應用したならば如何であらうか。

著者は小水路に於ける實驗より推論によつて β の値を定め自然河川に於ての適否を檢して居られるが，移動床水路に於ける實驗値 $\beta=0.176$ を 0.18 或は 0.20 とされた迄はさておき，實測値 145 個により α, β, γ を最小自乘法により求めたるに，$\alpha=0.6482\,9$，$\beta=0.3585\,4$，$\gamma=1.0732\,1$ を得たのに對し $\alpha=0.55$ は既に決定してあるから，$\beta \fallingdotseq 0.36$ を採用して $v=\frac{1}{n_N}R^{0.55}I^{0.36}\cdots\cdots(101)$ としたと云ふ事は最小自乘法の原理を應用して式の指數や係數を定める場合に斯樣な方法を採用し得やうか。斯くして作られた式であれば，他の 2 式より誤差の多いのは當然であらう。むしろ渾河及び奉天の式を $v=1.073\,R^{0.65}I^{0.36}$ とされたら如何なものであつたらうか。故に (97) (98) 式を以つて (101) 式に比し誤差が少いから最良なりとは斷定し難い事であると思ふ。

元來指數公式のよく適合する所以のものは，其の河川獨特の性質を以て獨特の流状を呈してゐるものゝ實測資料に基いて，それに最も適合する式を見出したものが指數公式であるから，其の河川或はそれに類似の流狀の河川に應用して適當なるもので，若し其の式中に含まれてゐない他の條件が入つた性質を以て流れてゐる河川では根本的に考へ直さねばならない。そこが實驗式の普偏性の無い處であらう。

移動河床を有する場合の流速公式は其の流狀が單純で無い丈けに抵抗法則も甚だ複雜なものである可く，これを一々係數で表はせば實用上不便な式になるであらうが，少しでも理論に近くあらしめた公式は學問的に意味があるのではあるまいか。Kutter の式はさておき Matakiewicz，溝江氏の式は滿洲國の河川特に著者の資料をとられた河川に應用して誤差が多かつたとしても，式の形等に就ては一考に値するものではあるまいか。

終りに臨み偏見から出發した愚感を申上げ失禮な語句があつた事と思ふが御寛容を頂き度い。

著者 准會員 永 井 莊 七 郎*

今野氏より御討議に接し感謝します。

1. 移動河床に就て

遼河全水系の流域の狀況に就ては先に拙著論文「遼河河床砂礫の移動に關する研究」(土木學會誌第 27 卷第 1 號，20～21 頁) 中にも記した如く，遼河と云つてもその流域面積が 224 700 km² もある廣大なる水系にして，その東部流域と西部流域とは河狀，地質，氣象，森林狀態等に於て著しく相違してゐる。卽ち東部流域は一般に山嶽多く，樹木もよく繁茂してゐるが，反對に西部流域は砂漠，低濕地，不毛地が多い。從つて東部に流域を有する渾河，太子河，柴河，海城河等と西部に流域を有する西遼河，清河，柳河，繞陽河等とは河狀が違つてゐて決して類似の河川ではない。唯類似してゐるのは河床が砂礫より成つてゐて，その大部分が移動床であると云ふ點である。遼河水系には可なり河狀の違つた移動床の諸河川が集つてゐると考へてよからうと思ふ。斯ることは日本內地にある利根川，信濃川等の小さい河川に於ける知識のみでは考へられないことである。又松花江と遼河とでは河狀が可なり大きく違つてゐる。時を作り，實驗室を出て廣大なる大陸の河川を觀察されるならば御理解が出來ると思ひます。又 Donau 河の河狀は遼河，松花江水系の河川とは可なり違つてゐるのではないかと思ふ。小生が流速公式の照査に使用した實測資料の範圍が十分大であるとは考へませんが，今野氏の考へられる如き或

* 工學士 京城帝國大學助教授

る限られた狭い範圍のものではないと考へる。今試みに水面勾配に就てみても，流速公式の照査に用ひた實測資料は $I=1/714\sim1/20000$ に變化してゐる。一般の移動床河川は大體此の範圍にあるのではなからうか。

「河床砂礫の移動狀態は千態萬樣である」如くであるが，之も常流に於ては大體次の 3 種に大別出來ると思ふ。

(1) 河床砂礫の殆んど凡てが砂漣を描き乍ら移動する場合（掃流力及び流速は小）

(2) (1) の場合より掃流力が增大して河床砂礫の 1 部は河床上を砂漣を描き乍ら移動し，一部は浮游して流動する場合（此の場合の砂漣は (1) の場合より大である）

(3) (2) の場合より更に掃流力及び流速が增大すると，流動する砂礫の大部分が浮游し，河床附近では砂粒は直線的に流れ，砂漣は殆んど消えて河床は滑かになる場合

故に實驗に於ては，水路床の砂礫が上記 3 種の移動をなす如き流れを作れば，大體凡ての移動床に於ける流れを近似的に再現し得るものと考へます（斯る場合の相似法則を確立し得ない現在では，此の程度の相似性で滿足する外ないと思ふ）。

柳河々床砂水路に於ては砂粒が小であつたので，上記 3 種の場合に就て實驗し得たが，松花江河床砂水路に於ては砂粒がより大であつて，之に對してポンプの容量が小さく實驗用流量が十分に得られなかつたので，殘念乍ら (3) の場合を實驗することが出來なかつた。それ故望み通りの實驗資料が得られず，ために抵抗法則及び小水路に於ける流速公式の作製に當り多少無理を生じた。

又上記 3 種の場合の各〻に就て抵抗法則を求め，その變化の有樣を見たいと思つたのですが，それには各場合に就て更に多數の實驗を必要とするので，時間と勞力の都合でそれを止め，3 種の場合を包含した抵抗法則（松花江河床砂水路に於ては (3) の場合は包含せず）を求め，目的の流速公式の確立に移つた次第です。實驗の際には之以外にも更に深く硏究して見たいと考へた點も 2, 3 ありましたが，結論が急がれましたので，止むを得ず結論に進んで行つたのです。

次に小生の流速公式が日本內地の砂礫河川に於ける洪水時の流水に適用し得るか否かは小生自身も疑問です。今の處その砂礫係數 n_N の撰定が出來ないので適否を檢することが出來ません。

2. 實驗に就て

自然河川の水が溷濁してゐる流れ（掃流力）に相當する實驗水路の流れに於ては水路の水は溷濁して居ります。唯水路の上流端附近は溷濁しませんが，測定に必要な部分は上流端から相當下流ですから，河水より溷濁の程度は多少少いかも知れないが，實驗水路の水は濁ります。前編の計算例によつて明かな如く，一般に浮游砂礫流送のための損失は，摩擦及び渦動による損失に比して可なり小さいと考へられるから，河水と水路水との間に溷濁の程度に多少の差があつても大した影響はないと考へます。それ故此の點に就ては御心配には及ばないと思ひます。

移動床水路に於ける實驗は固定床水路に於ける實驗に比して非常に面倒である。水深及び水面勾配の測定，斷面積の測定等も精確を期し難い。然し今のところでは，斯る方法により出來る限り精確に實驗を行ひ，その實驗値を用ひて，指數公式中の指數を最小自乘法によつて決定するより外に良い方法はないのではなからうか。然し現在の實驗及び計算方法に滿足せず將來更に良き方法を考究す可きは勿論であります。

3. 移動床河川に於ける抵抗法則に就て

抵抗法則に就ては理論的に考へてみたのですが未だ結論に達するまでに至らないので，實驗式のみを發表した次第です。移動床の流れに於ては (4) 式そのものを檢討する必要がありますが，今暫定的に (4) 式の如き形式を

とれば (29) 式の如くなります。

4. 新流速公式の決定に就て

a) $\alpha=0.55$ の決定に就て，(58) 式の (i)～(v) により嚴密には α は勾配 I の函數であるが，α を I の函數で表はしたのでは流速公式が複雜になつて來る。又計算の結果ではその I の影響け大したことはないと思はれた。小生の目的は論文中にも記した如く，出來る限り簡單な式で而も成る可く精度の高い公式を作ることにあつたのである。α の中に入り來る可き I の影響を無視して α の平均値をとり $\alpha=0.55=$一定 としても公式の精度は餘り低下せず，簡單にして而も誤差の少い公式を得ることが出來たのである。從つて $\alpha=0.55$ としたために公式の適用範圍が限定されることにはならないと考へる。唯小實驗水路に對する流速公式としては式形の簡單と云ふことよりも式形は稍複雜になつても少しでも精度の高い式が望ましいと考へたので (58) の (i)～(v) 式より α と I との關係を求めた處，遼河々床砂水路に於ては次式を得た。

$$\alpha=0.574-122\,I$$

更に (58) 式から n_N と I との關係を求めると

$$n_N=0.105+65.8\,I$$

故に遼河々床砂水路に對する流速式は次式の如くなる。

$$v=\frac{1}{0.105+65.8\,I}R^{0.574-122\,I}I^{0.212}\quad[\mathrm{m/sec}]\ \cdots\cdots\cdots\cdots(57')$$

此の式は (57) 式の $v=\dfrac{1}{0.126}R^{0.532}I^{0.212}$ よりは精度が高く，實驗値全體に對する平均誤差は (57) 式の半分位になるであらうと思はれる。

又 (57) 式と (57′) 式との中間の式として $n_N=$一定 とすれば

$$v=\frac{1}{0.126}R^{0.574-122\,I}I^{0.212}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(57'')$$

此の式も (57) 式よりは稍〻精度が高いと思はれる。然し (57′) 式及び (57″) 式に於ては，水路床の砂礫の種類により R の指數及び n_N が變つて來る。斯樣に流速公式中に水路の砂の種類によつて變る 2 つの係數を含むことは，公式使用上甚だ不便である。又模型實驗に於て相似律を適用する時にも都合が悪い。斯る理由により結局 (57) 式を撰定した次第である。

b) β の決定に就て．水面勾配 $I=1/700\sim1/20\,000$ の範圍の移動床河川には著者の式は最も適してゐると考へる。$I>1/700$ の急流に對する適否は今の處不明である。今後檢して見たいと思つてゐます。

β の決定に當り (100) 式中の $\beta=0.36$ のみを用ひたのは不合理である。此の點は論文提出前取捨を考へたのですが，やはり理窟をつけずに $\beta=0.20$ より大なる値として $\beta=0.30$ を用ひて比較した結果を示した方がよかつたと考へてゐます。$\beta=0.18$, 0.20, 0.30, 及び 0.36 とした (4) 式に因る夫々の計算流速を遼陽及び大平寨に於ける實測流速と比較すれば**表-15** 及び**表-16** の如くである。但し**表-15**（論文後編中の）に於て，44 番の $R^{0.55}=(1.422)^{0.55}$ の値に計算違ひがあつたので，凡ての計算流速及び誤差が僅かづつ違つて來た。玆に訂正する。

$$v_{(1)}=\frac{1}{n_N}R^{0.55}I^{0.18}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$v_{(2)}=\frac{1}{n_N}R^{0.55}I^{0.20}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

表-15. 遼　陽

(1) $v_{(1)}=\dfrac{1}{0.318}R^{0.55}I^{0.18}$, (2) $v_{(2)}=\dfrac{1}{0.271}R^{0.65}I^{0.20}$, (3) $v_{(3)}=\dfrac{1}{0.122}R^{0.55}I^{0.30}$, (4) $v_{(4)}=\dfrac{1}{0.0757}R^{0.55}I^{0.36}$

實測番號	計算流速 $v_{(1)}$ (m/sec)	誤差 $\dfrac{v_{(1)}-v_0}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(2)}$ (m/sec)	誤差 $\dfrac{v_{(2)}-v_0}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(3)}$ (m/sec)	誤差 $\dfrac{v_{(3)}-v_0}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(4)}$ (m/sec)	誤差 $\dfrac{v_{(4)}-v_0}{v_0}$ (%)
1	0.764	− 7	0.767	− 7	0.779	− 5	0.785	− 4
2	0.676	−17	0.675	−17	0.666	−18	0.660	−19
3	0.639	+13	0.638	+13	0.629	+11	0.623	+11
4	0.593	− 0	0.591	− 0	0.584	− 2	0.578	− 3
5	0.589	− 3	0.587	− 3	0.580	− 4	0.574	− 5
6	0.581	+ 5	0.580	+ 5	0.572	+ 3	0.567	+ 3
7	0.577	− 5	0.575	− 6	0.568	− 7	0.562	− 8
9	0.567	+ 6	0.566	+ 6	0.559	+ 4	0.553	+ 3
44	0.933	0	0.936	+ 0	0.951	+ 2	0.959	+ 3
45	0.900	+ 2	0.903	+ 2	0.917	+ 3	1.042	+ 4
52	1.076	− 1	1.082	− 0	1.113	+ 2	1.129	+ 4
53	1.063	+ 6	1.069	+ 6	1.099	+ 9	1.115	+11

表-16. 大　平　梁

(1) $v_{(1)}=\dfrac{1}{0.287}R^{0.55}I^{0.15}$, (2) $v_{(2)}=\dfrac{1}{0.250}R^{0.55}I^{0.20}$, (3) $v_{(3)}=\dfrac{1}{0.125}R^{0.55}I^{0.30}$, (4) $v_{(4)}=\dfrac{1}{0.0828}R^{0.55}I^{0.36}$

實測番號	計算流速 $v_{(1)}$ (m/sec)	誤差 $\dfrac{v_{(1)}-v_0}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(2)}$ (m/sec)	誤差 $\dfrac{v_{(2)}-v_0}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(3)}$ (m/sec)	誤差 $\dfrac{v_{(3)}-v_0}{v_0}$ (%)	計算流速 $v_{(4)}$ (m/sec)	誤差 $\dfrac{v_{(4)}-v_0}{v_0}$ (%)
1	0.630	+15	0.631	+15	0.639	+16	0.641	+17
2	0.571	+16	0.571	+16	0.576	+18	0.576	+17
3	0.539	+11	0.539	+11	0.544	+12	0.544	+12
4	0.550	+ 7	0.550	+ 7	0.554	+ 7	0.554	+ 8
5	0.518	+15	0.519	+15	0.524	+16	0.526	+17
6	0.475	+14	0.476	+14	0.481	+15	0.483	+18
7	0.433	+16	0.434	+17	0.440	+18	0.443	+19
8	0.383	− 5	0.382	− 5	0.382	− 5	0.380	− 6
9	0.389	+ 4	0.388	+ 4	0.386	+ 3	0.383	+ 3
10	0.365	− 1	0.366	− 1	0.365	− 1	0.364	− 1
11	0.353	−15	0.352	−15	0.350	−16	0.347	−16
49	0.282	−16	0.282	−16	0.280	−17	0.277	−17
50	0.278	−18	0.277	−18	0.275	−19	0.273	−20
51	0.297	−21	0.295	−21	0.290	−22	0.285	−24
52	0.409	+ 3	0.408	+ 2	0.405	+ 2	0.401	+ 1
55	0.270	−24	0.270	−24	0.267	−25	0.265	−25

$$v_{(3)} = \frac{1}{n_N} R^{0.55} I^{0.30} \qquad \cdots\cdots (3)$$

$$v_{(4)} = \frac{1}{n_N} R^{0.55} I^{0.36} \qquad \cdots\cdots (4)$$

表-15 に依れば，(1) 式と (2) 式との誤差は同一にして共に平均誤差 5.4 %，最大誤差 −17% であるが，(3) 式は平均誤差 5.8 %，最大誤差 −18 % にして (1), (2) 式より僅かに誤差大きく，(4) 式は誤差最も大にして平均 6.5 %，最大 −19 % である。

又**表-16** に依れば，(1) 式と (2) 式との誤差はやはり同一にして共に平均誤差 12.6 %，最大誤差 −24 % であり，(3) 式の誤差は (1), (2) 式より稍ゝ大にして，平均誤差が 13.2 %，最大誤差が −25 %，(4) 式は更に僅かに誤差大にして，平均 13.8 %，最大 −25 % である。之等の結果によれば，β の値が 0.20 或は 0.18 より遠ざかるにつれて流速式の誤差は増すと考へられる。故に $\beta=0.20$ に撰ぶのが最も適當である。唯何故に $\beta=0.20$ にならねばならぬかと云ふ理論的な證明は未だなし得ないのであるが，之は移動床の流れに於ける抵抗法則の理論的研究によつて解明し得るものと考へて居ります。然し (98) 式が精度の點から云つても，式形の簡單さから云つても，最良であることには變りはありません。

若し流速公式を理論によつて求め得るならば我々の最も望むことである。又成る可く理論的な公式を撰ぶ可きは當然にして，小生も公式の形を撰定するに當つては十分此の點を考慮したのである。Matakiewicz 氏及び溝江氏の研究に對しては敬服し，又それ等の式形に就ても一考の價値は認めるが，移動床の流れに對する兩氏の研究に對して，從つてその式形に對しても未だ不十分であると云はざるを得ないです。