

## (18) 大都市における建物や構造物の被災度予測を組み込んだ緊急地震速報システムの提案

堀内茂木 ( ホームサイスマメータ )

1. はじめに 震度5弱以上の被害地震が発生すると、気象庁から緊急地震速報が発表される。しかし、緊急地震速報による震度には、±1程度の予測誤差があり、約30km以内の直下型地震の場合に、情報が間に合わないという課題がある。地震による被害は、個々の建物や構造物の強度に依存する。また、揺れの強さは、個々の建物の固有周期や、減衰率により変わる。大きい揺れでも、強固な建物は被害を受けないが、古い建築基準法で作られた脆弱な建物は、弱い揺れでも崩壊する。また、液状化等による被害が発生する可能性もある。地震による個々の建物の被災度を高精度で判定するには、緊急地震速報による震度情報のみでは不十分で、建物毎に違った基準と、建物の揺れや傾斜変動の観測データを用いて行う必要がある。本報告では、都市部における個々の建物の被災度を予測する、新しい緊急地震速報システムの構築方法について提案する。

2. 都市型緊急地震速報システムの仕組み 建物の揺れは、建物近傍の地面の揺れと、地面の揺れに対する建物の応答のパラメータを用いて計算可能である。原理的には、建物の被災度は、建物の揺れと、建物の耐震性のデータがあれば推定可能で、また、建物の揺れが分かれば、その建物に設置されている、設備や什器の被災度も判定できる。実際には、建物の構造は複雑で、建物の揺れが分かっても、正確な被災度を求めることは難しいが、それでも、揺れが分かれば、おおまかな被災度判定は行えると思われる。

リアルタイム地震観測波形データは、その観測網のデータセンターに集められている。被災度判定には、建物情報と、その近傍に位置する観測波形データが必要であり、両者が同じ場所に集められている必要がある。地震波形データを、個々の建物のユーザーに配信し、ユーザーが被災度判定システムを作ると、通信料が膨大となり、コストがかかる。そこで、本提案では、個々のユーザーの、建物や構造物の、1) 耐震性、2) 応答に関するパラメータ、3) 位置情報、をデータセンターに集め、データセンターで、建物毎に被災度を計算し、結果を、ユーザーにフィードバックさせるシステムを作ることを提案する。

3. 建物情報の登録方法 本提案のシステムでは、建物情報をデータセンターのサーバーに登録する必要がある。登録は、データセンターが、Web を立ち上げ、本システムのユーザーが、この Web にアクセスし、自分の建物情報を登録することにより行う。建物や構造物の詳細な設計図があれば、それから、詳細な耐震性や、応答に関するパラメータを入力する。不明な場合には、建物の築年月、建物の階数、建物の形、大きな吹き抜けやピロティがあるか、マンション等の場合は、何階に住んでいるか、等を入力する。自治体等が、自分が管轄する区域全体の建物や構造物を登録する場合は、そのデータベースから直接登録する。

4. 地震観測点 本提案のシステム構築では、地盤構造の大きな空間的不均質性のため、個々の建物の揺れ予測には、多数の観測点を設置する必要がある。緊急地震速報の地盤補正のメッシュ間隔は250mであるが、例えば東京23区に250m間隔で地震計を配置すると、約10,000点になる。500m間隔だと、2,500点である。地震計は、安価なMEMSセンサーでも、0.1galの分解能で揺れを、約1/1000度の分解能で傾斜測定が行えることから、本システムの地震計として利用できる。センサーユニットをインターネット回線に接続すれば、通信費はかからない。安価なセンサーと、インターネット回線を用いれば、設備費や運用費はそれ程多額にはならないと思われる。

5. 被災度予測の計算方法 P波が到着した直後で、S波が到着する迄は、P波データからS波による揺れを推定し、被災度を予測する。震源近傍の観測点のみが、P波による揺れを観測した場合には、緊急地震速報と同様の方法で、距離減衰式を計算し、被災度の予測計算を行う。S波到着後は、近傍の観測点での観測波形を用いて、被災度の判定を行う。

6. 被災度判定結果の伝送、利用方法 センターサーバーに、被災度判定結果の受信、警報出力のソフトを入れておき、各ユーザーがそれを、ダウンロードできるようにする。このソフトが、地震発生時に、パソコン等の画面に、被災度判定結果の表示、音声による警報出力、非常電源やガス等の遮断を行うようにし、各種防災対策を取れるようにする。

## 応答を簡単に計算する方法

デジタルフィルター設計し、その特性が、加速度入力(X)に対する速度応答関数(Y)の特性と一致するようにする。

$$Y(f_0, h, t) = X(t) - X(t - 2\Delta t) - a(f_0, h)Y(f_0, t - \Delta t) - b(f_0, h)Y(f_0, t - 2\Delta t) \quad (1)$$

$\Delta t$ ,  $f_0$ ,  $h$ ,  $a(f_0, h)$ ,  $b(f_0, h)$ は、それぞれ、サンプリング間隔、建物の固有周期、建物の減衰定数、未知定数である。

$$Y_{theo}(w) = w / (w^2 - w_0^2 - 2hw_0w) \quad (2)$$

フィルターの特性

$$Y(f_0, h, w) = (1 - e^{-2iw\Delta t}) / (1 + a(f_0, h)e^{-iw\Delta t} + b(f_0, h)e^{-2iw\Delta t}) \quad (3)$$

(2)式と(3)式とが一致するよう、係数 $a(f_0, h)$ 、 $b(f_0, h)$ を、 $f_0, h$ のグリッド値毎に求める。

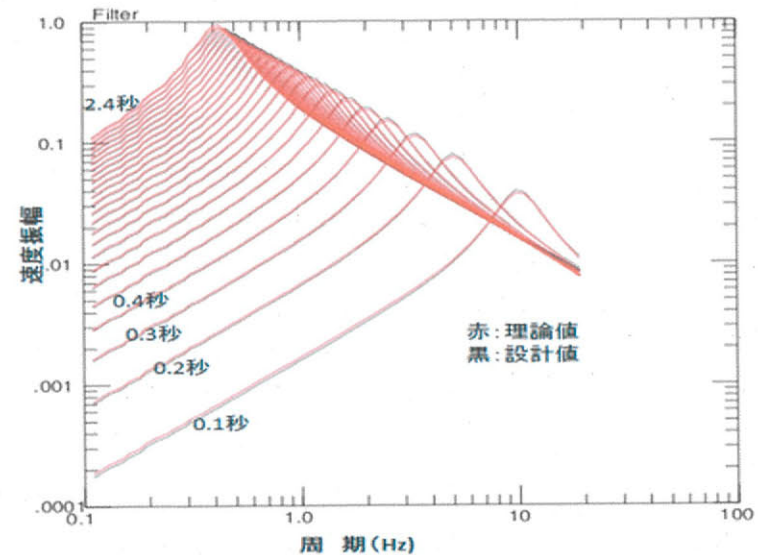


図7.  $H=0.2$ の場合の、加速度入力にたいする速度応答関数の特性と、フィルターによるそれとの比較

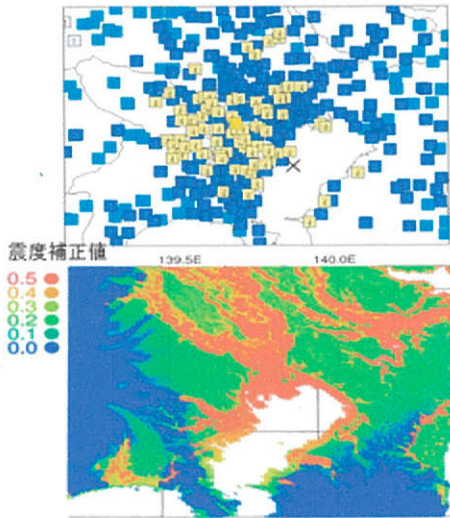


図3. 東京湾の地震の震度分布と(上)と、地盤増幅度による震度補正量の分布(下)との比較。緊急地震速報では、地盤増幅度の分布から震度の補正量を計算し、予測震度を計算することになっているが、東京湾の地震で観測された震度分布と、補正量との分布は一致していない。表層地盤から計算される補正量の大部分は、0.0-0.5であり、震度のばらつきに比べ小さい。図は、表層地盤構造から、地盤増幅度を推定することが難しいことを示している。緊急地震速報を高精度化するには、地盤構造の大きな地域性を評価できるシステムにする必要がある。

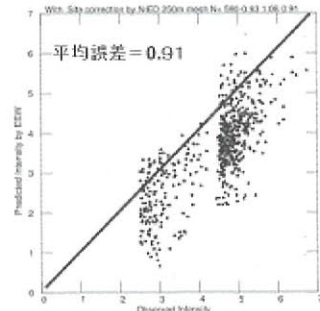
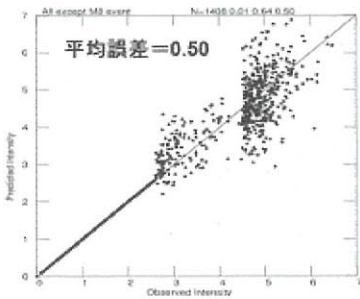


図4. オンサイト警報による観測震度と予測震度との関係(左)と、緊急地震速報で使われている震度の予測式を用いた場合のそれ(右)との比較。K-NET観測点の波形データを使用。オンサイト警報では、P波とS波とを自動識別し、予測を行っている(堀内、2015)。