

第六章 水路の断面形

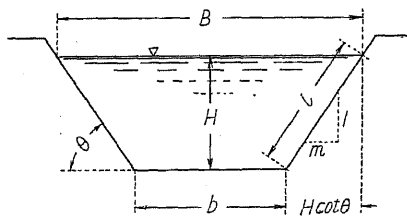
[28] 開水路の断面形

一般に開水路 (Open channel) は用水路、河川等の如くその水面が地上に曝露する水路にして、等しく自由水面を有するも其上面を蓋はれたる暗渠 (Conduit) と區別する爲の用語であり、人工の開水路を特に開渠と稱する。

開水路の断面形は地況、材料、工法等に依り千態萬狀であるが、人工水路に於ては多く梯形又は類似の形を用ひ、河川の如く流量の變化大なる場合は夫等の組合せより成る複断面を使用する。

(1) 梯形及び矩形断面 (Trapezoidal and Rectangular section)

一般的断面



H ...最大水深 m B ...水面幅 m
 b ...底幅 m θ ...岸の水平に對する傾角
 m ...岸の法勾配 = $\cot \theta$ l ...岸の法長
 A ...斷面積 m^2 S ...潤邊長 m
 R ...徑深 = A/S

第 165 圖

とすれば

$$B = b + 2H \cot \theta = b + 2Hm, \quad b = B - 2H \cot \theta = B - 2Hm$$

$$S = b + 2l = B + 2H \tan \frac{\theta}{2} = b + 2H \operatorname{cosec} \theta$$

$$A = \frac{1}{2}(B + b)H = H(B - H \cot \theta) = H(b + H \cot \theta)$$

$$R = \frac{A}{S} = \frac{H(B - H \cot \theta)}{b + 2H \operatorname{cosec} \theta} = \frac{A \cdot H}{A - H^2(\cot \theta - 2 \operatorname{cosec} \theta)} \quad \dots \quad (171)$$

2. 水理上有利なる断面形 水理上最も有利なる断面形は斷面積 A に對して潤邊長 S の最小即ち徑深の最大なるものであり、從て斷面積に對し周邊の最小なる圓形 (暗渠) 又は半圓形 (開渠) を以て最良とするが、普通の開渠に於ては施工に不便なるを以て多く用ひられざるも、梯形を用ふる場合と雖も之に最も近き形、即ち兩岸及び底が共に半圓に接する如きものが水理的有利断面形である。之を理論的に證明するには (171) 式に於て A を一定とし R を最大ならしむる如き水深 H を求むれば宜しい。即ち

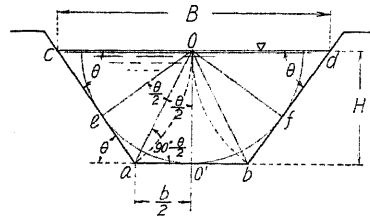
$$R = \frac{AH}{A - H^2(\cot \theta - 2 \operatorname{cosec} \theta)}, \quad \frac{\partial R}{\partial H} = 0 \quad \therefore H = \sqrt{\frac{A \sin \theta}{2 - \cos \theta}}$$

$$\therefore b = 2H \tan \frac{\theta}{2} \text{ 或は } \frac{b}{H} = 2 \tan \frac{\theta}{2}, \quad \frac{B}{2H} = \operatorname{cosec} \theta, \quad l = \frac{B}{2} \dots \dots (172)$$

依て之を (171) 式に代入すれば

$$A = H^2(2 - \cos \theta) \operatorname{cosec} \theta, \quad S = 2H(2 - \cos \theta) \operatorname{cosec} \theta, \quad R = \frac{H}{2} \dots \dots (173)$$

矩形の場合 $\theta = 90^\circ, \quad b = B = 2H, \quad A = BH, \quad S = 2B = 4H, \quad R = \frac{1}{2}H = \frac{1}{4}B$



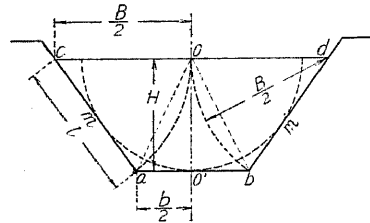
第 166 圖

然るに (172) 式に依り $\frac{b/2}{H} = \tan \frac{\theta}{2}$ なるを以て上に定めたる矩形が H なる半径の半圓に外接する事は第 166 圖に依て明かであり、且 $l = \frac{B}{2}$ なるを以て B 又は θ 及び H を知れば直に断面を畫く事を得る。

一般に水路の流し得る流量 Q は水面勾配 I, 断面積 A, 潤邊 S, 粗度等に依て定まると雖も、多くの場合 I

は地形に依て定まり、法勾配 $\cot \theta = m$ 及び粗度は土質, 材料, 工法等に依て適當に決定するを要し、流速も亦洗掘, 堆砂又は潤邊に摩擦の起らざる程度を可とする...[60] 参照...を以て、之等の要件を全部満足し、尙且 (173) 式の條件を充たす事は困難なる場合も少なくない。假りに法勾配 m 即ち θ を既定とし H, B 又は b の内、其の一を撰定すれば作圖に依て (173) 式を満足する如き断面形を定め得る。

i. m 及び H を與へらるゝ場合 (第 167 圖) 水面線上の一点 O を中心とし H を半径とする下半圓を畫き、此半圓に水平と m なる傾斜を爲す二つの接線 ac 及び bd を引き、更に鉛直線 OO' が半圓と交る點 O' を過る水平線を引き、之が ac 及び bd と交る點を a 及び b とする。然る時は ab は底邊にして ac 及び bd は法面線である。



第 167 圖

ii. m 及び B を與へらるゝ場合 水面線上に於て $\overline{cd} = B$ に取り其端より法面線を引き其長 \overline{ca} 及び \overline{db} を各 B/2 に等しくし a, b を連結すれば \overline{ab} が底邊である。

iii. m 及び b を與へらるゝ場合 一の水平線上に底幅 $b = \overline{ab}$ を取り其中心 O' より鉛直線を立て、a, b 二點より外側に m なる法の二線 \overline{ac} 及び \overline{bd} を引き、 $\angle bac$ 及び $\angle abd$ の二等分線の交點 O を求むれば OO' が水面の高を示す。

水理的有利断面に於ける法勾配 (m) と他の水理量との關係は第 43 表に示すが如し。

第 43 表 m = cot theta と H, B, b, S 等との關係 (N.M.)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| m = cot theta | 0.0 | 0.2 | 0.25 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.75 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.50 | 2.0 | 2.5 | 3.0 |
| theta | 90° | 78°41' | 75°58' | 73°18' | 68°12' | 63°26' | 59°2' | 53°8' | 51°20' | 45° | 38°40' | 33°41' | 26°34' | 21°48' | 18°26' |
| sin theta | 1.000 | 0.981 | 0.970 | 0.958 | 0.928 | 0.894 | 0.857 | 0.800 | 0.781 | 0.707 | 0.625 | 0.555 | 0.447 | 0.371 | 0.316 |
| cos theta | 0.000 | 0.196 | 0.242 | 0.287 | 0.371 | 0.447 | 0.515 | 0.600 | 0.625 | 0.707 | 0.781 | 0.832 | 0.894 | 0.928 | 0.949 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\frac{B}{2H} = \operatorname{cosec} \theta$ | 1.000 | 1.020 | 1.031 | 1.044 | 1.077 | 1.118 | 1.166 | 1.250 | 1.281 | 1.414 | 1.600 | 1.803 | 2.236 | 2.693 | 3.163 |
| $\frac{b}{2H} = \tan \frac{\theta}{2}$ | 1.000 | 0.820 | 0.781 | 0.744 | 0.677 | 0.618 | 0.566 | 0.500 | 0.481 | 0.414 | 0.351 | 0.303 | 0.236 | 0.193 | 0.162 |
| $\frac{S}{2H} = \frac{2 - \cos \theta}{\sin \theta}$ | 2.000 | 1.839 | 1.812 | 1.789 | 1.755 | 1.738 | 1.734 | 1.750 | 1.761 | 1.829 | 1.950 | 2.105 | 2.474 | 2.888 | 3.326 |

尙水理的有利断面即ち (173) 式を満足する断面に於て任意の m に對する面積 A と他の量との關係は次表の如し。

第 44 表 断面積 A と他の量 H, B, l, R 等との關係 (N.M.)

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| m = | 0.0 | 0.2 | 0.25 | 0.30 | 0.40 | 0.50 | 0.60 | 0.75 | 0.8 | 1.0 | 1.25 | 1.50 | 2.0 | 2.5 | 3.0 |
| H/√A = | 0.707 | 0.737 | 0.743 | 0.748 | 0.755 | 0.759 | 0.759 | 0.756 | 0.754 | 0.739 | 0.716 | 0.689 | 0.636 | 0.589 | 0.549 |
| B/√A = | 1.414 | 1.503 | 1.532 | 1.562 | 1.627 | 1.698 | 1.770 | 1.890 | 1.933 | 2.092 | 2.291 | 2.483 | 2.844 | 3.169 | 3.502 |
| b/√A = | 1.414 | 1.209 | 1.160 | 1.113 | 1.024 | 0.938 | 0.858 | 0.756 | 0.725 | 0.612 | 0.503 | 0.417 | 0.300 | 0.227 | 0.178 |
| l/√A = | 0.707 | 0.752 | 0.766 | 0.781 | 0.814 | 0.849 | 0.885 | 0.945 | 0.967 | 1.046 | 1.146 | 1.242 | 1.422 | 1.585 | 1.756 |
| R/√A = | 0.354 | 0.369 | 0.372 | 0.374 | 0.378 | 0.379 | 0.380 | 0.378 | 0.377 | 0.370 | 0.358 | 0.344 | 0.315 | 0.295 | 0.275 |

(173) 式の條件に依れば種々の地況に對し適當なる θ を撰定し得るが、一定の A に對して R 及び S は θ に依て異なるを以て、梯形水路に於て R を最大又は S を最小ならしむる如き θ を求むれば (173) 式より

$$S = 2H(2 - \cos \theta) \operatorname{cosec} \theta \quad \therefore \frac{\partial S}{\partial \theta} = 2H \cdot \left(-2 \frac{\cos \theta}{\sin^2 \theta} + \frac{1}{\sin^2 \theta} \right) = 0$$

$$\therefore 2 \cos \theta = 1 \quad \therefore \theta = 60^\circ \dots \dots \dots (174)$$

故に兩岸勾配の撰定自由なる時は法勾配 $m = \cot 60^\circ = 0.577$ が最も有利である。

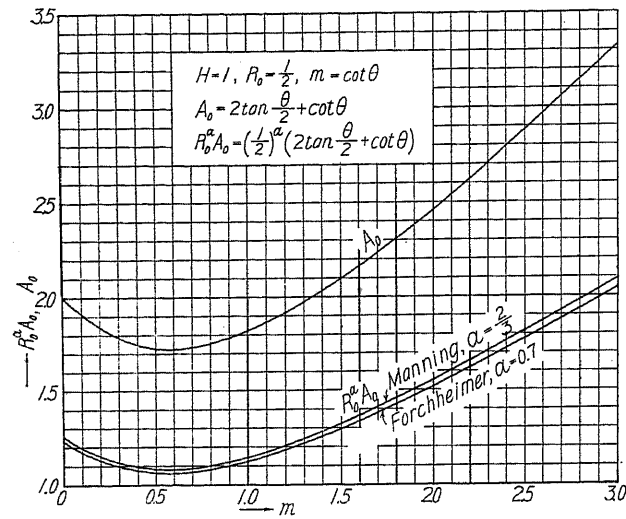
m を與へられたる場合 (173) 式を満足する断面は寸法の如何に拘らず凡て相似形たるを要し、從て二つの水路に於て b, B, H, l... の寸法の一が他の N 倍なる時は他の凡ての寸法も又 N 倍である。依て

| | 断面積 | 徑深 | 潤邊 | 勾配 | 流速 | 流量 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 甲 水路 | A_0 | R_0 | S_0 | I_0 | v_0 | Q_0 |
| 乙 水路 | A | R | S | I | v | Q |

とすれば $A = A_0 N^2, \quad S = S_0 N, \quad R = R_0 N$

$$\left. \begin{aligned} \text{故に} \quad v &= CR^\alpha I^\beta = CR_0^\alpha I_0^\beta \cdot \left(\frac{I}{I_0}\right)^\beta N^\alpha = v_0 \left(\frac{I}{I_0}\right)^\beta N^\alpha \\ Q &= v \cdot A = CR_0^\alpha I_0^\beta \left(\frac{I}{I_0}\right)^\beta A_0 \cdot (N^\alpha \cdot N^2) = Q_0 \left(\frac{I}{I_0}\right)^\beta N^{2+\alpha} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (175)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{Manning 公式を用ふれば} \quad v &= \frac{1}{n_1} R_0^{\frac{2}{3}} I_0^{0.5} \left(\frac{I}{I_0}\right)^{0.5} N^{\frac{2}{3}}, \quad Q = Q_0 \left(\frac{I}{I_0}\right)^{0.5} N^{\frac{8}{3}} \\ \text{Forchheimer 公式} \quad v &= \frac{1}{n_2} R_0^{0.7} I_0^{0.5} \left(\frac{I}{I_0}\right)^{0.5} N^{0.7}, \quad Q = Q_0 \left(\frac{I}{I_0}\right)^{0.5} N^{2.7} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (176)$$



第 168 圖

及び Forchheimer 式に對し A_0 及び $R_0^\alpha A_0$ と m との關係を示す曲線は第 168 圖の如し。

【例 7】 $Q=20 \text{ m}^3/\text{sec}$, $I=1/1000$, $m=0.5$, $n_1=0.014$ なる混凝土水路の寸法を定むるに (173) 式の條件を満足する形とすれば先づ、上記條件に於て $H_0=1 \text{ m}$ なる水路の流す流量 Q_0 を求む。Manning 式を用ふれば

$$Q_0 = v_0 A_0 = \frac{1}{n_1} R_0^{2/3} I^{0.5} A_0$$

(177) 式及び第 168 圖に依り

$$R_0 = \frac{H_0}{2} = 0.5, \quad A_0 = 1.736 \text{ m}^2 \quad \therefore Q_0 = \frac{1}{0.014} (0.5)^{2/3} \left(\frac{1}{1000}\right)^{0.5} \cdot 1.736$$

或は第 168 圖に依り直ちに

$$Q_0 = \frac{1}{n_1} I^{0.5} (R_0^\alpha A_0) = \frac{1}{0.014} \left(\frac{1}{1000}\right)^{0.5} \cdot 1.094 = 2.464 \text{ m}^3/\text{sec}$$

(176) 式に依り

$$Q = Q_0 \cdot N^{3/2} \quad \therefore N = \left(\frac{Q}{Q_0}\right)^{2/3} = \left(\frac{20}{2.464}\right)^{2/3} = 2.195$$

故に所要の寸法は

$$H = 2.195 \text{ m}, \quad R = 1.098 \text{ m}, \quad A = 1.736 \cdot 2.195^2 \approx 8.36 \text{ m}^2$$

$$b = 2.71 \text{ m}, \quad B = 4.90 \text{ m}, \quad S = 7.61 \text{ m}$$

一般に法勾配緩なる土砂水路 (Earth channel) に於ては底幅小に法面大となる。

次に張芝、礫敷、粗度を小ならしむる目的の混凝土上塗等の輕易なる表面保護を爲す場合に於て耐震上の要求を考慮し、地質と安定上必要なる岸の法 $m = \cot \theta$ との關係を示せば

第 45 表 地質と安全法勾配 $m = \cot \theta$ との關係 (N.M.)

| 地 質 | 兩岸堤防 なる場合 | 土地盤開鑿 | 砂 | 砂礫地盤 | 石礫を混ず る土、粗礫 | 硬粘土 | 岩 石 |
|----------------|--------------|---------|---------|-------|----------------|-------|-------|
| 水深 2m 以下の部分 | ~1.5~ | ~1.5~ | ~2.0~ | ~1.8~ | ~1.8~ | ~1.5~ | 0~0.5 |
| 水深 2m 以上の部分 | 1.8~2.5 | 1.8~2.5 | 2.0~2.5 | ~2.0~ | ~2.0~ | ~1.8~ | 0~0.5 |

茲に

$$v_0 = \frac{1}{n} R_0^\alpha I^{0.5}$$

$$Q_0 = \frac{1}{n} R_0^\alpha A_0 I^{0.5}$$

依て $H=1$ の場合を甲水路とすれば

$$R_0 = \frac{1}{2}, \quad A_0 = 2 \tan \frac{\theta}{2} + \cot \theta$$

$$\therefore R_0^\alpha A_0 = \left(\frac{1}{2}\right)^\alpha (2 \tan \frac{\theta}{2} + \cot \theta)$$

... .. (177)

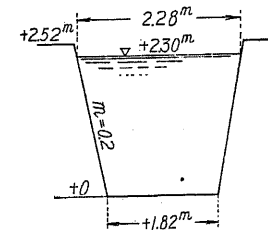
従て m 即ち θ 與へらるれば $R_0^\alpha A_0$ の値を知り $H=N \text{ m}$ の場合の Q を知る事を得。Manning

一般に洗掘され易き地盤に於ては淺くして廣き形を用ひ、岩盤又は土壓を支持するに充分なる側壁を用ふる場合は 0.3~0.5 位の法として割合に大なる水深を採用し、上塗又は壁に混凝土を用ふる。隧道、暗渠等の間に介在する水路に於ては斷面形の急變に因る水頭損失を小ならしむる爲め前後の斷面に類似せる形を用ふる。石積特に安價なるか又は混凝土を使用し難き場合は 0.5~1.0 の法とし練積の張石を用ふる。

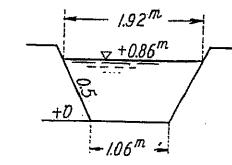
矩形斷面は側壁の工費比較的大なるを以て、用地の狹隘又は高價なる場合竝に水面が地盤より高き水路及び樋等に用ひらる。

一般に底の兩端の隅角は S を大ならしめ、或は礫の堆積を助け而も構造上の弱點を爲す惧あるを以て大なる開渠に於ては隅に面取り又は丸味を付するを可とする。

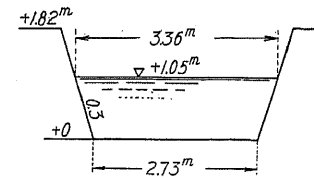
3. 梯形及び矩形斷面の實例 Kutter 式に於て $\left(23 + \frac{1}{n}\right) \sqrt{I} = N$, $23n = D$ と置く。



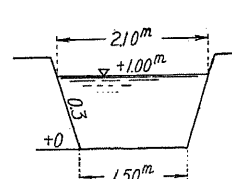
第 169 圖



第 170 圖



第 171 圖



第 172 圖

(第 169 圖) 發電餘水吐、一般梯形、混凝土壁

$n=0.015$ $I=1:20$
 $A=5.25 \text{ m}^2$ $R=0.805 \text{ m}$

(148) 式に於て

$N=20.1$ $D=0.345$

$v=12.9 \text{ m/sec}$ $Q=67.8 \text{ m}^3/\text{sec}$

(第 170 圖) 發電餘水吐、(171) 式の梯形、同上

$n=0.020$ $I=1:20$

$A=1.28 \text{ m}^2$ $R=0.707 \text{ m}$

$v = \frac{1}{n} R I^{0.5} = 5.2 \text{ m/sec}$

$Q = Av = 6.68 \text{ m}^3/\text{sec}$

(第 171 圖) 發電餘水路、一般的梯形、同上

$n=0.015$ $I=1:200$ $A=3.18 \text{ m}^2$ $R=0.648 \text{ m}$

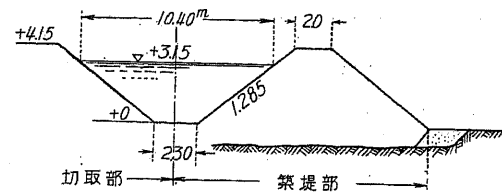
$N=6.34$ $D=0.345$ $v=3.56 \text{ m/sec}$ $Q=11.3 \text{ m}^3/\text{sec}$

(第 172 圖) 發電餘水路、(171) 式の梯形、同上

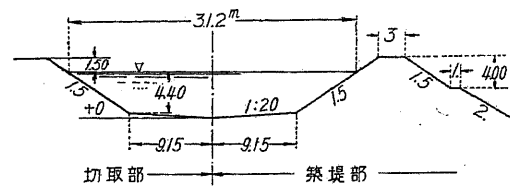
$n=0.015$ $I=1:100$ $A=1.66 \text{ m}^2$ $R=0.482 \text{ m}$

$N=8.97$ $D=0.345$ $v=4.15 \text{ m/sec}$ $Q=6.90 \text{ m}^3/\text{sec}$

次に掲ぐる諸斷面は獨逸諸國の土砂地盤に開鑿又は築堤せる發電、給水、排水等の水路なるが、何れも (173) 式の形に比し割合に大なる水深を用ひて居る...Schoklitsch に據る。尙法は急に過ぐるを以て我國に於ては 0.2~0.5 を加へたるものを用ふるが宜しい。



第 173 圖

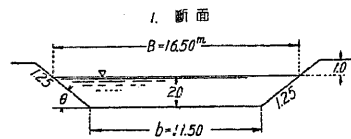


第 175 圖

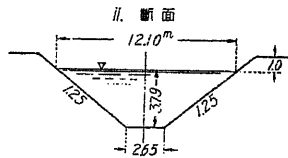
(第 175 圖) 混凝土張 厚 20 cm

$$n=0.025 \quad I=0.17:1000 \quad A=110 \text{ m}^2 \quad v=1.15 \text{ m/sec} \quad Q=125 \text{ m}^3/\text{sec}$$

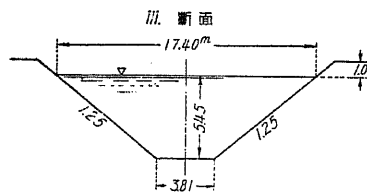
梯形發電水路、混凝土張、 $Q=70 \text{ m}^3/\text{sec}$ (Streck)



第 176 圖



第 177 圖



第 178 圖

i. 一般形、但 $v=2.5 \text{ m/sec}$, $H=2.0 \text{ m}$, $m=1.25$, $\theta=38^\circ 40'$, Bazin 公式を用ひ $\gamma=0.30$ として必要なる I を求むるに

$$A = \frac{Q}{v} = \frac{70}{2.5} = 28.0 \text{ m}^2 \quad B = b + 2mH = b + 5$$

$$A = \frac{1}{2}(b+B) \cdot H = 28, \quad b=11.5 \text{ m}, \quad \therefore B=16.5 \text{ m}$$

$$S = b + 2H \operatorname{cosec} \theta = b + 2H\sqrt{1+m^2} = 11.5 + 2 \cdot 2 \cdot 1.6 = 17.9 \text{ m}$$

$$\therefore R = \frac{A}{S} = \frac{28}{17.9} = 1.56 \text{ m} \quad v = \frac{87}{1 + \gamma/\sqrt{R}} \sqrt{RI} = 70.2\sqrt{RI}$$

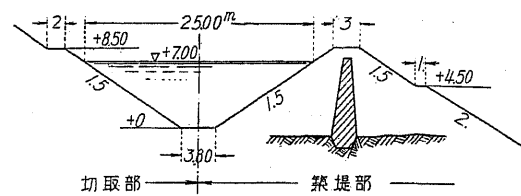
$$\therefore I = \frac{2.5^2}{70.2^2 \cdot 1.56} = 0.00082 = 0.82/1000$$

ii. i. の場合に於て水深を (173) 式を満足する如く定めんには第 44 表より直ちに

$$H/\sqrt{A} = 0.716, \quad B/\sqrt{A} = 2.291, \quad b/\sqrt{A} = 0.503, \quad R/\sqrt{A} = 0.359$$

然るに $\sqrt{A} = \sqrt{28} = 5.29 \text{ m}$, $\therefore H=3.79 \text{ m}$, $B=12.12 \text{ m}$, $b=2.66 \text{ m}$, $R=1.90 \text{ m}$

$$\therefore C = \frac{87}{1 + \frac{0.30}{\sqrt{R}}} = 71.5 \quad \therefore I = \frac{2.5^2}{71.5^2 \cdot 1.90} = 0.64/1000$$



第 174 圖

(第 173 圖) (173) 式に近き形、混凝土張

$$n=0.015 \quad I=0.3:1000 \quad A=20 \text{ m}^2$$

$$v=2.0 \text{ m/sec} \quad Q=40 \text{ m}^3/\text{sec}$$

(第 174 圖) (173) 式に近き形、同上

$$n=0.016 \quad I=0.12:1000 \quad A=100 \text{ m}^2$$

$$v=1.5 \text{ m/sec} \quad Q=150 \text{ m}^3/\text{sec}$$

iii. 次に同一の形を以て $I=0.1/1000=1/100^2$ にて同一の Q を流さんとすれば m は一定なるを以て断面は相似形なるも寸法は大となる。

(175) 式より $Q=Q_0 \left(\frac{I}{I_0}\right)^\beta N^{2+\alpha}$, 然るに $Q=Q_0$ なるを以て

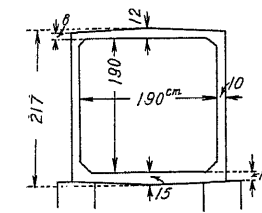
$$\left(\frac{I}{I_0}\right)^\beta N^{2+\alpha} = 1 \quad \therefore \left(\frac{1}{6.4}\right)^\beta N^{2+\alpha} = 1, \quad A = A_0 N^2$$

Manning 式 $\left(\frac{1}{6.4}\right)^{0.5} N^3 = 1 \quad \therefore N^3 = 2.53 \quad \therefore N = 1.412, \quad N^2 = 1.994$

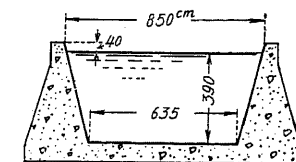
Forchheimer 式 $\left(\frac{1}{6.4}\right)^{0.5} N^{2.7} = 1 \quad \therefore N^{2.7} = 2.53 \quad \therefore N = 1.416, \quad N^2 = 2.005$

| | A | H | B | b | R | v (m-sec 單位) |
|-------------------|------|------|-------|------|------|---------------|
| ii. の断面 | 28.0 | 3.79 | 12.12 | 2.66 | 1.90 | 2.50 |
| iii. ,, Manning 式 | 55.8 | 5.35 | 17.23 | 3.76 | 2.68 | 1.254 |
| ,, Forchheimer 式 | 56.1 | 5.36 | 17.25 | 3.76 | 2.69 | 1.248 |
| ,, Bazin 式 | 57.9 | 5.45 | 17.40 | 3.81 | 2.72 | 1.21 (Streck) |

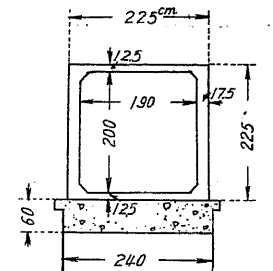
水路橋断面、多く鐵筋混凝土の矩形又は正方形断面を用ふる。



第 179 圖



第 180 圖



第 181 圖

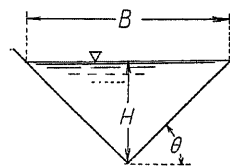
(第 179 圖) Mörel-Brieg 發電水路橋、徑間(橋脚中心間) 5.0 m, 鐵筋混凝土橋脚, 鐵筋構柱, 地盤上水面迄の高さ最大 6 m

(第 180 圖) Vizzola 發電水路橋、混凝土造, 徑間 6.1 m, 側壁及び底は拱作用を爲して自支す, 地盤上水面迄 10 m

(第 181 圖) Kander 發電水路橋、混凝土拱, 徑間 8 及び 28 m, 地盤上水面迄の高さ最大 16 m

(2) 三角形及び梯形類似の断面

1. 三角形断面 (Triangular section) 流量小なる時は矩形に比して流速割合に大に且つ構造簡單なるを以て小なる木樋に用ひられ、多くは底角を直角とする。



第 182 圖

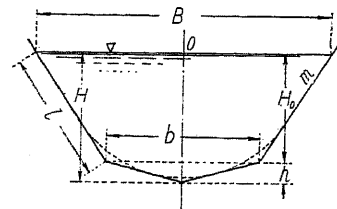
$$A = H^2 \cot \theta = \frac{1}{2} BH, \quad S = 2H \operatorname{cosec} \theta = 2 \operatorname{cosec} \theta \sqrt{A \tan \theta}$$

$$R = \frac{A}{S} = \frac{\sqrt{A}}{2} \sin \theta \sqrt{\cot \theta} = \frac{1}{2} \sqrt{A} \sin \theta \cos \theta \quad \dots (178)$$

一定の断面積に對して R 最大なる形は $\sin \theta \cos \theta$ 即ち $\sin 2\theta$ の極大なる場合にして $\sin 2\theta = 1$ 即ち直角三角形である。

$$\theta = 45^\circ, B = 2H, A = \frac{1}{4}B^2 = H^2, R = \frac{B}{4\sqrt{2}} = \frac{H}{2\sqrt{2}} \dots \dots \dots (179)$$

2. 梯形類似の断面 (Modified trapezoidal section) 梯形断面に於ては底の兩隅に於て構造上の弱



第 183 圖

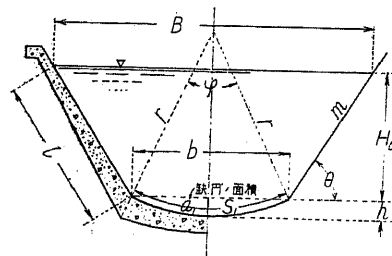
點を生じ且つ施工の都合上、底を淺き V 字状とし各隅に多少の丸味を付する場合もある。梯形部に對し前項 (1) と同一の記號を用ふれば

$$A = A_0 + \frac{1}{2}bh$$

$$S = 2l + 2\sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 + h^2} = 2l + b\left(1 + \frac{4h^2}{b^2}\right)^{0.5} = 2l + b\left(1 + \frac{2h^2}{b^2}\right)$$

底幅廣き梯形水路に於ては流量小なる時淺く廣き水流となり、流速減じ堆積を生ずるを以て底を凹弧状にすれば断面積及び徑深も大となり構造上も有利である。龜裂を避くる爲には壁厚を節約しても鐵筋を入れる、方有利であり、特に施工繼手に十分の注意を要する。

i. 一般的形狀 底幅 b 、其中心の下り h を撰定すれば断面形は定まる、今 r ...弧半徑、 φ ...弧中心角(弧度)、 S_1 ...弧長、 a_1 ...缺圓の面積 とすれば



第 184 圖

$$r = \frac{b^2 + 4h^2}{8h}, \quad \varphi = 2 \sin^{-1} \frac{b}{2r}$$

$$b = 2\sqrt{2hr - h^2} = 2r \sin \frac{\varphi}{2}$$

$$h = r - \frac{1}{2}\sqrt{4r^2 - b^2} = \frac{b}{2} \tan \frac{\varphi}{4} = 2r \sin^2 \frac{\varphi}{4}$$

$$\varphi^0 = \frac{180S_1}{\pi r} = 57.296 \frac{S_1}{r} = \frac{360}{\pi} \sin^{-1} \frac{b}{2r}$$

$$S_1 = r\varphi = 2r \sin^{-1} \frac{b}{2r} = \frac{\pi r \varphi^0}{180} = 0.01745r \cdot \varphi^0$$

$$a_1 = \frac{r^2}{2}(\varphi - \sin \varphi) = \frac{r^2}{2} \left(\frac{\pi \varphi^0}{180} - \sin \varphi \right) \dots \dots \dots (180)$$

依て 梯形部の水深 H_0 、断面積 A_0 、潤邊 S_0 、徑深 R_0
全断面 H 、 A 、 S 、 R

とすれば、一般の場合 (171) 式

$$H = H_0 + h = H_0 + \frac{b}{2} \tan \frac{\varphi}{4}, \quad R = \frac{A}{S}, \quad A = A_0 + a_1 = \frac{H_0}{2}(B+b) + \frac{r^2}{2}(\varphi - \sin \varphi)$$

$$S = 2l + S_1 = 2H_0 \tan \frac{\theta}{2} + r\varphi \dots \dots \dots (181)$$

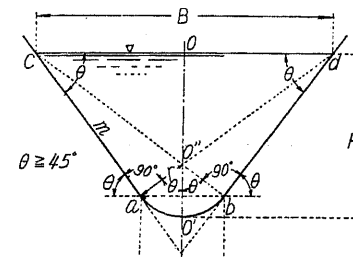
$$\frac{h}{b} < 1 \text{ ならば } A = A_0 + \frac{2}{3}hb, \quad S = S_0 + \frac{8}{3}b\left(\frac{h}{b}\right)^2 \left[1 - \frac{96}{10}\left(\frac{h}{b}\right)^2\right] \dots \dots \dots (182)$$

梯形部が (173) 式を満足する場合は

$$\left. \begin{aligned} A &= H_0(b + mH_0) + \frac{r^2}{2}(\varphi - \sin \varphi), & \text{茲に } b &= 2H_0 \tan \frac{\theta}{2} \\ S &= 2l + S_1 = 2H_0 \operatorname{cosec} \theta + r\varphi, & \varphi &= 2 \sin^{-1} \frac{b}{2r} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (183)$$

普通 h は b に比して小なるを以て S_1 と b とは大差なく、従て R は梯形部の R_0 より多少大となる。

ii. 水深大なる断面 下水、排水等の水路の如く流量の變化大に且つ汚物泥塵等多き場合は流量小なる場合も流速を割合に大ならしめ、夫等の沈澱、附着を防ぐ爲に深くして底部狭き底面弧形の断面を用ひ、弧の兩端の方向を法面に一致せしめて隅部に固形物の附着するを避くる。



第 185 圖

普通用ふる形は $\theta \geq 45^\circ$ 即 $m < 1$ にして最大流量に對する水面の兩端より對岸の法面線に下したる二垂線の交點 O'' を中點とし $O''a = O''b = O''O' = r$ を半徑とする圓弧を以て底線と爲す。

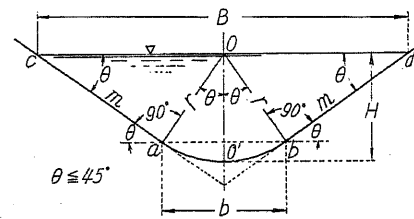
普通用ふる形は $\theta \geq 45^\circ$ 即 $m < 1$ にして最大流量に對する水面の兩端より對岸の法面線に下したる二垂線の交點 O'' を中點とし $O''a = O''b = O''O' = r$ を半徑とする圓弧を以て底線と爲す。

$$A = \frac{1}{4}B^2 \tan \theta - r^2(\tan \theta - \theta)$$

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

$$H = B \cos \theta \sin \theta + r(1 - \cos \theta) \dots (184)$$

iii. 水深小なる場合 流量の變化甚しからず用地自由なる場合は流速を過大ならしめずして大流量を流し得、而も潤邊に隅角を生ぜざる形にして $\theta \leq 45^\circ$ 、底面弧の中心を最高水面の中央に置く。



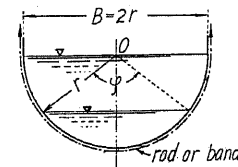
第 186 圖

$$r = \frac{B}{2} \sin \theta, \quad H = r$$

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{1}{4}B^2(\cos \theta + \theta \sin \theta) \sin \theta \\ S &= B(\cos \theta + \theta \sin \theta) \\ R &= \frac{A}{S} = \frac{1}{4}B \sin \theta = \frac{r}{2} \end{aligned} \right\} \dots (185)$$

(3) 曲線形断面 開水路として用ふる形は缺圓、近似拋物線等である。

1. 半圓形断面 (Semicircular section) 一定の断面積 A に對する潤邊 S 小に、徑深 R 大に、従て



第 187 圖

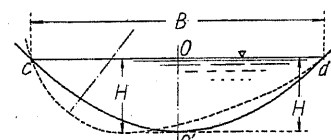
周壁の面積も割合に小にして主に懸樋として用ひられ、張力に強き材料を使用する場合に有利である...[16] (2) 参照。圓弧は水壓平衡線と一致せざるを以て彎曲力率作用して多少變形するも剛性小なる薄壁を用ふれば敢て懼るゝに足らぬ...[29] (1) 暗渠、参照。

$$B = 2r, \quad H = r, \quad A = \frac{1}{2}\pi r^2, \quad R = \frac{r}{2} \dots \dots \dots (186)$$

流量減じ水流の断面が缺圓となる場合は (2), 2 の缺圓部と同一にして

$$A = a_1 = \frac{1}{2}r^2(\varphi - \sin \varphi), \quad S = S_1 = r\varphi, \quad R = \frac{1}{2}r \left(1 - \frac{\sin \varphi}{\varphi}\right) \dots \dots \dots (187)$$

樋の支持構造の都合上、上端を鉛直に延長し、 B を大ならしめずして A 及び R を増す場合もある。

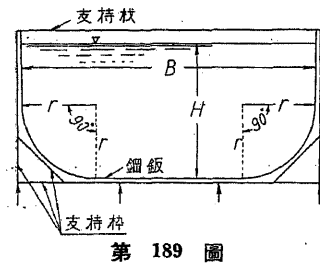


第 188 圖

2. 拋物線断面 (Parabolic section) 人工水路としては施工不便なるため用ひられぬが、沖積層地に自然に出來た河道の断面には拋物線に近いものが多い。此断面の特徴は最大水深 H 及び水面幅 B が同一ならば、軸の傾き如何に拘らず水理的には鉛直軸を有する左右對稱の場合と同一なる事である。

$$\left. \begin{aligned} A &= \frac{2}{3}BH, & S &= B \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2H}{B} \right)^2 - \frac{2}{5} \left(\frac{2H}{B} \right)^4 + \dots \right] \\ B > 5H & & S &\approx B \left[1 + \frac{2}{3} \left(\frac{2H}{B} \right)^2 \right] \\ B > 10H & & S &\approx B, & R &= \frac{A}{S} \approx \frac{2}{3}H \end{aligned} \right\} \dots \dots (188)$$

3. 隅を丸めたる矩形 (Rounded rectangle) 大なる鋼鉄樋の場合外圍の支持枠の構造上の都合により大體の形を矩形とし、兩隅に四分圓の大なる丸味を付す。普通用ふる形は

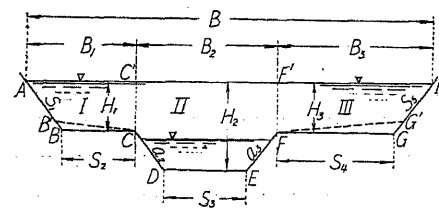


$$\left. \begin{aligned} B &\approx 2H & r &\approx \frac{1}{2}H \\ \text{米國 Raymondville の大鋼樋は} \\ H &= 4.6 \text{ m}, & B &= 9.8 \text{ m}, & r &= 2.4 \text{ m} \\ A &= B \cdot H - 2 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) r^2 = B \cdot H - 0.4292r^2 \\ S &= B + 2H - 4 \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) r \end{aligned} \right\} \dots (189)$$

若し $B=2H=4r$ ならば

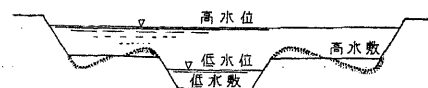
$$A = 1.893 \cdot H^2, \quad S = 3.571 \cdot H, \quad R = A/S = 0.530 \cdot H \quad \dots \dots (190)$$

(4) 複断面 (河川の改良断面) 洪水と平水との流量の差極めて大なる場合、非常に廣き單一梯形を用ふれば、平水時底幅過大なる爲に水路は不規則に變遷し、護岸困難なるを以て、普通改良せる河川断面に於てはなるべく中央に近く深き低水路を設けて平水以下を之に依て流す。全断面は梯形を組合せたる形にして第 190 圖の I...ABCC', III...FFGI は高水路、II...C'DEFF' は低水路である。普通低水路と高水路とは潤邊の状態を異なる事多く、且つ洪水の場合水深著しく異なるを以て兩者の平均流速を別々に計算する場合もある。何れにしても CC' 及び FF' は潤邊と看做さぬ。



堤防に近き部分の水深と流速とを小にし堤防の安全を助け、且つ低水路に近き部分の堆積を少くする爲、高水敷 (BC, FG) に點線の如く 1:30 内外の極く緩なる勾配を付する場合もある。 $B > 50H_2$ ならば水面幅を以て全潤邊と看做して大過ない。

天然河川に於ては河形及び断面概ね不規則にして流速の分布も複雑なるが、沖積地の大河川にして低水敷と高水敷とを有し河床が土砂の裸地又は田畑にして洪水時洗掘され易き場合は、規則正しき梯形状に改修するも、洗掘堆積のため高水敷の低水敷に近き部分は漸次淺くなり、其結果堤防寄りに水流集中して洗掘を助け、歳月を闊するに從て



第 191 圖

益々甚しく河狀の維持は困難である。

[29] 暗渠及び隧道の断面形

暗渠 (Conduit) は水面が曝露せぬ水路にして特に自由水面を有するものを意味する場合多きも、水流が全断面を充たし尚壓力を有する管水路及び壓力隧道等に於ても断面の水利的性質に差異はない。概ね地下に埋込まれるを以て土の重量及び壓力を支持するため開渠とは著しく異なる形を用ふる。而て普通地盤を開鑿して埋設するものを暗渠、隧道式に掘り進むものを隧道水路 (Tunnel) と稱し、其内自由水面を有せぬものを壓力隧道 (Pressure tunnel) と云ひ、内側に高水壓を受くる場合は前者と形狀構造を異にする。

一般に暗渠は耐久力大なる混凝土、煉瓦、石材等を用ふるを以て、構造上より言へば外壓が内壓に比して大なる部分は外側凸の弧狀と爲し應張力の作用を避くるが、近年外國に於ては良質混凝土の加壓ブロックを多く用ふる。反對に内側壓高き場合は應張力の作用を免れざるを以て之に耐抗し得る鐵、鐵筋混凝土等を用ふる。鐵筋混凝土は應壓力は勿論彎曲作用にも強きを以て、外壓の稍大なる埋込暗渠の場合に於ては必ずしも外凸の弧狀を固執する必要はない。従て從來暗渠として最も多く用ひられたる卵形又は類似の断面は、混凝土の侵され易き水質に對し特に煉瓦積を用ふる場合の外餘り用ひられざるに至つた。

(1) 圓形断面 (Circular section) 暗渠として最も廣く用ひられ、内壓大ならざる場合は混凝土、鐵筋混凝土、稀に煉瓦積を用ふる。内壓大なる時は強度、耐水性共に大なる良質の鐵筋混凝土管及び鑄鐵又は鋼の鐵管を用ひ、發電用の水壓管 (Penstock) の如きは鋼管又は高速鋼管を用ふる。圓形断面の水量は次の如し。

$$\begin{aligned} \text{水深} & H = r \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{1}{2} D \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2} \right) \\ \text{斷面積} & A = \frac{1}{2} r^2 (\varphi - \sin \varphi) = \frac{1}{8} D^2 (\varphi - \sin \varphi) \\ \text{潤邊} & S = r\varphi = \frac{1}{2} D \cdot \varphi \end{aligned}$$

$$\text{徑深} \quad R = r \frac{\varphi - \sin \varphi}{2\varphi} = \frac{1}{4} D \left(1 - \frac{\sin \varphi}{\varphi} \right) \quad \dots \dots (191)$$

$$\text{流速} \quad v = CR^a I^b, \quad Q = A \cdot v$$

水深 H が徑 D の 80% 位に達する迄は R は漸次増大するも、頂に近づくに従ひ面積の増大は小に潤邊の増大割合に大なるを以て R は却て減じ、従て v も減じ一方 A は頂迄漸増するを以て v_{\max} の水深は $0.8D$ と $0.9D$ との間にあり、 Q_{\max} の水面はそれより稍上方に位する。今 $v = CR^a I^b$ とすれば

$$v_{\max} \text{ は } \frac{\partial v}{\partial \varphi} = \frac{\partial R}{\partial \varphi} = 0 \quad \therefore \varphi = 257^\circ 30', \quad H = 0.82 \cdot D$$

$$Q_{\max} \text{ は } \frac{\partial(A \cdot v)}{\partial \varphi} = \frac{\partial}{\partial \varphi} (A \cdot CR^\alpha I^\beta) = \frac{\partial}{\partial \varphi} (\varphi - \sin \varphi) \left(1 - \frac{\sin \varphi}{\varphi}\right)^\alpha = 0$$

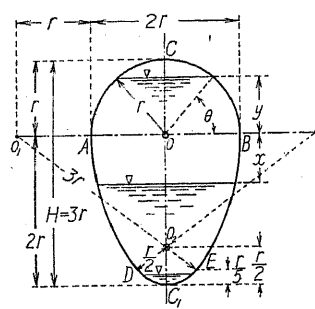
故に $(\alpha + 1) \cos \varphi = 1 + \alpha \frac{\sin \varphi}{\varphi}$

Manning 式を用ひ $\alpha = 2/3$ とすれば $\varphi = 302^\circ 20', \quad H = 0.938 \cdot D$

種々の H/D に対する R, v 及び Q 等の割合は [30] (2) に圖示する。

(2) 卵形断面 (Egg-shape) 下水, 排水等流量の變化甚しき場合低水時に於ても相當の流速を有せしめ汚物, 固形物の堆積を防止, 且外壓は鉛直方向に大に水平方向に小なるを以て頂及び底面に曲度大なる弧を, 兩側に小なる弧を用ひ以て彎曲力率を小ならしむる如き形状であるが, 下水管としては圓形に比し大なる断面の場合に用ひ, 多く煉瓦積にして特に化學作用に強き特殊の煉瓦を低水以下の内側に用ふる場合もある。形は多くの弧の組合せより成るを以て鐵筋混凝土を用ふる時は施工に不便である。普通用ふるものは標準卵形と廣卵形とである。

1. 標準卵形 (Normal egg-shape) 高さ $H = 1.5 \times$ 最大幅 $(2r)$



第 193 圖

頂部 \widehat{ABC} 半徑 r の半圓, 圓心 O
 胴部 \widehat{AD} 及び \widehat{BE} ,, $3r$ の弧, ,, O_1
 底部 $\widehat{DC_1E}$,, $\frac{r}{2}$ の弧, ,, O_2

- i. 水面 DE 以下の場合、半徑 $\frac{r}{2}$ の圓形と同じ。
- ii. 水面 DE 以上 AB 以下の場合、水面より AB 線迄の高さを $+x$ とす。

斷面積 $A_x = r^2 \left(3.023 - 9 \arcsin \frac{x}{3r} \right) + r \cdot x \left(4 - 3 \sqrt{1 - \frac{x^2}{9r^2}} \right)$

潤邊 $S_x = r \left(4.788 - 6 \arcsin \frac{x}{3r} \right) \dots \dots \dots (192)$

- iii. 水面 AB 上 $+y$ に存する場合

斷面積 $A_y = r^2 \cdot \theta + \frac{1}{2} r^2 \sin 2\theta + 3.023 \cdot r^2$

潤邊 $S_y = 2r \cdot \theta + 4.788 \cdot r$, 但 θ は弧度 $\dots \dots \dots (193)$

- iv. 全斷面

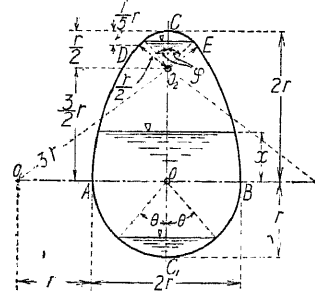
$A_1 = 4.594 \cdot r^2, \quad S_1 = 7.930 \cdot r, \quad R = 0.579 \cdot r \dots \dots \dots (194)$

此斷面は大なる鉛直荷重を受くる場合に第 194 圖の如く倒さに用ふることもある。此場合に於ける斷面積及び潤邊は次の如し。

- i. 水面 AB 以下の場合

$A = \left(\theta - \frac{1}{2} \sin 2\theta \right) \cdot r^2, \quad S = 2r \cdot \theta$, 但 θ は弧度 $\dots \dots \dots (195)$

- ii. 水面 AB 以上 DE 以下の場合、 AB 線より水面迄の高さを x とする。



第 194 圖

$$\left. \begin{aligned} A_x &= \left(\frac{\pi}{2} + 9 \arcsin \frac{x}{3r} \right) \cdot r^2 - \left(4 - 3 \sqrt{1 - \left(\frac{x}{3r} \right)^2} \right) \cdot r \cdot x \\ S_x &= \left(\pi + 6 \arcsin \frac{x}{3r} \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (196)$$

水面 DE の場合は $x = 1.8 \cdot r$ にして $A = 4.482 \cdot r^2, \quad S = 7.002 \cdot r \dots \dots \dots (197)$

- iii. 水面 DE 以上の場合

$A_\phi = 4.594 \cdot r^2 - \left(\phi + \frac{1}{2} \sin 2\phi \right) \cdot r^2, \quad S_\phi = 7.930 \cdot r - 2\phi \cdot r \dots \dots \dots (198)$

iv. 全斷面 $A_1 = 4.594 \cdot r^2, \quad S_1 = 7.930 \cdot r \dots \dots \dots (199)$

種々の水位に対する R, A, v, Q 等と全斷面の夫等との關係は 第 218 及び 219 圖 に示す。

2. 廣卵形 (Wider egg-shape) 内側高 $H = 1.293 \times$ 最大内幅 $(2r)$

- i. 水面 DE 以下の場合、缺圓斷面半徑 $r_x = 0.586 \cdot r$. 水深 x

$z = r_x \left(1 - \cos \frac{\phi}{2} \right), \quad \phi = 2 \cos^{-1} \left(1 - \frac{z}{r_x} \right)$

$A_x = \frac{1}{2} r_x^2 (\phi - \sin \phi), \quad S_x = r_x \cdot \phi$, ϕ は弧度

$\phi = \frac{\pi}{2} = 90^\circ$ に於て $z = h = 0.172 \cdot r$

$A_x = A_h = 0.0980 \cdot r^2, \quad S_x = S_h = \frac{\pi}{2} r_x = 0.92 \cdot r \dots \dots \dots (200)$

- ii. 水面 DE 以上 AB 以下、水面より AB 迄の高さ x

$\theta = \arcsin \frac{x}{2r}, \quad x = 2r \sin \theta, \quad b = 2r(2 \cos \theta - 1)$

$A_x = 2.412 r^2 - 2r [x(\cos \theta - 1) + 2r\theta], \quad A_{x=0} = 2.412 r^2$

$S_x = r\pi(-4\theta + 0.92) \dots \dots \dots (201)$

- iii. 水面 AB 上 y にある場合 $y = r \cos \left(\pi - \frac{\phi}{2} \right)$

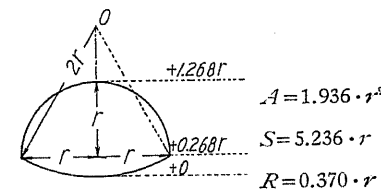
$A_y = A_{y=0} + \frac{1}{2} r^2 (\phi - \pi - \sin \phi), \quad S_y = S_{y=0} + r(\phi - \pi) \dots \dots \dots (202)$

- iv. 全斷面に於ては

$A = 3.983 \cdot r^2, \quad S = 7.205 \cdot r, \quad R = 0.553 \cdot r \dots \dots \dots (203)$

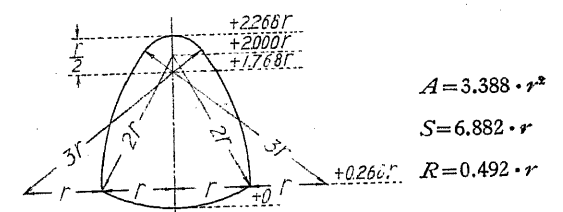
此斷面は標準卵形に比し比較的大なる側壓に耐ゆる。

(3) 圓弧の組合より成る斷面 埋設暗渠は構造上より見て上部拱形, 底部仰拱形を有利とし、



第 196 圖

$A = 1.936 \cdot r^2$
 $S = 5.236 \cdot r$
 $R = 0.370 \cdot r$



第 197 圖

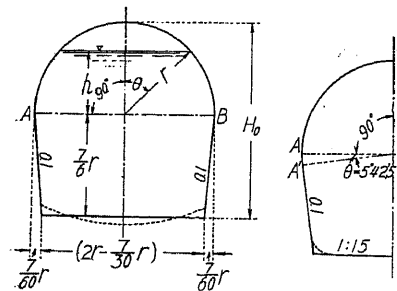
$A = 3.388 \cdot r^2$
 $S = 6.882 \cdot r$
 $R = 0.492 \cdot r$

施工上はなるべく簡單なる形を可とする。第196圖は最も簡單なる形にして渠底が地面より餘り深からぬ場合に比較的大なる流量を流す場合、第197圖は地面より深き場合に適するが、何れも低水時に汚物を流し又は沈泥を生ずる場合には適當せぬ。

満水状態に於ける水理量は第196圖及び第197圖の右側に示せる如し(Weyrauch)。

(4) 隧道水路 地面より水面迄の深さ極めて大なる場合、水路断面に卷立(Lining)の厚さを見込みたる断面に隧道を穿ち内面を混凝土を以て卷立てる。断面形は周圍の地壓と内水壓との強弱に従て適當に定むるが、大體に於て地質堅硬にして弱點なき所は普通の鐵道隧道に近き形を用ひ、軟弱にして地壓又は内水壓の大なる程なるべく圓形に近き形を利とし何れも上部は半圓形を用ひて居る。極めて堅硬緻密にして割目なき岩石に於て壓力隧道に非らざる場合は、單に摩擦と漏水とを減する爲に水面以下のみ良好質混凝土を張り付ける場合もある。一般に隧道は工費多大なるが故に混凝土内面の仕上げを出来るだけ平滑にし粗度を小にするを可とする。

1. 地質良好なる場合 上部、半徑 r の半圓、側壁は $1\sim 2$ 分勾配又は半徑 $3r$ の弧、底部直線又は弧とす。構造上も水理上も側壁及び底共弧形とし隅に丸味を付するを可とする。第198圖の實線の場合、水深 $H_0 = \frac{13}{6}r$



第 198 圖

第 199 圖

全斷面積 $A_0 = \frac{791}{360}r^2 + \frac{\pi}{2}r^2 = 3.768r^2$

水面が AB より h なる高さの場合 (Streck)

$$\theta = \arccos \frac{h}{r}$$

$$A = 3.768r^2 - \frac{1}{2}r^2(2\theta - \sin 2\theta)$$

$$S = 4.087 \cdot r + r(\pi - 2\theta) \dots \dots (204)$$

尙水理竝に構造上のため上部の弧を側壁線に接する迄延長し、更に底に $0.1\sim 0.2$ 位の勾配を附し隅を丸むる事あり、此場合水理量は殆んど變らぬ(第199圖)。

2. 地盤良好ならず地壓大なる場合又は壓力隧道にして鐵筋を要する場合 上部、半徑 r なる半圓、側壁、

半徑 $2r$ なる弧、底、半徑 $2r$ 、中心角 φ なる弧

$$y = r \cos \theta, \quad h = 2r \left(1 - \cos \frac{\varphi}{2}\right)$$

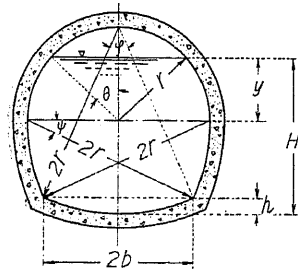
$$2b = 4r \sin \frac{\varphi}{2}, \quad \psi = \arccos \frac{r+b}{2r}$$

$$H = h + 2r \sin \psi + y$$

水深 H なる時

$$A = r^2 \left(\frac{\pi}{2} + \frac{1}{2} \sin 2\theta + 2\varphi - \theta + 4\psi - 2 \sin \varphi - \tan \psi \right)$$

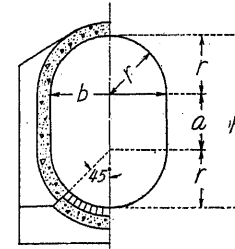
$$S = 2r \left(\frac{\pi}{2} + \varphi + 2\psi - \theta \right) \dots \dots (N.M.) \dots \dots (205)$$



第 200 圖

(5) 種々の暗渠断面の實例

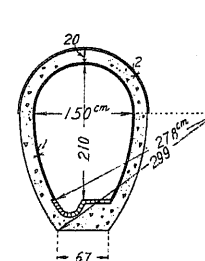
下水管、混凝土造但し低水路硬質煉瓦卷或は煉瓦積



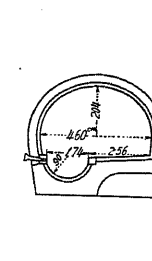
第 201 圖

第 201 圖 の 断 面

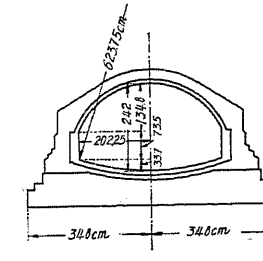
| | | | | | |
|--------|----|------|----|------|------|
| H cm | 65 | 72.5 | 80 | 82.5 | 90 |
| b cm | 50 | 50 | 50 | 60 | 60 |
| r cm | 25 | 25 | 25 | 31.5 | 31.5 |
| a cm | 15 | 22.5 | 30 | 22.5 | 30 |



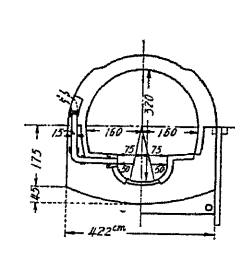
第 202 圖



第 203 圖

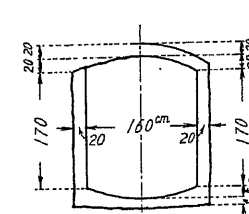


第 204 圖

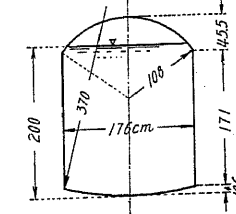


第 205 圖

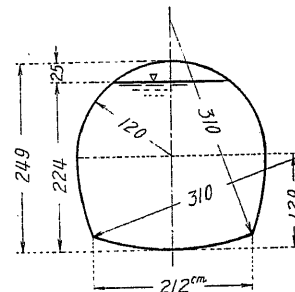
(6) 隧道水路断面の實例 (寸法 cm)



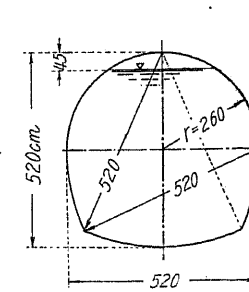
第 206 圖



第 207 圖



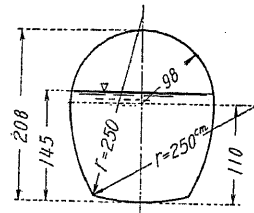
第 208 圖



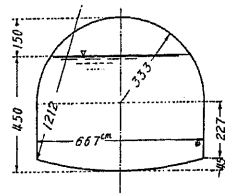
第 209 圖

全内周 $= 3.267 \cdot r = 17.02$ m, 水流斷面積 $= 21.55$ m², 潤邊 $S = 13.9$ m
 $R = 1.55$ m, $n = 0.016$, $C = 65$, $v = 2.07$ m/sec, $Q = 46.5$ m³/sec

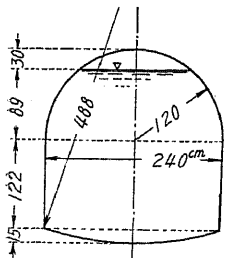
1. Raabklamm 發電隧道 (第 206 圖)
 岩質極めて良好なる場合、無卷
 岩質良好なる場合、粗度を小にする爲
 兩側及び底、混凝土卷
 岩質普通の場合、全面混凝土卷
2. 富山縣眞川發電隧道 (第 207 圖)
 i. $I = 1:400$, $n = 0.015$
 $A = 3.42$ m², $R = 0.602$ m,
 $v = 2.4$ m/sec, $Q = 8.2$ m³/sec
 ii. $I = 1:600$, 他は i. に同じ
 $v = 1.96$ m/sec, $Q = 6.7$ m³/sec
3. 梓川電力犀川發電隧道 (第 208 圖)
 $I = 1:1000$, $Q = 8.34$ m³/sec
4. 關東水電佐久發電隧道 (第 209 圖)
 地盤の關係上圓形に近き形を用ふ。
 全斷面積 $= 0.82932 \cdot r^2 = 22.5$ m²



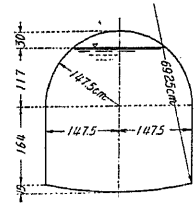
第 210 圖



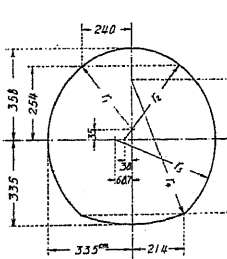
第 211 圖



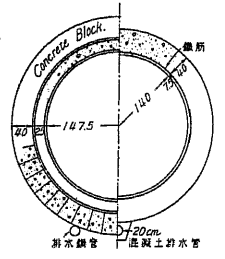
第 212 圖



第 213 圖



第 214 圖



第 215 圖

10. Partenstein 水電壓力隧道 (第 215 圖左半部)

常時水頭 30 m, 卷立, 内側厚 25 cm, 縦横鐵筋二層, 外側厚 40 cm, 混凝土ブロック巻

11. Amsteg 水電壓力隧道 (第 215 圖右半部)

岩質良、内側より 7.5 cm に 20 mm rod, 10 cm ビツチの輪鐵筋、縦鐵筋 10 mm, 20 cm 間隔。

5. Wien 市の給水隧道 (第 210 圖)

岩質極良の場合、側面及び底、混凝土

水面以下モルタル塗

岩質良好の場合、全部混凝土巻

水面以下モルタル塗

6. 關東水電佐久發電所放水隧道 (第 211 圖)

$I=1:1000$, $A=28.0 \text{ m}^2$

$S=15.44 \text{ m}$, $R=A/S \approx 1.82 \text{ m}$

$v=2.98 \text{ m/sec}$, $Q=83.4 \text{ m}^3/\text{sec}$

7. Los Angeles 市給水隧道 (第 212 圖)

$Q=12.3 \text{ m}^3/\text{sec}$, $I=1.7:1000$

$n=0.014$, $A=5.06 \text{ m}^2$

$S=6.88 \text{ m}$, $R=0.739 \text{ m}$

$C=68$, $v=2.43 \text{ m/sec}$

8. 同上 (第 213 圖)

$I=1/2000$, $Q=12.3 \text{ m}^3/\text{sec}$

$n=0.014$, $A=8.17 \text{ m}^2$

$S=8.94 \text{ m}$, $R=0.917 \text{ m}$

$C=70$, $v=1.51 \text{ m/sec}$

9. Davis Bridge 水電、土砂地盤隧道標準断面 (第 214 圖)

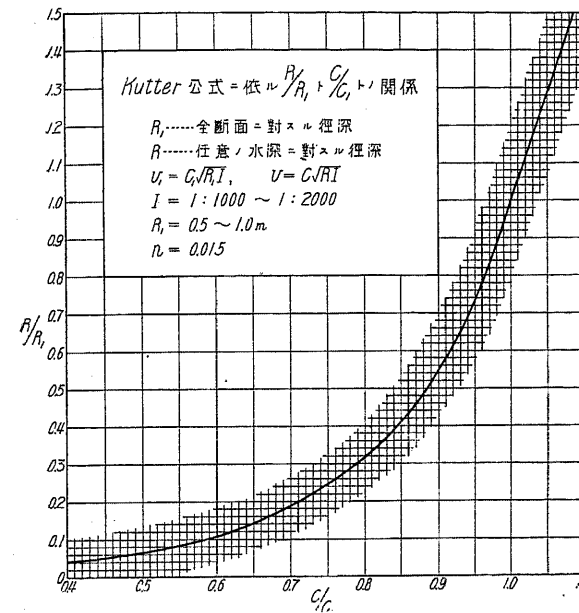
混凝土巻厚 76 cm, 同, 支保工内側迄 45 cm

r_1 r_2 r_3 r_4

各弧の半徑 cm 325 374 405 575

[30] 暗渠及び隧道断面の水利特性線

(1) 水利特性線 (Hydraulic characteristic curves) (N. M.) 一の水路に於ては任意の水位に對する断面積 A , 潤邊 S , 徑深 R 等を算定し得るを以て、水面勾配及び粗度係数を與へらるれば容易に流速 v , 流量 Q を知る。然るに暗渠、隧道等に於ては豫め全断面に對する A_1, R_1, v_1, Q_1 等と任意の水位に對する夫等の量との比を曲線又は表を以て表はし置けば、必要に應じ各水位に對する量を容易に求め得る。斯の如き曲線を断面の水利特性線と稱する。然るに $v=C\sqrt{RI}$ にして C は Kutter 公式を用ふる時は粗度係數一定とするも R 及び I に依て變ずる。故に満水



第 216 圖

の場合を C_1 とすれば C/C_1 は R 即ち断面の寸法及び n, I 等に依て異り、各断面に對して計算しなければならぬ。然るに n, I 等に大體の平均値を用ふれば相似の形に對しては C/C_1 は R/R_1 のみの函数として表はし得るを以て、相似断面に對しては容易に曲線を以て表はし得る。依て

$n=0.015$

$I=1:1000 \sim 1:2000$

$R_1=0.5 \sim 1.0 \text{ m}$

とし Kutter 式に依り C/C_1 を求むれば 第 216 圖 の如き曲線を得る。

(2) 各種断面の特性線 (N.M.)

1. 圓形

$A_1 = \frac{\pi}{2} H_1^2$

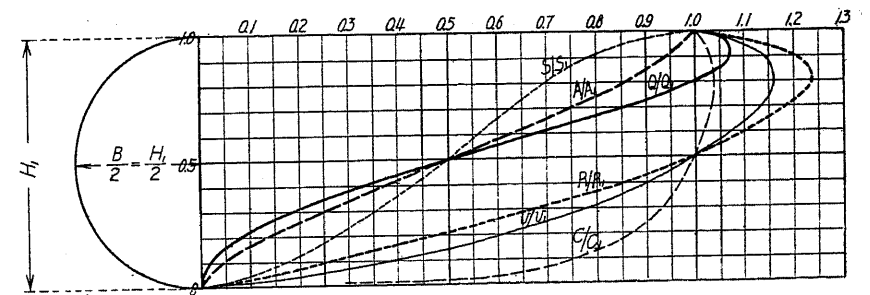
$S_1 = \pi H_1$

$R_1 = H_1/4$

$v_1 = C_1 \sqrt{R_1 I}$

$Q_1 = A_1 v_1$

第 217 圖



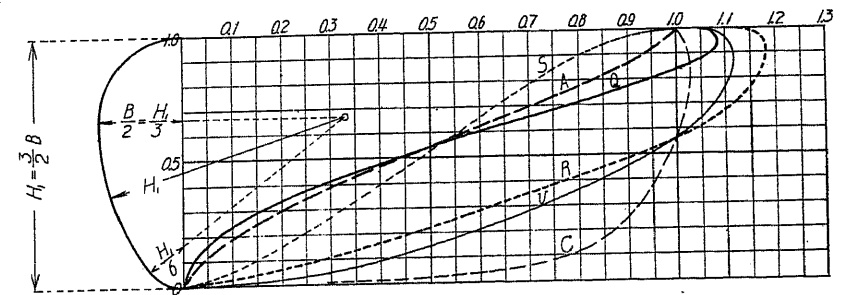
2. 標準卵形

$A_1 = 0.502 \cdot H_1^2$

$S = 2.67 \cdot H_1$

$R = 0.188 \cdot H_1$

第 218 圖



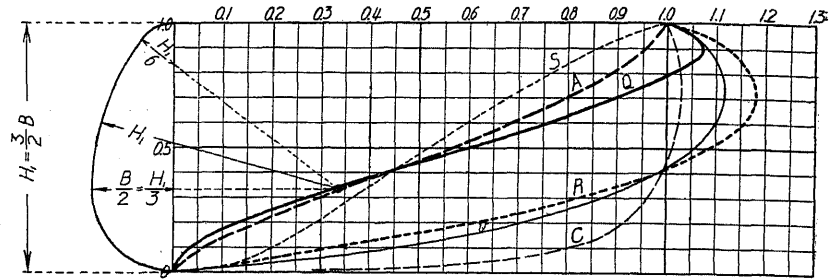
3. 倒卵形

$$A_1 = 0.502 \cdot H_1^2$$

$$S_1 = 2.67 \cdot H_1$$

$$R_1 = 0.188 \cdot H_1$$

第 219 圖



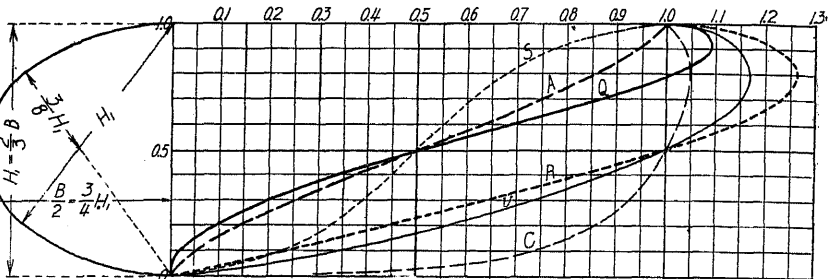
4. 橢圓形

$$A_1 = 1.172 \cdot H_1^2$$

$$S_1 = 4.14 \cdot H_1$$

$$R_1 = 0.285 \cdot H_1$$

第 220 圖



5. 弧三角形

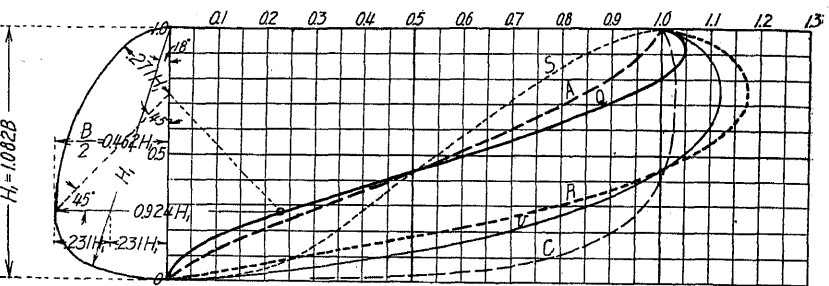
$$(H_1 = 1.082B)$$

$$A_1 = 0.717 \cdot H_1^2$$

$$S_1 = 3.09 \cdot H_1$$

$$R_1 = 0.232 \cdot H_1$$

第 221 圖



6. 弧三角形

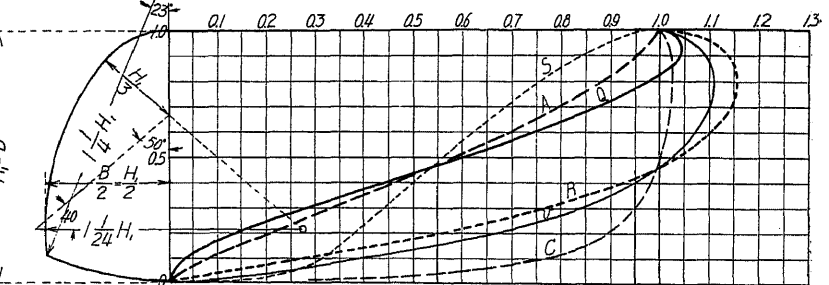
$$(H_1 = B)$$

$$A_1 = 0.781 \cdot H_1^2$$

$$S_1 = 3.27 \cdot H_1$$

$$R_1 = 0.239 \cdot H_1$$

第 222 圖



7. 弧三角形

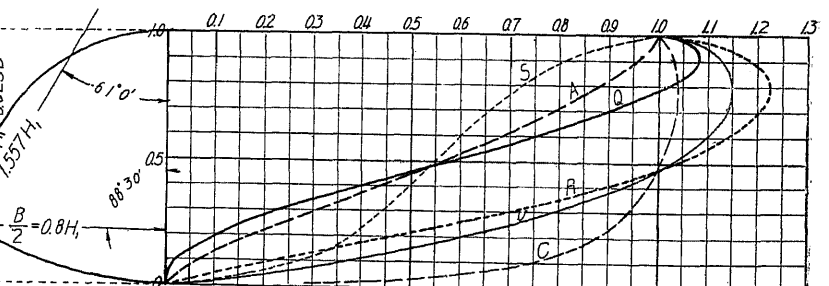
$$(H_1 = 0.625B)$$

$$A_1 = 1.209 \cdot H_1^2$$

$$S_1 = 4.17 \cdot H_1$$

$$R_1 = 0.290 \cdot H_1$$

第 223 圖



8. 馬蹄形

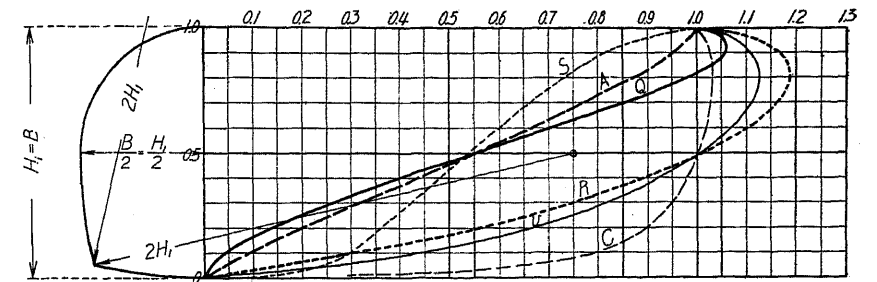
$$(H_1 = B)$$

$$A_1 = 0.854 \cdot H_1^2$$

$$S_1 = 3.48 \cdot H_1$$

$$R_1 = 0.245 \cdot H_1$$

第 224 圖



9. 馬蹄形

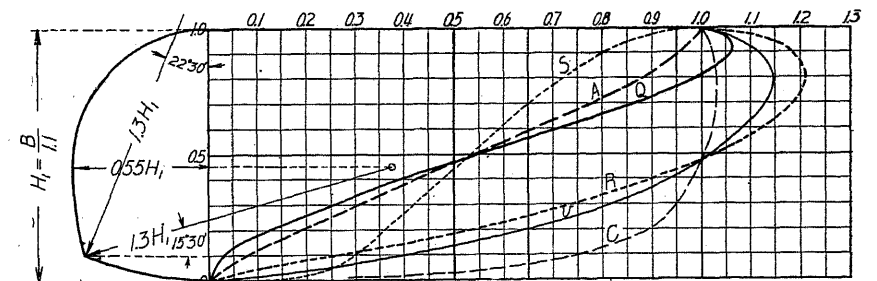
$$(H_1 = B/1.1)$$

$$A_1 = 0.919 \cdot H_1^2$$

$$S_1 = 3.58 \cdot H_1$$

$$R_1 = 0.259 \cdot H_1$$

第 225 圖



10. 馬蹄形

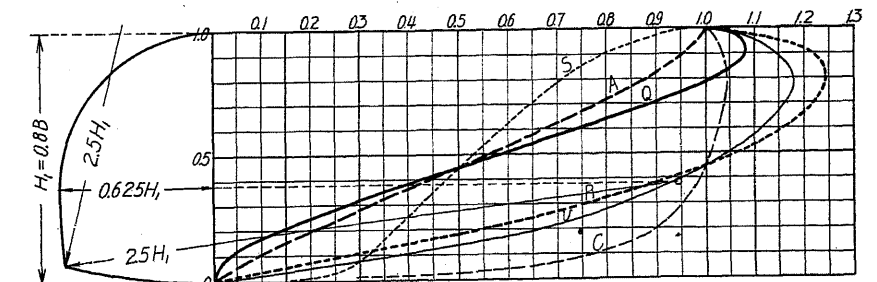
$$(H_1 = 0.8B)$$

$$A_1 = 1.051 \cdot H_1^2$$

$$S_1 = 3.88 \cdot H_1$$

$$R_1 = 0.271 \cdot H_1$$

第 226 圖



11. 馬蹄形

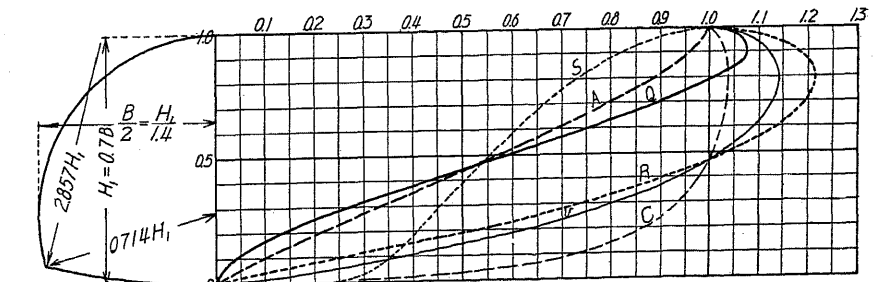
$$(H_1 = 0.7B)$$

$$A_1 = 1.173 \cdot H_1^2$$

$$S_1 = 4.23 \cdot H_1$$

$$R_1 = 0.277 \cdot H_1$$

第 227 圖



12. 馬蹄形

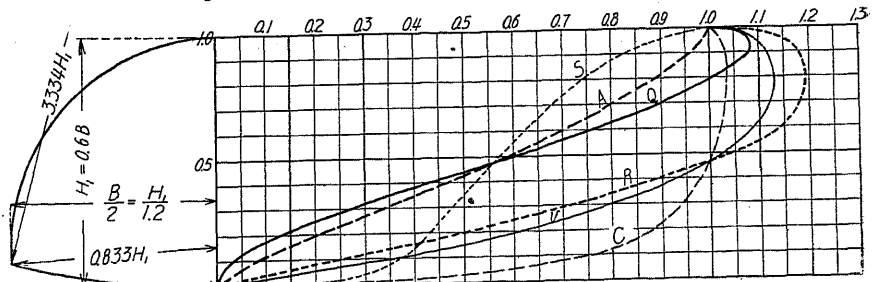
$$(H_1 = 0.6B)$$

$$A_1 = 1.312 \cdot H_1^2$$

$$S_1 = 4.41 \cdot H_1$$

$$R_1 = 0.299 \cdot H_1$$

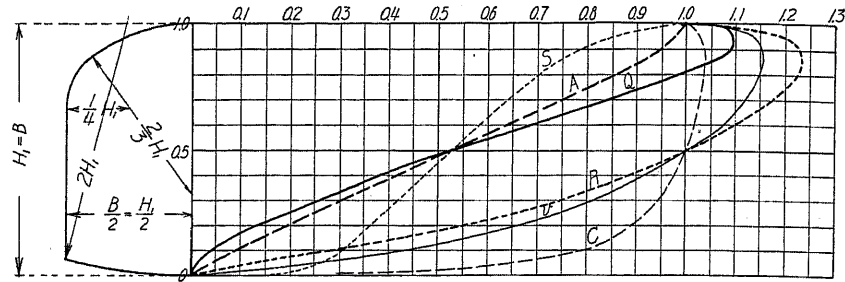
第 228 圖



13. 鉛直側壁隧道

$(H_1 = B)$
 $A_1 = 0.906 \cdot H_1^2$
 $S_1 = 3.59 \cdot H_1$
 $R_1 = 0.252 \cdot H_1$

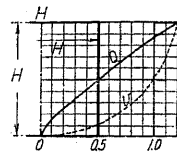
第 229 圖



上記以外の下水又は排水暗渠として用ひらるゝ断面に對して從來計算されたる Q/Q_1 及び v/v_1 を次に揚ぐる。但し v 及び Q は Kutter の簡單公式を用ひ $v = \frac{100\sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \sqrt{RI}$, $Q = vA$, $m = 0.35$ にして m は硬質煉瓦積又は良質混凝土製にして、Kutter の $n = 0.013 \sim 0.014$ に相當する場合なるが、(150) 式に依れば m は R 及び I に依て著しく變ずるを以て Q/Q_1 , v/v_1 の略値を示すに過ぎず、大體の傾向を知るに足るも、全断面に對する Q_1 , v_1 は Kutter, Forchheimer, Manning 等に依て計算するを可とする。

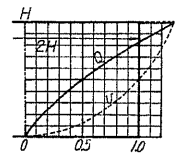
天井水平に近き断面に於ては水面が之に接すれば急に R 減じ從て v 及び Q が急減する。

14. 矩形
 $H = B$



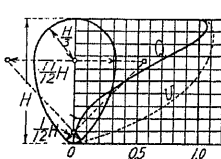
第 230 圖

15. 長方形
 $B = 2H$



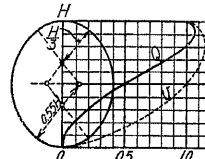
第 231 圖

16. 卵形
 $B = \frac{11}{6}H$



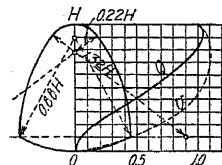
第 232 圖

17. 近似橢圓形
 $B = 0.8H$



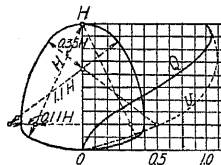
第 233 圖

18. 弧三角形
 $B = 0.84H$



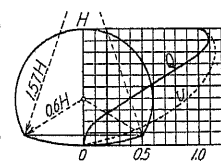
第 234 圖

19. 弧三角形
 $B = H$



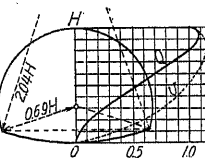
第 235 圖

20. 馬蹄形
 $B = 1.2H$



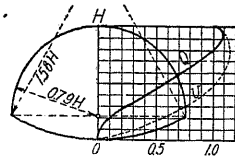
第 236 圖

21. 馬蹄形
 $B = 1.38H$



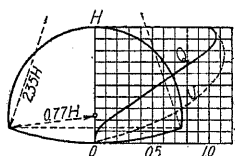
第 237 圖

22. 馬蹄形
 $B = 1.58H$



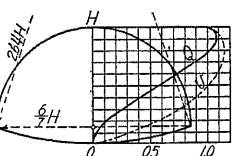
第 238 圖

23. 馬蹄形
 $B = 1.54H$



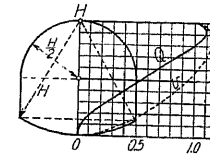
第 239 圖

24. 馬蹄形
 $B = 12/7H$



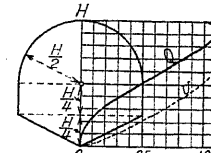
第 240 圖

25.



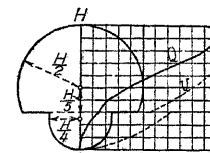
第 241 圖

26.



第 242 圖

27.



第 243 圖

第 46 表 全断面に對する $A_1 = aH^2$, $S = bH$, $R = cH$

| 断面形 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| a | 1.00 | 2.00 | 0.495 | 0.638 | 0.661 | 0.773 | 0.985 | 1.126 | 1.21 | 1.234 | 1.30 | 0.850 | 0.767 | 0.721 |
| b | 4.00 | 6.00 | 2.61 | 2.91 | 3.035 | 3.24 | 3.60 | 3.935 | 4.13 | 4.21 | 4.43 | 3.35 | 3.19 | 3.30 |
| c | 0.250 | 0.333 | 0.190 | 0.219 | 0.217 | 0.240 | 0.274 | 0.286 | 0.293 | 0.293 | 0.293 | 0.233 | 0.240 | 0.216 |