

計測震度計と緊急地震速報を組み合わせた 三段階震度計の試作

香川 敬生¹

¹鳥取大学大学院工学研究科
(〒680-8552 鳥取市湖山町南 4-101)
E-mail:kagawa@cv.tottori-u.ac.jp

市販されている計測震度計と緊急地震速報を組み合わせて、第 1 段階として P 波センサーによる推定震度、第 2 段階で緊急地震速報を用いて現地震度を推定し、第 3 段階では実際の揺れによる計測震度を評価する、といった三段階で震度情報を出力する「三段階震度計」を試作した。2007 年 10 月から運用されている緊急地震速報は、様々な課題を抱えつつも多くの被害地震を速報してきている。運用上の課題として、震源近傍で間に合わないこと、また自分の現在居る地点でのローカルな情報までの精度が得られないことが挙げられる。一方で P 波初動を用いたエレベータなどの緊急停止が行われており、自治体には事後評価になるものの計測震度計が設置されている。しかし、これらの機器はそれぞれの目的で個別に設置されており、融合した活用には至っていない。

Key Words : Seismic Intensity meter, Earthquake early warning, P wave sensor

1. はじめに

2007 年 10 月から運用されている緊急地震速報は、様々な課題を抱えつつも多くの被害地震を速報してきている。課題のとしては、震源近傍で間に合わないこと、また自分の現在居る地点でのローカルな情報までの精度が得られないこと、実際の揺れによる震度での検証が出来ないこと、などが挙げられる。一方で、ローカルな緊急対応として P 波初動を用いたエレベータなどの緊急停止が行われている。また、事後評価にはなるものの、自治体をはじめ多くの地点に計測震度計が設置され、初動対応に活用されている。しかし、これらの機器はそれぞれの目的で個別に設置されており、これらを有機的に融合した活用には至っていない。

そこで筆者らは、計測震度計に緊急地震速報受信機能および P 波センサーの機能を付加することにより、第 1 段階で P 波センサーによる推定震度、第 2 段階では緊急地震速報を用いたローカルな予測震度、第 3 段階として実際の揺れによる計測震度、と三段階で震度情報を出力する「三段階震度計」提案している^{1), 2)}。提案システムのイメージを図-1に示す。第 1 段階と第 2 段階は、状況によってはどちらが先になっても良い。今回、市販の計測震度計とノート PC を組み合わせて、提案した機能を実現するシステムを試作したので紹介する。

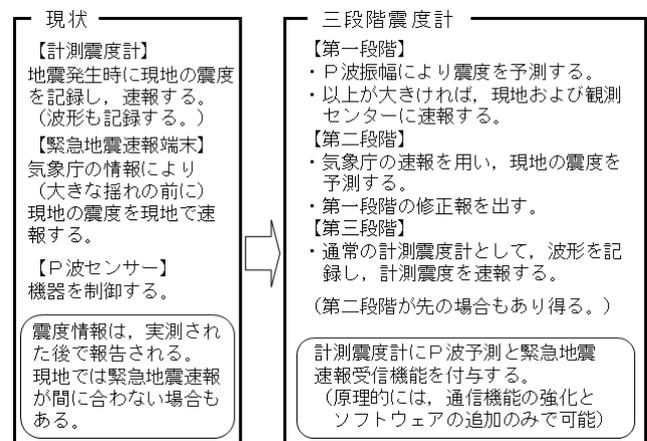


図-1 三段階震度計のイメージ¹⁾

2. 三段階震度計の構成と機能

ネットワークにリアルタイム波形と計測震度を出力できる市販の計測震度計が開発されているが、今回は東京測振製の CV374A を利用した。同震度計は、1 秒毎に 1 秒間の加速度波形データを、2 秒毎に記録した最新の震度をネットワークに出力する機能を有している。これにノート PC を組み合わせて三段階震度計の試作版を構成する。

(1) P波最大振幅を用いた震度の予測

この波形から毎時の最大振幅を読み取り、それをP波最大値として、式(1)を用いて計測震度を予測し³⁾、それが設定した閾値を超えると画面に警告を出す。

$$I_{JMA} = 2.18 \log PGA_P \times +0.77 \quad (1)$$

速報性の観点から、波形を用いた震源評価とそれを介した地震動の予測とはせず、最大値を用いた簡便な評価とした。式(1)の導出に用いられたデータを図-2に示すが³⁾、比較的良好な対応を示していると考えられる。

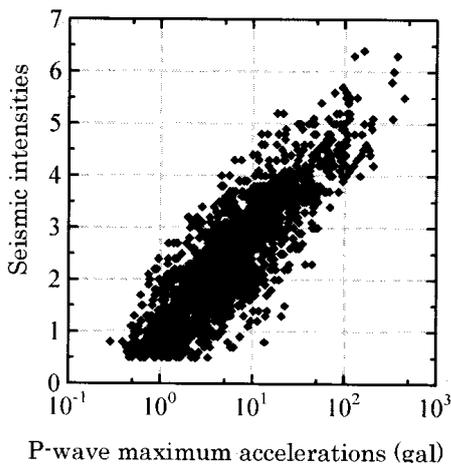


図-2 P波最大値と計測震度の関係³⁾

しかし、オリジナルの計測震度計では、リアルタイム・データの更新間隔が1秒であり、速報に用いるには長いものであった。そこで、メーカーに依頼してこの更新間隔を0.5秒に改めた。また、出力波形はオフセットを含んだ生波形であったため、オフセット補正をした上で波形を出力するオプションを追加した。このため、0.5秒毎に波形パッケージを受け取り、その最大値から計測震度を予測することができるになっている。いったん設定閾値を超えると、それ以上の情報更新はせず、S波の到来によって過大な計測震度が出力されないようにしている。

(2) 緊急地震速報の受信

同時に、ノートPCの通信機能を使って、常時最新の緊急地震速報を保持しているサーバーにアクセスし、その更新をモニターしている。情報が更新されると、緊急地震速報を用いた震度評価法^{4), 5), 6)}に従って、地震計設置位置における計測震度を予測し、S波到達までの時間をカウント・ダウンする。このとき、図-3に示すように、地点の緯度経度、揺れ易さ(AVS30値)などの情報を、PC側で予め設定しておく。緊急地震速報は時々刻々と更新されてゆくの、更新の度に予測震度と到達予想時間を再評価する。



図-3 システム設定画面

なお、地震とサイトの位置関係によっては、P波による評価が先になる場合も、緊急地震速報が先になる場合も有り得る。前者の場合は緊急地震速報が間に合わない領域での対応をいち早くおこなうための情報となり、後者の場合は何らかの不具合による緊急地震速報の誤報を検証するための情報とすることができる。



図-4 システム運用画面 (仮想地震)

(3) 緊急地震速報の受信

市販の計測震度計をセンサーとして用いているので、実際に観測された地震動から気象庁認定の計測震度値を得ることができる。震度計本体が計測震度を更新すると、2秒毎のパケットでその旨が通知されるので、それを受けて計測値を表示する。この時点でシステムは一連の動作を終了し、次の揺れに備

える。図-4に、仮想地震ではあるが、動作のイメージを示す。各表示を参照することで様々な判断を下すことができる。環境によっては、緊急地震速報のみでの運用、緊急地震速報を用いない運用も可能である。

3. 三段階震度計の試作

2章で述べた機能を実現するため、図-5に示す構成で試作システムを作成した。図の左がネットワーク出力機能を持った計測震度計（東京測振製のCV374A）であり、中央が図-3、4に表示例を示した制御ソフトを実装したノートPCである。なお、ソフトウェア開発には、Microsoft社のVisual Basicを用いたが、Javaによる環境依存の無いシステム構成も検討している。計測震度計とノートPCは、右に見える無線ルーター（子機）を介して有線接続されている。右上に見える無線ルーター（親機）を介したインターネット接続により、緊急地震速報サーバーから情報を受信する。



図-5 試作システムの構成

このように、計測震度計と緊急地震速報という2箇所のサーバーにアクセスする必要があるため、システムがやや煩雑になっている。また、ネットワーク接続に関しては、設置場所の環境に応じて臨機応変なシステムを構築する必要がある。

この点については、今回の試作で外付けのノートPCで処理する方式とした部分を、全て計測震度計側に持たせることができれば、より簡便でシンプルなシステムを構築することができるものと期待する。

4. 三段階震度計の利活用

三段階震度計を設置することで、1) 緊急地震速報の未達領域を狭めることができ、2) 主要動到達前に周辺に警報を発することができる、といった通常の計測震度計には無い機能を持つとともに、3)

予測震度を実測震度で校正し、緊急地震速報受信端末では疎かにされている事後情報をも得ることができる。このような機材は、既存の震度計のように市町村役場を中心とした設置だけではなく、学校、集客施設、工場などに設置することが効果的と思われる。特に、地震後の避難所として機能すべき小学校などに設置すれば、本震の震度や記録波形から施設の健全性を判断することができ、また余震の揺れを事前に知ることも可能となり、救援・復旧対応にも貢献するものと期待される。

また、「三段階震度計」が広く活用されるために、精度は劣るものの携帯情報端末に内蔵されている加速度センサーやGPS機能、無線通信技術を活用し、スマートフォンに実装することも可能である。図-6にApple社製のiPhoneでの実装イメージを示す。携帯電話事業者が携帯電話向けに緊急地震速報のサービスをおこなうようになり、比較的詳細な地域を対象とした緊急地震速報を伝達するアプリも開発されているが、自分の居る場所のローカルな揺れにまでは対応しておらず、三段階震度計を利活用する余地はあると思われる。

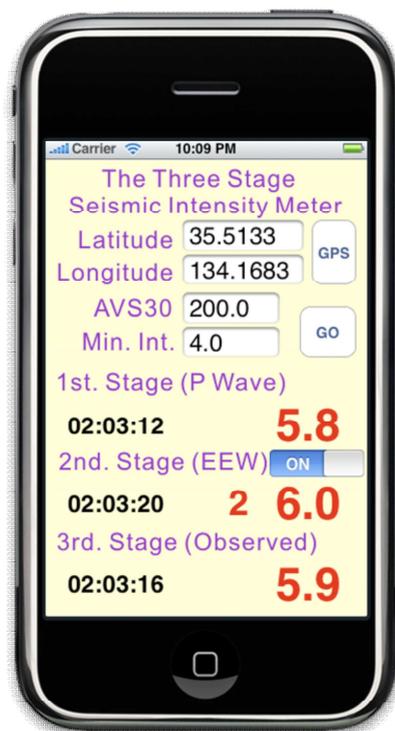


図-6 iPhoneに三段階震度計を実装したイメージ

カーナビについても、FM多重放送を通じて緊急地震速報で受信できるものも市販されており、緊急地震速報の普及が大幅に進んでいることが確認できる。しかし、GPSで現在位置を把握しながらも、一般利用向けの緊急地震速報を用いるに留まっており、現在位置情報を利用できる端末の利点が十分に活かされていない。

これらの点からも、「三段階震度計」のコンセプト

トは今後のまだ十分に社会のニーズに合致したものであると考えることができる。

5. おわりに

今回の試作は市販の計測震度計のリアルタイム出力をノートPCで処理する方式としたが、この機能を全て計測震度計に持たせることでより簡便なシステムを構築することができる。そのような機種が開発されることを望む。「三段階震度計」により、緊急地震速報の未達領域でも主要動到達前の検知でき、緊急地震速報との比較による双方の誤報検証も可能となる。また、実際の揺れによる事後の震度情報をも得ることができ、そのような記録の蓄積により予測震度を実測震度で校正してゆくことも可能である。現在試験運用をおこなっており、課題を抽出して整理して行きたい。

謝 辞

本研究は、科学研究費補助金（基盤研究(C)）「緊急地震速報を援用した次世代型「三段階震度計」の試作と活用方法の検討」によって実施されています。研究に参加頂いている野口竜也（鳥取大）、赤澤隆士（地盤研）、小林明夫（東京測振）、北村正志（安全・安心サポート）の各位、計測震度計の仕様変更

を快く実施して頂いた(株)東京測振の皆様に感謝します。

参考文献

- 1) 香川敬生・小林明夫：緊急地震速報を用いた三段階震度計の提案，日本地球惑星科学連合2009年度大会，2009.
- 2) Kagawa, T.: Designing of Three Stage Seismic Intensity Meter Supported by Earthquake Early Warning, *2nd EEW Workshop in Kyoto*, 2009.
- 3) Kurahashi, S., Irikura, K., Masaki, M., and Ueda, T.: Improvement of Earthquake Early Warning - Intensity Estimation from Initial Part of P-wave -, *2nd EEW Workshop in Kyoto*, 2009.
- 4) 司宏俊・翠川三郎：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集*, Vol. 523, pp. 63-70, 1999.
- 5) 翠川三郎・松岡昌志・昨川孝一：1987年千葉県東方沖地震の最大加速度・最大速度に見られる地盤特性の評価，*日本建築学会構造系論文報告集*, Vol. 422, pp. 72-78, 1992.
- 6) Midorikawa, S., Matsuoka, M. and Sakugawa, K.: Site Effects on StrongMotion Records Observed during the 1987 Chiba-ken-toho-oki, Japan Earthquake, *Proc. 9th Japan Earthquake Engineering Symposium*, 3, 85-90, 1994.

Experimental production of three stage seismic intensity meter combined with commercially available sensor and EEW

Takao Kagawa

An experimental production of the three stage seismic intensity meter is demonstrated. The system consists of general JMA seismic intensity meter and EEW receiving terminal. It broadcasts three kinds of seismic intensities, 1) seismic intensity estimated from initial stage of observed P wave on site (P wave sensor), 2) seismic intensity estimated from source information broadcasted by Earthquake Early Warning (EEW) network, 3) seismic intensity calculated from observed strong ground motion at the site. Installing the three stage seismic intensity meters, 1) post facto broadcasting area of EEW network is expected to be trimmed, 2) people around the seismic meter can be ready for strong ground shaking beforehand, 3) estimated seismic intensity is confirmed with observed intensity.