開水路の流量計算に就て

會員　隱塚延次郎*

要旨　本文は從來計算煩雜にして名狀すべからざる事であると嘆ぜしめた"流量と勾配などの類が既知にして，開渠，圓管等の大きを見出す計算方法"に就て，從來の觀點から脱却した新しき視角から開渠計算の分野を開拓し，その解式と圖表を得たもので，それ等に就て述べたものである。

1. 緒　言

開水路の流量計算方法は斷面寸法，水面勾配，粗度常數等を與へられる場合又は流量，粗度常數，水面勾配等を既知とする場合に限り流量を求め，或は最有利斷面形の水深，敷幅，水面幅等を求め得たのであるが，今茲に流量 Q，水面勾配 I，粗度常數 n，水深 H，法勾配 m を既知とする場合の計算方法は未だ發表されてゐない。

圖表に於ても同様に現在迄に發表されてゐるものは Gangullet and Kutter 公式の C を求むる圖表，Manning 及び Forchheimer 公式を圖表化し R を假定し流速 V を求むる圖表，L. H. Hewes and H. L. Sewardの R の圖表，Bazin の公式を圖表化したる M. d'Ocagne の圖表，2 は C. E. Wolff の圖表等之等は總て，R を假定して求むる圖表であつて，流量を知りて直ちに敷幅を求むる圖表とか流速を知りて敷幅を求むる圖表の如きは寡聞である。

然るに實際に於ては，流量と勾配などの類が既知にして，開渠の大さを見出す事が普通の要求である。

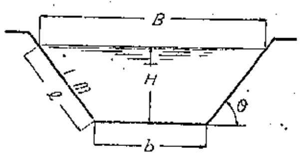
斯る場合從來の計算方法は大體の目安に依つて，斷面を假定し反覆試算が必要であつて，その計算は煩雜である。

著者は斯る場合只一回の計算にて水路の敷幅，其他を求むる研究をしたもので，その解式と圖表を得たものである。

2. 一般記號

A＝流水斷面積	B＝水面幅
P＝潤邊長	b＝敷幅
H＝水深	l＝法長
θ＝仰角	$m=\cot\theta$＝法勾配
R＝徑深	I＝水面勾配
n＝粗度常數	Q＝流量
V＝平均流速	

圖-1.



3. 公式の誘導と計算例

等流の平均流速の公式は數種の公式が發表されてゐるが本文に於ては主として指數公式の Manning 氏の公式を使用する。

第一解法

Manning 氏公式に何等の手を加へず求めて見れば次の如し。

計算例 1.

$Q=5.2291\ \mathrm{m^3/sec}$ (188 個)　$n\fallingdotseq 0.03$

$I=\dfrac{1}{S}=\dfrac{1}{600}$　法勾配 1 割

$H=0.60\ \mathrm{m}$

……………既知の場合敷幅 b を求める。

$$Q=\frac{1}{n}\cdot R^{2/3}\cdot I^{1/2}\cdot A\cdots\cdots\text{Manning 氏公式}\cdots\cdots\cdots(1)$$

上式に於て　$I=\dfrac{1}{S}$

---

*　内務技手　内務省名古屋土木出張所

とおけば

$$R^{2/3}\cdot A=Q\cdot n\cdot\sqrt{S}\quad\cdots\cdots(2)$$

$$R=\frac{A}{P}=\frac{Hb+H^2\cot\theta}{b+2H\,\mathrm{cosec}\,\theta}\quad\cdots\cdots(3)$$

上式に $H=0.6$ を代入すれば

$$R=\frac{0.6b+0.36}{b+1.6968}\quad\cdots\cdots(4)$$

(2) 式に (4) 式を代入すれば

$$\left(\frac{0.6b+0.36}{b+1.6968}\right)^{2/3}(0.6b+0.36)=5.2291\times0.03\times\sqrt{600}$$

$$\therefore\quad b^5+3b^4+3.6b^3+2.16b^2+0.648b+0.0777\,6=\frac{3.842^3}{0.6^5}(b^2+3.394b+2.879)$$

$$b^5+3b^4+3.6b^3-727.38b^2-2475.4b-2\,099.5=0\quad\cdots\cdots(5)$$

(5) 式を Horner の方で求むれば

$$b=9.07\ \mathrm{m}$$

を得。

第二解法

Manning 公式を誘導すれば解式を得られる。

(1) 流速公式に依る誘導

(a) 水深 H に就ての解式:

$$V=\frac{1}{n}\cdot I^{1/2}\cdot R^{2/3}\quad\cdots\cdots(6)$$

$$R=\frac{A}{P}=\frac{A\cdot H}{A-H^2(\cot\theta-2\,\mathrm{cosec}\,\theta)}\quad\cdots\cdots(7)$$

であるから (6) 式に (7) 式を代入すれば

$$V=\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{S}^{1/2}\cdot\left(\frac{A\cdot H}{A-H^2(\cot\theta-2\,\mathrm{cosec}\,\theta)}\right)^{2/3}\quad\cdots\cdots(8)$$

茲に

$$(\mathrm{cosec}\,\theta-\cot\theta)^2=\frac{1-\cos\theta}{1+\cos\theta}\qquad\therefore\quad\mathrm{cosec}\,\theta-\cot\theta=\sqrt{\frac{1-\cos\theta}{1+\cos\theta}}$$

或は二倍角の三角數より

$$\tan2\theta=\frac{2\tan\theta}{1-\tan^2\theta}\quad\therefore\quad\tan\theta=\frac{2\tan\frac{\theta}{2}}{1-\tan^2\frac{\theta}{2}}\quad\therefore\quad\tan\frac{\theta}{2}=\sqrt{\frac{1-\cos\theta}{1+\cos\theta}}$$

$$\therefore\quad(\cot\theta-2\,\mathrm{cosec}\,\theta)=-\left(2\tan\frac{\theta}{2}+\cot\theta\right)\quad\cdots\cdots(9)$$

故に

$$-\left(2\tan\frac{\theta}{2}+\cot\theta\right)=-(A_1{}^0)$$

と置けば (8) 式は次の如くなる (表-1)。

$$V=\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{S}^{1/2}\cdot\left(\frac{A\cdot H}{A+H^2\cdot A_1{}^0}\right)^{2/3}\quad\cdots\cdots(10)$$

茲に

$H=1.0\ \mathrm{m}$ の場合の徑深を R_1,　　$H=1.0\ \mathrm{m}$ の場合の斷面積を A_1

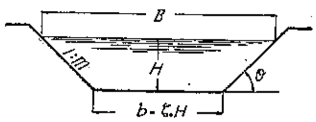
とすれば (圖-2 參照),

表-1. (A^0_1 の値)

$$\cot\theta-2\,\mathrm{cosec}\,\theta=-\left(2\tan\frac{\theta}{2}+\cot\theta\right)=-(A^0_1)$$

法勾配	A^0_1	法勾配	A^0_1	法勾配	A^0_1	法勾配	A^0_1
1 : 0.00	2.000	1 : 0.58	1.732	1 : 1.30	1.980	1 : 2.50	2.885
1 : 0.05	1.952	1 : 0.60	1.732	1 : 1.40	2.041	1 : 2.60	2.971
1 : 0.10	1.910	1 : 0.65	1.735	1 : 1.50	2.105	1 : 2.70	3.058
1 : 0.15	1.872	1 : 0.70	1.741	1 : 1.60	2.174	1 : 2.80	3.141
1 : 0.20	1.840	1 : 0.75	1.750	1 : 1.70	2.245	1 : 2.90	3.235
1 : 0.25	1.811	1 : 0.80	1.761	1 : 1.80	2.318	1 : 3.00	3.325
1 : 0.30	1.788	1 : 0.85	1.775	1 : 1.90	2.394	1 : 3.50	3.780
1 : 0.35	1.769	1 : 0.90	1.790	1 : 2.00	2.472	1 : 4.00	4.246
1 : 0.40	1.754	1 : 0.95	1.809	1 : 2.10	2.552	1 : 5.00	5.198
1 : 0.45	1.743	1 : 1.00	1.828	1 : 2.20	2.633		
1 : 0.50	1.736	1 : 1.10	1.873	1 : 2.30	2.716		
1 : 0.55	1.732	1 : 1.20	1.924	1 : 2.40	2.800		

圖-2.



$$A=H^2(\zeta+\cot\theta)$$

$$\therefore\ A_1=\zeta+\cot\theta\qquad\therefore\ A=A_1H^2\ \cdots\cdots\cdots(11)$$

又 (10) 式より

$$R=\frac{A\cdot H}{A+H^2\cdot A_1^0}\qquad\therefore\ A_1^0=\frac{A\cdot H-AR}{H^2\cdot R}\qquad R_1=\frac{A_1}{A_1+A_1^0}\ \cdots\cdots\cdots(12)$$

(10) 式に (11) (12) 式を代入すれば

$$V=\frac{1}{n}\cdot\frac{1^{1/2}}{S}\cdot\left(\frac{A_1\cdot H^2\cdot H}{A_1\cdot H^2+H^2\cdot A^0_1}\right)^{2/3}\ \cdots\cdots\cdots(13)$$

$$\therefore\ H=\left(\frac{V\cdot n\cdot\sqrt{S}}{R_1^{2/3}}\right)^{3/2}\ \cdots\cdots\cdots(14)$$

玆に

$$\Psi=\left(\frac{1}{R_1^{2/3}}\right)^{3/2}\ \cdots\cdots\cdots(15)$$

(Ψ : 表-2 參照)

とおけば (14) 式は

$$H=\Psi(V\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/2}\ \cdots\cdots\cdots(16)$$

故に (16) 式より

$$\left.\begin{aligned}\Psi&=\frac{H}{(V\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/2}} & S&=\left(\frac{H}{\Psi(V\cdot n)^{3/2}}\right)^{4/3}\\ V&=\left(\frac{H}{\Psi(n\cdot\sqrt{S})^{2/3}}\right)^{2/3} & n&=\left(\frac{H}{\Psi(V\cdot\sqrt{S})^{3/2}}\right)^{2/3}\end{aligned}\right\}\ \cdots\cdots\cdots(17)$$

(14) (15) (16) (17) 式は任意の水深 H を有する一般斷面形水路のものである。最有利斷面形の場合は斷面積 A を一定にして，流速 V を最大ならしむる如き敷幅係數 ζ と水深 H を求むればよい。

$$V=\frac{1}{n}\cdot I^{1/2}R^{2/3}\cdots\cdots\cdots(6)$$

より，玆に　$\frac{1}{n}\cdot I^{1/2}=\mu\ \cdots\cdots\cdots(18)$

或は 圖-2 參照

表-2. Ψ の値に對する ζ の値

$$\Psi=\left(\frac{1}{R_1^{2/3}}\right)^{3/2}=\frac{H}{(V\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/2}}$$

ζ の値	1:0	1:0.5	1:1	1:1.5	1:2	1:2.5	1:3
0.2000	11.000	3.602	2.524	2.239	2.124	2.069	2.039
0.3246*	—	—	—	—	—	—	2.000
0.3852*	—	—	—	—	—	2.000	—
0.4720*	—	—	—	—	2.000	—	—
0.5000	5.000	2.736	2.219	2.053	1.989	1.962	1.950
0.6054*	—	—	—	2.000	—	—	—
0.8284*	—	—	2.000	—	—	—	—
1.0000	3.000	2.157	1.914	1.842	1.824	1.824	1.831
1.2362*	—	2.000	—	—	—	—	—
1.5000	2.333	1.868	1.731	1.702	1.706	1.721	1.739
2.0000*	2.000	1.694	1.609	1.602	1.618	1.641	1.665
2.5000	1.800	1.579	1.522	1.526	1.549	1.577	1.604
3.0000	1.667	1.496	1.457	1.468	1.494	1.524	1.5[illegible]4
3.5000	1.571	1.434	1.406	1.421	1.449	1.481	1.511
4.0000	1.500	1.386	1.366	1.383	1.412	1.444	1.474
4.5000	1.444	1.347	1.332	1.351	1.380	1.412	1.443
5.0000	1.400	1.316	1.304	1.324	1.353	1.385	1.416
6.0000	1.333	1.267	1.261	1.281	1.309	1.339	1.369
7.0000	1.286	1.231	1.229	1.248	1.275	1.304	1.332
8.0000	1.250	1.204	1.203	1.222	1.247	1.275	1.302
9.0000	1.222	1.183	1.183	1.201	1.225	1.251	1.277
10.0000	1.200	1.165	1.166	1.183	1.206	1.231	1.256
12.0000	1.167	1.139	1.140	1.156	1.177	1.199	1.222
14.0000	1.143	1.120	1.122	1.136	1.155	1.175	1.196
16.0000	1.125	1.105	1.108	1.121	1.137	1.160	1.175
18.0000	1.111	1.094	1.096	1.108	1.124	1.141	1.158
20.0000	1.100	1.085	1.087	1.098	1.112	1.128	1.145
22.5000	1.089	1.075	1.078	1.088	1.101	1.115	1.130
25.0000	1.080	1.068	1.070	1.079	1.092	1.105	1.119
27.5000	1.073	1.062	1.064	1.073	1.084	1.096	1.109
30.0000	1.067	1.057	1.059	1.067	1.077	1.089	1.101
35.0000	1.057	1.049	1.051	1.058	1.067	1.077	1.087
40.0000	1.050	1.043	1.045	1.051	1.059	1.068	1.077
45.0000	1.044	1.038	1.040	1.045	1.052	1.061	1.069
50.0000	1.040	1.034	1.036	1.041	1.048	1.055	1.063
60.0000	1.033	1.029	1.030	1.034	1.040	1.046	1.053
70.0000	1.029	1.025	1.026	1.029	1.034	1.040	1.046
80.0000	1.025	1.022	1.023	1.026	1.030	1.035	1.040
90.0000	1.022	1.019	1.020	1.023	1.027	1.031	1.036
100.0000	1.020	1.017	1.018	1.021	1.024	1.028	1.032
120.0000	1.017	1.014	1.015	1.017	1.020	1.024	1.027
140.0000	1.014	1.012	1.013	1.015	1.017	1.020	1.023
160.0000	1.013	1.011	1.012	1.013	1.015	1.018	1.020
180.0000	1.011	1.010	1.010	1.011	1.014	1.016	1.018
200.0000	1.010	1.009	1.009	1.010	1.012	1.014	1.016
225.0000	1.089	1.008	1.008	1.010	1.011	1.013	1.015
250.0000	1.008	1.007	1.007	1.008	1.010	1.011	1.013
300.0000	1.007	1.006	1.006	1.007	1.008	1.010	1.010

* 印又は Under line あるものは最有利斷面形のもの。

$$\left.\begin{aligned}
&A=H^2(\zeta+\cot\theta) \quad \therefore\ \zeta=\frac{A-H^2\cot\theta}{H^2}\\
&P=\zeta\cdot H+\frac{2H}{\sin\theta}=H\left(\zeta+\frac{2}{\sin\theta}\right)\\
&\therefore\ H=\sqrt{\frac{A}{\zeta+\cot\theta}} \quad \therefore\ P=\sqrt{\frac{A}{\zeta+\cot\theta}}\left(\zeta+\frac{2}{\sin\theta}\right)
\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(19)$$

であるから (6) 式に (18) (19) 式を代入すれば

$$V=\mu\cdot\left\{\frac{A}{\sqrt{\frac{A}{\zeta+\cot\theta}}\left(\zeta+\frac{2}{\sin\theta}\right)}\right\}^{2/3}=\mu\cdot\sqrt[3]{\left\{\frac{A}{\sqrt{\frac{A}{\zeta+\cot\theta}}\left(\zeta+\frac{2}{\sin\theta}\right)}\right\}^2}$$

$$V^3=\mu^3\cdot\left\{\frac{A}{\frac{A}{\zeta+\cot\theta}\left(\zeta+\frac{2}{\sin\theta}\right)^2}\right\}=\frac{\mu^3A(\zeta+\cot\theta)}{\left(\zeta+\frac{2}{\sin\theta}\right)^2}\quad\cdots\cdots(20)$$

V を最大卽ち

$$\frac{\zeta+\cot\theta}{\left(\zeta+\frac{2}{\sin\theta}\right)^2}=\lambda\quad\cdots\cdots(21)$$

を最大ならしむる様な ζ が最有利斷面を與ふる。

$$\frac{d\lambda}{d\zeta}=0;\quad \frac{\left(\zeta+\frac{2}{\sin\theta}\right)-(\zeta+\cot\theta)2\left(\zeta+\frac{2}{\sin\theta}\right)}{\left(\zeta+\frac{2}{\sin\theta}\right)^4}=0$$

$$\left(\zeta+\frac{2}{\sin\theta}\right)\left\{\zeta+\frac{2}{\sin\theta}-2(\zeta+\cot\theta)\right\}=0$$

$$\zeta=2\frac{2\sin^2\frac{\theta}{2}}{2\sin\frac{\theta}{2}\cos\frac{\theta}{2}}$$

$$\therefore\ \zeta^0=2\tan\frac{\theta}{2}\quad\cdots\cdots(21)$$

$$b^0=\zeta^0\cdot H^0=2H^0\tan\frac{\theta}{2}\quad\cdots\cdots(22)$$

$$\left.\begin{aligned}
&\therefore\ A^0=H^{02}\left(2\tan\frac{\theta}{2}+\cot\theta\right) \quad \therefore\ A^0=A_1^0\cdot H^2\\
&\therefore\ H^0=\sqrt{\frac{A^0}{2\tan\frac{\theta}{2}+\cot\theta}}=\sqrt{\frac{A^0}{A^0_1}}
\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(23)$$

$$\therefore\ H^0=\left(\frac{V\cdot n\cdot\sqrt{s}}{0.62996}\right)^{3/2}\quad\cdots\cdots(24)$$

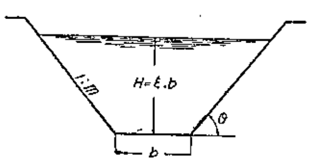
$$\psi^0=\left(\frac{1}{R^0{}_1{}^{2/3}}\right)^{3/2}=2.0$$

$$\left.\begin{aligned}
&H^0=2(V\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/2} \qquad V=\left(\frac{H^0}{2(n\cdot\sqrt{S})^{3/2}}\right)^{2/3}\\
&S=\left(\frac{H^0}{2(n\cdot\sqrt{S})^{3/2}}\right)^{4/3} \qquad n=\left(\frac{H^0}{2(V\cdot\sqrt{S})^{3/2}}\right)^{2/3}
\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(25)$$

水深 $H=1.0\,\mathrm{m}$ の場合の最有利斷面形の斷面積 A^0_1

〃　　〃　　徑深 R^0_1

圖-3.



(b) 敷幅 b に就ての解式

水深 H を $\xi\cdot b$ にて表せば

茲に

$b=1.0$ m の場合の断面積を a_1

$b=1.0$ m　〃　径深を γ_1

とすれば（圖-3 參照）

$$V=\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{S}^{1/2}\cdot R^{2/3}=\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{S}^{1/2}\cdot\left(\frac{a_1a^2\xi\cdot b}{a_1b^2+\xi^2\cdot b^2A^\circ_1}\right)^{2/3}$$

$$\therefore\quad b=\left(\frac{V\cdot n\cdot\sqrt{S}}{\gamma_1^{2/3}}\right)^{3/2}\qquad\cdots\cdots(26)$$

玆に

$$\Omega=\left(\frac{1}{\gamma_1^{2/3}}\right)^{3/2}\qquad\cdots\cdots(27)$$

とおけば (26) 式は次の如くなる。

$$b=\Omega(V\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/2}\qquad\cdots\cdots(28)$$

故に (28) 式より

$$\left.\begin{aligned}\Omega&=\frac{b}{(V\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/2}} & S&=\left(\frac{b}{\Omega(V\cdot n)^{3/2}}\right)^{4/3}\\ V&=\left(\frac{b}{\Omega(n\cdot\sqrt{S})^{3/2}}\right)^{2/3} & n&=\left(\frac{b}{\Omega(V\cdot\sqrt{S})^{3/2}}\right)^{2/3}\end{aligned}\right\}\qquad\cdots\cdots(29)$$

(2) 流量公式に依る誘導

(a) 水深 H に就ての解式:

$$Q=\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{S}^{1/2}\cdot R^{2/3}\cdot A\qquad\cdots\cdots(29')$$

(1) 式に (7) 式 (11), (12) 式を代入すれば

$$Q=\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{S}^{1/2}\cdot(R_1\cdot H)^{2/3}\cdot A_1H^2$$

$$\therefore\quad H=\left(\frac{Q\cdot n\cdot\sqrt{S}}{R_1^{2/3}\cdot A_1}\right)^{3/8}\qquad\cdots\cdots(30)$$

$$C=\left(\frac{1}{R_1^{2/3}\cdot A_1}\right)^{3/8}\qquad\cdots\cdots(31)$$

とおけば (30) 式は次の如くなる。

$$H=C(Q\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/8}\qquad\cdots\cdots(32)$$

$$\therefore\quad C=\frac{H}{(Q\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/8}}\qquad\cdots\cdots(33)$$

$$\left.\begin{aligned}\therefore\quad Q&=\left(\frac{H}{C(n\cdot\sqrt{S})^{3/8}}\right)^{8/3}\\ S&=\left(\frac{H}{C(Q\cdot n)^{3/8}}\right)^{16/3}\\ n&=\left(\frac{H}{C(Q\cdot\sqrt{S})^{3/8}}\right)^{8/3}\end{aligned}\right\}\qquad\cdots\cdots(34)$$

(30)～(34) 式は一般的断面形のものである。

最有利断面形の場合は断面積 A を 一定 として，流量 Q を最大ならしむる如き敷幅係數 ζ と水深 H を求むればよい。

$$Q=\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{S}^{1/2}\cdot R^{2/3}\cdot A$$

上式に (18) (19) 式を代入すれば

$$Q=\mu\cdot A\left\{\frac{A}{\sqrt{\frac{A}{\zeta+\cot\theta}}\left(\zeta+\frac{2}{\sin\theta}\right)}\right\}^{2/3}\qquad\cdots\cdots(35)$$

$$\therefore\quad Q^3=\frac{\mu^3\cdot A^4(\zeta+\cot\theta)}{\left(\zeta+\dfrac{2}{\sin\theta}\right)^2}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(36)$$

(36) 式は (20) 式と同様に

$$\frac{\zeta+\cot\theta}{\left(\zeta+\dfrac{2}{\sin\theta}\right)^2}=\lambda$$

を最大ならしむる様な ζ が最有利斷面を與ふる。

$$\therefore\quad \zeta^0=2\tan\frac{\theta}{2}$$

$$\therefore\quad H^0=\left(\frac{Q\cdot n\cdot\sqrt{S}}{0.62996\,A^0{}_1}\right)^{3/8}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(37)$$

(b)　敷幅 b に就ての解式:

$$Q=\frac{1}{n}\cdot\frac{1}{S}^{1/2}(\gamma_1 b)^{2/3}a_1 b^2$$

$$\therefore\quad b=\left(\frac{Q\cdot n\cdot\sqrt{S}}{\gamma_1{}^{2/3}\cdot a_1}\right)^{3/8}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(38)$$

玆に

$$\Theta=\left(\frac{1}{\gamma_1{}^{2/3}\cdot a_1}\right)^{3/8}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(39)$$

とおけば

$$b=\Theta(Q\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/8}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(40)$$

$$\therefore\quad \left.\begin{aligned} \Theta&=\frac{b}{(Q\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/8}} & Q&=\left(\frac{b}{\Theta(n\cdot\sqrt{S})^{3/8}}\right)^{8/3}\\ S&=\left(\frac{b}{\Theta(Q\cdot n)^{3/8}}\right)^{16/3} & n&=\left(\frac{b}{\Theta(Q\cdot\sqrt{S})^{3/8}}\right)^{8/3}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(41)$$

圖-2 に示す如く，敷幅 b を，$\zeta\cdot H$ にて表す時は ζ に對する Ψ 及 C は法勾配 m に依つて變化するのみにて $\dfrac{b}{H}=\zeta$ が一定ならば敷幅 b 及び水深 H の數値如何に拘らず一定である。依てその性質を利用し，法勾配と b/H に依りて變化する Ψ 及 C の値を求めて置けば便利である。故に任意の水深 H を有する一般的斷面形水路に於て，$Q\cdot n\cdot S$, H 法勾配 m を與へられる場合は (33) 式より C を求め **表-3** より敷幅係數 ζ を得べく，又 $V\cdot n\cdot S\cdot H\cdot m$ を既知とする場合は (17) 式より，Ψ を求め **表-2** より直ちに ζ を得るから敷幅 b は次式から求められる。

$$b=\zeta\cdot H\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(42)$$

以上の解式は Forchheimers 公式を用ひても同様な事が行ひ得る。

計 算 例 2.

$$\left.\begin{aligned} &Q=5.2291\ \mathrm{m^3/sec}\ (188\ 個)\\ &n=0.03\ 法勾配\ 1:1\\ &H=0.6\ \mathrm{m}\ \ \frac{1}{S}=\frac{1}{600}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots 既知の場合敷幅\ b\ を求む。$$

(33) 式を用ひ C を求める。

$$C=\frac{H}{(Q\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/8}}=\frac{0.60}{(5.2291\times0.03\times\sqrt{600})^{3/8}}=0.36219$$

表-3 より

$$C=0.36323\cdots\cdots\zeta=15$$

$$C=0.35454\cdots\cdots\zeta=16$$

$$\therefore\quad C=0.36219\cdots\cdots\zeta=15.12$$

表-3. C の値に對する ζ の値

$$C=\left(\frac{1}{R_1{}^{2/3}\cdot A_1}\right)^{3/8}=\frac{H}{(Q\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/8}}$$

ζ の値	1 : 0	1 : 0.5	1 : 1	1 : 1.5	1 : 2	1 : 2.5	1 : 3
0.2000	3.330	1.561	1.177	1.002	0.898	0.826	0.773
0.3246*	—	—	—	—	—	—	0.758
0.3852*	—	—	—	—	—	0.799	—
0.4720*	—	—	—	—	0.847	—	—
0.5000	1.939	1.286	1.048	0.923	0.842	0.784	0.739
0.6054*	—	—	—	0.900	—	—	—
0.8284*	—	—	0.948	—	—	—	—
1.0000	1.316	1.041	0.907	0.826	0.770	0.727	0.692
1.2362*	—	0.967	—	—	—	—	—
1.5000	1.062	0.901	0.814	0.757	0.714	0.681	0.653
2.0000*	0.917	0.809	0.746	0.703	0.671	0.644	0.621
2.5000	0.821	0.742	0.694	0.661	0.635	0.613	0.594
3.0000	0.753	0.691	0.653	0.626	0.605	0.586	0.570
3.5000	0.700	0.651	0.620	0.597	0.579	0.563	0.550
4.0000	0.658	0.617	0.591	0.572	0.557	0.543	0.531
4.5000	0.624	0.589	0.567	0.551	0.537	0.525	0.515
5.0000	0.595	0.565	0.546	0.532	0.520	0.510	0.500
6.0000	0.549	0.526	0.508	0.500	0.490	0.482	0.475
7.0000	0.513	0.495	0.483	0.474	0.466	0.460	0.453
8.0000	0.485	0.470	0.459	0.451	0.446	0.440	0.435
9.0000	0.461	0.448	0.440	0.433	0.428	0.423	0.419
10.0000	0.441	0.430	0.423	0.417	0.413	0.409	0.405
12.0000	0.409	0.401	0.395	0.391	0.387	0.384	0.381
14.0000	0.384	0.377	0.373	0.369	0.366	0.364	0.361
15.0000	—	—	0.363	0.360	0.358	—	—
16.0000	0.364	0.358	0.355	0.352	0.349	0.347	0.345
18.0000	0.347	0.342	0.339	0.337	0.335	0.333	0.331
20.0000	0.333	0.329	0.326	0.324	0.322	0.321	0.319
22.5000	0.318	0.314	0.312	0.310	0.309	0.307	0.306
25.0000	0.305	0.302	0.300	0.298	0.297	0.296	0.295
27.5000	0.294	0.291	0.289	0.288	0.287	0.286	0.285
30.0000	0.284	0.281	0.280	0.279	0.278	0.277	0.276
35.0000	0.267	0.265	0.264	0.263	0.262	0.261	0.261
40.0000	0.254	0.252	0.251	0.250	0.250	0.249	0.249
45.0000	0.243	0.241	0.240	0.240	0.239	0.239	0.238
50.0000	0.233	0.232	0.231	0.230	0.230	0.229	0.229
60.0000	0.217	0.216	0.216	0.215	0.215	0.215	0.214
70.0000	0.205	0.204	0.203	0.203	0.203	0.203	0.202
80.0000	0.195	0.194	0.194	0.193	0.193	0.193	0.193
90.0000	0.186	0.185	0.185	0.185	0.185	0.185	0.184
100.0000	0.179	0.178	0.178	0.178	0.178	0.177	0.177
120.0000	0.167	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166	0.166
140.0000	0.157	0.157	0.157	0.157	0.157	0.156	0.156
160.0000	0.150	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149	0.149
180.0000	0.143	0.143	0.143	0.143	0.143	0.142	0.142
200.0000	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137	0.137
225.0000	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131	0.131
250.0000	0.126	0.126	0.126	0.126	0.126	0.126	0.126
300.0000	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118	0.118

* 印又は under line あるものは最有利斷面形のもの。

$\therefore\quad b=\xi\cdot H=15.12\times 0.6=9.07\ \mathrm{m},\qquad B=b+2\,Hm=10.27\ \mathrm{m}$

$A=H^2(\xi+m)=5.802\ \mathrm{m}^2,\qquad V=\dfrac{Q}{A}=0.90\ \mathrm{m/sec}$

計算例 3.

水路に橋脚の如き工作物を設置する時起る堰上背水を求める。

$Q=360\ \mathrm{m^3/sec}$ $\sum B=60\ \mathrm{m}$ $H=2\ \mathrm{m}$ なる河川に $t=3\ \mathrm{m}$ の 2 橋脚を等間隔に設置したる場合の背水位 δ を求む。

圖-4. 流速計算圖表

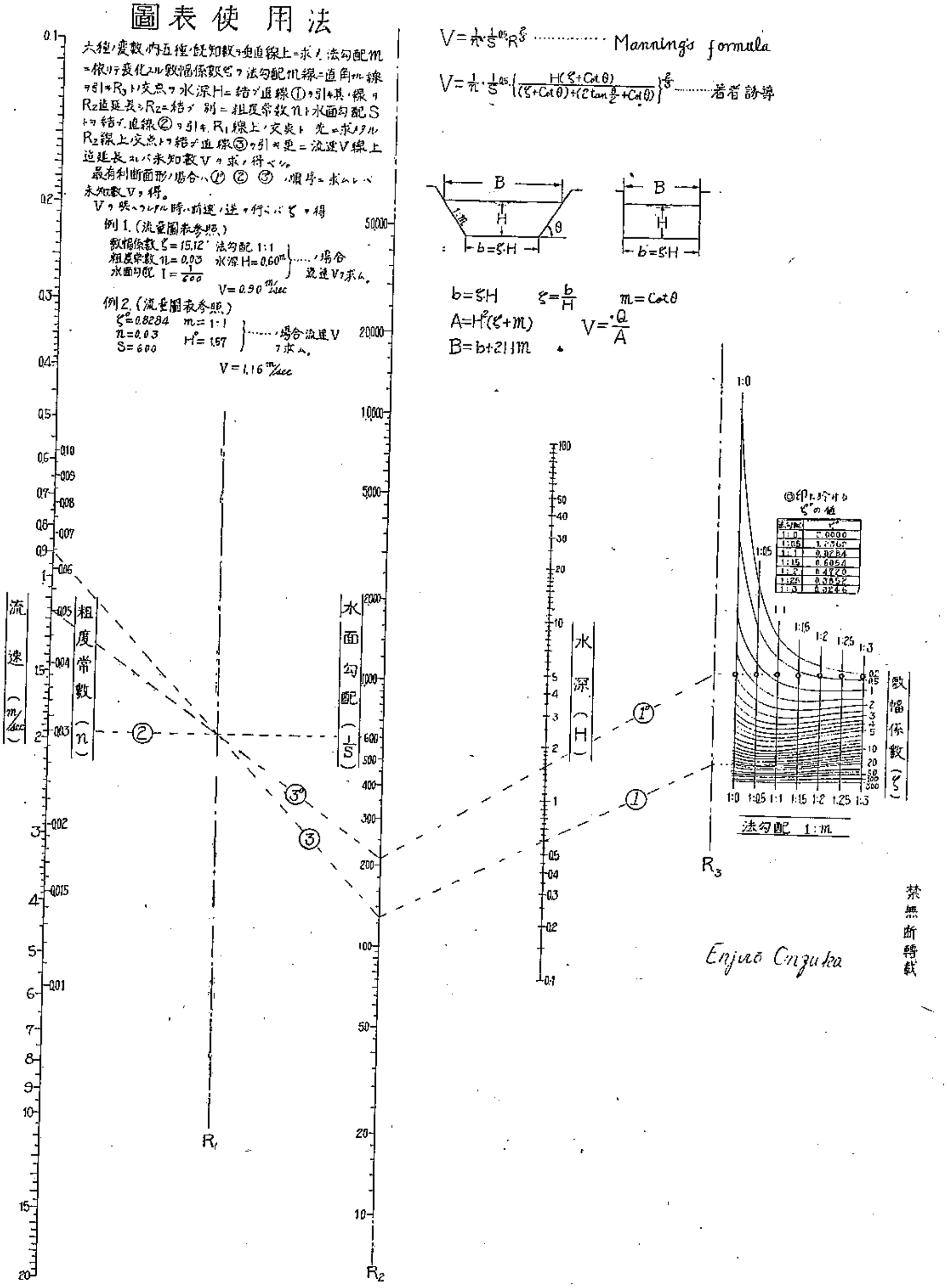
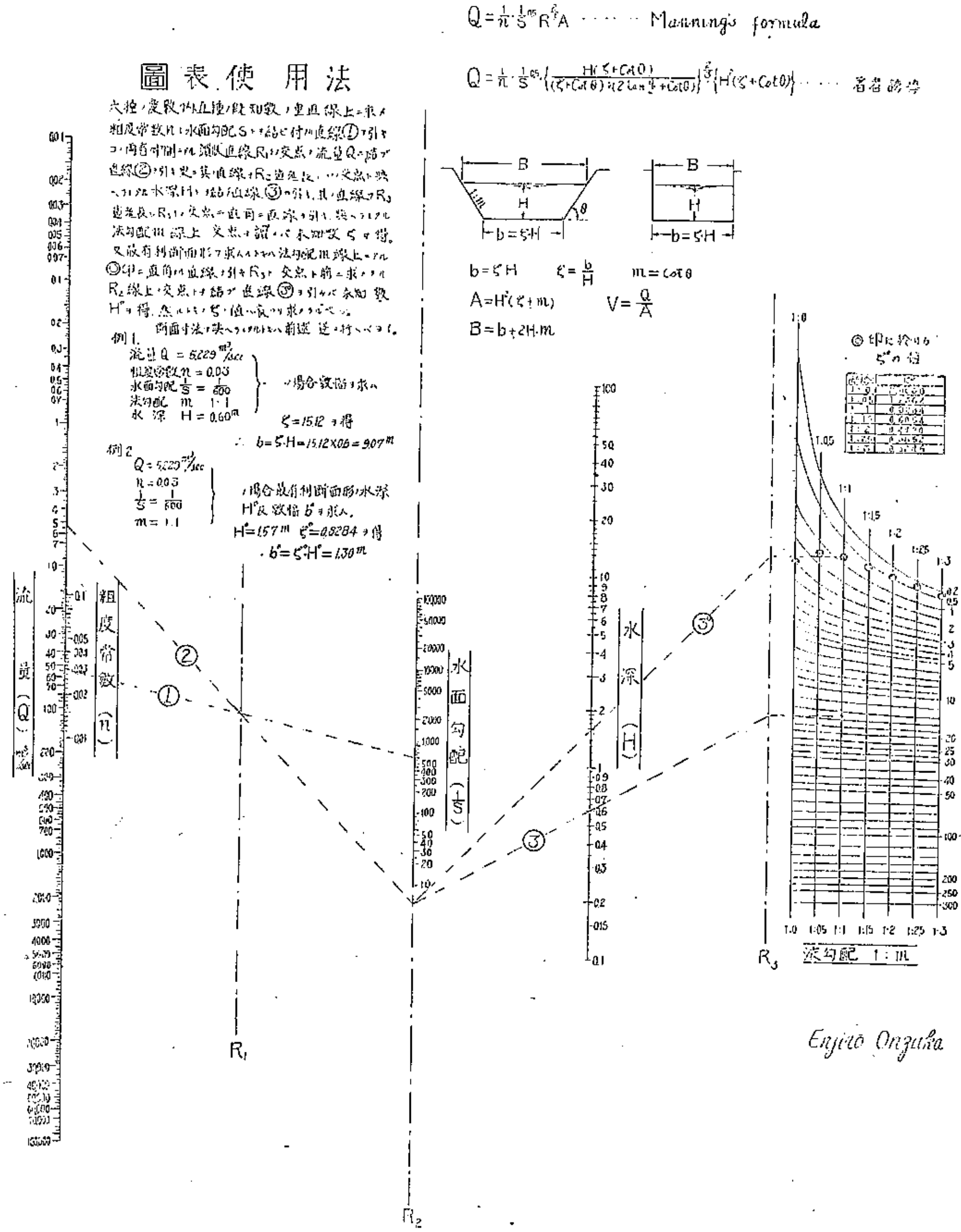


圖-5.　流量計算圖表



$$\zeta=\frac{B}{H}=\frac{60}{2}=30$$

故に表-3 より $C=0.28335$ を得。水面勾配は不明であるから $n=0.015$ と假定して I を求める。

(34) 式より

$$S=\left(\frac{H}{C(Q\cdot n)^{3/8}}\right)^{16/3}=\left(\frac{2}{0.28335(360\times0.015)^{3/8}}\right)^{16/3}=1\,141.7$$

$$Q_1=\frac{360}{3}=120\ \mathrm{m^3/sec}\qquad b=18\ \mathrm{m}\qquad \therefore\ I=\frac{1}{S}=\frac{1}{1\,141.7}$$

であるから (41) から

$$\Theta=\frac{b}{(Q\cdot n\cdot\sqrt{S})^{3/8}}=\frac{18}{(120\times0.015\times\sqrt{1\,141.7})^{3/8}}=3.8569$$

(39) 式の　$\Theta=\left(\frac{1}{\gamma_1^{2/3}\cdot a_1}\right)^{3/8}$ を用ひ計算すれば

敷幅 $b=1.0$ 水深係數 $\xi=0.1262$ の場合 $\Theta=3.8569$ を得。

$$\therefore\quad H=\xi\cdot b=0.1262\times18=2.2716\text{ m}$$

橋脚の斷面積に依る係數 $S=0.7$ を採用すれば

$$z=0.2716\times0.7=0.190\text{ m}$$

本例では $n=0.015$ を採用したが n は如何なる數値を採つても $z=0.19$ m に變化はない。

尚橋脚を無視し幅 54 m の矩形水路として求めて見れば

$$\Theta=\frac{54}{(360\times0.015\times\sqrt{1\,141.7})^{3/8}}=7.664$$

(39) 式を使用して $b=1.0$　$\xi=0.0396\,5$ の場合 $\Theta=7.664$ を得。

$$\therefore\quad H=\xi\cdot b=0.0396\,5\times54=2.141\text{ m}$$

$$\therefore\quad z=0.141\text{ m}$$

橋脚に依る背水位 z を在來公式に依り求めたものと比較すれば次の如し。

計算者	d'Aubuisson	Rühlman	Wex	Losend	Rehbock	物部博士	隱塚
z	0.36 m	0.14	0.15	0.18	0.065	0.217	0.19 m

第三解法

本解法は圖表に依る解法であつて，第二解法に依る誘導式に依り作成したものであるが，同樣なる方法を以てホルヒハイマー氏公式其他の公式も圖表化出來るが玆には省略する。