

## 緊急地震速報と建物モニタリング情報を利用した地震災害誘因の同定 Estimation of Damage Factors using Earthquake-Early-Warning and Building Monitoring Information

○倉田真宏・新本翔太・和田拓也・山田真澄・楠浩一・柏尚稔・溜渕功史

○Masahiro KURATA、 Shota SHIMMOTO、 Takuya WADA、 Masumi YAMADA、  
Koichi KUSUNOKI、 Hisatoshi KASHIWA、 Koji TAMARIBUCHI

This paper presents the method to estimate damage factors of buildings using earthquake-early-warning and building monitoring information. In the first year of two-year project, acceleration response estimates of buildings nearby monitored disaster-base buildings was aimed. In the proposed method, given the magnitude and epicenter of an earthquake, response spectrum at targeted building sites is first predicted using an attenuation relationship. Then, immediately after the earthquake, the predicted response spectrum is corrected using the monitoring data obtained at the disaster-base building. Using the corrected response spectrum, the deformation of the targeted buildings are estimated using the capacity spectrum method. The proposed method was validated through application to the records of high-rise buildings subject to 2011 Tohoku earthquake.

### 1. はじめに

緊急地震速報は、地震発生直後の震源情報から予測された地震動情報を迅速に届けることを主眼としており、その情報のみから建物の応答を正確に推定することは難しい。一方、超高層建物や大規模建物では、地震時の建物応答を観測する構造モニタリングシステムの普及が進んでおり、地震動の到達後により正確な地震動情報が獲得できる。本研究では、地震発生直後から社会・経済活動の復旧開始に至るまでの時間に、緊急地震速報情報と地震応答を観測する建物（ここでは防災拠点建物と称する）の構造モニタリング情報を併用し、建物ごとの被災予測をリアルタイムで正確に発信するシステムの開発と実証を目指す。拠点間連携課題に採択された初年度は、防災拠点建物周辺の建物群の最大応答推定の高度化に取り組んだ。

### 2. 最大応答の推定手法

本研究では、最大応答推定とは地震動収束後に地域の建物群の応答情報を提供することを指し、その対象は構造モニタリングを行う防災拠点建物の周辺建物群とする。

今回提案する手法は、下記の3つのステップから構成される。まず、緊急地震速報から得られる震源情報を用いて対象建物サイトの応答スペクトルを推定する。次に、防災拠点建物の加速度応答観測記録を用いて推定応答スペクトルを補正する。最後に、建築構造物の限界耐力計算設計法の一部

で使用される Capacity Spectrum Method (CSM) を用いて対象建物の最大応答を推定する。

対象建物サイトの応答スペクトル推定には Morikawa and Fujiwara (2013) による距離減衰式 2-1 を用いた。ここで応答に大きく影響するのはモーメントマグニチュード  $M_w$  と断層最短距離  $X$  [km] である。

$$\log SA = a_1(M_w' - M_w)^2 + b_{1-k}X + c_{1-k} - \log(X + d_1 \cdot 10^{e_1 M_w'}) \pm \sigma_1 \quad (2-1)$$

$$M_w' = \min(M_w, M_{w01}) \quad (2-2)$$

観測記録を用いた推定応答スペクトルの補正方法について述べる。地震動の波形は観測点の距離が近づくほど類似するため、本研究では防災拠点建物から半径 1km 以内の地域内建物群への入力地震動は防災拠点建物と同じであるとみなす。

防災拠点建物からの距離が 1km を超えるサイ

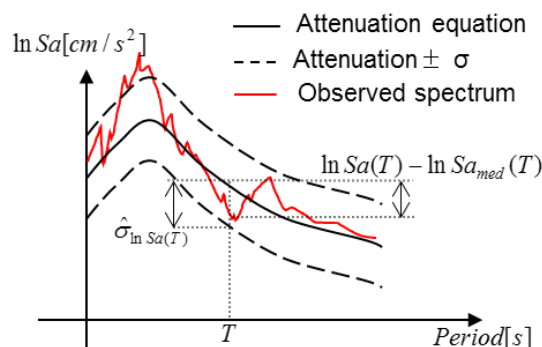


Fig.1 推定および観測応答スペクトル

トに対しては誤差指数 $\varepsilon$ による補正をかける。緊急地震速報情報から距離減衰式で求められる応答スペクトルは多数の地震動の平均的特性を有する。しかし、実際に観測される地震動は Fig.1 に示すように固有の周波数特性を有するため、その特性を応答スペクトルに反映するための補正を行う。具体的には、防災拠点建物における各周期での観測と推定の誤差を誤差指数 $\varepsilon$ として表し、式 2-3 で定義する。そして、式 2-4 を用いて対象建物サイトにおける応答スペクトルを補正する。

$$\varepsilon(T) = \frac{\ln Sa(T) - \ln Sa_{med}(T)}{\hat{\sigma}_{\ln Sa(T)}} \quad (2-3)$$

$$\ln Sa_{pred}(T) = \varepsilon(T) \times \hat{\sigma}_{\ln Sa(T)} + \ln Sa_{med}(T) \quad (2-4)$$

### 3. 実観測記録を用いた提案手法の検証

東京都 A 区に建つ 3 棟 (No.1~3) の高層ビルの加速度応答観測記録を用いて提案手法の精度を検証する。観測記録として 2011 年東北地方太平洋沖地震の本震観測記録を用いる。

本検証では建物 No.1 が観測記録を持つ防災拠点建物、建物 No.2, 3 が構造モニタリングなしの周辺建物と仮定して最大応答を推定し、観測記録と比較する。建物 No.1 からの距離は、No.2 は 150m, No.3 は 1.5km である。比較対象とする観測最大応答値は建物頂部の観測記録から算出した。このとき高次モード成分の影響を取り除いたものと取り除かないものの 2 種類について算出し、それぞれ observed response1 と observed response 2 としている。

建物 No.2, 3 に対して提案手法を適用した結果を Fig.2 に示す。距離減衰式に用いたマグニチュードは緊急地震速報の最終報の値である 8.1 である。距離減衰式によって推定された加速度応答スペクトル (estimated spectrum) は建物応答を大き

く過小評価する結果となっている。建物 No.2 においては、建物 No.1 に位置が近いため補正は必要なく、推定したスペクトル (corrected spectrum) と No.2 の基礎での観測記録によるスペクトル (observed spectrum) はほぼ等しい。No.3 においては平滑化した誤差指数 $\varepsilon$ を用いて補正したスペクトル (corrected spectrum) が No.3 の基礎での観測スペクトル (observed spectrum) の傾向を良く追従できている。

推定した応答スペクトルは非常に精度が高いが、性能スペクトルとの交点から求めた建物応答は観測記録に対しては差があり、この点については基礎の観測地震動から建物応答を推定する手法におけるより一層の精度向上が望ましい。

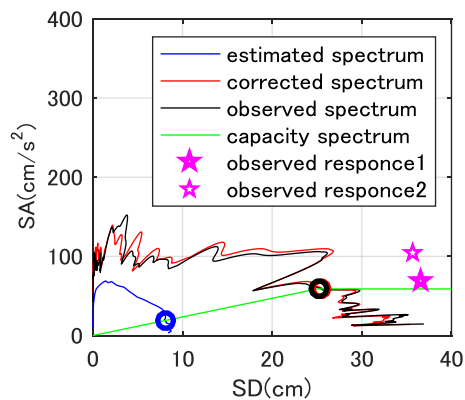
### 4. まとめ

防災拠点建物の観測記録から周辺建物の最大応答を推定する手法を提案し、実際の建物観測記録を用いてその精度を検証した。緊急地震速報情報による応答スペクトルに、防災拠点建物での観測記録を用いた補正をかけることで応答推定の精度を格段に向上できることを確認した。

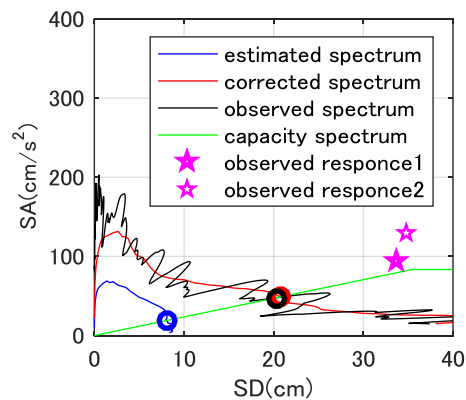
次年度以降は、基礎の観測記録から建物応答の予測精度を向上する手法を模索するとともに、最大応答に加えて、建物の揺れ継続時間の推定を検討する。

### 参考文献

- [1] Freeman, S.A. 1998: The Capacity Spectrum Method as a Tool for Seismic Design, Proc. 11th European Conf. Earthq. Eng., Paris, France.
- [2] Baker J.W. and Cornell C.A., 2005: A Vector-Valued Ground Motion Intensity Measure Consisting of Spectral Acceleration and Epsilon. Earthq. Eng. Struct. Dyn., 34 (10), 1193-1217.
- [3] Morikawa, N. and Fujiwara, H., 2013: A New Ground Motion Prediction Equation for Japan Applicable up to M9 Mega-Earthquake, J. Disaster Research, Vol.8, No.5, pp.878-888.



建物 No.2



建物 No.3

Fig.2 提案手法の検証