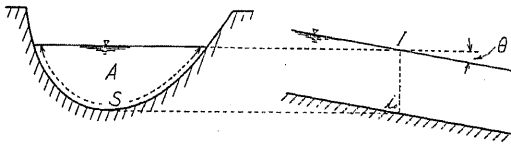


## 第五章 水路の流速

### [24] 平均流速公式

普通實在する開水路、暗渠等の水流に於ては嚴格に云へば断面、水面勾配、潤邊の状態従て平均流速等は完全には一樣ならぬも、夫等の量及び状態の變化極めて微弱なる區間に於ては實地上その間の平均値を有する等速流と看做して差支ない。

(1) 平均流速公式の種類 (Types of mean-velocity formula) [19] (4) に述べたる如く等速流の正断面の平均流速 ( $v$ ) を表はす式は頗る多種に及ぶが次に普通使用されるものに就て述べ



第 140 圖

る。水面の傾斜が

$$\theta > 10^\circ \text{ の場合は } I = i_0 = \sin \theta$$

$$\theta \leq 10^\circ, \quad I = i_0 = \sin \theta \approx \tan \theta$$

$I$  は普通 ‰ (例 3.1 ‰) 又は 1:N (例

1:810, 1/810) を以て表はし英尺に於ては 呎/哩 即一哩間の落差呎にて表はす事あり。

$$R (\text{徑深}) = \frac{\text{正斷面積}}{\text{潤邊}} = \frac{A}{S},$$

#### 1. シエチー公式 (Chézy formula)

$$v = C\sqrt{RT} = CR^{\frac{1}{2}}I^{\frac{1}{2}} = CR^{0.5}I^{0.5} \dots \dots \dots (139)$$

$C = f(n, R, I)$ , 流速係數 (Coef. of mean velocity)

Chézy 式の  $C$  は一般に潤邊の状態を表はす粗度係數  $n$ ,  $R$ ,  $I$  及び  $v$  等の函數として表はされ、之の函數形に依て種々の流速公式を生じ、何れも實驗觀測の結果より定めたるものである。尙しは上記の諸量の外、断面の形狀に依ても異なるも其の影響小なるを以て普通の公式に於ては之を考慮せぬ。

#### 2. 指數公式 (Exponential formula)

$$v = C_1 R^m I^k \dots \dots \dots (140)$$

$C_1$  は流速係數、上式に於ては一の水路に對しては  $R$  及び  $I$  の如何に係らず  $C_1, m, k$  等は同一の値を用ひ得るを以て、一の水路又は同種同形の水路に於て水位、水面勾配の異なる多くの場合の平均流速を求むるには好都合なるも、今日の状態にては實驗より得たる  $C_1, m, k$  の値は、断面の形及び潤邊の性質の僅かの差異に依て急變... discontinuous に變ず...するを以て一の水路に對する値より類似の水路の値を推測する事を得ざるのみならず、單位系を變ずるに著しき手数を要するの缺點がある。従て等速流の場合に於ては主に管水路又は一定形の暗渠等に用ひらる。

3. **Chézy 式と指數公式** Chézy 式に於ても  $C$  が水面勾配  $I$  に無關係なる公式に於ては  $C=C_0R^\lambda$  を以て近似的に表はす事を得、從て  $v=C_0R^{\frac{1}{2}+\lambda}I^{\frac{1}{2}}$ 、茲に  $C_0$  は粗度のみに依て表はし得る係數である。故に兩公式の間には確然たる區別なく、普通の定義に於ては

$$v=C R^a I^\beta \dots \dots \dots (141)$$

Chézy 式 粗度のみに依て定まる 一定 一定、多くの場合 0.5  
 指數公式 總て粗度のみに依て定まる

即ち指數公式に於ては  $C, a, \beta$  共に適當に撰擇し得るを以て一水路の流速を精確に表はし得るも、 $C, a, \beta$  は何れも普遍性を欠き一々實驗に依て決定するを要し、他種の水路の夫等を類推する事は困難である。現今存在する公式中實用上最も便なるは

$\beta=0.5, a$ 、總ての場合に對し同一、 $C$ 、粗度のみに依て變ず

なる種類のものにして Manning ( $a=\frac{2}{3}$ ), Forchheimer ( $a=0.7$ ) 等之に屬する。

(2) **バザン公式 (Bazin's mean velocity formula)**, 佛) Chézy 型にして 1862~1865 に Darcy と共に行ひたる實驗水路に於ける多數の測定と、實際の河川水路に於ける多數の實測とに基づき  $C$  を表はす式を發表せしが、1897 年更に之を簡單化したものが今日の Bazin 公式にして、後記の Kutter 公式に比して著しく簡單にして現今佛及び伊、瑞、奧の一部に行はる。

$$v=C\sqrt{RI}=\frac{87}{1+\frac{\gamma}{\sqrt{R}}}\sqrt{RI} \dots (\text{m-sec}) \text{ 單位} \dots \dots (142)$$

$$=\frac{157.6}{1+1.811\frac{\gamma}{\sqrt{R}}}\sqrt{RI}, (\text{呎-秒})=\frac{158}{1+1.817\frac{\gamma}{\sqrt{R}}}v\sqrt{RI}, (\text{尺-秒}) \dots (143)$$

Bazin の發表せる當時は  $\gamma$  の値は次の 6 種に過ぎざりしも、爾來種々の水流に於ける實測流速と公式との比較に依り多種の水路に對する  $\gamma$  が定められて居る。尙第 142 圖に依て Kutter 公式の  $n$  に相當する  $\gamma$  の値を求め得る。

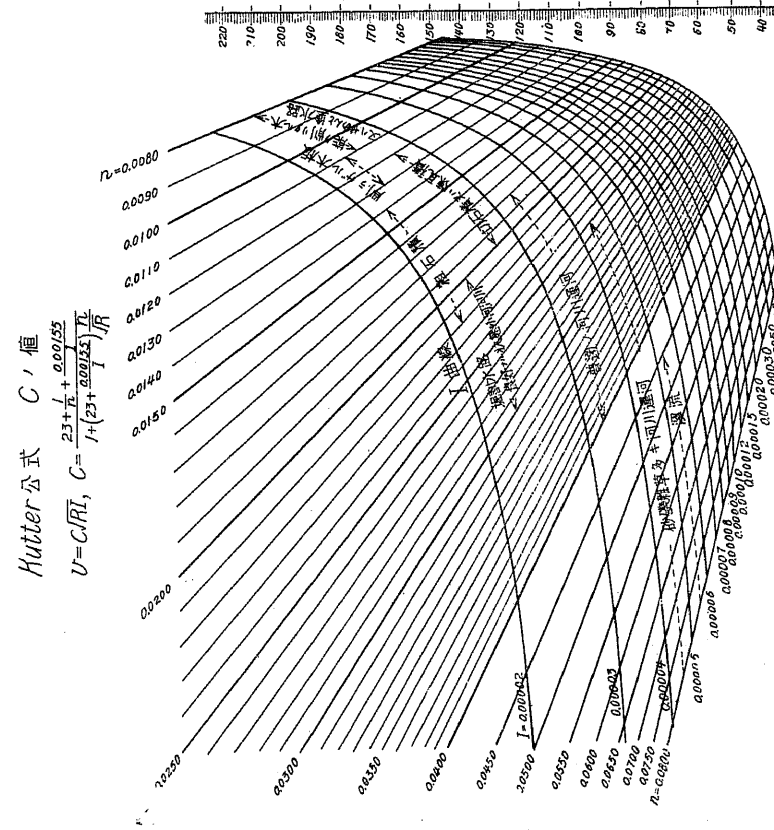
第 29 表 Bazin の粗度係數  $\gamma$

水路潤邊の種類	$\gamma$
平滑なる上塗、鉋削せる木材	0.06
鉋削せざる木材、切石、煉瓦積	0.16
割石積	0.46
張石、規則正しき土砂底	0.86
普通の土砂地盤開鑿水路	1.30
抵抗特に大なる土砂水路	1.75

(3) **クッター公式 (瑞西, E. Ganguillet & W.R. Kutter's formula, Kutter's formula と呼ぶ)** Ganguillet, Kutter 兩氏は Darcy, Bazin の舊公式を Mississippi 下流の Humphrey 及

Surface	Best				Good				Fair				Bad			
	0.01	0.02	0.03	0.04	0.01	0.02	0.03	0.04	0.01	0.02	0.03	0.04	0.01	0.02	0.03	0.04
Uncoated cast-iron pipe	0.017	0.025	0.033	0.041	0.017	0.025	0.033	0.041	0.017	0.025	0.033	0.041	0.017	0.025	0.033	0.041
Coated cast-iron pipe	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032
Commercial wrought-iron pipe, black	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032
Commercial wrought-iron pipe, galvanized	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032
Smooth brass and glass pipe	0.009	0.014	0.019	0.024	0.009	0.014	0.019	0.024	0.009	0.014	0.019	0.024	0.009	0.014	0.019	0.024
Smooth lockbar and welded "OD" pipe	0.010	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025
Riveted and spiral steel pipe	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032
Vitrified sewer pipe	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030
Common city drainage tile	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030
Glazed brickwork	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030
Brick in cement mortar; brick sewers	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032
Brick in cement mortar	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032
Cast iron surfaces	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030
Concrete pipe	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032
Concrete pipe	0.010	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025
Wood stave pipe	0.010	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025
Planed	0.010	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025	0.010	0.015	0.020	0.025
Unplaned	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030	0.011	0.017	0.023	0.030
With battens	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032	0.012	0.018	0.025	0.032
Concrete-lined channels	0.017	0.025	0.033	0.041	0.017	0.025	0.033	0.041	0.017	0.025	0.033	0.041	0.017	0.025	0.033	0.041
Cement-rubble surface	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050
Dry-rubble surface	0.013	0.019	0.026	0.033	0.013	0.019	0.026	0.033	0.013	0.019	0.026	0.033	0.013	0.019	0.026	0.033
Dressed-sellar surface	0.013	0.019	0.026	0.033	0.013	0.019	0.026	0.033	0.013	0.019	0.026	0.033	0.013	0.019	0.026	0.033
Semicircular metal flumes, smooth	0.013	0.019	0.026	0.033	0.013	0.019	0.026	0.033	0.013	0.019	0.026	0.033	0.013	0.019	0.026	0.033
Semicircular metal flumes, corrugated	0.0225	0.030	0.038	0.046	0.0225	0.030	0.038	0.046	0.0225	0.030	0.038	0.046	0.0225	0.030	0.038	0.046
Canals and Ditches:																
Rectangular and uniform	0.017	0.025	0.033	0.041	0.017	0.025	0.033	0.041	0.017	0.025	0.033	0.041	0.017	0.025	0.033	0.041
Rock cuts, smooth and uniform	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050
Rock cuts, jagged and irregular	0.035	0.045	0.055	0.065	0.035	0.045	0.055	0.065	0.035	0.045	0.055	0.065	0.035	0.045	0.055	0.065
Winding sluggish canals	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050
Dredged earth channels	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050
Canals with rough stony beds, weeds on earth banks	0.035	0.045	0.055	0.065	0.035	0.045	0.055	0.065	0.035	0.045	0.055	0.065	0.035	0.045	0.055	0.065
Earth bottom, rubble sides	0.028	0.036	0.044	0.052	0.028	0.036	0.044	0.052	0.028	0.036	0.044	0.052	0.028	0.036	0.044	0.052
Natural Stream Channels:																
(1) Clean, straight bank, full stage, no rills or deep pool	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050	0.025	0.033	0.041	0.050
(2) Same as (1), but some weeds and stones	0.030	0.039	0.048	0.057	0.030	0.039	0.048	0.057	0.030	0.039	0.048	0.057	0.030	0.039	0.048	0.057
(3) Winding, some pools and stones, clean	0.035	0.045	0.055	0.065	0.035	0.045	0.055	0.065	0.035	0.045	0.055	0.065	0.035	0.045	0.055	0.065
(4) Same as (3), lower stages, more ineffective slope and sections	0.040	0.050	0.060	0.070	0.040	0.050	0.060	0.070	0.040	0.050	0.060	0.070	0.040	0.050	0.060	0.070
(5) Same as (4), some weeds and stones	0.045	0.055	0.065	0.075	0.045	0.055	0.065	0.075	0.045	0.055	0.065	0.075	0.045	0.055	0.065	0.075
(6) Same as (4), stony shores	0.045	0.055	0.065	0.075	0.045	0.055	0.065	0.075	0.045	0.055	0.065	0.075	0.045	0.055	0.065	0.075
(7) Sluggish river, rather weedy or with very deep pool	0.050	0.060	0.070	0.080	0.050	0.060	0.070	0.080	0.050	0.060	0.070	0.080	0.050	0.060	0.070	0.080
(8) Very weedy reaches	0.075	0.100	0.125	0.150	0.075	0.100	0.125	0.150	0.075	0.100	0.125	0.150	0.075	0.100	0.125	0.150

\* Values commonly used in designing



用 例  
 $R=3.2 \text{ m}, I=1/5000=0.0002, n=0.025$   
 が與へられたる場合に  $C$  の値を求むるには、先づ  $I$  及び  $n$  の曲線群に於て  $I=0.0002$  と  $n=0.025$  との交點を求め、此點と  $R$  軸上に於ける  $R=3.2 \text{ m}$  ... 交點  $\sqrt{R}=1.79$  ... なる點とを直線にて結び  $C$  軸との交點を求むれば  $C=49.5$  を得る。

第 141 圖 Kutter 公式 C の値

び Abbot の測定値に適用して好結果を得ざりしより、Bazin の実験水路は數百分の一の稍急なる勾配なるため公式は數萬分の一の緩流には不適當なる事に想到し、兩者の實測値を統一して  $C$  の新公式を得た (1869)。即ち現今日、英、米、獨、澳其他世界の大部分に廣く採用する所の Kutter 公式である。然し Mississippi の測定は勾配極めて緩に、水深亦數十米以上にして主に浮子測定なるを以て今日に於てはその精度に多大の疑問を抱かれて居り、且つ資料は全部他に據るものなるを以て水理學上の功績は、非常なる苦心の下に初めて精密なる實驗を爲したる Darcy, Bazin の下に位するものである。唯今日 Kutter 公式が斯く權威を有するに到りしは、爾來米、獨、澳諸國に於て行はれたる無数の實測に依り殆んどあらゆる種類の水流に對し、**Kutter 公式を用ふる場合如何なる粗度係數 ( $n$ ) を用ふれば能く實測に適合するか**を明かにされたる爲にして、結局多數の實測者に依てあらゆる場合の  $n$  の表が集成されたに過ぎぬ。

Kutter 公式  $v = C\sqrt{RI}$

$$v = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{I}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{RI}, \text{ m-sec 單位} \dots \dots \dots (144)$$

$$v = \frac{41.65 + \frac{1.811}{n} + \frac{0.00281}{I}}{1 + \left(41.65 + \frac{0.00281}{I}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{RI}, \text{ ft-sec 單位} \dots \dots \dots (145)$$

$$v = \frac{41.8 + \frac{1.82}{n} + \frac{0.00282}{I}}{1 + \left(41.8 + \frac{0.00282}{I}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{RI}, \text{ 尺-秒 單位} \dots \dots \dots (146)$$

一般に  $I > 1:1000$  又は  $1\text{m} > R > 0.2\text{m}$  にして  $I > 1:3000$  ならば  $I$  の影響を無視したる次の **クツター略公式 (Kutter's approximate formula)** を用ひて差支ない。

(m-sec 單位)	(尺-秒單位)
$v = \frac{23 + \frac{1}{n}}{1 + 23 \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{RI}$	或は $v = \frac{41.8 + \frac{1.82}{n}}{1 + 41.8 \frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{RI}$

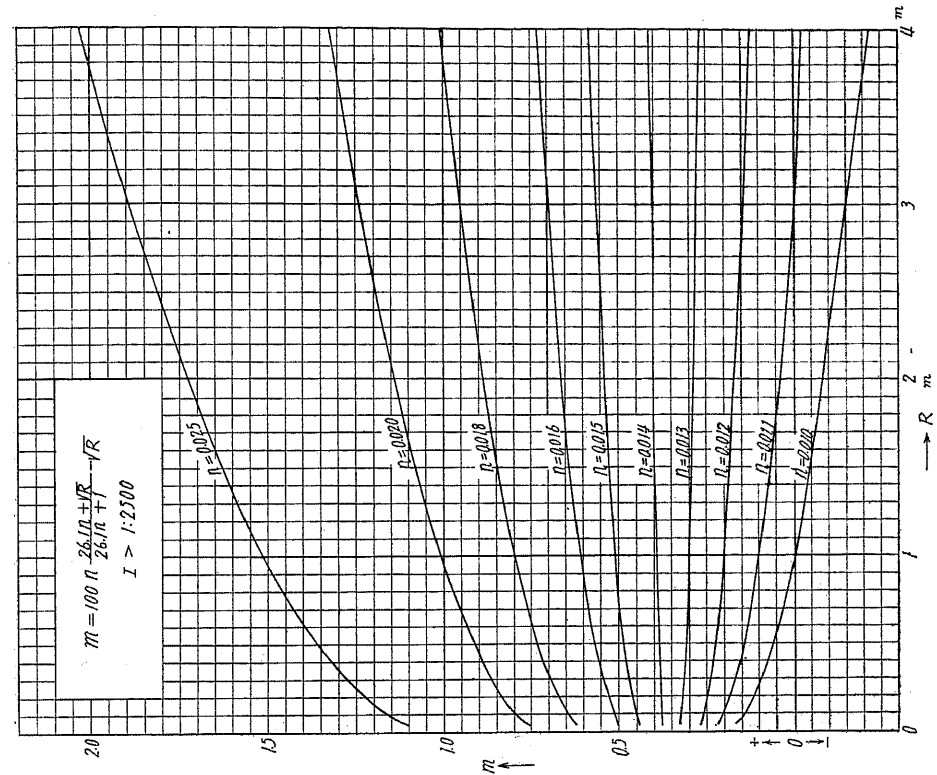
... .. (147)

又は  $= \frac{NR}{\sqrt{R+D}}$  茲に  $D = 23n, N = \left(23 + \frac{1}{n}\right) \sqrt{I}$  ... (m-sec 單位) ... (148)

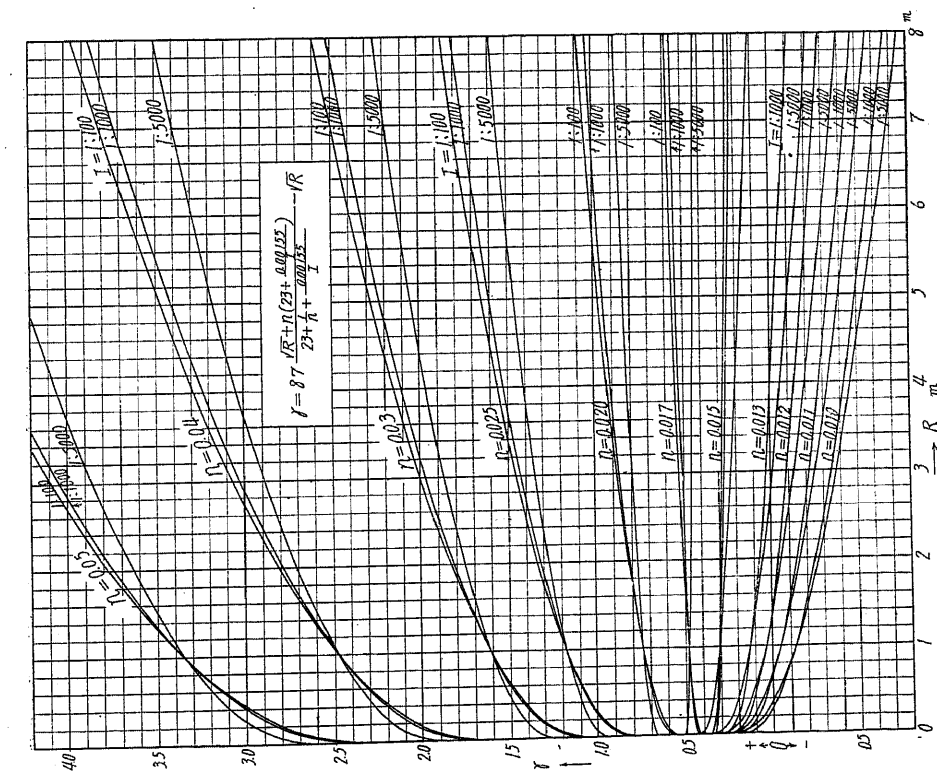
(4) **Kutter 簡單公式 (Kutter's simplified formula)** Ganguillet & Kutter 公式, (144) 式は式形複雑なるを以て Kutter は次の如く簡單化した、即ち (144) 式の  $C$  を

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{I}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} = \frac{100\sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \quad \text{と置けば}$$

$$m = \frac{100}{a} (bn + \sqrt{R}) - \sqrt{R} \quad \text{茲に} \quad a = 23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{I}, \quad b = 23 + \frac{0.00155}{I}$$



第 143 圖 Kutter 簡單式  $m$  と Kutter  $n$  との關係 (N.M.)



第 142 圖 Bazin  $\gamma$  と Kutter  $n$  との關係 (N.M.)

即ち、粗度係数  $m$  は  $n$ ,  $I$  及び  $\sqrt{R}$  の函数なるも、下水管其他餘り大ならざる人工水路に於ては  $I$  大なるを以て其影響は著しからず、

今  $I=1:2000$  とし  $a=26.1+\frac{1}{n}$ ,  $b=26.1$  と置けば

$$m=100n \frac{26.1n+\sqrt{R}}{26.1n+1} - \sqrt{R}, \text{ 但し } I>1:2500 \dots \dots \dots (149)$$

即ち  $m$  は  $n$  及び  $\sqrt{R}$  の函数にして粗度のみには依ては定まらぬ。故に潤邊の性質のみに依て  $m$  を與へたるものは普通  $R<1\text{m}$  の場合に於て實地に用ひらるゝは  $n=0.010\sim 0.020$  の範圍である。信頼し得る  $m$  の値は (149) 式より計算し第 143 圖に示してある。

$$\text{Kutter 簡單式 } v = \frac{100\sqrt{R}}{m+\sqrt{R}} \sqrt{RI} = \frac{100R}{m+\sqrt{R}} \sqrt{I} \dots \dots \dots (150)$$

(5) マニング公式 (Manning's formula, 英, 1890) Kutter 公式を簡單化せるものにして  $R>0.5\text{m}$ ,  $n<0.03$ ,  $I>1:5000$  の範圍に於ては實測値及び Kutter 式算出値と殆んど合致する値を與へ其式形は極めて簡單である。

$$v = CR^{\frac{1}{2}} I^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n_1} R^{\frac{1}{2}} \sqrt{RI} = \frac{1}{n_1} R^{\frac{3}{2}} I^{\frac{1}{2}}, \quad C = \frac{1}{n_1} R^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (151)$$

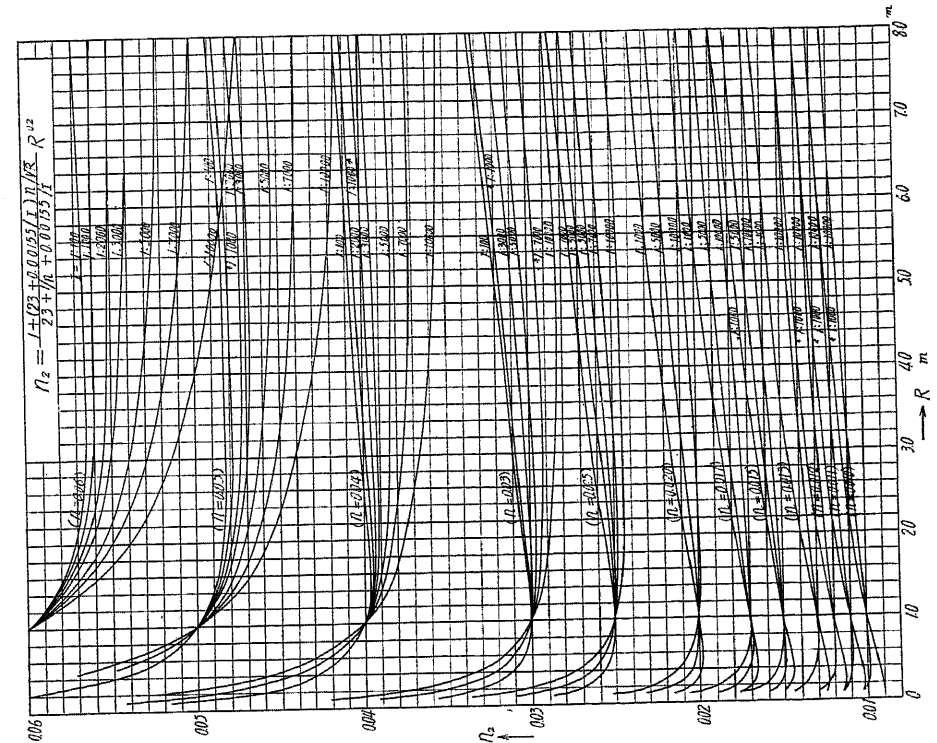
但し  $n_1$  は Kutter 式の  $n$  と同一の値を用ひて居るが、同一の水路に於て Kutter と同一流速を得る爲には第 144 圖の  $n_1$  を用ひねばならぬ。  $R$  大なる時に於ては同一の  $n$  を用ふれば Manning 式は Kutter 式より大なる流速を與ふる。然し Kutter 式は同一水路に於ても水深大なる時は小なる時より多少小なる  $n$  を採用せざれば實測と合はぬ故、寧ろ此場合は Manning 又は (6) の Forchheimer 式を適當とする。尙此式は指數公式とも呼び得るものにして數學的取扱も簡單であり Kutter 式の  $n$  を其儘使用せずに第 144 圖の補正せる値  $n_1$  を用ふれば一層適當である。

若し  $C$  又は  $n$  を粗度のみには依て定まるものとすれば、Manning 式は粗度 0.02 以下、徑深約 4m 以下に適し、Forchheimer 式は粗度 0.025 以下、徑深 3m 以下の場合に適する。

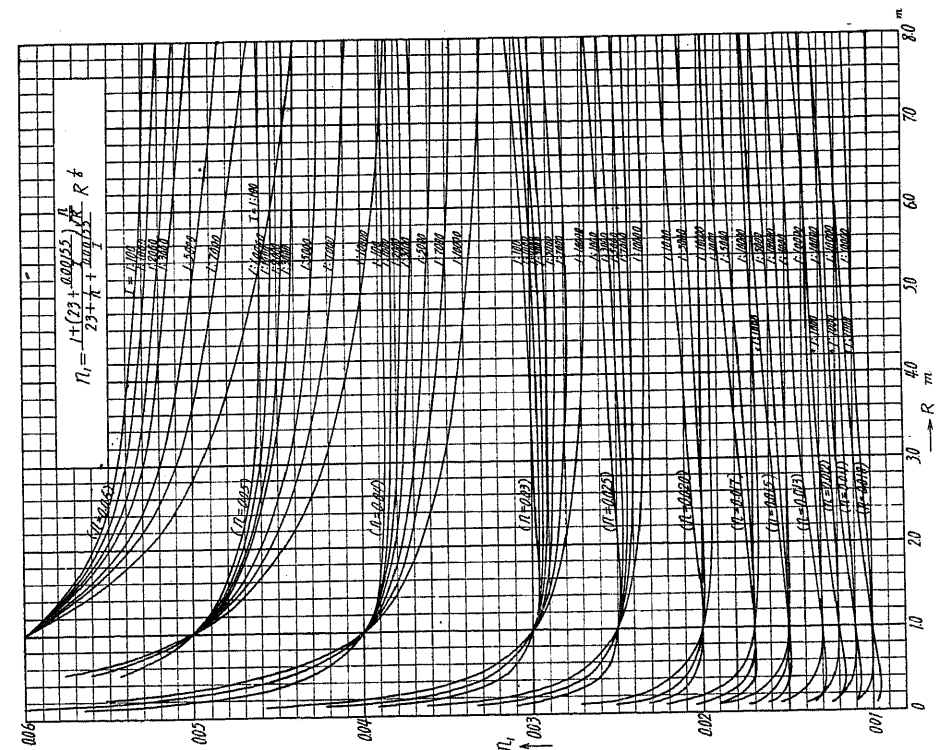
(6) フォルハイマー公式 (Forchheimer's formula, 填, 1923) 従來の實驗及び實測値竝に 壩太利の諸河川に於ける多數の實測資料に基き、Forchheimer 教授は Manning 式を次の如く改良し、現時歐大陸に廣く用ひられて居る。

$$v = \frac{1}{n_2} R^{0.7} I^{0.5} \dots \quad C = \frac{1}{n_2} R^{0.2} \dots \dots \dots (152)$$

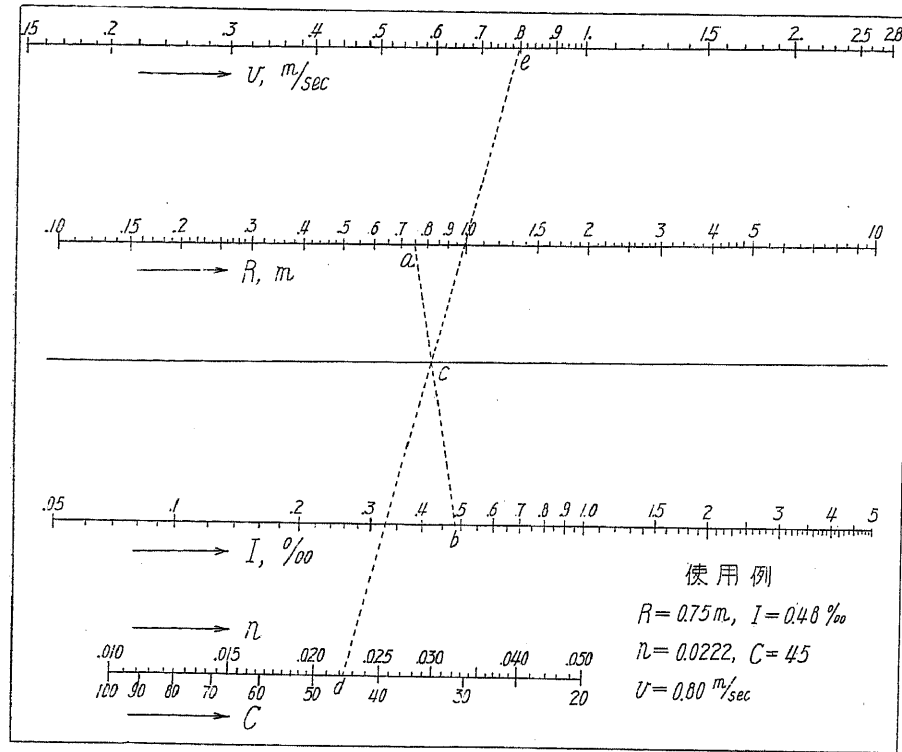
此式の與ふる  $v$  は Manning 式の結果と大差なきも、同一の  $n$  を用ひたる場合 Kutter 式の結果に比し  $n$  及び  $R$  の極めて小なるか又は著しく大なる時は、稍、著しき差を生ずる。故に Kutter 式の  $n$  を其儘用ひずに補正せる値  $n_2$  (第 145 圖) を使用する方適當である、微積分を爲す場合は Manning 式よりも便利である。



第 145 圖 Forchheimer  $n_2$  と Kutter  $n$  との關係 (N.M.)



第 144 圖 Manning  $n_1$  と Kutter  $n$  との關係 (N.M.)



第 146 圖 Forchheimer 公式

(7) ヘーゼン及びウィリアムス公式 (Hazen & Williams' formula, 米, 1910) 指数公式なるが潤邊の性質異なるも  $R$  及び  $I$  の指数に變化なく、單に流速係數  $C$  が異なるのみなるを以て實用に便にして水流の断面一定せる管水路に多く用ひらる。

$$v = CR^{0.63} I^{0.54} \dots \dots \dots (153)$$

第 30 表  $C$  の 値

材料及び潤邊の性質	$C$
1. 内面塗布せる新鑄鐵管	95 ~ 125
2. 内面腐蝕せる古鑄鐵管	15 ~ 95
3. 鋳鐵管	80 ~ 120
4. 鉋削せる桶管	95 ~ 110
5. 新鍊鐵管	95 ~ 105
6. 内面ゴム塗布蛇管 (Fire hose)	95 ~ 120
7. 煉瓦暗渠	85 ~ 110
8. 混凝土管及び壓力隧道	100 ~ 120
9. 土砂地盤掘込水路	30 ~ 60

第 31 表 各種流速公式の粗度係數の比較,  $v=1.50-4.50$  m/sec

潤邊の性質	Bazin	Kutter	同簡單式	Mann- ing	Forchheimer $R=0.5m$	
	$\gamma$	$n$	$m$	$n_1$	$n_2$	$n_3$
内面塗布鐵管, 桶管, 平滑なる上塗せる混凝土管	0.06	.010	.15	.010	.0098	.010
鑄鐵管		.012		.012	.0109	.011
普通混凝土, 挽材木管及び木樋	0.16	.013	.35	.013	.013	.0125 ~ .014
古き鐵管, 切石積水路又は堆砂ある水路	0.46	.017		.017	.015	.014 ~ .016
割石積水路又は小砂利床水路	0.85	.020		.018	.018	.017 ~ .020
表面を研り均せる岩石開鑿水路及び隧道	1.30	0.25		.025	.024	.020

但し Strickler は Manning 式を用ひ實測に依り定めたる  $n_3$  である。

(8) バーンズ指数公式 (Barnes' exponential formula, 英, 1916) 指数公式にして潤邊の性質に依て係數及び指數は凡て變化する。實用上左程重要ならざるを以て英式單位のまゝ次に掲げる。

$$v = CR^a I^b, \text{ ft-sec 單位 } \dots \dots \dots (154)$$

第 32 表

潤邊の性質	$C$	$a$	$\beta$	$\rho$ %
1. 清淨なるガラス管	143.0	0.562	0.556	5
2. ,, 鉛管	232.8	0.679	0.591	5
3. 鑄鐵管, 瀝青塗布, 新	174.1	0.769	0.529	45
4. ,, , 新	136.6	0.600	0.512	55
5. 滑かなる桶管	223.3	0.660	0.586	8
6. 挽下し材桶管	182.5	0.666	0.569	8
7. 鉋削せる木樋	223.3	0.660	0.586	8
8. ,, せざる木樋	182.5	0.666	0.569	8
9. 清淨なる純セメント塗水路	136.3	0.635	0.484	6
10. 清淨なる硬煉瓦, 目地平滑暗渠	92.1	0.602	0.466	5
11. 清淨, 滑面混凝土暗渠	95.1	0.567	0.471	5
12. 切石練積水路	109.7	0.713	0.483	8
13. 割石練積水路	80.5	0.653	0.482	8
14. 小卵石空積	70.0	0.820	0.500	10
15. 土砂地盤掘込水路及び良好状態の河川	58.4	0.694	0.496	0

但し上記の値は凡て良好なる状態に對して試験せるものなるを以て、實際の設計には年月の経過に由る腐蝕, 損傷等を見越し、所要の流量を末欄の  $\rho$  % だけ割増して水路の大きさを定める。

一般に (154) 式は潤邊の状態に對し諸係数は連続なる變化を爲さず、表記の中間の状態に對して係数を推定する事の困難なる缺點がある。而已ならず、指數は凡て複雑なる數なるを以て實際の取扱にも多少不便である。

(9) **タットン公式** (H. Tutton, 米, 1896) 氏は Reynolds の方針に従ひ管水路に對する實用的指數公式を作成した。

$$v = C D^a I^\beta, \quad D = \text{管内徑} \dots \dots \dots (155)$$

第 33 表

管の種類	C	a	β
1. 錫管	51.25	0.59	0.58
2. 鉛管	45.6	,,	,,
3. 眞鍮, 亜鉛, ガラス等の管	44.6	0.61	0.56
4. 鑄鐵管	43.1	0.62	0.55
5. 滑かなる桶管	33.4	0.66	0.51
6. 新鑄鐵管又は内面瀝青塗布管	34.8	,,	,,
7. 多年使用せる鐵管	27.8	,,	,,
8. 腐蝕せる鐵管	8.0~21.4	,,	,,
9. 鋸綴り鋼又は鍊鐵管	30.8	,,	,,
10. 革又はゴム管	42.8	,,	,,
11. 内面に瀝青塗布鍊鐵管	45.8	0.62	0.55
12. 大徑煉瓦積管	24.4~34.5	0.65	0.52

(10) **ビール公式** (R. Biel, 獨, 1907) 此式は渦流に對し動粘性係數 (ν) を考慮せる流速公式であるが、如何なる液體に對しても應用し得る事が特徴である。

$$v = 100 IR \left( a + \frac{f}{\sqrt{R}} + \frac{b\nu}{v\sqrt{R}} \right) \dots \dots \dots (156)$$

或は  $1000I = \frac{4v^2}{D} \left( a + \frac{2f}{\sqrt{D}} + \frac{2}{v\sqrt{D}} \cdot b\nu \right) \dots \dots \dots$

茲に  $\nu = \frac{\eta}{\rho} = \frac{g\eta}{w}$ ,  $w \dots$  液體單位體積の重量

第 34 表

水路内面の性質	a	粗度 (f)	粘性度 (b)	δν	
				12°C	100°C
1. 眞鍮, 鉛管	0.12	0.0064	0.95	0.0118	0.00294
2. ガス管	,,	0.018	0.71	0.0088	0.00220
3. 新鑄鐵管, 平滑なる混凝土管	,,	0.036	0.46	0.0057	0.00142
4. 挽下し木材及び普通混凝土	,,	0.054	0.27	0.0032	0.00084
5. 煉瓦, 切石積	,,	0.072	,,	,,	,,

如何なる液體にても ν 即ち  $\frac{g\eta}{w}$  を知れば v を求め得る。

(11) **その他の平均流速公式** 今日迄に發表されたる流速公式は極めて多數にして著者の知れる所にも數十種に及ぶが、次に参考のため相當著名なるもの數種を例示する。特に記するもの、外單位は m-sec である。

1. **ヘツスレ公式** (C. Hessle) (河川)  $v = 25 \left( 1 + \frac{\sqrt{R}}{2} \right) \sqrt{RI} \dots \dots \dots (157)$

2. **ヘルマネク公式** (J. Hermanek) (河川)  $v = C \sqrt{RI} \dots \dots \dots (158)$

徑深  $R < 1.5 \text{ m}$  の場合,  $C = 30.7 R^{0.5} \dots \dots \dots (a)$

$1.5 < R < 6 \text{ m}$  ,, ,,  $= 34 R^{0.25} \dots \dots \dots (b)$

$R > 6 \text{ m}$  ,, ,,  $= 44.5 H^{0.1} \dots \dots \dots (c)$

一般に R の指數 m の大なる公式は河床著しく粗なる急流河川又は底部の極めて不規則なる土砂水路に於て水深増すに従ひ C が急に増大する場合に屢々用ひらる。

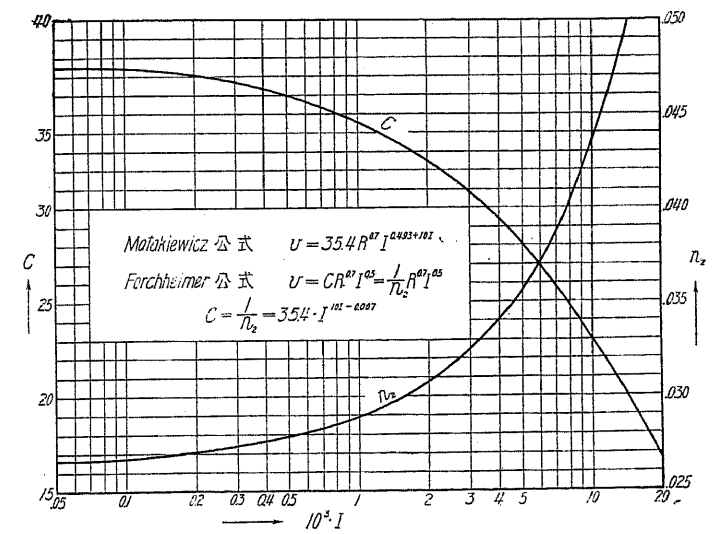
(a) は Bazin 式に於て粗度大、水深小にして  $r/\sqrt{R}$  が 1 に對して著しく大なる場合の近似式であり、(b) は粗度大なる急流河川に於て水深の増加に伴ひ C の著しく増大する事實を表はし、(c) は v がある限度以上に大となり土砂の運搬量が水深 H に伴ひて増大し、從て抵抗の急増する爲に H の増大に因る C の増加が却て緩漫となる事を示すものである。

3. **グレーガー公式** (O. Gröger) 天然河川に對するものにして純粹の指數公式である。

平均水深  $0.2 < H < 2 \text{ m}$ ,  $v = 23.78 H^{0.778} I^{0.458}$   
 $2 \text{ m} < H$ ,  $v = 22.11 H^{0.58} I^{0.43} \dots \dots \dots (159)$

4. **マタキーヴィツツ公式**

(M. Matakiewicz, 獨) 氏は土砂の流動堆積ある、河川又は水路に於ては底の粗度は水流の作用に依て自成せるものにして、其の粗度は水深及び水面勾配に依て表はさるべき事に着眼し、多くの實測資料に基き 1905 年粗度係數を含まざる流速公式を發表せしが、それ以後の資料を加へ更に式形を改良して 1927 年新公式を發表した。即ち v を平均水深 R 及び水面勾配 I との



第 147 圖 Matakiewicz 公式と Forchheimer 公式との關係 (N.M.)

$$v = (34I^{0.483+1.01})(1.04R^{0.7}) = 35.4I^{0.483+1.01}R^{0.7} \dots \dots \dots (160)$$

此形は Forchheimer 式に於て  $C=35.4I^{0.1-0.007} = \frac{1}{n_2}$  と置けるものに等しく、 $I$  と  $C, n_2$  との関係は第 147 圖に示す。

(12) 流速公式に依る算定平均流速の誤差 既存の水路に於て計算に依て平均流速及び流量を推定せんとすれば、先づ實測に依て水流の断面積  $A$ 、水面勾配  $I$  を定め、且観測に依て粗度係数を推定せねばならぬが、勾配は等断面直線部が餘程長きに亘る場合の外精確に決定する事容易ならず、粗度係数の適當なる撰定は一層困難である。新水路の設計に於ても粗度係数の豫想は到底正鵠を期し難きを以て必ず多少の餘裕を見込み置く必要がある。然し算定流速の誤差をなるべく小ならしむるには、勾配、粗度等不確實なる資料に由て生ずる誤差の最も少ない公式を用ふる。此目的に對し次に  $I$  又は粗度係數 ( $n, r, \dots$ ) に  $\Delta I, \Delta n, \Delta r$  等の誤差ある場合、 $v$  に生ずべき誤差  $\Delta v$  を求むる。

$v$  は  $R$  を一定とすれば粗度係數...一般に  $f$  を以て表はす...と  $I$  との函数にして一般に

$$v \propto f I^\beta \quad \therefore \frac{\Delta v}{v} = \beta \cdot \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta f}{f} \dots \dots \dots (161)$$

$$\left(\frac{\partial v}{v}\right)_I = \beta \cdot \frac{\Delta I}{I} \dots \dots \Delta I \text{ なる誤差に因る } v \text{ の誤差の割合}$$

$$\left(\frac{\partial v}{v}\right)_f = \frac{\Delta f}{f} \dots \dots \Delta f \text{ " " " "}$$

即ち、ある  $I$  の誤差  $\Delta I$  に因る  $v$  の誤差の割合は  $\beta \cdot \frac{\Delta I}{I}$  なるを以て  $n$  が比較的に正しく推定し得るも  $I$  が不確かなる場合は  $\beta$  のなるべく小なる公式を利とし、反對に  $f$  の推定困難なる時は  $\frac{\Delta f}{f}$  の小なる式を適當とする。例へば Kutter 公式は式の形複雑なるを以て  $\frac{\Delta f}{f}$  を求むるに繁雜なるも、Manning 及び Forchheimer 式と略同一の粗度係數を用ふるを以て  $\frac{\Delta f}{f}$  は之等の式と同一と考へて差支ない。

Manning 公式  $\frac{\partial v}{v} = +\frac{1}{2} \frac{\partial I}{I} - \frac{\partial n}{n}$

Forchheimer 公式  $\dots = \dots$

Bazin 公式  $\dots = +\frac{1}{2} \frac{\partial I}{I} - \frac{\partial r}{\sqrt{R+r}}$

Hermanek 公式 ( $v=34H^{\frac{2}{3}}I^{\frac{1}{2}}$ )  $\dots = +\frac{1}{2} \frac{\partial I}{I} + 0$

Barnes 公式  $\dots = \frac{\partial C}{C} + \beta \frac{\partial I}{I}$

例へば Manning 式に於て  $I$  に +5%,  $n$  に -5% の誤差ありとせば流速の誤差は  $\frac{1}{2} \cdot 5 + 5 = 7.5\%$  にして、Barnes 式に於て  $C$  及び  $I$  に各 +5% の誤差あれば  $v$  の誤差は

$$\frac{\partial v}{v} = +0.05 + \beta \times 0.05 = +0.075 \text{ 即ち } 7.5\%$$

Bazin 公式に於ては  $r$  に因る誤差は  $R$  大なる程小となるも、粗度に由る  $r$  の數値の差大なるを以て、 $r$  の誤差の數値は他式よりも大である。

[25] 流速公式の粗度係數

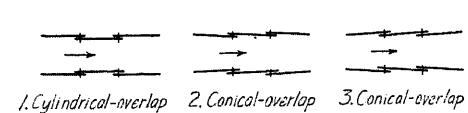
(1) Kutter 公式の粗度係數 Kutter 式の使用に於て最も重要なるは適當なる  $n$  の値の撰定にあるを以て、現在迄に發表されたる  $n$  の値を出來得るだけ多く蒐集して第 35 表に掲ぐる。 $1/n$  の値は從來 Manning 又は Forchheimer 公式に用ひたる略値なるも、實際は第 144 圖及び第 145 圖に依り夫々  $1/n_1$  及び  $1/n_2$  を用ひねばならぬ。

第 35 表 Kutter 公式の "n"

(I) 金屬管, ガラス管及び鋼板種

材料及び潤邊の状態	n の範圍	平均値	
		n	1/n
1. 滑かなる眞鍮管及びガラス管 (Smooth brass, glass pipe)	0.009~0.012	0.011	90.8
2. 滑ロックバー及び銲接鋼管 (Smooth lockbar, welded "OD" pipe)	0.010~0.013	0.012	83.3
3. 瀝青塗布鑄鐵管 (Bitumen coated cast-iron pipe)	0.010~0.013	0.012	„
*4. 塗布せざる „ (新) (Uncoated „ „)	0.012~0.014	0.013	78
5. „ „ (古) („ „ „)	0.014~0.018	—	—
6. 市場鍊鐵管 (Commercial wrought iron pipe, black)	0.012~0.014	0.013	78
7. 同上, 鍍金せるもの („ „ „ galvanized)	0.013~0.015	0.014	71.5
8. 600 mm 以上の大鐵管 (新)	—	—	0.012 83.3
9. „ „ (古)	0.13 ~0.016	—	—
10. 眞鍮繼小鋼管, スパイラル繼鋼管 (Riveted & spiral steel pipe)	0.013~0.017	0.014	71.5
*11. マンネスマン (Mannesman) 鋼管 (新)	0.010~0.012	0.012	83.3
12. 眞鍮繼鋼管, 重ね綴り肉厚 10 mm 以下	} 眞鍮數及び新舊に依て異り實測値は	0.015	66.7
13. „ „ „ 以上		0.016	62.5
14. „ „ „ 15 mm		0.017	58.8
15. „ „ „ 以上		0.018	55.7
16. „ „ 數列眞打せる重ね綴り		0.019	52.7
17. „ „ 添接板使用	0.013 ~0.017	0.014	71.5
18. 薄板の半圓形鋼樋, 内面平滑	0.011 ~0.015	0.013	78
19. „ „ „ 波狀板	0.0225~0.0275	0.025	40
20. 内面平滑なる鋼樋, 瀝青塗布防錆	0.012 ~0.017	0.013	78
21. „ „ „ „ せざるもの	0.0105~0.014	0.012	83.3
22. 内面腐蝕の爲め平滑ならざるもの	—	—	0.017 58.8

(18~22 は剛性小に流水の荷重に依り變形し易きものは  $n$  は多少大である)



註 眞鍮鐵管に於て第 148 圖の 1 と 2 とは  $n$  略同一なるも、3 は之等に比し  $n$  は 5~8% 大である。

第 148 圖

(II) 木管及び木樋

材料及び潤邊の状態	n の範圍	平均値	
		n	1/n
23. 桶管, 柱目板 (Wood stave pipe)	0.010~0.014	0.0115	90.8
24. 矩形木樋, 鉋削材縦張り (Wooden box flume)	0.011~0.018	0.014	71.5
25. ,, 挽材 ,,	0.012~0.018	0.015	66.7
26. ,, 防水フェルトにて被覆せるもの	0.010~0.017	0.014	71.5
27. 23 にクレオソート塗布	0.011~0.014	0.012	83.3
28. 矩形木樋, 内面横棧打 (Wooden flume with battens)	0.012~0.016	—	—

(III) セメント, モルタル, コンクリートの管, 隧道, 水路及び土管

29. 純セメント平滑面	0.010~0.013	0.011	90.8
30. 釉薬土管, 継手の良否に依り異なる	0.010~0.016	0.013	78
31. 土管, ,,	0.011~0.014	0.013	78
32. モルタル面, 床面の如く平滑に饅仕上げせるもの	0.011~0.013	0.012	83
33. 混凝土管, 継手の良否に依り異なる	0.012~0.016	0.014	71.5
34. フューム管, 其他遠心力應用富配合コンクリート管	0.011~0.014	0.012	83
35. セメントガン仕上混凝土水路, ワイヤブラシにて均したるもの	—	—	0.016 62.5
36. ,, ,, さぬもの	—	—	0.019 53
37. 砂利を露出するに到りし古き混凝土面	0.016~0.020	0.018	55.7
38. 型板取外しのまゝの混凝土面 (中以下の施工)	0.015~0.018	0.016	62.5
39. 型板目地跡平なる良施工混凝土面	0.013~0.015	0.014	71.5
40. 同上、底に多少沈澱を生ずる水路	0.015~0.018	0.016	62.5
41. 同、著しき ,,	0.017~	—	—
42. 内面に水苔の生ずる水路、上記の n に 0.002 を加ふ			
43. 内面に水苔, 水棲幼蟲の著しく附着せるもの	0.016~	—	—
44. コンクリート巻隧道, 表面モルタル塗	—	—	0.014 71.5
45. 一岸研均し岩石面, 他岸及び底混凝土仕上げ	—	—	0.020 50.0
46. 兩岸及び底岩盤粗研均し又は (45) に砂礫堆積あるもの	—	—	0.025 40

(IV) 石工水路 (Masonry channel)

47. 釉薬煉瓦モルタル積 (Glazed brickwork)	0.010~0.015	0.013	78
48. 煉瓦モルタル積	0.012~0.017	0.014	71.5
49. 切石 ,,	0.013~0.017	0.015	66.7
50. 粗石 ,,	0.017~0.030	0.025	40
51. ,, 空積	0.025~0.035	0.033	30
52. 兩岸石張り, 底面平坦なる土	—	—	0.025 40
53. ,, ,, 不規則	0.028~0.035	0.030	33.3

(V) 岩盤に開鑿せる水路及び隧道

材料及び潤邊の状態	n の範圍	平均値	
		n	1/n
54. 水平層岩盤, 兩岸研均し又は幅に對し水深著しく大なる場合	n < 0.020	—	—
55. ,, 兩岸研均さず又は水深割合に大なる場合	—	—	0.020 50
56. 水平層を成さぬ岩盤, 著しき突出を残さぬ様掘りたるもの	0.025~0.035	0.033	30
57. ,, 突出多き場合	0.035~0.045	0.040	25
58. 同上、底面の凹窪に砂礫の堆積せる場合は n は却て小となる			
59. 岩盤無巻立隧道*	0.030~0.040	0.035	30
60. 同上、著しき突出を残さぬ様入念に施工	—	—	0.025 40
61. 同上、表面研均したるもの	0.025~0.030	0.028	36
62. 同上、底面混凝土巻	—	—	0.020 50
63. 岩盤掘放し隧道, セメントガンにて凹凸を研均らしたるもの	0.012~0.025	—	—

\* 計畫内面線を指定すれば 10~30% の掘越を生じ断面大なるも n も大となり、Q の計算にこの指定断面を用ふる時は n=0.035 位とす。

(VI) 土砂地盤に開鑿せる水路

64. 粘土性の地盤, 洗掘なき程度の流速	0.016~0.022	0.020	50
65. 同上、沈泥に依り底面平滑となり, 水草なきもの	—	—	0.017 60
66. 砂質ローム, 粘土質ローム地盤にして良状態	—	—	0.020 50
67. 硬土又は礫質ロームの大水路, 兩岸規則正しく, 底は沈泥にて平滑なるもの	—	—	0.0225 45
68. 同上、小溝, 又は大水路にて状態不良となれるもの	—	—	0.025 40
69. 山地の塊石を含む地盤の水路にして適度の洗砂にて平になりしもの	—	—	0.028 36
70. 浚渫機に依り水中に開鑿せる水路、上記より不規則, 凹凸多し	0.025~	0.030	33
71. 土地盤, 直線状, 断面齊等なる新水路	0.017~0.025	0.022	45.5
72. ,, 蛇行せる鈍流	0.0225~0.030	0.027	37
73. ,, 石礫底, 兩岸草茂れるもの	0.025~0.040	0.033	30
74. 断面一樣なる直線水路, 底, 泥砂	0.012~0.018	0.015	66.7
75. ,, 底, 砂交り小砂利	—	—	0.020 50
76. ,, 底, 砂利徑 1~3 cm	—	—	0.022 45
77. ,, ,, 2~6 cm	—	—	0.025 40
78. ,, ,, 5~15 cm	—	—	0.030 33.3

(VII) 自然河川

79. 線形断面共に規則正しく水深大なるもの, 砂床	0.025~0.033	0.030	33.3
80. 同上、但し礫床草岸	0.030~0.040	0.036	28
81. 蛇行線形, 淵瀬あるもの	0.033~0.045	0.040	25
82. 蛇行, 多少石礫及び草あるもの	0.035~0.050	0.042	24



材料及び潤邊の状態	$n$ の範圍	平均値	
		$n$	$1/n$
83. 同上, 水深小なるもの	0.040~0.055	0.050	20
84. 同上, 石礫床, 水深小	0.045~0.060	0.055	18
85. 蛇行及び淵瀬の變化甚しく, 水草多きもの	0.050~0.080	0.070	14
86. 同上, 水草繁茂甚しく流勢鈍なるもの	0.075~0.150	0.080	12.5
87. 桑, 笹等繁茂せる洪水敷, 水深が草木の高の二倍以上*	0.050~0.080	0.065	15
88. " " 草木の高以下	0.080~0.150	0.100	10
89. 水深大なる急流河川, 河床表面砂礫粒の平均體積 15 cm <sup>3</sup>	中部歐大陸の諸河川 に於ける觀測に依り Schoklitsch 教授の 定めたるもの	0.014	71.5
90. " " " 50		0.018	55
91. " " " 100		0.021	48
92. " " " 200		0.028	36
93. " " " 400		0.030	33
94. " " " 600		0.033	30
95. " " " 800		0.036	28
96. " " " 1000		0.038	26
97. " " " 1500		0.042	24
98. " " " 2000		0.048	21
99. " " " 2500	0.060	17	
100. 急湍をなせる谷川	0.060~0.080	0.070	15

\* 一般に植物の多き水路に於ては冬季落葉, 莖葉の枯るゝ場合は  $n$  著しく小となり、反對に夏季莖葉の繁茂せる時は著しく大となる。前者に於ては表中  $n$  の範圍中小なる値、後者の場合は大なる値を探る。

(2) 實測粗度係數 種々の水流に於て  $I, R, v$  等を實測し之れより逆に Kutter 公式の  $n$ , 流速係數  $C$ , 及び Manning 公式の  $n_1$  を算出せるものは第 36 及び第 37 表の如し。

第 36 表 人工水路及び河川の實測粗度係數 (Strobel)

水路及び河川, 地點	$Q$ m <sup>3</sup> /sec	$v$ m/sec	平均流速 $v$ 表面最大流速	水面幅 $B, m$	徑深 $R, m$	水面勾配 ‰	$n$	Kutter $C$	Manning $1/n_1$
1. Giovanni 發電水路	23.75	1.012	0.78	10.55	1.78	0.057	0.0109	100.5	91.2
2. Simplon 隧道排水路	1.122	2.586	0.84	1.005	0.232	6.83	0.0126	64.0	82.0
3. Aarau 發電水路	38.14	1.014	0.75	15.89	2.016	0.12	0.0173	65.2	58.0
4. Rheinfelden "	455.54	1.993	0.79	55.73	3.173	2.61	0.019	63.5	50
5. Thum 給水路	6.00	0.608	—	4.43	1.002	0.145	0.0198	50.4	50
6. Albula 隧道排水路	0.244	1.03	—	0.6	0.176	5.05	0.0201	34.6	—
7. Donau 河, Wien	978.0	1.59	—	249.3	2.31	0.439	0.0229	49.9	43.3
8. " " "	7018	2.97	—	272.3	7.17	0.580	0.0298	46.1	33.2

9. Seine 河, Poissy	—	0.704	—	—	2.164	0.09	0.0233	50.4	44.4
10. " " "	—	1.015	—	—	5.445	0.075	0.0288	50.3	38.2
11. Gerbe 溪, 暗渠	—	2.80	—	—	0.059	168.0	0.0236	28.1	45.2
12. Rhein 河, No. 1	113.2	0.536	—	70.4	2.942	0.038	0.0268	50.7	42.2
13. " " "	987.1	2.139	—	94.0	4.766	0.408	0.0266	48.5	37.3
14. " " Mastwils	28.64	0.872	0.845	37.7	0.855	0.856	0.030	32.2	33.3
15. " " "	1095.47	4.086	0.75	86.9	3.000	5.00	0.0373	33.4	27.8
16. " " Margrethen	47.65	0.878	—	79.2	0.685	0.87	0.0253	35.9	38.4
17. " " "	648.92	2.02	—	124.2	2.587	0.90	0.0279	41.7	35.7
18. Mühle 溪, Burgdorf	2.70	1.015	0.9	3.63	0.531	1.775	0.0264	33.1	—
19. Iller 川, Kellmünz	1080	3.85	—	74.5	3.69	2.2	0.029	42.8	—
20. Mississippi, Vicksburg	—	1.074	—	—	9.5	0.0223	0.0264	73.0	51.0
21. " " "	—	2.118	—	—	19.54	0.0638	0.0308	60.0	36.4
22. Grönn 溪, 暗渠	—	3.6	—	—	0.108	82.85	0.0327	37.9	55.3
23. " " "	—	5.84	—	—	0.197	106.8	0.0274	40.2	52.7
24. Rhone 河, Zehnhäusern	5.97	0.546	0.57	14.7	0.687	0.368	0.0268	34.3	—
25. " " Sion	24.11	0.788	0.79	38.4	0.781	0.927	0.0323	29.3	30.6
26. " " "	498.0	2.525	—	60.5	3.074	1.26	0.0301	40.6	33.8
27. Rhein, Rheinfelden	431.4	1.02	0.58	159.9	2.63	0.180	0.0258	46.9	—
28. " " Speyer	—	0.887	—	—	2.96	0.112	0.0260	48.6	41.9
29. Nolla 溪, Thusis	0.24	0.702	—	2.00	0.149	11.22	0.0342	17.2	—
30. Taver 溪, Simplon	0.171	0.335	0.53	2.21	0.194	1.75	0.035	18.2	—
31. 上 Rhein, Ilanz	5.67	0.641	0.60	23.0	0.373	2.95	0.0396	19.32	—
32. " " "	11.74	0.805	0.59	39.6	0.362	2.39	0.0288	27.37	—
33. Simme 川, Wimmis	6.2	0.62	0.62	17.65	0.546	0.18	0.0429	19.8	—

第 37 表 暗渠, 隧道の實測粗度係數 (Strobel), (m-sec 單位)

場所, 用途	$Q$	$v$	$R$	$I$ ‰	$n$	$C$	$1/n_1$	内 面
1. Sitter, 水電	2.457	1.346	0.513	0.555	0.0115	79.8	89.0	混凝土卷, 上塗仕上げ
2. Chippie, "	11.55	3.65	0.584	3.4	"	81.6	89.0	"
3. Kallnach, "	—	2.72	1.37	0.65	"	91.5	86.1	"
4. Mühleberg, 放水隧道	—	—	1.60	0.457	0.0141	74.8	68.5	"
5. " " "	335.9	13.6	1.70	25.0	0.0161	66.2	61.0	"
6. Biaschina, 水電	15.0	2.3	0.89	1.5	0.0156	63.0	63.8	無卷, モルタル塗
7. Spiez, 壓力隧道	—	1.31	0.59	0.46	0.0177	79.6	86.5	混凝土卷, 上塗
8. Martigny, 水電	10.0	2.01	0.71	2.5	0.0192	47.7	50.2	無卷, 研り均し
9. Ackersand, "	4.0	1.33	0.453	"	0.0203	39.5	45.0	無卷, 底混凝土
10. Gampel, "	3.0	1.11	0.428	3.0	0.0245	31.0	35.6	無卷

[26] 特殊の場合の粗度係數

(1) 使用年月に依る粗度係數の變化 一般に金屬面は流水に依て漸次鏽を生じ表面粗となるのみならず鏽の厚さに依り断面を縮小し、材質及び水質に依て著しき差あり、鑄鐵管は内面に不規則なる瘤を生じ粗度は著しく大となる。木管は内面に微生物の附着に依り表面滑かとなり、粗度は却て低減する場合もある。不良なる混凝土又は砂礫を流し流速過大なる場合は良質にても表面の摩耗に依りて砂利を露出するに到るか、又は内面に水棲幼蟲の巢くふ時は粗度は著しく増し Kutter の粗度は 0.015~0.018 に達する。

金屬管に於ては鏽は内面に固着するを以て徑の減少と粗度の増大とに依り二重に流量を減する。今、便宜上管徑は不變と假定し、減少は全部粗度の増大に歸するものとすれば、管徑の小なるほど  $n$  は著しく大となる。次に使用年數  $N$  と  $n$  との關係を示せば

鋼管、鏽を生じ易きも鑄鐵の如く瘤を生ぜず、多くは一樣に粗となるも水質、流速等に依りて異り、一二の實測に依れば

徑=1.1 m,	$N=28$ ,	$n$ は 15% 増
„	10,	20% „

故に  $n$  は一年に 1% 位増加すと看做して大過なからん。

鑄鐵管、小管ほど年齢と共に著しく流量を減す、換言すれば同一流量に對して損失水頭大となる。鑄鐵管は古くより上水道に用ひられたる爲め  $N$  と  $n$  との關係の實測例も稀ならず、小野基樹氏が東京市水道管に就て實測せる結果に據れば、 $n$  は終始同一と假定し流量の減少は一に管徑  $D$  の縮小に因るものとすれば  $N$  年後の縮小は  $\Delta D = 2.68\sqrt{N}$  mm となる。依て

$$\delta = \frac{\Delta D}{D} = 2.68 \frac{\sqrt{N}}{D}, \quad v = CR^\alpha I^\beta \quad \text{と置き}$$

	有効管徑	有効斷面積	平均流速	流速係數		粗度係數	
				Hazen 公式	...	Manning	Forchheimer
新 管	$D$	$A$	$v$	$C$	...	$n_1$	$n_2$
$N$ 年後	$D_N$	$A_N$	$v_N$	$C_N$	...	$n_{1N}$	$n_{2N}$

$$\left. \begin{aligned} \frac{A_N}{A} &= \frac{D^2(1-\delta)^2}{D^2} = (1-\delta)^2 = \left(1 - 2.68 \frac{\sqrt{N}}{D}\right)^2, & \delta < 1 \\ \frac{v_N}{v} &= \left(\frac{R_N}{R}\right)^\alpha = (1-\delta)^\alpha = \left(1 - 2.68 \frac{\sqrt{N}}{D}\right)^\alpha, & \dots \text{ (N.M.) } \dots \\ \therefore \frac{Q_N}{Q} &= \frac{A_N \cdot v_N}{A \cdot v} = (1-\delta)^{\alpha+2} = \left(1 - 2.68 \frac{\sqrt{N}}{D}\right)^{\alpha+2}, & \dots \end{aligned} \right\} \dots \text{ (N.M.) } \dots \quad (162)$$

次に有効徑は不變とし、流量の減少は凡て  $C$  の低減又は  $n_1, n_2$  の増大に因るものと假定し、 $N$  年後の  $C_N, n_{1N}$  及び  $n_{2N}$  を求むるに Hazen 公式を用ふれば

$$\left. \begin{aligned} \frac{Q_N}{Q} &= \frac{C_N R^\alpha I^\beta}{C R^\alpha I^\beta} = \frac{C_N}{C} = (1-\delta)^{\alpha+2} = \left(1 - 2.68 \frac{\sqrt{N}}{D}\right)^{\alpha+2} \\ \frac{Q_N}{Q} &= \frac{\frac{1}{n_N} R^\alpha I^\beta}{\frac{1}{n} R^\alpha I^\beta} = \frac{n}{n_N} = (1-\delta)^{\alpha+2} \\ \therefore \frac{n_{1N}}{n_1} &= (1-\delta)^{-(\alpha+2)} = \left(1 - 2.68 \frac{\sqrt{N}}{D}\right)^{-\alpha-2} \\ \frac{n_{2N}}{n_2} &= (1-\delta)^{-(\alpha+2)} = \left(1 - 2.68 \frac{\sqrt{N}}{D}\right)^{-\alpha-2} \end{aligned} \right\} \dots \text{ (N.M.) } \dots \quad (163)$$

但し  $D$  は mm 單位。

今一例として、 $N=30, D=1000$  mm とすれば  $\delta = 26.8 \frac{\sqrt{N}}{D} = 0.147$

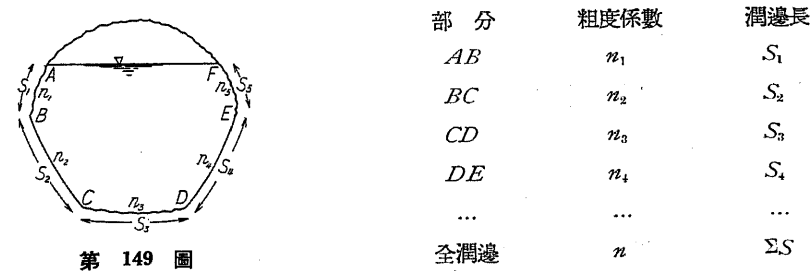
$\therefore C_N = 0.658C, \quad n_{1N} = 1.531 \cdot n_1, \quad n_{2N} = 1.536n_2$

Kutter の  $n$  は  $n_1$  及び  $n_2$  に近似せる値なるも、 $R < 1$  m にして  $n$  小なる場合は  $n_1$  に極めて近い。

(2) 潤邊の粗度一樣ならざる場合 底と岸とが粗度異なる場合又は一般に潤邊の部分に由て粗度の異なる場合は、一樣なる等値粗度係數  $n_e$  を有するものとして  $v$  を計算する。 $n_e$  を求むるに Kutter 式を用ふれば煩雜なるを以て指數公式を用ひ

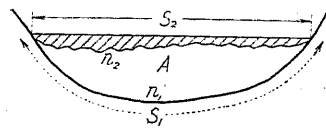
$$v = \frac{1}{n} R^\alpha I^\beta = \frac{1}{n} \left(\frac{A}{S}\right)^\alpha I^\beta \propto \left(\frac{A}{S n^{1/\alpha}}\right)^\alpha$$

即ち  $n^{1/\alpha}$  は  $S$  を輕重率とせる平均値を用ふれば合理的である。今(第 149 圖)



$$\left. \begin{aligned} n_e = \text{等値粗度係數} &= \left[ \frac{1}{\Sigma S} (S_1 n_1^{1/\alpha} + S_2 n_2^{1/\alpha} + S_3 n_3^{1/\alpha} + \dots) \right]^\alpha \\ \text{Manning, } \alpha = \frac{2}{3}, & \quad n_e = \left[ \frac{1}{\Sigma S} (S_1 n_1^{1.5} + S_2 n_2^{1.5} + \dots) \right]^{3/2} \\ \text{Forchheimer, } \alpha = 0.7 & \quad n_e = \left[ \frac{1}{\Sigma S} (S_1 n_1^{10/7} + S_2 n_2^{10/7} + \dots) \right]^{0.7} \\ \text{又は近似的に} & \quad n_e = \frac{1}{\Sigma S} (S_1 n_1 + S_2 n_2 + \dots) \end{aligned} \right\} \dots \text{ (N.M.) } \dots \quad (164)$$

表面氷結せる水路に於ては氷下面の凹凸不規則は水路自身の粗度及び流速の大なるに従ひ著しく、従來の實測に依れば



第 150 圖

結氷下面の  $n_2 = (0.4 \sim 1.0) \times$  水路の  $n_1$

$$n_0 = \frac{n_1 S_1 + n_2 S_2}{S_1 + S_2}, \quad R = \frac{A}{S_1 + S_2}$$

$$S = S_1 + S_2$$

(3) 土砂を運搬する水路の粗度係数 水路の潤邊が泥、砂礫等より成る時は、ある程度以上に流速が増大すれば多量の土砂を洗掘流下し水流に對する抵抗著しく増大する。Schoklitsch が奥國の河川に於て觀測の結果、水深  $H$  及び勾配  $I$  の増加に因る Bazin 公式粗度係数  $\gamma$  の増大を次式に依て表はした。

$$\gamma = 0.265 + [5000(HI - H_0 I_0)]^{0.25} \dots \text{m-sec} \dots \dots \dots (165)$$

$H_0, I_0 \dots \dots$  河床の砂礫が連続的に動き始める時の平均水深及び勾配... [61] (1) 参照

$H, I \dots \dots$  洪水の時の平均水深及び勾配

上式の  $\gamma$  に相當する他式の粗度係数を求むるには [24] に依る。

運搬土砂の量は略  $v^2$  に比例して増大するを以て、平水時の流速及び粗度係数を  $v_0, n_0$ 、これより水位高き時を  $v, n$  とし  $n$  と  $v$  との關係を

$$n = n_0 [1 + a(v - v_0)^2] \dots \dots \dots (166)$$

と假定し Wittmann が Rhein 河にて實測せる資料に依り  $a$  を計算すれば

Basel に於て  $n_0 = 0.024, \quad v_0 = 1.2 \text{ m/sec}; \quad a = 0.5$

Maxeau に於て  $n_0 = 0.0295, \quad v_0 = 1.5 \text{ m/sec}; \quad a = 0.2$

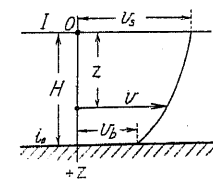
[27] 水流の正断面に於ける流速の分布

水流の正断面 (Normal section) に於て各點の流速を考ふるに固體に接觸する面即ち潤邊上に於ては理論上零にして之れより小距離の間、即ち限界層に於ては潤邊より遠ざかるに従ひ急に速度を増し、更に遠ざかるに従ひ比較的徐々に増大する。従て一般には潤邊より遠き點程流速大なるべき筈なるも、水中に於ける水粒は極めて位置を變じ易きを以て各水分子の運動は複雑にして、断面のある點に於ける流速を位置の函數として表はす事は困難であるが、此關係は水流の平均流速を實測又は推定する場合に極めて重要なを以て、種々の假定の下に理論的にこの關係を求め、或は實測資料より實驗式を作りたるものも少くない。而て種々の流速計を以て實測し得る流速は平滑なる小水路に於て潤邊より 1 cm (Pitot tube) 位、粗なる水路又は大水路に於て 10~20 cm 以上距りたる點の流速にして眞の潤邊流速にあらざるも、實地に於ては之を床流速 (Bed velocity) と稱する事が多い。

(1) 鉛直線上に於ける流速分布 (Velocity distribution on vertical line) 一般に各點の流速

は潤邊を遠ざかるに従て増大するを以て、一鉛直線に沿ふて考ふれば床より上方に向ふて漸次増大し、表面即ち大氣との接面に於ては抵抗極めて小なるを以て畧最大値に達するが、幅の割合に水深大なる場合、屈曲部、波浪、逆風等の場合に於ては表面より若干下位に最大點を生ずる事が多い。

1. Boussinesq-Bazin の流速分布曲線 水流の内部抵抗を  $\frac{dv}{dz}$  に比例するものと假定し理論的に出したるものにして、粗度割合に大なる廣き水路に於て流速著しく大ならざる場合に適當する。



$v_s \dots$  表面流速 m-sec  
 $v_m \dots$   $H$  間の平均流速  
 $w_0 \dots$  單位體積の水の重量  
 $B_0 \dots$  粗度を表はす係數

$v_b \dots$  床流速  
 $v \dots$  表面より  $z$  なる深さの流速  
 $k \dots$  常數

第 151 圖

深さ  $z$  に於ける單位面積上の水柱重量の水流方向の分力  $= w_0 I z$

$$\text{水中單位面積當りの抵抗} = \epsilon \frac{dv}{dz} = \frac{w_0}{k} \sqrt{B_0} v_b H \frac{dv}{dz}$$

$$\text{潤邊} \dots \dots \dots = w_0 B_0 v_b^2 = w_0 H I$$

$$\therefore \epsilon \frac{dv}{dz} = -w_0 I z \quad \text{之を積分して常數を定むれば}$$

$$v = v_s - \frac{k}{2} \frac{H I}{\sqrt{B_0} v_b} \left(\frac{z}{H}\right)^2 \quad \text{又は} \quad v = v_b + \frac{k}{2\sqrt{B_0} v_b} \cdot H I \left[1 - \left(\frac{z}{H}\right)^2\right]$$

$$v_s = v_b + \frac{k}{2\sqrt{B_0} v_b} H I, \quad v_b = v_s - \frac{k}{2\sqrt{B_0} v_b} H I$$

$$v_m = v_b + \frac{k}{3} \sqrt{H I}, \quad v_s = v_m + \frac{k}{6} \sqrt{H I}, \quad v_b = v_m - \frac{k}{3} \sqrt{H I}$$

Bazin の實驗に依り  $k \doteq 48$

$$\therefore v = v_s - 24 \sqrt{H I} \cdot \left(\frac{z}{H}\right)^2 = v_m + \left(8 - 24 \frac{z^2}{H^2}\right) \sqrt{H I} \dots \dots \dots (167)$$

即ち水面線を軸とする拋物線である。

此式より  $v_m$  なる流速の存在する點の水深  $z_m$  を求むるに  $z_m = H \sqrt{1/3} = 0.577 \cdot H$

普通の水路河川等に於ては  $0.6H$  前後である。

2. Kaplan の流速分布曲線 氏は平滑なる矩形木樋に於て Pitot 管を用ひて精密なる實驗を行ひたる結果、床面抵抗に比し内部抵抗が却て著しく大にしてその強さは  $v^3$  に比例する事を認め特に床抵抗を考ふ事なく全深に亘り

$$\epsilon = c v^3$$

と置き、且つ床部の限界層... [19] (3)... は不安定にして一定の流速を有せざるものとし、之より

上部の各點の流速を理論的に求め

$$v = \frac{v_m}{c} \left[ 1 - \frac{z^2}{(H+t)^2} \right]^{0.25} \quad c = 0.8 \text{ (m-sec)} \quad \dots \quad (168)$$

但し  $H+t$  は全水深,  $t$  は限界層の厚にして粗度に伴ふて大となるも  $H$  に比し極めて小なるを以て (168) 式に於ては之を無視しても差支ない。  $c$  は氏の實驗に於ては 0.8 にして他の場合に於ても大差はない。 尙上式より平均流速の點の水深を求むるに

$$z_m = 0.768 \cdot H$$

即ち普通の河川, 水路に比し稍著しく下方に位する。

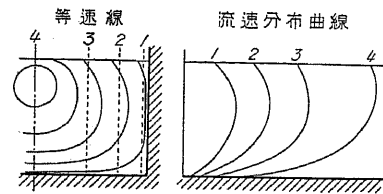
3. **Humphrey and Abbot の分布曲線** 實驗式にして最大流速の位置  $z_1$  は一定せず,  $H$  極めて大,  $I$  極めて小なる Mississippi 河の實測に於ては  $z_1 = (0.2 \sim 0.35) \times H$  である。

$$v = v_{\max} - \left( \frac{1.69 v_{\max}}{(H+1.5)^{0.5}} \right)^{0.5} \left( \frac{z-z_1}{H} \right)^2 \quad \dots \quad \text{ft-sec} \quad \dots \quad (169)$$

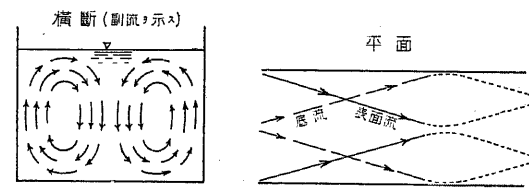
4. **G. Hagen の分布曲線** 實驗式にして鉛直軸を有し頂が床に存する拋物線である。

$$\frac{v_z - v_b}{v_s - v_b} = \left( \frac{H-z}{H} \right)^{0.5} \quad \dots \quad (170)$$

水面に於ける空氣抵抗は空氣の密度極めて小なる爲め、普通の場合表面流速に對する影響は微小である。空氣の密度は水の 1/800 位なるを以て、風速 10 m/sec の風壓は約 0.35 m/sec の水流の壓力に相當するに過ぎぬ。従て順風に於ても猶最大流速が水面以下に在る場合の如きは、兩岸に於ける小なる表面流速の影響に歸すべく、實際最大流速點の水面よりの深さは水深大なる矩



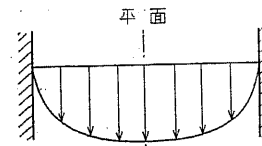
第 152 圖



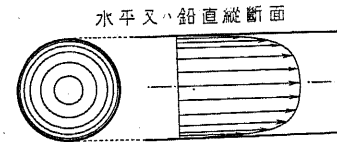
第 153 圖

形水路(第 152 圖)に於て最も大である。第 153 圖の如き水路の水面に於ては兩側に比し中央の流速著しく大なる爲め、普通岸側より中央に向ふ流れを生じ、其結果床部に於ては中央より兩岸に向ふ流れを生ずる。之の流動を横流又は副流 (Cross or Secondary current) と稱し、結局水流は主副流の合成の運動を爲し片側づゝに螺旋狀の途を運動する。

(2) **水平横斷線上に於ける流速の分布** 水流の正斷面内に於ける水平線上に於ても點に依りて流速を異にし、一般に岸より小距離の間即ち限界層に於て急に増大し、之より遠ざかるに従ひ多少増加の傾向あるも、底面の影響を受くるを以て鉛直線上の分布に比し一層不規則である。



第 154 圖



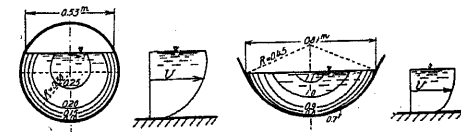
第 155 圖

Francis が平滑にして深き矩形水路に於て實測せるものは、大體中心に軸を有する三次拋物線 (第 154 圖) を以て表はし得るが、廣き水路に於ては岸に近く急に増大するも中央部に於ては不規則にして一定の規則は存在せぬ。之れ岸の影響より底面及び上流の影響が却て大なるが爲である。

相當の壓力を有する直線管水路の流れに於ては流速は軸に對し殆んど對稱的に分布し、略三次拋物線を以て表はし得るが、壓力微小にして上面が僅かに管に接するが如き程度に於ては (1) の場合と同様の性質を有し、上部の流速は

床部のそれより若干大なるも其理由は未だ明かにされて居らぬ。

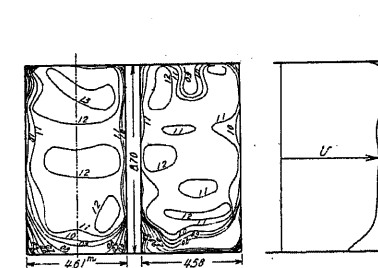
(3) **流速分布の實例** 實際の水流に於ては斷面の不均等、前後に於ける不規則の影響等に依り流速分布も亦一般に複雑にして到底簡單に説明し得ざるも、大勢に於ては矢張り前記の一般則に支配されて居る。次に掲ぐる諸例は凡て歐大陸の資料なるが meter 單位を用ふると圖の鮮明なるものを撰みたるに過ぎぬ、但し鉛直線上の分布圖は著者の作成したものである。



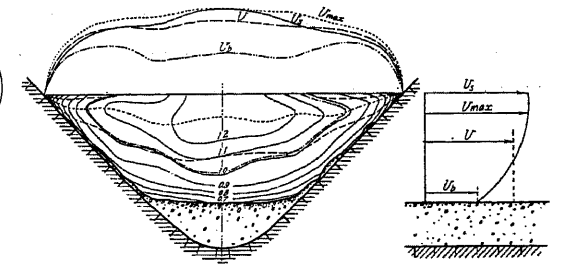
第 156 圖

第 156 圖 鐵筋混凝土管, 内徑 0.60 m

第 157 圖 缺圓狀排水路 R=0.90 m



第 158 圖



第 159 圖

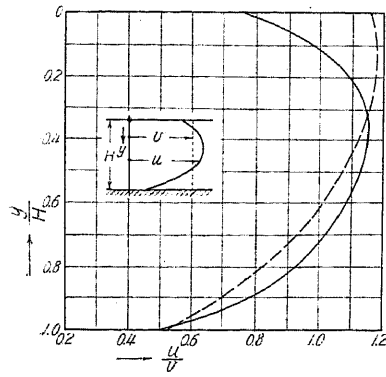
第 158 圖 那威 Raanasfoss 水電, 水車給水暗渠, 混凝土造, 中央に隔壁あり。

第 159 圖 Feati-Rasini の給水路 (瑞西), 周邊石積, 沈砂設備不十分なる爲め底部に砂礫堆積す。

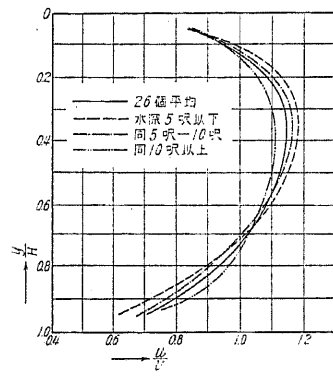
$v_m$ ...全斷面の平均流速  $v$ ...各鉛直線の平均流速  $v_s$ ...水面流速

$v_b$ ...床流速  $v_{\max}$ ...各鉛直線上に於ける最大流速

水流の斷面圖に於て、.....各鉛直線上に於て  $v_{\max}$  の位置の軌跡, -----各鉛直線上に於ける  $v$  の位置, - - - - -  $v_m$  に等しき流速を有する點の軌跡



第 160 圖

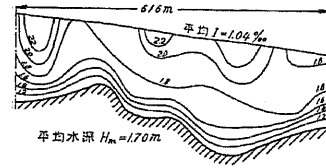


第 161 圖

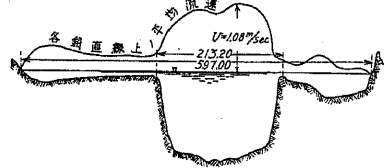
第 160 圖は結氷河川に於ける鉛直分布曲線 42 の平均曲線にして、最大流速は上面より約 37% の深さにあり、平均流速に等しき流速を有する點は二つあり、上面より 12 及び 73% に位す。圖中點線は自由水面を有する場合の 78 分布曲線

を平均せるものにして最大流速の平均位置は水面より 14% 位にある。

第 161 圖は結氷河川に於ける鉛直分布曲線 26 の平均形状にして、水深の小なる程上部の流速割合に大に下部割合に小なるも、水深大なる場合は前者に比し上部割合に小、下部割合に大なる事を示して居る。



第 162 圖



第 163 圖

第 162 圖 Isar 川 (Donau 河の支川、獨逸 Byern) の Platting 附近の流心線に沿ふ縦断面に於ける流速の分布を示すものにして、

河底及び前後の影響に依り不規則となれるを示し、一般に等断面直線部が相當長距離に亘る場合の外不規則なるを常とする。

第 163 圖は Donau の大支 Theiss の小洪水の時の各鉛直線上の平均流速  $v_m$  の分布を示す...水面上の曲線...ものなるが、低水敷内の  $v_m$  の不規則は右岸に水制の如き障碍物存するか、又は上流の屈曲に因るも大體水深に應じて大に、左岸高水敷に於ても亦同様なるが、右側高水敷に於て水深の割合に  $v_m$  小なるは上流の地盤高きか又は水制等の障碍物の影響ならんと想像さる。

(4) 一鉛直線上に於ける平均流速 ( $v_m$ ) と表面流速 ( $v_s$ ) との関係 Bazin の分布曲線 (167) 式に於て  $v_m = C\sqrt{HI}$  と置く。

$$v_m = \frac{1}{1 + \frac{1}{6C}} v_s = \frac{1}{1 + \frac{8}{C}} v_s = \lambda v \quad \text{茲に} \quad \lambda = \frac{v_m}{v_s} = \frac{1}{1 + \frac{8}{C}}$$

即ち  $\lambda$  は  $C$  に依て異なる。

第 38 表

$C =$	30	40	50	60	70	80	90
$\lambda =$	0.79	0.83	0.86	0.88	0.90	0.91	0.92
$\lambda' =$	0.82	0.86	0.89	0.92	0.94	0.95	0.95

之に依て表面流速を測定して各鉛直線の平均流速を、從て全断面の平均流速  $v$  を推定し得る。

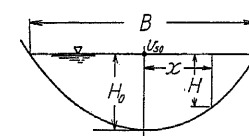
然し (167) 式は表面に最大流速が存在する場合なるを以て、其の水面以下に存する場合は  $\lambda$  は大となり、表面より  $0.2H$  の點に存する時は上表の  $\lambda'$  となる。

結氷せる水路の實測に據れば (第 160 圖) 一鉛直線上に於て  $v_m$  に等しき流速を有する點は普通二點あり、其位置は平均

$$\frac{z}{H} = 0.12 \quad \text{及び} \quad 0.73 \quad \lambda = 0.84$$

にして  $\lambda_{max}$  は表面より  $0.37H$  位に存し、 $\lambda$  は平均  $0.84$  である。

(5) 全断面の平均流速 ( $v$ ) と最大表面流速 ( $v_{s0}$ ) との関係 廣き矩形の場合は  $\lambda_0 = v/v_{s0} = \lambda$ 。又は  $\lambda'$  なるも拋物線狀断面の場合は然らず、今流心水深  $H_0$ 、横距  $x$  に於て水深  $H$ 、幅員を



$B$ 、断面積を  $A$  とすれば

$$H = H_0 \left(1 - \frac{4}{B^2} x^2\right), \quad A = \frac{2}{3} B H_0, \quad v_m = \lambda v_s$$

$$v = \frac{2}{A} \int_0^{B/2} v_m H dx = \frac{9\pi}{32} v_{s0} \left(1 + \frac{8}{C}\right)^{-1} \quad \therefore v_m = \lambda v_s \left(1 - \frac{4}{B^2} x^2\right)^{0.5}$$

第 164 圖

依て  $v/v_{s0} = \lambda_0$  と置けば  $\lambda_0$  の値は次表の如し。

第 39 表

	$\lambda_0 = v/v_{s0}$ の値		鉛直線の最大流速が表面にある場合			
$C =$	30	40	50	60	70	80
廣き矩形	0.79	0.83	0.86	0.88	0.90	0.91
拋物線形	0.70	0.74	0.76	0.78	0.80	0.81

第 40 表

	$\lambda_0 = v/v_{s0}$		鉛直線上の最大流速が表面より $0.2H$ に存する場合			
$C =$	30	40	50	60	70	80
廣き矩形	0.82	0.86	0.89	0.92	0.94	0.95
拋物線形	0.73	0.77	0.79	0.81	0.83	0.84

次に從來の實測に依る  $\lambda_0$  の平均値を示せば

著者	Brüning	Baldwin	Boileau	Baumgarten	Lahmeyer	Du Bout
$\lambda_0$	0.72~0.98	0.83	0.82	0.80	0.80	0.71~0.96

次に流速の分布は潤邊の粗度に依て異り、從て  $\lambda$ 、 $\lambda_0$  等も亦異なる。今實測の結果を示せば

第 41 表  $v/v_{s0}$  (München 水利局)

潤 邊	$v/v_{s0}$ (平均流速/最大表面流速)
粗なる岩石	0.40~0.52
砂礫床, 水草生ず	0.46~0.75
礫, 玉石床	0.58~0.70
砂 利	0.62~0.75
ローム及び砂床	0.65~0.83
木, 混凝土, 石張	0.70~0.92

第 42 表  $v/v_{80}$  の値 (Brigleb, Hansen u. Co.)

材料 徑深 m	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4
平滑なるセメント, 木材	0.88	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90
粗セメント, 切石, 煉瓦 及び挽材	0.84	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.88	0.88	0.88	0.88
割石積	0.75	0.79	0.81	0.82	0.83	0.84	0.84	0.84	0.84	0.85	0.85	0.85
土砂水路	0.56	0.64	0.69	0.71	0.73	0.75	0.76	0.76	0.77	0.78	0.79	0.79

一般に  $v/v_{80}$  は潤邊粗に、水深小に勾配大なる場合に小にして、平滑にして水深大に勾配小なる程、大となる性質を有する。