

緊急地震速報とリアルタイム地震観測システムを用いた超高層建築の地震応答表示システムの開発

D1-07008 新田 龍宏

1. はじめに

近年、建築の高層化や耐震化に伴い超高層建築の上層階では、長周期地震動による建物応答が顕著になりつつある。

2007年10月1日から気象庁¹⁾による地震被害の軽減を目的とした緊急地震速報の提供が始まった。緊急地震速報により、地震発生直後に観測データを解析して震源やマグニチュードを直ちに推定し、主要動の到達時間や震度の情報を瞬時に知らせることができる。

また、工学院大学新宿校舎及びエステックビルでは、1989年から強震・強風観測を行っており、2007年からリアルタイムで地震観測を行っている。²⁾このシステムによりリアルタイムの観測記録や過去の地震や強風時の観測記録を確認することが出来る。地震計の設置されているフロアにおいては構造躯体や室内被害が出ている可能性のあるところを示すことが可能である。

本研究は長周期地震動を対象として、緊急地震速報から得られる受信データ（震源の緯度・経度やマグニチュード、震源深さ）から地震動を予測する。それらをもとに地震発生前に建物応答の予測を行えるようデータベースを作成し、これを用いて工学院大学の地震防災対策に役立てることを目的とする。

2. 研究の流れ

- ① 過去の地震動観測記録を K-net³⁾や工学院大学観測記録から収集。
- ② どの手法を使うかの検討、地震動予測及び建物応答の予測の検討。
- ③ 実際の観測記録との比較。適用できなければ②の手順に戻る。
- ④ ②を利用して建物応答を計算できるようにデータベースを作成する。
- ⑤ 地震動の到達前に建物応答を予測し、システムに表示させる。
- ⑥ 工学院大学の地震防災対策に活用。

3. 使用した手法について

今回、地震動の予測の際に応答スペクトルに関する距離減衰式を用いた。ここで使用した距離減衰式は、内山・翠川式⁴⁾、神野式⁵⁾である。この両式、固有周期5秒ま

で予測することができる。内山・翠川式、神野式は次式で示される。

$$\text{内山式} : \log SA(T) = a(T)M_w + b(T)X + g + c(T) + d(T)D + \sigma(T)$$

$$\text{神野式} : \log pre = a_1 \cdot M_w + b_1 \cdot X - \log(X + d_1 \cdot 10^{e_1 M_w}) + C_1 + \varepsilon_1 + A (D \leq 30)$$

$$\log pre = a_2 \cdot M_w + b_2 \cdot X - \log(X) + C_2 + \varepsilon_2 + A (D > 30)$$

ここで、SA,pre は加速度スペクトル、X は断層最短距離、D は震源深さで g, p は D と X により決まる数、σ は標準偏差、また内山・翠川式の a,b,c,d、及び神野式の a₁,a₂,b₁,b₂,c₁,c₂, d₁,e₁ ε₁, ε₂ は回帰係数である。A は震源から太平洋プレートまでの距離によって決まる値であり、震源が太平洋プレートを伝わる時にこの値を用いる。本研究では断層最短距離=震源までの距離として計算した。

4. 距離減衰式によって求められたスペクトル

距離減衰式によって求められた応答スペクトルと観測された応答スペクトルを比較したものを図1、2に示す。観測の応答スペクトルは工学院大学新宿校舎で観測された記録を用いた。

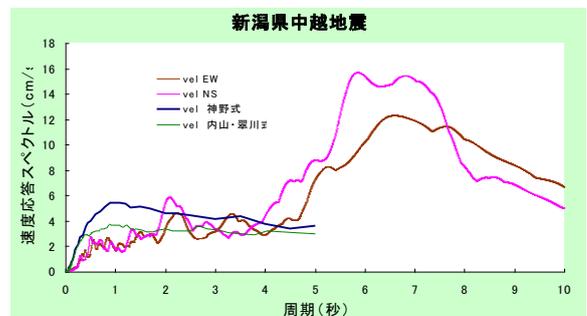


図1 新潟県中越地震の速度応答スペクトル



図2 駿河湾地震の速度応答スペクトル

過去に観測された代表的な長周期地震動としてこの2つの地震を取り上げた。距離減衰式は過去に起きた地

震のデータをもとに経験的に作られた式であるため、精度の良い予測はできないが、図1, 2より、どちらの式も固有周期3～4秒までで概ね一致しており、その範囲まで適用できることを確認した。ここで図として載せることができなかつたが、千葉県北西部地震(2008)、岩手宮城内陸地震についても適用できることを確認した。

しかし、東北地方側が震源の地震については減衰しないといわれており、中には同様の検証をしても予測できないものがある。代表的な例として宮城県沖の地震を図3に示す。この地震については固有周期1～3秒弱までの部分を評価できていないことがわかる。固有周期が3秒以降では概ね一致しているが、それ以前を予測しようとすると予測結果に誤差が生じる。東北の震源については神野式により補正式が提案されているが、図3より、宮城県沖の地震についてはその式を用いてもまだ過小評価していることが確認した。しかし、建物応答を予測する上では神野式は補正されている関係で内山・翠川式よりもやや観測に近い値を示す傾向にある。

その他にも応答スペクトルを計算し比較した結果、東北側の地震で固有周期3秒までについては神野式を用い、それ以外の地震については内山・翠川式を用いて予測するのが適切であると考えた。

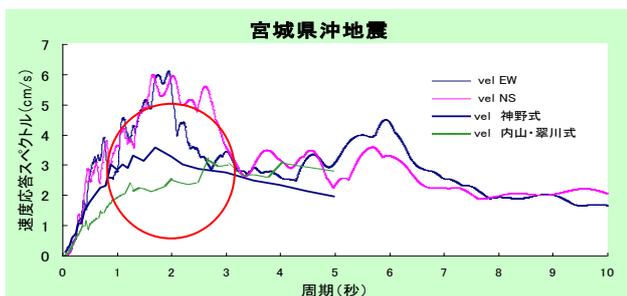


図3 宮城県沖地震の速度応答スペクトル

5. 応答予測プログラム

この結果を踏まえ、内山・翠川式、神野式を用いて工学院大学新宿校舎の応答予測をするプログラムを作成した。このプログラムは緊急地震速報が情報をキャッチすると、その情報から応答スペクトルを計算する。ここで、応答スペクトル計算の際、東北地方側の震源については神野式を用い、それ以外の地震については内山・翠川式を用いる。その後、各階の最大応答値をモーダルアナリシス(2次モードまで計算)で計算する。なお、固有周期、刺激係数については工学院大学構造計算書⁶⁾の値を用いた。次に、内閣府の最大速度と計測震度の関係式⁷⁾から各階の震度を計算する。

$$I = 2.02 \log V + 2.4$$

そして各階震度を画面に表示させるものである。計算にかかる時間は1秒弱であり、震源が遠い場合においては地震動の到達前に建物の応答を簡易的に予測すること

ができる。これにより地震動到達前に危険箇所の把握を行うことが期待される。図4は駿河湾地震を応答表示システムとリアルタイム観測システムで比較したものである。この結果により、開発したシステムの方が実際より大きめに評価していることを確認した。リアルタイム観測システムの方が信頼できる情報なので地震動到達直前に表示をするようにしている。



図4 地震応答表示システム(左)とリアルタイム観測システム(右)の結果の比較(駿河湾の地震)

6. まとめ・今後の研究方針

距離減衰式(内山・翠川式、神野式)が長周期地震動に適応できるかの確認を行った。誤差が生じるものの、1次固有周期が約3秒～4秒までの建物なら、揺れの指標程度としての予測ができることを確認した。また、この2式を用いて緊急地震速報から得られる情報のみから建物応答を予測するプログラムを作成した。

今後の課題として、ここで計算された数値の誤差を調べ、この情報がどの程度信頼できるものかの確認をする必要がある。また、建物応答だけでなく家具の転倒率などについても同時に行えるようにする。そのために建物内の家具の固定の有無等を調べ、システムを更新していく予定である。

また、建物の応答によってアナウンス方法をどのようにすべきか検討し、工学院大学の地震防災対策に活用していく予定である。

参考文献・引用

- 1) 気象庁ホームページ:<http://www.jma.go.jp>
- 2) 久保智弘他:超高層建築を対象とした緊急地震速報とリアルタイム地震観測システムを利用した初動及び負傷者推定に関する研究,総合研究所・都市減災センター(UDM)研究報告書,2009
- 3) k-net 防災科学技術研究所 強震ネットワークのホームページ:<http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/>
- 4) 内山泰生他:地表の強震観測記録に基づく工学的基盤での応答スペクトルの評価とその距離減衰特性 2005,3
- 5) Tatsuo Kanno et al: A New Attenuation Relation for Strong Ground Motion in Japan Based on Recorded Date, Bulletin of the Sismological Society of America, Vol196,pp 879-897, 2006
- 6) EDN 街区開発計画(構造計算書) p.102-103
- 7) 内閣府、地震被害想定支援マニュアルのホームページ:<http://www.bousai.go.jp/manual/index.htm>