

事例ベース緊急時広域水運用計画立案手法の開発

加藤博光*、栗栖宏充*、瀬古沢照治*
館仁平**、三井芳郎***

- * (株) 日立製作所システム開発研究所
神奈川県川崎市麻生区王禅寺 1170
- ** (株) 日立製作所大みか工場
茨城県日立市大みか町 1-55-2
- *** (株) 日立製作所機電事業部
東京都千代田区神田駿河台 4-6

概要

上水道の普及率向上と近年の相次ぐ渇水・災害の発生に伴う社会的要請を背景として、平常時における水資源の有効活用ばかりでなく、緊急時にも被害を最小限とする水運用計画を立案するための手法を開発した。

過去の事故対処例等を事例データベースに蓄えて、計画立案時にはこれを利用する。これまで平常時のネットワーク運用手法として用いられてきた最適化計算をすることができ、前提となるパラメタも事例が検索されると特定されるので、緊急時にも迅速に状況に応じた計画を立案できるようになった。

キーワード

上水道、運用、緊急時、事例、数理計画法、最適化

1 はじめに

現在、「ふれっしゅ水道計画」の促進により上水道事業では水道施設の広域化に重点が置かれている。さらに維持管理の合理化を目指した設備整備だけでなく、「安全でおいしい水」を需要者に提供することが重要視されるようになってきた。これに伴い、広域水道システム全体を効率よく、しかも円滑に運用する必要が高まってきている。一方、新たな水源開発には多大な時間と費用を要するため、有限な水資源を有効活用していかなければならない。これに加え、近年は全国各地における相次ぐ異常渇水、及び阪神大震災に代表される災害の発生により、取水制限や施設事故等に対応して柔軟な水の融通、配分を行い被害を最小限にする運用計画を求める機能が望まれている。本報告では、ある都市において実現した水運用管理システムにおいて中心的な役割を果たしている広域水運用計画立案手法を紹介する。

従来、水運用における配分計画に対して数理計画法を適用して最適化を行なう手法が取られてきたが、数理計画問題としてただ一通りに定式化するだけでは、緊急時における様々な状況変化に対応できないことが問題とされてきた。また、施設能力や水利契約事情を考慮して流量が急激に変動しない計画値を作成することは通常の数理計画法では困難とされてきた。本手法では、これらの問題に対して、

- 従来は事故対応マニュアルとして持っていた過去の事故対処例等を電子化し事例ベースとして蓄積し、計画時には適事例に対応した定式化の下に最適化を行った。
- さらに最適解に対して修正を加えて流量の平滑化を行い、現実の運用に見合うものとした。

本手法を適用することにより、緊急時においても従来よりも実用的な計画となる見通しを得た。

2 事例ベースを用いた緊急時水運用計画

事例ベースを用いた水運用計画システムの概要を図1に示す。まず現状分析により現状の特徴を抽出し、現状に類似する事例を事例ベースから検索し、適用運用案を決定する。これを基にして、需要予測により得られる時間毎の予測需要量、原水計画による取水量、受水量、各施設条件等を考慮して、運用案を作成する。適用事例の運用方法では、うまく条件を満足できない場合には、オペレータにより水系の系統変更や計画水量の変更が可能である。しかし一般にネットワークにおける要求・制約の干渉解消は複雑であり容易ではない。そこで、うまく要求に見合った計画を立案できない場合には、多層ネットモデルによる最適化により全域一括求解を行ない計画値を得る。以上のようにして作成された運用案は事例ベースに蓄えられ、後の計画立案時に活用される。日々の運用計画立案時だけでなく緊急時を想定して平素からの検討でも本システムを活用して対策案を練り、事例ベースを拡張していくことができる。以下、本システムの中核である多層ネットモデルによる最適化について述べる。

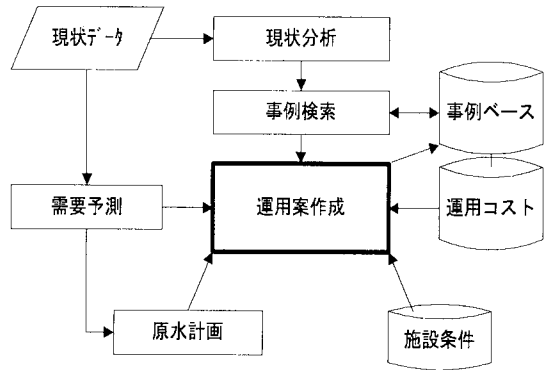


図1 運用計画立案の概要

図1 水運用計画システムの概要

3 多層ネットモデルによる水運用最適化

管路をアーク、配水池や分岐点をノードとする水系モデルを構築し、これを計画する時間分だけ層状に重ねる。このとき同一配水池を層間で結ぶアークにより配水池貯水量も管路流量と同様に扱うことができる。これを多層ネットモデル(図2)と呼ぶ。この時、時間別水運用計画は多層ネットモデルにおいて

$$Ax = b \quad (1)$$

$$l \leq x \leq h \quad (2)$$

を制約として

$$z = cx \quad (3)$$

を最小化する最小費用流問題として定式化できる。 x は多層ネットモデル上での各アークにおける流量である。 A はネットワークの接続関係を表す行列であり、 b は需要点での時間毎の需要量を表す。つまり(式1)は各ノードにおける水量収支の関係式であり、(式2)は管路や配水池の施設上下制限条件である。 c は各アークにおける運用コストとすると、総コスト z を最小化することにより計画値を得ることができる。多層

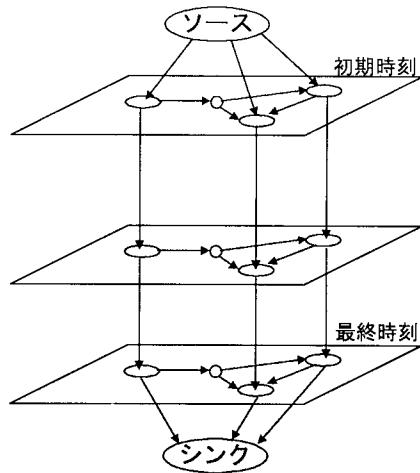


図2 多層ネットモデル

水系モデルを時間ごとに層状に重ねると層間のアークで配水池貯水量を表すことができる。

ネットモデルにおける最小費用流問題は多段プライマル法により高速に解く事ができる¹⁾。このとき運用コストの設定が良い計画値を出力するかどうかの鍵になり、水系に異常が生じる緊急時には平常時のコストのみでは対応できないことが問題であった。そこで、図1に示すように事例ベース中の事例に対応する運用コストを予め設定しておき、運用案作成に多層ネットモデルを用いる場合には適用事例に対応した運用コストを用いて最小費用流問題を定式化し解を求める手法を検討した。

4 流量の平滑化

上記の最適化では流量変化を考慮していないため、流量変動の激しい計画値となることが多い。ところが現実の水運用では、特に受水量や浄水場/配水池への流入流量を急激に変化させる運用は実際には不可能であるので、最小費用流に修正を加えて流量を平滑化する必要がある。この問題に対して、ネットワークにおいて閉ループ上で同じ流量をアークの向きを考慮して増減させても閉ループ以外には影響を与えないことを利用する。つまり、多層ネットモデル上で平滑化対象管路を通る閉ループを作り、異なる時刻間で流量を増減して対象管路の流量を平滑化する。ここで、従来の手法では流量が全時間で平均的に平滑されることのみを考慮していたが、実際には時間単位の流量変動も小さい方が望ましい。そこで本手法では、一旦平滑化を行っても流量が急激に変動する箇所が残る場合には、急変箇所前後の時間における平滑化目標値を流量変動制約以内でなだらかに流量が変動するように変更して再度平滑化を行なうことにした。また平滑化が十分行われることを重視して総コストが維持されない修正も行なうことにした。

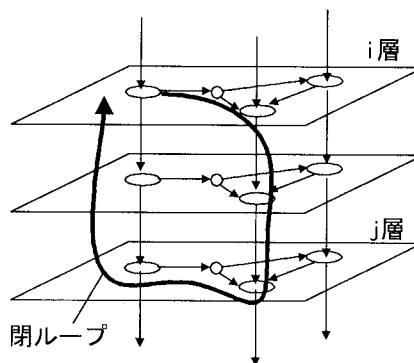


図3 平滑化に用いる閉ループ

5 シミュレーション結果及び評価

図4に示すような実在する水系について多層ネットモデルにより水運用計画を立案した例を挙げる。

図5はある分岐受水管路について流量切替時刻を22時に設定して平滑化処理を行なった結果である。この受水点では受水量の時間変動が100トン以内という実運用上の制約がある。従来方式では総コストの維持を条件としていたため十分な平滑化が行われていないばかりでなく、全体的な平滑化のみで流量の時間変動を考慮していないため満足できる計画値を得ることができなかった。一方、本手法による平滑化手法を用いると、平滑化も十分に行われ、流量の時間変動制約も満たすように階段状に流量を切替えていくような計画値となり、満足できる結果となった。

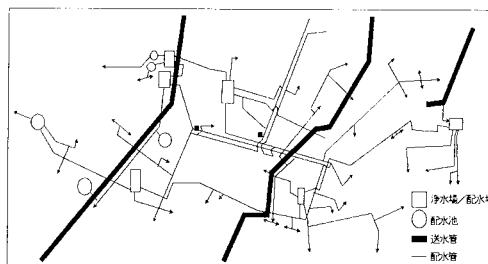


図4 水系図

図6は、ある受水点から受水不能となった緊急時に運用計画を行なった際の、ある配水池水位の時間変化を示したものである。従来のように平常時向けの運用コストだけを留意したのでは、配水池水位が運用下限値を割ってしまう計画となり緊急時には対応できない。一方、緊急時の状況にあった運用コストを選択して適用することにより、配水池の運用上下限水位内で余裕を持って変動する現実的な計画を得た。

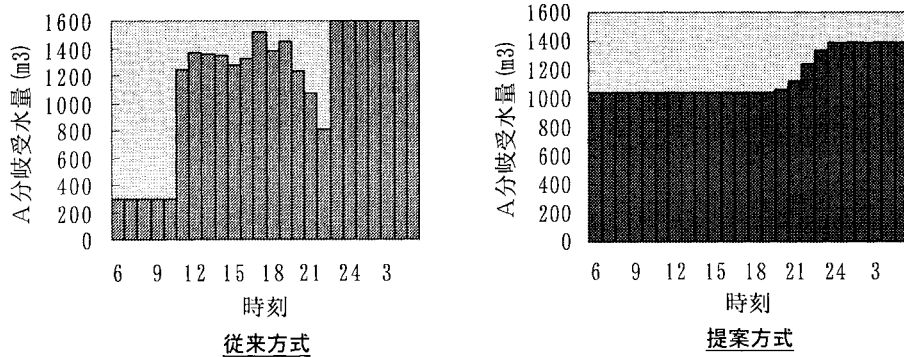


図5 流量平滑化結果

次に、幾つかある受水点から受水不能となる事例を5つ想定し、緊急事態発生から1日でのどのくらい不足水量が発生するかをシミュレーションにより従来法と本提案手法を比較した。結果を表1に示す。

シミュレーションでは、緊急事態に応じて適切な運用コストを用いることにより不足水量を60%以上削減する結果を得た。このような大きな改善が得られた理由として、運用コストに緊急事態に応じた水系系統変更の事例を盛り込んだことが挙げられる。多層ネットモデルを用いて最適化を行なうことにより定量的な緊急時対応計画も柔軟に立案する見通しを得た。

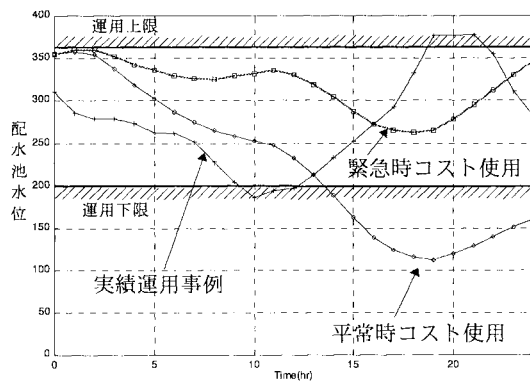


図6 緊急時配水池水位計画例

横軸は時間、縦軸はある配水池の水位 (cm)。緊急時コストを用いた場合に良好な結果が得られた。

	単一コストによる運用	緊急時コストによる運用	不足削減率
事例1	7200	0	100%
事例2	21600	0	100%
事例3	6015	0	100%
事例4	144000	56247	60.9%
事例5	166622	58902	64.6%

表1 緊急時における計画不足水量による性能比較

6 おわりに

今回、緊急時にも迅速な計画立案を行なえる事例ベース水運用計画システムの検討を行なった。今後、本手法を適用した実システムの実現を目指して開発を進めていく。

参考文献：

1) 栗栖、西谷他(1994)：数理計画法とヒューリスティック法を組み合わせた動的配分計画技法の上水道運用計画問題への適用、計測自動制御学会論文集、Vol. 30, No. 2, pp. 198-207