論説報告

土木學會誌　第十一卷第三號　大正十四年六月

水力調整池の研究

准員　工學士　松野辰治

內容梗概

調整池は負荷の時間的變化を調節するを目的とするが故に負荷曲線の一般的性質を探究して調整池の容量との關係を明にし進んで負荷曲線の直線化を指摘して調整池に關する諸問題を解決せんとするものである。

緒論

水力工事に於ける調整池とは其使用水量を最も經濟的に利用せんが爲め水路の中間に設置せる貯水池の一種であつて一日中比較的電力の需要小なる時分に餘水路から無爲に放流すべき水量を此處に貯へて平均以上の需要が起る時に補給使用せんとするものである。從而調整池の容量働作等は供給區域に於ける電力需要の狀態即ち負荷曲線の性質に由て定まるものであるが故に設計の當初に最も愼重なる研究を遂げる必要がある。然るに電力需要の狀態は地方的條件に由り或は又電力用途の如何に由つて多大の變化があるのみならず同一地方で同一目的に使用さるゝ場合に於てすら尙日々相當の變化を示すものであると同時に月により季節に由つて益々其變化が著しいことは發電所又は變電所の負荷曲線を見れば何人も容易に了解できることである。特に尖頭負荷を受くる發電所の如きは殊に甚しいのである。故に設計の當初に一定の負荷曲線を豫想するが如きは甚だ困難な問題であると同時に稍々無謀の擧の如くに思惟されるが飜つて之等の發電所若くは變電所に於て實際に起つた一々の負荷曲線に就いて詳細に調査して見ると之は決して無謀の擧で無く之等の外觀上の變化に基因する誤差の範圍は或る一定の僅小の圈內に來るのであることが了解される。此事實に關しては本論に於て重ねて詳說するが要するに一定の負荷曲線を豫想して設計を爲すことは然らざる場合に比し誤差を一定の範圍內に止むることを得るものである。然しながら前述の通り將來起り得可き負荷の狀態を豫想して或る曲線形を假定し得るとしても一般に之を數理的に取扱ふことは頗る至難であつて煩雜と手數とを要する割合に得る所の効果は

比較的僅小である故に負荷曲線の豫想に起因する前述の實際に起り得る誤差の範圍内に於て最も單純な形で數理的に取扱至便な線形を決定し得れば極めて好都合と言はねばならぬ。

本　　論

負荷曲線の性質を研究するには與へられた曲線に對して相似なる單位曲線を作るのが最も便利である。單位曲線とは與へられた曲線の最大負荷を單位に取り任意時の負荷を其小數値で示したものを言ふのである。今次の如く記號を定める。

P_0 : 最大負荷 K.W.

P_m : 平均負荷 〃

f: 變數としての負荷率

a : 單位曲線の與へられた負荷率線以上に存する部分の面積

b : 與へられた單位曲線の負荷率

p_0 : 單位曲線に於ける最大負荷（單位）

p_m : 單位曲線に於ける平均負荷$=f$

$T_0 : \dfrac{a}{p_0}=a$

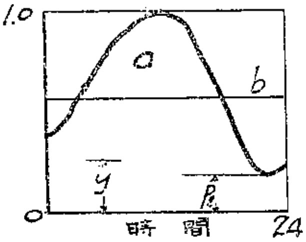
$T_m : \dfrac{a}{p_m}=\dfrac{T_0}{f}$

P_l : 負荷曲線に於ける最小負荷 K.W.

p_l : 單位曲線に於ける最小負荷 〃

y : 任意縱距

負荷曲線に於て普通 P_l 迄の負荷を基礎負荷と稱し P_l から P_0 迄のものを尖頭負荷と稱する。負荷曲線の性質は其尖頭負荷の形狀に由つて定まるものである。



第　一　圖

今第一圖の如き單位曲線に於て基礎負荷 p_l を超へざる範圍内に於て y を增減すると次の關係が生じて來る。

$$f=\frac{b\pm y}{1\pm y},\qquad T_0=\frac{a}{1\pm y}$$

兩式から y を消去すると

$$T_0=\frac{a}{1-b}(1-f)\quad\cdots\cdots(1)$$

$$T_m=\frac{a}{1-b}\left(\frac{1}{f}-1\right)\quad\cdots\cdots(2)$$

即ち T_0 及び T_m は f の函數であつて其係數 $a/(1-b)$ を決定し得れば極めて簡單な關係にあることが了解出來るのである。T_m は平均負荷に對する繼續時間を意味する故に同時に調整池の容量を平均流量の繼續時間を以て表はしたものと解釋すべきである。然し此關係は y が p_l を超えざる範圍内に於てのみ許さる可きものであることを忘れてはならぬ。y が p_l になつた場合の f を f_l とすれば

$$f_l=\frac{b-p_l}{1-p_l}\quad\cdots\cdots(3)$$

$a/(1-b)$ の値は供給區域の事情に由つて定まるものであつて各電力會社に就いて見ると大體に於て各自獨特の値を持て居ることを推定することが出來る。著者が嘗て手元に集めた數種の負荷曲線に就いて此係數を算定すると第一表の如くであつて附圖第七、第八、第九は之等の負荷曲線の圖集である。第一表に示す通り

第一表　$c=\dfrac{a}{1-b}$ の値

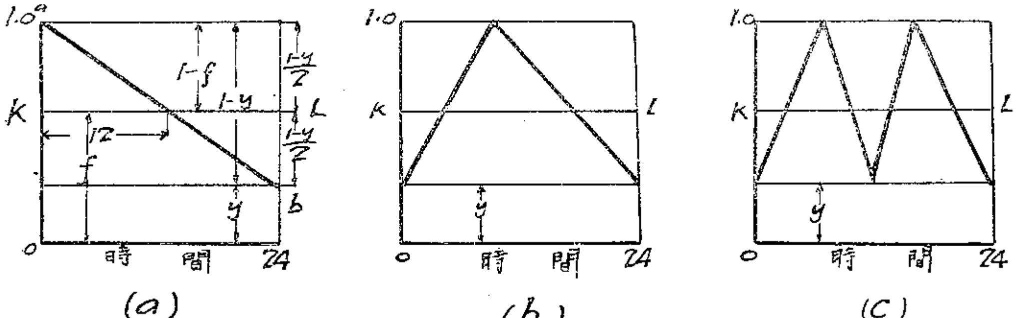
年 月 日	最大負荷	a	b	f_l	$\frac{a}{1-b}$	摘要
東京電燈株式會社本店營業區域內負荷						
二月廿五日	122.000	1.34	0.694	0.312	4.38	大正十一年
五月廿五日	133.000	1.41	0.697	0.531	4.64	
八月廿五日	115.000	1.55	0.707	0.542	5.29	
十一月十三日	126.100	1.42	0.705	0.330	4.83	
				平均	4.79	
同會社本支店合計負荷（發電所）						
二月廿五日	158.000	1.24	0.721	0.400	4.45	大正十一年
五月廿五日	156.500	1.39	0.720	0.546	4.97	
八月廿五日	151.000	1.39	0.732	0.546	5.18	
十一月十三日	190.000	1.11	0.749	0.412	4.42	
				平均	4.73	
宇治川電氣株式會社負荷						
十二月	49.712	2.59	0.634	0.459	7.27	大正十年
四月	46.432	2.59	0.609	0.421	6.63	大正十一年
八月	43.852	2.79	0.624	0.417	6.80	
十月	47.564	2.64	0.589	0.417	6.80	
				平均	6.93	

年月日	最大負荷	a	b	f_l	$\frac{a}{1-b}$	摘要
大同電力株式會社負荷						
一月	22.900	0.69	0.892	0.607	6.39	大正十一年
四月	28.200	1.06	0.831	0.581	6.27	
七月	28.300	1.18	0.801	0.571	5.95	
十月	30.100	0.99	0.830	0.564	5.85	
				平均	6.12	
大阪電燈株式會社　郊外電鐵負荷						
二月	13.400	2.57	0.596	0.517	6.36	大正十一年
五月	10.050	2.03	0.652	0.503	5.84	
八月	10.700	1.70	0.694	0.503	5.58	
十一月	13.550	1.81	0.687	0.507	5.78	
				平均	5.90	
同會社一般供給用變電所負荷						
二月	37.300	3.01	0.589	0.495	7.32	大正十一年
五月	35.640	3.78	0.467	0.394	7.10	
八月	36.500	2.25	0.464	0.373	6.06	
十一月	42.400	3.14	0.564	0.478	7.21	
				平均	6.92	
同會社全發電所負荷						
二月	45.800	1.48	0.599	0.348	3.70	大正十一年
五月	33.200	1.74	0.664	0.480	5.19	
八月	35.600	2.05	0.583	0.474	4.91	
十一月	53.700	1.64	0.544	0.314	3.60	
				平均	4.35	
京都電燈株式會社負荷						
一月	17.799	1.59	0.699	0.432	5.24	大正十一年
四月	17.306	1.73	0.648	0.323	4.92	
七月	16.183	1.64	0.633	0.403	4.48	
十月	18.109	1.76	0.650	0.327	5.02	
				平均	4.92	
富山縣電氣局負荷（全發電所）×						
六月四日	10.420	3.98	0.447	0.309	3.98	大正十三年
七月八日	10.600	7.99	9.572	0.488	7.99	
				平均	5.99	
信越電力株式會社信濃川本川計畫用想定負荷						
	156.000	1.44	0.702	0.375	4.83	

備考　×富山縣發電所は大正十三年四月より運轉開始未だ負荷の配分宜しきを得ざる爲め上表の如く C の變化甚だしきなり

電力の用途或は各電力會社に由つて $a/(1-b)$ の値は可なりの差違があるけれど

も各個に就いて見れば大體に於て常數であると見做すことが出來る。即ち東京電燈株式會社及京都電燈株式會社にありては「5」大同電力株式會社「6」宇治川電氣株式會社「7」と見て差支が無い。緒論に於て述べた調整池の設計をなすに當り起り得可き負荷曲線を豫定することの無意義でないことは各會社に就いては $a/(1-b)$ の値は獨特である故に此係數を念頭に置いて豫定せられた負荷曲線に設計の基礎を置くなれば決して其誤差は大なるもので無く否斯樣にしてなされた設計なれば極めて妥當であると言はねばならぬ。然しながら之は新發電所が完成する近き將來に於ても電力消化の狀態が今日と大差ないと言ふ假定の下に於てのみ肯定される結論であるが一般に新發電所の計畫をなす場合は必ずしも其供給先が決定して居らず最初は東京へ送電する豫定で居ても或は完成前に大阪送電になるやも知れぬと言ふ樣な事情が突發的に起り得るのが事業界の現狀であるのみならず假令供給先が決定して居ても電力使用の狀態なるものは決して一定不變のもので無く常に相當の變化があるものである故に一般的には「6」を取るのが最も適當であると信ずるのである。此係數を「6」とすることの利益は唯に上述の理由に由るのみならず調整池の諸問題を近似的に解決する上に數理的取扱が至便となる特徴を有して居る。其理由は次の如くである。今負荷曲線が直線形と成つた場合を想像して見る。第二圖 $(a), (b), (c)$ なる三個の單位負荷直線に於て y を同一とすると横軸に並行な KL なる直線上の線形に包まれた部分の面積は皆相等しい。從而調整池の容量も亦三つ共同一である故に (a) に就いてのみ記述すれば他は推して知る可きである。



第　二　圖

$$f=y+\frac{1-y}{2}=\frac{1+y}{2}$$

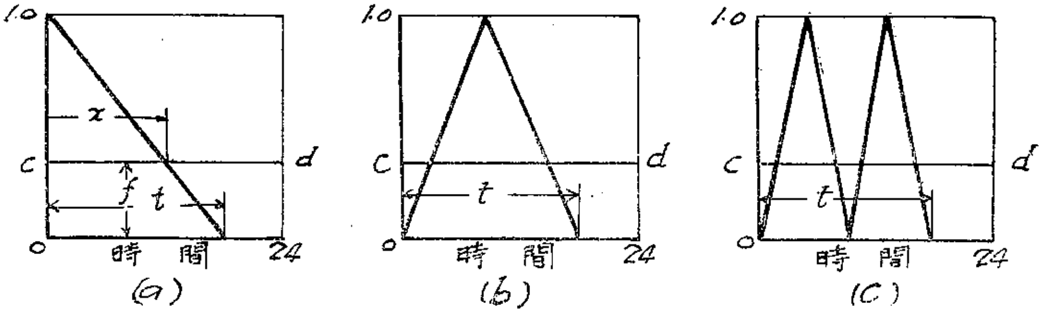
$$y=2f-1$$

$$T_0=\frac{\frac{1-y}{2}\times 12}{2}\div 1$$

$$\therefore \quad T_0=6\,(1-f) \quad \cdots\cdots (4)$$

$$T_m=6\left(\frac{1}{f}-1\right) \quad \cdots\cdots (5)$$

(4) 及 (5) 式は $f=0.5\sim1.0$ の範圍内に於てのみ有効である。$f=0\sim0.5$ の場合は即ち b 點が横軸上に來た時であつて第三圖に據らねばならぬ。



第　　三　　圖

第三圖 (a), (b), (c) に於て t は皆相等しいとすると三圖共 cd 線上の線形に包まれた部分の面積は皆相等しいから (a) に歸一することが出來る。

$$x=t\,(1-f) \qquad t=48f$$

$$T_0=\frac{x\,(1-f)}{2}=\frac{t\,(1-f)^2}{2}$$

$$\therefore \quad T_0=24f\,(1-f)^2 \quad \cdots\cdots (6)$$

$$T_m=24\,(1-f)^2 \quad \cdots\cdots (7)$$

$$\frac{d\,T_0}{df}=3f^2-4f+1=0$$

$$\therefore \quad f=\frac{1}{3}$$

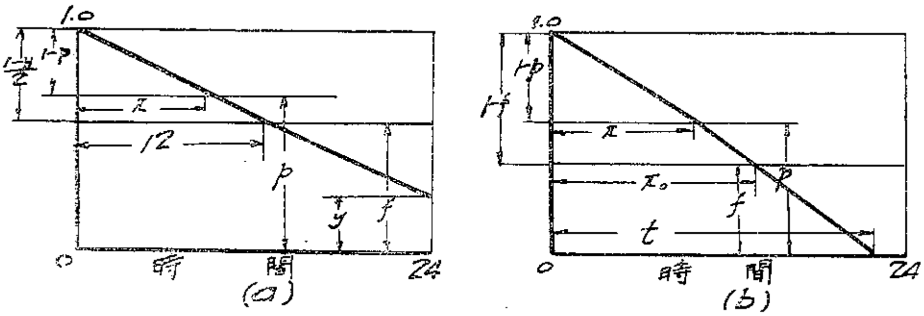
$$\therefore \quad T_0=3\frac{5}{9}\text{時}$$

斯様に $a/(1-b)$ の値が「6」である様な負荷曲線は第二圖及第三圖 (a) に示した様な單純な直線形に置換し得るものである。

單位負荷曲線の (1) 及 (2) 式は $f_l=(b-p_l)/(1-p_l)$ の範圍內に於てのみ使用し得るものであることを述べて置いたが f が f_l より小となつた場合は與へられた曲線に就いて f の色々の値に對する a 及 b の値を算定して T_0 及 T_m を算出するの外無いが附圖第一 (A) は數種の負荷曲線の實例を與へて其一々に就いて T_0 の値を算出したものであつて圖中「6」なる線は (4) 及 (6) 式より決定し T_m 線は (5) 及 (7) 式より算定したものであるが負荷曲線の代りに上記の負荷直線を使用しても其誤差は f の如何なる値に對しても當然許容せらる可き範圍內にあることが了解出來る。

上記は與へられたる負荷率に對して過不足なき調整池の容量を求むる場合即ち完全調整池の關係であつて實際の場合には之に適合する容量を與ふる樣な地形の存することは極めて稀であつて使用水量が大となるに從而所要の大きさの調整池を求むることが益々困難となつて來て不十分の大きさで滿足せねばならぬ事が往々あるのである。即ち此處に不足調整池の問題が起つて來る。今單位負荷直線に於て

p: 使用水量に由る出力と P_0 との比とすると第四圖 (a) に於て



第　四　圖

$f=0.5\sim1.0$

$$\frac{x}{12}=\frac{1-p}{\frac{1-y}{2}}\qquad x=\frac{24\,(1-p)}{1-y}$$

$$f=y+\frac{1-y}{2}\qquad y=2f-1$$

$$\therefore\ x=\frac{12(1-p)}{1-f}$$

$$T_0=\frac{x(1-p)}{2}$$

$$\therefore\ T_0=\frac{6(1-p)^2}{1-f}\qquad\cdots\cdots(8)$$

$$T_p=\frac{6(1-p)^2}{p(1-f)}\qquad\cdots\cdots(9)$$

同様に第四圖 (b) に於ては

$$f=0\sim0.5$$

$$x_0=t(1-f)\qquad\qquad t=48f$$

$$\frac{x}{x_0}=\frac{1-p}{1-f}$$

$$\therefore\ x=t(1-p)$$

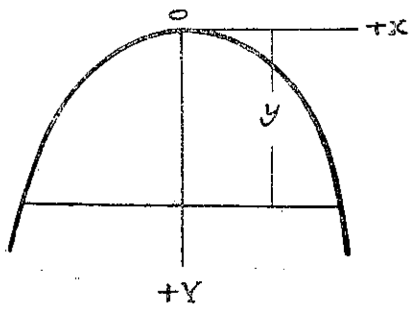
$$T_0=\frac{x(1-p)}{2}$$

$$\therefore\ T_0=24f(1-p)^2\qquad\cdots\cdots(10)$$

$$T_p=\frac{24f(1-p)^2}{p}\qquad\cdots\cdots(11)$$

T_p は p の繼續時間であつて地形の如何に由り調整池の容量が與へらるれば算定される數値であり f は供給先の負荷率故之又既知數であるから p なる比率を求むる事が可能となつて來る。從而 p が解れば P_0 を算定する事が出來る。

一般に負荷曲線の f 以上の部分の形狀は直線形で無く色々の複雜な形をなすのが普通であるが大體に於て抛物線をなすと考へるのが最も妥當である。然しながら尖頭部分は概して急峻である故に直線として取扱ふても大差ないのである。今實際の負荷曲線の數例に就いて比較對照して見ると次の如くである。



第　五　圖

第五圖の様な抛物線は次式で表はされる。

$$x^2=cy$$

從而 y なる線と此曲線とで包まれる部分の面積を A とすると

$$A=\frac{4}{3}xy=\frac{4}{3}\sqrt{c}\,y^{\frac{3}{2}}$$

$$K\equiv\frac{4}{3}\sqrt{c}$$

$$\therefore\quad A=Ky^{\frac{3}{2}}\quad\text{or}\quad K=\frac{A}{y^{\frac{3}{2}}}$$

單位負荷曲線に於ては

$$y=1-p$$

$$\therefore\quad K=\frac{A}{(1-p)^{\frac{3}{2}}}$$

附圖第一 (*B*) は數種の負荷曲線の實例であつて p_l 以上の部分の面積を p の種種の値に從て算出したものである。之等の數値を基として K' の値を算出すると第二表の如くなる。K' は $f=b$ の時の K の値である。

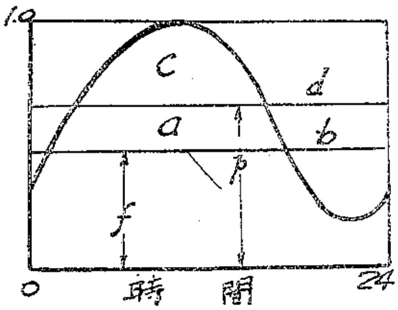
第　二　表　K' の 値

A	$1-p$	$(1-p)^{\frac{3}{2}}$	K'	
	信越電力株式會社信濃川本線計畫用負荷曲線			$b=0.702$
0.261	0.1	0.032	8.16	
0.787	0.2	0.089	8.84	
0.455	0.3	0.164	8.87	
		平均	8.62	
	東京電燈株式會社本店營業區域負荷曲線			$b=0.694$
0.222	0.1	0.032	6.94	大正十一年二月廿五日
0.710	0.2	0.089	7.98	
1.258	0.3	0.164	7.67	
		平均	7.53	
	宇治川電氣株式會社負荷曲線			$b=0.624$
0.388	0.1	0.032	12.10	大正十一年八月
1.090	0.2	0.089	12.24	
1.908	0.3	0.164	11.63	
2.942	0.4	0.253	11.63	
		平均	11.90	
	大阪電燈株式會社一般供給用變電所負荷曲線			$b=0.589$
0.336	0.1	0.032	10.50	大正十一年二月
0.944	0.2	0.089	10.60	
1.710	0.3	0.164	10.40	
		平均	10.50	

A	$1-p$	$(1-p)^{\frac{3}{2}}$	K'	
	同會社全發電所負荷曲線			$b=0.583$
0.272	0.1	0.032	8.50	大正十一年八月
0.722	0.2	0.089	8.11	
1.212	0.3	0.164	7.39	
1.874	0.4	0.258	7.41	
		平均	7.85	
	京都電燈株式會社負荷曲線			$b=0.65$
0.280	0.1	0.032	8.75	大正十一年十月
0.778	0.2	0.089	8.75	
1.408	0.3	0.164	8.59	
2.264	0.4	0 253	8.95	
		平均	8.76	

備考 $K=\dfrac{A}{(1-p)^{\frac{3}{2}}}$ $K'=\dfrac{a}{(1-b)\sqrt{1-b}}$ $\therefore\ K=\dfrac{K'\sqrt{1-b}}{\sqrt{1-f}}$

本表に由つて明なる如く K' の値は與へられた負荷曲線に就いては常數と見做す事が出來る。



第六圖

第六圖の樣な單位曲線が與へられるとすると(1) 式より

$$T_0=\frac{a}{1-b}(1-f)$$

同樣に p に就いても

$$T_0=\frac{c}{1-d}(1-p)$$

とすることが出來る。然るに a 及 c は夫々 b 及 d 線以上の部分の面積を表はし其形狀は拋物線をなすものと考へらるゝが故に

$$\frac{c}{a}=\frac{K(1-p)^{\frac{3}{2}}}{K(1-f)^{\frac{3}{2}}}=\frac{(1-d)(1-p)^{\frac{1}{2}}}{(1-b)(1-f)^{\frac{1}{2}}}$$

$$\therefore\quad \frac{c}{1-d}=\frac{a}{(1-b)}\cdot\frac{(1-p)^{\frac{1}{2}}}{(1-f)^{\frac{1}{2}}}$$

然るに

$$A=K(1-p)^{\frac{3}{2}}$$

であつて $f=b$ の時の K の値を K' とすると

$$K=\frac{K'\sqrt{1-b}}{\sqrt{1-f}}$$

となるから單位曲線に於ては $A=T_0$ である故に

$$T_0=\frac{a}{(1-b)}\cdot\frac{(1-p)^{\frac{3}{2}}}{(1-f)^{\frac{1}{2}}}\quad\cdots\cdots(12)$$

$$T_p=\frac{a}{(1-b)}\cdot\frac{(1-p)^{\frac{3}{2}}}{p\,(1-f)^{\frac{1}{2}}}\quad\cdots\cdots(13)$$

$$K=\frac{a}{(1-b)}\cdot\frac{1}{\sqrt{1-f}}=\frac{K'\sqrt{1-b}}{\sqrt{1-f}}\quad\cdots\cdots(14)$$

即ち (12), (13), (14) 式が得られる。

今 c 及 a の形狀が直線形であるとすると

$$\frac{c}{a}=\frac{(1-p)^2}{(1-f)^2}=\frac{(1-d)^2}{(1-b)^2}$$

$$=\frac{(1-p)(1-d)}{(1-f)(1-b)}$$

$$\therefore\quad\frac{c}{1-d}=\frac{a\,(1-p)}{(1-b)(1-f)}$$

$$\therefore\quad T_0=\frac{a}{(1-b)}\cdot\frac{(1-p)^2}{(1-f)}\quad\cdots\cdots(15)$$

$$T_p=\frac{a}{(1-b)}\cdot\frac{(1-p)^2}{p\,(1-f)}\quad\cdots\cdots(16)$$

即ち (15) 及 (16) の兩式が得られる。

然るに今單位直線に於ても f 線以上の部分が拋物線形をなすものと考へると、第四圖 (a) に於て

$$6\,(1-f)=\frac{2}{3}\sqrt{c}\,(1-f)^{\frac{3}{2}}=K\,(1-f)^{\frac{3}{2}}$$

$$\therefore\quad K=\frac{6}{\sqrt{1-f}}$$

$$\left.\begin{aligned}\therefore\quad T_0&=\frac{6}{\sqrt{1-f}}\,(1-p)^{\frac{3}{2}}\\ T_p&=\frac{6}{\sqrt{1-f}}\cdot\frac{(1-p)^{\frac{3}{2}}}{p}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(17)$$

同樣に (b) 圖に於て

$$x_0=48f(1-f)$$

$$\frac{(1-f)\,x_0}{2}=24f(1-f)=K(1-f)^{\frac{3}{2}}$$

$$\therefore\quad K=24f\sqrt{1-f}$$

$$\therefore\quad \left.\begin{aligned} T_0&=24f\sqrt{1-f}\,(1-p)^{\frac{3}{2}} \\ T_p&=\frac{34f\sqrt{1-f}}{p}\,(1-p)^{\frac{3}{2}} \end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(18)$$

附圖第二 (A) は (9) 及 (16), (B) は (13) 及 (17) 式に $f=0.7$ を與へて比較決定せるものである。本圖に於ては $a/(1-b)\sqrt{1-f}$ なる係數を決める時に K' の平均値を採用したけれども $a/(1-b)$ を用ひて當然宜しいのである。

不足調整池の合理的解法は比較的面倒であつて單位曲線を利用しても此煩雜と手數とを省略することが出來ぬ。

今　K: 發電係數

Q: 使用水量（個）

F: 調整池の平均水平斷面積（平方尺）

H: 最大有效水頭（尺）

h: 調整池水面の降下（尺）

α: 想定負荷曲線の任意の負荷と決定負荷曲線の其時の負荷との比率

$f(t)$: 想定負荷曲線任意時負荷

t: 任意時

とすると次の關係がある。

$$K\left(Q+F\frac{dh}{dt}\right)(H-h)=\alpha f(t)\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(19)$$

$$\therefore\quad \frac{dh}{dt}=\frac{\dfrac{\alpha}{KF}f(t)}{H-h}-\frac{Q}{F}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(20)$$

一般に想定負荷曲線は t の高次の函數をなすを以て上記の微分方程式を解くことは不可能である。故に近似積算法に由つて解くの外ない。實例を擧げて其解法を示せば次の如くである。

調整池容量＝16,000,000 立方尺

$F=800,000$ 平方尺

$$H=358\ \text{尺}$$

$$h\ \text{の最大値}=20\ \text{尺}$$

$$Q=5{,}500\ \text{個}$$

$$\alpha=1.04$$

$$K=0.069132$$

$$\frac{Q}{F}=0.00688$$

故に
$$\frac{dh}{dt}=\frac{\dfrac{\alpha}{KF}f(t)}{358-h}-0.00688$$

上式を附圖第三其一の想定負荷曲線に就いて第三表の如くに解く。

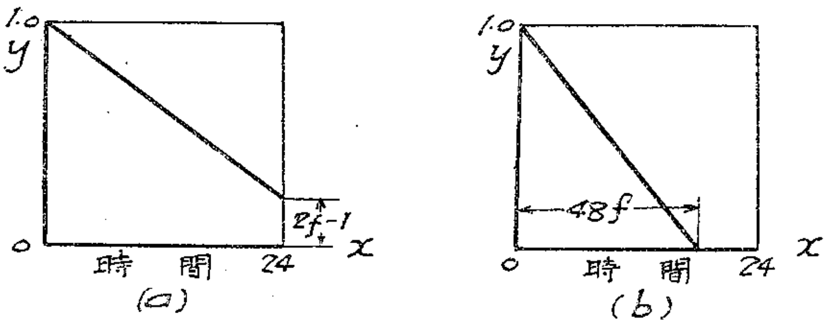
第　三　表　$\left[\dfrac{dh}{dt}=\dfrac{\dfrac{\alpha}{KF}f(t)}{358-h}-0.00688\right]$ 式の計算

時間	$\alpha f(t)$	$\frac{\alpha f(t)}{KF}$	$h_{n-1}+dh_n=h_{n+1}$	$dh_n=dh$	平均	第一整正値	$dh_n=dh$	第二平均	第二整正値	$dh_n=dh$	平均	第三整正値
4.8	136.121	2.46	0+0=0	0		0	0		0	0		0
					0.061			0.061			0.061	
5.0	139.360	2.52	0+0.122=0.122	0.122		0.061	0.122		0.061	0.122		0.061
					1.536			1.446			1.441	
6.0	150.800	2.73	0.122+2.70=2.822	2.950		1.597	2.770		1.507	2.760		1.502
					4.176			3.995			3.935	
7.0	162.240	2.93	2.822+4.93=7.752	5.400		5.772	5.220		5.502	5.110		5.437
					5.560			5.335			5.905	
8.0	161.200	2.92	7.752+5.26=13.012	5.720		11.332	5.550		10.837	5.500		10.742
					5.255			5.150			5.120	
9.0	154.960	2.80	13.012+4.46=17.422	4.790		16.537	4.750		16.037	4.740		15.862
					3.655			3.635			3.610	
10.0	141.440	2.56	17.422+2.265=19.687	2.520		20.242	2.520		19.672	2.480		19.472
					1.045			1.116			1.096	
11.0	126.880	2.29	19.687−0.36=19.327	−0.432		21.287	−0.283		20.783	−0.238		20.568
					−2.356			−2.159			−2.159	
12.0	108.160	1.95	19.327−4.03=15.297	−4.280		18.931	−4.030		18.629	−4.030		18.409
					−5.595			−5.365			−5.365	
1.0	95.630	1.73	15.297−6.58=8.717	−6.910		13.336	−6.700		13.264	−6.700		13.044
					−7.365			−7.195			−7.180	
2.0	92.560	1.69	8.717−7.52=1.197	−7.820		5.971	−7.670		6.069	−7.660		5.864
					−8.160			−7,960			−7.955	
3.0	91.520	1.65	1.197−8.14=−6.943	−8.500		−2.187	−8.250		−1.891	−8.250		−2.091

備　考　使用水量=5,500 個　$K=0.069132$　調整水量=18,000,000 立方尺　$\alpha=1.04$
平均斷面積 $F=800,000$ 平方尺

本表は第三整正値で打切つてあるけれども第四、第五と整正を繰返すに從て精

密な値が得られる譯である。第三整正値に從て h の曲線を畫くと附圖第三其二の如くなる。即ち午後四時四十八分に調節作用を開始して午後十一時で 20 尺 6 寸水面が降下し之より漸次貯水が始まつて午前二時四十五分で滿水することになる。附圖第四其三は水頭流量及出力の時間的關係を示すものである。然るに今單位負荷直線を使用すると (20) 式は積分可能となつて來る。



第　七　圖

單位負荷直線の方程式を

$$y=ax+b$$

と置くと第七圖 (a) に於て

$$y=1-\frac{1-f}{12}x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(21)$$

同様に (b) に於て

$$y=1-\frac{x}{48f} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(22)$$

が得られる故に (19) 式を次の様に書くことが出來る。

$$K\left(Q+F\frac{dh}{dx}\right)(H-h)=P_0(ax+b) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(23)$$

$$\therefore \quad \frac{dh}{dt}=\frac{P_0(ax+b)}{FK(H-h)}-\frac{Q}{F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(24)$$

今　　$B=\dfrac{P_0}{KF}$,　　$D=\dfrac{Q}{F}$,

$$y=H-h$$

とすると

$$\frac{dy}{dx}=-\frac{dh}{dx}$$

$$\therefore\quad -\frac{dy}{dx}=\frac{B(ax+b)}{y}-D$$

$$\frac{dy}{dx}\equiv p$$ と置けば

$$(D-p)\,y=B(ax+b)$$

上式を y に就いて微分すると

$$(D-p)-y\frac{dp}{dy}=\frac{aB}{p}$$

$$\frac{dp}{(D-p)-\frac{aB}{p}}=\frac{dy}{y}$$

$$\therefore\quad \int\frac{dy}{y}=-\int\frac{p\,dp}{aB-Dp+p^2}+C$$

$$\int\frac{dy}{y}=\log y$$

$$\int\frac{p\,dp}{aB-Dp+p^2}=\log(aB-Dp+p^2)+\frac{D}{2}\int\frac{dp}{aB-Dp+p^2}$$

(21) 及 (22) 式に由り a の値は何方も負數である故に

$$D^2-4aB>0$$

$$\therefore\quad \int\frac{dp}{aB-Dp+p^2}=\frac{1}{\sqrt{D^2-4aB}}\log\frac{\sqrt{D^2-4aB}+D-2p}{\sqrt{D^2-4aB}-D+2p}$$

$$\therefore\quad \log y=-\log(aB+p^2-Dp)$$

$$-\frac{D}{2}\cdot\frac{1}{\sqrt{D^2-4aB}}\log\frac{\sqrt{D^2-4aB}+D-2p}{\sqrt{D^2-4aB}-D+2p}+\log C$$

$$\therefore\quad Cy(aB-Dp+p^2)\left\{\frac{\sqrt{D^2-4aB}+D-2p}{\sqrt{D^2-4aB}-D+2p}\right\}^{\frac{D}{2\sqrt{D^2-4aB}}}=1$$

然るに　$$p=D-\frac{B(ax+b)}{y}$$

にして $x=0$ のとき $y=H$ なるを以て

$$p=D-\frac{B}{H}$$

$$\therefore\quad C=\frac{1}{H\left\{aB-D\left(D-\frac{B}{H}\right)+\left(D-\frac{B}{H}\right)^2\right\}\left\{\frac{\sqrt{D^2-4aB}+D-2\left(D-\frac{B}{H}\right)}{\sqrt{D^2-4aB}-D+2\left(D-\frac{B}{H}\right)}\right\}^{\frac{D}{2\sqrt{D^2-4aB}}}}$$

而して $B=\frac{P_0}{KF}$, $D=\frac{Q}{F}$, $y=H-h$ なるを以て

$$\frac{(H-h)\left\{\frac{aP_0}{KF}+\frac{P_0^2(ax+b)^2}{K^2F^2(H-h)^2}-\frac{QP_0(ax+b)}{KF^2(H-h)}\right\}\times\left(\frac{\sqrt{\left(\frac{Q}{F}\right)^2-\frac{4aP_0}{KF}}-\frac{Q}{F}+\frac{2QP_0(ax+b)}{KF^2(H-h)}}{\sqrt{\left(\frac{Q}{F}\right)^2-\frac{4aP_0}{KF}}+\frac{Q}{F}+\frac{2QP_0(ax+b)}{KF^2(H-b)}}\right)^{\frac{Q}{2F\sqrt{\left(\frac{Q}{F}\right)^2-\frac{4aP_0}{KF}}}}}{H\left\{\frac{aP_0}{KF}+\frac{P_0^2}{K^2F^2H^2}-\frac{QP_0}{KF^2H}\right\}\times\left(\frac{\sqrt{\left(\frac{Q}{F}\right)^2-\frac{4aP_0}{KF}}-\frac{Q}{F}+\frac{2QP_0}{KF^2H}}{\sqrt{\left(\frac{Q}{F}\right)^2-\frac{4aP_0}{KF}}+\frac{Q}{F}-\frac{2QP_0}{KF^2H}}\right)^{\frac{Q}{2F\sqrt{\left(\frac{Q}{F}\right)^2-\frac{4aP_0}{KF}}}}}=1 \quad (25)$$

上式は即ち調整池水面の時間的變化を示す關係式であるけれども P_0 は未知數であつて而も x, h, P_0 が陰函數の形をなして居る爲めに直に水面の時間的變化を見出すことが出來ぬ。今調整池の有効水深を h_0 とすれば池が空虚となる時分の發電力は $KQ(H-h_0)$ である故に

$$KQ(H-h_0)=P_0(ax+b)$$

$$\therefore\quad x=\frac{KQ(H-h_0)}{aP_0}-\frac{b}{a}$$

故に P_0 を假定して $h=h_0$, $x=\frac{KQ(H-h_0)}{aP_0}-\frac{b}{a}$, を (25) 式に代入して左邊を計算し其値が「1」となれば P_0 の假定が眞であることになる。故に數回の計算で P_0 を定めるの外ない。斯様にして (25) 式は調整池の水面の時間的變化を與へるけれども調整池水面の時間的變化を知ることは實際問題としては此程の煩雜に耐えて迄求むる事の必要を毫も感じないのみならず必要とするのは唯 P_0 を知

る一點に存するのであるから (25) 式の如きは全然實用的でない。

偖て之迄は調整池の內容量に過不足なき所謂完全調整池及容量が所要に滿たない不足調整池に就いて述べて來たが供給先の負荷率を要求する容量以上の水量を貯水し得る樣な調整池即ち過剩調整池の問題が殘つて居る。過剩調整池は一般に經濟的調整池と稱するのが適當かも知れぬが此處では經濟の極致にあるものを經濟的調整池と稱し完全調整池と此種經濟的調整池との中間に存するものを過剩調整池と假に名付け置く事とする。今單位負荷曲線に於て

f_p：調整池を有する水力地點の負荷率

f_w：調整池を有せざるもの丶負荷率

f：供給區域の負荷率

P_p：全體の最大負荷に對する調整池を有する水力地點の最大出力の比率

P_w：同じく調整池を有せざる地點の最大出力の比率

K：調整池を有する水力の平均出力即 $f_p P_p$

C_p：調整池を有する水力の平均 K.W. 當り工事費

C_w：調整池を有せざる水力の K.W. 當り工事費

γ：C_p/C_w の比

$\varDelta$：全體の計畫に對する純收入と總建設費との比率

S_0：電力代金 K.W. 年圓

μ：建設費に對する維持費、修繕費金利等の比率

とすると次の關係がある。

$$f_p P_p + f_w P_w = f(P_p + P_w)$$

$$f_p P_p = K$$

$$P_w + P_p = 1$$

$$\therefore \quad K + f_w P_w = f \quad \dots\dots\dots\dots (26)$$

$$\varDelta = \frac{f S_0 - \mu(P_w C_w + K C_p)}{P_w C_w + K C_p}$$

$$= \frac{S_0}{C_w} \cdot \frac{f}{P_w + \gamma K} - \mu$$

上式に (26) 式を代入すると

$$\varDelta=\frac{S_0}{C_w}\cdot\frac{f}{P_w+\gamma(f-f_wP_w)}-\mu$$

全體の計畫が最も經濟的である比率を保持する爲めには S_0/C_w, μ, f は常數である故に $P_w+\gamma(f-f_wP_w)$ が最小であるを要する。

$$\therefore\quad \varDelta_0=P_w+\gamma(f-f_wP_w)\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots(27)$$

(27) 式に於て f_w は P_w の函數なれども一般的に之を表はすには負荷曲線其物の方程式を知らねばならぬが負荷曲線を方程式にて表はすことは頗る困難の仕事であるのみならず實際問題としては其れ程の手數を費さずとも圖式で比較的簡單に求めることが出來る。故に $f_w=F(P_w)$ として取扱ふのが便宜である。從而

$$\varDelta_0=P_w+\gamma\{f-F(P_w)P_w\}$$

$$=P_w(1-\gamma F(P_w)+\gamma f$$

$$\frac{d\varDelta_0}{dP_w}=1-\gamma F(P_w)-\gamma P_wF'(P_w)=0$$

$$\therefore\quad F(P_w)+P_wF'(P_w)=\frac{1}{\gamma}\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots(27)$$

或は

$$\varDelta_0=P_w+\gamma K$$

$$\frac{d\varDelta_0}{dP_w}=1+\gamma\frac{dK}{dP_w}=0$$

$$\frac{dK}{dP_w}=F''(P_w)\ \text{と置き}$$

$$\left.\begin{aligned}\gamma&=-\frac{1}{F''(P_w)}\\ \text{or}\quad \frac{1}{\gamma}&=-F''(P_w)\end{aligned}\right\}\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots(28)$$

圖式には (28) 式を用ふるのが簡單である。圖式解法に關しては實例を擧げて說明すれば次の如くである。

附圖第五 (A) に示す如き單位負荷曲線が與へられたとする。y 軸上に任意 P_w を取り上部は調整池を有する發電所が働くものとして其比率を見るに $P_v=1-P_w$ なる直線となつて表はれて來る。次に任意 P_w に對する f_w 及 f_v の二線が出來る。$f_v\times P_v$ なる乘積を求めて行くと K の曲線が得られる。次に $\varDelta_0$ の式の中の γ に 1.0, 1.5 及 2.0 なる數値を與へて見ると $\varDelta_{1.0}$, $\varDelta_{1.5}$, $\varDelta_{2.0}$ なる三曲線が出來る。

然して其最小値點は Δ_1 の時は $P_w=0.525$, $\Delta_{1.5}$ の時は $P_w=0.6$ Δ_2 の時は $P_w=0.65$ となつて來る。故に次の結果が得られる。

$\gamma=1$ の時

$P_w=0.525$　　　$P_p=0.475$

$f_w=1.0$　　　$f_p=0.375$

$\gamma=1.5$ の時

$P_w=0.6$　　　$P_p=0.4$

$f_w=0.98$　　　$f_p=0.285$

$\gamma=2$ の時

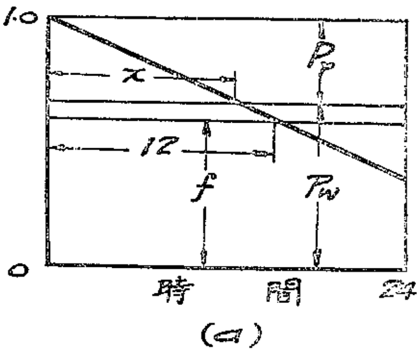
$P_w=0.65$　　　$P_p=0.35$

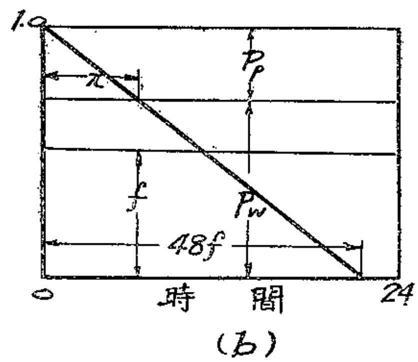
$f_w=0.95$　　　$f_p=0.25$

(28) 式を圖示すると $\frac{1}{\gamma}$ 線が出來る。此線は $\frac{1}{\gamma}$ を縱軸上に取り $-F''(P_w)$ に相當する P_w の値を横軸に取る故に任意 γ の逆數から直ちに經濟的 P_w が指示されるのである。上記の結果を (7) 式に代入して T_m を求むれば

γ	f_p	T_m (時間)
1	0.375	9.38
1.5	0.285	12.25
2	0.25	13.5

如斯水力の大系統が並行運轉をなし調整池を有する發電所が然らざるものゝ調節をなす如きは計畫其物が既に大規模である爲め上記の如き經濟的比率を保たしめる樣一時に工を起すと言ふ樣な事は殆んど在り得可からざることであつて大概は大部分既成の系統に對し新地點の計畫をなすのが普通である故に計算から誘導





第八圖

される數字以外將來に對する達觀が加味される筈である故に負荷曲線を豫定して得る所の結果の保持すべき價値は簡單な負荷直線から誘出された結果の有するそれと何等選ぶ所が無いのである。

第八圖 (a) に於ては

$$f=0.5\sim1.0$$

$$P_p+P_w=1$$

$$\frac{x}{12}=\frac{P_p}{1-f} \qquad \therefore \quad x=\frac{12P_p}{1-f}$$

$$f_p=\frac{P_p x}{2\times24P_p}=\frac{P_p}{4(1-f)}$$

$$P_p=1-P_w$$

$$\therefore \quad f_p=\frac{1-P_w}{4(1-f)} \qquad \cdots\cdots(29)$$

$$f_pP_p+f_wP_w=f$$

$$f_pP_p=\frac{(1-P_w)^2}{4(1-f)} \qquad \cdots\cdots(30)$$

$$\therefore \quad f_w=\frac{f-f_pP_p}{P_w}=\frac{4f(1-f)-(1-P_w)^2}{4P_w(1-f)} \qquad \cdots\cdots(31)$$

同じく (b) 圖に於ては

$$f=0\sim0.5$$

$$\frac{x}{48f}=\frac{P_p}{P_p+P_w} \qquad \therefore \quad x=48fP_p$$

$$f_p=\frac{P_p x}{2\times24\,P_p}=fP_p=f(1-P_w) \qquad \cdots\cdots(32)$$

$$f_pP_p=f(1-P_w)^2 \qquad \cdots\cdots(33)$$

$$f_w=\frac{f-f_pP_p}{P_w}=\frac{f\{1-(1-P_w)^2\}}{P_w} \qquad \cdots\cdots(34)$$

然るに

$$\varDelta=\frac{S_n}{C_w}\cdot\frac{f}{P_w+\gamma f_pP_p}-\mu$$

に於て $\varDelta$ が最大なる爲めには $P_w+\gamma f_pP_p$ が最小なるを要する故に (a) に於ては

$$\varDelta_0=P_w+\gamma f_pP_p$$

$$=P_w+\gamma\frac{(1-P_w)^2}{4(1-f)}$$

$$\frac{d\Delta_0}{dP_w}=1+\frac{\gamma}{4(1-f)}2(1-P_w)(-1)=0$$

$$\left.\begin{aligned}
\therefore\quad P_w&=1-\frac{2(1-f)}{\gamma}\\
P_p&=\frac{2(1-f)}{\gamma}\\
f_p&=\frac{1-P_w}{4(1-f)}=\frac{1}{2\gamma}\\
f_w&=\frac{4(1-f)f-(1-P_w)^2}{4P_w(1-f)}\\
&=\frac{f(\gamma^2+1)-1}{\gamma^2-2\gamma(1-f)}
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(35)$$

同様に (b) 圖に於ては

$$\Delta_0=P_w+\gamma f_p P_p$$

$$=P_w+\gamma f(1-P_w)^2$$

$$\frac{d\Delta_0}{dP_w}=1-2\gamma f(1-P_w)=0$$

$$\left.\begin{aligned}
\therefore\quad P_w&=1-\frac{1}{2\gamma f}\\
P_p&=1-P_w=\frac{1}{2\gamma f}\\
f_p&=f(1-P_w)=\frac{1}{2\gamma}\\
f_w&=\frac{f\{1-(1-P_w)^2\}}{P_w}=f+\frac{1}{2\gamma}
\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(36)$$

今 $\gamma=1.5$ とし f を變數として P_p, P_w, f_p 及 f_w を算定すると次の如くである。

$$\gamma=1.5$$

f	P_w	P_p	f_p	f_w
0.0	$-\infty$	$+\infty$	0.333	0.333
0.1	−2.333	3.333	〃	0.433
0.2	−0.166	1.666	〃	0.533
0.3	−0.111	1.111	〃	0.633
0.4	0.166	0.834	〃	0.733

f	P_w	P_p	f_p	f_w
0.5	0.334	0.666	0.333	0.833
0.6	0.468	0.533	,,	0.904
0.7	0.600	0.444	,,	0.945
0.8	0.744	0.256	,,	0.970
0.9	0.867	0.133	,,	0.987
1.0	1.00	0.000	,,	1.000

附圖第五 (*B*) は本例を圖示したものであつて P_p 及 P_w 曲線の使用範圍と記入した限度以外に出る部分は使用されぬ部分である。

經濟的調整池は斯樣にして算定されるが過剩調整池は完全調整池と上記との中間に存するもの故自 (29) 式 至 (34) 式で解くべきである。

上述の經濟的比率の問題は火力と水力とを並行運轉せしむる際最も綿密に考慮さる可き事柄であつて今上記調整池を有する水力の場合の符號を直ちに火力發電所の符號と見做し尙

F_s : 燃料費 *K.W.* 年圓

C_s : 火力設備 *K.W.* 當り工事費

$\alpha : F_s/S_0$

$\beta : C_s/C_w$

とすると次の關係がある。

$$\Delta=\frac{fS_0-f_pP_pF_s-\mu(P_wC_w+P_pC_s)}{P_wC_w+P_pC_s}$$

$$=\frac{S_0}{C_w}\cdot\frac{f-\alpha f_pP_p}{P_w+\beta P_p}-\mu$$

Δ が最大なる爲めには $(f-\alpha f_pP_p)/(P_w+\beta P_p)$ が最大なるを要する故に

$$\Delta_0=\frac{f-\alpha f_pP_p}{P_w+\beta P_p}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(37)$$

$$f_pP_p=\frac{(1-P_w)^2}{4(1-f)}$$

$$P_p=1-P_w$$

とすれば

$$\Delta_0=\frac{f-\alpha\dfrac{(1-P_w)^2}{4(1-f)}}{P_w(1-\beta)+\beta}$$

$$\frac{d\Delta_3}{dP_w}=\frac{\{P_w(1-\beta)+\beta\}2\alpha(1-P_w)-(1-\beta)\{4f(1-f)-\alpha(1-P_w)^2\}}{\{P_w(1-\beta)+\beta\}^2}=0$$

$$\therefore\quad \alpha(1-\beta)P_w^2+2\alpha\beta P_w+4f(1-f)(1-\beta)-\alpha(1+\beta)=0\ldots\ldots\ldots(38)$$

今 $f=0.7,\ \alpha=0.7,\ \beta=0.5$ を與へて見る

$$0.35P_w^2+0.7P_w-0.63=0$$

$$\therefore\quad P_w=\frac{-0.7\pm\sqrt{0.7^2+4\times0.63\times0.35}}{0.7}=0{\cdot}67$$

P_w は ─ たるを得ない故に 0.67 が宜しい

$$\therefore\quad P_w=0.67$$

$$P_p=0.33$$

$$f_p=\frac{1-P_w}{4(1-f)}=\frac{0.33}{4(1-0.7)}=0.275$$

$$f_w=\frac{4f(1-f)-(1-P_w)^2}{4P_w(1-f)}=0.909$$

即ち火力發電所に對しては上記の樣な經濟的關係が存在する。

之迄記述して來た事柄で大體調整池の容量に關する問題を解決したのであるが發電水路は常に Q なる使用水量を調整池に注入して居るのであるが調整池では每時の負荷の變動を調節する爲めに或る深さ假例へば h_1 の深さ丈水面の變化を起して居る。之が爲め平均水頭が何程低下せらるるかを決定せねば調整池を設けた場合の平均出力を決定することが出來ぬ。今問題を簡單に取扱ふ爲め單位負荷直線を以て證明することにする。

(4) 及 (5) 式より

$$T_0=6(1-f)$$

$$T_m=6\left(\frac{1}{f}-1\right)$$

T_0 は最大負荷に對する調整池の繼續時間であると同時に調整池の有する單位發電貯藏量と見做すことが出來る。

今　V: 調整池の容量

h_0: 調整池の最高水面から調節水量の重心迄の深さ

H_0: 調整池を有せざる時の有效落差

h: 調整池設置に由る平均損失水頭

とすると次の關係がある。

$$6(1-f)P_0=KV(H_0-h_c)$$

及 $$24fP_0=KQ(H_0-h)$$

然るに $$V=6\left(\frac{1}{f}-1\right)Q$$ なる故

$$\frac{6(1-f)P_0}{24fP_0}=\frac{K6\left(\frac{1}{f}-1\right)Q(H_0-h_c)}{24KQ(H_0-h)}$$

$$\therefore\quad h=h_c$$

以上は $f=0.5\sim1.0$ の場合であつたが同様に $f=0\sim0.5$ の場合に於ても

$$T_0=24f(1-f)^2$$

$$T_m=24(1-f)^2$$

である故に

$$\frac{24f(1-f)^2P_0}{24fP_0}=\frac{24K(1-f)^2Q(H_0-h_c)}{24KQ(H_0-h)}$$

$$\therefore\quad h=h_c$$

然らば不足調整池の場合に於ては如何かと言ふに

$$f=0.5\sim1.0$$

$$T_0=\frac{6(1-p)^2}{1-f}$$

$$T_p=\frac{6(1-p)^2}{p(1-f)}$$

である故に

$$\frac{\frac{6(1-p)^2}{1-f}P_0}{24pP_0}=\frac{K\frac{6(1-p)^2}{p(1-f)}Q(H_0-h_c)}{24KQ(H_0-h)}$$

$$\therefore\quad h=h_c$$

同様に $f=0.0\sim0.5$ の場合に於ては

$$T_0=24f(1-p)$$

$$T_p=\frac{24f(1-p)^2}{p}$$

$$\therefore \quad \frac{24f(1-p)^2P_0}{24pP_0}=\frac{K\dfrac{24f(1-p)^2}{p}Q(H_0-h_c)}{24KQ(H_0-h)}$$

$$\therefore \quad h=h_c$$

即ち調整池を設置する時は其種類の何たるを問はず有效貯水量の重心に相當する深さ丈平均に損失水頭を增加する事になるのである。

偖而之迄は調整池の容量の種々の場合に就いて調整池の位置に關係なく論說して來たのであるが位置が其容量又は發電力に重大な關係を有して居ることは屢々吾人の遭遇する問題で大低の場合調整池は發電所から相當の距離の所に選定することを地形上餘儀なくされるもので斯の如き場合には調整池より下流の水路は壓力隧道又は壓力水管となつて來るのであるが此等下流の工作物が長ければ長い程發電力の上に至大の影響を來すことは見易い道理である。如斯場合は想定負荷曲線に據つて解くのは可也の煩雜を來すことを免れぬのみならず圖式による外一般的に解決する方法が無いけれども單位負荷直線を利用すると極めて容易に解くことが出來る。順序として任意の單位負荷曲線が與へられた場合の圖式解法から說明する。今附圖第六 (A) の略圖に示した樣な地形並に諸條件が與へられたとする。而して色々の流量に對する隧道及鐵管內の損失水頭を計算して (B) 圖に示した樣な二本の損失水頭曲線を作る。之等の和の總損失水頭を全落差から差引いた即ち有效落差を各水量に就いて算定して其曲線を書くとする。然る時は發電力は KQH なる積である故に發電力を各水量に應じて計算して出力曲線を作る。次に (C) 圖に示す樣な單位負荷曲線を定めて置いて (B) 圖の出力線上に任意最大出力點を選んで之に對應する流量を (C) 圖の最大負荷の點を通る縱軸上に記入する。圖に於ては最大出力を 36,000 $K.W.$ と押へたら其時の流量は 440 個となつた。次に (C) 圖の負荷曲線上の任意點の比率を此最大負荷の 36,000 $K.W.$ に乘じ出て來た出力に對應する流量を (B) 圖から求めて同樣に今の點を通る縱軸上に設置する。此方法を繰り返して流量曲線を (C) 圖に作ることが出來る。依て之等の流量の總和を求め此求めた全水量が平均流量の一日間の總和に等しくなれば宜しいのであつて數回の試算で之等の總和の數字を一致させるのである。(C) 圖では最大負荷を 36,000 $K.W.$ とした時に恰度幸にも流量の總和が平均流量 150 個の一日間の總和に一致して來たから 36,000 $K.W.$ を此計畫に於て發電所の最大

出力と決定した譯である。

次に單位負荷直線に據る解法を述べて見よう。今單位直線の方程式を

$$y=ax+b$$

とすれば $f=0.5\sim1.0$ の時は

$$y=1-\frac{1-f}{12}x$$

となり $f=0.0\sim0.5$ の時は

$$y=1-\frac{x}{48f}$$

となる事は (21) 並に (22) 式で明である。

今　Q：任意時に於ける下流水路内の流量（個）

H_e：上記流量に對する有効落差（尺）

Q_0：最大流量（個）

H_0：最大流量時の有効水頭（尺）

v：Q に對する水路内の流速（尺/秒）

v_0：Q_0 に對する流速（尺/秒）

A：水路の斷面積（平方尺）

H：調整池の重心と放水路水面との落差（尺）

K：發電係數

とすると次の關係がある。

$$y=\frac{KQH_e}{KQ_0H_0}=\frac{v\,(H-cv^2)}{v_0\,(H-cv_0^2)}$$

c：損失水頭の流速に對する係數

上式に於て $E=1/v_0\,(H-cv_0^2)$ と置けば

$$y=Ev\,(H-cv^2)$$

$$\therefore\quad v^3-\frac{H}{c}v+\frac{y}{cE}=0 \qquad\qquad (39)$$

即ち (39) なる三次方程式が得られる。然るに此式に於て

$$y\leqq1,\qquad E<1,\qquad \frac{H}{3c}>1$$

なる關係がある故に

$$\frac{y^2}{(cE)^2}-4\left(\frac{H}{3c}\right)<0$$

なるを要するから (39) 式は三個の實根を有して居るに相違ない。今

$$H'=-\frac{H}{3c}, \qquad G=\frac{y}{cE}$$

$$K_0=2\sqrt{-H'}=2\sqrt{\frac{H}{3c}}$$

と置くと

$$\cos 3\theta=\frac{G}{2H'\sqrt{H'}}=\frac{-3\sqrt{3c}}{2EH\sqrt{H}}y$$

$$\therefore \quad \alpha=\cos^{-1}\left(\frac{-3\sqrt{3c}}{2EH\sqrt{H}}y\right) \qquad \text{と置く}$$

然る時は

$$v=K_0\cos\frac{\alpha}{3}=2\sqrt{\frac{H}{3c}}\cos\frac{\alpha}{3}$$

$$=2\sqrt{\frac{H}{3c}}\cos\left(\frac{2\pi}{3}+\frac{\alpha}{3}\right)$$

$$=2\sqrt{\frac{H}{3c}}\cos\left(\frac{2\pi}{3}-\frac{\alpha}{3}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(40)$$

即ち上記三根が得られる。v は常に正の實數でなければならならぬ故第一根のみが使用に耐える譯である。

今　V_0：一日中の總使用水量（立方尺）

Q_m：毎秒時の取入水量（個）

とすると

$$V_0=\int_0^{24}Av\,dx=24\,Q_m$$

但し不足調整地に對しては

$$V_0=24\,Q_m\frac{f}{p}$$

Q_m は一般に既知數であるから V_0 は常數と見做す事が出來る。故に

$$V_0=\int Av\,dx=2A\sqrt{\frac{H}{3c}}\int_0^{24\text{ or }48f}\cos\left\{\frac{\cos^{-1}\left(\frac{-3\sqrt{3c}}{2EH\sqrt{H}}y\right)}{3}\right\}dx$$

$$F\equiv\frac{3\sqrt{3c}}{2EH\sqrt{H}}$$　と置く

$$\therefore\quad V_0=2A\sqrt{\frac{H}{3c}}\int_0^{24\text{ or }48f}\cos\frac{\cos^{-1}(-Fy)}{3}dx$$

第一の場合　　$f=0.5\sim1.0$

$$V_0=2A\sqrt{\frac{H}{3c}}\int_0^{24}\cos\frac{\cos^{-1}\left\{F\left(1-\frac{1-f}{12}x\right)\right\}}{3}dx$$

上式に於て

$$t=\frac{\cos^{-1}\left\{-F\left(1-\frac{1-f}{12}x\right)\right\}}{3}$$

と置けば次の如くに變化せしめ得る。

$$\cos 3t=-F\left(1-\frac{1-f}{12}x\right)$$

$$\text{s}-3\sin 3t\,dt=F\frac{1-f}{12}dx$$

$$\therefore\quad dx=-\frac{36}{F(1-f)}\sin 3t\,dt$$

$$\therefore\quad V_0=2A\sqrt{\frac{H}{3c}}\cdot\frac{-36}{F(1-f)}\int_0^{24}\cos t\sin 3t\,dt$$

$$\left.\begin{aligned}\therefore\quad V_0=&\frac{4AH^2E}{c(1-f)}\left[-2\sin\left\{\frac{\cos^{-1}F(2f-1}{3}\right.\right.\\&\left.+\frac{\cos^{1}F}{3}\right\}\sin\left(\frac{\cos^{-1}-F(2f-1)}{3}-\frac{\cos^{-1}-F}{3}\right)\\&\times\left\{2\cos\left(\frac{\cos^{-1}-F(2f-1)}{3}+\frac{\cos^{-1}-F}{3}\right)\right.\\&\left.\left.\times\cos\left(\frac{\cos^{-1}-F(2f-1)}{3}-\frac{\cos^{-1}-F}{3}\right)-1\right\}\right]\\F=&\frac{3\sqrt{3c}}{2EH\sqrt{H}},\qquad E=\frac{1}{v_0(H-cv_0^2)}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(41)$$

第二の場合　　$f=0.0\sim0.5$

$$V_0=\int_0^{48f}Av\,dx$$

$$=2A\sqrt{\frac{H}{3c}}\int_0^{48f}\cos\frac{\cos^{-1}-F\left(1-\frac{x}{48f}\right)}{3}dx$$

$$t=\frac{\cos^{-1}-F\left(1-\dfrac{x}{48f}\right)}{3}$$

$$\cos 3t=-F\left(1-\frac{x}{48f}\right)$$

$$-3\sin 3t\,dt=\frac{F}{48f}\,dx$$

$$\therefore\quad dx=-\frac{144}{F}\sin 3t\,dt$$

$$\therefore\quad V_0=\frac{288\,Af}{F}\sqrt{\frac{H}{3c}}\int_0^{48f}\cos t\,\sin 3t\,dt$$

$$=\frac{16\,Af\,H^2E}{c}\left|\frac{1}{2}\cos 4t+\sin 2t\right|_0^{48f}$$

$$\left.\begin{aligned}\therefore\quad V_0&=\frac{16\,Af\,H^2E}{c}\left[2\sin^2\left(\frac{\pi}{6}-\frac{\cos^{-1}F}{3}\right)\right.\\&\quad\left.\times\left\{2\cos^2\left(\frac{\pi}{6}-\frac{\cos^{-1}F}{3}\right)-1\right\}\right]\\F&=\frac{3\sqrt{3c}}{2EH\sqrt{H}},\qquad E=\frac{1}{v_0\,(H-cv_0^2)}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(42)$$

即ち (41) 及 (42) 式が得られる。式中の V_0 は既知數であるから v_0 を假定して右邊を計算し V_0 に一致せしむれば宜しいのであるが二三回の試算で容易に v_0 を發見し得る故從而 P_0, P_m, Q_0 等を算定し得るのである。以上で調整地に關する重要問題の大部分を解決した次第であるが之から二三の例題を設けて之迄誘導して來た諸式の用法を述べる事にする。

計　算　例

(1) $Q=100$ 個, $f=0.7$ 及 0.3 の時必要なる調整水量を求む。

$$T_m=6\left(\frac{1}{f}-1\right)$$

$$=6\left(\frac{1}{0.7}-1\right)=2.57$$

$$\therefore\quad V=2.57\times 3{,}600\times 100=925{,}000\ \text{立方尺}$$

$$T_m=24\,(1-f)^2$$

$$=24\,(1-0.3)^2=11.76$$

$$V=11.76\times 3,600\times 100=4,240,000 \text{ 立方尺}$$

$$Q_0=\frac{100}{0.3}=333 \text{ 個}$$

(2) 上例に於て調整池重心の深さが $f=0.7$ の時 15 尺, $f=0.3$ の時 50 尺なる時其最大出力を求む。但調整池無き時の有效落差 300 尺, $K=0.063$ とす。

$f=0.7$ の時

$$P_m=0.063\times 100\times(300-15)=1,795\ K.W.$$

$$P_0=\frac{P_m}{0.7}=\frac{1795}{0.7}=2,565\ K.W.$$

$f=0.3$ の時

$$P_m=0.063\times 100\times(300-50)=1,575\ K.W.$$

$$P_0=\frac{1,575}{0.3}=5,250\ K.W$$

(3) $f=0.7$, $V=1,000,000$ 立方尺, $K=0.063$, $H=1,650$ 尺, $Q=200$ 個, $h_c=15$ 尺を與へて P_0, Q_0 を求む。

$$T_p=\frac{1,000,000}{200\times 3,600}=1.39$$

$$1.39=\frac{6\,(1-p)^2}{(1-0.7)\,p}$$

$$\therefore\quad p=0.766$$

$$P_m=0.063\times 200\times(1,650-15)=20,600\ K.W.$$

$$P_0=\frac{20,600}{0.766}=26,900\ K.W.$$

$$Q_0=\frac{200}{0.766}=261 \text{ 個}$$

(4) $Q=5,500$ 個, $V=16,000,000$ 立方尺, $H=358$ 尺, $h_c=10$ 尺, $f=0.702$, $K=0.069132$

を與へて P_0, P_m, Q_0 を求む。

$$T_p=\frac{6\,(1-p)^2}{(1-f)\,p}$$

$$=\frac{16,000,000}{5,500\times 3,600}=0.81$$

$$0.81=\frac{6\,(1-p)^2}{0.298\,p}$$

$$\therefore\quad p=\frac{2.0405\pm\sqrt{2.0405^2-4}}{2}=0.815$$

$$P_m=5{,}500\times(358-10)\times0.069132$$

$$=132{,}200\ K.W.$$

$$P_0=\frac{132{,}200}{0.815}=162{,}200\ K.W.$$

$$Q_0=\frac{5{,}500}{0.815}=6{,}750\text{ 個}$$

本例に於て渇水量を 4,000 個とすれば

$$T_p=\frac{16{,}000{,}000}{4{,}000\times3{,}600}=1.11$$

$$p=0.79$$

$$P_m=4{,}000\times348\times0.069132$$

$$=96{,}200\ K.W.$$

$$P_0=\frac{96{,}200}{0.79}=121{,}700\ K.W.$$

$$Q_0=\frac{4{,}000}{0.79}=5{,}070\text{ 個}$$

本例は附圖第三及第四の例を單位直線に據つて解きたるものであつて諸結果を對照して見るに負荷曲線を與へて解いた場合と其差違は極めて僅小で實用上何等支障を來さない譯である。附圖第四の下圖は本例の Q を變量として p 及びP_0 を圖示せるもので使用水量が渇水から平水に變化する故各水量に對する P_0 を求めるのに甚だ便利である。

(5) $f=0.7,\ \gamma=1.5,\quad K=f_pP_p=14{,}000\ K.W.$

を與へて經濟的發電配合率を求む。

$$P_w=1-\frac{2\,(1-f)}{\gamma}=1-\frac{1\,(1-0.7)}{1.5}=0.6$$

$$P_p=\frac{2\,(1-f)}{\gamma}=\frac{2\,(1-0.7)}{1.5}=0.4$$

$$f_p=\frac{1}{2\gamma}=\frac{1}{2\times1.5}=\frac{1}{3}$$

$$p_w=\frac{f\gamma^2-(1-f)}{\gamma^2-2\gamma(1-f)}=\frac{0.7\times\overline{1.5}^2-0.3}{1.5^2-3\times0.3}=0.944$$

$$P_p=\frac{14,000}{\frac{1}{3}}=42,000\ K.W.$$

$$P_w=42,000\times\frac{6}{4}=63,000\ K.W.$$

本例に於て $Q=150$ 個とすれば其調節水量は次の通りである。

$$T_m=24(1-f)^2$$

$$=24\left(1-\frac{1}{3}\right)=10.66\ 時$$

$$V=10.66\times3,600\times150=5,760,000\ 立方尺$$

(6) 附圖第六に示す地形並に條件が與へられ $f=0.4$ とした場合の最大出力を求む。

隧道斷面＝53.1 平方尺	延長＝5,000 間
鐵管路延長＝3,000 尺	$V_0=150\times24=3,600$
H=1,488 尺	$v_0=7.4$ 尺/秒 と假定す。

損失水頭(尺)	Q 個	v 尺/秒	c
8.5	100	1.88	2.40
32.0	200	3.77	2.25
71.5	300	5.65	2.24
126.5	400	7.53	2.23
200.0	500	9.42	2.255

$\therefore$ $c=2.245$ とす

$$E=\frac{1}{v_0(H-cv_0^2)}$$

$$=\frac{1}{7.4(1,488-2.245\times7.4^2)}=\frac{1}{10,100}$$

$$F=\frac{3\sqrt{3c}}{2EH\sqrt{H}}$$

$$=\frac{3\sqrt{3\times2.245}\times10,100}{2\times1,488\sqrt{1,488}}=0.6846$$

$$\cos^{-1}F=46°-48'$$

$$\sin\left(\frac{\pi}{6}-\frac{46°-48'}{3}\right)=\sin 14°-24'=0.2487$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{6}-\frac{46°-48'}{3}\right)=\cos 14°-24'=0.9686$$

$$\therefore\ [\quad]=0.1083$$

$$V_0=\frac{16\,AfH^2E}{c}[\quad]$$

$$=\frac{16\times 53.1\times 0.4\times \overline{1,488}^2\times 0.1083}{2,245\times 10,100}$$

$$=3,595$$

故に $v_0=7.4$ 尺/秒 は適當である。故に

$$Q_0=53.1\times 7.4=393\ 個$$

$$H_0=H-cv_0^2=1,488-2.245\times \overline{7.4}^2=1,365$$

$$P_0=0.063\times 393\times 1,365=33,800\ K.W.$$

$$P_m=P_0\times 0.4=33,800\times 0.4=13,500\ K.W.$$

外觀上の平均は次の通りである。

$$v_m=\frac{150}{53.1}=2.825\ 尺/秒$$

$$H_m=1,488-2.245\times \overline{2.825}^2=1,470\ 尺$$

$$P_m'=0.063\times 150\times 1,470=13,900\ K.W.$$

$$平均損失=\frac{13,900-13,500}{13,900}\times 100=2.88\%$$

即ち如斯平均損失の生ずるは調整池が發電所を距る甚しき遠隔の地に在るに由るものである。

結　　論

本論に於て述べたるが如く調整池設計の基本となるものは負荷曲線であつて負荷曲線の性質は大體に於て $a/(1-b)$ なる係數の値で定まる譯であるが此係數を何程に取るのが最も妥當であるかが根本の問題となる次第である。或る特殊の場合に於ては「4」又は「8」の如き係數を示す樣な負荷曲線の存することを否む譯に行

かぬが普通の狀態では「5」乃至「7」の間に存する事を斷ずることが出來る。斯樣に此係數が一定の範圍内に存して居ることは偶然ながら誠に好都合の事と言はねばならぬ。然らば設計の當初係數を此範圍内に於て何程に取るのが最も妥當であるかと言ふに既に本論に於て述べた通り一定の需要家にのみ送電する目的で建設された發電所でも相當の年月の間には他の需要家に送電を變更するの止むを得ざる事由の生じて來る事を免れぬのみならず同一需要家と雖も常に同一係數の負荷を取るに限つた譯で無い。從而最初係數を「5」として計畫しても「7」が適當である樣な需要に對さねばならぬことが生じて非常な不利益を來すこと無きを保せぬ。此意味に於て「6」を採用して置くと言ふ事は何方に變更されても其苦痛は比較的輕微であるのみならず此「6」の値を取ることは負荷曲線を直線化することになる次第故數理的の取扱が至便となり從而設計上に及ぼす便益は言ふ迄も無く營業上に於ても大いに能率を增進せしめることが出來ると信ずるものである。

(完 13/12/15)

「水力調整池の研究」補遺（其一）

首題の論文中遠隔調整池に關する問題に於て

$$v^3-\frac{H}{c}v+\frac{y}{cE}=0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (39)$$

上式が三個の實根を有して居る事の理由として

$$\frac{y^2}{(cE)^2}-4\left(\frac{H}{3c}\right)^3 \overset{\circledcirc}{\leqq} 0$$

なる條件を說明を用ひずして是認して置いたが玆に此の不等式が眞である事を證明して讀者に御詫を申上げて置く。

上式に於て

$$E=\frac{1}{v_0(H-cv_0^2)}$$

である故に次の如くに書く事が出事る。

$$\frac{y^2v_0^2(H-cv_0^2)^2}{c^2}-\frac{4H^3}{27c^3} \overset{\circledcirc}{\leqq} 0$$

本式を $\{v_0^2(H-cv_0^2)^2\}/c^2$ で除し $(cv_0^2)/H=K_1$ と置くと

$$y^2 - \frac{4}{27} \cdot \frac{1}{K_1(1-K_1)^2} \overset{\circledcirc}{\leqq} 0$$

となる。此不等式を見るに y は單位直線の縱距であるから其最大値は 1 である。從而其最悪の場合の

$$1 - \frac{4}{27} \cdot \frac{1}{K_1(1-K_1)^2} \overset{\circledcirc}{\leqq} 0$$

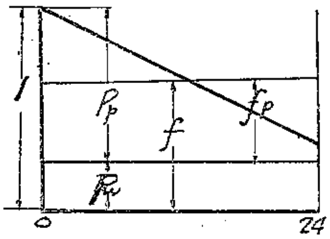
が承認さるれば一般の場合に於ても無論支障ない筈である。此關係が支持される爲めには $K_1 \overset{\circledcirc}{\leqq} \frac{1}{3}$ である事を必要とする事が簡單に視察で求まるのである。然るに K_1 は調整池より下流に於て生ずる所の摩擦に起因する最大損失水頭の總和と同じく調整池より下流に於ける總落差との比を示すものであつて一般に此比が二割を超過する事殆んど無く否皆無と言つても過言でない。況んや 1/3 に於てをやである。從て上述の不等式は當然承認さる可きであり (39) 式は三個の實根を有す可きである。 (完 13/12/27)

「水力調整池の研究」補遺（其二）

拙著首題論文中過剩調整池の容量に關し $f=0.5 \sim 1.0$ の場合の公式として

$$\left.\begin{aligned} &P_p + P_w = 1 \\ &f_p = \frac{1-P_w}{4(1-f)} \\ &f_w = \frac{4(1-f)f-(1-P_w)^2}{4P_w(1-f)} \end{aligned}\right\}$$

上記の三式を掲げて置いたが之は $f_p<0.5,\ 1>f_w>f,$ の場合に限り通用さるゝ關係であつて $f_w=1.0,\ f>f_p>0.5$ の場合が殘存して居る。



第一圖

第一圖に於て

$$\left.\begin{aligned} &P_p + P_w = 1 \\ &f_p = \frac{f-P_w}{1-P_w} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{I})$$

(I) の關係があり、極限に於ては

$$\left.\begin{aligned} &P_w = 2f-1 \\ &f_p = \frac{1-f}{2(1-f)} = \frac{1}{2} \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (\mathrm{II})$$

(II) 式が得られる。從而經濟的關係式

$$\Delta_0=P_w+\gamma f_p P_p$$

に (I) 式を代入して

$$\Delta_0=P_w(1-\gamma)+\gamma f \qquad \text{(III)}$$

(III) 式を得る。然るに $f=0.5\sim1.0$ の場合に於ける P_w 及び P_p の經濟的能率は本論の (35) 式に示す通りであつて

$$f_p=\frac{1}{2\gamma}$$

なる關係があり $\gamma>1$ の時に於てのみ肯定さる可き關係であるが $\gamma<1$ となれば $f>f_p>0.5$ となり、從而 (III) 式に於て Δ_0 が最小値を取る爲めには $P_w=0$ を必要とする事となる。故に $\gamma>1$ の時は必ず $f<f_w<1$ であつて全系統の收益率を調整池を有する一地點の收益率よりも相當增加せしめ得る如き、經濟的比率關係の存在することを認め得るけれども $\gamma<1$, 即ち $f>f_p>0.5, f_w=1$ なる場合に於ては全系統の收益率を調整池を有する一地點單獨運轉に依る收益率以上に增加せしむることは不可能となり、經濟的比率なるものが存在せぬこととなる。而し $\gamma<1$ の場合と雖も P_w が既設の發電所の出力であり新に P_p なる調整池を有する地點を開發するか或は異系統の兩者を結合して並行運轉する場合は各自を單獨に f なる負荷率で運轉せしむるよりも遙に其收益率を增加せしめ得ることは勿論である。

例題　　使用水量　　最大＝200 個
　　　　　　　　　　最小＝100 個
　　　　落差＝1,650 尺
　　　　調整池容量＝1,600,000 立方尺
　　　　調整水量ノ重心＝15 尺（上水面ヨリ）
　　　　一般負荷率＝70％

上記地點の發電狀況を研究せんとす。

1　單獨運轉

最大流量時:—

$$T_p=\frac{6(1-p)^2}{p(1-f)}$$

$$T_p=\frac{1,600,000}{200\times 3,600}=2.22\text{ 時}$$

$$2.22=\frac{6\,(1-p)^2}{p\,(1-0.7)}$$

$$\therefore\quad p=0.717$$

$$\text{平均出力}=P_{mean}=200\times(1,650-15)\times 0.111\times 0.56$$

$$=20,400\ K.W.$$

$$\text{最大出力}=P_{max}=\frac{20,400}{0.717}=28,400\ K.\ W.$$

最小流量時:—

$$T_m=6\left(\frac{1}{f}-1\right)=6\left(\frac{1}{0.7}-1\right)$$

$$=2.58\text{ 時}$$

$$T_m'=\frac{1,600,000}{100\times 3,600}=4.44\text{ 時}$$

渴水時に於ける單獨運轉は負荷率 70% の時 2.58 時の調整容量にて十分なるを以て

$$V=2.58\times 3,600\times 100\doteqdot 930,000\text{ 立方尺}$$

此重心位置を水面下 10 尺とすれば

$$P_{mean}=100\times(1,650-10)\times 0.111\times 0.56=10,200K.W.$$

$$P_{max}=\frac{10,200}{0.7}=14,580\ K.W.$$

2 調整運轉

最小流量時には 4.44 時の調整容量を有する故に本地點の負荷率を低下して全調整水量を使用することにすると他の地點の發電力を調整することが出來る。

$$T_m=6\left(\frac{1}{f_p}-1\right)$$

上式を變化すると

$$f_p=\frac{6}{T_m+6}=\frac{6}{4.44+6}=0.575$$

即ち本地點の負荷率を 57.5% に低下し得る故に

$$P_{mean}=100\times(1,650-15)\times 0.111\times 0.56$$

$$=10{,}200\ K.W.$$

$$P_{max}=\frac{10{,}200}{0.575}=17{,}700\ K.W.$$

(I) 式から

$$f_p=\frac{f-P_w}{1-P_w}$$

$$\therefore\quad P_w=\frac{f-f_p}{1-f_p}$$

$$P_w=\frac{0.7-0.575}{1-0.575}=0.294$$

$$P_p=1-P_w=0.706$$

$$\therefore\quad \text{調節力}=[P_w]=\frac{17{,}700\times0.294}{0.706}$$

$$=7{,}370\ K.W.$$

3 單獨運轉の極限

$$T_m=6\left(\frac{1}{f}-1\right)$$

$$=6\left(\frac{1}{0.7}-1\right)=2.58\ \text{時}$$

$$\therefore\quad Q=\frac{1{,}600{,}000}{2.58\times3{,}600}=172\ \text{個}$$

$$P_{mean}=172\times(1{,}650-15)\times0.111\times0.56$$

$$=17{,}450\ K.W.$$

$$P_{max}=\frac{17{,}450}{0.7}=25{,}000\ K.W.$$

4 調整能力と使用水量

$$P_{mean}=(1{,}650-15)\times0.111\times0.56\times Q$$

$$=102\,Q$$

$$T_m=\frac{1{,}600{,}000}{2{,}600\,Q}=\frac{444}{Q}$$

$$f_p=\frac{6}{T_m+6}=\frac{Q}{74+Q}$$

$$P_{max}=\frac{P_{mean}}{f_p}=102\,(74+Q)$$

$$P_w=\frac{f-f_p}{1-f_p}=\frac{0.7-\dfrac{Q}{74+Q}}{1-\dfrac{Q}{74+Q}}$$

$$=0.7-0.00405\,Q$$

$$P_p=1-P_w=0.00405\,Q+0.3$$

$$\text{調整力}=[P_w]=\frac{P_{max}}{P_p}\times P_w$$

$$=\frac{102\,(74+Q)\,(0.7-0.00405\,Q)}{0.00405\,Q+0.3}$$

5　不足調整

使用水最 174～200 個の間は單獨運轉に對して調整水量に不足を生ずるを以て不完全發電をなすものとす。

$$T_p=\frac{6\,(1-p)^2}{p\,(1-f)}$$

$$T_p=\frac{1{,}600{,}000}{3{,}600\,Q}=\frac{444}{Q}$$

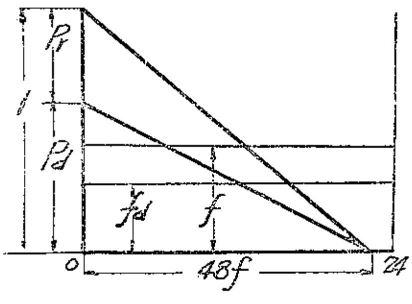
$$\frac{444}{Q}=\frac{6\,(1-p)^2}{p\,(1-0.7)}$$

$$\therefore\quad p=1+\frac{11.1}{Q}-\sqrt{\left(\frac{11.1}{Q}\right)^2+\frac{22.2}{Q}}$$

$$P_{mean}=102\,Q$$

$$P_{max}=\frac{P_{mean}}{p}$$

$$=\frac{102\,Q}{1+\dfrac{11.1}{Q}-\sqrt{\left(\dfrac{11.1}{Q}\right)^2+\dfrac{22.2}{Q}}}$$



第　二　圖

6　不足調整發電を過剰調整發電を以て調整すること

f_d：不足調整池を有する發電所の負荷率

f_r：過剰調整池を有する發電所の調整負荷率 $=0.5\ (f=0.5\sim1.0)$

P_d：不足調整池を有する發電所の最大出力

P_r：過剰調整池を有する發電所の調整力

$f=0.5\sim1.0$ の場合は次の如くである。

$$T_m=6\left(\frac{1}{f_a}-1\right)$$

$$\text{or}\quad =\frac{V}{3{,}600\,Q}$$

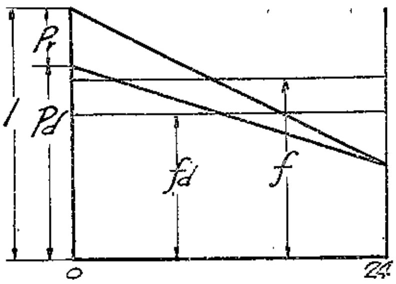
$$\therefore\ f_a=\frac{6\times3{,}600\,Q}{V+6\times3{,}600\,Q}=\frac{Q}{\frac{V}{6\times3{,}600}+Q}\ \cdots\cdots\cdots\text{(IV)}$$

$$0.5\,P_r+f_aP_a=f\,(P_r+P_a)$$

$$P_r+P_a=1$$

$$\therefore\ P_r=\frac{f_a-f}{f_a-0.5}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(V)}$$

$f=0.0\sim0.5$ の場合は次の如くである。



第　三　圖

$$f_a=fP_a$$

$$f_r=fP_r$$

$$\therefore\ f_a+f_r=1\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(VI)}$$

即ち一般負荷率が 50% 以下の場合に於ては負荷直線の想定の下に於ては調整池の負荷率を一般負荷率よりも低下し得るに非ざれば過剰調整池を有する發電所を以てしても調整し得ないのである。然るに不足調整池を有する發電所を完全に働からしむるには常に其負荷率を一般負荷率以上の高率を以て運轉するを要する故に一般負荷率が 50% 以下に下る場合は不足調整池を有する發電所の出力を調整すると云ふことは不可能となる。

上記諸算式に依る計算の諸結果を総合すると次表の如くなる。

運　轉　表

	單獨運轉 (K.W.)		調整運轉		
Q	$f=0.7$	負荷率	出力 K.W.	調整力 K.W.	
100	14,580	0.575	17,700	7,370	$f_w=1.0$
110	16,040	0.598	18,800	6,380	
120	17,500	0.618	19,800	5,350	
130	18,950	0.638	20,800	4,350	
140	20,400	0.654	21,900	3,320	
150	21,850	0.67	22,800	2,310	
160	23,300	0.684	23,900	1,310	

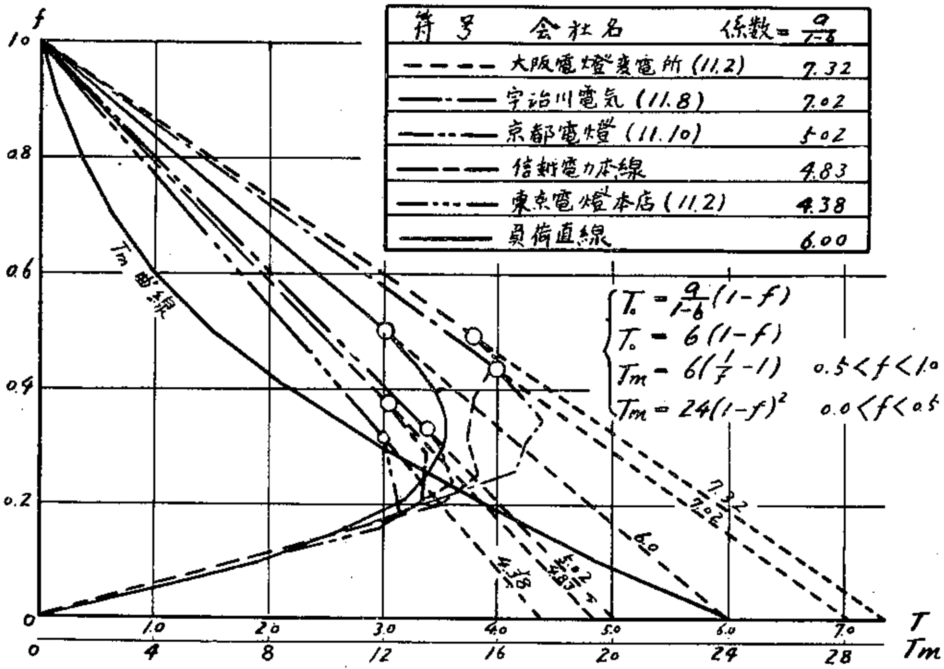
172	25,000	0.700	25,000	0.0	
180	26,000	0.709	25,900	−1,160	f_r =0.5
190	27,300	0.720	26,900	−2,690	
200	28,400	0.730	28,000	−4,190	

(−) は被調整を意味する

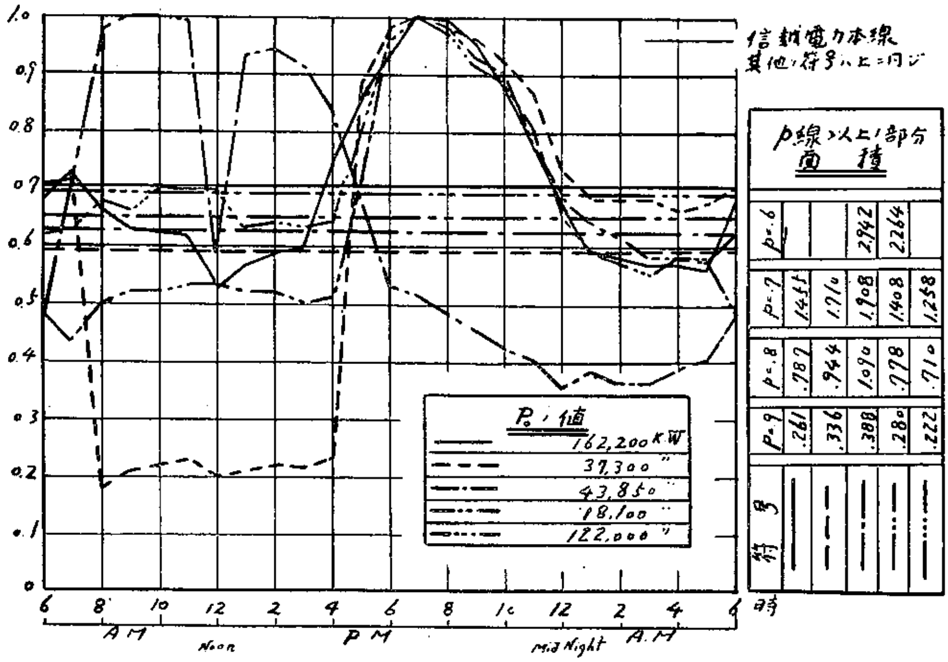
(完 14/3/3)

附圖第一

調整池容量曲線圖 (A)



單位負荷曲線圖 (B)

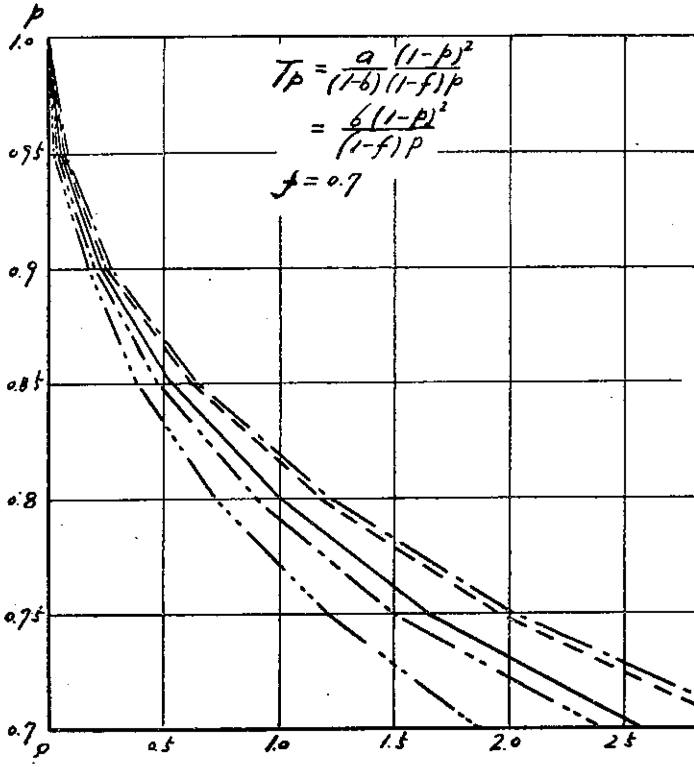


(土木學會誌第十一卷第三號附圖)

不足調整池容量曲線圖

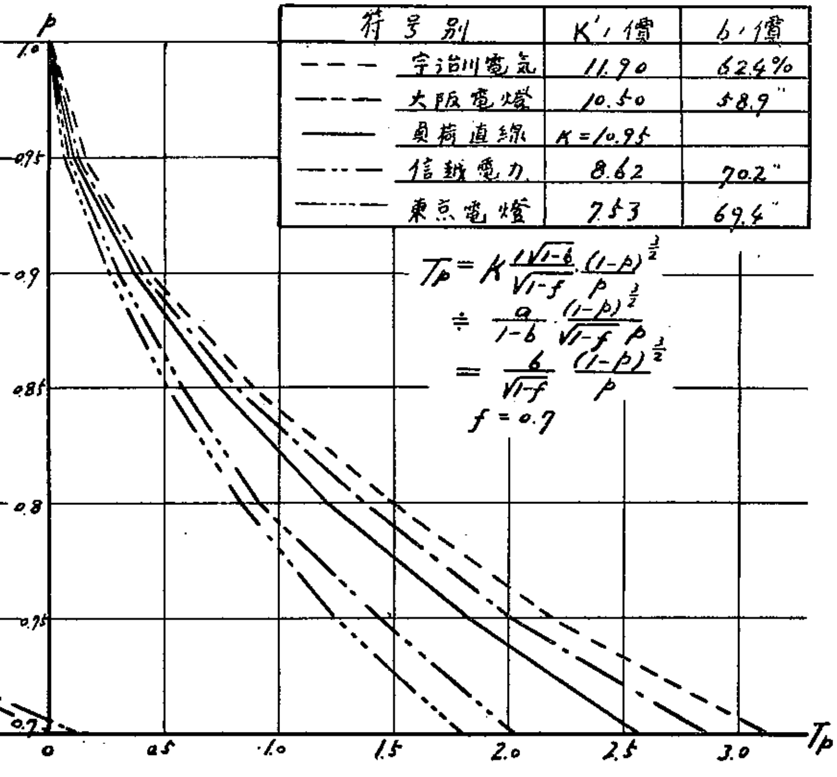
附圖第二

(A) 近似曲線

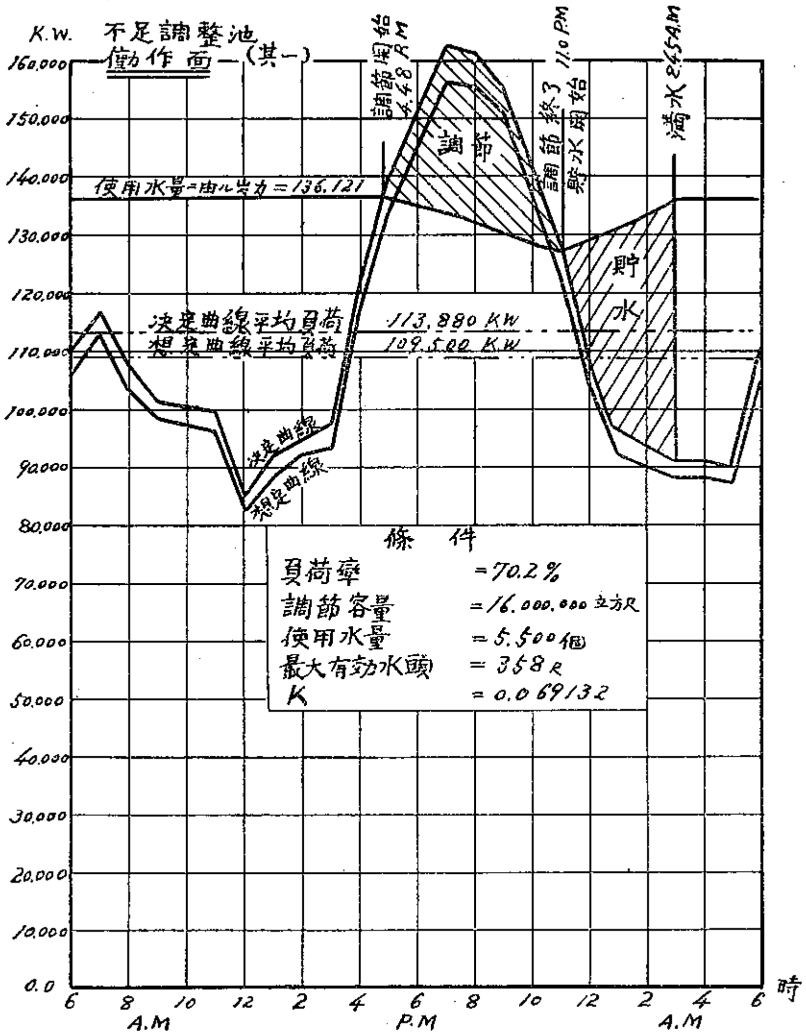


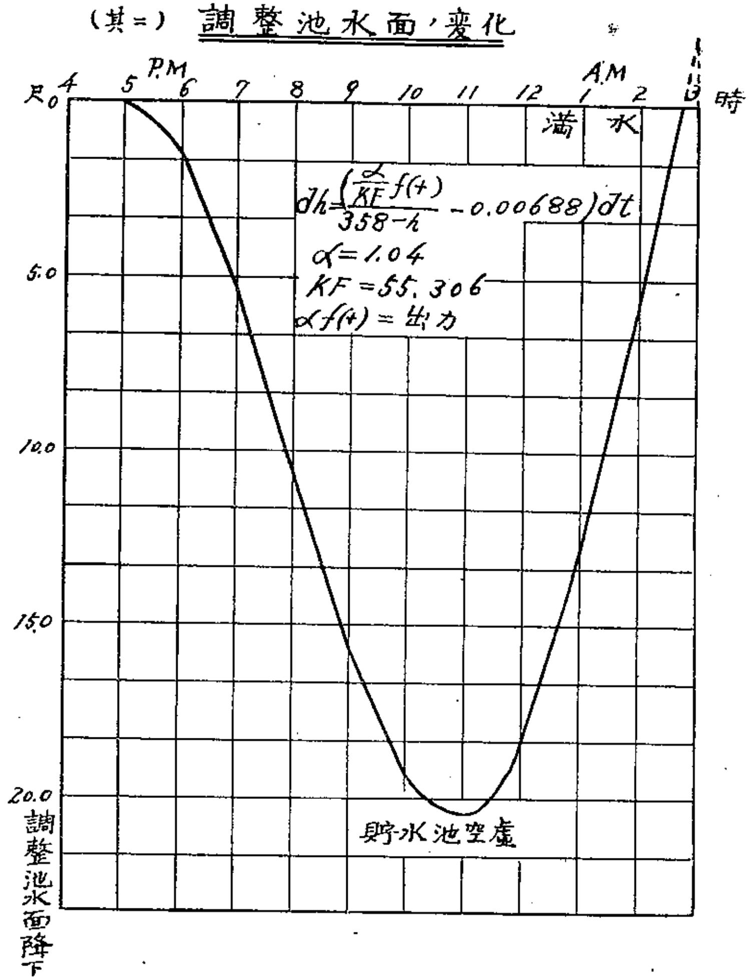
(B) 精確曲線

符号別		K'ノ價	bノ價
— — —	宇治川電氣	11.90	62.4%
—— – ——	大阪電燈	10.50	58.9 "
———	負荷直線	K=10.95	
—·–·—	信越電力	8.62	70.2 "
—·-·-—	東京電燈	7.53	69.4 "



(土木學會誌第十一卷第三號附圖)



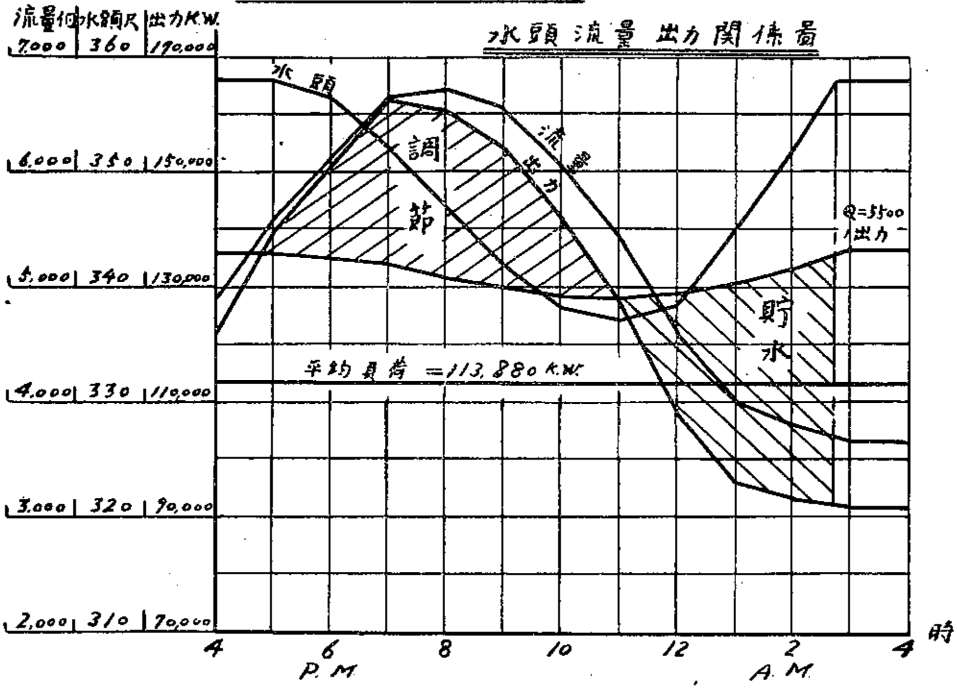


附圖第三

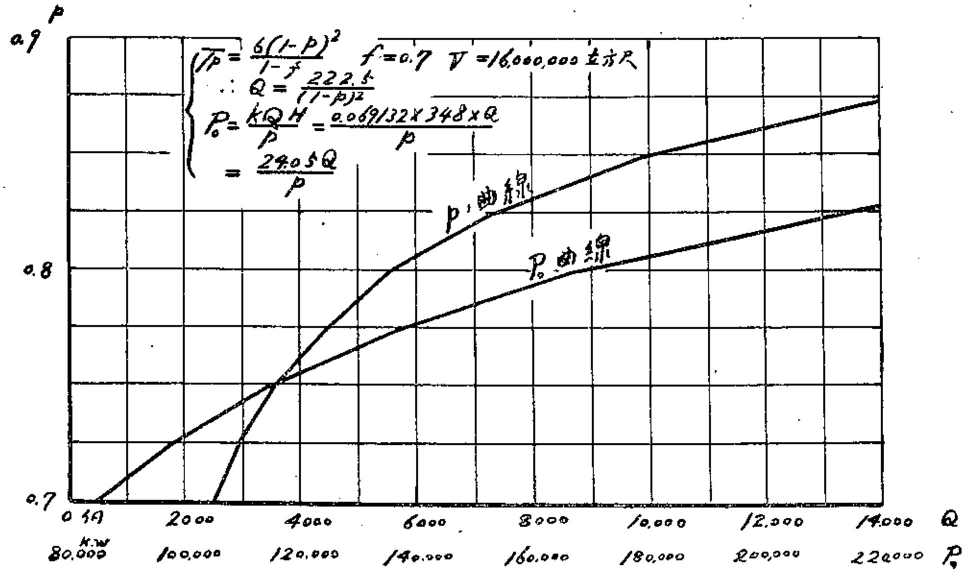
（土木學會誌第十一卷第三號附圖）

附圖第四

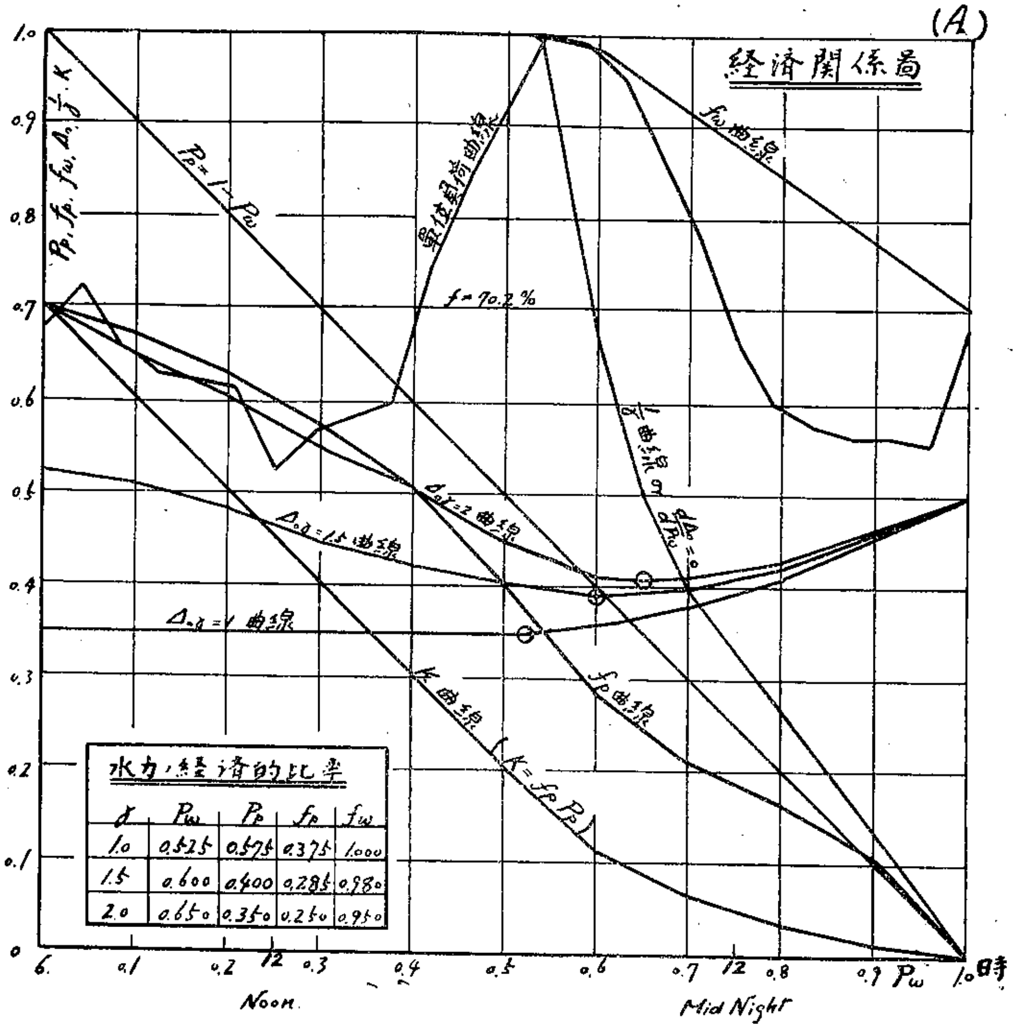
調整池ノ働作（其三）



不足調整池ノ單位負荷直線解法

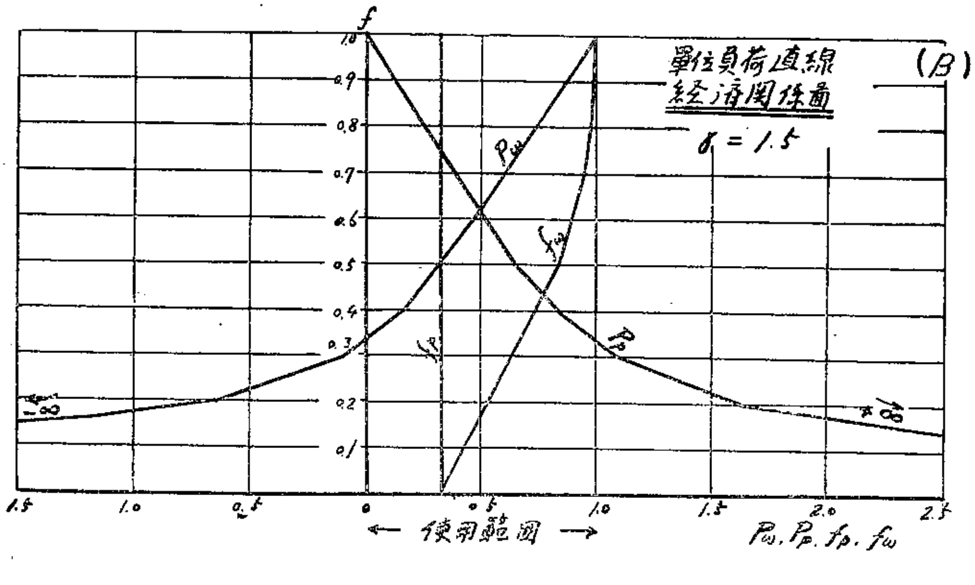


附圖第五



水力ノ経済的比率

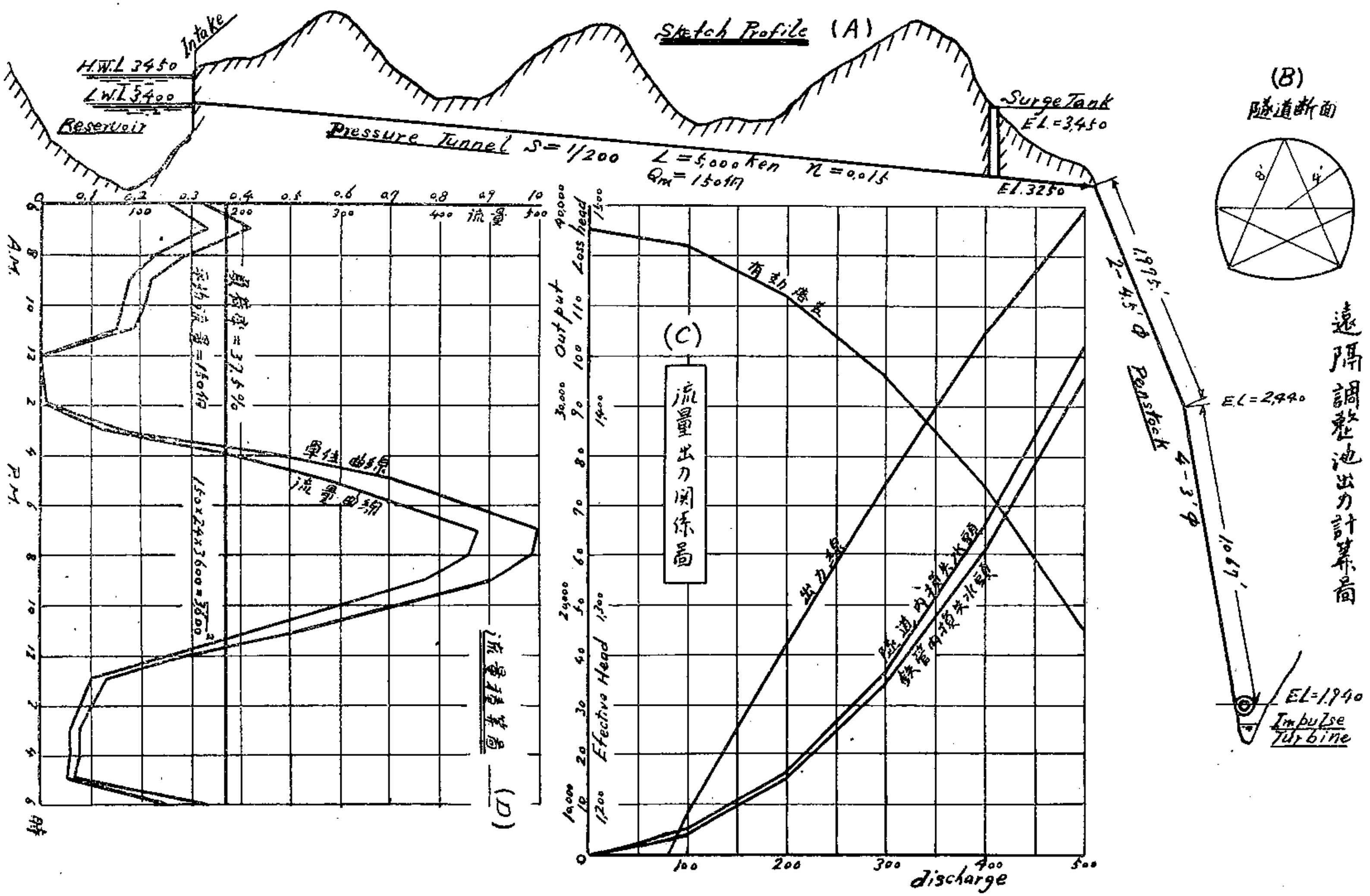
γ	P_w	P_p	f_p	f_w
1.0	0.525	0.575	0.375	1.000
1.5	0.600	0.400	0.285	0.980
2.0	0.650	0.350	0.250	0.950



(土木學會誌第十一卷第三號附圖)

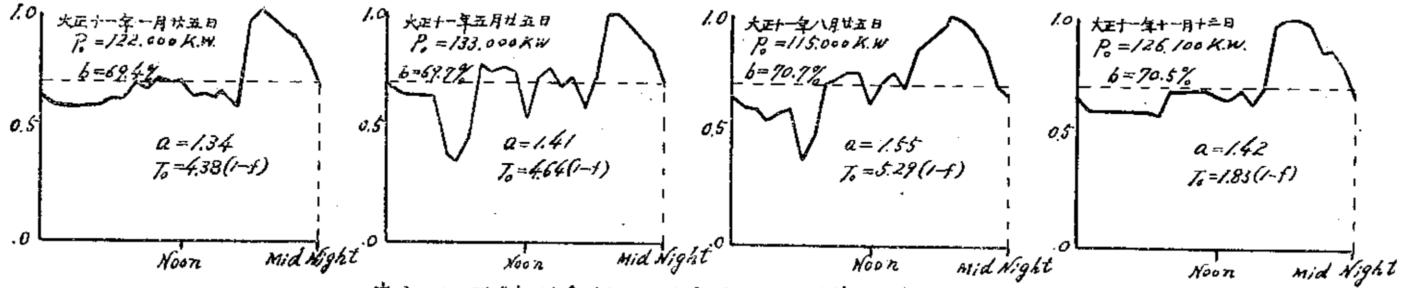
附圖第六

遠隔調整池出力計算圖

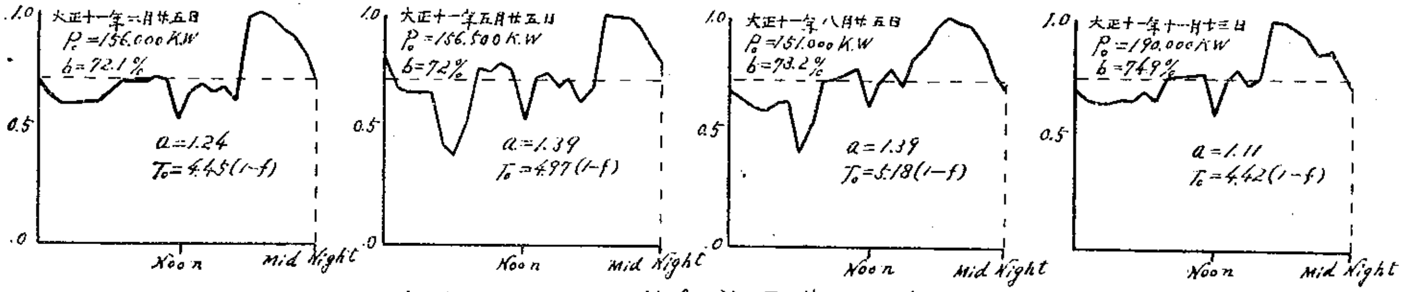


附圖第七

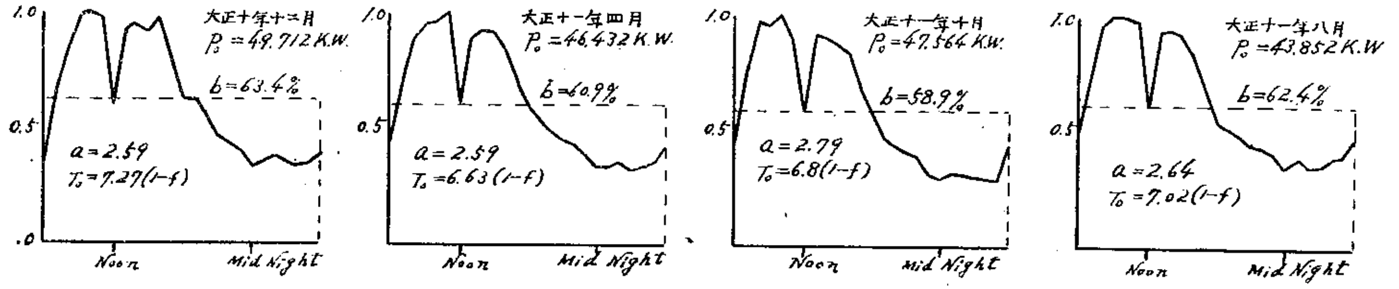
東京電燈株式會社　東京本店營業區域負荷



東京電燈株式會社　本支店合計負荷



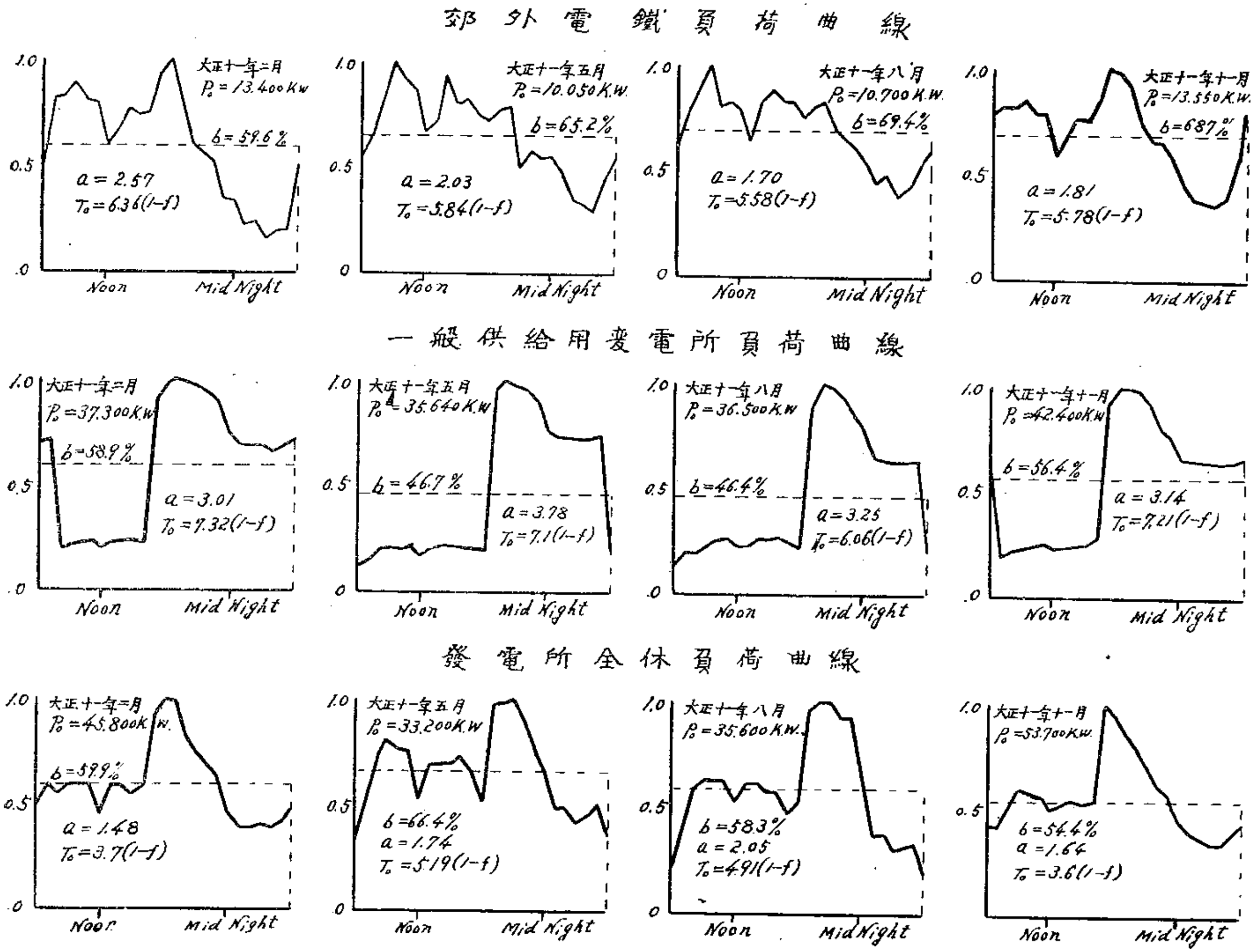
宇治川電氣株式会社負荷曲線



(土木學會誌第十一卷第三號附圖)

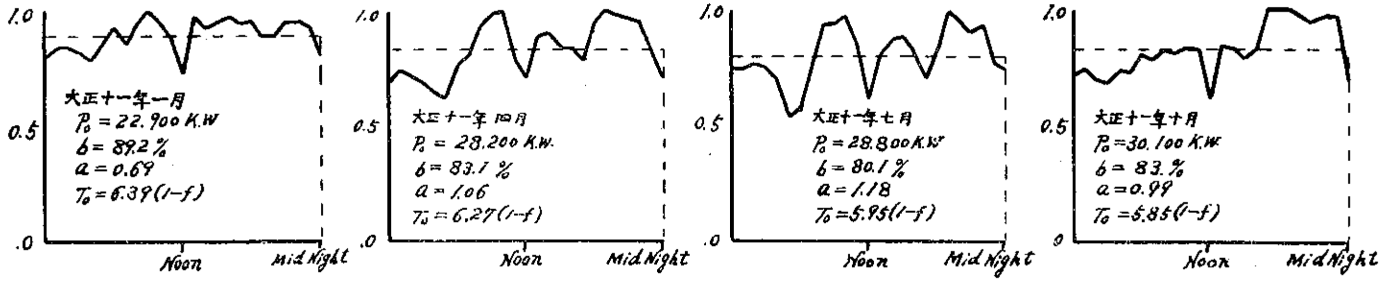
附圖第八

大阪電燈株式會社負荷曲線圖

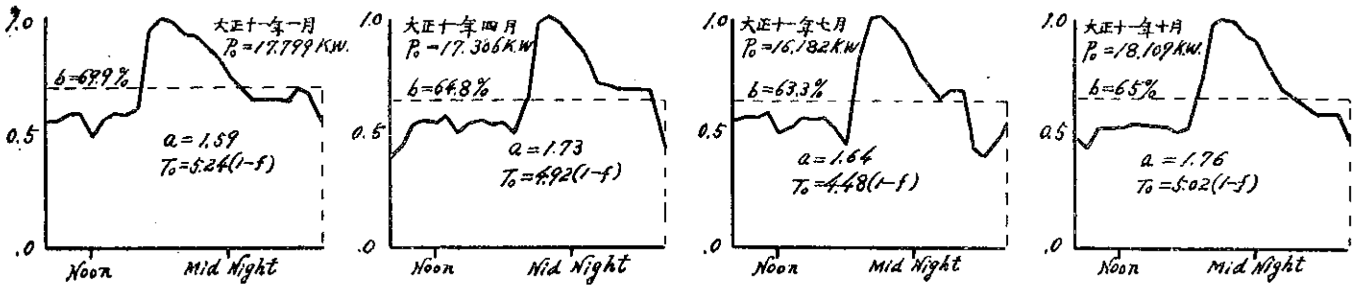


（土木學會誌第十一卷第三號附圖）

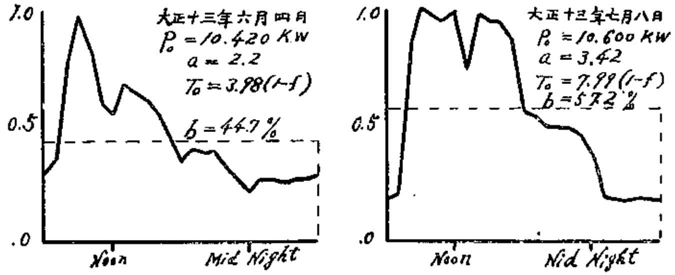
大同電力株式會社負荷曲線



京都電燈株式會社負荷曲線

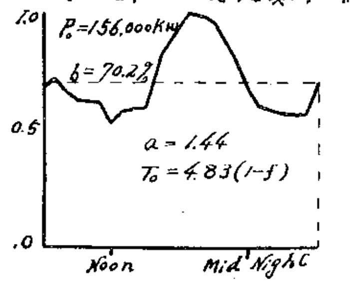


富山縣電氣局負荷曲線



富山縣電氣局負荷曲線係数ノ變化甚ダシキハ發電所運轉開始後日尚浅キト日本電力株式會社大阪送電線路ノ完成後日浅ク受電設備ニ欠クル所アリ且ツ配電関係ニ遺憾ノ点アルガ為ノ也

信越電力株式会社信濃川本川計画用想定負荷曲線



附圖第九

(土木學會誌第十一卷第三號附圖)