

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	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累積値の評価 その2：エネルギーの分担方法
Title(English)	Seismic Response Evaluation for Cumulative Damage of High-Rise Building under Tokai-Tonankai-Nankai Multi-Segment Earthquake based on Response of Earthquakes Constituting Multi-Segment Earthquake. Part2: Method for Distribution to Energy
著者(和文)	臼田雄作, 木村暢志, 佐藤大樹, 山本優, 北村春幸, 松田頼征, 木村雄一, 大和伸行
Authors(English)	Yusaku Usuda, Masashi Kimura, Daiki Sato, Yu Yamamoto, Haruyuki Kitamura, Yoriyuki MATSUDA, Yuichi Kimura, Nobuyuki Yamato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-2, , pp. 75-76
Citation(English)	, vol. B-2, , pp. 75-76
発行日 / Pub. date	2017, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

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累積値の評価  
その2: エネルギーの分担方法

長周期地震動 超高層建物 時刻歴応答解析 同 山本 優\*2 同 北村春幸\*1 同 佐藤大樹\*3  
耐震構造 制振構造 連動地震 同 木村雄一\*2 同 大和伸行\*2

正会員 ○ 白田雄作\*1 同 木村暢志\*2 同 佐藤大樹\*3  
同 山本 優\*2 同 北村春幸\*1 同 松田頼征\*1  
同 木村雄一\*2 同 大和伸行\*2

1. はじめに

本報その1では、単独地震と連動地震の累積値に着目し、各種エネルギーとそのエネルギー分担率の対応関係を確認した。その2では、連動地震で生じる主架構の塑性歪エネルギーについて単独地震の応答に基づいた評価を試みる。

2. 連動地震による建物応答の分析

連動地震における主架構を塑性化させる要因として、単独地震の発生間隔が接近し地震動が相互に干渉することで、応答レベルが増大することが考えられる。

図1に地点 OSOS2 における単独地震と T-TN-N\_1,2 の速度波形を示す。(a)Case-1 で  $k=1,2$  の単独地震波の位相が相互に干渉し 100s 付近で  $k=1$  単独地震で最大 41.4 cm/s,  $k=2$  の単独地震で最大 28.2 cm/s の位相が殆ど同時に重なり、T-TN-N\_1 で 60.7 cm/s と 1.5 倍ほど増大することが確認できる。一方、Case-2 は振幅の増減が小さく T-TN-N\_2 の振幅は単独地震と同程度であるものの、干渉が少ない分継続時間の増大が確認できる。これら予測波の疑似速度応答スペクトル  $pS_v$  を図2に示す。Case-1 で  $pS_v$  が増大し、Case-2 では単独地震と同程度か周期によっては小さく、連動することで応答レベルに差異が生じることが分かる。

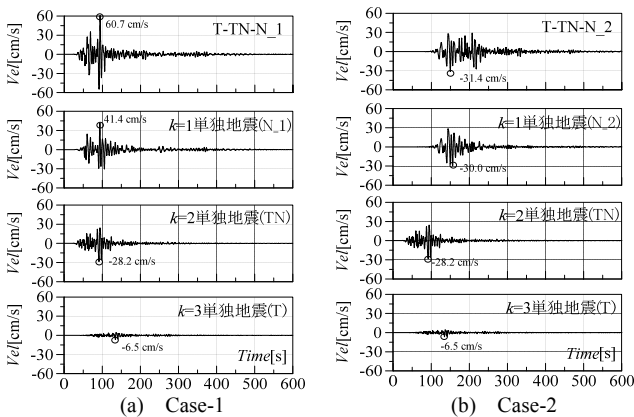


図1 T-TN-N\_1,2 と単独地震の速度波形 (地点:OSOS2)

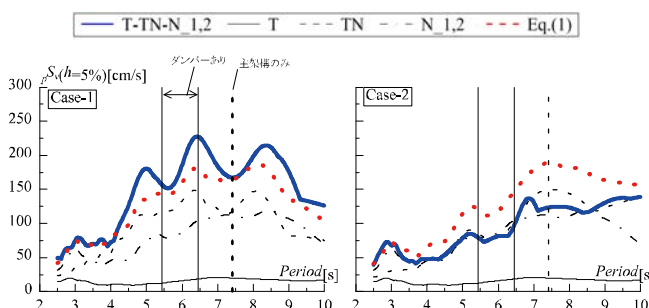


図2 疑似速度応答スペクトル(検討地点:OSOS2)

単独地震の最大加速度  $\text{Max}(Ve^{k=1,2,3})$  と T-TN-N\_1,2 の最大加速度  $\text{Max}(Ve_{T-TN-N_1,2})$  の関係を図3に示す。単独地震の最大

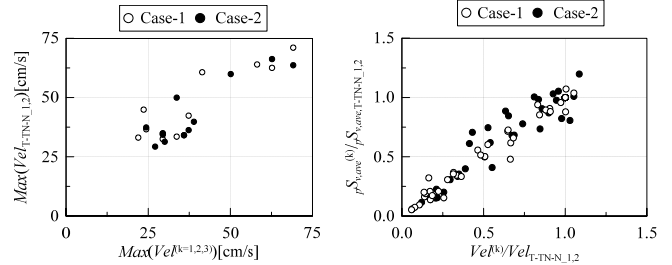


図3 連動による振幅の増減 図4 振幅と  $pS_v$  の増大と関係

振幅と比べて、最大で約2倍の増大、場合によっては1割程度低減することもあり、連動地震の振幅の増減に大きなばらつき幅があることが確認できる。速度振幅比と  $pS_v$  の比率の関係を図4に示す。両者は概ね比例関係にあり、連動による振幅の増大は  $pS_v$  の増大へ影響することがわかる。

単独地震と連動地震の違いが振幅の増大および  $pS_v$  の増大であるならば、エネルギーの分担率における両者の違いもここから生じると考えた。 $pS_v$  とエネルギー分担率の関係を図5に示す。同図の両軸は T-TN-N\_1,2 に対する  $k=1, 2, 3$  の単独地震の比率を軸としている。すなわち、プロットが 1.0(中央)に集中するほど T-TN-N\_1,2 で生じるエネルギー分担率に近づくことを意味する。(a)ダンパーは、横軸 0.2 程度から縦軸 1.0 をとり、エネルギー分担率は T-TN-N\_1,2 と同程度なる。これは、その1で述べたように応答レベルの小さい単独地震においてもダンパーが降伏しエネルギー吸収するためである(その1図3, 6(a))。(b)主架構は、明確な相関関係は見られないが、 $k=1$  単独地震の結果に着目するとプロットが 1.0 に近づくにつれ分布が中央に集中する傾向が見られる。以上より、主架構のエネルギーの分担率は、 $pS_v$  の大きさに関係すると思われる。したがって、 $k=1$  の単独地震波の振幅および  $pS_v$  を増大させることで、連動地震による主架構のエネルギーを評価できると考えられる。

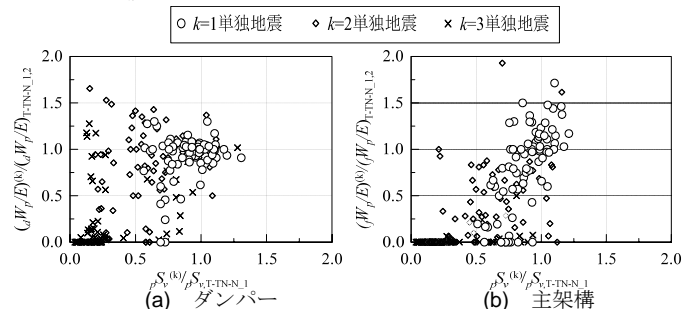


図5 疑似速度応答スペクトルとエネルギー分担率の関係

3. 単独地震に基づく連動地震の累積値の評価

2章の分析をふまえて、連動地震を構成する中で最も影響の大きい  $k=1$  の単独地震 (以下、最大単独地震) の振幅を増大させることでエネルギー分担率を算出し累積値の評価を試みる。

Seismic Response Evaluation for Cumulative Damage of High-Rise Building under Tokai-Tonankai-Nankai Multi-Segment Earthquake based on Response of Earthquakes Constituting Multi-Segment Earthquake. Part2: Method for Distribution to Energy

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

文献<sup>1)</sup>では、擬似速度応答スペクトル $pS_v$ における単独地震とT-TN-N\_1,2の対応関係を示している。その際、連動地震による建物応答が個々の単独地震より増大することを考えた算定式を提案している。連動地震の $pS_v$ について、 $n$ 個の単独地震の $pS_v$ を二乗和平方根(SRSS)として次式より評価する。

$$pS_v = \sqrt{\sum_{k=1}^n pS_{v,k}^2} \quad (1)$$

最大単独地震波に乗じる倍率 $\alpha_1$ は、この擬似速度応答スペクトルの対応関係を用いて、図6に示すように地点ごとに定めた長周期地震動が卓越する「特定の周期帯」<sup>1)</sup>(図中の白色の範囲)における $pS_v$ の平均値の比率として次式より算出する。

$$\alpha_1 = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n pS_{v,k}^2}{\bar{pS}_{v,1}}} \quad (2)$$

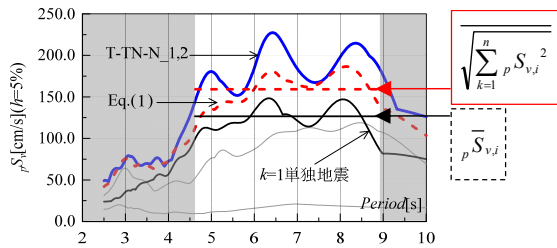


図6 加速度倍率 $\alpha_k$ の算出(模式図)

累積値の評価にあたり、エネルギーの釣合に基づく応答評価法を適用する<sup>2,3)</sup>。最大単独地震波を $\alpha_1$ 倍した応答解析結果(以下、 $\alpha_1$ ・単独地震)より次式のエネルギー釣合式と分担率を得る。左下添え字の $\alpha_1$ は $\alpha_1$ ・単独地震の結果を意味する。

$$\alpha_1 E = \alpha_{1,f} W_h + \alpha_{1,f} W_p + \alpha_{1,d} W_p \quad (3)$$

$$1 = \frac{\alpha_{1,f} W_h}{\alpha_1 E} + \frac{\alpha_{1,f} W_p}{\alpha_1 E} + \frac{\alpha_{1,d} W_p}{\alpha_1 E} \quad (3')$$

式(3')によるエネルギー分担率を、その1式(2)の単独地震の総和として捉えた入力エネルギー(左辺)へ乗じエネルギーを分担することで連動地震によるエネルギーを評価する(式(4))。

$$\sum_{k=1}^n E^{(k)} = \sum_{k=1}^n E^{(k)} \left( \frac{\alpha_{1,f} W_h}{\alpha_1 E} + \frac{\alpha_{1,f} W_p}{\alpha_1 E} + \frac{\alpha_{1,d} W_p}{\alpha_1 E} \right) = f W_h + f W_p + d W_p \quad (4)$$

図7に、例として検討地点OSOS2におけるT-TN-N\_1,2,その1式(2)と式(4)のエネルギー収支の関係を示す。T-TN-N\_1,2の応答に対して、式(4)は、その1式(2)による主架構の塑性歪エネルギー増大させ、連動地震による主架構の塑性歪エネルギーの増大を再現している。特に、Case-2においては、T-TN-N\_2は主架構が塑性に至らない応答であるのに対して、式(4)においては塑性に至る応答となっている。

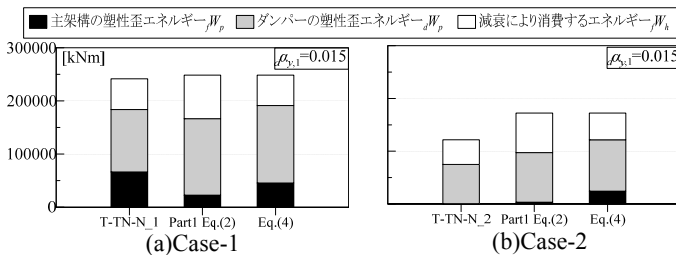


図7 地点OSOS2における制振構造のエネルギー収支

図8にT-TN-N\_1,2と式(3')におけるエネルギー分担率の対応を示す。(a)ダンパーは、 $\alpha_{1,f}:0.005\sim0.015$ では式(3')の割合は2~3割ほど小さいが、 $\alpha_{1,f}:0.025\sim0.035$ と大きい場合、T-TN-N\_1,2と同程度である。その1で $\alpha_{1,f}$ が大きい場合、単独地震ではダンパーのエネルギー量は小さかったが、 $\alpha_1$ ・単独地震では応答レベルの増大に伴いダンパーが降伏しエネルギー吸収するためT-TN-N\_1,2と同程度となったと考えられる。(b)主架構は $\alpha_1$ ・単独地震で殆どのプロットが左斜め上に分布しT-TN-N\_1,2に対して概ね安全側の評価となった。図9に(a)ダンパー、(b)主架構のエネルギーの対応を示す。ダンパーは、T-TN-N\_1,2に対し式(4)の値はばらつきがある。その1よりダンパーは個々の単独地震の影響が大きいため式(4)ではダンパーの累積値の評価は難しいと思われる。(b)主架構は、図8の分担率を用いることで、殆どのプロットが左斜め上に分布する結果が得られた。したがって、連動地震による主架構の塑性歪エネルギーの分担率とエネルギーは、連動による振幅の増大を考慮することで単独地震より評価できると思われる。

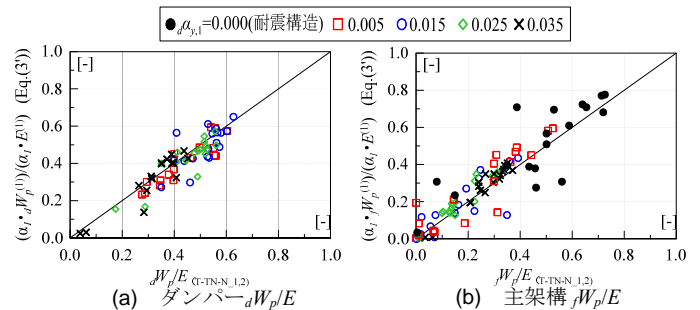


図8 T-TN-N\_1,2に対する式(3')の対応

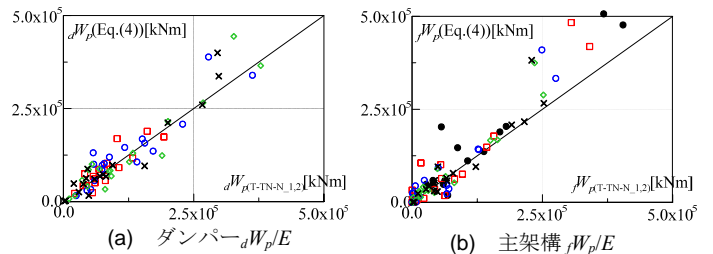


図9 T-TN-N\_1,2に対する式(4)の対応

#### 4. まとめ

本報その1の単独地震と連動地震の対応関係をふまえ、単独地震に基づいた連動地震の累積値の評価を試みた。以下に得られた知見を示す。

- (1) 連動地震は、単独地震波の位相が干渉し振幅および $pS_v$ が増大し、主架構の塑性歪エネルギーの割合が増大する。
- (2) 単独地震の加速度振幅を増幅させることで、連動地震による入力に対する主架構の塑性歪エネルギーの分担率を概ね再現し累積値を評価できる結果が得られた。

今後は、エネルギーの高さ方向について検討予定である。謝辞

本研究は大成建設株式会社、東京工業大学佐藤研究室、東京理科大学北村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。

#### 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、pp.873-883、2015.6
- 2) 秋山宏：エネルギーの釣り合いに基づく建築物の耐震設計、技報堂出版、1999年
- 3) 北村春幸：性能設計のための建築振動解析入門(第二版)、彰国社、2009年

\*1 東京理科大学  
\*2 大成建設  
\*3 東京工業大学

\*1 Tokyo University of Science  
\*2 Taisei Corporation  
\*3 Tokyo Institute of Technology