彙　　　報
第26卷第1號　昭和15年1月

發電用馬蹄形水路斷面計算法

會員　有　坂　誠　喜*

要　旨　本文は發電用水路として普通に用ひられる馬蹄形斷面の幾何學的性質及水理學的特性に關する計算式を整理し，標準的な場合に對して，圖表を以て流量と勾配より容易に斷面の大さ並に詳細寸法に至るまで求め得られるやうに簡易化し，更にその最大流量に就て若干の考察を試みたものである。

目　　次

1. 馬蹄形斷面の幾何學的性質

(1) 斷面積及周長

本文に於ては **圖-1** に示す斷面を一般的馬蹄形斷面と呼ぶ事とし次の記號を用ふ。

D: 斷面の高さ，$B=2r$: 全幅，R_1: 敷の半徑，R_2: 側壁の半徑，r: 拱の半徑，m: 中心 O より R_1 の中心までの距離 $R_1-(D-r)$，n: 中心 O より R_2 の中心までの距離 R_2-r，h: 敷抑拱の高さ，$h'=r-b/2$，φ_0: 敷の兩端の半徑のなす角，ϕ_0: 側壁の最下半徑が水平線となす角，A_0: 全斷面積，S_0: 全周長

馬蹄形斷面の形狀を決定する基本として何れを選ぶも任意であるが代表的の4つの場合を示せば表-1

圖-1.

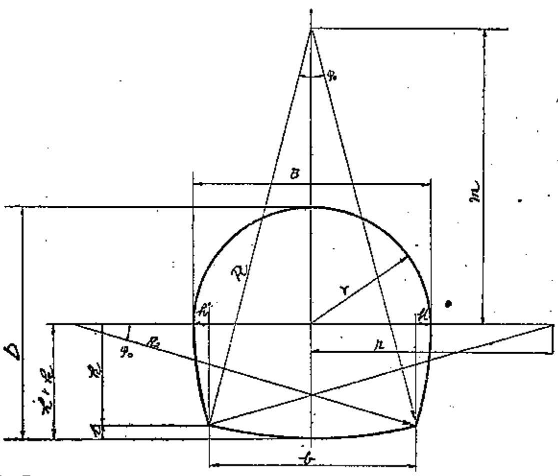


表-1.

場　合	既　知	求むるもの	摘　要
1	r R_1 R_2 D	b k h h' φ_0 ϕ_0	$B=2r=b+2h'$ $m=R_1-(D-r)$
2	r R_1 R_2 b	h k D h' φ_0 ϕ_0	$n=R_2-r$ $D=h+k+r$
3	r R_1 D b	h h' k R_2 φ_0 ϕ_0	
4	r R_2 D b	k h h' R_1 φ_0 ϕ_0	

* 工學士　元大同電力株式會社勤務

の如し。

前記の諸量を知れば

$$\left.\begin{aligned}&\sin\frac{\varphi_0}{2}=\frac{b}{2R_1},\qquad \sin\phi_0=\frac{k}{R_2}\\&A_0=\frac{1}{2}R_1^2(\varphi_0-\sin\varphi_0)+\frac{1}{2}R_2(2\phi_0-\sin 2\phi_0)+bk+\frac{\pi}{2}r^2\\&S_0=R_1\varphi_0+2R_2\phi_0+\pi r\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(1)$$

(2) 各種の場合に對する未知量を求むる式

1) r, R_1, R_2, D 既知の場合

b 及 k は次の 2 圓の交點として求められる

$$x^2+(y-m)^2=R_1^2,\qquad (x-n)^2+y^2=R_2^2$$

故に

$$\left.\begin{aligned}&b=2x=\left|\frac{1}{m^2+n^2}\{n(R_1^2-R_2^2+m^2+n^2)-m\sqrt{4R_1^2(m^2+n^2)-(R_1^2-R_2^2+m^2+n^2)}\}\right|\\&k=y=\left|\frac{1}{2(m^2+n^2)}\{m(R_2^2-R_1^2+m^2+n^2)-n\sqrt{4R_2^2(m^2+n^2)-(R_2^2-R_1^2+m^2+n^2)}\}\right|\end{aligned}\right\}\cdots(2)$$

從つて他の量は

$$h=D-(r+k),\qquad \sin\frac{\varphi_0}{2}=\frac{b}{2R_1},\qquad \sin\phi_0=\frac{k}{R_2}\cdots\cdots(3)$$

2) r, R_1, R_2, b 既知の場合

$$h=\left|\frac{1}{2}(R_1-\sqrt{R_1^2+b^2})\right|,\qquad k=\sqrt{R_2^2-\left(\frac{b}{2}+R_2-r\right)^2}\cdots\cdots(4)$$

從つて $$D=h+k+r,\qquad h'=r-\frac{b}{2},\qquad \sin\frac{\varphi_0}{2}=\frac{k}{2R_1},\qquad \sin\phi_0=\frac{b}{R_2}\cdots\cdots(5)$$

3) r, R_1, D, b 既知の場合

$$h=\left|\frac{1}{2}(R_1-\sqrt{R_1^2+b^2})\right|\cdots\cdots(6)$$

從つて
$$\left.\begin{aligned}&h'=r-\frac{b}{2},\qquad k=D-(h+r),\qquad R_2=\frac{k^2}{h'}+h'\\&\sin\frac{\varphi_0}{2}=\frac{b}{2R_1},\qquad \sin\phi_0=\frac{k}{R_2}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(7)$$

4) r, R_2, D, b 既知の場合

$$k=\sqrt{R_2^2-\left(\frac{b}{2}+R_2-r\right)^2}\cdots\cdots(8)$$

從つて
$$\left.\begin{aligned}&h=D-(k+r),\qquad h'=r-\frac{b}{2},\qquad R_1=\frac{b^2}{4h}+h\\&\sin\frac{\varphi_0}{2}=\frac{b}{2R_1},\qquad \sin\phi_0=\frac{k}{R_2}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(9)$$

(3) 標準型の場合に對する表

馬蹄形斷面で高さと幅と相等しい (即 $D=2r$) 場合を標準型と呼ぶ事とする。 これは最も普通に用ひられる斷面である。 さてこゝに r, R_1, R_3 が既知なるものとして他の未知量, 斷面積及周長を求むる表を作成せん。 (2) 式に於て $m=R_1-r$, $n=R_2-r$ を代入すれば

$$b=\left|\frac{1}{R_1^2+R_2^2-2r(R_1+R_2)+2r^2}\{(R_2-r)[2R_1^2-2r(R_1+R_2)+2r^2]\right.$$
$$\left.-2(R_1-r)\sqrt{R_1^2R_2^2-r^2(R_1+R_2-r)^2}\}\right|$$

$$h=\left|\frac{1}{2\{R_2^2+R_1^2-2r(R_1+R_2)^2+2r^2\}}\{(R_1-r)[2R_2^2-2r(R_1+R_2)+2r^2]\right.$$
$$\left.-2(R_2-r)\sqrt{R_1^2R_2^2-r^2(R_1+R_2-r)^2}\}\right|$$

更に $\frac{R_1}{r}=\lambda$, $\frac{R_2}{r}=\alpha\lambda$ と置けば $\frac{R_2}{R_1}=\alpha$

$$\left.\begin{aligned}\frac{b}{r}&=\left|\frac{1}{\lambda^2(1+\alpha^2)-2\lambda(1+\alpha)+2}\{(\alpha\lambda-1)[2\lambda^2-2\lambda(1+\alpha)+2]\right.\\&\qquad\left.-2(\lambda-1)\sqrt{\alpha^2\lambda^4-(\lambda+\alpha\lambda-1)^2}\}\right|\\\frac{k}{r}&=\left|\frac{1}{2\{\lambda^2(1+\alpha^2)-2\lambda(1+\alpha)+2\}}\{(\lambda-1)[2\alpha^2\lambda^2-2\lambda(1+\alpha)+2]\right.\\&\qquad\left.-2(\alpha\lambda-1)\sqrt{\alpha^2\lambda^4-(\lambda+\alpha\lambda-1)^2}\}\right|\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(10)$$

從つて

$$\left.\begin{aligned}&\frac{h}{r}=1-\frac{k}{r},\qquad \sin\frac{\varphi_0}{2}=\frac{b}{2\lambda r},\qquad \sin\phi_0=\frac{k}{\alpha\lambda r}\\&\frac{A_0}{r^2}=\frac{1}{2}\lambda^2(\varphi_0-\sin\varphi_0)+\frac{1}{2}\alpha^2\lambda^2(2\phi_0-\sin2\phi_0)+\frac{bk}{r^2}+\frac{\pi}{2}\\&\frac{S_0}{r}=\lambda\varphi_0+2\alpha\lambda\phi_0+\pi\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(11)$$

$\alpha=1$ 即ち側壁と敷の半徑が等しい場合には

$$\left.\begin{aligned}&\frac{b}{r}=\frac{2k}{r}=|(\lambda-1)-\sqrt{\lambda^2+2\lambda-1}|,\qquad \frac{h}{r}=\frac{h'}{r}=1-\frac{k}{r}\\&\sin\frac{\varphi_0}{2}=\sin\phi_0=\frac{k}{\lambda r}\\&\frac{A_0}{r^2}=2\lambda^2\left(\phi-\frac{1}{2}\sin2\phi_0\right)+2\left(\frac{k}{r}\right)^2+\frac{\pi}{2},\qquad \frac{S_0}{r}=4\lambda\phi_0+\pi\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(12)$$

(10), (11) 及 (12) 式によつて α 及 λ の種々なる値に對して, $\frac{b}{r}$, $\frac{k}{r}$, $\frac{h}{r}$, φ_0, ϕ_0, $\frac{A_0}{r^2}$ 及 $\frac{S_0}{r}$ を求むれば表-2 (1)～(6) となる。

2. 馬蹄形斷面の水理學的特性

(1) 任意の水深に對する通水斷面積及潤邊

圖-2 の如き一般の馬蹄形斷面に於て任意の水深に對する通水斷面積及潤邊を求むるに水深 h 及 $h+k$ なる點に於て異なる式を用ひなければならぬ。

H: 任意の水深, p, q: 水面が周と交る點

1) $0\leq H\leq h$ なる時

この場合には p, q は抑拱と交る。

表-2(1). 馬蹄形斷面の斷面積及潤邊 α : 1.0

λ_1	b/r	k/r	φ_0	ϕ_0	A_0/r^2	S_0/r	
0					3.1416	6.2832	圓 形
2.0	1.6457	0.8229	24° 17′ 43″	48° 35′ 26″	3.3175	6.5340	
2.5	1.7015	0.8508	19° 53′ 45″	39° 47′ 30″	3.3590	6.6141	
3.0	1.7416	0.8708	16° 52′ 28″	33° 44′ 56″	3.3888	6.6758	
3.5	1.7720	0.8860	14° 39′ 48″	29° 19′ 36″	3.4110	6.7246	
4.0	1.7958	0.8979	12° 58′ 19″	25° 56′ 38″	3.4299	6.7649	
4.5	1.8151	0.9075	11° 38′ 5″	23° 16′ 10″	3.4423	6.7968	
5.0	1.8309	0 9155	10° 33′ 0″	21° 6′ 0″	3.4537	6.8243	
5.5	1.8443	0.9221	9° 39′ 7″	19° 18′ 14′	3.4645	6.8481	
6.0	1.8556	0.9278	8° 53′ 45″	17° 47′ 30″	3.4713	6.8678	
6.5	1.8655	0.9327	8° 15′ 0″	16° 30′ 0″	3.4782	6.8853	
7.0	1.8740	0.9370	7° 41′ 33″	15° 23′ 6″	3.4843	6.9009	
7.5	1.8815	0.9408	7° 12′ 21″	14° 24′ 42″	3.4896	6.9146	
8.0	1.8882	0.9441	6° 46′ 38″	13° 33′ 16″	3.4943	6.9268	
8.5	1.8941	0.9471	6° 23′ 50″	12° 47′ 40″	3.4985	6.9378	
9.0	1.8995	0.9497	6° 3′ 48″	12° 7′ 36″	3.5025	6.9513	
9.5	1.9043	0.9522	5° 45′ 8″	11° 30′ 16″	3.5078	6.9566	
10.0	1.9087	0.9544	5° 28′ 35″	10° 57′ 10″	3.5086	6.9648	
	2.0000	1.0000	0° 0′ 0″	0° 0′ 0″	3.5708	7.1416	矩 形

表-2(2). α : 0.9

λ_1	b/r	k/r	φ_0	ϕ_0	A_0/r^2	S_0/r
2.5	1.6595	0.8581	38° 46′ 10″	22° 25′ 4″	3.3485	6.5939
3.0	1.7080	0.8759	33° 4′ 38″	18° 55′ 46″	3.3802	6.6576
3.5	1.7435	0.8896	28° 50′ 38″	16° 24′ 18″	3.4031	6.7074
4.0	1.7710	0.9008	25° 34′ 38″	14° 29′ 24″	3.4212	6.7481
4.5	1.7929	0.9098	22° 58′ 56″	12° 58′ 53″	3.4358	6.7818
5.0	1.8110	0.9173	20° 52′ 4″	11° 45′ 44″	3.4479	6.7810
5.5	1.8261	0.9237	19° 6′ 42″	10° 45′ 16″	3.4578	6.8344
6.0	1.8389	0.9291	17° 37′ 48″	9° 54′ 28″	3.4663	6.8554

表-2(3). α : 0.8

λ_1	b/r	k/r	φ_0	ϕ_0	A_0/r^2	S_0/r
2.5	1.6037	0.8679	37° 24′ 58″	25° 43′ 8″	3.3363	6.5697
3.0	1.6638	0.8823	32° 11′ 56″	21° 34′ 13″	3.3690	6.6346
3.5	1.7066	0.8944	28° 13′ 20″	18° 37′ 41″	3.3935	6.6863
4.0	1.7391	0.9043	25° 6′ 40″	16° 24′ 57″	3.4126	6.7283
4.5	1.7648	0.9126	22° 37′ 0″	14° 41′ 7″	3.4280	6.7633
5.0	1.7857	0.9196	20° 35′ 0″	13° 17′ 30″	3.4407	6.7937
5.5	1.8031	0 9256	18° 52′ 6″	12° 8′ 37″	3.4511	6.8179
6.0	1.8178	0.9308	17° 25′ 32″	11° 10′ 51″	3.4600	6.8398

表-2(4).　α : 0.7

λ_1	b/r	k/r	φ_0	ϕ_0	A_0/r^2	S_0/r
3.0	1.6033	0.8909	30° 59′ 52″	25° 6′ 10″	3.3541	6.6048
3.5	1.6569	0.9004	27° 23′ 0″	21° 33′ 48″	3.3802	6.6585
4.0	1.6967	0.9090	24° 29′ 22″	18° 56′ 38″	3.4010	6.7028
4.5	1.7275	0.9163	22° 7′ 58″	16° 54′ 39″	3.4173	6.7393
5.0	1.7524	0.9226	20° 11′ 8″	15° 17′ 3″	3.4310	6.7704
5.5	1.7729	0.9281	18° 33′ 0″	13° 56′ 56″	3.4422	6.7969
6.0	1.7902	0.9329	17° 9′ 32″	12° 49′ 59″	3.4518	6.8199

表-2(5).　α : 0.6

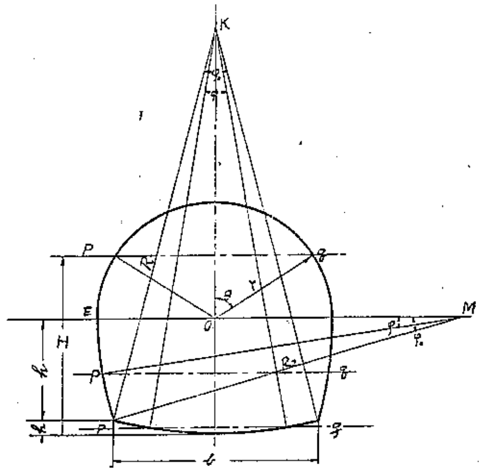
λ_1	b/r	k/r	φ_0	ϕ_0	A_0/r^2	S_0/r
3.5	1.5862	0.9090	26° 11′ 38″	25° 38′ 53″	3.3625	6.6218
4.0	1.6372	0.9153	23° 37′ 4″	22° 25′ 12″	3.3851	6.6687
4.5	1.6759	0.9213	21° 27′ 50″	19° 57′ 4″	3.4032	6.7077
5.0	1.7066	0.9266	19° 39′ 8″	17° 59′ 31″	3.4180	6.7407
5.5	1.7317	0.9314	18° 6′ 54″	16° 23′ 40″	3.4303	6.7690
6.0	1.7526	0.9357	16° 47′ 44″	15° 3′ 52″	3.4407	6.7935

表-2(6).　α : 0.5

λ_1	b/r	k/r	φ_0	ϕ_0	A_0/r^2	S_0/r
4.0	1.5470	0.9245	22° 17′ 58″	27° 31′ 56″	3.3615	6.6205
4.5	1.5990	0.9284	20° 28′ 4″	24° 22′ 9″	3.3822	6.6631
5.0	1.6393	0.9324	18° 52′ 12″	21° 53′ 50″	3.3991	6.6992
5.5	1.6715	0.9361	17° 28′ 48″	19° 54′ 4″	3.4129	6.7299
6.0	1.6981	0.9396	16° 16′ 14″	18° 15′ 9″	3.4249	6.7568

$$\left.\begin{aligned}
&LpKq=\varphi, \qquad 0<\varphi<\varphi_0\\
&H=R_1\left(1-\cos\frac{\varphi}{2}\right)\\
&\text{又は}\quad \cos\frac{\varphi}{2}=1-\frac{H}{R_1}\\
&A=\frac{1}{2}R_1^2(\varphi-\sin\varphi)\\
&S=R_1\varphi
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(13)$$

圖-2.



2)　$h\leqq H\leqq h+k$ なる時

この場合には $p\ q$ は側壁と交る

$$\angle pME=\phi, \qquad \phi_0\geqq\phi\geqq0$$

$$H=R_1\left(1-\cos\frac{\varphi}{2}\right)+R_2(\sin\phi_0-\sin\phi)$$

$$\left.\begin{aligned}&\text{又は}\quad \sin\phi=\frac{R_1}{R_2}\left(1-\cos\frac{\varphi_0}{2}\right)-\frac{H}{R_2}\\&A=\frac{1}{2}R_1^2(\varphi_0-\sin\varphi_0)+R_2^2\left\{(\phi_0-\phi)+\frac{1}{2}(\sin 2\phi_0-\sin 2\phi)-2\left(1-\frac{r}{R_2}\right)(\sin\phi_0-\sin\phi)\right\}\\&S=R_1\varphi_0+2R_2(\phi_0-\phi)\end{aligned}\right\}\quad(14)$$

3) $h+k\leqq H\leqq D=h+k+r$ なる時

この場合には $p\,q$ は共と交る

$$\left.\begin{aligned}&\angle poK=\theta\qquad \frac{\pi}{2}\leqq\theta\leqq 0\\&H=R_1\left(1-\cos\frac{\varphi_0}{2}\right)+R_2\sin\phi_0+r\cos\theta\\&\text{又は}\quad \cos\theta=\frac{H}{r}-\frac{R_1}{r}\left(1-\cos\frac{\varphi_0}{2}\right)-\frac{R_2}{r}\sin\phi_0\\&A=\frac{1}{2}R_1^2(\varphi_0-\sin\varphi_0)+R_2^2\left\{\phi_0+\frac{1}{2}\sin 2\phi_0-2\left(1-\frac{r}{R_2}\right)\sin\phi_0\right\}+r^2\left(\frac{\pi}{2}-\theta+\frac{1}{2}\sin 2\theta\right)\\&S=R_1\varphi_0+2R_2\phi_0+r(\pi-2\theta)\end{aligned}\right\}\quad(15)$$

(2) 標準型の場合

標準型の場合には $h+k=r$, $D=2r$ 從つて

1) $0\leqq H\leqq h$

$$\cos\frac{\varphi}{2}=1-\frac{H}{\lambda r},\qquad \frac{A}{r^2}=\frac{1}{2}\lambda^2(\varphi-\sin\varphi),\qquad \frac{S}{r}=\lambda\varphi\quad\cdots\cdots(16)$$

2) $h\leqq H\leqq r$

$$\left.\begin{aligned}&\sin\phi=\frac{1}{\alpha\lambda}\left(1-\frac{H}{r}\right)\\&\frac{A}{r^2}=\frac{1}{2}\lambda^2(\varphi_0-\sin\varphi_0)+\alpha^2\lambda^2\left\{(\phi_0-\phi)+\frac{1}{2}(\sin 2\phi_0-\sin 2\phi)-2\left(1-\frac{1}{\alpha\lambda}\right)(\sin\phi_0-\sin\phi)\right\}\\&\frac{S}{r}=\lambda\varphi_0+2\alpha\lambda(\phi_0-\phi)\end{aligned}\right\}(17)$$

3) $r\leqq H\leqq 2r$

$$\left.\begin{aligned}&\frac{H}{r}=1+\cos\theta\\&\frac{A}{r^2}=\frac{1}{2}\lambda^2(\varphi_0-\sin\varphi_0)+\alpha^2\lambda^2\left\{\phi_0+\frac{1}{2}\sin 2\phi_0-2\left(1-\frac{1}{\alpha\lambda}\right)\sin\phi_0+\left(\frac{\pi}{2}-\theta+\frac{1}{2}\sin\theta\right)\right\}\\&S=\lambda\varphi_0+2\lambda\alpha\varphi_0+\pi-2\theta\end{aligned}\right\}\cdots(18)$$

又 $\alpha=1$ なる特別の場合には $\varphi_0=2\phi_0$ なる故に

1) $0\leqq H\leqq h$

$$\cos\frac{\varphi}{2}=1-\frac{H}{r\lambda},\qquad \frac{A}{r^2}=\frac{1}{2}\lambda^2(\varphi-\sin\varphi),\qquad \frac{S}{r}=\lambda\varphi\quad\cdots\cdots(19)$$

2) $h\leqq H\leqq r$

$$\sin\phi=\frac{1}{\lambda}\left(1-\frac{H}{r}\right)$$

$$\left.\begin{aligned}\frac{A}{r^2}&=\lambda^2\left\{(2\phi_0-\phi)-\frac{1}{2}\sin 2\phi-2\left(1-\frac{1}{\lambda}\right)(\sin\phi_0-\sin\phi)\right\}\\ \frac{S}{r}&=2\lambda(2\phi_0-\phi)\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(20)$$

3) $r\leqq H\leqq 2r$

$$\left.\begin{aligned}\cos\theta&=\frac{H}{r}-1\\ \frac{A}{r^2}&=2\lambda^2\left\{\phi_0-\left(1-\frac{1}{\lambda}\right)\sin\phi_0\right\}+\left(\frac{\pi}{2}-\theta+\frac{1}{2}\sin 2\theta\right)\\ \frac{S}{r}&=4\lambda\phi_0+\pi-2\theta\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(21)$$

(16)～(21) 式により α 及 λ の種々なる値に對して A 及 S の算式を表示すれば 表-3 及 表-4, 又これらの式によつて各水深に對する A 及 S の計算結果を表示すれば 表-5 (1)～(5) 及 表-6 の如し。

表-3. 任意の水深に對する標準馬蹄形の通水断面積及潤邊計算式 ($\alpha=1.0$)

λ_1	ϕ_0	h/r	$0\leqq H\leqq h$	$h\leqq H\leqq(h+k)$	$h+k\leqq H<2r$
1			$\cos\phi=1-\frac{H}{r\lambda}$ $\frac{A}{r^2}=\lambda^2\left(\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi\right)$ $S/r=2\lambda\phi$	$\sin\phi=\frac{1}{\lambda}\left(1-\frac{H}{r}\right)$ $\frac{A}{r^2}=\lambda^2\left\{2\phi_0-2\left(1-\frac{1}{\lambda}\right)\sin\phi_0-\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi+2\left(1-\frac{1}{\lambda}\right)\times\sin\phi\right\}$ $S/r=2\lambda(2\phi_0-\lambda)$	$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$ $\frac{A}{r^2}=\left(\frac{\pi}{2}-\theta+\frac{1}{2}\sin 2\theta\right)+2\lambda^2\left\{\phi_0-\left(1-\frac{1}{\lambda}\right)\times\sin\phi_0\right\}$ $S/r=\pi-2\theta+4\lambda\phi_0$
2	24° 17′ 43″	0.1771	$\cos\phi=1-\frac{H}{2r}$ $\frac{A}{r^2}=4\left(\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi\right)$ $S/r=4\phi$	$\sin\phi=\frac{1}{2}\left(1-\frac{H}{r}\right)$ $\frac{A}{r^2}=4\left\{0.4367-\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi+\sin\phi\right\}$ $S/r=4(0.8481-\phi)$	$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$ $\frac{A}{r^2}=3.3175-\theta+\frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r=6.534-2\theta$
2.5	19° 53′ 45″	0.1492	$\cos\phi=1-\frac{H}{25r}$ $\frac{A}{r^2}=6.25\left(\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi\right)$ $S/r=5\phi$	$\sin\phi=\frac{1}{25}\left(1-\frac{H}{r}\right)$ $\frac{A}{r^2}=6.25\left(0.2861-\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi+1.2\times\sin\phi\right)$ $S/r=5(0.6945-\phi)$	$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$ $\frac{A}{r^2}=3.3591-\theta+\frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r=6.6141-2\theta$
3.0	16° 52′ 28″	0.1299	$\cos\phi=1-\frac{H}{3r}$ $\frac{A}{r^2}=9\left(\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi\right)$ $S/r=6\phi$	$\sin\phi=\frac{1}{3}\left(1-\frac{H}{r}\right)$ $\frac{A}{r^2}=9\left(0.20199-\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi+1.3333\sin\phi\right)$ $S/r=6(0.5890-\phi)$	$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$ $\frac{A}{r^2}=3.3888-\theta+\frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r=6.6758-2\theta$

表-3. (續　き)

λ_1	ϕ_0	h/r	$0 \leqq H \leqq h$	$h \leqq H \leqq (h+k)$	$h+K \leqq H \leqq 2r$
3.5	14° 39′ 48″	0.1140	$\cos\phi = 1 - \frac{H}{3.5r}$ $\frac{A}{r^2} = 12.25\left(\phi - \frac{1}{2}\sin 2\phi\right)$ $S/r = 7\phi$	$\sin\phi = \frac{1}{3.5}\left(1 - \frac{H}{r}\right)$ $\frac{A}{r^2} = 12.25\left(0.1502 - \phi - \frac{1}{2}\sin 2\phi + 1.4286\sin\phi\right)$ $S/r = 7(0.5119 - \phi)$	$\cos\theta = \frac{H}{r} - 1$ $\frac{A}{r^2} = 3.4110 - \theta + \frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r = 6.7246 - 2\theta$
4.0	12° 58′ 19″	0.1021	$\cos\phi = 1 - \frac{H}{4r}$ $\frac{A}{r^2} = 16\left(\phi - \frac{1}{2}\sin 2\phi\right)$ $S/r = 8\phi$	$\sin\phi = \frac{1}{4}\left(1 - \frac{H}{r}\right)$ $\frac{A}{r^2} = 16\left(0.1162 - \phi - \frac{1}{2}\sin 2\phi + 1.5\sin\phi\right)$ $S/r = 8(0.4529 - \phi)$	$\cos\theta = \frac{H}{r} - 1$ $\frac{A}{r^2} = 3.4299 - \theta + \frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r = 6.7649 - 2\theta$
4.5	11° 38′ 5″	0.0925	$\cos\phi = 1 - \frac{H}{4.5r}$ $\frac{A}{r^2} = 20.25\left(\phi - \frac{1}{2}\sin 2\phi\right)$ $S/r = 9\phi$	$\sin\phi = \frac{1}{4.5}\left(1 - \frac{H}{r}\right)$ $\frac{A}{r^2} = 20.25\left(0.0924 - \phi - \frac{1}{2}\sin 2\phi + 1.5556\sin\phi\right)$ $S/r = 9(0.4061 - \phi)$	$\cos\theta = \frac{H}{r} - 1$ $\frac{A}{r^2} = 3.4423 - \theta + \frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r = 6.7968 - 2\theta$
5.0	10° 33′ 0″	0.0845	$\cos\phi = 1 - \frac{H}{5r}$ $\frac{A}{r^2} = 25\left(\phi - \frac{1}{2}\sin 2\phi\right)$ $S/r = 10\phi$	$\sin\phi = \frac{1}{5.0}\left(1 - \frac{H}{r}\right)$ $\frac{A}{r^2} = 25\left(0.0753 - \phi - \frac{1}{2}\sin 2\phi + 1.6\sin\phi\right)$ $S/r = 10(0.3683 - \phi)$	$\cos\theta = \frac{H}{r} - 1$ $\frac{A}{r^2} = 3.4537 - \theta + \frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r = 6.8243 - 2\theta$
5.5	9° 39′ 7″	0.0779	$\cos\phi = 1 - \frac{H}{5.5r}$ $\frac{A}{r^2} = 30.25\left(\phi - \frac{1}{2}\sin 2\phi\right)$ $S/r = 11\phi$	$\sin\phi = \frac{1}{5.5}\left(1 - \frac{H}{r}\right)$ $\frac{A}{r^2} = 30.25\left(0.0625 - \phi - \frac{1}{2}\sin 2\phi + 1.6364\sin\phi\right)$ $S/r = 11(0.3369 - \phi)$	$\cos\theta = \frac{H}{r} - 1$ $\frac{A}{r^2} = 3.4644 - \theta + \frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r = 6.8481 - 2\theta$
6.0	8° 53′ 45″	0.0722	$\cos\phi = 1 - \frac{H}{6r}$ $\frac{A}{r^2} = 36\left(\phi - \frac{1}{2}\sin 2\phi\right)$ $S/r = 12\phi$	$\sin\phi = \frac{1}{6.0}\left(1 - \frac{H}{r}\right)$ $\frac{A}{r^2} = 36\left(0.0528 - \phi - \frac{1}{2}\sin 2\phi + 1.6667\sin\phi\right)$ $S/r = 12(0.3105 - \phi)$	$\cos\theta = \frac{H}{r} - 1$ $\frac{A}{r^2} = 3.4713 - \theta + \frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r = 6.8679 - 2\theta$

表-4. 任意の水深に對する標準馬蹄形の通水斷面積及潤邊計算式 (α : 0.5)

λ	φ_0	ϕ_0	h/r	$0\leqq H\leqq h$	$h\leqq H\leqq h+K$	$h+k\leqq H\leqq 2r$
				$\cos\varphi/2=1-H/r\lambda$ $A/r^2=\frac{1}{2}\lambda^2(\varphi-\sin\varphi)$ $S/r=\lambda\varphi$	$\sin\phi=\frac{1}{\alpha\lambda}(1-H/r)$ $A/r^2=\frac{1}{2}\lambda^2(\varphi_0-\sin\varphi_0)$ $+\alpha^2\lambda^2\{(\phi_0-\phi)$ $+\frac{1}{2}(\sin 2\phi_0-\sin 2\phi)$ $-2(1-1/\alpha\lambda)$ $(\sin\phi_0-\sin\phi)\}$ $S/r=2\alpha\lambda(\phi_0-\phi)+\lambda\varphi_0$	$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$ $A/r^2=(\frac{\pi}{2}-\theta+\frac{1}{2}\sin 2\theta)$ $+\alpha^2\lambda^2\{\phi_0+\frac{1}{2}\sin 2\phi_0$ $-2(1-1/\alpha\lambda)\sin\phi_0$ $+\frac{1}{2}\lambda_1^2(\varphi_0-\sin\varphi_0)$ $S/r=(\pi-2\theta)+2\alpha\lambda\phi_0$ $+\varphi_0\lambda$
4.0	22°17′58″	27°31′56″	0.0755	$\cos\varphi/2=1-H/4r$ $A/r^2=8.0(\varphi-\sin\varphi)$ $S/r=4\varphi$	$\sin\phi=\frac{1}{2.0}(1-H/r)$ $A/r^2=0.078+4\{0.4282-\phi$ $-\frac{1}{2}\sin 2\phi+\sin\phi\}$ $S/r=3.4789-4\phi$	$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$ $A/r^2=3.3615-\theta$ $+\frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r=6.6205-2\theta$
4.5	20°28′14″	24°22′ 9″	0.0716	$\cos\varphi/2=1-H/45r$ $A/r^2=10.125(\varphi-\sin\varphi)$ $S/r=4.5\varphi$	$\sin\phi=\frac{1}{2.25}(1-H/r)$ $A/r^2=0.0764+5.0625$ $\{0.3427-\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi$ $+1.1111\sin\phi\}$ $S/r=3.52148-4.5\phi$	$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$ $A/r^2=3.3822-\theta$ $+\frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r=6.6631-2\theta$
5.0	18°52′12″	21°53′50″	0.0676	$\cos\varphi/2=1-H/50r$ $A/r^2=12.50(\varphi-\sin\varphi)$ $S/r=5.0\varphi$	$\sin\phi=\frac{1}{2.5}(1-H/r)$ $A/r^2=0.0740+6.25\{0.2807$ $-\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi$ $+1.20\sin\phi\}$ $S/r=3.5576-5\phi$	$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$ $A/r^2=3.3991-\theta$ $+\frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r=6.6992-2\theta$
5.5	17°29′ 4″	19°54′ 4″	0.0639	$\cos\varphi/2=1-H/5.5r$ $A/r^2=15.125(\varphi-\sin\varphi)$ $S/r=5.5\varphi$	$\sin\phi=\frac{1}{2.75}(1-H/r)$ $A/r^2=0.0712+7.5625$ $\{0.2342-\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi$ $+1.2727\sin\phi\}$ $S/r=3.5883-5.5\phi$	$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$ $A/r^2=3.4129-\theta$ $+\frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r=6.7299-2\theta$
6.0	16°16′12″	18°15′ 9″	0.0604	$\cos\varphi/2=1-H/6.0r$ $A/r^2=18.0(\varphi-\sin\varphi)$ $S/r=6\varphi$	$\sin\phi=\frac{1}{3.0}(1-H/r)$ $A/r^2=0.0684+9.00\{0.1984$ $-\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi$ $+1.3333\sin\phi\}$ $S/r=3.6152-6.0\phi$	$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$ $A/r^2=3.4249-\theta$ $+\frac{1}{2}\sin 2\theta$ $S/r=6.7568-2\theta$

表-5(1). 任意の水深に對する標準馬蹄型通水斷面積及潤邊
$\alpha=1.0$, $\lambda=2.0$

$0\leqq H\leqq h$	H/r	$\cos\phi$	ϕ	A/r^2	S/r
$\cos\phi=1-H/2r$	0.0500	0.9750	12° 50′ 27″	0.0297	0.8965
$A/r^2=4(\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi)$	0.1000	0.9500	18° 11′ 41″	0.0837	1.2772
$S/r=4\phi$	0.17712	0.9114	24° 17′ 43″	0.1961	1.6961
$h\leqq H\leqq(h+k)r$	H/r	$\sin\phi$	ϕ	A/r^2	S/r
$\sin\phi=\frac{1}{2}(1-H/r)$	0.17712				
$A/r^2=4(0.4367-\phi$	0.2000	0.4000	23° 34′ 41″	0.2342	1.7464
$-\frac{1}{2}\sin 2\phi+\sin\phi)$	0.3000	0.3500	20° 29′ 14″	0.4097	1.9622
$S/r=4(0.8481-\phi)$	0.4000	0.3000	17° 27′ 27″	0.5835	2.1737
	0.5000	0.2500	14° 28′ 39″	0.7677	2.3817
	0.6000	0.2000	11° 32′ 13″	0.9574	2.5870
	0.7000	0.1500	8° 37′ 37″	1.1512	2.7902
	0.8000	0.1000	5° 44′ 21″	1.3480	2.9918
	0.9000	0.0500	2° 51′ 57″	1.5469	3.1924
	1.0000	0.0000	0° 0′ 0″	1.7467	3.3924
$h+k\leqq H\leqq 2r$	H/r	$\cos\theta$	θ	A/r^2	S/r
$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$	1.0000				
$A/r^2=3.3175-\theta$	1.1000	0.1000	84° 15′ 39″	1.9447	3.5894
$+\frac{1}{2}\sin 2\theta$	1.2000	0.2000	78° 27′ 47″	2.1440	3.7952
$S/r=6.5340-2\theta$	1.3000	0.3000	72° 32′ 32″	2.3376	4.00183
	1.4000	0.4000	66° 25′ 18″	2.5281	4.2155
	1.5000	0.5000	60° 0′ 0″	2.7033	4.4396
	1.6000	0.6000	53° 7′ 49″	2.8701	4.6794
	1.7000	0.7000	45° 34′ 23″	3.0220	4.9432
	1.8000	0.8000	36° 52′ 11″	3.1540	5.2470
	1.9000	0.9000	25° 50′ 30″	3.2589	5.6320
	2.0000	1.0000	0° 0′ 0″	3.3175	6.5340

表-5(2). $\alpha=1.0$ $\lambda=2.5$

$0\leqq H\leqq h$	H/r	$\cos\phi$	ϕ	A/r^2	S/r
$\cos\phi=1-H/25r$	0.0500	0.9800	11° 28′ 42″	0.0332	1.0017
$A/r^2=6.25(\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi)$	0.1000	0.9600	16° 15′ 37″	0.0937	1.4189
$S/r=5\phi$	0.1492	0.9403	19° 53′ 45″	0.1703	1.7362
$h\leqq H\leqq(h+k)r$	H/r	$\sin\phi$	ϕ	A/r^2	S/r
$\sin\phi=\frac{1}{2.5}(1-H/r)$					
$A/r^2=6.25(0.2861-\phi$	0.20	0.320	18° 39′ 48″	0.2575	1.8438
$-\frac{1}{2}\sin 2\phi+1.2$	0.30	0.280	16° 15′ 37″	0.4345	2.0535
$\times\sin\phi)$	0.40	0.240	13° 53′ 11″	0.6173	2.2607
$\frac{S}{r}-5(0.6945-\phi)$	0.50	0.200	11° 32′ 13″	0.8050	2.4657
	0.60	0.160	9° 12′ 25″	0.9968	2.6690
	0.70	0.120	6° 53′ 31″	1.1919	2.8711
	0.80	0.080	4° 35′ 19″	1.3893	3.07205
	0.90	0.040	2° 17′ 38″	1.5884	3.2724
	1.00	0.000	0° 0′ 0″	1.7883	3.4725
$h+k\leqq H\leqq 2r$	H/r	$\cos\theta$	θ	A/r^2	S/r
$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$	1.00				
$A/r^2=3.3591-\theta$	1.10	0.10	84° 15′ 39″	1.9862	3.6694
$+\frac{1}{2}\sin 2\theta$	1.20	0.20	78° 27′ 47″	2.1856	3.8752
$S/r=6.6141-2\theta$	1.30	0.30	72° 33′ 32″	2.3792	4.0819
	1.40	0.40	66° 25′ 18″	2.5664	4.2955
	1.50	0.50	60° 0′ 0″	2.7449	4.5197
	1.60	0.60	53° 7′ 48″	2.9117	4.7595
	1.70	0.70	45° 34′ 23″	3.0636	5.0233
	1.80	0.80	36° 52′ 11″	3.1956	5.3271
	1.90	0.90	25° 50′ 30″	3.3003	5.7120
	2.00	1.00	0° 0′ 0″	3.3590	6.6141

表-5(3). $\alpha=1.0$ $\lambda=3.0$

$0\leqq H\leqq h$	H/r	$\cos\phi$	ϕ	A/r^2	S/r
$\cos\phi=1-H/3r$	0.0500	0.9833	10° 28′ 31″	0.0364	1.0969
$A/r^2=9(\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi)$	0.1000	0.9667	14° 50′ 6″	0.1028	1.5535
$S/r=6\phi$	0.12917	0.9567	16° 52′ 28″	0.1511	1.7671
$h\leqq H\leqq(h+k)r$	H/r	$\sin\phi$	ϕ	A/r^2	S/r
$\sin\phi=\frac{1}{3}(1-H/r)$	0.1292				
$A/r^2=910.20199-\phi$	0.20	0.2667	15° 27′ 57″	0.2756	1.9147
$-\frac{1}{2}\sin 2\phi+1.3333$	0.30	0.2333	13° 29′ 36″	0.4564	2.1212
$\times\sin\phi)$	0.40	0.2000	11° 32′ 13″	0.6421	2.3260
$S/r=6(0.5890-\phi)$	0.50	0.1667	9° 35′ 38″	0.8320	2.5295
	0.60	0.1333	7° 39′ 44″	1.0251	2.7318
	0.70	0.1000	5° 44′ 21″	1.2210	2.9332
	0.80	0.0667	3° 49′ 21″	1.4189	3.1339
	0.90	0.0333	1° 54′ 37″	1.6180	3.3341
	1.00	0.0000	0° 0′ 0″	1.8180	3.5342
$h+k\leqq H\leqq 2r$	H/r	$\cos\theta$	θ	A/r^2	S/r
$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$	1.00				
$A/r^2=3.3887-\theta$	1.10	0.10	84° 15′ 39″	2.0159	3.7311
$+\frac{1}{2}\sin 2\theta$	1.20	0.20	78° 27′ 47″	2.2152	3.7369
$S/r=6.6758-2\theta$	1.30	0.30	72° 32′ 32″	2.4088	4.1436
	1.40	0.40	66° 25′ 18″	2.5961	4.3572
	1.50	0.50	60° 0′ 0″	2.7745	4.5814
	1.60	0.60	53° 7′ 49″	2.9415	4.8212
	1.70	0.70	45° 34′ 23″	3.0933	4.0849
	1.80	0.80	36° 52′ 11″	3.2253	5.3888
	1.90	0.90	25° 50′ 30″	3.3300	5.7737
	2.00	1.00	0° 0′ 0″	3.3888	6.6758

表-5(4). $\alpha=1.0$ $\lambda=3.5$

$0\leqq H\leqq h$	H/r	$\cos\phi$	ϕ	A/r^2	S/r
$\cos\phi=1-H/3.5r$	0.05	0.9857	9° 41′ 47″	0.0394	1.1846
$A/r^2=12.25(\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi)$	0.10	0.9714	13° 43′ 32″	0.1110	1.6769
$S/r=7\phi$	0.11399	0.9674	14° 39′ 48″	0.1351	1.7915
$h\leqq H\leqq(h+k)r$	H/r	$\sin\phi$	ϕ	A/r^2	S/r
$\sin\phi=\frac{1}{3.5}(1-H/r)$	0.11399				
$A/r^2=12.25(0.1502-\phi$	0.20	0.2286	13° 12′ 47″	0.2893	1.9687
$-\frac{1}{2}\sin 2\phi+1.4286$	0.30	0.2000	11° 32′ 13″	0.4731	2.1735
$\times\sin\phi)$	0.40	0.1714	9° 52′ 15″	0.6609	2.3770
$S/r=7(0.5118-\phi)$	0.50	0.1428	8° 12′ 47″	0.8522	2.5796
	0.60	0.1143	6° 33′ 45″	1.0463	2.7812
	0.70	0.0857	4° 55′ 1″	1.2429	2.9823
	0.80	0.0571	3° 16′ 33″	1.4410	3.1828
	0.90	0.0286	1° 38′ 14″	1.6403	3.3829
	1.00	0.0000	0° 0′ 0″	1.8403	3.5830
$h+k\leqq H\leqq 2r$	H/r	$\cos\theta$	θ	A/r^2	S/r
$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$	1.00				
$A/r=3.4110-\theta$	1.10	0.100	84° 15′ 39″	0.0382	3.7799
$+\frac{1}{2}\sin 2\theta$	1.20	0.200	78° 27′ 47″	2.2375	3.9857
$S/r=6.7246-2\theta$	1.30	0.300	72° 32′ 32″	2.4311	4.1924
	1.40	0.400	66° 25′ 18″	2.6184	4.4060
	1.50	0.500	60° 0′ 0″	2.7968	4.6302
	1.60	0.600	53° 7′ 49″	2.9637	4.8699
	1.70	0.700	45° 34′ 23″	3.1155	5.1338
	1.80	0.800	36° 52′ 11″	3.2475	5.4376
	1.90	0.900	25° 50′ 30″	3.3523	5.8225
	2.00	1.000	0° 0′ 0″	3.4110	6.7246

表-5(5). $\alpha=1.0$ $\lambda=4.0$

$0\leqq H\leqq h$	H/r	$\cos\phi$	ϕ	A/r^2	S/r
$\cos\phi=1-H/4r$	0.05	0.9875	9° 4′ 7″	0.0421	1.2662
$A/r^2=16(\phi-\frac{1}{2}\sin 2\phi)$	0.10	0.9750	12° 50′ 19″	0.1188	1.7926
$S/r=8\phi$	0.1021	0.9745	12° 58′ 19′	0.1225	1.8112
$h\leqq H\leqq(h+k)r$	H/r	$\sin\phi$	ϕ	A/r^2	S/r
$\sin\phi=\frac{1}{4}(1-H/r)$	0.1021				
$A/r^2=16(0.1162-\phi$	0.20	0.2000	11° 32′ 13″	0.3021	2.0124
$-\frac{1}{2}\sin 2\phi$	0.30	0.1750	10° 4′ 43″	0.4879	2.2157
$+1.5\times\sin\phi)$	0.40	0.1500	8° 37′ 37″	0.6772	2.4187
$S/r=8(0.4529-\phi)$	0.50	0.1250	7° 10′ 51″	0.8695	2.6207
	0.60	0.1000	5° 44′ 21″	1.0645	2.8219
	0.70	0.0750	4° 18′ 4″	1.2614	3.0227
	0.80	0.0500	2° 51′ 57″	1.4599	3.2232
	0.90	0.0250	1° 25′ 57″	1.6592	3.4233
	1.00	0.0000	0° 0′ 0″	1.8591	3.6233
$h+k\leqq H\leqq 2r$	H/r	$\cos\theta$	θ	A/r^2	S/r
$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$	1.00				
$A/v^2=3.4299-\theta$	1.10	0.100	84° 15′ 39″	2.0571	3.8202
$+\frac{1}{2}\sin 2\theta$	1.20	0.200	78° 27′ 47″	2.2564	4.02602
$S/r=6.7649-2\theta$	1.30	0.300	72° 32′ 32″	2.4500	4.2327
	1.40	0.400	66° 25′ 18″	2.6372	4.4463
	1.50	0.500	60° 0′ 0″	2.8157	4.6705
	1.60	0.600	53° 7′ 49″	2.9826	4.9103
	1.70	0.700	45° 34′ 23″	3.1344	5.1741
	1.80	0.800	36° 52′ 11″	3.2664	5.4779
	1.90	0.900	25° 50′ 30″	3.3712	5.8628
	2.00	1.000	0° 0′ 0″	3.4299	6.7649

表-6. 任意水深に對する標準馬蹄型通水斷面積及潤邊
$\alpha=0.5$ $\lambda=4.0$

$0\leqq H\leqq h$	H/r	$\cos\varphi/2$	φ	A/r^2	S/r
$\cos\varphi/2=1-H/4.0r$	0.05	0.9875	18° 8′ 14″	0.0421	1.2662
$A/r^2=8.0(\varphi-\sin\varphi)$	0.0755	0.9811	22° 17′ 58″	0.0780	1.5568
$S/r=4\varphi$					
$h\leqq H\leqq h+k$	H/r	$\sin\phi$	ϕ	A/r^2	S/r
$\sin\phi=\frac{1}{2.0}(1-H/r)$	0.0755				
$A/r^2=0.0780+4$	0.100	0.450	26° 44′ 43″	0.1160	1.6117
$\{0.4282-\phi$	0.200	0.400	23° 34′ 41″	0.2782	1.8328
$-\frac{1}{2}\sin 2\phi+\sin\phi\}$	0.300	0.350	20° 29′ 14″	0.4490	2.0486
	0.400	0.300	17° 27′ 27″	0.6275	2.2601
$S/r=3.4789-4\phi$	0.500	0.250	14° 28′ 39″	0.8118	2.4682
	0.600	0.200	11° 32′ 13″	1.0015	2.6735
	0.700	0.150	8° 37′ 37″	1.1956	2.8766
	0.800	0.100	5° 44′ 21″	1.3920	3.0782
	0.900	0.050	2° 51′ 57″	1.5909	3.2788
	1.000	0.000	0° 0′ 0″	1.7907	3.4789
$h+k\leqq H\leqq 3r$	H/r	$\cos\theta$	θ	A/r^2	S/r
$\cos\theta=\frac{H}{r}-1$	1.00				
$A/r^2=3.3615-\theta$	1.100	0.100	84° 15′ 39″	1.9887	3.6758
$+\frac{1}{2}\sin\theta$	1.200	0.200	78° 27′ 47″	2.1880	3.8816
$S/r=6.6205-2\theta$	1.300	0.300	72° 32′ 32″	2.3816	4.0883
	1.400	0.400	66° 25′ 18″	2.5689	4.3019
	1.500	0.500	60° 0′ 0″	2.7473	4.5261
	1.600	0.600	53° 7′ 49″	2.9142	4.7659
	1.700	0.700	45° 34′ 23″	3.0660	5.2970
	1.800	0.800	36° 52′ 11″	3.1980	5.3335
	1.900	0.900	25° 50′ 30″	3.3028	5.7185
	2.000	1.000	0° 0′ 0″	3.3615	6.6205

(3.) **流速及流量**

A: 通水斷面積, S: 潤邊, Φ: 平均深徑, i: 勾配, v: 流速,
Q: 流量, n_1: 粗度係數,

とし Manning 氏の公式を用ふれば

$$\Phi=\frac{A}{S},\qquad v=\frac{1}{n_1}\Phi^{\frac{2}{3}}i^{\frac{1}{2}},\qquad Q=Av=\frac{1}{n_1}A\Phi^{\frac{2}{3}}i^{\frac{1}{2}} \quad\cdots\cdots(22)$$

然るに前節により A/r^2 及 S/r は斷面の形によつて定まる常數にして豫め算出して置く事が出來る。從つて Φ/r も亦同樣に計算して置く事が出來る。故に (22) 式の v 及 Q は

$$v/r^{\frac{2}{3}}=i^{\frac{1}{2}}/n_1(\Phi/r)^{\frac{2}{3}},\qquad Q/r^{\frac{8}{3}}=i^{\frac{1}{2}}/n_1(A/r^2)(\Phi/r)^{\frac{2}{3}} \quad\cdots\cdots(23)$$

故に i 及 n_1 が一定なれば v 及 Q は r のみの函數となる。v 及 Q の計算に便なる樣 i と n_1 の種々なる値に對して $i^{\frac{1}{2}}/n_1$ を表示すれば **表-7** の如し，以上の諸表を利用して標準斷面の場合任意の流量を通すべき斷面の大さを簡單に求める圖表を作成せん。

表-7. $i^{\frac{1}{2}}/n$ の 値

i \ n	0.012	0.0125	0.0130	0.0135	0.0140	0.0145	0.0150	0.0155	0.016
1/500	0.2683	0.2795	0.2907	0.3019	0.3131	0.3242	0.3354	0.3466	0.3578
1/600	0.2939	0.3062	0.3184	0.3307	0.3429	0.3552	0.3674	0.3797	0.3919
1/700	0.3057	0.3185	0.3312	0.3440	0.3567	0.3694	0.3822	0.3949	0.4076
1/800	0.3394	0.3536	0.3677	0.3818	0.3960	0.4101	0.4243	0.4384	0.4525
1/900	0.3600	0.3750	0.3900	0.4050	0.4200	0.4350	0.4500	0.4650	0.4800
1/1 000	0.3795	0.3953	0.4111	0.4269	0.4427	0.4585	0.4743	0.4902	0.5060
1/1 200	0.4157	0.4330	0.4503	0.4677	0.4850	0.5023	0.5196	0.5369	0.5543
1/1 400	0.4490	0.4677	0.4864	0.5051	0.5232	0.5425	0.5613	0.5800	0.5987
1/1 500	0.4648	0.4841	0.5035	0.52286	0.5422	0.5616	0.5810	0.6003	0.6197
1/1 600	0.4800	0.5000	0.5200	0.5400	0.5600	0.5800	0.6000	0.6200	0.6400
1/1 800	0.50911	0.5303	0.5515	0.5728	0.5940	0.6152	0.6364	0.6576	0.6788
1/2 000	0.5367	0.5590	0.5814	0.6037	0.6261	0.6485	0.6708	0.6932	0.7155
1/2 200	0.5628	0.5863	0.6098	0.6332	0.6567	0.6801	0.7036	0.7270	0.7505
1/2 500	0.6000	0.6250	0.6500	0.6750	0.7000	0.7200	0.7500	0.7550	0.8000
1/3 000	0.6573	0.6847	0.7120	0.7394	0.7668	0.7942	0.8216	0.8490	0.8764

圖-3.　$\alpha=1.0$　$\lambda=2.0$　$H=0.8$　$D=1.6r$

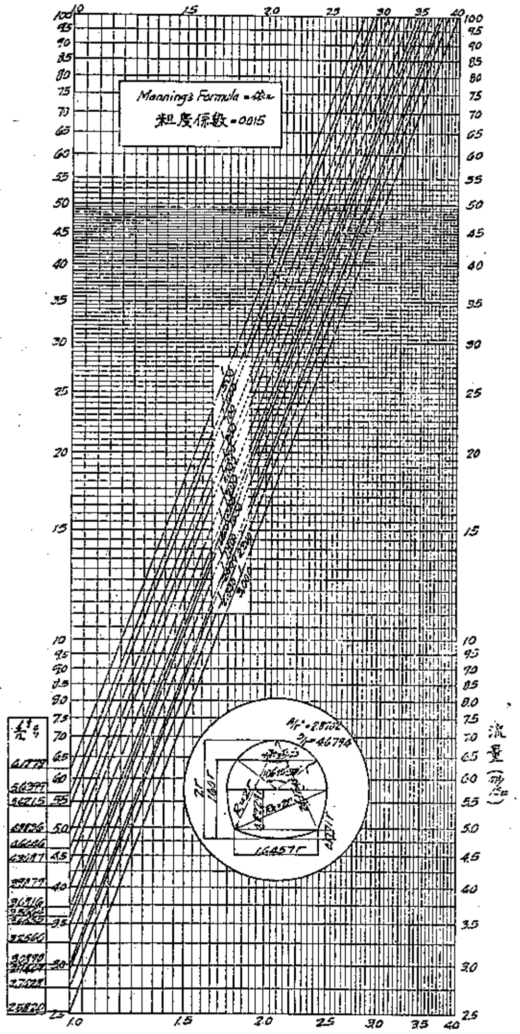
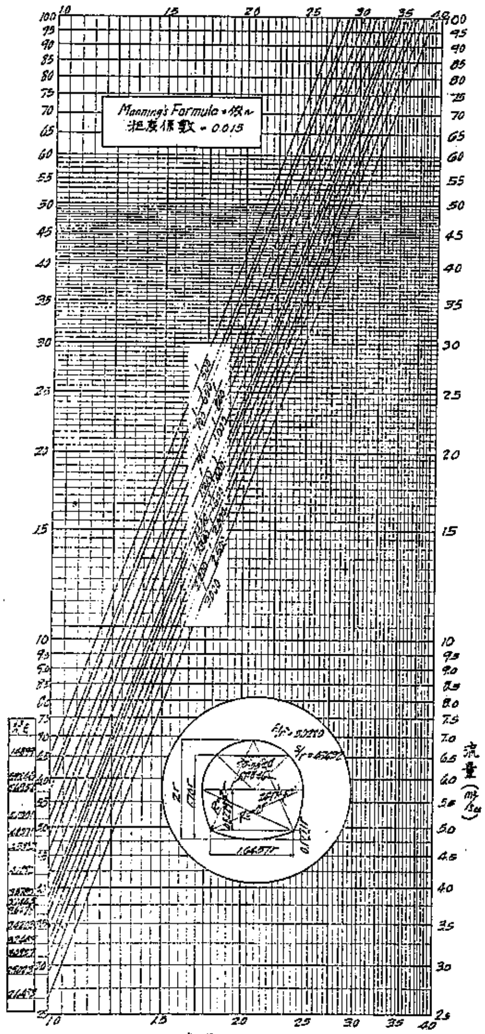


圖-4.　$\alpha=1.0$　$\lambda=2.0$　$H=0.85$　$D=1.7r$



$n_1=0.015$

$i=1/600,\ \ 1/800,\ \ 1/1\,000,\ \ 1/1\,200,\ \ 1/1\,400,\ \ 1/1\,500,\ \ 1/1\,600,\ \ 1/1\,800,\ \ 1/2\,000$

とし，水深 H を全高の 0.8, 0.85, 0.9 の 3 種の場合を取り $\alpha=1$ 及 $\alpha=0.5$ に對して r と Q との關係を畫けば 圖-3～8 の如し。

但し $\xi=(A/r^2)(\Phi/r)^{\frac{2}{3}}$, $\alpha=1\sim0.5$ の間の場合には近似的に兩者の流量を求め按分比例にて決定する，即ち

Q_1：$\alpha=1$ に對する流量，　$Q_{0\cdot5}$：$\alpha=0.5$ に對する流量

Q：α 任意の場合に對する流量

とすれば
$$Q\fallingdotseq Q_1+(Q_{0\cdot5}-Q_1)\frac{\alpha}{0.5}\fallingdotseq Q_1+2\alpha(Q_{0\cdot5}-Q_1) \quad \cdots\cdots(23)$$

圖-5.　$\alpha=1.0$　$\lambda=2.0$　$H=0.9$　$D=1.8r$

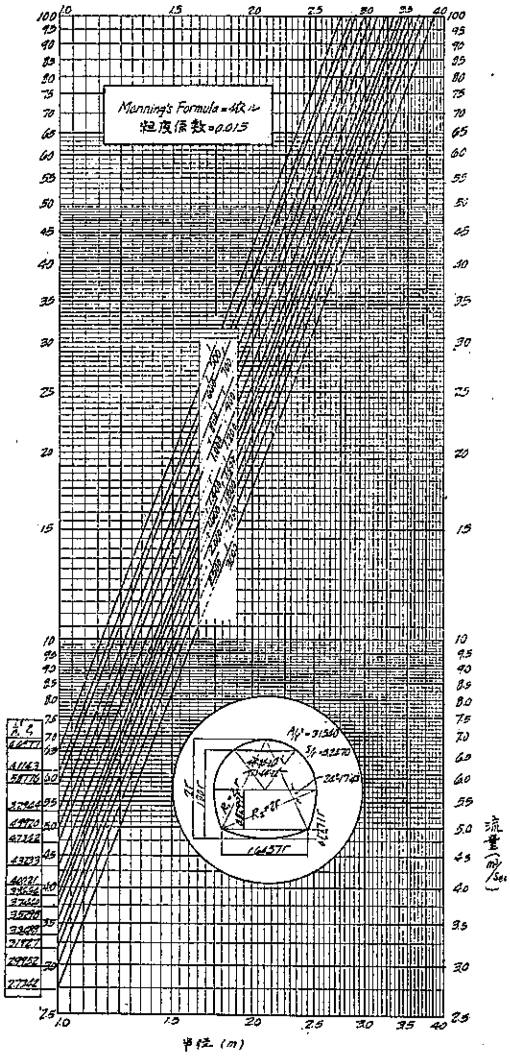
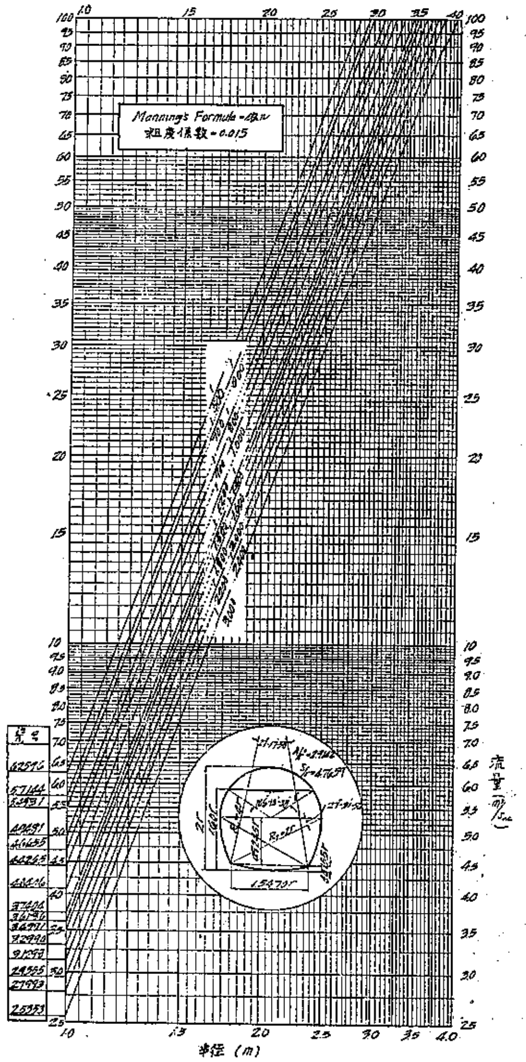


圖-6.　$\alpha=0.5$　$\lambda=4.0$　$H=0.8$　$D=1.6r$

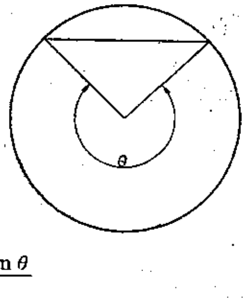


3. 馬蹄形斷面の最大流量

(1) 概說

馬蹄形斷面はその最大流量を求むるに可成り煩瑣な計算をしなければならぬ。然るに圓形斷面の場合には比較的容易に求められ且つ馬蹄形斷面の場合とその結果は僅少な差である。この關係を利用し，任意の馬蹄形斷面に於てその最大流量を與ふる位置を簡單に見出す略算法を求めて見た，先づ基本となる圓形斷面の場合から考察して行く。圖-9 に於て

圖-9.



θ : 水面の線が中心にはさむ角

とすれば　$H=r\left(1-\cos\frac{\theta}{2}\right)$,　$A=\frac{r^2}{2}(\theta-\sin\theta)$,　$S=r\theta$,　$\Phi=r\frac{\theta-\sin\theta}{2\theta}$

圖-7. $\alpha=0.5$ $\lambda=4.0$ $H=0.85$ $D=1.7r$

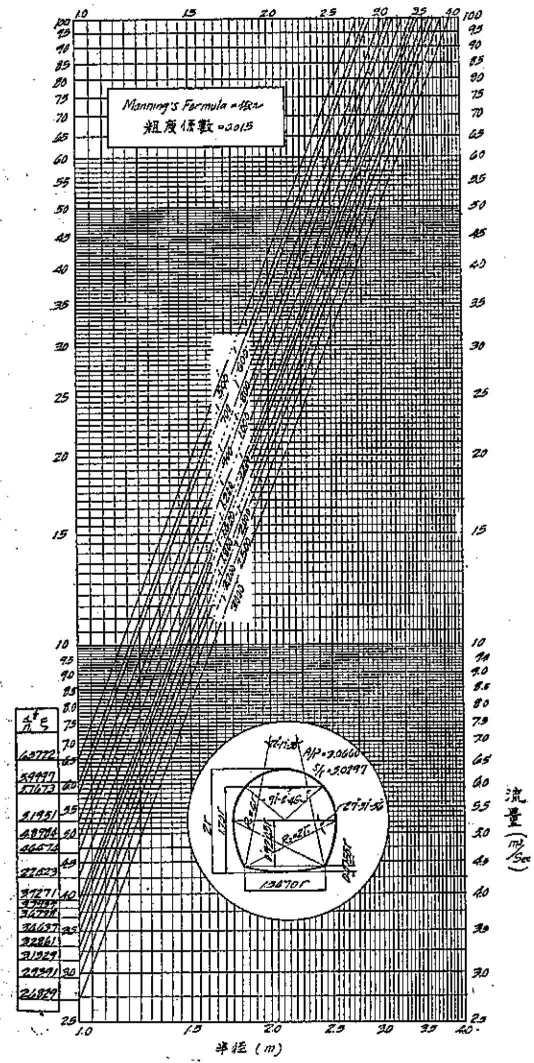
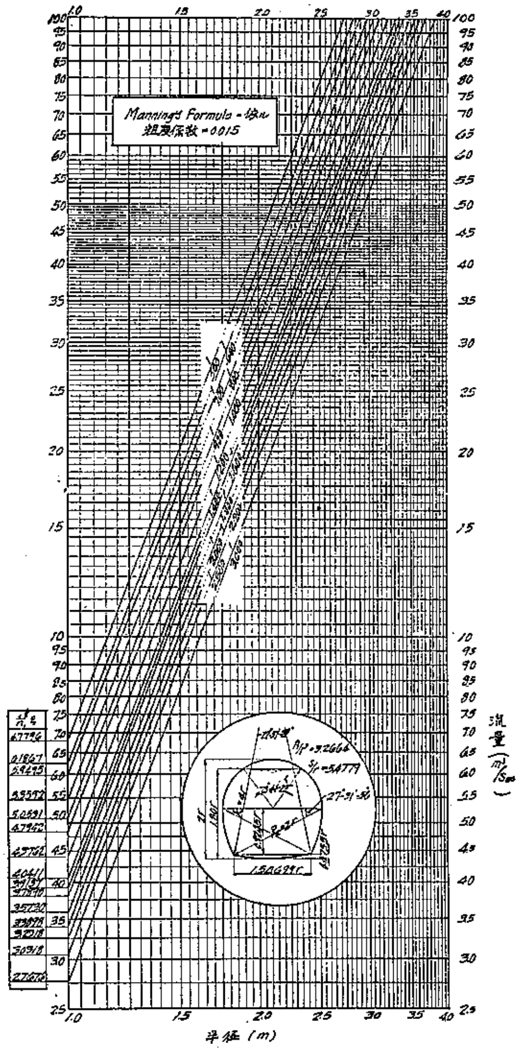


圖-8. $\alpha=0.5$ $\lambda=4.0$ $H=0.9$ $D=1.8r$



$$v=c\Phi^{\alpha}i^{\beta}=\frac{ci^{\beta}r^{\alpha}}{2^{\alpha}}\left(\frac{\theta-\sin\theta}{\theta}\right)^{\alpha},\qquad Q=Av=\frac{ci^{\beta}r^{\alpha+2}}{2^{\alpha+1}}\frac{(\theta-\sin\theta)^{\alpha+1}}{\theta^{\alpha}}\cdots\cdots(24)$$

最大流量の位置は (24) 式より $\dfrac{\partial Q}{\partial\theta}=0$

$$\frac{(\alpha+1)(1-\cos\theta)(\theta-\sin\theta)^{\alpha}\theta^{\alpha}-\alpha\theta^{\alpha-1}(\theta-\sin\theta)^{\alpha+1}}{\theta^{2\alpha}}=0$$

$$\therefore\quad(\alpha+1)(1-\cos\theta)\theta=\alpha(\theta-\sin\theta)$$

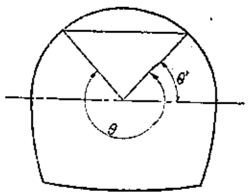
又は
$$\theta=\frac{\sin\theta}{\left(1+\dfrac{1}{\alpha}\right)\cos\theta-\dfrac{1}{2}}\cdots\cdots(25)$$

(25) 式によつて明な如く最大流量の位置は流速公式卽ち α の如何によつて異なるが Manning 氏の公式の如く

$\alpha=2/3$ とすれば

$$\theta=\frac{\sin\theta}{2.5\cos\theta-1.5}$$

圖1-0.



圖式解法によつて解いてその解を θ_1 とすれば

$$\theta_1=5.2781\ \text{ラヂアン}\qquad=302^\circ\ 24'\ 48''$$

從つてこれに相當する水深 H_1 は $0.93818D$ となる。

(2). 圓拱馬蹄形斷面の最大流量を表す一般式

便宜上拱部が丁度半圓で側壁及敷が任意の形の馬蹄形斷面の最大流量の位置を示す一般式を求める. 圖-10 に於て

A': 拱の中心を通る水平線以下の斷面積

S': 〃 週長

θ': 水面の緣が中心に於て水平線となす角

とすれば

$$2\theta'=\theta-\pi,\qquad \theta\leqq\frac{\pi}{2},\qquad A=r^2\left(\theta'+\frac{\sin 2\theta'}{2}\right)+A',\qquad S=2\theta' r+S'$$

$$\Phi=\frac{r^2\left(\theta'+\frac{\sin 2\theta'}{2}\right)+A'}{2\theta' r+S'},\qquad v=c\Phi^\alpha i^\beta=ci^\beta\left\{\frac{r^2\left(\theta'+\frac{\sin 2\theta'}{2}\right)+A'}{2\theta' r+S}\right\}^\alpha$$

$$Q=Av=ci^\beta\frac{\left\{r^2\left(\theta'+\frac{\sin 2\theta'}{2}\right)+A'\right\}^{\alpha+1}}{(2\theta' r+S)^\alpha}\quad\cdots\cdots(26)$$

故に最大流量の位置は $\dfrac{\partial\theta}{\partial\theta'}=0$

$$\frac{(\alpha+1)\left\{r^2\left(\theta'+\frac{\sin 2\theta'}{2}\right)+A'\right\}^\alpha r^2(1+2\theta')+(2r\theta'+S)^\alpha-\alpha(2r\theta'+S)^{\alpha+1}2r\left\{r^2\left(\theta'+\frac{\sin 2\theta}{2}+A'\right)^{\alpha+1}\right\}}{(2r\theta'+S')^{2\alpha}}=0$$

$$\therefore\quad(\alpha+1)(1+\cos 2\theta')\left(2\theta'+\frac{S'}{r}\right)=\alpha\left(2\theta'+\sin 2\theta'+\frac{2A'}{r^2}\right)$$

$$\frac{S'}{r}=N,\qquad \frac{2A'}{r^2}=M$$

と置き $\theta'=\dfrac{\theta-\pi}{2}$ を代入すれば

$$(\alpha+1)(1-\cos\theta)(\theta+N-\pi)=\alpha(\theta-\sin\theta+M-\pi)\quad\cdots\cdots(27)$$

斷面が定まれば M, N は容易に計算し得る。よつて (27) 式によつて任意の馬蹄形斷面の最大流量の位置は求め得られる。

(3). 一般式の近似的解法

(27) 式を直接解く代りに (27) 式の解と (25) 式の解との差が實際問題の範圍內にては甚だ僅少なるを利用し, 先づこの差を求め然る後馬蹄形斷面の最大流量の位置を計算する。

(25) 式の解を θ_1 とし, (25) 及 (27) 式を併記すれば

$$(1+\alpha)(1-\cos\theta)(\theta+N-\pi)=\alpha(\theta-\sin\theta+M-\pi),\qquad (1+\alpha)(1-\cos\theta_1)\theta_1=\alpha(\theta_1-\sin\theta_1)$$

邊々相減ずれば

$$(1+\alpha)\{(1-\cos\theta)(\theta+N+\pi)-(1-\cos\theta_1)\theta_1\}=\alpha\{(\theta-\theta_1)-(\sin\theta-\sin\theta_1)+M-\pi\}$$

θ と θ_1 との差が僅少なる範圍では

$$\theta-\theta_1=\Delta\theta,\qquad \cos\theta-\cos\theta_1 \fallingdotseq -\Delta\theta\sin\theta_1,\qquad \sin\theta-\sin\theta_1\fallingdotseq\Delta\theta\cos\theta_1$$

$$\theta\cos\theta-\theta_1\cos\theta_1\fallingdotseq\Delta\theta(\cos\theta_1-\theta_1\sin\theta_1)$$

これを代入すれば

$$(1+\alpha)\{\Delta\theta+(N-\pi)-\Delta\theta(\cos\theta_1-\theta_1\sin\theta_1)-(N-\pi)(\cos\theta_1-\Delta\theta\sin\theta_1)\}$$

$$=\alpha\{\Delta\theta-\Delta\theta\cos\theta_1+(M-\pi)\}$$

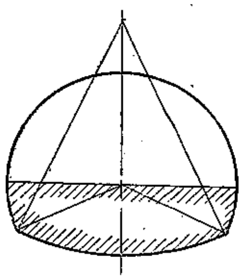
$$\Delta\theta=\frac{(M-\pi)-\left(1+\frac{1}{\alpha}\right)(N-\pi)(1-\cos\theta_1)}{\left(1+\frac{1}{\alpha}\right)\{(1-\cos\theta_1)+(N-\pi+\theta_1)\sin\theta_1\}-(1-\cos\theta_1)}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(28)$$

(28) 式によつて任意の馬蹄形斷面の最大流量の位置が圓形斷面と何程の差を生ずるか容易に計算出來る。

(4). 拱が半圓ならざる圓弧の場合に對する適用

拱が半圓ならざる場合には次の如くして (28) 式に歸せしむる事が出來る。拱が半圓以上の場合には **圖-11** の如く中心に於て水平線を引きそれ以上の部分のみ拱と考ふれば前記の場合となる。又拱が半圓に足らざる場合には **圖-12** に示す如く

圖-11.



XY: 拱の中心に於ける水平線が拱の延長と交る點

$X'Y'$: 拱と側壁との交點

θ_0: X' 又は Y' が中心に於て水平線となす角

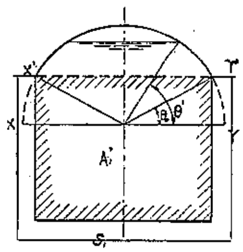
とすれば　面積 $XX'YY'=r^2\left(\theta_0+\dfrac{\sin 2\theta_0}{2}\right)$

弧長 $(XX'+YY')=2r\theta_0$

故に　A_1': $X'Y'$ 以下の面積,　S_1': $X'Y'$ 以下の週長

とすれば任意水深の通水斷面積及潤邊は

圖-12.



$$A=r^2\left(\theta'+\frac{\sin 2\theta'}{2}\right)-r^2\left(\theta_0+\frac{\sin 2\theta_0}{2}\right)+A_1'$$

$$S=2r\theta'-2r\theta_0+S_1'$$

故に　$A_1=A_1'-r^2\left(\theta_0+\dfrac{\sin 2\theta_0}{2}\right),\qquad S_1=S_1'-2\theta_0 r$

と置けば　$A=r^2\left(\theta'+\dfrac{\sin 2\theta'}{2}\right)+A_1,\qquad S=2\theta' r+S_1$

この式は (26) 式を誘導せる原式と同一型式なるを以て

$$M=\frac{2A_1}{r^2},\qquad N=\frac{S_1}{r}$$

と置いて (26) 及 (27) 式はそのまゝ適用する事が出來る。從つて (28) 式の最大流量を求むる式も亦適用する事が出來る。故に最大流量が單純なる圓弧に存在する場合にはその最大流量の位置及最大流量は容易に計算出來る。

(5). M, N と $\Delta\theta$ との關係及標準型の場合

M 及 N は實際使用せられる斷面の範圍では變化は極めて小さく從つて最大流量の位置も圓形斷面との差は極

めて少い，Manning 氏の公式を用ふれば　$\alpha=\frac{2}{3}$，　$\theta_1=0.5278\,1$　なるを以て

$$\sin\theta_1=-0.8442,\qquad \cos\theta_1=0.5360$$

(28) 式にこれらの數値を代入すれば

$$\Delta\theta=\frac{1.160N-M-0.5026\,5}{2.1105N+3.8130}\qquad\cdots\cdots(29)$$

よつて最大流量となるべき水深 H は

$$H=r\left\{1+\cos\left(\pi-\frac{\theta_1+\Delta\theta}{2}\right)\right\}$$

この H に對して Q を計算すればその斷面の通すべき最大流量を得る。標準型で α 及 λ の種々なる斷面に對して最大流量の位置を計算すれば 表-8，更に $\alpha=1$ 及 $\alpha=0.5$ の場合に就てこの水深に對して最大流量を計算し，$H=1.8r$，$1.7r$ $1.6r$，の流量がその何割に當るかと見れば 表-9。これによれば設計水深を $1.8r$ に取れば最大通水量に對して僅か 0.84% の猶豫あるに過ぎない。又設計水深を $1.7r$ に選べば 3.84%，$1.6r$ に取れば 8.33% の猶豫を得る。隧道斷面の設計に際してよくこの事を認識して設計水深を各その要求する條件に適應せしむべきである。

表-8(1). 最大流量及その位置の計算 ($\alpha=1.0$)

λ	A/r^2	S/r	M	N	$\Delta\theta$	$\frac{H_{Q\max}}{r}$	$\frac{H_{Q\max}}{D}$	θ	$\frac{n_1}{i^{\frac{1}{2}}}\frac{Q_{\max}}{r^{\frac{8}{3}}}$
2.0	3.3175	6.5340	3.4934	3.3924	−0.0055 5	1.8750 2	0.9375 1	28° 57′ 8′	2.2654
2.5	3.3591	6.6141	3.5765	3.4725	−0.0045 8	1.8752 6	0.9376 3	28° 55′ 28″	2.2921
3.0	3.3888	6.6758	3 6359	3.5342	−0.0034 5	1.8755 3	0.9377 7	28° 53′ 32″	2.3099
3.5	3.4110	6.7246	3.6805	3.5830	−0.0023 6	1.8757 9	0.9379 0	28° 51′ 39″	2.3225
4.0	3.4299	6.7649	3.7182	3.6233	−0.0015 6	1.8759 9	0.9379 9	28° 50′ 17″	2.3336
4.5	3.4423	6.7968	3.7429	3.6552	−0.0004 8	1.8762 5	0.9381 2	28° 48′ 25″	2.3393
5.0	3.4537	6.8243	3.7658	3.6827	+0.0003 0	1.8764 4	0.9382 2	28° 47′ 5″	2.3452
5.5	3.4644	6.8481	3 7873	3.7065	+0.0008 1	1.8765 6	0.9382 8	28° 46′ 12″	2.3512
6.0	3.4713	6.8679	3.8011	3.7263	+0.0016 1	1.8767 5	0.9383 8	28° 44′ 50′	2.3538

表-8(2). $\alpha=0.9$

λ	A/r^2	S/r	M	N	$\Delta\theta$	$\frac{H_{Q\max}}{r}$	$\frac{H_{Q\max}}{D}$	θ	$\frac{n_1}{i^{\frac{1}{2}}}\frac{Q_{\max}}{r^{\frac{8}{3}}}$
2.5	3.3485	6.5939	3.5555	3.4523	−0 0048 1	1.8752 0	0.9276 0	28° 55′ 52″	2.2853
3.0	3.3802	6.6576	3.6187	3 5160	−0.0034 3	1.8755 4	0.9377 7	28° 53′ 30″	2.3048
3.5	3.4031	6.7074	3.6647	3.5658	−0.0027 4	1.8757 0	0.9378 5	28° 52′ 18″	2.3180
4.0	3.4214	6.7481	3.7013	3.6065	−0.0017 9	1.8759 3	0.9379 7	28° 50′ 40″	2.3283
4.5	3.4358	6.7818	3.7301	3.6402	−0.0008 8	1.8761 5	0.9380 8	28° 49′ 6″	2.3359
5.0	3.4479	6.8103	3.7542	3.6687	−0.0001 1	1.8763 4	0.9381 7	28° 47′ 48″	2.3422
5.5	3.4578	6.8344	3.7740	3.6928	+0.0006 1	1.8765 1	0.9382 6	28° 46′ 33″	2.3472
6.0	3.4663	6.8554	3.7910	3.7138	+0.0012 3	1.8766 6	0.9383 3	28° 45′ 29″	2.3514

表-8(3). $\alpha=0.8$

λ	A/r^2	S/r	M	N	$\Delta\theta$	$\frac{H_{Q\,max}}{r}$	$\frac{H_{Q\,max}}{D}$	θ	$\frac{n_1 Q_{max}}{i^{\frac{1}{2}}\ r^{\frac{8}{3}}}$
2.5	3.3363	6.5697	3.5311	3.4281	−0.00517	1.87511	0.93656	28° 56′ 30″	2.2777
3.0	3.3691	6.6346	3.5965	3.4930	−0.00423	1.87534	0.93767	28° 54′ 52″	2.2993
3.5	3.3936	6.6863	3.6456	3.5447	−0.00322	1.87559	0.93779	28° 53′ 8″	2.3126
4.0	3.4127	6.7283	3.6837	3.5868	−0.00226	1.87582	0.93791	28° 51′ 30″	2.3234
4.5	3.4280	6.7633	3.7144	3.6217	−0.00138	1.87603	0.93801	28° 50′ 0″	2.3317
5.0	3.4407	6.7937	3.7398	3.6521	−0.00053	1.87624	0.93812	28° 48′ 30″	2.3383
5.5	3.4511	6.8179	3.7605	3.6764	+0.00012	1.87641	0.93821	28° 41′ 15″	2.3438
6.0	3.4600	6.8398	3.7784	3.6982	+0.00076	1.87655	0.93827	28° 46′ 18″	2.3483

表-8(4). $\alpha=0.7$

λ	A/r^2	S/r	M	N	$\Delta\theta$	$\frac{H_{Q\,max}}{r}$	$\frac{H_{Q\,max}}{D}$	θ	$\frac{n_1 Q_{max}}{i^{\frac{1}{2}}\ r^{\frac{8}{3}}}$
3.0	3.3542	6.6048	3.5667	3.4632	−0.00468	1.87523	0.93762	28° 55′ 39″	2.2889
3.5	3.3803	6.6585	3.6189	3.5169	−0.00374	1.87546	0.93773	28° 54′ 2″	2.3047
4.0	3.4011	6.7028	3.6606	3.5612	−0.00284	1.87568	0.93784	28° 52′ 29″	2.3168
4.5	3.4174	6.7393	3.6931	3.5977	−0.00196	1.87589	0.93795	28° 50′ 58″	2.3259
5.0	3.4310	6.7704	3.7204	3.6288	−0.00119	1.87608	0.93804	28° 49′ 39″	2.3333
5.5	3.4422	6.7969	3.7427	3.6553	−0.00046	1.87625	0.93813	28° 48′ 23″	2.3391
6.0	3.4518	6.8199	3.7620	3.6783	+0.00018	1.87632	0.93816	28° 47′ 55″	2.3441

表-8(5). $\alpha=0.6$

λ	A/r^2	S/r	M	N	$\Delta\theta$	$\frac{H_{Q\,max}}{r}$	$\frac{H_{Q\,max}}{D}$	θ	$\frac{n_1 Q_{max}}{i^{\frac{1}{2}}\ r^{\frac{8}{3}}}$
3.5	3.3625	6.6218	3.5834	3.4802	−0.00439	1.87530	0.93765	28° 55′ 9″	2.2940
4.0	3.3851	6.6687	3.6285	3.5271	−0.00354	1.87551	0.93775	28° 53′ 41″	2.3075
4.5	3.4032	6.7077	3.6648	3.5661	−0.00271	1.87571	0.93785	28° 52′ 16″	2.3180
5.0	3.4179	6.7407	3.6943	3.5991	−0.00193	1.87589	0.93795	28° 50′ 56″	2.3262
5.5	3.4303	6.7090	3.7190	3.6274	−0.00121	1.87601	0.93804	28° 49′ 41″	2.3329
6.0	3.4407	6.7935	3.7399	3.6519	−0.00055	1.87623	0.93812	28° 48′ 33″	2.3384

表-8(6). $\alpha=0.5$

λ	A/r^2	S/r	M	N	$\Delta\theta$	$\frac{H_{Q\,max}}{r}$	$\frac{H_{Q\,max}}{D}$	θ	$\frac{n_1 Q_{max}}{i^{\frac{1}{2}}\ r^{\frac{8}{3}}}$
4.0	3.3615	6.6205	3.5815	3.4789	−0.00436	1.87531	0.93766	28° 55′ 5″	2.2932
4.5	3.3822	6.6631	3.6227	3.5215	−0.00360	1.87550	0.93775	28° 53′ 47″	2.3056
5.0	3.3991	6.6992	3.6566	3.5576	−0.00287	1.87567	0.93784	28° 52′ 32″	2.3155
5.5	3.4129	6.7299	3.6843	3.5883	−0.00215	1.87584	0.93792	28° 51′ 18″	2.3233
6.0	3.4249	6.7568	3.7082	3.6153	−0.00149	1.87601	0.93800	28° 50′ 9″	2.3299

表-9(1). 最大流量と設計水深の流量との比 ($\alpha=1.0$)

λ	$\dfrac{n_1 Q_{max}}{i^{\frac{1}{2}} \cdot r^{\frac{8}{3}}}$	$\dfrac{n_1 Q_{H=1.8r}}{i^{\frac{1}{2}} \quad r^{\frac{8}{3}}}$	$\dfrac{Q_{H=1.8r}}{Q_{max}}$	$\dfrac{n_1 Q_{H=1.7r}}{i^{\frac{1}{2}} \quad r^{\frac{8}{3}}}$	$\dfrac{Q_{H=1.7r}}{Q_{max}}$	$\dfrac{n_1 Q_{H=1.6r}}{i^{\frac{1}{2}} \quad r^{\frac{8}{3}}}$	$\dfrac{Q_{H=1.6r}}{Q_{max}}$
2.0	2.2654	2.2464	99.16 %	2.1767	96.08 %	2.0721	91.47 %
2.5	2.2921	2.2730	99.16	2.2033	96.12	2.0984	91.54
3.0	2.3099	2.2905	99.16	2.2207	96.14	2.1159	91.60
3.5	2.3225	2.3030	99.16	2.2333	96.16	2.1284	91.64
4.0	2.3336	2.3141	99.16	2.2441	96.16	2.1392	91.67
4.5	2.3393	2.3197	99.16	2.2497	96.17	2.1448	91.68
5.0	2.3452	2.3255	99.16	2.2554	96.17	2.1503	91.69
5.5	2.3512	2.3315	99.16	2.2613	96.17	2.1564	91.71
6.0	2.3538	2.3340	99.16	2.2637	96.17	2.1589	91.72

表-9(2). $\alpha=0.5$

λ	$\dfrac{n_1 Q_{max}}{i^{\frac{1}{2}} \quad r^{\frac{8}{3}}}$	$\dfrac{n_1 Q_{H=1.8r}}{i^{\frac{1}{2}} \quad r^{\frac{8}{3}}}$	$\dfrac{Q_{H=1.8r}}{Q_{max}}$	$\dfrac{n_1 Q_{H=1.7r}}{i^{\frac{1}{2}} \quad r^{\frac{8}{3}}}$	$\dfrac{Q_{H=1.7r}}{Q_{max}}$	$\dfrac{n_1 Q_{H=1.6r}}{i^{\frac{1}{2}} \quad r^{\frac{8}{3}}}$	$\dfrac{Q_{H=1.6r}}{Q_{max}}$
4.0	2.2932	2.2739	99.16	2.2043	96.12	2.0995	91.55
4.5	2.3056	2.2864	99.16	2.2165	96.14	2.1116	91.58
5.0	2.3155	2.2961	99.16	2.2262	96.15	2.1215	91.62
5.5	2.3233	2.3038	99.16	2.2339	96.15	2.1289	91.63
6.0	2.3299	2.3102	99.16	2.2402	96.15	2.1353	91.65

(6). 計算例

次の條件に適する馬蹄形斷面を設計し且つ最大通水量及水理特性曲線を求むる事。

通 水 量： $Q=50\ \mathrm{m^3/sec}$

水路勾配： $i=1/1\,600$

粗度係數： $n_1=0.015$

設計水深： $H=0.9 \quad D=1.8r$

$\alpha=1.$ $\lambda=4$ とすれば 圖-5(6) より $r=2.61$ m

$\alpha=0.5$ $\lambda=4$ とすれば 圖-8(1) より $r=2.63$ m

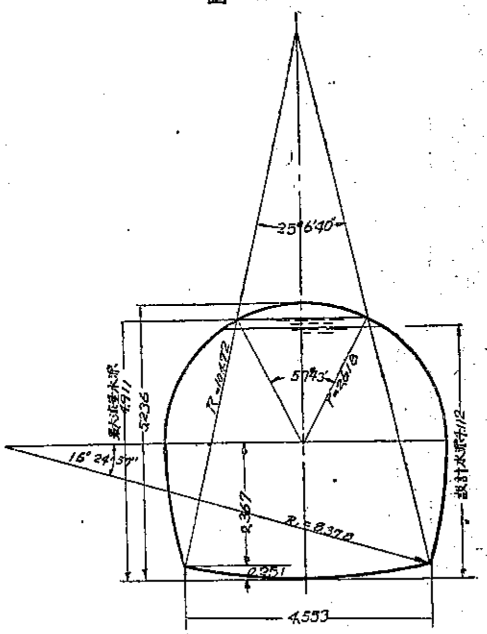
實際に使用する斷面は $\alpha=0.8$ $\lambda=4$ と選べば按分比例にて $r=2.618$ m となる。而してその詳細寸法は 表-2(3) より決定される (圖-13)。

この斷面の最大流量の位置を求むるには 表-7(3) より

$$H_{max}=1.8758\,2r=4.911\ \mathrm{m}$$

又これに相當する最大流量は

圖-13.

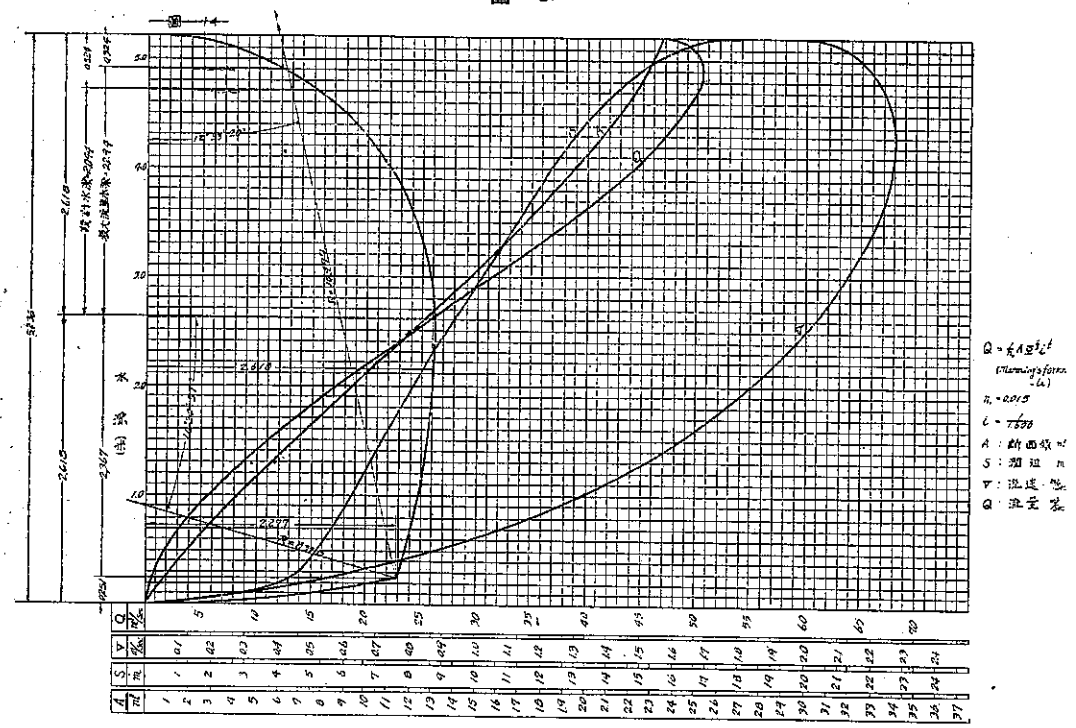


$$Q_{max}=2.3234\frac{i^{\frac{1}{2}}}{n_1}r^{\frac{8}{3}}=2.3234\times0.6\times2.618^{\frac{8}{3}}=50.414\ \mathrm{m^3/sec}$$

表-10.

H/r	A/r^2	S/r	Φ/r	$\left(\frac{\Phi}{r}\right)^{\frac{2}{3}}$	$\frac{v}{r^{\frac{2}{3}}}=\frac{i^{\frac{1}{2}}}{n_1}\left(\frac{\Phi}{r}\right)^{\frac{2}{3}}$	v	$\frac{Q}{r^{\frac{2}{3}}}v\times\frac{A}{r^2}$	Q
0.05	0.0421	1.2662	0.0332	0.1033	0.1721	0.3269	0.0072	0.0937
0.0957	0.1116	1.7051	0.0654	0.1624 0	0.2706	0.5140	0.0310	0.4036
0.1	0.1181	1.7464	0.0676 2	0.1659 8	0.2766	0.5254	0.0327	0.4257
0.2	0.2959	1.9667	0.1504 5	0.2828 7	0.4715	0.8956	0.1395	1.8162
0.3	0.4779	2.1730	0.2199 2	0.3643 4	0.6072	1.1534	0.2902	3.7781
0.4	0.6654	2.3905	0.2783 5	0.4263 1	0.7105	1.3496	0.4728	6.1554
0.5	0.8547	2.5953	0.3293 3	0.4769 0	0.7948	1.5097	0.6793	8.8438
0.6	1.0484	2.7839	0.3765 9	0.5214 9	0.8692	1.6510	0.9113	11.8642
0.7	1.2446	2.9853	0.4169 1	0.5580 7	0.9301	1.7667	1.1576	15.0708
0.8	1.4425	3.1860	0.4527 6	0.5896 2	0.9827	1.8666	1.4175	18.4544
0.9	1.6420	3.3866	0.4848 5	0.6171 7	1.0286	1.9538	1.6889	21.9880
1.0	1.8418	3.5867	0.5135 1	0.6412 6	1.0688	2.0300	1.9684	25.6266
1.1	2.0398	3.7836	0.5391 2	0.6624 0	1.1040	2.0970	2.2519	29.3175
1.2	2.2391	3.9894	0.5612 6	0.6804 2	1.1340	2.1540	2.5391	33.0565
1.3	2.4327	4.1961	0.5797 5	0.6952 8	1.1588	2.2011	2.8190	36.7006
1.4	2.6200	4.4097	0.5941 4	0.7067 3	1.1778	2.2372	3.0857	40.1740
1.5	2.7984	4.6339	0.6039 0	0.7143 5	1.1906	2.2615	3.3318	43.3767
1.6	2.9653	4.8737	0.6084 3	0.7180 2	1.1967	2.2731	3.5486	46.1992
1.7	3.1171	5.1375	0.6067 3	0.7166 9	1.1945	2.2689	3.7234	48.4749
1.8	3.2491	5.4413	0.5971 2	0.7091 0	1.1818	2.2448	3.8398	49.9904
1.9	3.3539	5.8[illegible]63	0.5756 5	0.6920 0	1.1533	2.1907	3.8680	50.3575
2.0	3.4126	6.7283	0.5072 0	0.6359 9	1.0600	2.0135	3.6174	47.0949

圖-14.



$\frac{i^{\frac{1}{2}}}{n_1}$ の値は 表-7 より得る。即ちこの斷面は設計通水量より 0.414 m³/sec だけ多く通し得る。
更にこの斷面の水理特性曲線を求むるには 表-5 及 表-6 より $\alpha=1$ と $\alpha=0.5$ の 2 つの場合より按分比例にて求むれば 表-10 又これを圖に示せば 圖-14 を得。

次に卷厚を 30 cm とした場合の掘鑿及コンクリートの 1 m 當りの容積を求めるには (圖-15)

掘鑿斷面積 A' に對しては

$$\alpha=\frac{10.772}{8.678}\doteqdot 0.8,\qquad \lambda=\frac{10.772}{2.918}=3.7$$

表-2, 3 より

$$\alpha=0.8,\ \lambda=3.5,\ \frac{A'}{r^2}=3.3936$$

$$\alpha=0.8,\ \lambda=4,\ \frac{A'}{r^2}=3.4127$$

按分比例により

$$\alpha=0.8,\ \lambda=3.7,\ \frac{A'}{r^2}=3.4012$$

故に 1 m 當りの掘鑿容積は

$$A'=2.918^2\times 3.4012=28.96\ \mathrm{m}^3$$

又斷面積は $A=2.618^2\times 3.4126=23.390\ \mathrm{m}^2$ (表-10 による)。故に 1 m 當りの卷立コンクリート量は $28.96-23.39\doteqdot 5.57\ \mathrm{m}^3$ である。

圖-15.