論説報告

土木學會誌　第十四卷第二號・昭和三年四月

マンニングの流速公式の考證

准員　工學士　久野重一郎

Manning's Formula for Flow.

By Juichiro Kuno, C.E., Assoc. Member.

內容梗概

形が簡單で內容が Kutter 公式にほゞ等しき $V=R^{2/3}S^{1/2}/n$ は通常 Manning 公式といはれる。その誘導行程を知る目的で著者は Manning の原論文を精査した。所がそこに彼自ら提示してゐる流速公式は，意外にも前式ではなくて次式であつた。

$$V=C(Sg)^{1/2}[\sqrt{R}+0.22(R-0.15m)/\sqrt{m}]$$

そして 1895 年までに彼が他式を發表しなかつた事は彼の論文がこれを明かに物語る。また其の後彼が新式を出したといふ典據は存在しない。從て著名な人のなした編纂的著述が世に誤を傳へたと見ればならぬ。一方眞の Manning 式は未だ充分でない。

Synopsis

A formula for flow characterized by simplicity and by approach to Kutter's in result, commonly known as Manning's is

$$V=R^{2/3}S^{1/2}/n$$

The author in going through the writings of Manning, with the object of finding the derivation of the formula, found the following to be the true formula of that name

$$V=C(Sg)^{1/2}[\sqrt{R}+0.22(R-0.15m)/\sqrt{m}]$$

From his works it is to be seen that no other formula was put forth by him previous to 1895, and as there is no record of new ones of his appearing since then, some authorities seem to have erred in ascribing the first preceding formula to Manning. The real Manning's formula, as it is, appears to be far from being free from imperfections.

目次

第一章　緒　論

「おほ空高く懸れる日月星辰の運行を究むるは易い，だが脚下を流るゝ河水の法則はこれを明かにし得ない。」から Galileo は 16 世紀末葉に歎いた。爾來星うつり物かはること三百轉。その間 Hydrodynamics が抽象解に於て異常の發達をとげをるに拘らず，若し人あつて一般開渠に於ける現實の流相を，高き數學の殿堂中に組織しやうとするならば，最終の一階梯に至り事志に相添はぬを知るであらう。誠に洋々たり滔々たる流水は，現象として詩人の心を捕へるに充分であるが，精嚴なる科學組織に向つては問題必ずしも解けて居らない。即ち Galileo の歎きには依然として生命がある。

「確實に信頼し得るやうな不定流の理論をもたぬのは遺憾この上ない。しかし整定流について見ても多く疑問があり幾多の困難が存する。それで一番よいのは自分の經驗に俟つことである。だが經驗ないものはどうするか。それはやむを得ないからたとへ不完全でも所謂實驗式の形に要約された他人の經驗に從ふよりほか仕方がない。この意味に於て實驗式は必要である。」Robert Manning はさういつた。しかして J.P. Griffith が「流速，流量を求める最善の方法は直接測定である」と述べたに對し，T.F. Pigot はかう答へた，「河川改修，灌漑排水渠，其の他の送水路を築造せんとする場合，水流れざるに先立つて實測し得るものでない」と。やはり實驗式は必要である。そしてよく作られゝば精嚴はなくとも概勢を備へ，恒理を缺いでも常性をもつ。だから純粋性のない故を以て存在を拒むのはよくない，嚴密を期待し得ない理由で全價値を否定し去るも早計である。

實地に於ける豐な經驗は又時によるとかういふ論斷に到達することがあり得る。「公式は當てにならない，その設計はかうすればよいのだ」と。しかしそれだけでは個別，獨自の世界は開けても普遍性を缺く。即ちよく自利すと雖も未だ利他するに到らずして小乘の天地に彷徨す。しかして經驗淺きものが富めるものと同じ判斷又はそれに近き判斷をなし得る能力は一念卒爾として獲得されるものでなく，他人十數年の經驗を一夜にして受領するは甚だ難い。それ故豐富な經驗的直感は少くとも數量に關する限り公式に要約さるべきを理想とする。從て實驗式全般の否定は科學の冒瀆であつて，吾々は不精密な式だけを拒めばよい。既往式の數者が不確實であるといふ事と，公式樹立が無價値であるといふ事とは，批判のレベルを異にする。

現今世界に盛名ある Kutter 流速式も內部的には幾多の無理があり外形的には頗る錯雜煩瑣である，しかし其の式が尙一世に行はれ居ること其の事は，之を抜くもの未だ出現せざること及實驗式の必要性を明示するに外ならない。故にこれを批判し其の存立を問題にせんとするならば，まづ之に代るべきものを豫め樹立しおかねばならぬ。この目的に向つて提示されたものゝ一つとして所謂 Manning 流速式を擧ぐることは，最近の文献よりすれば差支ない所である。其の式形の簡潔さに關しては恐らく誰人も推奬するに異論ないと思ふ。しかし其の誘導行程即ち內的妥當性の如何については今日なほ明確を缺き，依て若干の學的興味を殘留する。このやうな意味から著者は斯式の考證をとげやうと志した。

「1835 年愛蘭の Dublin に創立せられた所の愛蘭土木學會は，大抵毎月 1 回專門學術の講演會を開いてをつた。Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland は其の公表機關誌であつた。しかして Robert Manning はこの會の會長をもつとめたことのある同地の技術者であつた。1889 年 12 月 4 日の例會で彼は一場の講演を試みた。On the flow of water in open channels and pipes といふ表題であつた。當時 60 歲に近い彼がこの日提示した流速式は劃世的なものと傳へられた。續いて 1895 年 6 月 5 日更に前論の補足を發表した。これらの論文及それへの討議は該 Trans. Vol. 20 及 Vol. 24 に掲載されてゐる。」

大凡これだけの概要は他の文献から知らるゝのであるが，さて其の誘導行程を明かにすべき該原典は，日本には 1 冊もないのであつた。その上該誌の發行部數は當時僅か 250 內外らしく，40 年後の今日では稀書に屬し，容易には手に入るべきものでない事明であつた。やむを得ず其の頃（大正 14 年夏）英國に居られた九州帝國大學助敎授安藏善之輔氏に御依頼して，Institution of C.E., London の書庫にあるものから要點を御寫し願ひたき旨御懇望申し上げた。甚だ失禮な不躾な御願であつたにも拘らず同氏は快く御承引下すつて，早速ノートを米國經由（その頃シベリアは未だ不通）で御送り下された。非常な御多忙中多大の御盡力を忝うしたことは誠に感謝に堪へぬ次第であつて，著者の悅びと嬉しさは何にたとへやうもないのであつた。一方これと前後して全然無駄な事とは思ひながら 2, 3 の書店へ原典蒐集を依頼した。ところが意外にも 1 年餘の時をおいて如上 2 冊の原典が丸善書店からとゞけられた。他の書店からは 3 年たつても何の返事も來ない。

かやうにして 2 通の原文を手にした著者は，玆に自信を以て Manning 式誘導行程を吟味し得ることゝなつた。しかるにそれは期待に反して甚だ意外なる結果に陷つた。即ち多くの文献が Manning 式と呼び傳ふる所のものを，Manning 自らの論文中に見出すことが出來なかつたのである，彼が親しく提示した所の式は吾々のあまり見たことのない形のものであつた。狐につまゝれたやうな次第であつて，著者は更に他の文献の考證に 1 年餘を費した。しかし結局新しい結論は生れなかつた。その結果著者は旣往の持論の全部を取消さねばならぬ事になつたのであるが，他の一面に於ては，一犬虛に吠へて萬犬實を傳へし如き Manning

式の眞相に關する一個の私見を新たに獲得することが出來た。これ誠に一個人の胸底深く秘めおくには餘りに大きい學界の異聞であるが故に，玆に之を公表して遍く江湖の御批判に訴へたいと思ふ。希くは大方諸賢の御教示御叱正を賜はりて足らざるを補ひ，以て現代學術の純化に寸尺の寄與を致すを得ば幸甚これにすぎない次第である。

第二章　Manning 以前の流速式

「過去百餘年間幾多著名な人々のなした業績をこゝに廢棄せんとするに當つて，この方面の歴史を瞥見し且既往諸公式が余のものと如何に一致し又は相違しをるかを明かにすることは徒事ならずと思ふ」。かう冒頭して Manning は次の叙説に論を起してゐる。

Galileo が落體の法則を發見して後その弟子 Torricelli は，孔から噴出する水の速度も同様の法則に從ふことを知つた。これを更に河流へ擴張しやうとした人に Milan の土木技師 Guglielmini があつた。しかしその説は Pitot によつて覆された。其の後巴里土木工學校長Antoine de Chezy が開渠の整流に關する代數公式を創定した，時は 1775 年。流水の平均速度を V, 動水半徑を R, 水面勾配（嚴密にはその正弦）を S として彼は

$$V=C\,(RS)^{1/2}$$

を導いた。流速式の歴史こゝに始まるのであるが當時は專ら河川即ち土渠に限られた。4 年おくれて 1779 年 Du Buat の名著である Principes d'hydraulique が出た。そこに示された新公式は

$$V=(R^{1/2}-0.1)\,[297/\{S^{-1/2}-\mathrm{Log}\,(S^{-1/2}+1.6)\}-0.3]$$

單位は古制の佛蘭西吋であつて 1 佛吋＝～2.7 糎。そして彼はいふ，「渠壁面には薄い水膜が常に密着してをつて，壁と流水は直接々觸しない，從てこの部分に摩擦は起らないから壁の粗滑は流速に影響がない，そして流れを妨げやうとする力は水の分子間摩擦だけである」と。この説はしかし問題であつてまづ Prony が反對した，その後の人々も大抵は賛意を拒んだ。Eytelwein は

$$V=52.3\,(RS)^{1/2}-0.033 \qquad (\text{米秒單位})$$

を提示した（と Manning は記してゐるが之には異論があり得る）。更に Mississippi 河の實測に從事した Humphreys & Abbott（以下煩を避くるため Abbott だけで 2 氏を代表する）は 1861 年その報告書を完成し，同時に大河に對して次の流速式を導いた。

$$V^2=\{B+15\,D^{1/2}\,S^{1/4}\}^{1/2}-B^{1/2}$$

$$D=A/(p+w), \qquad B=0.0081\times 1.69/\,D+1.5)^{1/2}$$

玆に A は河の斷面積，p は潤周，w は河幅である。單位は呎秒。更に「流水現象を總括するやうな解析的法則は，よしあつても極めて煩瑣なものであらう。今日ではかやうなものは

得られまい，それは流動の眞相が殆ど捕捉されないからである。從てこの方面では慾望に制限が必要である」。Darcy et Bazin は其の Recherches Hydrauliques, 1865 の 82 頁にかう斷つて土渠に對し次式を導いた。

$$V=[RS/0.0028\,(1+1.25\,R^{-1})]^{1/2} \quad \text{(單位は米秒)}$$

けれども上式樹立に用ひた實測値は動水半徑 1 米を出でない。だからそれ以上の河に適用し得るや否やは疑問であつて，この障碍を除かうとしたのが Ganguillet & Kutter (以下 Kutter だけで 2 氏を代表する) である。氏等が公式樹立に用ひた實測値は，動水半徑が 2.5 吋～8 呎，水面勾配が 1/250 000 より 1/4 までを包括した。1869 年周知の如く米秒單位で次式が示された。

$$V=C\,(RS)^{1/2}, \qquad C=z/(1+xR^{-1/2}),$$
$$x=n(23+0.00155/S), \qquad z=1/n+23+0.00155/S.$$

この式はまたゝくまに歐大陸を征服した。1876 年には海峽を渡つて英國へ入つた，そして一般から優秀なものと謳はれた。ある雜誌は大いに太鼓をたゝいてかう書いた，「Du Buat の本はもう本棚の一番上の方へ置いてよい，そのほか有名だつた人々の論說も同樣に處分すべき時が來た」と。これに先立つて St. Venant は米秒單位で

$$V=(RS/0.0004012)^{11/21}$$

を提示した。又 Neville は

$$V=77\,(RS)^{1/2}-5\,(RS)^{1/3}$$

を出し更に Weisbach は次式を發表した。單位は共に米秒。

$$V=4.43\,(RS/Z)^{1/2}, \quad Z=0.007409+0.000434/V$$

【以上揭げた 9 式が Manning を繞る流速式であつた。彼はこれを峻嚴に批判して更に自式の建立へと階を昇らうとするのである。玆に Bazin の新式が含まれてゐないのは，その發表がずつとおくれて 1895 年であつたからである。しかして彼は先づ次のやうに論を進めて行つた。】

流水のうくる抵抗が渠壁の粗滑に無關係であるといふ Du Buat の結論は，彼がほゞ同種の壁質のみにて實驗せしため粗滑の影響を見る機會に接しなかつたのであると思はれる。實際彼の說を以てしては Darcy の實驗結果を說明するには少からざる困難を覺えるのである。又 10 年の歲月を閲して脫稿したといはれる彼の著書は Chezy 公式に一言もふれてゐない。これより見ればこの 2 人は全く獨立的にほゞ同形の流速式に達したものと思はれる。即ち一方が他を改良したといふわけでない。Eytelwein の式は Chezy 式に少しく改良を加へたにすぎない。そしてこれらは皆粗滑の影響を忘れてゐるのである。「流水のうくる抵抗は平均

流速の 2 乘よりも小さい割合で變る」といふ Du Buat の提說はしかしながら一世の至言であつた。この事を實現するために Bazin は係數 C 中に R を挿入した，Weisbach は特殊な變形數を導入した，St. Venant は指數を變へた，Neville は立方根の第二項を添加した。そして遂に Kutter 式に至つて實測資料の範圍大なることによつて他式を凌駕するまでになつた。所でこの式をかくも複雜にしたのは Mississippi 河の實測を加へた結果であるが，該實測の精度を他と同一水準におくことは實は甚だ難事であるのである。この內部的な無理に加へて實用上から見ても該式は決して簡單でない。流速を求むるには前述の如く數個の手續を經ねばならぬといふのは，何んといふても外部的障碍の一つである。

更に實測値へよく一致すれば式形を如何にとるも差支へないとはいふものゝ，從來の諸公式は次元性即ち同次性を持つものが一もない。即ち物理學的公式にはなつてゐないのである。故にかゝる式の眞實なのは實測範圍內に於てゞあつて，やかましくいへば實測値以外へは適用出來ぬのである。かやうに考へて來ると吾々のうけついだ事實及理論は更に注意深く研究し直す價値があるやうに思はれる。即ち一層優秀な部面の展開が吾々を待つてゐるではなからうか。

第三章　Manning 流速式—A

Manning は語をついで次のやうに述べる:—

こゝに先づ次の 5 項を假定する。

1. 整流 (Uniform flow) に於ては加速力と減速力とが釣合つてゐる。
2. 流動を引起す加速力は渠にそへる重力の分素 Sg である。
3. 減速力は周壁摩擦，粘性抵抗，自由面の摩擦なる 3 要素から成る。
4. 周壁摩擦は動水半徑に逆比例する。
5. 抵抗は平均流速の 2 乘よりも小さい割合で變る。

これらを考慮して次の基本式を選定した。

$$V=C\,(Sg)^{1/2}\,[R^{1/2}+f\,(R)] \qquad \cdots\cdots(1)$$

未知函數 $f(R)$ は最初常數において見た。そして實驗値を挿入したところ，小管についてよい結果が得られなかつた。且常數では式が次元性を備へぬことになる。そこで考へたのであるが，玆に何かある函數が逸せられてをるに違ひない，勿論それは微細で常數に近いものでよいが，たゞ次元的には (1) から判るやうに長さの平方根に等しいことを要する。この考へは次の記憶によつて勇氣づけられた。即ちその第一は Mississippi 河が深さに比べて幅が大であり從て河幅と底壁の長さが殆ど相等しい事から，Abbott は水面摩擦の影響を周壁摩擦と同等に考へたといふ事實である。第二は James Pearson, Treatise on the Tides に見え

てゐるやうに，愛蘭の海面がある時氣壓の變動によつて 14 吋降下したといふ事實である。第三は Sir James Ross が北極洋の觀測から大洋はそれ自ら1個の大氣壓計であると結論した事實である。これらの事柄から見ると流動には水面積の影響があり，水面は氣壓に左右されるといふ二つの事が明かになる。從て氣壓が開渠の流動に關係すると考へ得る。但しその影響は微細かも知れないが，さういふ考へが誤りであるとは斷言出來ぬであらうと思ふ。斯樣に考へて (1) を次のやうに更改した。

$$V=C\,(Sg)^{1/2}\,[R^{1/2}+0.22\,(R-0.15\,m)/m^{1/2}] \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(A)$$

C は壁質によつて相違すべき常數即ち粗率である，重力常數 g は Rと 長さの單位を等しうする，m は R と同じ單位で表はした水銀氣壓計の讀み即ち氣壓高を表はす。この式に於て有元のものは V, g, R, m の 4 個であつて各項の次元は通常の記法に從へば，

$$V=[L/T],\quad g^{1/2}=[L^{1/2}/T],\quad R^{1/2}=[L^{1/2}],$$
$$(R-0.15\,m)/m^{1/2}=[L^{1/2}]$$

よつて右邊の各項もみな $[L/T]$ なる次元をもつ。即ち (A) は同次式であつて，單位系統を如何に變更しても係數値を換へるに及ばない。これ上式のもつ顯著な特性であつて，米秒でも呎分でも尺秒でも係數はそのまゝでよいといふ利便は既往式に於ては實現されなかつたのである。更に單位を異にする數系統の實測値をそのまゝ使用して常數確定に資し得る簡便さを指摘するならば，到底他式と同日の談でないのである。而して係數既に定まりて後の實用的立場のみに着目すれば，式中の g, m 等を數字に換へおくを便とするであらう。今氣壓の平均値を 30 吋と假定すれば前式は，

呎秒：　$V=C_1S^{1/2}\,[R^{1/2}+R/7-0.05]$ $\cdots\cdots\cdots\cdots(2)$

米秒：　$V=C_2S^{1/2}\,[R^{1/2}+R/4-0.03]$ $\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$

良質の土渠では　　$C_1=62,\quad C_2=34.$

以上が眞の Manning 式と稱すべきものであつてこの完成に 4 年以上の日子を費した。式 (A) の係數を定めるために 160 個の實測を利用した。そのうちの 20 個につきて實測流速と式 (A) による計算値とを比較して見ると次の**第一表**を得る。こゝに收錄するものゝ水面勾配は 1 哩に對し 0.5 吋～1 200 呎，動水半徑は 0.5 吋～101 呎，流速は毎秒 2 吋～250 吋の範圍を包容する。又長さの單位はいろいろであつて略號は次の通りである。

E＝English feet,　F＝French inches,　S＝Swiss feet,　M＝Metre.

そして**第一表**から見れば次のやうに結論することが出來る。

1. 實測値と計算値とが非常によく一致してゐる。
2. 適用範圍が極めて廣汎である。

3. 單位系統によつて常數値をかへる必要がない。

第一表　式(A)による流速と係數

番號	實驗者	種類	單位	R	S	實測流速	計算流速	C
1	Revy	Parana 河	E	36.45	0.0000067	1.804	1.819	11
2	Abbott	Mississippi 河	E	64.52	0000437	6.825	6.993	〃
3	Du Buat	Hayne 河	F	55.347	0001654	27.620	25.753	〃
4	〃	Canal du Jard	F	40.428	0001121	17.420	17.430	〃
5	Kutter	Linth Canal	S	5.200	0.00029	3.470	3.450	12
6	〃	〃	S	9.300	00037	5.620	5.663	〃
7	Bazin	Burgundy Canal	M	0.0989	10100	3.747	4.030	13
8	〃	〃	M	0.1424	10100	4.931	4.998	〃
9	〃	〃	M	0.1767	0.10100	5.694	5.670	〃
10	〃	〃	M	0.2017	〃	6.429	6.202	〃
11	Darcy	鑄鐵古管	M	0.0090	00025	0.051	0.051	15
12	〃	〃	M	0.0608	04105	2.073	2.229	〃
13	〃	〃	M	0.0608	0.13981	3.833	4.115	〃
14	〃	鑄鐵新管	M	0.0205	00232	0.358	0.364	20
15	〃	〃	M	0.1250	00045	0.449	0.476	〃
16	Ftely	煉瓦張渠	E	1.0709	0001893	1.844	1.856	21
17	〃	〃	E	2.3297	0.0001889	2.937	2.945	〃
18	Bazin	セメント塗渠	M	0.1116	00150	0.921	0.935	23
19	Darcy	鉛新管	M	0.0035	00336	0.165	0.166	29
20	H. Smith	硝子管	E	0.0105	23090	4.436	4.356	31

【以上は 1889 年 12 月 4 日發表せしものゝ要旨であるが，更に 1895 年 6 月 5 日の愛蘭土木學會例會に於て Manning は次の補足を發表した。こゝに揭ぐるはその概要である。】

Kutter が其の流速式建設に用ひた實測値數は 210 個であつた。その範圍に於て Kutter 式は他式より遙かによく實測値に一致したと明記されてゐる (Hering & Trautwine, Flow of Water, p. 78～85)。よつてこの 210 個の實測を襲用して 式 (A) の與へる流速及粗率 C の計算を試みた。今一例として Bazin の實驗第 24 系に關する分を摘出すれば次の通りである。

第二表　四公式の與へる流速比較

番號	實測値	Abbott	Bazin	Kutter	Manning (A)	係數 C
1	0.921	0.32	0.91	0.91	0.98	22.71
2	1.135	0.38	1.10	1.14	1.18	23.25
3	267	42	23	29	28	.83
4	401	44	35	40	41	24.01

番號	實測値	Abbot	Bazin	Kutter	Manning(A)	係數 C
5	483	46	39	49	49	.05
6	562	48	45	57	55	.24
7	612	50	50	63	62	.02
8	631	51	55	70	67	.27
9	754	52	58	74	71	.22
10	803	53	62	79	75	.82
11	847	54	65	84	79	.88
12	1.862	0.54	1.65	1.84	1.79	25.01

式 (A) を支持する實測値數がこれによつて 160 個から 210 個へ擴張せられた。その點では Kutter 式と基礎が同じになつた。今實測を正確とみるならば實測流速に近い計算値を與へる公式ほど精密にして妥當性高いことになる。よつて上記 210 個の實測について 4 公式に於ける實測値對計算値の誤差を計算してみると次表を得る。

第三表　四公式の誤差比較, %

公式名	Abbott	Bazin	Kutter	Manning(A)
誤差 7 % 以内の個數	15	68	84	85
〃 10% 以内 〃	17	80	91	91
〃 10% 以上 〃	83	20	9	9

更に一歩を進めて實測値を 643 個まで擴張して同樣の手續を行へば次の通りである。

第四表　式 (A) による誤差の分布

誤差の大さ, %	0	1	2~3	4~5	6~7	計	10 以内計
上記誤差發生個數, % ..	15	20	24	15	9	83	88

この 2 表を比べて明かであるが,實測個數の增加によつて誤差が遞增したといふやうな形勢は寸毫も見えない。故に正確さに關して式 (A) は Kutter 式に劣らないと言ひ得るのである。さきに前論文を發表したとき係數を定めるに 160 個の實測では少なすぎるから式 (A) に價値がないといふ非難をした人があつた。そしてその人は Kutter 式を無條件で推してゐるのであるが, 該式が 160 にあまり遠くない 210 個の實測から誘導されてゐるといふ事實は恐らく之を注意してをらなかつたに違ひない。假に 160 個では過少であるといふ事を許すとしても, 今 Kutter 式のものに約 3 倍する 643 個の實測を用ひて Kutter 式に劣らない結果を上表の如く明示した以上,上の如き非難は當然消滅するものと思はれる。さて Kutter, Manning の兩式が精密さに於てほゞ同等となつた以上, 次に來る問題は實用的には何れが便利であるかといふ事である。提示者は勿論式 (A) の方がずつと簡單であると思ふのであるが, しかしこれは使用者各位の方寸にお任せすべき事であつて, 提示者自らが一般的指示をなすべき性質のものではない。

更に提示者は實測 643 個について係數 C, C₁, C₂ を求めて見た。それによると粗率は渠で56種，管で29種といふ多數に分れた。(該數値をこゝに轉載することは省略する)。

第四章 Manning 流速式—B

1889 年の Manning の論文中には更に次の一節があつた:—

過去一世紀間に現はれた流速式を別々に研究することは誠にあきあきする程の仕事である。それで今は個別的にみる代りに，最も著名なもの7種を選びて之を比較してみる。即ちいま $S=0.0001$ なる土渠をとり Kutter 式では $n=0.025$ とする。そして種々の R に對する流速を7公式から計算する，單位は米秒とし結果の一部を示せば次表の通りである。

第五表 諸公式による流速

R	0.25	1.0	5.0	10.0	30.0
Eytelwein	0.2285	0.4901	1.1367	1.6211	2.8320
Du Baut	2176	4423	0.9979	4241	2.4546
Bazin..	1220	3984	1.1952	7818	3.2067
Weisbach..	2524	5121	1506	6304	2.8433
St. Venant	2337	4831	1225	6139	2.8694
Kutter	1338	4000	2254	9031	3.6571
Neville	2388	5379	3250	9350	3.4964
平均値	2038	4663	1648	7013	3.0514
Manning (4)	2043	4526	1780	7972	3.5187
〃 (6)	2083	4600	1538	7147	3.2124

さて次に (a) 各公式の提示者は出來る限り實測流速に近き値を再現するやうに式を作つた。(b) 從て諸公式の平均値は實測値への近似性が最も高いものとみて宜しい。といふ2項をまづ假定して前表の平均値に最も近い曲線の方程式を求めたところ檢算的に

$$V=32\,[SR\,(1+R^{1/3})]^{1/2} \quad \cdots\cdots (4)$$

を得た。次に S はそのまゝにして R の影響を一項に取纒めやうとするならば，式形を次の如く選ぶは一法である。

$$V=CR^{x}S^{1/2} \quad \cdots\cdots (5)$$

この式が前表の平均値に近い曲線を表はすためには，指數及係數は次の値で充分であることがわかつた。

$$V=46\,S^{1/2}\,R^{4/7} \quad \cdots\cdots (6)$$

(4) 及 (6) による流速は前表の下部に追加しあるやうに既往式の何れよりも平均値に近

い。しかしこれらは特定勾配についてゞあるから直に一般を推すわけにはゆかない。次に任意勾配についてもこれが正しいかどうかを見るために Bazin の人工渠に於ける實驗について吟味した。これは勾配及壁質の一定したものについて流量を樣々にかへて R, V を測定したものである。今その一系に屬する實驗値數個の最初のものゝ動水半徑及流速を夫々 r, v とすれば (5) から

$$v=CS^{1/2}r^{x} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

であつて其の他の實驗値は一般に $R=ar,\ V=bv$ として表はすことにする。a, b は各個の實測値を最初のものに比較して求められる。次に (5) の未知數 C, x の中 C は一定渠では一定の筈であるから一般に

$$bv=CS^{1/2}(ar)^{x}$$

と書かれる。これと (7) とより $b=a^{x}$ を得べく從て指數 x の値は

$$x=\log b/\log a \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

として求められる。このことを Bazin の實驗第 24 系（セメント塗半圓渠で流量を 12 樣にかへたもの）に對して行へば次表がある。そして個々の x を平均すると 0.6623 になる。又 (7) から $C=103$ を得た。

第六表　指數 x の算例

番號	流量	動水半徑	測定流速	指數 x
1	0.100	0.1116	0.921	不定
2	203	1533	1.135	0.658
3	307	1844	1.267	635
4	411	2080	401	674
5	515	2286	483	664
6	618	2465	562	648
7	721	2642	612	650
8	824	2790	681	655
9	927	2893	754	676
10	1.030	3025	803	674
11	1.133	3137	847	673
12	1.163	3153	862	678

同樣にして Bazin の實驗第 25 系（モルタル塗半圓渠で流量を 10 樣に變へたもの）から平均値 $x=0.6499$ を，第 4 系（小砂利張り矩形渠で流量を 12 樣に變へたもの）から 0.7635 を；第 5 系（大砂利張りで條件前に同じ）から 0.8395 を得た。指數 x を定めるための計算はこの 4 系だけにとめた。本來ならば同樣の手續を更に多くの實驗に對して行はねばな

らぬのであるが，上記の事だけでも實用的指數としては $x=2/3$ をとればほゞ充分であらうといふ推定がつくやうに思ふ。よつて次の式が作られる。

$$V=CS^{1/2}R^{2/3} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (B)$$

この式の正確さを見るために實測 170 個の R, S を夫々上式に代入したときの V と實測された流速とを比較して見ると，次表の如く兩者の誤差が 7% 以上に達するのは極めて少數であつた。

第七表　式 (B) の檢査

實驗者	實測個數	誤差 7% 以上の個數
Darcy & Bazin	104	12
Ganguillet & Kutter	40	5
Ftely & Stearns	15	0
Humphreys & Abbott	10	8
Revy	1	0
合計	**170**	**25**

更に Bazin の實驗第 49 系（底壁泥土なる自然渠にて形正しく雜草なし）に於て計算流速對實測流速の比を 3 種の公式について求めてみると，次表の如く式 B が最も良好な結果を與へることがわかつた。

第八表　三公式の比較

番號	勾配	動水半徑	流速	比, % 實測	Kutter	Bazin	Manning
1	0.000250	0.2929	0.270	100	94	83	**106**
2	275	4013	407	100	83	79	**91**
3	246	4773	415	100	88	82	**88**
4	275	5433	447	100	93	90	**101**

流速式 (B) は式 (A) を作るよりもずつと前，即ち 1885 年の頃作つたものであつた。そしてこの形は實は既に他の人も考へてをつたのである。それといふのは Cunningham の論文 (Proc. I.C.E., Vol. 71, 1883, p. 30) で紹介された Hagen の河渠に對する式として

$$V=65\,R^{2/3}\,S^{1/2}$$

があつた。も一つは Hamilton Smith, Hydraulics, 1886 で提出された

$$V=CR^{0.62}S^{1/2}$$

であつてこれは Ftely & Stearns が Boston で行つた實測から作つたものである。

第五章　流速式(A)及(B)の批判

既に前三章に於て Manning の論文の要旨を紹介し終つたのであるが，然らばまづ式 (A) が果して掲示者のいふ如く妥當性に富むかといふに，それは少からず問題である。注意深い讀者はすでに第三章の記述に於て推論に一條の不透明さを直感されたことゝ信ずるのであるが，玆にその點を一層明瞭に記してみたいと思ふ。

疑義の第一は流速に關する計算値である。そもそも計算値とは何を意味するものであるか。

叙述の簡約をはかるため式 (A) を假りに

$$V=Cf(R,S)\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(9)$$

$$f(R,S)=(Sg)^{1/2}\left[R^{1/2}+0.22\,(R-0.15m)/m^{1/2}\right]$$

と略記する。さて公式 (A) の妥當性を吟味するに當り Manning は，一つの渠に於ける實驗數個を一系として取扱ひ，殊に Bazin の實測を借用した大多數に於ては，勾配及壁質の一定した一つの渠で流量を數樣にかへて行つた時の結果を一系と呼んだ。そして各系には夫々 1～12 個の實測が含まれてをつた。こゝで特に注意すべきは，一系といふ言葉は單に實測本位の分類であつて，同種の壁質を綜合したものではないのである。そこで Manning はまづ一系の實測を取上げて，その中の個々の實測即ち測られた V, R, S を用ひて實測各個の係數 C を計算した。即ち

$$V_1=C_1f(R_1,S_1),\ \ V_2=C_2f(R_2,S_2)\ldots\ldots V_n=C_nf(R_n,S_n)\ \ \ldots(10)$$

n は前いふ通り大部分 12 以下で中には 1 のものさへ少くなかつた。かやうにして出した係數を次に該系だけで平均した。即ち

$$C_0=\frac{1}{n}(C_1+C_2+C_3+\ldots+C_n).\ \ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(11)$$

次にこの C_0 と實測した R, S とを用ひて式 (A) から流速を計算した。

$$V_1'=C_0f(R_1,S_1),\ \ V_2'=C_0f(R_2,S_2),\ldots V_n'=C_0f(R_n,S_n)\ldots\ldots(12)$$

かやうにして求めた V_1', V_2' 等を彼は計算値と名づけ，之に對して式 (10) に使用した V_1, V_2 等を實測値と呼んだ。そして V_1 と V_1', V_2 と V_2', $\cdots V_n$ と V_n' を夫々比較して誤差が小さいから式 (A) は妥當であると結んだ。勿論この事は 643 個について行つた。

この推論を大觀して知らるゝことは，所謂計算値が純粹なる計算値ではなくして實測値の色彩極めて濃厚なることを拒み得ないのである。從て腦裡に浮ぶ第一の疑惑は，V_1', V_2' 等を果して計算値と呼び得るや否やといふことである。又假りに呼び得るとしても，それを V_1, V_2 等に比較することが公式を價値づけるに充分なりや否やといふ問題を生ずる。試みに今 (10) と (12) の比を求めれば

$$V_1'=\frac{C_0}{C_1}V_1,\quad V_2'=\frac{C_0}{C_2}V_2,\ldots.V_n'=\frac{C_0}{C_n}V_n\quad\ldots\ldots\ldots\ldots(13)$$

よつて所謂計算値なるものは必ずしも (12) の如き計算を行ふ必要ないのである。しかも (13) の範圍に於ては V_1' 等を公式による計算値とは如何にしても呼び難きこと明白である。更に Manning に從へば C は渠の粗滑に關する常數であつて，その上 C_1, C_2 等はすべて同一渠に於ける値である。故にその間には大なる差異なかるべく，現に流速式 (B) の作成には提示者自ら之を最初より一定と假定して其の變化を見なかつたほどである。從て又「同一渠」に於ける數個の平均値たる C_0 と，其の要素たる C_1 等との間にも，さう桁はづれた差異の起り得べきわけのものでない。よつて實驗が相當精密に行はれ居るならば，C_0/C_1, C_0/C 等の値が 1 に近迫すべきこと，從て V_n' が V_n に近づくべきことは，寧ろ豫定的のものであつてこれは決して「計算値が實測値に近い」といふやうな形で言ひ表はさるべき性質のものでない。ましてこれのみを以て公式の妥當性を立證し終へしとなすは甚だ早計且輕卒なる嫌ひがあるやうに思はれる。この事は Manning の例示に多々見える 1 系 1 個の實測を考へれば，一層明白である。今若し $n=1$ であるならば常に

$$C_0=C_1=V_1/f(R_1,S_1),\qquad V_1'=V_1\ldots\ldots\ldots\ldots(14)$$

となり所謂計算値はいつでも必ず實測値に相等しい，從てこの場合にはどんな無茶苦茶な公式を作つても，誤差正に零 % で，公式は形を選ばないといふ結果になる。實際 Manning が取扱つた 643 個の實測中で誤差の小さいのは，殆ど全部 n が小なる場合に限られてゐる。之を要するに

1. 公式妥當性の證明法が循環論的で甚だ不充分であつた。
2. もし同種壁の渠全部を總括して吟味したならば結論は趣を一變したに違ひない。

少しく餘事であるが Kutter 流速式の證明も實は全くこれと同一方法で行はれてゐる。名聲高き該式の英譯原典を初めて讀過したとき，その證明論理が著者にはピーンと來なかつた。何か知ら膜一重の隔りを重苦しく感じた。その何故かは判らなかつたが，恐らく之は自分の非才のためであると考へて放置しておいた。所が今にして思へばその堂々たる非論理性即ち循環論たるの故を以てゞあつたのである。 Hering & Trautwine の譯書を注意深く御讀みになつた讀者は感を同じうして下さることゝ思はれる。

かやうにして先きに第一の疑義として掲げた所の計算流速なるものは，文字通りの內容を持たずして甚だ無意味であることが明かになつた。

次に疑義の第二は粗率の散亂である。Manning は係數 C を各實驗系毎に平均して小數 2 位まで表示したけれども，同種壁の渠全部を統括しなかつた。その結果 C は開渠で 56 種管で 29 種に廣がり，滑壁の C と粗壁のそれとは次表の如く錯綜し散亂した。

渠壁の種類	最大の C	最小の C
セメント塗	24.19	22.04
煉瓦張	20.70	17.88
板張	21.00	18.67
土床	21.95	8.53
砂床	18.33	9.09
砂礫床	13.04	8.81
粗礫床	10.92	5.74

大體の傾向としては粗面程係數が低いのであるが，提示者は 85 種を出しつぱなしで壁質による粗率の分類には一言も觸れなかつた。從て提示者以外の人が之を實用に供しやうと思つても，粗率といふ神秘の重き扉に至つて遂に動きがとれなくなり，たとへ眼光紙背に徹しても原典からその鍵と光を讀取ることは絶望である。しかも提示者はいふてゐるのである，流速式の必要な所以は經驗淺きものが判斷を過たないためであると。ところがこの一世の卓言は龍頭蛇尾に終り，流速式 (A) は未完成のまゝであつて，最初から現實の彼岸へ押しやられてをつた。

次に流速式 (B) について考察する。

まづ批判の基礎として Manning の全論文より次の數項を擧げねばならぬ。

1. Manning 自ら記す所によれば，式 (B) は 1885 年頃の作であり，(A) の方はそれ以後の研究である。即ち兩者の間には 5 年といふ時間的溝渠があつた。

2. 1889 年の論文は式 (A) を極めて詳細に說明し (B) を甚だ簡單に片付けてをつた。

3. 1895 年の論文は式 (A) の補足に終始して，(B) には全然言及しなかつた。

4. 式 (B) に關しては粗率の數値が僅か 1 個計算しあるにすぎなかつた。

5. 式 (B) はすでに Hagen 等が樹立し居つた事を Manning は充分認めてをつた。

6. 式 (A) は同次性を備へてゐる點で極めて優秀なものであるが (B) にはこの特性がない，といふ意味のことを提示者自ら述べてゐる。

7. 式 (B) の方が (A) より重いといふやうな言葉は，全論文中どこにも見當らない。

これらの諸點より歸納すれば，提示者が大なる滿足を感じ深き自信に燃えて居つたのは流速式 (B) でなくして (A) であつたに相違ない。恐らく彼が最初の論文に (B) を加へたのは，以前のものであるが自分の研究ゆへ併せ發表しておかうといふ位の考へに基づいたものと思はれる。かやうに考へてくると，すでに吾々の眼界から消えてゐる筈の (A) よりも更に下層におかれた (B) については，特に論ずる必要もなさゝうであるが，しかし (A) を離れて (B) に尙何か認むべき點がないであらうか，この點を少しく吟味しおかねばならぬ。

— もし內部缺陷がないならば簡潔な (B) は確かに實用に供し得べき素質を備へてゐる。

二 Manning は B 式樹立に際して C を最初から固定した。しかしながら，C は粗率たるべきものゆへ同一渠では一定であるといふ彼の思考は之を逆にして，ほゞ一定であることが知れて後初めて粗率と名づくることが出來る，といふやうにしたいものであつた。式形を假定したゞけで直にその係數の不變性を規定して了ふのは，實驗式に於ては少しく穩かでないやうに思はれる。x と同樣に平均的 C を求める方法がなかつたであらうか。

三 次に指數の決定を見るに Bazin の實驗僅か 4 系から漠然と 2/3 が適當であると定めてゐる。しかるに個々の x は次の値なのである。

Bazin の實驗系	24	25	4	5	平均
x の値	0.6623	0.6499	0.7635	0.8395	0.729
且 $\frac{2}{3}=0.66$	$\frac{7}{10}=0.7$	$\frac{5}{7}=0.715$	$\frac{8}{11}=0.727$	$\frac{3}{4}=0.75$	

故に x の平均値 0.729 に對しては 2/3 より更に適切なる分數が幾樣にも存するのであるこの場合特に 2/3 を要すといふ理由は甚だ弱い。これでは，恐らく彼は平均値もとらなかつたであらう，と非難されても辯明の辭ない事になる。誠に指數を僅か 4 系で決定しやうとした事も問題であるが，その數値選定の方法は更に一層問題である。

四 170 個の實測で撿した結果 (B) は**第七表**の如く妥當であつたといふ。けれどもその手續は (A) の場合と同樣に所謂計算流速の使用に終始したやうであつた。その限り立證法としては充分であるとはいひ得ない。

五 C は粗滑を表はす常數であると言明しあるに拘らず，Bazin の實驗第 24 系について $C=103$ を示した以外には，どこにもその具體的量値があげてない。故に (B) 式利用の途は全くとざゝれてゐる。

式 (A) すでに吾々を滿足せしむるに到らなかつたのであるが，式 (B) も誘導の不純と係數の無提示によりて完成には一層遠く，これから何物を學ぶことも出來なかつた。流速式史上一時期を劃する如く思はれたところの Manning 流速式は，斯樣にしていまや悄然としてその終末を告げ，過去といふ彼岸の世界へ流れ入らねばならぬ。おゝ浮び行く扁舟よ，生氣と威力は失せても永却に靜隱な歷史の海を漂ふがよい。

第六章　一般文献の傳ふる Manning 公式

Hydraulics に關する一般の文献を繙いたとき，もし Manning 流速式なる項がある場合には大抵次式が現はれる。

米秒：　$V=R^{2/3}S^{1/2}/n$ ……………………………… (a)

呎秒：　$V=1.486\,R^{2/3}S^{1/2}/n$ ……………………………… (b)

n は Kutter の粗率である。次に多くの文獻についてこの事を吟味しやうと思ふ。たゞし Transactions of the Institution of Civil Engineers of Ireland は單に Trans. と略す。又引用書は主として九大土木工學教室の書庫に存するもので中には舊版のものもある，從て御參照下さる場合には頁數とゝもに出版年次を御注意願ひたい。さて文獻は果して何を語るであらうか。

(1) H.T. Bovey, Hydraulics, 1909, p. 252 にはかう書かれてゐる。「1890 年に Manning は流速式 (b) を提出した。n は Kutter の粗率で，この式は正確な結果を與へる」と。しかしながら Manning の第一論文が學會で發表されたのは 1889 年 12 月であり，又それが Trans. Vol. 20 として出版されたのは，その表紙及扉頁に明記してあるところによると 1891 年である。從て Bovey が指摘してゐる 1890 年といふ年次は，Manning には實は何の關係もない年であつて，この說は些細ながら明白に年代錯誤である。次に Manning の提示した流速式は (A) 又は (B) よりほかにないのであつて，彼が Kutter 粗率を含む (b) を發表したといふ Bovey の說は，典據を求むるに甚だ困難である。恐らく彼は原典を考證せずにこの一文を書いたであらうと思はれる。

(2) King and Wisler, Hydraulics, 1922, p. 188 の大意を移せば「1890 年 Trans. Vol. 20 で Manning は新公式を發表した。即ち彼は當時利用し得る實測材料を研究して $V=C\ R^x\ S^y$ は x が 2/3 で y が 1/2 のとき最もよく流動を表はすと結論し，呎ならば (b) 或は $C=1.486\ R^{1/6}/n$ を，又米ならば (a) を提示した。粗率 n は Kutter のものと同じである」。この本の著者も寸陰を惜むあまり，原典考證の手數を省略した 1 人である。そしてこのほんの少しの節約が著者その人へも及ぶやうな重大な結果をもたらした。發表を 1890 年と誤記したのは其の一である。粗率 n を挿入したと誤信したのは其の二である。實測資料の研究から S の指數を 0.5 にとつたと考へたのは誤の三である。そして記述の皆が眞實でない。

(3) Schoder and Dawson, Hydraulics, 1927, p. 221 にはいふ，「始め開渠に對して作られた Manning 公式は (b) であつて n は Kutter のものと實際上相等しい。原典は Trans. Vol. 20 である」と。こゝで 1890 年といふ年次及 n の挿入を Manning が知らなかつた事は前記の通りであるが，更に流速式 (A) 及 (B) が開渠及管に對して作られた事をこの本の著者は顧なかつた。即ち Manning の論文の表題をすら讀んでをらなかつたこと明かである。

(4) Parker, Control of water, 1925, p. 472 は次の意味を書く，「On the flow of water n channels and pipes といふ論文で Manning が發表した流速式は (b) であつて Kutter 式とほゞ同じ正確さをもつ。計算が簡易で記憶し易いといふ便利がある。n は Kutter のそれである」と。まづ Parker は表題を紹介するにあたりその中の open なる一字を逸した。そして n の挿入を力說することによつて，已が原論文を讀んで居ないことを最も雄辯に表

明した。

(5) Eng. News-Record, June 5, 1919, p. 1126 に Sayre はいふ,「1895 年に Manning の提示した (b) は 1915 年に出版された Parker, Control of water で世に紹介されたのである。今自分は一葉の線圖でこの式を解く方法をこゝに示したいと思ふ云々」と。しかしながら (b) を Manning が出したと考へた事, 1895 年に B 式系の論文が發表されたとする點, 1913 年に第一版が出た Parker の書を 1915 年が初版らしく記す點, これらの何れ一つについても首肯し得る典據を求むるに困難である。

(6) Buckley, Irrigation Pocket Book, 1920, p. 163 にいふ,「Manning 公式 (b) は 1889 年に發表せられ Trans. Vol. 20 がその原典である。式の簡易正確なることに於て現代流速式中の白眉である」と。それにしても Manning の原典及其の發表年次を正確に記述しをる Buckley が, 何故 (A), (B) を紹介せずして (b) 如きを記載したか, この點不可思議に堪へない。恐らくこの人も時間を惜んで原典考證を粗略にし, 他書に記された (b) をそのまゝ借用に及んだものであらうと思はれる。更に以上の數者と同樣に (b) を Manning 式と稱し明かに誤謬に陷つてゐるものを擧げれば次のやうである。

(7) Eng. News-Record, Oct. 2, 1919, p. 649 に於ける R.D. Goodrich の言說。

(8) Eng. News-Record, Vol. 85, 1920, p. 837 に於ける E.G. Harris の言。

(9) Trans. A.S.C.E., Vol. 80, 1916, p. 1648 に於ける G.H. Ellis の言。

(10) 前同誌 p. 1662 に於ける H.B. Muckleston の言。

(11) Daugherty, Hydraulics, 1919, p. 131。

(12) Bellasis, Hydraulics with working tables, 1924, p. 192。

(13) King, Handbook of Hydraulics, 1918, p. 190。

(14) Journal of the Western Society of Engineers, 1920, Vol. 25, p. 517。

(15) American Civil Engineers' Handbook, 1920, p. 1858。

(16) 朝鮮總督府内水理土木研究會編纂, 水の栞, p. 49。

(17) 近藤泰夫氏, 測量, 昭和二年版, p. 149。

(18) 九州帝國大學工學彙報第一卷第三號 p. 122。

更に最後に我國で最も信用を博してゐる二大水力學者の言說を尋ねて見たいと思ふ。

(19) Forchheimer, Hydraulik, 1924, S. 70 の原文を (記號は本篇のものに統一して) 拔萃すれば次の通りである。

"R. Manning (Trans. Vol. 12, 1890, S. 68) wiederholte 1890 die zweite Gaucklersche Gleichung $V=kR^{2/3}S^{1/2}$, wobei er aber k mit den Ganguillet-Kutterschen Zahen $1/n$ vertauschte, so dass er (a) erhielt und beispielsweise für Werksgräben mit Bruchsteinverkleidung 58.82 $R^{2/3}S^{1/2}$ hat. Er gibt an, dass seine Formel, nach welcher C vom Gefälle unabhängig wäre, sich ebensogut wie die von Ganguillet und Kutter den von letzteren benutzten Messungen anschliesse; ihrer grösseren Einfachheit wegen wird daher (a) auch vielfach emphohlen. Für Ströme gibt Manning

$$C=34\{1+\sqrt{R}/4-0.03/\sqrt{R}\} \quad ....(15)$$

womit er ausspricht, dass ihre Rauhigkeit nur von der Tiefe abhänge."

この文章には多少の疑ひあるやうに思はれる。即ち第一，1890 年といふ年は Manning に關係がない。第二，Trans. Vol. 12 は1870 年頃の出版で前項の 1890 年とは相違する。第三，かりにこれが Vol. 20 の誤植であるとしても 68 頁といふ數字は全く意味がない，Manning の論文は 161～207 頁に印刷されてゐるからである。第四，Manning は n を挿入しなかつた。第五，まして切石積の渠で係數が 58.82 になるとはいふてゐない。第六，又 (a) の正確さが Kutter 式に劣らないといふ如き文章もない。第七，(15) は 式 (A) の特別な場合であるが，この形を河のみに對するものと考へるは眞相でない。第八，河では粗率が深さだけによつて變ると主張したやうな事も Manning の論文に見えない。かやうに見て來ると一行の眞實も殘らない，著述の誤謬もこゝに至るとまことに徹底してゐる。

(20) Gibson, Hydraulics and its applications, 1922, p. 292 にいふ，「非常に大河の流動は殆ど底壁の性質に無關係である。かやうな場合に對して Manning は次式を與へた (Dec. 4, 1889)。

$$C=62\{1+\sqrt{R}/7-0.05/\sqrt{R}\} \quad \text{呎單位}$$

$$C=34\{1+\sqrt{R}/4-0.03/\sqrt{R}\} \quad \text{米單位}$$

」

こゝに至つて吾々は初めて眞の Manning 流速式に接することが出來た，出所も又正しく指示されてゐる。たゞ甚だ遺憾に堪へないのは「非常に大きな河」とか，「流動が壁質に無關係である」とかいふやうな言葉が Manning の原典に書かれてゐないことである。折角形が移されたにも拘らず，Manning の眞精神が Trans. 以外へ傳へられなかつた事は惜しい事であつた。

第七章 結 論

Robert Manning が自ら記すところによれば (Trans. Vol. 24, p. 180) 彼が 1895 年までに愛蘭土木學會に發表した論文は次の 3 個であつた。

(1) May 13 th, 1851. "Observations on subjects connected with arterial drainage."

(2) Dec. 4 th, 1889. "On the flow of water in open channels and pipes." Trans. Vol. 20, pp. 161～207 掲載。

(3) June 5th, 1895. "Do. Supplement to paper read on the 4th December, 1889." Trans. Vol. 24, pp. 179〜207 掲載。

この (1) は直接流速式に關するものではないが，流速の問題に興味をもち始めたのはこの頃からであるといつた意味を彼は述べてゐる。そして (2) (3) は既に本篇第二〜四章に紹介した所のものである。この事實から見れば，少くとも 1895 年以前には流速式 (A), (B) のみであつて，決して Kutter 粗率を挿入した (a) (b) の如き流速公式が考へられてゐなかつた事は明白である。故にもし Manning が n を入れた (a) 等を考察したとするならば，それは必ず 1895 年よりずつと後でなければならぬ。さてそれでは 1900 年前後に Manning が新論文を發表したといふ事實があるであらうか。

さきに第六章に掲げた文献 20 個は現在に於て Manning 公式を記しをる殆ど全部といつてもよい位のものであるが，それらの中 Manning 原典を指示しをるものは悉く，其の發表を 1889〜1895 年の間に指摘してゐる。そして其の後新公式を發表したと記し居るものは一つもない。更に著者は前記 20 個のほか一般水力學に關する數十の文献を繙いて見たのであるが 1900年頃に Manning の新論文ありといふ記述に接することは出來なかつた。なほ著者の見聞が淺いかも知れないが，前後の事情を綜合して見るに，やはり新論文が存在しないとする方が本當であるやうに思はれる。その限りに於て既往の文献は，第六章に記したやうに，Gibson 1 人を除いて全部が誤謬を傳へてゐる。Manning は決して Kutter の n を自式へ導入しなかつたのである。

然らばどうしてこの誤りが傳へらるゝに至つたか。この問題を解くには，まづ既往文献にして一番最初に Manning 式を記載したものをあげるが一法である。それには著者の考證範圍で次の 3 がある。

(1) 米國では Bovey の Hydraulics 第一版が 1895 年に發行された。著者はこの第一版本をもたないのであるが，その第二版 pp. 252〜253 には（單位は呎で）

1890 年 Manning は $V=1.486\ R^{2/3}S^{1/2}/n$

を 1893 年 Tutton は $V=1.54\ R^{2/3}S^{1/2}/n$

を夫々提出した旨記してある。もしこの記事が初版にあるものとすれば，初版の序文が書かれた 1895 年 11 月以前にすでに誤が起つてゐたことが知れる。同時にこれは 1895 年以後に Manning が新論文を發表したかも知れぬといふ疑を打消す有力な資料である。

(2) こゝにいふ Tutton の式については，しかしながら，Trans. A.S.C.E., Vol. 47, 1902, p. 220 に Tutton 自ら記すところによると，彼は Journal of Association of Eng. Societies, Vol. 23, Oct. 1899 に上式を發表したといふことである。これは當人自らいふ事であるから誤ない筈である。こゝで上式からわかるやうに Manning 式と Tutton 式とは係數に徴細な

差異あるのみであるから，恐らく Tutton 式が Manning 式として誤傳されたものであらうかと思はれる。Manning 式とあるものゝ係數 1.486 は 1 米を呎で表はした數の立方根であつて，單位を米秒にかへれば當然 1 になるべき係數である。しかして Tutton 式を米單位に直せば係數は 1.035 となり，實用的には 1 として差支ない位のものである。これを 1 と見做せば世に傳はる Manning 式に外ならない。たゞ問題は Tutton が自式の製作にあたり所謂 Manning 式の存在を意識して居つたか否かである。

(3)　英國では Parker の Control of water 初版が 1913 年に出版せられ，(*b*) と Manning 論文の表題とを載せた，そしてこの記事のすぐ上に Bellasis, Hydraulics の事を推賞しをる點から見ると，Parker は該書によつたものとも思はれる。從て英國へ誤を傳へたについては Bellasis に責なしとも斷言出來ないやうである。

獨逸では 1914 年に Forchheimer, Hydraulik の初版が出た。しかしこの誤りはあまりに甚だしいから姑く除外したい。今かやうに考へて來ると問題の解決は「Bovey の初版本，Bellasis の初版本，Tutton の原論文」これら 3 文献を手にして，充分考證をとげたならば，必ずや解決の曙光に接するであらうと思はれる。たゞ殘念なことには著者はこれら 3 本を手にしない。故に今一息といふ所でこの推論の中止を餘儀なくされたのである。それでこの解決については，切に大方諸賢の御高示を御懇願致したい。もし讀者諸賢の中に該原本を御所藏さるゝ方々がありますならば，何卒この點を御高教下さいまして，20 世紀初頭に於ける學界の一汚點を殘りなく拭ふことに御貢獻願ひたいと希ふ次第であります。

最後に著者は英國の哲學者 フランシス・ベーコン の言葉を引用して本篇を終りたいと考へる。曰く「科學の研究に於て吾々は内に存する 4 種の偶像を捨てねばならぬ，即ちそれは

第一，單に一部を知つて全體となす癖（洞窟偶像），

第二，人のいふことをそのまゝ無批判に眞似する習慣（劇場偶像），

第三，一犬虚に吠へて萬犬實を傳へるといふ如き事（市場偶像）

第四，何事も自己を中心として考へやすいといふ人間固有の癖（種屬偶像）。

これら及すべての豫想，偏見を放擲し多くの積極及消極的材料を蒐集して，それより漸次概括し以て科學法則を定立するやうにせねばならぬ」と。この提言は現代哲學の矢面には立ち得ぬかも知れぬ。しかし科學の領土に於ては依然として指導精神である。Manning流速公式を傳へた諸學徒の論述に，この態度の充分なる闡明を見出し得ないのは學界の恨事である。　　（完）