

□東京ガスのリアルタイム防災システムの 現状と今後の展望

東京ガス株式会社
防災・供給センター副部長 清水善久

東京ガスでは、より高いリアルタイム防災レベルを目指して、現在稼働中の地盤、道路、導管等の GIS (TUMSY) データベースを利用した SIGNAL に加えて1998年1月より約3,100km²の供給エリアにおいて約3,600個の新 SI センサーと地区ガバナ遠隔監視システムを用いた世界一超高密度なリアルタイム防災システム (SUPREME) の整備を開始した。新 SI センサーはマイクロマシンング技術を採用した超小型加速度ピックアップ、CPU、RAM を使用した高機能的かつ安価な地震計で、SI 値・加速度の計測、XYZ 3 軸 6 地震分の加速度波形記録、加速度波形変化認識に基づく液状化検知、SI 値/加速度設定による制御等が可能である。今後このシステムを用いたリアルタイム高精度被害推定や液状化検知、また中小地震波形を用いた地点揺れ易さ分析等を行う予定である。

Keywords : New SI sensor, Real-time, Earthquake monitoring, Damage estimation, Liquefaction judgement, SIGNAL, SUPREME, GIS, TUMSY

1. はじめに

東京ガスは、政治・文化・経済などの機能が高度に集中し、世界有数の過密都市、東京を中心とした首都圏において都市ガスを供給しており、たとえ大地震に見舞われた場合においても安全を確保することは、ガス供給事業者にとっての社会的使命であると認識している。従って、東京ガスにとって、大地震に対する備えはきわめて重要な課題であり、これまで、供給施設に関するハードウェアとしての問題と、緊急対応や復旧の効率化等にかかわるソフトウェアの両面について諸々の対応策を講じてきている。

1995年1月17日阪神・淡路島地区においてマグニチュード 7.2 の直下型地震が発生し、神戸

示すように主として低圧ガス供給施設に被害が発生し、地震災害の脅威を再認識するとともに地震時の低圧供給施設に対する緊急措置システムの重要性が確認された。¹⁾

さらに、この阪神大震災において、大きくクローズアップされた課題は、地震発災直後の被害情報収集が重要にもかかわらず極めて困難であることであった。この課題を克服する対策の一つとして「リアルタイム

表1 阪神大震災におけるガス施設の被害

項目	内容
1. 導管の被害	中圧導管 106件 漏洩 低圧導管 26,459件 漏洩
2. 供給停止件数	約86万件
3. 復旧日数	85日間

地震時被害推定システムの整備」が幾つかの機関で計画または実施されているが、東京ガスでは GIS データベースを利用した SIGNAL 一地震時導管網警報システム²⁾の開発を 1986 年から開始し、阪神大震災の半年前、1994 年 6 月に実用化しているが、今後の防災レベルのより一層の向上を図るため、それに加えて 1998 年 1 月より供給区域約 3,100km² に対して約 3,600 基の地震計(新 SI センサー)を設置しモニタリングする世界一超高密度な新リアルタイム防災システム-SUPREME-の構築を開始した。

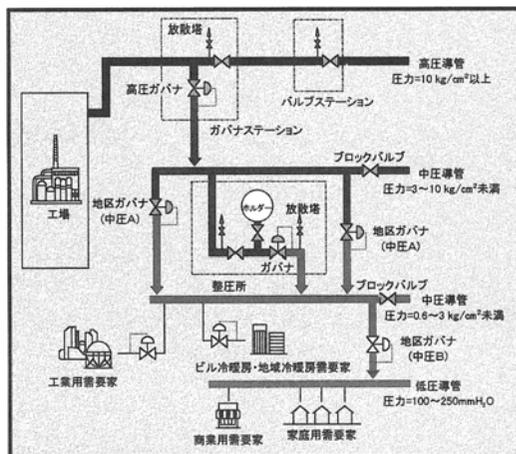


図2 東京ガス供給システムの概要

2. 東京ガスの供給施設の概要と防災対策

東京ガスの供給区域は、図1に示すように1都4県を中心に、3,100km²の広がりを持ち、約850万件の需要家を擁している。

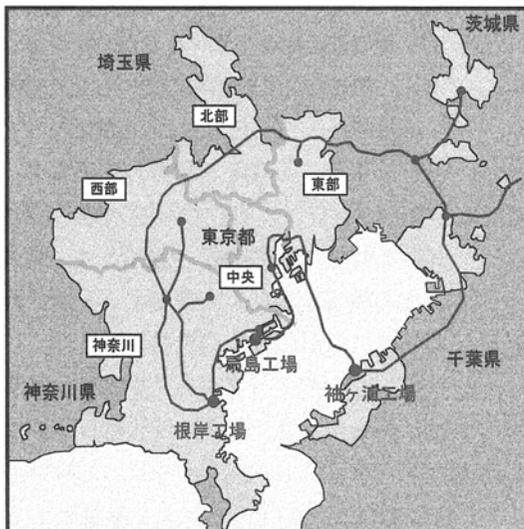


図1 東京ガス(株)の供給エリア(広域支社を除く)

供給方式は図2の如く、高圧、中圧A・Bおよび低圧の4段階の圧力で構成されている。工場から送出されたガスは、ガバナステーション(高圧から中圧へガスを減圧する施設)を介して、中圧ラインに供給される。

発電等大規模工業用需要家や、ビル冷暖房、地域冷暖房需要家などへは、中圧で直接供給するが一般の家庭用や商業用の需要家には、各地域に約3,600基ほど点在する地区ガバナで低圧まで減圧し供給している。

東京湾をはさんだ東の袖ヶ浦、西の根岸・扇島、三つの主要工場を結ぶ延長約500kmの高圧幹線ループライン、供給区域にネットワーク化された中圧A(延長約2,000km)中圧B(延長約3,500km)ラインさらに低圧ネットワーク約40,000km 総計46,000km に及ぶガス導管網によるガスの供給は、総合的にコントロールするTGCS(Total Gas Control System)で管理されている。

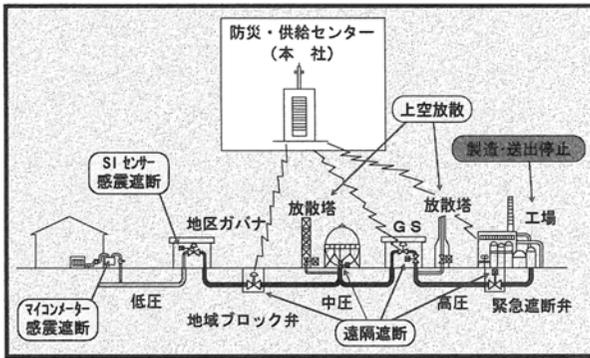


図3 大地震時の緊急遮断システム

東京ガスでは、これら中圧以上の供給施設については高い耐震性を保つよう耐震設計・施工・補強および適切なメンテナンスを実行している。更に万が一の場合に備えて無線で遠隔コントロールできる緊急遮断システムを持っている。(図3参照)

また、大地震時の低圧供給施設に対する緊急遮断システムとして、既に約850万件のお客様全てに200gal程度で感震自動遮断するマイコンメーターを取り付け、メータ下流側における漏洩による二次災害を防止するとともに、3,600個全ての地区ガバナにSI値30カイン程度で感震自動遮断するSI遮断センサーを取り付け、低圧導管における漏洩による二次災害を防止するシステムを完備している。ただし、設置以来10年以上経過した一部のSI遮断センサーの交換部品の確保が困難となったため、今回マイクロマシニング技術を採用した安価・高機能な新SIセンサーを開発し、従来の遮断センサーを更新していくことになった。その機会を利用して、低圧供給施設の緊急遮断システムのレベルを更に向上させるとともにリアルタイム防災技術の一層の向上を図るた

め、これまでの SIGNAL に加えて、新 SI センサーを中心とした新リアルタイム防災システム (SUPREME) を構築することとした。

3. SIGNAL—地震時導管網警報システム—

地震発災時に漏洩対応、保安確保などの初動措置を計画し実行するためには、被害情報が必要であるが、

地震直後の電話回線の輻輳(ふくそう)などにより、ガス漏れなどの被害情報の入手に困難を極めたのが阪神・淡路大震災の現実であった。当社では地震発生と同時に、この地域にどれだけの被害が生じているかを迅速かつ高精度で推定できるシステムが不可欠と考え、1986年より“SIGNAL—地震時導管網警報システム—”を開発し1994年6月より運用している。

このシステムは、供給区域内の331ヶ所のSIセンサーや5ヶ所の地下地震計・20ヶ所の液状化センサーなどから指令センターへ地震時にも信頼性の高い自営無線網で伝送される“リアルタイム地震動モニタリング情報”とGISを利用して予めデータベース化された供給区域内の地盤や導管情報などの“蓄積情報”を統合して、地域ごとの被害を精度よく推定するものである。図4にSIGNALの概要を示す。

SIGNALのデータベースの地盤、需要家、導管の基本データは当社のGISマッピングシステムのものを利用し、東西250m、南北175mのメッシュを単位としてデータベース化している(総計80,000メッシュ)。地震動の大きさは地盤に大きく影響されることから各

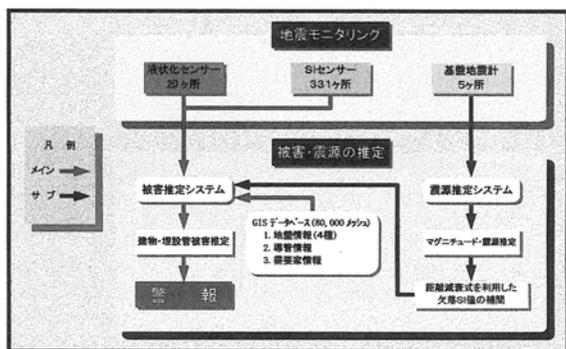


図4 SIGNALの概要

SIセンサーの観測値(計331個)は、センサー近傍の同種の地盤の地震動を代表させるものとし、そのため供給区域全域の地盤ゾーニングを行い、各SIセンサーの分担地域(メッシュ)を定めている。

SIGNALは、地震発生後約10分で被害推定計算を完了するので、地震直後の緊急措置において、被害甚大地区のガス供給停止の判断を短時間に行うことを可能とする。また被害推定データを用いて復旧基本計画を地震後短時間で策定することが可能となり、他社への応援依頼、また資機材の確保等が早期に実行でき、結果的に早期復旧を実現できることとなる。

4. 東京ガスのGIS-TUMSY—

現在、東京をはじめ大都市の地下には都市ガス、上下水道、電気、通信などのライフラインが張り巡らされ、地上には最新テクノロジーを投入した多数の建物や施設が建設されている。それとともに、これら都市に関わる公共事業や企業の活動内容もいっそう複雑に、高度になり、これを的確にサポー

トする都市情報システムへのニーズがますます高まっている。

こうした社会的要請に応じて、最新の地図情報に各種データベースを重ね合わせ、GPSやマルチメディアなど最先端ハードウェアも駆使して、各種ライフライン管理から警察・消防などの緊急対応、さらにはマーケティング分野まで活用を図り、都市に関わる幅広い業務を強力にバックアップするのが、総合都市情報システム

TUMSY(-TotalUtilityMappingSystem-)である。



図5 TUMSYデータベース

たとえば、TUMSYは、地図情報に各種口径、各管種のガス管やバルブ、ガバナ、ガスメータ等の施設情報や地域管理情報などを重ね合わせるにより、都市ガス施設の確実で効率的な施設管理を可能にしている。

また、供給区域全域の地盤ゾーニングを行い、地形により台地と沖積低地の2つに分

類し、更に沖積低地については固有周期別に3つに区分けし、計4通りの地盤分類としデータベース化しており、地震防災・施設保安計画等への利用を実施している。

5. 新 SI センサーの開発

マイクロマシニング技術により超小型加速度ピックアップ(住友精密工業(株)製の採用が可能となり、また高性能小型CPU、RAM等が安価に入手できるようになったことから、低価格で高機能・高精度を実現させた新SIセンサー(図6参照)を(株)山武と共同開発した。

その主な機能を以下に示す。

(1) 制御・計測両機能装備, テレメータ装置対応

制御遮断用に無電圧リレー接点出力, 計

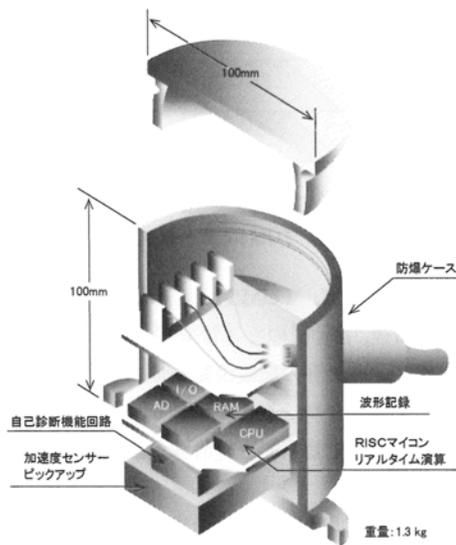


図6 新 SI センサー

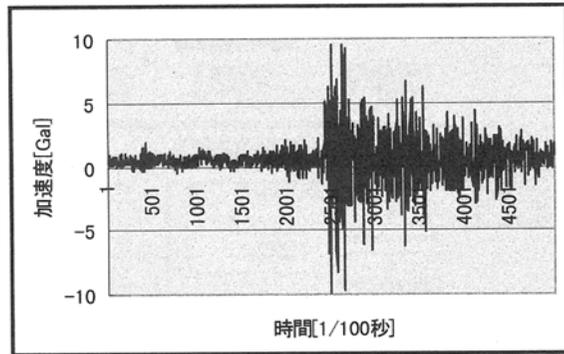


図7 1998.1.14地震データ (港区港南)

測用に SI 値・加速度のアナログ出力, 液状化警報(接点出力)を持つ。このアナログ出力については各種テレメータ装置に対応できるように 4-20mA で出力しており, 非常に汎用性が高い。

なお, 加速度計測範囲は $\pm 2,000\text{gal}$, 計測精度は $\pm 5\%$ 以内であり, かつ設定変更(SI 値/加速度, 任意設定可)が可能な警報出力となっている。

(2) 波形保存機能

各種防災対策・研究に生かせるように波形保存機能を持つ。データは, SI 値の大きい波形(XYZ 軸)から 6 地震分, 年月日時間等のヘッダー情報とともに内部メモリに保存される。記録されるデータのサンプリングタイムは 1/100 秒毎, 分解能は 1/8gal, 波形記録時間は, SI 最大値を中心として ± 25 秒, 計 50 秒間/地震波である。図7に実際に保存された 1998 年 1 月 14 日茨城県南部の地震の加速度波形(港区港南で観測)を示す。

(3) 自己診断機能

動作信頼性を向上させるために常時自己診断機能を持つ。異常が生じた場合にはテレメータ装置に異常出力を行うことによ

り速やかに状況を把握することが可能である。またメンテナンス時には、センサーを設置状況から外すことなく診断ボタンを押下するだけで必要十分な点検を実施できる。

(4) 液状化判定機能

地盤の液状化は、被害を推定する上で非常に重要なデータとなるが、液状化発生を検知するセンサーの設置は、従来は大規模なボーリング工事が必要であった。新 SI センサーは加速度波形の変化から液状化を判定するため非常に簡便に液状化を把握することができる。図 8 に示すように阪神・淡路大震災におけるポートアイランドと神戸海洋気象台の波形を比べると明らかに液状化したポートアイランドの地震波形の周期が長くなっていることがわかる。

新 SI センサーではこの液状化時の地震波形の変化を加速度 A_{max} , SI 値, 推定変位 $D(2SI_2/A_{max})^3$, 推定周期(T)を用いて以下の 4 条件を満たしたときに液状化が発生したと判定している。なお、ここで推定周期(T)とは、新 SI センサーで計測される加速度地震波形がゼロ線を横切る時間間隔(ゼロクロス周期)としている。

- (I) $A_{max} > 100 \text{ gal}$
- (II) SI 値 $> 20 \text{ kine}$
- (III) $D > 10 \text{ cm}$
- (IV) $T > 2 \text{ sec}$

図 9 に過去 70 地震の波形を分析し液状化判定を実施した結果を示す。70 地震の波形のうち液状化の発生した事例は、日本海中部地震(八郎潟), 兵庫県南部地震(尼崎, 神戸港, ポートアイランド, 東神戸大橋), SuperstitionHill(Wildlife), 新潟地震(川岸町)であるが、今回開発した測定法

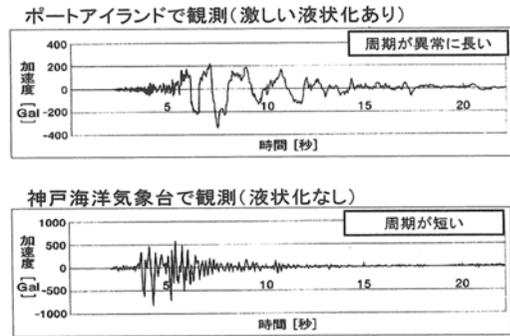


図 8 阪神大震災における地震波形

を用いれば、ほぼ 100%の液状化の判定がリアルタイムで可能である。

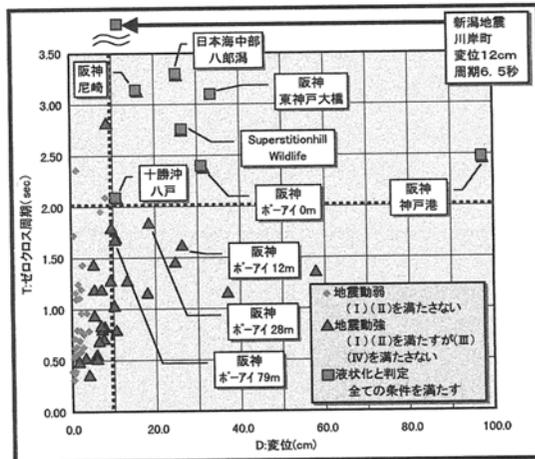


図 9 液状化判定結果

6. 新リアルタイム防災システム (SUPREME) の展開

(1) 新リアルタイム防災システム (SUPREME) の概要

阪神・淡路大震災以降、多くの機関で高密度地震動モニタリングシステムの構築やリ

リアルタイム被害推定システムの整備が実施されている。東京ガス㈱では既に 331 局の地震計を用いたリアルタイム地震動モニタリング/被害推定システム“SIGNAL”(図10参照)を運用しているが、今後の防災レベルのより一層の向上を図るため、それに加えて1998年1月より供給区域、約3,100km²に対して約3,600基の地震計(新SIセンサー)を設置しモニタリングする世界一超高密度な地震防災システム—SuperdenseRealtimeMonitoringofEarthquakes—(SUPREME)の構築を開始した。図11に1997年度に湘南地区に設置した新SIセンサーの配置図および図12に新SIセンサー全数設置後のセンサー配置図を示す。

SUPREMEの構成を図13に示す。現在、東京ガスでは、従来のSI遮断センサーの更新の機会を利用して新SIセンサー、地区ガバナ遠隔監視システム(以下DCXと略す)を約3,600個の地区ガバナに設置中であり、これらの機器と指令センターを通信で結ぶことにより、約3,100km²の供給区域の約3,600点(0.9km²に1個)でのSI値、PGA、圧力、ガ

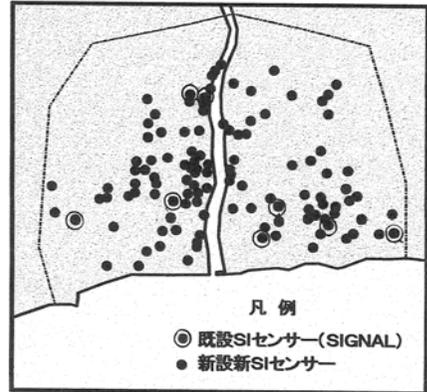


図11 湘南地区における新SIセンサー配置図

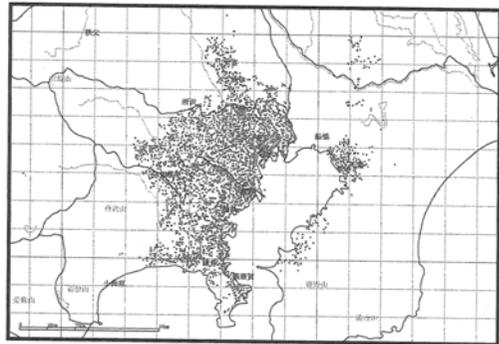


図12 SUPREME/新SIセンサー配置図

バナ遮断、液状化警報状況等の観測および指令センターでの遠隔監視が可能となる。

(2) 地区ガバナ遠隔監視システム(DCX)

DCXは、公衆回線・専用回線・無線等に対応したテレメータ機能、異常状態を判断し発報するアラーム機能、定期データ収集機能および警報データ/定期データ保存機能等のデータロガー機能を具備している。

DCXは、平常時においては地区ガバナのトラブルシューティングまた圧力監視および記録に使用されるため、通信手段はコストを重視して選択する必要があり、全ての地区ガバナには、NTT一般加入回線等の有線通信を利用している。地震時の通信信頼性

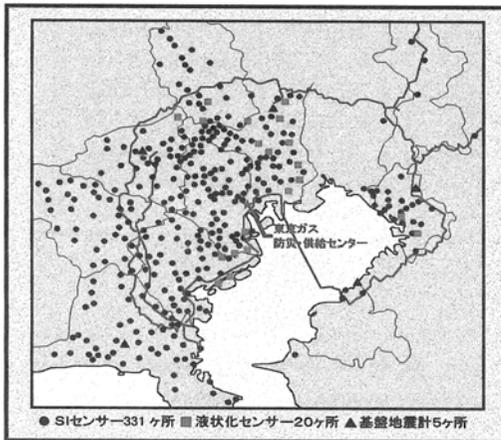


図10 現状の SIGNAL・SIセンサー配置図

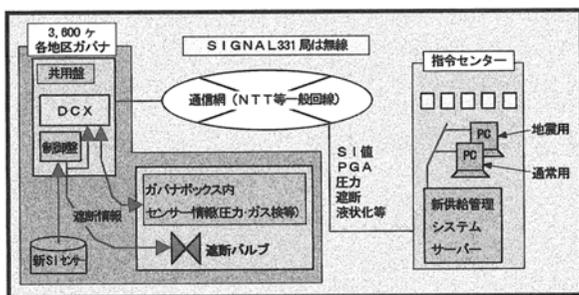


図13 新リアルタイム防災システム (SUPREME) の構成

は地震発生後の短時間のみあると思われるが、その後は輻輳が考えられるため通信困難となることが考えられる。そのため、地震時には地区ガバナでの情報を優先付けして送信するようソフトを開発し発報回数を減らす論理をDCXに組み込む。これにより、阪神大震災クラスの大地震の場合は、強地震動地域にある約80%の地区ガバナの優先情報を30分以内に収集する事が可能と考えている。

(3) SUPREME の活用方法

- ①超高密度に計測される SI 値と供給区域内のガス導管、地盤データ、地形データを取り込んだ GIS を組み合わせることによる高精度被害推定の実施を行う。特に地盤データ、地形データについてはより細かく分類しデータベース化していく。
- ②毎年蓄積される中小地震の地震波形データと GIS データを分析することにより、約 3,600 地点それぞれの揺れやすさを求め、ゾーニングへの反映や個々の地区ガバナ感震自動遮断値の設定の最適化を行う。
- ③大地震発生時に地区ガバナが感震自動遮断するが、指令センターで遮断装置の

作動を確認する事が可能となり、初動措置の迅速・的確さがより一層向上する。

④圧力状況は約 3,600 のポイントで異常を把握することが可能である。地震時の圧力低下は被害の発生を示唆する情報であり、これを利用することによる異常箇所の把握が早期に実施可能となる。

主要設備については、リアルタイム被害推定だけでなく被害把握を迅速に実施するシステムを今後構築していく。

⑤リアルタイム液状化検知が、きめ細かく実行されることから、高精度被害推定・的確な緊急措置実行が実現可能となる。

(4) 今後の展開

①横浜市殿との共同研究

横浜市殿においては 1997 年 5 月より市内 150 個の地震計を用いた「高密度強震計ネットワーク」が実稼働されている。4) このシステムにおいては高精度・高密度な地震計測・波形記録だけでなく地震計設置位置でのボーリングデータ、PS 検層データ等地盤情報が非常に充実しているところに大きな特徴がある。

東京ガスでは、横浜市殿に対して市周辺部の状況把握のため SIGNAL331 局の地震データをリアルタイムで配信してきた。そして今回、新リアルタイム防災システム (SUPREME) の構築のため新 SI センサーの設置を開始しているが、横浜市内では今後約 650 基の新 SI センサーの超高密度設置が計画されている。しかし残念ながら新 SI センサー設置点での

地盤データが乏しいのが実状である。そこで今後横浜市殿と連携し、互いのデータを交換し、より高いレベルでの研究をより優れたデータベースを基に行うことで意見が一致し、その成果を共有化することとした。

②地震記録の公開

東京ガスの SIGNAL は、1994 年 6 月より実稼働し、これまで数多くの地震動を検知している。主要な事例としては、東京湾を震源とした 1998 年 8 月 29 日の東京湾地震があげられ、その際に SIGNAL により観測された最大 SI 値は 12 カイン、最大加速度は 138gal であった。その SI 値及び加速度分布を図 14 に示す。

なお、これら SIGNAL 地震観測網のうち主要 31 局のデータについて NHK 等マスコミ、東京都等行政機関に無線等で送信してきたが、1996 年 9 月よりその他多くの機関の即時災害対応・研究促進に資するため、震度 3 相当以上の地震が発生した際は、発生後極めて短時間のうちにイ

ンターネットを通じて 331 個の地震データを公開している。(表 2)

また、リアルタイム地震防災を積極的に推進されている行政機関とは、データおよび研究成果の共有化を進めており、その一環として 1998 年より横浜市殿に 331 局のデータをリアルタイムで送信している。

さて、今後展開される新リアルタイム防災システム(SUPREME)において 3,600 点で中小地震波形(3 軸, 最大 6 地震分)が記録される。この地震波形については、データ量が膨大なためリアルタイムに収集していない。

しかし、これらを例えば年 1 回 CD-ROM 等に保存し今後公開していく計画である。

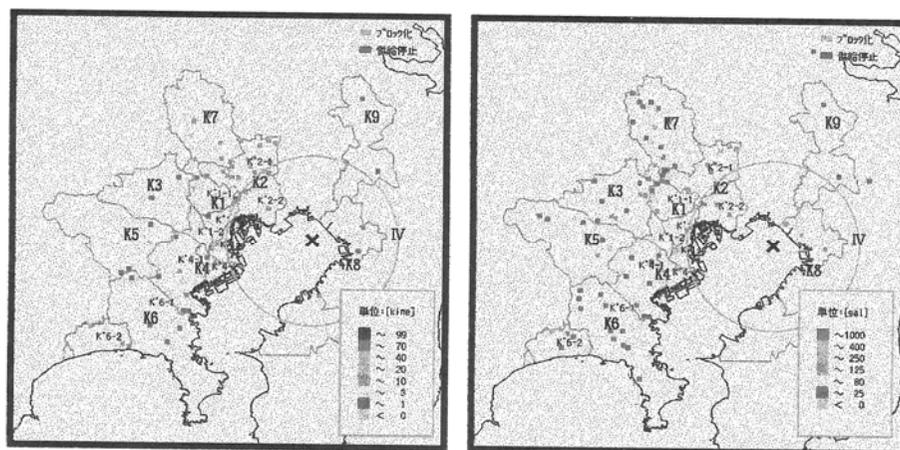


図14 1998.8.29東京湾地震における SI 値・加速度分布

表2 SIGNAL 地震データインターネット公開

<p>■目的</p> <ul style="list-style-type: none"> ●地震情報の共有化による防災研究の推進 ●初動措置への活用 <p>■公開データ (供給区域内震度3以上の地震)</p> <ul style="list-style-type: none"> ●地震名, 発生時刻, 震源 ●SI 値, 最大加速度 <p>■URL</p> <p>http://www.tokyo-gas.jp 東京ガスホームページの下に設けている。</p>

7. まとめ

阪神大震災以降, リアルタイム地震防災が脚光をあびており, 多くの機関でリアルタイム地震動モニタリング及び被害推定システムが設置または計画中である。東京ガスの SIGNAL はその先駆者であるが, その先見性が高く評価され, (社)土木学会より「平成 8 年度土木学会技術開発賞」を授与された。

それに加えて 1998 年 1 月より, 東京ガスではより高い防災レベルを目指して約 3,600 個の新 SI センサーと地区ガバナ遠隔監視システム (DCX) を用いた“新リアルタイム防災システム (SUPREME)”の整備を開始した。

今後は, SUPREME および SIGNAL や他機関のシステムで得られた地震データや地盤データが共有化され, 多くの研究機関が防災研究を推進し, 研究成果を共有化していくことが望まれる。

- 1) ガス地震対策検討会: ガス地震対策検討会報告書, 1997
- 2) 清水善久: 早期地震時被害推定システム—SIGNAL—, 計測と制御, Vol. 36, pp. 41-44, 1997
- 3) I. TOWHATA, J. K. PARK, R. P. OREN
SEandH. KANO: USE OF SPECTRUM
INTENSITY FOR IMMEDIATE DETECT
ION OF SUBSOIL LIQUEFACTION
- 4) 阿部進, 鈴木誠, 青木隆浩: 横浜市高密度強震計ネットワークを活用した取り組み, 地域安全学会調査報告成果 No. 8 1998. 11