

論 說 報 告

土木學會誌 第十五卷第九號 昭和四年九月

再び平衡曲線による流測器に就て

會員 工學士 野 瀬 正 人

Current Measurement Based on Equilibrium Curve

By Masato Nose, C.E., Member.

内 容 梗 概

水中に一條の網を垂し此の網に流速の及ぼす張力と、其の網の傾角を測定して其の測點の深淺並に平均流速を算出する方法に就て本誌第十四卷第六號に發表せり、本文は該論文の不足の點を補充したるものなり。

I. 楕圓断面形の影響

先に流測網の流線方向の断面を圓形と假定して總ての計算をなせり。然るに實際に於ては楕圓形なり、之に基因して計算に及ぼす影響を示せば次の如し。

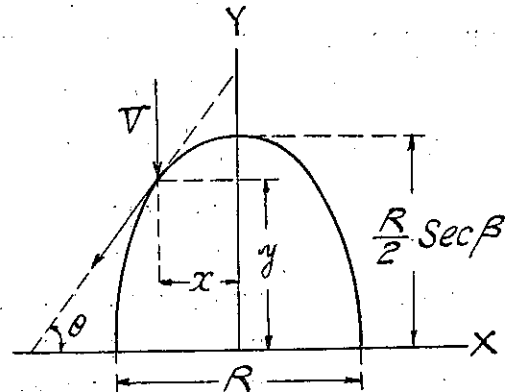
- R : 流測網の直径 = $10/3$ (呎)
 γ : 重力の加速度 = 9.8 (米/秒²)
 w : 水の單位容積の重量 = 1.000 (呎)
 V : 水分子の速度 (米/秒)
 P : 水の網に及ぼす力 (呎)
 β : 線の垂直線となす角度

網が垂直線と β 角丈け傾斜すれば、流線方向の断面は楕圓形となる、今第九圖に於て、任意の點 (x, y) の單位面積 dA を、流線方向より影射したる面積 dx に當る

水の單位時間の重量は $wVdx$ にして、其の質量は $\frac{wVdx}{\gamma}$ なり。今水が流測網に當りて尙接線方向に V の速度を有するものとなし得る、故に加速度の變化は $V(1-\sin\theta)$ なり。

$$\text{楕圓形の公式より } \frac{x^2}{\frac{R^2}{4}} + \frac{y^2}{\frac{R^2}{4} \sec^2 \beta} = 1$$

第 九 圖



$$\frac{dy}{dx} = \tan \theta = \frac{-x \sec \beta}{\sqrt{\frac{R^2}{4} - x^2}}, \quad \sin \theta = \frac{x \operatorname{cosec} \beta}{\sqrt{\frac{R^2}{4} - x^2}}$$

$$\begin{aligned} \therefore P &= 2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{w V^2}{\gamma} (1 - \sin \theta) dx \\ &= \frac{w R V^2}{\gamma} (1 + \operatorname{cosec} \beta \sqrt{\cot^2 \beta - 1} - \operatorname{cosec} \beta \cot \beta) \dots\dots (33) \end{aligned}$$

今 $h=0.02$ として、 $\beta_{max}=23^\circ-38'-0''$ (第十四卷第六號附表第一參照) 此の場合の係數に如何なる誤差を生ずるかを見るに次の如し。

$$P=0.4252522 \frac{w R V^2}{\gamma} = 0.1445436 V^2 \dots\dots (34)$$

上式と第十四卷第六號 825 頁の $P=0.17007 V^2$ と比して、零より 14.95 % 平均約 4.8 % (附圖第十一及附表第九參照) の誤差となり大なる誤差はなし、故に計算を簡單にする爲圓形とす。

II. 河底水速 V_0 と平均流速 V_m との比 $N = \frac{V_0}{V_m}$ の値

自然河川の洪水時の川底の状態を観察するに細微なる土砂は、所謂濁水として浮流し、稍々大なる砂及之よりなる礫又玉石に至る迄跳躍し或は轉動し、或は摺動して、川床の移動するを觀る。特に大小粒の混合せる川床は、小粒の上に粗粒の砂礫が流動する状態は、球承 (Ball-bearing) の中に車軸の廻轉するが如く容易に移動す。

是等の移動する砂礫と V_m 及 V_0 との關係を諸大家の發表せる式に依れば次の如し。

G. K. Gilbert 氏 $D = \frac{0.0042}{S-1} V_m^{2.7}$ (本會誌第十五卷第貳號 157 頁參照) $\dots\dots (35)$

D : 砂礫の直径 (呎)

S : 砂礫の比重

(35) 式をメートル式に換算し、砂礫の重量を 2650 斤/立方米とすれば

$$V_m + 4.28 D^{0.37} = 4.28 D^{0.4} \dots\dots (36)$$

Leslie 氏 $V_0 = 4.58 D^{0.5}$ (本會誌第十五卷第貳號參照) $\dots\dots (37)$

Bazin 氏の新公式 $V_m = k \sqrt{RS_1}$

$$k = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$$

γ : 川床の粗面による係數

$$R: \text{水径 (Hydraulic mean depth)} = \frac{A}{P}$$

S_1 : 水面勾配

A は断面積なり、 P は潤邊 (Wetted Perimeter) なり。若し断面中の水深 l の箇所に於て、幅 ΔP $A = \Delta P \cdot l$ にして、潤邊 $P = \Delta P$ と見做す事を得、故に Bazin 氏の新公式は次の如し。

$$V_m = k \sqrt{l S_1} \dots\dots\dots (38)$$

(37) とすれば $N_1 = 1.07 D^{0.1} \dots\dots\dots (39)$
 (36)

(37) とすれば $N_2 = \frac{4.58}{k} \sqrt{\frac{D}{l S_1}} \dots\dots\dots (40)$
 (38)

今 D の種々なる値に對して、 N_1 の値を算出すれば次の表の如し。

D (米)	N_1	D (米)	N_1
0.001	0.536	0.11	0.858
0.01	0.675	0.12	0.866
0.02	0.724	0.13	0.873
0.03	0.754	0.14	0.879
0.04	0.776	0.15	0.885
0.05	0.793	0.16	0.891
0.06	0.803	0.17	0.896
0.07	0.820	0.18	0.902
0.08	0.831	0.19	0.906
0.09	0.841	0.20	0.911
0.10	0.850		

尙 (40) 式に於て、右邊の k 、 D 、 l 、及 S_1 は測量せんとする箇所の條件に依て、決定し得らる。今第十四卷第六號の (1) (2) 式を算出せる阿武隈川 (福島縣) にて實測せる例によりて、 N_2 の値を計算すれば次の如し。

	(1) 式の場合			(2) 式の場合		
	最小	平均	最大(深)	最小	平均	最大(深)
l (米)	0.830	1.586	2.430	2.800	3.394	3.930
γ	1.3	"	"	"	"	"
S_1	$\frac{1}{2000}$	"	"	"	"	"
D (米)	0.015	0.025	0.030	0.035	0.040	0.045
N_2	0.745	0.640	0.555	0.535	0.505	0.488

以上の結果を観察するに、 N_2 の値は大體實驗に徴して近似數なるを知る。 N_1 の値は V の値に比し、 V_m の値小なる爲 N_1 の値過大なる嫌あり、然れ共 V_0 の値は實驗に徴して近似數なるを認む。但し此の實驗は、附圖第一及第二に示すが如く、單に阿武隈川（福島縣）の一部分に於ける平水位並に普通洪水に於て、W & L. E. Gurley Electric Current-meter に依りて測定せる結果にして、總べての河川に於て、確實なる實驗に依り (39) 及 (40) の式を算出して N の値を決定し、附表第四或は附圖第八及第九を用ひて、 $a, b, c, d,$ 及 g の係數を定むべし。

III 深 l を測定する方法

深 l の未知數の場合張力 V_a 及傾角 β を弛 h を變じて二回以上測量すれば、計算によりて l を算出する事を得。

$$V_m = \sqrt{\frac{f_1}{l}} \sqrt{\frac{V_{a_1}}{g}} \quad \text{第一回}$$

$$V_m = \sqrt{\frac{f_2}{l}} \sqrt{\frac{V_{a_2}}{g}} \quad \text{第二回}$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{V_{a_2}}{V_{a_1}} \quad \frac{f_1}{l} = \frac{V_{a_2}}{V_{a_1}} \cdot \frac{f_2}{l} \cdot d(\pm \tan \alpha_2 \mp \tan \beta_2) \dots \dots \dots (41)$$

$$\frac{f_1}{l} = d(\pm \tan \alpha_1 \pm \tan \beta_1)$$

$$\frac{f_2}{l} = d(\pm \tan \alpha_2 \pm \tan \beta_2)$$

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{\pm \tan \alpha_1 \pm \tan \beta_1}{\pm \tan \alpha_2 \pm \tan \beta_2} = \frac{V_{a_2}}{V_{a_1}}$$

$$\pm \tan \alpha_1 = \pm \frac{e_1}{l} = \frac{V_{a_2}}{V_1} (\pm \tan \alpha_2 \pm \tan \beta_2) \mp \tan \beta_1 \dots \dots \dots (42)$$

$$S_1 = l \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f_1}{l} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{e_1}{l} \right)^2 \right\}$$

$$S_2 = l \left\{ 1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f_2}{l} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{e_2}{l} \right)^2 \right\}$$

$$\therefore \frac{S_1}{S_2} = \frac{1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f_1}{l} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{e_1}{l} \right)^2}{1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f_2}{l} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{e_2}{l} \right)^2} \dots \dots \dots (43)$$

(43) 式に (41) 及 (42) を代入すれば次の如し。

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{1 + \frac{8}{3} \times \frac{d^2 V a_2^2}{V a_1} (\pm \tan \alpha_2 \pm \tan \beta_2)^2 + \frac{1}{2} \left\{ \frac{V a_2}{V a_1} (\pm \tan \alpha_2 \pm \tan \beta_2) \pm \tan \beta_1 \right\}^2}{1 + \frac{8}{3} d^2 (\pm \tan \alpha_2 \pm \tan \beta_2)^2 + \frac{1}{2} \tan^2 \alpha_2} \quad (44)$$

(44) 式は未知数 $\tan \alpha_2$ の二次方程式にて $\tan \alpha_2$ を算出し得。従つて $\frac{f_2}{l}$ を知り

$\tan \alpha_2 = a \tan \beta_2 \{ \pm 1 \pm \sqrt{b h \tan^{-2} \beta_2 - c} \}$ 式より h を算出し、 l 及 V_m を決定し得らる。実験の結果は附表第十に示すが如し。

IV 流測網の改良

流測網は完全なる圓断面形のものにして滑かなるものと假定せり。然るに實驗に使用せる網は、最小の銅線 20 條を捻りて、護謨管を覆ひ尙麻布にて被覆したるものにペンキを塗りたるものなり。之が爲完全なる圓形と言難し、又滑かなるものとも言難し、計量器に表はれたる目方 T_a は過大なる結果を得たり、之全く網の表面に凹凸ありて、流水の與へる T_a に影響あるを認めたり、故に細き 25 條の銅線に厚き護謨管を被覆し、表面に黑色エナメルを塗り、同じ徑に製作したる結果は附表第八に示すが如し。

尙 e_1 なる係数は $1 - 0.048 = 0.95$ 内外に近寄る様に改良する必要あり。

V 附 録

h の値を一定して T_a を測り同じ原理により風速計に利用し、自働車、飛行機並に汽車、汽船の速度も測定し得らるべし。

拙論に對し諸先輩並先覺者諸彦の御指導を乞ふ。(了)

附表第八 (深さ 2.5 米以下の場合)

番号	深 (米)	β	V_a (100)	h	h_{and}	$\frac{f}{\rho}$	V_m (米)	平均 V_m (米)	旧平均 V_m 新平均 V_m
1	2.300	旧 10°-50'	0.645	0.01752	0.1022888	0.0678836	0.83805	0.76810	1.06000
		7°-50'	0.654	0.00873	0.0715617	0.0780993	0.77276		
		6°-40'	0.723	0.00387	0.0350464	0.0349421	0.69348		
		11°-5'	0.569	0.01744	0.1004933	0.0481649	0.85808		
		9°-12.5'	0.553	0.00824	0.0538346	0.042798	0.65529		
7°-46'	0.669	0.00397	0.0249512	0.0340820	0.65750				
2	2.250	旧 15°-10'	0.594	0.01535	0.0468201	0.0731111	0.91801	0.90320	0.98668
		12°-6.5'	0.782	0.00228	0.0115969	0.0520078	0.88838		
		16°-0'	0.553	0.01480	0.0395908	0.0780397	0.89745		
		11°-8.5'	0.859	0.00775	0.0303717	0.0522579	0.93333		
		17°-42.5'	0.809	0.01439	0.004766	0.0734649	1.01848		
3	2.480	旧 11°-37.5'	1.396	0.00243	0.0279484	0.0488367	1.00245	1.01047	0.83214
		16°-18.5'	1.254	0.00524	0.0493463	0.0743029	1.28079		
		12°-4.5'	1.517	0.00717	0.0008217	0.0518522	1.17680		
		9°-30'	2.372	0.00324	0.0210651	0.0336422	1.18530		
		5°-3'	0.578	0.00935	0.1503929	0.0549124	1.08370		
4	1.180	旧 3°-5'	0.649	0.00981	0.1098233	0.0376468	0.95081	0.93752	0.98573
		2°-44'	0.684	0.00480	0.0737360	0.0239183	0.77805		
		6°-50'	0.437	0.01852	0.1361922	0.0588830	0.92677		
		4°-15'	0.618	0.00947	0.1012277	0.0403724	0.96083		
		3°-12'	0.784	0.00460	0.0700368	0.0287661	0.91667		
5	1.170	旧 8°-7'	0.421	0.01704	0.1205750	0.0605315	0.97520	0.98663	1.11938
		3°-41.5'	0.888	0.00460	0.0661352	0.0300610	0.92809		
		8°-14'	0.267	0.01699	0.1195228	0.0607674	0.79813		
		3°-50.5'	0.863	0.00415	0.0637603	0.0301080	0.93471		
		10°-1.5'	0.463	0.01711	0.1071420	0.0652282	0.92433		
6	1.545	旧 5°-22.5'	1.035	0.00333	0.0516527	0.0335187	0.90615	0.93765	1.20884
		9°-53.5'	0.320	0.01718	0.1085361	0.0650672	0.68367		
		6°-3.5'	0.577	0.00928	0.0866426	0.047964	0.85467		
		5°-20.5'	0.667	0.00434	0.0520198	0.0334681	0.79336		
		10°-22.5'	0.443	0.01662	0.1017490	0.0655083	0.93480		
7	1.450	旧 7°-15'	0.670	0.00870	0.0759021	0.0467150	0.97081	0.97056	1.03562
		5°-36'	1.025	0.00386	0.0445421	0.0327948	1.00608		
		9°-7.5'	0.429	0.01739	0.1151891	0.0634334	0.90523		
		6°-22.5'	0.651	0.00907	0.0847899	0.0452425	0.94174		
		3°-30'	0.946	0.00389	0.0457233	0.0326613	0.96456		
8	1.085	旧 9°-7'	0.281	0.01668	0.1116610	0.0625877	0.84127	0.88026	0.97038
		8°-37'	0.405	0.00693	0.0495554	0.0462422	0.86819		
		5°-4.5'	0.692	0.00319	0.0347303	0.0311463	0.93131		
		9°-46.5'	0.360	0.01614	0.1038088	0.0634975	0.95911		
		6°-46'	0.447	0.00817	0.0755213	0.0446580	0.89628		
9	1.270	旧 10°-22.5'	0.182	0.01556	0.0960091	0.0641882	0.63374	0.64280	0.93338
		9°-58.5'	0.261	0.00643	0.0300160	0.0473532	0.6518.5		
		12°-7'	0.264	0.01403	0.0709819	0.0657004	0.68824		
		9°-44.5'	0.291	0.00661	0.0347004	0.0474656	0.68911		
		10°-17'	0.384	0.01628	0.1006016	0.0648642	0.94030		
10	1.230	旧 8°-0.5'	0.564	0.00732	0.0386081	0.0458362	0.95795	0.91820	1.07121
		7°-19'	0.640	0.00285	0.0119533	0.0322794	0.85635		
		8°-50'	0.361	0.01735	0.1172003	0.0626760	0.89634		
		7°-2.5'	0.451	0.00767	0.0665237	0.0452381	0.85102		
		5°-35'	0.592	0.00870	0.0427683	0.0323793	0.82412		
11	1.400	旧 10°-15'	0.349	0.01652	0.1076611	0.0663497	0.84981	0.87791	1.00589
		6°-21'	0.591	0.00868	0.0823540	0.0445347	0.90601		
		5°-5'	0.762	0.00416	0.0520603	0.0324318	0.87792		
		9°-4.5'	0.335	0.01686	0.1079077	0.0643369	0.81986		
		5°-21'	0.642	0.00906	0.0917686	0.0426436	0.92402		
12	1.450	旧 4°-7.5'	0.798	0.00444	0.0618068	0.0308016	0.87444	0.89008	1.07088
		11°-36'	0.308	0.01605	0.0882712	0.0676114	0.79128		
		8°-4.5'	0.524	0.00811	0.0401470	0.0446321	0.83918		
		6°-0'	1.074	0.00379	0.0402478	0.0334294	1.03977		
		13°-41.5'	0.267	0.01446	0.0576187	0.0692815	0.74633		
13	1.275	旧 11°-33.5'	0.397	0.00642	0.0826136	0.0660359	0.88849	0.83117	0.91717
		7°-55.5'	0.530	0.00300	0.0616819	0.0462021	0.85869		
		10°-8.5'	0.266	0.01696	0.1056735	0.0654445	0.77210		
		6°-56.5'	0.422	0.00860	0.0789648	0.0461625	0.81677		
		3°-50'	0.733	0.00422	0.0614960	0.0295537	0.86130		
14	1.265	旧 10°-52.5'	0.300	0.01645	0.0967480	0.0664358	0.82615	0.89401	0.95401
		7°-24'	0.545	0.00838	0.0723035	0.0464998	0.93138		
		5°-0'	0.767	0.00388	0.0495894	0.0325265	0.92430		
		9°-32'	0.256	0.01630	0.1076107	0.0633738	0.74331		
		6°-22.5'	0.402	0.00882	0.0831257	0.0448299	0.78869		
14	1.265	新 5°-21'	0.717	0.00461	0.0537599	0.0339021	0.91597	0.85708	0.95401
		7°-55.5'	0.337	0.01732	0.1243033	0.0606043	0.83960		
		5°-42.5'	0.443	0.00911	0.0916353	0.0440649	0.82083		
3°-25.5'	0.789	0.00511	0.0726016	0.0304622	0.91081				

38.58235 = 1.01533
38

土木学会誌第十五卷第九號附録

附表第九

β	P'	$\frac{P-P'}{P}$	$\Sigma(\frac{P-P'}{P})$
1°	0.16999407	0.0004351	0.0002176
2°	0.16990966	0.0009314	0.0004535
3°	0.16971697	0.0020645	0.0008578
4°	0.16944450	0.0036632	0.0014189
5°	0.16909197	0.0057395	0.0021390
6°	0.16865562	0.0083074	0.0030193
7°	0.16813399	0.0113372	0.0040390
8°	0.16754017	0.0148641	0.0052596
9°	0.16688545	0.0188954	0.0067320
10°	0.16618107	0.0234436	0.0084523
11°	0.16542167	0.0285257	0.0098501
12°	0.16462573	0.0341669	0.0117206
13°	0.16379467	0.0403568	0.0137661
14°	0.16294937	0.0471488	0.0159916
15°	0.16208937	0.0545588	0.0184020
16°	0.15941837	0.0626202	0.0210031
17°	0.15706927	0.0711410	0.0237885
18°	0.15632947	0.0807830	0.0267882
19°	0.15445956	0.0909778	0.0299917
20°	0.15272637	0.1019692	0.0334249
21°	0.15065147	0.1141696	0.0370951
22°	0.14834449	0.1265558	0.0409847
23°	0.14621407	0.1402615	0.0451213
24°	0.14370167	0.1550343	0.0495178
25°	0.14099887	0.1709269	0.0541874
26°	0.13808727	0.1880471	0.0591451
27°	0.13495127	0.2064868	0.0644074
28°	0.13155837	0.2264371	0.06996494
29°	0.12789277	0.2479908	0.0759272

土木學 測量 第十五卷 第九表 (續)

附表第十 (深さ 2.5 米以上)

番号	β	V_0 (秒)	S (米)	$\tan \alpha_2$	h	l (米)	l' (米)	l/l'
1	9°-57'	1.325	2.784	0.00991	0.0031396	2.734	2.710	0.999
	9°-15'	1.732	2.743					
2	13°-31'	1.168	2.682	0.07269	0.0073763	2.635	2.635	1.000
	14°-41'	1.306	2.654					
3	15°-36'	0.857	2.572	0.04788	0.0051211	2.537	2.530	0.997
	12°-29'	1.128	2.550					
4	14°-20'	0.712	2.735	0.01384	0.0067159	2.694	2.690	0.999
	11°-15'	1.221	2.912					
5	16°-5'	0.591	2.968	0.01931	0.0086674	2.918	2.920	1.001
	13°-10'	0.906	2.942					
6	12°-31'	0.552	2.789	0.01876	0.0020124	2.759	2.740	0.993
	7°-49'	0.996	2.765					
7	11°-11'	0.790	2.730	0.07096	0.0032694	2.696	2.680	0.994
	8°-19'	1.069	2.705					
8	12°-14'	0.743	2.621	0.04253	0.0021809	2.593	2.575	0.993
	8°-1'	1.178	2.694					
9	11°-44'	1.038	2.551	0.01784	0.0031397	2.532	2.530	0.999
	9°-32'	1.391	2.540					
10	13°-16'	0.827	2.932	0.01953	0.0022694	2.900	2.880	0.993
	8°-15'	1.549	2.907					

$\frac{2.968}{1.0} = 0.9971$

附圖第十一

$$P' = \frac{wRV^2}{\gamma} (1 + \operatorname{Cosec} \beta \sqrt{\cot^2 \beta - 1} - \operatorname{Cosec} \beta \cot \beta)$$

$$P = \frac{wRV^2}{2\gamma}$$

w ; 水ノ單位容積ノ重量 = 1,000 斤

R ; 流測網ノ直径 = $\frac{10}{3}$ 米

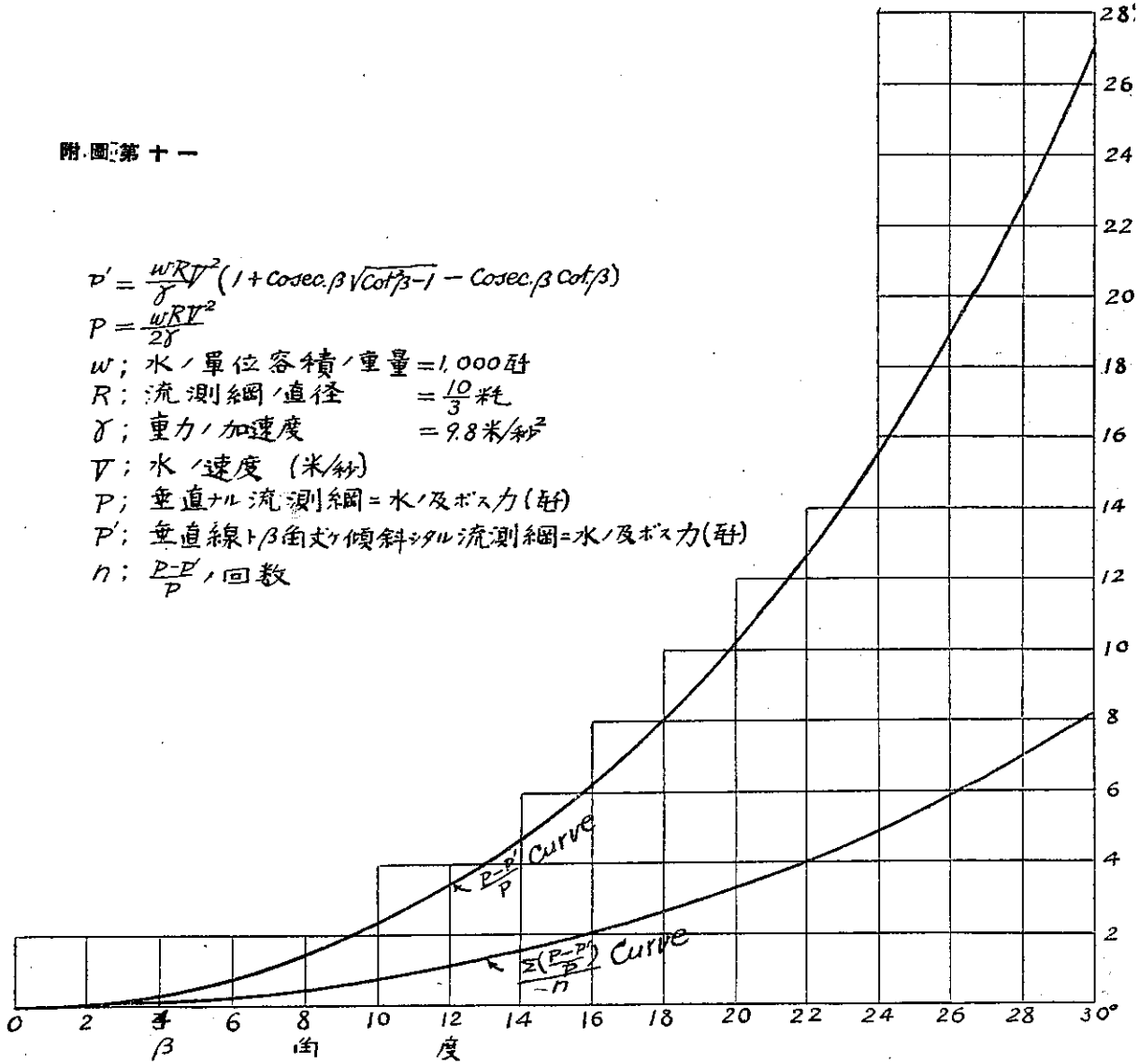
γ ; 重力ノ加速度 = 9.8 米/秒²

V ; 水ノ速度 (米/秒)

P ; 垂直ナル流測網 = 水ノ及ボス力 (斤)

P' ; 垂直線ト β 角ヲ傾斜シタル流測網 = 水ノ及ボス力 (斤)

n ; $\frac{P'-P}{P}$, 回数



(土木學會誌第十五卷第九號附圖)