

地震防災水運用制御システム

瀬古沢照治¹

¹非会員 工博 (株)日立製作所 システム開発研究所 (〒215-0013 川崎市麻生区王禅寺 1099 番地)

リアルタイム地震防災システムの多くは、直後の物理的被害を予測するに留まり、プロセスから入手できる新しい情報を被害推定・予測に反映させたり、機能的障害を予測するまでには至っていない。供給継続が強く求められる水道については、生き残ったサブシステムでの継続的供給機能への必要性が高い。本稿では、リアルタイム地震防災水運用制御システムの方向性を検討する上で、水道システムの特徴および水事業を取り巻く環境を整理、把握する。それを踏まえ、リアルタイム防災の考え方を示すと共に、災害時でも平常時でも使えるデュアルユースシステムを示す。さらに、インター・イントラネット技術の応用によってどのような可能性があるかを検討し、「水環境 Web システム」を示す。その上で、今後進むべき技術方向として、セキュリティ技術応用についても言及する。

Key Words: *water work, online data, damage estimation, large scale water distribution network, suspension of water supply*

1 はじめに

リアルタイム地震防災システムを考える場合、一次情報である地震動情報に基づいて、被害防止などの対応を迅速に開始することと捉えられている。土木学会地震工学委員会リアルタイム地震防災小委員会においても、地震情報以外の情報共有も含め、時々刻々変化する情報に即座に対応するため、先端情報通信技術を応用したシステムコンセプトを検討・拡張してきた。

委員会のいくつかの議論の中で、従来の研究スタイルの継承としては、一次情報である地震情報を遠隔監視する方向での情報通信技術の利用に重点化させているように思える。また、被害状況把握のシステムとしては、地表面の強震情報把握や、推定式による被害把握(被害箇所抽出)のレベルに留まることが多い。被害があっても機能的に生きているシステムの把握を試みる、いわば機能被害状況把握のシステムが少ないように考えられる。見方を変えれば、従来システムは、情報流通の視点からすると、地震情報に基づいて被災解析、被災防止などは、オープンループ系に留まっているようである。

今後の展開方向として、プラントからのオンラインデータの観測をどのように利用したり、巡視、巡回の被害検知通報をどのように取込むか、あるいは、それら情報を有機的に統合し、エンドユーザやプラント側にも有意義な情報として提供できるかといった、フィードバック系の情報流通の構築が課題であろうと思われる。

このような背景、経緯を受け、本稿では、上下水道運用システムに焦点をあて、次の4つの視点から上下水道運用における今後のリアルタイム地震防災システム

のあり方や技術展望、取り組み方向を明らかにすることを試みる。

まず、上下水道システムの特徴を他のライフラインとの比較において明らかにする。地震災害時でも、機能的に生き残ったサブシステムによる継続的な水供給の使命について示す。網構造の分析を行い、網の冗長性、網構造の扱い方や、筆者が考えるリアルタイム災害水運用について概説する。その基本的な考え方として、プロセス情報を利用する断水予測の機能についての課題と解決方法を整理する。

次に、学術的な面からの検討だけでなく、国際レベル、官公庁レベル、自治体レベルの視点から水環境事業を概観し、その現状の課題認識を行ない、水事業経営の方向性を探る。さらに、飛躍的に進歩した情報技術に対応した高度情報化の考え方を整理する。

3つ目の視点として、水事業の効率経営の課題を念頭に、機器の効率利用と使い勝手の向上を目的とした管路把握システムについて概要を示す。平常時でも緊急時でも使用できるデュアルユースコンセプトに基づいた配水管路網のリアルタイム被害推定システムを示す。

最後に、水環境事業の効率経営に沿って、情報通信先端技術を利用したシステムが今後の最重要な方向性を担っていることを示す。先端情報通信技術であるインター・イントラネットを応用して、地震発生時の危機管理、市民の苦情対応・相談、運用効率化、環境対策など事業応用への期待ができる。ここでは、「水環境 Web」システムの取り組み状況について述べ、今後のセキュリティの課題と展開方法について述べる。

2 水道ライフラインの特徴

近年の地震対策では、供給系ライフラインにおいての共通点として、発災後の緊急措置をいかに行うか、ということが課題となり、迅速な初動や復旧ができるためには、的確かつ臨機応変な意志決定が求められている。この判断にもっとも必要となるのが被害状況の把握である。

水道システムは、日常生活を支える基盤システムとして必要不可欠である。地震発生後には、消防のための消火用水や生命維持のための応急給水、病院など自家発電機器等への冷却水供給の使命も担っている。たとえ災害時に、水道ライフラインに被害があっても機能的にサブシステムが生きている限り、例えば、多少の破断管路による漏水を伴っても、出来る限りの水供給を継続的に行わなければならない。

水道システムは、水を作る浄水場やその周辺の導水系システム、浄水場から配水池への送水系、および、配水池から末端需要者に至る配水系に分かれる。基幹施設である浄水場、配水池、それらを繋ぐ導送水系にも稀に被害が起る。しかし、大部分の被害は、埋設した管路網に生じる。埋設されているゆえに直接管路破断が確認できないところに被害把握の難しさがある。

2.1 他システムとの比較

鉄道システムのユレダスは、即時遮断を基本としたものであり、2次災害を防止する観点から危険回避を最優先にするシステムと考えられる。この意味で、水道システムと比べ、その使命と考え方が少し異なる。もちろん、水道システムにおいても、配水池に感震式の緊急遮断弁を設置しているところもあり、これによって、無駄な漏水を無くし、応急給水のための水確保を行えるようになっている。

電力システムの場合には、電力貯蔵の困難性や系統同一周波数の制約のため、他のライフラインに比べ被害波及性が極めて高い。それを防止するため、線路の接触事故などを局所化する保護リレーシステムが自動的に操作する。これは、全系に波及することを防止し、不具合箇所を選択的に分離することができる。これに比べ、水道システムでは、浄水場で作った水は、配水池にある程度貯蓄される。ただし、一般的な配水池は、浄水場からの水供給が無い場合、4時間～12時間ですべて消費される程度の貯蓄量である。被災時には、貯蓄した水を確保し、系全体から機能的に生きているサブシステムを見つけ出し、生き残ったシステムを使って、限られた水をどのように運用するかが重要になる。水道システムでは、緊急時において、どのように水を運用するかという意味決定が大きな課題となっている。

一方、空間的な設備状況を考えると、ライフラインの

中でも、ガスシステムは2次的に広がる埋設管網を持つという点で水道システムと類似している。被害予測システム SIGNAL⁸⁾は、分布的に配置した地震計群から得たデータおよび、過去の被害統計から分析した地震強度と管路被害率の相関式を用いて、発災直後に管路被害分布を算出する。しかし、ガスシステムの主たる目的が、緊急遮断の意思決定支援にあるため、刻々と変化する状況を把握するという機能は備っていない。

可燃物であるガス供給が、安全確保のための緊急遮断を最重要とするのに対し、水道では供給の継続性がより重視される。従って、水道システムでは、地震直後だけでなく、復旧過程での被害状況も随時把握できることが必要である。さらに、単に物理的な被害だけではなく、機能的な被害である断水状況も把握できるということも、応急的な給水を継続させるには重要である。

2.2 網構造の特徴とプロセス情報利用断水予測

上記の各ライフラインの特徴的要請や課題から、ネットワーク構造を概観すると、電力システムの配線ネットワークやガスシステムの管路ネットワークが木構造に近いのに比べ、水道管路網は、輪の形状が多く網構造が濃くなっている。言い替えれば、電力・ガスシステム網は、緩いネットワークであるのに比べ、水道管路網は、災害が発生しても水を継続的に供給するために、より網の目状の形状構造をしている。この網構造が複雑化した大都市水道システムでは、水運用の管理を非常に難しくしている。最近では、複雑化した管路網を地域・空間的なブロックに分割して水の流れを管理することが進められている。

水道システムの場合、神戸市防災指針をベースにした応急給水策定指針が、多くの水事業体の震災対策計画で採用されている。指針では、震災発生時から3日までが、第一次段階（混乱期）と定義される。この期間の水供給が最も重要視され、水の供給量は、3リットル/人・日である。これは、生命維持のために最小限必要な水量とされる。給水方法としては、浄水場、配水池などで確保した水を、生き残った管網を使った拠点給水や、運搬給水（給水車による給水など）で対処しなければならない。従って、リアルタイム地震防災水道システムにおいて、時間的に最重要期間として、特に、この混乱期がターゲットになる。また、第2次段階は、4日～10日の期間で、20リットル/人・日、調理、洗面、トイレ等の生活に最低必要な水量を設定している。第3次段階以降で、復旧までに必要水量は増加し、その用途も浴用、洗濯など平常時の生活用水になる。

水道システムで応急給水をするための重要な機能として、断水推定・予測機能がある。それに基づいて断水人口を割り出す必要がある。断水推定を行うためには、

管網を単なる構造物ではなくネットワークとして扱う必要がある。即ち管網解析を施さねばならないが、このためには被害箇所や漏水量の詳細な情報が必要であり、地震時にこれらの情報を正確に得るのは非常に困難である。そこで、我々は、流量、圧力といったプロセス情報や平常時などからの変化を積極的に利用し、断水予測方法を備えたりリアルタイム地震防災上水道制御システムを提案している¹⁾。阪神・淡路大震災の時でも概ねテレメータは機能し、かつ有効な判断材料となったと報告されている。プロセス情報を利用するという考え方は、この事実に基づくものである。

3. 上下水道事業を取り巻く社会環境

上記のようにリアルタイム地震防災システムを技術面から他インフラシステムと比較して、防災水道システムを特徴付けした。ここでは、より大局的立場から、水道事業全体が抱えている課題と高度情報化への対応などさまざまな社会ニーズを分析し、今後の進むべき技術の方向性を検討する。

水環境事業は国、地方を問わず重要な公共整備事業として位置付けられ、国の公共投資計画に基づいて、真の豊かさを実感できる国民生活の実現に向けて、着実に進められている。厚生省はフレッシュ水道10年計画、建設省は下水道第8次7年計画など、基本目標を掲げ事業を推進する一方、自治省では、地方公営企業の経営基盤強化に関する通知により、経営効率化を促進している。水環境事業では、上記のような各種施策を基本目標に推進することが前提であるが、一方、水環境を取り巻く社会環境が大きく変化していることを認識していくべきである。

3.1 地球環境保全、国際化

地球温暖化防止京都会議でも、盛り上がりを見せたように特に地球環境防止のため二酸化炭素削減対策が要求されてきた。官公庁は率先して地球環境問題に取り組む環境関連の世界標準規格 ISO14000 の取得に向けて努力すると共に、認証取得企業への優遇措置や省エネルギー税制などの環境保護に関した動きが大きくなっている。さらに、企業ばかりでなく自治体自体にも環境認証取得を促すところが増加している。

国際的に魅力ある事業環境の創出として、WTOの協定による一般競争入札、ISO9000 シリーズ、ISO14000 シリーズ、労働安全衛生、国際標準化規格の公共工事への適用が導入され始めている。また、IEC (国際電気標準会議) 規格との整合を考慮した JIS (日本工業規格) の見直し作業が進んでおり、システム設計でも常にこれら国際標準化動向を念頭において進める必要がある。

欧米でのサービス事業の隆盛に見られるように、わが国でも、従来のハードウェア提供型から、オペレーションノウハウを核とした都市インフラ管理という「サービス提供型事業」が台頭してくるものと考えられる。わが国の水環境にかかわる技術は、需要者の高品質要請に対して、きわめて高いレベルにある。土木、建築、水処理、電機・情報制御技術などは、維持管理、保守などのオペレーションノウハウに至るまで高水準にある。従って、近い将来、単なる施設・機器供給者だけでは、生き残れず、サービス事業の一翼を担うことが出来る情報技術とサービスビジネスノウハウが必要となっている。

3.2 民間活力導入と高度情報化に向けた効率経営

水環境事業者の厳しい財政状況の中で、社会基盤整備では、建設工事コスト縮減、社会基盤維持管理のための運営コスト縮減など、トータルとしての事業経営の効率化を目指す必要がある。一方、単なる建設費・効率化だけでなく、その社会基盤のライフサイクルを考えた、地球環境にも優しい基盤整備の推進も求められている。最近、社会基盤整備に民間資本・民間活力を導入する PFI (Private Finance Initiative) が検討されている。欧米での導入経緯や実績を調査し、官民ともに、適用する事業が PFI 事業として成立するものかどうかを、その収益性だけでなく、社会的な責任も考慮して推進されようとしている。

電子技術の急速な発展により、情報制御・通信技術は大幅に進歩し、我々が扱え得る情報量を飛躍的に増加した。このような高度情報化に対応した水環境事業の情報装備化が急務になってきている。事業投資にみあう事業計画の立案、高品質市民サービス、アカウントビリティ (説明責任) の必要性などと共に、効率化という点での一元管理、広域施設の水環境管理や運用システムの導入、情報化投資の促進が進められている。

このような電機・情報関連のソフトウェア面での重要性が認識されて来たにもかかわらず、従来のコンピュータ利用による水管理・運用は、平常時のみを対象にしたものが殆どであった。経営効率化の観点からも、災害時における情報システムについては、平常時でも使用できるデュアルユースのコンセプトに基づいたシステムが必須になっている。デュアルユースコンセプトは、パフォーマンス向上に加え、普段から機器を使い慣れていなければ、災害時にも上手く使えないという課題にも一つの解を与えるものである。

4. 管路状況管理システム

平常時でも緊急時でも使用出来るデュアルユースコンセプトに基づいた、被災時の配水管網のリアルタイム被害推定システムと平常時における保守作業支援シス

テムについて簡単に示す。震災時には、即時に管路網被災状況を把握し、平常時には、管路保守支援を行えるものである。図1に管網状態把握のデュアルユースシステムを示す。

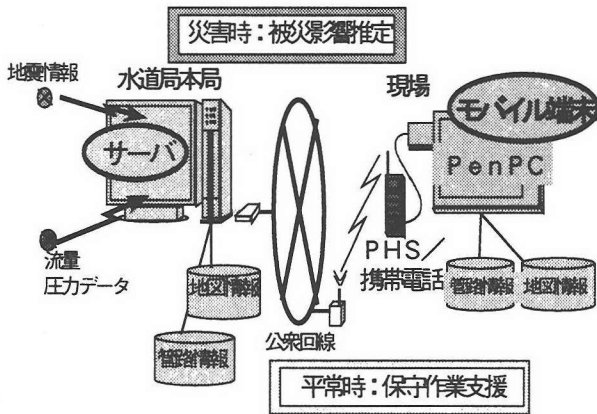


図1 管路把握のデュアルユースシステム

4.1 被災影響推定

緊急時における被災影響推定機能の処理内容を図2に示す。サーバ側では管路被害推定と断水領域推定を行い、モバイル側では被害情報収集を行う。通常の被害推定は、地震データに基づいてメッシュ毎の破断箇所数を出力するもので、オープンループ系の1次推定であり、従来手法はこの部分で留まっていた。我々が開発したシステムの特徴は、オンラインデータや現場情報を反映させリアルタイムで、被害推定などが行えるところにある。漏水量や断水地域、さらには断水人口をも推定することができる。

モバイル端末側の被害の確定情報は、無線通信可能な携帯端末を利用し、管路被害の3次推定に使う。このように、オンラインデータと現場情報を用いて、破断箇所の再推定を行うことで、被災推定精度を大幅に向上させることができる。この研究では、できるだけ災害想定をせずとも、地震発生後に集まってくる被害や復日に関する情報を随時取り入れることにより、常に更新できるような被害予測を行えるようにしている。

水量と水圧というリアルタイムのプロセス情報を利用することによって、把握が困難な漏水を見積もり、断水予測を可能にしている。従来の予測方法は、すべて地震情報のみを用いて行うものであった。

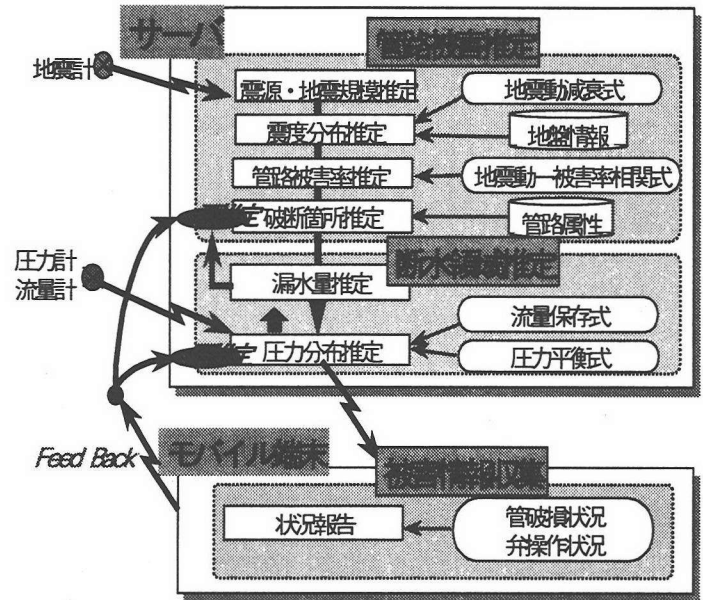


図2 プロセス情報利用の緊急時被災影響推定手法

4.2 保守・工事作業支援

平常時における保守・工事作業支援を考える。保守作業で、例えば減圧による節水や管路工事などのためにバルブ操作を施す必要がある。このバルブ操作は管路内の流れの状態を変化させ、周囲の流量・圧力分布に影響を及ぼす。ここでは、図1のサーバとモバイル端末の装置構成をそのまま利用し、保守作業を支援する。保守作業には、小径管網をも考慮した流量・圧力分布を把握が必須であり、これを本システムでは実現できる。

また、保守あるいは工事作業において、サーバとモバイル端末の相互協力によるシミュレーションにより、バルブ操作の影響がどのようになるかを事前に把握できる。さらに、作業の報告なども容易に行え、地図情報と管路情報を統合したことにより、維持管理業務の正確さ向上と効率向上が可能である。

5 水環境Webシステム

水環境事業の効率経営に沿って、情報通信先端技術を利用したシステムが今後の最重要な方向性を担っている。特にグローバルオープンな情報利用が可能となるインターネット・イントラネット技術を応用したシステムは、利便性、拡張性、情報共有化、緊急対応などに優れた機能をもたらす。つまり、設備管理・環境管理・危機管理など様々な目的での利用（マルチユース）が可能になる。ここでは、インター・イントラネット技術を応用した水環境監視制御システム、特にWebプラント監視と関連する応用システムを示す。また、今後の展開として、基幹制御系に対するセキュリティ対策などについても示す。

5.1 広域Webサービスシステムとしての利点

Webサーバ(またはWWWサーバ)が提供するサービス内容は、WWWブラウザをもつ端末(日常使っているパソコンなど)で受けることができる。サービス内容が変更されても、端末側の改造は不要である。以下の様なサービスはWebシステム導入に向いている。

- (1) サービスの内容が頻繁に変更されるもの
- (2) 多数の人が利用できる(利用したい)もの
- (3) 必要だが、利用頻度の少ないもの

プラント監視の場合、設備・計測器などの増設に伴う監視画面・項目の変更が頻繁である。監視項目や日報・月報、警報などは、プラントの運転だけでなく、設備維持管理・予算提案・設計・環境管理・点検保守など、非常に多くの業務で活用でき、ほとんどの場合、必要な時、利用できれば良い。さらに、発生頻度が少ない緊急事態への備えとしても役にたつ。以上のことから、基幹制御系と情報系との連携によるプラント監視のWeb化は有効な手段となる。広域環境監視には「水環境Web」を利用すれば、効率よく環境管理を行うことができる。

「水環境Web」は、従来基幹制御系で活用されてきたプラントデータを情報系データと融合しながら、様々な業務・用途で有効活用することが主目的である。

ここでは「水環境Web」の応用システムについていくつか述べる。

(1) 気象情報との連携

渇水時の給水制限計画、豪雨時の人員配備計画など上下水事業において、気象情報との連携は欠かせない。気象会社が提供するWWW気象情報サービスをそのまま利用することもできる(ただし、アクセス集中する可能性が高い)が、気象会社からデータ配信を受け、プラントデータなどと組み合わせて、気象情報表示に加え、独自の運用計画立案や警報発令もサポートしている。

(2) 地図との連携

上下水道管網の整備・工事状況、流量・圧力分布、降雨分布、地震被害状況などの把握のために、地図との合成表示ができる。ただし、大多数の利用者は、地図は位置関係を把握するための補助であり、地図はラスターの背景図とし、その上に管網などのベクトルデータを合成している。

(3) 点検保守

広域に分散した施設・設備(無人含む)の点検保守のために、巡回点検したその場でチェックリスト&報告書に記入し、DBに直接アップロードする方法をサポートしている。将来は、巡回せずにリモートで点検し、必要あれば保守に向かうことも可能になる。

(4) 水系解析

主に、設備計画や詳細状況把握を目的として、既開発の管網解析、需要予測、水運用計画、流量解析、地震被害

推定、水質汚濁などのシミュレーション解析サービスが提供できる。

(5) 市民とのコミュニケーション

災害連絡、通報、苦情や相談などコミュニケーション業務の円滑化を目的に、市民に理解しやすい形に加工して、WWWサービスで情報公開・受付を行うことができる。

5.2 セキュア水環境Web

ネットワーク上には、データの盗聴・改ざん、他人へのなりすまし行為、ウイルス、トラフィック妨害など様々な脅威が存在する。そこで、脅威・保護対象など、セキュリティポリシーを明確化し、その対策をたてる必要がある。ここでは、基幹制御系の保護に焦点を絞り、その対策について述べる。

基本ポリシーは、「基幹制御系と情報系とを接続したとき、悪意、または、無意識(誤操作含む)による基幹制御系への不正介入、トラフィック妨害を防ぐ」ことである。この対策の核となるのが、基幹制御系と情報系との接続部分に設置する「プラントファイアウォール(PFW)」である。PFWは、インターネットとイントラネットとの接続部分に設置されるファイアウォール(FW)とは目的・要求仕様が異なる。

(1) プラントデータの大容量高速転送

制御系上のプラントデータを情報系上のDBに一方方向に大容量高速転送できる必要がある。

(2) アクティブコマンドフィルタ

運用モードの変更、目標値の変更、動作確認を伴う遠隔点検、監視カメラの操作などを許可する場合は、操作コマンドレベルのフィルタリング機能が必要である。

(3) 操作権認証/譲渡

コマンド送信を許可する場合、ユーザ認証と操作権認証を行う。ユーザ認証を通過できる利用者でも、コマンド送信アプレットを同時にダウンロードできる(操作権がある)のは1人までである。

(4) 操作コマンドの暗号化

偽のアプレットからの送信を見極めるために、コマンドと操作権を暗号化する。少なくとも端末からPFWに入るまで(情報系ネットワーク上のすべてで)暗号化する。

上記(1)~(4)に加え、PFWでおきていることはすべてログをとり、不正などを発見したときには、警報を発するなどアクセス監視も当然必要になる。

6 まとめ

本稿では、リアルタイム地震防災水運用制御システムの方向性を検討する上で、水道システムの特徴、水事業を取り巻く環境を整理把握した。水道システムにおける

リアルタイム防災の考え方を示すと共に、先端情報通信技術の応用によってどのような可能性があるかを検討した。その上で今後、進むべき有望な技術方向を見極め、次のような結論を得た。

(1) 水道システムは、地震発生後に、消防のための消火用水や生命維持のための応急給水、病院など自家発電機器等への冷却水供給の使命も担っている。たとえ、多少の破断管路による漏水、断水を伴っても、機能的にサブシステムが生きている限り、出来る限りの水供給を継続的に行わなければならない。その意味で緊急遮断を主とする電力システムやガスシステムと異なる。水を確保し、系全体の中から機能的に生きているサブシステムを見つけ出し、生き残ったシステムを使って、限られた水をどのように運用という意味決定が大きな課題となっている。

(2) ネットワーク構造を分析すると、水道システムは、災害が発生しても継続的な水供給するために管路の冗長性が高く、電力・ガス網に比べ、より網の目状の形状構造をしている。断水推定を行うためには、従来のような単なる構造物に被害が有るかどうかどうかという観点では駄目で、機能的システムとして生きているかどうかを観る必要がある。つまり、管網を単なる構造物ではなくネットワークとして扱う必要があり、破断箇所を推定予測するには特殊な管網解析を施さねばならない。

(3) 環境関連の世界標準規格や、WTOの協定による一般競争入札、労働安全衛生、国際標準化規格の公共工事への適用が導入され、システムの研究・開発でも常にこれら国際標準化動向を念頭におく必要がある。

電子技術の急速な発展により、高度情報化に対応した水環境事業の情報装備化が急務になっている。事業投資に見合う事業計画の立案、高品質市民サービスなど効率経営、情報化投資の促進が進められている。経営効率化の観点からも、災害時における情報システムについては、平常時でも使用できるデュアルユースのシステムが必須になっている。

(4) 平常時でも緊急時でも使用出来る情報システムを示した。被災時には配水管網のリアルタイム被害推定システムとして、平常時には保守作業支援システムとして利用できる。被災時において、特殊な管網解析を施さねばならないが、このためには被害箇所や漏水量の詳細な情報が必要であり、地震時にこれらの情報を正確に得るのは非常に困難である。そこで、流量、圧力といったプロセス情報や平常時などからの変化を積極的に利用し、断水予測方法を備えたリアルタイム地震防災上水道制御システムを示した。これは、阪神・淡路大震災の時でも概ね、プロセス情報が利用可能であるという事実に基づくものである。

(5) 水環境事業の効率経営に沿って、情報通信先端技術を利用したシステムが今後の最重要な方向性を担っている。特にインター・イントラネット技術を応用したシステムは、利便性、拡張性、情報共有化、緊急対応などに優れた機能をもたらす。ここでは、Web技術を応用した水環境監視制御システム（水環境Webシステム）について示した。セキュリティ対策は情報系での対策も含め、今後の重要課題の1つである。本稿では、「悪意、または、無意識（誤操作含む）による基幹制御系への不正介入、トラフィック妨害を防ぐ」ことを目的に、セキュリティ対策の核となる“プラントファイアウォール（PFW）”の機能一部を示した。今後、システムの脅威・保護対象など、セキュリティポリシーを明確化し、その対策をたてる必要がある。

参考文献

- 1) 瀬古沢照治：情報通信技術と水路網解析技術を応用した災害時リアルタイム水運用制御システム、第1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集、土木学会地震工学委員会、リアルタイム地震防災小委員会、1999.1
- 2) 栗栖宏充、本間弘一、瀬古沢照治、福原雅之、福島学：プロセス情報を用いた地震時の断水予測法、土木学会論文集 No.640/1-50, pp.61-69, 2000.1
- 3) 早稲田邦夫、嶋内繁行、依田幹雄：高度情報化社会における水環境トータルシステム技術の動向、日立評論 Vo.81, No.4, pp.2-6, 1999.4.
- 4) 古谷雅年、瀬古沢照治、鈴木程久、和田裕：広域ネットワークの安全性を確保したセキュア水環境監視制御システム、日立評論 Vo.81, No.4, pp.11-14, 1999.4.
- 5) 瀬古沢照治、栗栖宏充、三井芳郎、加藤博光：災害時・平時共同のリアルタイム水運用・制御システム、日立評論 Vo.81, No.4, pp.15-18, 1999.4.
- 6) 神戸市水道局：神戸市水道施設耐震化基本計画、1995
- 7) 神戸市水道局：阪神・淡路大震災 水道復旧の記録、pp.121, 1996
- 8) 清水善久：早期地震時被害推定システム-SIGNAL-、計測自動制御学会誌、Vol.36, No.1, pp.41-44, 1997
- 9) 福本恭、栗栖宏充、瀬古沢照治、筒井和雄、國井衛：水需要特性を動的に考慮した管網解析方法、電気学会論文誌、Vol.118-C, No.7/8, pp.1183-1189, 1997
- 10) 福本恭、瀬古沢照治、栗栖宏充、加藤博光：リアルタイム水道保守支援・危機管理システム、第29回安全工学シンポジウム講演予稿集、日本学術会議、pp.155-158. 1999