

# 論 説 報 告

第 23 卷 第 10 號 昭和 13 年 10 月

## 各種断面形状下水渠の共通勾配式に就て

會員 北 澤 貞 吉\*

On Gradient Formulas Common to Sewers of Various Shapes of Cross-Section

By Teikiti Kitasawa, C. E., Member.

**要 旨** 断面形状の異なる 16 種の暗渠と 4 種の開渠との 20 種の代表形状コンクリート製下水渠を選び、何れも流量最大なる流深時に於て、渠内の磨損乃至は汚物の沈澱を起さざる範囲の流速を生じ得べき各種断面に共通する勾配式を、指数流速公式を用ひて渠半径  $r$  の函數式  $i=1/Cr^{m/n}$  として作製提唱したもので、其の誘導過程を説明したものである。

### 1. 總 説

下水渠とか排水渠或は灌漑用管渠等の勾配に關して本邦で實地に用ひて居るものは、直径何程から何程迄の管渠にはどれ丈の勾配といふ様なやり方であつて、實地の經驗あるものでなくては一寸推定が出来難い。それで著者は之を適當な數式で現はし度いと考へ、曩には円形管のみの直径の函數式として發表したのであるが、<sup>(1)</sup> 更に歩を進めて之を凡ゆる断面形状渠に擴張して見たところ、曩に發表した円形渠用勾配式をも抱括した各種断面形状渠に共通の勾配式を作製するの可能なるを知り、次の行程を経て之を作製した。

元來勾配は流速を定めるものであるから、流速の限定さへ出来れば上記の願は可能な筈である。而して渠内流速は小は汚物、土砂等の沈澱を防止するを要し、大は渠底の磨損を生じないやうにしなければならぬ。先づ最小流速に就て考ふるに、水底に沈澱してゐる物質を移動せしむる限界流速は佛の Du Buat 氏の夙に實驗したところで、表-1 に示す通りである。

茲に問題にしてゐる管渠内には相當大粒の土砂並に其他の塵芥が流れるから、少くとも 0.6 m/sec 以上の流速を與へなくては沈澱してしまふ。之を實例に見るに、<sup>(2)</sup> Burdick 氏は 0.45~0.9 m/sec 主として 0.6 m/sec を、Earl 氏は 0.6 m/sec を、Fuller 氏は 0.6~0.75 m/sec を、Grunsky 氏は 0.6 m/sec を、Hatton 氏は 0.5~0.7 m/sec を Potter 氏は 0.6~0.75 m/sec を、

表-1. 土砂の移動を始むる流速  
(Du Buat 氏による)

材 料	水底流速	平均流速
軟 質 粘 土	0.0625 m/sec	0.1 m/sec
細 砂	0.1	0.13
豌豆大の砂粒	0.15	0.20
蠶豆大の砂粒	0.3	0.40
径 25 mm 大の砂利	0.64	0.84
径 38 mm 大の小石	0.9	1.14

Metcalf & Eddy 兩氏は 0.5~0.65 m/sec を主張し、本邦の實例では何れも 0.6 m/sec 内外を最小限度として居る。

之に反して最大流速は土砂が渠底を流れる際に之を磨損するので、2~2.5 m/sec を限度としてゐる所が多い。例

\* 熊本高等工業学校教授 工学士

(1) T. Kitasawa:— On the Gradient of Water Pipes Carrying Sediments. 第 3 回工学会大會講演集 昭和 11 年 7 月, p. 642.

へば<sup>(1)</sup> Rankin 氏は 1.4m/sec を, Raulinson 氏は 1.2~1.8m/sec を, Folwell 氏は 2.4~3.7 m/sec を, 英國の實例では 1.8m/sec を限度としてゐる。本邦では多くは 2 m/sec 内外のやうである。

又標準流速は如何といふに<sup>(2)</sup> Adams, Beardmore, Phillip の諸氏は 0.75~0.90 m/sec を, B. Latham, Gebhard, Philbrick の諸氏は 0.6~0.9 m/sec を, Rankin 氏は 0.8~1.2 m/sec を, Folwell 氏は 0.9~1.5 m/sec を夫々理想としてゐる。本邦の如きも 1 m/sec 内外を以て標準としてゐるやうである。

仍つて著者は標準流速を  $v_s=1$  m/sec, 最大流速を  $v_{max}=2.5$  m/sec, 最小流速を  $v_{min}=0.6$  m/sec を採用することとした。

次に本論文に於て採用した下水渠の断面形状は, (1) 円形 (2) 標準卵形 (3) 倒卵形 (4) 新卵形 (5) 廣卵形 (6) 縦橢円形 (7) カテナリー形 (8) 半楕円形 (9) 馬蹄形 (10) 獨樂形 (11) 巴里下水渠形 (12) 横橢円形 (13) 半円形 (14) 截頭卵形 (15) 矩形 (16) 方形等の各種暗渠と, (17) 半円形 (18) 丸底梯形 (19) 水深大なる丸底梯形 (20) 三角形等の開渠の合計 20 種の形状渠である。而して暗渠に於ては自然流下の場合流量最大となる流深を定め, 開渠に於ては特別の場合を除く限り最も經濟的断面即ち 径深=水深/2 なる條件を得る如き流深を定め, 渠内に沈澱乃至磨損の生ずることなからしむる爲の勾配を算定した。

勾配算定には指數公式 (著者は Manning 式, Forchheimer 式, Hazen & Williams 式及 Tutton 式の 4 種を用ひた) の一般式  $v=\zeta R^m J^k$  を応用して次式を作り

$$i=v^{1/k}/(\zeta^{1/k} R^{m/k}) \dots\dots\dots(1)$$

茲に  $i$ : 渠底勾配, (管渠の如き一様断面のものには水面勾配  $J$  と同一と見做すも差支へない)。

$v$ : 流速 (m/sec),  $R$ =径深 (m)。

$\zeta$ : 管渠内面の粗度による係数にして, 本論文には現時最も多く用ひられるコンクリート渠の場合を論ずることとした。従つてマンニング式及フォルヒハイマー式には  $\zeta=1/n$  で  $n=0.013$ , ヘーゼン・ウィリアムス式には  $\zeta=110$ , タットン式には  $\zeta=77$  とした。

但しタットン式は  $v=30.8 d^{0.66} J^{0.51}$  で, 円形渠用式であるのを著者が一般化して  $d=4R$  を代入して  $v=77 R^{0.66} J^{0.51}$  と変形したものである。

$m$  及  $k$  は何れも定數で表-2 の如くである。

表-2.

	$m$	$k$
マンニング式	2/3	1/2
フォルヒハイマー式	0.7	0.5
ヘーゼン・ウィリアムス式	0.63	0.54
タットン式	0.66	0.51

之に上記流量最大時の径深  $R$  を次節の如くして求めて代入すれば,  $\zeta$  はコンクリートの場合にて定數,  $v$  も 1, 2.5, 0.6 m/sec にて之亦定數なるを以て, 勾配は單に径深  $R$  のみの函數となる。然るに以下論ずる如く  $R=\alpha r$  なる形に表はし得るが故に, 何れも渠半径  $r$  の函數となり, 従つて勾配式は次の如き一般形となし得る理である。 $\alpha$  は或定數。

$$i=v^{1/k}/\left\{\zeta^{1/k}(\alpha r)^{m/k}\right\}=1/C^m r^{m/k} \dots\dots\dots(2)$$

茲に  $C^m = \text{定數} = \alpha^{m/k}/(\zeta^{1/k} v^{1/k})$

之を応用して前記 4 種の流速公式に據る式で表せば

マンニング式を用ふるものにて於ては

<sup>(1)</sup> 多くの下水工学書に散見せられる。例へば  
 Metcalf and Eddy:— American Sewerage Practice, Vol. I, p.p. 118~121.  
 A. P. Folwell:— Sewerage. 11 th. Ed., 1936, p.p. 59~61.  
 W. Geissler:— Kanalisation und Abwasserreinigung, 1933, S. 46~48.

$$\left. \begin{aligned} i_M &= v^2 n^2 / (\alpha r)^{4/3} = 1 / C^2 r^{4/3} \\ C &= \alpha^{4/3} / (v n)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-M)$$

フォルハイマー式によるものに於ては

$$\left. \begin{aligned} i_F &= v^2 n^2 / (\alpha r)^{1.4} = 1 / C^2 r^{1.4} = 1 / C^2 r^{7/5} \\ C &= \alpha^{1.4} / (v n)^2 = \alpha^{7/5} / (v n)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-F)$$

ヘズン・ウィリアムズ式を応用するものに在ては

$$\left. \begin{aligned} i_{H-W} &= v^{1/0.54} / [110^{1/0.54} (\alpha r)^{0.63/0.54}] = 1 / [(110/v)^{1.862} (\alpha r)^{7/6}] = 1 / C^2 r^{7/6} \\ C &= \alpha^{7/6} / (v/110)^{1.862} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-H-W)$$

又タットン式を用ふるものにては

$$\left. \begin{aligned} i_T &= v^{1/0.51} / [77^{1/0.51} (\alpha r)^{0.66/0.51}] = 1 / [(77/v)^{1.961} (\alpha r)^{22/17}] = 1 / C^2 r^{22/17} \\ C &= \alpha^{22/17} / (v/77)^{1.961} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2-T)$$

2. 流量最大 (Q<sub>max</sub>) を與ふる流深の決定

I. 暗渠の場合

管渠の流水断面積を A, 流速を v とすれば, 流量は Q = Av で表はされ, 之の最大となる如き流深を求むればよい。然るに暗渠に於ては直接水深を出すよりも, Q<sub>max</sub> を與ふべき水面の挟む角度を求める方が易いから其の方法をとつた。

1. 円形渠 図-1 に於て水面の挟む中心角を ω とし, 其の流水断面積, 潤邊及径深を出せば

流水断面積  $A_\omega = 1/2 \cdot r^2 (\omega - \sin \omega)$   
 潤 邊  $p_\omega = r \omega$   
 径 深  $R_\omega = r \frac{\omega - \sin \omega}{2\omega} \dots\dots\dots (3)$   
 流 量  $Q = Av = A \cdot C R^m J^k$

而して流量最大なるためには

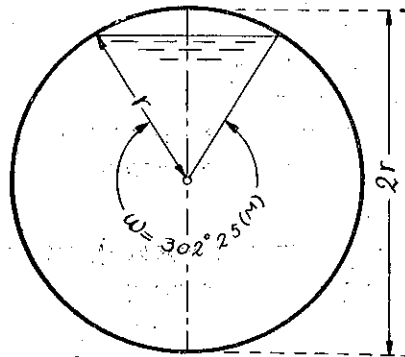
$$Q_{\max} : - \frac{\partial(A \cdot v)}{\partial \omega} = \frac{\partial}{\partial \omega} (\omega - \sin \omega) (1 - \sin \omega / \omega)^m = 0$$

對數微分法を應用すれば比較的簡單に此の結果を得る。即

$$\begin{aligned} y &= (\omega - \sin \omega) (1 - \sin \omega / \omega)^m \\ \log y &= \log (\omega - \sin \omega) + m \log (1 - \sin \omega / \omega) \\ y' &= \frac{\partial(A \cdot v)}{\partial \omega} = y \left[ \frac{1 - \cos \omega}{\omega - \sin \omega} + m \left( \frac{\sin \omega / \omega - \cos \omega}{\omega - \sin \omega} \right) \right] = 0 \\ \frac{1 - \cos \omega}{\omega - \sin \omega} + m \frac{(\sin \omega / \omega - \cos \omega)}{\omega - \sin \omega} &= 0 \end{aligned}$$

or  $1 + m \sin \omega / \omega = (1 + m) \cos \omega$

図-1. 円形渠の Q<sub>max</sub> を與ふる場合



$\theta = 301^\circ 27'$  for Forchheimer  
 $\theta = 303^\circ 34'$  for Hazen & Williams  
 $\theta = 302^\circ 37'$  for Tutton

之を解くに良法はないので挿入法にて ω の値を求めるより他仕様がな。以下使用する流速公式毎に之を定めると表-3 の如くなる。但し m は径深の指數定數で各流速公式によつて異り, 前述の如き値をとる。

表-3. 円形渠にて  $Q_{max}$  を與ふる角度算定表

$\omega$	マンニング式		フォルヒハイマー式		ヘズン・ウィリアムズ式		タットン式	
	$1+2/3 \times \sin \omega/\omega$	$5/3 \cdot \cos \omega$	$1+0.7 \times \sin \omega/\omega$	$1.7 \cos \omega$	$1+0.63 \times \sin \omega/\omega$	$1.63 \cos \omega$	$1+0.66 \times \sin \omega/\omega$	$1.66 \cos \omega$
301°	0.8912	0.8584	0.8858	0.8756	0.8972	0.8395	0.8923	0.8550
302	0.8927	0.8832	0.8874	0.9009	0.8986	0.8638	0.8938	0.8797
303	0.8943	0.9077	0.8890	0.9253	0.9001	0.8878	0.8953	0.9041

之等を資料としてグラフを書き各 1 對の曲線群の交點を求めれば、図-2 の如く

マンニング式には  
 $\omega_M = 302^\circ 25'$   
 フォルヒハイマー式には  
 $\omega_F = 301^\circ 27'$   
 ヘズン・ウィリアムズ式には  
 $\omega_{H-W} = 303^\circ 34'$   
 タットン式には  
 $\omega_T = 302^\circ 37'$

となり、之を(3)式に代入計算すれば各の径深は

マンニング式には  $R_M = 0.5800r$   
 フォルヒハイマー式には  $R_F = 0.5811r$   
 ヘズン・ウィリアムズ式には  $R_{H-W} = 0.5786r$   
 タットン式には  $R_T = 0.5797r$

となる。

2. 標準卵形渠 図-3 を取り、水面が OB 線上角  $\theta$  だけにあるときの A, p, R を出せば

$$\begin{aligned} A\theta &= r^2(\theta + 1/2 \sin 2\theta + 3.0233) \\ p\theta &= r(2\theta + 4.7883) \\ R\theta &= r \frac{\theta + 1/2 \cdot \sin 2\theta + 3.0233}{2\theta + 4.7883} \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

故に  $Q_{max}:- \frac{\partial(Av)}{\partial\theta} = \frac{\partial}{\partial\theta} \left[ \frac{(\theta + 1/2 \cdot \sin 2\theta + 3.0233)^{1+m}}{(\theta + 2.3943)^m} \right] = 0$

円形渠の場合と同様に對數微分法を行へば

$$(1+m) \cdot 1 + \cos 2\theta (\theta + 2.3943) = m(\theta + 1/2 \sin 2\theta + 3.0233)$$

図-2. 円形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度決定図表

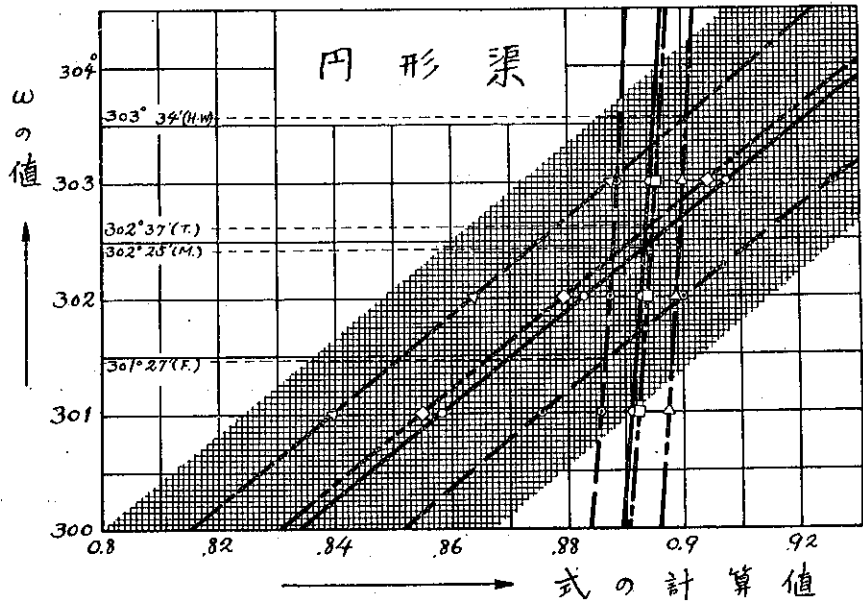
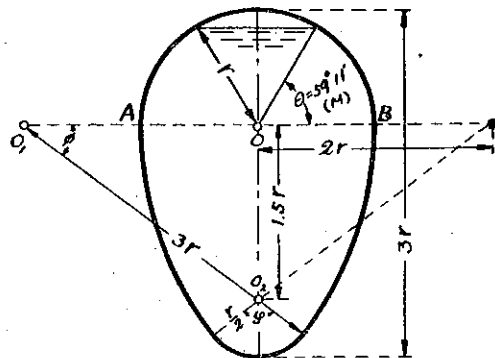


図-3. 標準卵形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる場合



$\theta = 58^\circ 40'$  for Forchheimer  
 $\theta = 59^\circ 48'$  for H. & Williams  
 $\theta = 59^\circ 18'$  for Tutton

之に對して4種類の流速式を用ひて表-4を算出し、図-4を畫けばθを求めることが出来る。

表-4. 標準卵形渠にて  $Q_{max}$  を與ふる角度計算表

θ	マンニング式		フォルハイマー式		ヘーズン・ウィリアムス式		タットン式	
	$\frac{5}{8}(1+\cos 2\theta) \times (\theta+2.3942)$	$\frac{2}{8}(\theta+1/2) \times \sin 2\theta + 3.0233$	$\frac{1.7}{8}(1+\cos 2\theta) \times (\theta+2.3942)$	$\frac{0.7}{8}(\theta+1/2) \times \sin 2\theta + 3.0233$	$\frac{1.63}{8}(1+\cos 2\theta) \times (\theta+2.3942)$	$\frac{0.63}{8}(\theta+1/2) \times \sin 2\theta + 3.0233$	$\frac{1.66}{8}(1+\cos 2\theta) \times (\theta+2.3942)$	$\frac{0.66}{8}(\theta+1/2) \times \sin 2\theta + 3.0233$
58°	3.1885	2.9898	3.2524	3.1393	3.1185	2.8254	3.1759	2.9599
59	3.0273	2.9962	3.0881	3.1469	2.9607	2.8314	3.0154	2.9662
60	2.8677	3.0022	2.9252	3.1523	2.8047	2.8370	2.8564	2.9721

其の結果は

マンニング式には

$$\theta_M = 59^\circ 11'$$

フォルハイマー式には

$$\theta_F = 58^\circ 40'$$

ヘーズン・ウィリアムス式

$$\text{には } \theta_{H-W} = 59^\circ 48'$$

タットン式には

$$\theta_T = 59^\circ 18'$$

之を(4)式に代入すれば径深は夫々

マンニング式に對し

$$R_M = 0.6560 r$$

フォルハイマー式に對し

對し

$$R_F = 0.6570 r$$

ヘーズン・ウィリアムス式に對し

$$R_{H-W} = 0.6547 r$$

タットン式に對し

$$R_T = 0.6557 r$$

を得る。

3. 倒卵形渠 図-5を取り水面がOE線上にθだけにあるとすれば

$$\phi = \arctan 1.5/2 = 36^\circ 52' 11.6''$$

$$\varphi/2 = \arctan 2/1.5 = 53^\circ 7' 48''$$

$$\therefore \varphi = 106^\circ 15' 36''$$

$$A\theta = r^2[1/4 \cdot \theta + 1/8 \cdot \sin(\varphi - 2\theta) + 9\phi - 3 + \pi/2]$$

$$= r^2[1/4 \cdot \theta + 1/8 \cdot \sin(\varphi - 2\theta) + 4.3623]$$

$$p\theta = r(\theta + 6\phi + \pi) = r(\theta + 7.0026)$$

$$R\theta = r \frac{1/4 \cdot \theta + 1/8 \cdot \sin(\varphi - 2\theta) + 4.3623}{\theta + 7.0026} \dots (5)$$

図-4. 標準卵形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度決定図表

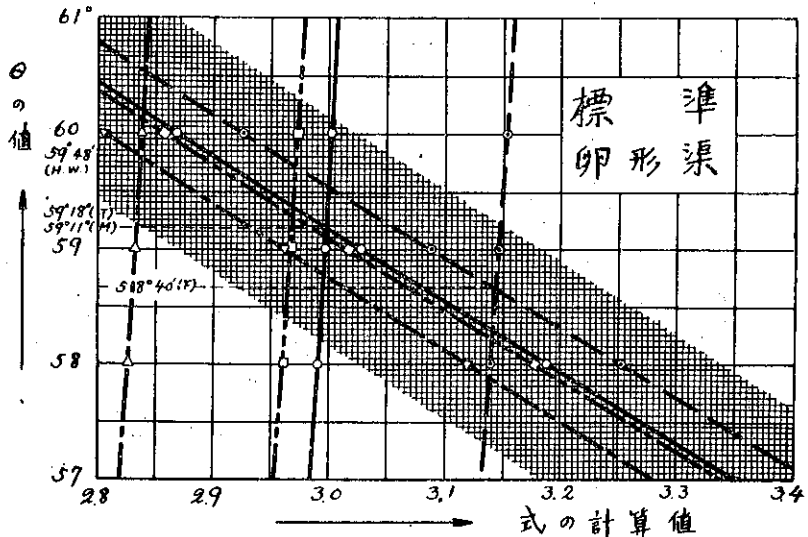
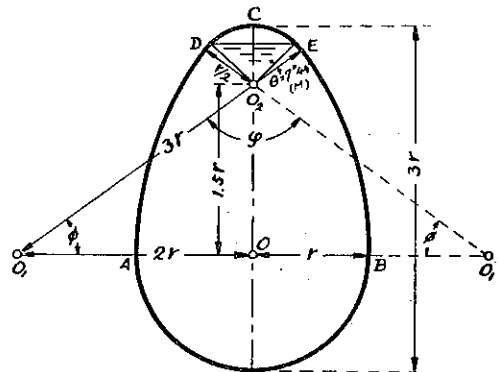


図-5. 倒卵形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる場合



θ = 6° 51' for Forchheimer  
 θ = 8° 46' for H. & Williams  
 θ = 7° 55' for Tutton

故に  $Q_{max} := \frac{2}{\theta\theta} \left[ \frac{(1/4 \cdot \theta + 1/8 \sin(\varphi - 2\theta) + 4.3623)^{1+m}}{(\theta + 7.0026)^m} \right] = 0$   
 or  $(1+m)[1 - \cos(\varphi - 2\theta)](\theta + 7.0026) = m(\theta + 1/2 \cdot \sin(\varphi - 2\theta) + 4 \times 4.3623)$   
 之を便宜上  $(1+m)A = mB$  と書き表はす (以下同じ)。  
 本式に對して表-5 を算出して図-6 を畫けば、各1對の曲線群の交點より  $\theta$  を得る。

表-5. 倒卵形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度計算表

$\theta$	マンニング式		フォルヒハイマー式		ヘーゼン・ウィリアムス式		タットン式	
	$(1+2/3)A$	$2/3 B$	$(1+0.7)A$	$0.7 B$	$(1+0.63)A$	$0.63 B$	$(1+0.66)A$	$0.66 B$
7°	12.3429	12.0473	12.5898	12.6497	12.0714	11.3847	12.2985	11.9269
8	11.9577	12.0592	12.1969	12.6622	11.6947	11.3959	11.9099	11.9386
9	11.5705	12.0707	11.8019	12.6742	11.3159	11.4068	11.5242	11.9500

図-6. 倒卵形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度決定図表

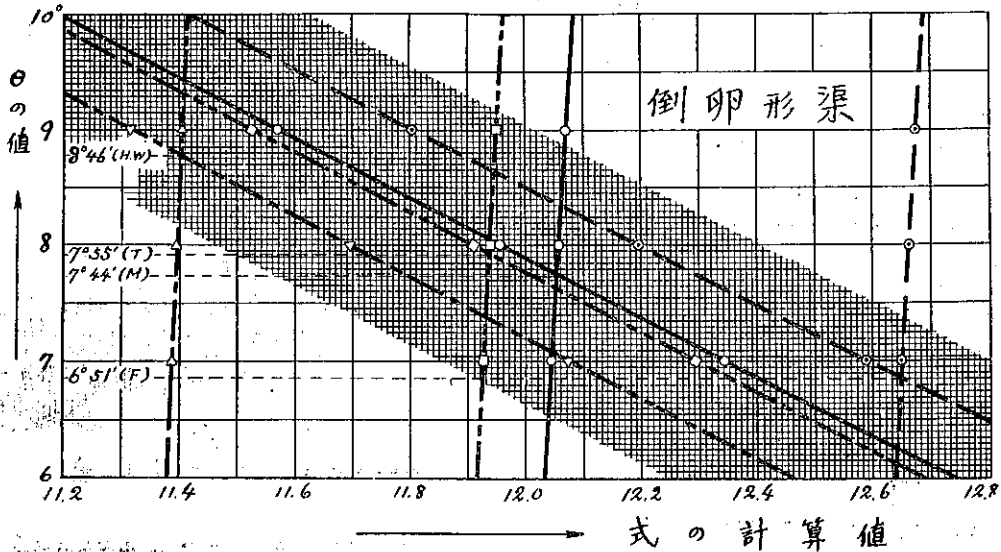
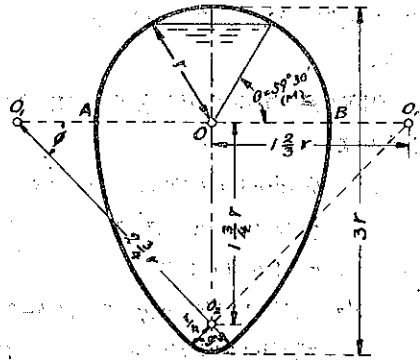


図-7. 新卵形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる場合



其の結果は

$\theta_M = 7^\circ 44'$ ,  $\theta_F = 6^\circ 51'$

$\theta_{H-W} = 8^\circ 46'$ ,  $\theta_T = 7^\circ 55'$

之を(5)式に代入すれば

$B_M = 0.6217r$ ,  $R_F = 0.6238r$

$R_{H-W} = 0.6192r$ ,  $R_T = 0.6212r$

となる。

4. 新卵形渠 図-7 に於て

$\varphi/2 = \arctan 20/21 = 43^\circ 36' 10''$

$\varphi = 87^\circ 12' 20''$

$A = r^2(\theta + 1/2 \sin 2\theta + 2.8832)$

$B = r(2\theta + 4.6947)$

$\theta = 58^\circ 58'$  for Forchheimer  
 $\theta = 60^\circ 6'$  for H. & Williams  
 $\theta = 59^\circ 37'$  for Tutton

$$R_\theta = r \frac{\theta + 1/2 \sin 2\theta + 2.8832}{2\theta + 4.6947} \dots \dots \dots (6)$$

故に  $Q_{max}$  は同様にして

$$(1+m)(1+\cos 2\theta)(\theta+2.3474)=m(\theta+1/2 \sin \theta + 2.8832)$$

本式を表-6 及 図-8 で解いて  $\theta$  を定める。

表-6. 新卵形渠にて  $Q_{max}$  を與ふる角度計算表

$\theta$	マンニング式		フォルヒハイマー式		ヘズン・ウヰリアムス式		タットン式	
	5/3 A	2/3 B	1.7 A	0.7 B	1.63 A	0.63 B	1.66 A	0.26 B
58°	3.1448	2.8966	3.2077	3.0414	3.0756	2.7873	3.1322	2.8676
59	2.9861	2.9029	3.0458	3.0481	2.9204	2.7433	2.9741	2.8739
60	2.8288	2.9089	2.8854	3.0544	2.7606	2.7490	2.8175	2.8799

其の結果は  $\theta_M=59^\circ 30'$ ,  $\theta_F=58^\circ 58'$ ,  $\theta_{H-W}=60^\circ 6'$ ,  $\theta_T=59^\circ 37'$

で、之を (6) 式に代入すれば

$$R_M=0.6437r, \quad R_F=0.6448r, \quad R_{H-W}=0.6425r, \quad R_T=0.6435r$$

となる。

5. 廣卵形渠 図-9 を取り

$$A_\theta = r^2(\theta + 1/2 \cdot \sin 2\theta + 2.4113), \quad p_\theta = r(2\theta + 4.0621)$$

$$R_\theta = r \frac{\theta + 1/2 \cdot \sin 2\theta + 2.4113}{2\theta + 4.0621} \dots \dots \dots (7)$$

図-8. 新卵形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度決定図表

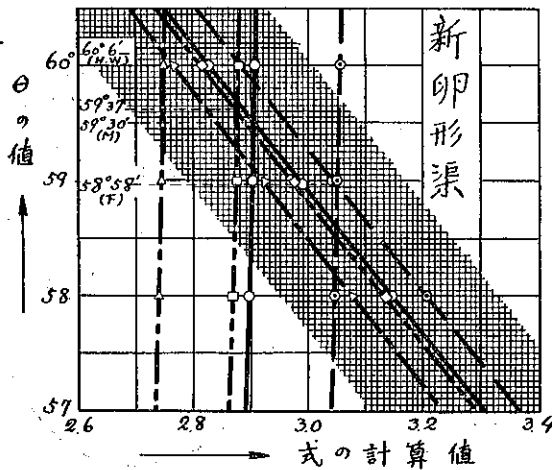
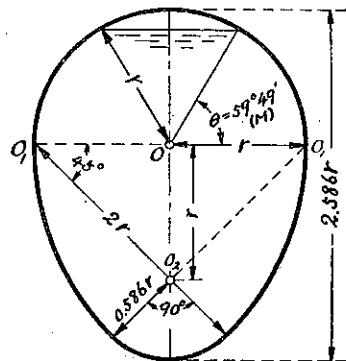


図-9. 廣卵形渠にて  $Q_{max}$  を與ふる場合



$\theta = 59^\circ 17'$  for Forchheimer  
 $\theta = 60^\circ 23'$  for H. & Williams  
 $\theta = 59^\circ 34'$  for Tutton

$$Q_{max} : (1+m)(1+\cos 2\theta)(\theta+2.03105)=m(\theta+1/2 \sin 2\theta + 2.4113)$$

本式に對し表-7 及 図-10 を用ひて  $\theta$  を算定する。

図-10. 廣卵形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度決定図表

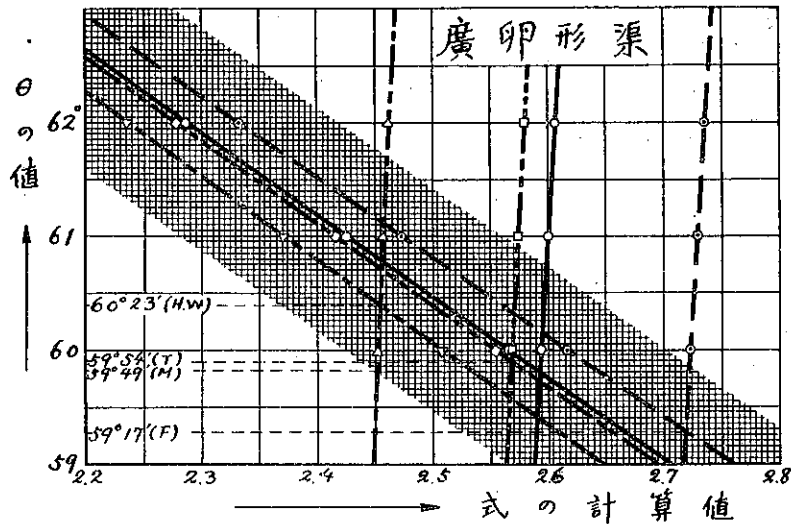


表-7. 廣卵形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度計算表

θ	マンニング式		フォルヒハイマー式		ヘーゼン・ウネリアムス式		タットン式	
	5/3 A	2/3 B	1.7 A	0.7 B	1.63 A	0.63 B	1.66 A	0.66 B
60°	2.5652	2.5943	2.6165	2.7241	2.5088	2.4517	2.5549	2.5684
61	2.4254	2.6000	2.4739	2.7300	2.3720	2.4570	2.4157	2.5740
62	2.2872	2.6053	2.3329	2.7355	2.2369	2.4620	2.2780	2.5792

其の結果は  $\theta_M = 59^\circ 49'$ ,  $\theta_F = 59^\circ 17'$ ,  $\theta_{H-W} = 60^\circ 23'$ ,  $\theta_T = 59^\circ 54'$

で、之を (7) 式に代入計算すれば

$$R_M = 0.6325 r, \quad R_F = 0.6336 r, \quad R_{H-W} = 0.6313 r, \quad R_T = 0.6323 r$$

となる。

6. 縦楕円形渠 図-11 に於て

$$\varphi/2 = \arccos 10/13 = 59^\circ 43' 5''$$

$$\therefore \varphi = 79^\circ 26' 10''$$

$$\phi/2 = \arcsin 10/13 = 50^\circ 17' 5''$$

$$\therefore \phi = 100^\circ 43' 10''$$

$$\Delta\theta = r^2[\theta + 1/2 \sin(\varphi - 2\theta) + 5.0566]$$

$$P\theta = r(2\theta + 7.1788)$$

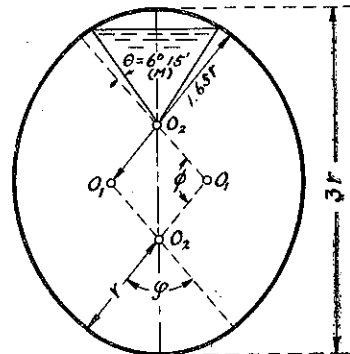
$$R\theta = r \frac{\theta + 1/2 \sin(\varphi - 2\theta) + 5.0566}{2\theta + 7.1788} \dots\dots\dots (8)$$

$$Q_{max} : - (1+m)[1 - \cos(\varphi - 2\theta)](\theta + 3.5894)$$

$$= m(\theta + 1/2 \sin(\varphi - 2\theta) + 5.0566)$$

表-8 及 図-12 を用ひて  $\theta$  を定める。

図-11. 縦楕円形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる場合



$\theta = 5^\circ 38'$  for Forchheimer  
 $\theta = 6^\circ 55'$  for H. & Williams  
 $\theta = 6^\circ 20'$  for Tutton



表-8. 縦楕円形渠にて  $Q_{max}$  を與ふる角度計算表

$\theta$	マンニング式		フォルヒハイマー式		ヘーズン・ウィリアムズ式		タットン式	
	$5/3 A$	$2/3 B$	$1.7 A$	$0.7 B$	$1.63 A$	$0.63 B$	$1.66 A$	$0.66 B$
4°	4.1568	3.7836	4.2309	3.9203	4.0654	3.5283	4.1402	3.6963
5	3.9751	3.7413	4.0546	3.9284	3.8876	3.5356	3.9592	3.7039
6	3.7941	3.7487	3.8700	3.9361	3.7106	3.5425	3.7789	3.7112

図-12. 縦楕円形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度決定図表

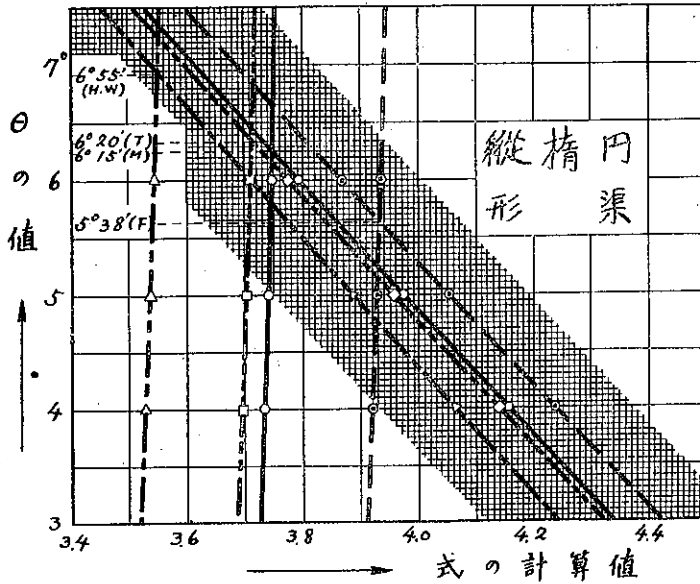
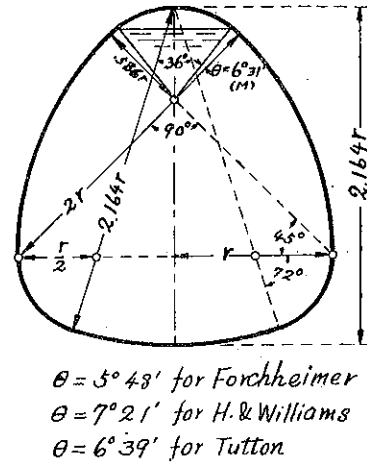


図-13. カテナリー形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる場合



其の結果は  $\theta_M = 6^\circ 15'$ ,  $\theta_F = 5^\circ 38'$ ,  $\theta_{H-W} = 6^\circ 55'$ ,  $\theta_r = 6^\circ 20'$  となり、之を (8) 式に代入計算して

$$R_M = 0.7687 r, \quad R_F = 0.7667 r, \quad R_{H-W} = 0.7650 r, \quad R_r = 0.7658 r$$

を得る。

7. カテナリー形渠 図-13 を取り

$$A_\theta = r^2(3.1356 + 0.586^2\theta + 1/2 \times 0.586^2 \cos 2\theta)$$

$$p_\theta = r(5.7579 + 2 \times 0.586\theta)$$

$$R_\theta = r \frac{3.1356 + 0.586^2\theta + 1/2 \times 0.586^2 \cos 2\theta}{5.7579 + 2 \times 0.586\theta} \dots (9)$$

$$Q_{max} : (1+m) \times 0.1717(1 - \sin 2\theta)(5.7579 + 1.172\theta) \\ = m \times 0.586(3.1356 + 0.3434\theta + 0.1717 \cos 2\theta)$$

本式に對して表-9 及圖-14 を作製して  $\theta$  を定める。

表-9. カテナリー形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度計算表

$\theta$	マンニング式		フォルヒハイマー式		ヘーゼン・ウキリアムス式		タットン式	
	$5/3 A$	$2/3 B$	$1.7 A$	$0.7 B$	$1.63 B$	$0.63 B$	$1.66 A$	$0.66 B$
5°	1.3858	1.3027	1.4135	1.3679	1.3553	1.2311	1.3802	1.2897
6	1.3330	1.3046	1.3596	1.3699	1.3036	1.2329	1.3276	1.2916
7	1.2802	1.3064	1.3058	1.3718	1.2520	1.2346	1.2750	1.2934

其の結果は  $\theta_M=6^\circ 31'$ ,  $\theta_F=5^\circ 48'$ ,  $\theta_{H-W}=7^\circ 21'$ ,  $\theta_T=6^\circ 39'$

となり、之等を(9)式に代入計算すれば夫々

$$R_M=0.5673 r$$

$$R_F=0.5681 r$$

$$R_{H-W}=0.5662 r$$

$$R_T=0.5671 r$$

を得る。

8. 半楕円形渠 図-15 に於て

$$\phi = \arctan 1.5/2 = 36^\circ 52' 11.6''$$

$$\varphi = \pi - 2\phi$$

$$A_\theta = r^2 [1/4 \cdot \theta + 1/8 \sin 2(\phi + \theta)]$$

$$+ 9\phi - 3 + 2\varphi - 2 \cos \varphi / 2]$$

$$= r^2 [1/4 \cdot \theta + 1/8 \sin 2(\phi + \theta)$$

$$+ 3.1539]$$

$$p_\theta = r(\theta + 6\phi + 2\varphi)$$

$$= r(\theta + 5.9554)$$

$$R_\theta = r \frac{1/4 \cdot \theta + 1/8 \sin 2(\phi + \theta) + 3.1539}{\theta + 5.9554}$$

.....(10)

$Q_{max}$  :-

$$(1+m) \times 1/4 [1 + \cos 2(\phi + \theta)]$$

$$\times (\theta + 5.9554) = m [1/4 \cdot \theta$$

$$+ 1/8 \sin 2(\phi + \theta) + 3.1539]$$

本式を解くのに表10-及図-16を

用ひて挿入法を行へば  $\theta$  を得る。

図-14. カテナリー形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度決定図表

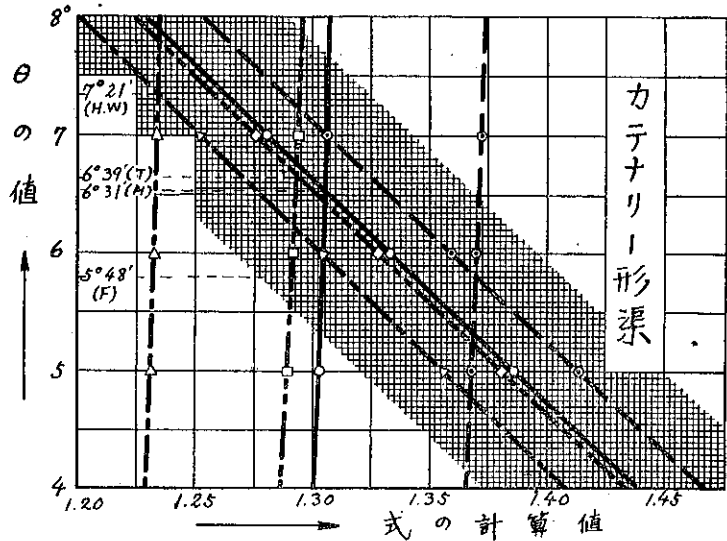
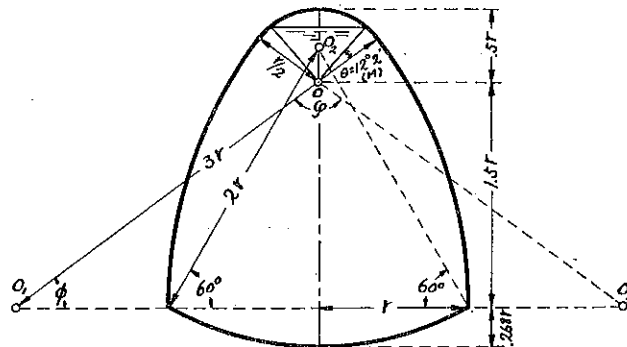


図-15. 半楕円形渠にて  $Q_{max}$  を與ふる場合

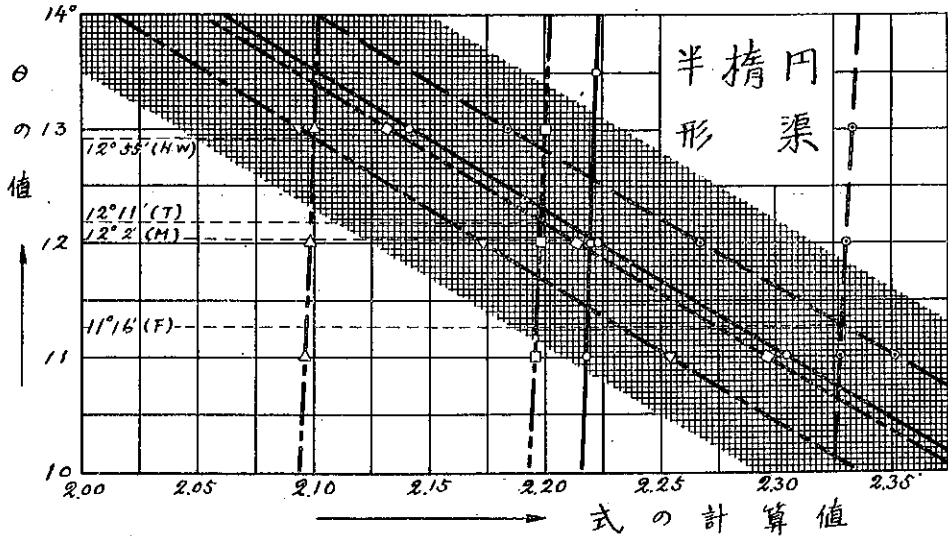


$\theta = 11^\circ 16'$  for Forchheimer  
 $\theta = 12^\circ 55'$  for H. & Williams  
 $\theta = 12^\circ 11'$  for Tutton

図-10. 半楕円形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度計算表

$\theta$	マンニング式		フオルハイマー式		ヘーゲン・ウィリアムズ式		タットン式	
	$5/3 A$	$2/3 B$	$1.7 A$	$0.7 B$	$1.63 A$	$0.63 B$	$1.66 A$	$0.66 B$
11°	2.3055	2.2174	2.3516	2.3282	2.2548	2.0954	2.2963	2.1952
12	2.2280	2.2200	2.2675	2.3310	2.1741	2.0979	2.2141	2.1978
13	2.1405	2.2226	2.1833	2.3337	2.0934	2.1003	2.1319	2.2003

図-16. 半楕円形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度決定図表



其の結果は  $\theta_M = 12^\circ 2'$ ,  $\theta_T = 11^\circ 16'$ ,  $\theta_{M-W} = 12^\circ 55'$ ,  $\theta_R = 12^\circ 11'$

で、之等を (10) 式に代入計算すれば

$$R_M = 0.5401 r, \quad R_T = 0.5408 r$$

$$R_{M-W} = 0.5393 r, \quad R_R = 0.5400 r$$

となる。

9. 馬蹄形渠 図-17 に於て

$$b = 4r \sin \omega / 2$$

$$\phi = \arccos \frac{r + 2r \sin \omega / 2}{2r} = 24^\circ 56' 30.8''$$

$$\omega = 48^\circ$$

$$A_\theta = r^2 (\theta + 1/2 \sin 2\theta + 4\phi - \tan \phi + 2\omega - 2 \sin \omega + 4 \sin^2 \omega / 2 \tan \phi)$$

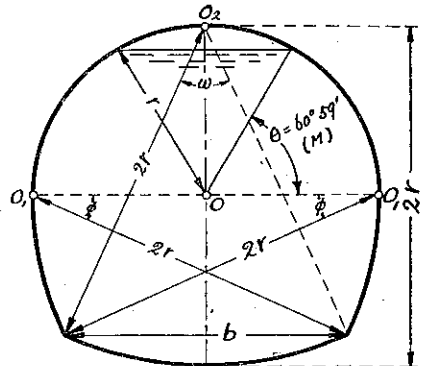
$$= r^2 (\theta + 1/2 \sin 2\theta + 1.7732)$$

$$p_\theta = 2r (\theta + 2\phi + \omega) = 2r (\theta + 1.7084)$$

$$R_\theta = r \frac{\theta + 1/2 \sin 2\theta + 1.7732}{2(\theta + 1.7084)} \dots \dots \dots (11)$$

$$Q_{max} : (1+m)(1 + \cos 2\theta)(\theta + 1.7084) = m(\theta + 1/2 \sin 2\theta + 1.7732)$$

図-17. 馬蹄形渠にて  $Q_{max}$  を與ふる場合



$\theta = 60^\circ 29'$  for Forchheimer  
 $\theta = 61^\circ 33'$  for H. & Williams  
 $\theta = 61^\circ 4'$  for Tutton

表-11 及 図-18 を以て  $\theta$  を決定する。

表-11. 馬蹄形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度計算表

$\theta$	マンニング式		フォルヒハイマー式		ヘーゼン・ウヰリアムス式		タットン式	
	$5/3 A$	$2/3 B$	$1.7 A$	$0.7 B$	$1.63 A$	$0.63 B$	$1.66 A$	$0.66 B$
60°	2.2963	2.1689	2.2423	2.2774	2.2458	2.0496	2.2871	2.1472
61	2.1726	2.1746	2.2161	2.2833	2.1248	2.0550	2.1639	2.1519
62	2.0501	2.1799	2.0911	2.2889	2.0050	2.0600	2.0419	2.1581

其の結果は  $\theta_M = 60^\circ 59'$ ,  $\theta_F = 60^\circ 29'$ ,  $\theta_{H-W} = 61^\circ 33'$ ,  $\theta_T = 61^\circ 4'$

となり、之を (11) 式に代入計算すれば

$$R_M = 0.5882 r, \quad R_F = 0.5903 r, \quad R_{H-W} = 0.5869 r, \quad R_T = 0.5880 r$$

を得る。

図-18. 馬蹄形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度決定図表

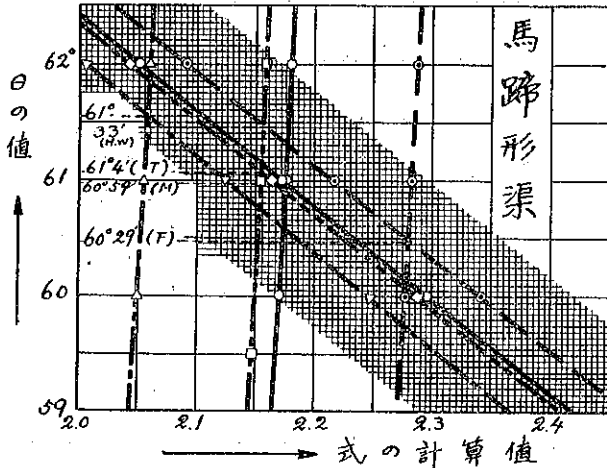
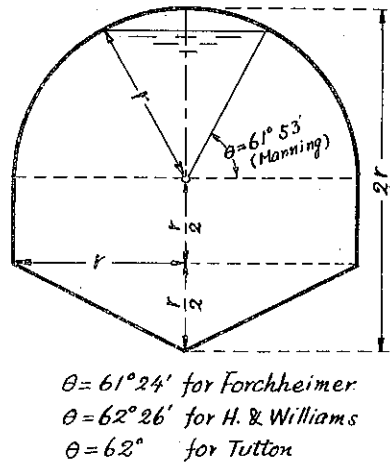


図-19. 獨樂形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる場合



10. 獨樂形渠 図-19 を取り

$$A\theta = r^2(\theta + 1/2 \sin 2\theta + 1.5), \quad 2\theta = r[2\theta + (1 + \sqrt{5})] = r(2\theta + 3.2361)$$

$$R\theta = r \frac{\theta + 1/2 \sin 2\theta + 1.5}{2\theta + 3.2361} \dots (12)$$

$$Q_{max} : - (1+m)(1 + \cos 2\theta)(\theta + 1.61805) = m(\theta + 1/2 \sin 2\theta + 1.5)$$

本式を解く爲めに表-12及図-20 を作製して  $\theta$  を求める。

表-12. 獨樂形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度計算表

$\theta$	マンニング式		フォルヒハイマー式		ヘーゼン・ウヰリアムス式		タットン式	
	$5/3 A$	$2/3 B$	$1.7 A$	$0.7 B$	$1.63 A$	$0.63 B$	$1.66 A$	$0.66 B$
61°	2.1018	1.9925	2.1438	2.0921	2.0555	1.8829	2.0934	1.9725
62	1.9337	1.9977	2.0234	2.0976	1.9401	1.8879	1.9758	1.9778
63	1.8670	2.0027	1.9043	2.1023	1.8259	1.8926	1.8595	1.9837

図-20. 独楽形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度決定図表

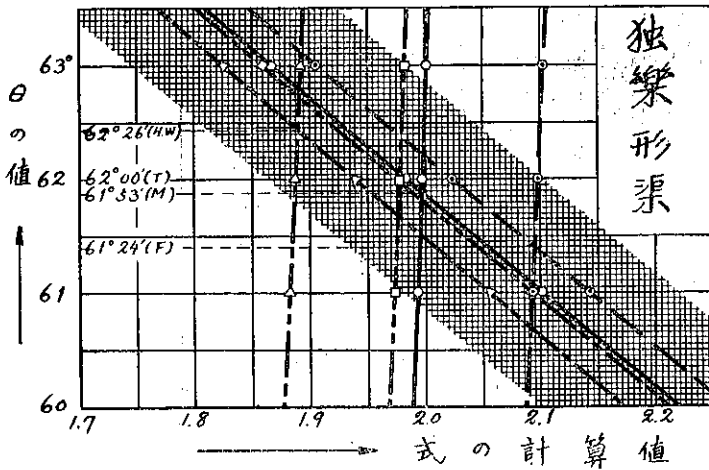
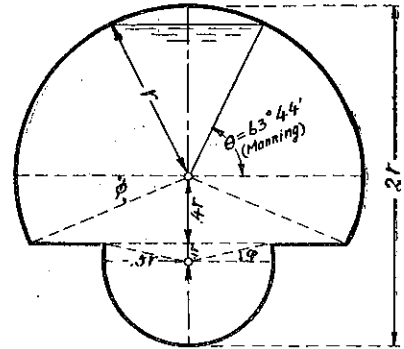


図-21. 巴里下水渠形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる場合



$\theta = 63^{\circ} 36'$  for Forchheimer  
 $\theta = 64^{\circ} 14'$  for H. & Williams  
 $\theta = 63^{\circ} 49'$  for Tutton

其の結果は  $\theta_M = 61^{\circ} 53'$ ,  $\theta_F = 61^{\circ} 24'$ ,  $\theta_{H-W} = 62^{\circ} 26'$ ,  $\theta_T = 62^{\circ}$

となり、之を (13) 式に代入すれば

$$R_M = 0.5561 r, \quad R_F = 0.5502 r, \quad R_{H-W} = 0.5540 r, \quad R_T = 0.5549 r$$

となる。

11. 巴里下水渠形渠 図-21 に於て

$$\varphi = \arcsin 1/5 = 11^{\circ} 32' 13'', \quad \phi = \arcsin 0.4 = 23^{\circ} 34' 41''$$

$$\begin{aligned} \Delta\theta &= r^2(\theta + 1/2 \sin 2\theta + \phi + 0.4 \cos \phi + 0.05 \cos \varphi + 0.5^2(\pi + 2\varphi)/2) \\ &= r^2(\theta + 1/2 \sin 2\theta + 1.2701) \end{aligned}$$

$$p\theta = r[2\theta + 2\phi + 0.5(\pi + 2\varphi) + 2(\cos \phi - 0.5 \cos \varphi)] = r(2\theta + 3.4484)$$

$$R\theta = r \frac{\theta + 1/2 \sin 2\theta + 1.2701}{2\theta + 3.4484} \dots \dots \dots (13)$$

$$Q_{max} : - (1+m)(1 + \cos 2\theta)(\theta + 1.7272) = m(\theta + 1/2 \sin 2\theta + 1.2701)$$

本式に對して表-13を算出して図-22 を畫けば  $\theta$  を得る。

表-13. 巴里下水渠形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度計算表

$\theta$	マンニング式		フォルヒハイマー式		ヘズン・ウヰリアムム式		タットン式	
	5/3 A	2/3 B	1.7 A	0.7 B	1.63 A	0.63 B	1.66 A	0.66 B
63°	1.9400	1.8494	1.9788	1.9419	1.8973	1.7477	1.9322	1.8309
64	1.8200	1.8541	1.8504	1.9468	1.7800	1.7521	1.8127	1.8355
65	1.7019	1.8584	1.7359	1.9513	1.6645	1.7562	1.6951	1.8398

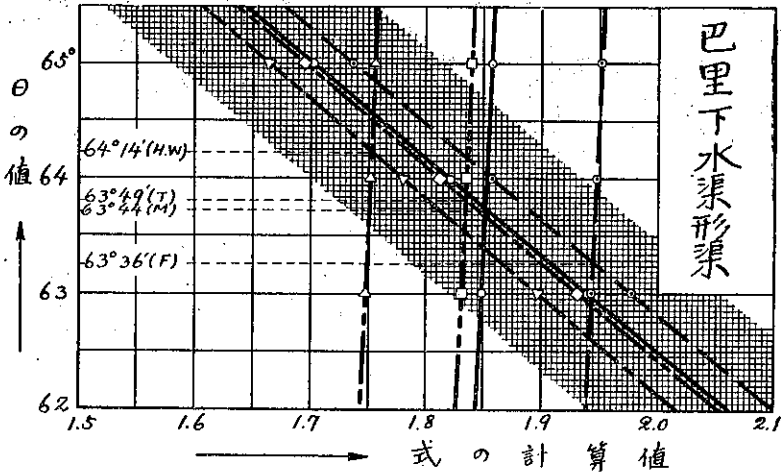
其の結果は  $\theta_M = 63^{\circ} 44'$ ,  $\theta_F = 63^{\circ} 36'$ ,  $\theta_{H-W} = 64^{\circ} 14'$ ,  $\theta_T = 63^{\circ} 49'$

となり、之を (13) 式に代入計算すれば

$$R_M = 0.4900 r, \quad R_F = 0.4902 r, \quad R_{H-W} = 0.4890 r, \quad R_T = 0.4898 r$$

を得る。

図-22. 巴里下水渠形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度決定図表



12. 横楕円形渠 図-23をと

$$\varphi/2 = \arctan 0.75 = 36^\circ 52' 11.6''$$

$$\therefore \varphi = 73^\circ 44' 23''$$

$$\phi/2 = \arctan 1/0.75 = 53^\circ 7' 48''$$

$$\therefore \phi = 106^\circ 15' 36''$$

$$A\theta = r^2[4\theta + 2\sin(\varphi - 2\theta) + 2\varphi + 0.5625\phi - 1.5]$$

$$= r^2[4\theta + 2\sin(\varphi - 2\theta) + 2.1172]$$

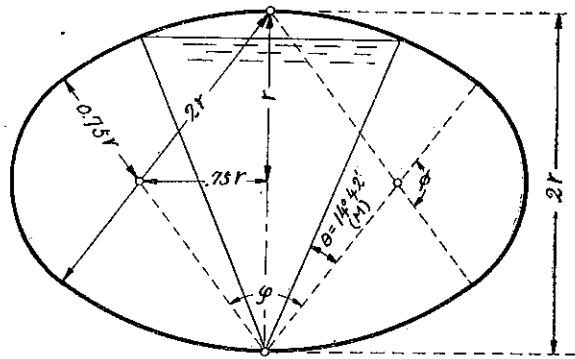
$$p\theta = r(4\theta + 2\varphi + 1.5\phi) = r(4\theta + 5.3559)$$

$$R_\theta = r \frac{4\theta + 2\sin(\varphi - 2\theta) + 2.1172}{4\theta + 5.3559} \dots (14)$$

$$Q_{max}: -(1+m)[1 - \cos(\varphi - 2\theta)](4\theta + 5.3559) = m[4\theta + 2\sin(\varphi - 2\theta) + 2.1172]$$

本式を表-14及図-24 で解いて  $\theta$  を定める。

図-23. 横楕円形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる場合



$\theta = 14^\circ 20'$  for Forchheimer  
 $\theta = 15^\circ 8'$  for H. & Williams  
 $\theta = 14^\circ 47'$  for Tutton

表-14. 横楕円形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる計算表

$\theta$	マンニング式		フォルヒハイマー式		ヘーズン・ウヰリアムス式		タットン式	
	$5/3 A$	$2/3 B$	$1.7 A$	$0.7 B$	$1.63 A$	$0.63 B$	$1.66 A$	$0.66 B$
13°	3.4188	3.0033	3.4872	3.1535	3.3436	2.8381	3.4051	2.9733
14	3.1886	3.0180	3.2524	3.1689	3.1185	2.8520	3.1758	2.9878
15	2.9615	3.0314	3.0208	3.1830	2.8964	2.8647	2.9497	3.0011

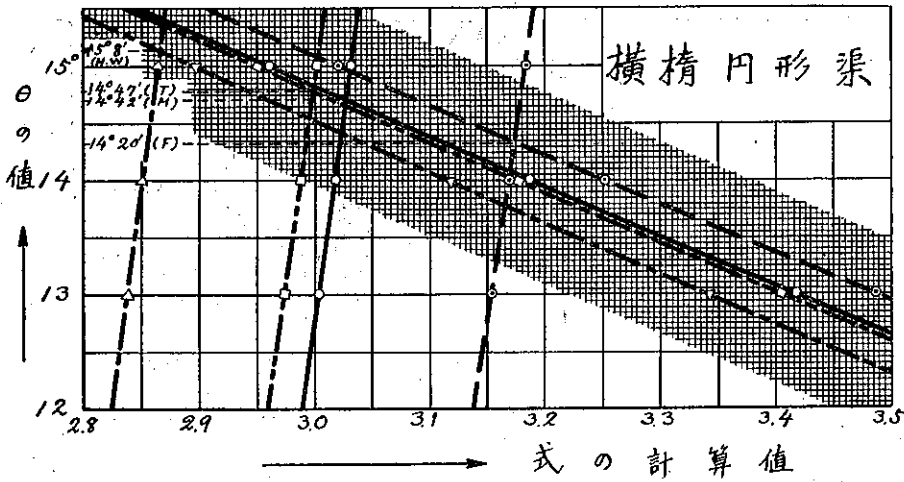
其の結果は  $\theta_M = 14^\circ 42'$ ,  $\theta_F = 14^\circ 20'$ ,  $\theta_{H-W} = 15^\circ 8'$ ,  $\theta_T = 14^\circ 47'$

となり、之を(14)式に代入して

$$R_M = 0.7116 r, \quad Q_F = 0.7146 r, \quad R_{H-W} = 0.7095 r, \quad R_T = 0.7112 r$$

を得る。

図-24. 横楕円形渠にて  $Q_{max}$  を與ふる角度決定図表



13. 半円形渠 図-25 に於て  $\omega=60^\circ$  ならば

$$A_\theta = r^2(\theta + 1/2 \sin 2\theta + 2\omega - 2 \cos \omega/2)$$

$$= r^2(\theta + 1/2 \sin 2\theta + 0.3623)$$

$$p_\theta = 2r(\theta + \omega) = 2r(\theta + 1.0472)$$

$$R_\theta = r \frac{\theta + 1/2 \sin 2\theta + 0.3623}{2(\theta + 1.0472)} \dots (15)$$

$Q_{max}$  :-

$$(1+m)(1 + \cos 2\theta)(\theta + 1.0472)$$

$$= m(\theta + 1/2 \sin 2\theta + 0.3623)$$

之を表-15及図-26 で解いて  $\theta$  を求める。

其の結果は

$$\theta_M = 65^\circ 28', \quad \theta_F = 65^\circ 3'$$

$$\theta_{H-W} = 65^\circ 57', \quad \theta_T = 65^\circ 34'$$

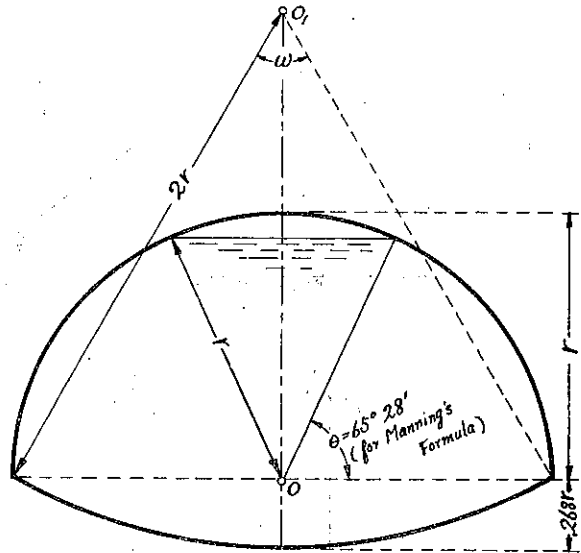
となり、之を (15) 式に代入計算すれば

$$R_M = 0.4299 r, \quad R_F = 0.4307 r$$

$$R_{H-W} = 0.4289 r, \quad R_T = 0.4297 r$$

となる。

図-25. 半円形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる場合



$\theta = 65^\circ 3'$  for Forchheimer  
 $\theta = 65^\circ 37'$  for H. & Williams  
 $\theta = 65^\circ 34'$  for Tutton

表-15. 半円形渠に於て  $Q_{max}$  を與ふる角度計算表

$\theta$	マンニング式		フォルヒハイマー式		ヘーゼン・ウヰリアムス式		タットン式	
	$5/3 A$	$2/3 B$	$1.7 A$	$0.7 B$	$1.63 A$	$0.63 B$	$1.66 A$	$0.66 B$
67°	1.1280	1.2600	1.1505	1.3239	1.1032	1.1915	1.1235	1.2483
68	1.0450	1.2043	1.0659	1.3275	1.0220	1.1948	1.0408	1.2517
69	0.9639	1.2674	0.9831	1.3308	0.9427	1.1977	0.9600	1.2548

14. 截頭卵形渠 図-27 に於て  
 水深が上端迄達するときは、潤邊が  
 急に激増するを以て、 $H=2r$  に止  
 むるものとする。然らば

$$A = r^2(1/8 \phi + 9\phi - 3) = 3.0233 r^2$$

$$p = r(1/2 \phi + 6\phi) = 4.7883 r$$

$$R = A/p = 0.6314 r \dots (16)$$

15. 矩形渠 図-28 に於て  
 $\omega = 2 \arcsin 1/3 = 38^\circ 56' 12''$   
 $h = 3r(1 - \cos \omega/2)$   
 水深を  $H=1.3r$  に止むるとせば

$$A = r^2[4.5\omega - 3 \cos \omega/2 + 2(3 \cos \omega/2 - 1.7)] = 2.4866 r^2$$

$$p = r[3\omega + 2(3 \cos \omega/2 - 1.7)] = 4.2957 r$$

$$R = A/p = 0.5789 r \dots (17)$$

図-26. 半円形渠にて  $Q_{\max}$  を與ふる角度決定図表

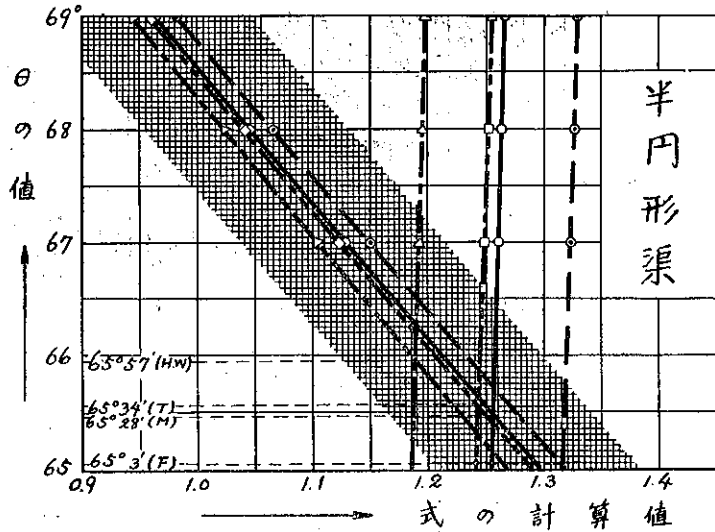


図-27. 截頭卵形渠に於ける場合

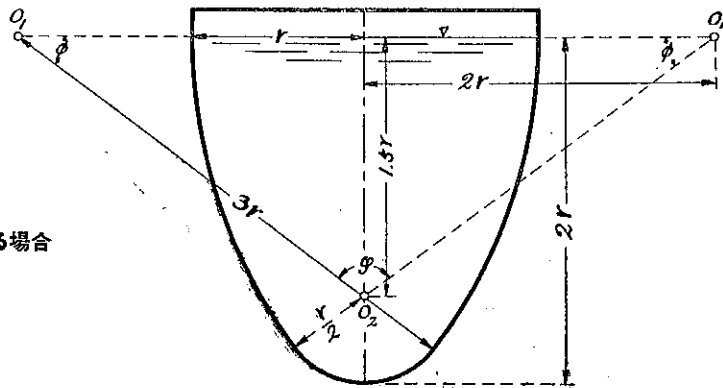


図-28. 矩形渠に於ける場合

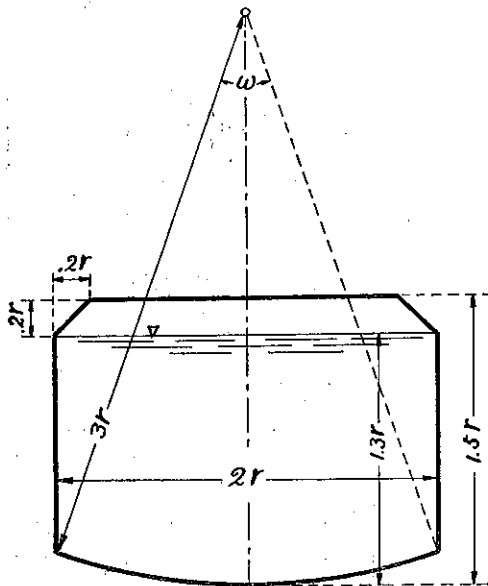
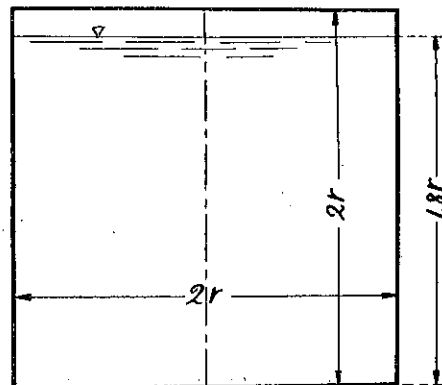


図-29. 方形渠の場合





16. 方形渠 図-29 に於て、水深  $H=1.8r$  に止むるとすれば

$$A=2 \times 1.8r^2=3.6r^2, \quad p=2r+3.6r=5.6r$$

$$R=A/p=0.6429r$$

.....(18)

II. 開渠の場合

開渠に於ては最も経済的断面を採るに努め、 $R=H/2$  なる様にした。

17. 半円形開渠 図-30

に於て、一般に中心角  $\omega$  なる円弧形断面渠 ABC の水理量は

$$H\omega=r(1-\cos \omega/2)$$

$$A\omega=r^2/2 (\omega-\sin \omega), \quad p\omega=r\omega,$$

$$R\omega=r \frac{\omega-\sin \omega}{2\omega}$$

而して之が経済的断面たるためには

$$R\omega=H\omega/2r/2(1-\sin \omega/\omega) \\ =r/2(1-\cos \omega/2)$$

or  $\sin \omega/\omega = \cos \omega/2$

たるを要する。之は  $\omega=180^\circ$  の時に於て得らる

る。依つて半円形渠が採用さるべき此

種の代表的円弧形開渠である。

此の半円形開渠に於ては

$$A=\pi r^2/2, \quad p=\pi r$$

$$R=r/2=0.5r \dots\dots\dots(19)$$

18. 丸底梯形渠 図-31 の如き円

弧を底邊として、其の両端より切線を延長したる任意の梯形渠に於て、水位が AB にあるとき

$$A=B^2/4 \cdot \tan \theta - r^2 \cdot \tan \theta - \theta$$

$$p=B \sec \theta - 2r(\tan \theta - \theta)$$

$$R = \frac{(B^2/4) \cdot \tan \theta - r^2(\tan \theta - \theta)}{B \cdot \sec \theta - 2r \cdot \tan \theta - \theta}$$

$$= \frac{2rA \cos \theta}{4A \cos \theta + 2rB - B^2 \sin \theta}$$

A を一定とするととき R の最大なる

図-30. 円弧形開渠の場合

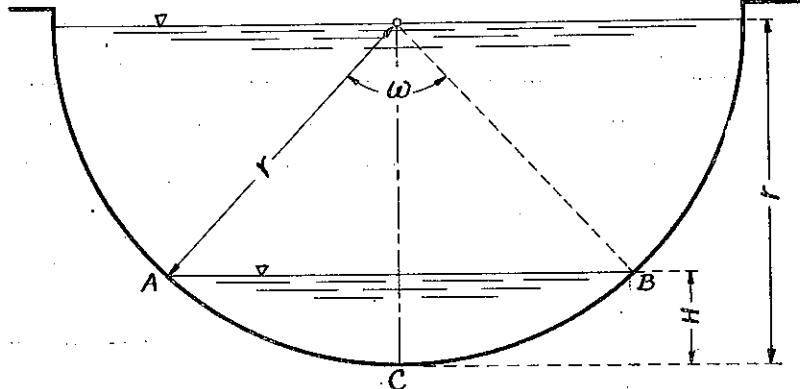


図-31. 丸底梯形渠の場合

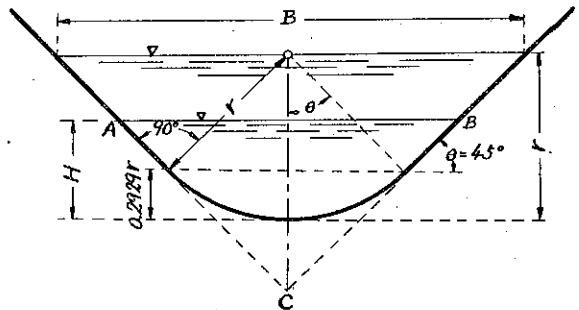
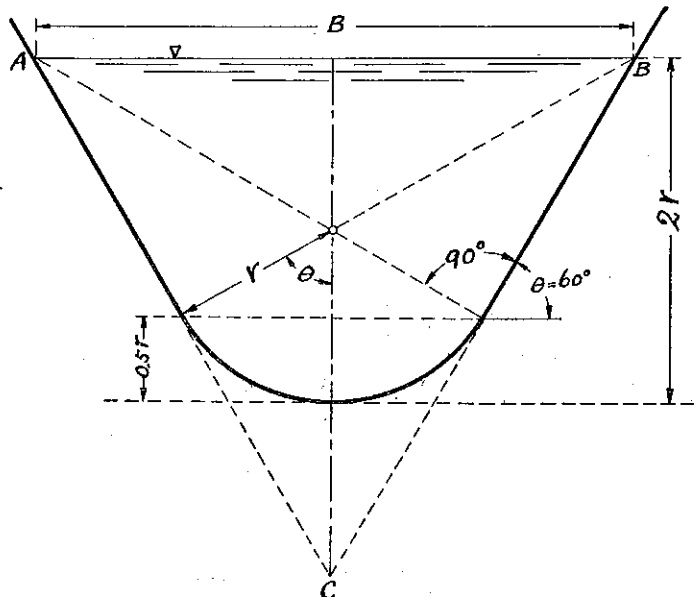


図-32. 水深大なる丸底梯形渠に於ける場合



ためには、 $\frac{\partial R}{\partial \theta} = 0$  より  $r = B/2 \sin \theta$  なるを要する。之は円弧の中心が水面に在る場合である。

今、此の種の開渠に於て  $\theta = 45^\circ$  とすれば

$$A = B^2/4 (\sin \theta \cos \theta + \theta \sin^2 \theta), \quad p = B(\cos \theta + \theta \sin \theta)$$

$$R = B/4 \sin \theta = 0.5r \dots \dots \dots (20)$$

19. 水深大なる丸底梯形渠 下水渠の如く汚物を運行するものは、流量少き際も流速を大にして沈澱附着を防ぐ爲に、水深を大に保たんとすることがある。此の際は最も経済的断面は、前項 18. にて説明したる理論にて明らかなる如く之を出現し得ざるを以て、直ちに水理数を出すこととする。即ち図-32 を取り

$$A = B^2/4 \tan \theta - r^2 (\tan \theta - \theta), \quad p = B \sec \theta - 2r (\tan \theta - \theta)$$

$$R = \frac{B^2/4 \tan \theta - r^2 (\tan \theta - \theta)}{B \sec \theta - 2r (\tan \theta - \theta)} \dots \dots \dots (21)$$

$\theta = 60^\circ$  とすれば

$$R = 0.8116r$$

を得る。

20. 三角形渠 側邊が水平と  $\theta$  なる角度を有する任意の三角形渠に於て、図-33 に示す如く水深  $H$  のとき水面幅  $B$  なりとする。

$$A = H^2 \cot \theta$$

$$p = 2H \operatorname{cosec} \theta$$

$$= 2 \operatorname{cosec} \theta \sqrt{A \tan \theta}$$

$$R = \sqrt{A}/2 \sin \theta \sqrt{\cot \theta}$$

$$= 1/2 \sqrt{A \sin \theta \cos \theta}$$

$A$  が一定なるときは  $\frac{\partial R}{\partial \theta} = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta = 0$  より  $\cos \theta = \sin \theta$  即  $\theta = 45^\circ$  の場合が  $R$  最大となる。之は直角三角形渠である。

今、此の直角三角形渠を取れば、

$$A = r^2, \quad p = 2\sqrt{2}r, \quad R = r/(2\sqrt{2}) = 0.3536r \dots \dots \dots (22)$$

を得る。

3. 勾配式の係数の算定

上記の径深は何れも  $R = \alpha r$  の形と化りたれば、前述(2)に於ける係数  $C$  を  $v = 1, 2.5, 0.6$  m/sec の3の場合に就て定めることが出来る。但し渠半径  $r$  は cm 単位で示す方が便利であるから、 $(0.01)^{m/k}$  を乗ずるとすれば

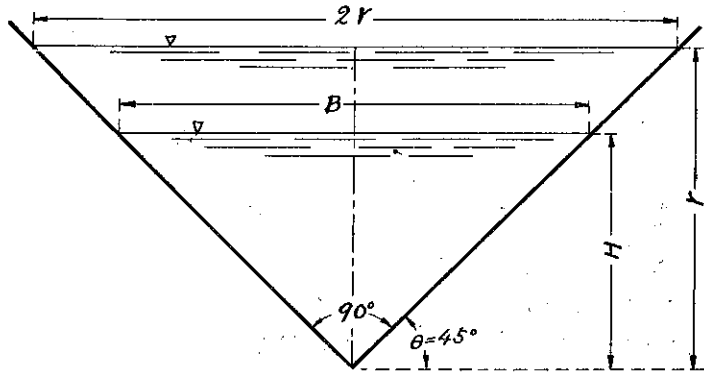
$$C = (0.01)^{m/k} \times C' = \alpha^{m/k} \times (0.01)^{m/k} / (v/\zeta)^{1/k} \dots \dots \dots (23)$$

今、マンニング式を用ふる場合をとれば、 $m = 2/3, k = 1/2, \zeta = 1/n = 1/0.013$  で

$v_s = 1$  m/sec の場合 (標準流速):

$$C_s = \alpha^{2/3} \times \frac{0.0021544}{1^2 \times 0.000163} = \alpha^{2/3} \times 12.7480 \dots \dots \dots (23-M-1)$$

図-33. 三角形渠に於ける場合



$v_{max}=2.5$  m/sec の場合 (最大流速):

$$C_{max} = \alpha^{4/3} \times \frac{0.0021544}{2.5^2 \times 0.000169} = \alpha^{4/3} \times 2.0397 \quad \dots (23-M-2)$$

$v_{min}=0.6$  m/sec の場合 (最小流速):

$$C_{min} = \alpha^{4/3} \times \frac{0.0021544}{0.6^2 \times 0.000169} = \alpha^{4/3} \times 35.4112 \quad \dots (23-M-3)$$

フォルヒハイマー式を応用するときは,  $m=0.7, k=0.5, \zeta=1/n=1/0.013$  で

$v_0=1$  m/sec の場合:

$$C_0 = \alpha^{1.4} \times \frac{0.0015849}{1^2 \times 0.000169} = \alpha^{1.4} \times 9.3781 \quad \dots (23-F-1)$$

$v_{max}=2.5$  m/sec の場合:

$$C_{max} = \alpha^{1.4} \times \frac{0.0015849}{2.5^2 \times 0.000169} = \alpha^{1.4} \times 1.5005 \quad \dots (23-F-2)$$

$v_{min}=0.6$  m/sec の場合:

表-15. マンニング式を用いたる勾配式の算定係数一覧

管渠の断面形状	$Q_{max}$ を與へる場合の角度又は水深	同左の径深 $R = \alpha r$ 但し $r =$ 渠半径 (cm)	$\alpha^{4/3}$	標準勾配 $C_0 =$ $\alpha^{4/3} \times 12.7480$	最大勾配 $C_{max} =$ $\alpha^{4/3} \times 2.0397$	最小勾配 $C_{min} =$ $\alpha^{4/3} \times 35.4112$
(1) 円形	302° 25'	0.5800 $r$	0.48367	6.166	0.987	17.127
(2) 標準卵形	59° 11'	0.6560 "	0.66996	7.266	1.163	20.183
(3) 倒卵形	7° 44'	0.6217 "	0.53061	6.764	1.082	18.789
(4) 新卵形	59° 30'	0.6437 "	0.55579	7.085	1.134	19.681
(5) 廣卵形	59° 49'	0.6325 "	0.54293	6.921	1.107	19.226
(6) 縦楕円形	6° 15'	0.7657 "	0.70417	8.977	1.436	24.935
(7) カテナリー形	6° 31'	0.5673 "	0.46962	5.987	0.958	16.630
(8) 半楕円形	12° 2'	0.5401 "	0.43984	5.607	0.897	15.575
(9) 馬蹄形	60° 59'	0.5882 "	0.49283	6.283	1.005	17.452
(10) 獨樂形	61° 53'	0.5561 "	0.45730	5.830	0.933	16.193
(11) 巴里下水渠形	63° 44'	0.4900 "	0.38630	4.925	0.788	13.679
(12) 横楕円形	14° 42'	0.7116 "	0.63531	8.099	1.296	22.499
(13) 半円形	65° 28'	0.4299 "	0.32446	4.136	0.662	11.439
(14) 截頭卵形	$H=2r$	0.6314 "	0.54168	6.905	1.105	19.182
(15) 矩	$H=1.3r$	0.5789 "	0.48247	6.151	0.984	17.085
(16) 方	$H=1.8r$	0.6429 "	0.55487	7.073	1.132	19.648
(17) 半円開渠	$H=r$	0.5, "	0.39685	5.059	0.809	14.053
(18) 丸底梯形	$H=r$	0.5, "	0.39685	5.059	0.809	14.053
(19) 水深大なる丸底梯形	$H=2r$	0.8116 "	0.75705	9.651	1.544	26.808
(20) 三角	$H=r$	0.3536 "	0.25004	3.188	0.510	8.854
暗渠のみの平均				6.511	1.042	18.086
全体の平均				6.357	1.017	17.657

$$C_{min} = \alpha^{1.4} \times \frac{0.0015849}{0.6^2 \times 0.000169} = \alpha^{1.4} \times 26.0503 \dots\dots\dots(23-F-3)$$

又ヘーゼン・ウィリアムズ式を用ふるものに於ては、 $m=0.63, k=0.54, \zeta=110$  で

$v_s=1$  m/sec の場合：

$$C_s = \alpha^{7/6} \times \frac{0.0046309}{1^{1.852}} \times 6034.75 = \alpha^{7/6} \times 27.9463 \dots\dots\dots(23-H-W-1)$$

$v_{max}=2.5$  m/sec の場合：

$$C_{max} = \alpha^{7/6} \times \frac{0.0046309}{2.5^{1.852}} \times 6034.75 = \alpha^{7/6} \times 5.1208 \dots\dots\dots(23-H-W-2)$$

$v_{min}=0.6$  m/sec の場合：

$$C_{min} = \alpha^{7/6} \times \frac{0.00046309}{0.6^{1.852}} \times 6034.75 = \alpha^{7/6} \times 71.9760 \dots\dots\dots(23-H-W-3)$$

更にタットン式を応用するものにては、 $m=0.66, k=0.51, \zeta=77$  で

$v_s=1$  m/sec の場合：

表-16. フォルヒハイマー式を応用せる勾配式の算定係数一覧

管渠の断面形状	$Q_{max}$ を與へる場合の角度又は水深	同左の径深 $R = \alpha r$ 但し $r =$ 渠半径 (cm)	$\alpha^{1.4}$	標準勾配 $C_s =$ $\alpha^{1.4} \times 9.3781$	最大勾配 $C_{max} =$ $\alpha^{1.4} \times 1.5005$	最小勾配 $C_{min} =$ $\alpha^{1.4} \times 26.0503$
(1) 円形	301° 27'	0.5811 r	0.46768	4.386	0.702	12.183
(2) 標準卵形	58° 40'	0.6570 "	0.55548	5.209	0.833	14.470
(3) 倒卵形	6° 51'	0.6238 "	0.51649	4.844	0.775	13.455
(4) 新卵形	58° 58'	0.6448 "	0.54100	5.074	0.812	14.093
(5) 廣卵形	59° 17'	0.6336 "	0.52789	4.951	0.792	13.752
(6) 縦楕円形	5° 38'	0.7667 "	0.68940	6.465	1.034	17.959
(7) カテナリー形	5° 48'	0.5681 "	0.45310	4.249	0.680	11.803
(8) 半楕円形	11° 16'	0.5408 "	0.42291	3.966	0.635	11.017
(9) 馬蹄形	60° 29'	0.5903 "	0.47819	4.485	0.718	12.457
(10) 獨樂形	61° 24'	0.5562 "	0.43987	4.125	0.660	11.459
(11) 巴里下水渠形	63° 36'	0.4901 "	0.36846	3.455	0.553	9.598
(12) 横楕円形	14° 20'	0.7146 "	0.62472	5.859	0.937	16.274
(13) 半円形	65° 03'	0.4307 "	0.30740	2.883	0.461	8.008
(14) 截頭卵形	$H=2r$	0.6314 "	0.52532	4.927	0.788	13.685
(15) 炬形	$H=1.3r$	0.5789 "	0.46521	4.363	0.698	12.119
(16) 方形	$H=1.8r$	0.6429 "	0.53877	5.053	0.808	14.035
(17) 半円形開渠	$H=r$	0.5 "	0.37893	3.554	0.569	9.871
(18) 丸底梯形	$H=r$	0.5 "	0.37893	3.554	0.569	9.871
(19) 水深大なる丸底梯形	$H=2r$	0.8116 "	0.74658	7.002	1.120	19.449
(20) 三角形	$H=r$	0.3536 "	0.23330	2.188	0.350	6.078
暗渠のみの平均				4.643	0.743	12.898
全体の平均				4.529	0.725	12.582

$$C_s = \alpha^{22/7} \times \frac{0.0025\ 8086}{1^{1.011}} \times 5\ 005.05 = \alpha^{22/7} \times 12\ 9173 \dots\dots\dots (23\ T\ 1)$$

$v_{max} = 2.5$  m/sec の場合 :

$$C_{max} = \alpha^{22/7} \times \frac{0.0025\ 8086}{2.5^{1.011}} \times 5\ 005.05 = \alpha^{22/7} \times 2.1420 \dots\dots\dots (23\ T\ 2)$$

$v_{min} = 0.6$  m/sec の場合 :

$$C_{min} = \alpha^{22/7} \times \frac{0.0025\ 8086}{0.6^{1.011}} \times 5\ 005.05 = \alpha^{22/7} \times 35.1737 \dots\dots\dots (23\ T\ 3)$$

として各係数を算定すればよい。之等の結果を表示すれば 表-15, 16, 17, 18 の如くなる。

之等  $C$  の値を (2) 式に代入すれば何れも  $i = 1/C \cdot r^{-m/k}$  なる一種の双曲線を示すを以て、之を對數方眼紙上に畫けば直線となり、各線は  $-m/k$  なる同傾斜をなして各流速式毎の一群は皆平行し、係數  $1/C$  のみを縦軸の Intercept に對數目盛で取りさへすれば、各勾配式を図示することが出来る。圖-34, 35, 36, 37. は斯くして畫いた各

表-17. ヘースン・ウヰリアムス式を使用せる勾配式の算定係數一覽

管渠の断面形状	$Q_{max}$ を與へる場合の角度又は水深	同左の径深 $R = cr$ 但し $r =$ 渠半径 (cm)	$\alpha^{7/3}$	標準勾配 $C_s = \alpha^{7/3} \times 27.9463$	最大勾配 $C_{max} = \alpha^{7/3} \times 5.1208$	最小勾配 $C_{min} = \alpha^{7/3} \times 71.9760$
(1) 円形	30° 34'	0.5786 r	0.5281 6	14.760	2.705	38.016
(2) 標準卵形	59° 48'	0.6547 "	0.6100 7	17.049	3.124	43.910
(3) 倒卵形	8° 46'	0.6192 "	0.5716 5	15.976	2.927	41.146
(4) 新卵形	60° 6'	0.6425 "	0.5968 2	16.679	3.356	42.957
(5) 廣卵形	60° 23'	0.6313 "	0.5847 0	16.340	2.994	42.085
(6) 縦楕円形	6° 55'	0.7650 "	0.7315 9	20.446	3.746	52.658
(7) カテナリー形	7° 21'	0.5662 "	0.5149 8	14.392	2.637	37.067
(8) 半楕円形	12° 55'	0.5393 "	0.4865 5	13.598	2.492	35.021
(9) 馬蹄形	61° 33'	0.5869 "	0.5370 1	15.008	2.750	38.653
(10) 獨樂形	62° 26'	0.5540 "	0.5020 6	14.031	2.571	36.137
(11) 巴厘下水渠形	64° 14'	0.4830 "	0.4340 3	12.130	2.223	31.240
(12) 横楕円形	15° 8'	0.7095 "	0.6700 7	18.725	3.431	48.229
(13) 半円形	65° 57'	0.4289 "	0.3724 5	10.409	1.907	26.808
(14) 截頭卵形	$H=2r$	0.6314 "	0.5848 1	16.343	2.995	42.092
(15) 矩形	$H=1.3r$	0.5789 "	0.5284 8	14.769	2.706	38.038
(16) 方形	$H=1.3r$	0.6429 "	0.5972 6	16.691	3.058	42.988
(17) 半円開渠	$H=r$	0.5 "	0.4454 4	12.448	2.281	32.061
(18) 丸底梯形	$H=r$	0.5 "	0.4454 4	12.448	2.281	32.061
(19) 水深大なる丸底梯形	$H=2r$	0.8116 "	0.7838 4	21.905	4.014	56.418
(20) 三角形	$H=r$	0.3536 "	0.2973 4	8.310	1.523	21.401
暗渠のみの平均				15.459	2.833	41.190
全体の平均				15.123	2.771	40.049

表-18. タットン式を応用せる勾配式の算定係数一覧

管渠の断面形状	$Q_{max}$ を與へる場合の角度又は水深	同左の径深 $R=cr$ 但し $r$ =渠半径 (cm)	$\alpha^{22/17}$	標準勾配 $C_s = \alpha^{22/17} \times 12.9173$	最大勾配 $C_{max} = \alpha^{22/17} \times 2.1420$	最小勾配 $C_{min} = \alpha^{22/17} \times 35.1737$
(1) 円形	302° 37'	0.5797 $r$	0.4988 2	6.379	1.058	17.369
(2) 標準卵形	59° 18'	0.6557 "	0.5791 6	7.481	1.241	20.371
(3) 倒卵形	7° 55'	0.6212 "	0.5460 4	6.976	1.157	18.995
(4) 新卵形	59° 37'	0.6435 "	0.5652 6	7.302	1.211	19.882
(5) 廣卵形	59° 54'	0.6323 "	0.5525 5	7.137	1.184	19.435
(6) 縦楕円形	6° 20'	0.7658 "	0.7080 0	9.145	1.517	24.903
(7) カテナリー形	6° 39'	0.5671 "	0.4799 7	6.260	1.023	16.882
(8) 半楕円形	12° 11'	0.5400 "	0.4505 0	5.819	0.965	15.846
(9) 馬蹄形	61° 4'	0.5880 "	0.5029 8	6.497	1.077	17.692
(10) 獨樂形	62° 00'	0.5549 "	0.4666 5	6.028	1.000	16.414
(11) 巴里下水渠形	63° 49'	0.4898 "	0.3970 6	5.129	0.851	13.966
(12) 横楕円形	14° 47'	0.7112 "	0.6433 7	8.311	1.378	22.630
(13) 半円形	65° 34'	0.4297 "	0.3351 8	4.330	0.718	11.790
(14) 截頭卵形	$H=2r$	0.6314 "	0.5515 4	7.124	1.181	19.400
(15) 矩形	$H=1.3r$	0.5789 "	0.4929 3	6.367	1.056	17.338
(16) 方形	$H=1.8r$	0.6429 "	0.5645 6	7.293	1.209	19.858
(17) 半円形開渠	$H=r$	0.5 "	0.4077 9	5.268	0.873	14.343
(18) 丸底梯形	$H=r$	0.5 "	0.4077 9	5.268	0.873	14.343
(19) 水深大なる丸底梯形	$H=2r$	0.8116 "	0.7632 7	9.859	1.635	26.847
(20) 三角形	$H=r$	0.3536 "	0.2604 5	3.364	0.558	9.161
暗渠のみの平均				6.720	1.114	18.298
全体の平均				6.564	1.029	17.873

流速式毎の勾配式群で、係数  $1/C$  は全部該図に図示されたわけである。但し図には  $1/C$  を % で表はしてある。然らば之等の図は横距に  $r$  を cm 単位で示し、縦距に勾配を % にて表はしたことゝなつて、渠半径を與ふれば図より直ちに勾配を見出すことが出来る。例へば半径 100 cm の管渠は一般に

マンニング式を応用したものに於ては

$$i_s = 0.35 \%, \quad i_{max} = 2.2 \%, \quad i_{min} = 0.13 \%$$

フォルヒハイマー式を用ふるものにては

$$i_s = 0.37 \%, \quad i_{max} = 2.3 \%, \quad i_{min} = 0.135 \%$$

ヘーズン・ウィリアム式を応用するものに於ては

$$i_s = 0.33 \%, \quad i_{max} = 1.8 \%, \quad i_{min} = 0.125 \%$$

タットン式を使用したものに於ては

$$i_s = 0.42 \%, \quad i_{max} = 2.5 \%, \quad i_{min} = 0.155 \%$$

の勾配範囲内に納まる様に設置すればよいことゝなる。

図-34. マンニング式を用ひたる各種断面形状下水渠の勾配式一覽圖

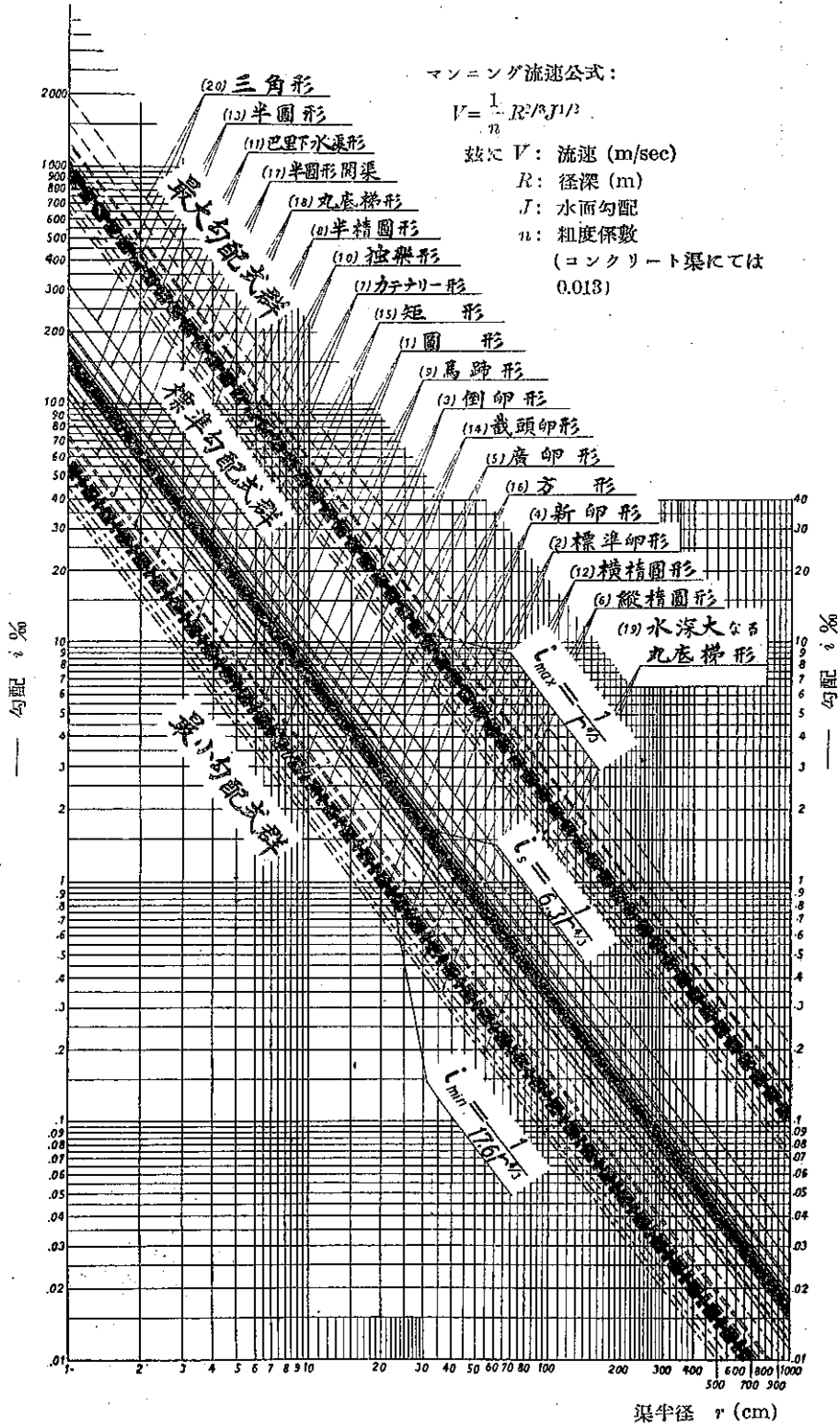


図-35. フォルヒハイマー式を応用したる各種断面形状下水渠の勾配式一覽圖

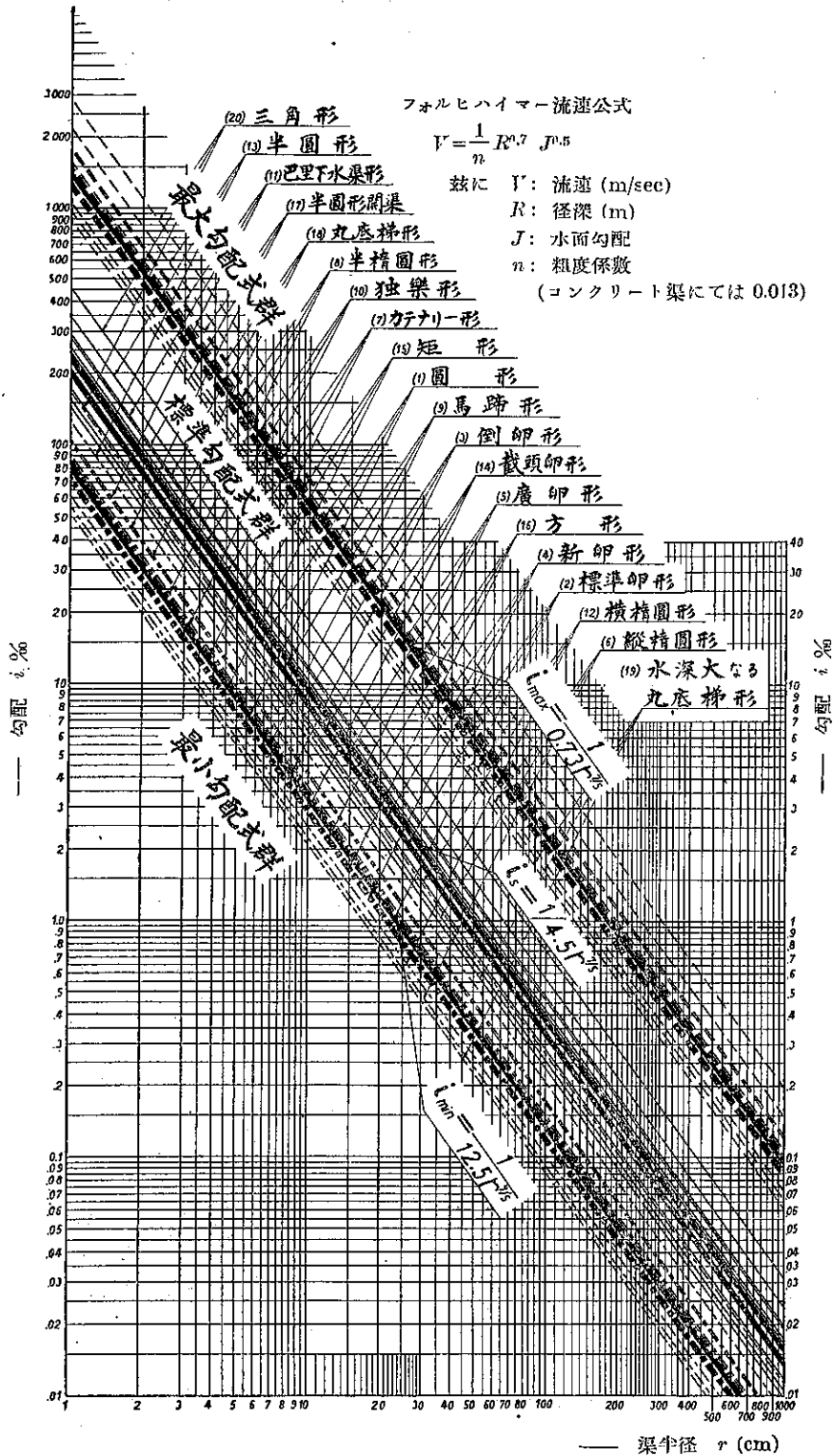




図-36. ヘズン・ウキリアム式を用ひたる各種断面形状  
下水渠の勾配式一覽図

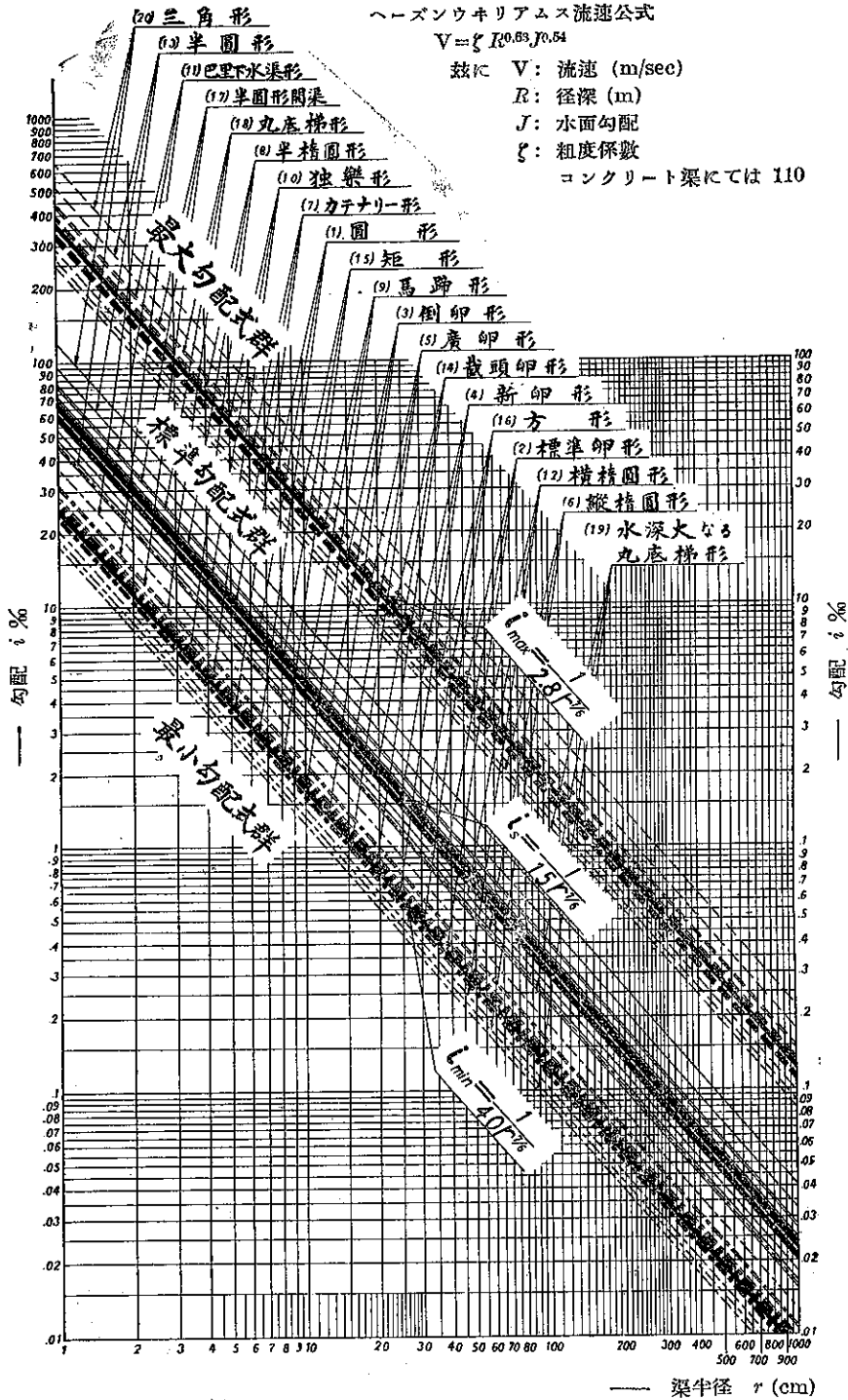
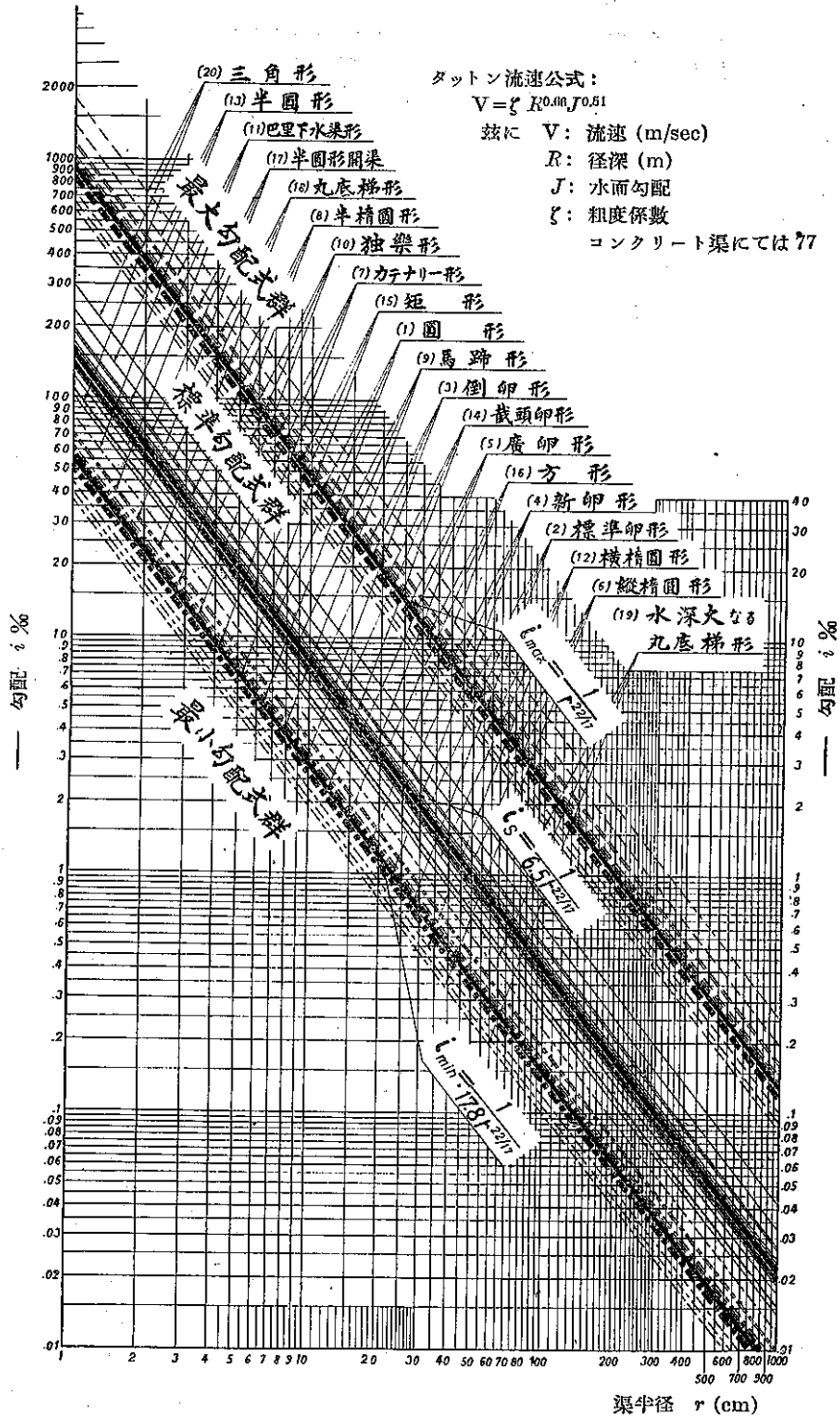


図-37. タットン式を使用せる各種断面形状下水渠の勾配式一覽図



## 4. 共通勾配式の作製

前項の結果を総合判断して、各種断面形状の管渠に共通する勾配式は一般に

$$\text{標準勾配式: } i_s = 1/(C_s r^{m/k}) \dots\dots\dots (24)$$

$$\text{最大勾配式: } i_{\max} = 1/(C_{\max} r^{m/k}) \dots\dots\dots (25)$$

$$\text{最小勾配式: } i_{\min} = 1/(C_{\min} r^{m/k}) \dots\dots\dots (26)$$

茲に  $r$ : 各種断面の渠半径 (cm)

$$m, k \text{ は常數にして, マンニング式にては } m=2/3, k=1/2$$

$$\text{フォルヒハイマー式にては } m=0.7, k=0.5$$

$$\text{ヘーゼン・ウヰリアムス式にては } m=0.63, k=0.54$$

$$\text{タットン式にて } m=0.66, k=0.51$$

或は (24)~(26) 式を合して

$$\text{共通勾配式: } i = 1/(C r^{m/k}), \quad C = C_{\max} \sim C_{\min} \dots\dots\dots (27)$$

とすることが出来る。

著者は之を各流速式に従ひ  $C$  を  $C_{\min}$  及  $C_s$  は共に小さ目に、 $C_{\max}$  にては大き目に取れば安全側となるを以て次式を提唱せんとするものである。即ち

マンニング式を用ふるものに在つては

$$\text{標準勾配式: } i_s = 1/6.8 r^{4/3} \dots\dots\dots (24-M)$$

$$\text{最大勾配式: } i_{\max} = 1/r^{4/3} \dots\dots\dots (25-M)$$

$$\text{最小勾配式: } i_{\min} = 1/17.6 r^{4/3} \dots\dots\dots (26-M)$$

フォルヒハイマー式を応用するものにては

$$\text{標準勾配式: } i_s = 1/4.5 r^{1.4} = 1/4.5 r^{7/5} \dots\dots\dots (24-F)$$

$$\text{最大勾配式: } i_{\max} = 1/0.73 r^{1.4} = 1/0.73 r^{7/5} \dots\dots\dots (25-F)$$

$$\text{最小勾配式: } i_{\min} = 1/12.5 r^{1.4} = 1/12.5 r^{7/5} \dots\dots\dots (26-F)$$

又ヘーゼン・ウヰリアムス式を用ふるものに於ては

$$\text{標準勾配式: } i_s = 1/15 r^{7/6} \dots\dots\dots (24-H-W)$$

$$\text{最大勾配式: } i_{\max} = 1/2.8 r^{7/6} \dots\dots\dots (25-H-W)$$

$$\text{最小勾配式: } i_{\min} = 1/40 r^{7/6} \dots\dots\dots (26-H-W)$$

更にタットン式を用ふるものに在つては

$$\text{標準勾配式: } i_s = 1/6.5 r^{22/17} \dots\dots\dots (24-T)$$

$$\text{最大勾配式: } i_{\max} = 1/r^{22/17} \dots\dots\dots (25-T)$$

$$\text{最小勾配式: } i_{\min} = 1/17.8 r^{22/17} \dots\dots\dots (26-T)$$

又上記各群に於て之を纏めると

マンニング式応用には

$$\text{共通勾配式: } i_M = 1/C r^{4/3}, \quad C = 1 \sim 17.6 \dots\dots\dots (27-M)$$

フォルヒハイマー式応用には

$$\text{共通勾配式: } i_F = 1/C r^{1.4} = 1/C r^{7/5}, \quad C = 0.73 \sim 12.5 \dots\dots\dots (27-F)$$

ヘーゼン・ウキリアムス式応用

共通勾配式:  $i_{H-W} = 1/Cr^{7/6}$ ,  $C = 2.8 \sim 40$ .....(27.H-W)

タットン式応用

共通勾配式:  $i_T = 1/Cr^{22/17}$ ,  $C = 1 \sim 17.8$ .....(27.T)

としてもよい。之等の勾配式は前掲図-34~37. 中に記入した太線で示してある。

次に上記の勾配式作製に應用した4種の流速或は、夫々に主張を異にして独自の存在理由を有するを以て、(24)~(27)の勾配式は其の各の流速式に對して存在を主張すればよいのであるが、之等の流速式は一樣に指數公式で同一形式をなして  $v = \xi R^m J^k$  なることに着眼すれば、其の定數  $\xi$ ,  $m$  及  $k$  に對して各公式作製者が實驗値・觀測値乃至は算定値を、それだけ多く提供して呉れたと解しても差支へないと考へられるから、内特に  $k$  の如きは 1/2 又は略、1/3 に近いことは指數公式ならぬ他の流速式作製者も獨立的に認めてゐるところであるし、すから、前掲の表-15~18 の係數値の總平均を算出して、一層一般的の勾配式を作製するも取て重大な無理もない様に思料される。此の意味に於て著者は  $m/k$  の總平均を出したところ 1.3 に近似したので、 $C_s$ ,  $C_{max}$  及  $C_{min}$  の各總平均値を算出して次式を得た。即ち極く一般的の勾配式として

$i_s = 1/8 r^{1.3}$ .....(28)

$i_{max} = 1/1.4 r^{1.3}$ .....(29)

$i_{min} = 1/22 r^{1.3}$ .....(30)

或は之等を綜合して

$i = 1/Cr^{1.3}$ ,  $C = 1.4 \sim 22$ .....(31)(3)

を提唱する。本式は一般の流速公式には何れにも應用して可なりと考へられる。何となれば、マンニング或はクッター式  $v = \frac{23 + 1/n + 0.00155/J}{1 + (23 + 0.00155/J)n/\sqrt{R}} \sqrt{RJ}$  を簡單化したもので、フォルヒハイマー式はマンニング式を改良したもので、タットン式はマンニング式と殆んど同じである等の關係、更にクッター式はバゼン式  $v = \frac{87}{1+r/\sqrt{R}} \sqrt{RJ}$  (茲に  $r$  = 渠内面の粗度係數) に改善を加へたものたる等に想到するとき、著者の採用した4種の流速公式は指數公式のみではあるが、尙其他の公式をも代表せるものと解しても、取て不都合ではないからである。今、前記各流公式毎に作製した勾配式群 (24)~(26) と、最後の總括的共通勾配式群 (28)~(30) とを图示すれば、図-38 の如くなる。

5. 結 言

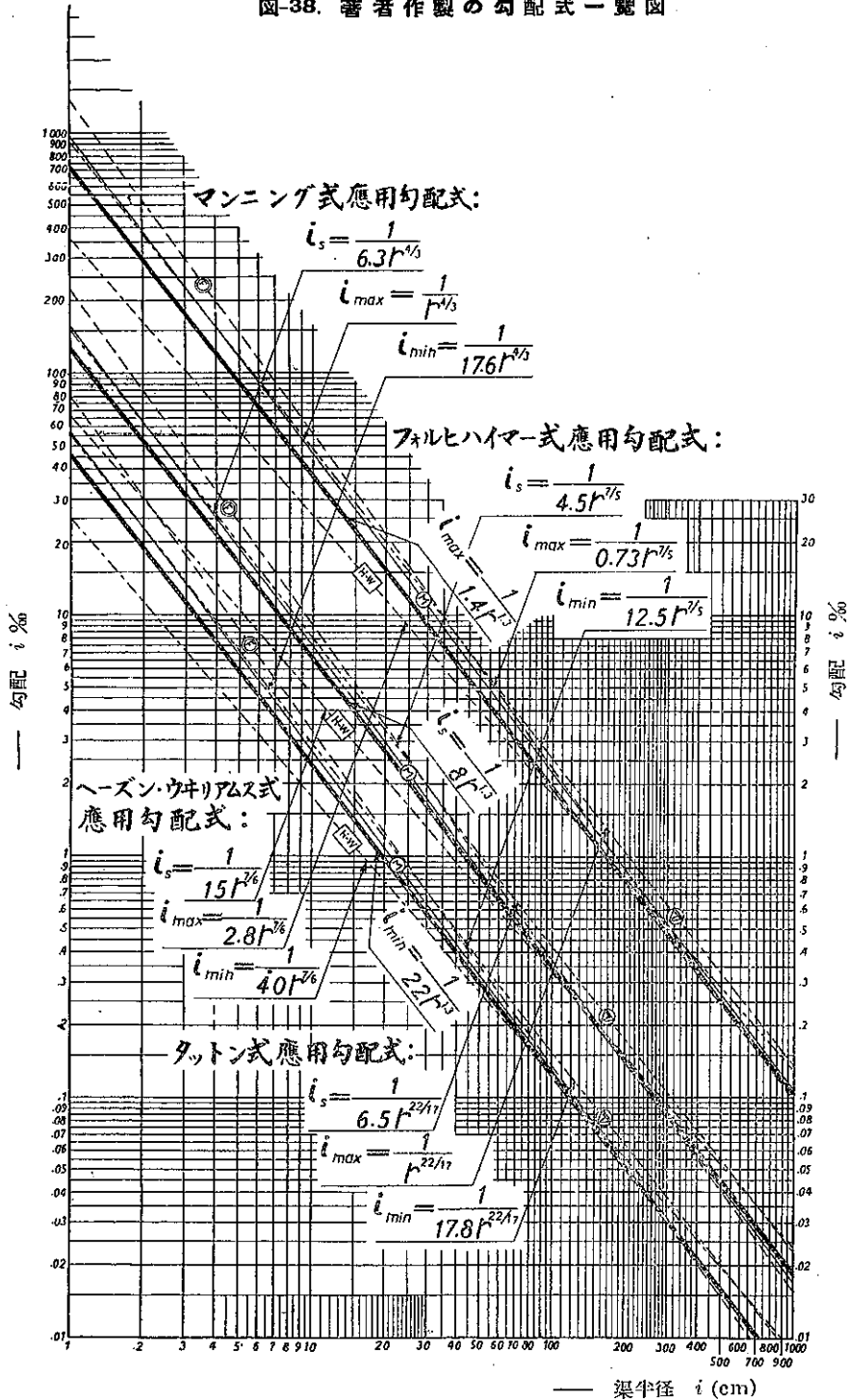
以上を要するに

- (1) 下水渠に於て沈澱乃至磨損を防止するためには、渠内流速をして 0.6~2.5 m/sec の範圍内にあらしむるを要し、1 m/sec を以て標準流速とすることは内外の先輩学徒の齊しく認むるところである。
- (2) 而して下水渠の如く自然流下をなす暗管渠に於ては、或る天井空室を残して流下せしむる時が流量最大で且つ經濟的でもある。著者は此の流量最大にして最も經濟的なる流深状態を、本邦に於て使用されることあるべき代表的な 20 種類の断面形状管渠に就て定め、其の径深を渠半径  $r$  の函數として算定した。
- (3) 斯くて流速公式を指數公式の一般形  $v = \xi R^m J^k$  を應用して、勾配式を  $i = 1/[(\xi/v)^k \cdot 0.01 \times \alpha r^{m/k}] = 1/Cr^{m/k}$

(3) 本式は著者が曩に円形渠に對して算定した勾配式  $i_{max} = 1/0.6 d^{1.3} = 1/1.48 r^{1.3}$ ,  $i_{min} = 1/6.4 d^{1.3} = 1/15.76 r^{1.3}$  と一致する。茲に  $d$ : 渠直径 (cm)

拙著: On the Gradient of Water Pipes Carrying Sediments. (第3回工學會大會講演集, 昭和11年7月, p. 645)

図-38. 著者作製の勾配式一覽図



として定数  $C$  を算定した。定数  $C$  と指数  $m/k$  とは各流速式によつて異り、マンニング、フォルヒハイマー、ヘー  
ズン・ウヰリアムス及タットン式の各式に依つて (24)~(27) 式となつた。之等は 20 種の断面形状渠に共通な勾配式と  
して使用され得る。

(4) 更に一步を進めて上記 4 種の流速公式の成立を考察して、其の定数  $\zeta, m$  及  $k$  を或函数的な関係はあると  
はいへ尙各自独立的な定数なりと見做すを得れば、4 種の流速式の定数は何れも同一種類の定数が各公式作製者の  
数だけそれ又資料を豊富に供せられたこととなるを以て、著者は上記作製の勾配式の定数  $C$  及  $m/k$  の値の總平均  
をとつて

$$i = 1/C r^{1.3}, \quad C = 1.4 \sim 32 \dots\dots\dots (31)$$

なるをを作製した。此の方法は嚴密に言へば、各式毎に重味を考慮して其の總平均を算出すべきだと考へられるが、  
今は凡て同一重味を考へた處に不備があると思ふ。併し各式には夫々特徴があつて何れを重しとも一概に断ずるを  
得ないので暫く同一重味としたのであるが、實用上には大なる不都合はないであらう。而して前記特定流速式のみに  
に固着した勾配式 (24)~(27) では廣く一般性が少いが、本式を用ひれば如何なる流速方式にも応用し得て、勾配式と  
しての價値を上げる様に考へられる。而も前掲圖-38 を見るに、本式は妥當な値を取つてゐることが首肯される。

(5) 上記は何れも各種断面形状渠に共通な、或は全体に互る一般的な勾配式論であるが、或る特定の断面に就て  
的確に好適な勾配式を得んとせば、勾配式の算定係數一覽表-15~18 より當該断面に相當する  $C_s, C_{max}, C_{min}$   
を夫々摘出して、(24)~(26) 式に挿入すればよい。例へば円形渠の場合にて

マンニング式を利用するものには

$$i_s = 1/6 r^{4/3} \dots\dots\dots (24-M)'$$

$$i_{max} = 1/r^{4/3} \dots\dots\dots (25-M)'$$

$$i_{min} = 1/17 r^{4/3} \dots\dots\dots (26-M)'$$

フォルヒハイマー式を用ふるものには

$$i_s = 1/4.3 r^{1.4} \dots\dots\dots (24-F)'$$

$$i_{max} = 1/0.7 r^{1.4} \dots\dots\dots (25-F)'$$

$$i_{min} = 1/12.2 r^{1.4} \dots\dots\dots (26-F)'$$

ヘーズン・ウヰリアムス式を應用するものに於ては

$$i_s = 1/14.7 r^{7/6} \dots\dots\dots (24-H-W)'$$

$$i_{max} = 1/2.7 r^{7/6} \dots\dots\dots (25-H-W)'$$

$$i_{min} = 1/38 r^{7/6} \dots\dots\dots (26-H-W)'$$

タットン式を使用するものに於ては

$$i_s = 1/6.3 r^{22/17} \dots\dots\dots (24-T)'$$

$$i_{max} = 1/r^{22/17} \dots\dots\dots (25-T)'$$

$$i_{min} = 1/17.3 r^{22/17} \dots\dots\dots (26-T)'$$

とすれば可いであらう。

(6) 上記の理論は獨り下水渠のみならず、沈澱物を帶行する水管・水路にて自然流下をなすものには凡て應用す  
ることが出来る。灌漑用管渠の如き其の例である。