

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	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1 1方向入力時と2方向入力時の建物各層応答値の比較
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. 505-508
Citation(English)	, , , pp. 505-508
発行日 / Pub. date	2024, 3
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

## 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1 1方向入力時と2方向入力時の建物各層応答値の比較

構造—振動

正会員 ○ 河野利器<sup>\*1</sup>  
〃 久田翔俊<sup>\*1</sup>正会員 佐藤大樹<sup>\*2</sup>  
〃 Alex Shegay<sup>\*3</sup>RC造建物 地震応答解析 損傷評価  
構造ヘルスマニタリング 2方向入力

## 1. はじめに

2011年に発生した東北地方太平洋沖地震では、首都圏で鉄道網が麻痺し、多くの帰宅困難者が発生した。建物においても大きな揺れが発生したため、実際には構造体に損傷が発生していなくとも、その大きな揺れによる建物の安全性に対する不安から帰宅・避難が進み、さらに多くの帰宅困難者が発生した。このような事態を防ぐためにも、迅速な構造健全性評価とその省力化が問題となっている。そこで、解決策として注目されている技術に、構造ヘルスマニタリング（以降、SHM）がある<sup>1)</sup>。SHMでは、構造体に設置するセンサーは全層に設置されるのが理想的ではあるものの、費用の問題によって、全ての階ごとに設置することができず、数が限られていることが多い。そのため、本研究では安価な簡易加速度センサーを対象として建物の損傷評価手法を構築することを目的とする。

久田ら<sup>2)</sup>は、時刻歴波形を保存せず、かつセンサー間の同期が取れない簡易加速度センサーが建物すべての層に設置されていると想定し、建物モデルの1方向を解析対象として、建物の損傷評価手法を提案している。今後の課題としては、より多くの建物モデルの水平2方向に地震動を入力した場合について検討することを挙げている。

本報その1では、対象建物モデルについて静的増分解析を行う。また、地震動を1方向入力した場合と水平2方向入力した場合で、それぞれ時刻歴応答解析を行い、各層の重心位置で得られる応答値の違いについて検討する。

## 2. 建物モデル概要

本報では、一般的なRC造の中低層共同住宅を想定した、長方形平面の板状建物（Plate-shaped buildings）の地上5階建てモデルと地上14階建てモデル（以降、それぞれP-5Model, P-14Model）と、正方形平面の口の字型建物（Square-shaped buildings）の地上5階建てモデルと地上14階建てモデル（以降、それぞれS-5Model, S-14Model）を対象建物とする<sup>3)</sup>。それぞれの建物を構造計算プログラムのRESP-Dを用いてモデル化する。図1に各建物モデル

の全体俯瞰図を示す。また、表1, 2に各建物モデルの諸元をそれぞれ示す。

表3, 4に各建物モデルの1次固有周期および有効質量比を示す。表3, 4から口の字型建物モデルについては、5層モデルも14層モデルもともに、X方向とY方向の1次固有周期および有効質量比がほとんど等しいことが分かる。

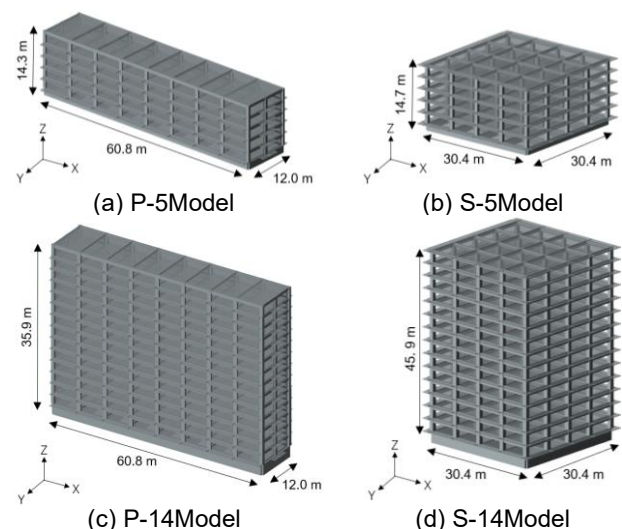


図1 各建物モデル 全体俯瞰図

表1 建物諸元（板状建物モデル）

モデル名	P-5Model	P-14Model
建物高さ	14.3 m	43.7 m
平面プラン	2×8 スパン 12 m×60.8 m	
梁寸法	梁せい 600~700 mm	梁せい 600~1000 mm
	梁幅 300~550 mm	梁幅 300~800 mm
柱寸法	柱幅 600~850 mm	柱幅 600~1050 mm
主筋	295~785 N/mm <sup>2</sup>	
Fc	24~33 N/mm <sup>2</sup>	27~36 N/mm <sup>2</sup>

表2 建物諸元 (□の字型建物モデル)

モデル名	S-5Model	S-14Model
建物高さ	14.7 m	45.9 m
平面プラン	4×4 スパン 30.4 m×30.4 m	
梁寸法	梁せい 700~800 mm	梁せい 900~1150 mm
	梁幅 500~550 mm	梁幅 550~700 mm
柱寸法	柱幅 850 mm	柱幅 950~1100 mm
	主筋 295~785 N/mm <sup>2</sup>	
Fc	24 N/mm <sup>2</sup>	24~36 N/mm <sup>2</sup>

表3 板状建物モデルの1次固有周期及び有効質量比

	P-5Model		P-14Model	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
固有周期(s)	0.46	0.14	0.85	0.60
有効質量比	0.82	0.82	0.78	0.64

表4 □の字型建物モデルの1次固有周期及び有効質量比

	S-5Model		S-14Model	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
固有周期(s)	0.41	0.41	0.80	0.80
有効質量比	0.80	0.80	0.77	0.77

図2, 3に各建物モデルのX方向とY方向の静的増分解析による層せん断力  $Q$  と層間変形角  $R$  の関係を示す。図中に、各層のいずれかの部材にひび割れが発生した点 (●) と各層のいずれかの部材に曲げ降伏が発生した点 (●) を併せて示す。表5, 6には、ひび割れおよび曲げ降伏が初めに発生したときのベースシア係数 (それぞれ、 $C_c$ ,  $C_y$ ) を示す。板状建物モデルに着目すると、5層モデルと14層モデルはともにX方向の剛性がY方向の剛性に比べて小さいことが確認できる (図2)。□の字型建物モデルについては、5層モデルと14層モデルのどちらもX方向とY方向で大きな違いは見られない (図3)。板状建物モデルと□の字型建物モデルはどちらも、14層モデルに比べて5層モデルの各層の剛性は小さい傾向が見られるが、各層のいずれかの部材が初めに塑性化する時の層間変形角は、5層モデルと14層モデルともに多くの層で1/200 rad (0.005 rad) 前後で大きな差はないことが分かる。

表5 板状建モデルのベースシア係数

	P-5Model		P-14Model	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
ひび割れ $C_c$	0.06	0.63	0.077	0.13
降伏 $C_y$	0.36	1.30	0.29	0.31

表6 板状建モデルのベースシア係数

	P-5Model		P-14Model	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
ひび割れ $C_c$	0.08	0.08	0.094	0.094
降伏 $C_y$	0.35	0.35	0.32	0.32

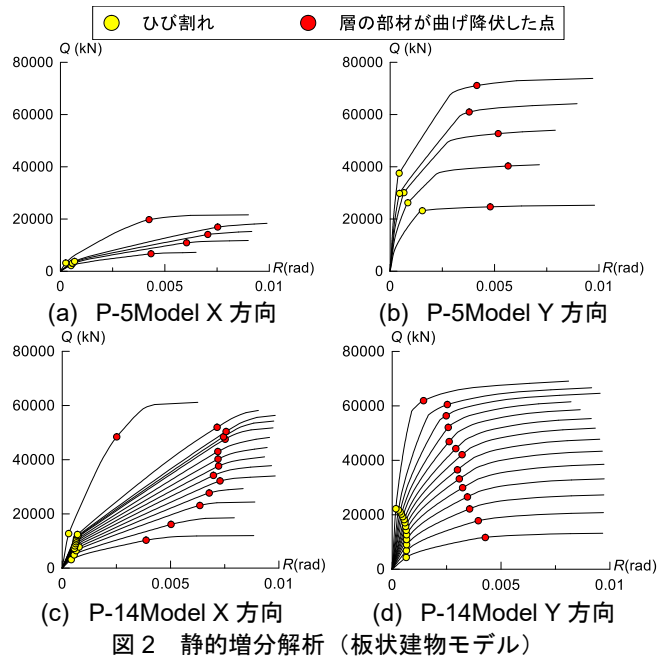


図2 静的増分解析 (板状建物モデル)

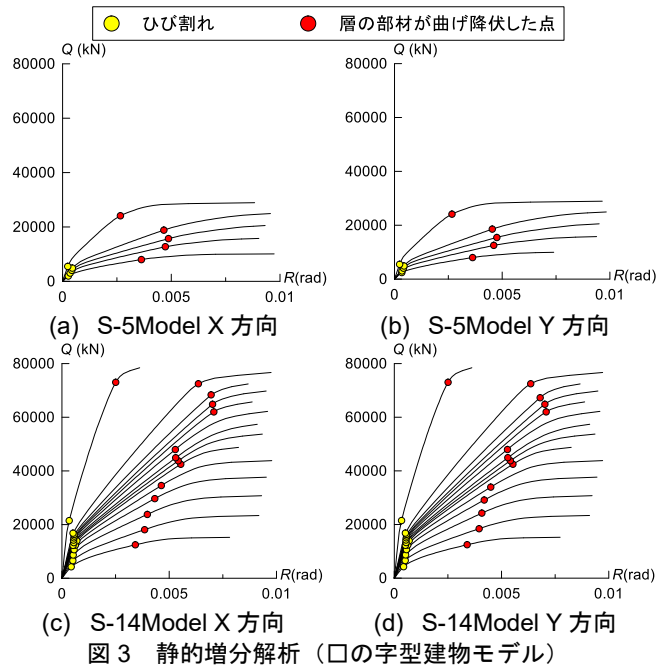


図3 静的増分解析 (□の字型建物モデル)

### 3. 入力地震動概要

本報で対象とする入力地震動は、El Centro 1940 波<sup>4)</sup> (以降 El Centro) とする。図4に El Centro のEW方向, NS方向の時刻歴波形を示す。また、図5には El Centro の水平2方向の加速度応答スペクトル  $S_a$  (減衰定数  $h=5\%$ ) を示す。図5より周期1秒以下ではEW方向に比べてNS方向の方が加速度応答スペクトルが大きいことが分かる。

この地震動を0.1倍, 0.5倍, 1.0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方向を入力するものとする。本報その1では、1方向入力または水平2方向入力し、各層の建物重心位置における応答値について検討を行う。

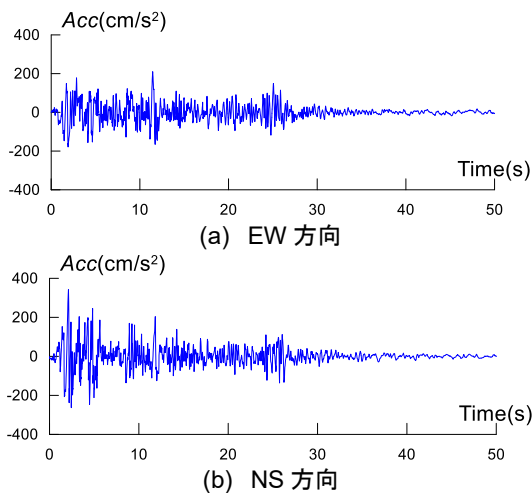


図4 El Centro 1940 波の加速度波形 (1.0 倍)

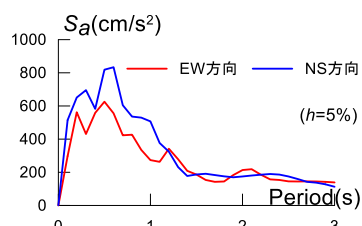


図5 El Centro 1940 波の加速度応答スペクトル (1.0 倍)

#### 4. 時刻歴応答解析結果

##### 4.1 層間変形角の高さ方向分布の検討

図6, 7に地震波の入力倍率を変更して行った時刻歴応答解析により得られた各層の最大層間変形角の高さ方向分布を示す。図6は地震波をX方向のみに入力した場合と2方向入力した場合を比較したもので、図7は地震波をY方向のみに入力した場合と2方向入力した場合を比較したものである。各建物モデルの応答値を比較すると、14層モデルに比べて5層モデルの方が中間層で最大層間変形角が大きくなる傾向がみられる。特に入力倍率0.1倍のときのS-5Modelでは3層目で最大値となり、0.01radを超えていることが確認できる。

X方向入力とY方向入力と比較すると、□の字型建物モデルではY方向入力した場合の方が比較的大きな値になった。3章で述べたように、建物モデル固有周期0.14~0.85s付近において、EW方向と比べてNS方向で地震波のスペクトルが大きいことが要因として考えられる。

図6, 7には点線で各層のいずれかの部材にひび割れが発生するときと各層のいずれかの部材に曲げ降伏が発生するときの層間変形角の高さ方向分布をそれぞれ破線で示している。P-5ModelのY方向のみの入力では、倍率を0.1倍から1.0倍に変えても、全層でひび割れも発生しないことが分かる。一方で、S-5Modelは1.0倍波の1方向入力, 2方向入力ともに、すべての層で降伏が発生している。また、P-14Modelについては、Y方向のみ入力した場合と2方向入力した場合に、すべての層で曲げ降伏が発生している。

1方向入力と2方向入力の層間変形角で比較を行うと、それぞれの建物モデルにおいて、ほとんどの層で1方向入力よりも2方向入力の方が応答値は大きくなっている。しかし、P-14Modelの上層階については、1.0倍波を入力したとき、2方向入力よりもY方向のみに入力した方が大きな応答値となっている層が確認された。

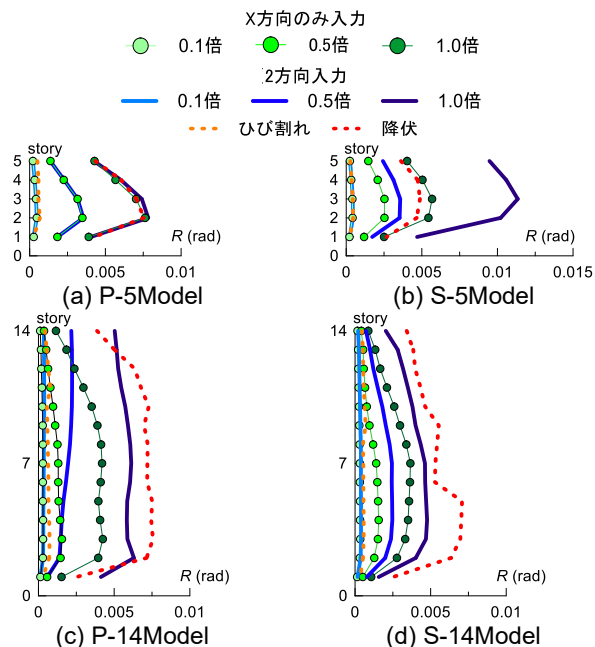


図6 最大層間変形角の高さ方向分布 (X方向のみ入力と2方向入力の比較)

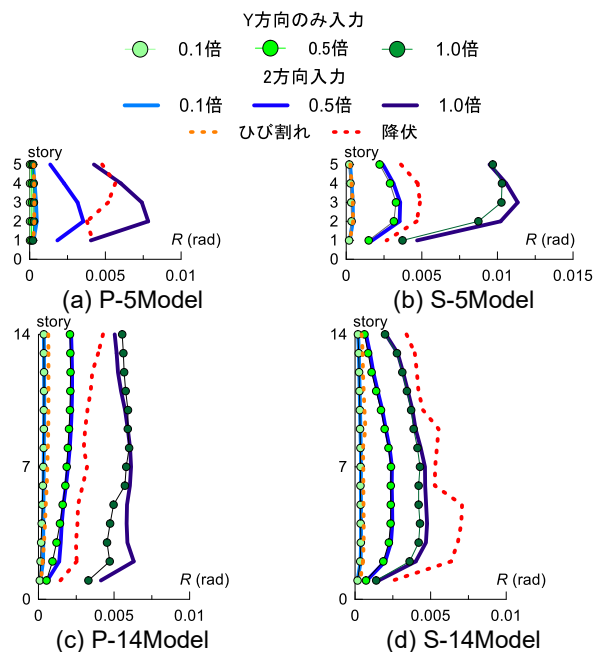


図7 最大層間変形角の高さ方向分布 (Y方向のみ入力と2方向入力の比較)

## 4.2 塑性率の高さ方向分布の検討

ElCentro 1.0 倍波を各建物モデルに 1 方向入力および 2 方向入力して時刻歴応答解析を行い、各層各部材の塑性率を算出する。例として S-5Model の Y 構面のヒンジ図を図 8 に示す。部材塑性率の大きさによってヒンジの色を区別している。

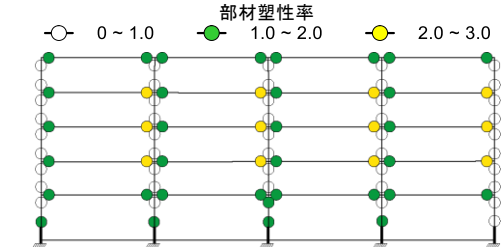


図 8 S-5Model のヒンジ図 (入力倍率 1.0 倍)

図 8 のように算出された各層各部材の塑性率から、各層における大梁塑性率の最大値  $\mu_{G,max}$  を求めた。各建物モデルの  $\mu_{G,max}$  の高さ方向分布を図 9 に示す。

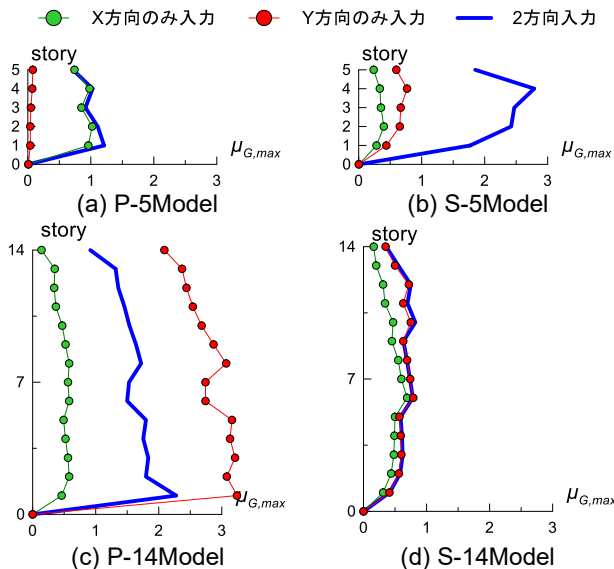


図 9 大梁の最大塑性率の高さ方向分布 (1.0 倍波)

1 方向入力と 2 方向入力で比較すると、P-14Model を除いて、塑性率は 2 方向入力の場合の方が 1 方向入力の場合よりも大きな値となっていることが分かる。これは前節で述べた層間変形角と同様の傾向となっている。一方で、P-14Model は 2 方向入力の時よりも Y 方向のみ入力した場合の方が大きな値となった。

X 方向入力と Y 方向入力で比較すると、P-5Model については X 方向入力の方が Y 方向入力よりも塑性率が大きく、それ以外の建物モデルでは X 方向入力よりも Y 方向入力の方が塑性率は大きくなっている。これらの結果につ

いても前節で述べた層間変形角の結果と同様の傾向である。

各建物モデルの大梁の最大塑性率を比較すると、S-14Model は全層で最大塑性率が 1 未満に収まっている。P-5Model は Y 方向入力では全層 0.1 未満に収まっているが、X 方向入力と 2 方向入力のとき最大塑性率が 1 を超えている層が見られた。S-5Model と P-14Model は比較的大きな値となっていて、最大塑性率が 2 を超える層が確認できる。特に S-5Model では 4 層目で最大値を取り塑性率 2.79 となっている。層間変形角についても S-5Model は 3 層目で最大値 0.01rad を超えており、他の建物モデルと比べて大きな応答を示すことが分かった。

## 5. まとめ

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、地震動 El Centro 1940 波を入力倍率を変えて 1 方向入力および 2 方向入力した。そして、それぞれの建物モデルで得られた層間変形角の各層最大値と大梁塑性率の各層最大値について検討を行った。

層間変形角の各層最大値と大梁塑性率の各層最大値はともに、P-14Model を除いて 1 方向入力よりも 2 方向入力の方が大きな値になった。また、□の字型建物モデルでは X 方向入力よりも Y 方向入力の方が大きな値になった。建物モデルの比較では、S-5Model が最も大きな応答となることが分かった。

本報その 2 では、以上で述べた 4 種類の建物モデルを対象として、地震動を 2 方向入力して時刻歴応答解析を行い得られる応答値の各層平面内のばらつきと塑性率との関係について検討する。

## 参考文献

- 1) 森清宣貴、成島慶、関谷英一、藤井睦：建物の構造ヘルスマニタリングに関する基礎的研究、鴻池組技術研究報告、pp.53-60, 2019
- 2) 久田翔俊、佐藤大樹、Alex Shegay：絶対加速度および絶対速度最大値から推定される建物固有周期の変化と損傷程度との関係、2023 年度日本建築学会大会学術講演梗概集 B-2 分冊、pp.179-180, 2023
- 3) 日本建築防災協会：構造設計・部材断面事例集、2007.6
- 4) 一般財団法人 日本建築センター：地震波のダウンロード、<https://www.bcj.or.jp/download/wave/>
- 5) 秋山宏：建築物の耐震極限設計、1987.9
- 6) Housner, G.W., Behavior of Structures during Earthquakes, Proc. ASCE, EM4, Oct. 1959

\*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