

## 第四編 水 理

### 第一章 水 流

#### 57. 流 水 運 動

河川に於ける水流の動因は重力であるから、その運動が落差によつて支配せられることは固より當然であるが、その外にも流路の長さ、幅員、水深、河床及び河岸の粗度等によつて条件づけられる。古來ポー河の出水汎濫に苦しめられた伊太利は水理學搖籃の地として知られてゐるが、水理學が今日の發達を示すに至るまでの道程には幾多の變遷がある。

ガリレオは河川に於ける水流の法則に着目した最初の學者であるが、そのガリレオでさへもヴェンチオ河の水害を除却する爲に彎曲流路を直線流路に修築せんとする計畫に反對して、落差にして同一なる限り水路延長の如何に拘らず流速は同一であり、又河川の幅員を擴大しても水流の流速を輕減する効果がないことを主張したものである。

第17世紀は水理學が長足の發達を遂げた時代であつて、就中ガリレオの高弟カステリ及びトリセリーの水理學に對する貢獻は特筆せられる。即ち前者は流水運動の法則を見出す爲に流速の研究を必要とすることを提唱し、又後者は摩擦を除外すれば流速の自乗は壓力水頭に比例すると言ふ水理學の基礎理論を發見したのである。

第18世紀は水理學上の實驗が旺盛を極めた時代であつてミクロッティは水流公式は抽象的理論によらずして實驗の結果によつて確立せられなければならないことを力説し、その間ピトオ、ヘルヌウイ等の有益なる研究があるが、流速が單に落差のみならず水路の斷面に影響せられることを最初に指摘したのはブラームスであつて、有名な流速公式

$$v=c\sqrt{RS}, \quad c \text{ は係數} \dots\dots\dots (24)$$

はブラームス及びシェジイの創意になる。茲に  $v$  は平均流速、 $R$  は徑深、 $S$  は勾配を表す。

クウロム、ド・ブローニイ、アイテルワイン等は  $RS$  を  $v$  及び  $v^2$  の函數として

$$RS=\alpha v+\beta v^2 \dots\dots\dots (25)$$

の如き公式を制定したが、一般河川に於ては(25)式の右邊の第1項の影響は極めて輕微であるから之を無視するも大差がなく、普通シェジイの公式として知られる(24)式が一般に使用せられる。(24)式の  $c$  を流速係數と呼ぶ。

而も初期の水理學者は係數  $c$  を常數と看做し、アイテルワインの如きは  $c=50.9$  の如き値を探

用したのであるが、之を径深及び粗度の函数として表した最初の公式がバザンの舊公式である。

$$c = \sqrt{\frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{R}}} \dots \dots \dots (26)$$

バザンの與へた常數  $\alpha, \beta$  の値は次表の通りである。

第30表 バザン舊公式の常數

| 流 路                 | $\alpha$ | $\beta$     |
|---------------------|----------|-------------|
| セメントを塗つた面又は鈍削りの木材の面 | 0.000 15 | 0.000 004 5 |
| 滑かな切石工、煉瓦工又は削らない板の面 | 0.000 19 | 0.000 013 3 |
| 粗石工、張石工の面           | 0.000 24 | 0.000 060 0 |
| 天然土石の面              | 0.000 28 | 0.000 350 0 |
| 石屑及び粗い砂利を流下する流路     | 0.000 40 | 0.000 700 0 |

1897年バザンは更に次の如き流速公式を發表した。即ちバザンの新公式である。

$$c = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \dots \dots \dots (27)$$

常數  $\gamma$  の値は第31表の通りである。

第31表 バザン新公式の常數

| 流 路                 | $\gamma$ |
|---------------------|----------|
| セメントを塗つた面又は鈍削りの木材の面 | 0.06     |
| 滑かな切石工、煉瓦工又は削らない板の面 | 0.16     |
| 粗石工の面               | 0.46     |
| 完全な状態の土の面又は張石工の面    | 0.85     |
| 普通の状態の土の面           | 1.30     |
| 雑草に掩はれ或は石屑を流下する流路   | 1.75     |

流速公式には幾多の實驗式があるが、その中で最も有名であり、且最も廣く河川に適用せられるのは1869年に發表せられたガングレー及びクッターの公式である。

第32表 ガングレー及びクッター公式の常數

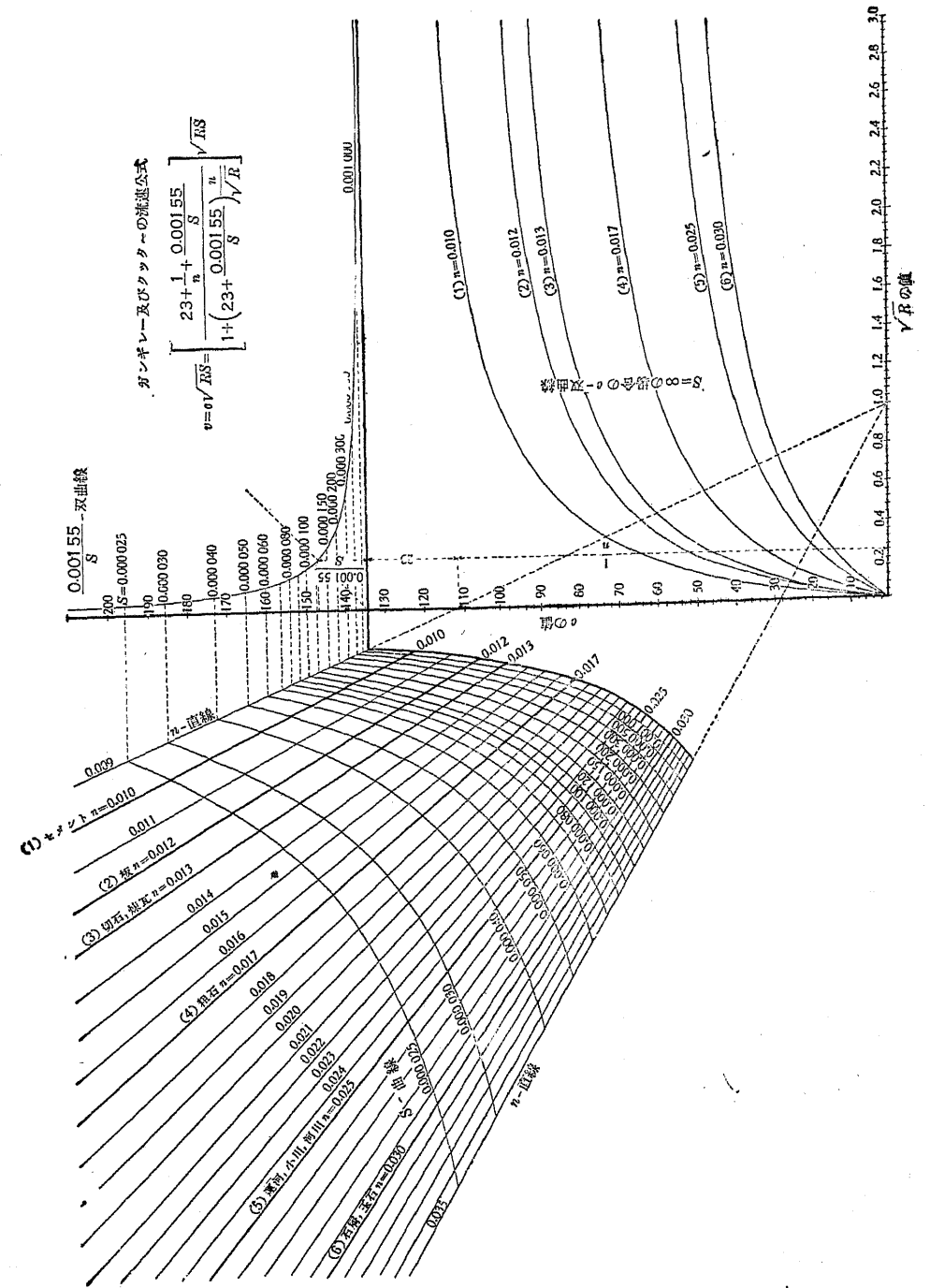
| 流 路                 | $n$   |
|---------------------|-------|
| セメントを塗つた面又は鈍削りの木材の面 | 0.010 |
| 削らない板の面             | 0.012 |
| 切石工又は煉瓦工の面          | 0.013 |
| 粗石工の面               | 0.017 |
| 土の面を有する運河、小川及び河川    | 0.025 |
| 石屑を流下する抵抗の多い水路      | 0.030 |

$$c = \frac{\frac{1}{n} + 23 + \frac{0.001 55}{S}}{1 + \left(23 + \frac{0.001 55}{S}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \dots \dots \dots (28)$$

即ち此の公式は流速係數  $c$  を勾配  $S$ 、径深  $R$ 、粗度  $n$  の函数として表したものであつて、常數  $n$  の値は第32表の通りである。

第54圖は  $n, R, S$  を與へて係數  $c$  を見出す爲の圖表である。

(27)、(28)兩式は畢竟同一の形を取るものであるから、兩式の右邊の分子と分母とを夫々相等的いと置けば



$$87 = 23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{S}, \quad r = \left( 23 + \frac{0.00155}{S} \right) n$$

此の兩式の間に  $S$  を消去すれば

$$87n = 1 + r \dots\dots\dots(29)$$

是  $n$  と  $r$  との間の關係を示す公式であつて、流速係數  $c$  の算出に當つて屢々利用せられる。

常數  $n$  は單に河床及び河岸の材料、狀態等によるばかりでなく水路の形狀その他に影響せられる。次表は1916年ホルトンが發表したクッター公式の常數  $n$  の値である。

第33表 クッター公式の常數  $n$  (ホルトン)

| 流 路               | 完 全   | 良 好   | 稍々良   | 不 良   |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|
| 煉瓦工の水路            | 0.012 | 0.013 | 0.015 | 0.017 |
| 純セメント塗の水路         | 0.010 | 0.011 | 0.012 | 0.013 |
| モルタル塗の水路          | 0.011 | 0.012 | 0.013 | 0.015 |
| コンクリート装工水路        | 0.012 | 0.014 | 0.016 | 0.018 |
| 粗石練積の水路           | 0.017 | 0.020 | 0.025 | 0.030 |
| 同 空積の水路           | 0.025 | 0.030 | 0.033 | 0.035 |
| 切石工の水路            | 0.013 | 0.014 | 0.015 | 0.017 |
| 土砂中に掘つた直線運河       | 0.017 | 0.020 | 0.023 | 0.025 |
| 岩盤中に掘つた直線運河       | 0.025 | 0.030 | 0.033 | 0.035 |
| 同 上不規則な運河         | 0.035 | 0.040 | 0.045 | —     |
| 彎曲した鈍流の運河         | 0.023 | 0.025 | 0.028 | 0.030 |
| 水深一様なる直線河川、満水の場合  | 0.025 | 0.028 | 0.030 | 0.033 |
| 同上にして多少の雜草、石礫ある場合 | 0.030 | 0.033 | 0.035 | 0.040 |
| 水深一様ならぬ彎曲河川       | 0.033 | 0.035 | 0.040 | 0.045 |
| 同上にして低水の場合        | 0.040 | 0.045 | 0.050 | 0.055 |
| 同上にして石礫多き場合       | 0.045 | 0.050 | 0.055 | 0.060 |
| 鈍流河川にして雜草多く深潭ある場合 | 0.050 | 0.060 | 0.070 | 0.080 |

セイヌ、ソーヌ、エルベ、ライン、ウェーゼル、ドナウ、チベル、ミシシッピー等の諸河川で實測した結果は  $n=0.025 \sim 0.030$  が最も普通である。

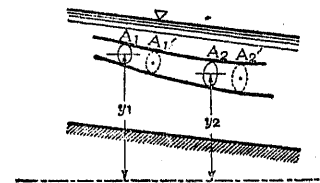
58. 水流の種類

流水中の水分子の通過する徑路を流線と言ふ。水流の各點に於ける流速の大きさ及び方向が時間によつて變化せず、常に一定である場合には流線も亦一定不變であつて、斯くの如き水流を定流と言ふ。之に反して流速が時間によつて變化する場合には流線も亦時間的に變化し、斯くの如き水流を不定流と言ふ。殆ど流量に變化のない平水時の河川の水流及び洪水時であつても水位の變化が一時停止せられる最高水位附近では定流の状態であると考へられるが、増水又は減水の中

途に於ては不定流である。

又水路の總べての断面に於て流速が同一である場合は更に定流の中の特殊の場合であつて、之を等流と言ふ。幅員及び勾配の一定せる水路に一定の流量を與ふる場合がそれであつて、此の場合には一の断面と他の断面との間に動勢の變化がない。之に反して水流の流速が断面毎に相違する場合には之を不等流と言ふ。流量が一定であつても幅員、勾配又はその双方が變化する場合がそれであつて、此の場合には一の断面と他の断面との間に動勢の變化が起るのである。

定流に関するベルヌウイの定理は動水力學の基礎をなすものであるから、次に之を説明する。



第55圖 定流

第55圖に於て定流中に流線によつて境せられた水流の一部分  $A_1 A_2$  を取り、 $A_1, A_2$  に於ける流水の或基線からの高度を  $y_1, y_2$ 、流線に直角なる微分面積を  $dA_1, dA_2$ 、流水の壓力度を  $p_1, p_2$ 、流速の大きさを  $v_1, v_2$ 、水の單位重量を  $w$  とし、 $dt$  時の後  $A_1 A_2$  が  $A_1' A_2'$  に移動したものとすれば

$$A_1 A_1' = v_1 dt, \quad A_2 A_2' = v_2 dt$$

定流であるから流量  $q$  は一定である。従つて  $A_1 A_1', A_2 A_2'$  の水の重量は夫々  $w v_1 dt dA_1 = w q dt, w v_2 dt dA_2 = w q dt$  であつて相等しく、 $A_1 A_2$  から  $A_1' A_2'$  への移動の間に重力によつてなされた働は  $(y_1 - y_2) w q dt$  に等しい。

又水の壓力によつてなされた働は同様に  $(p_1 - p_2) q dt$  に等しく、働の總和は

$$dW = (y_1 - y_2) w q dt + (p_1 - p_2) q dt$$

然るに此の間に起つた動勢の變化は  $\frac{w q dt}{2g} (v_2^2 - v_1^2)$  であつて、その外に摩擦その他の原因による動勢の損失を  $dE$  とすればその和は

$$dT = \frac{w q dt}{2g} (v_2^2 - v_1^2) + dE$$

$dW = dT$  であるから  $\frac{1}{wg} \frac{dE}{dt} = h_0$  と置けば

$$y_1 + \frac{p_1}{w} + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{p_2}{w} + \frac{v_2^2}{2g} + h_0 \dots\dots\dots(30)$$

之を定流に関するベルヌウイの定理と言ふ。 $y$  は高度水頭、 $\frac{p}{w}$  は壓力水頭、 $\frac{v^2}{2g}$  は流速水頭、 $h_0$  は損失水頭と稱せられる。

多くの場合  $p_1 = p_2$  と取り得るから此の場合には

$$y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_0 \dots\dots\dots(31)$$

河川の如き開放せられた水路に於ては損失水頭  $h_0$  は水路の面と流水との間の摩擦に基因し

$$h_0 = f \frac{l}{R} \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (32)$$

の如き形で表される。茲に  $f$  は係数、 $l$  は水路の長さ、 $R$  はその径深である。水流が等流である場合には  $v_1 = v_2$  であつて  $A_1, A_2$  の間の落差を  $y_1 - y_2 = h$  とすれば (31), (32) 式から

$$h = f \frac{l}{R} \frac{v^2}{2g}$$

となり、勾配を  $\frac{h}{l} = S$  と置き、且  $\sqrt{\frac{2g}{f}} = c$  と置けば

$$v = c\sqrt{RS}$$

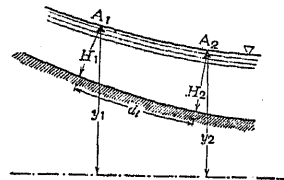
となつて(24)式が得られる。即ち此の場合には位勢の減少が摩擦水頭と平衡を保つのである。

59. 河川の水 流

河川の流量は平水時でも多少は時間的に變化するから厳格な意味の定流ではないが、實地上は之を定流として取扱ひ、洪水時であつても最高水位附近では略算的に定流と看做す。

次に河川の断面は決して一定の断面積と勾配とを有せず、一般に上流から下流に到るに従つて断面積を増し、反對に勾配を減するから、河川の水 流を定流と看做す場合でも明らかに不等流であつて等流ではないのであるが、河川の断面積及び勾配は一般に急變せず、徐々に變化するものであるから、比較的短い區間の水 流を取つて考へる場合には之を等流と看做しても大差がない。

然し水深、河幅、勾配などが急變する特殊の區間に於ては之を不等流として取扱はなければならぬ。



第56圖 不等流

今第56圖に於て  $A_1, A_2$  を微分距離  $dl$  だけ距つた断面とし、 $A_1, A_2$  に於ける水深の變化を  $dH$ 、高度水頭の變化を  $dy$  とすれば

$$Sdl = dy + dH, \therefore dy = Sdl - dH$$

然るにベルヌウイの定理により(31), (32)式から

$$y_1 + \frac{v_1^2}{2g} = y_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \int \frac{f}{R} \frac{v^2}{2g} dl$$

$$\therefore dy = \frac{v}{g} dv + \frac{f}{R} \frac{v^2}{2g} dl = \frac{v}{g} dv + \frac{v^2}{c^2 R} dl \dots \dots \dots (33)$$

定流にして  $vA = q = \text{常數}$  なるが故に水路の幅を  $b$  とすれば

$$A dv = -v dA = -vb dH$$

故に(33)式により

$$\frac{dH}{dl} = \frac{S - \frac{v^2}{c^2 R}}{1 - \frac{b}{A} \frac{v^2}{g}} = S \frac{1 - \frac{v^2}{c^2 RS}}{1 - \frac{b}{A} \frac{v^2}{g}} \dots \dots \dots (34)$$

$\frac{dH}{dl}$  は河床に對する水面の傾斜を表し、水流の方向に従つて水深が増加する時は正、減少する時は負となる。此の場合は水路幅  $b$  を常數と取つたのであるが、 $b$  が常數でない限り(34)式は成立しない。 $\frac{dH}{dl} = 0$  ならば水深に増減がなく、 $v = c\sqrt{RS}$  となつて等流の場合に歸着する。此の時の  $v, R, H$  の値を夫々  $v_0, R_0, H_0$  とし、 $S$  及び  $c$  に變化がないものとすれば

$$\frac{dH}{dl} = S \frac{1 - \frac{R_0}{R} \frac{v^2}{v_0^2}}{1 - \frac{b}{A} \frac{v^2}{g}} \dots \dots \dots (35)$$

一般の河川に於ては水深に比して幅員が極めて大きいから

$$A = bH, R = H, R_0 = H_0, q = vbH = v_0 b H_0$$

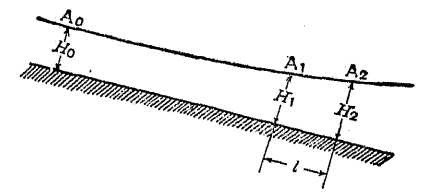
と置くことが出来る。従つて(35)式は

$$\frac{dH}{dl} = S \frac{1 - \left(\frac{H_0}{H}\right)^3}{1 - \frac{c^2 S}{g} \left(\frac{H_0}{H}\right)^3} \dots \dots \dots (36)$$

(36)式は不等流の基本公式である。

60. 水 面 曲 線

等流の状態にある河川の下流に堰堤、橋脚の如き障碍物を造る時は水深は  $H_0$  から次第に増加して、水面は第57圖の  $A_0 A_1 A_2$  の如き上昇曲線となる。斯くの如き水面曲線を背水曲線と言ひ、(36)式によつて之を定めるのが普通である。



第57圖 背水曲線

勾配  $S$  を常數として(36)式を積分すれば

$$l = \frac{H_2 - H_1}{S} + H_0 \left( \frac{1}{S} - \frac{c^2}{g} \right) \left[ \varphi \left( \frac{H_1}{H_0} \right) - \varphi \left( \frac{H_2}{H_0} \right) \right] \dots \dots \dots (37)$$

茲に  $\varphi(x) = \frac{1}{6} \ln \frac{x^2 + x + 1}{(x-1)^2} - \frac{1}{\sqrt{3}} \cot^{-1} \frac{2x+1}{\sqrt{3}}$

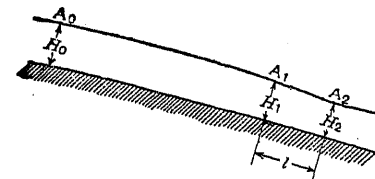
(37)式は堰堤又は橋脚箇所 に於ける水深  $H_2$  を與へてそれより上流に於ける  $H_1$  と  $l$  との關係を求める爲に用ひられる。幹川の水位が高く、支川の流水が停滯する場合の支川の水面曲線を求める爲にも亦(37)式を用ひる。

$\frac{1}{x} = \frac{H_0}{H} \leq 1$  の種々の値に對する  $\varphi(x)$  の値は第34表の通りである。

第34表 背水函数の値

| $\frac{H_0}{H}$ | $\varphi\left(\frac{H}{H_0}\right)$ | $\frac{H_0}{H}$ | $\varphi\left(\frac{H}{H_0}\right)$ | $\frac{H_0}{H}$ | $\varphi\left(\frac{H}{H_0}\right)$ | $\frac{H_0}{H}$ | $\varphi\left(\frac{H}{H_0}\right)$ |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| 1.              | ∞                                   | 0.954           | 0.907 3                             | 0.845           | 0.503 7                             | 0.61            | 0.205 8                             |
| 0.999           | 2.183 4                             | 952             | 893 1                               | 840             | 493 2                               | 60              | 198 0                               |
| 998             | 1.952 3                             | 950             | 879 5                               | 835             | 483 1                               | 59              | 190 5                               |
| 997             | 1.817 2                             | 948             | 866 5                               | 830             | 473 3                               | 58              | 183 2                               |
| 996             | 1.721 3                             | 946             | 853 9                               | 825             | 463 7                               | 57              | 176 1                               |
| 995             | 1.646 9                             | 944             | 841 8                               | 820             | 454 4                               | 56              | 169 2                               |
| 994             | 1.586 1                             | 942             | 830 1                               | 815             | 445 4                               | 55              | 162 5                               |
| 993             | 1.534 8                             | 940             | 818 8                               | 810             | 436 7                               | 54              | 156 0                               |
| 992             | 1.490 2                             | 938             | 807 9                               | 805             | 428 1                               | 53              | 149 7                               |
| 991             | 1.451 0                             | 936             | 797 3                               | 800             | 419 8                               | 52              | 143 5                               |
| 990             | 1.415 9                             | 934             | 787 1                               | 795             | 411 7                               | 51              | 137 6                               |
| 989             | 1.384 1                             | 932             | 777 2                               | 790             | 403 9                               | 50              | 131 8                               |
| 988             | 1.355 1                             | 930             | 767 5                               | 785             | 396 2                               | 49              | 126 2                               |
| 987             | 1.328 4                             | 928             | 758 1                               | 780             | 388 6                               | 48              | 120 7                               |
| 986             | 1.303 7                             | 926             | 749 0                               | 775             | 381 3                               | 47              | 115 4                               |
| 985             | 1.280 7                             | 924             | 740 1                               | 770             | 374 1                               | 46              | 110 2                               |
| 984             | 1.259 2                             | 922             | 731 5                               | 765             | 367 1                               | 45              | 105 2                               |
| 983             | 1.239 0                             | 920             | 723 1                               | 760             | 3 603                               | 44              | 100 3                               |
| 982             | 1.219 9                             | 918             | 714 9                               | 755             | 3 536                               | 43              | 95 5                                |
| 981             | 1.201 9                             | 916             | 706 9                               | 750             | 3 470                               | 42              | 90 9                                |
| 980             | 1.184 8                             | 914             | 699 0                               | 745             | 340 6                               | 41              | 86 5                                |
| 979             | 1.168 6                             | 912             | 691 4                               | 740             | 334 3                               | 40              | 82 1                                |
| 978             | 1.153 1                             | 910             | 683 9                               | 735             | 328 2                               | 39              | 77 9                                |
| 977             | 1.138 3                             | 908             | 676 6                               | 730             | 322 1                               | 38              | 73 8                                |
| 976             | 1.124 1                             | 906             | 669 5                               | 725             | 316 2                               | 37              | 69 9                                |
| 975             | 1.110 5                             | 904             | 662 5                               | 720             | 310 4                               | 36              | 66 0                                |
| 974             | 1.097 4                             | 902             | 655 6                               | 715             | 304 7                               | 35              | 62 3                                |
| 973             | 1.084 8                             | 900             | 648 9                               | 710             | 299 1                               | 34              | 58 7                                |
| 972             | 1.072 7                             | 895             | 632 7                               | 705             | 293 7                               | 33              | 55 3                                |
| 971             | 1.061 0                             | 890             | 617 3                               | 70              | 288 3                               | 32              | 51 9                                |
| 970             | 1.049 7                             | 885             | 602 5                               | 69              | 277 8                               | 30              | 45 5                                |
| 968             | 1.028 2                             | 880             | 588 4                               | 68              | 267 7                               | 28              | 39 5                                |
| 966             | 1.008 0                             | 875             | 574 9                               | 67              | 258 0                               | 25              | 31 4                                |
| 964             | 0.989 0                             | 870             | 561 9                               | 66              | 248 6                               | 20              | 20 1                                |
| 962             | 970 9                               | 865             | 549 4                               | 65              | 239 5                               | 15              | 11 3                                |
| 960             | 953 9                               | 860             | 537 4                               | 64              | 230 6                               | 10              | 05 0                                |
| 958             | 937 6                               | 855             | 525 8                               | 63              | 222 1                               | 05              | 01 5                                |
| 956             | 922 1                               | 850             | 514 6                               | 62              | 213 8                               | 00              | 00 0                                |

次に等流の状態にある河川の一部から多量の灌漑用水又は發電用水を引用する場合には水深は



第58圖 降下水位曲線

$H_0$  から次第に減少して、水面は第58圖の  $A_0 A_1 A_2$  の如き降下水位曲線となる。斯くの如き水面曲線を降下水位曲線と言ひ、同様に(37)式から決定せられる。

但し此の場合の  $x = \frac{H}{H_0} \leq 1$  の種々の値に對する  $\varphi(x)$  の値は次表の通りである。

第35表 降下水位函数の値

| $\frac{H}{H_0}$ | $\varphi\left(\frac{H}{H_0}\right)$ | $\frac{H}{H_0}$ | $\varphi\left(\frac{H}{H_0}\right)$ | $\frac{H}{H_0}$ | $\varphi\left(\frac{H}{H_0}\right)$ | $\frac{H}{H_0}$ | $\varphi\left(\frac{H}{H_0}\right)$ |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| 1.              | ∞                                   | 0.954           | 0.891 6                             | 0.845           | 0.447 8                             | 0.61            | 0.045 4                             |
| 0.999           | 2.183 1                             | 952             | 876 7                               | 840             | 435 3                               | 60              | 032 5                               |
| 998             | 1.952 3                             | 950             | 862 4                               | 835             | 423 2                               | 59              | 019 9                               |
| 997             | 1.816 2                             | 948             | 848 7                               | 830             | 411 4                               | 58              | +0.005 0                            |
| 996             | 1.720 6                             | 946             | 835 4                               | 825             | 398 8                               | 57              | -0.005 0                            |
| 995             | 1.645 2                             | 944             | 822 6                               | 820             | 388 6                               | 56              | -0.017 2                            |
| 994             | 1.584 1                             | 942             | 810 2                               | 815             | 377 6                               | 55              | -0.029 3                            |
| 993             | 1.532 4                             | 940             | 798 2                               | 810             | 366 8                               | 54              | -0.041 2                            |
| 992             | 1.487 6                             | 938             | 786 6                               | 805             | 356 2                               | 53              | -0.053 0                            |
| 991             | 1.448 6                             | 936             | 775 3                               | 800             | 345 9                               | 52              | -0.064 7                            |
| 990             | 1.412 5                             | 934             | 764 3                               | 795             | 335 7                               | 51              | -0.076 3                            |
| 989             | 1.380 4                             | 932             | 753 7                               | 790             | 325 8                               | 50              | -0.087 8                            |
| 988             | 1.351 1                             | 930             | 743 3                               | 785             | 316 0                               | 49              | -0.099 1                            |
| 987             | 1.324 1                             | 928             | 733 2                               | 780             | 306 4                               | 48              | -0.110 4                            |
| 986             | 1.299 0                             | 926             | 723 4                               | 775             | 297 0                               | 47              | -0.121 6                            |
| 985             | 1.275 7                             | 924             | 713 8                               | 770             | 287 7                               | 46              | -0.132 7                            |
| 984             | 1.253 8                             | 922             | 704 5                               | 765             | 278 5                               | 45              | -0.143 8                            |
| 983             | 1.232 3                             | 920             | 695 3                               | 760             | 269 6                               | 44              | -0.154 7                            |
| 982             | 1.213 9                             | 918             | 686 4                               | 755             | 260 7                               | 43              | -0.165 6                            |
| 981             | 1.195 5                             | 916             | 677 6                               | 750             | 252 0                               | 42              | -0.176 5                            |
| 980             | 1.178 1                             | 914             | 669 1                               | 745             | 243 4                               | 41              | -0.187 2                            |
| 979             | 1.161 5                             | 912             | 660 7                               | 740             | 235 0                               | 40              | -0.198 0                            |
| 978             | 1.145 7                             | 910             | 652 5                               | 735             | 226 0                               | 39              | -0.208 6                            |
| 977             | 1.130 5                             | 908             | 644 5                               | 730             | 218 4                               | 38              | -0.219 2                            |
| 976             | 1.116 0                             | 906             | 636 6                               | 725             | 210 2                               | 37              | -0.229 8                            |
| 975             | 1.102 0                             | 904             | 628 9                               | 720             | 202 2                               | 36              | -0.240 3                            |
| 974             | 1.088 6                             | 902             | 621 3                               | 715             | 194 3                               | 35              | -0.250 8                            |
| 973             | 1.075 7                             | 900             | 613 8                               | 710             | 186 4                               | 34              | -0.261 2                            |
| 972             | 1.063 2                             | 895             | 595 8                               | 705             | 178 7                               | 33              | -0.271 6                            |
| 971             | 1.051 2                             | 890             | 578 6                               | 70              | 171 1                               | 32              | -0.281 9                            |
| 970             | 1.039 6                             | 885             | 561 9                               | 69              | 156 0                               | 30              | -0.302 5                            |
| 968             | 1.017 4                             | 880             | 545 9                               | 68              | 141 3                               | 28              | -0.323 0                            |

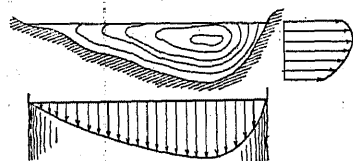
| $\frac{H}{H_0}$ | $\varphi\left(\frac{H}{H_0}\right)$ | $\frac{H}{H_0}$ | $\varphi\left(\frac{H}{H_0}\right)$ | $\frac{H}{H_0}$ | $\varphi\left(\frac{H}{H_0}\right)$ | $\frac{H}{H_0}$ | $\varphi\left(\frac{H}{H_0}\right)$ |
|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|
| 0.966           | 0.9965                              | 0.875           | 0.5305                              | 0.67            | 0.1268                              | 0.25            | -0.3536                             |
| 964             | 9767                                | 870             | 5156                                | 66              | 1127                                | 20              | -0.4042                             |
| 962             | 9580                                | 865             | 5012                                | 65              | 0987                                | 15              | -0.4544                             |
| 960             | 9402                                | 860             | 4872                                | 64              | 0851                                | 10              | -0.5046                             |
| 958             | 9233                                | 855             | 4737                                | 63              | 0716                                | 05              | -0.5546                             |
| 956             | 9071                                | 850             | 4605                                | 62              | 0584                                | 00              | -0.6046                             |

## 第二章 流 速

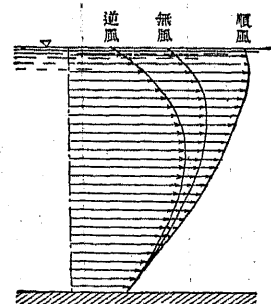
### 61. 流速の分布

等流にあつても一つの横断面に於ける流速は決して同一でない。横断面に於ける流速の変化は種々の原因に影響せられるが故に、一定の法則によつて總べてを律することは不可能であるが、流速変化の通則は次の通りである。

- a) 幅の方向に就いて言へば水深の最大な部分が流速最大で、それから漸次兩岸に向つて流速減少し、その変化は楕圓に類似した曲線で表される。
- b) 一つの鉛直線に就いて言へば河底で流速最小、水面又は水面に近く最大流速の點があり、その変化は拋物線又は對數曲線で表される。
- c) 横断面に於ける等流速の點を結付けると一群の曲線が得られる。之を等速線と呼び、河川の



第59圖 等速線、縦流速線、水面流速線



第60圖 流速に対する風の影響

流量計算に應用することが出来る。

第59圖は横断面に於ける等速線、幅の方向に於ける表面流速の變化及び流心を通過する鉛直線に就いての流速の變化を示したものである。

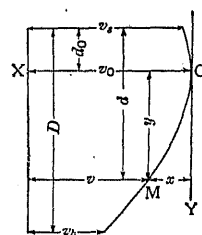
一つの鉛直線上の流速の變化を表す曲線を縦流速線と呼び、縦流速線に於ける最大流速は水面から全水深の  $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$  の深さの點に起るのを普通とする。但し風が吹く場合には水面に近い水分子は風の爲に影響せられるから、風の有無、その速度及び方向によつて縦流速線の形及び最大流速の水深に變化を生ずる。一般に風が上流に向つて吹く時には最大流速の點は水面から遠ざかり、下流に向つて吹く時には水面に近づくこと第30圖に示す通りである。

ハンフレー及びアボットがミシシッピ河で観測した處によれば、無風時には水面から全水深の 0.317 の水深に最大流速の點があつたものが、風速 12 m/sec の強風が上流に向つて吹いた時には水面から 0.56、同じ風速の風が下流に向つて吹いた時には 0.08 の深さに最大流速の點が移動したと言ふ。

### 62. 縦 流 速 線

縦流速線に就いては古來幾多の研究が重ねられて種々の學説が發表せられてゐる。流速が水面で大きく、河底で小さいことは夙に伊太利の水理學者の提唱した所であつて、トリセリーの如きも縦流速線は水面に頂點を持つた拋物線であることを主張し、此の拋物線説は多くの學者實驗者の贊同する所であつたが、外にも楕圓曲線、水平軸を持つた對數曲線、鉛直軸を持つた拋物線などの諸説が行はれたのは、實驗の不備と言はんよりは寧ろ河川断面の種々の條件によつて縦流速線が著しい影響を蒙ることを裏書するものと考へられる。その中で今日廣く實用に供せられるのは19世紀の中葉、ハンフレー及びアボットがミシシッピ河での實驗の結果から確認するに至つた、水面から全水深の 0.297 の深さに水平軸を持つた拋物線と、ヤスムンドがエルベ河での實驗の結果から結論した、鉛直軸を持つた對數曲線との兩説である。

1) 拋物線説 拋物線説はハンフレー及びアボットのみならず、デュピュキ、ボアローその他多くの水理學者の採用する所であつて、縦流速線を水面下若干の水深の點に頂點を持つた水平軸



第61圖 縦流速線(拋物線)

の2次拋物線と見做す。

此の假定に従へば第61圖を用ひて

$$y^2 = px$$

頂點Oを境として上下の拋物線が對稱的であると假定すれば、此の拋物線上の1點Mに就いては  $y = d - d_0$ ,  $x = v_0 - v$  であるから

$$(d - d_0)^2 = p(v_0 - v)$$

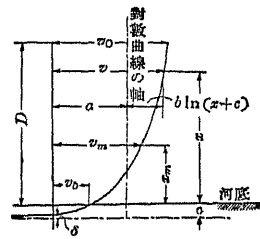
$$\text{或は } v = v_0 - \frac{1}{p}(d - d_0)^2 \dots \dots \dots (88)$$

ハンフレー及びアボットがミシシッピ河に於ける實驗の結果は  $d_0 = 0.297 D$  であつて、その拋物線式は次の如くである(單位は m/sec とす)。

$$v = 0.995 - 0.242 \left(\frac{x}{D}\right)^2$$

2) 對數曲線説 ヤスムンドは縦流速線を第62圖の如き鉛直軸を有する對數曲線と假定してエルベ河に於ける實驗の結果と正確に一致することを發見したのであつて、河底から  $x$  の高さに於ける流速  $v$  は次式で表される。

$$v = a + b \ln(x + e) \dots \dots \dots (89)$$



第62圖 縦流速線(対数曲線)

茲に  $a, b, c$  は常數であつて,  $\ln$  は自然對數を表す。此の假定に従へば最大流速は拋物線説と異なつて水面にあることとなる。多くの觀測値から最小自乗法によつて常數  $a, b, c$  を決定する爲には觀測等式を直線式として誘導しなければならないから、先づ3組の觀測値から(39)式を用ひて  $a, b, c$  の近似値  $a_0, b_0, c_0$  を求め、 $\alpha, \beta, \gamma$  を修正値として

$$a = a_0 + \alpha, \quad b = b_0 + \beta, \quad c = c_0 + \gamma \quad \dots (40)$$

と置く。  $v$  は  $a, b, c$  の函數であるから

$$v = F(a, b, c) = a + b \ln(x+c)$$

$$= F(a_0, b_0, c_0) + \frac{\partial F}{\partial a_0} \alpha + \frac{\partial F}{\partial b_0} \beta + \frac{\partial F}{\partial c_0} \gamma$$

$$= F(a_0, b_0, c_0) + \alpha + \beta \ln(x+c_0) + \frac{b_0}{x+c_0} \gamma$$

従つて  $F(a_0, b_0, c_0) - v = l$  と置けば、 $v_1$  を誤差として

$$v_1 = \alpha + \beta \ln(x+c_0) + \frac{b_0}{x+c_0} \gamma + l \quad \dots (41)$$

之に最小自乗法を適用し、正等式を作つて  $\alpha, \beta, \gamma$  を求むることを得べく、更に之を(40)式に代入して常數  $a, b, c$  が決定せられる。

自然對數を常用對數に換算すればヤスムンドがマゲデブルグのエルベ河に就いて觀測せる結果は次の如くである。

水深  $D=2$  m のとき  $v=0.50+0.25 \log(x+0.10)$

$D=6$  m のとき  $v=1.18+0.50 \log(x+0.03)$

又我が國の安倍川筋安倍川橋附近に於て觀測せる結果は

水深  $D=1.40$  m にして  $v=1.26+3.10 \log(x+0.870)$

63. 各種流速の關係

一つの鉛直線に就いての表面流速  $v_s$ 、最大流速  $v_0$ 、平均流速  $v_m$ 、底面流速  $v_b$  等の間には略々一定の關係がある。

實測の結果から縦流速線を畫けば之と鉛直軸との包む面積を水深  $D$  で除したものはその鉛直線に就いての平均流速を表し、縦流速線が拋物線又は對數曲線の如き一定の數學曲線で表し得る場合には計算によつても平均流速を求むることが出来る。

バザンの實驗によれば  $v_m=0.76 v_s \quad \dots (42)$

ワグナーによれば  $v_m=(0.64 \sim 0.97) v_s$ , 平均  $0.84 v_s \quad \dots (43)$

又ヘーゲンによれば  $v_m=0.86 v_s \quad \dots (44)$

我が國の河川に就いての實驗では平均  $v_m=0.86 v_s$  に當つてゐるから、 $\frac{v_m}{v_s} = \frac{3}{4} \sim \frac{6}{7}$  と見て大差がない。

次に縦流速線を拋物線と假定する場合には平均流速は水面から全水深の約 0.2 の深さと 0.8 の深さとの2點の流速の平均で表されるから

$$v_m = \frac{1}{2}(v_{0.2} + v_{0.8}) \quad \dots (45)$$

或は平均流速は水面から全水深の約 0.6 の深さの點に起るから

$$v_m = v_{0.6} \quad \dots (46)$$

茲に  $v_{0.2}, v_{0.6}, v_{0.8}$  等は夫々全水深の 0.2, 0.6, 0.8 の深さの流速を表す。

又最大流速と平均流速との關係は次式で表し得る場合が多い。

$$v_m = \left(\frac{2}{3} \sim \frac{5}{6}\right) v_0 \quad \dots (47)$$

最後に  $v_b$  は河底から 15 cm 内外離れた點の流速を測つて

$$v_b = \frac{v_s}{2} \quad \dots (48)$$

$$v_b = \frac{3}{4} v_m \quad \dots (49)$$

と取つて大差がない。

次に全横断面に就いての平均流速  $V_m$  と最大表面流速  $V_s$  との關係に就いても各種の實測がある。

フォルハイマーに依れば  $V_m = (0.64 \sim 0.76) V_s \quad \dots (50)$

ラーマイヤーに依れば  $V_m = \frac{3}{4} V_s \quad \dots (51)$

我が國の河川に就いて洪水時の平均流速と最大流速とを觀測した結果は次表の通りである。

第36表 洪水時の平均流速及び最大流速

| 河 川  | 地 點 | 平均水深 (m) | 平均流速 $V_m$ (m/sec) | 最大流速 $V_s$ (m/sec) | $V_m/V_s$ |
|------|-----|----------|--------------------|--------------------|-----------|
| 米代川  | 二ツ井 | 4.24     | 2.39               | 2.91               | 0.82      |
| 最上川  | 柴橋  | 3.87     | 3.02               | 3.69               | 0.82      |
| 阿武隈川 | 館矢間 | 2.68     | 1.40               | 2.08               | 0.67      |
|      | 千貫  | 3.20     | 1.51               | 2.03               | 0.74      |
| 北上川  | 黒澤尻 | 3.61     | 2.37               | 3.26               | 0.73      |
| 小貝川  | 川又  | 3.51     | 1.30               | 1.49               | 0.87      |
| 富士川  | 松野  | 5.37     | 4.91               | 6.40               | 0.76      |
|      | 清水端 | 2.46     | 2.60               | 3.17               | 0.82      |
| 太田川  | 大野  | 5.20     | 4.57               | 5.88               | 0.78      |
| 矢作川  | 岡崎  | 3.12     | 2.14               | 2.47               | 0.87      |
| 手取川  | 鶴來  | 1.63     | 3.50               | 4.61               | 0.76      |
| 大野川  | 犬飼  | 5.35     | 3.27               | 4.51               | 0.72      |
| 白川   | 明午橋 | 2.30     | 1.80               | 2.02               | 0.89      |
| 平川   | 均   |          |                    |                    | 0.79      |

64. 流速の測定

流速の測定は専ら河川断面の平均流速を算定する目的の爲になされる。流速測定箇所は川幅、水深などが略々一定して居り、直線流路であつて流線が河岸に平行である様な地點を選び、渦流や逆流のある箇所を避ける。

流速測定のためには種々の方法が採用せられる。水面浮子は水面流速を測定するもので、木材片又はビール瓶の如きものを水面に浮べて浮子とする。その所在を明らかにする爲には書用は小旗の如きものを付け、夜間は石油を浸ませた襤褸片に点火したものを装備する。水中浮子は水面下一定の深さの點の流速を測定するもので、その重量を適當に加減することによつて水深を一定ならしめたもの、双浮子は前兩者を組合はせたもので水面及び水面下一定の水深の點の流速の平均を見出す爲に用ひられ、双方の浮子は糸で連絡せられる。棒浮子は竹木その他長い棒の下端に適當な錘を付け、之を鉛直に浮かせて水面から棒の下端までの平均流速を見出す爲に用ひられる。流速計は流水の直線運動を器軸の回轉運動に變へて、その回轉數から流速を測定する器械で、任意の水深の部分の流速を最も正確に測る爲に用ひられる。外にピトオ管、ダルシー管がある。水中に立てた硝子管の下部を直角に曲げてその端を上流に向け、流速水頭を壓力水頭に變へて管内の水の高さ  $h$  から流速  $v$  を測る。

$$v = \mu \sqrt{h} \dots \dots \dots (52)$$

$\mu$  は管に特有の常數である。

是等諸法の中最も普通に使用せられるのが、水面浮子、棒浮子及び流速計である。次に浮子による流速測定を説明する。

a) 水面浮子 流速計による測定は最も正確なる測定法であるが、洪水時などには之を使用することが殆ど不可能であるから、水面浮子や棒浮子が一般に使用せられる。總べて流速を測定するには流水幅を河岸に平行なる、略々同一幅員の數多の條片に區分し、各條片の中央毎に浮子を流し、或は流速計測定を行ふのであるが、若し表面流速  $v_s$  が測定せられた場合には  $v_s$  に或常數  $k$  を乗じたものを以て條片に就いての平均流速とする。

$$v_m = kv_s, \quad k = 0.75 \sim 0.90 \dots \dots \dots (53)$$

常數  $k$  は小河川では 0.75~0.80、大河川では 0.85~0.90 と取る。

b) 棒浮子 棒浮子を使用する場合には浮子の長さは成るべく長いのがよいが、餘り長くて河底に接觸する時は眞の流速を與へない。又長さが短い場合には平均流速との誤差が大きくなるから、通例フランスの公式を用ひて實測値を更正する。

$$v_m = v (1.012 - 0.116 \sqrt{\frac{D-d}{D}}) = k_1 v \dots \dots \dots (54)$$

茲に  $v_m$  は平均流速、 $v$  は實測流速、 $D$  は水深、 $d$  は浮子の吃水である。但し  $\frac{d}{D} > \frac{3}{4}$  フランスの公式は  $\frac{d}{D} > \frac{3}{4}$  よりも小さい  $d$  の値に對しては使用することを得ない不便があり、我が國の大河川に就いては次式を使用する方が一層よく實測の結果と符合する。

$$v_m = v (1.045 - 0.239 \sqrt{\frac{D-d}{D}}) = k_2 v \dots \dots \dots (55)$$

但し  $\frac{d}{D}$  は 0.5 より小ならしめないのがよい。

$D$  及び  $d$  の種々の値に對する係數  $k_1, k_2$  の値は次の通りである。

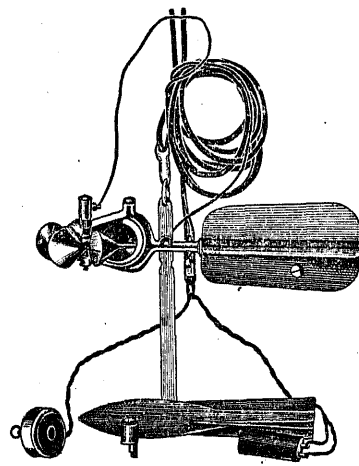
第 37 表 棒浮子流速更正係數

|                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\frac{d}{D}$   | 0.95  | 0.90  | 0.85  | 0.80  | 0.75  | 0.70  | 0.65  | 0.60  | 0.55  | 0.50  |
| $\frac{D-d}{D}$ | 0.05  | 0.10  | 0.15  | 0.20  | 0.25  | 0.30  | 0.35  | 0.40  | 0.45  | 0.50  |
| $k_1$           | 0.986 | 0.975 | 0.967 | 0.960 | 0.954 | —     | —     | —     | —     | —     |
| $k_2$           | 0.992 | 0.969 | 0.952 | 0.938 | 0.926 | 0.914 | 0.904 | 0.894 | 0.885 | 0.876 |

65. 流 速 計

流速計は風速計と同理によつて、流水の直線運動を器軸の回轉運動に變へて、その回轉數から流速を測定する器械で、最も簡單なものはウォルトマン流速計である。

流速計には種々の様式があるが、回轉數を音によつて水上から聴くものを聴音流速計と言ひ、近來電流を使用して回轉毎に電路を閉ぢて音を發せしめる電氣流速計が廣く使用せられ、その中最も普通なのがブライス流速計である。



第 63 圖 ブライス電氣流速計

ブライス流速計は 1 回轉毎に音を發するものと、5 回轉毎に音を發するものがあり、前者は  $v = 1.0 \text{ m/sec}$  内外の場合に、後者は  $v \geq 1.5 \text{ m/sec}$  以上の場合に使用するのがよい。第 63 圖はブライス電氣流速計を示す。

流速計の回轉數  $n$  と流水の流速  $v$  との間には  $a, b$  を常數として次の關係がある。

$$v = a + bn \dots \dots \dots (56)$$

$a, b$  は器械に特有のものであつて、之を決定するには靜水の水槽中を一定の速度を以て流速計を動かし、その時の觀測値  $v$  及び  $n$  から最小自乗法によつて算出する。之を流速計の率定と言ふ。



流速計を用ひて一つの鉛直線に就いての平均流速を測定するには通例次の方法による。

- 1) 水面下全水深の0.6の點の流速  $v_{0.6}$  を測定して之を平均流速とする。(46)式参照。水深0.4 m 以下の場合には之で充分である。
- 2) 水面下全水深の0.2 及び0.8 の點の流速  $v_{0.2}$  及び  $v_{0.8}$  を測定して之を平均したもの平均流速とする。(45)式参照。水深0.7 m 以下の場合には之で充分である。
- 3) 前2法を併用して次式から平均流速を求める。

$$v_m = \frac{v_{0.2} + 2v_{0.6} + v_{0.8}}{4} \dots\dots\dots (57)$$

水深 1.0 m 以下の場合に用ひられる。

- 4) 水面から河底まで 0.20~0.30 m の間隔毎に流速を測定して縦流速線を描き、圖上から平均流速を求める。水面流速及び河底流速は通例水面下及び河底上 0.10~0.15 m の距離で測つたものを代用する。水深大なる場合に用ひられる。
  - 5) 流速計を水面から河底まで、更に河底から水面まで等速度を以て上下し、その間の全回転数を所要時間で割つたものから平均流速を求める。同様に水深大なる場合に用ひられる。
- 總べて流速計は洪水時には使用し難い。

### 66. 平均流速曲線

河川の一横断面に於ける水流の平均流速と水位との關係を圖示したものを平均流速曲線と言ふ。水位を縦距とし平均流速を横距として平均流速曲線を描けば、此の曲線は通例次の如き拋物線で表すことが出来る。

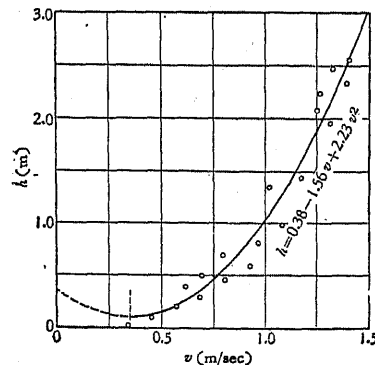
$$v^n = a + bh \dots\dots\dots (58)$$

指數  $n$  は 1~2 の間に變化する。最小自乗法によつて指數  $n$ 、常數  $a$ 、 $b$  を求めることも出来るが、計算の便宜上からは  $n=1, \frac{3}{2}, 2$  と假定してその各々の場合に就いて常數  $a$ 、 $b$  を定め、斯くして求め得たる曲線の中觀測結果に最もよく合致するものを採用すればよい。 $n=1$  の時は(58)式は直線式であるが、 $n=2$  の時は縦軸上に頂點を有する2次の拋物線となる。(58)式を書き直せば

$$h = a + \beta v^2 \dots\dots\dots (59)$$

拋物線の頂點が縦軸上に在らざる時は曲線は

$$h = a + \beta v + \gamma v^2 \dots\dots\dots (60)$$



第64圖 阿武隈川館矢間平均流速曲線

の如き形となる。

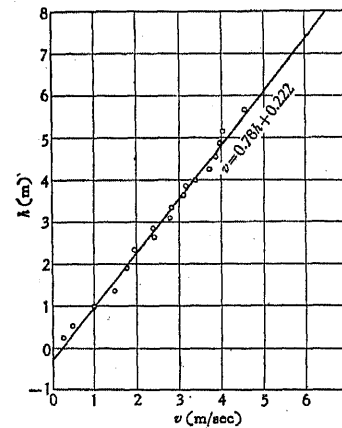
例へば阿武隈川館矢間觀測所に於ける觀測の結果からは

$$h = 0.38 - 1.56v + 2.23v^2$$

の如き拋物線式(第64圖)、又太田川筋大野觀測所に於ける觀測の結果からは

$$v = 0.222 + 0.780h$$

の如き直線式(第65圖)が、夫々當該地點の平均流速曲線として最も適當であることが確められてゐる。



第65圖 太田川大野平均流速曲線

平均流速曲線を決定し得れば之と斷面積曲線(第22節)とを組合はせ、 $Q=vA$  として或水位に相當する流量を計算することが出来る。多くの河川に於ては洪水時流量觀測資料が乏しい結果、僅少の資料から流量曲線を決定して之を求觀測部分に延長する場合には時として著しい誤差を招くに反し、斷面積曲線は極めて正確に描き得るし、平均流速曲線は概して曲率が小さく急激なる變化がないから、此の兩者を組合はせて作つた流量曲線は比較的誤差が少く、流量觀測のない部分の補足に利用し得る。

例へば太田川筋大野の斷面積曲線は前掲の如く

$$A = 24.144 + 83.65h$$

平均流速曲線は  $v = 0.222 + 0.780h$

此の兩式を乗じて  $Q = vA = 5.36 + 37.40h + 67.57h^2$

是は後述の該觀測所の流量曲線と正確に一致するのである。

## 第三章 流 量

### 67. 流量の性質

河川の或地點に於ける流量とは該地點の河川斷面を單位時間に通過する水量を言ひ、普通  $m^3/sec$  の單位で表すのであるが、我が國に於ける從來の慣例では毎秒立方尺を單位として之を個と名づけた。従つて  $1 m^3/sec$  は約 36 個に相當する。

河川の流量を支配するものは a) 雨量、b) 流域面積、c) 地形、d) 地勢、e) 地質、f) 地表状態等であつて、雨量及び流域面積が大きければ従つて流量も大きいのを原則とするが、特に豪雨性の連続雨量は流量を激増する。流量は又流域の地形その他によつて左右せられ、地勢が急峻

であれば降水が一時に河川に殺到するが故に流量が大きく、地質が不透過性であれば流量が大きく、又地表状態は樹木その他が地表水の流過を妨げることが少い程流量が大きい。

従つて一般に河川の流量は水源から河口に至るに従つて増加するのを原則とするが、その増加の割合は決して集水面積の増加に比例せず、特に廣大なる流域に就いては1降雨時に就いても雨量が流域各部によつて相違する上に、流域の地勢、地質、地表状態などが又同じからず、加ふるに大小の支川が不規則に流入する結果として、流量の増加は極めて不規則である。

又流路の途中に溜水、貯水池、遊水地などがある場合には一時洪水を此處に貯溜する結果として流量の調節が行はれ、下流の流路に於ては洪水流量を減少し、低水流量を増加する傾向がある。

例へば伊太利のアッダ河はコモ湖に流入する時の最大流量は 1940 m<sup>3</sup>/sec であるが、是から流出する時のそれは 840 m<sup>3</sup>/sec に減ずる。瑞西のボーデン湖から發するライン河では 1 125 000 000 m<sup>3</sup> の貯水量を有する同湖水によつて流量の調節が行はれる結果、湖水に流入するライン河外諸川の最大流量は計 6 500 m<sup>3</sup>/sec に達するのに、コンスタンツからライン河に流出する最大流量は、その約 1/6 の 1100 m<sup>3</sup>/sec となり、又ジュネーヴ湖から發するロヌ河では湖水へ流入する最大流量は 1 500 m<sup>3</sup>/sec であるのに、湖水から流出する最大流量は、その約 1/5 の 300 m<sup>3</sup>/sec に過ぎないと言はれる。

我が國でも淀川の支川瀬田川の流域の琵琶湖は同川の洪水調節上著しい効果があつて、その故にこそ琵琶湖に流入する諸川の合計最大流量は 4 000 m<sup>3</sup>/sec に達するのに、瀬田川の最大流量を 700 m<sup>3</sup>/sec に軽減し得るのである。又利根川に就いて言へば支川渡良瀬川の改修に於て赤間沼を中心として藤岡町地先に約 167 000 000 m<sup>3</sup> の貯水量を有する一大遊水地を造つた外、鬼怒川合流點以下取手町に至る約 12 km の間の右岸田中村、富勢村及び我孫子町地先に於ても幅員 1 600~3 200 m の遊水地を設けて洪水の貯溜を行ひ流量を調節する。

特に荒川上流改修工事の如きは改修上流端埼玉縣大里郡武川村地先に於ける最大流量を 5 570 m<sup>3</sup>/sec と定めたが、下流一帯に廣大なる堤外遊水地があつて、その幅員 1 000~3 000 m に達するが故に、その洪水貯溜能力を考慮して下流に至るに従つて次第に流量を減じ、62 km の下流なる川口市地先では最大流量を 4 170 m<sup>3</sup>/sec と定めてゐる。

斯くの如く河川の流量は地點によつて相違するのみでなく、一定の地點であつても時期によつてその値を異にするのは、河川の水位が時期によつて變動するのと同様である。従つて河川の一地點に於ける流量は時期を指定する代りに水位を指定するのが普通であつて、一般に水位が高い時は流量が大きく、水位が低い時は流量が小さい。

水位に高水位、平均水位、低水位等の區別があるのと同じく、流量にも高水流量、平均流量、

低水流量等の區別がある。特に洪水時の流量を洪水流量又は洪水量、濁水位に相當する流量を濁水流量又は濁水量と呼ぶ。洪水量は治水、濁水量は利水の基準とせられる流量であつて、河川改修工事に於ては既往の洪水量を算定し、その最大なるものを標準として計畫高水流量を決定する。

逓信省の發電水力調査に於ては1年を通じ185日是非より下らない程度の流量を平水流量、同275日是非より下らない程度の流量を低水流量、同355日是非より下らない程度の流量を濁水流量と呼んでゐる。

次表は若干の河川に就いての各種流量の値である。

第38表 河川の流量 (m<sup>3</sup>/sec)

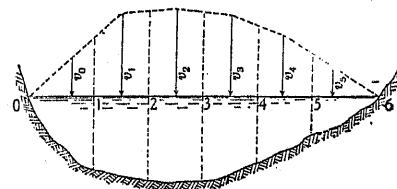
| 河 川       | 地 點               | 低水流量 | 平均流量  | 高水流量   |
|-----------|-------------------|------|-------|--------|
| エ ル ベ     | ド レ ス テ ン         | 56   | 280   | 4 600  |
| ロ イ ク セ ル | グ ラ カ ヲ           | 50   | 103   | 2 140  |
| ウ ェ ー セ ル | カ ー ル ス ハ ー フ ェ ン | 11   | 94    | 2 350  |
| ラ イ ン     | パ ー セ ル           | 330  | 865   | 6 000  |
| ド ナ ウ     | ウ キ ー ン           | —    | 1 890 | 10 500 |
| 石 狩 川     | 對 雁               | 100  | 455   | 8 350  |
| 利 根 川     | 栗 橋               | 92   | 198   | 5 570  |
| 信 濃 川     | 大 河 津             | 160  | 300   | 5 570  |
| 富 士 川     | 松 野               | 74   | 164   | 9 800  |

68. 流量の測定

流量を測定するには浮子又は流速計を用ひて前述の各條片毎の平均流速を求め、或は観測流速を平均流速に更正したものに各條片の斷面積を乗じたものゝ總和を求めればよい。Qを流量とすれば

Q = vA = v\_0 A\_0 + v\_1 A\_1 + v\_2 A\_2 + ... = \sum vA ..... (61)

流速観測が等間隔で行はれる場合には各條片の幅員は同一となるから、観測位置間の中央が條片の境界となる。即ち第66圖に於て観測期間の平均



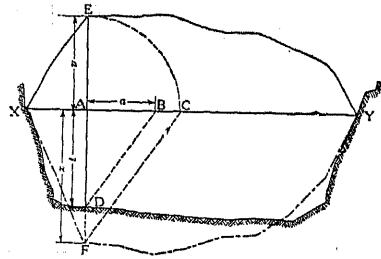
第66圖 流量計算

水位上に流速観測位置及び更正平均流速 v\_1, v\_2, v\_3, ... を記入し、各観測位置間の中點 2, 3, 4, ... を求めれば之が條片の境界である。河岸に接した部分に就いては流速は v\_1, v\_4 から河岸に向つて直線的に減少して零になるものと假定し、12及び45を何れも

23, 34 等と同一幅員に取つて境界點1及び5を定めた上 01, 56 の部分の平均流速はその幅員の

1/3 の點(斷面重心)の流速を圖上から求めて  $v_0, v_1$  とする。

各條片の斷面積は測面器を用ひて之を求め、又横斷面が方眼紙上に描かれてある場合には測面器を用ひないでも簡単に之を算出し得るから、その各々に夫々の平均流速を乗じて(61)式から全流量を計算するのであるが、ハーラッヘルの圖式計算法によれば乗法の代りに圖式を用ひて計算



第67圖 ハーラッヘル圖式計算

を簡単にすることが出来る。即ち第67圖の如く水面上に各觀測地點毎の平均流速を記入して平均流速曲線 X E Y を描き、次に觀測地點 A から任意の距離  $a$  に等しく AB を取り、又  $AE=v$  に等しく AC を取る。  $AD=t$  を水深として BD を結び、之に平行に CF を引き AD 又はその延長線との交點から F 點を求める。各觀測地點毎に此の方法を繰返して曲線 X F Y を作り、

之と水位線 X Y との間の面積  $A$  を求める時は流量は次式から求められる。

$$Q = aA \dots\dots\dots (62)$$

作圖により

$$a:t = v:x \quad \text{或は} \quad x = \frac{vt}{a}$$

然るに

$$A = \int xdb = \frac{1}{a} \int v tdb = \frac{1}{a} \int v dq = \frac{Q}{a}$$

即ち(62)式が得られる。

### 69. 流量曲線

河川の一地點に於ける流量は水位と同じく時期によつて變化するから時間を横距とし流量を縦距として描いた曲線は水位曲線に類似し、之を時間流量曲線と呼び、洪水時などに屢々描かれる曲線である。

然るに流量は水位の昇降によつて増減するから兩者の間には河川の斷面毎に略々一定の關係があり、水位を縦距とし流量を横距として曲線を描けば水位流量曲線が得られ、普通に流量曲線と呼ばれるものは是である。

河川に於ける水面勾配に變化がないものとするれば平均流速  $v$  は(24)式によつて徑深、從つて水位の函數であり、横斷面積も亦 (7)~(9) 式の示すが如く水位の函數であるから、流量が又水位の函數として  $Q=f(h)$  の如き形で表される筈であるが、實際に於ては水面勾配が一定でないのと、横斷面が不規則な形狀を有する關係上、流量曲線を數學的の計算から決定することは殆ど不可能であつて、實地上は水位並びに流量觀測の結果を圖示して是等の諸點を適當なる近似曲線で連結するのが唯一の方法である。

此の近似曲線を一定の數學的曲線と假定し、觀測値から最小自乗法を用ひてその曲線式を決定

する爲には、先づ水面勾配を一定とした場合の數學的斷面に於ける理論的流量曲線式の形を研究することが必要である。

#### 1) 矩形斷面の場合

斷面積を  $A$ 、水面幅を  $b$ 、水深を  $d$  とすれば(2)式から  $A=bd$ 、又大なる河川では  $R=\frac{A}{b} \doteq d$  と取ることが出来るから(24)式から

$$v = c\sqrt{RS} = c\sqrt{S}d^{\frac{2}{3}} = kd^{\frac{2}{3}}$$

$$\therefore Q = vA = kbd^{\frac{2}{3}} = Cd^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (63)$$

然るに量水標の水位  $h$  は正確に  $d$  と一致せず、上下に  $z$  だけの高低差があるものとするれば  $d=(h \pm z)$  と置いて(63)式は

$$Q = C(h \pm z)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (64)$$

#### 2) 拋物線斷面の場合

$y=px^2$  を拋物線の方程式とし常數  $k = \frac{2}{\sqrt{p}}$  と置けば(4)式から  $A = \frac{2}{3}kd^{\frac{3}{2}}$ 、又  $R = \frac{A}{b} = \frac{2}{3}d$  であるから(24)式を用ひ

$$v = c\sqrt{RS} = c\sqrt{S}\sqrt{\frac{2}{3}}d^{\frac{3}{2}} = k_1d^{\frac{3}{4}}$$

$$\therefore Q = vA = \frac{2}{3}kk_1d^2 = Cd^2 \dots\dots\dots (65)$$

$$\text{前と同様に} \quad Q = C(h \pm z)^2 \dots\dots\dots (66)$$

#### 3) 梯形斷面の場合

底幅を  $b_0$ 、水面幅を  $b=b_0+2md$  とすれば(8)式から  $A=(b_0+md)d$  であつて、此の場合にも  $R \doteq d$  と置けば(24)式から  $v=kd^{\frac{2}{3}}$  となり

$$Q = vA = k(b_0+md)d^{\frac{2}{3}} = C(1+C_1d)d^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (67)$$

$$\text{從つて} \quad Q = C(h \pm z)^{\frac{2}{3}}[1+C_1(h \pm z)] \dots\dots\dots (68)$$

#### 4) 三角形斷面の場合

水面幅を  $b=2md$  とすれば(6)式から  $A=md^2$ 、又  $R = \frac{md^2}{2\sqrt{1+m^2}}d = kd$  と置いて

$$v = c\sqrt{RS} = c\sqrt{kS}d^{\frac{3}{2}} = k_1d^{\frac{3}{2}}$$

$$\therefore Q = vA = k_1md^{\frac{3}{2}} = Cd^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (69)$$

$$\text{或は} \quad Q = C(h \pm z)^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (70)$$

以上諸式を實在の河川に適用するに、低水流量に對しては(66)式、高水流量に對しては(64)、(68)式がよく實際と符合し、山間部にあつて河床の岩盤が三角形斷面の水路を構成するが如き場合に限つて(70)式が成立する。

從つて假令水面勾配に變化があるとしてもその影響は比較的微弱であるから、ハーラッヘルは河川の流量曲線は一般に次式で表し得ることを提唱した。

Q=f(h)=C(h±z)<sup>n</sup>.....(71)

而して此の場合の指数nは通例 1.5~2.5 の間に變化すると考へてよい。

70. 流量曲線式

(71)式の形による流量曲線式の実例は次の如くである。

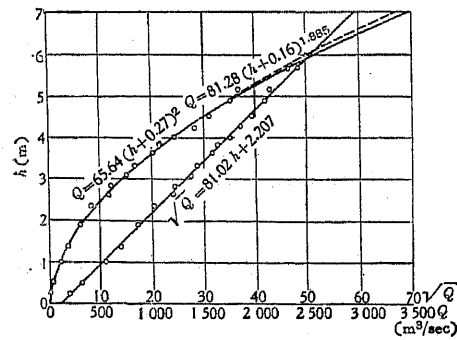
Table with 2 columns: River Name and Discharge Equation. Includes entries for Rhein, Elbe, and Tamagawa.

(64)式の形による流量曲線式は佛蘭西にその例が多い。

Table with 2 columns: River Name and Discharge Equation. Includes entries for Roubin and Senna.

(66)式の形による流量曲線式はその実例が最も多い。

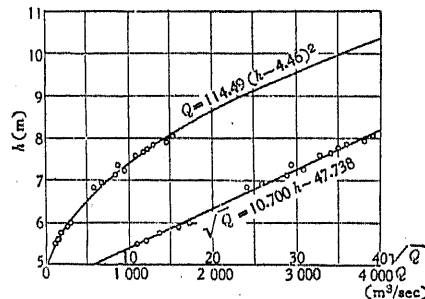
Table with 2 columns: River Name and Discharge Equation. Includes entries for Tamagawa, Tamagawa, and Sagami.



第69圖 太田川大野流量曲線

(71)式を展開すれば Q=Ch²+2Chz+Cz²

従つて2次拋物線による流量曲線は次の形で表すことも出来る。



第68圖 阿武隈川千貫流量曲線

(71)式の指数nの影響は常数C, zのそれに比して微弱であるから, (71)式が理論式にあらずして實驗式である關係上, nを1.5又は2.0の如き比較的簡単な數に假定して常数C, zを最小自乗法から求めるのが計算が簡單である。例へば太田川大野の2種の流量曲線Q=81.24(h+0.16)^1.885, Q=65.64(h+0.27)^2は第69圖の示すが如く, 結果に於て殆ど一致するから後者を採用す方が便利である。

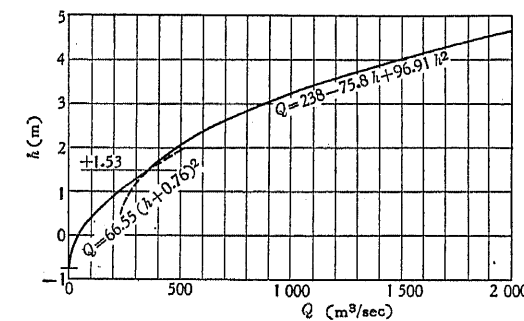
Q=a+bh+ch².....(72)

(72)式による流量曲線の実例も頗る多い。

Table with 3 columns: River Name, Discharge Equation, and Height Range. Includes entries for Rhein, Garonne, Senna, Marne, and Tamagawa.

流量曲線式を作る場合の注意事項は次の通りである。

- a) 種々の水位の場合の観測資料を出来るだけ多く蒐集しなければならないが, 本邦河川の多くは出水が急激であるから平生充分に準備を整へて置かないと出水時の流量観測が不充分に陥る。低水位の場合の資料だけから曲線を作つて之を高水位に延長するのは危険である。
b) 一定の断面に就いては流量曲線は一定であるが, 河床上昇又は下降等の如く河状に變化があつて断面が變れば同時に流量曲線を作り直さなければならない。



第70圖 富士川清水端流量曲線

- c) 流量曲線が2次の拋物線で表し得るや否やは第68圖, 第69圖に示した様に√Qとhとの關係を圖上に記入して之を検する。是等の點が略々一直線上に在ればQはhの2次式で表し得ることが分る。

- d) 多くの河川に就いては低水の場合と高水の場合とは流量曲線の形を異にする。高水の場合に高水數に冠水して流水幅員が激増すれば流量曲線も激變する。従つて水位の高低に應じ2種以上の流量曲線を使用することが適當な場合が多い。

例へば富士川の清水端では

Q=66.55(h+0.76)² h<1.5 m
=238.2-75.75h+96.91h² 1.5<h<5.0 m

の如く水位によつて2種の流量曲線が作られてゐる(第70圖参照)。

- e) 水位が一定であれば流量も亦一定であると思へるのは水面勾配を不變と考へ得る場合に於てのみ正しく, 洪水時の流量曲線は第71圖の如く増水から減水まで1個の自閉線を作るのが通例

である。是は同一水位であつても増水時には水面勾配が急であるから流量が大きく、減水時には水面勾配が緩であるから流量が小さい結果であつて、此の故に正確に言へば洪水時流量曲線は増水時と減水時とで別箇の曲線を使用しなければならぬ。

例へば利根川筋栗橋では  
増水時

$$Q=187.58(h-0.40)^2$$

減水時

$$Q=172.58(h-0.39)^2$$

71. 流量曲線式の常数

数多の観測値  $Q, h$  から流量曲線式の常数を決定するには最小自乗法の原理による。

1)  $n$  次拋物線 流量曲線が(71)式に示した  $n$  次拋物線

$$Q=C(h+z)^n$$

で表された場合には、 $Q$  は  $C, z, n$  の函数と考へられるから

$$Q=F(C, z, n)=C(h+z)^n$$

$C_0, z_0, n_0$  を適宜に求めた  $C, z, n$  の近似値、 $\xi, \eta, \zeta$  をその更正值とすれば(40)式と同様に

$$C=C_0+\xi, z=z_0+\eta, n=n_0+\zeta \dots\dots\dots(73)$$

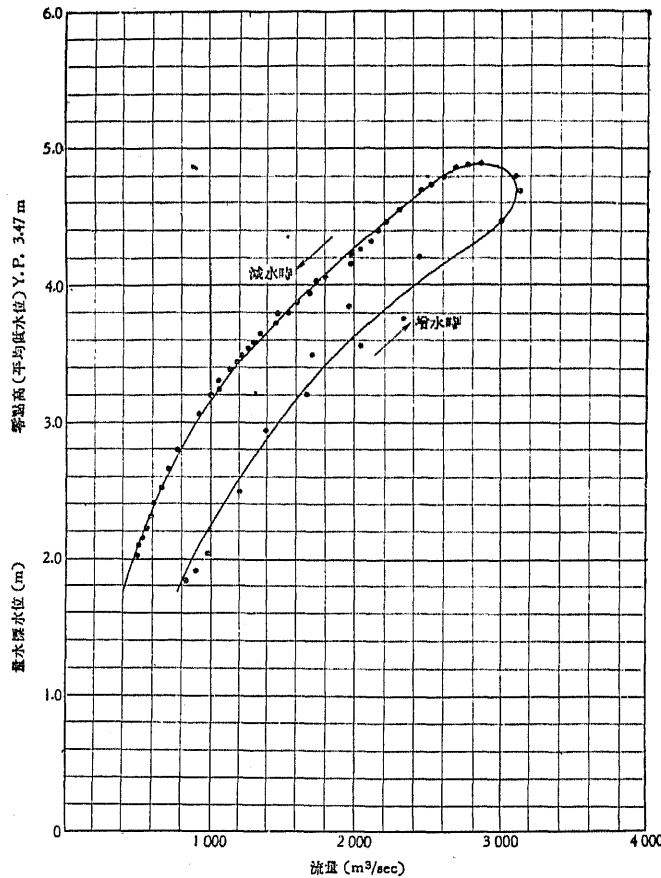
$\xi, \eta, \zeta$  が小さい場合には

$$F(C, z, n)=F(C_0, z_0, n_0)+\frac{\partial F}{\partial C_0}\xi+\frac{\partial F}{\partial z_0}\eta+\frac{\partial F}{\partial n_0}\zeta$$

$$\frac{\partial F}{\partial C_0}=a, \frac{\partial F}{\partial z_0}=b, \frac{\partial F}{\partial n_0}=c \text{ と置けば}$$

$$F(C, z, n)=F(C_0, z_0, n_0)+a\xi+b\eta+c\zeta$$

故に  $F(C_0, z_0, n_0)-Q=l$  と置き、 $v$  を誤差とすれば観測等式は



第71圖 利根川取手洪水流量曲線 (大正6年10月)

$$v=a\xi+b\eta+c\zeta+l$$

最小自乗法により正等式は

$$\left. \begin{aligned} [aa]\xi+[ab]\eta+[ac]\zeta+[al]&=0 \\ [ab]\xi+[bb]\eta+[bc]\zeta+[bl]&=0 \\ [ac]\xi+[bc]\eta+[cc]\zeta+[cl]&=0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(74)$$

之を解いて  $\xi, \eta, \zeta$  を求め、従つて(73)式から  $C, z, n$  が求められる。

2) 2 次拋物線 流量曲線が(66)式に示した 2 次拋物線

$$Q=C(h+z)^2$$

で表された場合には簡単に  $C, z$  を定めることが出来る。

$$\sqrt{Q}=\sqrt{C}(h+z)$$

今  $\sqrt{C}=a, z\sqrt{C}=b$  と置けば

$$\sqrt{Q}=ah+b$$

従つて  $v$  を誤差とすれば観測等式は

$$v=\sqrt{Q}-ah-b$$

観測等式の数を  $n$  とすれば正等式は

$$\left. \begin{aligned} [\sqrt{Q}]-[h]a-nb&=0 \\ [h\sqrt{Q}]-[h^2]a-[h]b=0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(75)$$

之を解いて  $a, b$  を求め、 $C=a^2, z=\frac{b}{\sqrt{C}}=\frac{b}{a}$  から  $C, z$  が求められる。

3) 一般の 2 次拋物線 流量曲線が(72)式の拋物線

$$Q=a+bh+ch^2$$

の形を取る場合にも同様に次の観測等式が得られる。

$$v=Q-a-bh+ch^2$$

此の場合の正等式は次の通りである。

$$\left. \begin{aligned} na+[h]b+[h^2]c-[Q]&=0 \\ [h]a+[h^2]b+[h^3]c-[Qh]&=0 \\ [h^2]a+[h^3]b+[h^4]c-[Qh^2]&=0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(76)$$

之を解いて  $a, b, c$  を直接に求める。

### 第四章 洪水

#### 72. 洪水の原因

我が國は熱帯地方から襲來する颱風や亞細亞大陸に發生する大陸颶風の通路に當つて、雨量が極めて多い爲に毎年全國各地に大出水を招いて、莫大なる損失を蒙る。之を洪水と呼ぶ。我が國近年の洪水は前述の如く明治29年、同48年、大正7年、同9年、昭和9年、同10年が最も著名であつて、特に昭和9年及び10年の如きはその被害が北海道及び内地46府縣の殆ど全部に及んでゐる。

洪水の直接原因は勿論降雨であるから、颱風、颶風、低水壓、不連続線、副低氣壓に伴ふ降雨が何れも洪水を起すのであつて、特に昭和10年の6月から10月に至る間の全國各地の水害の如きは不連続線や副低氣壓に刺戟せられた局部的の氣流性豪雨がその原因をなしてゐる。

従つて洪水は一般に雨期に起るのが通則であつて、我が國では夏季に降雨が多い關係上、6月から10月までを出水期としてあるが、出水期は國によつて必ずしも夏季とは限らない。例へば獨逸や佛蘭西の河川では概して冬季が出水期であつて、エルベ河のウエッテンベルグでは冬の出水80%に對して夏季の出水は僅かに20%、又ウェーゼル河のミンデンでは冬季の出水90%、夏季の出水10%の比を示してゐる。

積雪が洪水の原因となる場合も亦頗る多い。我が國でも東北や北陸の如く積雪の多い地方では、毎年3月から5月までの間に雪解の出水を見るのが例であつて、之を雪代と呼んでゐる。是等の地方では融雪期には山間部の殘雪が晝間は融けて夜間は融けない關係上、その影響が下流の水位に現れて、1日の間に水位の週期的變動を起す程であるから、その時期に颶風などの影響で温い南寄の風でも吹けば、融雪を促進して出水を醸すのである。特に颶風が豪雨を伴ふ場合には雨水と融雪水とが同時に河川に殺到して猛烈な出水を起すのを常とする。昭和9年7月の石川縣の手取川や富山縣の庄川、常願寺川の洪水の如きはその例である。

従つて積雪の少ない地方の河川では夏季だけが出水期であるが、積雪の多い地方の河川では夏季出水の外に春季出水があり、而も後者の方が前者よりもその程度が甚大である場合が頗る多いのである。

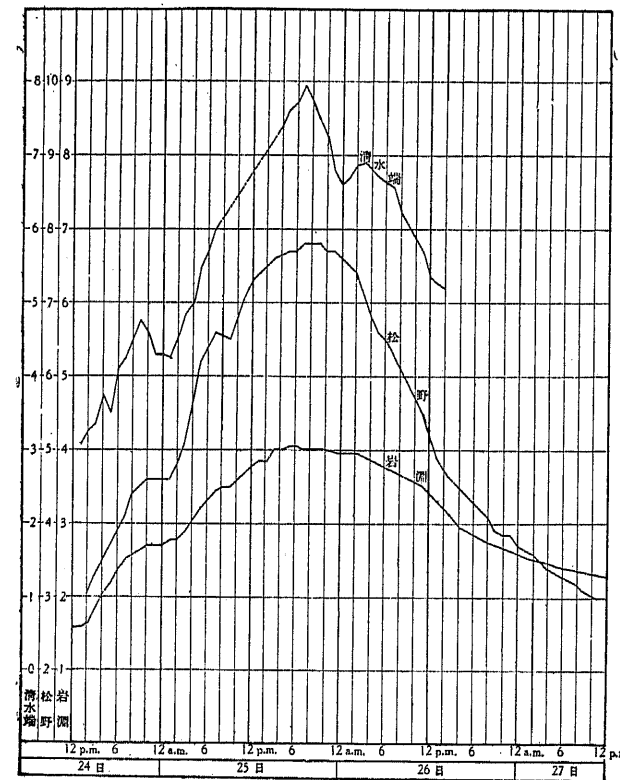
洪水の程度は流域面積が増大すると共に増大すべきものではあるが、流域が廣い場合にはその全流域に亘つて猛烈な降雨があるのは稀有の例外であるから、流域の小さい河川に比べて比較的洪水量が小さいのを常とする。流域の地形も亦洪水に密接な關係があつて、一定方向の風は流域の一部には降雨を齎すが、他の部分には降雨を起さない。例へば淀川流域の宇治川、木津川流

域に降雨を齎す風は桂川流域には降雨を起さず、桂川に出水を起す風は宇治川、木津川には出水を起さないのが既往の統計であるから、此の3川の洪水が合致することは絶対にないと考へてよい。又昭和10年9月利根川の大洪水は南東風による香妻川、碓氷川、烏川、神流川等の右岸支川の洪水に基因するものであつて、片品川、渡良瀬川、鬼怒川等の左岸支川は殆ど洪水を起してゐないのである。

而して洪水はその程度に應じて無堤地は勿論、有堤部にあつても溢流又は破堤の爲に堤内地に汎濫して、耕宅地、道路、鐵道、橋梁、家屋、農作物等を流失破壊せしめ、甚だしきは人畜の死傷をさへ伴ふ。所謂治水事業は専ら洪水の慘害を除却輕減することを以て目的とする。

#### 73. 洪水曲線

洪水曲線の一般の形は水位の上昇は最初は緩慢であるが次第に急激となり、再び緩慢となつて最高水位に達するを常とし、水位の下降も亦此の順序を逆に履むが故に一つの波形を表す。河川の最上流部であつて出水が1連続降雨に基因する場合には此の波形は正弦曲線に類する曲線となるが、下流に赴くに従つて河幅が増大する結果漸次波高を減ずるのみならず、水位の上昇は急激なるに反してその下降は次第に緩慢となるから、波形は歪められた形となり、水位下降中に再度の降雨の影響がある場合には曲線は更に不規則な形となる。



第72圖 富士川洪水曲線(昭和10年9月)

の最上流部であつて出水が1連続降雨に基因する場合には此の波形は正弦曲線に類する曲線となるが、下流に赴くに従つて河幅が増大する結果漸次波高を減ずるのみならず、水位の上昇は急激なるに反してその下降は次第に緩慢となるから、波形は歪められた形となり、水位下降中に再度の降雨の影響がある場合には曲線は更に不規則な形となる。

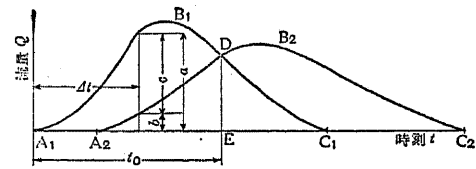
第72圖は昭和10年9月の出水に於ける富士川洪水曲線の例であつて、上流部では稍々正弦曲線に近い波形が見られるが、下流部に至るに従つて波高を減じ且波形が歪められる状態を示す。

又第73圖は昭和10年9月の記録的出水に於ける利根川筋各地の洪水曲線を示す。

74. 洪水量曲線

河川の1地點に於て時間を横距とし、流量の變化を縦距として描いた洪水量曲線も亦、前節の洪水曲線と類似の波形を表す。即ち2地點の間に支派川の合流又は分岐がないものとするれば、下流地點の洪水量曲線は上流地點のそれに比して波高を減じ、反對に波長を増すのであつて、波形の全面積従つて總流過水量には差違がないとしても、下流の最大流量は上流のそれよりも却つて減少する。是即ち兩地點間の河道、特に高水敷、遊水地等に貯溜せられる水量の結果に

外ならず、途中の貯溜水量が大なれば大なる程、下流の洪水曲線、洪水量曲線ともに扁平となるのである。



第74圖 洪水量の變化

のである。

第74圖に於て距離  $ds$  を隔てた2地點の洪水量曲線を  $A_1B_1C_1, A_2B_2C_2$  とし、兩地點の間に支派川の合流又は分岐なきものとするれば、兩波形の面積は同一である。

平水流量を基準として考へる場合には  $dt$

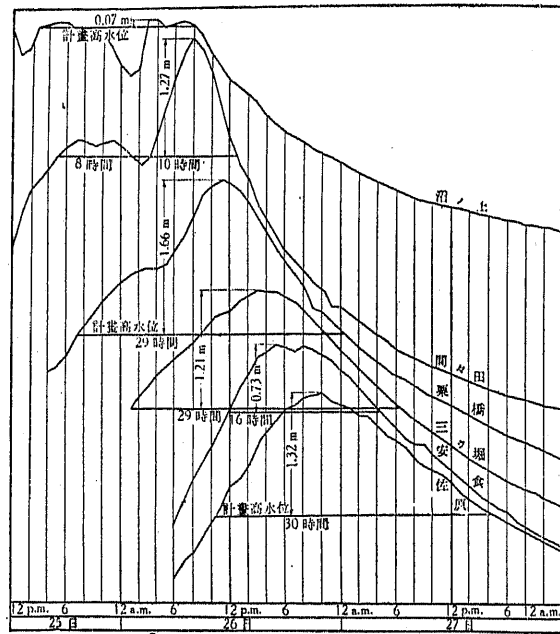
時後に於て、 $a$  は上流斷面から流入する流量、 $b$  は下流斷面から流出する流量であるから、 $a-b=c$  は兩斷面間に停滯する流量である。従つて兩波形の交點を  $D$  として鉛直線  $DE$  を描けば

$$A_1B_1DE = t_0 \text{ 時間に上流斷面から流入した總水量}$$

$$A_2B_2DE = \text{同下流斷面から流出した總水量}$$

$$A_1B_1DA_2 = \text{同兩斷面間に貯溜せられた水量}$$

を表す。而して  $ds$  が一定なる場合には兩地點間に遊水面積が多く、その間の貯溜水量が多い程  $A_1B_1DA_2$  の面積を増大すべきが故に、兩波形の交點  $D$  が低くなり、従つて波形  $A_2B_2C_2$  が扁平になるのである。



第73圖 利根川洪水曲線(昭和10年9月)

次に時間を横距とし平均流速を縦距として流速曲線を描けば、是も亦洪水曲線及び洪水量曲線に類似の波形を表す曲線となる。今是等3種の曲線の關係を求めんに、 $Q, A, V$  を夫々流量、斷面積、平均流速を表すものとするれば、 $Q, A, V$  は何れも時間  $t$  の函數と見做すことが出来る。

今  $dt$  時の斷面積の變動  $dA$  に伴ふ流量の變動を  $dQ$  とすれば

$$V dA = \pm dQ$$

又  $dt$  時の間に流水の移動する距離  $ds$  は  $V dt = ds$  であるから

$$\frac{dA}{dt} = \pm \frac{dQ}{ds}, \quad \therefore \frac{dA}{dt} = \frac{dQ}{ds} = 0 \dots \dots \dots (77)$$

$\frac{dA}{dt} = 0$  と置けば  $\frac{dQ}{ds} = 0$ 。茲に  $\frac{dQ}{ds} = 0$  は流量が最大に達してその變動のない場合か、或は上下流兩地點間に流量の變化のない場合を指す。従つて斷面積最大即ち水位最高の場合には、同時に流量も亦最大であるか、或は上下流兩地點間に流量の變化のない時であるから、最大流量が上流地點を通過して兩地點の中間にあるかの何れかである。即ち最大流量は最高水位と同時に起るか或は最高水位の前に起ることになる。

次に  $Q = VA$  と置けば

$$\frac{dQ}{dt} = A \frac{dV}{dt} + V \frac{dA}{dt} \dots \dots \dots (78)$$

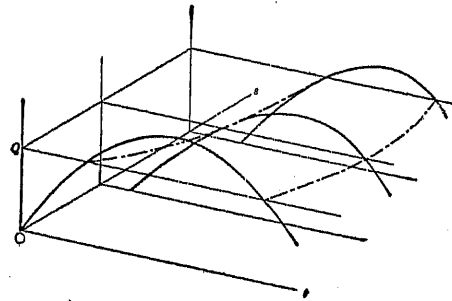
$\frac{dQ}{dt} = 0$  と置けば  $\frac{dV}{dt} = 0, \frac{dA}{dt} = 0$  であるか、或は最大流量の時は水位は猶上昇しつゝあつて  $\frac{dA}{dt} > 0$ 、従つて  $\frac{dV}{dt} < 0$  であるかの何れかである。 $\frac{dV}{dt} < 0$  は流速が減少しつゝあることを示す。

従つて流速、流量及び水位の3者は3者同時に最大若しくは最高となるか或は流速最大、流量最大、水位最高の順序に起るべきであつて、實際の洪水に當つて是等3曲線を描けばその間の關係を實證し得るのである。

75. 洪水波

洪水時河川に沿つた距離を横距に取り、各地點の同時水位を縦距として水面曲線を描けば一つの波形曲線が得られる。之を洪水波と言ふ。洪水波は順次上流から下流に移動するものであつて、波長が極めて長いのに比して波高が低く、特に下流に移るに従つて益々波長を増し波高を減じて扁平となる。

洪水が1連續降雨に基因し且大支川の洪水の到着に著しい遅速がない場合には洪水波は比較的簡單な波形をなすが、1洪水の減水中に更に次の洪水が現れたり、大支川の洪水の到着に著しい遅速がある場合には、洪水波は二つ以上の頂點を持つた複雑な形となる。



第75圖 洪水波の傳播

今洪水波の傳播を考へるに、第75圖に於て  $OQ, Os, Ot$  を直角座標軸とし、河川流路に沿ふ距離  $s$  の種々の値に對して各地點の洪水曲線を描けば、順次位相を異にする類似の曲線が得られる。 $OQ$  軸上に任意の  $Q$  の値を取り、 $Q$  を通過して  $Os, Ot$  軸に平行な平面を作れば洪水曲線の軌跡である曲面と此の平面との交線は一般に2本の曲線であつて、一は増水時に對

應し他は減水時に對應する。

此の曲線は  $Q$  なる流量の傳播速度を表す  $s$  及び  $t$  の函數であつて

$$Q = f(s, t)$$

同様に斷面積  $A$  も  $s, t$  の函數として表され

$$A = \phi(s, t)$$

$$Q \text{ を } t \text{ に就いて微分すれば } \frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial s} \frac{ds}{dt} + \frac{\partial Q}{\partial t}$$

$\frac{ds}{dt}$  は洪水波の傳播速度であつて之を  $\omega$  で表し、且  $t$  の變化による  $Q$  の變化がないものとするれば  $\frac{dQ}{dt} = 0$  であるから

$$\frac{\partial Q}{\partial s} \omega + \frac{\partial Q}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots(79)$$

$$\text{又(77)式から } \frac{\partial Q}{\partial s} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \dots\dots\dots(80)$$

$$\therefore \omega = \frac{\frac{\partial Q}{\partial t}}{\frac{\partial A}{\partial t}} = \frac{\partial Q}{\partial A} \dots\dots\dots(81)$$

即ち洪水波の傳播速度は流量の増加に正比例し、斷面積の増加に逆比例する。更に  $Q = VA$  であるから(78)式と同様に

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = A \frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial A}{\partial t} \dots\dots\dots(82)$$

$$\text{之を(81)式に代入して } \omega = V + A \frac{\frac{\partial V}{\partial t}}{\frac{\partial A}{\partial t}} = V + A \frac{\partial V}{\partial A} \dots\dots\dots(83)$$

故に  $\frac{\partial V}{\partial A}$  が正である限り  $\omega > V$  となり、理論上は

$$\omega = kV, \quad k = \frac{5}{4} \sim \frac{3}{2} \dots\dots\dots(84)$$

であるが、實際の  $\omega$  は高水敷や遊水地などの關係で却つて  $V$  よりも著しく小さくなる場合が多い。

次に河川斷面が矩形である場合には(64)式によつて

$$Q = C(h \pm z)^{\frac{3}{2}}$$

$$\therefore \frac{dQ}{dt} = \frac{3}{2} C(h \pm z)^{\frac{1}{2}} \frac{dh}{dt}$$

又  $A = bh$  であつて  $b$  が常數である限り  $\frac{dA}{dt} = b \frac{dh}{dt}$  であるから(81)式を用ひて

$$\omega = \frac{3}{2} \frac{C}{b} (h \pm z)^{\frac{1}{2}} = \frac{3}{2} \frac{C^{\frac{2}{3}}}{b} \sqrt{Q} \dots\dots\dots(85)$$

即ち  $\omega$  は  $Q$  の函數であつて、 $Q$  が大きい程  $\omega$  も亦大きいのである。又河川の改修工事が行はれて汎濫が防止されると、一定の洪水量に對して(81)式の  $\frac{\partial Q}{\partial A}$  が大きくなるから  $\omega$  が増大する。改修河川で洪水の疏通が早くなるのは此の理による。

洪水波傳播速度の實例は次表の通りである。

第39表 洪水波傳播速度

| 河 川   | 地 點    | 距 離<br>(km) | $\omega$<br>(km/hr) | 河 川 | 地 點     | 距 離<br>(km) | $\omega$<br>(km/hr) |
|-------|--------|-------------|---------------------|-----|---------|-------------|---------------------|
| デュランス | シャトウ   | 15          | 20                  | ライン | ライヘナウ   | 160         | 9.0                 |
|       | アルウ    | 50          | 15                  |     | ホーデン湖   |             |                     |
|       | マノスク   | 69.5        | 12.1                |     | バーセル    |             |                     |
|       | ミラボー   | 84.5        | 10.2                |     | ストラスブルグ |             |                     |
|       | メルチュイ  | 141         | 7.4                 |     | ビンゲン    |             |                     |
|       | ボンパス   |             |                     |     | ケルン     |             |                     |
| ロアル   | ロアンヌ   | 184         | 4~6                 | 利根川 | ウエーセル   |             | 5.6                 |
|       | ネヴェール  | —           | —                   |     | 山王堂     | 18.7        | 6.2                 |
|       | ビーダリエ  | 84          | 4.7                 |     | 妻沼      | 21.7        | 10.9                |
| ライクセル | ジャンミュン | 232         | 3~5                 | 飯野  | 12.6    | 1.4         |                     |
|       | ドゥンク   |             |                     | 栗橋  | 9.1     | 9.1         |                     |
|       | ワルシャウ  | 212         | 3~4.3               | 攪   | 14.3    | 2.4         |                     |
|       | トルン    | 174         | 5.4                 | 小山  | 8.5     | 4.2         |                     |
|       | ティルシャウ |             |                     | 三ツ堀 |         |             |                     |

此の外セイヌ河やソーヌ河が  $\omega = 4$  km/hr、ナイル河では 8 km/hr、ドナウ河はウルムとパッサウ間が 3.4 km/hr、パッサウとウーエン間が 4.8 km/hr、ハンガリーの平野では 0.6~0.7 km/hr に激減する。

我が國の河川が大陸の河川に比べて洪水波傳播速度が比較的に大きくないのは、我が國の改修河川が廣大なる幅員の高水敷を備へる結果かと推定せられる。



76. 洪水豫報

河川の上流地點に於ける雨量觀測又は水理調査の結果に基づいて、下流地點へ洪水の到着時間とその程度とを豫報することを洪水豫報と言ひ、正確なる洪水豫報が出来るならば下流地方の避難準備、水防準備等に裨益すること甚大で、洪水による損害を著しく軽減し得るのは明らかであるが、洪水豫報は困難な仕事であつて、その爲には永年に亙る豊富な觀測資料を必要とするのみでなく、流域の地形地勢地質その他の事情や氣象關係は河川毎に著しく異なるを以て一河川に就いての豫報の研究を直ちに取つて他の河川に應用することが出来ないのは勿論、豫報は極めて迅速に行はなければならぬから、特に急流河川に就いては豫報が甚だしく困難である。

洪水豫報の沿革は佛蘭西が最も古く、ベルグランド等の多年の研究によつて1856年にセイヌ河の洪水豫報が行はれたのを嚆矢として、1879年以來此の方面の研究に力を竭した結果、ロアル河、ガロンヌ河、ローヌ河、ソーヌ河、デュランス河、アルデーシュ河等を始め全國に亙る河川に洪水豫報が行はれ、現に全國に51箇所の豫報事務所、675箇所の水理調査所、1763箇所の雨量觀測所を有して、世界中で最も完備した組織を有してゐる。

獨逸ではハーラッヘル等がエルベ河に就いて洪水豫報の研究を行つて以來、エルベ、ライン、オーデルその他の河川に豫報が行はれ、その他伊太利のポー河、アルノー河、チベル河、米國のオハイヨ河、ミシシッピー河、埃太利のドナウ河等にも洪水豫報が行はれてゐる。特にドナウ河の如きはウェーン及び上流のリンツ、支川筋のザルツブルグを中心に洪水豫報用の電話線網が蜘蛛の巣の様に設置せられてゐるのは舊埃洪帝國の優れた文化施設として誇るに足るものである。

我が國では未だ洪水豫報の研究も組織も完備せず、特に我が國大多數の河川は急流であり、且流路が短い爲に、洪水の傳播が迅速で有效なる豫報を行ふことが困難な事情にあり、現在では直轄河川に就いては川筋の各量水標に警戒水位と言ふのを定めて置いて、此の水位を超えると水位の毎時觀測を行ひ、その結果を下流に報告して警戒せしめる位のことより行はれてゐないが、佛蘭西ではデュランスやアルデーシュの如き急流河川にすら洪水豫報の研究が完成してゐる位であるから、我が國でも利根川、信濃川、北上川、阿賀野川、木曾川などの如き大河川に就いては洪水豫報を行ひ得る餘地があると思ふ。

洪水豫報の方法には種々ある。

1) 水位法 上流筋及び主なる支川筋の量水標の最高水位と下流地點の最高水位との關係を既往の洪水から調査して一定の公式を作製し、之によつて上流の洪水から下流の洪水を豫報するもの。

公式は  $h$  を下流の最高水位、 $h_1, h_2, h_3, \dots$  を上流測點の水位、 $a, b, c, \dots$  を常數として通例次の形で表される。

$$h = a + b h_1 + c h_2 + \dots \dots \dots (86)$$

伊太利ポー河では上流筋ベツカ、支川筋レッコ及びサルニコの最高水位を夫々  $h_1, h_2, h_3$  とし、ボンテラゴスキュロの最高水位を次式で表してゐる。

$$h = -0.50 + 0.155 (7.5 h_1 + h_2 + h_3 - 31.10)$$

又淀川に就いて坂本博士が研究したものは、淀川本川枚方の量水標最高水位を  $h$ 、支川木津川筋加茂量水標及び桂川筋天龍寺量水標最高水位を夫々  $h_1, h_2$  として

$$h = -0.159 + 0.490 h_1 + 1.067 h_2$$

水位法は比較的正確なる結果を與へるが、上流測點から下流地點までの洪水の傳播に相當の時間を要する場合でなければ豫報が有效でない。

2) 流量法 上流地點の最高水位を觀測して流量曲線から流量を求め、之を下流地點に通報して同じく流量曲線から逆にその地點の最高水位を推定するもの。

六なる支川がある場合にはその支川筋にも殆ど同一の時間内に洪水が下流地點に到達する距離に測點を設ける。例へばエルベ河では上流のブランディス、支川モルダウ河筋のプラーグ、エーゲル河筋のラウンの流量の和に10%の餘裕を付けて下流テッチェンの流量を求め、その水位を定める。

3) 比較法 上流地點の主なる量水標の最高水位と下流地點の量水標の最高水位との關係、及びその間の洪水傳播の時間を永年に亙つて調査して完全な統計を作り、之によつて洪水豫報を行ふもの。

理論上最も正確であつてエルベ河などに用ひられ、我が國の河川でも此の原理に基づいて豫報を行つてゐる。

4) 雨量法 急流河川で水位觀測に基づく豫報の餘裕がない場合に流域内の雨量から下流に洪水を豫報するもの。

此の方法では洪水前の河川の水位によつて當時流域の土壤が乾濕何れであつたかを推定して更正を加へなければ、非常な誤謬に陥る虞がある。河川が一定の水位以上の時は全雨量は河川に流出するが、此の水位以下の時は雨量の一部は滲透して洪水からは除外せられる。此の限界水位を飽和水位と呼ぶ。

下流の洪水位を  $h$ 、當初水位を  $h_0$ 、飽和水位を  $h_1$ 、全雨量を  $R$  とし、 $a, b$  を常數とすれば次の様な形の公式が洪水豫報の爲に用ひられる。

$$h - h_1 = a [R - b (h_1 - h_0)] \dots \dots \dots (87)$$

例へばデュランス河に於て中流部のシステルンの雨量から下流ミラボーの洪水を豫報するに、ミラボーの飽和水位を  $h_1 = 1.90 \text{ m}$  として

$$h-1.90=0.05[R-13(1.90-h_0)]$$

が採用せられてゐるが、此の外にも上流地点の雨量とその継続時間とから既往の統計によつて下流の洪水を豫報することもある。

### 77. 洪水の利害

洪水が一定の河道内に局限せられる場合にはその損害は殆ど論ずるに足りないが、河道から湛溢して兩岸に汎濫する場合には前述の如く甚大なる被害を醸す。然しながら洪水は一面に於ては利益を齎す場合もある。洪水が上流から微細なる肥土を運んで汎濫区域内の農耕地を肥す場合は頗る多く、ナイル河下流の沃野は實にナイル河汎濫の賜であるのは普く人の知る所である。

此の故に獨逸、佛蘭西、伊太利などの大陸諸國では人工的に不毛の荒蕪地に洪水を誘引して沈澱を起させ、肥沃なる農耕地を造成する様な方法が行はれてゐる。佛蘭西のドオスの如きは此の見地から堤防による洪水防禦に反對して、洪水はその流速さへ緩慢ならば汎濫地に損害を與へないばかりか、却つて農耕地に肥料を沈澱する利益さへある。堤防を作つて一朝破堤した場合には高流速の汎濫を起すからその被害は激甚となり、且農耕地を土砂で埋める點に於て損害を倍加すると主張した。事實佛蘭西や獨逸には我が國の利根川、荒川、淀川、信濃川の如き大堤防は見當らないのであるが、此の主張に對しては少くとも我が國では有力なる反駁理由がある。

a) 佛蘭西あたりの河川に比べると我が國の河川は概して急流河川であるから、汎濫の爲に肥料を沈澱せられる利益よりも砂礫で耕地を荒廢せしめられる損害の方が遙かに大きい。b) 佛蘭西や獨逸は冬の洪水が多いから耕地に汎濫しても農作物の損害は殆どないが、日本の洪水は夏秋の交が多いから汎濫によつて收穫期の農作物に致命的損失を蒙る。c) 特に我が國は家屋や橋梁などの構造が木造が多いから、汎濫の爲に是等の工作物が損害を受ける程度は獨逸や佛蘭西などの諸國より甚だしい。

即ち上流の木橋を流し家屋を流し立樹を根こぎにして押流し、夥しい砂礫を運んで來る我が國の洪水は堅牢なる堤防によつて一定の河道内に局限することが治水の要諦なのである。

## 第五章 河水涵養

### 78. 河水涵養

河川の水源をなすものは原則として降水であるが、降水が地表水又は地下水の形になつたものも亦河川の水源となる。斯く降水、地表水又は地下水によつて河川の水源に補給することを河水の涵養又は水源の涵養と呼ぶ。

流域内の降水の一部は地上又は樹上から蒸發し、他の一部は地中に滲透する。滲透水の一部は樹根から吸收せられ、殘部は地下水となるのであるが、地下水は同一流域内に於て再び地表に現れて河川に流入するものと、流域外に流出して他の河川に注ぐものがある。逆に他の河川の流域に降つた降水が地下を流れてその河川に注入することもあり、此の故に地表流域と地下流域とが區別して考へられる。

故に一つの流域内の降水の内直接間接に蒸發し去るものと、樹根に吸收せられるものと、滲透の結果他の流域に流出するものとを控除した殘部の水と、逆に他の流域から流入する地下水との和がその流域内の河水を涵養することになるのである。

河水の涵養に天然涵養と人工涵養との兩意義がある。前者は上述の關係によつて自然的に定るものであるが、後者は此の自然的關係に對して人類の便益の爲に修正を加へ、調節を施す工作である。例へば流域に植林を施し林相を改良して降水の一部を貯溜し、一時に河川に殺到するのを妨げて洪水量を輕減すると同時に、平水量乃至濁水量を増加せしめ、以て治水並びに利水兩全の策を講ずるが如きがそれであつて、一般に水源涵養と呼ばれるものは此の種の涵養である。

今天然涵養に就いて考へるに、降水は河川涵養の源泉たるべきものであるから降雨期には河川の水位が高く流量が多いのは當然であるが、降雪期には降雪は直ちに河川に流入せず、晩春初夏の融雪期に於て始めて地表水の形に變ずるのであるから、一般に河川の水位が低く流量が少ない。従つて我が國の河川には毎年5~7月の夏の渇水期と、12~2月に亙る冬の渇水期とがあり、渇水の程度は夏季が甚だしいが渇水期間は冬が長いのが通例である。

斯くの如く河川の水量は降雨の季節的分布に従つて著しく變動するものであるが、地下水の流量には殆ど變動がないと見てよい。従つて主として地下水に涵養せられる河川には四季を通じて流量に激變がないのである。例へば富士山麓の火山灰帯水層を水源とする狩野川支川の柿田川(三島町附近)の如きは殆ど流量に變化がなく、約12 m<sup>3</sup>/secの定流量を有する。

冬季の渇水は降雨が少ないことが根本原因であるが、夏季の渇水は必ずしも然らず、雨量の少いことの外に、假令相當の降雨があつても気温が高い爲に蒸發が盛であるのと、灌漑の爲に廣く河水の引用が行はれる爲とである。

是は外國の河川でも同様であつて例へばベルグランドの調査に従へばセイヌ河の如きは夏季は雨量が多いが、蒸發が盛である爲に河川の流量が少く洪水を起すことが少いのを以て、冬季の雨は洪水を起す危険が多いのである。

### 79. 森林の效果

河水涵養の人為的工作は主として森林を造成するにあるが、而も水源涵養上の森林の效果に就

いては古來學者によつて説を異にし、同じ佛蘭西であつてもドウスは森林を有益なりとし、ベルグランドは之を無益なりとした。蓋し此の問題は治水、利水兩方面から各別に研究せられなければならない。

今開敞地と森林地とに於ける雨量と地表水との關係を検討するに、地面蒸發は開敞地 100 に對して森林地約 40 の比であるから、大體に於て次の様な地表水の百分率が得られる。

第 40 表 雨量と地表水

| 地 目     | 開 敞 地 | 森 林 地 |
|---------|-------|-------|
| 雨 量     | 100   | 100   |
| 枝葉よりの蒸發 | 0     | 20~25 |
| 地 面 蒸 發 | 75    | 30    |
| 滲 透     | 20    | 25    |
| 地 表 水   | 5     | 20~25 |

即ち森林地の地表水は開敞地のその 4~5 倍に達し、而もこれだけの水量は一時に河川に流入するのではなく徐々に地表を流下するのであるから、河川の流量を潤澤にすると同時に之を均分するものであつて、少くとも舟運、灌漑、發電その他利水上の見地から相當の効果があることが認められる。此の點は森林の與へる利益である。

但し治水上の見地からは問題が變る。學者中には治水に對する森林の効果に就いて過當の信を置く者が無いではないが、少くとも地表水を増加することは治水上からは却つて有害であつて、要は森林が地表水の流過を抑制する能力如何に懸る。此の能力を無視することは固より大なる誤であつて、例へば 20~30 mm 程度の雨量であればそれが特に短時間の豪雨でない限り、森林に抑制せられて河川を漲溢せしめるに至らないのは明白であるが、我が國の洪水の如く連續 200~400 mm と言ふ様な強雨の場合、特に急峻なる地勢に於ては森林は殆どその調節能力を失ふばかりか、河岸山地崩壞の結果として根こぎにされた樹木が河川に押流されて下流の被害を激成することになるのは昭和 9 年 7 月の石川縣手取川、同 10 年 6 月の京都府鴨川の水害に徴しても極めて明瞭である。

此の故に治水に及す植林の効果に對しては、餘りに多くを期待し得ないのが我が國の現状であるが、その中小洪水を調節する機能と、平時急傾斜の山腹を保護して土砂の崩壞流出を防止する効果とは之を没却することは出來ず、河岸に接近した傾斜地の樹木は却つて洪水の疏通を妨げたり、洪水の場合に下流に押流される危険があるから之を禁止しなければならないが、水源山地の植林は利水上は勿論治水上からも大いに之を獎勵すべきである。

### 80. 流 出 量

一定期間内に流域から流出する水量の總和を河川の流出量と言ひ、時間を横距とし流出量を縦距として描いた曲線を流出量曲線と言ふ。流出量  $R$  は流量  $Q$  を時間  $t$  の函數、即ち  $Q=f(t)$  とした場合には次式で表される。

$$R = \int Q dt = \int f(t) dt \dots\dots\dots (88)$$

流出量曲線は水力發電等に於て貯水池の調節能力を定める爲に調節曲線を描く場合などに利用せられる。

河川の流出量は流域内の雨量、蒸發、滲透並びに流域面積に密接な關係があるのみでなく、地勢、地質等にも影響せられる。流出量を雨量、蒸發、滲透等と比較する爲に、之を全流域面積で除して水の高さに換算したものを流出高と呼び、雨量と同じく mm を單位として表される。

今流域の平均雨量を  $h$ 、蒸發量を  $ah$ 、滲透の結果流域外に流出したり、又は樹根に吸收せられて失はれる水量を  $\beta h$  で表せば流出高  $rh$  は

$$h = ah + \beta h + rh$$

$$rh = h - (a + \beta)h \dots\dots\dots (89)$$

$(a + \beta)h$  は雨量の中河川を涵養しない部分であるから之を消失高と呼び、流出高  $rh$  は雨量の内直接間接に河川を涵養する部分であるから之を有效雨量とも言ふ。

ベックの研究によれば年雨量  $h$  と年流出高  $rh$  との間には  $a, b$  を常數として次の關係がある。

$$rh = a(h - b) \dots\dots\dots (90)$$

例へば 600 mm 以上の年雨量に對してライン河、ウェーゼル河及びエルベ河左岸流域に對しては

$$rh = 0.3(h - 380)$$

オーデル河及びエルベ河右岸流域に對しては

$$rh = 0.4(h - 470)$$

我が國では富士川の清水端で調査した結果が

$$rh = 0.72(h - 151)$$

(89)式の  $r$  は流出高と雨量との比であつて、之を流出率又は流出係數と言ひ、 $(a + \beta)$  は消失高と雨量との比であつて、之を消失率又は消失係數と呼ぶ。

流出量は原則として雨量より小さくなければならないのであるが、短期間の觀測に於ては却つて流出量が雨量よりも大きくなる場合がある。即ち他流域からの地下水の流入を度外視するとしても、前月の降雨が今月河川に現れるが爲に今月降雨が少いに拘らず河川の流量が多い様な場合が起り得るのであつて、例へばエルベ河の上流シャングウの觀測では 5 月の降雨の 17% が 5 月に、8% が 6 月に、合計 25% が流出したと推定せられてゐる。従つて雨量と流出高乃至消失高とを比較する場合には、兩者の觀測期間の間に適當に位相の差を設ける必要がある。同理によつて期間を 1 年とする場合でも必ずしも曆年によらず、地表又は地中に蓄積せられる水量の最少なる時期を 1 年の始とするのが適當であつて、之を水年又は水文年と呼ぶ。

水年の始を何月にするかは水理學者によつて説を異にし、又降雨期や降雪期の如何によつて之

を變へるのを至當とするが、渇水期から起算するのが理論上最も適當であるから我が國では降雪の少い地方では冬季の渇水期を取つて曆年を用ふるも差支がなく、積雪地方では融雪の終る夏季の渇水期を取つて6月乃至7月を水年の始とするのが適當である。

81. 流出率

流域面積を  $A(\text{km}^2)$ , 1 水年の流域平均雨量を  $h(\text{mm})$ , 流出高を  $rh(\text{mm})$ , 總流出量を  $R(\text{m}^3)$ , 年平均流量を  $Q_0(\text{m}^3/\text{sec})$  とすれば(88)式を用ひて

$$rh = 0.001 \frac{R}{A} = 0.001 \frac{\int Q dt}{A} \dots\dots\dots (91)$$

然るに  $Q_0 = \frac{\int Q dt}{865 \times 24 \times 60^2} = \frac{\int Q dt}{31\,536\,000} \dots\dots\dots (92)$

従つて  $\int Q dt = 31\,536\,000 Q_0$   
 $\therefore r = \frac{31\,536 Q_0}{hA} \dots\dots\dots (93)$

或は  $Q_0 = 0.000\,032 rhA \dots\dots\dots (94)$

例へば揚子江に於て  $A=1\,872\,000 \text{ km}^2$ ,  $h=1\,000 \text{ mm}$ ,  $r=0.40$  とすれば  $Q_0=23\,960 \text{ m}^3/\text{sec}$ , 又富士川の松野に於て  $A=3\,650 \text{ km}^2$ ,  $h=1\,500 \text{ mm}$ ,  $r=0.80$  とすれば  $Q_0=140 \text{ m}^3/\text{sec}$  となる。

流出係数  $r$  の値は地方によつて著しく相違し、同一河川にあつても地點により、時期によつて相違する。一般に温暖なる時期及び地方では流出率が小さく、寒冷なる時期及び地方では流出率が大きい。又雨量の多い地方では雨量の少い地方に比して流出率が大きく、ヂャスティンは次の如き流出率の値を發表してゐる。

$$r = 0.0368 S^{0.165} \frac{h}{1.8t + 32} \dots\dots\dots (95)$$

茲に  $S$  は流域平均勾配にして標高の差を流域面積の平方根で除して算出したもの、 $h$  は年雨量 (mm),  $t$  は年平均気温 (C) を表す。

第41表 獨逸河川の流出率

| 河 川   | 地 點         | 流出率 (%) |        |
|-------|-------------|---------|--------|
|       |             | 夏季 (%)  | 冬季 (%) |
| メーメル  | チルシット       | 20.6    | 56.2   |
| ウエーセル | フェルテン       | 21.1    | 52.5   |
| エムス   | ハーゼン河口      | 16.3    | 65.5   |
| ライグセル | モンタウアーシュピツェ | 16.1    | 42.8   |
| 平 均   |             | 19.0    | 53.5   |

出率を算出した結果は第41表の通りである。

流出率は年によつて相違し、

第42表 エルベ河の流出率

エルベ河のシャングウでは1877~1898年の17年間の観測に於て  $r=0.26 \sim 0.34$  の間に變化してゐる。

| 地 名      | 年雨量 (mm) | 消失高 (mm) | 流出高 (mm) | 流出率 (%) |
|----------|----------|----------|----------|---------|
| シヤングウ    | 683      | 478      | 196      | 28.7    |
| トルカウ     | 607      | 432      | 175      | 28.8    |
| マグテブルク   | 610      | 437      | 173      | 28.4    |
| アルトレンブルク | 601      | 434      | 167      | 27.1    |
| 平 均      |          |          |          | 28.3    |

又流出率が観測地點によつてその値を異にする一例は第42表の如くである。

第43表 英國河川の流出率

我が國の富士川では清水端で  $r=0.51 \sim 0.72$ , 平均 0.63, 松野で  $r=0.74 \sim 0.97$ , 平均 0.83 と観測せられてゐる。

| 年雨量 (mm)    | 消失高 (mm) | 流出高 (mm)    | 流出率 (%)   |
|-------------|----------|-------------|-----------|
| 500         | 300      | 200         | 40.0      |
| 750         | 400      | 350         | 46.7      |
| 1 000       | 475      | 525         | 52.5      |
| 1 500~1 750 | 500      | 1 000~1 250 | 66.7~71.5 |

次に流出率が雨量によつて異なる實例は第43表の通りである。

又世界の著名なる河川の年流出率の平均値は次表の通りである。

第44表 世界著名河川の流出率

| 河 川                                    | 流域面積 (km <sup>2</sup> ) | 年雨量 (mm) | 流出高 (mm) | 消失高 (mm) | 流出率 (%) |
|--|-------------------------|----------|----------|----------|---------|
| 1) 寒帯地方 (年平均気温 $t=2^\circ \text{C}$ )  |                         |          |          |          |         |
| ネ ヴ ァ                                  | 251 460                 | 532      | 374      | 158      | 70.3    |
| オ ビ                                    | 2 943 130               | 300      | 67       | 233      | 22.4    |
| グ ロ ン メ ン                              | —                       | 620      | 461      | 159      | 74.4    |
| ニ ル ド                                  | —                       | 1 080    | 882      | 198      | 81.7    |
| 2) 温帯地方 (年平均気温 $t=10^\circ \text{C}$ ) |                         |          |          |          |         |
| メーメル                                   | 91 250                  | 579      | 196      | 383      | 33.9    |
| ライグセル                                  | 193 010                 | 620      | 158      | 462      | 25.5    |
| オーデル                                   | 118 610                 | 641      | 151      | 490      | 23.6    |
| エーデル                                   | 134 940                 | 601      | 167      | 434      | 27.8    |
| ウエーセル                                  | 37 910                  | 713      | 247      | 466      | 34.7    |
| ライグ                                    | 201 590                 | 830      | 367      | 463      | 44.2    |
| ヴォルガ                                   | 1 409 330               | 463      | 146      | 317      | 31.6    |
| ドニ                                     | 430 250                 | 403      | 66       | 337      | 16.4    |
| ドナウ                                    | 804 200                 | 749      | 243      | 506      | 32.5    |
| ボ                                      | 74 970                  | 1 028    | 677      | 351      | 65.9    |
| チベ                                     | 18 190                  | 932      | 506      | 426      | 54.3    |
| ロー                                     | 98 280                  | 1 096    | 399      | 697      | 36.4    |
| セイ                                     | 76 760                  | 749      | 208      | 540      | 27.8    |
| ロー                                     | 121 240                 | 762      | 256      | 506      | 33.6    |

| 河 川      | 流域面積(km <sup>2</sup> ) | 年雨量(mm) | 流出高(mm) | 消失高(mm) | 流出率(%) |
|----------|------------------------|---------|---------|---------|--------|
| ガ ロ ン マ  | 84 910                 | 751     | 415     | 336     | 55.3   |
| セントローレンス | 1 029 340              | 775     | 295     | 480     | 38.1   |
| 白 河      | 209 660                | 525     | 38      | 487     | 7.3    |
| 黄 河      | 863 390                | 433     | 86      | 347     | 19.8   |
| 揚 子 江    | 1 872 360              | 935     | 366     | 569     | 39.1   |
| ミシシッピ    | 3 325 760              | 757     | 178     | 579     | 23.5   |
| コ ロ ラ ド  | 706 040                | 254     | 44      | 210     | 17.4   |
| ム レ ー    | 956 520                | 588     | 63      | 525     | 10.6   |
| オリファン    | 67 402                 | 206     | 42      | 164     | 20.4   |

3) 熱帯地方 (年平均気温  $t=24^{\circ}\text{C}$ )

|           |           |       |       |       |      |
|-----------|-----------|-------|-------|-------|------|
| ガ ン ダ ス   | 1 581 200 | 1 932 | 758   | 1 173 | 39.4 |
| イ ン ダ ス   | 927 430   | 451   | 193   | 258   | 42.7 |
| メ コ ン グ   | 923 090   | 1 156 | 154   | 1 002 | 13.3 |
| イ ラ ワ ナ   | 430 970   | 2 080 | 993   | 1 087 | 47.8 |
| ナ イ ル     | 2 842 340 | 826   | 35    | 791   | 4.3  |
| ラ プ ラ タ   | 2 928 230 | 1 200 | 431   | 769   | 35.9 |
| オ レ ン ザ   | 830 330   | 404   | 110   | 294   | 27.2 |
| コ ン ゴ ー   | 3 722 867 | 1 323 | 508   | 815   | 38.4 |
| ニ シ ュ ル   | 1 586 090 | 1 519 | 567   | 952   | 37.3 |
| ア マ ン ン   | 5 780 280 | 1 967 | 546   | 1 421 | 27.7 |
| オ リ ノ コ   | 1 086 210 | 1 290 | 407   | 883   | 31.5 |
| マ グ ダ レ ナ | 266 000   | 1 341 | 889   | 452   | 66.3 |
| サン・カルロス   | —         | 3 892 | 2 903 | 989   | 74.6 |

我が國の河川に就いては流出率の測定せられたものが少ないが、次にその数例を示す。

第45表 本邦河川の流出率

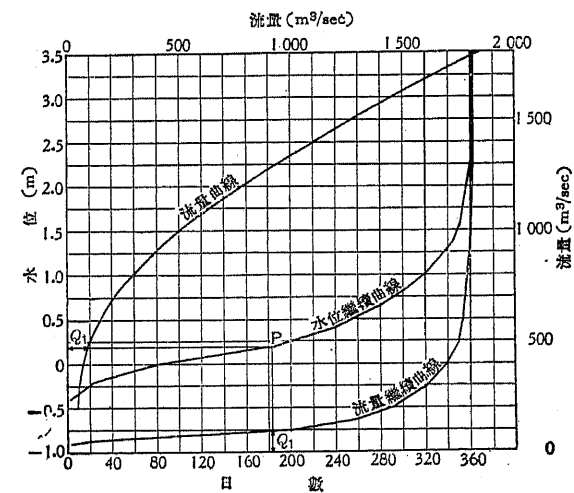
| 河 川   | 地 點     | 雨量(mm) | 流出高(mm) | 流出率(%) |
|-------|---------|--------|---------|--------|
| 石 狩 川 |         | 1 069  | 1 022   | 98.2   |
| 富 田 川 |         |        |         | 75.0   |
| 富 士 川 | 清 水 端 野 | 1 182  | 742     | 62.8   |
|       | 清 水 端 野 | 1 439  | 1 259   | 84.5   |
| 清 川 江 | 北 院     | 988    | 626     | 62.2   |
| 大 同 江 | 成 川     | 1 072  | 545     | 49.9   |
|       | 三 登     | 1 057  | 629     | 58.8   |
| 載 寧 江 | 内 壑 洞   | 807    | 565     | 70.0   |
| 臨 津 江 | 漣 川     | 1 267  | 950     | 73.5   |
| 漢 江   | 東 良     | 1 187  | 886     | 70.2   |
|       | 虎 鳴     | 1 417  | 736     | 51.9   |
| 錦 山 江 | 安 南     | 1 168  | 523     | 43.0   |
|       | 馬 勤     | 1 233  | 489     | 39.8   |
|       | 羅 州     | 1 328  | 692     | 49.4   |

| 河 川   | 地 點 | 雨量(mm) | 流出高(mm) | 流出率(%) |
|-------|-----|--------|---------|--------|
| 洛 東 江 | 洛 東 | 806    | 597     | 73.9   |
|       | 倭 館 | 1 068  | 486     | 45.8   |

但し年平均流出率は治水上には殆ど利用の途がない。治水上又は下水道の設計上などに必要とせられるものは短期間の豪雨の流出率である。その測定は更に困難であつて資料に乏しいが、地勢が相當に急峻なる場合及び舗装などの爲に滲透が特に少い場合には 80~100% の流出率の値が用ひられる。

82. 平均流量

河川の年平均流量  $Q_1$  は(92)式を用ひて流出量曲線から、(94)式を用ひて流出高から、或は1年間に亙る時間流量曲線即ち流量圖を描き、その平均値を求めて之を算出し得る外、正確な水位流量曲線と水位繼續曲線(第55節)とがあれば、之を用ひて第76圖の如き流出曲線又は流量繼續曲線を描いて之を求めることも出来る。



第76圖 流量繼續曲線

即ち第76圖に於て水位繼續曲線上の任意の1點 P を取つて横線を描き、之と流量曲線との交點から、その水位に相當する流量  $Q_1$  を求める。P から下した縦線上に流量  $Q_1$  を取り、繼續曲線上の他の點に就いても同様の作圖を施せば回数又は日数を横距とし、流量を縦距とした曲線が得られる。是即ち流出曲線であつて、圖に於ては  $Q_1$  以下の流量の日数が180日であることを示す。流出曲線は流量とその繼續期間との關係を示したものであるから、之と縦横軸との間の面積は年流出量を表し、之を1年に平均すれば年平均流量が求められる。

平均流量は平均水位に於ける流量とはその意義と數値とを異にし、一般に流量は  $h^n$  の函数であつて水位の高い時の流量は水位の低い時の流量よりも著しく増大するから、平均流量は平均水位に於ける流量よりも  $\frac{1}{4} \sim \frac{1}{5}$  位大きいのを常とする。

83. 高水流量

河川改修の計畫を立てるに當つてその最大高水流量を決定することは最も重要であると同時に最も困難なる問題である。之を計量高水流量と呼び通例次の様な方法によつて之を定める。

1) 流量曲線による方法 河川の一定地點に於て種々の水位に對する流量を測定して完全な流量曲線を作り得た場合には、既往の最大洪水水位を調べてその水位に對應する流量を流量曲線から求める。此の方法は最も合理的な方法であるが比較的水位の低い時期の観測資料から作った曲線を無制限に高水位に延長することに危険があり、又その地點の上流で破堤があつて洪水が汎濫した場合の既往の洪水水位は、改修の結果汎濫が防止せらるれば相當に高くなるのが當然であるから、之を考慮して既往の洪水水位に修正を加へなければ誤謬に陥る危険がある。

2) 雨量による方法 流域内の各地點に於ける雨量観測の結果から全流域に於ける一定時間内の總雨量  $h$  を見出し、之に適當なる流出係数を乗じて有效雨量  $\gamma h$  を計算し、是が一定時間内に河川の1地點を流過するものとして

$$Q_{max} = \frac{\gamma h A}{t} \dots \dots \dots (95)$$

から最大流量を求める。例へば連續24時間の豪雨が  $t=6\sim 8$ 時間 で流過し終るものとして  $Q_{max}$  を計算するが如きがその例であるが、大河川には殆ど採用せられない。

3) 比流量による方法 實測その他によつて高水流量の確定した河川に就いて、その流域單位面積當りの高水流量即ち比流量  $q_0$  を算出し、流域の雨量、地勢、地質、地表状態、林相などの類似する河川を求めて

$$Q_{max} = q_0 A \dots \dots \dots (96)$$

から最大流量を求める。正確を缺く憾はあるが、大體の標準を知るには最も適當である。

4) 洪水痕跡による方法 家屋、電柱、華表などの様な地上物件に印せられた既往の洪水痕跡を求めてその水面勾配を計算し、別に適當に流水斷面積を推定し(24)式の如き公式を用ひて流量を算定する。是は多くの場合汎濫洪水の痕跡を調査することになるから流水斷面積の推定が極めて困難であつて、その結果に充分の信を置き難い。

5) 公式による方法 河川の最大流量を求める爲には種々の公式が案出せられてゐる。

溪谷の長さ 10 km までの河川に對してワイラウフの提出した公式は

$$Q_{max} = 4.2 n_1 n_2 n_3 n_4 A \dots \dots \dots (97)$$

であつて、 $A$  は流域面積を表し、係數  $n_1 \sim n_4$  は第46表の如き値を有する。

第46表 ワイラウフ公式の係數

| 溪谷の長さ(km) | $n_1$ | 林 相      | $n_2$ | 傾 斜   | $n_3$ | 滲透性    | $n_4$ |
|-----------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 0~2       | 1.00  | 無 林 地    | 1.0   | 極めて急峻 | 1.00  | 不 滲透 質 | 1.0   |
| 3         | 0.90  | 25 % 林 地 | 0.9   | 急 峻   | 0.95  | 僅に滲透質  | 0.9   |
| 4         | 0.83  | 50 % 林 地 | 0.8   | 中位に急峻 | 0.90  | 中位に滲透質 | 0.8   |
| 5         | 0.75  | 75 % 林 地 | 0.7   | 一部急峻  | 0.85  | 極めて滲透質 | 0.7   |
| 6         | 0.68  | 林 地      | 0.6   | 極めて平坦 | 0.80  |        |       |
| 7         | 0.63  |          |       |       |       |        |       |
| 8         | 0.58  |          |       |       |       |        |       |
| 9         | 0.53  |          |       |       |       |        |       |
| 10        | 0.50  |          |       |       |       |        |       |

ホフマンが 300 km<sup>2</sup> までの流域の河川に對して制定したものは

$$Q_{max} = \frac{mA}{\sqrt[3]{1+A}} \left(1 - 0.4 \frac{A_w}{A}\right) \dots \dots \dots (98)$$

であつて、 $A_w$  は林地面積、係數  $m$  は平均勾配 3% 以上の場合  $m=4.5$ 、2~0.5% の場合  $m=3.75$ 、0.5% 以下の場合  $m=3.00$  とする。

又次の如き公式が用ひられることもある。

$$Q_{max} = \beta A^n, \quad n < 1 \dots \dots \dots (99)$$

ライズによれば  $n = \frac{2}{3}$ 、ディッケンスによれば  $n = \frac{3}{4}$  であるが、ホフバウエルによれば  $n = \frac{1}{2}$  であつて、 $B$  は平坦地が  $\beta=15\sim 21$ 、丘阜地及び低山地が  $\beta=21\sim 30$ 、高山地が  $\beta=30\sim 42$  である。

チャクソンは  $B$  を流域の幅、 $l$  を河川の長さとして

$$Q_{max} = C \frac{B}{l} A^{\frac{2}{3}} \dots \dots \dots (100)$$

ボセンチは伊太利の河川に對し、 $h_1$  を24時間の最大雨量、 $A_m$ 、 $A_p$  を夫々流域内の山地及び平地面積として

$$Q_{max} = C \frac{h_1}{l} \left(A_m + \frac{A_p}{3}\right) \dots \dots \dots (101)$$

又(95)式に類似するものに次の如き公式もある。

$$Q_{max} = \frac{5}{18} \gamma h A \dots \dots \dots (102)$$

茲に  $\gamma=0.8$ 、 $h$  は最大時雨量 (mm)、 $A$  は流域面積 (km<sup>2</sup>) を表す。流量  $Q_{max}$  は m<sup>3</sup>/sec の單位で表されたものであるから (102) 式は1時間の降雨が同じく1時間で河川を流過する假定に基づくのである。

以上の公式は何れも小流域の小河川に就いて適用せられ、且流量の取り方が比較的小さいから治水上の目的には採用し兼ねる。

大流域の河川に對する公式としては

$$Q_{max} = \frac{3A}{(1+A)^{0.29}} \cdot 3A^{0.71} \dots (103)$$

$$Q_{max} = \alpha \frac{30A}{0.5 + \sqrt{A}} \dots (104)$$

の如き公式がある。後者はクレスニックの公式であつて、 $\alpha$ は 0.6~6.0 の間に變化し、獨逸に於ける最大値は  $\alpha=3.0$  であると言ふ。

以上の諸法は何れも正確な數字を與へるものではないから、各種の方法を用ひて算出した結果を比較してその間に適當な値を見出し、之に多少の餘裕を附し計畫高水量を決定するのである。

次表は外國諸河川の洪水量を示す。

第47表 外國諸河川洪水量

| 河 川   | 地 點         | 流域面積 (km <sup>2</sup> ) | 洪水量 (m <sup>3</sup> /sec) | 比流量 (m <sup>3</sup> /sec/km <sup>2</sup> ) |
|-------|-------------|-------------------------|---------------------------|--|
| メーメル  | チルシット       | 91 000                  | 6 320                     | 0.069                                      |
| ワイグセル | クラカウ        | 7 900                   | 2 140                     | 0.270                                      |
|       | モンタウアーシュピツェ | 192 814                 | 10 440                    | 0.054                                      |
| オーデル  | ラチボル        | 6 698                   | 1 550                     | 0.232                                      |
|       | コーゼル        | 9 103                   | 1 400                     | 0.154                                      |
|       | アレストラウ      | 22 600                  | 2 450                     | 0.108                                      |
|       | ニードルグリーツェン  | 110 000                 | 3 260                     | 0.029                                      |
| エルベ   | メルニツク       | 41 810                  | 4 300                     | 0.103                                      |
|       | テッチェン       | 51 000                  | 4 700                     | 0.092                                      |
|       | ドレスデン       | 53 100                  | 4 600                     | 0.087                                      |
|       | マクテブルグ      | 94 944                  | 4 320                     | 0.046                                      |
|       | アルトレンブルグ    | 134 944                 | 3 600                     | 0.027                                      |
| ザーレン  | ローテンブルグ     | 18 841                  | 1 700                     | 0.090                                      |
| ヴェーセル | カールスハーフェン   | 13 100                  | 2 350                     | 0.179                                      |
|       | パーデン        | 37 900                  | 4 600                     | 0.121                                      |
| ネッカー  | ハイデルベルグ     | 13 965                  | 4 800                     | 0.345                                      |
| ライン   | パーゼル        | 36 400                  | 6 000                     | 0.165                                      |
|       | リンツ         | 140 039                 | 10 900                    | 0.078                                      |
|       | ケルン         | 144 612                 | 10 000                    | 0.071                                      |
|       | リース         | 159 683                 | 9 000                     | 0.058                                      |
|       | エンメリッヒ      | —                       | 9 100                     | —  |
| ルーア   | 河口          | 4 470                   | 1 650                     | 0.370                                      |
| ロース   | ジュネーヴ       | 6 901                   | 1 700                     | 0.083                                      |
|       | リヨ          | 19 267                  | 5 600                     | 0.291                                      |
|       | ソーヌ河口       | 47 815                  | 7 000                     | 0.146                                      |
|       | デュランズ河口     | 91 150                  | 13 900                    | 0.152                                      |
| ドナウ   | ウィーン        | 101 600                 | 10 500                    | 0.103                                      |
| イシ    | パッサウ        | 26 000                  | 4 940                     | 0.190                                      |
| ザール   | —           | —                       | 25 600                    | —  |
| ナイル   | カイロ         | —                       | 12 000                    | —  |

支那の揚子江は夏季の洪水時に於て中流の漢口で幅員約 1 200 m, 平均水深 24 m, 平均流速 3 m/sec であるから、洪水量は  $Q_{max}=86 400 \text{ m}^3/\text{sec}$  と概算せられる。

次表は本邦河川の計畫高水量を示す。

第48表 本邦諸河川計畫高水量

| 河 川       | 地 點           | 流域面積 (km <sup>2</sup> ) | 計畫高水量 (m <sup>3</sup> /sec) | 比流量 (m <sup>3</sup> /sec/km <sup>2</sup> ) |
|-----------|---------------|-------------------------|-----------------------------|--|
| 岩 木 川     | 十三湖流入點上流      | 1916                    | 1 670                       | 0.87                                       |
| 支川 十 川    | 新 十 川         | 320                     | 330                         | 1.03                                       |
|           | 舊 十 川         | 185                     | 170                         | 0.92                                       |
| 北 上 川     | 河 口           | 8 882                   | 5 570                       | 0.63                                       |
| 鳴 瀬 川     | 新江合川合流點上流     | 885                     | 1 530                       | 1.73                                       |
|           | 同 下流          | 1 517                   | 2 230                       | 1.47                                       |
| 支川 吉 田 川  |               | 311                     | 560                         | 1.80                                       |
| 向 江 合 川   |               | 632                     | 1 030                       | 1.63                                       |
| 阿 武 隈 川   | 館 矢 間 村 上 流   | 4 025                   | 5 290                       | 1.31                                       |
|           | 河 口           | 5 471                   | 6 000                       | 1.10                                       |
| 支川 荒 川    | 阿 武 隈 川 合 流 點 | 192                     | 1 250                       | 6.51                                       |
| 阿 白 石 川   | 同             | 817                     | 2 000                       | 2.45                                       |
| 米 代 川     | 河 口           | 4 099                   | 5 200                       | 1.27                                       |
| 雄 物 川     | 河 口           | 4 184                   | 5 570                       | 1.33                                       |
| 支川 岩 見 川  | 雄 物 川 合 流 點   | 313                     | 560                         | 1.79                                       |
| 最 上 川     | 河 口           | 6 345                   | 6 960                       | 1.10                                       |
| 支川 赤 川    | 新 赤 川 河 口     | 662                     | 1 670                       | 2.52                                       |
| 阿 賀 野 川   | 阿 賀 川 筋       | 2 765                   | 4 250                       | 1.54                                       |
|           | 河 口           | 8 339                   | 6 960                       | 0.83                                       |
| 支川 宮 川    | 阿 賀 川 合 流 點   | 320                     | 390                         | 1.22                                       |
| 阿 湯 川     | 同             | 120                     | 180                         | 1.50                                       |
| 信 濃 川     | 千 曲 川 筋       | 7 109                   | 5 570                       | 0.78                                       |
|           | 大 河 津 分 水 點   | 10 835                  | 5 570                       | 0.51                                       |
| 支川 犀 川    | 千 曲 川 合 流 點   | 2 695                   | 2 730                       | 1.03                                       |
| 神 通 川     | 河 口           | 2 776                   | 5 570                       | 2.01                                       |
| 庄 川       | 河 口           | 1 159                   | 3 620                       | 3.12                                       |
| 常 願 寺 川   | 河 口           | 350                     | 2 800                       | 8.00                                       |
| 小 矢 部 川   | 河 口           | 667                     | 1 500                       | 2.25                                       |
| 手 取 川     | 河 口           | 809                     | 4 500                       | 5.56                                       |
| 九 頭 龍 川   | 河 口           | 2 537                   | 4 170                       | 1.62                                       |
| 支川 日 野 川  | 九 頭 龍 川 合 流 點 | 1 180                   | 1 670                       | 1.42                                       |
| 小 支 足 羽 川 | 日 野 川 合 流 點   | 409                     | 700                         | 1.71                                       |
| 北 川       | 河 口           | 225                     | 950                         | 4.22                                       |
| 支川 南 川    | 新 南 川 河 口     | 217                     | 1 000                       | 4.61                                       |
| 利 根 川     | 烏 川 合 流 點     | 5 336                   | 5 570                       | 1.04                                       |
|           |               | 15 762                  | 6 540                       | 0.41                                       |
| 支川 烏 川    | 利 根 川 合 流 點   | 1 675                   | 4 100                       | 2.45                                       |

| 河 川 | 地 點  | 流 域 面 積<br>(km <sup>2</sup> ) | 計 畫 高 水 流 量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 比 流 量<br>(m <sup>3</sup> /sec/km <sup>2</sup> ) |       |
|-----|------|-------------------------------|--------------------------------------|---|-------|
| 小支  | 碓氷川  | 烏川合流點                         | 280                                  | 1300  | 4.64  |
| 同   | 神流川  | 同上                            | 406                                  | 1800  | 4.43  |
| 支川  | 渡良瀬川 | 利根川合流點                        | 1393                                 | 2500  | 1.79  |
| 同   | 鬼怒川  | 利根川合流點                        | 1880                                 | 5000  | 2.66  |
| 荒   | 川    | 河口                            | 3128                                 | 4170  | 1.33  |
| 支川  | 入間川  | 荒川合流點                         | 780                                  | 2600  | 3.33  |
| 多   | 摩野川  | 河口                            | 1066                                 | 4170  | 3.91  |
| 狩   | 野    | 河口                            | 852                                  | 3500  | 4.17  |
| 支川  | 黄瀬川  | 狩野川合流點                        | 281                                  | 840   | 2.99  |
| 富   | 士    | 釜無川筋                          | 979                                  | 3100  | 3.17  |
|     |      | 鰻澤町                           | 2121                                 | 5600  | 2.64  |
|     |      | 河口                            | 3651                                 | 9800  | 2.68  |
| 支川  | 笛吹川  | 釜無川合流點                        | 922                                  | 2500  | 2.71  |
| 安   | 倍    | 河口                            | 542                                  | 3000  | 5.54  |
| 支川  | 薬科川  | 安倍川合流點                        | 177                                  | 1000  | 5.65  |
| 太   | 田    | 河口                            | 483                                  | 1950  | 4.04  |
| 支川  | 原野谷川 | 太田川合流點                        | 193                                  | 980   | 5.08  |
| 天   | 龍    | 河口                            | 4880                                 | 11130   | 2.28  |
| 豐   | 川    | 河口                            | 705                                  | 3800  | 5.39  |
| 木   | 會    | 河口                            | 5275                                 | 9700  | 1.84  |
| 支川  | 長良川  | 新長良川河口                        | 2313                                 | 4450  | 1.92  |
| 同   | 掛斐川  | 新掛斐川河口                        | 1511                                 | 4170  | 2.76  |
| 淀   | 川    | 河口                            | 8400                                 | 5570  | 0.66  |
| 支川  | 木津川  | 淀川合流點                         | 1596                                 | 4500  | 2.82  |
| 大   | 和    | 河口                            | 1062                                 | 2000  | 1.88  |
| 紀   | ノ    | 河口                            | 1916                                 | 5600  | 2.92  |
| 新   | 宮    | 河口                            | 2123                                 | 22000   | 10.36 |
| 旭   | 川    | 河口                            | 1723                                 | 6000  | 3.48  |
| 高   | 梁    | 河口                            | 2483                                 | 6960  | 2.80  |
| 支川  | 小田川  | 高梁川合流點                        | 374                                  | 1390  | 3.72  |
| 蘆   | 田    | 河口                            | 870                                  | 2100  | 2.41  |
| 圓   | 山    | 河口                            | 1887                                 | 2790  | 2.00  |
| 支川  | 出石川  | 圓山川合流點                        | 230                                  | 500   | 2.17  |
| 天   | 神    | 小鴨川合流點                        |                                      | 1800  |       |
|     |      | 河口                            | 471                                  | 3500  | 7.34  |
| 千   | 代    | 河口                            | 1155                                 | 3300  | 2.86  |
| 支川  | 袋川   | 千代川合流點                        | 122                                  | 550   | 4.51  |
| 斐   | 伊    | 尖道湖流入點上流                      | 1066                                 | 3600  | 3.38  |
| 吉   | 野    | 河口                            | 3652                                 | 13900   | 3.81  |
| 那   | 賀    | 河口                            | 736                                  | 8500  | 11.55 |
| 支川  | 桑野川  |                               | 123                                  | 700   | 5.69  |
| 渡   | 川    | 河口                            | 2267                                 | 14000   | 6.18  |
| 支川  | 後    | 渡川合流點                         | 202                                  | 1700  | 8.42  |

| 河 川 | 地 點 | 流 域 面 積<br>(km <sup>2</sup> ) | 計 畫 高 水 流 量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 比 流 量<br>(m <sup>3</sup> /sec/km <sup>2</sup> ) |      |
|-----|-----|-------------------------------|--------------------------------------|---|------|
| 同   | 中筋川 | 同                             | 133                                  | 550   | 4.14 |
| 遠   | 賀   | 河口                            | 1093                                 | 4170  | 3.82 |
| 支川  | 彦山川 | 遠賀川合流點                        | 310                                  | 2230  | 7.19 |
| ✓筑  | 後   | 河口                            | 2859                                 | 5000  | 1.75 |
| 綠   | 川   | 河口                            | 869                                  | 3340  | 3.84 |
| 支川  | 加勢川 |                               | 220                                  | 420   | 1.91 |
| 川   | 内   | 河口                            | 1570                                 | 3500  | 2.23 |
| 大   | 淀   | 河口                            | 2123                                 | 5500  | 2.59 |
| 支川  | 本庄川 | 大淀川合流點                        | 401                                  | 2200  | 5.49 |
| 大   | 野   | 河口                            | 1455                                 | 5000  | 3.44 |
| 白   | 川   | 河口                            | 479                                  | 1400  | 2.92 |
| 球   | 磨   | 河口                            | 1882                                 | 4000  | 2.13 |
| 肝   | 屬   | 川                             |                                      | 750   |      |
|     |     | 串良川合流點                        |                                      | 750   |      |
|     |     | 河口                            | 485                                  | 1200  | 2.47 |
| 石   | 狩   | 河口                            | 13865                                | 8350  | 0.60 |
| 支川  | 雨龍川 | 石狩川合流點                        | 1684                                 | 1670  | 0.99 |
| 同   | 夕張川 | 同                             | 1262                                 | 2280  | 1.81 |
| 同   | 千歳川 | 同                             | 1036                                 | 280   | 0.27 |
| 同   | 豐平川 | 同                             | 830                                  | 2000  | 2.41 |
| 常   | 呂   | 河口                            | 2036                                 | 2090  | 1.03 |
| 鋼   | 路   | 河口                            | 2502                                 | 1170  | 0.47 |
| 十   | 勝   | 河口                            | 9431                                 | 9740  | 1.03 |
| 支川  | 利別川 | 十勝川合流點                        | 2721                                 | 2780  | 1.02 |
| 湧   | 別   | 河口                            | 1516                                 | 1950  | 1.29 |
| 天   | 鹽   | 河口                            | 5616                                 | 2780  | 0.49 |

次表は朝鮮諸河川の最大洪水量を示す。

第49表 朝鮮諸河川洪水量

| 河 川 | 地 點 | 流 域 面 積<br>(km <sup>2</sup> ) | 最 大 洪 水 量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 比 流 量<br>(m <sup>3</sup> /sec/km <sup>2</sup> ) |       |      |
|-----|-----|-------------------------------|------------------------------------|---|-------|------|
| 大   | 寧   | 江                             | 河口                                 | 3430  | 11960 | 3.49 |
| 清   | 川   | 江                             | 九龍江合流點                             | 5234  | 12980 | 2.48 |
|     |     |                               | 京義線鐵橋附近                            | 5520  | 13380 | 2.42 |
| 支川  | 价   | 川                             | 松鶴里                                | 232   | 1800  | 7.76 |
| 大   | 同   | 江                             | 保山浦                                |   | 22670 |      |
|     |     |                               | 平壤                                 | 13323   | 25020 | 1.88 |
|     |     |                               | 南江合流點                              |   | 26300 |      |
| 載   | 寧   | 江                             | 沙灘鐵橋                               | 733   | 3550  | 4.84 |
|     |     |                               | 瑞興江合流點                             | 2269  | 7480  | 3.30 |
| 支川  | 瑞   | 興                             | 西江                                 | 1316  | 5090  | 3.87 |
| 同   | 西   | 江                             | 流末                                 | 819   | 2790  | 3.41 |



| 河 川       | 地 點         | 流域面積 (km <sup>2</sup> ) | 最大洪水量 (m <sup>3</sup> /sec) | 比 流 量 (m <sup>3</sup> /sec/km <sup>2</sup> ) |
|-----------|-------------|-------------------------|-----------------------------|--|
| 漢 江       | 高 安         | 23 880                  | 37 770                      | 1.58   |
|           | 安 養 川 合 流 點 | 25 321                  | 32 590                      | 1.29   |
|           | 臨 津 江 合 流 點 | 26 220                  | 30 510                      | 1.16   |
| 支 川 安 養 川 | 漢 江 合 流 點   | 242                     | 1 583                       | 6.54   |
|           | 錦 江 景       | 8 436                   | 11 000                      | 1.13   |
| 支 川 論 山 川 | 河 口         | 9 886                   | 12 000                      | 1.21   |
|           | 同 魯 城 川     | 551                     | 2 000                       | 3.62   |
| 美 湖 川     | 無 心 川 合 流 點 | 157                     | 830                         | 5.28   |
|           | 烏 川 合 流 點   | 1 115                   | 5 500                       | 4.93   |
| 榮 山 江     | 馬 勒         | 1 763                   | 7 200                       | 4.08   |
|           | 本 洞         | 654                     | 2 140                       | 3.12   |
|           | 會 津         | 1 307                   | 3 370                       | 5.09   |
| 萬 頃 江     | 高 山 面       | 2 254                   | 4 870                       | 7.35   |
|           | 支 川 全 州 川   | 339                     | 2 285                       | 6.74   |
| 洛 東 江     | 助 村 面       | 255                     | 1 475                       | 5.78   |
|           | 龜 浦 津       |                         | 17 000                      |  |
|           | 三 浪 洞       | 20 400                  | 18 650                      | 1.01   |
| 龍 興 江     | 豐 陽 里       | 1 850                   | 4 450                       | 2.41   |
|           | 城 川 江       | 1 940                   | 4 510                       | 2.32   |
| 支 川 瑚 璉 川 | 河 口         | 2 328                   | 5 040                       | 2.32   |
|           | 同 珣 湖 里     | 387                     | 1 600                       | 4.14   |
| 兄 山 江     | 扶 助         | 107                     | 700                         | 6.56   |
|           | 輪 城 川       | 1 056                   | 3 500                       | 3.31   |
| 支 川 汝 渭 川 | 扶 助         | 888                     | 3 150                       | 3.55   |
|           | 同 城 川       |                         |                             |  |

次表は臺灣諸河川の最大洪水量を示す。

第 50 表 臺灣 諸 河 川 洪 水 量

| 河 川       | 地 點       | 流域面積 (km <sup>2</sup> ) | 最大洪水量 (m <sup>3</sup> /sec) | 比 流 量 (m <sup>3</sup> /sec/km <sup>2</sup> ) |
|-----------|-----------|-------------------------|-----------------------------|--|
| 濁 水 溪     | 鐵 道 橋     | 2 849                   | 22 300                      | 7.83   |
| 後 壠 溪     | 鐵 道 橋     | 262                     | 2 790                       | 10.65  |
| 大 甲 溪     | 鐵 道 橋     | 678                     | 5 570                       | 8.22   |
| 下 淡 水 溪   | 石 崗 仔 橋   | 1 155                   | 11 140                      | 9.65   |
| 宜 蘭 濁 水 溪 | 鐵 道 橋     | 2 310                   | 13 930                      | 6.03   |
|           | 河 牛 街 橋   | 3 220                   | 22 300                      | 6.93   |
| 支 川 濁 水 溪 | 河 牛 街 橋   | 431                     | 5 000                       | 11.60  |
|           | 同 河 牛 街 橋 | 860                     | 7 800                       | 9.07   |

84. 低 水 流 量

河川の低水流量の中には平水量、低水量、濁水量等の別がある。次表は歐羅巴大陸諸河川の最

小流量の値である。

第 51 表 歐 羅 巴 諸 河 川 最 小 流 量

| 河 川       | 流 域 (km <sup>2</sup> ) | 最 小 流 量 (m <sup>3</sup> /sec) | 比 流 量 (m <sup>3</sup> /sec/km <sup>2</sup> ) |
|-----------|------------------------|-------------------------------|--|
| ヴ ェ ル ド ン | 76                     | 0.4                           | 0.005 4                                      |
| ア         | 107                    | 1.0                           | 0.009 3                                      |
| デ ュ ラ ン ス | 223                    | 1.7                           | 0.007 6                                      |
| ザ ロ ン ド   | 241                    | 2.7                           | 0.011 0                                      |
| ヴ ェ ス ビ ー | 278                    | 2.4                           | 0.008 7                                      |
| テ イ ネ ー   | 477                    | 2.4                           | 0.005 0                                      |

次表は獨逸諸河川の低水流量、平均流量、高水流量を示す。

第 52 表 獨 逸 諸 河 川 の 流 量

| 河 川         | 地 點           | 流 量 (m <sup>3</sup> /sec) |       |       | 低 水 流 量<br>高 水 流 量 |
|-------------|---------------|---------------------------|-------|-------|--------------------|
|             |               | 低 水                       | 平 均   | 高 水   |                    |
| ロ イ ク セ ル   | 河 口           | 430                       | 950   | 5 000 | 1: 12              |
| オ ー デ ル     | コ ー セ ル       | 10.5                      | 59.5  | 1 800 | 1: 171             |
| エ ル バ       | ブ レ ス ラ ウ     | 27                        | 200   | 2 300 | 1: 85              |
|             | ト ル ガ ウ       | 64                        | 266   | 3 410 | 1: 53              |
| ウ ェ ー セ ル   | ラ ッ エ ン プ ル ガ | 247                       | 640   | 3 360 | 1: 14              |
|             | ミ ュ ン テ ン     | 25                        | 92    | 1 755 | 1: 70              |
| ラ イ ン       | ア レ ル 河 口     | 92                        | 296   | 3 150 | 1: 33              |
|             | マ イ ン ツ       | 780                       | 1 530 | 7 000 | 1: 9               |
| コ ー プ レ ン ツ | コ ー プ レ ン ツ   | 900                       | 1 720 | 7 900 | 1: 8.8             |
|             | エ ン メ リ ッ ヒ   | 1 060                     | 2 000 | 9 100 | 1: 8.6             |

又我が國の河川に於ける濁水量、低水量、平水量の數例は次表の通りである。

第 53 表 本 邦 諸 河 川 低 水 流 量

| 河 川   | 地 點   | 流 量 (m <sup>3</sup> /sec) |       |       | 濁 水 量<br>平 水 量 |
|-------|-------|---------------------------|-------|-------|----------------|
|       |       | 濁 水 量                     | 低 水 量 | 平 水 量 |                |
| 富 士 川 | 清 水 端 | 14.5                      | 25.7  | 34.1  | 1: 2.4         |
| 筑 後 川 | 杖 立   | 6.4                       | 7.9   | 9.7   | 1: 1.5         |
| 矢 部 川 | 藤 木   | 1.0                       | 1.7   | 2.5   | 1: 2.5         |
| 綠 川   | 小 川 野 | 1.1                       | 1.5   | 1.6   | 1: 1.5         |
| 川 内 川 | 宮 之 城 | 20.0                      | 26.2  | 36.0  | 1: 1.8         |
| 大 淀 川 | 本 八 重 | 33.6                      | 49.8  | 67.2  | 1: 2.0         |
| 大 野 川 | 白 枝   | 16.4                      | 22.1  | 27.4  | 1: 1.7         |

濁水量の調査は水力發電等の如き利水事業に取つては最も大切であつて、我が國では逓信省によつて詳細な水力調査が行はれて居るが、治水事業には直接の関係がないから茲にはその詳論を

省く。

我が國の著名なる河川の濁水量は  $m^3/sec/km^2$  を單位として山陰地方が最小で 0.0062~0.0188, 平均 0.0115, 北陸地方が最大で 0.0094~0.0533, 平均 0.0253, 全國平均では 0.017である。

85. 比 流 量

比流量は流域單位面積當りの流量の値であつて從來我が國では1方里に付個を單位としたが、現今は  $m^3/sec/km^2$  或は  $lit/sec/km^2$  が用ひられる。

比流量は低水流量に關するものと高水流量に關するものとの別があり、利水事業に應用せられるものは前者、治水事業に利用せられるものは後者である。

主として歐羅巴大陸の諸河川約170に就いて調査した比流量の値は第54表の通りである。

即ち比流量は一般に流域面積が減少するに従つて反對に増大するものであつて、本邦河川の高水流量に就いて見ても流域 10835  $km^2$  の信濃川が 0.51, その上流千曲川では流域 7109  $km^2$  で 0.78, 支川犀川では流域 2695  $km^2$  で 1.03 の如く増大し、又新宮川は流域 2128  $km^2$  で比流量 10.36 に達するのである。

比流量が流域の地勢や地質に關係するのは當然であつて、地勢急峻なれば比流量を増し、地質が不透透性であれば比流量を増す。次表は獨逸河川の例である。

第55表 獨逸河川の比流量

| 流 域        | 比 流 量 ( $m^3/sec/km^2$ ) |             | 最小流量  |
|------------|--------------------------|-------------|-------|
|            | 最 小 流 量                  | 最 大 流 量     | 最大流量  |
| 水源山岳地帯     | 0.002~0.004              | 0.350~0.600 | 1:150 |
| 急峻なる丘卓地    | 0.002                    | 0.180~0.230 | 1:90  |
| 緩傾斜丘卓地     | 0.0018                   | 0.120~0.180 | 1:75  |
| 平 坦 地      | 0.0016                   | 0.060~0.120 | 1:50  |
| 平坦なる砂地又は沼地 | 0.0012~0.0015            | 0.035~0.060 | 1:35  |

雨量は又比流量に重大なる關係があり、多雨地の比流量は寡雨地のそれに比して遙かに大きい。前掲新宮川の比流量が大きいのはその水源が本邦有数の多雨地であることが有力なる原因である。一般に我が國は雨量が多いのと地勢が急峻であるが爲に諸外國の河川に比して比流量が著

しく大きく、現に地方廳で改修工事施行中の補助河川には比流量10を超えるものが決して珍しくないのである。

86. 河 狀 係 數

河川に於て最小流量と最大流量との比(或はその逆數)を名づけて河狀係數と言ふ。

河狀係數は河川が急流である程その値が小さく、一つの河川に就いても上流は河狀係數が小さく、下流に赴くに従つて次第にその値を増す。又流路の途中に湖水などがあつて洪水量の調節が行はれる場合には河狀係數が増大する。河狀係數が小さいと言ふことは最小流量と最大流量との差が大きいことを意味するから、利水上からは用水取入にも舟運にも不便であり、治水上からは洪水防禦に困難が多く、何れの方面から言つても好ましくないのである。

佛蘭西では河狀係數 1:100 以上を緩流、従つて良好河川、1:100 以下を急流、従つて不良河川として全國河川を分類してゐるが、外國諸河川の河狀係數の値は次表の通りである。

第56表 外國諸河川河狀係數

| 河 川    | 地 點       | 最 小 流 量 ( $m^3/sec$ ) | 最 大 流 量 ( $m^3/sec$ ) | 河 狀 係 數 |
|--------|-----------|-----------------------|-----------------------|---------|
| アルデーシュ | ザアロシ      | 2.5                   | 7500                  | 1:3000  |
| ロアル    | ヌヴェール     | 35                    | 9118                  | 331     |
|        | ブリアール     |                       |                       | 261     |
|        | トゥール上流    |                       |                       | 150     |
| ガロンヌ   | トゥールーズ    | 36                    | 6000                  | 167     |
| ミューズ   | セダシ       | 13                    | 700                   | 54      |
| ソーヌ    | シャロン      | 40                    | 3000                  | 75      |
| ローヌ    | サンモリス     | 18                    | 636                   | 35      |
|        | リヨン       |                       |                       | 29      |
| セイヌ    | パリ        | 48                    | 1652                  | 34      |
| ソナム    | アベヴキル     | 27                    | 60                    | 2.2     |
| ネッカー   | オッフエナウ    |                       |                       | 1:200   |
|        | ハイデルベルグ   | 28                    | 4818                  | 172     |
| ヴェーゼル  | カールスハーフェン | 11                    | 2350                  | 213     |
|        | ホーヤ       | 47                    | 3000                  | 64      |
|        | バーデン      | 73                    | 4600                  | 63      |
| エルベ    | メルニック     | 38                    | 4300                  | 113     |
|        | テッチェン     |                       |                       | 100     |
|        | ドレスデン     | 56                    | 4600                  | 82      |
|        | マグデブルグ    | 100                   | 4320                  | 43      |
|        | アルトレンブルグ  | 154                   | 3600                  | 23      |
| オーデル   | プレストラウ    | 22                    | 2450                  | 111     |
|        | キュストリン    | 125                   | 3260                  | 26      |

| 河 川   | 地 點         | 最 小 流 量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 最 大 流 量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 河 狀 係 數 |
|---|-------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|
| ラ イ ン   | バ ー セ ル     | 330                              | 6 000                            | 1 : 18  |
|   | ケ ー ル ン     | 660                              | 10 000                           | 16      |
|   | リ ー ス       | 787                              | 9 000                            | 12      |
| ド ナ ヅ   | エ ン メ リ ッ ヒ |                                  |                                  | 6.6     |
|   | イ ラ ー 河 口   | 24                               | 753                              | 30      |
| オ ハ イ ヨ<br>ミ ズ ー リ<br>ミ シ シ ッ ピ ー<br>テ ー ム ス<br>ナ イ ル | ノ イ ブ ル グ   | 125                              | 2 100                            | 17      |
|   | ピ ッ ツ プ ル グ | 33                               | 12 000                           | 1 : 364 |
|   | カ ン サ ス 市   | 277                              | 20 830                           | 75      |
|   | ミ ネ ソ タ     | 28                               | 3 325                            | 119     |
|   | テ デ イ ン ト ン | 13                               | 103                              | 8       |
| カ イ ロ   | 400         | 12 000                           | 30                               |         |

我が國は地勢急峻なるが爲に大部分の河川が急流であつて河狀係數が小さく、平時は殆ど表流水のない、従つて何等利水上に貢獻する所のない様な河川でも一朝降雨があると河水漲溢して汎濫の害を招く様な事例が頗る多い。是我が國の治水事業が困難であつて巨額の費用を要する所以である。

次表は本邦主要河川に就いてその河狀係數を示す。

第57表 本邦諸河川河狀係數

| 河 川     | 地 點           | 最 小 流 量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 最 大 流 量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 河 狀 係 數 |
|---------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|---------|
| 北 上 川   | 登 米 町         | 25                               | 5 570                            | 1 : 223 |
| 阿 武 隈 川 | 荒 川 合 流 點 上 流 | 9                                | 2 780                            | 309     |
|         | 館 矢 間 村       | 25                               | 5 000                            | 200     |
| 雄 物 川   | 秋 田 市         | 33                               | 5 570                            | 169     |
| 最 上 川   | 新 堀 村         | 23                               | 6 960                            | 303     |
| 阿 賀 野 川 | 湯 川 合 流 點     | 14                               | 4 250                            | 304     |
|         | 川 東 村         | 79                               | 6 960                            | 88      |
| 信 濃 川   | 大 河 津 村       | 140                              | 5 570                            | 40      |
| 千 曲 川   | 村 山 橋         | 78                               | 5 570                            | 71      |
| 神 通 川   | 大 澤 野 村       | 40                               | 5 570                            | 139     |
| 荒 川     | 川 口 市         | 28                               | 4 170                            | 149     |
| 富 士 川   | 鯨 澤 町         | 14                               | 5 600                            | 400     |
| 天 龍 川   | 天 龍 橋         | 97                               | 11 130                           | 114     |
| 木 曾 川   | 犬 山 町         | 68                               | 7 350                            | 108     |
| 淀 川     | 枚 方 町         | 83                               | 5 570                            | 67      |
| 紀 ノ 川   | 岩 出 町         | 14                               | 5 600                            | 400     |
| 新 宮 川   | 高 田 村         | 20                               | 22 000                           | 1 100   |
| 由 良 川   | 福 知 山 町       | 11                               | 4 800                            | 436     |
| 斐 伊 川   | 出 西 村         | 5                                | 3 600                            | 720     |

| 河 川                                       | 地 點     | 最 小 流 量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 最 大 流 量<br>(m <sup>3</sup> /sec) | 河 狀 係 數 |
|---|---------|----------------------------------|----------------------------------|---------|
| 圓 山 川<br>吉 野 川<br>那 賀 川<br>渡 賀 川<br>鏡 後 川 | 豐 岡 町   | 8                                | 2 780                            | 1 : 348 |
|   | 河 羽 口 村 | 67                               | 13 900                           | 207     |
|   | 具 浦 村   | 16                               | 8 500                            | 531     |
|   | 具 同 米 市 | 17                               | 13 000                           | 765     |
|   | 久 留 米 市 | 28                               | 5 000                            | 178     |
| 大 淀 川<br>大 野 川                            | 釋 迦 堂   | 19                               | 3 340                            | 176     |
|   | 宮 崎 市   | 50                               | 5 500                            | 110     |
| 大 野 川                                     | 川 添 村   | 10                               | 5 000                            | 500     |