

水道用シミュレーションパッケージ

*1黒谷 憲一(くろたに けんいち)

*2秋吉 隆美(あきよし たかみ)

*2岡田 俊雄(おかだ としお)

*2山口 裕介(やまぐち ゆうすけ)

① まえがき

上下水道向けに、従来から各種のシミュレーションプログラムを開発し利用してきた。これらを、上下水道施設の構成、構造、容量などの検討に用いたり、施設の運用・制御方式の検討やその効果の算定に用いてきた。更に、コンピュータ制御システムにその一部が組み込まれて、オンラインで稼動しているものもある。

従来、その利用は社内利用が主であったが、上下水道で利用度が大いなものを使いやすく整備して、上下水道用シミュレーションパッケージとして販売することとしたのでここに紹介する。

② 適用コンピュータと OS

本パッケージは比較的大形のコンピュータ向けであり、使用できるコンピュータと OS は、FACOM M シリーズコンピュータ、S シリーズコンピュータ、OS IV/F4、OVIS/S である。これら以外のコンピュータ、OS の場合は、機能がある程度限定される。

マンマシンインタフェース装置として、日本語ディスプレイ装置を使用し、グラフ出力を含めた出力装置として、日本語ラインプリンタを使用する。

オプションとして、グラフを XY プロッタやグラフィックディスプレイ装置に出力することができる。

③ 特 長

3.1 豊富な利用実績

間違いの無い完全なプログラムは存在していないといってもよく、プログラムの完成度はいかによく利用されているかにかかっている。その点、本パッケージは長年の利用実績をもち、機能向上の改良を重ねてきたものなので、完成度が高い。

3.2 汎用性

それぞれのプログラムは種々のケースに対応できるように汎用化されており、水道だけでなく、工業用水、農業用水、下水道はもちろん、火力発電、水力発電、ガス供給などの分野でも利用可能なものが多い。

3.3 対話形日本語メニュー方式の採用

端末装置とともに、ソフトウェア作成の手段の発展によ

り、大形コンピュータでもパーソナルコンピュータ並みの使いやすさが可能となってきた。

そこで、本パッケージではこれらのツールを活用し、種類の処理選択は CRT 画面の日本語による対話方式とし、更に、計算に必要な入力データは、入力データの種別ごとにガイド画面を用意し、間違いなく入力できるようにした。同一画面内や補助画面に入力データの説明・注意事項などを日本語で表示することにより、プログラム説明書を手元におかなくても、入力データの作成・修正が行える。

また、ユーザーがファイル名などを意識しなくとも、自動的に計算に必要なファイルの生成・割付などが行われ、コンピュータの専門家でなくてもシミュレーションパッケージを操作することができる。

3.4 グラフ出力

シミュレーション結果の把握にはグラフ出力が不可欠であり、本パッケージではそれぞれに応じた独自の形式のグラフ出力を用意している。グラフ内に書かれている文字は日本語を主体にしている。

④ 機 能

パッケージは後で述べるように 7 種ある。

それぞれのパッケージは図 1 の例のように、データ入力部、プログラム実行部、グラフ出力部、ユーティリティ機能部、初期化部にジョブが分かれている。ただし、グラフ出力部がプログラム実行部に含まれているものもある。

データ入力は前述のように日本語による対話形画面で行うが、データ種別による画面表示の順序は、プログラムの性格により、データ種別を選んでいくものと、データ作成の思考順序で自動的に選択表示されるものがある。入力されたデータは、数値データなら数値として適当な形式かどうかチェックし、文字(数字)データならそのデータとして許容されている文字かどうかチェックする。不適当な場合はエラーメッセージを表示し、再入力を促す。図 2 にデータ入力画面の例を示す。

プログラムを実行した結果のプリンタ出力は CRT 画面にも表示することができ、任意の部分を見ることができ。したがって、必要な計算ケースだけを日本語ラインプリンタへ出力することとなる。

ユーティリティ機能には、計算用入力データの複写、保存、表示、ファイルの削除などがあり、メニューからの選択、指示によって行える。

図1 管網計算のコマンドメニュー画面

*** 管網計算コマンドメニュー ***

1 データ入力

2 管網計算

3 管網流向図作図 (NLP)

4 管網計算図作図 (XYプロッター)

5 ユーティリティ機能

6 初期化

X 終了

コマンドメニュー No. ==>

図2 データ入力画面の例

管路名 -

始点ノード==>

終点ノード==>

フラグ====>

本数====>

区間長====> (m)

管内径====> (m)

損失係数====>

フラグ : 通常はブランク。制水弁を閉じて、使用しない管路は9。

本数 : 同一区間に同一口径同一管長の管路が複数ある場合の本数。

損失係数 : 管網計算式の指定が、
1の場合、Darcy・Weisbachの摩擦係数を入力。
2の場合、Hazen・Williamsの流速係数を入力。
3の場合、Manningの粗度係数を入力。

PF3キーを押すと、入力データメニューに戻ります。

PF5キーを押すと、この管路は削除されます。

パッケージの初期化部では計算に必要なファイルの生成・割付などを自動的に行う。

次にパッケージごとの概要と機能を述べる。

4.1 管網計算

管網計算の解法にはマッキルロイ・青木の方法を用いている。また、ループの補正流量を求める連立方程式を解くのに対称なバンド行列である点を利用し、かつ、独立な部分を別々に解くようにしているので、少ない記憶容量で高速に計算が行われる。損失水頭式はヘーゼン・ウィリアムスの式、ダルシー・ワイスバッハの式、マンニングの式のいずれも選択できる。

また、管網閉ループの自動抽出機能を持っており、面倒で間違いやすい閉ループ指定のためのデータ入力の必要がない。節点の種類として、配水池（ポンプ）、弁、需要端、分岐合流点がある。弁については開度を指定することも、流量又は差圧を指定して開度を逆算することもできる。差圧を負の値で与えれば、増圧ポンプの模擬ができる。

計算できる管路数、節点数、ループ数などは全体の計算領域に制限されるので、管路数・節点数は1,000程度、ループ数は500程度まで可能である。

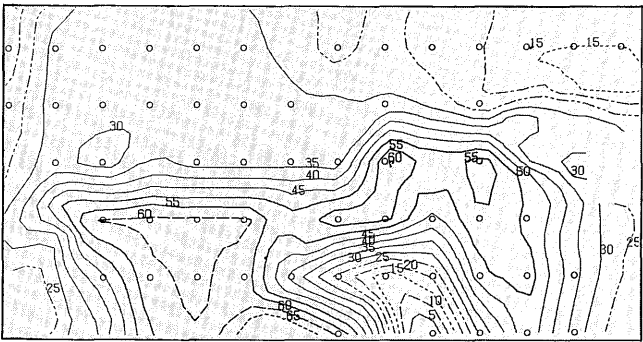
計算結果は日本語で印刷される。指定により図3のような表形式や、より詳細な結果の出力ができる。グラフ出力

図3 管網計算結果の例

管網計算結果 (CASE-A100) 1 / 2

管節番号	管節流量 (m ³ /s)	損失水頭 (m)	節点番号	水頭 (m)	残存水頭 (m)	節点番号	水頭 (m)	残存水頭 (m)
B01	0.2706	3.2535	001	94.0000	2.0000	002	90.7465	31.7465
B02	0.2365	0.7610	002	90.7465	31.7465	007	89.9855	28.3855
B03	0.0090	2.2231	002	90.7465	31.7465	003	88.5235	32.5235
B04	0.0057	4.4738	003	88.5235	32.5235	004	84.0496	32.9496
B05	0.0226	1.4662	002	90.7465	31.7465	005	89.2804	45.6804
B06	0.0148	5.2307	005	89.2804	45.6804	004	84.0496	32.9496
B07	0.0070	0.8297	004	84.0496	32.9496	006	83.2200	35.3200
B08	0.0050	3.7424	007	89.9855	28.3855	008	86.2431	31.6431
B09	0.0088	1.0647	007	89.9855	28.3855	009	88.9209	18.1209
B10	0.0039	2.6778	009	88.9209	18.1209	008	86.2431	31.6431
B11	0.0022	0.3226	009	88.9209	18.1209	010	88.5983	47.7983
B12	0.0946	0.9657	101	88.4733	38.2733	102	87.5077	44.3077
B13	0.0990	1.0791	102	87.5077	44.3077	103	86.4286	42.9286
B14	0.0088	0.1171	103	86.4286	42.9286	104	86.4286	42.9286
B15	0.0029	0.1057	104	86.4286	42.9286	105	80.3035	42.9286
B16	0.0029	0.5984	105	80.3035	42.9286	104	86.4286	42.9286
B17	0.0205	0.5697	304	83.9171	46.0171	306	82.7853	43.4853
B18	0.0078	0.2788	306	82.7853	43.4853	307	82.7606	45.1606
B19	0.0077	0.8777	301	83.9171	46.0171	305	83.0394	49.7394
B20	0.0015	0.2788	305	83.0394	49.7394	307	82.7606	45.1606
B65	0.0072	0.0336	307	82.7606	45.1606	308	82.7270	46.4270
B66	0.0066	0.1993	308	82.7270	46.4270	309	82.5277	44.9277
B67	0.0	0.0	309	82.5277	44.9277	310	82.5277	35.4277
B68	0.0020	0.0334	309	82.5277	44.9277	311	82.4944	40.9944
B69	-0.0029	-0.0413	307	82.7606	45.1606	312	82.8018	44.7018
B70	0.0104	0.1166	313	82.9184	44.9184	312	82.8018	44.7018
B50	0.0128	0.1210	305	83.0394	49.7394	313	82.9184	44.9184

図4 管網圧力等高線



には、管路の流向を示した管網流向図、管網の管路・節点に計算結果を印刷した管網詳細図、図4に示す圧力等高線の作図がある。

4.2 管路系非定常流計算（送配水制御・水撃計算⁽³⁾）

水撃現象、液柱分離現象、水圧制御など管網内の水の動き方の計算を行うもので、FUJI-HYTRANと呼んでいる。初期状態の算出のための管網計算の機能も備えている。

管路の損失水頭式はヘーゼン・ウィリアムスの式、ダルシー・ワイスバッハの式のいずれも選択できる。

液柱分離現象も模擬できるようになっており、空洞の消滅するときの圧力上昇も計算される。

境界条件として、各種の弁、分岐合流点、サージタンク、貯水池、ポンプ、空気だまりなどのほか、水車、復水器なども含み、水道以外の水力発電所や火力発電所の配管系統にも広く用いられるようになっている。

また、ポンプの回転速度制御、制御弁などの制御系統を含めたシミュレーションを行えるように、種々の制御要素を用意し、組み合わせることができるようになっている。

グラフ出力には、任意の点での圧力・流量ポンプの回転速度などの過渡変化のグラフと管路に沿っての初期・最高・最低の水圧こう配線図がある。

4.3 開水路流計算

開水路流計算は次の四つのプログラムから構成されてい

る。いずれも損失水頭式としてマンニングの式を用いている。

(1) 矩形（台形）水路の動特性計算⁽⁴⁾

自由表面をもつ開水路系統の水位、流量の時間的変動の計算（不定流計算）を特性曲線法で行う。水路の断面形状は矩形又は台形を対象とする。

境界条件として、開水路の分岐合流点、せき式ゲート、水門式ゲート、貯水池、水槽、サイホン管、余水吐、ポンプなどが扱え、種々の構成の開水路系統のシミュレーションが行える。ゲートやポンプに制御系を組み入れて制御応答のシミュレーションも行うことができる。

任意の点での流量・水深やゲートの開度などの過渡変化のグラフが出力される。

(2) 矩形（台形）水路の水位分布計算

不等流計算により定常状態での水路に沿った水位分布を計算する。矩形又は台形断面の一樣水路について、流量と、上流又は下流側の水位を与えて水位分布を計算し、グラフを描く。

(3) 馬蹄形水路の水位分布計算

馬蹄形や円形断面の一樣水路の定常状態の水位分布を計算し、グラフを描く。図5のように、グラフには馬蹄形断面の形状も描かれる。

(4) 馬蹄形水路の特性計算

馬蹄形や円形断面の水路について、水深をゼロから満管まで百等分し、各水深における通水断面積、径深、等流水深流量、限界水深流量、矩形近似した場合の等価断面の幅・粗度係数などの水理特性を計算する。通水断面積、径深、等流水深流量については、満管時に対する各水深時の割合をグラフにする。

4.4 需要量予測計算⁽⁵⁾

(1) 需要パターン作成

時間単位での需要量データから1日の需要量変化を月、曜日、天候などの組合せて分類し、各カテゴリーの平均のパターンを算定し、グラフにする。

(2) カルマンフィルタによる日量予測

日量を実績水量のほか、気温・天候などの要因から算出するARMAモデル式で、順次、予測しながらその係数をカルマンフィルタで適応修正する。予測結果と実績値、誤差の割合の変動をグラフにする。

(3) 時間量予測

上記で算出された日量予測値に適合するカテゴリーの需要パターンを乗じて、時間量の予測を24時間単位で行っていく。予測された結果と実績値を月別にグラフにする。

4.5 配水池最適運用計算⁽⁶⁾

需要変動を吸収する配水池への最適送水量を計画し、その計画に基づいて水位変動のシミュレーションを行う。評価関数として、送水ポンプの起動・停止の回数と送水電力コストを組み合わせることができる。また、他系統への送水量を参照して、合計送水量を平滑化することもできる。また、任意の時間帯の送水量や水位の指定が可能であり、配水池断面形状も任意で良い。

計画作成に用いる配水量変動と水位計算に用いる配水量変動を別にすることができるので、予測誤差に対する評価もできる。最適運用との比較のため、水位による台数制御のシミュレーションも行うことができる。

水位、配水量、送水量の時間変動をグラフにする。

図5 馬蹄形水路の不等流計算の例

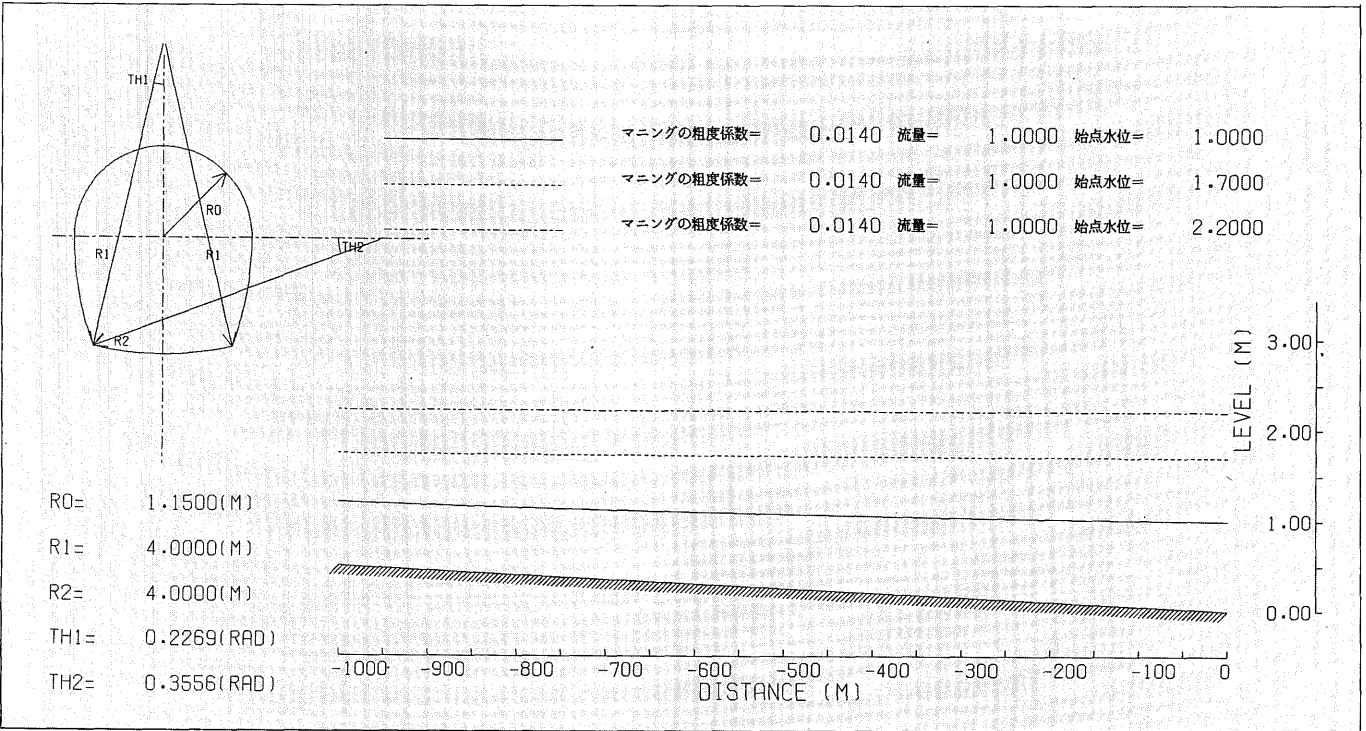


図6 送水系最適運用計算による配水池水位と流入量・流出量の変動

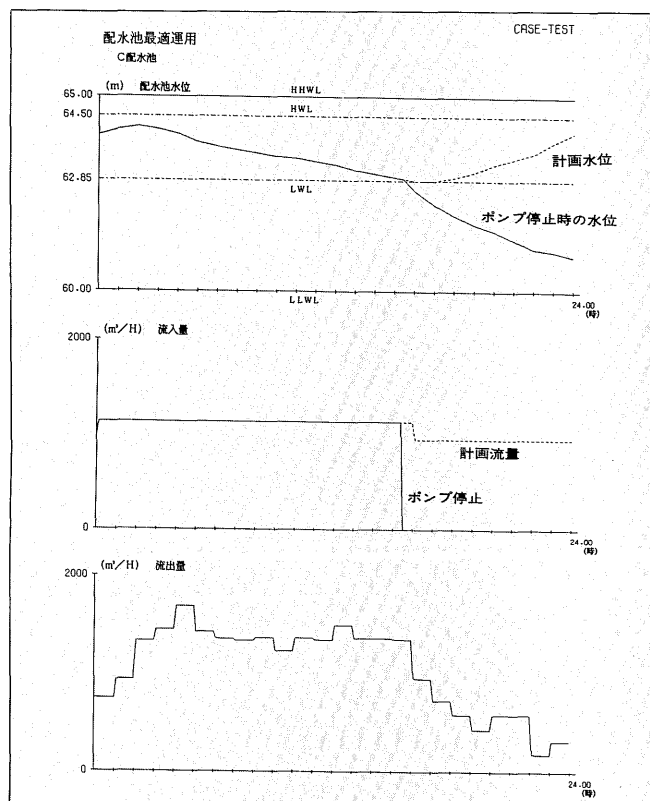
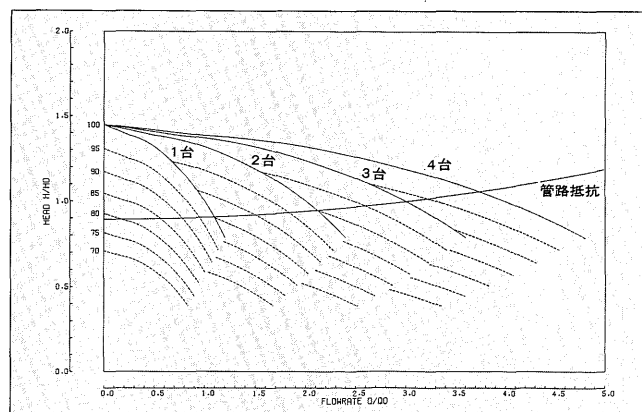


図7 ポンプ並列運転時の揚程曲線



ンプ特性曲線には図7の並列運転時の揚程曲線と軸動力・効率曲線がある。

5 あとがき

ここで紹介したパッケージは水道用を主体としたものであるが、システムの解析と制御を主体にしたシステム解析プログラムライブラリー^{(9)~(11)} SAPL、電力システムの解析を主体にした SAPL-E も同様にシミュレーションパッケージ製品として販売している。

今後共、これらを含めて、パッケージ製品の整備・拡充を図っていく所存なので、ユーザー各位の御意見・御鞭撻を賜りたい。

参考文献

- (1) 大塚敬ほか：上下水道用ソフトウェアパッケージ，富士時報，50，11，pp.579~587 (1977)
- (2) 加藤忠ほか：上下水道におけるシミュレーション技術，富士時報，56，4，pp.293~300 (1983)
- (3) 黒谷憲一ほか：送配水系統の水撃解析プログラム，第28回全水研講演集，pp.227~229 (1977)
- (4) 黒谷憲一ほか：特性曲線法による開水路流計算，第29回全水研講演集，pp.196~198 (1978)
- (5) 風間清ほか：上水道の配水ブロック化と配水調整，富士時報，56，4，pp.276~284 (1983)
- (6) 黒谷憲一ほか：送水ポンプの省電力台数制御方式，第32回全水研講演集，pp.217~219 (1981)
- (7) 黒谷憲一ほか：配水ポンプの省電力運転方式，第30回全水研講演集，pp.243~245 (1979)
- (8) 黒谷憲一：ポンプ設備における省エネルギー，富士時報，54，8，pp.577~582 (1981)
- (9) 太田徳二ほか：システム解析ソフトウェア (SAPL)，富士時報，57，3，pp.212~213 (1984)
- (10) 竹山良雄ほか：プロセス制御システム設計用 CAD システムの一例，第24回 SICE 学術講演会予稿集，pp.59~60 (1985)
- (11) 黒谷憲一：ブロック線図で表わされた制御系の周波数応答計算，第28回自動制御連合講演会前刷，pp.99~100 (1985)

4.6 送水系最適運用計算

複数の配水池を含む送水系統への最適送水量を計画し、その計画に基づいた水位変動のシミュレーションを行う。評価関数として、送水流量の平滑化と送水電力コストを組み合わせることができる。任意の送水路の流量の和の平滑化もできる。

計画作成に用いる配水量変動と水位計算に用いる配水量変動を別にすることができるので、予測誤差に対する評価もできる。また、任意管路のポンプを停止させて、その後の水位計算もできるので、停電後、配水池でどれだけの時間供給できるかといったシミュレーションも行える。

配水池、管路数は共に10以内という制約がある。

図6に示すように、配水池ごとに、計画並びに計算水位と流入・流出量の時間変動をグラフにする。

4.7 ポンプ電力量計算^{(7),(8)}

1日や年間の流量の変動を与え、ポンプ使用電力量を計算する。台数制御や吐出弁で流量を制御する場合と、回転速度制御の場合のコスト比較ができる。また、高架水槽から流出する流量の変動を与えて、水位による台数制御や台数スケジュール運転時の使用電力量の計算も行える。

ポンプ特性は実測値や計画値を入力することも、比速度 ω から標準特性を生成することもできる。

また、ポンプ設置台数を変えて、それぞれのケースのポンプ定格値の決定から電力量計算まで行わせることができる。

グラフ出力は、ポンプ運転台数、回転速度、電力、流量などの時間変動のグラフとポンプ特性曲線作図がある。ポ



＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。