
水道施設管理のための水理解析システムの開発

Transient Flow Analysis for the Management of Water Pipeline Network Systems

小池 武(Takeshi Koike) 今井 俊雄(Toshio Imai) 寺本 正(Tadashi Teramoto) 鈴木 実(Minoru Suzuki) 三宅 章太(Shota Miyake)

要旨：

送配水管路を対象とした非定常水理解析システムを開発した。本システムは、管路網における定常流ならびに非定常流に対する解析機能を持つ。石川県水道用水供給事業における実操業中の送水管路を用いて、需要変動運転時の実測ならびに計算値との比較検討を行ったところ、本システムによる計算結果は、実用上十分な計算精度を有するものであることが確認された。本システムは、コンピュータ・マッピングによる水道管路施設情報管理システムとのインターフェイスを持ち、同システムのアプリケーションシステムとして、運転計画の策定や施設の能力・状態把握などの業務支援分野で有効な利用が可能である。

Synopsis：

KSC developed a computer program of the transient flow analysis for water pipeline network systems. This program can simulate transient phenomena in a water pipeline including valves, pumps, reservoirs, and leak points. In order to check the accuracy of this program, a field experiment was executed, using a real water transmission pipeline in Ishikawa Prefecture. Numerical analysis shows good agreement between experimental data and simulated results within the maximum error of 3.7% in pressure. This program can play an important role in the management of a large-scale water pipeline network as one of the application systems of the "Lifeline Information Management System (LIMAS)", which is also developed by KSC with computer mapping techniques. This flow analysis program will extend the applicability of LIMAS to many fields of waterworks such as future planning of water supply, short-term flow prediction in daily operation, and leak flow control.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Transient Flow Analysis for the Management of Water Pipeline Network Systems



小池 武

Takeshi Koike

エンジニアリング事業
部 研究開発センター
構造研究室 主任研究
員(課長)・工博



今井 俊雄

Toshio Imai

エンジニアリング事業
部 研究開発センター
構造研究室



寺本 正

Tadashi Teramoto

エンジニアリング事業
部 研究開発センター
構造研究室 主任研究
員(課長)



鈴木 実

Minoru Suzuki

川鉄工事(株) 大阪事
業所工事課 掛長



三宅 章太

Shota Miyake

川鉄システム開発(株)
技術システム部 次長

1 緒 言

近年、コンピュータ・マッピングシステムの適用範囲として、水道などのライフラインを中心とした施設情報管理システムが普及しつつある。同システムは、広域にわたる施設の位置情報(地図情報)と、例えばパイプやバルブといった個々の図形要素の持つ属性情報をRDB(Relational Data Base)によって関連づけ、一元的に管理することで、特に施設の維持管理などの業務を効率的に進めようとするものである。

従来の施設情報管理システムの多くは、構築されたデータベースの一次情報をそのまま検索ならびに出力するものが主であり、システムの適用業務範囲をある程度限定すれば、業務支援ツールとして有効に利用できるシステムであるが、これらのデータベースを構築するために必要とされる多大な労力を考えると、単にこれらの一次情報を検索・出力するだけでは、システム本来の機能や価値を十分

要旨

送配水管路を対象とした非定常水理解析システムを開発した。

本システムは、管路網における定常流ならびに非定常流に対する解析機能を持つ。石川県水道用水供給事業における実操業中の送水管路を用いて、需要変動運転時の実測ならびに計算値との比較検討を行ったところ、本システムによる計算結果は、実用上十分な計算精度を有するものであることが確認された。

本システムは、コンピュータ・マッピングによる水道管路施設情報管理システムとのインターフェイスを持ち、同システムのアプリケーションシステムとして、運転計画の策定や施設の能力・状態把握などの業務支援分野で有効な利用が可能である。

Synopsis:

KSC developed a computer program of the transient flow analysis for water pipeline network systems. This program can simulate transient phenomena in a water pipeline including valves, pumps, reservoirs, and leak points. In order to check the accuracy of this program, a field experiment was executed, using a real water transmission pipeline in Ishikawa Prefecture.

Numerical analysis shows good agreement between experimental data and simulated results within the maximum error of 3.7% in pressure.

This program can play an important role in the management of a large-scale water pipeline network as one of the application systems of the "Lifeline Information Management System (LIMAS)", which is also developed by KSC with computer mapping techniques.

This flow analysis program will extend the applicability of LIMAS to many fields of waterworks such as future planning of water supply, short-term flow prediction in daily operation, and leak flow control.

に活用しているとはいいたい。

施設情報管理システムをさらに有効に利用するためには、同システムの持つ機能ならびにデータベース情報を基盤とし、この上に一次情報の加工もしくは分析・解析機能を有する種々のアプリケーションシステムを構築することで、同システムの適用業務範囲を拡大し、かつさらに高度な管理業務に供し得るようなトータルシステムを構築することが必要となる。

本報では、このようなアプリケーションシステムの一つとして開発した送配水管路網を対象とする非定常水理解析システムの内容について、石川県水道用水供給事業における実操業中の送水管路を用いて実施した実験結果との比較検討を交えて紹介する。

また、実際の運転管理業務において実施される運転計画策定業務を想定し、複数需要点の同時需要変動シミュレーションや漏水発生

* 平成2年8月14日原稿受付

時のシミュレーションなど、本システムの適用事例についてもあわせて報告する。

本水理解析システムは、従来のパイプライン施設情報管理システムに大きな付加価値を与えるものであり、送配水管路における管理業務のより一層の高度化・効率化に寄与することができよう。

2 水理解析システム

2.1 機能概要

2.1.1 定常計算手法

本システムでは収束性を考慮して Newton-Raphson 法を採用している¹⁾。いま、両端に節点を有する単位管路について考えると、定常状態における節点水頭 H ならびに流量 Q の間の関係は、次式で与えられる。

$$Q_{i,t+1} = F(H_i - H_{i+1}) = F(DH_{i,t+1}) \dots\dots\dots (1)$$

$$\sum_{j=1}^n Q_{i,j} = q_i \dots\dots\dots (2)$$

ここに、

- F : 圧力損失に基づく流量を与える関数式
- q : 強制流入流量
- DH : 節点間の圧力損失
- i : 節点番号を与える添字

上式を全体の系に対して重ね合わせると次式が得られる。

$$\mathbf{Q} = \mathbf{F}(\mathbf{DH}) \dots\dots\dots (3)$$

$$\mathbf{S}(\mathbf{Q}) = \mathbf{q} \dots\dots\dots (4)$$

ここに、

- \mathbf{Q} : 各管路における流量を表すベクトル
- \mathbf{DH} : 各管路における水頭差を表すベクトル
- \mathbf{F} : 圧力損失に基づく流量を与えるマトリックス
- \mathbf{S} : 各節点における流量の和をとるマトリックス

ある仮定値 \mathbf{DH}_i およびこれに対する \mathbf{Q}_i に関して、(3)式ならびに(4)式を満足するような補正量 ΔDH_i および ΔQ_i を導入し、さらに \mathbf{F} を \mathbf{H} の近傍で局所的に線型であるとみなせば、次式が成立する。

$$\mathbf{Q}_i + \Delta \mathbf{Q}_i = \mathbf{F}(\mathbf{DH}_i) + \left(\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{DH}_i} \right) \Delta \mathbf{DH}_i \dots\dots\dots (5)$$

$$\mathbf{S}(\mathbf{Q}_i + \Delta \mathbf{Q}_i) = \mathbf{q} \dots\dots\dots (6)$$

上式は、各節点における補正量 ΔDH_i ならびに ΔQ_i に関する連立一次方程式に帰着するゆえ、順次 ΔDH_i ならびに ΔQ_i を求め、同様な操作を繰り返すことにより、定常状態における \mathbf{H} 、 \mathbf{Q} を得ることができる。

2.1.2 非定常計算手法

等温・非圧縮性を仮定した場合の一次元管内流れの基礎式として以下に示す運動方程式ならびに連続の式が与えられる²⁾。

$$g \frac{\partial H}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{fV|V|}{2D} = 0 \dots\dots\dots (7)$$

$$V \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} - V \cdot (\sin \theta) \cdot \frac{a^2}{g} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (8)$$

ここに、

- V : 管内流速
- D : 管内径
- f : 管摩擦係数
- θ : 管傾斜角度
- g : 重力加速度

なお、(8)式中の a は管内を伝播する圧力波の速度であって、管

の弾性変形を考慮した場合、次式で与えられる。

$$a = \sqrt{\frac{K_w/\rho}{1 + (K_w D / K_p e)}} \dots\dots\dots (9)$$

ここに、

- ρ : 流体密度 ($\approx 9.98 \times 10^2 \text{ kg/m}^3$)
- e : 管肉厚
- K_w : 流体の体積弾性係数 ($\approx 2.10 \times 10^9 \text{ kg/m}^2$)
- K_p : 管の体積弾性係数 ($\approx 1.96 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$)

非定常解析の手法としては、一般によく用いられている特性曲線法を採用した³⁾。本法は(7)式ならびに(8)式における時間方向ならびに距離方向の偏微分を時間方向の常微分に変換し、離散化した後、単位時間格子ごとに、以下に示す連立差分方程式を解く方法である。

$$C+ \left\{ \begin{aligned} \frac{1}{a} \cdot \frac{dH}{dt} + \frac{1}{g} \cdot \frac{dV}{dt} + \frac{fV|V|}{2gD} - \frac{\sin \theta}{a} &= 0 \dots\dots\dots (10) \\ \frac{dX}{dt} &= a \dots\dots\dots (11) \end{aligned} \right.$$

$$C- \left\{ \begin{aligned} \frac{1}{a} \cdot \frac{dH}{dt} + \frac{1}{g} \cdot \frac{dV}{dt} + \frac{fV|V|}{2gD} + \frac{\sin \theta}{a} &= 0 \dots\dots\dots (12) \\ \frac{dX}{dt} &= -a \dots\dots\dots (13) \end{aligned} \right.$$

なお、 $t=0$ における初期条件は、上記定常計算の結果から内挿して求め、また管路の端点においては、各流体機器等の境界条件によって不足する条件式を補完することにより解を求める。

2.1.3 解析できる項目

本システムを用いて解析を行い得る項目としては、主として次のものが挙げられる。

- (1) 需要点および供給点における需給水量変動、圧力変動時の解析

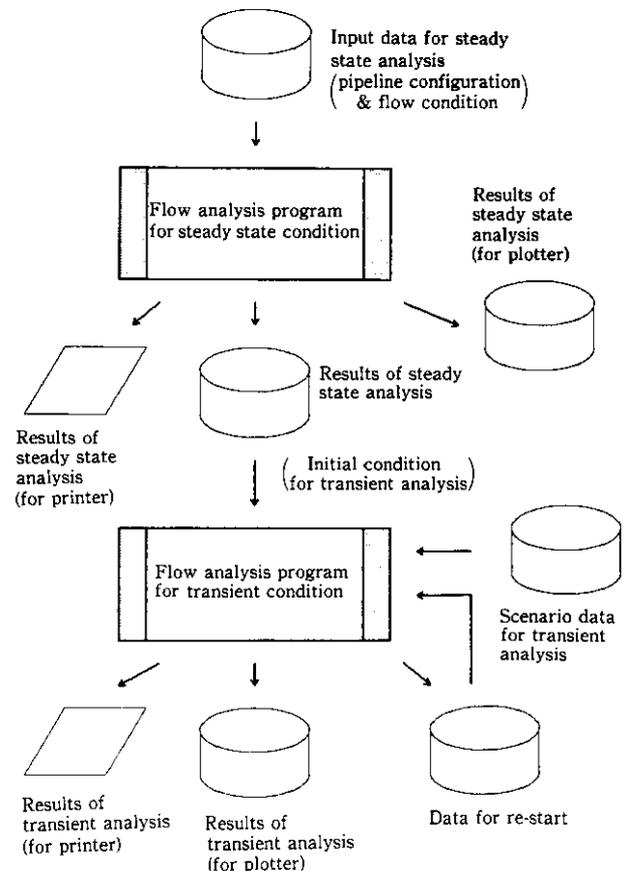


Fig. 1 System configuration

- (2) ポンプユニットのトリップおよびスタートアップ時の挙動の解析
- (3) 制水弁の開度変更操作時および閉鎖時の挙動解析
- (4) 漏水発生時の挙動解析

2.1.4 システム構成

本システム構成を Fig. 1 に示す。定常計算モジュールで計算された結果は、通常テキストデータのほか、作図用プロッターファイルならびに非定常計算の初期条件データファイルとして出力される。

非定常計算モジュールには、このほか、境界条件シナリオデータが入力され、結果として定常計算時と同様なファイルが得られる。

したがって、非定常計算結果を再び非定常計算の初期条件として計算を行うリスタート処理が可能である。

2.2 施設情報管理システムとの関係

近年、送配水管網施設の維持管理業務を効率化するために、コンピュータ・マッピング技術を利用した情報管理システムが急速に普及しつつあり。このシステムは、道路や管理施設などに関する図形(地図)情報とこれらに付随する属性情報とをデータベース上で関連づけることにより、さまざまな業務や問題解決に応用しようとするものである。マッピングシステムを利用することの利点は数多く考えられるが、中でも、大量の地図情報とこれに関する多種多様な属性情報を一元的に管理でき、かつ共有できる点、ならびにこれらの情報が集積されたデータベースが構築されると、多岐にわたるアプリケーション分野での利用が容易に行い得る点であろう。

特に後者は、日常の施設管理業務にとどまらず、運転業務や災害・事故時の管理業務にまでマッピングシステムの利用分野を拡大できるという点で重要な意味を持つ。すなわち、単にデータベースに格納された情報を検索・出力するだけの利用方法でなく、マッピングシステムが基本的に有する機能ならびに情報を利用しながら、その上に種々のアプリケーションシステムを構築し、実際の業務に、より有効に利用することでシステムならびにデータの付加価値を向上させ得るということである。それゆえ、施設情報管理システ

ムを構築する場合には、基本となるマッピングシステムだけでなく、実際の業務に有効に利用できるアプリケーションシステムの存在が不可欠であるといえる。

Fig. 2 は、管路施設を対象とした施設情報管理システムの概念を示したものである。基礎となるマッピングシステムには、施設に関する情報が蓄積されたリレーショナル型のデータベース (RDB) ならびにこれらのデータの管理を行う RDB マネジメントシステム (RDBMS)、および図形情報の入出力を行うグラフィック制御機能が準備されている。このマッピング基本システムの周囲には、インターフェイスを介して、各業務の支援に適したアプリケーションシステムが必要に応じて構築され、解析や分析、評価などのより高度な情報の加工を行った後、その結果をマッピングシステム上で表現することになる。この場合、アプリケーションシステムが処理した解析などの結果が、マッピングシステムの図形情報とあわせて画像情報として表現できるため、広域にわたる施設の管理を行う場合には全体が非常に把握しやすいという利点がある。本報で述べる水理解析システムは、これらアプリケーションシステムの一つであり、運転計画の策定や配水系全体の施設効率の評価、整備計画の検討などの業務に応用が可能である。

水理解析システムでは、入力データとして、流れの状態を規定する境界条件データのほかに、計算対象となる配管網の接続状態や管路・流体機器の仕様など、いわゆる構造データが必要となるが、節点数の多い大規模管網を対象とした場合、これらのデータを正確に作成する作業には、これまで長い時間と労力が必要とされていた。しかしながら、マッピングシステムの図形データならびに属性データを直接的に利用したり、あるいは同システムの図形入力・編集機能を利用することによって、これらの作業が、従来の方法に比較して極めて容易に、かつ正確に行い得る。

このようにマッピングシステムは、水理解析システムのようなアプリケーションシステムのプリプロセッサとして利用できるばかりでなく、これらの結果をビジュアルに表現するポストプロセッサとしてもその応用が可能である。

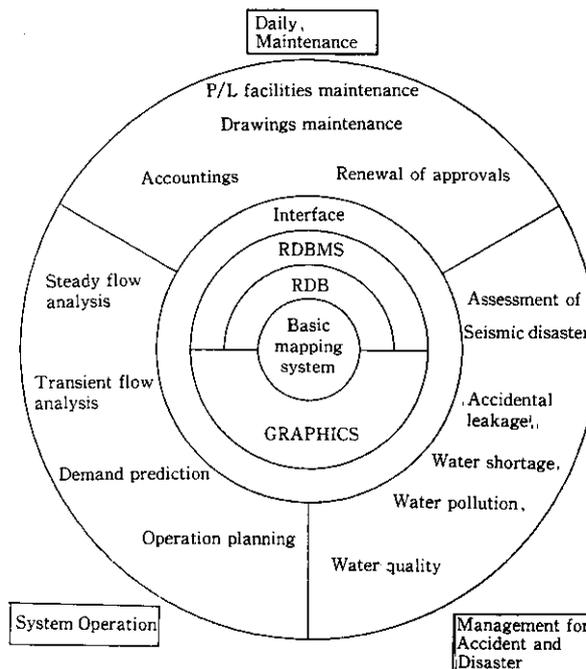


Fig. 2 Correlation between computer mapping and its application systems

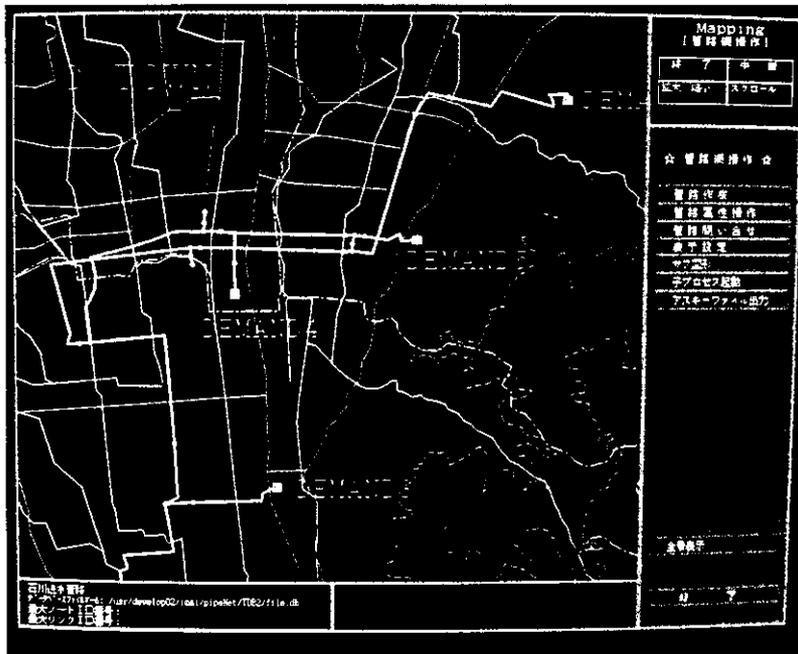


Photo 1 Graphic screen of computer mapping system

Photo 1 は、マッピングシステムによる水理解析用入力データの作成画面の例を示したものである。これらの操作は、主としてマウスを用いた対話形式で行われ、属性情報の付与等、一部の入力作業についてのみ補完的にキーボードを用いた操作となる。したがって、操作が容易であり、かつ管路の位置や接続関係がグラフィック画面上で確認できるため、正確なモデルの作成が行い得る。さらに、マッピングシステムの基本機能として、表示範囲の拡大・縮小、スクロール、レイヤーの重ね合わせ表示、線種・線色などの表示属性の変更など、図形表示制御機能が用意されており、これらの機能を利用することによって任意の主題図が作成できる。

Photo 1 の場合、等高線や道路、河川などの地図情報は、水理解析用管路モデルの作成という本来の目的からは必ずしも必要ではない。しかし、これらの背景図を同時に表示することで、管路モデル作成時には、これらを管路位置の同定のために目標物として利用することができ、モデル作成時の入力者の負担軽減に有効であるとい

える。

また、これらの図は、計算結果を表示する場合にも利用でき、実際の施設の位置と計算結果とを対応づけることによって、流送状態の把握が即時的に行えるばかりでなく、計算結果の各業務への反映がなされやすいものと思われる。

3 適用事例

3.1 水利実測と解析精度の検討

3.1.1 実測概要

実作業中の送水管路を用いて、計測ならびに水理解析システムの精度の検討を実施した。計測は、石川県水道用水供給事業に供用されている送水管路系統の一部(延長約 28 km)において行った。

Fig. 3 には計測を実施した送水管路の系統図を、また Table 1

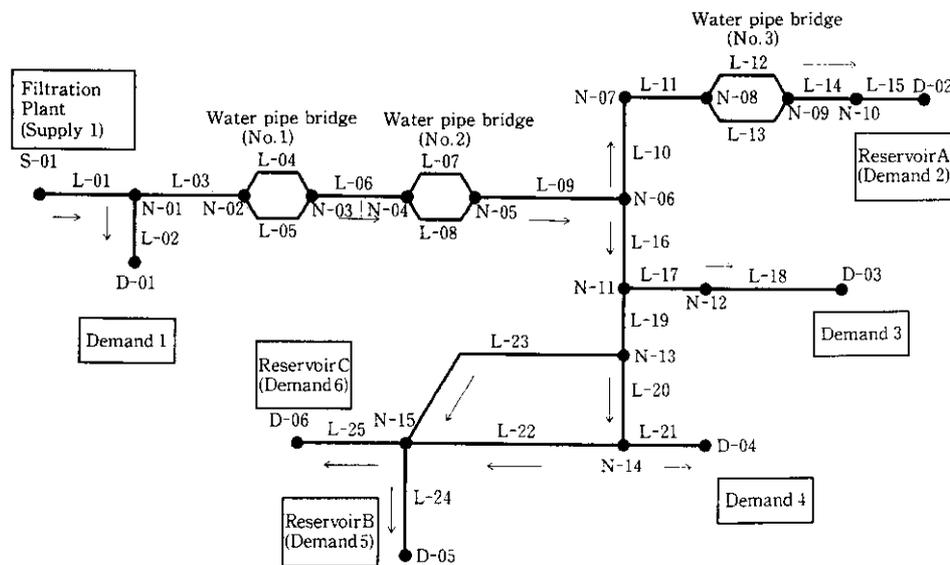


Fig. 3 Network model for simulation

Table 1 Pipeline specifications

No.	Link ID	Dia. (mm)	Length (m)
1	L-01	1 800	1 142
2	L-02	300	217
3	L-03	1 800	829
4	L-04	1 350	274
5	L-05	1 350	274
6	L-06	1 800	264
7	L-07	1 350	286
8	L-08	1 350	286
9	L-09	1 800	4 718
10	L-10	1 350	2 319
11	L-11	1 200	641
12	L-12	700	636
13	L-13	700	636
14	L-14	1 200	783
15	L-15	1 200	2 137
16	L-16	1 600	1 378
17	L-17	350	552
18	L-18	300	654
19	L-19	1 600	2 058
20	L-20	1 350	1 701
21	L-21	300	573
22	L-22	1 350	810
23	L-23	1 000	2 875
24	L-24	1 200	490
25	L-25	1 000	2 315

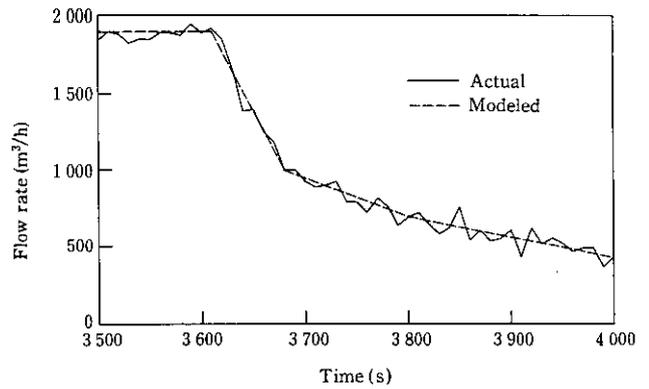


Fig. 4 Boundary condition at the demand 5

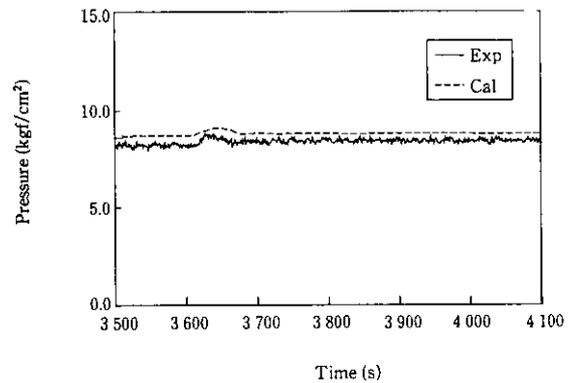


Fig. 5 Comparison of pressure profile at demand 5 between the experimental data and simulated results

には同系統図における管の仕様を示す。同図に示すように、今回計測を実施した系においては、供給点は1箇所であり、これに対して需要点が調整池3箇所を含む6箇所存在する。流送方式は、供給点の水位を一定とした自然流下方式であり、通常は各需要点ごとに当日の需要水量計画に基づいて、流量調整弁による需要水量の制御を行っている。今回の計測においては、Demand 5の需要水量をある一定の初期流量から、あらかじめ計画した流量に増加または減少させる操作を行い、二つの調整池については弁開度を固定した。

また、その他の需要点については、自動制御弁によって需要水量を固定し、Demand 5における需要変動操作を行った場合の各点における流量ならびに圧力変動状況を計測した。供給点ならびに各需要点においては、それぞれ圧力ならびに流量の瞬時値を1秒ごとに計測し、A/D変換を行った後、計算用の境界条件として、もしくは計算値との比較のために用いた。

実験では、送水系の能力を考慮し、全体の流況に影響を及ぼすことが予想される以下の各項目、すなわち、Demand 5における初期定常状態の需要水量、需要量の増減方向、増減量の絶対値、弁操作速度について、これらをパラメトリックに変化させながら、合計16条件についてそれぞれ計測を行った。

Fig. 4は、これらのうち、Demand 5における需要量を約500秒間で1500 m³/h減少させた場合の同点における需要水量の実測値と、これを水理解析用の境界条件として用いるためにモデル化した場合の境界条件データとを、時刻歴で示したものである。

3.1.2 実験と解析結果との比較検討

上記の条件で行った計測結果に対し、水理解析システムを用いてシミュレーションを実施し、両者の比較検討を行った。

Fig. 5には、Fig. 4に示したDemand 5における需要変動時の

同需要点における圧力変動の計測値と計算値との比較を示す。実線で示した計測値に着目すると、Fig. 5に示したように、3620秒から約60秒間の間に行われた流量減少方向の弁操作によって、同点の圧力は一時的に上昇し、時間軸方向には上に凸の圧力変動波形として現れるとともに、振幅を繰り返して次第に減衰していくことがわかる。一方、計算値について見ると、定量的には初期定常状態での計算値も含めて、計測値より約3.5%程度高い値を示しているものの、定性的には圧力変動波の振幅や周期はほぼ計測値と一致しており、実操業ラインを用いて実施した本実験の計測精度から考えると、この結果は十分に計測値を再現しているものと思われる。

初期定常状態から現れる両者の差異についてはいくつかその原因が考えられるが、計測点の一部で既設計測器の流用ができなかったために、超音波流量計を仮設したこと、ならびにこの仮設に際して、施設の制約上十分な助走区間が設けられなかったことが主な原因となって、計算時の境界条件として用いる流量計測値の測定誤差を大きくしたものと考えられる。また、両者の周期差は、境界条件として計測時のノイズを平滑化して与えたためであると思われる。

Fig. 6は、同様に弁操作時における供給点(Supply 1)の供給流量変動の計測値と計算値とを比較したものである。

同点における流量変動計測値に着目すると、Fig. 4に示したDemand 5の流量変動のように単調減少ではなく、絶対値としては減少傾向にあるものの、振動しながら徐々に減衰し定常的な状態に収束する特徴があることがわかる。これは、弁操作を実施した点における需要変動の影響が、弁開度を固定した他の調整池の流量に及び、最終的にこれらの需要水量全体をまかなう同供給点に、これらの影響が連成された形で現れたためであると考えられる。

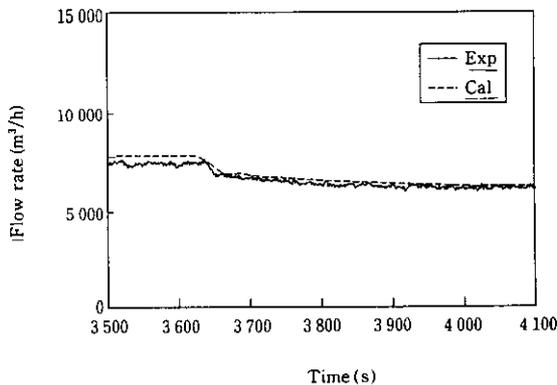


Fig. 6 Comparison of flow rate profile at supply 1 between the experimental data and simulated results

Fig. 6 において、計測値と計算値とを比較すると、上記需要点の圧力値の場合と同様に、定量的には計算値が計測値よりも約 1.9~3.7% 程度高い値を示す結果となっているが、定性的にはほぼ流量計測値を再現しているものと考えられる。この場合についても、上記の場合と同様に、本実験の計測精度を考慮すれば、計測値を十分説明できる結果が得られているものと思われる。

上記の 2 計測点以外の点においても、これらの結果と同様な結果が得られており、総合的には本システムを用いたシミュレーション結果は実用的に十分な精度を有していると判断される。

3.2 水道施設管理のための適用事例

ここでは、実際の業務における運転計画の策定支援や当該送水系の特性把握といった応用面から、本システムを適用した場合の事例について紹介する。

3.2.1 複数需要点における同時需要変動時のシミュレーション

前節において述べた計測実施時の条件は、単独需要点における需要水量の変動操作を行うものであったが、ここではそのほかに、調整池 C (Demand 6) の需要水量を同時変動させた場合、さらに調整池 A (Demand 2) の需要水量を上記と同時に変動させた場合のそれぞれについて検討を行った。Fig. 7 には、調整池 2 点の同時需要変動時における各点の圧力変動計算結果を、また Fig. 8 には、全調整池の同時需要変動における各点の圧力変動計算結果をそれぞれ示す。前者についてみると、前節で述べた単独点の需要変動の場合と反対に、需要変動点における需要量が増加するという条件下での計算であるために、需要変動時に発生する初期圧力変動波の形状が下に凸となっている点、ならびにこれらの振幅がやや大きくなっている点を除けば、前節の計算結果とほぼ同様な傾向が認められる。圧力波が減衰し、流れが準定常的なものとなるまでの所要時間も約 300 秒程度で、単独点の需要変動の場合とほぼ同様である。

一方、Fig. 8 に示した全調整池の同時需要変動の場合には、これらの圧力変動波の減衰率が前者に比較して極めて小さく、需要変動開始以降 400 秒を経過しても収束する様子がみられない。

さらに、これらの変動波の振幅も最大で約 2.5 kgf/cm² とかなり大きなものであり、管路施設に与える影響が懸念される。

このような現象は、実際の運転時には極めて起こりにくいものと考えられるが、本シミュレーションでは、本来このような変動に対するバッファとなるべき調整池の需要水量すべてを強制的に変動させたために、全送水系における流量が大きく振動し、その結果としてこのような圧力変動波が発生したと思われる。

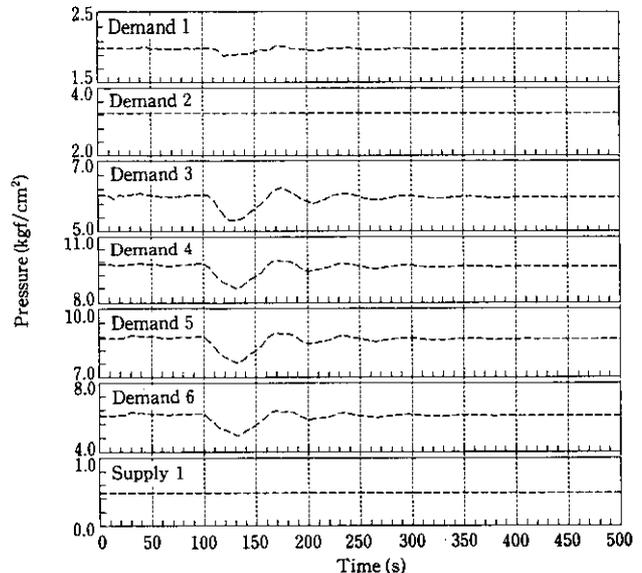


Fig. 7 Simulated results of pressure-time profiles in case of synchronized demand change at the reservoir B and C

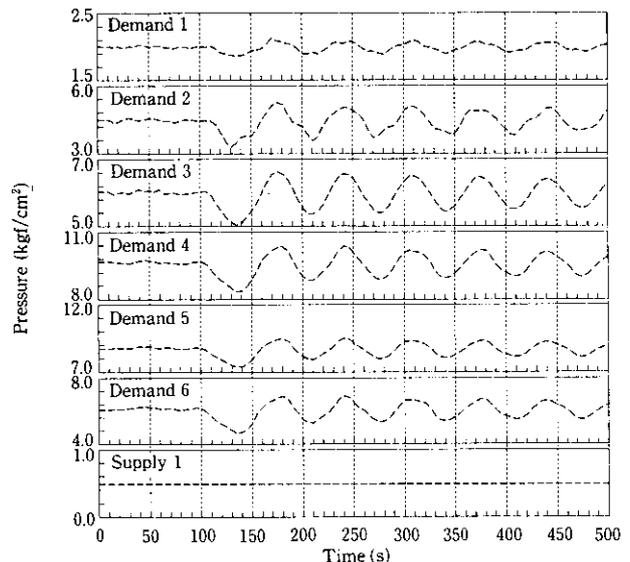


Fig. 8 Simulated results of pressure-time profiles in case of synchronized demand change at the reservoir A, B, and C

いずれにしても、このような同時需要変動運転を実施する場合には、本事例のように管路施設に対して危険な状況を発現させる可能性があることがシミュレーションにより推定されるゆえ、実際の運転計画の策定時にはこれらの結果を参考にすることで、事前に危険な運転操作の防止が図り得ると考えられる。

3.2.2 漏水発生時のシミュレーション

Fig. 9 ならびに 10 は、Fig. 3 に示したモデルにおける L-19 のリンク中間点で、500 m³/h の漏水を仮想的に発生させた場合の各点における圧力ならびに流量変動状況の計算値をそれぞれ示したものである。各点の圧力変動状況に着目すると、仮想漏洩点よりも下流側の点においては、その圧力値が大きな変動を伴いながら初期定常時の圧力よりも大幅に低下するのに対し、上流側では、圧力変動が発生するもののその絶対値自体にはほとんど影響を受けないことがわかる。また、漏水によるこれらの圧力変動開始時刻は、仮想漏洩点

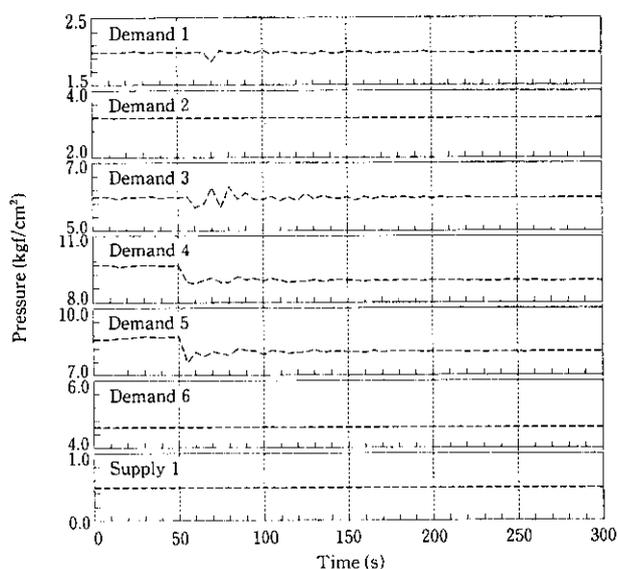


Fig. 9 Simulated results of pressure-time profiles in case of leak occurrence at the middle point of L-19

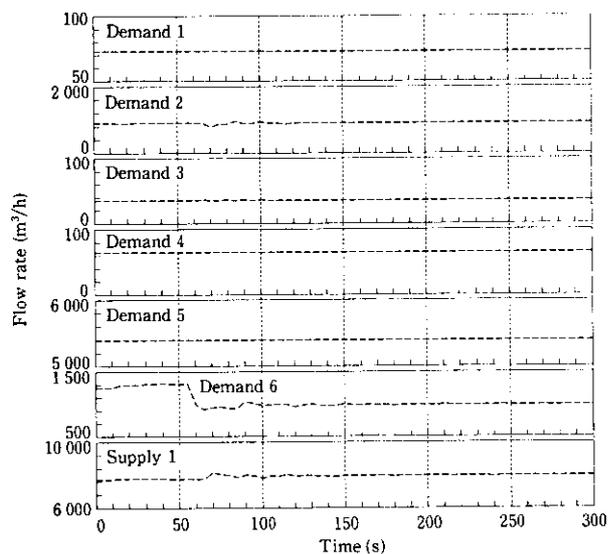


Fig. 10 Simulated results of flow rate-time profiles in case of leak occurrence at the middle point of L-19

からの距離などによってある時間遅れを伴う。

一方、流量についてみると、漏洩点上流側では漏洩発生とともに流量が増加するのに対し、下流側では逆に減少する傾向が認められる。また、流量および圧力ともに、仮想漏洩点を含む系統はそれぞ

れ漏洩による影響を強くうけるのに対し、仮想漏洩点上流側の分岐を挟んだ別系統の点には、漏水の影響がほとんど現れないことがわかる。

本シミュレーション結果から、漏水が発生した場合の各計測点における流量ならびに圧力の変動特性が把握でき、これらは漏水事故の検知や漏水位置の特定を行うための資料とすることができる。

4 結 論

本報告の内容をまとめると以下ようになる。

- (1) 送配水管路を対象とした施設情報管理システムのアプリケーションシステムの一つとして、管網系の定常ならびに非定常解析機能を有する水理解析システムを開発した。
- (2) 本水理解析システムによる計算結果を、実操業中の送水管路を用いた計測結果と比較検討したところ、定性的には両者の間により一致がみられ、また定量的にも、最大約4%弱の誤差範囲で両者は一致した。計測時の誤差を考慮すれば、本システムを用いた計算結果は、実用上十分な精度を有していると考えられる。
- (3) 水道施設管理のための適用事例として、本システムを用いた複数点における同時需要変動時のシミュレーションならびに漏水発生時のシミュレーションを実施し、運転計画の策定や、管路施設の特性・能力把握といった実際の管理業務面における情報支援ツールとしての本システムの有効性を確認した。

したがって、本水理解析システムをコンピュータ・マッピング技術を用いた水道施設の情報管理システムのアプリケーションとして利用することは、その適用業務範囲の拡大ならびに共有情報の高付加価値化という点で、重要な意味を持つものと考えられる。

それゆえ、今後は、本水理解析システムと施設情報管理システムとの間のインターフェイス部分をさらに充実させるとともに、アプリケーションシステムの内容を拡充していくことに努めていきたい。

最後に、送水管路流量変動実験ならびに計測に参加する機会を与えていただいた石川県企業局送水管理事務所に対し、深甚なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 高桑哲夫: 「配水管網の解析と設計」, (1978), 113-127, [森北出版]
- 2) 川田 裕: 「ウォーターハンマー解析と脈動解析」, 配管技術, 31 (1989) 1, 51-62
- 3) E. B. Wylie et al.: "Fluid Transients", (1979), 17-65, [Mc Graw Hill Book Co.]
- 4) (財)日本測量調査技術協会編: 「デジタルマッピング」, (1989), 134-222