

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	単独地震の建物応答に基づく東海・東南海・南海三連動地震による超高層建物の応答評価
Title(English)	Seismic Response Evaluation Method of High-Rise Building under Tokai-Tonankai-Nankai Multi-Segment Earthquake Based on Response of Earthquakes Constituting Multi-Segment Earthquake
著者(和文)	臼田雄作, 佐藤利昭, 佐藤大樹, 山本優, 北村春幸, 木村雄一, 大和伸行, 木村暢志
Authors(English)	Yusaku Usuda, Toshiaki Sato, Daiki Sato, Yuki Yamamoto, Haruyuki Kitamura, yuichiro kimura, Nobuyuki Yamato, Masashi Kimura
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 659-660
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 659-660
発行日 / Pub. date	2016, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

単独地震の建物応答に基づく東海・東南海・南海三連動地震による超高層建物の応答評価

長周期地震動 超高層建物 時刻歴応答解析 同 山本 優^{*4} 同 北村春幸^{*1} 同 木村雄一^{*4}
 耐震構造 三連動地震 同 大和伸行^{*4} 同 木村暢志^{*4}

正会員 ○ 白田雄作^{*1} 同 佐藤利昭^{*2} 同 佐藤大樹^{*3}

1. はじめに

現在、南海トラフ巨大地震として、東海・東南海・南海三連動地震の発生が懸念されている。連動地震は、それを構成する個々の地震(以降、単独地震と呼ぶ)の震源モデルが同一でも、破壊開始点や発生順序等の差異により様々な想定が可能で、地点ごとに膨大な地震動が予測され得る。筆者らは、単独地震の応答に基づき三連動地震による超高層建物の応答を評価することを目的として、その評価方法を提案してきた^{1,2)}。文献1,2)では、応答スペクトルにおける単独地震と連動地震の対応関係を示し、弾塑性立体骨組モデルを用いた最大値と累積値の評価法を提案した。

本報は、この評価法に基づき、関東・濃尾・大阪平野の計12地点の予測波³⁾を用いて、評価法を適用した単独地震による応答と三連動地震による応答を比較した結果を報告する。

2. 検討用地震動の概要

検討用地震動は、山本・吉村³⁾が作成した3次元FEMによる三連動地震の予測波である。南海地震のみ破壊開始点の異なる2種類のケースを想定している。表1に想定地震とその略称、表2に各平野における検討地点とその略称を示す。

表1 想定地震

	想定地震	略称
単独地震	東海地震	T
	東南海地震	TN
	南海地震(Case-1)	N_1
	南海地震(Case-2)	N_2
連動地震	三連動地震(Case-1)	T-TN-N_1
	三連動地震(Case-2)	T-TN-N_2

表2 検討地点とその略称

(a) 関東平野		(b) 濃尾平野		(c) 大阪平野	
検討地点	略称	検討地点	略称	検討地点	略称
松戸市役所	CBMT	南知多町役場	AIMT	Kik-net 此花	OSKH
野田市役所	CBND	名古屋市役所	AING	大阪府庁	OSOS
久喜市役所	SIKK	常滑市役所	AITK	大阪市役所	OSOS2
東京都庁	TKTK	四日市市役所	MIYK	八尾市役所	OSYO

3. 単独地震と三連動地震の応答スペクトルの対応関係

文献1)では、単独地震と連動地震の対応関係を示している。連動地震の擬似速度応答スペクトル ρS_v は、 n 個の単独地震の $\rho S_{v,i}$ の2乗和平方根として式(1)、入力エネルギー E は n 個の単独地震の総和として式(2a)と考え、その速度換算値であるエネルギースペクトル $V_E(=\sqrt{2E/M}, M:構造物の総質量)$ は式(2b)として評価する。

$$\rho S_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n \rho S_{v,i}^2} \quad (1)$$

$$E = \sum_{i=1}^n E_i, \quad V_E = \sqrt{\sum_{i=1}^n V_{E,i}^2} \quad (2a, b)$$

図1に三連動地震の予測波と式(1)による ρS_v を文献1)で定めた地震動が卓越する「特定の周期帯」で平均化した $\bar{\rho S}_{v,k}$ の Seismic Response Evaluation Method of High-Rise Building under Tokai-Tonankai-Nankai Multi-Segment Earthquake Based on Response of Earthquakes Constituting Multi-Segment Earthquake.

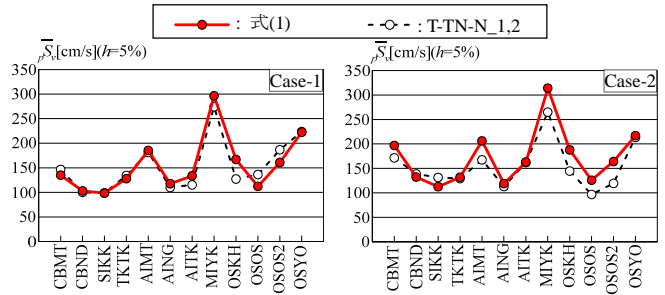


図1 擬似速度応答スペクトルの平均値の $\bar{\rho S}_v$ 比較

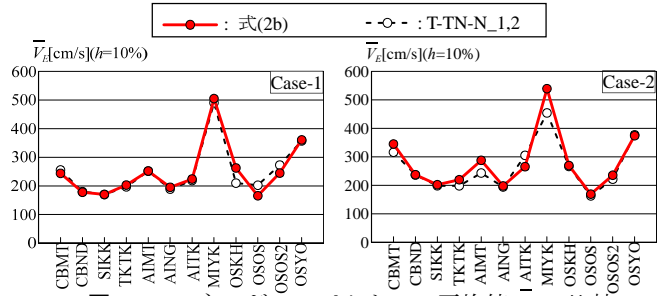


図2 エネルギースペクトルの平均値 \bar{V}_E の比較

比較、図2に三連動地震の予測波と式(2b)による V_E を「特定の周期帯」で平均化した \bar{V}_E の比較を検討地点ごとに示す。図1,2で三連動地震の予測波と式(1)、および(2b)による平均値が良好な対応であることが確認できる。以降は、この対応関係を拡張させた建物モデルを用いた応答評価を試みる。

4. 弾塑性立体骨組モデルを用いた応答評価

4.1 検討用建物モデルの概要

単独地震の応答に基づき三連動地震の応答を評価する。建物モデルは、各検討地点における「特定の周期帯」¹⁾に1次固有周期が含まれる純ラーメン架構の鋼構造超高層建物を選定した^{1,2,4)}。表3に、モデル名、階数、建物総重量 W 、1次固有周期 T_1 、2次固有周期 T_2 、弾性限界・終局($R=1/75rad$)時のベークシア係数 α_y, α_u を示す。

表3 建物モデル諸元

モデル名	階数	W [kN]	T_1 [s]	T_2 [s]	α_y [-]	α_u [-]
50F	50	805,509	7.41	2.52	0.048	0.057
35F	35	373,871	4.07	1.44	0.118	0.126
21F	21	115,347	2.77	0.99	0.212	0.249

4.2 単独地震の応答に基づく三連動地震の最大値の評価

三連動地震による最大値は、単独地震の加速度振幅を増幅させることで評価する。加速度倍率 α_k は、「特定の周期帯」¹⁾における、単独地震の ρS_v の平均値 $\bar{\rho S}_{v,k}$ に対する、式(1)より評価した ρS_v の平均値(図1)の比率より、

$$\alpha_k = \sqrt{\sum_{i=1}^n \rho S_{v,i}^2} / \bar{\rho S}_{v,k} \quad (3)$$

より算出する。層間変形角 R といった最大値は、単独地震波を α_k 倍した入力波による応答解析結果より評価する。詳細に

USUDA Yusaku, SATO Toshiaki, SATO Daiki, YAMAMOTO Yu, KITAMURA Haruyuki, KIMURA Yuichi, YAMATO Nobuyuki and KIMURA Masashi

については文献 1)を参照されたい。

図 3 に、代表として TKTK, OSKH の予測波による層間変形角の高さ方向の分布を示す。三連動地震の予測波に対して、評価法による最大値が(a)で良好な対応関係を示し、(b)では三連動地震の応答を概ね包絡し安全側の評価となった。(b)について、Case-1 で過度に安全側の評価と思われるが、Case-2 で三連動地震の予測波による応答が 0.02 rad と Case-1 より大きいことや、はじめに述べたように様々に想定し得る三連動地震に対する応答評価として、この評価は妥当なものだと考える。図 4 に、各検討地点における最大層間変形角を示す。図 1 の対応関係が概ね反映され、評価法と三連動地震で比較的良好な対応関係が得られた。地点によりやや差異が生じるのは、三連動地震と評価法による単独地震の応答では、変形の集中する層や変形集中の程度の違いが生じるためである。

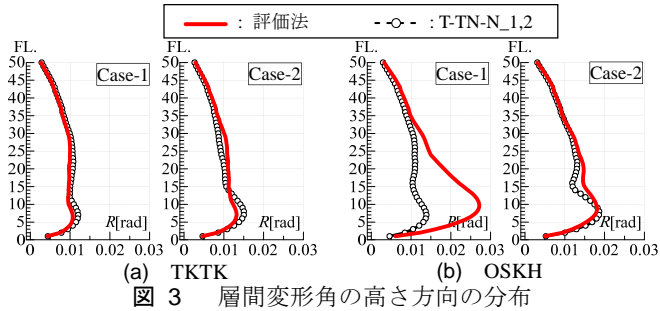


図 3 層間変形角の高さ方向の分布

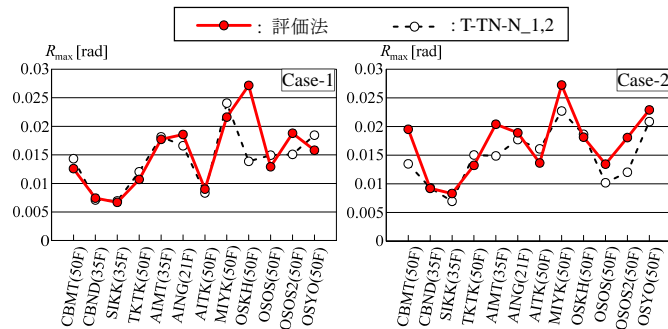


図 4 各検討地点における最大層間変形角

4.3 単独地震の応答に基づく三連動地震の累積値の評価

累積値の評価では、三連動地震の入力エネルギー E を、図 2 で示した式(2b)の「特定の周期帯」における平均値より、

$$E = \frac{1}{2} M \sqrt{\sum_{i=1}^n V_{E,i}^2} \quad (4)$$

と考える。この E を、最大値を評価した単独地震の解析結果よりエネルギーの釣合に基づき配分規定し、三連動地震による累積値を評価する。詳細については文献 2)を参照されたい。

図 5 に、代表として TKTK, OSKH の予測波による層の累積塑性変形倍率 η の高さ方向の分布を示す。三連動地震に対して、評価法による応答値が、(a)で良好な対応関係を示し、(b)で包絡する安全側の評価となった。図 6 に、各検討地点における評価法と三連動地震の予測波による η の最大値を示す。評価法により三連動地震の η を全地点で概ね包絡する結果が得られた。しかし、MIYK や OSYO の Case-1,2 では、図 2 で良好な対応関係を示しているにも関わらず、評価法による η が、三連動地震の応答値を大きく上回り過大評価となっている。

図 1, 2 より、これらの地点に共通して $\rho_s \bar{v}_v$ で 200cm/s、 \bar{v}_E で

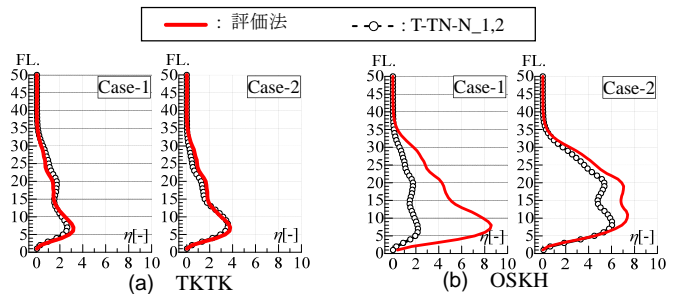


図 5 層の累積塑性変形倍率の高さ方向の分布

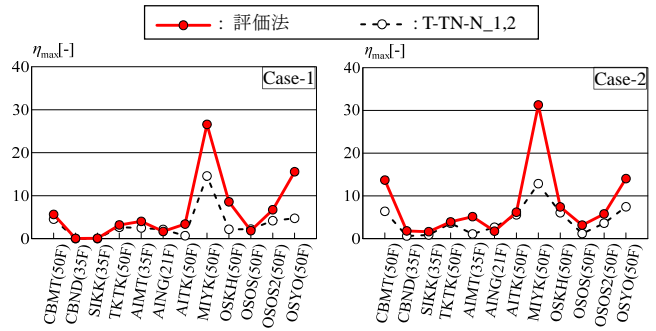


図 6 各検討地点における層の累積塑性変形倍率

350cm/s を超える大きいレベルの三連動地震動の予測波であることが確認できる。このことから弾塑性応答解析における非線形性の影響と考えられる。強い非線形性により入力エネルギーが小さくなるため、三連動地震の予測波による弾塑性応答解析と一質点弾性減衰系の応答である式(4)による評価法の入力エネルギーとの差が大きくなり(図 2)、 η が過大評価となると思われる。これについては今後の課題である。

5. まとめ

文献 1,2)で提案した方法を適用し、関東・濃尾・大阪平野の計 12 地点の予測波を用いて、単独地震の応答に基づき三連動地震による超高層建物の応答を評価した。以下に得られた知見を示す。

- (1) 最大値の評価について、単独地震の加速度振幅を増幅させた入力波の応答解析による層間変形角は、三連動地震の予測波の応答に対して比較的良好な対応関係を示した。
- (2) 累積値の評価について、評価法による層の累積塑性変形倍率は、三連動地震の予測波による応答を概ね包絡したが、一部の地点では過大評価となる結果もみられた。

謝辞

本研究は、大成建設株式会社と東京理科大学北村研究室、東京工業大学佐藤研究室による地震動応答研究会の成果の一部をまとめたものです。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 木村暢志, 北村春幸, 佐藤利昭, 木村雄一, 青野英志, 山本優: 東海・東南海・南海単独地震の応答に基づく三連動地震による超高層建物の最大値と累積値の応答評価法, 日本建築学会構造系論文集, 第 712 号, pp873-883, 2015. 6
- 2) 白田雄作, 佐藤利昭, 橋本航, 木村暢志, 北村春幸, 木村雄一, 山本優: 名古屋で想定される東海・東南海・南海単独地震の応答に基づく三連動地震による超高層建物の応答評価法, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2016. 3
- 3) 山本優, 吉村智昭: 3 次元大規模 FEM による東海・東南海・南海連動地震の長周期地震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第 677 号, pp. 1055-1064, 2012. 7
- 4) 島田侑, 佐藤大樹, 長江拓也, 北村春幸, 福山國夫, 梶原浩一, 井上貴仁, 中島正愛, 斉藤大樹, 福和伸夫, 日高桃子: 超高層建物の下層階に部分配置する履歴型ダンパーの効果と影響に関する検討-長周期地震動を想定した耐震改修-, 日本建築学会構造系論文集, 第 649 号, pp549-557, 2010. 3
- 5) 秋山宏: 非線形性の強い構造物の有効周期, 日本建築学会構造系論文集, 第 621 号, pp.17-23, 2007.11

*1 東京理科大学
*3 東京工業大学

*2 九州大学
*4 大成建設

*1 Tokyo University of Science
*3 Tokyo Institute of Technology

*2 Kyushu University
*4 Taisei Corporation