論說

土木學會誌　第二卷第三號　大正五年六月

くったーとばざんノ流速公式ヲ論ス

工學博士　直木倫太郎

目次

第一章　緒論

凡ソ管ト渠ト河川トヲ問ハスソヲ流ルヽ水ノ速度若クハ流量ノ打算ハコレヲ實測ニ求メサル限

リ有力ナル實驗公式ノ適用ニ俟ツコト固ヨリ當然ニシテ即チソレカ爲ニハ[illegible]ル流速公式トシテ管ニハ Darcy アリ河渠ニハ Kutter アリ Bazin アリ吾人ハ其何レモ千ノ周密ナル實驗ヲ基礎トシテ能フ限リ合理的ニ研究按出セラレ且ツハ爾來隨所ニ多年ヲ經テ倍々其實際價ヲ發揮セル所以ノモノタルヲ思フテ只管之レカ權威ヲ尊重スルニ馴レタリ然カモ之レニ馴ルヽノ結果ハ何人モ絶エテ是等公式成立ノ根底ニマテ溯及云爲スルノ必要ヲ感セス勢ヒ一般ニコレカ利用ノ術ニ詳シキ割合ニハ寧ロ其内容ニ徹底セサルノ觀ナクンハ非ラス即チ若シ在態ニ之レヲ云ヘハ Darcy, Bazin, Kutter 等ノ公式カ能ク如何ノ理由ト研究トニヨリテ考按セラレタルカ其複雜ナル數多ノ係數カ能ク如何ノ實驗ヨリシテ算出セラレタルカ若クハ更ニ進ンテ是等諸公式ノ由來ハ如何其相互ノ關係ハ如何ばざんノ舊式ト新式トノ差別ハ如何くったーノ略式 (Abgekürzte Kutter'sche Formel) ト其本式トノ異同ハ如何抑モ又管ニ對シテだーしートくったーとノ優劣ハ如何河渠ニ對シテくったーとばざんトノ適否ハ如何凡テ是等ノ點ニ就テハ遺憾ナカラ今日未タ十分ナル解説ノ下サレタルモノアルヲ知ラス否寧ロコレカ解説ノ必要ニタモ多ク想到セラレサルノ狀アリ

夫レ然リ然カモ今ヤ是等據典的公式アルニ拘ラスシテ其以外新ニ且ツハ次第ニ其勢力ヲ張リ來レル幾多ノ所謂指數公式 (Exponential formulae) アルヲ見逃スコト能ハス即チ管ニハ Darcy ト並ヘテ Flamant, Lampé, Foss, Vallot, Unwin, Lang, Williams and Hazen 等ヲ擧クヘク開渠ニハ Kutter, Bazin 以外ニ Manning, Tutton, Thrupp 其他ヲ數ヘサル可カラサルニ會ス抑モ如何ナレハ斯カル公式カ在來ノ據典的公式以外ニ立ツテ新ニ能ク其出現ノ餘地ヲ見出スコトヲ得タルカ又ハ如何ノ主張ト實證トニヨリテ敢テ他ト其是非ヲ爭ハントスルニ至レルカ吾人ニ取リテハソレコソ先ツ第一ニ驚異ノ種ナラサランヤ吾人ハ今更ナカラ顧ミテ窃ニ彼ノ據典的公式ヲノミ餘リニ信頼スルニ安ンシタ

リシコトヲ首肯セサル能ハス

加之近來是等指數公式カ英佛米ノ諸國ニ宣傳セラレツヽアル一方ニ於テ別ニ獨墺ニハ尙ヨリ多ク根本的ニ流速公式中ニ入込ム動水半徑 (Hydraulic mean radius) ノ眞價ヲスラ疑ヒ寧ロ平均水深其他ノモノヲ以テ之レニ代ヘンコトヲ主張スルモノ例ヘハ Hessle, Siedeck, Hermanek, Matakiewicz, Lindboe ノ如キアリ彼ノ有名ナル Hütte ノぽけっとぶっくカ其第二十一版ニ於テ最早全クくったー氏ノ公式ヲ掲ケス管ニハ Lang ヲ河渠ニハ Bazin ト Weisbach トヲ示スニ止メシ如キアリ是等モ亦一種興味アル事柄トシテ注目ニ値スヘキナラスヤ

之レヲ要スルニ管渠ノ流速公式ハ一旦頗ル的確ニ其一般的據準ヲ得タルカ如クニシテ然カモ今日ハ却テ甚シク其歸趨ニ迷ハシメサルヲ得サルノ狀態ニアリ在來諸公式ノ據典的權威ハ漸ク將ニ其光リヲ失ハントシテ然カモ未タ正當ニ之レニ代ハルヘキモノアルヲ知ラス各人各樣ノ見解ト研究トハ或新タナル若干ノ實驗ト相俟チ雜然トシテ自由ニ數多ノ新公式ヲ捻出提唱セシメツツアルモ然カモ新式果シテ是カ舊式果シテ非カソハ尙容易ニコレヲ見究ムヘクモアラス況ンヤ紛々タル新公式ノ甲乙ニ就テ夫々其眞價ヲ辨シ其適否ヲ判タンオヤサアレ本問題ハ技術上其利用ノ範圍甚タ廣汎ニシテ利害ノ關スル所實ニ鮮少ナラサルコト又云フヲ用ヰス是レ吾人ヲシテ特ニ其研究ニ多大ノ興味ヲ惹カシムル所以

著者ハ此意味ニ於テ竊ニ本問題ノ經過ヲ幾分徹底的ニ玩味センコトヲ欲シ即チ研究ノ順序トシテハ先ツ第一ニ在來ノ據典的公式ノ夫々按出セラルヽニ至リシ理路ヲ歷討シ次テ逐一新公式ノ主張ニ尋及シテ依テ最後ニ若干ノ私見ヲ導カンコトヲ思ヒ立チタリ然カモ玆ニ遺憾ニ堪ヘサルコトハ在來ノ諸公式トテモ其成立ノ年代餘リニ今ト遠ク且ツ特ニ我國ニ於テ圖書ノ涉獵如何ニモ不自由ナルカ爲ニ斯カル單一ノ目的ニ向ツテスラモ實ハ容易ニ其委曲ヲ盡スコト能ハス即チ

管ノ流速ニ關シテハ殆ト其唯一ノ權威トモ見ルヘキだーしー氏カ一八五四年ノ實驗報告未タ手ニシ能ハサルカ如キ又くったー氏公式ニ關シテモ其一八六九、七七、八五年ノ數回ニ亘發表セラレシ論文ノ一ヲタモ見當ラスシテ僅ニ英ノJackson米ノHering氏等ノ譯述ニ其梗概ヲ知シタルニ過キサルカ如キ又ハ轉シテ指數公式ニ見ルモ例ヘハLampéノDer Civilingenieurニ於ケルThruppノJournal of Society of Engineers (London)ニ於ケルManningノInst. Civil Engineers of Irelandニ於ケルFoss, Tutton及ヒHazenノJournal of the Association of Engineering Societiesニ於ケル又ハHessle, Matakiewicz, LindboeノZeitschrift für Gewässerkundeニ於ケルカ如キ何レモ原論文ノ出所ヲ承知シナカラ我國ニ在リテハ容易ク其雜誌ヲ求メ能ハサルモノヽミナルカ爲ニ遂ニハ著者ヲシテ然カク單純ナル探究ノ欲望ヲスラモ拋棄シ去ルノ餘儀ナキヲ歎セシムルニ終ラントス

サレハ著者カ當初窃ニ企圖セシ所ノ如ク管ト渠ト河川トヲ併セテ最モ一般的ニ「流速公式論」ヲ行ランド欲セシ興味ハ到底容易ニ之レヲ滿足セシムルノ道ナシト雖モ然カモ著者ハ其僅ニ見得タル二三ノ論文乃至若干ノ書冊ヲ通シテ間接ニ將タ斷片的ニ窺知シ得タルニ過キサル程度ノモノヲ以テシテタモ尙且ツ其片鱗ヲ揣摩シ忖度スルヲ辭セサラント欲ス何トナレハ是レ水理學上最モ普通ノ問題ニシテ且ツ如今頗ル一般ノ注意ヲ惹クヘキ要アリト信スレハナリ即チ本篇ニ於テハ一ト先ツばざんトくったーヲ論シ續イテ他ニ及ハンコトヲ期ス微力未タ徹セスト雖モ若シ以テ幸ニ一般研究ノ端緒ヲ發スルヲ得ハ足ル

尙本篇ニ於テ屢々引用スヘキ參考書目ハ左ノ如シ

Darcy et Bazin, Recherches Hydrauliques, 1865.

Hering & Trautwine, Translation of "A General Formula for the Uniform Flow of Water" by Ganguillet & Kutter," Second ed., 1907.

Jackson, Translation of Kutter's Hydraulic Tables, 1876.
Bazin, Étude d'une nouvelle formule pour calculer le débit des canaux découverts, Annales des Ponts et Chaussées, 1897.

第二章　ばざん氏以前

本篇カだーしー氏公式ノ發源ニ其筆ヲ起ス能ハサルハ問題ノ性質ヨリシテモ頗ル遺憾ノコトナリト雖モソハ今云フテ及ハス即チ姑クばざん氏公式ヲ根本トシテソヲ導クニ至リシ所以ノ事態ヲ略叙シ次ニばざん氏舊式ヨリくったー、くったーヨリ更ニばざん氏新式ニ及ヘル所以ノ推移ヲ尋ネテ大凡是等據典的公式ノ理據ト其是非ヲ辨シ且ツ其間雜フルニ多少ノ私見ヲ以テスルアラントス是レ一篇ノ結構ナリ

蓋シだーしー氏カ初テ其周密ナル管ノ實驗ヲ終ヘテ高名アル氏ノ公式ト共ニ之レヲ佛ノ Academie des Sciences ニ報告シタリシハ一八五四年ニアリ次テばざん氏カ開渠ニ關スル多數ノ實驗ト共ニ所謂ばざん氏舊式ヲ按シテ同シキ學會ニ報告シタルハ一八六三年ナリ而シテくったー氏カ Ganguillet 氏ノ協力ノ下ニ數多ノ論文ヲ雜誌ニ著書ニ發表シタルハ一八六九―八五年ノ頃ニシテばざん氏カ再ヒ氏ノ所謂新公式ヲ發表シタルハ一八九七年トスサレハ玆ニだーしー氏ノ公式ニ論及シ能ハサル限リ姑ク管ニ對スル公式ヲ除外シテ開渠ニ對スルばざん氏舊式ニ本問題ノ端緒ヲ發スルモノ又止ムヲ得サランカ

然カモばざん氏舊式カ如何ニシテ組立テラレタルカヲ說クノ前吾人ハ先ツ少シクソノ何カ故ニ生レ出テタルカノ動機ニ言及セサルコト能ハス

即チ玆ニくったーとばざん其他ノ說ク處ヲ綜合シテ成ルヘク簡單ニ其筋道ヲ辿ランカ彼ノ水理學ノ始祖トシテ知ラルヽ伊ノ Galileo ト及ヒ其門弟 Castelli, Torricelli 氏等ノ事績ハ姑ク云ハス十八世

紀ノ初ニ現ハレタル Pitot 及ヒ Bernoulli 氏等ノ功績モ亦姑ク措カン一七五三年ノ著述ニ於テ「流水ノ速度ハ溝渠ノ勾配及ヒ斷面ノ如何ニ關ス」トノ方則ヲ初メテ提出セル Brahms 氏コソハ此機會ニ於テ先ヅ特記ノ要アル第一人ナラメ氏ハ同時ニ重力ノ法則ニヨリテ當然期待サルヘク豫想セラルヽ加速度ノ現象カ河渠ノ流水ニハ何等ノ影響ヲモ及ホサス却テ其處ニハ流速ノ斷エス一定スルコトヲ説キ依テ其理ヲ尋ネテ潤邊 (Wetted perimeter) ニ於ケル水ノ摩擦抵抗カ正シク右ノ加速度ト釣合フヘキ所以ヲ指示シ尙進ンテハ右ノ抵抗カ動水半徑ニ比例スヘシトノ假定ニ到達シタリト云フサレハ一般ニ佛ノ Chézy 氏(一七七五年)ノ公式トシテ知ラルヽ

$$V=C\sqrt{RS}$$

V=流速　R=動水半徑

S=水面勾配　C=係數

ノ公式トテモ事實ハ右ノぶらーむすトしぇじいトノ二氏ニ共通ノ名譽ヲ擔ハシムルヲ以テ當然トストカヤ

兎ニ角其頃マテハ遠クがりれを以來一般ニ理論的研究ニノミ偏セル傾キアリテ中ニハ往々破的ノ僻論ヲ構フルモノモアリシカ其反動トシテ十七世紀ノ半ハ頃既ニ Michelotti ト Bossut トノ二氏ハ流水ノ問題カ到底單ナル抽象的論議ニヨッテノミ決セラルヘキモノニ非ラス宜敷實測ヲ根據トシテノ研究ヲ要スト主張セルアリ而シテ一七七九年 Dubuat 氏ノ出ツルニ及フヤ倍々該主張ノ正當ナル所以ヲ確メ氏自身佛ノ Canal du Jard ト River Haine トニ於テ及ヒ特ニ試驗ノ爲ニ作ラレタル小型ノ木造渠ヲ用ヰテ夫々周密ナル實測ヲ遂ケ其結果トシテ次ノ二方則ヲ導キタリ

(一) 凡ソ管渠ニ水ヲ流レシムル力ハ全然其水面ノ勾配ニ基クコト

(二) 整流 Uniform flow ノ場合流水ノ受クル抵抗即チ漸減速度ヲ生セシムル力ハ一方ニ物體落下ノ方則ニヨリテ漸加速度ヲ生セシムル所以ノ力ト相等シキコト

加之氏ハ管渠ニ於ケル流水ノ抵抗カ水ノ重サ又ハ壓力ニ無關係ナルコト從テ其管渠壁面トノ摩擦ハ固體相互ノ間ニ生スルモノトハ全然相異ルヘキコトヲモ確メ得タリ然カモ氏ハ其實驗ノ後ヘニ附記スラク

「管渠壁ヲ作ル材料ノ相違ハ流水ノ抵抗ニ對シテ著シキ關係アルコトナシ」ト

因ミニDubuat氏ハ流水ノ抵抗カV^2ヨリモ少キ割合ニテ増スコト即チ$C=\frac{RS}{V^2}$ノCハ同一開渠ニテハVカ増ス程減スルコトヲモ認メ得タリト云フ(Principes d'hydraulique, art 27) コレ此場合ニ於テハ格別ノ必要ナキモ然カモ後ノ指數公式ノ主張ト照應スルヿニ方リテハ最モ注意スヘキ着眼點ナルヲ以テ特ニ附記シテ記憶ニ備フ

大凡上記ノ推移ヲ經過シタル後ニ出テタルモノヲde Prony氏トス氏ハ一八〇四年ノ著述ニ係ルRecherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantesニ於テ先ツ既往ノ實驗ニ基ク開渠流水ノ原則ヲ列擧シテ曰ク

(一) 開渠ノ表面流速ト底面流速ト及ヒ平均流速トニハ相互ニづびゅあ氏カ實驗ノ結果トシテ發見セル顯著ノ關係ノ存在ヲ認ムルコト

(二) 是等ノ關係ハ開渠ノ大小又ハ渠底ノ形狀トハ全然無關係ナルコト

(三) 水其他ノ液體カ管渠ヲ流ルヽニ方リテハ自ラ其薄層カ管渠ノ壁面ニ粘着シテ一種ノ假壁面ヲ構成シ以テ流水ヲ包圍スルコト

(四) 現ニづびゅあ氏ノ實驗ノ證スル處ノ如ク管渠壁面カ液體ノ薄層ニテ蔽ハレ自ラ一種ノ假壁ヲ構成スル以上管渠壁面ノ粗滑ノ度合如何ハ流水ノ抵抗ニ對シテ著シキ差異ヲ與フルモノニ非サルコト

(三)(四)ノ原則ノ如キハ到底今日ニ於テ許容シ難キモノナルコト明カナリト雖モ然カモ當時ニ在リ

テハ堂々タル右ノ主張ノ下ニぷろに一氏ヲシテ凡テノ種類ノ開渠ニ通スル流速公式(米突單位)

$$RS=aV+bV^2$$

$$a=0.000044$$

$$b=0.000309$$

ヲ設定セシムルニ至リシナリキ即チ是レ常時ニ於テ流行ヲ極メシ所謂ぷろに一氏ノ公式ニシテ氏カ右ノ係數a bニ件ノ數價ヲ與フルニ就テハづびゅあ氏ノ三十種ノ實驗ト及ヒChézy氏カCour-palet渠ニ試ミタル一實驗即チ當時ニ於テ利用シ能ヒシ限リノ凡テノ實驗ヲ參考シタリシモノトス

然ルニ其後數年ニシテ獨ノEytelwein氏ハ右ノ實驗ニ加フルニ獨逸ノ水理學者Brünings, Woltman, Funk三氏ノ測定ニ成ル五十五種ノ實驗ヲ以テシテ上記公式ノ係數ニ次ノ修正ヲ施シ(米突單位)

$$a=0.000024$$

$$b=0.000386$$

獨逸ヨリ瑞西蘭ニカケテハ此式專ラ流行シタリト云フ

以上づびゅあ氏ハ實驗ニ基キテ若干ノ方則ヲ發見シぷろに一氏ハソレヲ根據トシテ流速公式ノ形式ヲ算定シ次テあいてるわいん氏ハ更ニヨリ多クノ實驗ヲ加味シテ其係數値ヲ修正ス若シ次テ來ルモノアリトセハソハ畢竟該公式實用上ノ便宜ヲ理由トスル些少ノ末節ノ變更ナルナカランヤ果然後年Dupuitヲ初メ多數ノ學者ハ該公式ノ利用ヲ一層簡易ナラシメンカ為メニハ寧ロaVヲ無視シテ可ナリト說ケリ是レaVハ毎秒一米以上ノ平均流速ヲ有スル河渠ノ場合ニ於テ其數値餘リニ微小ナルニ由ル然カモ若シ前式ヨリシテaVノ項ヲ無視スルニ於テハ即チ

$$RS=bV^2$$

起レ既ニ遠ク一七五三年ぶらーむす氏ニヨリ又タ一七七五年しぇじー氏ニヨリテ設定サレタル公式ノ復活ニ外ナラス殊ニしぇじー氏ハ現ニ

$$b=0.0004$$

ト假定シタリシナルヲ今あいてるわいん氏ニヨレハ

$$b=0.000386$$

ナルニ見レハ該公式ハ其實用上即チ十八世紀ノしぇじー氏公式ニ逆轉シタルノ觀ナクンハ非ラス加之 Courtois 氏カ一八五〇年ニ案出シテ爾來伊太利國内ニ最モ廣ク利用セラレタリト稱スル

$$RS=\frac{0.007848}{2g}V^2$$

ナル公式(米突單位)ノ如キモ縦シ其主張ハ兎モアレ其數値ニ於テハ結句 $RS=0.0004\,V^2$ ニ外ナラサルヲ察セハコモ寧ロ鬼面人ヲ嚇スノ類ノミ斯クテ當時ノ佛伊ニハ佛ノしぇじーヲ其儘

$$RS=0.0004\,V^2$$

$$\therefore\ V=50\sqrt{RS}\ \text{(米突單位)}$$

$$V=90.6\sqrt{RS}\ \text{(呎單位)}$$

ノ事ヲ流行シタルト同シク獨墺瑞ノ諸國ニハ獨ノあいてるわいんヨリ脱化セル

$$RS=0.000386\,V^2$$

$$\therefore\ V=50.9\sqrt{RS}\ \text{(米突單位)}$$

$$V=92.2\sqrt{RS}\ \text{(呎單位)}$$

ノ全盛ヲ極ムルアリ英米トテモ亦免レンヤ即チ種々ノ書冊ニ散見スル當時ノ諸公式ヲ以テ呎單位ニ改算サレタル前記ノ二式ト對照シ來ラハ例ヘハ

小河ノ場合

Leslie $V=68\sqrt{RS}$

Young $V=84.3\sqrt{RS}$

Neville	$V=92.3\sqrt{RS}$	速度小ナル場合
"	$V=93.3\sqrt{RS}$	速度大ナル場合
Dwyer	$V=94.2\sqrt{RS}$	
Beardmore	$V=94.2\sqrt{RS}$	
Stevenson	$V=96\sqrt{RS}$	流量大ナル場合
"	$V=69\sqrt{RS}$	流量小ナル場合
D'Aubisson	$V=95.6\sqrt{RS}$	流速二呎以上ノ場合
"	$V=100\sqrt{RS}$	大河又ハ急流ノ場合
Taylor	$V=100\sqrt{RS}$	"
Downing	$V=100\sqrt{RS}$	"
Beardmore	$V=100\sqrt{RS}$	"
Leslie	$V=100\sqrt{RS}$	"
Pole	$V=100\sqrt{RS}$	
Girard	$V=103\sqrt{RS}-1{\cdot}64$	

ノ如キ縦シ夫々ニ多少ノ主張ハアリトモ所詮ハしぇじー、あいてるわいんノ二式ニ歸着スルモノタルヲ云フニ憚ランヤ但シ此間獨リ注意スヘキハ Weisbach 氏カぷろにーノ $RS=aV+bV^2$ ニ於ケル第一項 aV ヲ無視スルニ代ヘテ却テソヲ $aV^{\frac{3}{2}}$ ト假定シヨツテ

$$RS=aV^{\frac{3}{2}}+bV^2 \qquad \therefore \frac{RS}{V^2}=b+\frac{a}{\sqrt{V}}$$

ナル公式ヲ成セルト及ヒ Saint Venant 氏カづぴゅあノ實驗ヲ改メテ查照ノ末(一八五一年)新ニ單項

式トシテ

$$RS=0.000401\,V^{\frac{21}{11}}$$

ヲ發表シタリシコト是レナリ就中後者コソハ實ハ今日ニ至リテ漸次其流行ヲ來セル指數諸公式ノ嚆矢トモ見ルヘク他カ凡テRSヲV^2ニ比例セシメタルニ代ヘテ$V^{\frac{21}{11}}$ヲ用ヰタル點即チ速度ノ自乘ヨリモ小ナル羃數ヲ選ヘル點ニ於テ特ニ其着眼ヲ認メサル能ハス但シ其當時ニアリテハ該公式ニヨル計算方法ノ煩瑣ナルト及ヒ其内容カサシテしぇじー氏公式ニ異ラサルトノ爲ニ格段ノ注意ヲ惹カスシテ終レリ

之レヲ要スルニ以上列擧ノ公式ハ更ナリ尚其以外ニモ數アル當時ノ諸公式ハ畢竟スルニ Chézy-Prony-Eytelwein ノ三者ヲ中心トシテ其周圍ニ旋轉セルモノト云フヘク尚正シク之レヲ云ヘハ只同一ノ實驗カ與ヘタル結果ヲ取扱フ上ニ於テ各自些細ノ變化ヲ敢テシテ以テ得々タリシニ過キス何トナレハ實驗ノ量ト質トハづぴゅあ以外其頃マテ殆ト何等ノ増加ヲモ示サヽレハナリ殊ニ是等ノ公式カ凡テづぴゅあ乃至ぷろにーノ主張ニ同シテ管渠ノ壁質如何ヲ考フルニ及ハストナシ且ツハ其形狀大小勾配等ノ如何ニ就テモ亦多ク問フ處ナカリシコトハ之レヲ今日ヨリ見テ最モ明ニ其不充分サ加減ヲ想得セシメサル能ハス即チ其係數カ凡テノ場合ニ一定不變ナルニ於テ先ツ悉ク其弱點ヲ暴露セルモノト云フヘク其間獨リ Rühlmann and Weisbach 氏カ

$$V=C\sqrt{RS}$$

ノCヲVニ伴フテ變化セシムヘキモノトシ表ニヨリテ容易ニCヲ求メ得可カラシメタルヲ以テ珍トスヘキカ如キモ然カモ其内容ヲ見レハソハ只單ニぷろにー氏ノ公式$RS=aV+bV^2$ヲ根據トシテ一々Vノ變化ニ伴フCノ値ヲ計算表記シタルニ止マリ何等其以外ニ出色ノ點アルヲ知ラス果セルカナ是等凡テノ公式ハヤカテ實用上次第ニ其馬脚ヲ露ハシ來レリ即チ例セハ佛ノろーん

河ニテハ是等ノ公式ニ基キタル改修工事カ其竣功後間モナク汎濫ニ次クニ汎濫ヲ以テセルアリGrenoble, Toulouse等ノ水道ニ用ヰシ鑄鐵管カ使用後僅ニ六七年ニシテ流量ノ半減ヲ訴ヘシカ如キアリ是等諸公式ニ對スル非難ノ聲ハ勢ヒ揚ラサル能ハスサレハ佛ノVallés氏ハ同國多數ノ河渠ノ斷面過小ニシテ頻々洪水ノ慘禍ヲ免ル能ハサルヲ以テ一ニ是等公式ノ不完全ニ由來スルモノトシテ頗ル之レヲ攻擊シ獨逸ニテモHagen, Bauernfeind等ノ水理學者ハ又相續イテ是等ノ公式ニ幾多ノ疑惑ヲ挾ミ來レリ斯クテ多數技術家ノ聲ハ期セスシテ在來流速公式ノ不完ヲ難スルニ一致シタリト雖モ然カモ未タ之レニ處スヘキ所以ヲ知ラサルカ爲ニ茲ニ滑稽ナルハ瑞西蘭ノ如キ技術家各自カ故意ニ是等公式ノ利用ヲ都合ヨク實地ト適合セシメン爲メ公式ニ用フル潤邊ノ長サトシテ強テ河底ニ散在スル石塊其他ノ凹凸ヲ見込ミ甚シキハ河床ニ茂生セル雜草ノ周邊ヲマテモ實測加算シ更ニ進ンテハ石塊ノ多少ニヨリ豫メ潤邊ノ長サニ四割乃至八割ノ增加ヲ見込ムカ如キ窮策ヲモ敢テシテ以テ只管Rヲ小ニシ惹テVヲ小ニシ依テ設計斷面積ヲ大ナラシムヘク焦心スルニ至レリトサヘ云ハル

Darcy氏ノ出テタルハ實ニ此時ニアリ即チ在來ノ流速諸公式ニヨル設計上ノ疑惧最モ甚シキ場合ニ於テ氏カ慧敏ナル著眼ハ茲ニ初テ管渠壁質ノ粗滑ノ度カ流速ニ及ホス影響ノ看過ス可カラサル所以ニ向ツテ注カレタリ

一八四二年氏ハ偶々Dijon市ノ或ル噴水ヲ導ク溝渠ニ於テ其實際流量カ從來諸公式ノ與フル處ヨリモ著シク多量ナルコトヲ實驗シ依テ其理ヲ覓メテ該渠ノ內面全部カせめんと膠泥モテ塗立テラレアルコトニ著目セリ即チ此實驗コソハ實ニ後年氏カ精細ナル管渠ノ實驗ト及ヒ其公式トヲ以テ世界的盛名ヲ發揚スルニ至レル最初ノ機因ナラスンハアラス

爾來氏ハ管渠壁ノ粗滑ノ度如何カ流速及ヒ流量ニ影響スルノ頗ル重大ナルコトヲ考ヘ周密ナル

實驗ニヨリテ之レヲ闡明スルノ外ナシトシテ遂ニ一八四九乃至五一年ニ亘リ恰モ氏カ巴里市ノ上水道工事ヲ擔當シタリシ機會ヲ利用シテ以テ玻璃管、鉛管、鍊鐵管、及ヒ新舊鑄鐵管ニ對スル數多ノ實驗ヲ施行シ其結果ヲ擧ケテ之レヲ一八五四年Académie des Sciencesニ報告スルニ至レリ加之氏ハ開渠ノ場合ニ於テモ亦無論渠壁ノ粗度カ甚大ナル影響ヲ其流速ニ及ホスヘキ確信ヲ以テ引續キ之レニ向ツテ充分ノ實驗ヲ敢テスヘキ熱烈ナル希望ヲ披瀝シタリシカハ時ノ政府ハ直チニ其請ヒヲ容レテ扶クルニ資ヲ以テシ且ツ技術上ニハ時ノ有力ナル二技師Baumgarten, Ritterノ獻身的助力ヲ得ルコトヽナリ一八五五年愈々其實驗ノ準備ニ着手シタリシナルカ然カモ幸カ不幸カ件ノ補助ノ二技師ハ其翌年右準備行爲ノ將ニ終ラントスルニ方リテ偶々他方面ノ任務ニ轉セサル可カラサルニ會セリBazin氏カ新ニ選ハレテ此實驗ニ干與スルニ至リシモノ實ニ此時ニアリ即チばざんハ右ノ二氏ニ代リテだーしー氏ヲ補佐シ次テ一八五八年だーしーノ歿後ハ專ラ其計畫ヲ繼承シテ雙手ニ其實驗ヲ遂行シ遂ニ一八六三年研究ノ結果ヲ綜合シテAcadémie des Sciencesニ報告シタリシモノコレソ開渠ニ對スルDarcy-Bazin氏ノ公式又ハ世ノ所謂ばざん氏舊式ナレサレハばざん氏カ其報告書ノ卷頭ニ題シテ「本研究ハ一ニ故だーしー氏ノ管ノ流速ニ關スル研究ノ後ヲ受ケテ氏ノ遺圖ヲ繼ケルニ外ナラス」ト說ケルハ寔ニ其所ニシテ開渠ニ對スル實驗ノ組織並ニ方法若クハ量速器ノ工夫ハ更ナリ其歸納シ得タル公式ノ基本的形式スラモ實ハだーしー氏カ曩ニ管ノ流速公式ニ於テ發表セル立案ヲ其儘踏襲シタリシモノトス

第三章　ばざん氏ノ舊式

だーしー氏カ管ノ流水ニ關スル方則ヲ設定スルニ用ヒシ基本公式ハ

$$RS=\left(\alpha+\frac{\beta}{R}\right)V^2$$

α,β ノ係數

ニシテ今又ばざん氏カ開渠ニ關シテ選ヘル公式モ同シク此形式ヲ蹈襲セリ故ニ若シ此公式ノ形式ニ就テ其研究ニ徹底セントセハ勢ヒだーしー氏ノ主張ニ溯ラサル能ハスト雖モ然カモ氏ノ論文(一八六四年)ハ著者ノ未タ得テ手ニシ能ハサルコト既ニ述フルカ如クナルヲ以テ遺憾ナカラモ玆ニハ其點ニ斷念シ單ニばざん氏カ開渠ニ對ツテ等シク此形式ヲ採用スルニ至リシ所以ノ說明ヲ聽取スルニ止メサル可カラス

蓋シ其時代ニ於テ最モ流行セル管渠ノ流速公式トシテハ佛ニぷろにーアリ獨ニあいてるわいんアリ共ニづぴゅあ氏ノ實驗其他ヲ根據トシテ成リ且ツハづぴゅあ氏ノ所見ニ同シテ「管渠ノ壁面ハ薄キ水膜ニテ蔽ハレ自然一種ノ假壁ヲ構成スルカ故ニ管渠ノ素質如何ハ流水ノ抵抗ニ對シテ何等著シキ相異ヲ生スルモノニ非ラス」トノ假定ニ立テルモノナルコト既ニ述ヘタルカ如シサレハばざん氏カ自己ノ公式ヲ主張スルニ方リ先ツ右ノ二公式ヲ取リテ研究ノ對象トシソノ迷妄ヲ打破スルカ為ニ反覆力說ヲ惜マサリシ所以ノモノ其時代ニ在リテハ固ヨリ至當ノ用意トヤ云ハマシ

氏ハ管渠ノ壁質如何カ流量ニ及ホス影響ノ如何ニ大ナルカヲ示サンカ為ニだーしーカ一八五六年ニ行ヒタル實驗ヲ引用シテ曰ク

「渠ノ斷面ト勾配トヲ同一ニシ單ニ壁質ヲノミ種々ニ變化セシメテソレニ各同一ノ水量ヲ流過セシメタル結果ハ

Prony ノ公式　$C=\frac{RS}{V^2}$　0.000327—0.000338

Darcy ノ實驗　　0.000172—0.000661

ぷろにーニテハCノ値カ殆ト定數ナルニ拘ラス此實驗(せめんと、板、煉瓦、小砂利、大砂利ヲ夫々內壁面トセル矩形渠)ニテハCノ變化ノ割合ハ事實一ヨリ四ニマテ變化スルヲ見得タリ況ンヤ若シ斯ク正シキ矩形渠ニアラサル不規則ノ土床ナランニハ尙是レ以上ノ變化ヲモ恐ラク豫想シ得ヘキナラン

「ソノ爲ニハ別ニ Canal de Bourgogne ノ多數ノ溝渠ニ就テノ實驗ヲ例證スルヲ得ヘシソレニヨレハ

$$C=\frac{RS}{V^2}$$

Prony ノ公式　　0.000407—0.000335

實驗ノ結果　　0.000749—0.001024

其處ニハ同一ノ溝渠ニシテ苔類ノ茂生セル時トソヲ除去セル後トノ比較實驗アリソノ示ス處ヲ以テセハ苔ノ有無ハ斷面ニ大ナル變化ヲ與ヘサルニモ拘ラスCノ値ニハ實ニ二ト一トノ差別ヲ生セリ

「否啻ニ然ルノミナラス更ニ遙ニ微細ノ變化ヲ壁質ニ加フルノミニシテCノ價ニハ可ナリ著大ノ影響ヲ認メサル能ハサル例アリ即チ勾配ト斷面ト共ニ絕對ニ同一ナル二渠ニシテ

一ハ純せめんと壁

一ハ極微ノ硅質砂ヲ用ヒシ一、三ノ膠泥壁ヲ比較實驗セシニ前者ノ流量一・一三立方米ノ時後者ハ一・〇三立方米ニシテ即チ約十二分一ノ流量ヲ減セルヲ見タリ彼ノだーしー氏カ一八五一年ノ實驗ニ際シ同一鐵管ニテモ其內面ノ銹ノ有無カ相當ニ流量ノ變化ヲ生スルコトヲ認メタルモ亦同シ」ト

仍テ氏ハ流速乃至流量ノ打算上管渠壁ノ粗度如何カ決シテ閑却シ能フヘキモノニ非サルコト斷言シ從テづびゅあ乃至ぷろにーノ原則トモ云フヘキ內壁面ノ水膜附着說ヲ打破シテ曰ク「縱シ斯カル水膜ノ存在ヲ假定スルコトヲ許ストシテモソノ爲ニ壁面ノ粗度ノ凡テカ蔽ヒ去ラルヘキニ非ラス從テ其多少ノ粗度ハ依然トシテ流水ニ作用シ以テ之ヲ擾亂スルヲ認メサル能ハス」ト次テ氏ハ疑問ヲ提起スラク「然ラハ則チぷろにー氏公式ノ根據タルづびゅあ氏ノ實驗ニ於テ如何ナレハ壁質ニ伴フ流速ノ變化カ顯著ナラサリシカ又如何ナレハづびゅあ氏ノ如キ非凡ノ實驗的手腕ヲ有スル人ノ眼ニ此影響カ看過セラレシナルカ」ト而シテ氏ハ之レニ答ヘテ曰ク「づびゅあノ實驗ハ三十餘ノ多キニ上ルト雖モ

其九ハ幅〇·四七米ノ木造矩形渠

其十七ハ底幅〇·一六米ノ木造梯形渠

其六ハ Canal du Jard ニ於ケルモノ

其四ハ Hayne 川ニ於ケルモノ

ヨリ成リ即チ其實驗ハ明ニ(一)寸法甚タ小ナル木造渠ト(二) $R=0.50\sim1.80^{m}$ ノ土床水路トノ二種ニ區別サルヘキモノニシテコレヲ其壁質ヨリスレハ(一)ハ(二)ニ比シテ著シク小ナル抵抗ヲ生スヘキ筈ナレトモ如何セン氏ノ用ヒシ木造渠ノ寸法カ餘リニ小ナリシ爲メニ一方ニ得ル處ノモノハ却テ他方ニ失フ處ノモノト相殺サレサル能ハスシテソノタメ結局二者共ニ殆ト相同シキ結果ヲ齎ラスニ終リ流石づびゅあ氏如キ堪能ノ實驗家スラモ遂ニ其結論ヲ誤ルニ至レルニ外ナラス蓋シ $\frac{RS}{V^2}=A$ ノ値ハ二種ノ要素ニ左右サルヽモノニシテ

(一) 壁ノ粗度ト共ニ增加シ

(二) 斷面並ニ速度ノ增加ト共ニ減少ス

故ニ木造ノ小渠ト土質ノ大河[illegible]
增スヘキカ故ニ偶々此實驗ニ於テハ壁ノ粗度ト渠ノ大小トヲ併セテ無視スヘク誤認スルノ結果ヲ生セルニハ非サルカ」ト

氏ハ尙進ンテぷろにートあいてるわいんトヲ追窮シテ曰ク「ぷろにー氏カ公式ヲ編ムニ用キシ三十一實驗中其三十ハづぴゅあ氏ノモノ(小木造渠ヨリノモノ二十三、河川ヨリノモノ七)ニシテ他ノ一ハ即チしぇじー氏ノ Courpalet 渠ニ於ケルモノタルモ然カモ河川ヨリセル八實驗ニハ何レモ非常ノ缺點アリ何トナレハ其流水ノ平均速度ハ何レモ之レヲ直接ニ測定シタルニ非スシテ浮子ニヨル表面速度ノ實測ヲ或手段ニテ換算シタルニ止マリ且ツ其換算ノ手段トシテハ實ニづぴゅあ氏カ木造小渠ニ於テ測定シ得タル表面速度ト平均速度トノ關係ヲ其儘河川ノ場合ニ適用シタルニ過キス然カモ此關係トテモ畢竟ハ壁質ノ粗度如何ニヨッテ著シク變化スヘキモノタルヲ以テ結局幾多ノ誤謬ハ此間ニ胚胎サルヽノ外ナカラン換言スレハぷろにー氏ノ公式ハ小ナル木造渠ニ對ツテノミ適用シ能フ程度ノモノニ過キサルヘシづぴゅあ氏ノ木造小渠ノ實驗ノミカ事實其公式ノ案出ニ向ツテ役立チタルニ止マレハナリ

「又あいてるわいん氏ハづぴゅあノ實驗三十六ニ加フルニ獨ノ Woltmann ノ實驗四 Brünings ノ實驗十六 Funk ノ實驗三十五ヲ併セ考ヘテ以テ其公式ヲ按出セリト云フモ然カモ獨逸ニ於ケル此凡テノ實驗ハ何レモ大ナル水路ニ於ケルモノニシテ又夫々ニ若干ノ缺點ヲ指摘シ得サルニ非ス即チ Brünings ノモノハ一七九〇—九二年らいん河ノ流量カ數多ノ派川ニ如何ニ分配セラレツヽアルカヲ見出サンカ爲ニ施行セラレシニ過キサルカ故ニ其當面ノ目的上水面勾配測定ノ必要ナク又事實其實測モ爲サレサルカ儘ナリシヲ後年計算ノ援ケヲ藉リテ當時流行ノ流速公式ト其結果ヲ一致セシムルコトヲ敢テシ又ハ一七九〇年ニ及ンテ別途ニ施サレタル測量ノ結果ヲ假用シタ

ルニ過キサルカ故ニ此點ニ於テ既ニ悲ムヘキ缺點アリ又Funk氏ノ實驗ハ主トシテ一八六年Weser川ニ施サレタルモノニシテコモ勾配ノ點ニ於テ多少ノ不確サヲ認メサル能ハナレハ氏ハ實驗ノ一種列毎ニ同一ノ水面勾配ヲ採用シタリト雖モコハ恐ラク自然的流水路ニ於ケル事實ニハ非ラシ即チHagen氏ノ疾ク指摘シタリシカ如ク各實驗ニ伴フ勾配ノ變化ヲ殊更ニ整一ナラシムヘク強テ何等カノ計算ヲ加味シタルナランカ最後ニWoltmann氏ノ四實驗ハElbeノ河口ニ近キCuxhafen附近ノ小渠(土床)ニ於テセルモノニシテコレニハサシテ特記スヘキ缺點アルヲ知ラサレトモ然カモ其實驗數ニ至ツテハ殆ト云フニ足ラス之レヲ要スルニ獨逸ノ實驗五十五ヲ併セ考慮シ得タリト稱スルあいてるわいん氏ノ公式モ其實驗ノ内容ニ於テハ未タ格段ノ進歩ヲ認メ能ハサルモノナルコト明カナリ云々ト

以上ハばざん氏カ先ツ當時流行ノ諸公式ニ對ツテ一撃ヲ加ヘ依テ一般ノ注意ヲ惹起スヘク高唱セル一節ノ要領ニシテ氏ノ新タナル實驗ト及ヒ之レニ伴フ新タナル公式ノ說明トハ乃チ之レニ次ク然カモコレヲ詳述スレハ限リナシ茲ニハ最モ忠實ニ然カモ成ルヘク其要ヲ摘ンテ大概ノ結構ヲ紹介スルニ止メン氏曰ク

「以上見ル處ヲ以テスレハ

$$RS = aV + bV^2$$

ノ式ハ實ハ其内ニ包含セラレサル管渠壁質ノ粗度如何ニヨリテハ無限ノ變化ヲ免レサラン即チ係數bハぷろにーノ見出シタル如クニ0.000309ナルカ又ハあいてるわいんノ如クニ0.000366ナルカ將タ他ノ人々ニヨツテ利用サルヽカ如クニ0.0004ニテ可ナルカノ如キハ最早問題ニハ非ラス此係數ハ實ハ0.000130—0.002500ニ若クハ更ニ其以上ニモ變化スヘキヲ正當トス然ラハ茲ニ問題トスヘキハ右ノ公式ノ形式ヲ保有シテ而シテ係數aトbトニ種々ノ壁質ニ伴フ格段ナル値ヲ

表記シテ附與スヘキナルカ又ハ全然公式ノ形式ヲ變化スヘキカニアリ

「づぴゅあ氏ノ說ク處ニヨレハ同一渠ニ於テ流速增大セハ抵抗 $\frac{RS}{V^2}$ ハ漸減シテ遂ニハ或一定ノ極限ニ到達スヘシト云フ即チ其意味ヲ算式ニテ示セハ

$$\frac{RS}{V^2}=\alpha+f(R,V)$$

α ハ定數 $f(R,V)$ ハ R ト V トノ或函數ニシテ R ト V トカ無限ニ增加スル時零トナルヘキモノタリ依テ今此函數ニ與ヘラルヘキ最モ簡單ノ形式ヲ選ハンニハ

$$f(R,V)=\frac{\beta}{V}$$

又ハ

$$f(R,V)=\frac{\beta}{R} \qquad \beta=\text{定數}$$

ト爲スヨリ簡ナルハ非ラス而シテ若シ試ニ前者ヲ選ハンニハ

$$\frac{RS}{V^2}=\alpha+\frac{\beta}{V} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

$$\therefore \quad RS=\beta V+\alpha V^2$$

是レ即チぷろにー、あいてるわいん氏等ノ公式ト其形式ヲ同シウスルモノニ非ラスヤ又若シ後者ヲ選ハヽ

$$RS=\left(\alpha+\frac{\beta}{R}\right)V^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(2)$$

是レだーしー氏カ曩ニ管ノ實驗ノ結果トシテ導キ得タリシ形式ニ外ナラス而シテ右ノ二者中果シテ其何レカ特ニ開渠ノ場合ニ於テ適切ナルヘキカハ獨リ實驗ノ能ク之レヲ決スルアランノミ」

ト

此目的ノ爲メノ實驗ハ一八五六年ニ試ミラレタリ即チ幅一·九九米ノ木造矩形渠ヲ作リテ而勾配ヲ千分ノ四·九ニ一定シコレニ順次十二樣ノ流量(每秒〇·一乃至一·二三六立方米)ヲ流シテ夫々其成績ヲ檢シ次テ又順次右木造渠ノ內壁ヲ張替フルニ(一)純せめんと(二)煉瓦(三)一、二糎徑ノ小砂利ヲせめんと張リトセルモノ(四)三、四糎徑ノ大砂利ヲせめんと張リトセルモノヲ以テシ此四種ニ就テ夫々一種十二樣宛ノ實驗ヲ施シ依テ右五種ノ壁質ニ對シ同一勾配、同一流量及ヒ略同一寸法ノ場合ニ於ケル流速其他ノ關係ヲ比較研究シ得可カラシメタリ即チ是レ Bazin 氏實驗中ノ Series 2°, 3°, 4°, 5°, 7° ヲ形作ルモノニシテ氏ハ此結果ニヨリ前二樣ノ公式中其何レカ果シテ適切ナルヘキカヲ見出サント欲シタリ

氏曰ク「此比較ハ圖式ニヨルヲ簡單トス即チ正座標ニ於テ

$$Y=\frac{RS}{V^2}\qquad X=\frac{1}{V}$$

トセハ各實驗ハ點ニテ示サルヘシ而シテ若シ公式(1)カ正シカランニハ各點ハ $Y=\alpha+\beta X$ ナル直線中ニアラサル可カラス同樣ニ又縱橫軸ヲ

$$Y=\frac{RS}{V^2}\qquad X=\frac{1}{R}$$

ト取ラハ以テ公式(2)ノ適否如何ヲ檢スルヲ得ン然ルニ此圖式的對照(第一圖表)ノ示ス處ニヨレハ右ノ二公式ハ共ニ等シク能ク實驗ノ結果ヲ現ハスヘキモノナルヲ知ラン即チ二者トモニ渠壁ノ種類每ニ夫々略々一直線ヲ爲スモノト認メラル但シ壁質ノ粗度如何ニ伴フテ各線ノ位置ニ甚シキ隔離アルハ即チ壁質ノ影響ノ甚大ナル所以ヲ明示スルモノニシテ從テぷろにー、あいてるわい

ん氏等ノ如ク此影響ヲ無視セルモノニ於テハ縦シ其公式ノ形式カ偶々(1)式ト相同シカラントモ事實ハ固ヨリ多大ノ逕庭アルコト又併セテ右圖表ノ上ニ確認スルヲ得ヘケン

「右ノ圖表ヨリシテ各壁質ニ對スルα βノ係數ヲ見出スヲ得ヘシ即チαハ各直線ト縦軸トノ交點ノ讀數βハ該直線ノ横軸ト爲ス角ノ正切ニ外ナラス試ニ之レヲ表記センニ

第一表

實驗セル壁質	$\frac{RS}{V^2}=\alpha+\frac{\beta}{R}$ α	β	$\frac{RS}{V^2}=\alpha+\frac{\beta}{V}$ α	β
Series 2° せめんと壁	0.000149	0.000005	0.000118	0.000127
〃 7° 木壁	0.000177	0.000012	0.000127	0.000217
〃 3° 煉瓦壁	0.000208	0.000014	0.000162	0.000218
〃 4° 小砂利壁	0.000326	0.000040	0.000226	0.000411
〃 5° 大砂利壁	0.000329	0.000100	0.000201	0.000685

(附記) α βノ見出シ方ハ圖表ノミナラス Method of three centres of gravity ニモ依レリ

右ノ表ニヨレハαトβトハ共ニ壁質ノ粗度ノ加ハルニ連レテ増加スルモαニ比スレハβノ方カヨリ速ニ増加スルコトヲ認メンソハ兎マレ右ノ結果ハ(1)(2)ノ公式カ等シク適當ナルヲ示スニ止マルヲ以テ未タ兩者ノ何レヲ以テ優レリト爲スヘキカヲ知ラス之レヲ見定メンカ爲ニハ更ニ新シキ實驗ヲ要ス換言スレハ一層一般的ニ勾配ノ變化ヲ含メル實驗ヲ用ヰテ重ネテ比較スルニアリ

「比實驗ハ一八五八、九ノ兩年ニ亘リテ施行サレタリ即チ幅一.九八米ノ木造矩形渠ヲ底板ノ加減ニ

ヨリテ三様ノ勾配ニ分チ

長一五〇米間ハ渠底ノ勾配千分ノ一・五

同一〇〇米間ハ　千分ノ五・九

同　八〇米間ハ　千分ノ八・八六

トシ壁面ニ種々ノ粗度ヲ表現セシメントス但シ此三區ノ斷面ヲ成ルヘク同一ニ保チツヽ其壁質ノ變化ヲ著大ナラシメンカ爲ニハ煉瓦、砂利其他ノ張付ケニヨルコト困難ニシテ手數並ニ費用モ大ナルカ故ニ玆ニ試ミタルハ渠ノ兩壁ニ幅二七粍厚一〇粍ノ木ノ横棧ヲ釘付ケトシ横棧ノ間隔ヲ一纒トシタルモノ (Bazin's series No. 12°, 13°, 14°) 五纒トシタルモノ (Series No. 15°, 16°, 17°) 及ヒ横棧ヲ用ヰサルモノ (Series No. 9°, 10°, 11°) ノ三様トシ夫々配スルニ前記ノ三勾配ヲ以テセリ第二圖表ハ即チ前同様ニ其結果ヲ圖示シタルモノニシテコレニヨレハ横距ニ $\frac{1}{V}$ ヲ用ヰシト $\frac{1}{R}$ ヲ用ヰシトハ實ニ著大ノ差異アリ

「横距ニ $\frac{1}{R}$ ヲ用ヰシ場合ニアリテハ勾配ノ變化ニモ拘ラス壁質ノ同シキ三線宛ハ相互ニ接近シ又ハ切合フコトスラアリ之レヲ同一線トシテ見做シ能ハサルニ非ラス但シ Series No. 9° ノ線ハ同種ノ他ノ二線トハ甚シク離隔セルカ如キモソハ R ノ小ナル場合ニ於テノミ特ニ然ルモノニシテ R カ大ナルト共ニ漸次ニ相接近シ $R>0.2$ 米ニ及ヘハ又殆ト相合致スルノ狀アリ

「反之 $\frac{1}{V}$ ヲ横距トセル場合ニ於テハ各線相互ニ著シク離隔シ且ツ勾配ノ大ナルモノ程横座標ヨリ遠サカラントスルノ狀アリ從テ同一壁質ノ場合トテモ到底同一ノ公式ヲ以テ其勾配ノ變化ヲ表現セシムルニ由ナシ渠壁ノ粗度ノ大ナルニ連レテ殊ニ然リ例セハ流速一米ノ時ノ Y ノ値ハ

渠壁　$Y=\frac{RS}{V^2}$

木造矩形渠	0.000290—0.000360
一種間隔ノ横棧アル場合	0.000370—0.000610
五種間隔ノ横棧アル場合	0.000620—0.001140

與ヘラレタル勾配ニ於テスラ實ニ此ノ如キノ差アリ若シ他ノ勾配ヲ以テセンニハ尙更其差異ノ甚大ナルモノアラン

「玆ニ於テカ最早既記(1)(2)ノ公式ノ優劣ハ明瞭ナリ何トナレハ(1)式ヲ以テセハ勾配ノ増スニ連レテ $Y=\alpha+\beta X$ ナル直線ハ倍々横座標ヨリ遠カルノミナラスソノ横座標ニ對スル傾斜モ亦同時ニ増加スルカ故ニ即チαトβトハ勾配ノ増スニ連レテ同時ニ二ツナカラ増加シ所詮種々ナル勾配ニ向ツテ常ニ有效ナル公式トシテ之レヲ認ムルコト能ハス反之(2)ノ公式ニテハαトβトハ勾配ノ變化ニ對シテ互ニ反對ニ増減スルノ傾向アリ即チ勾配カ増セハαハ増セトモ却テβハ減スルヲ以テ彼此自ラ其結果ヲ相殺シ依テ結句ハ勾配ノ種々ノ變化ヲ問ハスシテ略々Yノ價カ壁質毎ニ一定スト云フヲ得ヘケン是レ(2)式ノ遂ニ他ニ優ル所以ナラスンハ非ラス

「但シ嚴密ニ是レヲ檢スレハ(2)式トテモ亦固ヨリ充分ニ流速ノ現象ヲ代表セルモノトハ云フ可ラスサレト玆ニハ敢テ數學的ニ嚴密ナル解答ヲ求ムルノ要ナク寧ロ何レカ簡單ニ且ツハ實用的ニ近似ノ解答ヲ見出スヲ得ハ足ル是レ(2)式即チ曩ニだーしー氏カ管ノ實驗ニヨリテ得タル基本公式ノ形式ヲ以テ等シク開渠ノ場合ニモサシタル不自由ナク適用シ能フヘキモノナルコトヲ主張スル所以ナリ」云々

斯ノ如クニシテばざん氏ハ其公式ノ形式ヲ決セリ次テハ種々ノ壁質ニ對スル實驗ヲ重ネテ該公式ノ係數αトβトノ價ヲ壁質毎ニ撰定セサル能ハス然カモ其前ニ於テ氏ハ渠ノ斷面ノ形狀カ流水ニ及ホス影響如何ヲ探ラント欲シテ之レニ對スル數多ノ實驗ヲ試ミタリ(一八五七—五九年)即

チ矩形渠ニテハ其幅ヲ一・一九七米トセルモノ〇・八米トセルモノ〇・四八米トセルモノヽ三種ヲ用ヒ梯形渠ニハ底幅一米ニシテ兩側壁共ニ一割勾配ナルモノ及ヒ一側ノミ一割勾配ニシテ他側ハ垂直ナルモノヽ二種ヲ採リ三角渠ニハ兩側共ニ一割勾配ノモノヲ撰ヒ以上何レモ木造ニシテ渠底ノ勾配ニハ種々ノ變化ヲ敢テセリ (Bazin's series No. 18°—23°) 又別ニ直徑一・二二乃至一・四〇米ノ半圓渠ノ周壁ヲせめんと、〔三〕ノ膠泥、木、及ヒ一、二糎ノ砂利ニテ張付ケタルモノヲ用ヰ同一勾配ニ於テ夫々實驗セリ (Bazin's series No. 24°—27°) 然カモ是等多數ノ綿密ナル實驗ノ結果トシテ導カレタル處ノモノヲ綜合スレハ結局渠ノ斷面ノ矩形タルト梯形タルト將タ三角形タルトハ流量ニ對シテ何等著シキ差異ヲ與フルモノニ非ラスシテ獨リ半圓渠ノミハ矩形渠ニ比シ十分ノ一多クノ流量ヲ生スルコトヲ認メサル能ハスト云フニアリ

氏ハ又特ニ斷面ノ極テ小ナル場合ヲ考ヘ即チ幅〇・一米ニ過キサル矩形木造渠(渠ノ全長一九米)ニ就テ四種ノ實驗 (Bazin's series No. 28°—31°) ヲ試ミタリト雖モ其結果ハ即チ此場合渠内ノ流水抵抗カ速度ノ自乘ニ比例セスシテ却テ速度其モノニ比例ステフ所謂不動搖流 Non-sinuous motion ノ狀態ヲ現出シ恰モ公式(1)ニ於テ $\frac{RS}{V^2}=\alpha+\frac{\beta}{V}$ ノ α ヲ無視シタル時即チ $\frac{RS}{V}=\beta$ ノ示ス所ニ吻合スヘキヲ知レリコモ別種ノ研究問題トシテ頗ル興味アルモノナリト雖モ茲ニ述フヘキ實用上ノ流水問題トハ殆ト相觸レサルカ故ニコレヲ詳説セス

以上大要略記セルカ如キノ筋道ヲ經タル後ばざんハ氏ノ推薦セント欲スル(2)ノ公式ノ α ト β トヲ渠壁ノ粗度ニ應シテ種々ニ分類スヘキ研究ニ取掛レリ氏曰ク「在來ノ諸公式ノ顯ルニ足ラサルコトハ最早論ナシト雖モ然カモ新タナル實用公式ノ設定ハ其事頗ル容易ナラス何トナレハ係數 α ト β トハ啻ニ渠壁ノ粗度ニ連レテ變化スルノミナラス嚴格ナル意味ニ於テハ勾配ノ大小及ヒ斷面ノ形狀ニヨリテモ亦斷エス變化スヘキモノナレハナリ然レトモ幸ニ勾配ト形狀トニ伴フ影

響ハ之レヲ壁質ノ粗度如何ノ及ホス影響ニ比シテ格別著大ナラサルカ故ニ實用公式ノ程度ニ於テハ恐ラク之レヲ無視スルヲ得可ケンヤ仍テ吾人ハ更ニ種々ノ渠壁ニ就テノ實驗ヲ重ネテ以テ實用上最モ普通ナルヘキ粗度ヲ四樣ニ類別シ其一々ニ對スルαトβノ數値ヲ定メント欲ス但シ此四種ノ分界ハ勿論劃然タルモノニ非サルカ故ニ後來必要ニ從ヒ幾樣ニモ其中間級ノモノヲ設定シ得ヘキヤ論ヲ俟タス」ト

斯クテ氏ハ一八五七—五九年ニ亘リ Canal de Bourgogne ノ支渠若干ヲ利用シテ更ニ十九種ノ實驗(Bazin's series No. 32°—50°)ヲ重ネ粗石積、切石積、煉瓦積、乃至土床ノ種々ナル場合ニ亘リテ一々精細ニ公式ノ要素トナルヘキモノヲ測定算出セリ而シテ是等支渠ノ形狀ハ大方梯形ナリト雖モ其側壁勾配ハ二割ナルアリ一割五分ナルアリ十分一位ニ止マルモアリ中ニハ雜ユルニ馬蹄形若クハ多邊形渠ヲ以テシ渠底ノ幅員ハ一・二米ヨリ二・一五米ニ及フ各種必ス四回乃至五回ニ亘リ夫々流量ヲ變化シテ實驗箇數ヲ重ネ其都度測定シ得タル水面勾配ハ一萬分ノ二・五乃至九・九ナルカ最モ多ク百分ノ一・四乃至十分ノ一ヲ算スルモノ亦四五種アリ動水半徑Rハ〇・一ヨリ〇・五六ニ至リ平均流速ハ毎秒〇・二五米ヨリ六・四米ニ達スルカ故ニ略々普通ニ使用スル人造渠ノ凡テノ場合ヲ蔽フモノト云フヘシ氏ハ右ノ一ッ〳〵ノ實驗成績ヲ氏ノ基本公式$\frac{RS}{V^2}=\alpha+\frac{\beta}{R}$ニ適用シテ係數$\alpha$ト$\beta$トヲ見出シコレヲ壁質ノ分類ニ應シテ配列シ中ニ其結果ノ著シク不似合ナルモノハ更ニ詳シク其壁床ノ實況ヲ調査シテ之レヲ他ノ分類ニ組入ルヽカ若クハ全然實驗上ノ錯誤ニ基クモノトシテ之レヲ排除シ依テ略々平均値トモ見ルヘキ係數$\alpha\beta$ノ實價ヲ各分類毎ニ選定セリ Baumgarten カばざんニ先立チだーしーノ助手トシテ一八五五年ニ Canal de Marseille 及ヒ Canal de Craponne ニ試ミタル少許ノ實驗 (Bazin's series No. 1°) 並ニづびゅあ氏ノ實驗ニ就テモ亦併セ考慮スル處アリ夫々其用フヘキハ採リ然ラサルハ擯却セリ

然リ而シテ最後ニ河川ノ如キ大水路ニ向ツテハばざん氏自身ニハ直接ノ實驗ヲ有セサルヲ以テHayne川ニ於ケルづぴゅあノ實驗四Weser川ニ於ケルFunkノ實驗三十一ヲ參酌スルニ加ヘテ偶々一八五一—五九年ノ頃佛國土木局ニ於テPoirée, Emmery氏等ノ指揮下ニ施行セラレタルSeine川トSaône川トノ實驗三十箇ヲハ併セ利用シタリ

略々以上ノ手數ヲ用キテ成レルばざんノ公式ハ既ニ何人モ熟知セル所ノ如ク

$$\frac{RS}{V^2}=\Delta \quad \text{又ハ} \quad V=\frac{1}{\sqrt{\Delta}}\sqrt{RS}$$

ニシテ係數Δノ値ハ壁質ニ應シテ左ノ四種ニ分タル(米突式)

第一　甚タ平滑ノ壁面(せめんと塗鉋削セル木板等)

$$\Delta=0.00015\left(1+\frac{0.03}{R}\right)$$

第二　平滑ノ壁面(切石,煉瓦,木板等)

$$\Delta=0.00019\left(1+\frac{0.07}{R}\right)$$

第三　稍々粗ナル壁面(粗石工)

$$\Delta=0.00024\left(1+\frac{0.25}{R}\right)$$

第四　土床

$$\Delta=0.00028\left(1+\frac{1.25}{R}\right)$$

最後ニ氏ハ斯ク見出サレタル公式カソヲ導クニ用キシ數多ノ實驗ニ對シテ果シテ何レ程ノ近似

ヲ保テルカヲ檢スルカ爲ノ圖表(第三圖表)ヲ作成シ又別ニ一表ヲ揭ケテ此報告ニ引用シ得タル限リノ實驗五百三十八個ノ夫々ニ對スルAノ計算値ト實驗値トヲ對照列擧シタリ之レニヨレハ本公式ノ價値最モ明瞭ナルヲ以テ左ニ其誤差ノ程度ヲ拔摘表記シテ以テ此章ヲ終ラン但シ次表中$\frac{1}{\sqrt{A}}$ハ實驗値ニシテ$\frac{1}{\sqrt{A'}}$ハ本公式ニヨル計算値ナリ

第　二　表

實驗者	渠質ト渠形	實驗回數	動水半徑(米) R	誤差ノ範圍 $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	平均誤差
	第	一	類		
Bazin, n^{o} 2	せめんと矩形渠	12	0.051 ～0.212	+0.02～−0.01	0.004
„ n^{o} 24	せめんと半圓渠	12	0.112 ～0.315	+0.02～−0.09	0.048
„ n^{o} 25	膠泥(1:3)半圓渠	12	0.115 ～0.317	+0.11～−0.02	0.045
Baumgarten	底部せめんと兩側煉瓦矩形渠	1	0.459	+0.04	0.040
Bazin, n^{o} 28	木造小矩形渠	7	0.0089～0.0284	+0.05～−0.07	0.037
„ n^{o} 29	同　上	5	0.0092～0.0225	−0.18～−0.07	0.100
	第	二	類		
Bazin, n^{o} 6	木造矩形渠	13	0.073 ～0.418	+0.05～−0.01	0.018
„ n^{o} 7	同　上	13	0.057 ～0.339	−0.01～−0.05	0.036
„ n^{o} 8	同　上	13	0.045 ～0.300	−0.01～−0.19	0.065
„ n^{o} 9	同　上	7	0.084 ～0.304	+0.10～−0.02	0.049

Bazin, n° 10	木造矩形渠	7	0.052 〜0.209	−0.05〜−0.08	0.064
,, n° 11	同上	7	0.045 〜0.189	−0.07〜−0.19	0.101
,, n° 18	同上	12	0.072 〜0.256	−0.01〜−0.06	0.027
,, n° 19	同上	11	0.065 〜0.213	+0.02〜−0.03	0.025
,, n° 20	同上	9	0.072 〜0.131	+0.03〜−0.02	0.010
,, n° 21	木造梯形渠	12	0.102 〜0.334	−0.01〜−0.05	0.010
,, n° 22	同上	12	0.079 〜0.255	−0.05〜−0.08	0.058
,, n° 23	木造三角渠	12	0.100 〜0.256	−0.02〜−0.05	0.038
,, n° 26	木造半圓渠	13	0.119 〜0.351	−0.03〜−0.10	0.070
Dubuat	木造小矩形渠	9	0.0439〜0.1192	+0.33〜−0.19	0.117
,,	木造小梯形渠	17	0.0391〜0.1109	+0.07〜−0.21	0.072
Bazin, n° 3	煉瓦造矩形渠	12	0.059 〜0.237	+0.06〜−0.01	0.038
Baumgarten	切石積梯形渠	1	0.541	−0.01	0.010
Bazin, n° 39	同上	4	0.124 〜0.234	+0.05〜 0	0.030
Bidone	煉瓦造小矩形渠	3	0.0363〜0.0557	−0.06〜−0.17	0.110
	第	三	類		
Baumgarten	粗石積梯形渠	4	0.188 〜0.269	+0.15〜+0.01	0.073
Bazin, n° 32	同上	4	0.099 〜0.202	−0.03〜−0.08	0.050
,, n° 33	同上	4	0.129 〜0.260	+0.01〜−0.05	0.023
,, n° 44	仰拱底アル粗石積梯形渠	4	0.327 〜0.522	+0.41〜 0	0.185
,, n° 45	同上	4	0.298 〜0.487	+0.13〜−0.09	0.070
,, n° 46	同上	4	0.269 〜0.457	+0.37〜+0.08	0.243

第四類

Bazin, n° 37	土床梯形渠	4	0.292 ～0.475	+0.05～−0.04	0.043
〃 n° 38	同上	4	0.292 ～0.469	+0.15～ 0	0.105
〃 n° 41	同上	4	0.318 ～0.522	+0.09～+0.07	0.078
〃 n° 47	土床多邊形渠	4	0.332 ～0.522	+0.36～+0.01	0.128
〃 n° 48	同上	4	0.301 ～0.522	+0.16～−0.04	0.058
〃 n° 49	同上	4	0.293 ～0.543	−0.10～−0.24	0.173
〃 n° 50	同上	4	0.320 ～0.563	+0.08～−0.12	0.075
Baumgarten		1	0.875	−0.04	0.040
Dubuat	Jard canal	6	0.512 ～1.094	+0.62～−0.19	0.232
〃	Hayne 川	4	1.472 ～1.776	+0.20～−0.05	0.088
Funk	Weser 川	34	0.685 ～4.308	+0.20～−0.20	0.047
Brünings	Rhine 派川	16	1.256 ～5.181	+0.16～−0.30	0.083
Bonati	Po 川	3	2.640 ～7.080	+0.15～−0.09	0.100
羅馬工科大學	Po 川及 Tibre 川	2	2.852 ～4.666	0 ～−0.14	0.070
佛國土木局	Seine 川	11	1.726 ～5.604	+0.24～−0.03	0.072
〃	Seine 川	9	2.164 ～5.445	+0.09～−0.06	0.044
〃	Saône 川	10	1.182 ～4.825	+0.67～−0.03	0.175

其他ノ實驗ハ正シク是等ノ分類ニ組入レ難キモノナルヲ以テ省略ス

第四章　ばざん氏舊式ヲ論ス

ばざん氏舊式ノ成立チハ略々前章ニヨリテ之ヲ窺フニ足ラン但シ氏ノ報告書ニハ其以外管渠ノ斷面ニ於ケル流速分布ノ實驗並ニ公式不定流ニ關スル實驗並ニ主張等更ニ貴重ナル幾多ノ新研

究ヲ包含セリト雖モソハ問題外ナルヲ以テ今之レニ及ハス然カモ氏カ數年ニ亘ル流速實驗ノ方法、測定用具ノ說明及ヒ其調整ニ關スル用意ナト本問題ニ關聯シテ特ニ注意ヲ要スル事柄ヲスラモ全ク不問ニ付シ又ハ氏ノ論文中ニ頻々トシテ引用セラルヽ無數ノ綿密ナル實驗成績表並ニ圖面ノ類ヲタモ亦悉ク省略シ去リタルカ如キハ縱シ其目的ノ一ニ記述ノ簡捷ヲ期シタルカ爲メナリトハ云ヘ氏ノ苦心ヲ詳悉スルニ向ツテ其遺憾固ヨリ尠シト爲サス遮莫前章ハばざん氏公式作成ノ理據ト經路トヲ摘出スルニ急ニシテ敢テ他ニ及フ能ハサリシト同時ニ又其點ニ於テハ恐ラク多ク其要領ヲ失ハサリシモノナルコトヲ信セント欲ス

仍テ今該公式ニ就テ聊カ無遠慮ニ一ト通リノ私見ヲ述フレハ吾人ハ先ツ何ヨリモ氏ノ實驗公式作成ノ手續カ吾人ノ日頃豫想シタルヨリモ案外無雜作ナリシコトニ驚カサレタル一人ナリ但シ其意味ハばざん氏カ一八五六乃至六三年ノ長年月ニ亘リ專念在來諸公式ノ缺陷ヲ充タスノ目的ヲ以テ焦心努力ノ末ニ成リタル多數綿密ノ實驗其モノヲ云爲スルノ謂ニ非スシテ只其貴重ナル實驗ノ結果ヲ一ノ新公式ニ結晶セシムルニ方リ取運ハレタル手段方法ノ寧ロ意外ニ簡單ナルヲハ指スナリばざん氏ハ自身ニ四十九種三百五十五個ノ實驗ヲ遂ケ且ツ其各個ノ實驗ハ悉ク他ノ比敵シ能ハサル程度ニ周到ニシテ精細ナリサレト氏カ其公式ヲ案出セルニ用ヰシ工夫ト手續トニ至ツテハ寧ロ頗ル簡單ニシテ即チ唯$\frac{RS}{V^2}=\alpha+f(R,V)$ナルづぴゅあ氏ノ假定ニ於テ$f(R,V)$ヲ$\frac{\beta}{R}$ト爲スノ$\frac{\beta}{V}$ト爲スヨリモ比較的適切ナルヘキコトヲ立證シタルニ過キス且ツ其立證ノ方法トテモ只三勾配ニ三樣ノ粗度ヲ配セル九種六十三個ノ實驗(Bazin's series No. 9°–17°)ヲ引用シタルニ止マリ爾餘多數ノ實驗ハ唯斯クシテ成立セル公式ヲ一般的ナラシムルカ爲ニ必要ナル係數αトβトノ數値ヲ撰擇スルノ手段トシテ用ヰラレタルニ外ナラス吾人ハ此方法ヲ以テ敢テ不可ナリトハ爲サヽルモ然カモ只何トナク餘リニ呆氣ナキ感ナカラス即チ斯クシテ得タル實用公式ノ與フ

ル$\frac{RS}{V^2}$ノ計算値ト四百ニ近キ實驗カ與フル實驗値トノ間ニ縦シ其誤差ノ甚タ大ナラサルヲ得ルトスルモ其誤差自體カ果シテ單ナル實驗上ノ觀測ニ滿クカ又ハ何理論的ニ追求ノ餘地アル多少ノ不備不徹底ノ廉ヲ包含セルニ因ルカハ未タ得テ知ル可ラサルニ非スヤ況ンヤ既掲ノ第二表ニ就テ見ルモ氏ノ公式カ一種別ノ實驗ニ與フル平均誤差ニシテ百分ノ十以上ニ達スルモノ亦甚タ稀ナラサルヲヤ吾人ハ往々ニシテ某氏ノ公式カ無慮何百個ノ實驗ニ基キテ成レリト聞クヤ先ツ第一ニ其實驗數ノ多大ナルヲ尊重シテソヲ一公式ニ歸納スルノ苦心ト努力トヲ長敬シ依テ一儀ナク其公式ヲ無上ノモノトシテ信賴スルニ安ンスルノ氣味ナカラス即チ此點ニ關シ特ニ多少ノ注意ヲ喚起スルノ必要アラント信スルニ方リ偶々ばざん氏ノ公式ニ就テ其究極ノ是非ハ兎ニ角先ツ其歸納ノ爲ニ用ヰラレタル方法ノ餘リニ簡單ナル一事ヲ指摘シ得ルヲ以テ一ノ興味トナスばざん氏カ其時代ニ汎ネク流行ヲ極メシ諸公式ヲ擧ケテソヲ一網打盡センカ爲ニ之レヲ對象トシテ極力其不備ヲ絶叫セルヤ頗ル可シ寔ニ是等ノ諸公式ハ氏ノ實驗ノ前ニハ全然何等ノ顔色ナキナリ只夫レ$\frac{RS}{V^2}$ノ形ヲ何ノ說明モ無ク受入レ其意味ニ關スル何ノ理解ナシニ之レヲ利用シ且ツハづぴゅあ氏ノ所說ヲ其儘$\frac{RS}{V^2}=a+f(R, V)$ヲ直ニ其公式ノ根底ニ採用シタリシハ如何然カモ一方ニハ又同シづぴゅあ氏カ「流水ノ抵抗ハ速度ノ自乘ヨリモ小ナル割合ニテ增加ス」ト其實驗ニ附記セル一節アルニ拘ラスシテソノ點ハ全然措テ顧ミサリシコト如何思フニ$\frac{RS}{V^2}$ノ形ハ遠クぶらーむすしぇじー氏等ノ首唱ニ成ル因襲的形式ヲ其儘無批判ニ受用シタルニ外ナラス然カモ此形式タル恐ラク其根本ニ於テ流水ノ摩擦抵抗カ動水半徑Rト水面勾配Sトニ正比例シ速度Vノ自乘ニ反比例ストノ一種ノ假說ニ由來スルモノナルカ故ニばざん氏ノ如ク然カク自ラ數多ノ精細ナル實驗ヲ敢テシ依テ我カラ古ヘヲ爲スノ慨アル場合ニ於テハ須ラク先ツ此假說ノ是非如何ニ就テ第一ニ其徹底的見解ヲ下サヽル可カラサルニハ非サリシカ

RS ノ意義ヲ解シテ單位抵抗 (Unit resistance) ト爲スコトハばざん氏以前又ハ其以後ノ何人ニヨリテ說キ始メラレタルカハ知ラネトソハ吾人ニ取リテモ頗ル首肯シ易キ點ナリ何トナレハ

$$RS=\frac{A}{P}\times\frac{H}{L}=\frac{wAH}{wPL}$$

L＝考フル二斷面間ノ距離

H＝Lノ長サヲ距ツル二點ノ水位ノ差

A＝流水斷面積

P＝潤邊

w＝水ノ一立方單位ノ重サ

ヲ玩味スレハ wAH ハ L ヲ隔ツル同一流水斷面 A ノ受クル水壓ノ差即チ L ノ距離ニ於テ打克ツヘキ流水抵抗ト相匹敵スヘキモノニシテ PL ハ其間ノ接水總面積ナルカ故ニ $\frac{wAH}{PL}$ ハ接水單位面積ニ對スル抵抗ニシテ從テ wRS 又ハ RS ヲ單位抵抗ト呼ハンニ何等ノ異議ナシト雖モ然カモ $\frac{RS}{V^2}$ ニ至ツテハ吾人ハ到底之レニ附スヘキ適當ノ意義アルヲ知ラス單位抵抗 RS カ V ニ應シテ變化スヘキハ固ヨリナカラサリトテソカ果シテ V ノ何乘羃ニ比例スヘキモノナルカハ之レヲ實驗ノ結果ニ徵セサル限リ濫ニ假定ヲ逞ウシ得ヘキモノニ非ラスぷらーむす、じぇじー氏等カソヲ V^2 ニ比例セシメタリトスルモソハ唯彼ノ時代ニ於ケル貧弱ナル實驗ノ與ヘシ結果ニ外ナラサリシヲ思ヘ折角多年苦心ノ實驗ヲ擁シナカラニだーしーばざん氏等ノ唯無雜作ニコレヲ是認シテ直ニ $\frac{RS}{V^2}=A$ ト置ケルニ至ツテハ吾人甚タコレヲ遺憾トス

ばざんカ「同一渠ニ於テ V 又ハ R カ無限大トナル時ハ流水抵抗ハ自ラ或定數ニ歸セン」トノづびゅあノ假說ヲ其儘何ノ說明ヲモ加ヘスシテ採用シ依テ直ニ

$$\frac{RS}{V^2}=\alpha+f(V,R)$$

ヲ其公式ノ根底トシタルモ亦甚タ慊ラサル點ナラスンハ非ス然カモ公式ニ二項式ヲ選フ以上ハ此ノ如キモ亦餘儀ナキ一種ノ理窟トシテ或ハ之レヲ許容スヘキモ然カモ此式ヲ解クニ方リ唯單ニ $f(V,R)$ ヲ $\frac{\beta}{V}$ ト $\frac{\beta}{R}$ トノ二ツニノミ分チテ以テ其優劣ヲ議スルニ止マレルハ又餘リニ不詮索ナルナカランヤ如何ニモ斯ク分ツノ最モ簡單ナルヘキコトハ氏ノ云フ處ノ如シト雖モ然カモソハ餘リニ簡單過キタル沙汰ナリ後年 Flamant 氏ハ管ノ流速ニ關スル諸公式相互ノ關係ヲ列擧スラク

Prony $\frac{RS}{V^2}=\alpha+\frac{\beta}{V}$

Darcy $\frac{RS}{V^2}=\alpha+\frac{\beta}{R}$

Weisbach $\frac{RS}{V^2}=\alpha+\frac{\beta}{\sqrt{V}}$

Franck $\frac{RS}{V^2}=\alpha+\frac{\beta}{\sqrt{R}}$

Hagen $\frac{RS}{V^2}=\alpha+\frac{\beta}{RV}$

ト、コノ凡テハ何レモづぴゅあノ $f(V,R)$ ヨリシテ容易ニ想到シ得ヘキ最モ簡單ナル形式ナラサルハナシ而シテばざんハ其内ニモ唯最初ノ二式ヲ對照シタルノミニシテ以テ氏ノ研究ヲ終レリ $f(V,R)$ ノ廣キ意義ニ照シテ此ノ如キモノ果シテ能ク如何ニ是ナルカ又ハ如何ニ最モ適切ナルカばざんハ遂ニ之レヲ説カス吾人亦能ク辯スルヲ得ンヤ即チ後年わいずばっはハ氏以下ノ諸公式ヲ

シテ其發表ノ機會ヲ見出シ得セシメタルモノ畢竟ハ其缺陥ニ乘セルカ爲メナラストセシヤRSカV^2ニ比例スルノ倘不確カナル間ハ吾人ハ$f(V,R)$ノVヲ無視スルコトノ如何ニモ不徹底ナルヘキヲ感ス即チ此點ニ於テハ寧ロぷろにー氏ノ$RS=aV+bV^2$ト爲セルノVトノ關係ニ於テハ倘意味アルヲ覺ユ即チばざんカ單ニSノ關係ノミヨリシテ左右ナク$f(V,R)=\alpha+\frac{\beta}{R}$ノ他ニ優ルヲ斷定シ去レルニ至ッテハソハ全ク單位抵抗カ速度ノ自乘ニ正比例ストノ在來ノ假説ヲ其儘無批判ニ採用シタルト選フ處ナシ然リ現ニづぴゅあ氏スラモ其實驗ニ附記シテ「流水抵抗ハ速度ノ自乘ヨリモ小ナル割合ニテ增加ス」トハ云ハスヤ又既ニ一八五一年さんゔなん氏ハRSヲ$V^{\frac{21}{11}}$ニ比例スルモノトシテ認メタルニ非スヤ夫レ既ニ此ノ如キノ手掛リアリ然カモソヲ無視シテ只無雜作ニ$\frac{RS}{V^2}=\alpha+\frac{\beta}{R}$ト定メ畢ンヌ若シ幸ニシテ$RS$カ$V^2$ニ比例シ得可クンハ足ルモ若シ然ラサランニハ即チ氏ノ公式ハ速度自身ニ基ク幾分不徹底ノ廉ヲハ却テαトβトニ强テ轉嫁セシムルコトヽナリ爲ニ公式全體ノ不透明ヲ來タスヲ免ル可カラサランナリ(此點ニ就テハ別ニ第九章ニ說ク所ヲ見ヨ)

以上吾人ハ流水抵抗ト速度トノ關係ニ就テノミ餘リニ多言セリ然カモ其動水半徑トノ關係ニ就テハ後章更ニ說クヘキモノ尠カラサルカ故ニ茲ニハ之レヲ省カン水面勾配ニ對スル關係亦然リ而シテ是等ノ二點ハ即チ他日くったー氏ヲシテ大ニ乘セシムルノ餘地ヲ與ヘシモノナルヲ思ハサル可カラス渠質ノ粗度ニ對スル類別カ僅ニ四種ノミニ止マリ且ツ其中間級ノモノニ對スル$\alpha$$\beta$ノ係數値ヲ見出サントスルモソカ頗ル容易ナラサル一事モ亦併セテくったー氏ノ研究心ヲ刺激セシメシ點ナルヲ知ラン

ソハ兎モ角吾人ハ茲ニ流速公式ニ對スルばざん氏ノ研究ノ歷史的ニ頗ル價値アルコトヲ信ス殊ニ其多數周密ナル實驗ニ至リテハ今日ト雖モ他ノ何人モ未タ之レニ追躡シ得タルヲ知ラス氏ノ

努力ヤ實ニ偉大ナリ

第五章　くったー氏ノ公式

ばざん氏ノ公式新ニ出テ、頓ニ歐洲ノ學界ヲ風靡スルノ勢ヒヲ示セル時ニ方リ續イテ流速公式ノ研究ニ多大ノ努力ヲ致セルモノヲ Würtemburg 王國ノ産 Wilhelm R. Kutter 氏トス氏ハ Jura 川其他ノ改修工事ニ從事セル關係上自ツト這箇ノ問題ニ興味ヲ感シ爾來氏ノ師事セル技師長 Ganguillet 氏ノ有力ナル輔導ノ下ニ其研究ヲ續ケテ一八六八乃至八五年ニ亘リ雜誌ニ著書ニ屢々其意見ヲ發表シ以テ然カク世界的ニ盛名アル Kutter 氏公式ヲ大成セリ

今其論文ニヨリテ該公式設定ノ要旨ヲ窺フニ先タチ特ニ一言スヘキハ氏ノ研究カばざん氏舊式ノ補修ニ其端ヲ發セルコト是レナリ即チ氏ハ該公式ニ於ケル壁質ノ四類別ノミヲ以テシテハ其範圍廣漠ナルニ失シテ實用上二係數 α β ノ撰擇ニ多大ノ考慮ヲ要スヘキモノアルヲ憂ヘ仍テ右ノ四類別ヲ一旦七類別ニ後更ニ十二類別ニ細分シ且ツ同時ニ α β ノ二變數ヲ一變數ニ纏ムルノ利ナルニ著眼シテソノ結果多少ばざん氏公式ノ形ヲ變更シタリ即チ

$$C=\sqrt{\frac{1}{\alpha+\frac{\beta}{R}}}$$

ナル原式ニ $\frac{1}{\alpha}=a,\ \frac{\beta}{\alpha}=b$ ヲ置キ代ヘテ

$$C=\sqrt{a-\frac{ab}{R+b}}$$

トシ而シテ此形ヨリ類想シテ

$$C=a-\frac{ab}{\sqrt{R}+b}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

689

ト爲スノヨリ簡單ナルヘキヲ察シ試算ノ結果此形式ヲ用ヰルモ敢テばざんニ劣ラサル良好ノ成績ヲ得ヘキヲ見定メ斯クテaヲ定數トシ獨リbニ附スルニ十二樣ノ數値ヲ以テシテ

$$a=\text{定數}=\begin{cases}100 & (\text{米突式})\\ 181 & (\text{英　式})\end{cases}$$

$$b=\text{變數}=\begin{cases}0.12\sim2.44 & (\text{米突式})\\ 0.22\sim4.42 & (\text{英　式})\end{cases}$$

トシ一八六八―七一年ノ頃ソヲ發表シタリシナリ然カモ其頃偶々米國みしゝっぴー下流ニ於ケル Humphreys and Abbot 兩氏ノ流速實測報告書カ Grebenau 氏ニヨリテ獨語ニ飜譯紹介セラレタルヲ見ルヤ氏ハ直チニ水面勾配ニ關スルばざん氏舊式ノ不備ニ想到シテ更ニコレヲ補正スルニ件ノ新實測ヲ以テセンコトヲ欲シ即チ此兩者ヲ變々相較差シ來ツテ其處ニ初メテ氏一箇ノ新主張ヲ發見スルニ至レルモノトス

因ミニ此新シキ研究ニ方リがんぎれー氏ハ主トシテ代數的並ニ解析的方面ノ探討ニ任シくったー氏ハ圖式的研究並ニ無數ノ計算ヲ親ラスルノミナラス其結果ヲ纒メテ雜誌又ハ著書ニ編述スルノ勞務ヲ擔當シタリシト云フ

氏等カ研究ノ對象トセル二報告ノ內ソノばざんニ關スルモノハ既ニ說ク處ノ如シ然ラハ即チ所謂米國ノ新公式トハ如何蓋シばざん氏ノ研究ニ先立ツコト數年米國政府ハみしゝっぴー下流並ニ其支川ノ改良計劃ニ資スルノ目的ヲ以テ Captain A. A. Humphreys and Lieut. L. H. Abbot ニ命シ Ohio ヨリ New Orleans ニ至ル該河汎濫地域ノ測量調査ヲ行ハシムルヤ氏等ハ該河ノ流速ヲ測定スルニ方リ在來ノ流速諸公式ニ依ルヲ快シトセス仍テ自ラ實測ヲ用ヒテ該河ノ流レヲ檢センコトヲ期シ一八五〇年以後十年ヲ閲シテ初メテ其目的ヲ達セリ而シテ其求メ得タル公式トハ(英單

位ニテ

$$V=\left(\sqrt{0.0081m+\sqrt{225R_1\sqrt{S}}}-0.009\sqrt{m}\right)^2$$

$m=\dfrac{1.69}{\sqrt{R}+1.5}$　小河ノ場合

$m=0.1856$　$R>12'$ ナル大河ノ場合

R＝動水半徑

$R_1=\dfrac{(流水斷面積)}{(潤邊)+(水面幅員)}$

此複雜ナル流速公式ノ眞價如何ハ兎モ角式中ノR_1ニ至ッテハ即チ氏等カ觀測ノ結果トシテ水面ニ於ケル水ト空氣トノ摩擦抵抗ハ潤邊ニ於ケル水ト河床トノ摩擦抵抗ニ相等シカルヘキコトヲ確メ且ツハ說明シ能フヘシトノ自信ニ出テタル別種ノ動水半徑ノ意味ニシテみしゝっぴー河ノ場合ハ知ラズ一般ニ之レヲ適用スルノ不可ナルコトハ最早何人モ些ノ疑ヒヲ存セシ゛サレハ一八六一年ニ出テタル該報告書ヲ飜譯シテ同六七年ニ獨逸ニ紹介セルGrebenau氏モ流石ニ此主張ヲ容認スルコト能ハス爲ニ該河ニ於ケル水面幅員ト潤邊トヲ略々相等シキモノト見做シテ$R_1=\frac{1}{2}R$トナシ且ツ前式中ノ前後二項ハ其數價微小ナルヲ以テ之レヲ省略スル代リニβナル係數ヲ用ヒ即チ米突單位ニテ

$$V=\beta\sqrt{68.72\times0.5R}\times\sqrt[4]{S}$$
$$=\beta\times5.86\sqrt{R}\sqrt[4]{S}$$

ト變形セリ式中βハRニ伴フテ變化スヘキモ其數値ハ0.85—0.97ノ範圍ヲ出テス而シテ此新公式

ハぐれべなう氏ニヨリテ Bavaria 州ノ諸川ニ施サレタル實測ノ結果ト能ク一致シ又一般ニ勾配小ナル河川ノ實驗ニ適合スルモノトシテ推擧セラレタリ

くったー氏ノ研究ハ乃チ新ニ其端ヲぐれべなうばざん二氏ノ著述ニ發セリ氏ハ一八六七年ノ夏瑞西蘭ニ於ケルあるぷす山下ノ急流 (Wildbachschalen near Lake Thun) ヲ撰ヒ浮子ヲ用ヰテ自ラ十五回ノ實測ヲ敢テシ仍テ試ニ其結果ヲ以テ米國新公式ト對比シタルニ其相違ハ非常ニ大ニシテ $\beta\times5.86=5.0\sim5.7$ ナルヘキ筈ノモノカ實ハ $5.0\sim33.0$ ニ達スルヲ見且ツ其總成績ニ於テ實測速度ヲ一トスル時

實測速度	計算速度		
	Eytelwein	Bazin	Humphreys and Abbot
1.00	1.39	0.96	0.26

ノ如キ懸隔アルコトヲ知得シ更ニ又氏ノ蒐集ニナル百五十個ノ實驗(往々ニシテコヲくったー自身ノ實驗ナルカノ如クニ誤傳セラルヽモ然カモ氏ノ實驗トシテハ其內僅ニ前記ノ十五個ヲ數フルノミニ過キス爾他ハ即チ Treschel, La Ricca, Legler 諸氏ノ瑞西蘭ニ於ケル八十五個ノ實驗並ニ Grebenau 氏ノ蒐集ニ係ル四十個及ヒみしゝっぴー河ノ十個ヲ指スナリ)及ヒばざんノ五百個ノ實驗中ヨリ R ノ畧同一ニシテ S ノ相違セルモノ八十五個ヲ撰出シ其實測速度カ果シテ $\sqrt[4]{S}$, $\sqrt[3]{S}$, $\sqrt{S}$ ノ何レニ最モ能ク適合シ能フヘキカヲ檢セル結果ハ

V カ $\sqrt{S}$ ニ比例スルモノ　57
V カ $\sqrt[3]{S}$ ニ比例スルモノ　14
V カ $\sqrt[4]{S}$ ニ比例スルモノ　14

ニシテ就中米國式ノ $\sqrt[4]{S}$ ニ比例スルモノヽ多數ハ即チみしゝっぴー河ノ實測ニ外ナラサルコ

トヲ知レリ玆ニ於テカ氏ハ米國新公式カ特ニ勾配緩漫ナル大河ノ外ニハ何等其適用ナキコトヲ知曉シ得タリト雖モ然カモ氏ハ他迄該公式ノ基ク實驗ノ範圍ニ於テ特ニ其貴重ナル調査ノ結果ヲ尊重セサル可カラサル所以ヲ信シ以テ一方小渠ヲ主トセルばざん氏公式トノ比較研究ニ取掛レリ

氏曰ク「右ノ二公式ヲ取リテ之レヲ比較スルニ方リ先ツ須ラク

$$V=C\sqrt{RS}$$

ナル公式ヲ以テ基本トセヨ然ラハ

$$C=\sqrt{\frac{1}{\alpha+\frac{\beta}{R}}}$$ Bazin 氏公式

$$C=\frac{5.86\beta}{\sqrt[4]{S}}$$ Humphreys & Abbot 氏略式

ノ一ハCカ渠壁ノ粗度ト動水半徑トニヨリテ變化シ他ハ動水半徑ニヨリテβニ些細ノ變化ヲ生スレトモ主トシテハ流水勾配ノ四乘根ニ反比スルヲ見ン而シテ此二者ハ何レモ其實驗ニハ充分ノ信用ヲ措クコトヲ得仍テ帶フルニ此相違ハ恐ラク或ニ極端ノ事實ヲ提供シ來レルカ爲ナラサランヤ換言スレハばざんノ實驗ハ壁質ノ及ホス影響カ頗ル顯著ナルヘキ小渠ノ場合ニノミ限ラレ米國ノ實驗ハ殆ト粗度ノ影響ヲ感知スヘクモアラサル大河ナルカ爲ニ押テ勾配ノ及ホス影響カ最モ顯著ナルヲ致セルナラスヤ果シテ然ラハ此二公式ハ共ニ一般的利用ニ堪ヘサルモノニシテ即チばざんヲ以テみしゝっぴー河ニ適用シ得サルト同様はんふれーす、あぼっとハ以テ急勾配ナル溝渠ニ利用スルコト能ハサラン但シばざん氏公式ハ其形式ニ於テ頗ル一般的利用ノ途ニ堪

フルモ他ハ然ラサルカ故ニ予ハばざんノ形式ヲ假用シテ以テ此兩極端ヲ調和セシムルニ足ルヘキ新公式ヲ見出サント欲ス再言スレハ $V=C\sqrt{RS}$ ノ係數 C ハ

第一　壁質ノ粗度ニ關シ粗度ノ増スニ連レテ減スヘシ

第二　動水半徑 R ニ關シ R ノ増スト共ニ増スヘシ

第三　水面勾配 S ニ關シ小河ニテハ S ノ増スト共ニ増スモ大河ニテハ却テ S ノ増スニ連レテ減スヘシ

然ルニばざんノ公式ハ其第一ト第二トノミヲ捉ヘ又米國ノ公式ハ單ニ其第三ノ一半ヲノミ見極メタルニ過キサルカ故ニ一般的公式トシテハ宜敷新ニ此三點ヲ包括統合セルモノヲ以テセサル可カラサルナリ」ト

斯カル前提ヨリ出發シテ慧敏ナルくったー氏ハ氏ノ所謂一般的新公式ノ研究ニ取掛レリ即チ氏ハばざん氏公式ノ獨リ能ク一般的公式タルニ適スル形式ヲ備フルニ見テ以テ之レヲ根據ト爲シ依テ新ニ(一)勾配ノ變化ニ伴フ係數 C ノ影響ヲ覓メテ之レヲ加味スルコト(二)ばざんニ於ケル α β ノ二係數間ニ相互ノ關係ヲ尋ネテ能フ可クンハ之レヲ一係數ニ取纏メンコトヲ圖レリ是レ其研究ノ二骨子ナリ而シテ氏ハ先ツ α ト β トヲ一係數ニ纏ムル目的ヲ以テ次ノ手續ヲ取レリ

ばざんノ公式　$V=C\sqrt{RS}$　$C=\sqrt{\frac{1}{\alpha+\frac{\beta}{R}}}$

ニ於テ $\frac{1}{\alpha}=y'$, $\frac{\beta}{\alpha}=x'$ ト置カハ

$$C=\sqrt{\frac{y'}{1+\frac{x'}{R}}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

然ルニ今コレト類似ノ形ヲ備フル他ノ二式ヲ併記セシニ

$$C=\frac{y}{1+\frac{x}{\sqrt{R}}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

$$C=\frac{y''}{1+\frac{x''}{R}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

(5)(6)ハ單ニ(4)ヨリ類想シ得タル一形式ニ過キサルヲ以テ斯カル形式カ果シテ許容サルヘキヤ否ヤハ畢竟(5)又ハ(6)カ少クトモ(4)ト同等以上ノ成績ヲ係數Cニ與フルト否トニヨリテ決セン故ニ氏ハ直ニ多數ノ實驗ニ就テCノ實驗値ト計算値トヲ比較シ以テ最後ニ(5)式カ(4)ヨリモ(6)ヨリモ一層良好ナル成績ヲ與フルモノナルコトヲ見定メ仍テ(4)ヲ捨テヽ(5)ヲ採リソヲ自家ノ基本公式タラシメタリ

氏カ此比較ヲ爲スニ用ヰシ方法ヲ略記スルニ方リ先ツ説ク可キコトハ右ノ三式カCトRノ關係ニ於テ何レモ等シク正雙曲線ヲ示スヘキコトナリ即チ

	横距	縱距
(4)ノ場合	R	C^2
(5)ノ場合	$\sqrt{R}$	C
(6)ノ場合	R	C

ト取ラハ是等ノ正雙曲線ハ何レモ座標原點ヲ通過シ其漸近線 Asymptotes ハ縱横ノ座標軸ト平行スヘク且ツ試ニ(5)式ノ場合ヲ例セハ式中ノyハ水平漸近線ノ縱距ヲ示シxハ垂直漸近線ヘノ横距ヲ示サン(第一圖)何トナレハ

若シ　$\sqrt{R}=\infty$　　$C=y$

若シ　$\sqrt{R}=-x$　　$C=\infty$

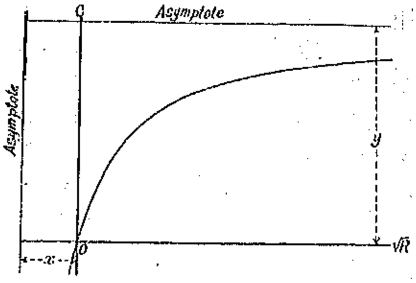
又若シ　$\sqrt{R}=0$　　$C=0$

ナレハナリ

今(4)(5)(6)ノ三式ヲ代表スル左ノ一般式ヲ考ヘンニ

$$C=\frac{y}{1+\frac{x}{R}}$$

式中ノCハ(4)(5)(6)ノ場合ニ應シテC若クハC^2ヲ又ソノRハR若クハ$\sqrt{R}$ヲ示スヘキコト明カナリ



第一圖

而シテ此式ノ與フル曲線ヲ以テ或一實驗列ヲ代表セシメンカ爲ニハ該曲線ヲシテ座標原點以外少クトモ二ツノ實測點ヲ通過セシメサル可カラサルカ故ニ實驗列中此任意ノ二點ニ相應スル二實驗ヲ撰ヒ其CトRトヲ夫々C', C''; R', R''トセハ則チ正雙曲線ノ性質ヨリシテ

$$x=\frac{C'-C''}{\frac{C''}{R''}-\frac{C'}{R'}}\qquad y=C'\left(1+\frac{x}{R'}\right)$$

ヲ得コレヲ(4)(5)(6)ノ各式ニ別々ニ解ケハ

(4)ノ場合

$$x=\frac{C'^2-C''^2}{\frac{C''^2}{R''}-\frac{C'^2}{R'}}\qquad y=C'^2\left(1+\frac{x}{R'}\right)$$

$$x=\frac{C'-C''}{\dfrac{C''}{\sqrt{R''}}-\dfrac{C'}{\sqrt{R'}}} \qquad y=C'\left(1+\frac{x}{\sqrt{R'}}\right) \qquad (5)\text{ノ場合}$$

$$x=\frac{C'-C''}{\dfrac{C''}{R''}-\dfrac{C'}{R'}} \qquad y=C'\left(1+\frac{x}{R'}\right) \qquad (6)\text{ノ場合}$$

依テ今 Bazin ノ實驗中ノ八種（Bazin's series No. 2°, 6°, 9°, 17°, 24°, 26°, 32°, 33°）ニ就テ一々右ノ計算ヲリ *x y* ヲ見出シ以テ得タル *C* ノ計算値トソノ實驗値トヲ比較シタル結果ハ

第三表　三公式ノ誤差ノ比較

Series No.	公式 (4) 誤差ノ範圍	公式 (4) 誤差ノ和	公式 (5) 誤差ノ範圍	公式 (5) 誤差ノ和	公式 (6) 誤差ノ範圍	公式 (6) 誤差ノ和
2°	+0·3～−0·5	3·4	+0·2～−1·4	5·6	+0·5～−0·4	1·8
6°	+2·8～−0·5	14·8	+2·3～−0·5	10·0	+3·2～−0·7	16·5
9°	+1·7～−2·1	6·6	+1·3～−1·4	5·2	+2·0～−3·1	8·2
17°	+1·5～ 0	4·2	+1·1～ 0	2·8	+1·6～ 0	4·6
24°	+0·9～−2·2	10·3	+1·5～−1·7	9·1	+1·9～−2·4	12·2
26°	+2·3～−0·1	10·3	+1·9～−0·8	8·3	+2·5～ 0	12·4
32°	+1·1～ 0	1·4	+1·0～ 0	1·2	+1·2～ 0	1·7
33°	+2·0～ 0	2·7	+1·9～ 0	2·4	+2·2～ 0	3·0
		53·7		44·6		60·4

以テ公式(5)カ他ノ二式ヨリモ比較的良好ナル成績ヲ擧クルヲ見ルヘク斯クテくったー氏ハ自己ノ基本的公式トシテ(5)式ヲ採ルニ決セルナリ

サラハ進ンテ右公式中ノx y即チばざん氏原式中ノα βニ相當スル二係數間ニ相互ノ關係ヲ見出シ依テ此二係數ニ代フルニ渠壁ノ粗度ト共ニ變化スヘキ一係數ヲ以テスルノ途ハ如何氏ハ先ツ(5)式ニ於テyヲ定數ト見做サント欲シタリ即チyハ壁質ノ粗度如何ニ全然無關係ノモノトシ以テ$x=ny$又ハ$x=n^2y$ノ關係ヲ新ニ假定セントシタリ(nハ壁質ノ粗度ニ應スル新係數トス)斯カラハ$R=8$ノ時ニハ$C=y=$定數タルコトヲ得テ其點モ不合理ナラス又Rトnトノ關係モ斯クシテ適當ニ設定スルヲ得ヘシト考ヘタリ然カモ此便利ナル假定ハ結句正シカラサリキ氏ハ若干ノ實驗列ヲ標記考査セル結果トシテyノ到底定數タル能ハス抑テxト共ニ變化スヘキモノナルコトヲ見定メタリ

仍テ氏ハyトxトノ相互ノ關係ヲ定ムルカ爲ニ

$$y=\frac{a}{\sqrt{n}} \qquad x=ny=a\sqrt{n}$$

$$y=\frac{a}{n} \qquad x=n^2y=an$$

$a=$定數

$n=$壁質ニ伴フ係數

ノ如キ種々ノ假定ヲ設ケテ反覆其適否如何ヲ檢セル結果トシテ最後ニ

$$y=a+\frac{l}{n} \qquad x=an=ny-l$$

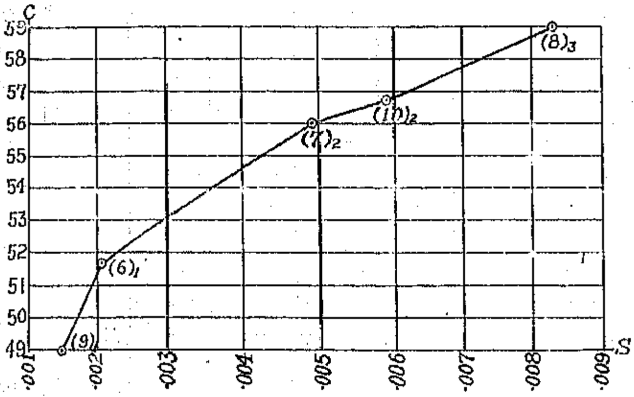
$l=$定數

a, n ハ前ノ如シ

ト假定スルノ最モヨク要求ニ適合スル所以ナルヲ知レリ從テ係數 x y ハ共ニ壁質ノ粗度如何ニ影響セラルヽコト毫モばざん氏ノ α β ト異ラスト雖モ然カモ此二係數間ニ初テ或關係ヲ見出スコトヲ得タルナリ

即チ尙姑ク水面勾配ノ影響如何ヲ無視スルニ於テハ

$$C=\frac{y}{1+\frac{x}{\sqrt{R}}}=\frac{a+\frac{l}{n}}{1+\frac{am}{\sqrt{R}}}$$



第二圖 摘要

括弧內ノ數字ハ Bazin's series ノ番號
括弧外ノ數字ハ實驗ノ番號

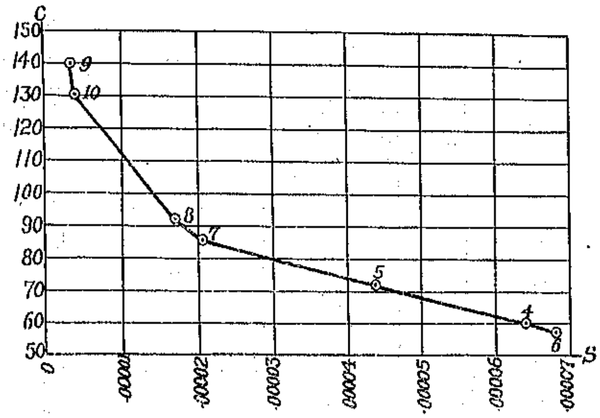
ナル公式ヲ以テばざん以上ノ效果ヲ擧クルニ足レリトシテ氏ハ詳シク其圖式解法ヲ說ケリ

x ト y(即チばざんノ α ト β)ノ關係ハくったー氏ニヨリテ實ニ此ノ如クニ解決セラレヌサレハ殘ル所ノ問題ハ C ニ對スル水面勾配 S ノ影響如何ニアリ氏ノ解決能ク更ニ如何

ばざんハ S ノ α β ニ及ホス影響ヲ以テ格別替フルニ及ハサルモノトシ其故ハ S カ增サハ α ハ增セトモ β ハ反テ減スルニヨリ自然其影響ノ相殺サルヽヲ得ルニヨルト爲セリサレトくったーハ特ニばざんノ實驗中ヨリ Series No. 6°—11°, No. 32° and 33°, No. 3° and 39°, No. 21° and 22° ヲ撰拔シテ渠質ト R トカ略相同シキ場合ノ C ト S トヲ比較シ依テ小渠ノ場合ニハ C ハ S ニ連レテ增減スルノ事實アルコトヲ確メ(第二圖)既ニ此事實ノ存スル以上ハ宜敷之レヲ公式中ニ含マシ

メサル可カラスト爲セリ而シテ又同時ニくったーハ Humphreys and Abbot ノ實驗ヲ引イテ大河ノ場合ニハCハSノ增スニ連レテ減スルノ事實アルコトヲ示シ(第三圖)コモ亦併セテ公式中ニ組込マサル可カラサルモノト爲セリ即チ結句くったー氏ノ意見ニヨレハCトSトノ關係ハ

第三圖



摘要　實驗番號ハくったー氏ノ附セルモノナリ

小渠ナラハCハSノ增スト共ニ增シ

大河ナラハCハSノ增スト共ニ減ス

ヘク其理ハ未タ自然ノ方則ニヨリテ之レヲ說明シ能ハスト雖モ現ニ此事實ノ存スル限リハ之レヲ公式中ニ包含セシムルノ必要ヲ認ムト云フニアリサラハ如何ニ之レヲ公式中ニ組入ルヘキヤト云フニ

「先ツ大河ノ場合ニ於テCカSノ增スニ連レテ減スト云フ條件ヲ滿サンカ爲ニハSヲ橫距トシCヲ縱距トシタル時ニ橫座標ノ方ニ向ツテ凸狀ヲ示ス處ノ或曲線式ヲ案出セサル可カラス然ルニ基本公式(5)ニ於テ$R=8$ナラハ$C=y$トナルカ故ニSニ對スルCノ變化ハ同時ニ以テSニ對スルyノ變化ヲ律スルモノト云フヲ得ヘシ然リ而シテみしゝっぴー河ノ實驗中殆ト同一ノRヲ有スル七個ノ實驗(No. 4—10)ハCトSトノ關係カ略々正雙曲線ヲ以テ現ハサルヘキコトヲ示スカ故ニ(第三圖)yトSトノ關係モ亦同シク正雙曲線ト見做シテ

$$y=y_1+\frac{m}{S}$$

ト假定スルヲ得ン y_1 ト S トノ關係ニ於テハ y_1 ハ定數ナルモ y_1 ト n トノ關係ヨリスレハ $y_1=a+\frac{l}{n}$ ナラサル可カラサルコトハ既ニ説ク處ノ如シ即チ玆ニ於テカ

$$y=a+\frac{l}{n}+\frac{m}{S}$$

ナル關係ニ到達ス之レヲ $x=ny-l$ ノ式ニ適用スレハ

$$x=n\left(a+\frac{l}{n}+\frac{m}{S}\right)-l=\left(a+\frac{m}{S}\right)n$$

此 x y ノ値ヲ公式(5)ニ用ウレハ

$$C=\frac{a+\frac{l}{n}+\frac{m}{S}}{1+\left(a+\frac{m}{S}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

之レ大河ノ場合ニ於ケル C ノ一般的公式ナリ

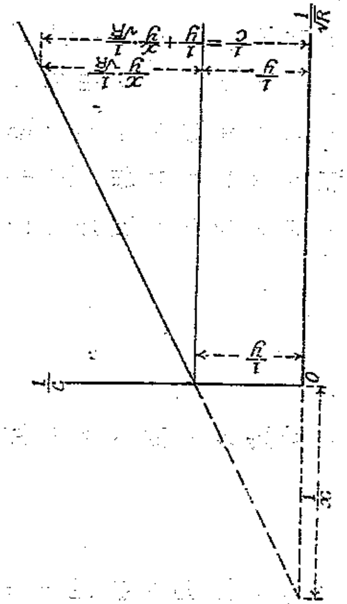
「小渠ノ場合ニハ S ノ影響ハ今説キタル處ト正ニ相反ス依テ此場合先ツみしゝっぴー河ト他ノ河渠トノ間ニ於ケル S ノ影響ヲ比較スル爲メ後者ノ實驗中ヨリ前者ト略々同一ノ S ヲ有スル場合ヲ撰出センニソレニハばざんノ引用セル實驗中僅ニ Seine, Saône, Haine ノ諸川及ヒ Canal du Jard ノ實驗ヲ擧クヘク其他ハ其勾配餘リニ大ナルカ爲ニ凡テ比較ノ目的ニ適セス

今(5)ノ公式ヲ少シク變化スレハ

$$C=\frac{y}{1+\frac{x}{\sqrt{R}}}=\frac{1}{\frac{1}{y}+\frac{x}{y\sqrt{R}}}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{C}=\frac{1}{y}+\frac{x}{y}\frac{1}{\sqrt{R}}$$

故ニ $\frac{1}{\sqrt{R}}$ ヲ横距トシ $\frac{1}{C}$ ヲ縦距トセハ同一ノ勾配ト壁質トヲ有スル實驗ヲ標出スル諸點ハ自ラ一直線中ニ横ハラサル可カラス(第四圖)即チみしゝっぴーノ實驗トせーぬ其他ノ諸川ノ實驗トハ略々同一ノ壁質ト見做シ得ヘキカ故ニ是等ヲ夫々圖上ニ點出シ就中略々同一ノ勾配ヲ有スル諸點ヲ直線モテ連結セシニ是等ノ直線ハ期セスシテ或一點ニ會スルヲ見ン(第四圖表)而シテ其一點トハ即チ



第四圖

$$\text{橫距} \quad \frac{1}{\sqrt{R}}=\overset{m}{1{\cdot}00}$$

$$\text{縱距} \quad \frac{1}{C}=0{\cdot}027$$

ナル處ニアリ但シ本圖表ニ點出連結サレタル諸實驗ノ勾配ハ左ノ如シ

$$S=\begin{cases} M-6^\circ & 0{\cdot}00006800 \\ P-4^\circ & 0{\cdot}00006000 \\ P-9^\circ & 0{\cdot}00007500 \end{cases} \qquad S=\begin{cases} M-4^\circ & 0{\cdot}00006379 \\ P-7^\circ & 0{\cdot}00006200 \\ P-8^\circ & 0{\cdot}00006700 \end{cases}$$

$$S=\begin{cases} M-3^\circ & 0{\cdot}00004811 \\ P-6^\circ & 0{\cdot}00005400 \end{cases} \qquad S=\begin{cases} M-5^\circ & 0{\cdot}00004365 \\ P-3^\circ & 0{\cdot}00005700 \\ R & 0{\cdot}00004000 \end{cases} \qquad S=\begin{cases} M-2^\circ & 0{\cdot}00003029 \\ H & 0{\cdot}00003030 \\ J & 0{\cdot}00003620 \end{cases}$$

M=Mississippi　　H=River Haine
P=Seine at Poissy, etc.　　J=Canal du Jard
R=Saône at Raconnay

みしゝっぴーノ實驗 1°, 7°, 8°, 10°, 9° ハ他ニ照應セシムヘキ同一勾配ノ實驗ナキ爲メ夫々單獨ニ前記五線ノ交叉點ト連結シタリサレトSノ關係ニ於テ甚タ能ク右ノ五線ト調和セルヲ見ルヘシ

今右ノ圖表ニヨリテ見ルニ横距 $\frac{1}{\sqrt{R}}=1.00^{m}$ 即チRカ一米ナル處ノ一點ニ於テ各線交々相會シ其點ニ達スル迄ノ間ハ勾配ノ急ナルモノ程 $\frac{1}{C}$ ノ値大キク即チCハ小サク又其點ヲ超ユレハ反對ニ勾配ノ緩ナルモノ程 $\frac{1}{C}$ ノ値小ニ從テCハ大ナリ即チ此變化ハ明ニ

大河ニハCハ勾配ノ増スト共ニ減シ
小渠ニハCハ勾配ノ増スト共ニ増ス

トノ原則ヲ證明セルモノニ外ナラス

倘念ノ爲ニ小渠ノミノ實驗ニ就テ右ノ原則ノ正シキコトヲ示サン爲メばざんノ實驗中ヨリ斷面並ニ粗度ノ略々相同シクシテ只勾配ノミノ相違セル一對宛ノ實驗ヲ撰出シ以テ前ノ如ク $\frac{1}{\sqrt{R}}$ ヲ横距トシ $\frac{1}{C}$ ヲ縦距トシテ前ト同一ノ方法ヲ試ミタルニ此場合モ亦 $\frac{1}{\sqrt{R}}=1.00^{m}$ 即チRカ一米ニ近キ處ニ於テ各線ノ交叉スヘキヲ知レリ

勾配ノ變化ニ基クCノ過渡點カ果シテ正シク $\frac{1}{\sqrt{R}}=1.00^{m}$ ノ處ニアリヤ又ハ其左右ニ多少ノ移動アルヤハ格別ノ問題ニ非ス殊ニ實用上頗ル嚴密ニコヲ見定ムルノ要ナキカ故ニ宜敷之レヲ $\frac{1}{\sqrt{R}}=1.00^{m}$ ノ點ト假定スヘシ然ラハ則チ此點ニ於テSノ變化ハ些ノ差別ヲモCニ生セサルヘキカ故ニ從テCノ一般公式(7)ニ於テ

$$C=\frac{a+\frac{l}{n}+\frac{m}{S}}{1+\left(a+\frac{m}{S}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}=\frac{l+na+\frac{nm}{S}}{\left(1+na+\frac{nm}{S}\right)n}$$

$l=1.00$ トナスノ最モ適當ニ此條件ヲ滿足セシムヘキヲ知ラン(くったー氏ハ別ニ圖解ヲ用ヒテ綿密ニ此點ヲ解ケルモ茲ニハ省略ス)或ハ人アリテlヲ變數ト見做シ若クハ此場合ノ$\frac{1}{\sqrt{R}}$ニ一米以外ノ値ヲ附與セントモソハ敢テ爭フ處ニアラス只Sノ變化カCニ及ホス反對ノ影響アルコトヲ認メテ之レヲ公式中ニ組入ルヘク最モ簡單ナル方法ヲ選ヒシ點ヲ理解サルヽヲ得ハ足レリ」ト
くったー氏公式ノ基本的構成ハ略々以上ニ於テ其要ヲ盡セリ殘ル所ノモノハ只右ノ公式ニ點綴サルヘキ諸係數ノ數値ヲ見出ス方法ノミ即チ稍々煩瑣ニ亘ルノ嫌ヒナシトセサルモ然カモ此高名ナル公式ノ全璉ヲ見屆ケンカ爲ニハコモ濫リニ省略シ去ル能ハサラン
乃チ第一ニ公式中ノaノ數値ヲ得ンカ爲ニハ先ツ前掲第四圖表ニ就テみしヽっぴー河ノ十實驗ヲせーぬ其他ノ河渠ト比較シテ得タル十直線ト縱座標トノ切合點ヨリ

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{y}+\frac{x}{y}\frac{1}{\sqrt{R}}$$

ニ照シテ夫々$\frac{1}{y}$ノ値ヲ見出シ依テyヲ得ルコト左ノ如シ

	S	$\frac{1}{S}$	$\frac{1}{y}$	y
M- 9°	0.00000342	292400	0.00178	561.8
M-10°	0.00000384	260417	0.00257	389.1
M- 8°	0.00001713	58377	0.00648	154.3
M- 7°	0.00002051	48757	0.00762	131.2

次テ縦距ニyヲ横距ニ$1/S$ヲ用キテ前表ノ十點ヲ標記シ且ツ之レヲ成ルヘク平均スル一直線ヲ引ケハ(第五圖表)其直線ノ縱座標トノ切合點sハ即チ$\frac{1}{S}=0$又ハ$S=\infty$ノトキノyノ價ナル故

M- 1°	0.00002227	44903	0.00733	136.4
M- 2°	0.00003029	33014	0.00824	121.4
M- 5°	0.00004365	22910	0.01035	96.6
M- 3°	0.00004811	20785	0.01136	88.0
M- 4°	0.00006379	15676	0.01369	73.0
M- 6°	0.00006800	14706	0.01465	68.3

$$y=y_1+\frac{m}{S}=a+\frac{l}{n}+\frac{m}{S}$$

ノy_1又ハ$a+\frac{l}{n}$ノ値タルヘク依テ$y_1=60$ヲ得ヘシ

而シテ既ニ說ク處ノ如ク第四圖表ノ直線束ノ交叉點ハ

$$\text{橫距}\frac{1}{\sqrt{R}}=1.00^{m}\qquad\text{縱距}\frac{1}{C}=0.027$$

加之$l=1.00^{m}$ナルヲ以テ公式(7)ニ照シ此點ノ縱距ハ$\frac{1}{C}=n$ナラサル可カラス從テ

$$\frac{l}{n}=\frac{1}{0.027}=37$$

$$\therefore\quad a=y_1-\frac{l}{n}=60-37=23$$

是レ特ニ此點ニ於ケルaノ値ヲ見出シタルニ過キサルモ然カモaハ總テノ場合ニ定數ナルカ故ニ常ニ$a=23$ナリ

第二ニ公式中ノmノ數値ヲ求メントス第五圖表ニ於テmハ

$$y=y_1+m\frac{1}{S}$$

ニテ示サレタル直線ノ横座標ト爲ス角度 Fst ノ正切ヲ示スカ故ニ m ノ値ヲ見出ス爲メニハ右ノ直線中ニ或一點ヲ假定シテ其縱横距ヲ求ムレハ可ナリ依テ玆ニ s 點ヨリ最モ遠キ實測點 No. 9 and 10 ノ中間ニ F 點ヲ假定スレハ

$$横距=\frac{1}{S}=0.0000363 \qquad 縱距=y=487$$

$$y=y_1+\frac{m}{S}=60+\frac{m}{S}=487$$

$$\therefore\ m=427\times0.0000363=0.00155$$

第三ニ係數 n ニ就テハくったー氏ハ先ツソカ單ニ壁面ノ粗度ヲノミ意味スルモノニ非スシテ斷面ノ不整又ハ渠床ノ不純(雜草堆砂等ノ存在)ヲモ包含スヘキヲ注意シ次ニ種々ノ實驗ヲ氏ノ公式ニ適用シテ見出シ得タル n ノ價ハ能ク削ラレタル木渠ニ於ケル $n=0.009$ ヨリ延テ石塊磊々タル Domleschger valley ノらゐん川ニ於ケル $n=0.0350$ ニ至ルマテ殆ト一ト四トノ比ニマテ變化スヘキヲ以テ其間如何樣ニモ之レヲ分類スルコトヲ得ヘク又固ヨリ相互ニ截然タル區劃ヲ立ツルコトヲ得サレト一般ニばざんノ分類ニ倣フノ適當ナルヘキヲ説キ而シテ最後ニばざんノ第二類(木造及ヒ切石工,煉瓦工ノ類)ハ之レヲ更ニ二細別スル方實用上ノ便宜ヲ加フル而已ナラス木造ト其他トニハ實ハ判然タル區別ヲ認メサル能ハスト爲シ倚別ニ堆石アル河川ヲ一類トシテ依テ次ノ六類ヲ區別セリ

I　滑カナル木板又ハせめんと　$n=0.010$

II　普通ノ木造　$n=0.012$

III　切石又ハ手際ヨキ煉瓦工　$n=0.013$

IV　粗石工　$n=0.017$

V　土床　$n=0.025$

VI　雜草又ハ堆石アル河流　$n=0.030$

尙附記スラクばざんノ第一類ハ主トシテ Series No. 2º(せめんと塗リノ矩形渠)ヲ代表スレトモ茲ニ示セル第一類ハ Bazin's series No. 28º, 29º, 24º, 2º, 25º ノ與フル平均價ニシテ略ボ能ク No. 24º(せめんと塗リノ半圓渠)ノ結果ニ適合スヘシト

くったー氏ノ流速公式ハ茲ニ於テカ大成セラレタリ即チ

$$V=\left\{\frac{23+\frac{1}{n}+\frac{0.00155}{S}}{1+\left(23+\frac{0.00155}{S}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}\right\}\sqrt{RS}\quad\cdots\cdots(8)$$

ハ其全姿(米突式)ニシテ之レヲ英式ニ換算スルトキハ

$$V=\left\{\frac{41.6+\frac{1.811}{n}+\frac{0.00281}{S}}{1+\left(41.6+\frac{0.00281}{S}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}\right\}\sqrt{RS}\quad\cdots\cdots(8)'$$

ナル複雜ナル形ヲ呈出スヘク然カモ其複雜ナルニ拘ラスシテ爾來之レカ利用ノ廣大ナルコト實ニ吾人ノ見ル處ノ如シ

第六章　くったー氏公式ヲ論ス

曩ニばざん氏ノ公式ヲ讀ンテ圖ラスモ其公式作成ノ手續ノ案外簡單ナルニ驚カサレタル著者ハ茲ニくったー氏ノ公式ヲ檢シテ寧ロ益々其感ヲ深ウセスンハアラス否啻ニ然ルノミナラス多年

くったー氏公式ノ複雜ナル內容ニ嗟歎シテ能ク如何ノ綿密ナル考慮ト面倒ナル計算ヲ運ソ斯カル有力ナル一般公式ヲ作成シ能フモノカトノミ一圖ニ畏敬シツヽアリシ著者ニ取リテハ尙更前章ニ現ハレタル凡テノ手續キヲ通シテ實ハ悉ク意外又意外ノ感ナラサルヲ得サリキ迂濶ナル著者ハくったーヲ以テばざんトハ全ク別途ニ考案セラレタル別公式ナリトノミ思惟シツヽアリキばざんノ舊キニ比シテハ頗ル新シキ意味アルモノトシテ信シツヽアリキ即チ又必ズヤ幾多ノ新シキ緻密ノ實驗カくったー氏自身ニヨリテ或ハがんぎれー氏トノ協力ノ下ニ取行ハレタル結果ナルカノ如クニ想像シツヽアリキ其複雜ナル形式ト其面倒ナル係數トヨリ見ルモ是非トモ斯クアラサル可カラサル筈ト思ハシムルノ外ナカリキ夫レ然リ然カモ是等ノ想像ハ畢竟くったー氏公式ヲ尊重スルニ馴レタル餘リノ想像ニ過キスシテ其事實ハ單ニばざん氏舊式ニ多少ノ補修ヲ加ヘタルニ止マリ且ツハ其補修ノ目的カ一ニ米國ニ於ケルみしゝっぴー河ノ實驗ヲばざん氏公式ニ調和セシムル所以ノ點ニ存シ而シテ又其補修カ悉ク机上ノ推究ニ基ツキタルモノナルコトヲ知ル其終局ノ是非如何ハ兎モ角トシテ此ノ如キハ先ツ聊カ啞然タラサルヲ得ンヤ

況ヤ近來くったー氏公式ヲ尊重スルノ極管ノ流速計算ニスラ之レヲ利用シだーしー、ふらまん氏等ノ公式ト相駢ヘテ以テ其優劣ヲ論セントスルモノスラアリばざん氏ノ開渠ニ對スル實驗ヲタモ尙且ツ餘リニ小渠ノ場合ニ偏スルモノトシテ彼ノみしゝっぴーノ如キ稀有ノ大河ノ實驗ヲハ著シク加味シテ成レル本公式ヲ以テ却テ作者カ毛頭ノ考慮ヲタモ費サヽル管ノ場合ニマテ活用セントスルカ如キ一面本公式ニ對スル一般的信用ノ絕大ナルニ驚歎スルト同時ニ又之レヲ實驗公式本來ノ立場ニ徵シテ頗ル寒心セサルコトヲ得ンヤ

即チ若シ斯カル傳襲的權威ヲ無視シテ平然能ク此公式ヲ觀察センカ著者ハ遺憾ナカラ是レヲ以テ特ニ著シク他ニ傑出セル要素ヲ具備セル公式トハ思惟シ能ハサルヲ悲ム蓋シばざん氏ノ後ニ

出テヽ該公式ノ不備ヲ補修セント欲スルモノハ恐ラク何人トテモ先ツ該公式ノ勾配Sニ對スル研究ノ稍不充分ナルニ着目スヘク又其係數αトβトノ間ニ何等カノ關係ヲ求メ且ツ寧ロ代フルニ一係數ヲ以テシ能ハサルカヲ稽フルニ至ラン是レ自然ノ數ナリ況ンヤ壁質ノ分類ヲ幾樣ニモ細別シテ以テヨリ多ク實用ノ利便ヲ講スルカ如キコトオヤ著者ハ強テくったー氏ノ努力ヲ損ハントスルモノニ非ラスト雖モ然カモ世ノ籍々トシテ推讃措カサルカ如クニハ之レヲ偉大ノ着眼トモ由々シキ修正トモ認ムルコト能ハス

流速公式ニ對スルくったー氏ノ興味カ第一ニばざん氏公式ヲヨリ多ク實用上ニ利便ナラシムルノ目的ニ向ツテ注カレタルコトハ之レヲ云フヲ用ヰス即チ一旦ハ其目的ヲ達シ Modified Bazin's Formula トシテコレヲ公表スルニマテ成功セリサレハ氏トシテハ其以上親ラ起ツテ更ニ何等カノ新實驗新研究ヲ敢テセサル限リ其努力モ結句ばざん氏公式ノ敷衍若クハ祖述以外ニ出テサルコト宛カラだーしー氏公式ニ對スル Weston 氏 Hamilton Smith 氏ノ實驗ニ對スル Coffin 氏サテハくったー氏公式ニ對スル Flynn, Moore 氏等ノ如キニ過キサリシナラン然カモ幸ナルカナ此時米國みしゝっぴー下流ニ於ケルはんふれーす、あぼっと兩氏ノ實測報告書ハ偶々ぐれべなう氏ノ譯述ヲ通シテ氏ノ眼ニ觸レタリ氏カ件ノ實測ノ未タばざん氏公式ヲ以テ律シ能ハサル所以ノモノタルヲ看取スルヤ直ニ起チテ此兩者ヲ較査シ其處ニ初テ氏一箇ノ見解ヲ開キ以テ其主張ヲ力說スルニ至レルモノ又寔ニ故ナシトセス然カモ其餘儀ナキ結果トシテ氏ノ研究ニハ勢ヒ彼ノみしゝっぴー河ノ實測ヲノミ過度ニ尊重シタルノ傾キナキコトヲ得ルカ或ハ寧ロ件ノ實測ヲ基本トシテ以テ他ヲ律セントスルノ弊ナキコトヲ得ルカ氏ノ公式ヲ粧フ二、三係數値ノ打算カ又殆ト件ノ實測ヲ主トシテ成立テルカ如キノ嫌ヒナキコトヲ得ルカ吾人ハ先ツ第一ニ此點ニ向ツテ多少ノ注意ヲ拂ハサル能ハス

請フ試ニくったー氏カ其公式ヲ導クニ至リシ手順ヲ辿ッテ成ルヘク簡單ニ其要領ヲ再記シ以テみしゝっぴーノ實測カ果シテ如何ノ交渉ヲ其間ニ存スルカヲ見セシメヨ

(一)　氏ハ先ッばざん氏ノ形式ヨリモ寧ロ

$$C=\frac{y}{1+\frac{x}{\sqrt{R}}}$$

ノ形式ヲ以テスルノ一層實驗ト適合シ能フヘキコトヲ知レリ

(二)　次ニxトyトノ關係ヲ求メテ

$$y=a+\frac{l}{n}\qquad x=am=my-l$$

ト假定スルノ最モヨク事實ト適合シ能フヘキコトヲ説ケリ

(三)　氏ハ河渠ノ流速ヲ規スヘキ一般原則トシテ

大河ニハCハSノ増スト共ニ減シ

小渠ニハCハSノ増スト共ニ増ス

トナシソヲ立證スルカ為ニ前段ニ對シテハみしゝっぴーノ實測中略同一ノRヲ有スル七實驗ヲ引用シ(第三圖參照)後段ニ對シテハばざん氏實驗中 Series No. 6°–11° ニ就テ略同一ノRヲ有スル五個ノ實驗ヲ選ヘリ(第二圖參照)

(四)　氏ハみしゝっぴー河ノ場合ニ於テ(第三圖)CトSトノ關係カ略正雙曲線ヲ描ケルヲ以テyトSトノ關係モ亦之レト同シキモノト見做シ依テ

$$y=y_1+\frac{m}{S}\qquad y_1=a+\frac{l}{n}$$

ト假定シ從テ

$$v=my+l=\left(a+\frac{m}{S}\right)n$$

$$\therefore\quad C=\frac{a+\frac{l}{n}+\frac{m}{S}}{1+\left(a+\frac{m}{S}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}$$

ヲ大河ノ場合ニ於ケルCノ一般公式ナリト定メヌ

(五) みしゝっぴーノ十實驗ト共ニ之レト略同一ノSヲ有スル Seine, Saône, Haine, Canal du Jard ノ實驗九個ヲ選ヒ正座標上$\left(Y=\frac{1}{C},\ X=\frac{1}{\sqrt{R}}\right)$ニ夫々點出シテ同一勾配ノ諸點ヲ直線ニテ連結セルニ是等ノ直線ハ期セスシテ或一點$\left(\frac{1}{C}=0.027,\ \frac{1}{\sqrt{R}}=1.00\right)$ニ會セリ(第四圖表)即チ右ノ交點ヲ限界トシテ$C$ト$S$トノ關係カ正シク相反スルノ事實ヲ以テ氏ノ原則ノ正當ナルコトヲ證セリ

(六) 氏ハ尚念ノ爲メ小渠ノミノ場合ニ就テ右ノ原則ヲ檢定スヘクばざん氏實驗中ヨリSノミノ相違セル一對宛ノ實驗ヲ選ンテ前同斷ノ圖解ヲ試ミタルニ此場合モ亦$\frac{1}{\sqrt{R}}=1.00$ノ點ニ各線ノ交叉スルコトヲ知レリト云フ但シ其如何ノ實驗ヲ以テ如何ニ驗定セラレタルカハ毫モ説明若クハ圖記セラレス

(七) 右ノ結果ヨリ惹イテ$l=1.00$ヲ得タリ

(八) 第四圖表ノ各直線ニ就テ夫々$\frac{1}{y}$ヲ得依テ別ニyヲ縦距トシ$\frac{1}{S}$ヲ横距トセル正座標上ニみしゝっぴーノ十實驗ヲ點出シ(第五圖表)之レヲ成ルヘク平均スル直線ヲ引キテ$a=23$ヲ得タリ

(九) 從テ又$m=0.00155$ヲ得タリ

以上くったー氏カ其公式作成ノ為ニ運ヘル手段ハ頗ル單純ナラサルモ然カモ其骨子ヲ摘マハ畢竟前記ノ數項ニ歸着スヘク而シテ此間特ニみしゝっぴー河ノ實測ニ左右サルヽノ如何ニ大ナルモノアリシカハ前記ノ手續ニ照シテ最早何人モ之ヲ否定スルコト能ハシ知ラスくったー氏ニヨリテ然カク尊重サレ將タ利用セラレタル件ノ實測トハ抑モ如何ノモノソ

之レヲ其實測地點ノ形狀ニ見レハ河ノ平均幅員ハ三千呎乃至五千呎其平均水深ハ百五十呎テフ稀有ノ寸法ヲ示シ高水位ト低水位トノ差ハ五十呎ニモ上リ其最大流量ハ實ニ百二十二萬個ニ達スト云フ但シ其平均流速ハ毎秒三呎乃至七呎ニシテ水面勾配ハ僅ニ百萬分ノ三乃至十萬分ノ六ヲ算スルニ過キス而シテ一八五一乃至五八年はんふれーす氏等ニヨリテ初メテ該河ニ施サレタル實測トハ實ハ僅ニ左記十個ノ實測ノミヲ指スモノニシテ且ツ其流速ハ二重浮子ノ方法ニ依リテ見出サレタルモノナリ

Humphreys and Abbot's Mississippi Gaugings

(米突單位)

實測番號	實測地點	實測ノ年	R	S	V	$C=\frac{V}{\sqrt{RS}}$
1	Vicksburg, Miss.	1858	9.497	0.00002227	1.074	73.9
2	”	”	15.886	0.00003029	1.694	77.2
3	”	”	17.484	0.00004811	1.926	66.4
4	”	”	19.538	0.00006379	2.118	60.0
5	”	”	19.666	0.00004365	2.080	71.0
6	Columbus, Ky.	”	20.081	0.00006800	2.121	57.4
7	Carrolton, La.	1851	21.953	0.00002051	1.807	85.1

8	〃	〃	22.085	0.00001713	1.794	92.2
9	〃	〃	22.413	0.00000342	1.229	140.4
10	〃	〃	22.673	0.00000384	1.212	129.9

流速計ノ進歩未タ今日ノ如クナラサル當時ニ在リテ大河ノ流速ヲ測ルニ二重浮子ヲ以テセルノ例ハ敢テみしゝっぴー河ノミニハ限ラサルモ然カモ今日ノ眼ヲ以テスレハ其間先ツ自ラ多少ノ不安ナカラス況ンヤ其高低兩水位ノ差カ五十呎ヲモ上下スルノ實アル處ニ於テ僅ニ百萬分ノ三乃至十萬分ノ六ニ過キサル微妙ノ水面勾配ヲ一實測毎ニ能ク正確ニ測定センコトオヤ又況ンヤ其實測數カ僅々十個ノミニ過キサルコトオヤ吾人ハ固ヨリ稀有ノ大河ノ一事例トシテ件ノ實測ノ大ニ珍重スヘキヲ知ル然カモくったー氏ノ如ク只管之レニノミ信頼シテ以テ直ニ大河ニテハCハSノ增スニ連レテ減ストノ一方則ヲ確立スルノミナラス更ニ進ンテ氏ノ所謂一般的公式ノ根據並ニ係數値ヲ殆ト全ク之レニ求メントスルカ如キヲ見テハ寧ロ餘リニ其尊重ノ程度ノ過大ナルニ驚歎セサル能ハス殊ニ不思議ナルハ此同シみしゝっぴー下流ニ於テ後年(一八八一、八二、八七年)再ヒ政府ノ手ニ遂行サレタル實測ノ結果カはんふれーす氏等ノ實測トハ寧ロ甚タ異リタル成績ヲ示セル事實アルオヤ

即チ試ニみしゝっぴー河ニ於ケル右前後數回ノ實測ヲ初メIrawadi, Seine, Missouri等相當ニ多數ノ實測ヲ有スル大河ノ場合ヲ取リテ正座標上ニ縦距ヲCトシ横距ヲSトシテ點出センニ(第六圖表)はんふれーす、あぼっと氏等ノ實驗ノミハ如何ニモくったー氏ノ説ク處ノ如クCカSノ增スニ連レテ略々雙曲線的ニ減スルモノヽ如キモ然カモ其他ノモノニアリテハ例セハ同シみしゝっぴーノ一八八二年ノ實驗カ殆ト垂直ナルカ如キ又Missouri(一八七九年)ノ殆ト水平ナルカ如キヲ初メトシテ縦シ夫々ニ同一動水半徑ノ場合ヲ取ッテ替フルモ其起伏ハ畢竟各者各樣ニシテ到底くっ

くったー氏ノ主張ト合致スヘクモアラス即チCハSノ増スニ連レテ減スト云フカ如キ單純ナル原則ノ下ニ其凡テヲ律シ能ハサルコト頗ル明白ナリ

然ラハ次ニ小渠ノ場合ニCハSノ増スニ連レテ増ストノ第二原則ハ如何くったー氏ハ之レヲ證スルカ爲ニばざんノ實驗中略々同一ノRヲ有スルモノトシテ特ニSeries No. 6—11中ヨリ五實驗ヲ摘出標記シタリ(第二圖)如何ニモ之レノミヲ見レハ頗ル規則的ニCノSト共ニ増スヲ認ムサレト多數ノ實驗中ヨリ單ニ此五實驗ノミヲ撰ンテ直ニ此重大ナル原則ヲ設定スルコト如何ニBazin's series No. 6—11ハ凡テ木造矩形渠ノ場合ナレトモ然カモばざん氏ニハ此以外ニ尙同シク木造矩形渠ノ實驗トシテSeries No. 18—20ノアルアリ又形狀ニ於テ多少ノ差ハアレトモSeries No. 21, 22ハ木造梯形渠ニ關シSeries No. 23ハ木造三角形渠ニ關シ共ニ其實測ノ結果ハ矩形渠トノ間ニ格別ノ差異ヲ存セサルモノヽ如シサレハ若シくったー氏ノ第二原則ニシテ果シテ正シカランニハ凡テ是等ノ實測ヲ通シテ又等シク正シカルヘキノ理ナルモ然カモ事實ハ然ラス請フ第七圖表ヲ見ヨ其A圖ハくったー氏ノ特撰セル同一實驗列ニ於テ同一Rノ範圍($R=0.24\sim0.289$呎)ヲ備ニ$R=0.235\sim0.299$呎ニシテ押シ擴ケタルカ爲ニ當然追加サルヘキ四實驗ヲ併セ標出シタルモノニシテ之レノミニテモ氏ノ原則ハ頗ル動搖シ易キ感アリ況ンヤ他ノ同一Rヲ用ヒテ作成セルB C D圖ノ如キヲ如何氏ノ所謂第二原則ナルモノ又甚タ心許ナカラスヤ

抑モRカ一米ヨリ大又ハ小ナルニ連レテCカSノ増スト共ニ減シ又ハ増ストノ原則ハ之レヲ根本的ニ考察シテ果シテ如何ノ理據ヲ含蓄セシムルヲ得ヘキカくったー氏ハ其理由ヲ科學的ニ說明セントコト到底不可能ナルモ兎ニ角斯カル事實ハ事實トシテ認メサル能ハストノミ云ヘリ但シ其所謂事實トハ畢竟氏ノ撰擇シタル少許ノ實測ノ範圍內ノミニ就テノ謂ニシテ其內容ノ意外ニ貧弱ナルコト既ニ說破セル所ノ如クナレハ最早多言ノ要ナキモ然カモ茲ニ序テナカラ言及セサ

ル可カラサルハ米ノRudolph Hering氏カ右ノ原則ニ對シテ多少ノ解説ヲ試ミタルコト是レナリ即チ氏ハ一見頗ル矛盾スルカ如クニ見ユル右ノ原則ハ恐ラク次ノ如クニ之レヲ説明スルヲ得ヘシトシテ曰ク「水路大ナレハ大ナル程水分子各個ノ運動ノ方向ハ一般水流ノ方向ニヨッテ拘束サルルコト少ク從テ河川ニハ無數ノ横流及ヒ渦流ヲ發生スルコト常ニ吾人ノ目撃スル處ノ如シコハ畢竟水面ノ急勾配ト河床ノ亂雜トノ二ツニ原因スルモノニシテ周壁平滑ナル小渠ニ在リテハ斯カル不規則ナル水分子ノ運動ヲ誘發シ得ヘキ原因ニ乏シ此故ニ河渠カ大ナレハ大ナル程流水ノ有スル水頭ハ斯カル亂流ノ爲ニ消費サルヽコト多ク從テ平均流速ノ爲ニ用ヰラルヘキ有效勾配ハ益々其小ナルヲ致サン而シテ河川ニ在リテハ此減損水頭ハ流速又ハ勾配ノ加ハルト共ニ增サン何トナレハ水ハ倍々激シ倍々横流ト渦流トヲ誘發シテ以テ愈々水流ヲ阻碍ス可ケレハナリ細流ニテモ其周壁甚タ粗雜ナル場合ニハ又同一ノ結果ヲ見ン此故ニ大河ト及ヒ壁質粗雜ノ小渠トニテハCハSノ減スルニ連レテ比較的增大スヘキノ理ナリ反之周壁平滑ナル小渠ニアリテハ側流ニ因スル減損水頭ハV又ハSノ增スカ儘ニ却テ減セン何トナレハ斯カル亂雜ナル水分子ノ運動ハ流速ノ大ナルカ又ハ水流ノ制限セラルヽ度合ノ大ナルニ連レテ倍々不可能トナル可ケレハナリ從テ此場合CハSノ增スニ連レテ增サヽルヲ得サラン只併シ乍ラ右ノ變化ニハ除外例ナカラス又くったー氏公式中ノlハ定數ナル代リニ壁質粗度ニ連レテ變化スルモノト爲スコソ寧ロヨリ多ク事實ト適合スヘキナラン」ト (Hering and Trautwine's Translation of Kutter's Formula, Second Ed., p. 106–7)

此説明ハ遺憾ナカラ頗ル不透明ニシテ容易ク吾人ノ疑問ヲ散セシムルニ足ラス何トナレハ大河又ハ壁質粗雜ノ小渠ニテハ流速又ハ勾配ノ增スニ連レテ倍々水分子ノ亂脈ヲ激發スヘキモ平滑ナル小渠ニテハV又ハSノ增スニ連レテ却テ反對ニ之レヲ減スヘシトノ氏ノ前提自身カ既ニ多

大ノ疑問タルヲ免レサルモノニシテ氏ノ説クカ如キ然カク單純ナル理由ノ下ニ濫リニ之レヲ容認スヘクモアラス如何ニ平滑ナル小渠トテモ苟モ不動搖流(Non-sinuous Flow)ノ場合ニ非サル限リ即チ幾分ニテモ渠內ニ波動又ハ渦流ノ發生ヲ認知シ得ヘキ實用上ノ管渠ナル以上ハ壁質ノ粗度ノ如キハ固ヨリ程度ノ多少ニ過キサルヲ以テ一方ニ或原則ヲ立テツヽ他方ニハ却テ之レト正反對ノ原則ヲ是認スルカ如キノ矛盾アルコトヲ許サンヤ況ヤ河渠ノ大小ニヨッテ更ニ强テ亂流發生ノ增加ト減少トヲ分タントスルオヤ夫レ既ニ其前提ニ於テ此ノ如キノ矛盾アリ然カモ其直下ニCハ此故ニSノ增スニツレテ減シ又ハ增ストノ結論ヲ導クコトノ又何タル不徹底ソヤ縱シ右ノ前提ニシテ全部正シキモノト爲サンモ以テ此結論ニ到達センカ爲ニハ倘相當ノ距離アリVトSトRトCトノ各者ニ亘リテ頗ル面倒ナル關係アリソヲ一々明瞭ナラシムルニ於テコソ初テ此問題ノ說明タリ得ル所以ナランヲ唯恰モ自明ノ理ナルカノ如クニ見做シテ以テ足レリトセンニハ畢竟何ノ說明カアル之レヲ要スルニへりんぐ氏ハ大河ノ場合ニハ其亂流ヲ過大視シ小渠ノ場合ニハ却テ其平滑サヲ過大視セルノ嫌ヒアリ殊ニ氏ハ小渠トテモ壁質粗雜ノ場合ニハ當然大河ノ場合ニ準スルモノヽ如ク云ヘルニモ拘ラスくったー氏ニヨレハ凡テ$R<1^m$ノ場合ニハ粗度ノ如何ヲ問ハスシテCハSト共ニ增スヘキモノトノミ認定セルヲ如何

へりんぐ氏ノ如キ説明ノ立テ方ニテハ恐ラク疑問ハ如何樣ニモ續發スヘシ然カモソハ强テ窮メス玆ニ若シ率直ニ著者ノ見ル處ヲ述ヘシメハ吾人ハくったー氏ノ原則ノ由來スル所乃至其誤解ヲ致セル所以ノサマテニ六ツケシキ理窟ヲ費ヤサスシテ容易ク判明セシメ得ヘキヲ思フ請フ先ツ氏カ是等ノ研究ノ對象トセルCノ値ヲ夫々ノ實測ヨリ如何ニシテ求メ得タルカヲ見ヨソハ即チ實驗毎ニV R Sヲ用ヒテ$C=\frac{V}{\sqrt{RS}}$ノ値ヲ計算シタルニハ非サルカ然カモRカ略同一ナル場合ヲ撰ヒテ正座標上Cヲ縱距ニSヲ橫距ニ標出セルニ於テ(第二第三圖)其各點ノ關係ハ畢竟$\frac{V}{\sqrt{S}}$

對Sノ關係ニ歸着スヘキナラスヤV若シ定數ナラハSノ増スニツレテ$\frac{V}{\sqrt{S}}$(從テC)ノ減スヘキコト明ナリ然カモVハ定數ナラスシテS及ヒRト共ニ變化スヘキ變數ナリサレハSノ増スニツレテVカ如何ニ變化スヘキカ其程度次第ニテ$\frac{V}{\sqrt{S}}$(從テC)ハ或ハ減シ或ハ増スヘキ結果ヲ生マン飜テ先ツくったー氏ノ所謂第一原則ノ場合ヲ見ヨ此場合ハ畢竟Sノ増加カVニ及ホス影響ヨリモ寧ロ$\frac{1}{\sqrt{S}}$ニ及ホス影響ノヨリ著シカリシカ爲メニ思ハスくったー氏ヲシテ如是ノ原則ヲ發明セシメタルニハ非サルカ果然みしゝっぴー河ノ實測ニ徴セハSハ僅ニ百萬分ノ三乃至十萬分ノ七ヲ數フルノミナルヲ以テソレニ伴フVノ變化ノサマテニ著大ナラサルヘキハ之レヲ想像スルニ餘リアリ然ルニモ拘ラス一方$\frac{1}{\sqrt{S}}$ノ値ニ至リテハSノ小ナル丈ケソレ丈ケ著大ニシテ

$$S=\frac{1}{1,000,000} \text{ 毎ニ } \frac{1}{\sqrt{S}}=1000$$

$$S=\frac{1}{100,000} \text{ 毎ニ } \frac{1}{\sqrt{S}}=322$$

ノ如キ著シキ割合ヲ以テSノ増スト共ニ急速ニ減少スサレハ此場合ニ於テSノ増スト共ニ$\frac{V}{\sqrt{S}}$(從テC)ハ著シク減少スルモノト爲サンモ必スシモ不可ナラス

次ニ小渠ノ場合ニ於ケルくったー氏ノ引例(第二圖)ヲ見ヨ此時ノSハ千分ノ一・五乃至八・二四ニシテ從テ

$$S=\frac{1}{1000} \text{ 毎ニ } \frac{1}{\sqrt{S}}=32.2$$

ノ割合ヲモテ消長スルニ止マルモ却テ此時ノVノ變化ハ勾配ノ急ナル丈ケニRト共ニ概シテ著シク増減スヘキヲ免レス從テ此場合或ハSノ増スニ連レテCノ増スヘキコトヲ想像センモ亦必スシモ不可トナサンヤ

試ニ縦距ニ$\frac{1}{\sqrt{S}}$ヲ用ヰ横距ニSヲ用ヰテ即チ$y=\frac{1}{\sqrt{x}}$ナル曲線式ヲ正座標上ニ點出シ見ヨ(第八圖表)此曲線ハ雙曲線ニハ相違ナケレトモ無論正雙曲線ニハ非スシテソレヨリモ尚一層縦横軸ニ近接スヘク而シテくったーノ撰ヒシはんふれーす氏等ノみしゝっぴーノ實測ニ對スルS(即チ百萬分ノ三乃至十萬分ノ七)ハ此雙曲線ノ殆ト垂直ナル一脚ノ中ニアリ又ばざんノ實測ニ係ル凡テノS(千分ノ一乃至十五)ハ悉ク此雙曲線ノ殆ト水平ニ近キ他ノ一脚ノ中ニアルコトヲ知ラン而シテみしゝっぴーノ新實驗ヲ初メIrawadi, Seine, Missouri諸河ノS(百萬分ノ九乃至一萬分ノ二・六)カ主トシテ該曲線中ノ最モ曲折多キ標軸附近ニ位置スルコトモ亦興味ヲ以テ首肯スルニ足ラン即チ舊みしゝっぴーノ實測ハCノ値ニ對シテRヨリモVヨリモSノ最モ敏感ナルヘキ場合ニアリ又ばざん氏ノ凡テノ實測ハCニ對シテSノ影響最モ鈍重否殆ト些ノ影響ヲモ及ホサゝルヘキ範圍ニアリ即チばざんカ其公式中ニSニ對スル格別ノ考慮ヲ煩ハサゝリシ所以トくったーカ特ニみしゝっぴーノ實測ヲ引イテSノ變化ニ焦心シタリシ所以ト及ヒいらわぢせーん其他ノ場合ニ於テCトSトノ關係頗ル區々ニシテ一律ニ論スルニ由ナキ所以ト共ニ自ラ釋然トシテ之レヲ諒解スルヲ得サランヤ

之レヲ要スルニくったー氏ノ原則ナルモノハ著者ノ考フル範圍ニ於テハ最早全ク原則トシテノ價値ナキモノニシテ氏カ撰ヒシ若干ノ實測ニコソ其變化ノ如何ニモ理窟アリケニハ見エタレ所詮ハSトVト加フルニRノ大小及ヒ其變化ノ次第ニ應シテ如何樣ニモ之レヲ動搖セシムルコトヲ得ヘク結句各河川毎ニ又ハ各實測毎ニ其變化ノ區々タル所以ヲ承認セシムルヨリ以外ニ能ナキモノトヤ云ハマシ

從ツテ又如何ノ點ヲ界ニSノ增スト共ニCハ增シ又ハ減スルヤト云フカ如キコトハ最早何等ノ問題トモ爲スニ足ラス然カモ若シ强テ之レヲ問ハントナラハ則チ同一壁質同一形狀及ヒ同一勁

水準徑ノ場合ニ於ケルVトSトノ關係ヲ逐一見極メサル限リ少許ノ實測ヲノミ楯トシテ濫リニ之レヲ是非シ能フヘキモノニ非ラス然ルヲくったー氏カ之レヲVトSトノ關係ニ求メスシテ却テ突如$R=1.00^{m}$ナル意外ノ條件ヲ捻出シ來リ以テ此分界點タラシメントセルカ如キ吾人遂ニ其可ナル所以ヲ知ラサルナリ

然カモ尙念ノ爲メニくったー氏公式ノ示ス處ノ如クRカ一米ナル場合ニハ果シテSノ大小如何ニ拘ラスシテCノ値カ同一壁質每ニ定數$\left(=\frac{1}{n}\right)$タリ得ルカ否カヲ一應實測ノ結果ニ照シテ檢セン但シ遺憾ナカラRカ一米ナル場合若クハソレニ近キ場合ノ實測ハ從來其數ニ於テ甚タ乏シク Hering and Trautwine 氏ノ千二百ニ餘ル實測一覽表ニ就テ$R=2.95\sim3.60$呎(即チ$R=1.00^{m}=3.28$呎ニ前後約一割ノ餘裕ヲ見込ミタル)ノ場合ヲ撰擇スルモ其全數ハ僅ニ次表ノ如キノミ表中壁質ノ類別ハくったー氏ニ準セリ

第四表　$R=3.28$呎前後ノ時ノCノ實測値

Location.	Authority.	R(呎)	$1000\,S$	C
第三類　切石積又ハ煉瓦工	$n=0.013$	$\frac{1}{n}=76.91$		
Solani Right Aqueduct, India	Cunningham, 1880	3.26	0.195	96.4
" " " (Left closed)	"	2.99	0.253	116.4
第四類　粗石工	$n=0.017$	$\frac{1}{n}=58.82$		
River Aa, near Sarnen	Epper, 1885	3.398	0.64	74.5
Rhône at Porte de Sex	Epper, 1887	3.152	1.002	73.9

第五類　土床小河	$n=0.025$	$\frac{1}{n}=40.00$		
Canal at Réaltore	Darcy & Bazin, 1865	2.87	0.43	72.2
River Lech, below Augsburg, Bavaria	Von Gumpenberg, 1854	3.16	1.150	81.8
River Salzach, in Bavaria	Reich, 1855	3.45	0.280	86.2
” ” ” ”	” ”	3.52	0.348	103.2
第六類　堆石又ハ雜草アル河川	$n=0.030$	$\frac{1}{n}=33.33$		
Plessur, near Chur	La Nicca, 1839	3.48	9.650	66.4
” ” ”	” ”	3.58	”	72.8
” ” ”	” ”	3.59	”	74.8
Rhine, Domleschger Valley	” ”	2.95	7.959	48.3
Tessin, opposite Giubiasco	Epper, 1888	2.962	0.254	60.6
Limmat near Zürich	Quoted by Kutter	3.160	2.750	57.4
Engstligen, Canton Berne	” ” ”	3.31	22.200	32.6
River Salzach, Bavaria	Reich, 1855	3.53	0.940	60.3
” ” ”	” ”	3.51	1.550	55.4
Zihl, Canton Berne	Trechsel, 1825	3.52	0.400	61.0
Aar, near Aarberg	” ”	3.12	1.270	66.6
Elbe at Tetschen, Bohemia	Harlacher, 1877—9	3.51	0.38	68.2

前表中ノ實測ハ敢テ悉ク同一程度ニ精確ナルモノトハ云ヒ難キモ然カモ其數ノ少キ割合ニ壁質毎ノCノ値ハ頗ル不同ニシテ毫モくったー氏ノ「Rカ一米ナラハCカ$\frac{1}{n}$タル」原則ニ拘束サルヽ

ヲ見ス然カモ此原則ニシテ破レンカくったー氏ノ公式ハ遂ニ其根底ヲ滅却スルノ外ナカラン

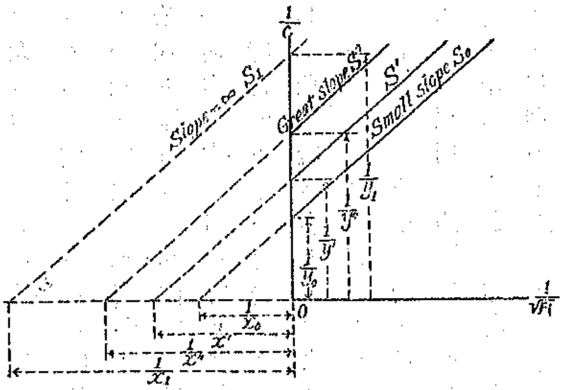
以上之レヲ要スルニくったー氏ハばざんノ實驗以外新ニみしゝっぴー河ノ十個ノ實測ヲ得テ初テ大ニ乘スヘキノ機ヲ作シ依テ以テ其非凡ナル研究ヲ縱横ナラシメタリト雖モ然カモ勢ヒノ然ラシムル處自ラ後者ノ價値ヲ尊重スルニ急ニシテ却テ其餘弊ニ累セラレタルノ嫌ヒナカラスサレハ氏ノ提唱セル若干ノ原則ノ如キ最早吾人ニ向ッテ何等格段ノ權威ヲ示サヽルハ固ヨリ氏ノ公式ト雖モ既ニ其作成ノ根底ニ於テ幾多ノ破綻ヲ免レサルヲ信セスンハ非ラス夫レ然リ而カモ一面本公式カ到ル所ニ多年無數ノ實用ヲ經テ現ニ流速公式中ノ第一聲名ヲ保持スル所以ニ鑑ミル時吾人ハ今一度飜ッテ公式其モノヽ內容如何ヲ仔細ニ點検センコトヲ欲ス

但シ此際特ニ多大ノ興味ヲ以テ附記スヘキハくったー氏自身ト雖モ實ハ右ノ原則ヲ他迄固守セントスル程ノ意氣ナカリシモノカ後年更ニ第二公式 Second general formula ヲ按シテ其處ニハ最早$R<1.00^m$ノ小渠ニ於テ「Sカ增セハCモ增ス」トノ原則ヲ保持セス從テ又「$R=1.00^m$ノ處ニ於テ反對セル二原則ノ接觸ヲ見ル」トノ原則ヲモ自ラ否定シ去レルコト是レナリ既記ノ原則ニ對スル氏自身ノ確信ノ度合モ亦以テ想見スヘキニ非スヤ氏曰ク「$R<1.00^m$ノ小渠ニ於テSカ增セハCモ增ストノ原則ハ主トシテばざんノ木造渠ノ實驗ヨリシテ見出サレタルモノナリサレト其處ニモ又大河ニ於ケルト同シクSノ減スルニツレテ却テCノ增スヘキ若干ノ場合アルコトヲモ承認セサル能ハス故ニ若シ同一實驗ニ於ケル此矛盾ヲ考慮シ且ツ何レニセヨ其影響ノサシテ著大ナラサル所以ニ察シテ之レヲ無視シ單ニ大河ノ場合ニ於ケルSノ關係ノミヲ是認センニハ以テ別種ノ公式ヲ組立ツルヲ得ヘシ即チ

$$C=\frac{y}{1+\frac{x}{\sqrt{R}}}=\frac{1}{\frac{1}{y}+\frac{x}{y}\frac{1}{\sqrt{R}}}$$

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{y}+\frac{x}{y}\frac{1}{\sqrt{R}}$$

ノ關係ニヨリ$\frac{1}{\sqrt{R}}$ヲ橫距トシ$\frac{1}{C}$ヲ縱距トシテみしゝっぴー河ノ實驗並ニコレト略々同質ノ他ノ河川ノ實測ヲ圖表ニ點出シ以テ同一勾配ノ諸點ヲ連結スル直線束ヲ引ク時(即チ第四圖表ノ場合)遺憾ナカラ此種ノ比較ニ供シ得ヘキ實測例ニ乏シク且ツハ標出セル諸點ノ餘リニ廣ク散亂セル事實ニ鑑ミテ寧ロ第一公式トハ反對ニ是等ノ直線ハ凡テ一點ニ交叉スルコトナク却テ相互ニ平行スト假定センニハ(第五圖)角度係數x/yハyノ變化如何ニ係ラス粗度ノ各種別每ニ一定スヘシ故ニ此x/yヲ示スニnヲ以テスレハ



第五圖

$$C=\frac{1}{\frac{1}{y}+\frac{n}{\sqrt{R}}}$$

例ニヨッテ$y=y_1+\frac{m}{S}$ト假定シ第五圖ヨリ見出サレタルyヲ縱距トシ$\frac{1}{S}$ヲ橫距トシテ標出セル諸點ヲ連結スル直線ヲ描カハ以テy_1ト$\frac{m}{S}$ノ値ヲ得ヘク從テ

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{y_1+\frac{m}{S}}+\frac{n}{\sqrt{R}}$$

$$C=\frac{y_1+\frac{m}{S}}{1+\left(y_1+\frac{m}{S}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}$$

此公式ハSノ増スト共ニ常ニCノ減スルコトヲ示シy_1トnトハ壁面ノ粗度ニ連レテ變化スヘシ

「y_1カ増セハx_1カ減スト」ノ關係ヲ最モ簡單ニ云ヒ現ハスヘキモノハ

$$x_1=\frac{a}{y_1}$$

ト假定スルニ加カス從テ

$$n=\frac{x_1}{y_1}=\frac{a}{y_1^2} \qquad \therefore \quad y_1=\sqrt{\frac{a}{n}}$$

$$\therefore \quad \frac{1}{C}=\frac{1}{\sqrt{\frac{a}{n}}+\frac{m}{S}}+\frac{n}{\sqrt{R}}$$

$$\therefore \quad C=\frac{\sqrt{\frac{a}{n}}+\frac{m}{S}}{1+\left(\sqrt{\frac{a}{n}}+\frac{m}{S}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}$$

若シ圖式解法ニヨリテm及ヒaノ値ヲ求ムレハ

$$\therefore \quad m=0.000719$$

$$a=150.66$$

$$\therefore\quad C=\frac{\frac{\sqrt{150.66}}{n}+\frac{0.000719}{S}}{1+\left(\frac{\sqrt{150.66}}{n}+\frac{0.000719}{S}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}}$$

是レ即チ第二ノ一般公式ニシテソノ第一ノ一般公式トノ優劣ハコレヲ使用者ノ判斷ニ委スヘキノミ但シ第二式ニテハ小渠ニ於ケルSノ影響ハ大河ノ場合ト異ラス即チ「Sカ増セハCカ減ス」トノ假定ニ據レルモノニシテ且ツ第二式ニ於ケルnノ値ハ第一式ノモノトハ全然相違スヘシ」ト斯クテ氏ハ圖式解法ヲ掲ケテ以テ第二式ノ活用ニ便セリ

多大ノ崇拜者ヲ其背後ニ有スルくったー氏ニシテ敢テ自ラ其主張ヲ二三ニシ相互ニ頗ル矛盾セル原則ヲ交々假定シテ以テ平然第一第二ノ一般公式ナルモノヲ作リ其取捨ノ如何ハコレヲ使用者ノ判斷ニ委セント云フ斯クテモ尙多數者ハ氏ノ研究ノ行屆ケル所以ヲ信シテ之レニ隨喜スヘキカ吾人ハ寧ロ啞然トシテ云フ處ヲ知ラサルナリ然カモ幸ニシテくったー氏ハ最後ニ其第二公式ヲ打消シテ曰ク「本式ハ見ルカ如クニ餘リニ複雜ニシテ日常ノ用ニ供スルニ足ラス且ツがんぎれー氏カ細心ナル比較調査ノ結果ハ第一式ノ方第二式ヨリモ遙ニヨク事實ト適合スヘキヲ見タリサレハ吾人ハ未タ我第一式ヲ修正加除スヘキ理由アルヲ知ラス」ト此打消シノ理由モ亦頗ル貧弱ナリト雖モソハ強テ論セス吾人ハ兎モ角モ此一語ニヨリテ氏ノ所謂第二公式ヲマテモ併セ批評スルノ役目ヲ免レ得タルヲ喜ヒ依然吾人ノ習熟セル第一式ヲノミくったー氏公式ト認メテ以テ我論評ヲ繼カン即チ以下該公式ノ內容ニ立入リ改メテ其委曲ヲ叩カント欲ス

くったー氏ハ先ツ第一ニ氏ノ流速公式ニ對スル基本的形式トシテ Chézy 氏ノ $V=C\sqrt{RS}$ ヲ其儘ニ受入レ且ツ其點ニ就テ何等ノ說明若クハ批判ヲ施サヽルコトばざん氏ト選フ處ナキヲ以テ茲ニハ此根本義ニマテ溯ツテ論議スルノ要ナシ而シテ次ニ係數Cノ內容如何ニ關シテハ氏ハばざん

ニ擬シテ試ニ

$$C=\sqrt{\frac{y'}{1+\frac{x'}{R}}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

$$C=\frac{y}{1+\frac{x}{\sqrt{R}}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

$$C=\frac{y''}{1+\frac{x''}{R}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

ノ二形式ヲ捻出シ斯カル形式カ果シテ許容サレ能フヘキカ否カハ結句(5)又ハ(6)カ少クトモ(4)ト同等以上ノ成績ヲ係數Cニ與フルヤ否ヤニヨッテ決スヘシト爲シ比較研究ノ末遂ニ(5)ノ形式ヲ他ヨリモ遙ニ良好ナルモノト認定シテ以テ自家ノ公式ニ採用シタルナリサレト此選擇ニ方リ氏ハ理論的ニハ全然何等ノ解說ヲ與ヘス從テ件ノ形式カ(4)又ハ(6)ヨリモ必然的ニ如何ノ點ニ於テ良好ナルヤ又ハ其他ニモ之レニ擬シテ如何樣ニモ工夫サルヘキ無數ノ類似形式ニ比シテ果シテ何レ丈ケ有利ニ又ハ何レ丈ケ合理的ナルヤ或ハ又CカRノ關係ニヨリテノミ變化スルノ如何ニ至當ナルヘキカVノ影響ヲ之レニ加味セサルノ何カ故ニ差支ナキカ等ノ點ニ就テハ毫モ開ク所ナシ即チ此點ニ就テハ氏ハ全然ばざん氏カ(4)ノ形式ヲ選ヘル所以ノ主張ニ同シテ單ニRノ關係上稍異リタル形式ヲ加味シタルニ過キサルカ故ニCトVトノ關係ニ就テ吾人ノ曩ニばざん氏舊式ニ對ツテ下セル批評ハ此場合ニモ亦等シク有効ナリ加之氏カ(5)ノ形式ヲ以テ(4)又ハ(6)ニ優ルト斷スルニ至リシ所以ノ手段ハ頗ル不徹底ノモノニシテソハ唯ばざん氏實驗中ノ八種七十一實

驗ノ與フル實測値ト右三形式ノ與フル計算値トヲ彼此相對照シテ以テ誤差ノ多少ヲ較査シタルニ止マリばざん氏ニヨリテ少クトモ同一程度ノ精密サヲ保證サレタル爾他ノ三十七種二百五十七實驗(極メテ小ナル木造渠ヲ以テセル四種二十七實驗ハ加ヘス)ニ關ラス或ハ右八種ノ實驗ニ於ケル比較ノ結果ハ自ラ以テ他ヲ類推スルニ足ルヘキカノ感ナカラストモ然カモ現ニくったー氏ハ Series 3°, 10°, 21° ノ如キニ於テハ却テ(4)カ(5)ヨリモ優良ナル成績ヲ示スコトアルヘキ旨ヲ附記シナカラソヲ比較ノ採點ニハ加ヘサリシナリサレハばざんノ實驗總體ヨリシテ斯カル取除ケノ場合カ尙如何程ノ範圍ニ達スヘキカ同時ニ 53·7 : 44·6 : 60·4 ナル誤差ノ總點數カ尙幾何ノ變化ヲ來スヘキカソハ未タ容易ニ判チ難キノ感ナキニシモアラス

但シ氏カ此三種ノ形式ヲ比較スルニ要セシ努力ハ實ニ多大ナラスンハ非ラス氏ハ先ツ(4)(5)(6)ノ夫々ニ就キ曩ニ前章ニ揭ケシ複雜ナル計算式ヲ用ヰテ x' y'、x y x'' y'' ヲ見出シ次ニ又之レヲ用ヰテ實測ノ一ツ々々ニ煩瑣ナル手數ヲ反覆シテ C ノ値ヲ見出シ以テソヲ C ノ實測値ト對比シタリシナリサレハ其比較ノ僅ニ八種七十一實驗ニ止マルコトモ亦多少ハ諒トセサル能ハス然リ吾人ハ自ラ此種ノ努力ヲ敢テシテ以テばざんノ爾餘ノ二百五十七實驗ニ對スル C ノ三形式ヲ逐一對照是非スルノ勇ナキカ故ニ理論的ニ何等ノ理據ヲ有タサル斯カル比較方法ニヨリ少許ノ照査ノ下直ニ其優越ヲ强ヰントスル(5)ノ形式カ果シテ如何程マテ有力ナルカヲ知ラサルニ拘ラス茲ニハ氏ノ努力ノ結果ヲ尊重シテ少クトモ氏カ比較シ得タル實測ノ範圍ニ於テハ(5)カ(4)ヨリモ(6)ヨリモ良好ナルヘキコトヲ承認セント欲ス然カモ之レヲ是認スルト同時ニ又吾人ハ窃ニ(5)式中ノ $\sqrt{R}$ ニ代ヘテ $\sqrt[n]{R}$ ト爲スコト即チ

$$C=\frac{y}{1+\frac{x}{\sqrt[n]{R}}}\qquad n>2$$

トナスノ尙一層良好ナルニ非サルカヲ感シヲハ併セテ誘起セサル能ハス

請フコレヲくったー氏ノ示セル六種列ノ實測比較圖表(第九圖表)ニ見ヨ氏ノ比較ノ範圍ニ於テ(5)カ(4)ヨリモ(6)ヨリモ優良ナル所以ハ畢竟該圖表上(5)式ノ示ス曲線ノ曲度カ(6)ヨリモ(4)ヨリモ小ナルタケソレ丈ケヨリヨク實測ノ結果ト接近スルノ傾向アルカ爲ナラスヤサラハ若シ(5)式ヨリモ更ニ曲度ノ少キ曲線ヲ描クニ適スル公式ヲ撰ハンニハ尙更ヨリ能ク實測ノ結果ト適合セシムルヲ得ヘク即チ溯ツテ(6)ト(4)ト(5)ノ形式上Cニ對スルRノ關係ヲ考察スル時吾人ハ唯何トナク$\sqrt{R}$ニ代ヘテ$\sqrt[3]{R}$ヲ用ウルノ以テ益々其曲度ヲ輕減セシムル所以ニ非サルカヲ想像セサル能ハサルナリ

但シソハ此場合ニ於テハ只單ナル空想ナリ吾人ハ敢テ自ラnヲ三トシ四トスルノ効果如何ニ就テくったー氏ノ用ヰシ如キ努力ヲ反覆スルヲ欲セサルヲ以テソカ只一個ノ空想タルヲ甘受スルノミニシテ止マン但シ此際特ニ注意スヘキハ(5)カ(4)ヨリモ(6)ヨリモ良好ナリト云フコトハ只此三形式ノミニ就テノ比較上ノ言ニシテ(5)ト雖モ尙且ツ實測ノ結果ヨリ見テ大分ノ離隔アルコトハ圖表上明ニ之レヲ看取シ得ヘク(Series 9°, 17°, 26°, 32°ニ於テ殊ニ然リ)從テ後來更ニ一層適切ナル類似ノ形式ノ表現ヲ期待シ得ヘキ餘地アルコト是レナリ

(6)ノ形式ハ只一時的比較ノ方便トシテくったー氏ノ假用シタルモノニ過キサルヲ以テ敢テ兎角ノ辯ヲ要セサルモ(4)ハばざんノ舊式及ヒ更ニ溯ツテハだーしー氏ノ管ノ公式ニ採用サレタル形式ニシテ(5)ハ即チくったー氏公式ノ基ク所タルニ於テ吾人ハ尙何等カ此(4)ト(5)ノ二形式ヲ是非スルニ足ルヘキ適當ノ目安ヲ尋ネンコトヲ欲セリ然カモ茲ニ意外ナル事實ハばざん氏自身カ後年却テ(5)ノ(4)ニ優ル所以ニ裏書キシテヤカテ自ラ(4)ノ形式ヲ放棄シタルコト是レナリくったー氏ノ說明カ未タ充分ナラサルヲ思フテ竊ニ尙多少ノ辯ヲ惜マサランコトヲ欲セシ著者モ茲ニ至リテ

ハ最早顯然トシテ云フ所ナキナリばざん氏ハ一八九七年其新公式ノ發表ニ方リ在來氏ノ名ニヨツテ知ラルヽ(4)ノ形式ヲハイト無雜作ニ棄却シテ却テくったーノ(5)ノ形式ヲ其儘採用スルニ至リヌサレハ管ノ場合ハ別トシテ茲ニ考フル河渠ノ流速公式トシテハ最早(4)ト(5)ノ是非ニ向ツテ格別力瘤ヲ入ルヽノ必要モナク事實ハ獨リ(5)ノ形式ノミノ全盛ヲ占ムルニ委スサレハ吾人モ亦此以上此問題ニ深入リスルノ必要モナク理論ハ兎ニ角事實ハくったー氏ノ勝利ヲ認メテ以テ次ノ問題ニ移ラン何トナレハ吾人ニ取リテハ此問題ハ最初ヨリシテ格別徹底的研究ノ價値アルモノトハ認メラレサレハナリ

くったー氏ノ次ノ研究ハ既ニモ述ヘタル如ク(5)ノ形式ニ於ケルxトyトノ間ニ何等カノ關係ヲ求メテコノ二係數ニ代フルニ粗度ニ關スル一係數nヲ以テセンコトニアリ其目的ヤ可シ然カモ氏ハ如何ニ之レニ成功シタルヘキカ氏ハ先ツyヲ以テ定數ト見做シ即チyヲ壁質ノ粗度トハ無關係トシテ獨リxノミヲnノ或函數タラシメント欲シタリ是レ又頗ル可ナリ氏ノ記スル處ニヨツテ見ルモ若シ斯クスルコトヲ得ハ$R=\infty$ノ時ニ$C=y=$定數トナリ即チ絶大ノ洪河ニアリテハ周壁ノ粗度如何ノ如キハ最早何等ノ影響ヲモCニ與ヘサルヘク此事頗ル合理的ナリト

仍テ此假定ノ正否ヲ檢センカ爲ニ氏ハ次ノ圖式解法ヲ採レリ

$$C=\frac{y}{1+\frac{x}{\sqrt{R}}}=\frac{1}{\frac{1}{y}+\frac{x}{y\sqrt{R}}}$$

$$\therefore\ \frac{1}{C}=\frac{1}{y}+\frac{x}{y}\cdot\frac{1}{\sqrt{R}}$$

$\frac{1}{C}$ヲ縱距トシ$\frac{1}{\sqrt{R}}$ヲ横距トスル時ハコハ直線式ナリ依テ氏ハ此圖表ニばざんノ實驗中勾配ト壁質トノ略々同一ナルモノヲ選ンテ點出シ且ツ出來ル丈ケ此諸點ヲ平均スヘキ直線ヲ描ケリ次

ニハ又同様ニ Seine, Saône, Weser, Rhein-Delta in Holland, Linth Canal 等ノ實驗ヲ取扱ヘリ氏ノ假定ニシテ若シ正シカランニハ即チyカ定數タリ得ヘクシハ是等ノ直線ハ悉ク同一ノ點ニ於テ縦軸ヲ切ラサル可カラス然ルニソハ事實ニ非スシテ反對ニ是等ノ直線ハ上下種々ノ點ニ於テ縦軸ト會シ殊ニ河川ノ場合ニハ著シク人造渠ノ場合ト隔離スルヲ見シカハ此處ニくったー氏ハ初テyカ定數タリ能ハサル所以ヲ知リ即チyモ亦nト共ニ變化スヘキモノタルヲ認メテ餘儀ナク他ノ工夫ニ轉セリト云フ但シ右ノ經過ニ就テハ此以上何ノ記スル處アラス

サレハ氏カ果シテ如何程ノ實測ヲ用ヰテ右ノ手續ヲ試ミタリシカハ之レヲ知ルニ由ナキモ氏カ先ツyヲ定數ト見做スノ頗ル便利ニシテ且ツ合理的ナル所以ニ着目シ次ニ試驗(トライアル)ノ結果トシテ之レヲ抛棄スルニ至レル用意ハ頗ル周到ニシテ些ノ難スヘキナシ然カモ茲ニイト興味アルコトニハばざん氏カ後ニ其新公式ヲ發表スルニ方リテ又意外ニモ此同シ圖式解法ノ下ニ却テyヲ定數トシテ採用シタリシコト是レナリ夫レ既ニ等シク(5)ノ基本形式ヲ選フニ於テ一致シ然カモ茲ニ一方ハyヲ定數ト見做シ能ハスト爲スニ拘ラス他ハ却テ之レヲ定數ト爲ス知ラス如何ノ考慮ト事實トノ相違カ此矛盾ヲ釀成セシメタルカ曩ノ(4)ト(5)トノ形式ノ爭ヒニモ增シテ頗ル興アル批判ノ問題ハ寧ロ此點ニアリ何トナレハyカ定數タリ得ルヤ否ヤ此一點コソハ實ハ右二公式ノ根本的差別ヲ辨スルニ足ルヘキ唯一ノ楔子ニシテ爾他ハ自然其推移ニ伴フ多少ノ波瀾ニ過キサレハナリ、トハ云ヘ此批判ハ須ラクばざん氏新公式ノ梗概ヲ述ヘタル上ニ於テスヘキモノナルカ故ニ今ハ云ハス

兎モ角モくったー氏ハyヲ定數トシテ見做シ能ハサルコトヲ斷セリ即チyハ　ト同シク壁質ノ粗度nノ或函數タラサル可カラサルヲ思フテ或ハ

$$y=\frac{a}{\sqrt{n}} \qquad x=ny=a\sqrt{n} \qquad \therefore \frac{x}{y}=n$$

或ハ

$$y=\frac{a}{n} \qquad x=n^2y=an \qquad \therefore \frac{x}{y}=n^2$$

$a=$定數

$\dfrac{x}{y}=$圖表上ノ角度係數

ノ如キ簡易ナル函數ノ形ヲ選ンテ反覆實測トノ比較ヲ試ミタル末遂ニ次ノモノヲ以テ最モヨク事實ト適合シ得ヘシト爲シタリ

$$y=a+\frac{l}{n} \qquad x=an=ny-l \qquad \therefore \frac{x}{y}=\frac{an^2}{an+l}$$

$l=$定數

是レ氏カ暫クSノ影響ヲ考ヘサル場合ニ於テ

$$C=\frac{y}{1+\dfrac{x}{\sqrt{R}}}=\frac{a+\dfrac{l}{n}}{1+\dfrac{an}{\sqrt{R}}}$$

ト爲スニ至リシ所以然カモ茲ニ最モ遺憾トスヘキハ氏カxトyトニ右ノ關係ヲ附與セルコトノ如何ニ能ク實測トノ調和ヲ保チ得タリシナルカ將タ如何ノ程度ニマテ氏ノ滿足ヲ値スル結果ヲ齎シ得タリシナルカソヲ首肯セシムルニ足ルヘキ一ノ證明ヲモ圖解ヲモ擧示サレサリシコト是レナリ(少クトモヘりんぐ氏ノ譯書ニ就テ然カ云フ)吾人ヲシテ云ハシメハ$y=a+\frac{l}{n}$ト假定スルト同時ニ其同シaトnヲ用ヒテ又$x=an$ト假定スルカ如キハ一般ノ假定法以上ニ頗ル限局サレタル窮屈ナル假定ニシテ從テ其假定ノ適否如何ハ最モ注意シテ觀察スルノ要アルノミナラス又くったー氏公式トシテハ此假定ノ採否如何カ實ハ公式展開上ノ最モ主要ナル楔子ヲ爲セルニ鑑ミ

之レニ對スル何等ノ解說ヲモ與ヘラレサリシ點ニ多大ノ不滿足ヲ感スルコトヲ特ニ指摘セサル能ハス

ソハ兎モ角氏ノ公式ノ骨子ハ實ニ右ノ如キ手順ニヨリテ成レリ即チ其以下ハ氏カ例ノみしゝっぴーノ實測ヲノミ偏重シテ大河ノ場合ニ於ケルCトSトノ關係ヲ正雙曲線ナリト斷シ從テ(5)ニ於テ$R=8$ナラハ$C=y$トナル故yトSトノ關係モ亦同シク正雙曲線タラサル可カラストノ假定ヨリ

$$y=y_1+\frac{m}{S} \qquad y_1=a+\frac{l}{n}$$

$$\therefore\ x=\left(a+\frac{m}{S}\right)n$$

ヲ得以テ氏ノ公式ヲ大成シ且ツハ引續キ專ラみしゝっぴーノ實測ニ準據シテ係數a l mノ數値ヲ見出スニ至レル逕路ニシテソノ容易ニ吾人ノ滿足ヲ惹キ難キ所以ハ既ニ說ク處ノ如クナルヲ以テ重ネテ贅セス

最後ニくったー氏ハ氏ノ論文ノ末ニ於テはんふれーす、あぼっと氏ノ公式トばざん氏ノ公式ト及ヒ自家ノ公式トノ眞價ヲ比較センカ爲ニ三十九實驗列二百十個ノ實驗ニ就テ一々其實測流速ト計算流速トノ數値ヲ計算シタル綿密ノ對照表ヲ示セリ之レニヨレハ

一　實測流速ト計算流速トノ差ヲ各試驗列ノ試驗箇數ニ平均シタル場合

	誤差ノ總和	誤差ノ總平均
はんふれーす、あぼっと	二七・一二	〇・七〇
ばざん	五・五八	〇・一四
くったー	二・〇八	〇・〇五

二 實測流速ト計算流速トノ比ヨリ一ヲ減セシモノヲ各試驗列ノ試驗箇數ニヨリテ平均シタル場合

	誤差ノ總和	誤差ノ總平均
はんふれーす、あぼっと	三五・一三	〇・九〇
ばざん	四・九七	〇・一三
くったー	一・四一	〇・〇四

三 最良ノ結果ヲ與フル試驗箇數ノ比較

はんふれーす、あぼっと	二二
ばざん	四九
くったー	一六五

右ノ成績ヲ一覽スルニ於テハ理論ハ兎モ角事實ニ於テ何人モ固ヨリ左右ナクくったー氏公式ノ最モ卓越セル所以ヲ信セスンハ非ス即チ著者ノ如キモ氏ノ公式作成ノ手段ニコソ幾多ノ異議ヲ述ヘタレ現ニ實際上ノ成績ニシテ然カク傑出セル以上ハ最早我口ヲ喊シテ寧ロ逆マニ私見ノ不備如何ヲ省察セサル能ハス夫レ然リ然カモ著者ハ右ノ成績比較表ニ對シテモ敢テ一片ノ抗議ヲ提出セサル能ハス何トナレハ右ノ成績表カ果シテ公平ニ三式ノ優劣ヲ判定スルニ足ルヘキヤ否ヤ其內容ヲ檢スルニ於テ實ハ頗ル疑問トスヘキモノアレハナリ

はんふれーす、あぼっと氏ノ公式ハ單ニみしゝっぴー河ノ實測ヨリシテ割出サレタルニ過キサルヲ以テ固ヨリ兎角ノ辯ヲ要セサルモ然カモ該公式ヲ其マヽ木造又ハせめんと塗ノ小渠ニマテ適用シテ強テ他トノ對照ヲ試ミタルハ慘酷ナリ況ヤばざんトくったートノ比較ニ方リばざんニハ單ニ氏カ與ヘシ壁質ノ四類別ニ對スルαトβノ係數値ノミヲ以テ計算セラレタルニ拘ラス獨リ

くったーノ場合ニノミ氏カ示セル六種ノ標準以上ニnヲ細別シテ實ニ二十一種ノ異レル數値ヲ用ヒテ計算セルコト如何壁質ニ應シテ變化シ得ヘキ些ノ係數ヲモ有セサルはんふれーす、あぼっと氏ノ公式カ茲ニ至ッテ最モ禍ヒナルハ固ヨリばざん氏公式ト雖モ亦頗ル迷惑ナラサランヤ殊ニくったー氏カ右ノ成績對照表ニ於テ氏ノ公式ノ效果ヲ殊更偉大ナラシメンカ爲ニ撰擇セルnノ價ハ往々餘リニ織巧ニシテ中ニハ$n=0.0105$, 0.0115, 0.0175, 0.0235, 0.0245, 0.0253ノ如キスラアリ其他小河ノ場合ニ$n=0.022$, 0.0235, 0.0245, 0.0253, 0.026ヲ用ヒ大川ニ於テ却テ$n=0.020$, 0.021, 0.023, 0.024, 0.025, 0.026, 0.027, 0.028, 0.031ヲ採用シタルカ如キ之レヲ氏ノ示セルnノ六種ノ標準(既ニ掲出シアルモ便宜上其一部ヲ再記センニ小河ノ場合$n=0.025$大川ノ場合$n=0.030$)ニ照シテ何人カ能ク此ノ如キヲ巧ニ撰擇シ得ルモノソ流速ノ實測價ト計算價トヲシテ成ルヘク近接セシメンカ爲ニ故サラ都合ヨク細別サレタル痕跡歴々トシテ蔽フ可カラス

夫レせめんと塗リ又ハ能ク削リタル木造ノ小渠ヨリ延テ雜草堆石其他ノ障碍多キ大河ニ及フノ間凡ソ壁質ノ差別ハ千様萬態ニシテ從テ分類ノ細カナレハナル程如何ノ拙キ公式ニテモ誤差ノ少カルヘキヲ必ス即チばざんノ四類別ニ比シテくったーノ六類別ハ現ニ此點ノミヲ以テスルモ其利既ニ小ナリト爲サス然ルヲ況ヤ一方ニハ飽迄四類別ヲ固守シテ他方ニハ頗ル自由ナル二十一種ノ類別ヲ擅マニスルオヤ此ノ如クニシテ比較サレタル成績表ヲ以テ直チニ二公式ノ公平ナル優劣ヲ示スモノト爲サンハ吾人斷シテ與セス加之くったー氏ハ右ノ成績對照表ニ擧ケタル三十九種二百十個ノ實驗ヲ以テ當時利用シ得可カリシ七百個以上ノ實驗中特ニ最モ重要ナルモノヲ撰擇シタリト爲セトモ事實ハ寧ロ只一、二回ノ實驗ノミヲ以テ一實驗列ニ充テタル極テ不充分ノ實驗ヲ採擇スルコト多クシテ而シテ一面ばざん氏ノ周到ノ用意ニ成レル五十種ノ實驗列ヨリハ僅ニ十種(Series No. 2°, 3°, 6°, 7°, 8°, 24°, 26°, 32°, 33°, 39°)ヲ引用シタルノミニ過キス其選擇カ果シ

テ如何ノ標準ニ出テタルカヲ問ハスシテ此ノ如キハ二公式ノ優劣ヲ對照スル上ニ又頗ル不徹底ナラストセンヤ況ヤ一、二ノ實驗ノミヲ以テ直チニ一實驗列ト爲セル不滿足ナル實驗ノ場合ニ於テノミ特ニ頗ルくったー氏ニ利ニばざん氏ニ不利ナル如キ形跡アルオヤ請フ次ノ拔萃ヲ見ヨ

各試驗列ノ平均誤差

實驗者	實驗地	實驗箇數	$\frac{v-v_1}{m}$ Bazin	$\frac{v-v_1}{m}$ Kutter	$\left(\frac{v}{v_1}-1\right)\div m$ Bazin	$\left(\frac{v}{v_1}-1\right)\div m$ Kutter
Drestrem	River Neva	1	0·29	0·01	0·43	0·01
"	Great Nevka	1	0·15	0·00	0·31	0·00
Ellet	Ohio River, Pt. Pleasant	1	0·12	0·00	0·18	0·01
"	Bayou Plaquemine	2	0·21	0·02	0·15	0·01
Grebenau	Rhine at Bâle	1	0·45	0·00	0·23	0·00
"	Hockenbach	1	0·08	0·01	0·24	0·01
"	Hübengraben	1	0·11	0·00	0·34	0·01
"	River Isar	2	0·48	0·24	0·22	0·13
La Nicca	Canal at Marmels	1	0·08	0·01	0·14	0·02
Legler	Escher Canal	2	0·44	0·08	0·21	0·03
Humphreys and Abbot	Bayou La Fourche	4	0·20	0·04	0·31	0·04
"	Mississippi	10	0·40	0·07	0·48	0·04

前表ノ內獨リみしゝっぴー河ノ分ノミハ十箇ノ實驗ヲ有スト雖モソハ寧ロくったー氏公式ノ淵源トモ見ルヘキモノナルヲ以テ特ニくったーニ利ニばざんニ不利ナルコト云フ迄モナシ其他ハ

即チ單ニ一回乃至二回ノ實驗ノミヲ以テ直ニ一實驗列ト爲シタル點ニ於テ普通ノ[illegible]處ノ不滿足ノモノヽ如キモ然カモくったー氏ハ特ニ最モ重要ノモノト認メテ三十九ノ比較實驗列中實ニ十二ノ多キヲ斯カルモノニテ充タシヌ是レ果シテ如何ニ正當ナルヘキカ況ンヤ以上ノ十二實驗列コソハ何レモ特ニばざんニ對ツテ著シク不利ナル場合ノ全體トモ云フヘク其他ニアッテハ兩式ノ差異サシテ著シカラヌ即チ殘ル三十七實驗列ノミノ與フル成績ヨリスレハ

一 實測流速ト計算流速トノ差ヲ各試驗列ノ試驗箇數ニ平均シタル場合

	誤差ノ總和	誤差ノ總平均
ばざん	二・四一	〇・〇九
くったー	一・六〇	〇・〇六

二 實測流速ト計算流速トノ比ヨリ一ヲ減セシモノヲ各試驗列ノ試驗箇數ニヨリテ平均シタル場合

	誤差ノ總和	誤差ノ總平均
ばざん	一・七三	〇・〇六
くったー	一・一一	〇・〇四

壁質ノ粗度ニ關スル分類カばざんニハ四種タリくったーニハ實ニ二十一種タル場合ノ比較トシテハ何ソ其優劣ノ意外ニ僅小ナルコレヲくったー氏公式ノ複雜サト思ヒ比ヘテ吾人ハ又モヤ啞然トシテ遂ニ云フ處ヲ知ラサルナリ

此場合ヲ利シテ吾人ハくったー氏公式ヲ以テスレハ能ク如何ノ實測トモ正シク吻合セサルナシト激稱スル後年幾多ノ技術家ノ裏書キニ對シテモ敢テ一言セサル能ハス如何ニモくったー氏公式ハ公等ノ實測ノ都度能ク其結果ト吻合スルヲ見タラン然カモ飜テ思ヘソハ其公式自身ノ正確

ナルカ故ニハ非スシテ寧ロ公等カ其實測ノ都度粗度係數nノ値ヲ自由ニ變化シテ強テ公式トノ吻合ヲ導キツヽアルカ爲ナラサルカ前記ノ成績對照表ハ即チ現ニくったー氏自身ニヨリテ明ニソノ可能ナルヲ例示シタルモノニ非スヤくったー氏ハ曰ク「予ノ列擧セル六種ノnノ値ハ必スシモ嚴格ニソヲ固守セラルヽヲ要セス否却テ特種ノ場合毎ニ夫々宜敷ソレニ適合スヘク變化セシムルヲ當然トス何トナレハソハ單ニ係數價ノ判定ヲ扶クル便宜ノ平均價乃至標準價タルニ過キサレハナリ」ト如何ニモソレニハ相違ナカランサレト此意味ヲ押サハ恰モ圖表上自由ニ或公式ヲ示セル曲線ヲ回轉セシムルニモ等シク如何ノ實測點トテモ必スヤ其何レカノnノ價ニ於テ正シク其線トノ接觸ヲ致サン即チnニ或格別ナル價ヲ選ハヽ公式ト實測トハ常ニ正シク相吻合セン而シテ公式夫自身ノ是非善惡ハ殆ト其關スル處ニハ非サルナリ $n=0.012$ ノ時ニハ相吻合セサランモ $n=0.0137$ ナラハ或ハ能ク相合致セン而シテ是レくったー氏公式ノ完備セルカ爲ナリト云ハンハソモ何タル速斷ソヤ

不幸ニシテばざん氏公式ニハ$\alpha\beta$ノ二種ノ係數アリ加之氏ハ壁質ニ僅ニ四種ノ類別ヲ與ヘタルノミニシテ即チ四對ノ係數價以外ニ又ハ其中間ニ自由ニ或實測ト吻合シ得ヘキαトβトノ値ヲ見出スコト容易ナラス然カモ此故ヲ以テばざんハ實測ニ合ハストシテ直ニ之レヲ排拒シ獨リくったーノnカ其實測ト吻合スルマテ容易ク自由ニ變化セシメ得ヘキヲ稱サハ是レ遂ニ公式其モノヽ是非如何ヲ判スル所以ニ非スシテ單ニ係數ノ二タリ一タルノ利便如何ヲ識タニ歸セサランヤ

然カモ係數ノ二タルカ爲ノ不便ヲ捨テヽ一タルノ利便ニ就ケルハ離ニ實用上ヨリ見タルくったー氏公式ノ長所ニシテ即チ相互ニ何ノ聯絡モナキ$\alpha\beta$ノ二係數ニ代ヘテコレヲnナル一係數ニ收約シ得タルノ功ハ明カニ之レヲくったー氏ニ歸スヘシ加之氏ノ基本的形式(5)カ(4)ノ形式ヨリ

モヨリ能ク多數ノ實測ト近似シ易キカ如キト及ヒ一面ニばざん氏自身カ現ニ(4)ノ形式ヲ棄テヽ(5)ノ形式ニ屈從シタルノ事實トヲ見テハ此點モ亦恐ラクくったー氏ノ着眼ヲ推稱スルニ足ラン然カモくったー氏ニヨリテ特ニ力說セラレタルCトSトノ關係及ヒ之レニ伴フ該公式ノ複雜サ加減ニ至リテハ未タ容易ニ其利ヲ辨スルコト能ハス吾人カ最モ公平ナル立場ヨリシテ觀察シ得タル最後ノ批判ハ畢竟此ノ如キ而已

第七章　ばざん氏ノ新式

一八九七年ニ至リばざん氏ハ新ニ「開渠ノ流量ニ關スル新公式ノ研究」ト題スル論文ヲ佛ノAnnales des Ponts et Chaussees ニ寄セテ後ノ所謂ばざん氏新公式ヲ發表セリ

氏ハ先ツ開渠ノ流量ト壁質トノ關係カ往年だーしー氏ノ研究ニヨリテ其最初ノ光明ヲ投セラレタル以來頓ニ到ル所ニ新實驗ノ數ヲ加ヘ甚テ幾多新公式ノ發表ヲ見得タリト雖モ未タ以テ充分ナル吾人ノ滿足ヲ買フニ足ラストシテ次ニ氏ノ舊公式

$$\frac{RS}{v^2}=A \qquad A=\alpha+\frac{\beta}{R}$$

ニ說キ及ンテ曰ク「此公式ハ一八五〇年だーしー氏カ管ノ實驗ノ結果トシテ採用シタルニ基クモノニシテ管ノ場合ニハ頗ル能ク實地ト適合スルモ開渠ノ場合ニ於テハ幾分ノ不充分サヲ免レス是レ管ニアリテハ其斷面常ニ圓形ニシテ寸法ノ差別モ甚タ大ナラスβノ關係モ亦比較的小ナルニ反シ開渠ニテハ斷面ト壁質トノ變化共ニ頗ル大ニシテ甚テαトβトヲ變化セシムル範圍ノ甚タ廣汎ナルニ因ル乃チ今ニシテ之レヲ觀レハ吾人ト雖モ亦右ノ公式ニ二樣ノ非難ヲ蔽フコト能ハス何ソヤ

第一　αトβトノ間ニ何等ノ關係ヲモ豫想セサリシコト

第二　$R=8$ ノ場合ヲ想像セン＝右ノ公式ニテハ此場合トテモAノ價ハ壁質ノ異ル毎ニ相違スヘシサレト渠ノ斷面ノ増大スルニ連レテ壁質ノ差別ニ伴フ影響ハ次第ニ薄ラキ最後ニ$R=8$ニ至ツテAハ凡テノ壁質ニ共通ナル一ツノ値ニ歸着スヘキモノト見ル方理ニ於テ正シカルヘキコト

$$\frac{RS}{V^2}=A$$

是レナリ然レトモ右ノ公式ヲ保守シテハ到底aトβトノ間ニ或簡單ナル關係ヲ見出スコト能ハサルヲ以テ此非難ヨリ免レンカ為ニハ宜敷AトRトニ代ヘテ$\sqrt{A}$ト$\sqrt{R}$トヲ用ヒ即チ

$$\sqrt{A}=a+\frac{\beta}{\sqrt{R}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

トシ且ツaヲ定數トシテβノミヲ渠壁ノ差別ニ應スル變數タラシムヘキナリ

「一八六九年ニがんぎれー及ヒくったーノ二氏ハ此式ヲ採ツテ之レヲ

$$V=a\left[1-\frac{b}{b+\sqrt{R}}\right]\sqrt{RS} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

ノ形ニ置キ代ヘa=定數=100トシbニハ壁質ニ應シテ0.12—2.44ノ十二階級ノ値ヲ與ヘタリ然レトモ氏等ハ後ニ勾配Sヲ係數Cニ關係セシメンコトヲ欲シテ以テ斯ノ簡單ナル形式ヲ抛棄シ去レリ即チ氏等ハはんふれーす、あぼっと兩氏ノみしゝっぴー川ニ於ケル或極端ナル實驗ノ結果ヲ併セ用ヰントシタリシ末遂ニ頗ル複雜ナル形式ヲ撰擇スルノ餘儀ナキニ至レリ

「今氏等ノ公式(8)ニ於テ

$$23+\frac{0.00155}{S}=K$$

トシ以テ些少ノ變換ヲ行ヘハ

$$\frac{\sqrt{A}}{n}-1=\frac{Kn}{1+Kn}\left(\frac{1}{\sqrt{R}}-1\right)$$

ヲ得ヘシ今此式ニ見ルニRカ一米ノ時ハ$\sqrt{A}$ハSニハ無關係ニシテ常ニnニ等シク又Rカ一米ヨリ大ナルカ小ナルカニヨリテ括弧内ノ項ハ其符號ヲ變化シ從テ$\sqrt{A}$ニ對スルSノ影響モ亦此限界ノ前後ニ於テ全ク其意義ヲ變セントス加之折角複雜ナル此公式ノ趣向モ畢竟ハ勾配Sノ甚タ緩漫ナル場合ノ外ニハ格別ノ價値ナキモノニシテSカ千分ノ一ヨリ大ナラハ$\frac{Kn}{1+Kn}$ハ殆ト常ニ其極限價$\frac{23n}{1+23n}$ト異ル所ナカラン

「吾人ハ今日マテニ新ニ手ニシ得タル種々ノ實驗ヲモ參考シテ更ニ研究シタリシ結果(5)′ノ公式ニ於テ

α=定數=0.0115　β=壁質ニ伴フ變數=0.0007〜0.0150

ト爲スノ最モ可ナルコトヲ知レリコハ種々複雜ナル關係ヲ構ヘテ樣々ナル研究ヲ試ミタリシ最後ニ於テ導キ得タルモノニシテ此以上ノ複雜サハ到底ソレニ酬ユルタケノ利益ヲ伴ハサルヘキヲ知レリ

今　$\gamma=\frac{\beta}{\alpha}$　ヲ用フレハ

$$\left.\begin{aligned}\frac{\sqrt{RS}}{v}&=0.0115\left(1+\frac{\gamma}{\sqrt{R}}\right)\\ v&=\frac{87\sqrt{RS}}{1+\frac{\gamma}{\sqrt{R}}}\end{aligned}\right\}\text{(米突式)}\quad\cdots\cdots(9)$$

$$v=\frac{157.6\sqrt{R}}{\sqrt{R}+\gamma}\sqrt{RS}\quad\text{(英　式)}\quad\cdots\cdots(9)'$$

	γ 米突式	γ 英式
I 極テ平滑ナル壁（せめんと、鉋削セル木材等）	0·06	0·109
II 平滑ナル壁（木板、煉瓦、切石等）	0·16	0·290
III 粗石工	0·46	0·833
IV 完全ナル狀態ヲ保テル土床又ハ一部乃至全部ノ粗石工	0·85	1·540
V 普通ノ狀態ヲ保テル土床	1·30	2·355
VI 不良ノ狀態ニアル土床	1·75	3·170

「係數γノ内ニハ勾配Sノ影響ヲ加味セス蓋シ之レヲ加味スルカ爲ニ生スル複雜ハ吾人ニ取リテ少クトモ無益ナリト認メラレタルニヨル前掲第一第二ノ壁質ニアリテハ如何ニモSカ減スルト共ニ係數Aカ若干增加スルコトヲ認ム(木造渠ニ對スル實驗ヨリ見テ)ト雖モ然カモ抵抗ノ稍々之レヨリ大ナル壁面(木造渠ニ横棧ヲ施セル吾人ノ實驗 Series No. 11°—17° 參照)ニテハ却テ右ノ反對ノ事實ヲ認メサル能ハス加之流水斷面積ノ增大スルト共ニ此係數Aノ增加ハ次第ニ消滅スヘクCanal Cavour, Aqueduct of New York, Aqueduct of Boston 等ノ如キ新實驗ニ至ツテハ最早其痕跡以上ヲ見出スコト能ハス況ヤ大河ノ場合ニ於テハ歐洲ノ數多ノ實驗ニ徴シテ全然其關係アルヲ知ラス即チはんふれーす、あぼっと氏等ノ實驗ニ示サレタルカ如キ事實ノ存スルコトナシ殊ニ注意スヘキハ此兩氏ニヨリテ試ミラレタル實驗ハ其實驗數モ少ク且ツ頗ル速斷的ノモノニシテ後年(一八八一—八二年)同シみしゝっぴー下流ニ試ミラレタル米國政府ノ實測ノ結果トスラ全ク矛盾セルモノナルオヤ而シテ更ニ印度ノ Irawadi River, Rangoon ニ於ケル Gordon 氏ノ數多ノ實驗トハ尙更其矛盾ノ甚シキモノアルヲ知ラサル可カラス即チ以上吾人カ知リ得シ限リノ事實ニ於テ獨リみし

しっぴー河ノミカ歐洲ノ諸川ト異リタル法則ニ從フヘシトハ到底想像シ得可カラサルコトナルヲ以テ吾人ハ寧ロSノ關係ヲ係數γニ加味セサルノ適當ナルヲ信ス」ト

（附記）ばざん氏ハ他ノ場合ニ於テはんふれーす氏等ノ用ヰシ二重浮子ニヨル流速實測法ト及ヒ十萬分ノ〇・三乃至六ニ過キサル水面勾配ノ觀測トカ其ニ頼ル其精確ヲ期シ難キ所以ヲ說ケリ

ばざん氏ハ此度ハ其新式ノ撰擇ニ對ツテ多クノ理由ヲ述ヘス多クノ說明ヲ費サス唯右ノ如ク匆々ニ述ヘタルノミニシテ直ニ諸公式ノ比較ハ寧ロ圖上ノ對照ヲ最モ簡明ナリトシ

縱距$=\sqrt{A}$　　横距$=\dfrac{1}{\sqrt{R}}$

ヲ撰ヘリ即チ之レニヨレハ氏ノ新公式ハ

$$y=0.0115(1+\gamma x)$$

之レヤニヨリテ變化スル數多ノ直線束ヲ示スモノニシテ其凡テノ直線ハ$x=0$, $y=0{\cdot}0115$ノ一點ヨリ射出スヘク又其直線ノ傾斜ハ傾斜係數$0{\cdot}0115\gamma$ノ大小ニヨリテ定マルヘシ換言スレハ渠質ノ粗度ノ大ナルニ連レテ伴ノ直線ハ倍々急傾斜ヲ爲スヘシ（第十圖表）

「右ノ圖表ニKutter氏公式ヲ併セ描カンニハ

$$y=n+\frac{Kn^2}{1+Kn}(x-1)$$

ナルヲ以テコハ單純ナル直線束ノ代リニ$x=1$, $y=n$ノ諸點ヨリ分出スル特別ノ數直線束ヲ爲サン此直線束ハ一束毎ニSノ兩極端（$S=\infty$, $S=0$）ヲ示ス二直線ニヨリテ包擁セラレ其二直線ノ傾斜係數ハ

$S=\infty$ ノ時 $\frac{23n^2}{1+23n}$

$S=0$ ノ時 n (此時ノ直線ハ座標原點ヲ通過ス)

ニシテ其間ニ包擁セラル丶各直線ハ $\frac{0.00155}{S}$ ノ關係ニ連レテ種々ニ上下スヘシ(第十圖表ニハ圖面ノ複雜ヲ避ケンカ爲メ單ニ $S=0.001$ ト $S=0.0001$ ノ二直線ノミヲ示セリ但シ千分ノ一ヨリ急ナル勾配ニ對スル直線ノ凡テハ事實ニ於テ殆ト全ク相合致ス)

「該圖表ニハ同時ニ各種ノ實驗ヲモ點出シタリト雖モ其凡テノ結果ヲ擧クルハ混雜極リナキヲ以テ之ヲ實驗要素ノ略相同シキモノ每ニ集メテ一種トナシ其平均ヲ示スニ一點ヲ以テセリ

「予ノ新式トくったー氏公式トノ比較ハ此圖表ニヨリテ容易ニ諒解スルヲ得ヘシくったーノ誤差多キハ第一類ニテハ Canal Cavour (Pasini and Gioppi ノ一八九二年ノ實驗)ニアリ第二類ニテハ Aqueduct of New York (Fteley ノ一八九五年ノ實驗)並ニ Aqueduct of Boston (Fteley and Stearns ノ一八七九年ノ實驗)ニアリ第三類ニテハ Aqueduct of Vérone (伊國技師委員會ノ一八九六年ノ測定)ニアリ又第五類ニテハ Seine, Saône, Weser 諸川ノ場合ニシテ其勾配關係ハ何等事實ト適合スルモノナク又 R 小ナル場合ノ殆ト凡テハ其公式以外ニアリ唯獨リみしゝっぴーノ實驗ノミハ頗ル能ク該公式ニ合致スト雖モ中ハ此複雜ナル公式ノ作成ニ利用サレタル基本的實驗ナレハ敢テ怪ムヲ用ヰス而シテ最後ニ第六類ニ至ツテハ其ノ壁質ノ範圍甚タ廣大ニシテ一公式ニ之レヲ包括セシメンコト固ヨリ不適當ナルカ故ニ强テ是非スルニハ及ハス

「之レヲ要スルニくったー氏公式ノ現ハス直線束ト予ノ公式ニヨル直線トハ同一類ニシテ著シク交叉スルモノアリ第一及ヒ第二類ニ於テ殊ニ然リ吾人ノ公式ニ於テ同一類トシテ認メ得ラル丶同一實驗列カ他ニハ往々二類乃至三類ニ跨リテ見出サルヽノ例アリくったーヲ以テ流速ノ現象

「くったーノnヲ以テ同一ノ壁質毎ニ一定セルモノ、如クニ見做ス者アルモソハ誤レリnハ同一粗度ニアリテモRノ大小ニヨリテ變化スヘキモノニシテ吾人ノ公式カ與フル傾斜係數ノ如クニ壁質毎ニ一定セルモノニ非ラス例セハAqueduct of New Yorkノ實驗ニ於テくったーニヨレハ

$$S=0.0001326 \qquad \therefore \quad K=34.7$$

$$\therefore \quad \frac{\sqrt{A}}{n}-1=\frac{34.7n}{1+34.7n}\left(\frac{1}{\sqrt{R}}-1\right)$$

若シモnカ此實驗ニ供サレタル一定壁質ニ對シテ一定セルモノトスレハnノ單一ナル値ヲ用ヰテ前式ヨリ此實驗列ニ於ケル各實驗ノ結果ヲ見出シ能フ可キ筈ナレトモ然カモ事實ハ然ラス其實驗第十一ノ場合($R=1$, $\sqrt{A}=0.0135$)ニハ$n=0.0135$トナリ又其實驗第一ノ場合($R=0.227$, $\sqrt{A}=0.0164$)ニハ$n=0.0123$トナリ又其實驗第十四ノ場合($R=1.170$, $\sqrt{A}=0.0135$)ニハ$n=0.0138$ナラスンハ夫々其實驗トハ適合セスnカ一定ノ壁質毎ニ一定セルモノトシテ認メンカ爲ニハ其差異ノ餘リニ大ナルヲ思ハサランヤ」ト

ばざん氏ノ論文ノ要旨ハ單ニ右ノ如クニシテ盡キ爾餘ハ氏ノ壁質ノ類別毎ニ一々數多ノ實測ヲ擧ケテ審カニ其實測値ト計算値トノ適否ヲ辨セルニ止マル即チ此處ニくったー氏公式ニ對スル氏ノ精細ナル論評ヲ見出スコト能ハスシテ却テ二式ノ優劣如何ハ宜敷之レヲ圖表(第十圖表)ニ見ヨト許リニ投出サレタルハ遺憾ノ感ナキニシモ非ラス

第八章　ばざん氏新式ヲ論ス

實用上ばざん氏舊式ノ不利ハ其二係數α βノ間ニ些ノ連絡ナキ爲メ氏ノ選ヒシ四種ノ壁質以外ニ之レヲ細分スルノ勞多キニ堪ヘスシテ勢ヒ其活用ヲ減損セシムルニアルコト既ニ說ク處ノ如

シ乃チ氏モ亦之レニ鑑ミル所アリシカ其新式ニ於テハ了ナル一係數ヲ用ヰテ前ノ三係數ニ代ヘ且ツ壁質ノ標準類別ヲ分ツテくったートト同シク六種トナシタル而已カ斯ク二係數ヲ撤シテ一係數ト爲ス關係上在來ノ形式(4)ハコレヲ保持スル能ハストシテイト無雜作ニ(5)ノ形式ヲ選ヘリ即チ此點マテハ正シク曩ニくったー氏ノ歩メル道ヲ其儘追蹤シタルモノニシテ從テくったー氏ヲシテ獨リ其卓見ヲ誇ラシメ畢ンヌ

唯(4)ノ形式ヲ以テシテハ到底αトβトノ間ニ或簡單ナル關係ヲ見出スコト能ハストノ一言ノミニテ突如其取捨ヲ敢テシタルハ慊ラス曩ニハ(4)ノ形式ヲだーしー氏ヨリ承繼クニ方リテスラ辯サルニテモばざん氏カ(4)ノ形式ヲ(5)ニ乘換ヘントスルニ方リ殆ト何ノ辯解ヲモ説明ヲモ與ヘス明頗ル勉メタル氏ニシテ今ハ却テ氏ノ名ニ呼ハルヽ形式ヲ撤シ且ツ他ノ疾ク主張セル考案ニ其儘服從セントスルニ方リ其理由ノ透徹ヲ缺キテ寧ロ含糊ノ態アルモノ甚タ惜ム可カラスヤ、ソハ兎マレ事茲ニ至リテハ最早ばざんトくったートノ距離ハ普通ニ想像セル以上ニ相接近セリ即チ二式ノ異ナル所ハ單ニSノ關係ヲ無視スルヤ否ヤ將タy(形式(5)ノ)ヲ定數ト見ルヤ否ヤノ二點ニ存スルノミ

Sヲ無視スルノ是非如何ニ就テハばざん氏モ亦多少辯スル處アリ然カモ吾人ハ寧ロ根本的ニVニ及ホスSノ影響如何ヲ叩カントハ欲スレ然カク既ニしェじー氏公式ニ執着シテ成レル$C\left(=\frac{RS}{V^2}\right)$ト$S$トノ關係如何ノ如キニ對ッテハ今更格段ニ其是非ヲ議セン程ノ興味ヲ有セス否寧ロ此點ニ就テハ曩ニ第六章ニ第八圖表ヲ掲ケテ説明シタル一節ヲ以テ其論議ノ全豹ヲ洞察スルニ餘リアルモノト信スルカ故ニ茲ニハ敢テくったー氏ニ與セサルト同樣ニ又ばざん氏ニモ全幅ノ同意ヲ表スルコト能ハス

サラハ轉シテyヲ定數ト見得ルヤ如何くったー、ばざん二式ノ分界ハ實ハ此點ニアリ乃チ吾人モ

特ニ此問題ノ[illegible]
問題ニ過キス即チ今日マテニ凡ソ利用シ能フ限リノ價値アル實測ヲ逐一或圖表ニ點出シテ其果シテ何レヲ可トスヘキカヲ檢スルヨリ以外ニ所詮其優劣ヲ辨センヤウモアラス而シテ事實上若シソヲ定數ト見テ格別ノ差支ナカランニハソレコソ公式ヲ簡易ナラシムルノ上ニ於テ非常ノ便宜ナランモ若シ又到底定數タリ能ハストスレハソハ是非ナクくったー氏ノ選ヘル如キ工夫ニ出ツルノ外ナシ而シテ茲ニ注意スヘキコトハくったー氏トテモ亦一旦ハソヲ定數タラシメンコトヲ欲シテ何等カノ試驗ヲ施シタル末(但シ其如何ノ實測ヲ以テノ試驗ナルカハ示サレス)到底ソノ定數タリ得サルコトヲ認メテ以テ餘儀ナク $v=a+\frac{l}{m}$ ノ關係ヲ捻出シタリシナルヲばざん氏ハ又何等カノ試驗ノ末却テ反對ニソヲ定數トシテ何等差支ヘナシト認メタルコト是レナリ敢テ知ラスソハばざんノ説クカ如クニ果シテ定數タリ得ルヤ又ハ然ラスシテ却テくったーノ假定スルカ如クニ果シテ n ト反比例スヘキナルヤ吾人ハ此爭ヒヲ解クカ爲ニ今敢テ自ラ數多ノ實驗ヲ點檢スルノ煩ニ任セントハ思ハス何トナレハ(5)ノ公式自身ノ形ニ於テ既ニ幾多ノ不滿ヲ禁シ能ハサルモノアレハナリ(5)以上ノヨリヨキ形式ニ於テ最モ正シク事實ヲ事實トシテ逐一表現シ得ヘキ手段ノ現ニ他ニ存スルコトヲ知レハナリ云フ迄モナクソノ手段トハ畢竟別ニ述ヘントスル指數公式ノ研究ニシテ之レニヨレハ最早ソヲ故サラニ定數ト假定スル必要モナク又ハソヲ變數ト見テ更ニ $v=a+\frac{l}{m}$ ナル直線關係ヲ捻出セン必要モナク只事實ノマヽヲ事實トシテ一層根本的ニ將タ合理的ニ凡テノ問題ヲ取扱ヒ得ヘキヲ信スレハナリ

從テくったートばざんトノ關スル範圍ニ於テ強テ此問題ヲ何レカニ押片付ケンコトハ遂ニ吾人ノ興味ニ非ス且ツ理論上ナラハ兎モ角單ニ事實ノ問題タルニ過キサルニ於テ事實ノ照査以外他ニ何ノ施スヘキ術アルヲ知ランヤ、サレハくったーニ在リテハ一旦ソノ定數タリ得ルヤ否ヤヲ驗

シテ然ル後之レヲ變數タラシムルニ至レル用意ノ周到ナルニ同意スヘシ又ばざんニ在リテハ直ニ第十圖表ニ就テ其成績ノ敢テ他ニ讓ラサル事實ニ首肯スヘシ然ル上更ニ其何レヲ可トセンカハ只各人見ル所ノ權ノミ

然カモ吾人ノ所見ニヨレハyヲ定數ト假定スルトモ以テ能ク相當ニ多數ノ事實ヲ包括セシムルニ足ル公式ノ導カレ能フ以上ハ必スシモ特ニyヲ變數タラシムルニモ及ハサラン殊ニくったーニハyノ定數タリ能ハヌ事實ヲ示セル證明モナク又 $y=a+\frac{l}{n}$ ト爲スノ如何ニ適切ナルカヲ示セル解說モナク只空ニ說キ空ニ信セシムルニ止マレルニ方リ少クトモばざんカ第十圖表ヲ揭ケテ其成績ヲ一目ノ下ニ明確ナラシメタルヲ多トセン簡單ハ複雜ヨリモ優レリくったーノ $y=a+\frac{l}{n}$ ニ於テ特ニ著シキ利益ノ認メラレサル限リ此複雜ヲ棄テヽ他ノ簡單ニ就カンハ寧ロ當然ノコトナレハナリ

第九章　くったー氏略式ヲ論ス

最後ニ獨墺ヲ中心トシテ流行スト知ラルヽくったー氏ノ略式 (Abgekürzte Kutter'sche Formel) ニ就テ併セテ一言セサル能ハス其公式トハ即チ左ノ如シ

$$\left.\begin{aligned} V&=\frac{100\sqrt{R}}{b+\sqrt{R}}\sqrt{RS} \quad \text{(米突式)} \\ V&=\frac{181\sqrt{R}}{b+\sqrt{R}}\sqrt{RS} \quad \text{(英　式)} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(10)$$

bハ壁質ノ粗度ニ連レテ變化スル係數ニシテ其數値下ノ如シ

類別	b (米突式)	b (英　式)	摘　要
I	0.12	0.22	鉋削セル木造矩形渠又ハ煉瓦めんと塗半圓渠

II	0.15	0.27	純せめんと塗矩形渠又ハ1:3膠泥塗半圓渠
III	0.20	0.36	粗削ノ木造半圓渠
IV	0.25	0.49	粗削ノ木造矩形渠三角形渠
V	0.35	0.63	平滑ノ切石工又ハ煉瓦工
VI	0.45	0.81	良好ノ粗石工
VII	0.55	1.01	空積粗石工
VIII	0.75	1.30	劣悪ナル空積粗石工
IX	1.00	1.68	石造側壁ヲ有スル土床又ハ小ナル土渠
X	1.25–1.50	2.21	斷面整頓セル河渠
XI	1.75–2.00	3.02	鞏固ナル砂利地ニ於ケル河渠
XII	2.50	4.42	砂礫又ハ雜草ヲ有スル河川

獨ノ Frühling 氏ハ Die Entwässerung der Städte, Handbuch der Ingenieurwissenschaften, III Teil, IV Bd. ノ中ニ述フラク「米國ハ更ナリ英國ニテモくったー氏ノ略式ニ就テハ未タ多ク知ル所ナキカ如ク一般ニ下水渠ノ設計ニハくったー氏本式ヲ用ヰツヽアリサレト下水渠如キノ勾配ヲ以テスレハ本式(7)中ノ $\frac{m}{S}$ ノ値カ5ヨリモ大ナルコト殆ト稀ナルノミナラス普通ハソレヨリモ尚遙ニ小ナルヘク反之 $\frac{1}{n}$ ハ通常 70—75 ヲ値ス此故ニ $\frac{m}{S}$ ノ V ニ對スル影響ハ結句甚タ小ナルモノニシテ容易ク之レヲ無視スルヲ得ヘシ然ラハ

$$V=\frac{23+\frac{1}{n}}{1+\frac{23n}{\sqrt{R}}}\sqrt{RS}$$

ニシテ之レヲくったー氏略式(10)ト等式ニ置カハ

$$b=\frac{100(23n+\sqrt{R})}{23+\frac{1}{n}}-\sqrt{R}$$

ヲ得以テbカnヨリモ一層激シク變化スルモノナルヲ知ラン例セハ

	$n=0.01$	0.011	0.0125	0.0135	0.015
$R=0.25$ノ時	$b=0.09$	0.16	0.26	0.34	0.44
$R=0.50$ノ時	$b=0.055$	0.14	0.26	0.34	0.47

以テnノ變化ノ小ナルニモ拘ラスbノ變化ノ度合ノ甚タ顯著ナルコトヲ察スヘシ是レ即チnヲ以テスルヨリモbヲ以テスルノ一層精細ニ壁質ノ變化ヲ表現シ得ヘキ所以ニシテ従テソレタケ略式ノ寧ロ本式ヨリモ有利ナル所以ナリ」ト仍テ氏ハ獨逸ニテハ一般ニ下水渠ニ對ッテ

$$C=\frac{100\sqrt{R}}{0.35+\sqrt{R}}$$

ノ實用セラルヽコトヲ說ケリ

くったー氏本式カ英米程ニハ獨逸ニ尊重セラレスシテ却テ其略式カ屢々實用セラレツヽアルハ右ノ文意ヨリシテ自ラ之レヲ想見スルニ足ラン然カモ看ヨ右ノ略式コソハ其形式ニ於テ全クばざん氏新式(9)ト何ノ相違スル處モナクy(形式(5)ニ於ケル)ハ即チ定數ニシテばざんノ87ナル代リニ此處ニハ100トナリ從テばざんノ$\gamma=0.06\sim1.75$ナル代リニ此處ニハ$b=0.12\sim2.44$トナレルノ差異アルニ過キス奇ナルカナ此吻合ヤ

然カモ亦見來レハ何ノ不思議モナシ右ノ公式ハくったー氏略式ノ名ニコソ負ヘレくったー氏本

式ヨリシテハ如何ノ省略方法ヲ以テシテモ到底見出ス可クモアラサル別種ノ形式ニシテ而シテ其源ヲ洗ヘハ之レソ全ク一八六九年くったー氏自身ニヨリテ發表サレタル Modified Bazin's formula 即チ公式(3)ノ復活ニ外ナラサルニ非スヤ蓋シくったーハ當初先ツばざんヲ補修シテ此式(10)ヲ作レリ然カモみしっぴー河ノ實測ヲ見ルニ及ンテハ直ニ捨テヽ顧ミス、サルヲばざんハ後年却テ其舊キヲ抛ツト同時ニ此捨テラレタルヲ拾ヒテ全然其形式ヲ其マヽ自己ノ新公式ト名ツケ而シテ別ニ獨墺ノ技術家モ亦同シク其捨テラレタルヲ拾フテ呼フニくったーノ略式ヲ以テセルニ過キスサレハばざんノ新式ハ毫モばざんノ新式ニハ非サルナリくったーノ略式モ更ニくったーノ略式ニハ非サルナリ事態ノ奇ナルコト寔ニ此ノ如シ流速諸公式中特ニ兩々相對比シテ讓ル所ナキくったーばざんノ二者ニ於テ實ハ却テ斯カル滑稽ナル因縁ヲ持ツコトサテモ何タル興味ソヤ獨墺ノ所謂くったー氏略式カ英米ノ所謂ばざん氏別式 Modified Bazin's Formula ニ外ナラサルハ單ニ稱呼ノ相違ヲ與カルノミニシテ足ランモ然カモばざん氏新式カくったー氏略式ト全然其内容ヲ同シウシテ只僅ニ其係數値ニ小差アルニ過キサルカ如キハ決シテばざん氏ニ取ツテノ名譽ニ非ス即チ吾人ハ倍々ばざん氏新式ノ新味ナキ所以ニ慊焉タラサル能ハスト雖モサレハトテ又ふりゅーりんぐ氏ノ如ク今更ニくったー氏略式ヲ振廻サントモ思ハス何トナレハ其名稱ノ是非ハ兎モ角現ニヨリ廣クヨリ新シキ實驗ニ照シテ洗錬サレタル係數値ヲ以テ同一內容ニ盛リタル公式ノばざん氏新式ノ名ニ於テ流布セル折柄實用上ニハ最早强テ他ノ舊キヲ愛惜スルニ足ラサレハナリ

第十章　結論

だーしー以前ノコト復云フヲ用ヰスだーしー一度出テヽヨリ流水ノ速度ニ關スル研究ハ頓ニ其面目ヲ改メ就中ばざんトくったートニ至ツテ益々其探討ノ微ニ入リ細ヲ穿ツモノアリ是レ今日

ニ至ルマテ特ニ此三者カ流速ニ關スル三大權威トシテ其隆々タル盛名ヲ喧傳セラル、所以著者ハ前數章ニ於テ略々各者ノ研究ト其相互ノ脈絡トヲ尋ネ依リテ少クトモだーしー無クンハばざんナクばざん無クンハくったー無ク更ニくったー無クンハばざんノ新式モ亦生レサルヘキ所以ヲ明カニセリ乃チ茲ニ是等ノ諸公式ヲ一括シテ其總評ヲ下サントスルニ方リ先ツ一言ヲ禁シ能ハサルモノハ實ニ是等諸公式相互ノ關係カ吾人ノ當初竊ニ豫期セシ處ニ比シテ意外ニ密接ナルコト是レナリ殊ニくったートばざんトカ一見其形式ニ於テ殆ト何等ノ交渉ナキカ如クニシテ然カモ内實最モ緊密ナル關係ニ立テルコトハ轉タ吾人ヲシテ其意外ニ驚歎セシメサルヲ得サリキくったーノ本式カ單ニばざんノ舊式トみしゝっぴー河ノ十個ノ實驗トノミヨリ机上ニ按出セラレタルニ過キサルカ如キモ固ヨリ餘リノ意外ナラスンハ非ラスばざん氏新式カ其内容ニ於テくったー氏ノ疾ク唱道セル一形式ノ蒸返シニ止マレルカ如キモ亦大ナル意外ナラサランヤ然リ本篇ノ記述ハ著者ニ取リテハ間斷ナキ意外又意外ノ感興ヲ以テ終始セラレタリキ然カモ著者ハ今更前數章ノ要項ヲ再摘シテ茲ニ此興味ヲ反覆スルノ煩ニ堪ヘス寧ロ進ンテ是等諸公式ノ根底ニ共通セル重大ナル誤謬ヲ指摘シテ以テ此篇ヲ閉ツヘシ

著者ノ見ル所ニヨレハだーしーモばざんモくったーモ共ニ其基本的公式ヲぷらーむすしぇじー氏等ノ原式ニ藉リテ其儘何ノ詮索ヲモ用ヰスイト無雜作ニ $V=C\sqrt{RS}$ ト假定シタルノミカ更ニ C ヲ R 若クハ R ト S トノミノ函數タラシメタルニ於テ既ニ其公式ノ根底ニ頗ル不徹底ノ廉アリ即チ右ノ假定ニヨレハ RS ハ必然的ニ V^2 ニ比例スヘキ筈ナレトモ然カモコハ果シテ事實ナルヘキヤ否ヤ

今最モ手近ク其是非ヲ識別スルニ足ルヘキ方法トシテ曩ニばざん氏カ事實其舊公式ヲ按出スルニ用ヰシ實驗即チ彼ノ三勾配ニ配スルニ三樣ノ粗度ヲ以テセル九種六十三個ノ實驗 (Bazin's series

No. 9°–17°) ヲ採リ以テ RS ト V トノ關係カ實際如何ノモノナルカヲ驗セン即チソレカ爲ニハ最モ徹底的ニ $RS=aV^m$ ト假定シ指數 m カ果シテ如何ノ値ヲ取ルヘキカヲ見ントス(a ハ V 以外ノモノニヨリテ變化スル係數ナリ)

試ニ該式ノ對數ヲ用キレハ

$$\log R+\log S=\log a+m\log V$$

故ニ若シ縱距ニ $\log R+\log S$ ヲ取リ横距ニ $\log V$ ヲ置カハ

$$Y=\log a+mX$$

之レ X ト Y トノ關係ニ於テ直線式ナルヲ以テ正座標上ニ各實驗ノ與フル Y ト X トヲ點出セハ依テ容易ク各實驗列ノ m ト $\log a$ トヲ見出スヲ得ヘシばざんノ九種ノ實驗數値ハ左ノ如シ(米突單位)

Bazin's series No. 9°

$S=0.0015$　木造矩形渠

R	V	$Y=\log R+\log S$	$X=\log V$
米 0·0842	米 0·548	$\bar{4}$·1014	$\bar{1}$·7388
0·1237	0·724	$\bar{4}$·2685	$\bar{1}$·8597
0·1799	0·945	$\bar{4}$·4311	$\bar{1}$·9753
0·2194	1·106	$\bar{4}$·5173	0·0437
0·2513	1·234	$\bar{4}$·5763	0·0913
0·2781	1·343	$\bar{4}$·6203	0·1281
0·3042	1·420	$\bar{4}$·6592	0·1523

Bazin's series No. 10°

$S=0{\cdot}0059$　木造矩形渠

R	V	Y	X
米 0·0524	米 0·910	$\bar{4}{\cdot}4901$	$\bar{1}{\cdot}9590$
0·0776	1·213	$\bar{4}{\cdot}6607$	0·0839
0·1147	1·595	$\bar{4}{\cdot}8304$	0·2028
0·1440	1·847	$\bar{4}{\cdot}9292$	0·2665
0·1688	2·039	$\bar{4}{\cdot}9982$	0·3094
0·1900	2·206	$\bar{3}{\cdot}0495$	0·3436
0·2091	2·349	$\bar{3}{\cdot}0911$	0·3709

Bazin's series No. 11°

$S=0{\cdot}00839$　木造矩形渠

R	V	Y	X
米 0·0446	米 1·080	$\bar{4}{\cdot}5731$	0·0334
0·0684	1·394	$\bar{4}{\cdot}7588$	0·1443
0·1019	1·830	$\bar{4}{\cdot}9320$	0·2624
0·1292	2·100	$\bar{3}{\cdot}0351$	0·3222
0·1525	2·306	$\bar{3}{\cdot}1071$	0·3628
0·1721	2·495	$\bar{3}{\cdot}1596$	0·3971

0·1894	2·664	3·2012	0·4255

Bazin's series No. 12°

$S=0{\cdot}0015$　　間隔 ※0·01 毎ニ横桟ヲ附セル木造矩形渠

R	V	Y	X
※ 0·0921	※ 0·502	$\bar{4}$·1403	$\bar{1}$·7007
0·1346	0·663	$\bar{4}$·3051	$\bar{1}$·8215
0·1932	0·871	$\bar{4}$·4621	$\bar{1}$·9400
0·2361	1·014	$\bar{4}$·5492	0·0060
0·2710	1·122	$\bar{4}$·6091	0·0500
0·3004	1·213	$\bar{4}$·6538	0·0839
0·3281	1·278	$\bar{4}$·6921	0·1065

Bazin's series No. 13°

$S=0{\cdot}0059$　　木造矩形渠（横桟ハ 12° ニ同シ）

R	V	Y	X
※ 0·0626	※ 0·762	$\bar{4}$·5674	$\bar{1}$·8819
0·0922	1·017	$\bar{4}$·7355	0·0073
0·1347	1·342	$\bar{4}$·9002	0·1277
0·1684	1·549	$\bar{4}$·9971	0·1900

0·1959	1·716	$\bar{3}$·0628	0·2345
0·2182	1·872	$\bar{3}$·1096	0·2723
0·2409	1·974	$\bar{3}$·1526	0·2953

Bazin's series No. 14°

S=0·00886　　木造矩形渠（横棧ハ 12° ニ同シ）

R	V	Y	X
*0·0556	*0·868	4·6925	$\bar{1}$·9385
0·0831	1·144	$\bar{4}$·8670	0·0584
0·1227	1·500	$\bar{3}$·0362	0·1761
0·1520	1·758	$\bar{3}$·1292	0·2450
0·1775	1·946	$\bar{3}$·1966	0·2891
0·2005	2·091	$\bar{3}$·2495	0·3203
0·2214	2·212	$\bar{3}$·2926	0·3448

Bazin's series No. 15°

S=0·0015　　間隔 *0·05 毎ニ横棧ヲ附セル木造矩形渠

R	V	Y	X
*0·1153	*0·390	$\bar{4}$·2379	$\bar{1}$·5911
0·1675	0·513	$\bar{4}$·4001	$\bar{1}$·7101

0·2367	0·674	$\bar{4}$·5503	$\bar{1}$·8286
0·2870	0·777	$\bar{4}$·6340	$\bar{1}$·8904
0·3270	0·857	$\bar{4}$·6906	$\bar{1}$·9330
0·3649	0·904	$\bar{4}$·7383	$\bar{1}$·9562
0·3960	0·949	$\bar{4}$·7738	$\bar{1}$·9773

Bazin's series No. 16°

S=0·0059　　木造矩形渠(横棧ハ 15° ニ同シ)

R	V	Y	X
※0·0805	※0·581	$\bar{4}$·6766	$\bar{1}$·7642
0·1170	0·779	$\bar{4}$·8390	$\bar{1}$·8915
0·1687	1·028	$\bar{4}$·9979	0·0120
0·2092	1·184	$\bar{3}$·0914	0·0733
0·2410	1·314	$\bar{3}$·1528	0·1186
0·2688	1·418	$\bar{3}$·2002	0·1517
0·2942	1·498	$\bar{3}$·2394	0·1755

Bazin's series No. 17°

S=0·00886　　木造矩形渠(横棧ハ 15° ニ同シ)

R	V	Y	X
※0·0706	※0·673	$\bar{4}$·7962	$\bar{1}$·8280

755

0·1067	0·869	4·9756	$\bar{1}$.9390
0·1551	1·142	$\bar{3}$·1380	0·0577
0·1913	1·331	$\bar{3}$·2291	0·1242
0·2210	1·478	$\bar{3}$·2918	0·1697
0·2476	1·591	$\bar{3}$·3411	0·2017
0·2699	1·698	$\bar{3}$·3786	0·2299

第十一圖表ハ右ノＸＹヲ一々圖上ニ點記シタル後 Method of three centres of gravity ヲ用ヰテ各實驗列ヲ標示スヘキ直線ヲ描出シタルモノナリ然ルニ見ルカ如ク是等ノ直線ハ期セスシテ略々相並行ス是レ豈 *RS* ト *V* トノ關係カ何等カ一定セル自然的法則ニヨリテ律セラルヽニ足ルヘキ事實ヲ豫想セシムルモノナラサランヤ遮莫斯クテ見出サレタル m ト $\log a$ トノ値ハ左ノ如シ

Series	m	$\log a$	a
9°	1·327	$\bar{4}$·4556	0·0002855
10°	1·481	$\bar{4}$·5392	0·0003461
11°	1·612	$\bar{4}$·5182	0·0003298
12°	1·343	$\bar{4}$·5434	0·0003495
13°	1·428	$\bar{4}$·7264	0·0005326
14°	1·453	$\bar{4}$·7814	0.0006045
15°	1·365	$\bar{4}$·7922	0·0006197
16°	1·385	$\bar{4}$·9912	0·0009799
17°	1·419	$\bar{3}$·0528	0·0011293

log α 又ハ α ノ値ト及ヒ其變化トニ就テハ無論壁質ノ粗度ヲ初メ R S 其他ノ關係ヨリシテ或新タナル研究ヲ要スルコト恰モ彼ノばざんくったーノ C ニ讓ラサルヘキカ故ニソハ今敢テ論セスト雖モ茲ニ特ニ見逃ス可カラサル事實ハ即チ m カ 2 ナルコト能ハスシテ却テ遙ニソレトハ隔リタル $1{\cdot}327 \sim 1{\cdot}612$ (此平均値ハ一·四二四ナリ)ノ間ニ變化セルコト是レナリ

m ニシテ若シ 2 ナランニハ即チ $m=\tan\theta=2$ 從テ $\theta=63^\circ\ 26'\ 6''$ タルヘクサレハ該圖表上横軸ニ對シテ斯カル角度ヲ保チテ描カレタル直線 A 又ハ B カ最モヨク彼ノ實驗列ヲ現ハス直線ト相並行シ得ヘキ筈ナレトモソハ事實ニ非ス且ツ斯ク假定スルニ伴フ誤差ノ如何ニ大ナルカヲ見ヨ、サルヲ敢テ m ヲ 2 トシテ疑ハサルモノだーしーモ然リばざんモ然リくったーモ亦然リ是レ豈是等諸公式ニ對スル根本的誤謬ニハ非サルカ加之此重大ナル誤謬カ是等諸公式ニアリテハ何レモ却テ方角違ヒノ n 又ハ R 又ハ S ノ關係ニ轉嫁セラレテ以テ無益ニ事端ヲ紛糾セシメタルヘキヲ思ヘ其末節ニ於テ縦シ如何ノ精緻ヲ誇ラントモソハ斷シテ其本ヲ正シウスルノ途ナラサルヲ如何

或ハ RS ト V トノ精確ナル關係如何ノ如キヲ以テ之レヲ彼ノ時代ニ責ムルハ苛酷ナリト爲サンカソハだーしーばざん氏以前既ニさんゔなん氏ノ公式(第二章)アルヲ思ハサルモノナリづぴゅあ氏カ其實驗ノ後ニ附記セル速度ノ一節(第二章)ヲ閑却セルモノナリ況ンヤくったーノ時代ニハ佛ニ Gauckler 氏アリくったーノ研究ニ先立チテ次ノ二公式(米突單位)

1° $\sqrt{V}=\alpha\sqrt[3]{R}\sqrt[4]{S}$　　$S>0{\cdot}0007$ ノ時

2° $\sqrt[4]{V}=\beta\sqrt[3]{R}\sqrt[4]{S}$　　$S<0{\cdot}0007$ ノ時

	α	β
せめんと締又ハ之ニ類スルモノ	10·4−12·2	7·7−8·1
良好ノ石工	9·3−10·4	7·2−7·7

兩側石工ニシテ底面土床ナルトキ	8·3—9·3	7·0—7·2
土　床	7·0—8·3	6·3—7·0
側面ニ雜草アル土床	6·1—7·0	6·0—6·3
河　川	——	5·8—6·0

ヲ發表シタリシコトヲ思ヘ其終極ノ是非如何ハ兎モ角 RS ト V トノ關係ニ新生面ヲ開キテ敢テ V ノ自乘ニ因ハレサリシハ固ヨリ在來諸公式ノ二項式ナルニ反シテ新ニ單項式ヲ撰ヘルカ如キコレヲ今日ノ眼ヨリスレハばざんくったーニ比シテ寧ロ一歩ヲ先ンセルノ感ナカラスヤ殊ニ $S>0.0007$ ノ場合氏ノ公式ニヨレハ RS ハ $V^{1.5}$ ニ比例スヘク

$$\sqrt{V}=a\sqrt[3]{R}\sqrt[4]{S}$$

$$\therefore\quad V^{1.5}=a^3 S^{-\frac{1}{4}} RS \qquad RS=\frac{S^{\frac{1}{4}}}{a^3}V^{1.5}$$

即チ曩ノ九種ノ實驗列カ與フル V ノ指數 m ノ平均値 $(m=1.424)$ ト略々相等シク且ツ係數 a ト $\frac{S^{\frac{1}{4}}}{a^3}$ トノ數値モ事實甚タ相近キモノアルヲ知ラン(但シ a カ果シテ $\frac{S^{\frac{1}{4}}}{a^3}$ ノ如キ關係ニ有リ得ヘキヤ否ヤハ別問題ニシテ茲ニ深入リスルニ及ハス)

然カモくったーハごーくらー氏公式ヲ無雜作ニ一蹴シテ曰ク

「敢テごーくらー氏公式ト限ラス凡テノ單項式ハ一般ニ

$$V=a' R^n S^m$$

トシテ現ハサル然ルニ若シ

勾配緩ナル場合ノ S V C ヲ S_0 V_0 C_0 ニテ

又勾配急ナル場合ノ$S\ V\ C$ヲ$S_1\ V_1\ C_1$ニテ示サンニハ即チRトR_1トカ同價ニシテSノミノ緩急ヲ異ニスル一對宛ノ場合ニ於テ

$$\frac{V_0}{V_1}=\frac{u_0' R_0^n S_0^m}{u_1' R_1^n S_1^m}=\frac{S_0^m}{S_1^m}=\left(\frac{S_0}{S_1}\right)^m$$

$$\therefore\ m=\frac{\log V_0-\log V_1}{\log S_0-\log S_1}$$

トナラン予ハ最モ信用シ得ヘキ實驗中ヨリRカ略同一ニシテSノ異ル一對宛ノ實驗ヲ撰ンテ二百五十對ヲ得以テ夫々mノ價ヲ計算シタルニ其結果ハ

40 對ニ於テ	$m=1$	$R<1{\cdot}0$ 米ノ小渠ノ場合
60 〃	$m=\frac{1}{1{\cdot}5}$	
81 〃	$m=\frac{1}{2}$	
30 〃	$m=\frac{1}{2{\cdot}5}$	
16 〃	$m=\frac{1}{3}$	
8 〃	$m=\frac{1}{3{\cdot}5}$	
4 〃	$m=\frac{1}{4}$	みしゝっぴー河ノ場合
7 〃	$m=\frac{1}{4{\cdot}5}$	

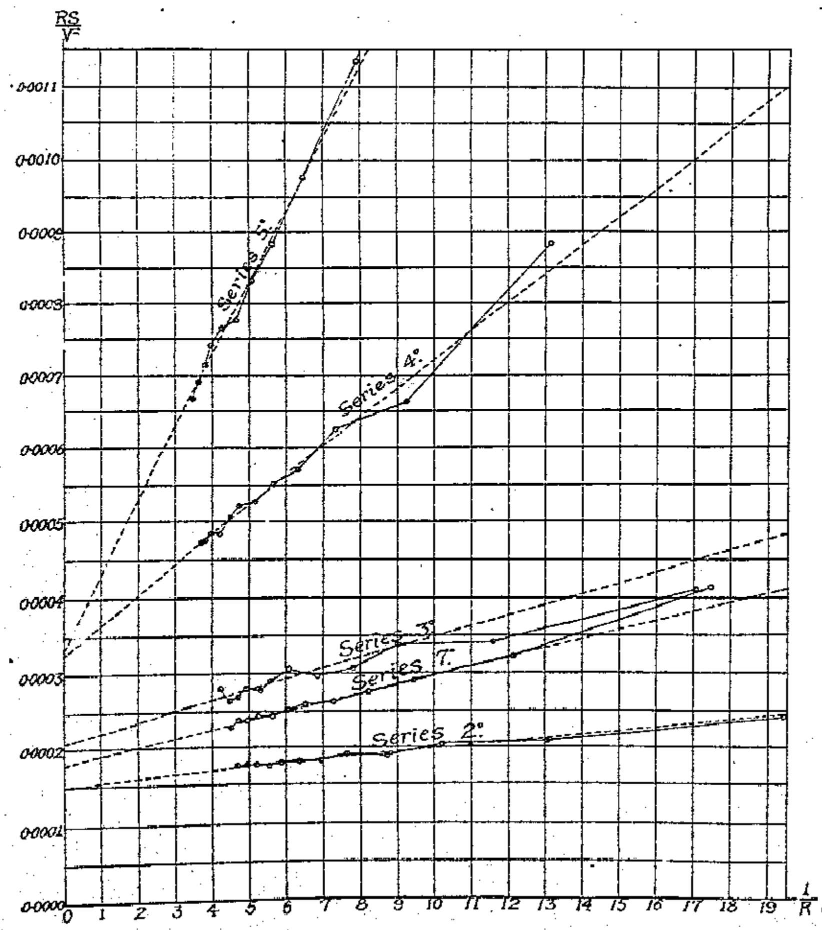
以テVカSノ一定ノ指數ニヨリ變化スルモノニ非サルヲ知レリ從テごーくらー氏等ノ如クVトSトニ一定ノ關係ヲ置カントスル單項式ノ凡テヲ正當ナリト認ムルコトヲ得ス」ト如何ニモnトRカ同一ナル場合ニ於テ緩勾配S_0ニ伴フV_0ト急勾配S_1ニ伴フV_1トノ關係カ一定ナラサルヘキコトハ左モアルヘシ(既掲第八圖表ノ說明ニ就テ一考セハ容易ニ其然ル所以ヲ諒解スルニ足ラン)サレト茲ニ問題トスル處ハVトSトノ關係ニ非スシテ却テRSトVトノ關係ナリ否一層徹底的ニ之レヲ見レハ各實驗列ノRトVトノ關係ナリ(開渠ノ場合ニハ各實驗列ノSハ凡テノ實驗ニ對ツテ定數ナリ)然ルヲくったー氏カ單ニVトSトノ關係ノミニ見テ以テごーくらー氏其他ノ指數諸公式ヲ立地ニ擯斥シ去ラントセルハ失當ナラン否此ノ如キハ却テ氏カ因襲的ニ將タ無批判ニRSヲV^2ニ比例ストシテ疑ハサル所以ヲ曝露セルニ等シごーくらー氏公式ノ最後ノ是非ハ兎モアレ此點ニ於テくったー氏以上遙ニ透徹セル見解ヲ疾ク樹立シ得タリシ功ハ之レヲごーくらー氏ニ歸セサルヲ得ンヤ

以上之レヲ要スルニばざんトくったートニヨリテ流速公式ニ多大ノ貢獻ヲ得タルハ固ヨリ吾人ノ敬服ヲ値スト雖モ然カモ此兩者カ流速公式ノ根本義ニ向ッテ未タ充分ナル研究ヲ遂ケ盡シタルニ非サルコトハ以上縷々歷陳セル處ヲ通シテ大凡讀者ノ諒解ヲ得タリト信ス即チ其必然ノ結果トシテ著者ハ所謂指數公式ノ眞價ヲ推稱セサル能ハスト雖モ然カモ指數公式ニモ亦幾多ノ種類アリ且ツ其利用未タ廣汎ナラサルカ爲ニ實用上ノ便宜ハ固ヨリくったーノ如キニ比シテ頗ル缺クル所アリ然リ若シ實用上ノ便宜ヨリスレハくったーコソハ就中特ニ其卓越ノ地歩ヲ占ムルモノニシテ或ハ皮肉ニくったーノ生命ハ寧ロ其點ニ存スト云ヒ得サルニモ非ス、トハ云ヘソハ唯取扱ヒ上ノ問題ニシテ茲ニ著者ノ論セント欲スル公式ノ眞價如何トハ別ナリ況ンヤ最近ニ流布セル Nomographic Solution ノ方法ヲ以テスレハ指數公式ノ實用上ノ利便ハ寧ロ却テ他ニ優ルヘキ

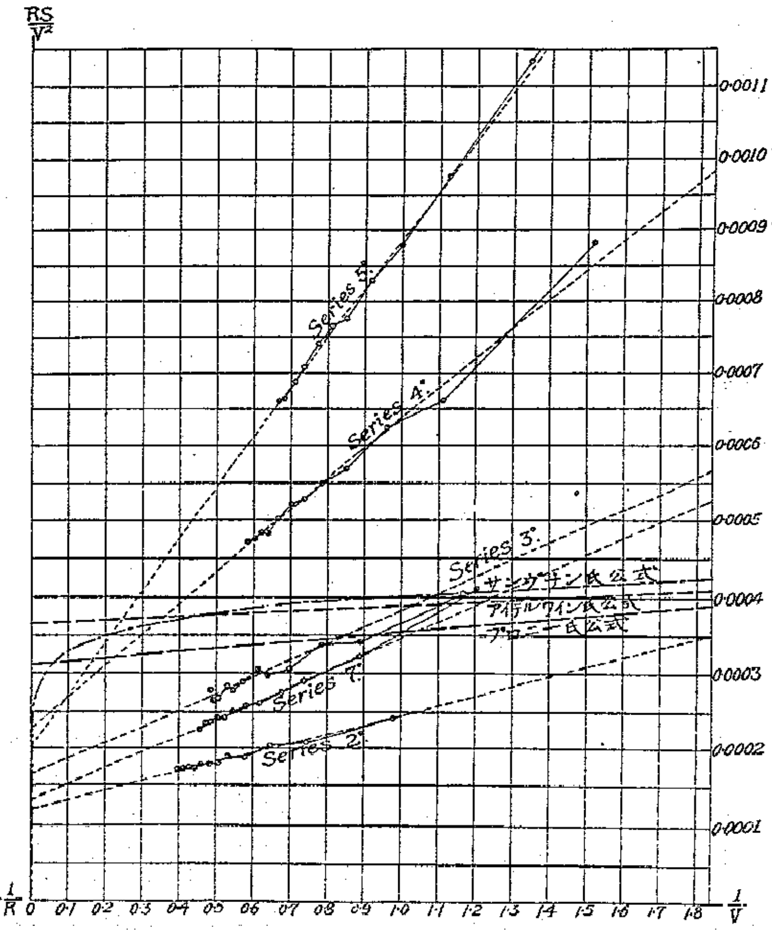
モノアルヲ必スヘキオヤ冀クハ他ノ機會ニ於テ重ネテ彼ノ指數諸公式ニ關スル私見ヲ説クヲ得セシメヨ著者ハ今只管之レカ資料ヲ覓メツヽアリ只返ス々々モ我國ニ於テ斯カル資料ノ自由ニ手ニシ能ハサル不便ヲ遺憾ト爲サスンハ非ス(完)

第一圖表

縱距$=\frac{RS}{V^2}$, 橫距$=\frac{1}{R}$ノ場合

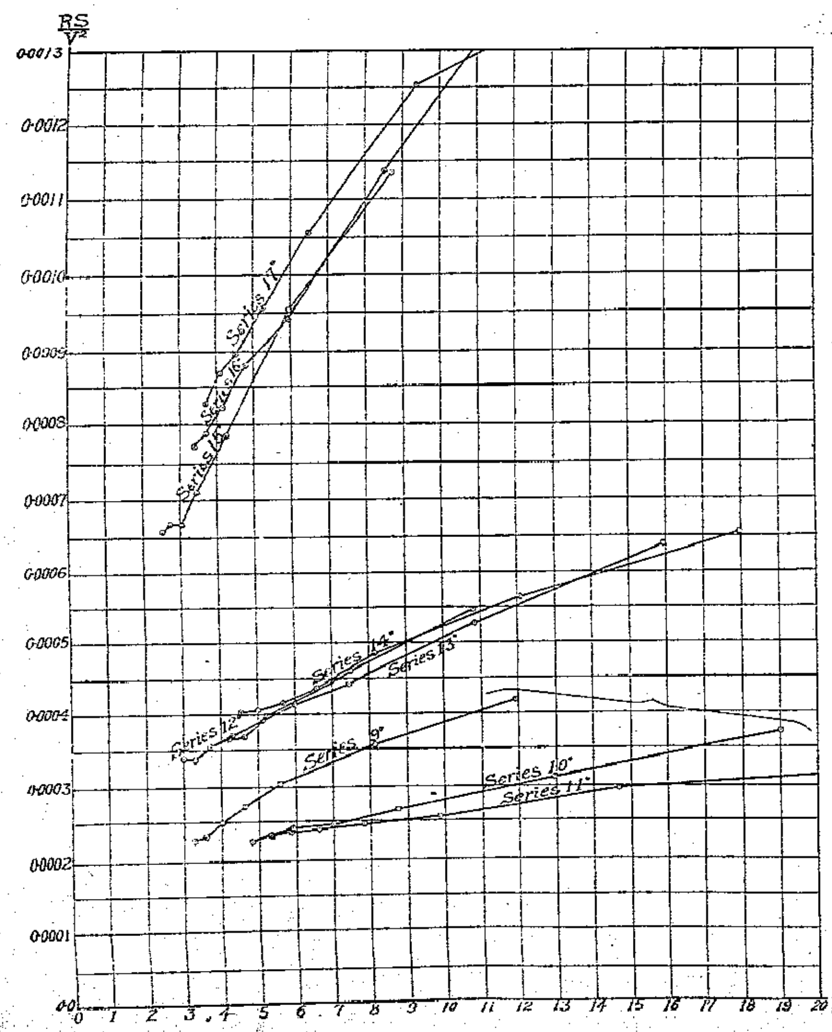


縱距$=\frac{RS}{V^2}$, 橫距$=\frac{1}{V}$ノ場合

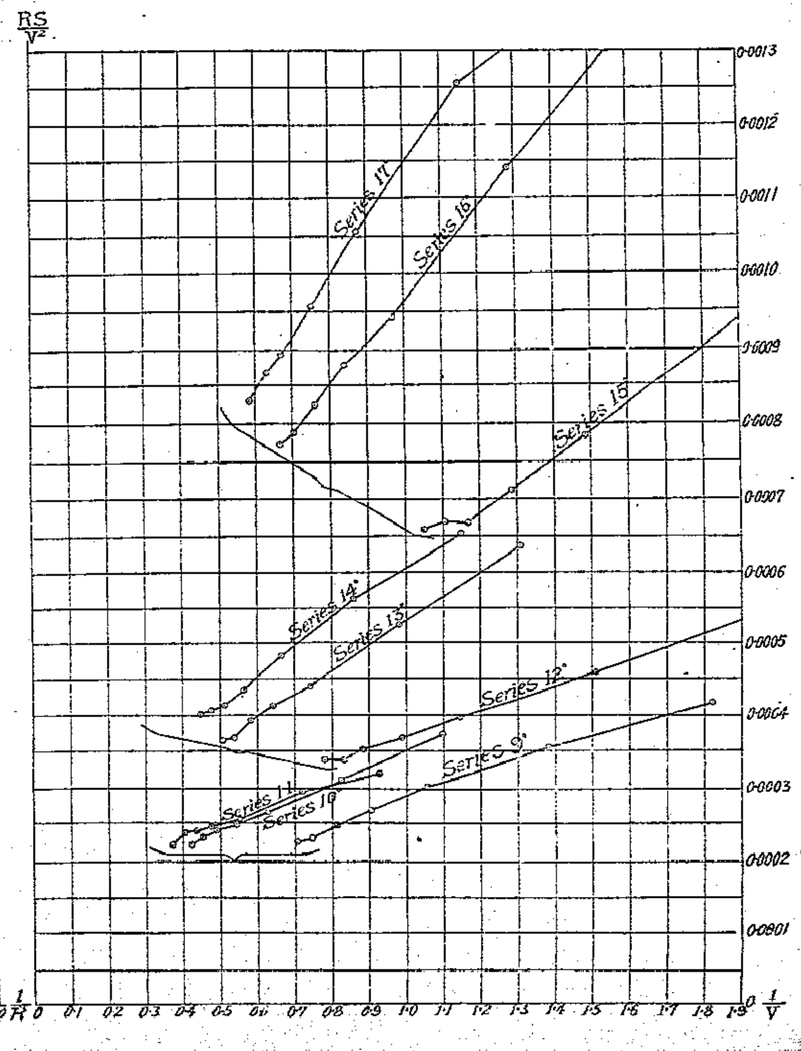


第二圖表

縱距$=\frac{RS}{V^2}$, 橫距$=\frac{1}{R}$ノ場合

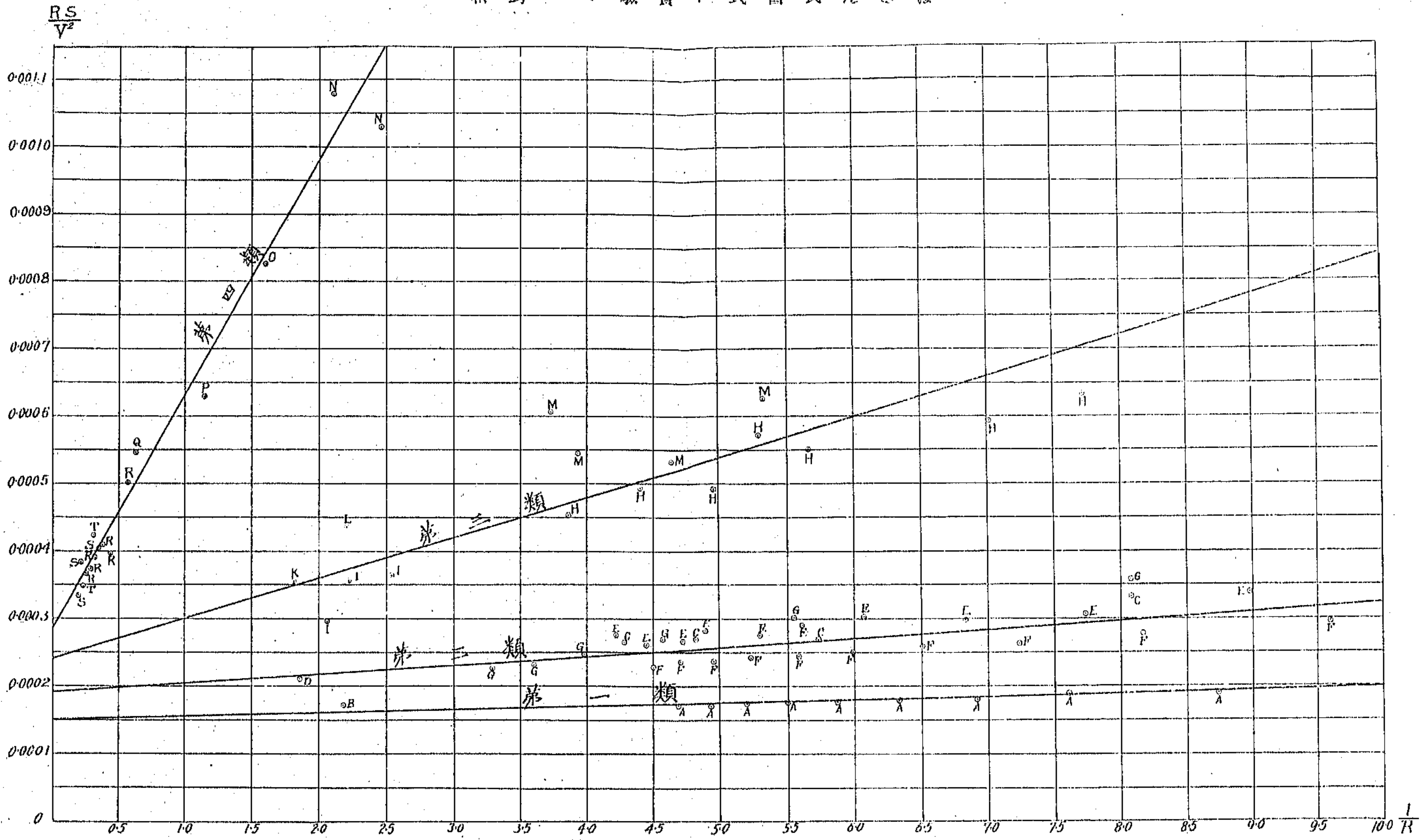


縱距$=\frac{RS}{V^2}$, 橫距$=\frac{1}{V}$ノ場合



第三圖表

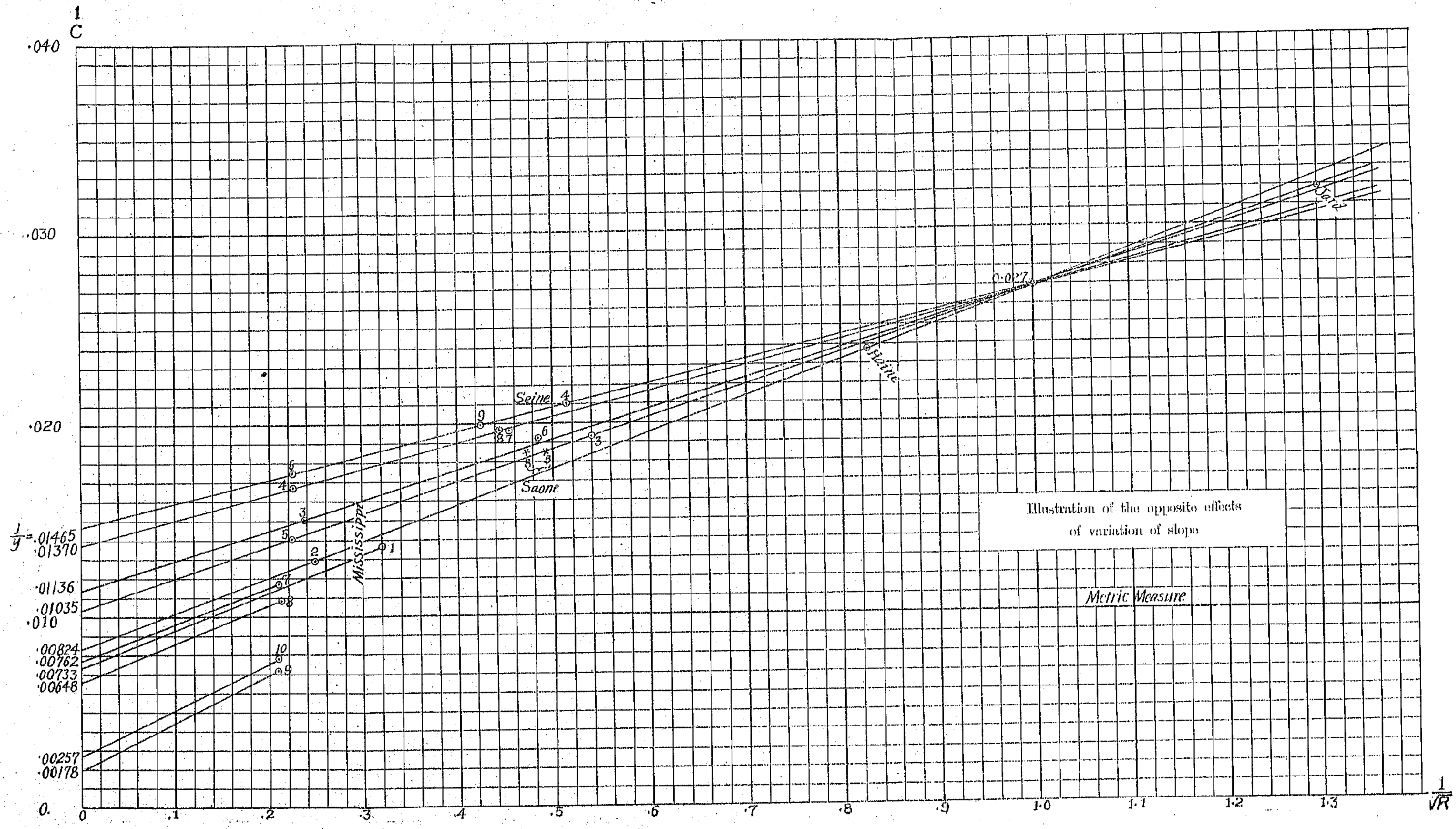
ばざん氏舊式ト實驗トノ對照



摘要

A	Bazin's series No. 2, cement wall	*L*	Bazin's series No. 46, Soussey
B	„ „ No. 1, Roquefavour	*M*	„ „ No. 1, Canal of Marseilles
C	„ „ No. 39, Tillot	*N*	„ „ No. 37, 41, 47, 48, 49, 50, Chazilly and Grosbois
D	„ „ No. 1, Crau	*O*	Dubuat, Canal du Jard
E	„ „ No. 3, brick wall	*P*	Bazin's series No. 1, Canal of Marseilles
F	„ „ No. 7, plank wall	*Q*	Dubuat, River Hayne
G	„ „ No. 9, „ „	*R*	Funk, River Weser
H	„ „ No. 32, 33, Grosbois	*S*	Poirée and Emmery, River Seine
I	„ „ No. 45, Soussey	*T*	Léveillé, River Saône
K	„ „ No. 44, Grosbois		

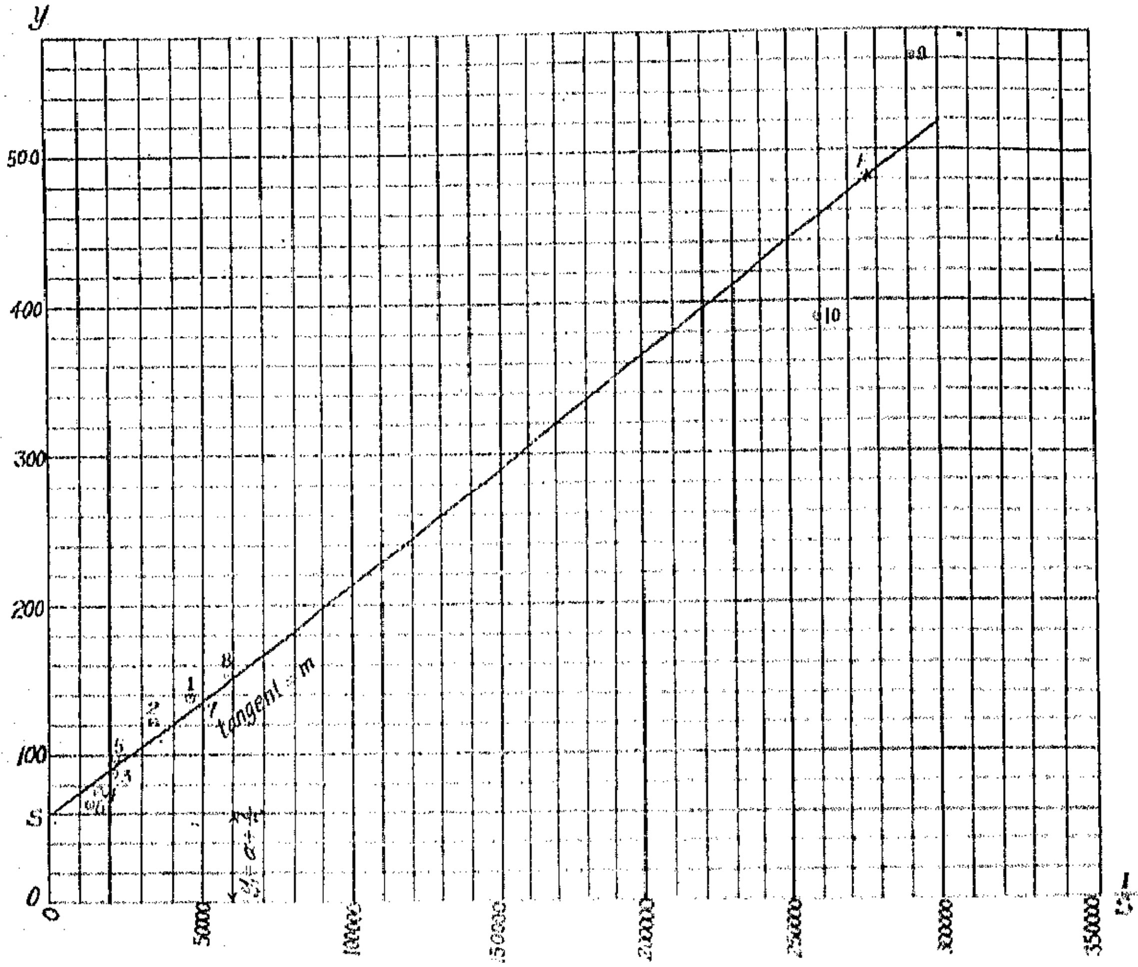
第四圖表



1/C
·040
·030
·020
·010
0.
1/y = ·01465
·01370
·01136
·01035
·00824
·00762
·00733
·00648
·00257
·00178
0
·1
·2
·3
·4
·5
·6
·7
·8
·9
1·0
1·1
1·2
1·3
1/√R
Seine
Saone
Mississippi
Haine
Sarre
0·027
Illustration of the opposite effects of variation of slope
Metric Measure

第五圖表

Value of m deduced from Mississippi River gauging.

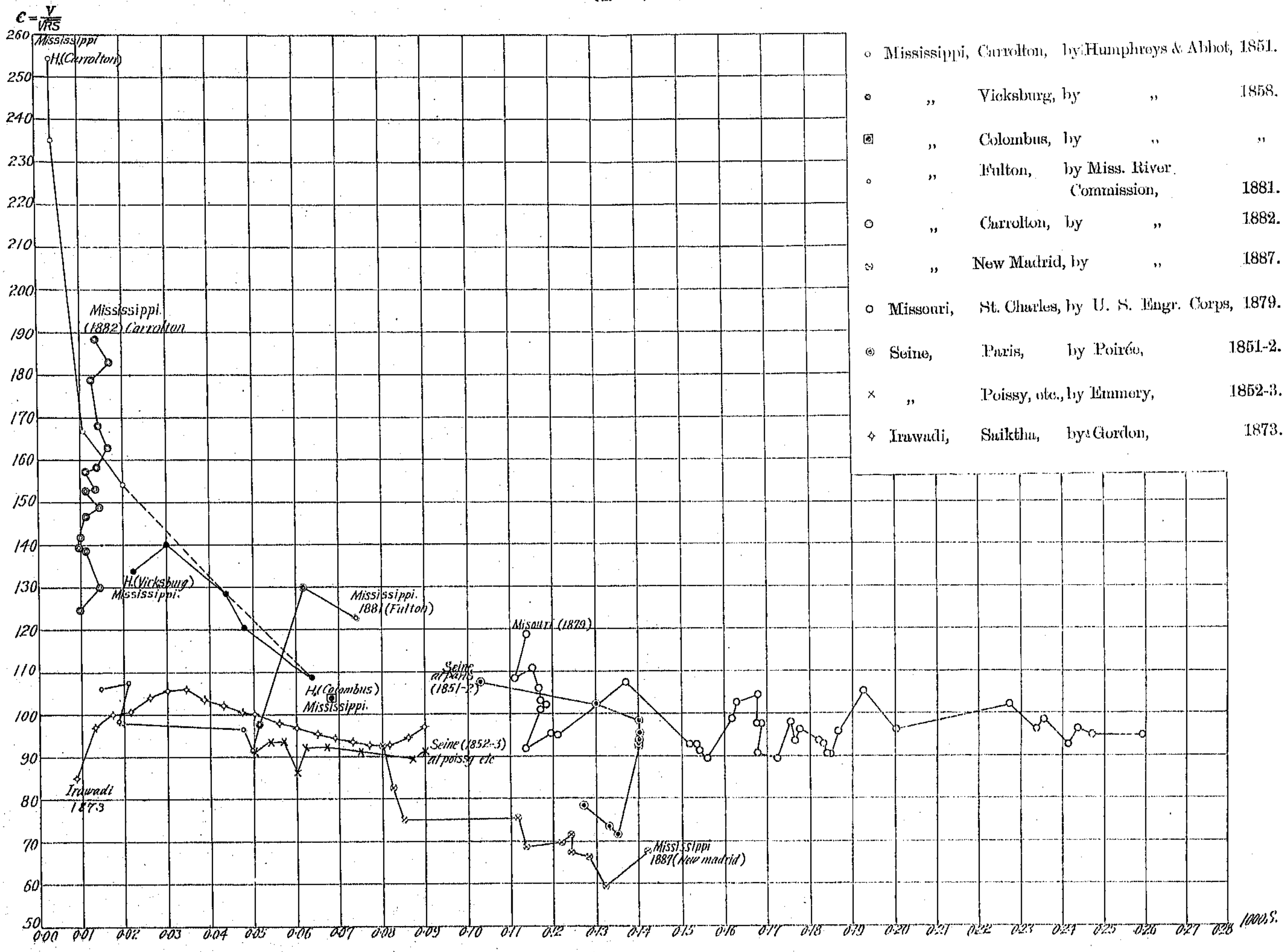


Mississippi	$\frac{1}{S}$	S	y
Gauging No. 1	44903	0.00002227	136.4
" " 2	33014	0.00003029	121.4
" " 3	20785	0.00004811	88.0
" " 4	15676	0.00006379	73.0
" " 5	22910	0.00004365	96.6
" " 6	14706	0.00006800	68.3
" " 7	48757	0.00002051	131.2
" " 8	58377	0.00001713	154.3
" " 9	292400	0.00000342	561.8
" " 10	260417	0.00000384	389.1

第六圖表

大河ニ於ケルCトSトノ關係

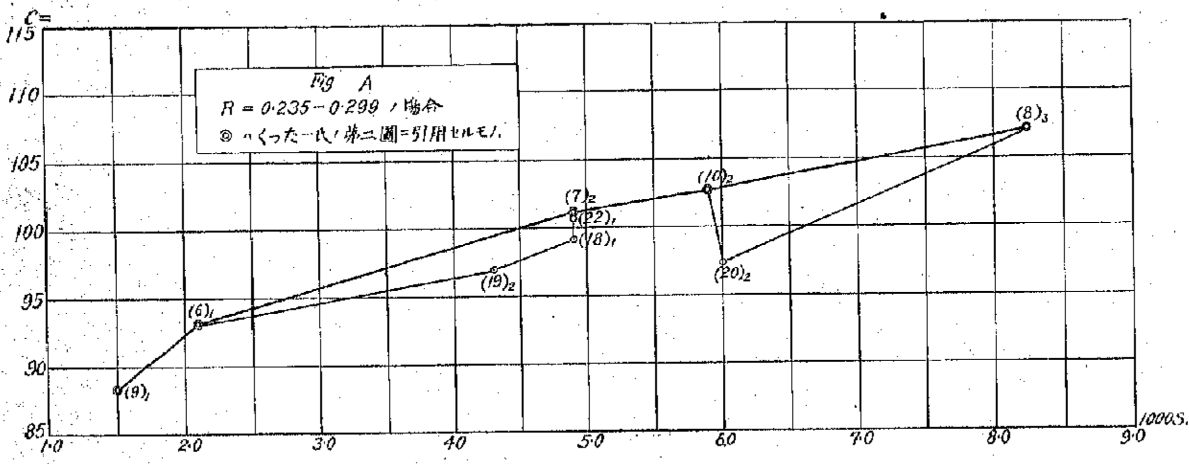
（呎單位）

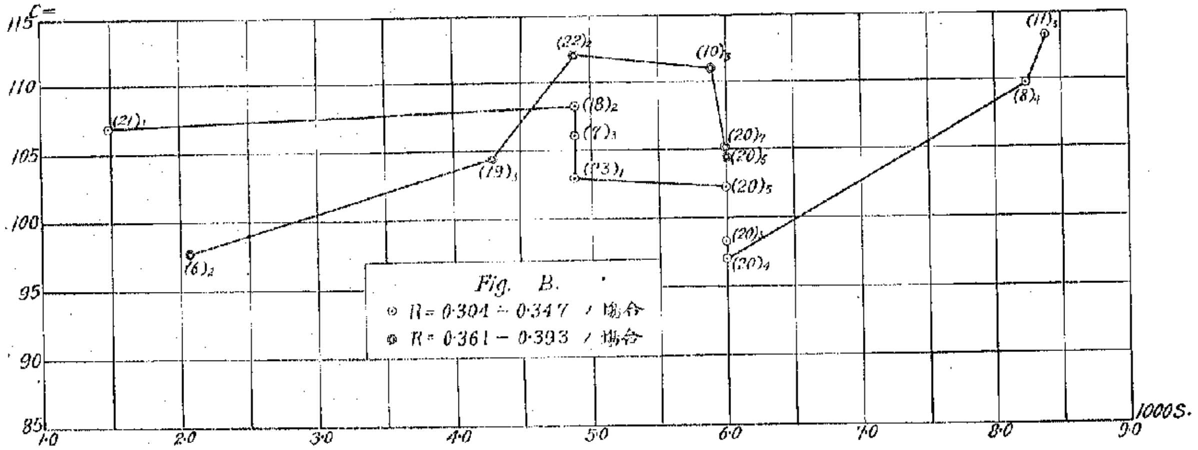


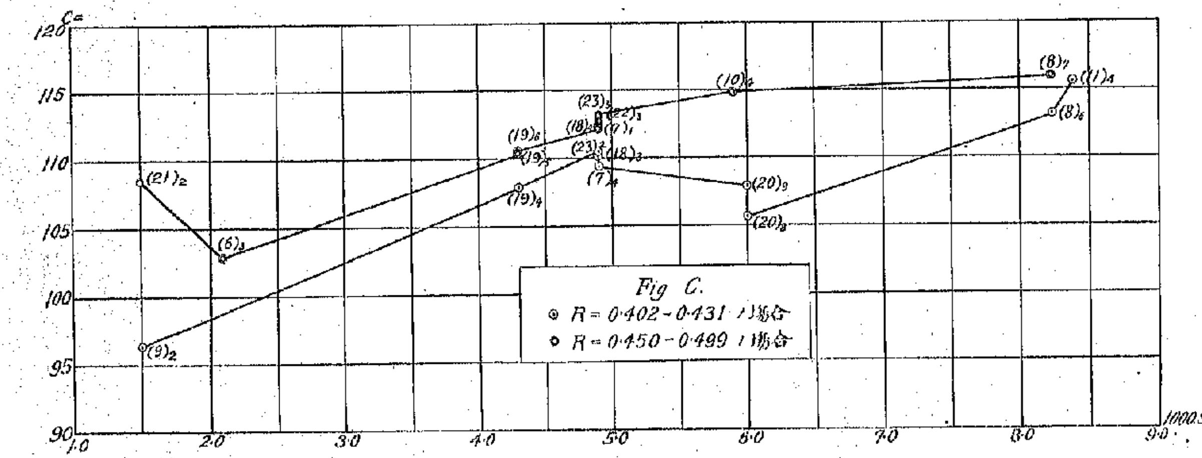
第七圖表

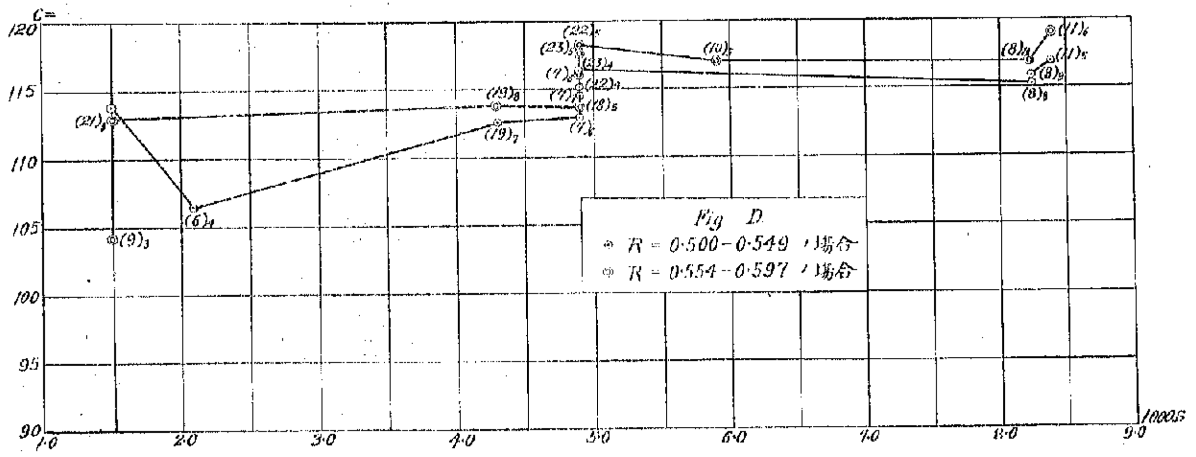
小渠ニ於ケルCトSトノ關係

(呎單位)



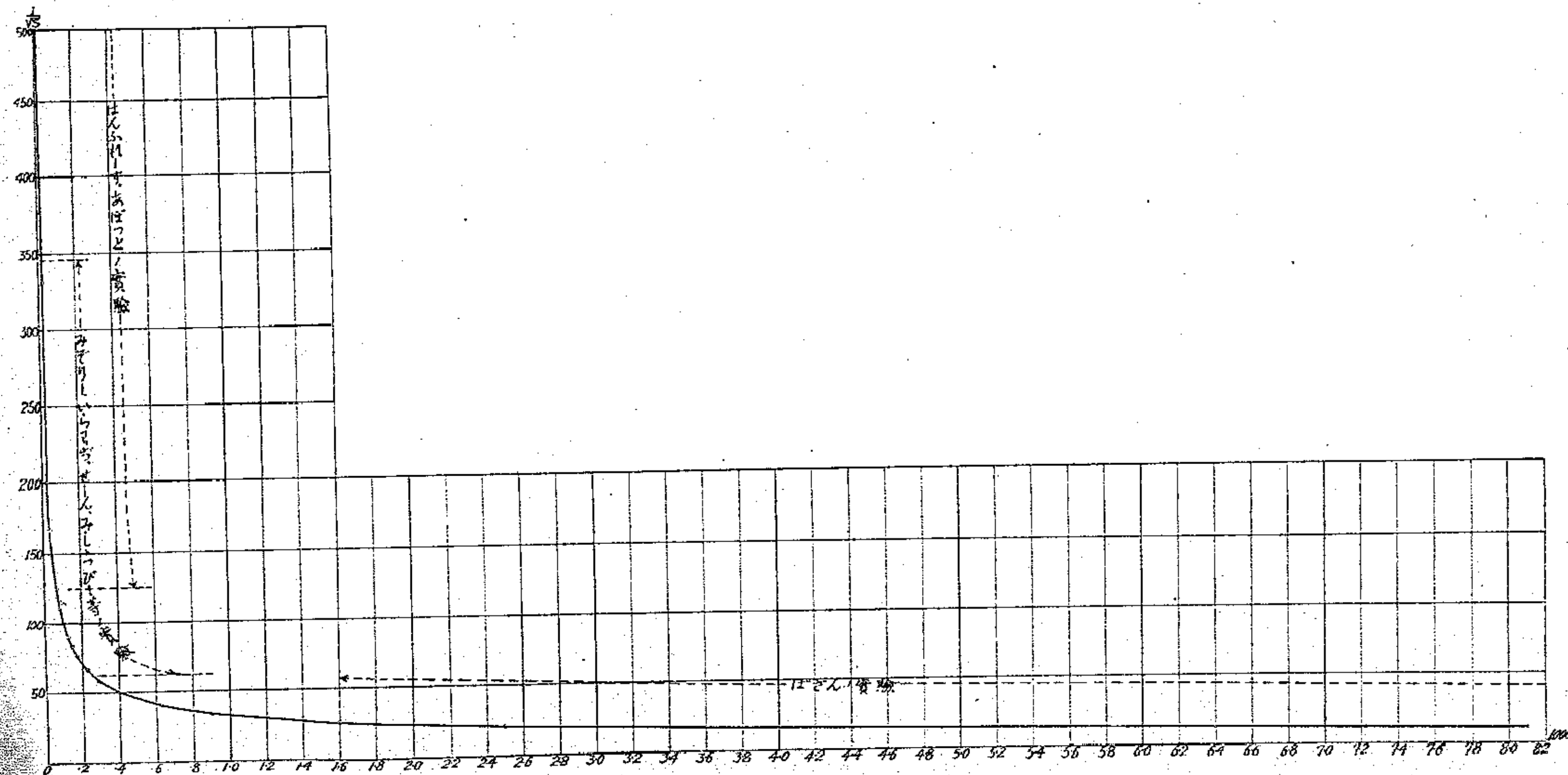






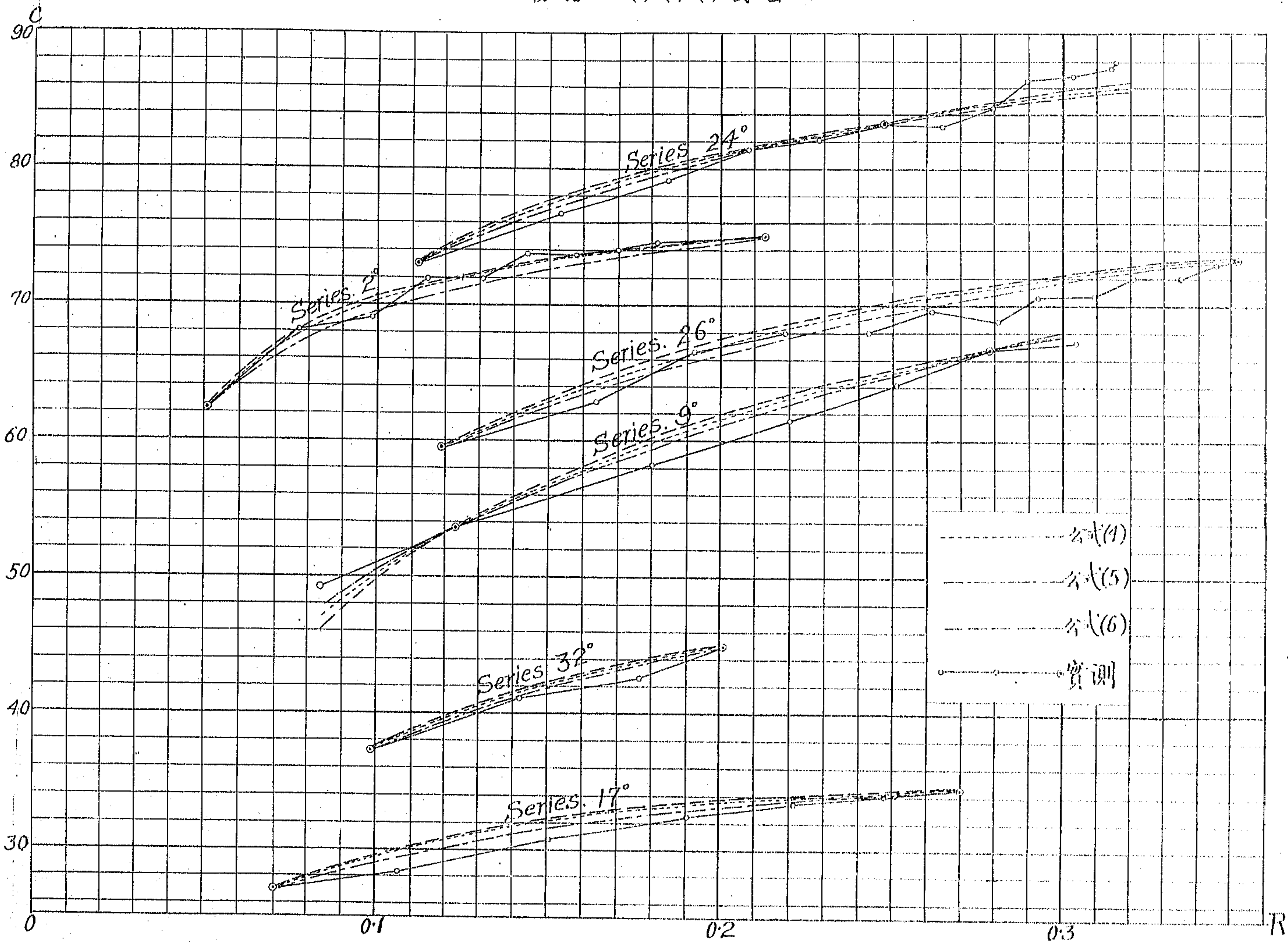
第八圖表

S ト $\dfrac{1}{\sqrt{S}}$ トノ關係



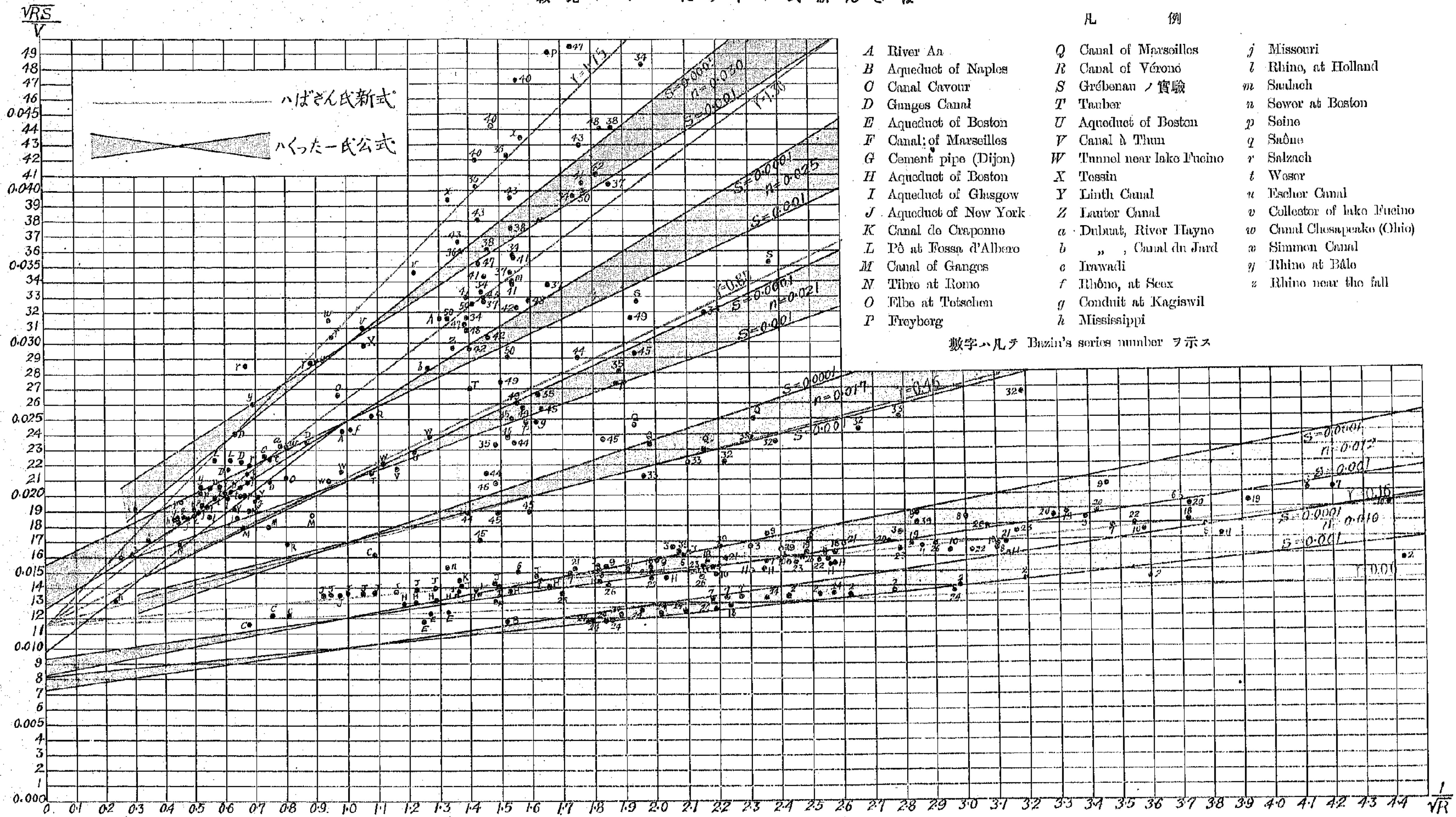
第九圖表

公式(4)(5)(6)ノ比較



第十圖表

ばざん新式トくったーノ比較



第十一圖表

RS ト V トノ關係 (Bazin's series No. 9°-17°)

(米突單位)