

九州大学工学部 正 員 上田年比古

〃 〇 学生員 小川 康 彦

1. まえがき

近時、急速な水需要の増大にともない、貯水池が各所に築造され、2つ以上の貯水池からの統合取水がおこなわれるようになった。その場合、各貯水池がそれぞれの集水面積にみあった容量をもって建設されれば、取水にはそれほど問題を生じないと考えられるが、地形的条件から、各貯水池の集水面積の比率すなわち各貯水池の流入量の比率と各貯水池容量の比率とがかなり相違することがあり、この場合には各貯水池からの取水操作が適切でなければ、ある貯水池で満水放流があつてゐるのに、別の貯水池は満水に達してゐないなど水量的に有効な取水がおこなわれない場合が生ずる。

本報では直線の取水規準線によつて取水するという立場から、利水面からみた貯水池群の最適取水システムすなわち最適の取水操作方法および導水管、導水路の通水能力の経済的設計について、自然流下導水形式の並列2貯水池をもとにして検討した。なお計算には、北九州市亶吉、福智の2貯水池の57年の日流入量記録を使用した。

## 2. 並列2貯水池取水システムの系

並列2貯水池取水システムの系として図-1を考へる。

これは各貯水池の集水域から流れ込む流入量  $Q_1, Q_2$  を各貯水池に貯水して、導水管または導水路を通して浄水場へ導水するシステムである。利水面のみを対象とするため、貯水池からの放流水は利水用としては還元されず、放流水の下流におよぼす治水面の影響は考へないものとする。また、貯水池から浄水場への導水は一般にはポンプを使用することも考へられるが、問題を単純化するため自然流下とする。さらに、水需要の年間の変動は少いものとして、取水量  $P$  (m<sup>3</sup>/日) は一定とする。

したがつて  $P_1, P_2$  はその合計量が  $P$  になるように逐次決定されることになる。

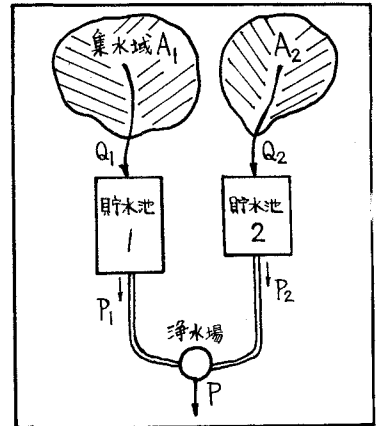


図-1 並列2貯水池取水システムの系

以下の説明に用いる記号を図-2に示す。

貯水池の番号をそれぞれ  $i = 1, 2$  として

$S_i$  各貯水池のあひてゐる部分 (m<sup>3</sup>)

$S = \sum S_i$  あひてゐる部分の合計 (m<sup>3</sup>)

$V_i$  各貯水池の貯水量 (m<sup>3</sup>)

$S_{i0}$  各貯水池の貯水池容量 (m<sup>3</sup>)

( $S_{i0} = S_i + V_i$ )

$S_{00} = \sum S_{i0}$  貯水池容量の合計 (m<sup>3</sup>)

$Q_i$  各貯水池への流入量 (m<sup>3</sup>/日)

$Q = \sum Q_i$  貯水池群への流入量 (m<sup>3</sup>/日)

$P_i$  各貯水池の取水量 (m<sup>3</sup>/日)

$P = \sum P_i$  日取水量 (m<sup>3</sup>/日)

$P_{i0}$  各貯水池の通水能力 (m<sup>3</sup>/日)

( $P_i \leq P_{i0}$ )

$l_i$  各貯水池の導水管または導水路長 (m)

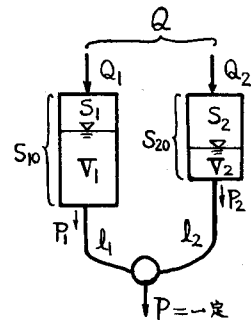


図-2 記号の説明図

### 3. 最適取水の条件

与えられた並列2貯水池から取水する場合の利水面からみた最適取水の条件を次の2つと考える。

(1) 貯水池に流入する水をできるだけ多量に取水する。

(2) 導水に関連する経費(導水管・導水路の敷設費、維持費の総計)をできるだけ小にする。

条件(1)は、分散している並列2貯水池をあたかも1つの貯水池のように操作することに帰着する。

これはつぎの2つの理由からいえる。第1に、放流をもたらす洪水があった場合、洪水終了時に各貯水池とも満水の状態であれば有効に取水することになる(同時満水条件)。第2に、渇水期に一方の貯水池が空になった場合に、他方の貯水池の通水能力がこの並列2貯水池からの計画取水量以下ならば、計画量の取水ができなくなり、この状態から流入量が増加し両貯水池とも復水する場合には、上述のからが生じたときの計画取水量に満たなかった水量だけ総取水量が減少する。したがって、同時に空になるように取水操作しなければならない(同時空条件)。

条件(2)については、条件(1)のもとで導水管、導水路の敷設費を最小にする場合を考える。

### 4. 最大可能取水量の決定および取水システムの最適化

最適取水の条件より、図-3において  $Q = Q_1 + Q_2$ ,  $S_{00} = S_{10} + S_{20}$  とすれば、(a)の並列2貯水池の最大可能取水量は(b)の1貯水池における最大可能取水量で与えられる。この算定には Ripple 法をもちいた。いま(b)における総放流量を  $W_{min}$ , (a)における総放流量を  $W$  とし、 $W - W_{min}$  をここでは損失水量とよぶことにする。 $W = W_{min}$  のときが最有効取水の状態となる。いま取水システムを数量的に評価するために、損失水量の恒値関数を  $w$  とし、各貯水池の単位長さあたりの導水管、導水路の敷設費をそれぞれ通水能力に関する増加関数  $h_1(P_{10})$ ,  $h_2(P_{20})$  とすれば、取水システムの経済的評価は、

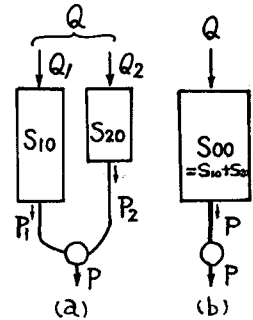


図-3 Ripple法による最大可能取水量の決定

$$R = l_1 \cdot h_1(P_{10}) + l_2 \cdot h_2(P_{20}) + w \text{ ----- (1)}$$

で与えられる。よって取水システムの最適化は  $R$  を最小にする  $P_{10}$ ,  $P_{20}$  および取水操作方法を決定することになる。一般に、最有効取水が前提となることが多いので、本報では  $w = 0$  (すなわち  $W = W_{min}$ ) の範囲内で  $R$  を最小にすることを考えることにする。

### 5. 取水規準線および取水操作方法

並列2貯水池の統合取水操作として本報ではあらかじめ設定された取水規準線によって取水する方法をもちいて検討した。取水規準線は図-4に示すように2貯水池のあいだの部分の合計量  $S$  に対して、 $i$  貯水池のとりべきあっている部分の量を示す曲線  $f_i(S)$  で与えた。 $f_i(S)$  は  $[0, S_{00}]$  において

$$S = \sum_{i=1}^2 f_i(S), \quad \frac{df_i(S)}{dS} \geq 0 \text{ ----- (2)}$$

および、同時満水・同時空の境界条件として

$$[f_i(S)]_{S=0} = 0, \quad [f_i(S)]_{S=S_{00}} = S_{i0} \text{ ----- (3)}$$

を満足するように決定される。ここで  $f_i(S)$  の接線の勾配  $df_i(S)/dS$  は流入量  $i$  のときの貯水池の取水量の割合  $P_i/P$  を示しているので、取水規準線によって取水するためには、あくなくとも、

$P_{i0} = P \times \max \{ df_i(S)/dS \}$  の通水能力が必要となる。したがって  $\max \{ df_i(S)/dS \}$  が最小となるときの、すなわち  $df_i(S)/dS = \text{const}$  のときが無理のない取水がなされると想定される。これは直線の取水規準線を意味する。この場合の  $f_i(S)$  は境界条件 (3) 式により

$$f_i(S) = (S_{i0}/S_{00}) \cdot S \quad \text{----- (4)}$$

で与えられる。これを図-4 に示す。

取水操作の方法は、通水能力  $P_{i0}$  の範囲内でできるだけ取水規準線 (4) 式にさうよう  $P_i$  をきめていった。

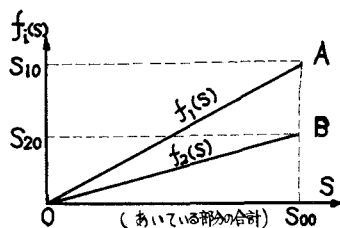


図-4 直線の取水規準線

## 6. コンピューター・シミュレーション

以上の考察により、最適取水システムの決定を (4) 式の直線取水規準線についておこなった。(1) 式の  $P_i$  を最小にする  $P_{i0}$ ,  $P_{20}$  の決定は実際の貯水池における取水操作を流入記録を用いてコンピューターでシミュレートすることによって試算的に求めることができる。

## 7. 計算結果

ここでは表-1 に示すような北九州市の頂吉・福智の2貯水池の昭和35年7月～40年6月の57年の日流入量記録を用い、2貯水池の容量の合計量  $S_{00}$  を  $2,000 \times 10^3 \text{ (m}^3\text{)}$  として計算を試みた。

表-1 流入記録 (※の値は両貯水池への流入量の合計量  $Q$  の標準偏差である)

| 貯水池          | 5年間の総流入量<br>$I_i$ (単位 $10^3 \text{ m}^3$ ) | $\mu_i = \frac{I_i}{I_0}$ | 日平均流入量 (m <sup>3</sup> /日) | 日流入量の<br>標準偏差 (m <sup>3</sup> /日) | 集水面積<br>$A_i$ (単位 km <sup>2</sup> ) | $A_i/A_0$ |
|--------------|--------------------------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------|
| 頂吉 ( $i=1$ ) | 47,014                                     | 0.6118                    | 25,747 ( $\bar{Q}_1$ )     | 5,485.2                           | 9.25                                | 0.6122    |
| 福智 ( $i=2$ ) | 29,830                                     | 0.3882                    | 16,336 ( $\bar{Q}_2$ )     | 4,671                             | 5.86                                | 0.3878    |
| 計            | 76,844 ( $I_0$ )                           | 1.0000                    | 42,083 ( $\bar{Q}$ )       | 9,302 (*)                         | 15.11 ( $A_0$ )                     | 1.0000    |

いま  $S_{00} = 2,000 \times 10^3 \text{ (m}^3\text{)}$  の一々の貯水池に上記、頂吉・福智の貯水池への流入量の合計  $Q$  が流入するとして、Ripple 法により求めると、57年の総取水水量  $40,404 \times 10^3 \text{ (m}^3\text{)}$ 、日取水量  $P = 22,127 \text{ (m}^3\text{/日)}$ 、57年の総放流量  $W_{\min} = 36,440 \times 10^3 \text{ (m}^3\text{)}$  がえられた。つぎに  $S_{00}$  を一定として、 $S_{10}$ ,  $S_{20}$  を変化させて種々の並列2貯水池の検討を行った。図-5 は  $S_{10} = S_{20} = 1,000 \times 10^3 \text{ (m}^3\text{)}$  に対する例で、 $P_{10}$ ,  $P_{20}$  の各種の組合せについてコンピューター・シミュレーションを行って求めた  $W - W_{\min}$  (単位  $10^3 \text{ m}^3$ ) である。最有利取水の範囲 ( $W - W_{\min} = 0$ ) は長方形で区切られているので、この範囲内で  $P_i$  を最小にする通水能力の値は、管長または水路長  $l_1$ ,  $l_2$  に関係なく水印で示される  $P_{10}$ ,  $P_{20}$  の値で与えられる。

すなわち直線取水規準線を用いる場合の最適取水システムはこの水印の通水能力によって決定される。

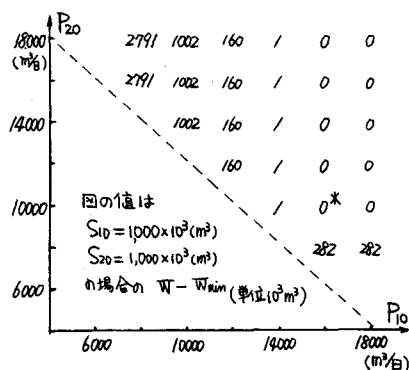


図-5 最適取水システムの通水能力決定

8. 最適取水システムを与える  $P_{10}$ ,  $P_{20}$  の概略値の算定

いま各野水池への日流入量の割合が一定値  $\mu_i$  であると仮定する ( $\mu_1 + \mu_2 = 1$ )。図-6において、平均日流入量を  $\bar{Q}$ 、日取水量を  $P$  とし、 $i$  野水池の平均的取水操作に注目して  $P_i$  の概略値を求めてみた。はじめ  $i$  野水池の貯水量の状態が取水規準線上の  $B$  点にあるとして、一日間の流入および取水  $P_i$  の後、取水規準線上の  $C$  点に至るとする。この場合、流入と取水は同時に行われるが、いま流入と取水を分離して考えると、 $\overline{BA}$  が流入、 $\overline{AC}$  が取水の成分となり、これらの合計が  $\overline{BC}$  となる。こゝで  $\overline{DE} = \mu_i \bar{Q}$ 、 $\overline{BD} = P - \bar{Q}$ 、 $\overline{CE} = P_i$  である。

規準線の勾配は  $S_{10}/S_{00}$  であるから  $\triangle BCD$  について

$$\overline{CD}/\overline{BD} = (P_i - \mu_i \bar{Q}) / (P - \bar{Q}) = S_{i0}/S_{00}$$

$$\therefore P_i = (S_{i0}/S_{00}) \cdot P + (\mu_i - S_{i0}/S_{00}) \cdot \bar{Q} \dots\dots (5)$$

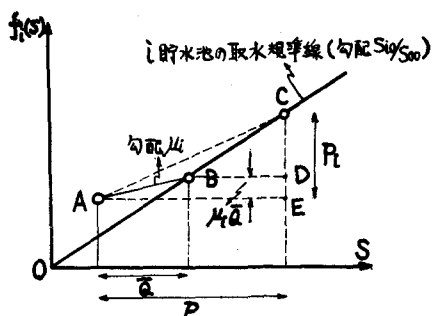


図-6  $P_{10}$ の概略値算定の説明図

なお(5)式において  $P_i$  の安全側の値をとるため、 $\mu_i < S_{10}/S_{00}$  のときは、渇水期を想定して、 $\bar{Q} = 0$ 、すなわち  $P_i = (S_{10}/S_{00}) \cdot P$  とすることにし、(5)式の  $P_i$  を  $P_{10}$  の概略値とした。なお  $\mu_i$  は総流入量の比率を用いた。こうあれば、(5)式により  $S_{10}/S_{00} = \mu_i$  のとき  $P_{10}$  の概略値は最小となり、即水池容量の比率として最適と想定される。

コンピュータ・シミュレーションにより決定される  $P_{10}$  の計算値 (図-5 の木印) と (5) 式による概略値との比較を表-2 に示す。これによると、 $S_{10}/S_{00}$  が  $\mu_i$  に近いところでは計算値と概略値がほぼ一致している。また  $S_{10}/S_{00}$  が  $\mu_i$  とはずれるにしたがって概略式がかなり安全側の値を示すことかわかる。

表-2  $P_{10}$ の計算値と概略値との比較 ( $\mu_1 = 0.6118$ )

| $S_{10}$<br>(単位 $10^3 \text{ m}^3$ ) | $S_{10}/S_{00}$ | $P_{10}$ の計算値<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) | $P_{10}$ の概略値<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) | $P_{20}$ の計算値<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) | $P_{20}$ の概略値<br>( $\text{m}^3/\text{日}$ ) |
|--------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 600                                  | 0.3             | 14,000                                     | 19,800                                     | 14,000                                     | 15,500                                     |
| 1000                                 | 0.5             | 16,000                                     | 15,800                                     | 10,000                                     | 11,100                                     |
| 1400                                 | 0.7             | 16,000                                     | 15,500                                     | 8,000                                      | 10,400                                     |

9. むすび

えられた結果を要約すると

- ① 本報では流入量に比べて、かなり小さい貯水池容量 ( $S_{00}$ ) について計算を行ったが、直線の取水規準線でも十分、最有効取水が可能となり、その際の最小通水能力を決定できた。
  - ② 貯水池容量の比率、流入量の比率、および通水能力が取水システムの大なる要素であり、貯水池容量の比率と流入量の比率が一致するとき、最小の通水能力で最有効取水がえられると想定される。
  - ③ 平均的取水操作に着目して、通水能力の概略値の算定式を導いた。これは最速取水システムを決定する通水能力に対して、安全側の値を示すことかわかった。したがってこの概略値を用いて、シミュレーションを行えば、最速取水システムの決定が容易になる。
- なお本計算は九州大学  $\square$  KIITAK 5090 H 電子計算機によったものである。