

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	水平2方向入力によるRC造建物モデルの地震応答に関する検討 その2建物モデル平面内の応答値のばらつきと塑性率の関係に関する検討
Title(English)	Investigation of the relationship between the variation of response in the member model plane and the plasticity ratio
著者(和文)	河野利器, 佐藤大樹, 久田翔俊, Alex Shegay
Authors(English)	Riki KONO, Daiki SATO, Takatoshi SATO, Alex Shegay
出典 / Citation	日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 509-512
Citation(English)	, , , pp. 509-512
発行日 / Pub. date	2024, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

水平 2 方向入力による RC 造建物モデルの地震応答に関する検討

その 2 建物モデル平面内の応答値のばらつきと塑性率の関係に関する検討

構造—振動

正会員 ○ 河野利器^{*1}
〃 久田翔俊^{*1}正会員 佐藤大樹^{*2}
〃 Alex Shegay^{*3}RC 造建物 地震応答解析 損傷評価
2 方向入力 塑性率

1. はじめに

本報その 1 では、一般的な RC 造の中低層共同住宅を想定した 4 種類の建物モデルを用いて、静的増分解析を行った。また、地震波を 1 方向入力した場合と、水平 2 方向入力した場合で時刻歴応答解析を行い、各層の建物重心位置における最大層間変形角と大梁の塑性率の高さ方向分布について検討した。

本報その 2 では、その 1 で対象とした建物モデルに対して、地震動を水平 2 方向入力して時刻歴応答解析を行い、各層の各柱位置における応答値のばらつきについて検討する。

2. 解析概要

本報その 1 に引き続き、板状建物モデルである P-5Model, P-14Model と、□の字型建物モデルである S-5Model, S-14Model の 4 種類の建物モデルを対象とする。

板状建物モデルと□の字型建物モデルの平面図を図 1 に示す。それぞれの 5 層モデルと 14 層モデルは同じ平面図を有する。本報では、図 1 に示すように、板状建物モデルでは 20 箇所、□の字型建物モデルでは 25 箇所の柱位置を対象として応答値を算出する。

入力地震動についても本報その 1 に引き続き、El Centro の水平 2 成分とし、0.1 倍、0.5 倍、1.0 倍、1.2 倍に倍率を変更して入力する。このとき、地震波の入力角度は、建物モデル X 方向に EW 方向、建物モデル Y 方向に NS 方向を入力したときを地震波入力角度 $\theta_g=0^\circ$ とする。本報その 2 では、入力角度 θ_g を変化させて時刻歴応答解析を行い得られる応答値のばらつきについて検討する。

3. 時刻歴応答解析結果

3.1 応答値の評価方法

地震波を 2 方向入力し、各層・各柱位置で水平 2 成分出力された応答値のベクトル和から水平 32 方向の応答値を算出する。32 方向のうち X 軸から反時計回りに θ_r 回転した方向の時刻歴応答値 $z_{i,j,\theta_r}(t)$ は、式(2)を用いて算出

る⁵⁾。

$$z_{i,j,\theta_r}(t) = z_{i,j,X}(t) \cos \theta_r + z_{i,j,Y}(t) \sin \theta_r \quad (2)$$

このとき、 $z_{i,j,X}(t)$ 、 $z_{i,j,Y}(t)$ は、 i 層 j 番目柱位置における X 方向、Y 方向の時刻歴応答値である。

そして、得られた各層・各柱位置・水平 32 方向の時刻歴応答値から、式(3)を用いて各層各柱位置における最大応答値 $z_{i,j}$ を算出する。

$$z_{i,j} = \max |z_{i,j,\theta_r}(t)| \quad (3)$$

SI 値は、式(2)で得られた絶対加速度から各層・各柱位置・水平 32 方向について算出した、減衰定数 $h=20\%$ の速度応答スペクトル $S_{V_{i,j,\theta_r}}(T,h)$ を用いて、式(4)によって算出する⁶⁾。そして、式(5)から各層・各柱位置における最大 SI 値を得る。

$$SI_{i,j,\theta_r} = \int_{0.1}^{2.5} S_{V_{i,j,\theta_r}}(T,h) dT \quad (h=0.2) \quad (4)$$

$$SI_{i,j} = \max(SI_{i,j,\theta_r}) \quad (5)$$

水平 32 方向で得られた SI_{i,j,θ_r} から $SI_{i,j}$ を算出するときの例として、地震波入力角度 $\theta_g=0^\circ$ 、入力倍率 1.0 倍のときの各建物モデル最上層における SI 値の水平 32 方向分布を図 2 に示す。

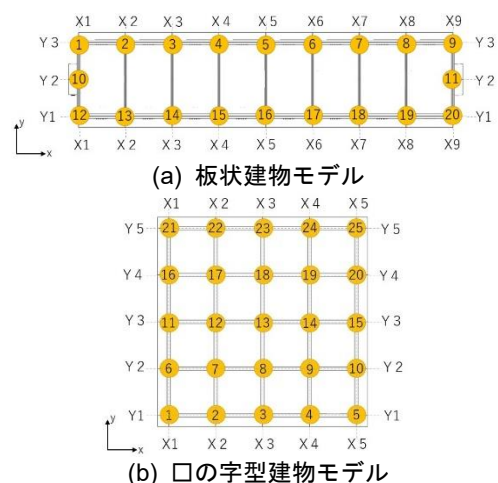


図 1 各建物モデル 平面図

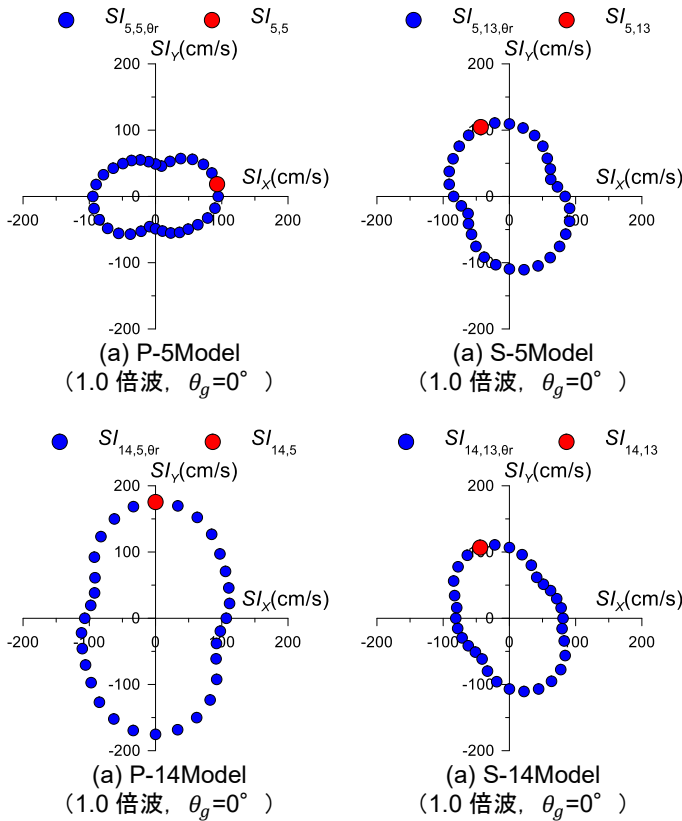


図2 最大SI値の算出

3.2 弾塑性解析した場合の各層平面内における応答値

弾塑性解析を行ったときの応答値について検討を行う。P-5ModelにEl Centro ($\theta_g=0^\circ$, 1.2倍波)を2方向入力して弾塑性解析し、前節の応答評価から得られた4層目各柱位置の最大絶対加速度(以降、PGA)、最大SI値を図3に示す。最大SI値については、柱位置ごとのばらつきはあまり見られず、建物モデル平面内で安定した応答となっていることが分かる。一方で、PGAは比較的ばらつきが大きくなった。X方向に進むにつれてPGAが大きくなって、ばらつきに方向性がみられる。

S-5ModelにEl Centro ($\theta_g=0^\circ$, 1.2倍波)を2方向入力して弾塑性解析し得られた、2層目各柱位置のPGA、最大SI値を図4に示す。図3と同様に、最大SI値はばらつきがほとんど見られず、PGAはX、Y方向に進むにつれて大きくなり、方向性のあるばらつきがみられる。

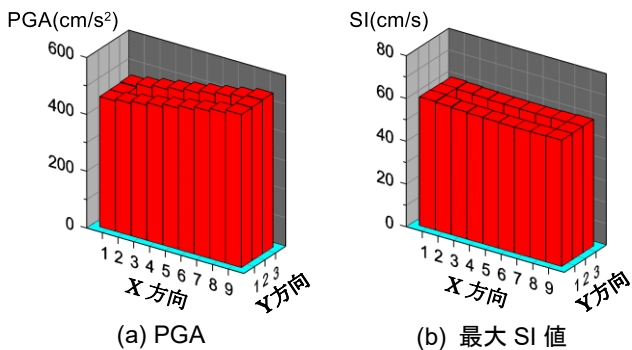


図3 P-14Model 4層目の応答値 ($\theta_g=0^\circ$, 1.2倍波)

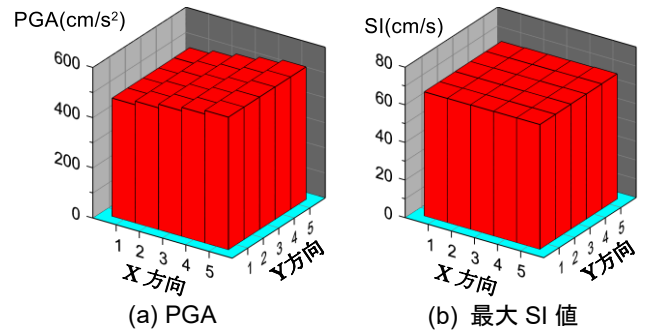


図4 S-5Model 2層目の応答値 ($\theta_g=0^\circ$, 1.2倍波)

3.3 弾性解析した場合の各層平面内における応答値

前節の弾塑性解析で、建物モデル平面内について応答値にばらつきが生じた要因の1つとして、部材の塑性化の影響が挙げられる。そこで、弾性解析を行ったときの応答値について検討を行う。P-14ModelにEl Centro ($\theta_g=0^\circ$, 1.2倍波)を2方向入力して得られた4層目各柱位置の最大絶対加速度(以降、PGA)、最大SI値を図5に示す。また、図6にEl Centro ($\theta_g=0^\circ$, 1.2倍波)をS-5Modelに2方向入力して得られた、2層目各柱位置のPGA、最大SI値を示す。どちらの建物モデルについてもPGA、最大SI値ともに弾塑性解析時と比べて大きな値になる傾向がみられる。また、どちらも柱位置ごとのばらつきはあまり見られない。よって、前節の弾塑性解析では、部材が塑性化したことにより建物モデル平面内で応答値にばらつきが生じたと考えられる。

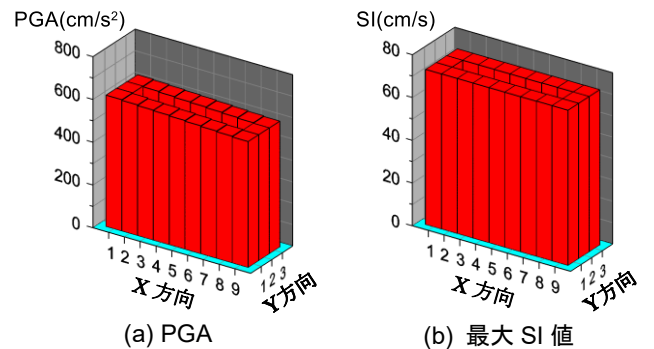


図5 P-14Model 4層目の応答値 ($\theta_g=0^\circ$, 1.2倍波)

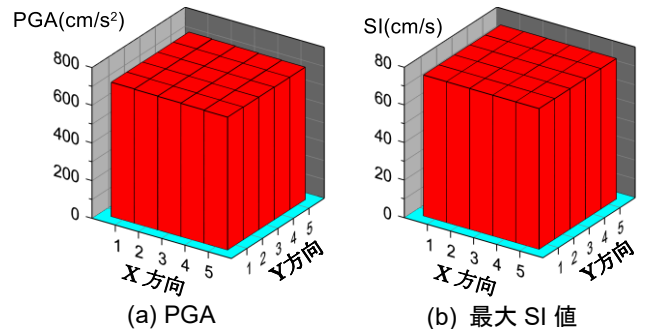


図6 S-5Model 2層目の応答値 ($\theta_g=0^\circ$, 1.2倍波)

4. 変動係数を用いたばらつきの評価

建物モデルの各層平面内における応答値のばらつきの評価を行う。本報では、各応答値のばらつきを評価するための指標として、無次元数である変動係数CVを用いる。各層の変動係数 CV_i は式(4)より得られる。

$$CV_i = \frac{\sigma_i}{\bar{z}_i} \quad (4)$$

ここで、 σ_i 、 \bar{z}_i はそれぞれ各層・各柱位置の最大応答値 $z_{i,j}$ の各層標準偏差、各層平均値であり、それぞれ式(5)、(6)より算出される。

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (z_{i,j} - \bar{z}_i)^2}{n}} \quad (5)$$

$$\bar{z}_i = \frac{\sum_{j=1}^n z_{i,j}}{n} \quad (6)$$

n は各層における柱の数である。

図7に、地震波の入力角度を $\theta_g=0^\circ$ とし、入力倍率を0.1倍、0.5倍、1.0倍、1.2倍に変更して弾塑性解析したときの、各建物モデルのPGAに関する変動係数の高さ方向分布を示す。同様に、最大SI値に関する変動係数の高さ方向分布を図8に示す。なお、図7、8に弾性解析したときの変動係数の高さ方向分布を、それぞれ併せて赤線で示している。PGAと最大SI値の変動係数を比較すると、ほとんどの層で最大SI値の変動係数はPGAの変動係数に比べて小さくなっていることが分かる。また、P-14Modelを除いて比較的小きな値で安定している。よって、最大SI値は建物モデル各層平面内においてばらつきが比較的少ないといえる。これは、SI値が速度応答スペクトルの積分値であり、応答のピーク値について鈍感である一方で、PGAはピーク値をそのままとることが要因として考えられる。

建物モデルごとに比較を行うと、特に変動係数が大きな値になったのがP-14Modelである。地震波入力角度 $\theta_g=0^\circ$ 、入力倍率1.2倍でP-14Modelを対象として弾塑性解析したとき、PGAの変動係数は4層目で最も大きな値となり、最大値は0.05である(図7(c))。このときのP-14Model4層目平面内の応答値を示したものが前章の図3であり、たしかにPGAにばらつきが生じていることが確認できる。SI値の変動係数についても、P-14Modelは他の建物モデルに比べて大きな値になり、入力倍率1.0倍のとき5層目で最大値0.021となっている(図8(c))。S-5Modelについても、変動係数が比較的大きな値になっていて、PGAは2層目で最大値0.03である。このときの応答値を示したものが前章の図4であり、たしかにPGAはばらつきが生じていることが確認できる。一方で、P-5ModelとS-14Modelに着目すると、変動係数は比較的小きな値になっている。特にP-5Modelについては、PGAも最大SI値も変動係数が0.01未満に収まっている。

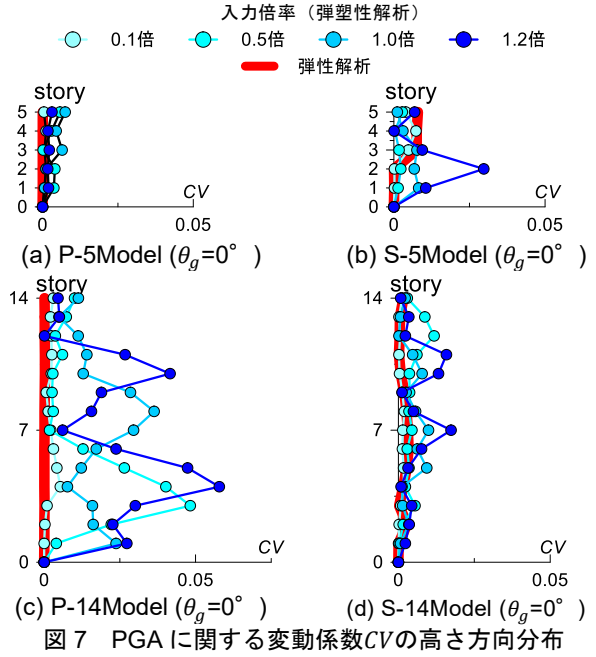


図7 PGAに関する変動係数CVの高さ方向分布

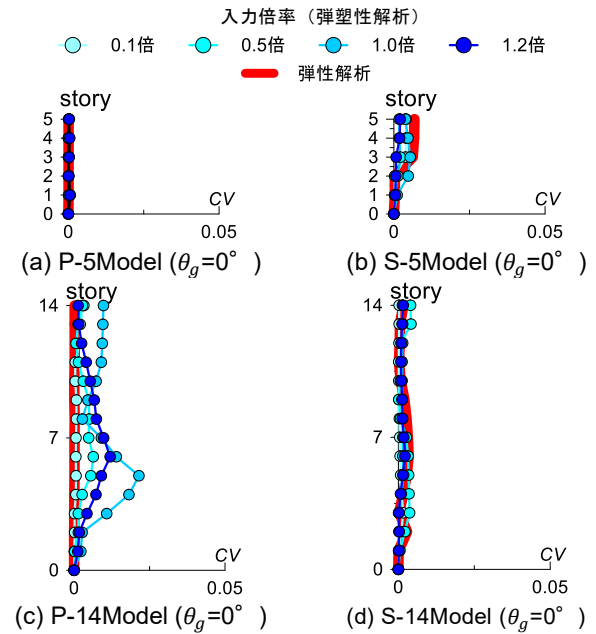


図8 最大SI値に関する変動係数CVの高さ方向分布

5. 応答値のばらつきと塑性率との関係

図9に、地震波の入力角度を $\theta_g=0^\circ$ とし、入力倍率を0.1倍、0.5倍、1.0倍、1.2倍に変更して行った弾塑性解析における、大梁の塑性率の各層平均値の高さ方向分布を示す。

前章で特に大きなばらつきが確認されたP-14Model($\theta_g=0^\circ$)における大梁塑性率の各層平均値の高さ方向分布が図9(c)である。また、図10にElCentro 1.2倍波を2方向入力したときのP-14ModelのY1通り、X1通りのヒンジ図を示す。図10(b)からX1通りでは2~5層目で大梁の塑性率が大きくなっている様子が確認でき、大梁塑性率の最大値は5層目で2.92となった。

4章で述べた通り、地震波入力角度 $\theta_g=0^\circ$ 、入力倍率1.2

倍のときの P-14Model で PGA の変動係数が最大となったのは 4 層目である。すなわち、大梁の塑性率の平均値が最大となった層の 1 層上で PGA に最もばらつきが生じたことが分かった。

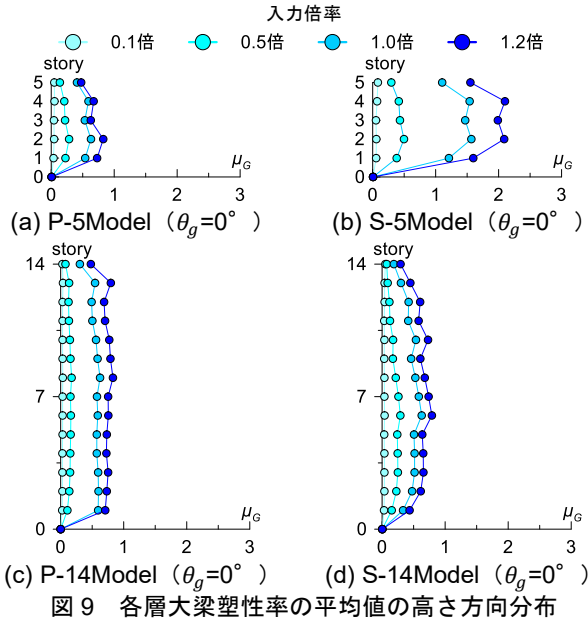


図 9 各層大梁塑性率の平均値の高さ方向分布

4 章で述べた通り、地震波入力角度 $\theta_g=0^\circ$, 入力倍率 1.2 倍のときの S-5Model で PGA の変動係数が最大になったのも 2 層目である。よって、大梁の塑性率の平均値が最大となった層において、PGA に最もばらつきが生じていることが分かった。

以上から、平面内の応答値にばらつきが生じている層の付近では、梁部材が大きく塑性化している傾向が見られる。よって、平面内の応答値にばらつきには部材の塑性化が影響していると考えられる。

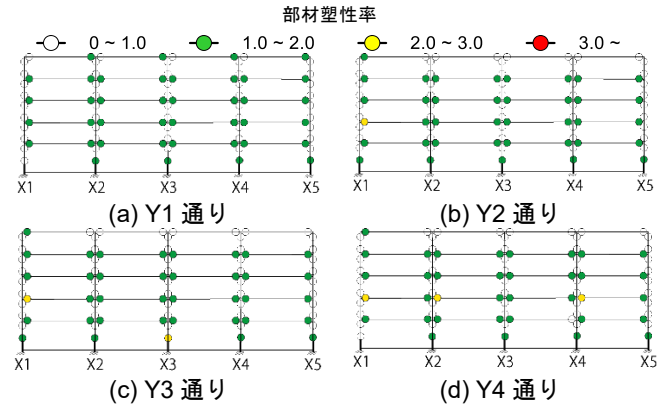


図 11 EICentro 1.2 倍波入力時のヒンジ図 (S-5Model)

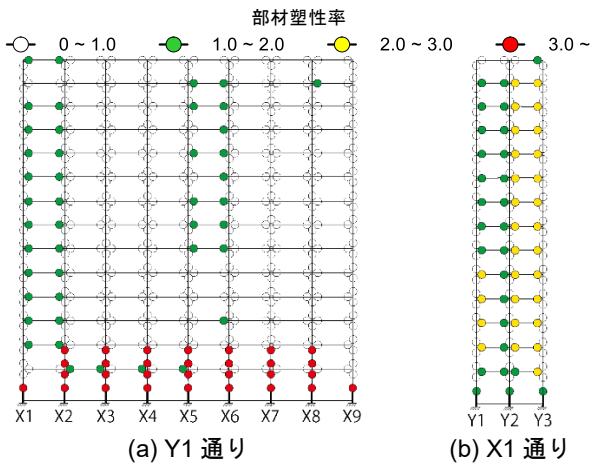


図 10 EICentro 1.2 倍波入力時のヒンジ図 (P-14Model)

次に、S-5Model に着目すると、図 9(b)から、大梁塑性率の平均値は中間層で大きな値となっていて、2 層目で最大値 2.10 をとる。図 11 に EICentro 1.2 倍波を S-5Model に 2 方向入力したときの Y1~Y4 通りのヒンジ図を示す。特に、Y2~Y4 通りでは 2 層目で塑性率が 2.0 を超える大梁があり、他の層に比べて塑性化が進んでいる傾向がみられる。

6. まとめ

本報では、4 種類の RC 造建物モデルを用いて、地震動を 2 方向入力して得られる応答値の各層平面内でのばらつきについて検討を行った。

その結果、弾性解析では応答値のばらつきはほとんど生じなかった。一方、弾塑性解析では各層平面内の最大絶対加速度や最大 SI 値にばらつきが生じることが確認された。

また、変動係数を用いて PGA と最大 SI 値の各層の平面内におけるばらつきを評価した。PGA に比べて最大 SI 値は、変動係数が小さいことが確認された。そのため、最大 SI 値は建物各層平面内において比較的ばらつきが少ないことが分かった。

そして、弾塑性解析時の応答値の変動係数と塑性率との関係について検討をおこなった。特に、大梁塑性率の各層における平均値に着目すると、大梁塑性率の平均値が大きくなった層の付近で PGA の変動係数も大きくなる傾向が見られた。よって、建物各層の平面内における応答値のばらつきには部材の塑性化が影響していると考えられる。

参考文献は本報その 1 にまとめて示す。

*1 東京工業大学 環境社会理工学院 大学院生

*2 東京工業大学 准教授・博士 (工学)

*3 オークランド大学 土木環境工学部 講師・Ph.D.

Graduate, Student, Tokyo Institute of Technology *1

Associate Prof, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng *2

Lecturer, University of Auckland, Civil and Env. Dept. *3