

緊急地震速報と建物モニタリング情報を利用した周辺建物群の最大応答推定

○和田拓也（京都大学大学院工学研究科），新本翔太，倉田真宏，山田真澄，池田芳樹，楠浩一，柏尚稔，溜淵功史

1. はじめに

近年，被災後の早期の復旧復興が重要視されるようになり，地震災害に対する地域全体での防災の重要性がより強く認識されている．これに伴い，被災直後に防災拠点となる建物に防災拠点が管轄する区域内の被災情報を集約することの重要性も高まっている．

地震発災直後に地震に関する情報を得る手段として緊急地震速報がある．緊急地震速報は地震発生直後に震度，主要動到達時間と震源情報を予報する．しかし，その情報のみから個々の建物の被害を正確に推定することは難しい．一方で，被災後に建物の被災状況に関する情報を得る手段として，構造モニタリングがある．構造モニタリングシステムを構築することで地震動の到達後に自動的に正確な応答情報を獲得することや建物の健全性を判定することが期待できる．しかし，一般的な建物においては大多数がこのような機能を有さず，被害を知るには応急危険度判定等の実地での調査結果を待たなければならない．

そこで本研究では，モニタリング機能のない建物の最大応答値を緊急地震速報の情報と加速度計を設置した防災拠点建物における観測情報を組み合わせて即時に推定し，防災拠点到周辺の被災状況に関する情報を集約することを目的とする．

2. 最大応答の推定手法

本研究における最大応答推定とは地震動収束後に周辺の建物群の最大変形を推定することを指す．具体的には，地震発生直後に緊急地震速報から得た震源情報により簡易に推定した応答スペクトルを，地震動収束後に得られる拠点建物での観測情報を利用して更新する．以上の手順で得られた応答スペクトルにより周辺建物の最大応答を推定することを試みる．

2.1. 推定フロー

Fig.1 に周辺建物の最大応答推定のフローチャートを示す．まず，推定対象とする建物の等価 1 自由度系の荷重－変形関係に相当する代表加速度－代表変位関係を示す性能曲線を事前に算出する．地震が発生すると，緊急地震速報から震源情報（マグニチュード，震源位置）を得る．震源情報と加速度応答スペクトルの距離減衰式（Morikawa and Fjiwara, 2013）¹⁾ (式(1))を用いて建物サイトにおける加速度応答スペクトルを推定する．そして，防災拠点建物における観測記録から算出する誤差指標 ε を用いて応答スペクトルを補正する．最後に，応答スペクトル法²⁾を用いて周辺建物の最大応答を推定する．

$$\log_{10} Sa = a_1(Mw'_1 - Mw_1)^2 + b_{1,k}X + c_{1,k} - \log(X + d_1 10^{e_1 Mw_1}) \pm \sigma_1 \quad (1)$$

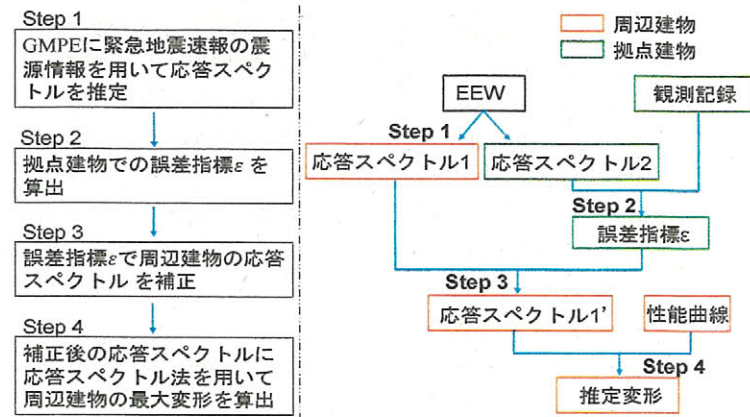


Fig.1 最大応答推定フロー

2.2. 推定応答スペクトルの補正

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．周辺建物サイトで GMPE より推定された応答スペクトルに誤差指標 ε による補正をかける．この誤差指標 ε は，距離減衰式により推定される応答スペクトルと防災拠点建物の基礎部における観測応答スペクトルの誤差を周期ごとに評価したものであり，式(2)で表す．Fig.2 に概要図を示す．評価した誤差指標 ε から式(3)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．ここで $Sa(T)$ は拠点建物サイトでの観測応答スペクトル，

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

$$\ln Sa_{corr}(T) = \varepsilon(T) \times \hat{\sigma}_{\ln Sa(T)} + \ln Sa_{med}(T) \quad (3)$$

Sa_{med} は距離減衰式による応答スペクトル， $\hat{\sigma}_{\ln Sa}$ は距離減衰式の標準偏差， Sa_{mod} は誤差指標 ε によって補正した応答スペクトルを示す．

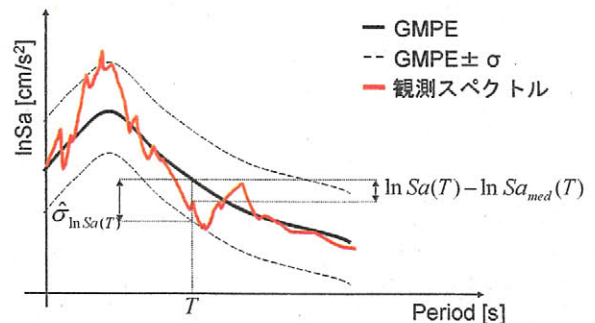


Fig.2 推定および観測応答スペクトル

誤差指標 ε による補正の目的について述べる．距離減衰式によ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が，実際に観測される地震動は Fig.2 に示すように固有の周波数特性を有する．誤差指標 ε により補正は，地

震動ごとの特徴を拠点建物の観測記録で抽出し、周辺建物の GMPE に上乘せすることで震源スペクトルのばらつきを考慮することを意味する。

3. 観測記録を用いた提案手法の精度検証

東京都港区に建つ3棟 (A,B,C) の高層ビルの観測記録を用いて提案手法の精度を検証する。直接基礎で工学的基盤を支持層としているため、表層地盤増幅の影響は無視できると仮定した。各建物の概要を Table1 に示す。観測記録として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 A が観測記録を持つ防災拠点建物、建物 B, C がモニタリング機能のない周辺建物と仮定した。建物 A からの距離は B が 150m で、C は 1.5km 程度である。以上の仮定で最大変形を推定し、推定値と観測値を比較することで提案手法の推定精度を検証する。

建物の性能曲線は完全弾塑性型とした。初期勾配は建物の 1 次固有周期から決定し、降伏点変位は構造計算書の記述などから変形角 1/225 に対応するよう決定した。

Fig.3 に建物 A,B,C の性能曲線を示す。縦軸は加速度応答スペクトル、横軸は変位応答スペクトルを表す。

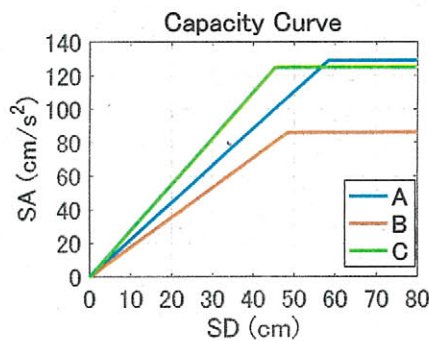
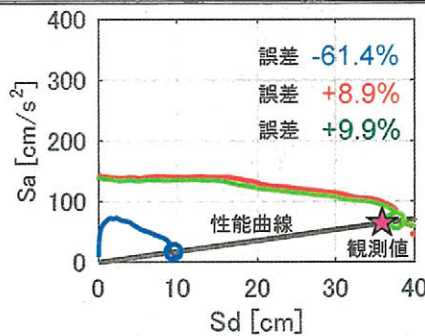
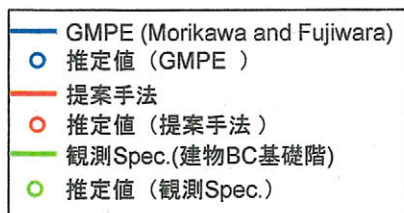


Fig.4 各建物の性能曲線

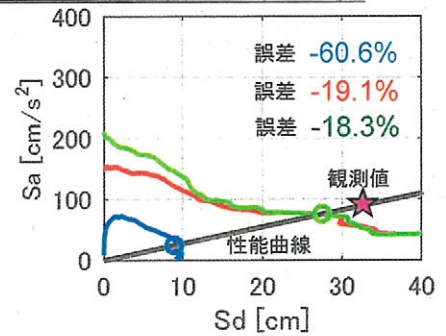
観測した最大応答値は、建物頂部の観測記録から 1 次モード応答成分のみを抽出し等価 1 自由度系の最大応答値に縮約した値とする。

Table 1 検証に観測記録を用いた建物の概要

No.	高さ	1 次固有周期(s)	構造種別	階数	観測階
A	186m	4.727	CFT+S	41F+B3F	B2F, 1F, 16F, 31F, RF
B	157m	4.097	CFT+S	42F+B5F	B4F, 1F, 16F, 31F, RF
C	153m	4.096	S	37F+B4F	B4F, 1F, 14F, 26F, RF



(a) 建物 B



(b) 建物 C

Fig.4 提案手法の検証

提案手法を適用した結果を Fig.4 に示す。縦軸は加速度応答スペクトル、横軸は変位応答スペクトルを表す。距離減衰式に用いたマグニチュードは緊急地震速報最終報の 8.1 である。ここで初期減衰率は構造計算書から 2% とした。また、提案応答スペクトルは移動平均によって平滑化している。距離減衰式による推定は、建物応答を過小評価する結果 (誤差-60%程度) となっているが、提案手法による推定は距離減衰式に比べ、高い精度で推定できている。(誤差 20%以下) また、提案応答スペクトルは観測応答スペクトルの傾向を良く追従できており、提案手法による推定値は観測値や基礎での入力わかっている場合と近い値を示している。

4. まとめ

緊急地震速報の情報と拠点建物の観測記録を用いて周辺の建物の最大変形角を推定する手法を提案し、実建物観測記録を用いてその精度を検証した。GMPE による推定値は誤差-60%程度であるのに対し、提案手法は誤差±20%以下となった。震源情報による応答スペクトルに観測記録を用いた補正をかけることで、応答スペクトルおよび最大変形の推定値の推定精度を向上できた。

謝辞

本研究の一部は、京都大学防災研究所・東京大学地震研究所拠点間連携共同研究の助成を受けて実施された。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 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.
- 2) Freeman, S.A. 1998: The Capacity Spectrum Method as a Tool for Seismic Design, *Proc. 11th European Conf. Earthq. Eng.*, Paris, France.
- 3) Baker J.W. and Cornell C.A., 2005: A Vector-Valued Ground Motion Intensity Measure Consisting of Spectral Acceleration and Epsilon, *Earthquake Engng Struct. Dyn.*, 34 (10), 1193-1217.