水門を有する湖沼の水位推算について (II)

杉 尾 捨 三 郎*

草 間 孝 志**

On the Calculation of Water Level at a Lake which has Sluice Gates(II)

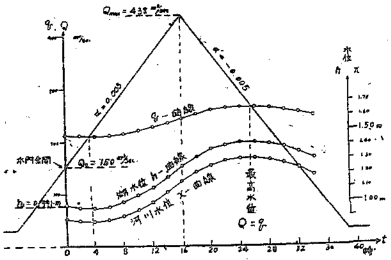
BY

Sutesaburo SUGIO

and Takashi KUSAMA

1 緒 言

洪水時には湖沼水門の操作は極めて大切で，操作が適切であれば上流湖岸の浸水を救うだけでなく下流の水害も防止する事が出来る。筆者は既に水門全開後の湖水位の変動状態を推算する理論式を発表したが[1]，本文ではこの計算法を用いて作製した数種の計算図表を利用すれば factor の多い複雑な計算を略し得て極めて有利である事を実例を挙げて述べた。尚最後に湖沼による洪水調節についての筆者の見解をつけ加へた。



第 1 図

2 水位曲線の計算例

以下引用すを公式番号は文献(1)に準ずる。図―1は，湖水面積が $A=9.0h+6.7\mathrm{km}^2$，河川流出量が $q=116+90x+20x^2\mathrm{m}^3/\mathrm{sec}$，又(9)式に於て，$B=55.2\mathrm{m}$，$Hs=-2.0\mathrm{m}$，$\mu=1.0$，洪水増加率 $\alpha=18\mathrm{m}^3/\mathrm{sec}/$時$=0.005\mathrm{m}^3/\mathrm{sec}^2$，$\alpha'=-0.005\mathrm{m}^3/\mathrm{sec}^2$ で表わされる時の湖水位の変動を図示したものである。即ち

(14)式より $m=9.9\times10^6$，$n=7.467\times10^6$

(16)式より $a=92.6$ ，$b=134.0$

(20)式より $e_1=m\alpha=4.95\times10^4$

これより(23)式を用いて $G_{(z)}$ を計算したのが表―1である。又減水時には $b^2+4e_1<0$ であるから，$K_{(z)}$を計算して表―2を作ておく。

* 信州大学助教授 工学部

** 信州大学 助手 工学部

表—1

増水時

Z	G(Z)	表差
0.0035	+0.3089	2374
40	+0.0715	1056
45	−0.0341	636
50	−0.0977	530
55	−0.1507	441
60	−0.1948	380
65	−0.2328	336
70	−0.2664	303
75	−0.2967	277
80	−0.3244	255
85	−0.3499	239
90	−0.3738	221
95	−0.3959	210
0.0100	−0.4169	197
105	−0.4366	188
110	−0.4554	179
115	−0.4733	170
120	−0.4903	163
125	−0.5066	156
0.0130	−0.5222	

表—2

減水時

Z	K(Z)	表差
0.0035	−0,09158	339
40	−0.1254	344
45	−0.1598	346
50	−0.1944	339
55	−0.2283	331
60	−0.2614	321
65	−0.2935	309
70	−0.3244	296
75	−0.3540	283
80	−0.3823	272
85	−0.4095	260
90	−0.4355	249
95	−0.4604	239
0.0100	−0.4843	447
110	−0.5290	411
120	−0.5701	381
130	−0.6082	354
140	−0.6436	329
150	−0.6765	309
160	−0.7073	290
170	−0.7363	273
180	−0.7636	

〔但し　$b=134.0$　$\alpha=0.005$　$\alpha'=-0.005$　$m=9.9\times10^6$とす〕

以上の準備が出来た後は任意のh_0, Q_0に対する水位曲線が計算出来るわけで，図—1は$Q_0=150\mathrm{m^3/sec}$, $h_0=0.991\mathrm{m}$の時水門を全開し，爾後16時間を経て$Q_{max}=438\mathrm{m^3/sec.}$に達し，其の後$Q$が$\alpha'=-0.005$の割で減水する場合の湖水位の変化を(26)〜(28)式により算出したものである(2)。

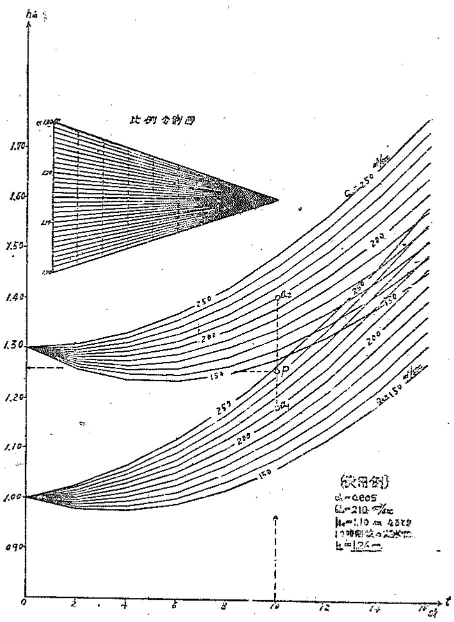
更にAが一定の時の計算は(36)，(38)式を用いればよいから極めて容易であり，この結果を表—3に示した。Aがhの変数である場合も表—2に対比して載せておいたが，Aが一定の時も大体図—1に似た曲線になる事が分る。

3　湖水位—図表

(17)式又は(34)式で明かな様に，湖水位—時間曲線はα, Q_0, 及びh_0の三つのfactorを有するから，これ等3つの種々なる組合せにより無数の曲線を生じ，計算は繁雑極りない。さてαの値として，其の地方に最も起りやすい洪水増加率の値を採用する事にし，任意のQ_0, h_0, に対する曲線を作つたものが図—2，図—3である。簡単の為Aが一定の時を扱つてみる。例えば図—3では$h'_0=1.20\mathrm{m}$, $1.40\mathrm{m}$の場合につきQ'_0を$20\mathrm{m^3/sec.}$

表—3

	時間	A=14.8km² (一定) x	h	q	A=9.0h+6.7km² の時 x	h	q	摘要
増水時 α=0.005	0	0.900	0.991	223.2	0.900	0.991	223.2	
	2	0.880	0.969	210.5	0.882	0.972	210.8	x_o=0.900
	4	0.877	0.966	210.1	0.877	0.966	210.1	(h_o=0.991)
	6	0.891	0.981	211.9	0.892	0.982	212.1	
	8	0.919	1.010	215.7	0.919	1.010	215.7	Qo=150m³/sec
	10	0.963	1.056	221.6	0.961	1.055	221.4	
	12	1.020	1.116	229.2	1.009	1.105	227.8	
	14	1.089	1.188	238.5	1.076	1.175	236.8	
	16	1.171	1.274	249.5	1.149	1.252	246.6	
減水時 α'=−0.005	0	1.171	1.274	249.5	1.149	1.252	246.6	x_o'=1.171
	2	1.248	1.355	259.8	1.211	1.317	254.9	x_o'=1.149
	4	1.303	1.414	267.3	1.259	1.367	261.3	
	6	1.339	1.451	272.1	1.289	1.399	265.1	Q′o=438m³/sec
	8	1.358	1.471	274.6	1.305	1.415	267.5	
	10	1.358	1.471	274.6	1.308	1.418	267.9	
	12	1.342	1.455	272.5	1.298	1.408	266.5	
	14	1.312	1.423	268.4	1.278	1.387	263.9	
	16	1.267	1.375	262.4	1.244	1.351	259.3	



第 2 図

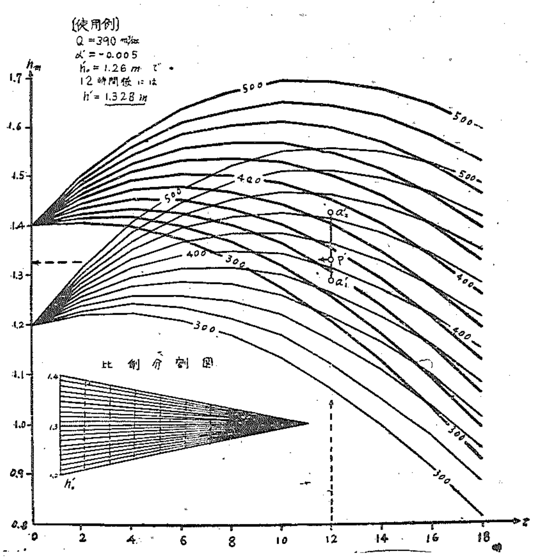
刻みに画いた二組の曲線群が併記してあり，この時各曲線群の縦間隔は次の理由から全て等しい。即ちh_oが一定でQ_oの値が標準値Q_{on}，とQ_oの二種の曲線に挟まれた縦間隔は

$$h-h_n=(Q_o-Q_{on})\ \frac{(1+\varepsilon)}{b}\ (1+e^{-\frac{bt}{\lambda}})\cdots\cdots(41)$$

次にQ_oが一定でh_oを種々に変えた時も同様な方法で

$$h-h_n=(h_o-h_{on})\cdot e^{-\frac{bt}{\lambda}}\cdots\cdots(42)$$

となる故曲線は共に等間隔に画けばよいから作図も極めて容易である。図—2，図—3中に記入した使用例は，Q_o=210 m³/sec，h_o=1.10m の状態で水門を全開し，10時間後に Qmax. になったとし，この時の湖水位及び更に12時間後の湖水位を求めんとしたものである。



第 3 図

即ち図ー3に於て $h'_o=1.26\text{m}$ の状態で最大流入量 $Q'_o=390\text{m}^3/\text{sec}$. より $\alpha'=-0.005$ の割で減水してから12時間後の湖水位を求めるには，t=12時の鉛直線上で $Q'_o=390$ に相当する2点 a_1', a'_2 を拾い，$\overline{a'_1a'_2}$ を (1.40—1.20)：(1.26-1.20) の比に分割する点 P' を divider で定め，その縦坐標より $h'=1.328\text{m}$ を得る。

4 増加水位 Δh 一図表

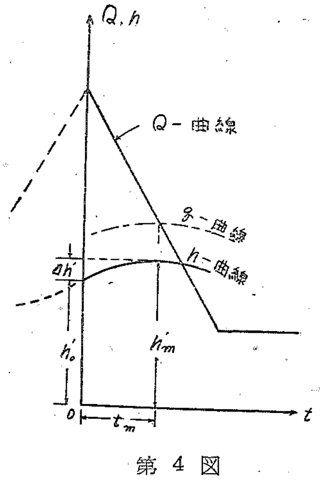
洪水調節において最も重要なのは最高水位はいつ，どの高さにまで達するかを明かにする事であらう，言う迄もなく湖沼が最高水位に達する時が湖岸は最も浸水の危険の大きい時であり，又全水門を全開している限りに於ては，同時に下流河川え最大洪水量 q_{max}. を流出する事になるからである。

(1) 湖水面積Aが一定の時

図ー4に於ける $\Delta h'$ を増加水位と名づければ

$$\Delta h'=h'_m-h'_o \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (43)$$

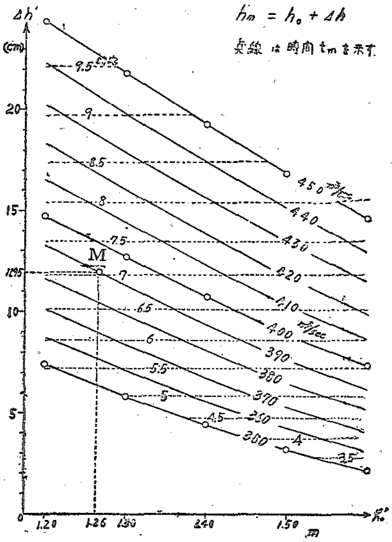
h'_m は (39), (40) 式に於て h'_o と Q'_o を与えると計算出来るから結局，任意の h'_o と Q'_o に対する $\Delta h'$ を計算して表にしたものが図ー5であって，これには(39)式で求めた t_m も併記しておけば便利である。例えば $Q'_o=390\text{m}^3/\text{sec}$, $h'_o=1.26\text{m}$, $\alpha'=-0.005$ の状態で減水する時の最高水位とその時刻を求めるには，図ー5に於て $Q'_o=390$, $h'_o=1.26$ mに相当する点Mを拾い，その縦坐標より，$\Delta h'=11.95\text{cm}$ を得るから $h'_m=h'_o+\Delta h'=1.260+0.1195 \fallingdotseq 1.380\text{m}$ となる。又 $t_m \fallingdotseq 7$ 時間である事も直ちに分る。最高水位は又次の如く求めても差つかえない。即ち図ー3を利用し，t=6, 7, 8時間後の水位を試みにしらべて見ると，$t \fallingdotseq 7$ 時間に於て $h_m=1.375\text{m}$ を得る。



第 4 図

(2) 湖水面積 $A=m_o\dot{h}+n_o$ の時

減水時には(24)式の $G_{(z)}$ の代りに $K_{(z)}$ を用いるから (25), (26), (32) 式より



第　5　図

$$K_{(z)}=K_{(z_0)}+\log_{10}\left(1+\frac{e'_1 t}{e'_2}\right)\cdots\cdots(44)$$

ここに $e_1'=m\alpha'$, $e'_2=m(Q_0'-a)+bn$ 扨減水時の基礎方程式 (31) 式に於て最高水位 x_m が現われる時には $\alpha' t_m+Q'_o-a=b\cdot x_m$ となる事を利用すれば，その時

$z=(mx+n)/(e_1' t_m+e'_2)=1/b=$ 一定値……(45)

即ち $K_{(z)}$ は α', h'_o, Q'_o の値の如何にかゝわらず一定値となる。尚

$$z_o=\frac{m(h'_o-c_o)/(1+\varepsilon)+n}{m(Q'-a)+bn}$$

であるから(44)式を変形して，t_m, x_m, h_m を求める事が出来る。

$$t_m=\frac{e'_2}{e'_1}\left\{\frac{1}{\log_{10}[K_{(z_0)}-K_{(z)}]}-1\right\}\cdots\cdots(46)$$

$$x_m=\left(\frac{Q'_o-a}{b}+\frac{n}{m}\right)\frac{1}{\log[K_{(z_0)}-K_{(z)}]}-\frac{n}{m}\cdots\cdots(47)$$

$$h_m=(1+\varepsilon)x_m+C_o\cdots\cdots(48)$$

以上3式を利用すれば $A=m_o h+n_o$ の場合にも図－5と類似の図表を作製する事が出来る。

5　洪　水　調　節

水門による洪水調節を論ずるには是非共水門を全開する以前の状態に於ける水位変動と，水門を全開すべき時期を論じ，更に水門全開後の水位を考究して始めて完全と言えるであらう。まずQが僅少でどの水門も全開されていない状態では，湖水位 h と河川水位 x とは次の関係式で結びつけられている。

$$\sqrt{2g(h-x)}\cdot\Sigma BCH=a_1+b_1x+c_1x^2\cdots\cdots\cdots\cdots(49)$$

こゝにH：ある水門扉（有効幅B）の開度

C：ある水門扉のその水位における流量係数

従ってこの状態でQが流入した時は(40)式の代りに(49)式を用いて基礎方程式を作製せねばならない。この場合の理論は今後の研究に俟つ事にするが，全水門全開の前後を問わず洪水調節を研究する上に大切な事は，来らんとする洪水量Qの形を正しく推定して水門の開度と開閉の時期を適切に実施する事により，上下流共に被害を最小限に喰い止める事である。然るにQの形を推定するには降雨分布と継続時間を知る事が是非共必要で，それも極めて狭い地域の降雨変化を予報する事は現在の所では殆んど不可能に近い。従ってかくかくの洪水が来るであらうと推定されたQをもとにして水門操作を行う外はない。

(1) 全水門全開の時期

図―3の使用例に挙げた状態において，もし全水門全開の時期を2時間早く，或は遅くした場合，最高水位h_m，及びt_mは表―4の様になる。即ち最高水位 h_m の高低は主

表―4

	h_0 (m)	Q_0 (m3/s)	T	Q'_0(m3/s)	h'_0(m)	t_m	h'_m (m)	全水門全開の時期
I	1.06	174	12	390	1.222	7^h20^m	1.345	2時間はやく
II	1.10	210	10	390	1.260	$7.^h0^m$	1.380	標　準
III	1.15	246	8	390	1.300	6^h50^m	1.411	2時間おそく

として水門全開時の湖水位 h_0 に関係するから，h_mを極力下げる為には増水の初期に水門を全開するのが最も効果的である事が分る。たゞし実際問題としては漁業，灌がい等の利水面も考慮をはらわねばならない。[3]

(2) α, α'の推定

α, α' の値としては従来の洪水記録を調査して最も屢々起り得るαの値を標準値 α とし，もしそれと異ったαの場合には次式により補正する事にすれば一々$G_{(z)}$や$K_{(z)}$を計算し直す手数が省けて便利と思う。即ちAが一定の時には

$$h=h_N+(\alpha-\alpha_N)\cdot\Psi_{(t)}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(50)$$

たゞし

$$\Psi_{(t)}=(1+\varepsilon)\left[\frac{t}{b}-\frac{\lambda}{b^2}\left(1-e^{-\frac{bt}{\lambda}}\right)\right]\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(51)$$

種々なるαに対する $(\alpha-\alpha_n)\cdot\Psi_{(t)}$ を表示すれば表―5となる。

即ち図―4の使用例において　$\alpha_n=-0.005$とおけば，$\alpha=-0.0045$の時，12時間後の水位 $h=h_N+(\alpha-\alpha_N).\Psi_{(t)}=1.328+0.028=1.356$m，$\alpha=-0.0055$ならば$h=1.328-0.028=1.300$mとなる。

表―5　$(\alpha-\alpha_n)\Psi_{(t)}$一表　(但し$\alpha_n=0.005$とす)

α ＼ t	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0.004	−0.0017	−0.0067	−0.0149	−0.0258	−0.0396	−0.0559	−0.0746	−0.0956	−0.1187
0.0045	−0.0008	−0.0034	−0.0074	−0.0129	−0.0198	−0.0280	−0.0373	−0.0478	−0.0594
0.005	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0.0055	0.0008	0.0034	0.0074	0.0129	0.0198	0.0280	0.0373	0.0478	0.0594
0.006	0.0017	0.0067	0.0149	0.0258	0.0396	0.0559	0.0746	0.0956	0.1187

(3) 洪水遭遇中の水位推算

現在洪水が来襲している時の湖水位の推算をなすには先ず流入洪水量Qを一定時間毎に観測する事が必要である。これにより α, α' の値の推定を行い，又これと気象状件及び従来の経験により今後の継続時間を予想しなければならぬ。即ち増水時にはαが分っても継続時間が定まらぬ限り湖水位も予想出来ないうらみがある。然し減水時には大いに異り，$Q_{max.}$ の時刻とその大きさが分れば，今後のα'を適当に推定する事により最高水位h'_mとその時間 t_m をかなりの確実さで予想出来る事は注目に値する。$Q_{max.}$ の

現れる時刻をつかむには勿論Qの観測の結果に俟つべきであるが，又図―1でも分る様に，この時刻において湖水位曲線は変曲点になる事を利用してもよい。尚Qの観測は流入河川水位の実測から求める事が望ましいが，直接hとqから計算で求めるとAが大きい為思わぬ誤差を伴う事があるから慎重な取扱いを要する。

6　結　　　言

湖沼水位の計算を従来の数値積分法を用いて行うと factor が多くて面倒であるに鑑み，筆者は若干の仮定の下に，且つ水面積が水深hの一次式で表わされる場合にも適用出来る近似解法を述べ，更に図表化して洪水調節に役立てんと試みた。これにより水位曲線を規定する3箇の factor α, Q_0, h_0 相互間の関係が明かとなり，今後水門操作の合理化に対する理論的根拠と，湖沼水門設計上の基礎になるものと考える。しかし水門による洪水調節は，全水門を全開しない以前の状態における研究も併せ考えて始めて完全になるのであるから，今後はこの方面の研究も進めたいと考える。

終りに臨み，終始御指導を賜った工学部長結城朝恭博士，京都大学石原藤次郎博士に対し深く謝意を表すると共に，御便宜を与えられた長野県土木部関係各位の御厚意を感謝する。

〔註〕

(1) 杉尾捨三郎；水門を有する湖沼水位の推算について，信州大学紀要第1巻第1号

(2) 杉尾捨三郎；同上，土木学会誌第36巻12号

(3) 長野県土木部編；諏訪湖の資料

On the Calculation of Water Level at a Lake which has Sluice Gates (Ⅱ)

By
Sutesaburo SUGIO
Takashi KUSAMA

When the flood water pours into a lake, it is very important to manage the sluice gates at the outlet of the lake. If the management is adequate, we can not only prevent the lake-side district from inundation, but also prevent the lower streams from damages by water.

On these problems, the auther has already presented theorefical formulas to calculate the variation of water level at the lake after the gates have been fully opened.

In this paper, he describes with some examples that we can be conveniently free from complex calculation with many factors, by utilizing some diagrams which are derived from above mentioned formulas. At last he adds his opinion on the flood control at the lake.