

屈曲水路ニ於ケル水面ノ横斷形狀ニ就テ (第六卷第三號所載)

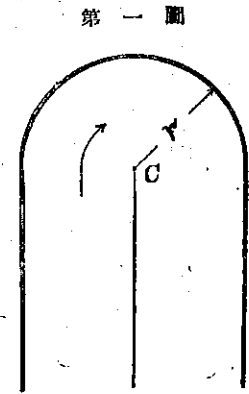
著者 會員 工學士 久 永 勇 吉

「屈曲水路ニ於ケル水面ノ横斷形狀ニ就テ」(以下之ヲ單ニ前文ト記ス)ナル拙著ニ對シ田添氏ノ懇切ナル御示教ヲ得タルハ著者ノ深ク謝スル所ナリ

然ルニ論者ハ $\psi \parallel \text{Const.}$ ナル式ヲ誘導セラル、ニ當リ Bernoulli ノ定理ヲ誤用セラレタルカ如シ該定理ハ本來懸案ノ Stream line ノ左右兩側ニ於テハ「Lateral pressure」ハ全ク無キカ又ハ全ク相等シキ場合ヲ考究シタルモノニシテ該定理中ノ p ハ Stream line ノ方向ニ平行ナル壓力強度ニシテ決シテ Lateral pressure intensity ニ非ス論者ハ之ヲ Lateral pressure intensity ニ誤用セラレタル爲メ $\psi \parallel \text{Const.}$ ナル結果ヲ得ラレタルモノニシテ其ノ不合理ナルコトハ次ノ二ツノ場合ヲ考慮セハ自ラ明ナリ

(一) $\psi \parallel \text{Infinity}$ 即チ直線水路ニ田添氏ノ得ラレタル結果式ヲ適用スルニ $\psi \parallel 0$ 即チ直線流路ニ於テハ流路ノ各點流速

零ナラサレハ該式ヲ満足セシムル能ハス之レ論者ノ範式ノ不合理ヲ示ス第一ノ證左ナリ次ニ



(二) 第一圖ニ示スカ如ク C 點ニ於テ其ノ屈曲ノ中心ヲ有スル水路ニ就テ考究スルニ C 點ニ於テハ $\psi \parallel 0$ ナルヲ以テ $\psi \parallel \text{Infinity}$ ナラサレハ $\psi \parallel \text{Const.}$ ナル式ヲ満足セシムル能ハス之レ該式ノ不合理ナル第二證左ナリ

論者ハ $\frac{W^2}{g^2}$ 即チ Centrifugal force 換言スレハ 屈曲流路ニ於ケル流速ノ Radial component ヲ Lateral pressure ト等置シ且ツ Bernoulli 定理ヲ水流カ恰モ Curve ニ Normal ニ流ル、カ如ク適用セラレタル結果到達シタルモノナルヲ以テ Const. ナル式ノ意味ハ論者ノ意見ノ如ク屈曲ノ外側ニ至ルニ從ヒ流速ハ漸減スト言フニ非スシテ寧ろ水路ノ曲率カ甚シクナルニ從ヒ即チカ小ナル程流速ノ Radial component ハ増大シ遂ニ曲率零即チ直線水路トナルニ於テハ Radial component ハ零トナルモノナリト説カル、方當レルニ近カリシナリ

次ニ著者ノ前文ニ引證シタル水路ハ何レモ天然河川ニシテ其ノ屈曲ノ外側岸ハ内側ニ比シ水深大ナル結果トシテ流速モ亦外側カ内側ヨリ大ナルモノアルヲ指摘セラレタルハ著者モ同意スル所ニシテ水面勾配河幅粗密率等ヲ常數トシ只水位ノミカ變化スル場合ニハ流速ハ水位ノ平方根ニ比例ス其ノ詳細ニ至リテハ著者ハ之ニ關聯スル事項ヲ本誌上ニ發表スルノ期アルヲ信スルニヨリ就テ御批評ヲ仰クコト、スヘシ

尙假ニ論者ニ百歩ヲ讓リ $v \parallel \text{Const.}$ ナル式カ論者ノ説ノ如キ意味ヲ有スルモノトスルモ砂礫流下ニ對スル流水ノ推力ハ流速ノ自乗ニ比例スルモノナルヲ以テ論者ノ説ノ如ク屈曲ノ外側カ内側ヨリ流速却ツテ小ナリトセハ沈澱ハ内側ニ生スヘキ理ナシ之レ事實ニ反スルモノニシテ論者ノ之ニ關スル説明ハ明瞭ヲ缺キ了解シ難クシテ著者ハ外側岸ノ洗掘作用ニ關シテハ前文ニ解説ヲ爲シ置ケリ

次ニ著者ハ前文ニ於テハ水路ノ屈曲ニ基因スル減速度ハ其ノ外側岸ヨリ内側ニ順次増大シ其ノ關係ヲ直線式ニテ表現シ得ヘキモノト假定シタルモ此ノ機會ニ於テ該假定ノ理論的根據ニ就テ解説セムトス

第二圖ノ如キ屈曲流路ニ就テ考究スルニ屈曲ノ内側ニ沿ヒ流下シ來リタル水分子ハ運動ノ法則ニ從ヒ直流セムトスヘシ若シ水ニ Viscosity ナキモノトセハ内側岸ノ A ナル部分ニ於テハ落差ニ基因スル重力關係及ヒ Reflection ノ作用ヲ度外視スレハ流速零ナルヘキモ粘性ノ爲メ Traction ヲ受クヘシ

今屈曲ノ内側岸ノ或點ニ於ケル接線ヲ X 軸ニ流路ノ中央ニ於テ之ニ直角ニ交叉スル直線ヲ Z 軸ニ定メ前文同様ノ記號ヲ

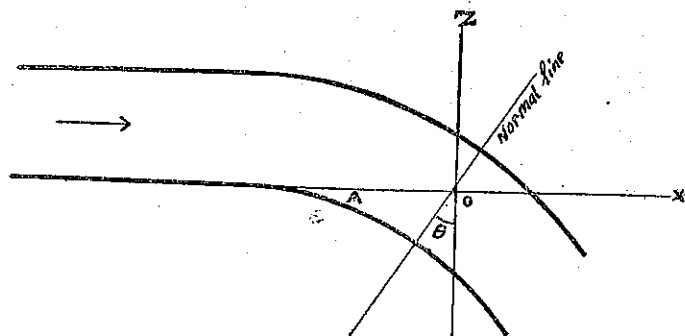
トスレハ前文式(37)ヲ多少變形シテ

討論 屈曲水路ニ於ケル水面ノ横斷形狀ニ就テ

- J = 直線部ニ於ケル水面勾配
- J_s = 屈曲流路ニ於ケル任意點ノ水面勾配
- l = 屈曲ノ始端ヨリ懸案點ニ至ル流心距離
- θ = Z 軸カ Curve ノ Normal line ト成ス角度

セ

第二圖



用ニシテ Traction

$$\mu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial p}{\partial x} \quad \therefore u = \frac{1}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \int \int \partial z^2$$

$$\therefore u = C + Bz + \frac{1}{2\mu} Z^2 \frac{\partial p}{\partial x}$$

茲ニC及Bハ積分係數ニシテ流路直線ナルトキハ $B=0, \frac{\partial p}{\partial x}$ ハ負號ヲ取ルヘキコトヲ立證シ得此ノ場合ニモ該關係カ成立スルモノトスレハ

$$u = C + \frac{1}{2\mu} \frac{\partial p}{\partial x} Z^2 \dots\dots\dots (1)$$

CハZ=0ナル點ノ流速ニ相當ス

即チ水ノ粘性ニ依ル Traction ノミヨリ考慮スルトキハ 屈曲流路ニ於テハ 外側ヨリ内側ニ二次式ヲ以テ減速セラルノコトナルモ又一面屈曲流路ニ於テハ前文ニ述ヘタル如キ横斷水面ノ高低アリ從テ縦ノ水面勾配ハ流路ノ中央ヲ界トシ外側ト内側方面ニ高次ノ Parabola ト Logarithmic curve トノ合成曲線ヲ以テ増減スヘシ之ヲ式ニテ表ハ

$$J_z = J - \frac{1}{lg} \left\{ (a^2 \cos^4 \theta + b^2 \cos^3 \theta + c^2 \cos^2 \theta + dz \cos \theta) + 2.3026 k \log \left(1 + \frac{z \cos \theta}{\rho} \right) \right\} \dots \dots \dots (2)$$

今各 Stream line 毎ニ Chezy 式ヲ適用スルハ

$$v = C \sqrt{J_z R_z} \dots \dots \dots (3)$$

茲ニ C, R_z 共ニ各 Stream line 毎ニ異ルモノトス

即チ式(3)ニ依レハ流速ハ各 Stream line 毎ニ J_z ノ平方根ニ比例シテ増減スルヲ見ル

式(1)ハ流速ハ内側岸ニ漸減スルヲ示シ(z ノ正號方面ニハ上流ヨリ直流スル流速アルヲ以テ式(1)ノ適用範圍ハ自ラ z ノ負號方面ニノミニ限ラル、モノトス) 又式(2)ノ右邊ノ第二項ハ z ノ正號方面ニハ正ニシテ其ノ負號方面ニハ負トナルヲ

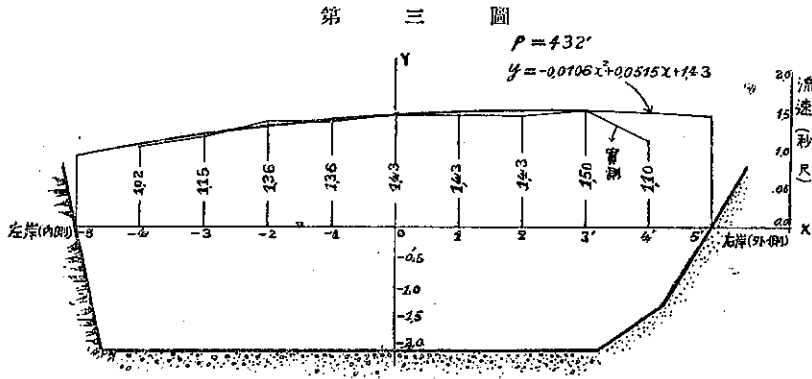
以テ式(3)ハ式(1)ト反對ニ外側岸ニ流速ノ漸減スルヲ示ス然ルニ式(1)ノ μ ハ頗ル小ナル數ニシテ *Poiseuille* ノ實驗式ヨリ假ニ華氏六十度ノ場合ヲ算定スルニ 0.000001 ヲ得從テ $\frac{1}{2\mu} = 250,000$ ノ如キ大ナル數値トナリ内側方面ニ急速

ニ減速スルヲ示スニ反シ式(3)ニ關スル流速ノ増減ハ一面 R_z ノ減増即チ各 Stream line 毎ノ水深ノ減増ヲ伴フヲ以テ式(1)ニ依ル減速率ハ式(3)ノ夫レニ比シ一層大ナルモノアルヲ推知シ得ヘク又式(1)ニ依ル凸面上向キノ減速曲線ト式(3)ニ依ル

凸面下向キノ増減速曲線トノ代數的和ハ稍々直線ニ近キモノト見做スモ略値ヲ得ルモノトシテハ支障ナカルヘク尙前述ノ外屈曲流路ニ於ケル水分子ハ外側岸ニ衝突シ *Reflection* ヲ爲シ内側岸ニ移動スヘク之レニ基因スル減速率モ亦直線的關係ヲ以テ内側ニ漸減スルモノト見做シ得ヘシ

以上論述スル所並ニ下記ノ水深齋一ナル人工的水路ニ於ケル實測モ亦屈曲水路ニ於テハ流速ハ内側岸カ外側岸ヨリ小ナルヲ示シ原則トシテハ右關係ハ眞ナリ然ルニ茲ニ一ツノ除外例アリ抑天然流路ノ形狀ハ一般ニ曲率零ヨリ始マリ順次其ノ程度ヲ増シ或點ニ至リ最急ニ達シ再ヒ曲率ヲ漸減シ遂ニ直路トナリ又新ニ漸次曲率ヲ増スカ如キ反屈曲ノ連續ヲ爲シ恰モ *Lemniscate* ニ似タル形狀ヲ成スヲ見ル *Fargue* ノ實驗ヨリ得タル法則ナル *Law of deviation* ニ從ハハ屈曲流

路ノ各線ノ最深點ハ最急曲率ノ點ヨリ下流大略河幅ノ二倍ニ當ル位置ニ存在スルモ人工的水路ニ於テハ往々 *Curve length* ノ甚タ短カキ反向屈曲ノ存在スルコトアリテ而モ其ノ屈曲ハ圓弧ヲ用フルヲ普通トシ *Leunisate* ノ如キ曲率ノ漸變スルカ如キ複雑ナル工法ヲ取ルコト稀ナリ斯カル場合ニ於テハ上流ニ位置スル屈曲ニ依ル流速ノ分布カ *Leantia*



ノ關係ヨリ其ノ儘下流ノ反向屈曲ニ傳達セラレ下流屈曲ノ始端附近マテハ未タ流速ノ分布ハ本來ノ下流屈曲ノ配置ニ馴致セラレヌ即チ上流屈曲ノ外側岸ノ流速ノ大ナル水分子ハ下流屈曲ノ内側岸ニ流レ又上流屈曲ノ内側岸ヲ流レ來リタル流速ノ小ナル水分子ハ下流屈曲ノ外側岸ニ近ク到達スル結果トナルヲ以テ下流屈曲ノ發端附近ニ於テハ一般現象ト反對ニ屈曲ノ外側岸ノ流速ハ却而内側岸ノ夫ニ比シ小ナル場合ヲ生ス然レトモ其ノ反向屈曲ノ延長大ナルニ於テハ前文ノ理由ニ從ヒ順次一般現象ト同様ナル流速ノ配置ヲ見ルニ至ルヘク又河岸河床カ流水ニ依リ洗掘セラレ得ヘキ場合ハ自ラ屈曲ノ形狀ヲ變シ一般現象ト同様ナル狀態ニ落チ付クヘキモ人工水路ノ如ク堅固ナル底側ヲ有スル場合ハ特例ノ儘ニテ存在スヘシ

例二及三ハ斯カル實例ニシテ(第四、五、六圖參照)秋田縣下三内川ヨリ引水スル鐵道省發電用水路ニ於ケル實測ナリ其ノ平面的關係ハ第五圖ニ示スカ如ク上流部屈曲ハ水路中心ノ屈曲半徑六十六尺實測當時ノ外側水際ノ曲線延長五十四尺之レニ直接シ下流ニ反向屈曲アリテ其ノ屈曲半徑ハ前記同様六十六尺ナルモ内側ノ曲線延長四十尺ナリ流速ハ第五圖 AA 及 BB ナル各屈曲ノ中央ニ於テ屈曲ノ *Normal line* ニ沿ヒ測定セシモノニシテ AA 線即上流屈曲ニ於テハ一般原則ニ從ヒタル流速ノ分布ヲ有シ外側ノ流速大ナルニ反シ BB 線即下流反向屈曲部ニ於ケルモノハ内側ノ流速

却テ外側ヨリ大ナルヲ示セリ

田添氏ノ引證セラレタル實測ハ場所ノ明示ヲ欠キ平面的關係ヲ知悉シ得サルモ外側岸ニ何等カノ障害物アル個所カ又ハ

前述ノ如キ反方向屈曲ノ下流屈曲ニ於ケル實測ニアラサルナキカ論者ノ明示ヲ希望スルモノナリ

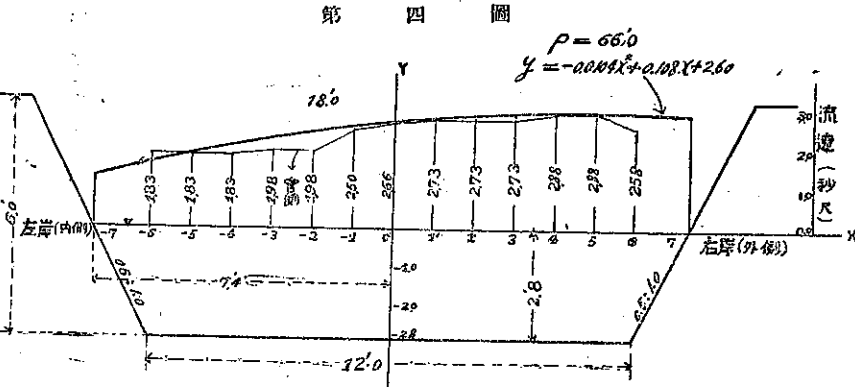
例一 (第三圖參照)

廣島縣深安郡本庄村字高崎地内ニ於ケル千田村用惡水路中ノ屈曲部ニシテ其ノ屈曲半徑(ρ)七十二間水面幅十尺水深二尺屈曲ノ内側ハ天然岩盤ヲ仕上ケ河床一部岩盤他ハ砂礫ヨリ成リ外側ハ土砂ノ築立ナリ右個所ニ於テ水面下約五寸没入スル浮子ニ依リ脇田内務技手ノ實測シタル結果ハ左表ノ如ク外側ノ流速ハ内側ノ相等位置ノ夫レヨリ大ナルヲ見ル次表中ニナル距離ハ浮子ノ中央斷面ヲ通過シタル流路ノ中央ヨリノ距離ニシテ浮子ハ順次外側ニ偏倚シテ流下スルヲ以テ上下二斷面ニ於ケルρノ値ハ表示ノモノト多少ノ差異アリ實測ノ結果ヨリ得タル空間的流速曲線ノ表現式ハ

$$y = -0.0106x^2 + 0.0515x + 1.43$$

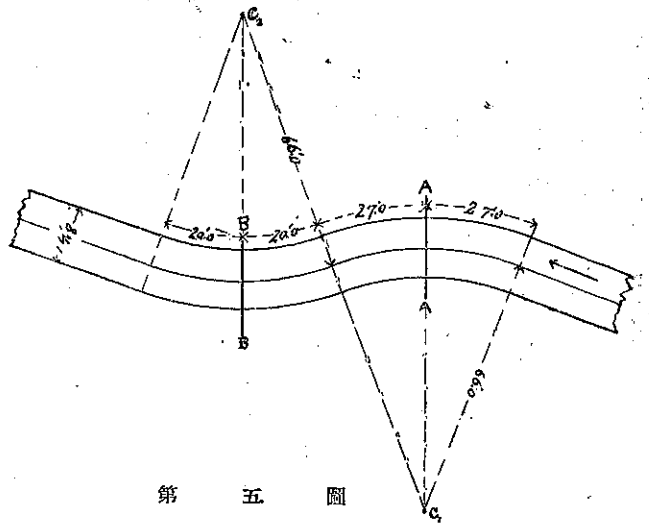
y = 流速(秒尺) x = 流路ノ中央ヨリノ距離(尺)

側外 ← 中央 → 側内



流路中央ヨリノ距離 x (尺)	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5
實測 流速 y (秒尺)	1.10	1.50	1.43	1.43	1.43	1.36	1.36	1.15	1.02		
計算	1.42	1.47	1.49	1.49	1.47	1.43	1.37	1.28	1.18	1.05	0.91

中央ヨリ四尺ノ位置ニ於ケル流速ノ小ナルハ水深淺キカ爲メナリ



例二 (第四圖及五圖參照)

秋田縣河邊郡岩見三内村大字三内地内三内川ヨリ引水スル鐵道省發電用水路ノ反向屈曲部ノ内上流屈曲部ニ屬スル部分ノ中央第五圖△線ノ位置ニ於テ流速計ヲ用ヒ工學得業士藤澤喜作氏ノ測定サレタル結果ナリ該水路ハ兩側並ニ底共玉石練積ニシテ兩法共五分下幅十二尺水深二尺八寸水面幅十四尺八寸ヲ有シ屈曲半徑六十六尺横斷水面ハ外側ニ於テ内側ヨリ四分五厘高シ

水面下二寸ノ位置ニ於ケル流速ニテ得タル空間的表面流速曲線ハ次ノ如シ

$$y = -0.0104x^2 + 0.108x + 2.60$$

實測ト計算トヲ表示シタル次表ニ依レハ明ニ外側岸ノ流速ハ内側岸ノ相當位置ノモノヨリ大ナリ

側内 ↑ 中央 → 側外

水路ノ中央ヨリノ距離 x (尺)	實測	計算
7	1.33	1.33
6	1.58	1.58
5	1.80	1.80
4	2.00	2.00
3	2.18	2.18
2	2.34	2.34
1	2.48	2.48
0	2.60	2.60
1	2.73	2.73
2	2.73	2.73
3	2.83	2.83
4	2.88	2.88
5	2.88	2.88
6	2.87	2.87
7	2.85	2.85

例三 (第五圖及六圖參照)

例二ノ下流ニ直接スル反向屈曲部ニシテ(第五圖△△線)測定者測定方法屈曲半徑等ハ前例ト同シキモ水路ハ底部及外側ハ間知石ノ練積法四分五厘内側ハ混凝土ニテ造リ法五分トシ下幅十二尺水深二尺八寸水面幅十四尺六寸六分横斷水面

ハ外側岸ハ内側岸ヨリ四分高ク反向屈曲ノ後段ニ當リ Curve length モ全長四十尺ニ滿タサル短カキモノナル關係上本文ニ説明シタルカ如ク一般現象ニ反シ其ノ流速ハ外側岸却テ内側岸ニ比シ小ナルヲ見ル 流速ハ何レモ水面下二寸ノ實測トス

	側外 ← 中央 → 側内												
x	—6	—5	—4	—3	—2	—1	0	1	2	3	4	5	6
y	1.98	1.98	1.98	2.43	2.88	2.73	3.03	3.03	3.18	3.33	3.93	3.33	2.88

例四 (第七圖参照)

實測ニ用ヒタル水路ハ前二例ト同シキモ直線流路ノ間ニ介在スル獨立屈曲部ニ於ケルモノナリ其ノ屈曲半径三十三尺水路ハ下幅十二尺水深二尺五寸内側ハ直法外側ハ五分法水面幅十三尺二寸五分ノ全部混凝土構造ナリ外側岸ノ水面ハ内側岸ヨリ一分高シ尙流速ハ何レモ水面下二寸ノモノニシテ測定方法實測者共前二例ニ同シ 又空間的表面流速曲線ハ次ノ如ク

$$y = -0.011x^2 - 0.055x + 3.20$$

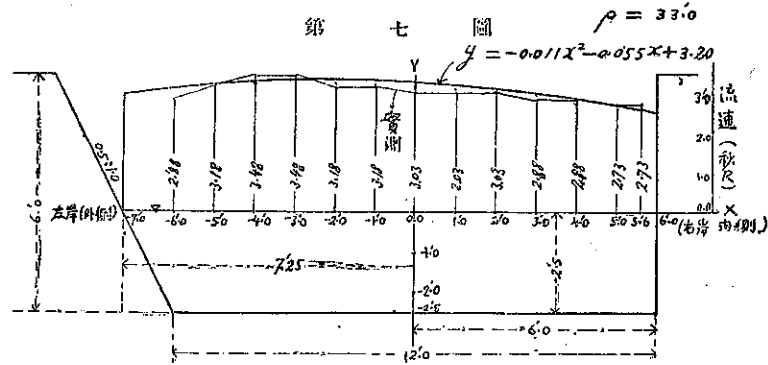
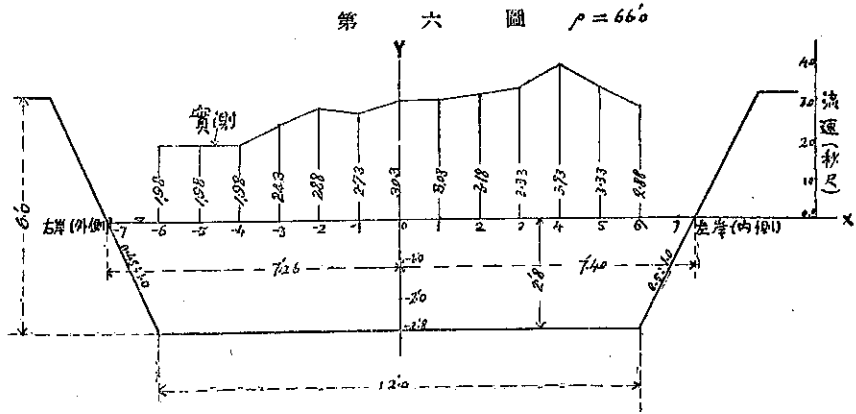
之ヲ用ヒテ計算シタルモノト實測トヲ比較シタルモノハ次表ナリ表ニヨレハ外側岸ノ流速ハ内側岸ノ夫レニ比シ大ナルヲ見ル

	側外 ← 中央 → 側内														
x	—7	—6	—5	—4	—3	—2	—1	0	1	2	3	4	5	6	7
實測	—	2.88	3.18	3.48	3.48	3.18	3.18	3.03	3.03	3.03	2.88	2.88	2.73	2.73	—
計算	3.05	3.13	3.20	3.24	3.27	3.27	3.24	3.20	3.13	3.05	2.94	2.80	2.65	2.55	2.47

例五 (第八圖甲乙丙圖参照)

討議 屈曲水路ニ於ケル水面ノ横斷形狀ニ就テ

來リ外側岸ノ流速ハ内側ノ夫ニ比シ著シク大ナルヲ見ル(丙圖)之ヲ以テ見レハ外見上上流部ニハ反向屈曲存在セサルモ
 障害物等ノ爲メ水理的ニ反向屈曲ト同様ナル流速ノ配置ヲ生スル場合アルモ其ノ影響ハ屈曲部ノ始端附近ニ止マリ其ノ
 後段ニ至レハ流速ノ分布ハ屈曲流路ノ原則的配置ニ馴致セラル、ヲ見ル



京都府宇治郡山科村御陵地内第一疏水取入口ヨリ
 一里二十七町同二十八町間ニ在ル屈曲部ニ於テ京
 都府技師大角新藏氏ノ電接流速計ヲ以テ測定セラ
 レタルモノニシテ水路ハ底側共練積石垣ヨリ成リ
 水深五尺二寸五分底幅十尺二寸法約一割七分七厘
 屈曲半径六十六間半ナリ甲圖ニ明ナル如ク同所ハ
 上下流共直線流路ノ間ニ介在スル獨立屈曲部ニシ
 テ屈曲ノ始點ヨリ下流十間二五、(内側岸ノ延長)
 二十間半、三十間七五ノ三個所即圖面 $aa\ bb\ cc$ ノ線
 ニ沿ヒ流速ノ測定ヲ爲セシ者ナルカ水底ニ藻草ノ
 繁茂シ居ル關係ナルヘキカ上流直線部ニ於テハ流
 心ハ屈曲ノ内側ナル右岸ニ偏倚シ在リ從テ $Interia$
 ノ關係ヨリ aa 部ニ於テハ未タ外側岸ノ流速却テ内
 側岸ノ相當位置ノモノヨリ大ナルモ(乙圖)下流 cc
 断面ニ至レハ僅ニ二十間半ヲ流下シタルニ過キサ
 ルニ既ニ流速ノ分布ハ屈曲流路ノ一般現象ヲ呈シ

本實測ノ流速ハ水面下五寸、一尺、二尺、二尺四寸、三尺、四尺、四尺五寸等ニテ測定シタルモノニシテ之等ヨリ得タル空間的平均流速曲線ノ表現式ハ左記ノ如ク又屈曲部ノ中央bb線上ノ外側岸水面ハ内側岸ノ夫レヨリ三分高シaa線ノ流速ハ次表ノ如ク屈曲ノ外側岸却テ小ナリ(乙圖參照)

側外 ← 中央 → 側内

流路中央ヨリノ距離 x (尺)	-9.45	-5.10	-2.55	0.0	2.55	5.10	9.50
實 測 流 速 y (秒尺)	2.44	2.68	2.53	2.57	2.83	2.91	2.71

cc線ノ流速ハ次表ノ如ク屈曲ノ外側ハ内側ヨリ大ニシテ屈曲流路ノ一般的流速ノ分布ヲ示スヲ見ル(丙圖參照)
cc線ニ於ケル空間的平均流速曲線式

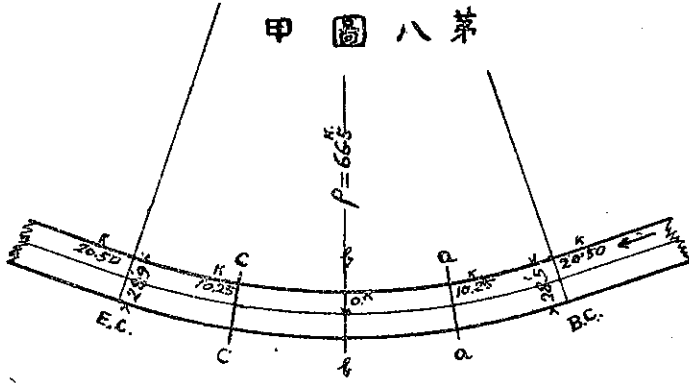
$$y = -0.0056x^2 - 0.032x + 2.90$$

側外 ← 中央 → 側内

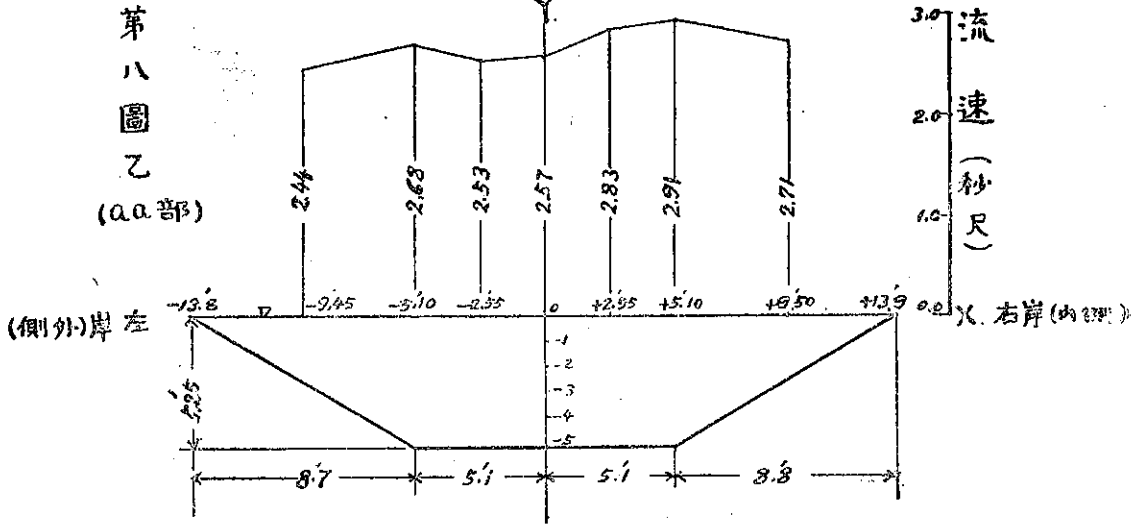
流路中央ヨリノ距離 x (尺)	-14.3	-9.70	-5.10	-2.55	0.00	2.55	5.10	9.75	14.40
流 速 y (秒尺)	實 測	2.79	2.92	2.98	2.93	2.58	2.44	2.20	
	計 算	2.21	2.68	2.92	2.95	2.90	2.78	2.60	2.06
									1.27

(完)

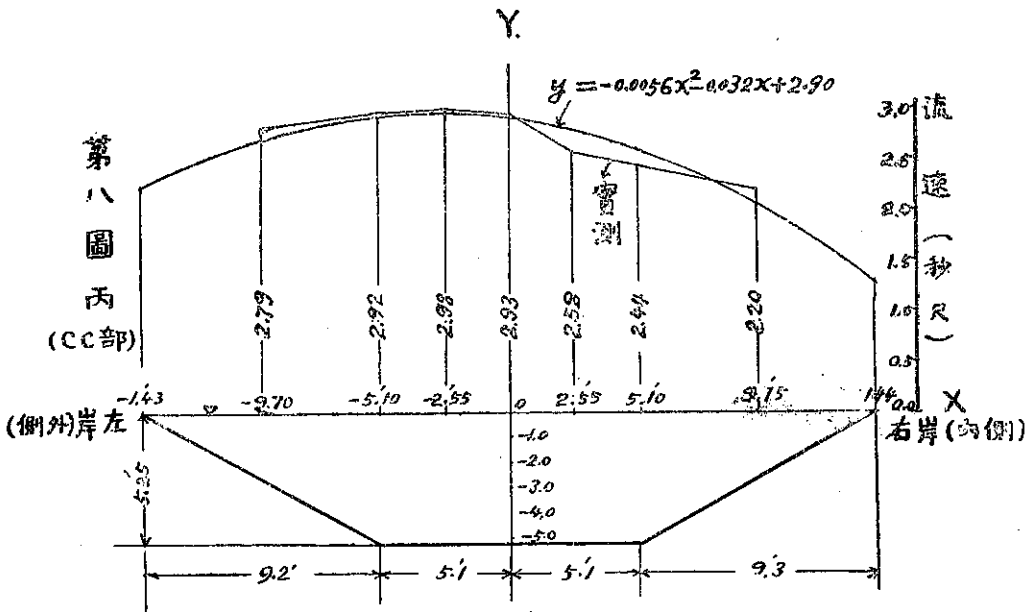
甲 圖 八 第



第 八 圖 乙
(aa部)



第 八 圖 丙
(cc部)



(土木學會誌第六卷の上段附圖)