

渇水時を含む水道の安定供給システムの特性に関するコスト分析

早貸外幸*・真柄泰基**・大井 紘***・
乙間末広****

渇水などで原水水質が悪化した場合にも、浄水の水量と水質の安定供給条件を満たすため、原水調整池と高度浄水処理施設を有する安定供給システムを設定した。供給条件を満たし、かつ建設費と運転費の総費用が最小となるように設計し、渇水に対処するシステムのコスト分析を行うために、最適設計の方法を定式化した。数段階の供給条件ごとに費用の最小値を求め、コストと供給条件との関係を示す等高線図を得た。また、コスト分析によりシステム特性を明らかにした。

Key Words : drought, buffer reservoir, advanced treatment, cost optimization, system characteristics

1. はじめに

わが国における水道整備の目標は、平成2年11月に厚生省の生活環境審議会から答申された「いつでもどこでも、安全でおいしい水を、安定的に供給できること」の一行に凝縮されよう。

そこで、本報では渇水時を含め水量及び水質の両面において原水の状態が異常な場合にも、所要の水量と水質を有する浄水を供給する（以下、「安定供給」という。）ための水道システム（以下、「安定供給システム」という。）を設定した。本システムは、水量の確保を調整池により、水質の確保を活性炭などの高度浄水処理施設により、その目的を達成しようとするものである。調整池には原水調整池と浄水調整池との2ケースが考えられるが、本報では原水調整池を有する場合（以下、「原水調整池の場合」という。）の最適設計問題を論ずる。このシステムは、既報¹⁾の浄水調整池を有する場合（以下、「浄水調整池の場合」という。）と異なり、その最上流に位置する原水調整池内で、混合による原水水質の時間変動が平準化される効果（以下、「平準化」という。）があるうえ、後述するように総費用（建設費と運転費との和）最小化問題の計算方法と変数が異なり定式化も複雑になる。また、従前の設計手法と異なるのは、主に次の点である。①各施設をユニットとして個別に扱わず、それらから構成されるシステム全体を対象とする。②費用計算に用いる状態方程式、建設費、及び運転費の数式は関数式として定式化（以下、「数式」という。）する。③その数式を用いて水量と水質の両面における取水と送水の時間変動に対応して、取水量制御を考慮した最適設計を定

める。

本報では渇水で原水水質も悪化した状況下において、需要に見合った送水量を目標水質で供給しうる安定供給システムを総費用最小の観点から最適となるように設計し、そのシステムの特性についてコスト分析を行うために、渇水に対処する安定供給システムの最適設計の方法を定式化した。それに基づき、渇水規模と原水汚濁レベルによる原水の条件に応じ、浄水の所要送水量の充足度と目標水質のレベルについて数段階に設定した浄水の条件の組み合わせごとに（以下、「サービスレベル」という。）総費用の最小値を求めた。その最小値を総処理水量（＝所要送水量×充足度）で除した単位水量当たりの費用（以下、「コスト」という。）をつなぐことにより、サービスレベルとコストとの関係の把握が可能な等高線図が得られた。

さらに、原水調整池の場合のシステム個々の現象を数値的に解析し、安定供給システムの特性を明らかにした。即ち、原水調整池は浄水調整池より単位容量当たりの建設費（以下、「建設単価」という。）が安価である上、平準化が目標水質の達成とコストに影響を及ぼし、平準化の効用と生物処理とが相俟って運転費の低減化に働くこと、また、最適解は原水調整池の貯留量が負にならない最小値で与えられることが分った。そこで、費用効果の観点から平準化の効用と生物処理のそれについて比較検討したところ、水量確保に必要な限度を越える原水調整池の容量による平準化よりも、直接的な水質改善効果のある生物処理などの処理施設に費用をかける方が、効用は大きいことも明らかにした。

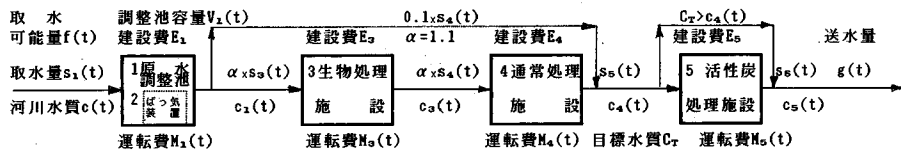
ここで得られた成果は、安定供給システムの導入を図る計画論の観点から、次のような活用が考えられる。即ち、従前とは異なり需要量の増大に対応した拡張事業もなく、水道システムが平常時の対応にはある程度整備された現況下において、安定供給システムの導入を図るこ

* 工修 (社)日本水道協会 主幹 工務部
(〒102 東京都千代田区九段南4-8-9)

** 正会員 工博 国立公衆衛生院部長 水道工学部

*** 正会員 工博 国立環境研究所 室長 社会環境システム部

**** 同上



図一 安定供給システムの構成

とが、費用上昇の要因となる。その上昇分を水道料金に転嫁しようとする場合には、コストとサービスレベルとの競合が生じる。したがって、安定供給システムの導入とそれに伴う料金値上げの是非について、需要家の積極的なコンセンサスを得るためには、サービスレベルとコストとの関係について、明快で合理的な説明が必要となる。その際、本報で論ずる両調整池の特性の比較を含む安定供給システムに関する検討、及びサービスレベルと最適コストとの関係を等高線状に示すメニューの概念が有用になる。

なお、過マンガン酸カリウム消費量（以下、「 $KMnO_4$ 」という。）は、既報¹⁾の浄水調整池の場合と同様に、トリハロメタン前駆物質や「おいしい水」²⁾の有効な指標であることなどから、水質指標として選定した。これは、計画立案のためにシステムの全体構成を求める方法論を提案するうえで、妥当なものといえよう。また、状態方程式などの最適化計算に用いた数式は、水道計画の方法論を展開するために求めたものであり、個別の施設設計に用いることを意図したものではない。

2. システムモデルの設定

水道水源における水量の不安定性と水質の汚濁から生じる安全性や「おいしい水」²⁾の問題が、水道にとって大きな課題となっており、これらの状況に的確に対応できる安定供給システムの設定が必要である。

水道水源を「水量」の観点からみると、水需要の増大に対応するために地下水から河川自流水へ、さらに水資源の有効利用を図るダムなどにより開発される停滞水へと移行して来た。しかし、近年全国的な小雨傾向にあること³⁾、また、ダム建設適地の減少、建設期間の長期化に伴い、渇水時に取水制限条件などが付された暫定水利権に依存せざるを得ないこともあって、水源の安定性が低い所が多く、毎年のようにどこかで断水や減水の被害⁴⁾を受け易い状況となっている。

また、「水質」の観点からみると、河川下流部において取水する機会が多くなって来ているため、家庭の雑排水などを含む原水を取水せざるを得ない所も多い。例えば、環境庁の調査によると⁵⁾、河川の水質基準の達成率は「河川B類型」で低いため、水道水源とする河川が「河川B類型」に指定されていても、実質的には「河川C、D類型」の水質を利用せざるを得ない水道が多い。このような水道では、浄水に発生する異臭味の苦情や微量

化学物質などによる安全性の問題が指摘されている。

このため本報では、渇水時に原水の状態が悪化した場合にも、浄水における一定レベルの「水量」及び「水質」を確保するため、図一に示すように「水量の確保」には導水施設の中に原水調整池を設置し、「水質の確保」には沈殿と濾過とから構成される通常の浄水処理施設（以下、「通常処理施設」という。）に、国庫補助対象となっている生物処理施設と粒状活性炭処理施設（以下、「GAC」という。）から構成される高度浄水処理施設を付加した安定供給システムを設定した。

なお、原水調整池にばっ気装置の併設も考え得るが、安定供給システム全体のコストに占める割合が他の施設に比べて低いので、本論文では問題の複雑化を避け、システムを特性を理解しやすくするために省略する。

(1) システムの構成要素

図一で示すシステムを構成する要素とその機能は、次の通りである。

a) 原水調整池

渇水時に利害関係者の調整を経て3章の(2)a)のレベルの取水制限がある場合には、取水可能水量 $f(t)$ と需要水量に見合った送水量 $g(t)$ との間に差が生じる。そのため原水調整池の貯留容量 V_1 を利用して、取水水量であり原水調整池の入口流量でもある $s_1(t)$ と $g(t)$ との水量差を、平常時には貯留し、渇水時には吐出することにより、 $g(t)$ と $f(t)$ との水量差を調整する。この場合の原水調整池の貯留水量を $V_1(t)$ と表わす。原水調整池では平準化があるので、河川から取水される原水水質 $c(t)$ と出口水質 $c_1(t)$ とは異なる。この $c_1(t)$ が生物処理施設の入口水質となること、さらに平準化が目標水質の達成に効用があるので運転費に影響を及ぼすこと、及び建設単価が浄水調整池に比べ安価であること、これらが既報¹⁾で論じた浄水調整池の場合と異なる主な点である。このため最適化の計算手順も次章の(4)図一2で示すように別途考案する必要がある。

なお、 $g(t)$ は配水池において各需要家の需要水量の時間変動がすでに調整されたもので、配水池の調整容量は $g(t)$ に考慮されているものとする。 $g(t)$ は3章の(2)b)で述べるとおり、サービスレベルとコストとの関係から30%までの給水制限も考える。

b) 浄水処理施設

既報¹⁾の浄水調整池の場合と同様に浄水処理施設は、次の単位処理施設から構成されている。いずれの処理施

設でも入口水質と出口水質との関係は、次章の(3)b)で述べる状態方程式により定められる。

① 生物処理施設 原水調整池で平準化された生物処理施設の入口水質 $c_1(t)$ は、ハニカムタイプで処理時間 H の生物処理施設により、出口水質 $c_2(t)$ となる。

② 通常処理施設 生物処理後で通常処理施設への入口水質 $c_3(t)$ は、通常処理施設により出口水質 $c_4(t)$ となる。また、通常処理施設から排出される洗浄排水などは生物処理施設の前に戻される。

③ GAC 通常処理後の水質 $c_4(t)$ が、このシステムの目標水質 C_T を越えている場合には、固定床式GACの処理により $c_5(t)$ となるが、その他の場合はこれを迂回するので水質変化はない。

(2) 原水調整池の特性

原水調整池と浄水調整池との特性を比較すると、以下のとおりである。

a) 設置位置と安定性との関係

浄水調整池の場合は調整池が安定供給システムの下流側に設置され需要地域に近いので、当該システムの途中で発生する事故などに対する安定性は、原水調整池の場合に比べ高い。

b) 原水水質の変動への対応

原水調整池の場合は、水質の時間的変動が平準化されるばかりでなく、メッキ廃水などの毒物を含む水が誤って河川に排出されても取水停止が可能である。たとえ取水されても浄水プロセスへの直接的な影響を回避できる緩衝効果が、浄水調整池の場合に比べて高い。

c) 貯留による水質変化

原水調整池の出口水質 $c_1(t)$ が平準化されることにより、浄水処理施設への薬品注入量などに関するフィードフォワード制御が容易となる。一方、原水調整池の規模や滞留時間、立地条件によっては、滞留などにより水質悪化の恐れがある。そのため必要に応じてばっ気処理⁶⁾、流入水直接浄化システム⁷⁾などの導入についての検討が必要となる。しかし、本報では平準化以外に、原水調整池内における水質変化は考慮しない。

d) 建設費計算上の留意点

浄水処理施設の建設費は、当該施設の最大通水量に対応した施設規模により算定されるが、その規模を決定する変数は浄水調整池の場合と原水調整池の場合とで次のとおり異なる。

浄水調整池の場合は、 $f(t)$ の最大値 $f(t)_{MAX}$ と $g(t)$ の平均値 $g(t)_{AV}$ との範囲に設定できる取水量の最大値 S_{MAX} が、各処理施設の規模を決定する変数である¹⁾。一方、原水調整池の場合は、生物処理施設以降の各処理施設が貯留機能を有しないため、図-1における各処理水量はすべて等しく $s_3(t) = s_4(t) = s_5(t) = s_6(t) = g(t)$ であるので、 $g(t)$ が原水調整池の出口水量に等しくな

表-1 原水調整池と浄水調整池との比較

	原水調整池	浄水調整池
1. システム全体との位置関係と安全度への寄与	上流側 低い	下流側 高い
2. 建設単価	低い	高い
3. 需要のピークカットによる浄水施設のコンクリート化	効果なし $g(t)_{MAX}$	効果あり $f(t)_{MAX} \leq S_{MAX} \leq g(t)_{AV}$
4. 高濁度時の取水回避	可能	可能
5. 毒物混入時の取水回避	確実	不確実
6. 平準化で浄水負荷変動	縮小可能	縮小不可能
7. 滞留による水質への影響	富栄養化	残留塩素減少
8. 水質均一化による浄水のフィードフォワードコントロール	可能	不可能
9. 密閉による外部汚染防止	望ましい	絶対に必要

る。したがって、 $g(t)$ の最大値 $g(t)_{MAX}$ が各処理施設の規模を決定する変数であるため、5章の(2)b)で述べるように平準化により $c_4(t)$ が C_T を常に満足しGACを不要とする場合を除き、原水調整池の貯留容量は、各処理施設の規模を小さくする方向には働かない。このため、原水調整池の場合の各処理施設の建設費に占める割合は、浄水調整池の場合より大になる傾向を持つ。しかし、原水調整池の建設単価は、清浄な水質の保全を要求され密閉構造となる浄水調整池のそれよりも小さい。

なお、 $f(t)$ と $g(t)$ との水量差を調整するために必要な調整池容量を原水調整池と浄水調整池とに分割して設置することが考えられるが、3章の(3)で述べるようにいずれの調整池の建設費関数式もべき乗タイプで与えられ、そのべき数は1よりも小さい。したがって、分割して設置することは、スケールメリットが働かないので、総費用最小化の目的からすれば、いずれか一方に絞った方が経済的であることは容易に推測できる。

以上述べたことを中心として原水調整池と浄水調整池とを比較すると、表-1の通りである。具体的な事例においていずれの調整池を選択するかは、表-1に掲げた両調整池の特性を吟味するほか、次の項目などについて検討した総合判断によることとなる。

- ① 調整池の建設用地確保の難易度、調整池と浄水場との距離などの相対的位置関係による立地条件
- ② 用地費も含めた調整池の総建設費の多寡
- ③ 供給の安定性を確保すべきレベル
- ④ 調整池の維持管理の難易度

3. 最適設計

前述のシステムモデルについて、制約条件を与える $f(t)$ のもとで、 $g(t)$ 及び C_T で示される安定供給の要件を満たした上で、コストが最小となる最適システムを設計するため、以下の各節に述べるように、計算の前提条件を設定し、計算対象の分類に従い、計算式を用いて、計算手順により、最適設計の手順を構成した。この場合の設計変数と制約条件は、次のとおりである。

設計変数：

- ① 原水調整池の容量 V_1
- ② 生物処理施設における処理時間 H (零を含む.)

なお、 V_1 を定めれば、具体的には (4) で示す計算手順により、 $s_1(t)$ は定まる。

制約条件：

- ① 原水調整池への取水量が取水可能水量を越えないこと

$$f(t) \geq s_1(t)$$

- ② 送水量を確保すること

$$s_g(t) = g(t)$$

- ③ GAC の出口水質が目標水質を越えないこと

$$C_T \geq c_s(t)$$

(1) 計算の前提条件

① 原水調整池における水質の時間変動は、完全混合モデルに従い変化する。

② 導水から各施設を経て送水されるまでは、自然流下とする。

③ 各浄水処理施設における貯留容量は考慮しない。

④ 通常処理施設から排出される洗浄排水などは着水井へ返送されるので、生物処理施設と通常処理施設における処理水量は、それぞれ 10% 増加する。ただし、水質は変化しないものとする。

⑤ GAC による処理を行っても $c_s(t)$ が C_T を越える場合は、 V_1 をより大きくしてその平準化による C_T の達成の可否を確認する。

⑥ 原水調整池が満杯状態から計算を始め、濁水期間を経て水量・水質とも同じ状態に戻るまで (これを、「1 サイクル」と呼ぶ。) 計算する。差分計算のステップ Δt を本報では半旬 (5 日間) とした。

⑦ 建設費と運転費との和を総費用とする。本章 (3) の (b) ② で述べるとおり、建設費には、浄水調整池の場合¹⁾と同様に、補助率 1/3 で国庫補助金を導入し、残りを起債で賄い、その元利合計の年償還額を毎年の建設費負担額とする。

ただし、建設費には用地費を含めない。

(2) 計算条件の構成とその分割

安定供給システムの特性を把握するために、原水と浄水の種々の条件下で、最適化計算をする必要があるが、その条件は以下のとおりである。即ち、浄水調整池の場合¹⁾と同様に、原水の条件は濁水規模と原水の汚濁レベルにより分類する。また、浄水の条件は濁水時に送水量を制限するとともに、目標水質についても数段階を設定する。条件の分割の精粗は、個別の設計ケースで適宜選択すればよいが、本報では以下の a), b) に分割した。

なお、取水量・送水量について、濁水のために平常時の流量のうち一定値以上を通水しないことをピークカットといい、その一定値と平常時における流量の最大値との差の最大値に対する割合をピークカット率 (以下、取

表-2 原水調整池の状態方程式、建設費関数式および各処理施設の状態方程式、建設費関数式、運転費関数式

1. 原水調整池	
状態方程式	$c_1(t) = \{V_1(t) \times c_2(t-1) + s_1(t) \times c(t) \times \Delta t\} / \{2V_1(t) - V_1(t-1) + g(t) \times \Delta t\}$
建設費関数式	$E_1 = 32.06 \cdot V_1^{0.7712}$ (百万円) $E_1 = 58 \cdot V_1^{0.46}$ (百万円)
t: 時間 [日], $\Delta t = 5$ 日, $s_1(t)$: 取水量 [$10^3 \text{ m}^3/\text{日}$], $c(t)$: 河川水質 [mg/ℓ] $c_1(t)$: 原水調整池の水質 [mg/ℓ], E_1 : 原水調整池の建設費 [百万円] $V_1(t)$: 原水調整池貯留水量 [10^3 m^3], V_1 : 原水調整池容量 [10^3 m^3]	

3. 生物処理施設		4. 通常処理施設		5. 活性炭処理施設	
状態方程式	$c_3(t) = \{[72.43 - 4.008 \cdot \theta n(H)] / 100\} \times c_2(t)$	$c_4(t) = 1.707 \cdot \exp\{0.03733 \times c_2(t)\}$	$c_5(t) = 0.03619 \cdot c_4(t)^{2.413}$		
建設費関数式	$E_3 = 29.01 \cdot \{1.1 \cdot \lg(t)_{\text{max}}\}^{0.97} \times (H/2)^{0.75}$	$E_4 = 101.2 \times \{1.1 \cdot \lg(t)_{\text{max}}\}^{0.9133}$	$E_5 = 15.62 \cdot \{g(t)_{\text{max}} + 782.6\}$		
運転費関数式	$M_3(t) = 1.8 \cdot (H/2)^{0.70}$	$M_4(t) = 0.8626 \cdot c_2(t) - 0.5947$	$M_5(t) = 10.65 \cdot c_4(t) - 18.13$		
g(t): 最大通水量 [$10^3 \text{ m}^3/\text{日}$], c(t): 各施設の水質 [mg/ℓ], H: 処理時間 [h] E: 各施設の建設費 [百万円], H(t): 各施設の単位水量当たりの運転費 [円/ m^3]					

水の場合を「K」、送水の場合を「K」とする。) という。

a) 原水の条件

濁水規模は中規模濁水 (濁水期間が 1 年未満で取水量の K' が 20% のレベル) と大規模濁水 (濁水期間が 2 年以上で取水量の K' が 55% のレベル) とに分けた。原水の汚濁レベルは $KMnO_4$ として中汚濁レベル (最大 20 mg/ℓ , 平均 10 mg/ℓ) と高汚濁レベル (最大 40 mg/ℓ , 平均 25 mg/ℓ) とに分けた。したがって、計算対象が 4 種類に分類される。

b) 浄水の条件

$g(t)$ のピークカット率 K は、0~30% の範囲で 10% ごとの 4 段階 (以下、「%」を省略する。) とした。 C_T については、制約条件の ③ を設定しない代わりに全量を常に GAC で処理する場合 (以下、「 $C_T = *$ 」と表記する。), おいしい水²⁾のレベル $C_T = 3 \text{ mg}/\ell$, その 2 倍のレベル $C_T = 6 \text{ mg}/\ell$, 及び水質基準 (昭和 53 年改正) である $C_T = 10 \text{ mg}/\ell$ の 4 通り (以下、「 mg/ℓ 」を省略する。) を設定することにより、計算対象は 16 ケースとなる。

したがって、16 ケースと a) の 4 分類との組み合わせについて、費用を最小とする最適化計算を行った。

なお、 $C_T = *$ の場合は、(1) の ⑤ を適用しない。

(3) 計算式

個別の具体的な安定供給システムの設計においては、もとよりそのシステムに固有の数式を用いるべきであるが、ここでは設計の方法論の展開と安定供給システムの特性を把握するために、実データに基づき次のように数式モデルとして設定した。即ち、既報¹⁾の浄水調整池の場合と同様に、次の諸式を用いた。

a) 水量関数式、水質関数式

- ① 水量関数式には、次の 2 式がある。

取水可能水量関数式: $f(t)$ は平常時・濁水時について中部地方の一級河川 (中規模濁水) および九州地方の一級河川 (大規模濁水) の流量パターンを用い³⁾, そのピーク値はいずれも $100 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{日}$ とする。

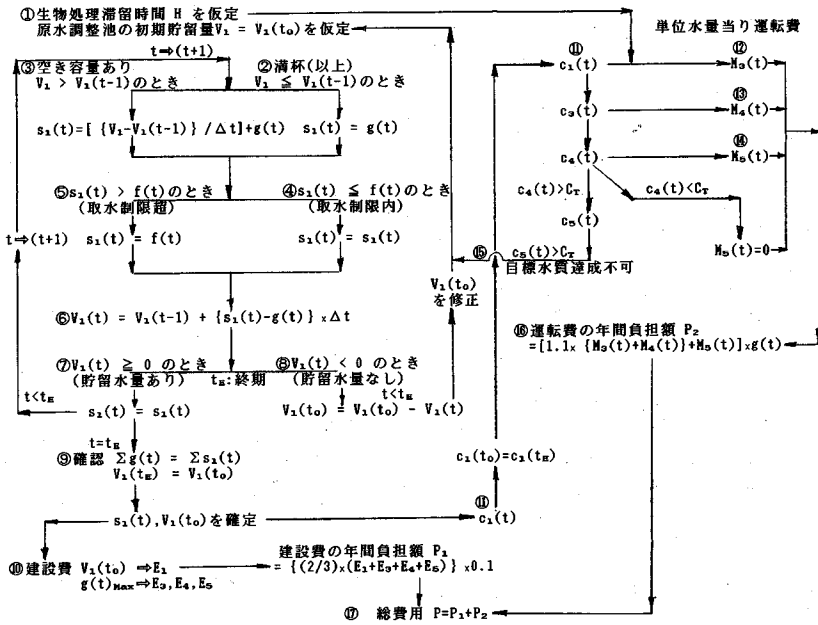


図-2 原水調整池の計算手順フローチャート

送水量関数式： $g(t)$ は九州地方の某用水供給事業の送水パターンを用い、そのピーク値は $f(t)$ と同じ $100 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{日}$ とする。

② 水質関数式としては、原水水質のみである。

原水水質関数式： $c(t)$ は近畿地方の一級河川の水質パターン（中汚濁）⁹⁾および関東地方の一級河川の水質パターン（高汚濁）¹⁰⁾から求めた。

b) 状態方程式，建設費関数式，運転費関数式

既報¹⁾の浄水調整池の場合と同様に各計算式は，実施例など^{11)~14)}を参考として実測値などから各施設ごとに求めた。即ち，実測値などから帰属式を4種類の関数型（1次式，べき乗式，対数式，指数式）について求め，このうち実測値と計算値との相関性が最も高い関数型を選定することとした。ここで，原水調整池について設定された状態方程式，建設費関数式は表-2の上段に，各処理施設の状態方程式，建設費関数式，及び運転費関数式は，浄水調整池の場合¹⁾と同じであり，下段に示す。

各関数式の主な留意点は，次のとおりである。

① 状態方程式：原水調整池において平準化があるので， $c_1(t)$ に関する微分方程式を差分形に変形する。

② 建設費関数式：各施設の建設費は，原水調整池 E_1 ，生物処理施設 E_3 ，通常処理施設 E_4 ，及びGACの E_5 とする。これらの和である全建設費 E に対して，国庫補助金（補助率1/3）を導入し，その残額 $(2E/3)$ を起債（5年据置30年償還，年利率7%）により賄う。各施設の減価償却（耐用年数は，土木・機械の平均30年，残存率10%で定額方式）は，みなし償却を適用する。したがって，年利息は $(2E/3) \times (1/15)$ ，毎年の減価償

却は $(2E/3) \times (0.031)$ であるので，両者の和が毎年の負担額 $(2E/3) \times (0.1)$ となり， E に対する毎年の負担額 P_1 は，次式で表わされる。

$$P_1 = (2/3) \times \{E_1 \{V_1(t_0)\} + E_3 \{H, g(t)_{\text{MAX}}\} + E_4 \{g(t)_{\text{MAX}}\} + E_5 \{g(t)_{\text{MAX}}\}\} \times (0.1) \dots (1)$$

③ 運転費関数式：本報では自然流下を仮定しているので，水量確保の運転費を規定する必要がない。

一方，水質確保の年間運転費 P_2 は，表-2下段に，生物処理施設 $M_3(t)$ ，通常処理施設 $M_4(t)$ ，及びGACの $M_5(t)$ を単位水量当たりで規定しているので，それぞれの処理水量（生物処理と通常処理は10%増し）を乗じた総和の，次式で与えられる。

$$P_2 = \{(1.1) \times \{M_3(t) + M_4(t)\} + M_5(t)\} \times g(t) \dots (2)$$

(4) 計算手順

既報¹⁾の浄水調整池の場合における設計変数は， $f(t)_{\text{MAX}}$ と $g(t)_{\text{AV}}$ との間で最大取水量 S_{MAX} を仮定できたので，計算範囲が絞りこめた。一方，原水調整池の場合は，原水調整池が安定供給システムの最上流に位置するため， $g(t)$ が原水調整池の出口水量となる。2章の(1)a)で述べたように， $f(t)$ と $g(t)$ との差が生じるので， V_1 なる貯留容量を利用して， $s_1(t)$ と $g(t)$ との差を貯留ないし吐出により調整するが，原水調整池には平準化の効果もあるので，流量調整に必要十分である値 $V_{1\text{req}}$ よりも大きな容量も意味を持ちうる。したがって， V_1 も設計変数となり，浄水調整池の場合のように，計算範囲を有限区間に限定することが出来ない。

また，原水調整池において水質の平準化があるので，計算の1サイクルの初期 t_0 と終期 t_E とにおいて， $V_1(t)$

のみならず水質 $c_1(t)$ も等しくなるように設定する。

原水調整池の貯留量が1サイクルの初期において満杯状態の $V_1(t_0)$ を仮定して、図—2の計算手順フローチャートの番号に従って、計算を以下のとおり行う。

① H と $V_1(t)$ の初期値 $V_1(t_0)$ を仮定する。

②③ 原水調整池へ取り込みたい最大取水量は、調整池が満杯ならば $g(t)$ 、空容量があれば Δt で満杯にする水量 $\{[V_1 - V_1(t-1)]/\Delta t\} + g(t)$ である。それぞれの貯留状況に応じ、水量 $s_1(t)$ を仮定する。

④⑤ 仮定された $s_1(t)$ が $f(t)$ を越えないならば、仮定した値を採用する。越えるならば、 $s_1(t) = f(t)$ とする。

⑥ ④または⑤により選定された $s_1(t)$ と $g(t)$ との差を貯留量の増加分または減少分として、新しい $V_1(t)$ が決定される。

⑦ $V_1(t)$ が負でないならば、 $t \rightarrow (t+1)$ として $t = t_E$ になるまで、②③へ進む。

⑧ もし $V_1(t)$ が負になるならば、①に戻ってより一層大きい $V_1(t_0)$ を仮定しなおす。

⑨ ⑦の終期において総取水量 $\Sigma s_1(t)$ と総送水量 $\Sigma g_1(t)$ とが等しく、また、貯留量が初期状態に復し $V_1(t_0) = V_1(t_E)$ であれば、流量関係を満たす1サイクル分の $s_1(t)$ と $V_1 = V_1(t_0)$ が確定する。

⑩ この $s_1(t)$ と V_1 から各施設の規模と建設費が決まり、起債の利息と減価償却の総和として式(1)により仮定された H ごとに P_1 が決まる。

⑪ ⑨の結果から原水調整池の $c_1(t)$ が表—2の状態方程式から求められる。1サイクルの計算期間の初期と終期で原水調整池の水質に増減が無く、初期値 $c_1(t_0)$ が最終値 $c_1(t_E)$ に等しくなるよう試行錯誤により設定する。

⑫ 生物処理施設において仮定された H と $c_1(t)$ が、表—2から(⑬と⑭に同じ) $M_3(t)$ を定める。

⑬ 通常処理施設において $c_3(t)$ が $M_4(t)$ を定める。

⑭ 通常処理後において $c_4(t)$ が C_T を越えている場合は、GACにより処理される単価は $M_5(t)$ から求められる。その他の場合は、 $M_5(t) = 0$ とする。

⑮ $c_5(t)$ が C_T を越える場合は ($C_T = *$ の場合を除く)、①に戻り一層大きい $V_1(t_0)$ を仮定しなおす。

⑯ 各施設ごとに単位水量当りの運転費にそれぞれの処理水量を乗じた総和式(2)から P_2 を求める。

⑰ 式(1)と式(2)の和から総費用 P を求める。このように H をパラメータとして、 K と C_T との組み合わせに応じた P の最小値を求める。

(5) 計算上の特性とその由来

原水調整池の場合における最適化計算の方法は、浄水調整池の場合と異なる。その理由は、次に述べるように、平準化やそれが費用に及ぼす効果などに関し、原水調整

池と浄水調整池が有する特性の差異に起因する。

a) 調整池容量による平準化への効果

調整池容量が平準化に与える効果の観点から、浄水調整池と原水調整池とを比較すると、次の通りである。

① 浄水調整池：原水水質の平準化に寄与しないので、貯留量の最大値と最小値との差が、濁水に対する水量調整に必要な容量である。

② 原水調整池：貯留量が1サイクルに少なくとも1回零となる容量を越える分も、水質の平準化に寄与するという意味を持つ。

b) 平準化が費用へ及ぼす影響

5章の(2)b)で述べるように、平準化は P_2 の低減化に顕著には働かないが、GACを不要とし $E_5 = 0$ となり、 P_1 を低減化する方向に働く場合もある。

4. 計算結果

原水の条件が高汚濁で中規模濁水の場合について計算結果の一例を示す。ここでは直方体で平地に建設されるボックスタイプの原水調整池の場合について、 $K = 0$ 、 $C_T = *$ を基本に記述する。5章(1)で述べるように、窪地を利用し、そのため建設単価が安価であるダムタイプの場合も、原水調整池の建設費が安価になることを除き、計算結果の傾向は同じである。中汚濁原水の場合も計算結果は、高汚濁の場合と同じ傾向である。

なお、大規模濁水の場合には、需要水量に見合った送水量を確保するために、約 10^7 m^3 規模の容量(約100日相当分の容量)が必要となり、いずれのタイプの原水調整池の場合も、総費用に占める調整池の割合は約95%である。さらに、浄水調整池の場合は、建設単価が原水調整池の4倍であるので、コストは3倍にもなるため、原水調整池の場合の方が経済的には有利である。いずれの調整池にしても大規模濁水の場合には、巨大容量を必要とするので、たとえ分散配置するにしても、用地確保などの観点から取水施設以降の水道専用施設の中でのみ対応することは、現実的とは考えられない。

(1) 総費用が最小となる条件

P の最小値 P_{MIN} で P を除した P/P_{MIN} の変化を V_1 を変数とし H をパラメータとして、 $K = 0$ 、 $C_T = *$ の場合について図—3に示す。これによると、 P はパラメータ H の増加と共に減少するが、 $H_{\text{opt}} = 0.51 \text{ hr}$ を超えると、増加に転じ、 $V_1 = V_{1\text{req}} = 188 \times 10^3 \text{ m}^3$ で、 $H = 0.51 \text{ hr}$ の時、 P は最小値 $P_{\text{MIN}} = 1,865.8$ 百万円/年となり、既報¹⁾の浄水調整池の場合に比し約2%安い。

なお、 P の最小値が V_1 の最小端になる理由は、5章(1)で述べる。

このように求められた各 K と C_T に対し、 P を最小ならしめる V_1 と H との組合せ $[V_{1\text{opt}}, H_{\text{opt}}]$ (以下、「単位」を省略する。) を、浄水調整池の場合¹⁾と比較して表—3

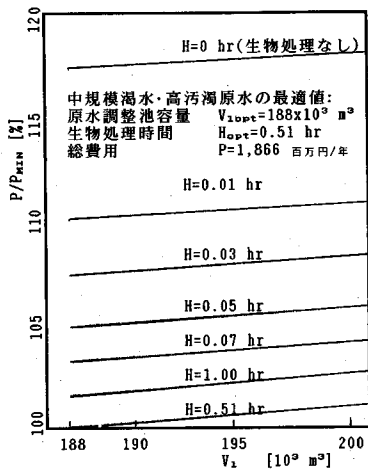


図-3 P_{MIN} で正規化した総費用の変化 ($K=0, C_T=*$)

表-3 P を最小にする条件 (V_{1opt}, H_{opt}) の比較

レ-フカット率 K %	30	20	10	0
調整池容量 $V_1 \times 10^3 m^3$	0	179.0	181.0	188.0
C_T	0	179.0	181.0	188.0
生物処理時間 H_{opt} hr	0.62	0.61	0.58	0.57
C_T mg/l	0.62	0.60	0.56	0.51
C_T mg/l	0.56	0.56	0.56	0.56
C_T mg/l	0.71	0.71	0.71	0.71
C_T mg/l	0.71	0.18	0.17	0.15
C_T hr	0.18	0.18	0.17	0.17
C_T mg/l	0.18	0.18	0.17	0.15

上段: 浄水調整池 [$K=0$ のとき $S_{MAX}=89.7 \times 10^3 m^3/日$]
 下段: 原水調整池 [$K=0$ のとき $g(t)_{MAX}=100 \times 10^3 m^3/日$]
 $C_T=*$: $c_4(t)$ の値に拘らず全量を GAC 処理する

に示す。これによると、原水調整池の場合と浄水調整池の場合（本章では、「両者」という。）のいずれでも V_{1opt} が等しいので、原水調整池の場合の K と V_{1opt} との関係は、浄水調整池の場合と同じ傾向である。即ち、両者いずれの場合も容量がほぼ 2 日相当分あれば、 $K=0 \sim 20$ の送水量に対応が可能であり、 $K=30$ では調整池が不要である。ここで、表-3 から C_T と H_{opt} との関係を K ごとに見ると、以下のとおりである。

$K=30$ では C_T に拘らず両者のいずれも調整池が不要となり、両者は結果的に同一システムで H_{opt} は等しく、 C_T に対応した H_{opt} の変化は次のとおりである。① $C_T=10$ では両者とも GAC は不要であり、 $H_{opt}=0.18$ の生物処理と通常処理によりこの C_T が達成される。② $C_T=6$ でも処理単価が GAC よりも低い生物処理による方が有利であるので、 C_T が厳しくなった分だけ生物処理の時間が長くなり $H_{opt}=0.71$ で GAC は不要である。実際、 $H=0.70$ （最適解ではない）であれば、GAC が必要になる。③ $C_T=3$ では GAC が必要となり、水質改善が大幅に GAC に負担されることとなるので、生物処理の時間は $C_T=6$ の時よりも短くて済む。④ $C_T=*$ は、 $c_4(t)$ の値を問わず GAC で全量を処理する場合であるが、このとき $H_{opt}=0.62$ である。

次に、 $K=20, 10$, 及び 0 の場合は、両者とも調整池を必要とする。 C_T に対する H_{opt} の変化は、これらの K

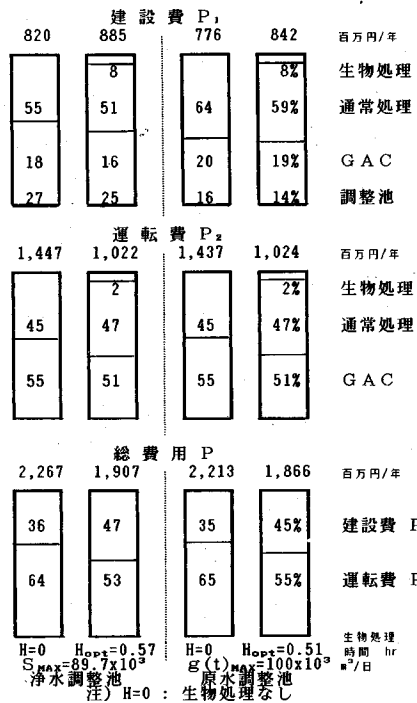
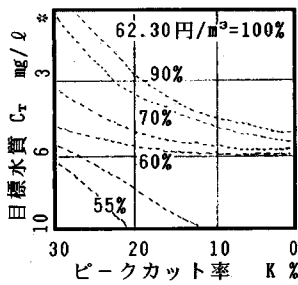


図-4 最適値における施設別費用割合の比較 ($K=0, C_T=*$)

について基本的に同じであるので、 $K=0$ について説明する。① $C_T=10$ では両者とも GAC が不要であり、平準化の効果によって H_{opt} は、原水調整池の場合の方がやや短い。② $C_T=6$ でも GAC は不要であり、平準化の効果が無い浄水調整池の場合は H_{opt} がかなり長い、原水調整池の場合はそれが $C_T=10$ と同じである。③ $C_T=3$ では両者とも GAC を必要とする。浄水調整池の場合は、GAC をときに用いることにより、 $C_T=6$ の時よりも H を短くした方が得策になる。原水調整池の場合では、この C_T を達成するには、 H を長くすることにより GAC の作動期間が長くなるのを抑えた方が得策となっているので、 H_{opt} がかなり長い。④ $C_T=*$ では、平準化の効果のある原水調整池の場合の方が、 H は短くて済んでいる。

(2) 費用構成割合

図-4 で最適解に対する P_1, P_2 , 及び P の費用構成割合を両者の場合で比較する。それぞれ $H_{opt}=0.57, 0.51$ であるが、比較のために生物処理を行わないとした場合、即ち、 $H=0$ の制約条件を加えた最適問題の解に対する構成割合も示した。これによると、 P_1 に占める調整池の割合は、生物処理施設の有無に拘らず、浄水調整池の場合は原水調整池の場合よりも約 10% 高いが、逆に通常処理施設と GAC においてこれに相当する分だけ低くなっている。 P_2 と P における各施設の構成割合は、それぞれほぼ同じである。また、両者とも生物処理を行った方が P_1 は約 10% 高いが、 P_2 が約 30% 安く、



図—5 送水量のピークカット率と目標水質によるコストの変化

結局 P は約 15% 安くなり、生物処理の効果を顕示する。

(3) コストの等高線図

$K=0, C_T=*$ の場合のコストを 100% とおき、これに対する K と C_T との組み合わせごとにも得られるコストの百分比の値をつなぐと、図—5 に示すコストの分布が等高線状に描かれ、サービスレベル (K, C_T) とコストとの関係が明らかとなる。図—5 の原水調整池の場合と既報¹⁾の浄水調整池の場合とを比較すると、両者は総体的にはほぼ同じ傾向であるが、詳細に見ると次のとおりである。 K 方向では $K=0$ の等高線と $K=30$ のそれとの差は、前者で約 13% に対し後者で 3~12% とやや緩い。同様に、 C_T 方向では両者とも約 35% でやや急である。したがって、両者とも等高線に及ぼす感度は K (水量) よりも C_T (水質) の方が支配的である。

なお、コストの等高線図の活用方法としては、次のようなことが考えられる。

① 新たに設定する安定供給システムによる送水量の充足度及び目標水質のレベルとコストとの関係を把握すること。例えば、 $K=20$ では水道法の水質基準 $C_T=10$ から「おいしい水」²⁾のレベルの $C_T=3$ ヘグレードアップするためのコスト増加は、等高線上で 59% から 89% である。同様に、 $K=0$ では 63% から 95% で、 $K=20$ の場合よりやや大きい。

② 安定供給システムの導入を図る新たな施策展開の是非、 K または C_T のレベルの選択、コスト増加分の負担方法などについて、①の結果を利用して需要家の意識調査を行ったり、コンセンサスを得るために提示するメニューの中の選択肢を作成すること。

5. システムの特性に関する検討

原水調整池の場合は、調整池が安定供給システムの最上流に位置するため、浄水調整池の場合と異なるシステム特性を有する。このため、コスト分析を通して原水調整池の場合のシステム特性を次のように明らかにする。まず、最適な V_{1opt} が計算区間の最小端になり、貯留量が負にならない最小限度 V_{1req} に一致する理由を明らかにする。次に、原水調整池での水質の平準化が目標水質の達成に影響を及ぼし、その効用と生物処理とが相俟つ

て運転費の低減化に働くことを明らかにする。さらに、水量の確保に必要な容量以上に原水調整池を大きくして平準化の効用に期待するよりも、生物処理の能力を大きくする方が、水質改善の費用効果が大きいことも示す。

(1) V_{1opt} が計算区間の最小端になる理由

前節まで原水調整池はボックスタイプを前提にした。図—3 に示した最適な V_{1opt} は、パラメータ H によらず計算区間の左端になる。建設単価がボックスタイプよりも安いために V_1 が P_1 へ及ぼす影響の割合が、ボックスタイプよりも低いダムタイプの場合について、ボックスタイプと同様に回帰式により建設費関数式 $E_1=58 \times V_1^{0.46}$ を求め、最適化計算を行ったが、やはり貯留量が負にならない最小限度の値 V_{1req} に V_{1opt} が一致した。その理由は、いずれの場合も V_1 が P_1 へ及ぼす影響の割合が、高いためと考えられ、以下においてボックスタイプの場合について、数値的な検討を通して示す。

a) 原水調整池容量と P_1 との関係

原水調整池容量 V_1 が増大するにつれて P_1 も逓増するが dP_1/dV_1 は逓減し、その大きさは最適解の近傍で 10^{-1} のオーダーである。

b) 平準化と P_2 との関係

V_1 が大きくなるほど平準化も促進されるので、平準化による $M_4(t)$ 及び $M_5(t)$ の減少に起因する dP_2/dV_1 を求めると、それは負の値をとるが、絶対値は最適解の近傍で 10^{-2} のオーダーである。

したがって、a) と b) から、 $V_1=V_{1opt}$ で次式が成立する。

$$|dP_1/dV_1| > > |dP_2/dV_1| \dots \dots \dots (3)$$

このため、 dP/dV_1 は dP_1/dV_1 により符号が決まるので、貯留量が負にならない最小限度で P は最小となり、図—3 の、右上がりのグラフになることが分かる。

なお、ダムタイプとボックスタイプの dP_1/dV_1 及び dP_2/dV_1 は、それぞれほぼ同じオーダーである。

(2) 平準化の状況及び C_T との関係

実際の原水調整池のように水質の平準化が有る場合(以下、「アリ」という。)は、一般に $c(t) \approx c_1(t)$ である。平準化の状況を見るために、原水調整池は存在するが仮想的に $c(t)=c_1(t)$ とおき、平準化の効果が無いとした場合(以下、「ナシ」という。)についても考える。

なお、ナシの計算で $V_1, c_1(t_0), K, H$ などの値は、比較のためにアリの最適値を求めた場合と同じ値としたので、ナシにおける計算結果は最適値にはならない。

a) 平準化の状況

アリの平準化の状況は以下のとおりである。

① $c(t)$ が 20~25 mg/l の平均濃度レベル以外、即ち、25 mg/l 以上の高濃度域または 20 mg/l 未満の低濃度域の場合、 $c_1(t)$ がこれらの濃度域を持つ時間長さは $c(t)$ に比べ半減している。一方、 $c(t)$ が平均濃度レベ

表一4 水質変動の平準化も $c_5(t)$ を満たす状況との関係 ($K=0$)

mg/l	生物処理時間が設計変数に含まれる場合			生物処理なし($H=0$)の制約を加えた場合		
	$c_5(t)$ の 最大値mg/l	$c_5(t)>1$ の 時間割合%	$c_5(t)>1$ 且つアリ/ナシ の時間割合%	$c_5(t)$ の 最大値mg/l	$c_5(t)>1$ の 時間割合%	$c_5(t)>1$ 且つアリ/ナシ の時間割合%
*アリ ナシ	1.97 2.88	9.6 12.3	14.3	4.81 8.00	56.2 53.4	43.6
C_T 3アリ ナシ	$V_{1opt} = V_{1req}$, GAC要 $V_{1opt} = V_{1req}$, GAC要			$V_{1opt} = 5 \times V_{1req}$, GAC要 $V_{1opt} > V_{1req}$ でも満足不可能		
6アリ ナシ	$V_{1opt} = V_{1req}$, GAC不要 $V_{1opt} = V_{1req}$, GAC要			$V_{1opt} = V_{1req}$, GAC要 $V_{1opt} > V_{1req}$ でも満足不可能		
10アリ ナシ	$V_{1opt} = V_{1req}$, GAC不要 $V_{1opt} = V_{1req}$, GAC不要			$V_{1opt} = V_{1req}$, GAC不要 $V_{1opt} = V_{1req}$, GAC不要		

注) $C_T = *$ の場合は, 3.(2)b) に述べたとおり, $C_T = 3$ の場合のように V_1 を大にして制約条件③を満たすことの可否を判定することはしない。

ルの場合, 逆に倍増している。

② $c_1(t)$ の変動幅は, $c(t)$ のその約 8 割に縮小される。

b) 平準化と C_T との関係

アリ及びナシそれぞれについて, 最適解に対する $c_5(t)$ が C_T を満足する状況を表一4に示したが, その要点は次のとおりである。生物処理時間を設計変数に入れると, その最適解は正の値をもって, $C_T=6$ はアリ (本報で取り上げている原問題) のみが, $C_T=10$ ではナシも, GAC を不要とする。一方, 生物処理が無いとした ($H=0$) 場合, アリは ($C_T = *$ 以外の C_T を満足するが, ナシは $C_T = *$ と 10 を除き原水調整池の容量をいかに大きくしても, $c_5(t)$ が C_T を満足することはない。ただし, 生物処理が無いとした場合のアリは, $C_T=3$ を満足するためにこのときのみ, 原水調整池の容量を水量確保に必要な容量 V_{1req} の約 5 倍に大きくして ($V_{1opt} = 5 \times V_{1req}$), 生物処理が無いとすることにより不足する水質改善機能を平準化により補完する必要がある。

この様に, 原水調整池が有する平準化の働きが, C_T を満足するうえで効果的に働いていることが分かる。

c) 水質改善における平準化と生物処理の効果

水質改善効果を見るために, 例えば, 表一4の $C_T = *$ の場合について, 一つの目安として, おいしい水²⁾とされるレベルの 1/3 に相当する 1 mg/l を $c_5(t)$ の判断基準にとって, 生物処理の有無に応じてアリとナシとの効果を比較すると, 次のとおりである。

① $c_5(t)$ の最大値は, アリとナシいずれの場合も生物処理の有る場合が, 生物処理が無いとした場合の約 4 割である。

② $c_5(t) > 1$ となる時間長さの割合を生物処理の有無ごとに, アリとナシとを比較すると, その差はわずかである。一方, 生物処理の有無による差は, ナシで約 4 倍, アリで約 6 倍である。

③ $c_5(t) > 1$ において, アリがナシより大となる時間長さの 1 サイクルにおける割合を比較すると, 生物処理が有る場合は, 生物処理が無いとした場合の 1/3 に抑えられている。

①から③までの検討により, 水質改善に対する生物処理の効果が平準化の効果よりも大きいことが窺われる。

以上の a) から c) までの検討を通じて, 原水調整池における平準化の効用が生物処理と相まって $c_5(t)$ の最大値を低減させ, C_T を満足する方向, 即ち, 運転費 P_2 の低減化に働く様子が分かった。

(3) 水量の確保と水質の確保への費用効果

本章の検討から, 原水調整池の貯留容量は, 濁水被害回避のために $f(t)$ と $g(t)$ との流量差の調整により, 水量の確保に大きく寄与し, さらに, 水質の確保についても寄与している。しかし, $V_1 = V_{1opt} = V_{1req}$ で (3) 式が成立するので, 原水調整池をそれより大きくしても, P が低減することはない。つまり, 水質の確保のためには, 水量の確保に必要な容量以上に原水調整池を大きくして平準化による間接的な水質改善の効果を期待するよりも, 直接的な水質改善の機能を有する生物処理などの処理施設に費用を振り向ける方が効果は大きい。

6. おわりに

本報は, 「水量」及び「水質」の確保方策を具体化する一方法として, 原水調整池と高度浄水処理施設を有する安定供給システムを設定し, 濁水時を含め原水の状態が異常な場合にも, 所要の水量と水質を有する浄水を安定供給する当該システムの特性についてコスト分析を行うために, 総費用最小の観点から最適化問題を定式化した。その結果, 安定供給システムの最上流に位置する原水調整池の場合は, 水質の平準化があることなどから, 最適化の計算方法と変数が浄水調整池の場合と異なり, 最適解は原水調整池が機能する最小端で与えられることを明らかにした。また, 原水の条件 (濁水規模と原水汚濁レベル) と浄水の条件 (所要送水量の充足度と目標水質のレベル) との組み合わせに応じて, 総費用を最小とする安定供給システムの設計を可能にした。その場合, 数段階に設定した浄水の条件に応じて, 最適コストが等高線状に得られることも提案した。

さらに, 浄水調整池と原水調整池との機能を比較するとともに, 原水調整池の場合のシステム特性について数

值的に解析を行い、平準化の状況及び平準化と目標水質の達成状況との関係を明らかにした。このことにより、水質の確保のためには、原水調整池の規模を水量の確保に必要な容量以上に大きくする間接的な方法よりも、水質改善の機能を有する生物処理施設などに費用をかける直接的な方法の方が、水質改善への効用は大きいことも明らかにした。

従前とは異なり需要量の増大に対応した拡張事業もなく、水道システムが平常時の対応にはある程度整備された現況下で、水量と水質の観点から渇水などにより原水の状態が悪化した場合でも、安全な水を安定して供給するために安定供給システムの導入を立案する段階では、当該システムの導入とそれに伴うコストアップについて一層明快で合理的な説明により、需要家のコンセンサスを得なければならない。また、高度浄水処理施設と組み合わせる調整池として、浄水調整池または原水調整池のいずれを選択するかの意思決定も必要となる。その際、本報で述べた両調整池の特性をはじめ、サービスレベルとコストとの関係を把握するために、コストの等高線図の概念が参考になると期待される。

なお、本報の方法をさらに発展・充実させる方向はいくつか考えられるが、そのためにも基本的に重要なことは、関係データ、特に費用に関するものが、自由に利用できるデータベースが確立されることであり、そのことにより安定供給システムの最適設計に必要な数式の精度が向上し、また、数式の汎用性も期待される。

本報告をまとめるにあたり、内藤正明氏（国立環境研究所）、菱田洋祐氏（大阪市水道局）、増田正直氏（三秀設計株式会社）をはじめ多くの方から、貴重な資料の提

供を受け、また、討論をしていただいた。ここに著して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 早貸外幸ほか：水量及び水質の安定供給システムにおけるコスト最小化に関する一考察，水道協会雑誌，Vol. 59，No. 12，pp. 3～11，1990.
- 2) おいしい水研究会：おいしい水について，水道協会雑誌，Vol. 54，No. 5，pp. 76～83，1985.
- 3) 気象庁：異常気象レポート'89（IV），大蔵省印刷局，pp. 69～83，1989.
- 4) 国土庁：日本の水資源—その開発，保全と利用の現状，大蔵省印刷局，pp. 8～17，1989.
- 5) 環境庁：平成元年版環境白書，大蔵省印刷局，pp. 245～251，1989.
- 6) 石毛峯正：間欠式揚水筒による富栄養化防止と水質管理，水道公論，No. 12，pp. 53～59，1982.
- 7) 国包章一：西ドイツにおける水源保全対策，第8回日本水質汚濁研究会セミナー講演資料集，pp. 80～94，1985.
- 8) 水資源開発公団：水資源開発公団施設等管理年報，水資源開発公団，pp. 221～256，pp. 510～513，1983.
- 9) 大阪市水道局：水質年報，大阪市，pp. 162～163，1985.
- 10) 千葉県水道局：水質年報，千葉県，pp. 189～205，1985.
- 11) 茨城県企業局：水質年報，茨城県，pp. 41～65，1984.
- 12) 日本水道協会：高度浄水施設導入ガイドライン，日本水道協会，pp. 1～12，pp. 21～41，1988.
- 13) 茨城県：生物処理調査報告書，茨城県，pp. 46～68，1983.
- 14) 真柄泰基：水源の富栄養化による浄水処理費用の増加に関する試算，第36回全国水道研究発表会講演集，pp. 159～161，1985.

(1993. 1. 27 受付)

COST ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS OF A HIGHLY UPGRADED WATER SUPPLY SYSTEM CONSIDERING DROUGHT

Sotoyuki HAYAKASHI, Yasumoto MAGARA, Ko OI and Suehiro OTOMA

Taking into account of shortage and pollution of raw water in the case of drought, an optimal design method of a water supply system with a buffer reservoir for raw water and advanced treatment facilities is proposed to fill a quantitative water demand as well as to meet a water quality requirement concerning hygienic safety and palatability. To minimize the sum of the construction cost and the operation cost of the system and to elucidate the characteristics of the system through the cost analysis, a formulation and a procedure to solve the optimization problem are given. A contour chart of the minimum cost of the system for various conditions of water supply is shown. The uncovered characteristics of the system and the contour chart are helpful to obtain the consent of water users to an introduction of the system.