

# 建物観測のためのインターネット 活用型低コスト地震計の開発

小出栄治 —\*1 福和伸夫 —\*2 正木和明 —\*3  
原 徹夫 —\*4 太田賢治 —\*5 糸魚川貢一 —\*6

キーワード：  
地震計、低コスト、計測震度、多点観測、インターネット

Keywords：  
SEISMOGRAPH, LOW-COST, SEISMIC INTENSITY,  
MULTI OBSERVATION, INTERNET

## 1. はじめに

建物の合理的な耐震設計を行うには、建物に作用する地震動の性質や、建物の応答性状、建物と地盤との動的相互作用効果などを、強震観測記録に基づいて明らかにすることが基本となる<sup>1)</sup>。兵庫県南部地震以降、複数の機関で、地盤の強震観測網が急速に整備され、地震動の性質についての理解は深まった。しかし、建物の強震観測は未整備のままであり、建物の性能について未解明な部分も多く、建物の強震観測の必要性に関わる提言も作られている<sup>2~3)</sup>。地盤の強震観測についても、建物が多数存在し、地盤構造の変化の著しい都市部の地盤観測密度は、未だ十分とはいえない。また、自治体が整備している震度計も、地震発生時の初動体制を早期に立ち上げるには、より高密度の震度観測ネットワークが必要であり、現状の1市町村1地点程度の観測密度では、不十分である。

強震観測を充実させる上での最大の障害は、コストの問題であり、第2の障害は、維持管理の問題である。第1のコストの問題については、各所で、廉価型の地震計の開発が行われている<sup>4~6)</sup>。筆者らも、自動車のエアバッグ作動用に利用されていたセンサー技術に着目し、低価格で、かつ、建築物にとって重要な振動数・振幅範囲で十分な性能を有する地震計の試作を進めてきた<sup>7)</sup>。**コストの目標値としては、一般の気象庁検定地震計の価格に対して1桁下げることを目指した。**最初の試作品は、水平2方向の揺れを計測できる大量生産可能な半導体センサーで、地震計には表示部が無く、外部出力はシリアル出力のみであった。その後、この試作品を基に内部で改良を重ね、試作改良品を作成した。この試作改良品を多数の強震観測研究者に無償提供し、試用してもらって仕様に関する意見を聴取

# DEVELOPMENT OF LOW-COST SEISMOGRAPH FOR BUILDING RESPONSE THROUGH INTERNET

Eiji KOIDE —\*1 Nobuo FUKUWA —\*2 Kazuaki MASAKI —\*3  
Tetuo HARA —\*4 Kenji OHTA —\*5 Kouichi ITOIGAWA —\*6

We have developed a new low price and real time seismograph which can be used for the construction of a high density strong motion network for the building and/or ground vibration monitoring. It has the function of outputting JMA Intensity, SI value, maximum acceleration through LAN or RS232 in real time and at the end of event. It has also the level trigger contact function for the early warning. We will continue development for the application of this seismograph for the construction of various, high density strong motion networks.

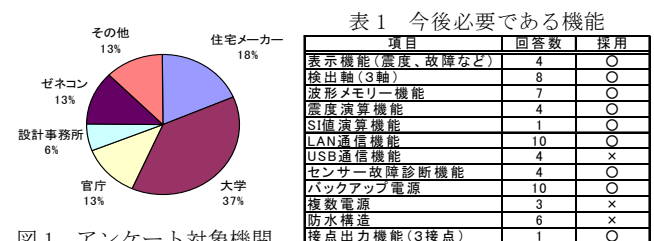
した。その結果、上下動も含む3方向成分が計測可能で、簡易な表示部と、LAN接続機能を有するべきとの指摘を多く頂いた。そこで、これらの仕様を満足する地震計にすべく改良を重ね、本報で報告する地震計に進化した。**最終的にこの地震計は、LAN接続、RS232C接続、3軸センサー、波形収録、震度計算、リアルタイム震度送出、震度表示、接点出力の機能を全て標準装備するものとなった。**既往の低コスト地震計ではこのレベルの地震計は存在しない。この地震計では、LAN接続を可能とすることで、維持管理も容易となり、強震観測の充実を妨げている2つの障害を克服することができたと考えている。

本報では、本地震計の概要を示すと共に、その性能と応用事例を報告する。

## 2. 地震計の仕様

### (1) 研究者の試用アンケートによる機能改善

試作改良した地震計を大学や建設会社などの研究者に無償で配布し、性能や機能についてアンケートを行った。図1にアンケート対象機関の分布を、表1に建物観測用の地震計としての要求性能と改



\*1 応用地震計測(株)技術部システム技術課 課長・修士(工学)  
(〒336-0015 さいたま市南区太田窪2-2-19)

\*2 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

\*3 愛知工業大学地域防災研究センター センター長・教授・工博

\*4 応用地震計測(株) 専務取締役・理学

\*5 応用地震計測(株)開発部 部長・工学

\*6 (株)東海理化技術開発センター開発部 次長・工学

\*1 System Eng. Dept., Eng. Div., Oyo Seismic Instrumentation Corp., M. Eng.

\*2 Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, Dr. Eng.

\*3 Disaster Prevention Research Center, Aichi Institute of Technology, Dr. Eng.

\*4 Oyo Seismic Instrumentation Corp., B. Sci.

\*5 Development Div., Oyo Seismic Instrumentation Corp., B. Eng.

\*6 R&D Div., R&D Center, Tokai Rika Co., Ltd., B. Eng.

善の有無を一覧にして示す。表2にアンケート時における試作改良版と、改良後の最新版の仕様を比較して示す。建物観測では、上下動成分を含めた3成分の観測が重要であり、最大加速度が±2000galであることが望まれた。また、プレトリガ時間が5秒では不足で、15秒とすること、総データ収録時間も増加させることが望まれた。

表2 改善仕様の比較

	試作版	最新版
成分	水平2成分	3成分（水平2、上下1）
周波数特性	0.05～20Hz	水平：DC～20Hz 上下：DC～4Hz
最大加速度	±1000gal	水平：±2000gal 上下：±1000gal
分解能	1gal	1.5gal (0.5gal rms/√Hz@10Hz)
耐衝撃性	10G	1000G
AD分解能	16bit相当	
トリガ	2～10gal（任意設定可）	3～999gal（任意設定可）
データ収集時間	160秒×10波形	100秒×56波形 （最大300秒まで連続7'→と識別可能）
プレトリガ時間	5秒	15秒
内部演算	震度 SI値	
刻時	内部クロック（時刻・カレンダー内蔵） 時刻校正コマンドにより外部から補正可能	
インターフェース	RS-232C	RS-232C、LAN
停電時動作時間	30～60秒	乾電池により最大100分
連動機能	あり	
接点出力機能	なし	無電圧接点3ポート 加速度、SI値、震度相当値で設定可
表示器	なし	7セグメント2桁LED トリガ時に計測震度・震度階の最大値表示
電源／消費電力	AC100V／3W以下	AC100V／0.6W
動作温度範囲	-20～60℃	-10～60℃
外形寸法	150×100×65mm	120×170×50mm



写真1  
開発した地震計

(2) 加速度センサー

センサーは半導体センサー（日本航空電子工業製 JA-30SA32-25B）を用いている。図2は加速度センサーの構造を概念的に示したものである。ガラスの質量をシリコンのパネが支えており、ガラス基板上の電極とシリコンの間で静電容量を形成している。矢印方向の加速度が働くと、図上右側のシリコンが押されて電極との間隔が狭くなる一方、左側のシリコンは浮き上がって電極との間隔が広がる。これを静電容量の変化として検出し、水平方向の加速度を算出する仕組みになっている。上下動の加速度は中央のシリコンと中央の電極との静電容量によって検出する。センサーの振動数特性は図3の通りであり、水平動はDC～20Hz、上下動成分はDC～4Hzでフラットな特性を有している。

(3) AD変換

AD変換においては、センサーのノイズレベル(1.5gal)と測定可能な最大値(2000gal)の比であるダイナミックレンジが62dBであることから、実効14ビット(84dB)以上あれば十分である。この性能をできる限り廉価に実現するため、X、Y、Z成分毎に10ビットのADを2個ずつ使って、1倍ゲインと16倍ゲインの記録をとり、このデ

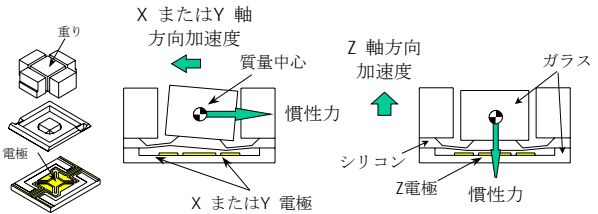
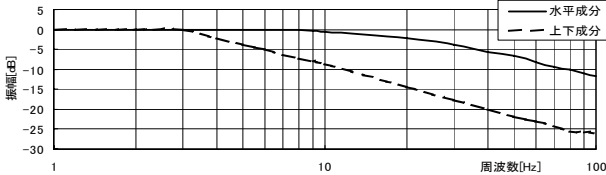
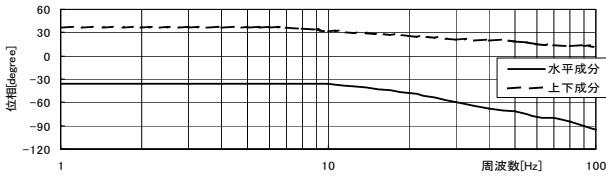


図2 半導体センサーの原理 注1)



(a) 振幅特性



(b) 位相特性

図3 半導体センサーの振動数特性

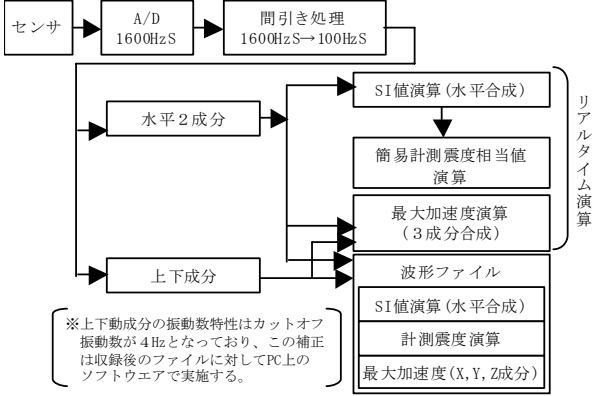


図4 データ処理の流れ

ータを合成することによって、14ビットを実現している。さらに、図4に示すように、一旦1600Hzでサンプリングした上で、AD変換に伴う折り返し雑音を除くためのFIRフィルター（Finite Impulse Response Filter）を通して、最終的に100Hzへのリサンプリングをしている。FIRフィルターとは、重み付き平均処理であり、この処理によって、N個のサンプルから1個のサンプルを作る場合√N倍のSN比向上が実現される。具体的には1600個→100個であり、√16=4のSN比向上が実現されるのである。この処理によって分解能を2bit増やしており実効15bit+符号bitの分解能を実現した。

(4) リアルタイム震度演算

トリガー直後から、記録収録中に各種リアルタイム演算を行うと共に、地震終了後に波形全体に対する震度等の演算を行っている。地震計を用いた早期警報の観点からは、地震を感知してトリガーが掛かったら、できる限り早期に揺れの状態が通報されるような機能が実現されることが望ましい。地震の揺れの強さを表す量として震度が広く定着している現状を考えると、震度相当の指標をリアルタイムで算出できると都合が良い。このような考えから、計測震度

との相関が良いとされている SI 値 (Spectral Intensity) に着目して、SI 値をリアルタイムに算出して、計測震度の推定値を経験式で求めることにした。

リアルタイム演算では、2.56 秒間隔で 3 成分合成最大加速度、水平合成 SI 値、簡易計測震度相当値の算出処理を実施し、RS232C ポート、又は LAN ポートから、短いテキストの電文を 1 秒間隔で出力している。

演算では、100Hz サンプリング後の波形データに対して、まず SI 値を計算する。SI 値は式 (1) で定義される物理量である。

$$SI = \frac{1}{2.4} \int_{0.1}^{2.5} Sv dT (h=0.2) \quad \dots\dots (1)$$

SI 値の算出に当たり、限られた CPU (Central Processing Unit) 資源を有効に活用しつつ、計算精度とリアルタイム性を同時に満足するために、256 サンプル毎に水平 2 成分の加速度から各々速度応答値を演算し、そのベクトル合成値を基に SI 値を算出することにした (以下リアルタイム換算 SI 値と称する)。コンピュータシミュレーションにより、各種の振動数で正弦波入力した時の、波形全区間に対する計測震度と、リアルタイム換算 SI 値との関係を求めた結果を図 5 に示す。この図からわかるように、リアルタイム換算 SI 値と全波形計測震度の関係には振動数依存性がある。

計測震度は加速度に対して 1Hz~10Hz の帯域に  $1/\sqrt{f}$  のフィルターを作用させているが、SI 値は平均的な速度応答値であるので加速度値に  $1/f$  のフィルターを作用させていることに相当する。このことから、SI 値から算出した震度に対して、 $\sqrt{f}$  倍するような補正を行う必要がある。

図 6 は振動数と震度補正值の関係である。縦軸の震度補正值は、図 5 の中央に位置する 2.5Hz の近似直線の SI=1 における切片と、勾配を 2.5Hz の近似直線と同じとして求めた各振動数の近似直線での SI=1 における切片との差から求めてプロットした。回帰直線を求めて得た補正関数の勾配はおよそ 0.65 であり、低振動数側で補正值がより低くなる傾向が認められる。

以上に基きリアルタイム SI 値と全波形計測震度の関係式を式 (2) のように振動数に依存した補正関数を含む形とした。

$$I = 2.0583 \times \text{Log}(SI) + 2.5957 + I_c(f) \quad \dots\dots (2)$$

ここで、補正関数の振動数  $f$  には、SI 値計算において求める速度応答スペクトルのピークの振動数を利用している。これは厳密性を欠くが、広く普及を図ることを主眼に廉価な地震計の開発を行ったため、リアルタイム演算中に FFT による卓越振動数計算の CPU 資源を節約するための処置である。

## (5) 地震終了後の震度演算およびファイル収録

地震波形収録終了後、波形ファイルを内部メモリに格納すると共に波形全体に対する震度等の演算をし、波形ファイルのヘッダーに記録している。

計測震度は、通常、FFT (Fast Fourier Transform) と IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) を用いて図 7 に示すような 1Hz をピークとする振動数フィルターを通して求められるが、CPU への負荷が少なく済む時間領域の FIR フィルターを用いて求めている。FIR フィルターは重み付き移動平均処理を行うもので、図 8(a)、(b) の 2 種類のフィルター関数を実波形にコンボリューションするものであ

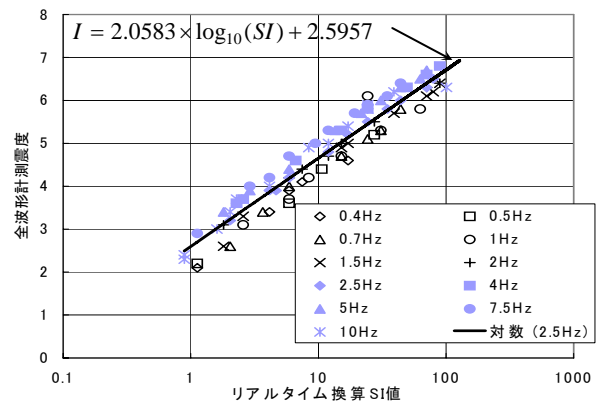


図 5 リアルタイム換算 SI 値と全波形計測震度の関係

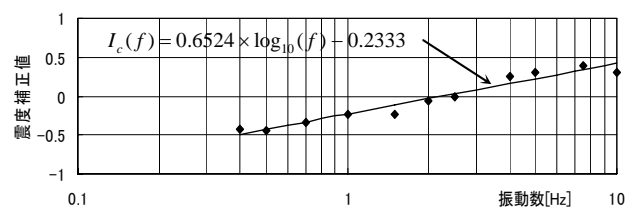


図 6 振動数と震度補正值の関係

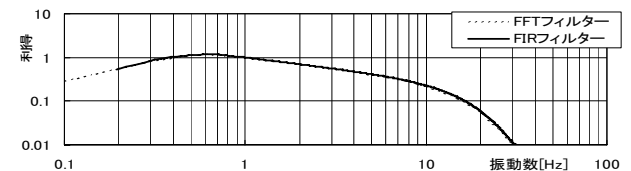
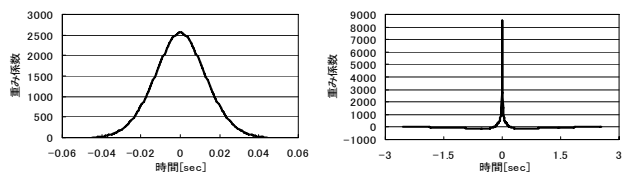


図 7 震度フィルター



(a) ローパスフィルター

(b) ハイパスフィルター

図 8 FIR フィルターのフィルター関数

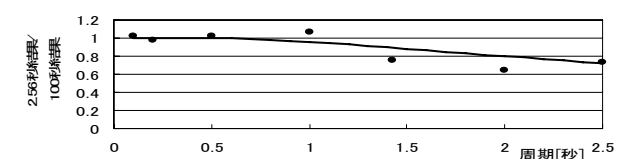


図 9 リアルタイム換算 SI 値と 100 秒間の SI 値の比

る。2 種類の FIR フィルターの振動数特性を図 7 に重ね書くと、両者は殆ど一致する。

SI 値は、100 秒区間で 2.56 秒毎に計算されるリアルタイム換算 SI 値 39 個の最大値として記録している。図 9 に、振動台上で地震計を正弦波加振した場合に地震計から出力されるリアルタイム換算 SI 値と 100 秒間の波形から演算した SI 値の比を示す。また、正弦波入力に対する過渡応答波形の理論包絡曲線に、減衰定数  $h=20\%$  の条件で入力周期が 0.1~2.5 秒に変化させた時の  $t=2.56$  秒と  $t=100$  秒の応答値の比を示すと調和的である。この結果からヘッダーの SI 値は、周期 1.2 秒以上において低下することに留意する必要がある。この点は、専用の通信・収集ソフトウェア上で波形全体に対する SI

値を計算し直す機能によって対応している。

この他、ヘッダーにはX, Y, Z成分毎の最大加速度を記録している。

波形ファイルは 1 ファイル、100 秒間と固定長としており、100 秒の最後 15 秒間でトリガーレベルを超えておれば、連続地震として、次の 100 秒間のデータを取得して別ファイルとして保存するが、トリガー時刻は最初のトリガー時刻と同じとしてヘッダーに書かれており、後で連続地震と判定できる仕組みとなっている。連続地震は最大 300 秒で、それ以上揺れが続く場合、別のイベントとして扱う。

なお、100 秒毎の波形ファイルのヘッダーに書き込まれている計測震度、SI 値、最大加速度等の地震指標データは、その 100 秒間の最大値である。

(6) 連動機能・接点機能

建物・住宅への普及を念頭においているため、地震計には連動機能をつけている。これにより、建物の複数箇所にセンサーを配置して、低コストでの同時観測が実現できるようにした。

また、工場などでの装置の遮断や警報などにも利用することを目標に、接点機能もつけている。無電圧接点を 3 ポート用意しており、リアルタイム演算値である簡易計測震度相当値、最大加速度、リアルタイム換算 SI 値のいずれかの設定レベルによって接点を一定時間閉じることができるようになっている。

(7) 通信機能・パラメータ設定機能

高密度ネットワークを構築する上で通信機能は極めて重要である。この地震計は RS232C ポートと LAN ポートを有しており、PC から各種設定やデータの取得ができる。クロックも外部コマンドにより時刻校正可能である。RS232C ポートに外付けのモデムを付加すれば各種電話回線を利用してデータを伝送することができる。LAN ポートを使って社内 LAN に接続すれば、社内 LAN を通じて地震計にアクセスすることもできる。

3. 波形データの検証

(1) 振動台上での試験

本地震計の精度検定のために、開発した地震計と、気象庁検定品（応用地質製 K-net02）とを並べて振動台上に設置し、3 軸別々の正弦波の組み合わせで計 20 回加振した。加振レベルは、震度 3～7、振動数 0.5Hz～30Hz、加速度 3～2000gal である。

計測震度や SI 値の検証については、波形データのヘッダーの値と検定品の同一時間の波形に対して数値演算した結果とを比較した。

図 10 に示すように、開発した地震計と気象庁検定品の計測震度は、傾きが 1%未満で、相関係数 0.9982、誤差±0.1 の範囲に納まった。最大加速度は傾きが 2%程度で、相関係数 0.9997 で、SI 値は傾きが 1%程度で、相関係数 0.9773 であり、低コストな地震計としては十分な性能を有している。

(2) 実地震の観測結果

2005 年 7 月から 8 月にさいたま市において、今回開発した地震計と従来型地震計（Kinematics 製 ETNA）を併設して地震観測を実施していたところ、表 3 に示すような実地震記録を観測できた。

図 11 に 7/28 の茨城県南部で発生した地震時の時刻歴波形を示す。

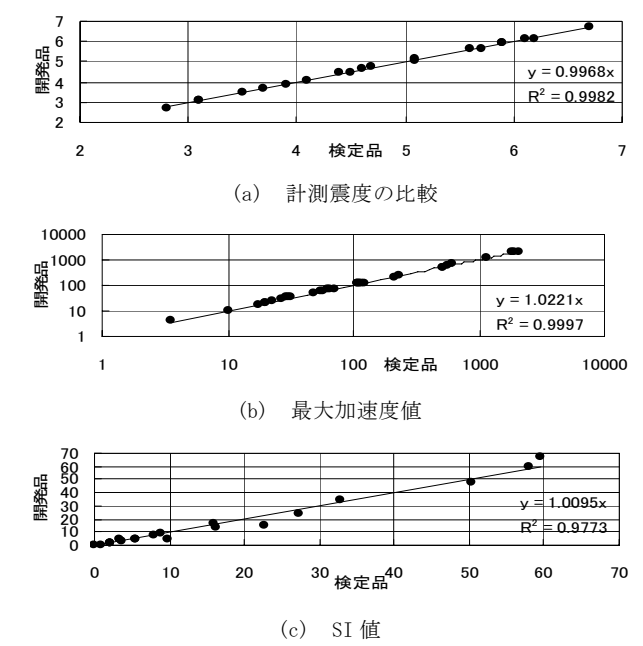
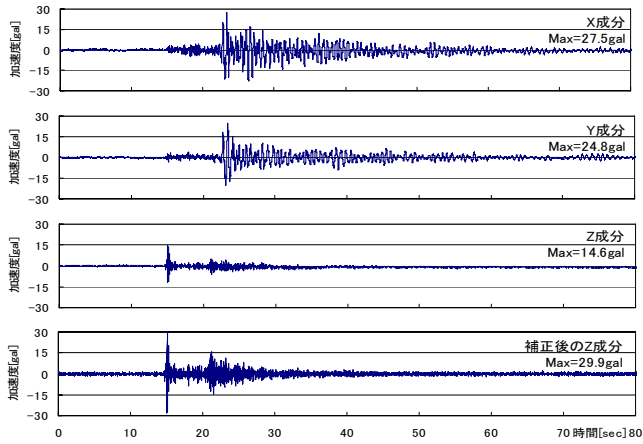


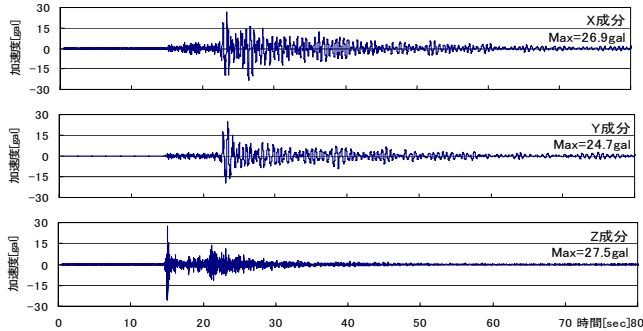
図 10 開発した地震計と気象庁検定品の比較

表 3 開発した地震計で観測した地震の諸元

発生時刻	緯度	経度	震源深さ	マグニチュード	震源位置
2005年7月23日 16:34頃	35°34.9'	140°8.3'	73km	M:6.0	千葉県北西部
2005年7月28日 19:15頃	36°7.5'	139°50.7'	51km	M:5.0	茨城県南部
2005年8月16日 11:46頃	38°9.0'	142°16.7'	42km	M:7.2	宮城県沖



(a) 開発した地震計



(b) 従来型地震計

図 11 時刻歴波形の比較（7/28 茨城県南部）



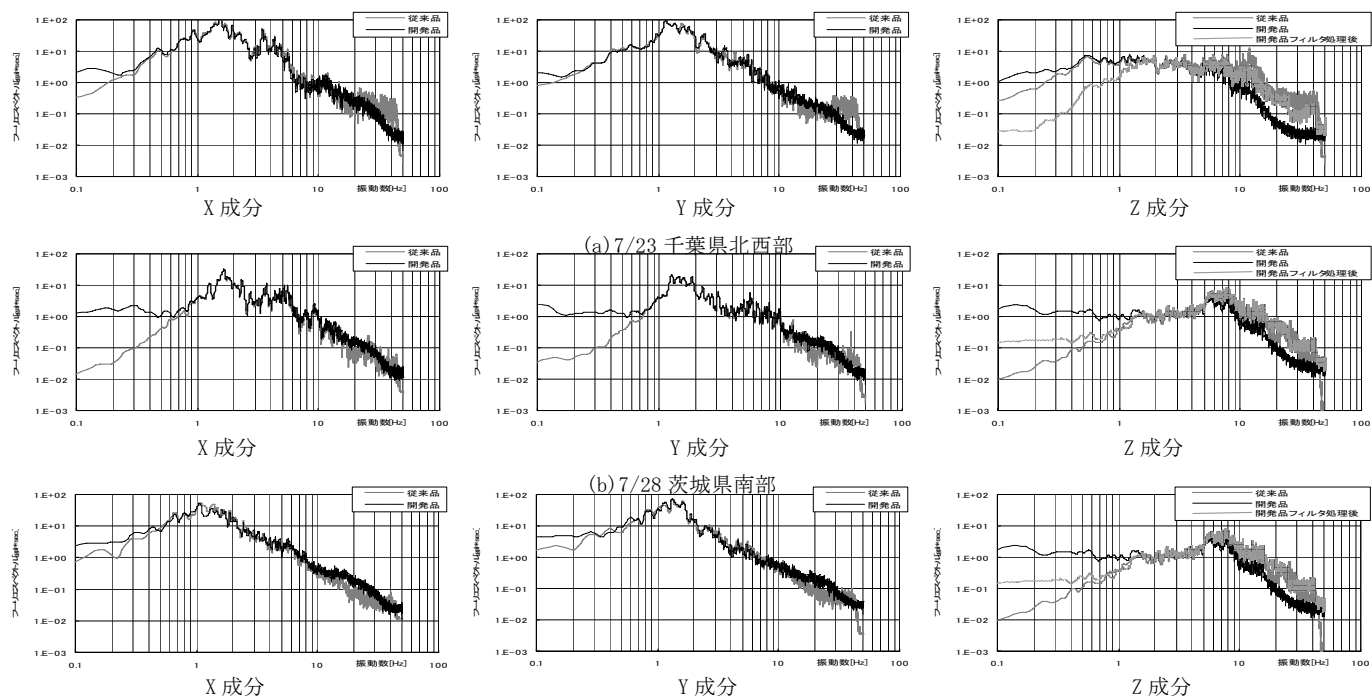


図 12 フーリエスペクトルの比較

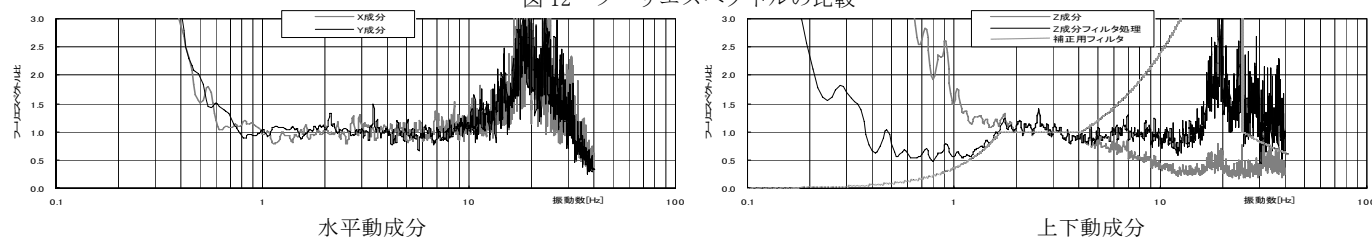


図 13 開発品と従来品のフーリエスペクトル比

図 12 に各地震時における成分毎の開発品と従来品のフーリエスペクトルを重ねて示す。図 13 に 3 地震時の従来品に対する開発品の平均フーリエスペクトル比を水平動成分と上下動成分に分けて示す。

これらの結果から、開発した地震計は、各振動数において観測できうる 1.5gal・sec に達する地震動であれば、一般の建築物で重要となる 0.1 秒～1.5 秒程度の範囲において十分に実用可能なセンサーであると考えられる。

なお、開発した地震計の上下動成分については、4Hz で低下する振動数特性を持っているが、図 13 に示した補正フィルタを波形回収ソフトに考慮することにより、ある程度まで補正することができる。図 11-13 には、補正後の結果も合わせて示す。

#### 4. 活用例

愛知工業大学では「地震情報の活用と防災拠点形成による地域防災力向上技術の開発」プロジェクトが平成 16 年度文部科学省私立大学学術研究高度化推進事業（産学連携推進事業）に採択され、本報の著者はこの事業の実施組織「地震防災コンソシアム」に参加し、この中で企業地震防災システム<sup>8)・9)</sup>を開発している。

このシステムでは、三河平野に点在する 30 箇所の企業に本報で開発した地震計を設置している。ここでは、文献<sup>10)</sup>で開発したインターネット接続技術を用いることにより、企業側には企業端末と呼ばれるパソコンに地震計 2 台とネットワークカメラ 2 台が LAN で接続

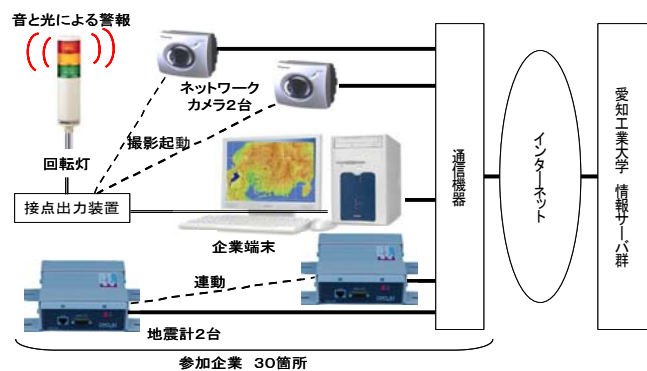


図 14 企業地震防災システムの構成

し、ルータなどの通信機器を介してインターネット経由で愛知工業大学の地域防災研究センターにある各種情報サーバと通信できるようになっている（図 14）。2 台の地震計は建物の基礎階と上層階などに設置され、連動ケーブルでつながれている。

企業端末上では、図 15 に示すように、地震計がトリガーしたときには、端末上にリアルタイム情報（簡易計測震度相当値、3 成分合成最大加速度、水平合成 SI 値）が表示されるようになっている。また、図 16 に示すように、地質図上に、インターネットを介して情報サーバに集められた 30 箇所の観測点でのリアルタイム簡易計測震度相当値が、分布図として表示されるようになっている。

その他、パソコンには接点出力装置と回転灯が接続つながれてい

る。ここでは、緊急地震速報に基づく予測震度や、2 台の地震計からリアルタイム送信される簡易計測震度、SI 値、最大加速度値などにより、警告音（ブザー）や回転灯の点滅で地震の到来を知らせたり、カメラによる地震時映像の収録をしたり、機械停止用の接点信号を出すことができるようになっている。

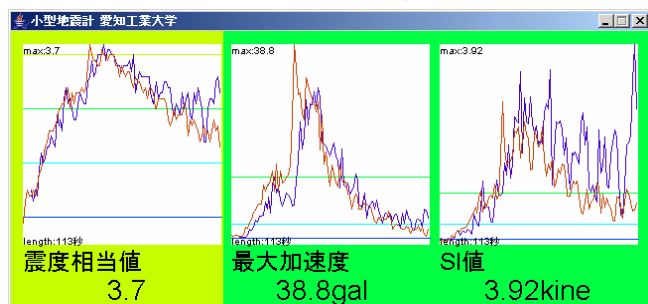


図 15 リアルタイム情報のグラフ表示

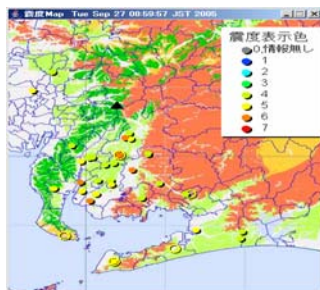


図 16 リアルタイム情報を基にした三河地区の観測点震度分布

## 5. まとめ

建物の強震観測を促進することを目的として、低価格で、高密度ネットワーク化を可能し、リアルタイム性のある地震計を新たに開発した。開発は 3 次に亘り、第 2 次試作の地震計を大学や建設会社などの研究者に無償で配布し、性能や機能についてアンケートを行い、その結果に基づいて改良点を定めて第 3 次の開発を進めた。

加速度センサーはフルスケール 2G、上下動が 1G の 3 成分半導体センサーであり、水平動では DC～20Hz、上下動では DC～4Hz の振動数特性を有する。

AD 変換に関しては、コスト低減を図るために、10 ビット AD を 2 個使い、さらに一旦 1600Hz のサンプリングをした後 100Hz にリサンプリングする処理によって、16 ビット相当の AD を達成した。

震度演算は FIR フィルターを用いて簡易的に推定しているが、トリガー直後から開始するリアルタイム震度演算と波形終了後に行う全波形を対象とした震度演算の両方の機能を持たせており、リアルタイム震度値は、概ね、全波形震度値に対して計測震度で  $\pm 0.1 \sim 0.2$  程度の誤差に収めることが出来ている。なお、計測震度は、小数点 1 桁の精度で算出される震度値であり、計測震度値に基づき震度階は決定される。

以上の外に、建物・住宅への用途を考え、地震計には連動機能を付け、工場などでの用途を考え、ガス遮断や、警報などでの用途を考慮して、接点機能もつけた。

開発した地震計と気象庁検定品を並べて、震度 3～7、振動数 0.5Hz～30Hz、水平加速度 3～2000gal の範囲で加振したところ、気象庁検定品との震度誤差は計測震度で 0.1 以下であり、また、実観測地震動での比較観測でも良好な結果を得ており、当初目標とした性能は

概ね達成できたと考えている。

本報では、本地震計の適用事例の一つとして、企業地震防災システムを紹介し、地震計が廉価で LAN 接続可能となることにより、地震防災上、有益な成果がでることの見通しを示した。

今後は、本地震計を各種の高密度ネットワークの構築に適用する中で、本地震計を用いたネットワーク技術や建物の地震時挙動の解明、地震時初動体制確立のための技術開発を進めていく予定である。

## 謝辞

地震計のハードウェアおよびソフトウェアの製作にあたり、野場電工(株)およびノックス電子(株)の方々には大変なご尽力を頂きました。地震計の振動試験や通信を通じたデータ取得にあたり、応用地震計測(株)の小林幸貴氏、葛尾拓也氏、松尾一郎氏をはじめとする方々には大変ご協力を頂きました。記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 福和伸夫(研究代表者): 戦略的強震観測及び地震被害分析に基づく中低層建物の地震時挙動及び耐震性能の解明、研究課題番号 15360295、文部科学省科学研究費補助金・基盤研究(B)(2)研究成果報告書、2005. 3
- 2) 日本建築学会強震観測小委員会: 付録 2. 強震観測に関する兵庫県南部地震以降の提言、建物の強震観測に関する将来像、第 3 回強震データの活用に関するシンポジウム、pp. A. 03-A. 05、2002. 12
- 3) 強震観測事業推進連絡会議: 強震観測の現状と将来への提言、記念シンポジウム「日本の強震観測 50 年」—歴史と展望—講演集、pp. iii-vi、防災科学技術研究所研究資料、No. 264、2005. 3
- 4) 飯場正紀、阿部秋男: 小規模建築物のための低コスト強震計の開発(その 1)・(その 2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、構造 II、pp. 101-104、2002. 8
- 5) 中村豊: 自主防災に役立つ超小型デジタル警報地震計 AcCo の機能と活用法、リアルタイム災害情報検知とその利用に関するシンポジウム論文集、pp. 109-116、2004. 6
- 6) 鷹野澄、伊藤貴盛、原徹夫: IT 強震計—その概念と試作—、日本地震学会予稿集 2004 年度秋季大会、No. P001、2004. 10
- 7) 福和伸夫、小出栄治、糸魚川貢一: 建物観測用の普及型低コスト地震計の試作、日本建築学会学術講演梗概集、B-2、構造 II、pp. 871-872、2003. 9
- 8) 正木和明: 愛知工業大学地震防災コンソシアムのプロジェクト構想、日本地震学会予稿集 2005 年度秋季大会、No. B071、p90 上段、2005. 10
- 9) 伊藤貴盛、小出栄治、林能成、國澤和義、落合鋭充、正木和明、廣内大助: 愛知工業大学地震防災コンソシアムにおける企業地震防災システム(第 1 フェーズ)の開発、日本地震学会予稿集 2005 年度秋季大会、No. P209、p267 上段、2005. 10
- 10) 飛田潤、福和伸夫、中野優: 地域防災協働態勢を支援するシステムと防災拠点の構築、日本建築学会技術報告集 第 20 号 pp. 367-370、2004. 12

## 注

注 1) 日本航空電子工業(株)社内報告