

流量の回数及期間曲線

論説及報告

流量の回数及期間曲線

工學士 金 森 猷 太 郎 君

緒 論

水位の回数及期間に就ては余は已に工學會誌第三六〇卷雄物川の水位中に之を論述せり、流量に就ても回数及期間を求むることを得るは言を俟たざる所にして特に流量の期間の如何は水力利用上重大なる關係を有するが故に此件に就ては往々之を論述するものあり、從て流量の期間なる問題は敢て嶄新の事項にあらずと雖も流量の回数に就ては實用上殆んど利益なきが爲め加之に關して論述せるもの未だ多からず、依りて本編に於ては流量の回数及期間を併せ論せん

雄物川川尻に於ける流量曲線

明治四十四年中大島内務技手の實測に係る流量は次表の如くにして實測の個所は川尻なる新川橋の下流に在り、速度の實測には竹にて作りたる竿狀浮子を用ゆ之を流すべき距離は三百尺、河幅は平均約六十間なるを以て之を六乃至七個に區分し各區に於て各一本宛の浮子を流し其凡ての速度を平均したるものを平均速度とす、又上下兩見通線に於ける横斷面積を平均したるものに以上の平均速度を乗じたるものを以て流量とす、上下兩横斷面は其形狀相似ならず、上方のものは河幅小に水深大なるも下流のものは之に反して河幅大に水深小なり、然れども横斷面積は上下略相同じ、浮竿の水中に於ける長さ(Immersion)と水深との差は浮竿を流す位置及水位等に由り異なるも大體に於て上流横斷面に於ては大下流同上にては小にして平均約二尺に當れり、實測に於ては浮竿を流すに右岸よ

り始め各區に一本宛流しつゝ順次に進み左岸に終る其操業一回毎に流量を計算し之を一個の流量とす其操業には約一時間を要したるを以て其始め及終りに観測せる水位を平均したるものを以て其流量に對する水位とせり而して同日に以上の如き實測を四回若しくは五回爲したるとあり次表に擧げたる流量には浮竿の水中に於ける長さご水深との差及び其他の源因より生ずる誤差に對し何等の調整を施さざるものとす

第 一 表

No.	水 位 h (尺)	流 量 Q (秒/立方尺)	雄 物 川 川 尻 に 於 け る 流 量 流量曲線より計算せる流量 \bar{Q}	$Q - \bar{Q}$	$\frac{(Q - \bar{Q}) \times 100}{\bar{Q}}$	平均速度及横断面積兩曲線より計算せる流量 \bar{Q}
1	8.05	5,717	6,514	+797	13.9	6,181
2	8.38	8,614	7,686	-928	10.8	7,486
3	8.53	7,850	8,252	+402	5.1	8,122
4	8.63	9,312	8,640	-672	7.2	8,533
5	11.28	23,147	22,177	-970	4.2	22,458
6	11.56	25,604	23,972	-1,632	6.4	24,209
7	11.97	27,595	26,729	-866	3.1	27,019
8	12.24	30,354	28,625	-1,729	5.7	28,904
9	11.73	25,794	25,097	-697	2.7	25,346
10	11.39	22,597	22,874	+277	1.2	23,181
11	11.29	22,150	22,240	+90	0.4	22,478
12	11.13	21,599	21,243	-356	1.6	21,504

論説及報告

續前圖數及期間曲線

圖七二

年	月	日	總	會	學	工	月二十年二五火
13	13.42	36,350	37,679	+ 1,329	3.7	37,840	
14	13.75	41,614	40,433	- 1,181	2.8	40,548	
15	13.96	44,880	42,238	- 2,642	5.9	42,236	
16	14.54	47,444	47,424	- 20	0.0	47,345	
17	14.66	51,721	48,532	- 3,189	6.2	48,526	
18	15.15	54,252	53,199	- 1,053	1.9	53,096	
19	15.15	52,773	53,199	+ 426	0.8	53,096	
20	16.16	65,071	63,494	- 1,577	2.4	63,261	
21	17.37	74,614	77,023	+ 2,409	3.2	76,800	
22	17.49	78,265	78,439	+ 174	0.2	78,187	
23	17.54	78,343	79,028	+ 685	0.9	78,836	
24	9.26	9,945	11,291	+ 1,346	13.5	11,327	
25	8.92	10,686	9,817	- 869	8.2	9,800	
26	8.92	9,739	9,817	+ 78	0.8	9,800	
27	8.92	9,401	9,817	+ 416	4.4	9,800	
28	13.18	37,014	35,740	- 1,274	3.4	35,867	
29	13.28	38,430	36,542	- 1,888	4.9	36,642	
30	13.34	32,435	37,029	+ 4,594	14.2	37,111	
31	12.71	30,720	33,614	+ 2,894	9.4	33,770	
32	12.68	29,620	31,859	+ 2,239	7.6	32,026	

33	12.55	28,198	30,885	+ 2,687	9.5	31,133
合計					166.2	
平均					5.04	

以上の水位と流量とを用ひ最小二乗法に依り流量曲線を計算すれば次の如し

$$\sqrt{Q} = 21.119h - 89.298 = 21.119(h - 4.228) \dots\dots\dots (1)$$

$$Q = 446.012(h - 4.228) \dots\dots\dots (2) \text{ (單位尺)}$$

此式にて計算せる流量、夫れと實測流量との差并に其差の實測流量に對する百分比は前表中に擧ぐるが如くにして差の百分比の平均は五、〇四パーセントとなる

尙此處に於ける平均速度曲線は

$$V = 0.517h - 3.16 \text{ (工學會誌第三四九卷)}$$

にして横斷面積曲線は

$$F = 23.779h + 145.388 \text{ (同上第三五五卷)}$$

なるを以て此兩者より流量を計算する時は前表中の最後欄に列擧したる通りにして結果は大體に於て先づ満足すべきものなるを見る

以上の(一)及び(二)なる流量曲線を出すに用ひたる流量測量の結果は表に示すが如く凡て三三個にして何れも明治四十四年の實測に係る、然るに翌年に於ても同一個所に於て同一方法により實測せる流量の結果二八個ありて通計六一個に達せり、内八個は高水部に屬するものとして省略し殘五三個の結果に依り流量曲線を計算する時は次の如くなる

$$\sqrt{Q} = 22.07h - 99.662 = 22.07(h - 4.514) \dots\dots\dots (3)$$

$$Q = 487.4(h - 4.514)^2 \dots\dots\dots (4)$$

流量的回数及期間曲線

此曲線は水位一七尺若くは一八尺の附近迄に適用し得るものなりとす、凡そ浮竿に依りて得たる流量は常に實際の流量よりも大なる結果を示す者にして其主たる原因は浮竿の水中に在る長さを水深と等しくすること能はざる點に在り、然れども一方に於て此處に用ひたるが如く浮竿に依りて得たる速度を凡て平均し之れに平均横斷面積を乗じたるものを流量とする計算方法は常に實際の流量よりも小なる結果を與ふるものとす、依りて今兩者より生ずる過不及相殺するものと假定し實測流量の結果に何等の調整を施さず

又(三)乃至(五)の公式は明治四十四年流量實測當時に於ける川尻量水標の示す水位と流量との關係を顯はすものにして現今の量水標は其零點の高さ實測當時に於けるものより更に〇・一一尺低きを以て現今の水量標の示す水位を用ゆる時は之に對する校正を施さざるべからざるは言を俟たず次に明治三十七年以前に於ける量水標も其零點の高さを實測當時に於けるものと異にするが故に其當時の水位を用ひ以上の流量曲線に依り流量を計算せんとするには是又之に對する校正を要するものとす、明治二十六年以降三十七年に至る第二區土木監督署時代に於ける量水標零點の高さは參謀本部水準基線即ち東京灣中等潮位以下三・七五一一尺にして明治四十四年に於ける同上の高さは同上以下四・六四二尺(現今のものは四・七五二尺なるを以て後者は前者よりも〇・八九一尺低きこと)なる、今此れに對する校正を(四)及(五)式に施す時は次の如し、即ち流量實測當時の量水標の示す水位を h とし既往の同上を h' とすれば

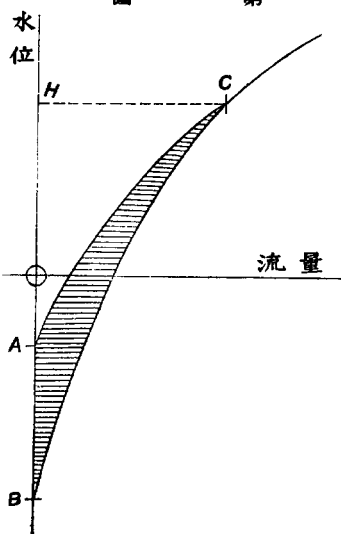
$$K = h - 0.891 \quad \text{又は} \quad h = h' + 0.891$$

故に(四)及(五)は次の如くなる

$$\sqrt{Q} = 22.077(h' - 3.623) \dots\dots\dots (5)$$

$$Q = 487.4(h' - 3.623)^2 \dots\dots\dots (6)$$

圖 一 第



次に高水部曲線は同様の校正を施したるもの左の如し

$$\sqrt{Q} = 29.956(N - 7.303) \dots\dots\dots (7)$$

$$Q = 894(N - 7.303)^2 \dots\dots\dots (8)$$

此曲線は高水部に於ける流量實測の結果八個より計算したるものなり然れども水位高くなるに従ひ水は益廣き區域に汎濫するを以て以上の式は甚しき正確を期すべからざるものとす、次に以上の流量曲線を得たる川尻は河口より上流約二里にして僅かに潮汐の影響を感ずる範圍内

河口に於ける潮汐の最大範圍差(Range)に殆んど同一なり、海面が最干潮なる時は流量曲線はB Cの曲線となり海面が最滿潮なる時はA Cの曲線となる、C點は後水曲線の理論に據れば無限大の距離に在るべき筈なるも實際に於ては有限の距離に在るものと見做すも差支なく其距離O Hは河の勾配形狀等によりて決定せらるゝものとす、故にHなる水位以下の水位に對する流量は其當時海口に於ける潮汐の情況の如何によりA B Cなる三角形の内に存することゝなる

に在り、雄物川に於ける潮汐の大體に就ては、雄物川の水位中に己に記述せるを以て茲には之を略すべし、要するに川尻は小潮に於ては影響なしと雖も大潮に於ては多少の影響を感ずべき筈なり、一般に感潮區域内に在りて水流の方向の反對にならざる個所に於ける流量曲線は其形狀第一圖に示すが如くなるべきの理なり、圖中A及Bは其個所に於ける潮汐の水位に及ばず上下の極限にして其高さは河口に於ける潮汐の最滿及最干潮面に略と一致すべく従てA Bの間隔は

流量の回数及期間曲線

四七六

A B Cなる三角形の大小はA Bの大きさとC点の高さとに依り變化す、故に大體に於て河の勾配緩にして海口に於ける潮汐の干満差大なれば同じ水位に對する流量若くは同じ流量に對する水位は廣き範圍内に變化することゝなるべし

今之を雄物川川尻に於て觀るに河の勾配は比較的緩なりと雖も海口に於ける潮汐の干満差は甚だ小なり従て潮汐の流量に及ぼす影響は極めて輕微なるものにして以上に擧げたる流量の實測は夏期に於て之を施行せしものなれば潮汐の影響あるを認むること能はざるは元より其所なりと雖も大潮を起す時期に在りては或は溶雪の爲め若くは多雨の爲めに河川増水の時期にして河の流量は概して大なるが故に極めて稀有の場合の外は其時期に於ても潮汐の影響は殆むと川尻に達せざるものと認むべく従て以上の流量曲線を適用するに實際上甚しき不都合なしと思はる

流量の回数及期間

流量の回数を求むるには流量のある間隔毎に其上限及下限に相當する水位を流量曲線により計算し水位口表より其各界限内に横はる水位の回数を數ふるを以て最も適當なる方法とすべし後に述ぶる瀨田川のもは此方法を用ふ此方法に據れば流量の間隔を一様とする時は之に對する水位の間隔は水位の高くなるに従て漸次に小となるべし次に又水位の回数及期間よりも流量の同上を求むることを得べしと雖も稍不正確となるを免れずとす前顯の雄物川の水位中には已に水位の回数及期間を擧げたるを以て今先づ後者の方法により之を流量の回数及期間に轉換する方法を述べんとす、

先づ川尻標に於ける水位の回数中水位間隔の上下限水位に相當する流量を計算すれば次の如し

第 二 表

雄物川川尻に於ける水位の回数并に相當流量

水 位(尺)	流 量(秒/立方尺)	年平均日數(日)	全上累計(日)
3.5—4.0	0—70	0.04	0.04
4.0—4.5	70—375	0.33	0.37
4.5—5.0	375—926	5.92	6.29
5.0—5.5	926—1,721	24.33	30.62
5.5—6.0	1,721—2,759	25.83	56.45
6.0—6.5	2,759—4,040	36.88	93.33
6.5—7.0	4,040—5,556	38.50	131.83
7.0—7.5	5,556—7,360	46.71	178.54
7.5—8.0	7,360—9,358	44.25	222.79
8.0—9.0	9,358—14,086	58.00	280.79
9.0—10.0	14,086—15,837	40.20	320.99
10.0—12.0	19,837—34,215	29.96	350.95
12.0—14.0	34,215—51,664	8.96	359.91
14.0—16.0	51,664—73,596	3.38	363.29
16.0—18.0	73,596—99,916	1.54	364.83
18.0—20.0	99,916—143,942	0.33	365.16
20.0—24.0	143,942—249,426	0.04	365.20

上表の内流量は水位一八尺(即ち約岸一杯)の水位迄は(6)式に依り夫れより以上は(8)式に依り計算したるものなり又年平均日數及其累計は即ち回數及期間にして雄物川の水位中第三表に掲げたるも

論説及報告

四七七

流量の回数及期間曲線

のに同一なり。

上表に據りて觀るに水位の間隔を同一とする時は流量の間隔は同一とならずして水位高くなるに従ひ流量の間隔は益大となるを見るなり、今茲に求めんとするは流量の間隔を同一となしたる場合に於ける年平均日數なり之を求むるは回数若くは期間何れの曲線よりも挿入法によりて爲すことを得べしと雖も期間曲線に據るを良好とす、之れ期間は間隔の異なることの爲めに影響せらるゝこと少なければなり、今次に流量の間隔を二〇〇立方尺とする場合に於ける各間隔に對する年平均日數を求めんとす、

先づ二〇〇立方尺なる流量は期間より云へば上表に於けるが如く三〇・六二と五六・四五との間に在り、故に挿入法により流量二〇〇〇に對する期間を求むれば次の如し

$$2,759 - 1,721 : 56.45 - 30.62 = 2,000 - 1,721 = x$$

$$x = 6.94$$

故に流量 2,000 に對する 期間 = 30.62 + 6.94 = 37.56

同様にして流量の各間隔に對する期間を求むることを得べし、此の如くにして流量の各間隔に對する期間を得たりとすれば回数は各期間の差なるが故に此れも容易に求むることを得るなり

以上の如くにして計算せる流量の回数及期間は次表の如し

第 三 表

雄物川川尻に於ける流量の回数及期間

流量(秒/立方尺)	年平均日數(回数)	同上累計(期間)
0—2,000	37.56	37.56

流量の回数及期間曲線

四八〇

又前表の數字は水位の回数及期間より計算に由り導きたるものなるか回数及期間曲線は直線の單なる連續にあらずして其實は曲線なるを以て以上の如く比例に依り挿入をなす時は多少事實に遠ざかるの嫌あるを免れずとす。

次に以上の方法は全く圖式的 (Graphically) にも之を爲すことを得るなり、今其方法を記述すべし。第二圖に於て $A'A''$ を \odot 式にて代表する流量曲線とし $B'B''$ を水位の期間曲線とす。今例へば水位七尺の點を通じて水平線 $QA'B$ を引き流量曲線及期間曲線に各 A 及 B にて交錯せしむ、 B を通して垂直線 BT を引く、 T は夫れと横軸との交錯點なり、 QA に等しく TC を取る、然る時は C は流量の期間曲線中の一點なり、同様に QA' に等しく $T'C'$ を取る、 C' も亦流量の期間曲線中の一點なり、追て此の如く各水位に依り同様にして夫れに對する流量期間曲線中の點を求め之を連結する時は CC'' の如き曲線を得之れ即ち流量の期間曲線なり、但し此場合には流量曲線に對し横軸に流量を取りたると同じ縮尺を以て縦軸上にも流量を設定すべし。

此の如くにして作りたる CC'' の曲線が流量の期間曲線たることの證明は極めて容易なり、例へば水位七尺に對する期間は QB 即ち OT なり、同水位に相當する流量は QA なり、然らば QA なる流量に對する期間は同じく OT ならざるべからず、即ち TC なる流量に對して OT の期間あり、同様にして QA' 即ち $T'C'$ なる流量に對する期間は OT' なり、其他 CC'' 中の何れの點に於ても同一の關係となる、從て CC'' なる曲線は流量の期間曲線なり。

以上の如く水位の期間曲線を流量曲線により流量の期間曲線に轉換することに就ては Jasmund Gewässerkunde, Handbuch der Ingenieurwissenschaften, 3 Teil, 1 Band, 1906, s. 294 にも記載せり。

流量の期間曲線より其回数曲線を作ることも極めて容易なり、今流量の間隔を 2.000 立方尺宛とする時は先づ 2.000 なる水平線と期間曲線との交錯點の横距に等しく h を取る、但し h は流量

間隔の中央線上(即ち此場合には一、〇〇〇の線に入るべし、次に流量二、〇〇〇及四、〇〇〇なる水平線と期間曲線との交錯點の横距の差 a_2 に等しく h_2 を取る同様に a_3 に等しく h_3 を取り追て此の如くし凡ての f の端を連結する時は其連結せる曲線は即ち流量の回数曲線なり其理由は回数及期間兩曲線の關係上より明白なり

又水位の回数曲線よりも流量の同上を作ることを得べし、今流量の間隔を二、〇〇〇とする時は(5)式に依り流量二、〇〇〇に對する水位を計算すれば(又は流量曲線より圖上にて求むれば)五、六五尺を得故に水位の回数曲線に於て水位五、六五尺以下にある面積は流量の回数曲線に於ける流量の零より二、〇〇〇迄の間にある面積に相當す、又流量の四、〇〇〇に對する水位は六、四九尺なるを以て水位の回数曲線に於ける水位五、六五以上六、四九尺迄の間に横はる面積は流量の同上に於て流量の二、〇〇〇乃至四、〇〇〇の間に在る面積に相當す、追て此の如し、今水位の回数曲線のある水位 h_1 とある水位 h_2 との間に位する面積を a_1 とし h_1 に相當する流量を q_1 、 h_2 に對する同上を q_2 とし流量の回数曲線に於て q_1 と q_2 との間にある面積を a_2 とすれば平均一年の内 h_1 と h_2 の間なる水位の起る機會は q_1 と q_2 との間にある流量の起る夫れに同一ならざるべからず然るに凡ての水位の起る機會即ち水位の回数曲線の全面積は $365 \times h_1$ にして凡ての流量の起る機會即ち流量の回数曲線の全面積は同様に $365 \times q_1$ なるを以て

$$\frac{q_1}{365 \times h_1} = \frac{a_2}{365 \times q_2} \quad \text{即ち} \quad \frac{a_1}{h_1} = \frac{a_2}{q_2}$$

となる、又 h_1 と h_2 の間なる水位の起る回数(年平均日數)を n_1 とし q_1 と q_2 の間なる流量の起る同上を n_2 とすれば

$$n_1 = \frac{a_1}{h_1} ; \quad n_2 = \frac{a_2}{q_2}$$

流量の回數及期間曲線

四八一

にして $t_1=t_2$ なるを以て之れより $\frac{v_1}{dt_1} = \frac{v_2}{dt_2}$ なることを知るを得べく從て

$$t_2 = \frac{v_1}{v_2} dt_1$$

となる、依りて此ちを用ひて流量の回數曲線を作ることを得べし、例へば雄物川川尻標に於ける五寸を水位の間隔とする回數曲線に於て水位五、六五尺以下の面積は 19.19 (單位日尺)を得たりとすれば $t_2 = \frac{19.19}{0.5} = 38.38$ (單位日); $v_2 = \frac{19.19}{0.5} \times 2,000 = 38,38 \times 2,000$ (單位日秒立方尺)となるが如し、即ち三八、三八日は〇より二、〇〇秒立方尺迄の流量の起る回數なり、但し第三表に出したる數字と此れと符合せざるは計算法の異なるに依るものとす、追て此の如くして凡ての流量の間隔に對する回數を得べく此れに依り流量の回數曲線を作ることを得、

第二圖(圖には水位及流量のある程度以上を省略せり、故に回數及期間曲線は低き水位及小なる流量に對する部分のみを示しあり)及び第三表に據れば最も屢々起る流量は間隔を二、〇〇〇とすれば二、〇〇〇乃至四、〇〇〇立方尺の間に位するもの之れなり

水位に於ける平均水位、平水位及最多水位と同様なる觀念を流量に就ても構成することを得べし、平均流量は圖上よりも求むることを得べく、即ち流量の期間曲線と兩軸との間の面積を平均したる高さに等しく、流量の回數曲線の圍む面積の重心は平均流量に當る水平線上に在るべし、今雄物川に於て期間曲線より平均流量を求むるに一一、〇二四秒立方尺を得たり、然るに之れを此處の平均水位七、八八尺に對する流量八八、二二に比すれば遙かに大なり、此れは流量が水位の二乗に依りて變化することより生ずる結果にして兩者の差は大體に於て水位の範圍差の大なる程大となる

流量の期間曲線と兩軸との間に在る面積は曲線の構造上平均一年間の流量を積算したるものなること明かなり、故に此面積に一日に於ける秒の數を乗じたるものは即ち平均一年間に川の其個所を流過せる總水量に等しくなる

一年の半ば即ち一八二、五日に對する點を通して垂直線を引き其れと期間曲線との交錯點をGとすればGに對する流量は即ち平水流量平水位に對して然か名づくにして雄物川川尻の場合に於ては其數値は七、五三八立方尺なり、即ち平均一年の内半分は其流量より多く半分は其れより少なき流量を示す然るに雄物川の水位中に述べたるが如く川尻標に於ける平水位は七、五四尺にして之に對する流量は七、五〇五立方尺にして即ち前顯のものに殆むど相等し、換言すれば平水流量なるものは平水位に對する流量に等しきものにして之れは平水位及び平水流量なるものは一年の内半分は夫れより大半分は夫れより小なる水位及流量を示すものなるが故に當然に然るべき所なり、更に第二圖に據ればI'Gは即ち平水流量にしてQ'D'Gは平水位なり、平水位に對する流量はQ'Dにして之れは流量の期間曲線の構造上I'Gに等し、即ち平水位に相當する流量は平水流量に等しきことを知るなり、

平水流量に相當する水平線は流量の回数曲線の面積を二等分すること平水位に相當する水平線が水位の回数曲線の面積を二等分すると同様なり、
 最多流量最大の流量にあらずは最多水位を求めたると同様の方法に據れば四、五〇〇立方尺となる、即ち之に據れば雄物川川尻に於ては凡ての流量の内四、五〇〇立方尺内外の流量が最も屢々起ることを示すものなりと雖も已に雄物川の水位中に述べたるが如く川尻標に於ける最多水位は七、三七尺にして之れ即ち凡ての水位の内最も屢々起るべき機會を有するものなり、然らば凡ての流量の内最も屢々起るべき機會を有するものは其水位に相當する流量ならざるべからず、換言すれば最多流量は最多水位に對するものなるを要す、然るに水位七、三七尺に相當する流量は約六、八七〇立方尺にして之を前顯の流量回数曲線より求めたる四、五〇〇に比すれば其間に輕からざる差違あり、今此差違を生したる原因を考ふるに蓋し數個あり、一は流量の期間曲線を水位の夫れより轉換するに單な

流量の回数及期間曲線

四八四

る比例により挿入をなせることにして二は最多水位若くは流量なるものは甚だ曖昧なるものなること三は流量の回数は流量のある範囲内(即ち最多流量の起る附近の)に於ては何れの流量も殆むご同一の回数を示す傾向あること之れなり第二の原因に就ては雄物川の水位中に述べたるが如く最多水位を決定するには最大回数を示す水位附近の回数曲線の趨向に依るより外に策なくして多少任意の範囲内に變化し得るものなり、最多流量に就ても其決定には同様の不正確を伴ふ上に更に其他の原因ありて益其を甚しからしむ、第三表に就て觀るに流量二、〇〇より八、〇〇迄は略同一の回数を示せり、即ち水位の回数曲線は其形狀の尖鋭なるに反し流量の夫れは圓鈍なり、流量の間隔を小にすれば益其傾向大となる、之は理由あることにして流量が水位の二乗に比例することより來る結果なり、流量の間隔を同一とすれば其間隔に相當する水位の間隔は流量の大となるに従て小となる、而して最低水位より最多水位に至るまでは水位の上るに従ひ回数は大となることは明白にして一方に流量の各間隔に相當する水位の差が小となるものとすれば流量の各間隔に相當する回数は相平均して各間隔間の回数の差が小となるべきは當然の理なり、同様にして最多流量以上に在りては各間隔に對する回数は流量の大となるに従ひ迅速に減少す

以上の如く流量の回数曲線が最多水位以下にて尖鋭なる形狀を有せざる爲めに最多流量を決定するに困難にして従て前述の如く流量の回数曲線より出したるものと水位の夫れより出したるものとの間に差を生したるものと思はる、要するに最多流量は最多水位よりも一層明割ならざるものにして雄物川川尻に在りては最多流量は四、五〇〇乃至七、〇〇〇立方尺の間に存在す、換言すれば以上の範囲内の流量が最も屢々(其間の流量は何れも恐らく同じ様なるフレクエンシーを以て起るものなるべし

平均水位は平水位よりも、平水位は最多水位よりも理論上高きものなることは已に述べたり、流量に

就ても同一の關係あるものにして平均流量は平水流量よりも、平水流量は最多流量よりも大なりとす、但し平水位は最多水位より平水流量は最多流量よりも小となり得ることあり、特に流量に就ては水位よりも其傾向多くなる、之れは回數曲線の形狀の相違に源由するものなり

流量の回數曲線は水位の同上よりも多く不齊等あり、最多流量(今六、〇〇〇と假定して)と最大流量(一八、〇〇〇立方尺後に述ぶ)との差は一七四、〇〇〇にして前者と最小流量(今三、〇〇〇と假定す後を見よ)との差は五、七〇〇なり、其差の比例は三〇、五三にして之を水位に關する同様の比例四、一八に比すれば遙かに大なり、又流量の回數曲線の面積(七三〇、〇〇〇)の底(一七九七〇)と高さ(五四、六三)とにて圍む長方形の面積(九、八一七、〇一二)に對する比は一三、四五にして之れも水位の回數曲線の同様なる比率四、三五よりも遙かに大なり、是等の事實は流量が水位の自乗によりて變化することより生ずる自然の結果なり、

平均流量に對する期間は圖上より直ちに見得るが如く二四三、二一日なり、即ち一年の内約三分の二は平均流量より小なることを示す、之を平均水位の期間二一、二〇八日に比すれば稍大なり、之れも流量が水位の自乗によりて變化し従て平均流量は平均水位に對する流量より大なることより生ずる結果なり(第二圖参照)

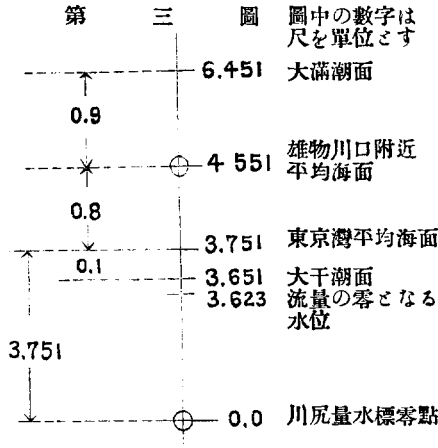
最高及最低流量

最低流量なるもの、意味は一見甚だ明瞭なるが如しと雖も強ちに然らず若しある個所に於てある瞬間に起りたる最小の流量の意味に於て云へば河川の流末に近き勾配緩なる部分に在りては最低流量は殆むど零となり得べきなり、雄物川の水位中に已に述べたるが如く川尻量水標にて觀測せる水位の内明治二十六年乃至三十七年なる十二ヶ年間に於て最低は明治三十二年五月に起りし四、〇〇尺にして最高は明治二十七年八月に起りし二一、四五尺なり、今(㊦)式に由り最低水位に對する流量

流量の回数及期間曲線

を計算すれば七〇立方尺を得べしと雖も水位日表に據りて檢するに右の四尺なる水位は明治三十二年五月二十二日午後六時に起りたるものにして其前後の水位は四、四〇尺及五、〇〇尺なり、即ち其四尺なる水位は特殊の原因によりて起りたる唯一度限りの水位にして従て先づ例外の水位と認めざるべからず、尙此の如き水位の起り得る所以を觀るに次の如し

圖中の數字はす
圖尺を單位とす



當時の川尻標の零點の高さは已に述べたるが如く東京灣平均海面より以下三、七五一尺に在り、然るに雄物川口附近日本海の平均海面は東京灣の同上よりも高きこと約〇、八尺にして(東京帝國大學理科大學紀要第二十八冊第七編平山博士 Results of the Harmonic Analysis of Tidal Observations made at Various Ports of Japan) 普通の大潮に於ける干滿の差は一、八尺(但し極端と極端との差は一、三米位に達するが如し) 同上参照なるを以て此等の關係を圖示すれば第三圖の如くなる、

上圖に據りて觀るに流量の零となるべき水位は大干潮面に略一致せり、雄物川の如き勾配の緩なる河川に在りて若し流量が小ならむには水位は殆むど大干潮面附近迄(即ち川尻標にて三、六五尺附近)迄に降下すること有るべきの理にして更に極端の場合には尙ほ夫れよりも低下する機會あるべし、此の如き場合に海の方より強風の吹く時は河の流れは一時阻止せらるべく従て流量は零となるべし、然れども此の如き状態は長時間の間繼續すること能はざるは明かなり、最低流量を以上の如き意味のものにあらずとせば結局程度の問題に歸すべし、四尺なる水位は前述

の如く例外として其次の最低水位四、四尺に對する流量を求むれば二九六立方尺を得即ち最低流量は約三〇〇立方尺となる、然れども此の如き低き水位に在りては潮汐の影響に依り流量曲線は明劃ならずして第一圖に於けるABCの三角形の内に在るべきを以て此れが果して絶對最低流量なるや否やは容易に決定し難し

次に又水力利用の方面より觀察する場合に爲すが如く流量の期間が年平均一〇日を超過せざる流量を最低流量と定むる時は雄物川川尻に於ては次の如くなるべし、

第二表の數字より挿入法により期間一〇日に同じき水位を求むるに五、〇七尺を得之に對する流量は一、〇二三立方尺なり、一年間平均一〇日間は其流量に達せざるものにして其他の日は凡て此流量よりも大なるものとす、

次に最高流量は㊦式により水位二一、四五尺に對するものを求むれば一七七、九〇六を得べし、依りて一八〇、〇〇〇立方尺を以て最大流量とす、

瀬田川鳥居川に於ける水位及流量の回数及期間

上來述べたる雄物川川尻に於ける流量の回数及期間は水位の夫れより轉換したるもの、例なり、今次に水位并に流量の回数を別々に計算せる例として瀬田川筋鳥居川に於けるものを述べべし、鳥居川は滋賀縣滋賀郡石山村中の一大字にして瀬田川の右岸に在り、有名なる瀬田唐橋を以て對岸瀬田と連絡せり、唐橋の西詰(右岸)に一の量水標ありて之を鳥居川量水標と稱す、明治七年二月四日より引續き毎日朝夕二回の水位觀測の結果あり(現今は外に尙自記量水機あり)

瀬田川は琵琶湖より流出するを以て河床は極めて安定なり、然れども明治三十三年春よりは改良工事に着手せられたるを以て其施工中は時々流量關係を變化せしめ工事終了後の流量關係も之より工事前の夫れと同じからず、依りて次には明治七年より同三十二年に至る約二十六年間の觀測に

流量の回数及期間曲線

基づく水位及流量の回数及期間を述べむとす、但し同日の朝と夕との水位は河の性質上特別の場合の外は格別の差異なきを以て毎日午前六時観測のもののみを用ゆ

水位の回数及期間

明治七年二月四日より同三十二年末日に至る迄に起りし水位の回数及期間は次表の如し、而して其水位の内最高は明治二十九年九月十三日に起りし一二三・五尺にして最低は明治二十七年十月二十五、二十九の兩日及同年十一月十四、十九の兩日に各起りし〇・一尺なり、

第 四 表

瀬田川鳥居川に於ける水位の回数及期間

水 位(尺)	度 數	年平均日數即回数(日)	同上累計期間(日)
12.01—12.5	4	0.15	0.15
11.51—12.0	3	0.11	0.26
11.01—11.5	2	0.07	0.33
10.51—11.0	3	0.11	0.44
10.01—10.5	4	0.15	0.59
9.51—10.0	2	0.07	0.66
9.01—9.5	3	0.11	0.77
8.51—9.0	8	0.30	1.07
8.01—8.5	12	0.46	1.53
7.51—8.0	9	0.34	1.87
7.01—7.5	12	0.46	2.33

6.51—7.0	38	1.46	3.79
6.01—6.5	65	2.51	6.30
5.51—6.0	54	2.08	8.38
5.01—5.5	136	5.25	13.63
4.51—5.0	195	7.52	21.15
4.01—4.5	359	13.85	35.00
3.51—4.0	837	32.30	67.30
3.01—3.5	1,311	50.60	117.90
2.51—3.0	1,914	73.88	191.78
2.01—2.5	2,124	81.98	273.76
1.51—2.0	1,458	56.27	330.03
1.01—1.5	525	20.26	350.29
0.51—1.0	274	10.57	360.86
0.01—0.5	110	4.24	365.10
合 計	9,462	365.10	

前表の數字に由り作製せる水位の回數及期間兩曲線は第四圖に於けるが如し。

前表に據れば最も回數の多きは二〇—二五尺の間にある水位之れなり。

平均水位は期間曲線より計算する時は二七〇二尺を得たり。

平水位は二五六三尺となる。

最多水位は前表のみに依りては決定すること能はずと雖も二五〇尺より少許大なることは明瞭な

流量の回数及期間曲線

四九〇

り、依りて曲線の趨向により二、五四尺と假定す
 以上の結果に據れば瀬田川に於ても平均水位は平水位よりも、平水位は最多水位よりも高きことを知るべし

次に回数曲線の形状に關する數字を觀るに最高最低兩水位の差即ち底は一、二、二五尺にして高さと底とにて圍む長方形の面積(一、〇〇四、二五五)の回数曲線の面積(二八二、五)に對する比は五、五〇なり、最高最多兩水位の差は九、八一尺にして最多最低兩水位の差は二、四四尺なるを以て前者の後者に對する比は四、〇二となる、即ち瀬田川の回数曲線の形状は雄物川のに比すれば大に齋等に近く從て其結果として平均、平、最多の三水位をして相接近せしむるを觀るべく其源因の琵琶湖の影響に在ることは更めて言ふまでも無きことなり、

平均水位に對する期間は一六、九三日となる、即ち一年間平均其日數は平均水位より高き水位の起る日にして平均水位よりも低き水位の起る日數は二〇三、一七日なり、

流量曲線

瀬田川に於ける流量實測の結果は明治二十四年以降同三十年に至る迄に凡て五一個あり、此結果を用ひ最小二乘法により計算せる流量曲線は次の如し

$$y\sqrt{Q} = 13.191h + 40.841 \dots\dots\dots (9)$$

$$Q = 174h + 3.096h^2 \dots\dots\dots (10)$$

(單位尺)

上式中のhは鳥居川量水標の示す水位を表はす、

河は極めて安定にして且つ河川工事の著しきものなかりしを以て右の流量曲線は流量實測當時の前後に延長適用するも毫も支障なきものとす、但し著しき河川工事の着手せられたる明治三十三年以後には最早適用すること能はず、

流量の回数及期間

今流量の間隔を1.000立方尺とし各間隔の下限及上限に對する水位を流量曲線(○)により計算するときには水位の間隔は不同となるべし、此不同なる各間隔内に横はる水位の度数を水位日表より計算する時は其度数は即ち流量の各間隔の度数となるべし、此方法により計算せる流量の回数及期間は次の如し

第 五 表

瀬田川に於ける流量の回数及期間

流 量 (秒/千立方尺)	度 數	年平均日數 即回数(日)	同上累計期間(日)	水位の期間より轉 換せる期間(日)	同上回数 (日)
41-42	1	0.04	0.04	—	—
40-41	2	0.07	0.11	—	—
39-40	1	0.04	0.15	—	—
38-39	1	0.04	0.19	—	—
37-38	2	0.07	0.26	—	—
36-37	1	0.04	0.30	—	—
35-36	1	0.04	0.34	—	—
34-35	1	0.04	0.38	—	—
33-34	2	0.07	0.45	—	—
32-33	1	0.04	0.49	—	—
31-32	0	00	.49	—	—
30-31	2	0.07	0.56	—	—

論説及報告

流量の回数及期間曲線

29—30	1	0.04	0.60	—	—
28—29	2	0.07	0.67	—	—
27—28	1	0.04	0.71	—	—
26—27	1	0.04	0.75	—	—
25—26	2	0.07	0.82	—	—
24—25	6	0.23	1.05	—	—
23—24	5	0.19	1.24	—	—
22—23	6	0.23	1.47	—	—
21—22	5	0.19	1.66	—	—
20—21	4	0.15	1.81	—	—
19—20	6	0.23	2.04	—	—
18—19	8	0.30	2.34	—	—
17—18	16	0.61	2.95	—	—
16—17	26	1.00	3.95	—	—
15—16	34	1.31	5.26	5.35	—
14—15	40	1.54	6.85	6.83	1.48
13—14	41	1.58	8.38	8.18	1.35
12—13	90	3.47	11.85	11.45	3.27
11—12	103	3.97	15.82	15.81	4.36
10—11	186	7.18	23.00	21.57	5.76

9-10	258	9.95	32.95	32.34	10.77
8-9	581	22.42	55.37	55.41	23.07
7-8	1,076	41.53	96.90	92.90	37.49
6-7	1,557	60.10	157.00	151.00	58.10
5-6	2,073	80.01	237.01	230.48	79.48
4-5	2,025	78.16	315.17	307.63	77.15
3-4	899	34.70	349.87	348.02	40.33
2-3	331	12.77	362.64	362.61	14.59
1-2	64	2.47	365.11	365.10	2.49
合 計	9,462	365.11			

前表の數字に依り曲線を作る時は第四に於けるが如し

前表に據れば最屢々起る流量は五千乃至六千立方尺のものなるを見る

平均流量を期間曲線より計算すれば六一六七立方尺となる之に對する水位は二八五七尺にして平均水位よりは少しく大なり、

平水流量は期間曲線に據れば五六八一立方尺にして平水位二五六三尺に對する流量を(○)式により計算すれば五五七五立方尺を得べく兩者略一致するを見る。

最多流量は五、三、七〇立方尺にして之を最多水位より(○)式により計算せる流量五、五、三三に比すれば略相一致せり、即ち瀬田川に於ては五千四百立方尺の流量が凡ての流量の内最も屢々起ることを示す。

雄物川に在りては流量の回数より求めたる最多流量と最多水位に對する流量との間に多大の差違

流量の回数及期間曲線

四九四

を生せしことは已に述べたり此兩者は相一致すべき性質のものなることは瀬田川の例能く之を證せり雄物川に在りては流量の回数は水位の夫れより轉換せるものにして瀬田川に在りては流量の度数より計算せるものなり此兩方法は流量の回数に如何なる差違を生ずるやを觀る爲めに瀬田川に於ても試みに水位の回数より轉換するに其結果は第五表に併舉せるが如くにして之を流量の度数より計算せるものに對比するに多少の出入ありと雖も大體に於て兩者の回数は相一致せり換言すれば何れの方法に據るも流量の回数を得べきを知るなり、

次に瀬田川に於ける二十六年間の絶對最低流量は最低水位〇、一尺に對する流量一、七八二立方尺にして年平均一〇日間を起過せざる最低流量は二、六〇〇立方尺なり而して最高流量は四一、四〇〇立方尺となる、最多流量を五、四五〇立方尺と假定すれば夫れと最大流量との差は三五、九五〇にして最多最小兩流量の差は三、六六八となり兩差の比率は九、八〇にして之を水位に關する同様の比四、〇二に比すれば遙かに大なり、又流量の回数曲線の面積三、六五、〇〇〇の底三、九、六一八と高さ(八、〇〇、一)にて圍む長方形の面積三、一六九、八三六に對する比は八、六八にして之を水位の回数曲線の同様なる比五、五〇に比すれば是又大なりとす、

平均流量に對する期間は一、四六、九六日にして平均流量より低き流量の起る日数は二、一八、一五日より、即ち平均水位より低き水位の起る日数よりは少しく大なり

結 論

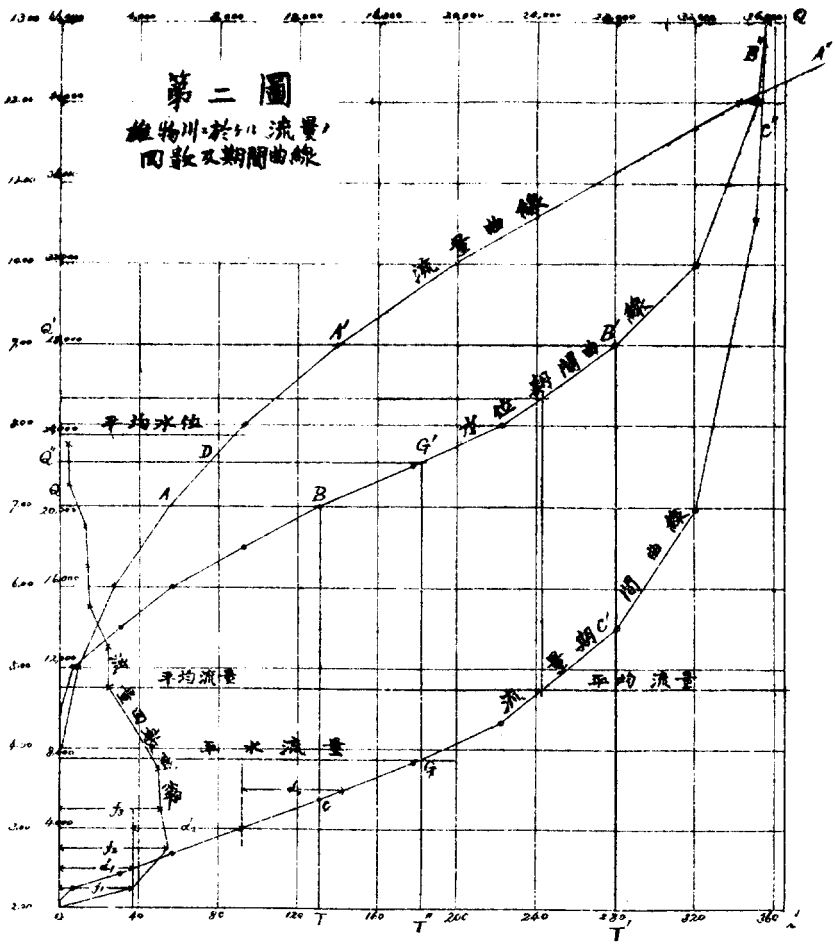
上來論述せる所より次の結論を得

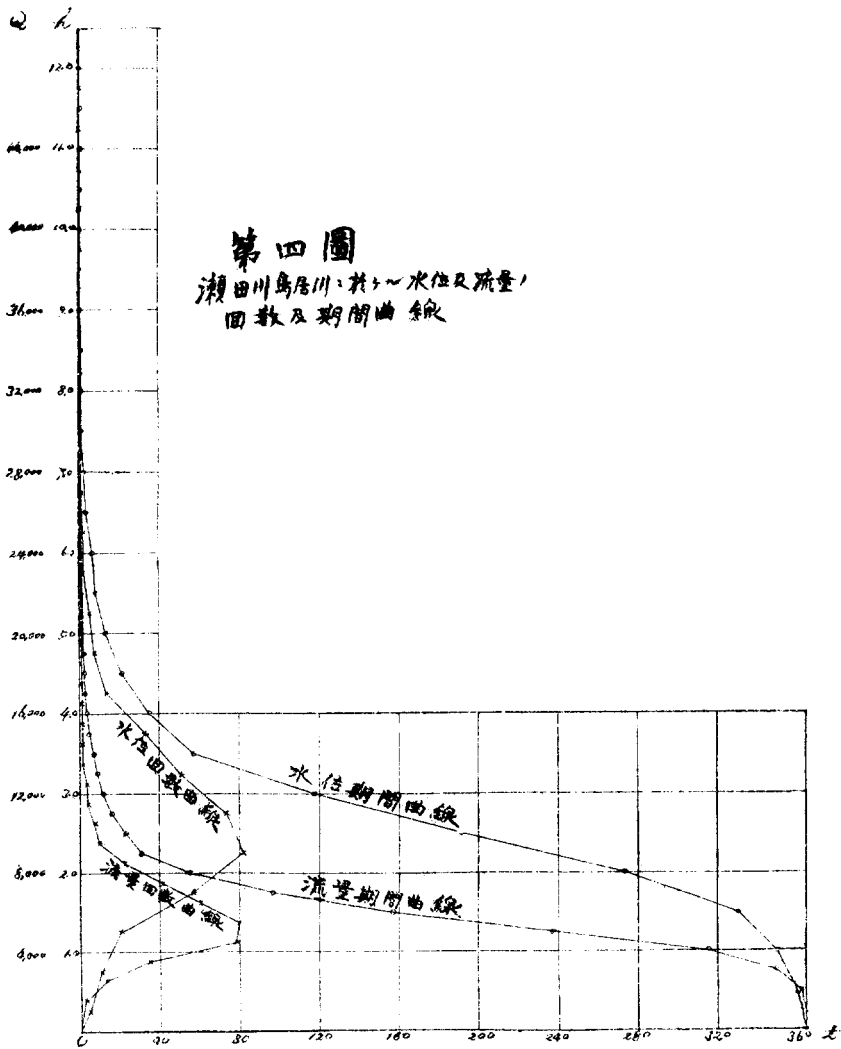
(一) 流量の回数及期間曲線は流量の實際に起りし度数より之を求むるに如くはなしと雖も流量曲線の媒介に由り水位の回数及期間曲線より轉換することを得べし

(二) 平均流量、平均流量及最多流量の流量の回数及期間曲線に於ける關係并に其の相互間の關係は平

40

第二圖
 維物川於此流量
 同數及期間曲線





第四圖
 瀨田川島居川：於一水位及流量
 回數及期間曲線

均水位平水位及最多水位の水位の回数及期間曲線に於ける關係并に其相互間に於ける關係に同様なり

(三)水位の回数曲線の形状の尖鋭なるに反し流量の同上は圓鈍となる、又流量の回数曲線の形状は水位の夫れよりもより多く不齊等なり又流量の回数曲線の面積の底と高さにて圓形長方形の面積に對する比は水位の回数曲線の同様なる比よりも遙かに大なり、凡て此等の事實は流量が水位の自乘によりて變化することより生ずる結果なり、

(四)雜物瀬田兩川に關し前に出したる數字を茲に結集すれば左の如し

雄物川川尻

瀬田川島居川

1. 流量曲線	$Q=487.4(l^2-3.623)^2$	$Q=174(l+3.096)^2$
2. 最低水位(尺)	4.00	0.10
3. 最高水位(尺)	21.45	12.35
4. 最高最低雨水位の差(尺)	17.45	12.25
5. 平均水位(尺)	7.879	2.702
6. 平均流量に對する水位(尺)	8.379	2.857
7. 前雨者の差(尺)	0.500	0.155
8. 平水位(尺)	7.54	2.563
9. 最多水位(尺)	7.37	2.54
10. 平均水位と平水位との差(尺)	0.339	0.139
11. 絕對最低流量(秒/立方尺)	300	1,782
12. 年平均十日を超過せざる最低流量(尺)	1,023	2,600

河川に於ける流量曲線の實例

四九六

13. 絕對最高流量(%)	180,000	41,400
14. 絕對最高最低雨量の比	1 : 600	1 : 23.2
15. 平均流量(秒/立方尺)	11,024	6,167
16. 平均水位に對する流量(%)	8,822	5,853
17. 前兩者の差(%)	2,202	314
18. 年水流量(%)	7,538	5,600
19. 最多流量(%)	6,000	5,450
20. 水位の回數曲線の頂點の偏れる程度	4.18	4.02
21. 流量の回數曲線の同上	30.53	9.80
22. 水位の回數曲線の面積に對する比	4.35	5.50
23. 流量の回數曲線の同上	13.45	8.68
24. 平均水位より低き水位の起る年平均日數	212.08	203.17
25. 平均流量同上	243.21	218.15

以上の内雄物川の水位に關する數字は「雄物川の水位」中より採る

雄物川に關するものは明治二十六年乃至三十七年の十二ヶ年間瀬田川のもは明治七年乃至三十二年の二十六ヶ年間の觀測に基づくものなり

河川に於ける流量曲線の實例

工學士 衣川 清 一君

河川の水位と流量との關係を表はす曲線即ち流量曲線は其の大勢略パラボラに類似せる事は實驗