.000410	0.662	0.480	-28	0.444	-33
34	0.444	0.000360	0.643	0.471	-27	0.430	-35
35	0.415	0.000385	0.527	0.448	-15	0.385	-27
36	0.389	0.000330	0.540	0.431	-20	0.364	-33
37	0.317	0.000300	0.500	0.377	-24	0.295	-41

表-34. 著者式及び Kutter 式の誤差比較

誤差 の範囲 (%)	著者式	Kutter 式
0~±10	12 個	10 個
±11~±20	10 "	12 "
±21 以上	15 "	15 "
平均誤差	17 %	21 %
最大誤差	+49 "	+67 "

6. 柴河筋大平寨

大平寨流量観測地點の河床は大部分が粒徑 $d_m \approx 0.35$ mm 位の砂から成り、之に徑 $d=3\sim 10$ mm 位の玉砂利が僅かに混じてゐる程度である。此の地點に於ける河床砂礫の篩分結果は表-35 にして、その砂の粒度曲線は圖-24 である。

茲に使用する實測資料 74 個は昭和 14 年 7 月及び同年 8 月に行ひたるものにして、著者の流速公式の確立には全然使用しなかつたものである。先づその中の 25 個の資料に就て、著者、Kutter, Matakiewicz 及び溝江の 4 公式に因る平均流速及びその誤差を示せば表-36 の如くにして、その誤差比較は表-37 である。

表-37 に依れば大平寨に於ても著者公式の誤差が最小にして、Matakiewicz 式之に次ぎ、Kutter 式が最大の誤差を示し、その平均誤差は著者公式の約 2.5 倍である。

表-35. 大平寨河床砂礫の篩分表

通過篩	残留篩	通過篩目 (mm)	残留篩目 (mm)	重量百分率 (%)	砂のみの重量 百分率(%)
	No. 4	9.53	4.76	37.19 (103.63 gr)	
No. 4	No. 8	4.76	2.38	1.78 (4.97 ")	
No. 8	No. 16	2.38	1.19	2.70 (7.52 ")	4.42
No. 16	No. 30	1.19	0.590	6.78 (18.90 ")	11.12
No. 30	No. 50	0.590	0.297	15.90 (44.29 ")	26.05
No. 50	No. 100	0.297	0.147	31.88 (88.82 ")	52.23
No. 100	No. 200	0.147	0.074	3.77 (10.51 ")	6.18
砂の $d_m=0.339$ mm				100.00 (278.64 gr)	100.00 (170.04 gr)

又實測資料 74 個全部に就て、著者式及び Kutter 式に因る計算流速及びその誤差を示せば表-38 の如く、兩式の誤差を比較すれば表-39 の如くである。此の場合に於ても著者公式の誤差は Kutter 公式の誤差の半分以下である。

遼河水系中の主要なる 6 個所に於ける實測資料 497 個に就て、著者、Kutter, Manning, Matakiewicz, 溝江等の諸公式に因る計算流速の誤差を比較したが、常に著者公式の誤差が最小にして水面勾配の測定に不備のある通遼を除けば、5 個所共その平均誤差は 5~10% である。故に著者公式は遼河水系中の何れの地點に於ても誤差が最も小さく、且その平均誤差は常に大體 10% 以内にあるものと考へられる。著者公式に次ぎ誤差の比較的小なる公式は Manning 式ならんと考へられる。今迄滿洲國交通部で採用してゐた Kutter 公式は、壅渾沬に於けるが如く可なり良結果を與ふる場合もあるが一般には誤差大にして、遼河の如き移動床河川には適當なる公式とは云ひ得ない。Matakiewicz 式及び溝江式は何れの地點に於ても誤差過大にして不適當である。

圖-24. 大平樂河床砂の粒度曲線

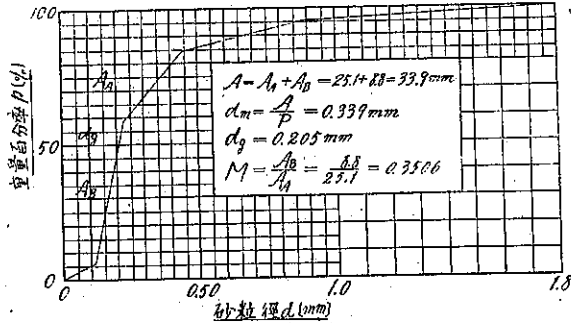


表-36. 4 公式に因る計算流速及び誤差

- (1) $v_{(1)} = \frac{1}{0.247} R^{0.55} I^{0.20}$, (2) $v_{(2)}$: Kutter 式, $n = 0.0249$,
 (3) $v_{(3)}$: Matakiewicz 式, (4) $v_{(4)}$: 溝江式

實測 番号	径深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 V_0 (m/sec)	計算流速 V_1 (m/sec)	誤差 %	計算流速 V_2 (m/sec)	誤差 %	計算流速 V_3 (m/sec)	誤差 %	計算流速 V_4 (m/sec)	誤差 %
1	0.4154	0.001000	0.550	0.639	+16	0.710	+29	0.617	+12	0.662	+20
2	0.3573	0.001058	0.491	0.578	+18	0.615	+25	0.538	+10	0.580	+18
3	0.3163	0.001058	0.485	0.546	+13	0.567	+17	0.500	+3	0.539	+11
4	0.3298	0.001401	0.515	0.557	+8	0.581	+13	0.501	-3	0.551	+7
5	0.2905	0.001091	0.451	0.525	+16	0.540	+20	0.480	+6	0.515	+14
6	0.2483	0.001100	0.418	0.481	+15	0.480	+15	0.430	+3	0.462	+11
7	0.2074	0.001140	0.372	0.439	+18	0.425	+14	0.386	+4	0.414	+11
8	0.1745	0.000961	0.402	0.387	-4	0.340	-15	0.317	-21	0.342	-15
9	0.1833	0.000922	0.374	0.393	+5	0.346	-8	0.323	-14	0.345	-8
10	0.1602	0.000980	0.369	0.371	+0	0.321	-13	0.301	-18	0.323	-12
11	0.1526	0.000921	0.415	0.356	-14	0.294	-29	0.285	-31	0.304	-27
49	0.1027	0.000900	0.335	0.285	-15	0.216	-36	0.213	-36	0.208	-36
50	0.1001	0.000900	0.339	0.281	-17	0.209	-38	0.209	-38	0.204	-40
52	0.1167	0.000900	0.374	0.413	+4	0.369	-7	0.342	-9	0.334	-16
55	0.2020	0.000700	0.398	0.273	-23	0.200	-50	0.202	-43	0.197	-45
63	0.4030	0.001495	0.976	0.834	-15	1.089	+12	0.912	-7	0.987	+1
64	0.5714	0.001600	0.815	0.821	+1	1.084	+33	0.902	+11	0.976	+20
65	0.4769	0.001401	0.745	0.724	-3	0.889	+19	0.649	-13	0.713	+3
66	0.3678	0.001401	0.570	0.628	+10	0.733	+29	0.541	-5	0.595	+4
67	0.1386	0.000750	0.337	0.324	-4	0.248	-26	0.242	-28	0.259	-23
68	0.1230	0.000700	0.353	0.299	-15	0.217	-38	0.216	-39	0.230	-35
69	0.6003	0.001401	0.926	0.821	+2	1.050	+13	0.762	-6	0.837	+4
70	0.7133	0.001502	0.971	0.900	-6	1.230	+27	1.028	+6	1.110	+14
71	0.6846	0.001650	0.960	0.913	-5	1.252	+30	1.035	+8	1.124	+17
72	0.7089	0.001401	0.849	0.900	+6	1.182	+39	0.856	+1	0.941	+11

表-37. 4 公式の誤差比較

誤差 $\frac{V_{計}-V_{実}}{V_{実}}$ (%)	實測回数 (総数 25 個)			
	著者式	Kutter 式	Matakiewicz 式	溝江式
0~±10	13	2	13	6
±11~±20	11	10	5	13
±21 以上	1	13	7	6
平均誤差	10(%)	24(%)	15(%)	17(%)
最大誤差	-23(%)	+50(%)	-43(%)	-45(%)

表-38 の (I).

著者式及び Kutter 式に因る計算流速及び誤差

$$(1) v_{(1)} = \frac{1}{0.247} R^{0.55} J^{0.20}, \quad (2) v_{(2)}: \text{Kutter 式},$$

$$n = 0.0249$$

実験 番号	径深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 V ₀ (m/sec)	計算流速 V ₁ (m/sec)	誤差 V ₁ -V ₀ (%)	計算流速 V ₂ (m/sec)	誤差 V ₂ -V ₀ (%)
12	0.1877	0.001000	0.439	0.406	-8	0.368	-16
13	0.2311	0.001139	0.431	0.466	+8	0.467	+8
14	0.3091	0.001100	0.588	0.543	-8	0.569	-3
15	0.4115	0.001181	0.591	0.646	+9	0.731	+24
16	0.3411	0.001200	0.524	0.534	+1	0.641	+22
17	0.2309	0.000941	0.453	0.510	+13	0.502	+11
18	0.2297	0.000881	0.444	0.442	-5	0.404	-13
19	0.2163	0.000820	0.440	0.421	-4	0.367	-17
20	0.4291	0.001044	0.615	0.644	+4	0.708	+15
21	0.3441	0.001200	0.529	0.556	+11	0.645	+22
22	0.2716	0.001050	0.513	0.502	-2	0.508	-1
23	0.2576	0.001000	0.447	0.485	+6	0.471	+3
24	0.2074	0.001000	0.449	0.455	+1	0.438	-2
25	0.2064	0.000900	0.380	0.418	+10	0.376	+1
26	0.2074	0.001000	0.400	0.428	+7	0.398	-1
27	0.1512	0.000900	0.398	0.352	-12	0.293	-24
28	0.1578	0.000900	0.351	0.361	+3	0.303	-14
29	0.1148	0.000800	0.326	0.296	-9	0.220	-33
30	0.2515	0.001200	0.505	0.494	-2	0.508	+1
31	0.2116	0.001000	0.383	0.433	+13	0.408	+7
32	0.1842	0.001000	0.357	0.401	+12	0.359	+1
33	0.1334	0.001000	0.401	0.342	-15	0.288	-28
34	0.1132	0.000900	0.365	0.300	-18	0.231	-37
35	0.1152	0.000800	0.360	0.296	-18	0.221	-39
36	0.4025	0.001034	0.808	0.775	-4	0.904	+12
37	0.4797	0.001200	0.684	0.704	+3	0.825	+21
38	0.3013	0.001001	0.500	0.525	+5	0.532	+6
39	0.2612	0.001100	0.504	0.495	-2	0.500	-1
40	0.2236	0.001100	0.393	0.455	+16	0.443	+11
41	0.1644	0.001000	0.378	0.379	+0	0.334	-11
42	0.1620	0.000900	0.367	0.366	-0	0.310	-16
43	0.1557	0.001000	0.394	0.366	-7	0.317	-20

表-38 の (II).

著者式及び Kutter 式に因る計算流速及び誤差

$$(1) v_{(1)} = \frac{1}{0.247} R^{0.55} J^{0.20}, \quad (2) v_{(2)}: \text{Kutter 式},$$

$$n = 0.0249$$

実験 番号	径深 R(m)	水面勾配 I	実測流速 V ₀ (m/sec)	計算流速 V ₁ (m/sec)	誤差 V ₁ -V ₀ (%)	計算流速 V ₂ (m/sec)	誤差 V ₂ -V ₀ (%)
44	0.1208	0.000900	0.336	0.312	-7	0.244	-27
45	0.1063	0.000500	0.317	0.283	-11	0.207	-35
46	0.1064	0.000800	0.345	0.283	-18	0.207	-40
47	0.1032	0.000800	0.341	0.279	-18	0.202	-41
48	0.1193	0.000800	0.317	0.302	-5	0.227	-28
51	0.1167	0.000800	0.374	0.299	-20	0.226	-40
53	0.1437	0.001000	0.342	0.350	+2	0.297	-13
54	0.1274	0.000900	0.384	0.320	-9	0.255	-34
56	0.8207	0.000900	0.956	0.894	-7	1.050	+10
57	0.3975	0.001200	0.548	0.635	+16	0.718	+31
58	0.3988	0.001200	0.633	0.636	+0	0.720	+14
59	0.3358	0.001200	0.440	0.579	+25	0.633	+38
60	0.2404	0.001200	0.448	0.483	+8	0.494	+10
61	0.4998	0.001300	0.731	0.732	+0	0.886	+21
62	0.3798	0.001316	0.557	0.631	+13	0.728	+31
73	0.6592	0.001401	0.791	0.865	+9	1.123	+42
74	0.4144	0.001316	0.557	0.670	+2	0.801	+44

表-39. 2 流速公式の誤差比較

誤差 V _計 -V _実 V _実 (%)	実測回数 (総数744個)	
	著者式	Kutter 式
0 ~ ±10	45	16
±11 ~ ±20	27	23
+21 以上	2	35
平均誤差	9(%)	21(%)
最大誤差	+25(%)	+50(%)

第2節 松花江水系

松花江全水系に互る本格的流量観測は遼河水系の河川調査が一段落した後の昭和16年夏より開始されたる状態である。従つて昭和16年以前の流量調査資料は極めて僅かにして且断片的である。著者も亦松花江本流を局部的に視たるのみで、廣く全水系に互り實地調査を行ひ、河状、河床等の状態を詳細に調査するに至つてゐない。一般に松花江の河状、流域の地勢等は遼河とは可なり相違してゐると思はれる。即ち遼河水系では河川の勾配は概ね 1/10 000 よりも可なり急であるが、松花江本流の勾配は一般に 1/10 000 より遙かに緩かにして、廣大なる北滿の平野を蛇行し乍ら緩かに洗れてゐる。本流の河床は一般に比較的微細なる砂礫より成つてゐる如くであるが、上流部には之と全く反對の河状を呈するものもある。即ち嫩江上流の支川中には河床が砂利、岩石等から成る可なり急流の河川もあると聞いてゐる。それ故に松花江水系に關しては今後詳細に調査する必要があると考へるが、唯茲では移動河床である嫩江本流筋の一地點に於て行ひたる數十個の實測資料に就て、著者、Manning 及び Kutter の 3 公式に因る計算流速の誤差を検して見る。松花江に關する研究は、將來その本格的流量調査が進捗するに伴つて進めて行かねばならぬと考へてゐる。

嫩江筋江橋：昭和14年7月及び同年8月に行ひたる實測資料30個に就て、著者、Manning 及び Kutter の 3 公式に因る計算流速及びその誤差を示せば表-40 の如く、それ等の誤差を比較すれば表-41 の如くである。

表-41 に依れば 3 公式の誤差は殆んど同一であるが、僅かに著者公式が最良の結果を示し、次いで Manning

式, Kutter 式の順序にあり, 平均誤差は 3 式共大體 9% である。江橋の河床は粒徑が可なり大なる砂礫より成つてゐる。而も測定時の水面勾配は略 1/20 000 と云ふ極めて緩かであるから, 河床砂礫は餘り移動してゐなかつた様に思はれる。此の地點では此の測定時よりも増水した時には河床砂礫は激しく移動するが水位が之より低い時には河床砂礫は流れにより掃流されず静止してゐると思はれる。従つて此の實測値以上の水位の時には著者式の精度は Manning 式及び Kutter 式よりも更に高くなると考へる。

第 3 節 Donau 河水系

Danau 河本流筋 Wien: R. Ehrenberger 氏の報告に依れば, Wien 附近に於ける Donau 河の河床は砂礫より成り, その砂礫は砂漣を形成して移動してゐる爲, 流砂量は一定週期の振動的變化をなしてゐると記してゐる。

此の地點に於て可なり古い資料ではあるが, A. Strickler 氏⁽¹³⁾ が行ひたる實測値が 16 個あつたので, 之に就て著者, Kudielka, Kutter, Matakiewicz, 溝江及び Hermanek の 6 公式に因り平均流速及びその誤差を計算したるに表-42 の如く, 又各式の誤差を比較すれば表-43 の如くである。

表-40. 3 流速公式に因る計算流速及び誤差

(1) $v_{(1)} = \frac{1}{0.521} R^{0.55} I^{0.20}$, (2) $v_{(2)} = \frac{1}{0.0325} R^{2/3} I^{1/2}$,
 (3) $v_{(3)}$: Kutter 式, $n=0.0387$

實測 番号	径深 R(m)	水面勾配 I	實測流速 v(m/sec)	計算流速 v(m/sec)	誤差 %	計算流速 v(m/sec)	誤差 %	計算流速 v(m/sec)	誤差 %
1	4.848	0.00056	0.608	0.645	+ 6	0.659	+ 8	0.666	+10
2	4.608	0.00056	0.573	0.628	+10	0.637	+11	0.642	+12
3	4.695	0.00056	0.580	0.634	+ 9	0.645	+11	0.651	+12
4	4.647	0.00050	0.552	0.617	+12	0.606	+10	0.618	+12
5	4.647	0.00050	0.534	0.617	+16	0.606	+13	0.618	+16
6	4.686	0.00050	0.545	0.620	+14	0.609	+12	0.622	+14
7	4.737	0.00056	0.551	0.637	+16	0.649	+18	0.656	+19
8	4.826	0.00050	0.561	0.630	+12	0.621	+11	0.635	+13
9	4.868	0.00050	0.569	0.633	+11	0.625	+11	0.639	+12
10	5.010	0.00056	0.610	0.657	+ 8	0.674	+10	0.683	+12
11	5.077	0.00050	0.571	0.647	+13	0.643	+13	0.660	+16
12	4.251	0.00050	0.600	0.587	- 2	0.571	- 5	0.578	- 4
13	4.352	0.00050	0.635	0.595	- 6	0.580	- 9	0.588	- 7
14	4.434	0.00050	0.635	0.601	- 5	0.587	- 8	0.596	- 6
15	4.571	0.00050	0.644	0.611	- 5	0.599	- 7	0.610	- 5
16	4.597	0.00050	0.646	0.613	- 5	0.602	- 7	0.613	- 5
17	4.646	0.00050	0.648	0.616	- 5	0.606	- 7	0.618	- 5
18	4.526	0.00056	0.676	0.621	- 8	0.630	- 7	0.651	- 4
19	4.566	0.00050	0.683	0.611	-11	0.599	-12	0.610	-11
20	4.777	0.00056	0.663	0.640	- 3	0.653	- 2	0.659	- 1
21	4.955	0.00050	0.711	0.639	-10	0.632	-11	0.648	- 9
22	4.955	0.00056	0.695	0.653	- 6	0.669	- 4	0.678	- 2
23	4.994	0.00050	0.745	0.642	-14	0.636	-15	0.652	-12
24	4.889	0.00050	0.664	0.634	- 5	0.627	- 6	0.642	- 3
25	5.012	0.00050	0.732	0.643	-12	0.637	-13	0.653	-11
26	5.325	0.00055	0.720	0.677	- 6	0.696	- 3	0.679	- 6
27	4.940	0.00060	0.652	0.661	- 1	0.692	+ 6	0.695	-
28	5.017	0.00056	0.689	0.658	- 5	0.675	- 2	0.683	-
29	5.068	0.00067	0.728	0.686	- 6	0.744	+ 2	0.740	+ 2
30	5.095	0.00050	0.776	0.649	-16	0.644	-17	0.661	-15

表-41. 3 流速公式の誤差比較

誤 差 實測値 誤差 (%)	實 測 數 (總 數 30 個)		
	著 者 式	Manning 式	Kutter 式
0~±10	20 個	17 個	16 個
±11~±20	10 "	13 "	14 "
±21 以上	ナ シ	ナ シ	ナ シ
平均誤差	8.6 %	9.0 %	8.8 %
最大誤差	±16 %	+18 "	+19 "

表-42 及び表-43 に依れば, 著者式と Kudielka 式とは殆んど同精度にして, Matakiewicz 式之に次ぎ, 之等の 3 式は他の 3 式よりは遙かに良結果を與へてゐる。Kudielka 式は式中の 2 つの係數 α 及び β の値を此の 16 個の實測値に因り求めたものにして, 此の場合に於ては當然最も精度高きものと考へられるが, 一般に流速公式中に河狀に因り變ずる係數を 2 個も有することは使用上不便にして, 良好なる公式とは言ひ難い。又 Matakiewicz 式は舊オーストラリア, 舊ポーランド等の移動床河川に於ける實測資料により造られたるものであ

(13) V. Kudielka: Grundlagen zur Bestimmung der mittleren Querschnittsgeschwindigkeit in natürlichen Flußläufen. 1925.

表-42 の (I). 6 流速公式に因る計算流速及び誤差

実験 番号	平均水深 H (m)	水質勾配 I	実験流速 V (m/sec)	計算流速 V ₁ (m/sec)	誤差 % (V ₁ -V)/V	計算流速 V ₂ (m/sec)	誤差 % (V ₂ -V)/V
1	2.44	0.000439	1.59	1.55	-3	1.52	-4
2	2.64	0.000452	1.67	1.62	-3	1.64	-2
3	3.07	0.000477	1.81	1.78	-2	1.84	+2
4	3.58	0.000508	2.01	1.96	-3	2.14	+6
5	3.76	0.000518	2.14	2.02	-6	2.21	+3
6	4.52	0.000551	2.44	2.26	-7	2.57	+5
7	4.76	0.000557	2.51	2.33	-7	2.67	+6
8	4.91	0.000561	2.51	2.38	-5	2.78	+9
9	4.95	0.000563	2.45	2.39	-2	2.74	+12
10	5.34	0.000576	2.52	2.50	-1	2.88	+14
11	5.68	0.000588	2.65	2.60	-2	3.02	+14
12	5.91	0.000592	2.66	2.66	+8	3.09	+26
13	7.11	0.000602	2.79	2.95	+6	3.54	+27
14	8.08	0.000590	2.89	3.16	+9	3.58	+13
15	8.48	0.000582	3.01	3.23	+7	3.65	+13
16	8.68	0.000580	2.97	3.27	+10	3.70	+13

(1) $v_{(1)} = \frac{1}{0.226} R^{0.55} I^{0.20}$

(2) $v_{(2)}$: Kutter 式, $n=0.0261$

表-42 の (II). 6 流速公式に因る計算流速及び誤差

実験 番号	計算流速 V ₁ (m/sec)	誤差 % (V ₁ -V)/V	計算流速 V ₂ (m/sec)	誤差 % (V ₂ -V)/V	計算流速 V ₃ (m/sec)	誤差 % (V ₃ -V)/V	計算流速 V ₄ (m/sec)	誤差 % (V ₄ -V)/V
1	1.63	+3	1.40	-12	1.51	-5	1.39	-13
2	1.72	+3	1.48	-11	1.61	-4	1.50	-10
3	1.93	+7	1.67	-8	1.84	+2	1.72	-5
4	2.14	+6	1.90	-5	2.10	-4	1.99	-1
5	2.20	+3	1.98	-7	2.20	+3	2.08	-3
6	2.43	-0	2.27	-7	2.57	+5	2.47	+1
7	2.49	-1	2.33	-7	2.68	+7	2.58	+3
8	2.53	+1	2.38	-5	2.75	+10	2.63	+5
9	2.54	+4	2.40	-2	2.77	+13	2.67	+9
10	2.61	+4	2.53	+0	2.95	+17	2.84	+13
11	2.64	-0	2.67	+1	3.11	+17	3.02	+14
12	2.67	+9	2.73	+11	3.21	+31	3.13	+27
13	2.80	+0	3.00	+8	3.68	+32	3.50	+25
14	2.95	+2	3.20	+11	3.99	+38	3.74	+29
15	3.02	+0	3.24	+8	4.10	+36	3.82	+27
16	3.04	+2	3.27	+10	4.16	+40	3.85	+30

(3) Kudielka 式

$v_{(3)} = \left\{ \frac{\alpha}{(1+I)^\beta} - 0.1 H \right\}$, $\alpha=6, \beta=3.5$

(4) $v_{(4)} = 35.4 H^{0.7} I^{0.493+10I}$

(5) 溝江 式

(6) Hermanek 式

$1.5 \text{ m} \leq H \leq 6 \text{ m}, v = 34 H^{3/4} I^{1/2}$
 $H > 6 \text{ m}, v = 44.5 H^{0.6} I^{0.5}$

表-43. 6 流速公式の誤差比較

誤差 % (計算-実測) / 実測	実測数 (總数 16 個)					
	著者式	Kutter 式	Kudielka 式	Matakiewicz 式	溝江 式	Hermanek 式
0~±10	16 個	8 個	16 個	12 個	8 個	8 個
±11~±20	ナシ	6 "	ナシ	4 "	3 "	3 "
±21 以上	ナシ	2 "	ナシ	ナシ	5 "	5 "
平均誤差	5 %	11 %	3 %	7 %	17 %	13 %
最大誤差	+10 "	+27 "	+9 "	-12 "	+40 "	+30 "

るから Donau 河に於ては精度が高いと考へられるが、著者式は之より更に誤差が僅小である。

第 9 章 結 論

第 1 節 新流速公式の適用範圍

以上に依り河床が砂礫より成る移動床河川に於ては凡ての場合に於て著者の流速公式が最も正確なる値を與へ

ると考へられるが、實際に此の公式を使用するに當り移動床河川の定義範圍が問題になつて来る。滿洲國內の大部分の河川の如く、或は Donau 河の Wien 附近、Rhein 河の Grebenau 附近、Elbe 河、その他ドイツ北方低地河川の大半等に於ける如く、河床が殆んど砂礫のみから成つてゐる場合には移動床河川であることは容易に考へられるが、大小の砂利から成る河床、或は砂利に砂礫が混じたる河床等に於ては、小流量の時は固定し、中大流量の時には移動する場合もあり、實際には移動床と固定床とを區別し難き状態にある河川が多くある。故に著者は新流速公式の適用範圍を明示する。

1. 常時移動床河川

河床の大部分が細粗の砂礫より成り、1 年中の大部分又は少くともその河川の低水位以上の水位に於て、河床が常に移動してゐるものを常時移動床河川或は單に移動床河川と定義する。斯る移動床河川に於ては著者流速公式が常に最適である。假令低水位以下で河床砂礫が静止して居る時でも著者公式を使用して差支ないと考へる。又低水位、平水位及び豐水位の時の砂礫係數 n_v と高水位、洪水時等の所謂出水時に於ける n_v とは全く同一である。

河床が移動してゐるか否かは一般に觀測により知り得るが、又限界掃流力に關する次の如き實驗式を用ひて計算に依つても判斷し得る。

$$dm \leq 0.5 \text{ mm} \quad S_0 = 13.3 \frac{dm}{M} \frac{w_s - w_0}{M} + 22.86 \quad (\text{gr/m}^3) \quad (\text{著者, Indri 式}) \quad \dots \dots \dots (104)$$

$$dm \approx 1.0 \text{ mm} \quad S_0 = \frac{100}{6} \cdot \frac{dm(w_s - w_0)}{M} \quad (\text{gr/m}^3) \quad (\text{Kramer 式}) \quad \dots \dots \dots (105)$$

$$dm > 1.0 \text{ mm} \quad S_0 = 54.85 \frac{dm}{M} \frac{w_s - w_0}{M} - 78.48 \quad (\text{gr/m}^3) \quad (\text{Indri 式}) \quad \dots \dots \dots (106)$$

2. 半移動床河川

河床が大小の砂利より成る河川で平水位以上の時にのみ河床が移動し、それ以下の水位の時には静止してゐる如き場合がある。斯る河川を假りに半移動床河川と定義する。斯る河川の砂礫係數 n_v の値は嚴密には河床の移動時と静止時とを區別す可きであるが、實際には兩値の平均値をその河川に於ける n_v と定めて差支ないと考へる。然し特に精密に流量を算出するの必要ある時は、河床の移動時には著者公式を用ひ、静止時には Manning 公式を用ふる如くするのが望ましい。但し斯る河川に於て逆に凡ての場合に對して固定床河川に對する流速公式（例へば Manning 公式）を採用することは、流量の大なる河床移動時に大なる誤差を生ずるを以て不可である。

3. 一時的移動床河川（固定床河川）

高水位以上の所謂出水時にのみ河床が移動する河川に於ては 1 年の大部分が固定床であるから、一時的移動床と言ふよりは寧ろ固定床河川と稱す可きものである。従つて凡ての場合に於て、固定床河川に對する從來の流速公式を使用して差支ないと考へる。然し嚴密に言へば、出水時には河床が移動してゐるのであるから、その時の流れは當然移動床河川に於ける流れに近い状態にあると考へられる可く、従つて流速公式も著者公式が適當であると考へられるが、唯その砂礫係數 n_v の決定が問題である。即ち出水時の砂礫係數を測定することは一般に極めて困難なるを以て近似的に固定床時の n_v を用ふるの外なく、斯る n_v を用ひた著者公式の精度が Manning 式、Kutter 式等の精度より高いか否かは不明である。而して又出水時には當然、Manning 式、Kutter 式等の粗度係數 n も可なり變化すると考へられるから、その n の値を決定することも問題である。

第2節 結 言

本研究に因り、移動床開水路に於ける流れは固定床開水路に於ける流れと著しく相違してゐることが明かとなつた。その最も著しき相違は、固定床水路の流れに於ては、流れの抵抗係数は主に水路周壁面の粗度及び徑深に因り變化するに對し、移動床水路の流れに於ては、抵抗係数は主に周壁を形成する砂礫の種類及び水面勾配に因り變化し、徑深には殆んど無關係であると言ふことである。従つて固定床水路の流れに於ける實驗及び實測より作られたる在來の平均流速公式は、移動床水路の流れには適用することは出來ず、本研究により得たる新平均流速公式(98)式を使用しなければならないのである。

次に新流速公式の長所を擧げる。

- (1) 移動床河川に於ては他の何れの公式より精度が高い
- (2) 式形が最も簡單にして計算に容易である
- (3) 式形が水理學上合理的である
- (4) 水路の性質により變る係数が1個にして、且その砂礫係數 n_N の値は同一の水路に於ては如何なる水深及び勾配の時でも一定である
- (5) 勾配及び徑深の指數が他の何れの公式よりも小なるを以て著者公式に因る計算流速の誤差は最小である

移動床水路に於ては同一地點でも、水深及び水面勾配の變化に應じて床面に異つた砂漣を形成する爲、水路の粗度(絶對的粗度)は一定ではなく、又渦流の程度も甚だしく變化し、従つて流砂量も變化する。之等の諸原因に基く抵抗係數の變化は前編(24)式の如く、床面を形成する砂礫の種類による係數と水面勾配のみにより表はし得るを以て、(98)式中の砂礫係數 n_N の値は獨り水路周壁を形成する砂礫の種類のみにより變じ、砂漣、渦流及び流砂量の大小には無關係である。従つて砂礫係數と河床砂礫の種類との間には自ら一定の關係が存在すると考へられるが、未だ資料が僅少なると、河床砂礫の種類を簡單に表はすことが甚だ困難なる爲、兩者の關係を見出し得なかつた。

著者が諸河川に就て求めたる砂礫係數 n_N 及び河床砂礫中の砂の平均粒徑 dm を擧ぐれば表-44の如くである。

表-44. 砂 礫 係 數 の 値

河 川 名	遼河本流	渾 河			太子河	柴 河	松 花 江	Donau 河
地 點 名	通 遼	奉 天	撫 順	窪 渾 沐	遼 陽	大 平 寨	江 橋	Wien
砂 礫 係 數 n_N	0.278	0.282	0.205	0.253	0.261	0.247	0.521	0.226
河床砂の平均粒徑 dm (mm)		0.224	0.305	0.673	0.213	0.339		

平均流速公式の決定は河川工學上の基本的な重要問題にして極めて慎重に考慮する必要があるを以て、著者は出来る限り多數の實驗により移動床水路に於ける流れの性質を究明し、然る後、自然河川に對する流速公式の確立に關しては、或る可く多數の而も廣範圍の實測流速に就て計算流速の誤差を比較検討したのである。尙將來滿洲、支那等に於ける河川調査が進捗するにつれて、出来る限り廣範圍の實測資料により著者流速公式の精度を

検討したいと考へてゐる。

附 記 本研究は滿洲國交通部治水調査處長照井隆三郎氏及び同調査科長山田壬三氏の絶大なる援助によりなし得たものにして、茲に兩氏の御好意に對し衷心より深甚なる感謝の意を表する次第である。又實驗に於ては助手ユーゲニー・ゼレピン君の援助を得た。記して以て謝意を表す。
