

# 緊急地震速報受信システムの開発と 地震センサSES60の活用の研究

Development of a system that can receive early emergency earthquake signals and research of the application of the earthquake sensor SES60

株式会社 山武

古川 洋之

Hiroyuki Furukawa

株式会社 山武

大浦 肇

Hajime Ooura

株式会社 山武

前田 智康

Maeda Tomoyasu

## キーワード

地震、緊急地震速報、予測震度、P波、S波、主要動、加速度計測、2段階制御

地震の主要動(大きな揺れ)が到達する前に避難警報が出せる緊急地震速報の受信システムの開発を行い山武の湘工場と伊勢原工場\* 藤沢テクノセンターへの導入が完了した。

開発したシステムの説明並びに緊急地震速報と山武製地震センサSES60との組合せによる新しい機能の研究を行ったで結果を報告する。

We have developed a system that can receive early emergency earthquake alarms and produce evacuation signals prior to the first attack of a principal shock (larger earthquake), and we have completed introductions of the system into Yamatake's Shonan Plant, Isehara Plant, and Fujisawa Technical Center.

This report contains an explanation of the developed system as well as the result of our research on the new function that was attained with a combination of early emergency earthquake alarms and Yamatake's earthquake sensor SES60.

## 1. はじめに

気象庁の緊急地震速報が2007年10月1日からテレビ等を通じて一般でも配信され話題となっている。弊社では一般への配信に先駆け特定企業向けの配信を使用して2006年9月よりBCP(Business Continuity Plan:事業継続計画)の一環として災害時のBCPを実現するために緊急地震速報の受信システム(以下速報受信システム)の開発を行い湘南工場(06年9月)伊勢原工場(07年1月)藤沢テクノセンター(07年9月)に導入している。速報受信システムを開発するにあたり既に5500台以上の販売実績があるインテリジェント地震センサSES60(以下SES60)と組合せたシステム付加機能の検討を行った。緊急地震速報から演算される予測震度情報の特長とSES60の計測震度相当値<sup>1)</sup>の特長を活かした新しい機能を実現している。

\*伊勢原工場は、2019年6月をもって湘南工場に統合いたしました。

## 2 緊急地震速報による予測震度演算

### 2.1 気象庁の緊急地震速報データ

気象庁と防災科学研究所が設置しリアルタイム観測を行っている高感度地震観測網の観測点が日本国内に約800点ある。これらの観測点の3点以上で同一の地震由来の地震波を観測すると震央位置 震源の深さ 地震の発生時刻 マグニチュード 規模 を特定できる。防災科学研究所が開発した新しい震源決定システムは従来手法では数十秒かかっていた震源決定を数秒以内に解決できるようにした。

地震波にはP波とS波がありP波の伝播速度は約6Km/秒、S波は約3.5km/秒である。被害をもたらすのは主要動とも呼ばれるS波である。P波が観測点に届いた時点で即座に震源を決定すればP波とS波の伝播速度の差を利用してS波が到達する前にS波の到達を予測できる。更に震央からの距離が観測点より離れた場所では到達までの猶予時間は長くなる。これが緊急地震速報の原理であり配信されるデータは震央 深さ、

地震時刻、マグニチュードの推定値とその他付帯データである。気象庁には緊急地震速報のセンターシステムが設置され、観測点とは高速のネットワークで接続されている。気象庁と緊急地震速報の利用者は専用のネットワークやインターネットなどで結ばれ、緊急地震速報が配信される。また、二次配信業者を利用することにより気象庁より安価に緊急地震速報データを受信受信することも可能である。

緊急地震速報の限界は以下が挙げられる。

震源に近い地震では速報が到達する前に主要動が到達して間にあわない。

落雷などによる機器故障により誤報を出す可能性がある。

大規模地震では断層破壊が長時間に及ぶため、震源決定に誤差が出る。

## 2.2 山武の予測震度演算

気象庁配信の緊急地震速報データから予測震度演算を求めるために、山武では内閣府発行「地震被害想定マニュアル」に準拠した方法を採用している。すなわち、司・翠川の最大速度距離減衰式(1999)により緊急地震速報の震央位置、震源の深さ、マグニチュードの推定値とユーザの位置情報からユーザ位置での基準地盤(S波速度600m/sの硬質基盤)の最大速度の予測値が得られる。この結果に国土数値情報から得た、ユーザ位置近傍の地盤増幅度を乗じて、ユーザ位置の地表での最大速度を求める。地表における最大速度と計測震度の関係式(翠川・藤本・村松 1999)によりユーザ位置の予測震度を求める。

ユーザ位置から震央までの距離と震源の深さより気象庁走時表(TJMA2001)を用いて、主要動到達の予測時刻を求めることができる。予測到達時刻から現時刻を減算することにより、主要動の到達猶予時刻の予測値を求めることができる。

緊急地震速報と同様に予測震度演算にも以下の限界が挙げられる。

震源に近い地震では予測震度演算が主要動到達に間にあわない。

予測震度に誤報、誤差が含まれる可能性がある。

予測到達時刻に誤差が生じる可能性がある。

図1に緊急地震速報と予測演算の流れを示す。

## 3 速報受信システム

速報受信システムは図2の構成図に示す様に以下の4つの

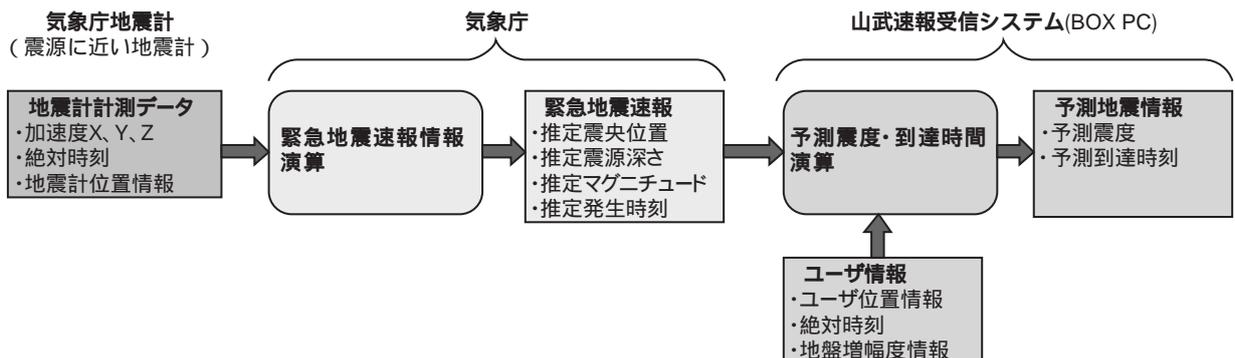


図1 緊急地震速報と予測震度演算フロー

機器で構成されている。

緊急地震速報受信盤(以下速報受信盤)

主な機能:緊急地震速報受信、予測震度・到達時間の演算・表示、リレーBOXの制御、SES60のモニタ

地震センサSES60

主な機能:主要動の計測(計測震度相当値・SI値・加速度の計測)、液状化検知、感震出力(リレー接点)

リレーBOX

主な機能:警報機材の制御

警報機材・避難誘導制御機器

主な機能:フラッシュライト(光)シグナルホーン(音)放送設備(自動放送)、自動ドアの開放、エレベータの停止&開放等

## 3.1 速報受信盤(予測震度演算・制御)

速報受信盤の内部機器構成を図3に示す。速報受信盤には緊急地震速報を用いた予測震度演算・制御機能とSES60の計測震度相当値のモニタ機能の2つの機能がある。

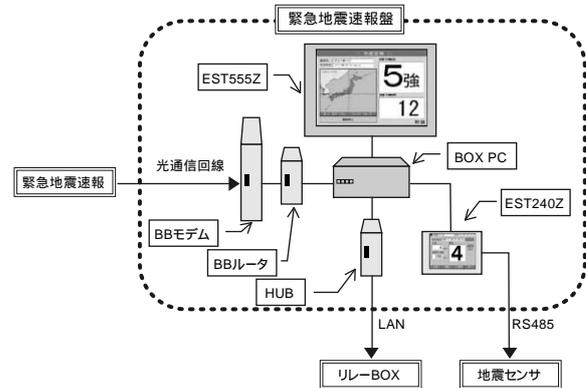


図3 緊急地震速報受信盤 機器構成

### 3.1.1 速報受信盤(予測震度演算・制御機能)

速報受信盤の予測震度演算・制御に関する機能を以下に示す。

緊急地震速報の受信

光通信回線を使って緊急地震速報を受信するためBBモデム(ブロードバンドモデム)を使用している。また、外部からの不明なポート接続の保護のためBBルータ(ブロードバンドルータ)を使用している。

予測震度演算

2 2項で説明した予測震度演算はボックスコンピュータ(以下BOX PC)で行っておりOS(Operating System)はLinuxを採用し安定した動作となっている。

受信した緊急地震速報のログの管理および正確な時刻の維持のための内部時計の校正も併せて行っている。

擬似的に緊急地震速報を受信した状態を作り出し、速報受信システムを用いた避難訓練の実施やシステムの動作の確認が可能である。

**地震予測情報表示**

緊急地震速報受信時の受信データの表示としては山武製大型プログラマブル表示器EST555Zを使用し、緊急地震速報受信時に地震予測情報(震源の位置、予測震度、地震の到達猶予時間)を表示する。震源の位置情報は地図上に表示を行う。図4に予測震度表示画面と遷移図を示す。

到達猶予時間は主要動到達までの残り時間のカウントダウン表示を行い、到達時には地震発生を示すピクトグラム表示となる。

また、緊急地震速報の受信履歴および通信の異常発生を表示し、緊急地震速報の受信に対する通信状態を確認できる。更にパスワードを入力によりBOX PCを訓練動作へ切り替えることが可能である。

**リレーBOXの制御**

BOX PCで演算した予測震度の値が設定しきい値以上となった場合にHUBを使用しLAN(Local Area Network)経由で離れた建物に設置した複数台のリレーBOXを制御することが可能である。

リレーBOXはUDP/IP(User Datagram Protocol/Internet Protocol)でON/OFFに相当するコマンドを送信するだけの単純な制御である。UDPを選択した理由はコネ

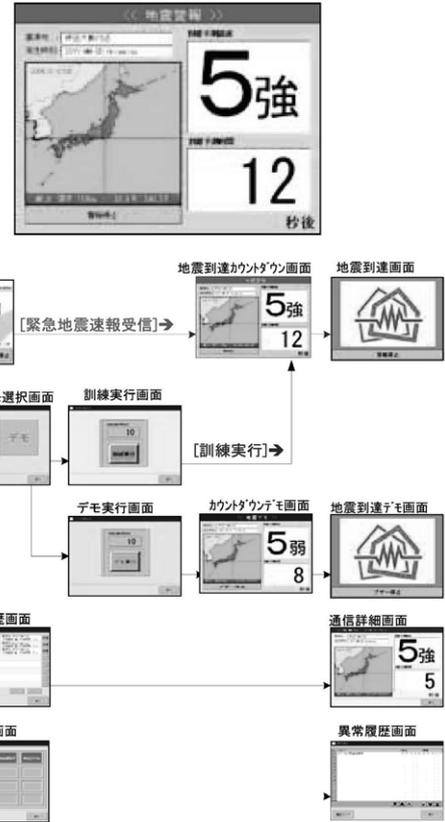


図4 予測震度表示画面と遷移図

クションのオーバーヘッドによる遅延を短縮するためである。

**オプション機能**

EST555ZをLAN上に配置して、コンソールのEST555Zと同様の表示を行うことができる。遠隔設置して複数箇所での

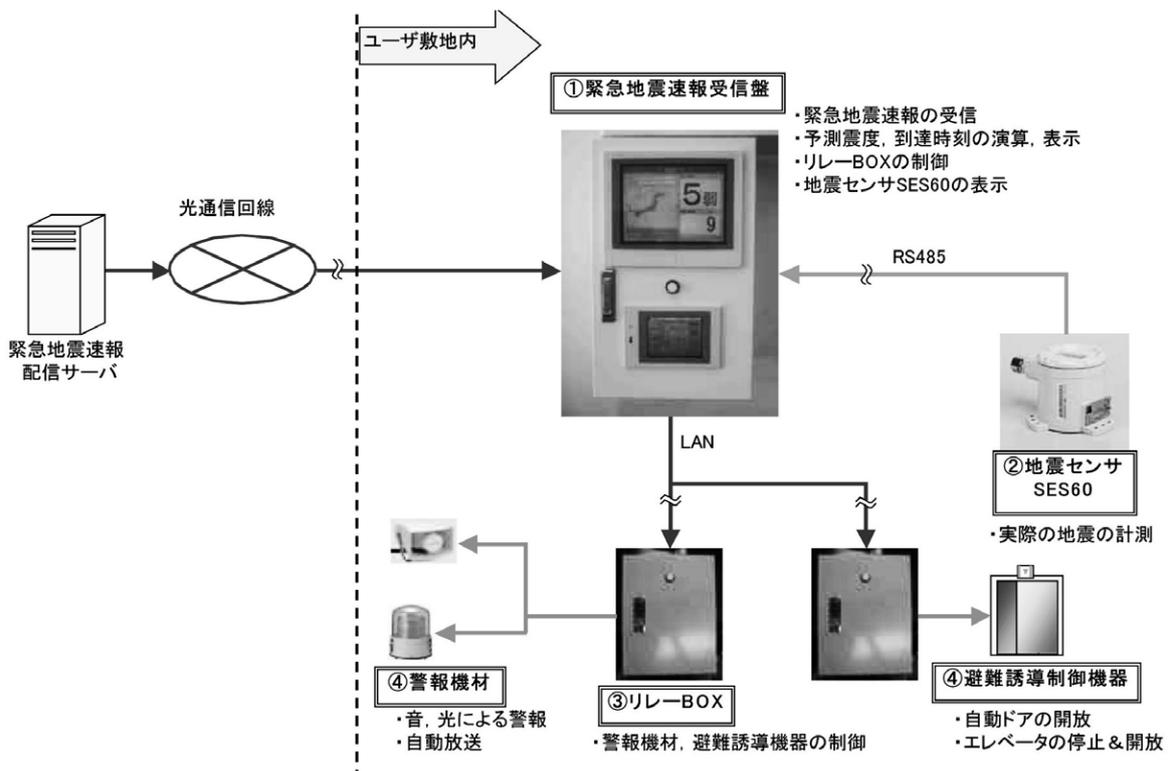


図2 緊急地震速報受信システム構成

震予測情報を表示する要求に対応できる。

また Windows PC上で動作するメッセンジャーソフトにも地震予測情報を配信することができる。

### 3.1.2 速報受信盤(SES60モニタ機能)

敷地内に設置したSES60は山武製中型プログラマブル表示器EST240Zを使用して以下の表示並びに操作が可能である。図5に画面イメージを示す。

SES60が計測した地震データ(発生時刻 計測震度相当値、SI値 最大加速度)を表示し地震発生時にはポップアップ画面にて地震の発生を通知する。

SES60の機器異常に対する異常発生状態の表示が可能である。

SES60が計測した地震データ(発生時刻 SI値 合成加速度の最大値 計測震度相当値 液状化の有無 エラー情報)を最大20回分記録し履歴表示が可能である。

SES60に記録されている地震波形データ(最大10波)をX軸/Y軸/Z軸の波形グラフとして表示できる。



図5 EST240Z 表示画面例

### 3.2 地震センサSES60

数百メートル観測する場所が異なると地盤の状態が異なり、地震の被害も変わると言われていることから 気象庁等の震度情報と実際の被害状況が異なる可能性がある。従って 地震発生直後の被害状況を正確に推定するためにはユーザ敷地内に地震計を設置する必要がある。また 可能であれば計測対象



図6 SES60

象となる構造物の近くに設置することが望ましい。

敷地内に設置したSES60によりポイントでの正確な地震観測が可能である。SES60の仕様を表1に示す。SES60を設置する際には 正確な計測を有するため 建物とは別基礎に設置することが望ましい。図6にSES60の写真を示し 図7.8にSES60の設置イメージの図と写真を記す。

表1 SES60仕様

項目	内容
加速度測定レンジ	±2000Gal(x,y,z軸)
測定分解能	1Gal(DC加速度計測にて)
計測加速度周波数(-3dB)	DC-30Hz
加速度サンプリング	10ms
定格電圧	DC12V±10%/DC24V±10%
消費電力	5W以下(4~20mA出力含む)、400mA以下
感震出力	リレー1a
液状化出力	NPNオープンコレクタ
事故障出力	NPNオープンコレクタ
警報障出力	NPNオープンコレクタ
4-20mA出力	2ch、カレントソース S軸、合成加速度、計測震度相当値より選択
診断入力	フォトカプラ入力カレントソース
RS-485通信	3線式、19200bps
波形記録	120s×10波形(10msサンプリング)
精度保証温度	周囲温度:0~+50℃(ただし、凍結しないこと)
使用温度	周囲温度:-10~+60℃(ただし、凍結しないこと)
防塵規格	Exd II BT4(耐圧防塵構造)
防水・防じん性	IP67(水中1m、30min) JIS C0920 防護形(金属製ケーブル配管部は除く)
質量	1.8kg
付属品	耐圧パッキンセット ケーブルグランドセット 六角レンチ 電池:(寿命通電時10年以上、非通電時6ヶ月 20℃にて)
別売品	パソコンローダ(SLP-SE6)

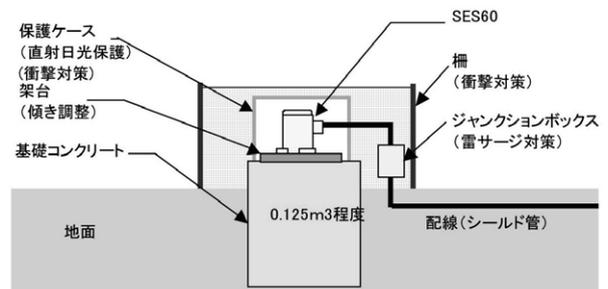


図7 SES60設置イメージ



図8 SES60設置写真

### 3.3 リレーBOX

LAN経由で速報受信盤のBOX PCと接続され5接点のリレーを制御することが可能である。接点を使用して警報機材や避難誘導機器のON/OFF制御が可能である。

接点出力は無電圧接点タイプとAC100Vを接点で供給する2つのタイプがある。

また設置場所までの電源配線が長くなることを考慮してリレーBOXの電源は雷サージ対策が取られている。

AC100V接点供給タイプの場合、接続機器の不適合を考慮して漏電ブレーカを追加している。ブレーカは緊急制御停止メンテナンス時の電源OFF/ON用のスイッチとしても利用できる。盤の扉中央のランプにて扉を閉めた状態でも給電状態の確認が可能である。

### 3.4 警報機材・避難誘導制御機器

リレーBOXの接続機器の実施例を示す。

#### 警報機材

大きな地震が来ることを知らせる手段としてシグナルホーンの音による警報とフラッシュライトの光による警報を採用している。

騒音が大きい作業場所や耳の不自由な社員が働く環境にはフラッシュライトを設置している。フラッシュライト設置場所の選定の際には光が柱の影等で見えなくなる可能性があり認識し易い色の選定も含めて設置現場での確認作業が必要である。

シグナルホーンによる警報音は広範囲に知らせることが可能である。設置場所の選定の際は周りの音の反響等を考慮し、警報音の種類も含めて確認が必要である。

音の一種として自動放送により警報音と地震に備えるメッセージを流している。但し放送設備によっては接点入力後の起動までのタイムラグが数秒かかり使用できない場合もある。またシグナルホーンと兼用する場合は音の干渉を確認する必要がある。

弊社の湘南工場、伊勢原工場、藤沢テクノセンターでは各々の設置環境に合わせて有効な警報機材の選定を行っている。

#### 避難誘導制御機器

リレーBOXの接点信号を使って自動ドアを開放し、避難時のドア周辺の混雑対策を行っている。

また地震の際のエレベータへの閉じ込めを無くすためにエレベータに既に備わっているP波検知信号にリレーBOXの接点信号をOR接続し、緊急地震速報の予測震度演算結果によりエレベータを最寄りの階に停止しドアを開放する制御を起動している。

## 4 SES60の計測と緊急地震速報の予測震度の活用

緊急地震速報による予測震度情報とSES60の計測震度相当値を組合せた速報受信システムの研究を行っている。

### 4.1 予測震度情報と計測震度情報の比較

緊急地震速報から演算した予測震度と地震計の計測震度情報の特徴を表2に示す。予測震度は主要動到達前に震度の予測が可能であるが誤差が生じる可能性がある。地震計の

計測震度は主要動を直接計測するためユーザの設置された地点の震度を正確に計測することが可能であるが、主要動到達前の事前警報は不可能である。山武の速報受信システムでは緊急地震速報による予測震度とSES60の計測震度相当値を組合せ上記欠点を補うものとなっている。

表2 予測震度情報と計測震度情報の特徴比較

地震情報	地震検知タイミング	精度
予測震度	主要動到達前に検知が可能である (但し、震源からの距離が近い場合は間に合わない場合がある)	震度階で数段階異なることがある
地震計計測震度	主要動到達後に検知が可能である	正確に計測が可能である

### 4.2 予測震度情報の精度と動作の確認

一般に警報発報の設定しきい値を超える大きな被害を及ぼす地震の発生頻度は低い。従って緊急地震速報を用いた単独システムの動作の確認並びに予測震度情報の精度の確認を行う機会は少ない。その対策として、1年間で数回発生する中小規模地震発生時に予測震度情報とSES60での実際の計測結果を比較することにより、予測震度の精度を確認することが可能である。

実施例として弊社湘南工場で07年7月16日に観測した中越沖地震の観測結果は、予測震度が震度2でありSES60の計測震度相当値は2.1(震度階では小数点以下四捨五入のため震度2となる)であった。この結果より、一例ではあるが今回の地震においては予測震度の精度に問題がないことが確認できた。このときのSES60で計測した中越沖地震の加速度波形データ(図9)を用いて地震動の解析が可能である。

#### 【動作 精度の確認方法】

1年間に数回発生する中小規模の地震の観測結果を用いて以下の確認が可能である。

測震度あるいはSES60の計測震度相当値の一方が地震を検知した後、他方が1分以上地震を検知しない場合は異

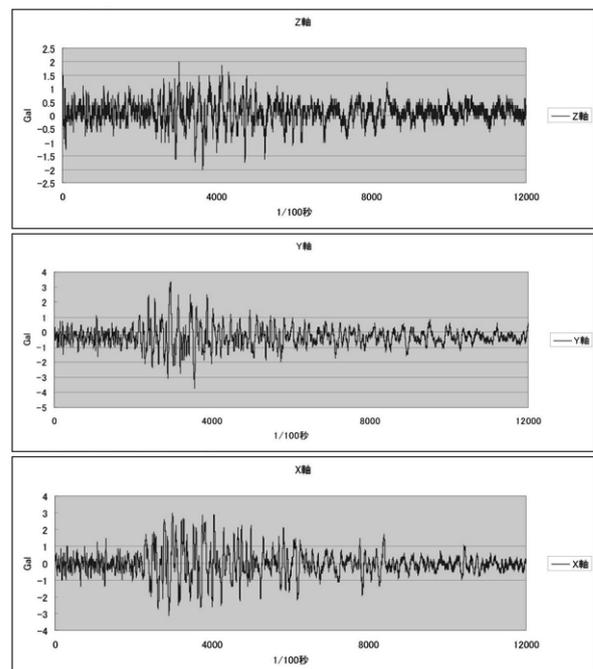


図9 SES60波形記録(07年7月16日 山武湘南工場)

常警報を発報しシステムの自動診断が可能である。

予測震度情報とSES60の計測震度相当値の履歴はBOX PC内のメモリに保存されており、震度と到達時間の比較を行うことにより計測精度の確認が可能である。

SES60で計測した加速度波形はBOX PC内のメモリに保存されており、パソコンで読み出し最大加速度、周波数解析等の地震動の解析が可能である。

#### 4.3 被害状況の把握

実際に大きな被害が起こった場合の初動を決めるためには、正しい被害状況を把握することが必要である。しかしながら被災直後においては人が見て被害状況を判断することは困難であることが想定され客観的な判定基準が必要である。予測震度情報は精度に課題があることから正確な情報を得るためにはSES60を使用して現地での主要動を計測した震度情報が有効である。

SES60により計測された震度情報は例えば本社から離れた場所にある各工場の被害状況を本社にて人的作業を介さずに把握することも可能であり復旧支援の計画を立てる際に有効である。

##### 【SES60を使用した被害推定システムのメリット】

客観的、定量的な正確な被害推定が可能である

被害推定情報の自動収集が可能である(インフラ正常稼働条件にて)

但し被災後はインフラ等に障害が生じ情報を確認できないことが考えられることから主要動到達前の予測震度情報も有効な活用が期待される。予測震度は緊急地震速報とユーザ情報から求めることができる。従って本社に設置した速報受信システムに各工場のユーザ情報を入力することで各工場の予測震度を求めることが可能である。

#### 4.4 制御への活用

緊急地震速報から得られる予測震度を用いた制御は精度に課題があるため誤動作を想定した制御対象の選択が必要である。従って主に弊社実施例のように警報や避難誘導用途に使用されることが多い。

しかし他の制御への活用が期待されており検討を行った結果、予測震度とSES60の計測震度相当値を組合せた2段階で制御を行うことにより実用可能なアプリケーションがあるので紹介する。一般的な計測震度演算は演算結果が得られるまで数秒必要であるが、SES60の計測震度相当値演算はSI値と加速度値を基に演算した相関値であるため10msの応答が得られ制御に適している。予測震度情報が設定しきい値を超えた場合に1<sup>st</sup> step制御を行う。但し1<sup>st</sup> step制御は予測震度より実際の震度が小さく被害が大きくなる場合があり大きな損害に繋がらない状態までの制御を行うものとする。その後SES60の計測震度相当値がしきい値を超えた場合に2<sup>nd</sup> step制御を実行する。SES60の情報はユーザ敷地内計測された正確な震度情報であり最終停止までの制御を実施することが可能である。2段階制御は主要動到達前に1<sup>st</sup> step制御が実行可能であり、最終段の制御を実行するために数秒から十数秒の時間を有するアプリケーションにはより有効である。

2段階制御の例としてはパスワード入力等のセキュリティが

掛かっている制御対象の場合に1<sup>st</sup> stepでセキュリティを自動解除し2<sup>nd</sup> stepで速やかに制御を行うことが可能である。但し、予測震度の誤差により1<sup>st</sup> stepが実行され一定時間2<sup>nd</sup> stepが実行されない場合は自動でセキュリティを有効とする必要がある。

或いは1<sup>st</sup> stepでデータサーバ等のハードディスクへのアクセスを中断し2<sup>nd</sup> stepで電源の停止を行うことが可能である。予測震度の誤差により1<sup>st</sup> stepが実行されても2<sup>nd</sup> stepを実効していないため正常動作への復旧に要する時間も短縮できる。

## 5 おわりに

今後は山武の速報受信システムより求めた予測震度とSES60の震度情報の履歴を解析し、予測震度情報の演算結果に一定のドリフトが確認された観測点に関しては地盤増幅度等の演算パラメータの補正を行うアルゴリズムの考案を行い、予測震度の精度の向上を検討する予定である。

また主要動到達前の加速度情報であるP波情報を制御判定情報に追加し、主要動到達前の制御への活用を検討している。

遭ってはならないことではあるが万が一被害が甚大な地震が発生した際に今回開発した速報受信システムが人命を救うことに貢献し、更にはBCPIに活用できることを望む。

\*1:地震動の計測指標であるSI値と加速度値から気象庁アルゴリズムによる計測震度に置き換えた値。

#### 参考文献

- (1) Fumio Yamazaki, Kazi R. Karim: Correlation of JMA instrumental seismic intensity with strong motion parameters, Earthquake Engng Struct. Dyn. 2002; 31:1191-1212
- (2) 翠川 藤本 村松(1999年): 計測震度と旧気象庁震度および地震動強さの指標との関係 地域安全学会論文集 51-56
- (3) 司 翠川(1999年): 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式 日本建築学会構造系論文報告集[523] 63-70
- (4) 株式会社山武(2004年4月): 「インテリジェント地震センサSES60」 No.CP-PC-1430(カタログ)
- (5) 古川 田久保 築田 市田 清水 小金丸 中山(1999年): インテリジェント地震センサの開発 『Savemation Review』VOL.17, 株式会社山武 p2-11
- (6) 古川(2007年): 工業技術社「計装」11月号2007.Vol.50 No.11,123-124

#### 商標

SES ESTは株式会社山武の登録商標である。

**著者所属**

古川 洋之	アドバンスオートメーションカンパニー プロダクト開発部 ハードウエア2グループ
大浦 肇	アドバンスオートメーションカンパニー CPマーケティング部技術支援グループ
前田 智康	アドバンスオートメーションカンパニー CPマーケティング部技術支援グループ