

論 說 報 告

土木學會誌 第十六卷第十二號 昭和五年十二月

貯水池に關する一考察

會員 工學士 前 田 與 市

A Contribution to the Regulation of the Impounding Reservoir

By Yoichi Maeda, C. E., Member.

内 容 梗 概

上水用貯水池の給水能力及び水量増減を攻究して、貯水池管理上の指針を得んとするものである。

緒 言

本月は例年になく雨が少なく貯水量が著しく減じた、此の分で2箇月も経てば貯水池は空になる、何時雨が降るだらうか、給水を制限したものだらうか、といふやうな心配は上水用貯水池を管理して居るもの、屢々遭遇する所である、悲觀し過ぎるのも樂觀し過ぎるのも共に愚である。

何とかして貯水量の規準といふやうなものは得られぬだらうか、而して取り越し苦勞をせず貯水池を有効に利用する方法はないだらうか。只經驗上から今頃はこれ位迄減水しても大丈夫であるといふやうな漢とした目見當でなしに、多少にても據り所のある規準を求め安心して日常の管理に従事したいと考へ、附圖第一の如き貯水池管理圖表を調製した。

1 安全給水能力

吾々は雨水の幾パーセントを有効に使用し得るか、之れは其の流域の地形及び地質、取水の方法、貯水池の大小、それに降雨の状況等に依つて定まるもので、的確な數を得ることは到底望み得ないが、今在る貯水池に就ては過去の觀測及び經驗から大體の見當は付くものである。

今

c : 流出率 = $\frac{\text{流出水量}}{\text{降雨水量}}$,

a : 集水面積(平米),

r : 降雨量(耗),

b : 流出水量に對する有効水量の比 = $\frac{\text{有効水量}}{\text{流出水量}}$

$$C: \text{有効率} = \frac{\text{有効水量}}{\text{降雨水量}} = k c$$

K : 1 耗の降雨に對する有効水量(立米)

$$= \frac{1}{1000} k c a$$

Q : 有効水量(立米)

とすれば

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{1000} k c a r \\ &= \frac{1}{1000} C a r \\ &= K r \end{aligned}$$

各貯水池には計畫當時其の k, c は推定されて居るが、其の後の實測成績より之れを求めれば一層確かなものが得られる。

次に其の土地の成可く長期の雨量表が必要である、今迄1年間の雨量は曆年に依て計上されて居たが上水道の如きものには色々の不便がある、これには曆年よりも雨量の多少が重要であるから雨量に依て1年の區劃を定める、即ち過去に於ける毎月平均雨量を算出し最大雨量の翌月より起算して12箇月の雨量を表すことにする、さすれば渴水期が2行に跨ることなく取扱上非常に便利である。

以下實例を以て安全給水能力の算出及び管理圖表の調製方法を説明する。

自明治28年
至昭和4年 35年間の毎月平均雨量

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
毎月平均雨量(耗)	52.7	60.4	108.4	137.6	143.5	235.7	215.2	90.2	174.4	103.0	59.9	51.1	1432.1

6月が最大雨量月であるから之れを次の如く表すことにする。

月	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	計
毎月平均雨量(耗)	215.2	90.2	174.4	103.0	59.9	51.1	52.7	60.4	108.4	137.6	143.5	235.7	1432.1

而して本計算に掲げたる貯水池は

容 量 1 958 553.0 (立米)

と計上されて居る。計算及び諸表を簡にする爲以下總て水量は 1 000 立米を以て單位とする。今迄の實測の成績に依れば凡そ

$$K=7 (1000 \text{ 立米})$$

である、これは雨量の大小及び季節等に依て變化するは勿論であるが、本問題に於ては少雨量の時期及び無溢水の期間を取扱ふもの故之れに相當する平均値を採つたものである。

此の貯水池の安全給水能力を算出する爲

- n : 月数
 r : n 月間の最少雨量(耗)
 q : 平均 1 箇月給水量(1000 立米)
 V : 貯水池容量(1000 立米)

を表すものとする。

今降雨量が給水量に對して不足すること n 箇月間とすれば、其の間貯水池より補給を要する水量 (v) は

$$v = nq - Kr$$

である、貯水池は最大 v に適應すればよいのである、然し雨量が今日迄の記録を破ることもあり又 K の變化もあるから 1 箇月分の餘裕を見込み

$$V = \max. v + q$$

とする、即ち

$$\begin{aligned} V &= nq - Kr + q \\ &= (n+1)q - Kr \end{aligned}$$

次に v の最大を求むるため過去雨量表の中より、1 箇月、2 箇月、3 箇月、……12 箇月間の各最少雨量を抜出すれば附表第一の通りである。

$$\begin{array}{ll} \text{又} & \text{i} \\ & v = nq - Kr \\ & \text{ii} \\ & V = v + q \end{array}$$

の 2 式より q を除去して v を算出すれば

$$v = \frac{nV - Kr}{1+n}$$

である、此の v の値は附表第二の通りにして

$$v = 1482 \text{ (1000 立米)}$$

が最大で

$$n = 7$$

である、之れに對する q は、

$$\begin{aligned} q &= V - v \\ &= 1958 - 1482 \\ &= 476 \text{ (1000 立米)} \end{aligned}$$

となる、而して 12 箇月間の最少雨量に對する平均 1 箇月有効水量 (q_0) を見るに

$$\begin{aligned} q_0 &= \frac{976.2 \times 7}{12} \\ &= 569 \text{ (1000 立米)} \end{aligned}$$

であるから $q = 476$ は可能なる給水量である。

$q_0=569$ を此の水源の 最大安全給水能力と稱へる。

此の q_0 を得能ふ如き V_0 を求むれば

$$\begin{aligned} V_0 &= (n+1)q_0 - Kr \\ &= (7+1) \times 569 - 1850 \\ &= 2702 \text{ (1000 立米)} \end{aligned}$$

即ち現貯水池の外に 744. (1000 立米) の貯水池を更に設置せねばならぬことになる。

本水道給水の約半分は工業用なるを以て、夏冬に於ける給水量の差は甚だ少である、今迄の給水に基き

$$\begin{aligned} Q &= 1 \text{ 箇年の給水量} \\ &= 476 \times 12 \\ &= 5712 \text{ (1000 立米)} \end{aligned}$$

を 12 箇月に割當つれば、

月	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	計
毎月給水量	522	522	522	522	472	422	422	420	472	472	472	472	5712

之れが安全給水量であつて本貯水池の安全給水能力と爲す。

2 貯水池管理圖表

6 月は最大平均雨量の月であるから 6 月末には貯水池は満水して居るものと見る、或は 6 月末に満水して居ない年もあらうがそれは極稀であつて多くの年は満水する、之れが毎年満水しないやうでは其の貯水池の計畫とか給水量とかに無理があるのである。

過去の雨量より次のものを抜出する、

- 7 月中の最少雨量
- 7, 8 月間の最少雨量
- 7, 8, 9 月間の最少雨量

斯く順次 1 箇月を加へ、其の最少雨量に相當する有效水量が其の期間の給水量よりも大なるに至る迄月數を増す、

即ち

$$nq \geq Kr$$

に至て止む。

然る時に其の各期間末の貯水量が次の如きものであることは明かである。

$$\text{貯水量} = V + Kr - nq$$

而して此の各貯水量は 7 月初めに満水して居て、過去 35 年間の最少雨量に依り各期間末に起り得る最減水時のものである、言ひ換へれば 7 月末に最も減水するのは 7 月中の雨量が最も少ない時に起り、8 月末に最も減水するのは 7, 8 月間の雨量が最も少ない時に起る、又

9 月末の最減水は 7, 8, 9 月間の最少雨量の時に起ると見て差支へない, 嚴密に言へば雨量と流出量とは月の界を以て區劃は出來ないが, 連続的に大體を統計する場合には斯く見る外はない, 局部的には可成り大なる誤差あらんも連続計上すれば全體としての誤差は實際問題として憂ふるに足らぬ。

以上は各期間末に於ける最減水の場合であつて, 多くは各期間末に之れ以上の貯水量がある, 満水して居る場合もあるのである。

次に 7 月末即ち 8 月初めに満水して居て, 8 月末, 9 月末等に起り得る最減水状態は如何と見るに, 前同様

8 月中の最少雨量

8, 9 月間の最少雨量

8, 9, 10 月間の最少雨量

と順次

$$nq \geq Kr$$

に至る迄各期間の最雨少量を抜出して其の期間末の貯水量を算出する。

次には 9 月初めに満水して居る場合, 10 月初めに満水して居る場合と, 順次各月初めに満水して居る場合を全部調査抜出すれば附表第三の通りである。而して之れ等に相當する各貯水量は附表第四の通りとなる。

茲に少しく説明を要するは, 附表第三 (1) に於て $n=8$ 即ち 7 月初めに満水して居て 9 月末の貯水量を算出する場合である, 表に於て見るに 7 月中の雨量が 133.2 で之れに相當する有効水量の一部は溢水流去するであらう, 従て 9 月末の貯水量は附表第四の 1884 よりも尙減少することとなり, 本表は不合理ならずやとの疑問である。

然し今取扱て居るのは, 過去の記録に基き 7 月初めに満水して居て 9 月末に起り得る最減水を見るのであつて, 中間の變化は考慮するの必要はない。何故ならば 7 月中の雨量が 133.2 で多少の溢水ありたりとせば 7 月末に満水して居て 8, 9 月に減水するものと見做しても差支へない, そして之れは附表第三 (2) を調製する場合再び考慮されることとなる, 即ち附表第三 (1) に於ては 8, 9 月の雨量が $10.7+69.2=79.9$ であるが附表第三 (2) に於ては $18.6+46.2=64.8$ となつて居る, 従て 9 月末の減水は 7 月初めに満水して居る場合よりも却て 8 月初めに満水して居る場合の方が甚しいといふ結果になつて居る, だから 7 月初めに満水して居る場合に 9 月末の減水を見るには, 只 7, 8, 9 月間の最少雨量に依れば其の途中に満水することの有無は此の際間ふ必要はない, 若し満水することありとせばそれは 8 月初め又は 9 月初めに満水して居る場合の調査に際し更めて再吟味されるのである, 又 7 月初めより 9 月末迄の間に満水することなくして附表第四の貯水量よりも減少する場合なきやを見るに, 7, 8, 9 月

間の雨量は本表に抜出の雨量よりも皆大にして、9月末の貯水量も亦1884よりも大なることは明かである。

附表第四の貯水量を圖表にしたものが附圖第一の貯水池管理圖表である。

各月末の最少貯水量を連結する線を此の貯水池及び其の安全給水量に對する警戒貯水量と爲す。

以上は過去35年間の雨量記録に基きて算出せるものであつて、其の記録以外には一步も出て居らぬ、否出ることが出来ぬのである、之れを以て將來を推測するの外はない、例へば本圖表に於て或る月の貯水量が相當減少して居る際引續いて翌月以後の最少雨量が到來することなきやを見るに、過去35年間には斯る心配は全然必要がなかつたのである、警戒貯水量は35年間に於ける最も不利な場合のみを採つたものである、又1年間の平均雨量と最少雨量との比が凡そ一定して居る以上、將來に於ても過去の記録を突飛に破ることは先づないと見て差支へない。然し之れが最後の記録ではないから前述の通り1箇月分の給水量を豫備として貯へて居ることとする。

C の價は給水能力を左右する重要なものであるが變化多くして正確な數を得ることは困難である、然し本計算の如く主として少雨量の時期と満水に達せざる期間とのみを取扱ふ際には、一定の價を用ひても大なる過はない、若し r の函數として C の近似數にてても得ることが出来れば圖表は一層確實なものとなる。

平年に於て安全給水量以内を給水するは貯水池の經濟的利用とはいへない、然し水力發電に於て火力發電設備を有するが如く、適當なる豫備水源を有するに非らざれば安全給水能力を超過して給水することは危険である。

本計算例に掲げし貯水池に於て、若し下記の給水を要するとせば、

月	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	計
q	600.	600.	600.	600.	550.	500.	500.	500.	500.	550.	550.	550.	6600

其の管理圖表は附表第五及び附圖第二の通りと爲り、現貯水池の外に約600(1,000立米)の豫備水源を有するに非らざれば、到底安心して給水することは出来ない。

以上の例には取水場の下流に水利權所有者なき場合であるが、若しあらば其の水量を考慮に入れて各月の取水量、貯水量等を算出圖表とすれば差支ない。

又貯水池や給水量が比較的大であつて、1年以上も満水しない場合は最少雨量の調査表(附表第三)が15箇月にも20箇月にも亘ることになるから、管理圖表を2箇年連続して作製すれば差支ないことになる。

圖表に於て雨量の目盛は、雨量 r の線と水量 Kr の線とが一致するやうにすれば便利である。

結 論

此の管理圖表に毎月の雨量，給水量及び貯水量をそれぞれ記載連結して行けば，貯水池の現在關係が一目して判り，將來の狀況が窺知されて之れを管理して行く上に非常に便利である。

又1年間の記載を終つて之れを願れば，雨量の新記録，Cの改正すべき資料等を得ることが出來，之れ等新資料に基き次年度の管理圖表を更に計算調製すれば前年度よりも確實なるものが得られる，斯く年を追ふに従ひ漸次確實性を増し遂には完全に近き管理圖表を得ることが出来る。(終)

附表第一 自明治28年至昭和4年 35年間に於ける最少雨量表(耗)

n	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	計
1	大正7-1月 0.9												0.9
2	大正6-12 10.1	7-1 0.9											11.0
3	大正6-11 13.3		7-1 0.9										24.3
4	大正6-11 13.3	10.1	7-1 0.9	39.8									64.1
5	大正13-11 41.6	11.8	14-1 3.3	47.1	48.1								151.9
6	"	"	"	"	"	71.5							223.4
7	明37-8 10.7	69.2	78.5	21.3	13.7	54.1	88-1 16.8						264.3
8	明37-7 133.2	10.7	69.2	78.5	21.3	13.7	38-1 54.1	16.8					397.5
9	"	"	"	"	"	"	"	"	175.0				572.5
10	"	"	"	"	"	"	"	"	"	127.0			699.5
11	大正13-6 75.3	60.8	100.8	232.8	119.2	41.6	11.8	14-1 3.3	47.1	48.1	71.5		812.3
12	昭和3-7 112.6	125.5	150.7	43.0	65.0	35.6	4-1 7.6	36.5	51.6	100.3	137.5	110.3	976.2

附表第二 v 算出表

n	(第1表より) r	Kr (K=7)	nV (V=1968)	nV-Kr	1+n	v (1000立米)
1	0.9	6	1958	1952	2	976
2	11.0	77	3916	3839	3	1280
3	24.3	170	5874	5704	4	1426
4	64.1	449	7832	7833	5	1477
5	151.9	1063	9790	8727	6	1455
6	223.4	1564	11748	10184	7	1455
7	264.3	1850	13706	11856	8	1482
8	397.5	2783	15664	12881	9	1431
9	572.5	4008	17622	13614	10	1361
10	699.5	4897	19580	14683	11	1335
11	812.3	5686	21538	15852	12	1321
12	976.2	6833	23496	16663	13	1282

附表第三(其一) 自明治28年至昭和4年 35年間に於ける最少雨量表(耗)

月 n	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	計	Kr	nq
1(大3)	23.5										23.5	165	522
2(大4)	42.3	59.8									102.1	715	1044
3(明37)	133.2	10.7	69.2								213.1	1492	1566
4(")	"	"	"	78.5							291.6	2041	2088
5(")	"	"	"	"	21.3						312.9	2190	2560
6(")	"	"	"	"	"	13.7					326.6	2286	2932
7(")	"	"	"	"	"	"	54.1 (明38)				380.7	2665	3404
8(")	"	"	"	"	"	"	"	16.8			397.5	2783	3824
9(")	"	"	"	"	"	"	"	"	175.0		572.5	4008	4296
10(")	"	"	"	"	"	"	"	"	"	127.0	699.5	4897	4768

附表第三(其二)

月 n	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	計	K r	n q
1(大11)	1.4										1.4	10	522
2(明36)	18.6	46.2									64.8	454	1041
3(明37)	10.7	69.2	78.5								158.4	1109	1566
4(")	"	"	"	21.3							179.7	1258	2038
5(")	"	"	"	"	13.7						193.4	1354	2460
6(")	"	"	"	"	"	(明38) 54.1					247.5	1733	2882
7(")	"	"	"	"	"	"	16.8				264.3	1850	3302
8(")	"	"	"	"	"	"	"	175.0			439.3	3075	3774
9(")	"	"	"	"	"	"	"	"	127.0		566.3	3964	4246
10(")	"	"	"	"	"	"	"	"	"	119.3	685.6	4799	4718

附表第三(其三)

月 n	9	10	11	12	1	2	3	4	5	計	K r	n q
1(明36)	46.2									46.2	323	522
2(明31)	74.9	45.3								120.2	841	1044
3(明37)	69.2	78.5	21.3							169.0	1183	1516
4(")	"	"	"	13.7						182.7	1279	1938
5(")	"	"	"	"	(明38) 54.1					236.8	1658	2360
6(")	"	"	"	"	"	16.8				253.6	1775	2780
7(昭3)	150.7	43.0	65.0	35.6	(昭4) 7.6	36.5	51.6			390.0	2730	3252
8(")	"	"	"	"	"	"	"	100.3		490.3	3432	3724
9(")	"	"	"	"	"	"	"	"	137.5	627.8	4395	4196

附表第三(其四)

月 n	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	計	K r	n q
1(大9)	21.2										21.2	148	522
2(明32)	37.3	31.0									68.3	478	994
3(昭2)	46.3	31.2	27.1								104.6	732	1416
4(昭3)	43.0	65.0	35.6	(昭4) 7.6							151.2	1058	1838
5(明37)	78.5	21.3	13.7	(明38) 54.1	16.8						184.4	1291	2258
6(昭3)	43.0	65.0	35.6	(昭4) 7.6	36.5	51.6					239.3	1675	2730
7(")	"	"	"	"	"	"	100.3				339.6	2377	3202
8(")	"	"	"	"	"	"	"	137.5			477.1	3340	3674
9(")	"	"	"	"	"	"	"	"	110.3		587.4	4112	4146
10(")	"	"	"	"	"	"	"	"	"	194.8	782.2	5475	4668

附表第三(其五)

月 n	11	12	1	2	3	4	5	6	計	K r	n q
1(大6)	13.3								13.3	93	472
2(")	"	10.1							23.4	164	894
3(")	"	"	(大7) 0.9						24.3	170	1316
4(")	"	"	"	39.8					64.1	449	1736
5(大13)	41.6	11.8	(大14) 3.3	47.1	48.1				151.9	1063	2208
6(")	"	"	"	"	"	71.5			223.4	1564	2680
7(昭3)	65.0	35.6	(昭4) 7.6	36.5	51.6	100.3	137.5		434.1	3039	3152
8(")	"	"	"	"	"	"	"	110.3	544.4	3811	3624

附表第三(其六)

月 n	12	1	2	3	4	5	6	計	K r	n q
1(明30)	1.0							1.0	7	422
2(大6)	10.1	(大7) 0.9						11.0	77	844
3(")	"	"	39.8					50.8	356	1264
4(大13)	11.8	(大14) 3.3	47.1	48.1				110.3	772	1736
5(")	"	"	"	"	71.5			181.8	1273	2208
6(昭3)	35.6	(昭4) 7.6	36.5	51.6	100.3	137.5		369.1	2584	2680
7(")	"	"	"	"	"	"	110.3	479.4	3356	3152

附表第三(其七)

月 n	1	2	3	4	5	計	K r	n q
1(大7)	0.9					0.9	6	422
2(明35)	29.1	6.0				35.1	246	842
3(大13)	16.7	24.9	37.6			79.2	554	1314
4(大14)	3.3	47.1	48.1	71.5		170.0	1190	1786
5(昭4)	7.6	36.5	51.6	100.3	137.5	333.5	2335	2258

附表第三(其八)

月 n	2	3	4	5	計	K r	n q
1(明35)	6.0				6.0	42	420
2(大13)	24.9	37.6			62.5	438	892
3(大14)	47.1	48.1	71.5		166.7	1167	1364
4(昭3)	84.7	35.1	95.0	61.3	276.2	1933	1836

附表第三(其九)

月 n	3	4	5	6	計	K r	n q
1 (昭3)	35.2				35.2	246	472
2 (大14)	48.1	71.5			119.6	887	944
3 (昭3)	35.2	95.0	61.3		191.5	1341	1416
4 (昭4)	51.6	100.3	137.5	110.3	399.7	2798	1888

附表第三(其十)

月 n	4	5	計	K r	n q
1 (大15)	57.3		57.3	401	472
2 (大11)	102.4	44.0	146.4	1025	944

附表第三(其十一)

月 n	5	6	計	K r	n q
1 (大11)	44.0		44.0	308	472
2 (明45)	80.9	76.4	157.3	1101	944

附表第三(其十二)

月 n	6	計	K r	n q
1 (大13)	75.3	75.3	527	472

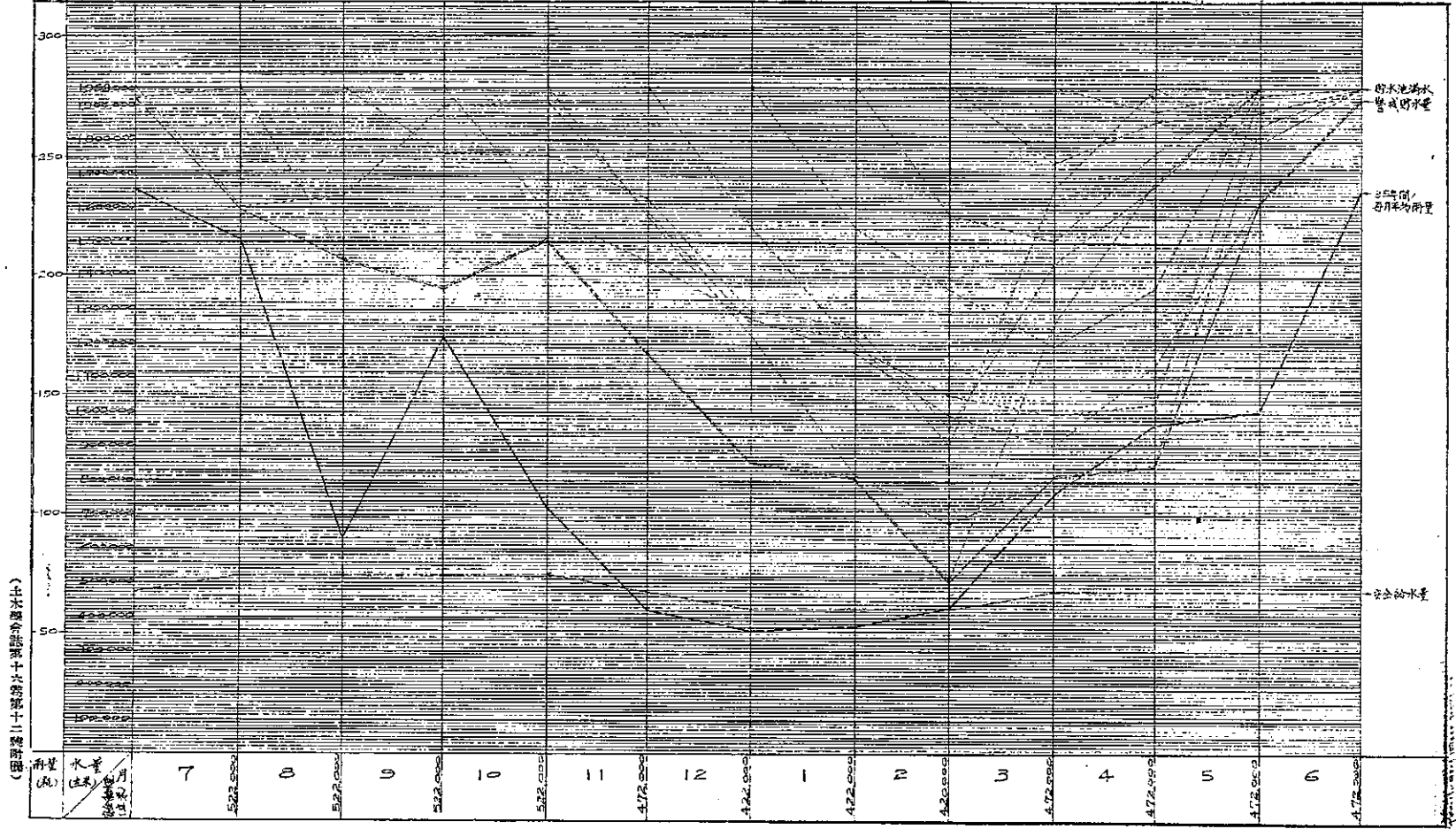
附表第四 附表第三の最少雨量時に於ける貯水量表

月	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
貯水量	1958	1601	1629	1884	1911	1588	1262	1219	917	1670	1958		
		1958	1446	1368	1501	1178	852	809	506	1259	1676	1958	
			1958	1759	1755	1625	1299	1256	953	1436	1666	1958	
		1958		1958	1584	1442	1274	1178	991	903	1133	1624	1924
					1958	1579	1228	812	671	813	842	1845	1958
						1958	1543	1191	1050	994	1023	1862	1958
							1958	1542	1362	1178	1362	1958	
								1958	1580	1504	1761	1958	
									1958	1732	1851	1883	1958
										1958	1887	1958	
											1958	1794	1958
												1958	1958

附表第五 最少雨量時に於ける貯水量表

月	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6
貯水量	1958	1523	1473	1650	1599	1198	794	673	293	968	1367	1590	1958
		1958	1368	1212	1267	866	462	341	(-40)	635	974	1259	1958
		1958	1958	1631	1599	1391	937	866	485	890	1042	1455	1675
				1958	1506	1286	1040	866	599	483	633	1046	1220
		1958			1958	1501	1072	578	359	423	374	1299	1521
		1958				1958	1465	1035	814	682	633	1394	1624
		1958					1958	1464	1206	944	1050	1645	1865
								1958	1502	1348	1527	1743	1958
									1958	1654	1695	1648	1958
										1958	1809	1833	1958
											1958	1716	1958
		1958										1958	1935

附圖第一 貯水池管理圖表 (K=7 000 立米)



附圖第一 貯水池管理圖表 (K=7 000 立米)

