

# 論文 任意角度で作用する2方向地震動に対するRC骨組の非線形応答

松岡 秀典\*1・芳村 学\*2

要旨： RC骨組の耐震設計において2方向地震動の影響を考慮する上での一般的な検討方法である1方向地震動が構面方向の45°から作用する場合と、2方向地震動が作用する場合についての非線形応答の比較を行った。ここで、2方向地震動は任意の角度から作用し得るため、その点を考慮した。また、任意の角度から2方向地震動が作用する場合と、同じく任意の角度から1方向地震動が作用する場合についての非線形応答の総体的な比較も、併せて行った。

キーワード： 任意角度，2方向地震動，1方向地震動，柱せん断力，隅柱変動軸力，静的機構

## 1. はじめに

RC骨組の耐震設計において2方向地震動の影響を考慮する場合、柱部材の応力が最も厳しくなる状態を想定して、骨組の構面方向に対して45°の角度から1方向地震動が作用する場合(以下、45°1方向入力時)を検討する<sup>1)</sup>の一般的なものである。しかし、45°1方向入力時と2方向地震動が作用する場合との応答の関係は十分には明らかになっていない。さらに、2方向地震動は実際には骨組の構面方向に対して任意の角度から作用する。そのため、45°1方向入力時と任意角度から2方向地震動が作用する場合(以下、2方向入力時)の応答を比較する必要がある。

また、2方向地震動の影響を考慮するためには、2方向入力時と任意角度から1方向地震動が作用する場合(以下、1方向入力時)との応答の違いを把握しておくことも意味のあることである。

そこで、本論では、a)45°1方向入力時と2方向入力時との応答の関係を検討し、b)2方向入力時と1方向入力時の応答を入力角度ごとに比較することを行う。なお、検討項目は、1層柱せん断力、1層隅柱変動軸力および最上層水平変形とする。

## 2. 解析方法

### 2.1 解析対象骨組

解析対象骨組は文献2)に示したものと同等である。以下にその概略を示す。

2方向無限均等骨組から内柱一本とそれに取り付く2方向の梁を反曲点から切り出した5層立体架構を解析対象骨組とし、柱および梁の性状をX、Y方向で同一とした(図-1)。

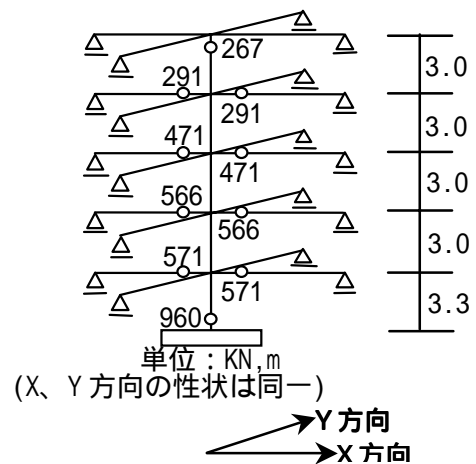


図-1 解析対象骨組  
とヒンジ部の降伏モーメント

骨組諸元を表-1に示す。骨組の各階重量は389KNであり、弾性1次固有周期は0.47秒である。なお、本解析モデルは内柱1本であるが、

\*1 東京都立大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

\*2 東京都立大学大学院教授 工学研究科建築学専攻 工博 (正会員)

内柱に取り付く梁と隅柱に取り付く梁では作用するせん断力が等しいと仮定し、両方向の梁に作用するせん断力の和として1層隅柱変動軸力を評価した(図-2)。

設計は終局強度型耐震設計指針・同解説<sup>3)</sup>に従った。すなわち、設計用ベースシア係数を0.25、設計用外力分布を震度逆三角形分布として、骨組が全体降伏機構となるように設計した。ヒンジ部(1層柱脚と5層柱頭およびRF階を除く梁端)の降伏モーメントを図-1に示す値とし、非ヒンジ部の降伏モーメントは十分大きな値とした。ひび割れモーメントはヒンジ部では降伏モーメントの1/3とし、非ヒンジ部では弾性解析による設計用地震力に対するモーメントに応力割増し係数をかけた値の1/3とした。また、ひび割れ後剛性と降伏後剛性は各々初期剛性の0.182倍、0.001倍とした。

柱の復元力特性には、1方向でのDegrading-Tri-Linearモデルを2方向に拡張したモデル<sup>2)</sup>を用いた。Y方向の1方向応答を受けた時のモーメント平面上での降伏曲面の移動とY方向のモーメント-回転角関係を図-3に示す(図は加力後徐荷時の様子を示している)。柱部材モデルには材端塑性回転バネモデルを用いた。梁の復元力特性には1方向のDegrading-Tri-Linearモデルを用いた。

表-1 骨組諸元

層数	5
階高 (cm)	5~2階: 300 1階: 330
梁b×D (cm×cm)	RF~4階: 40×70 3~1階: 45×75
柱B×D (cm×cm)	5~3階: 65×65 2~1階: 70×70
柱支配面積(cm×cm)	600×600
各階重量(kN)	389
弾性一次固有周期(sec)	0.47

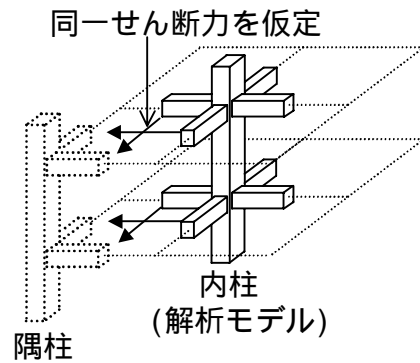


図-2 隅柱変動軸力の評価

## 2.2 入力地震動

入力地震動には、El-Centro 1940 記録(ELC)、兵庫県南部地震での神戸海洋気象台記録(JMA)、宮城県沖地震での東北大学記録(TOH)を用い、

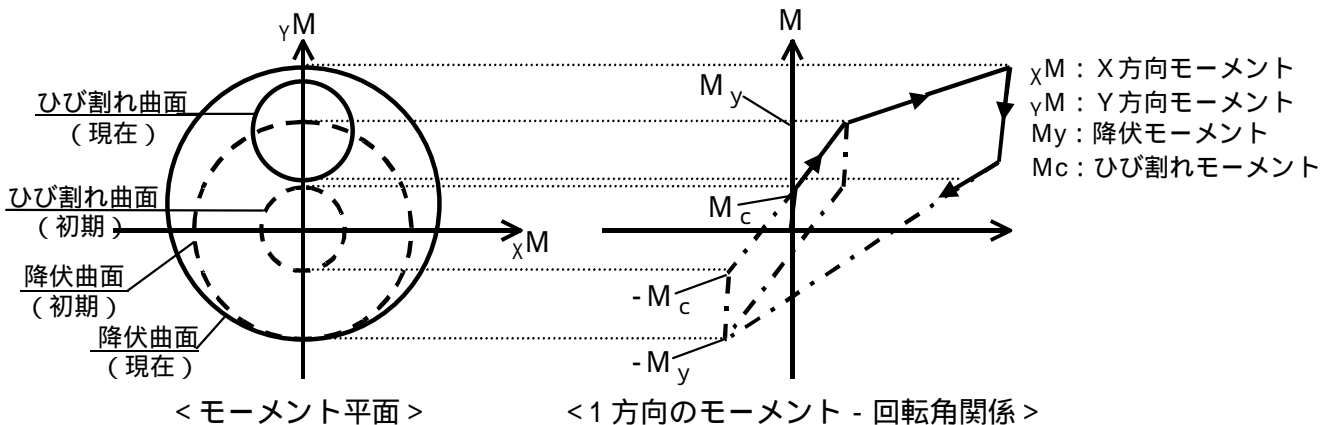


図-3 柱の2方向復元力特性

地震動のレベルは、NS 成分(3 波とも、こちらの地震力の方が大きい)の最大速度を 50cm/s とし、EW 成分には NS 成分に乗じたのと同じ係数を乗じた。原記録に乗じる係数を表 - 2 に示す。

図 - 4 に、地震動の入力角度を示す。1 方向入力時には骨組の X 方向に対して角度  $\theta$  へ NS 成分を作用させた( $\theta = 45^\circ$  のときが  $45^\circ$  1 方向入力時である)。2 方向入力時には NS 成分のほか EW 成分を作用させた。

角度  $\theta$  は、 $0^\circ \sim 90^\circ$  まで  $5^\circ$  刻みとした。

表 - 2 入力地震動  
(原記録に乗ずる係数)

地震動	係数
ELC	1.49
JMA	0.56
TOH	1.38

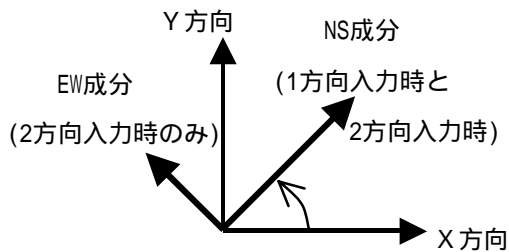


図 - 4 入力角度

### 3. 解析結果

#### 3.1 2 方向入力時と 1 方向入力時の応答値

##### (1) 1 層柱せん断力

2 方向入力時および 1 方向入力時での各角度における 1 層柱せん断力のベクトル和の最大値を、構面方向( $0^\circ$ )での静的解析における機構時での値で基準化して図 - 5 に示す。同図には 2 方向入力時での最大の値と  $45^\circ$  1 方向入力時の値を示してある(2 方向入力時での最小の値と平均値も示してあるが、これらについては後述する)。また、構面方向および構面から  $45^\circ$  の方向への静的解析(外力分布は震度逆三角形)における機構時の 1 層柱せん断力を表 - 3 に示す。

表 - 3 において  $45^\circ$  静的機構時の 1 層柱せん断力は  $0^\circ$  静的機構時に対して 1.33 倍であり、2 倍より小さい。これは、最上層柱頭、最下層柱脚では柱に降伏ヒンジが生じるためである。

図 - 5 において、1 方向入力時には、角度が  $45^\circ$  に近づくとつれて値が増加している。これは、 $0^\circ$  の場合には 1 方向の梁耐力しか柱せん断

表 - 3 静的機構時応力

角度	$0^\circ$	$45^\circ$
1層柱せん断力 (KN)	491	651 (1.33)
1層隅柱変動軸力(KN)	655	1287 (1.96)

( )内は  $0^\circ$  静的機構時に対する比率

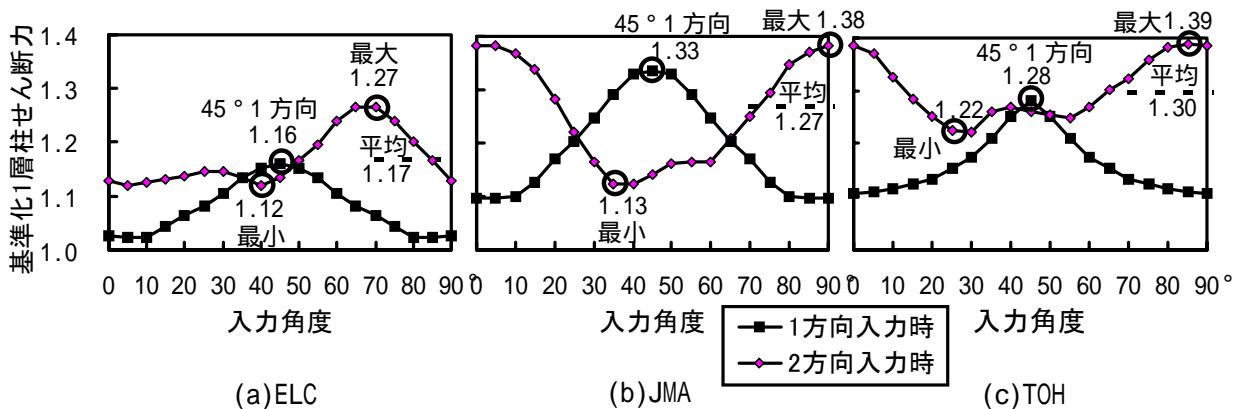


図 - 5 基準化 1 層柱せん断力

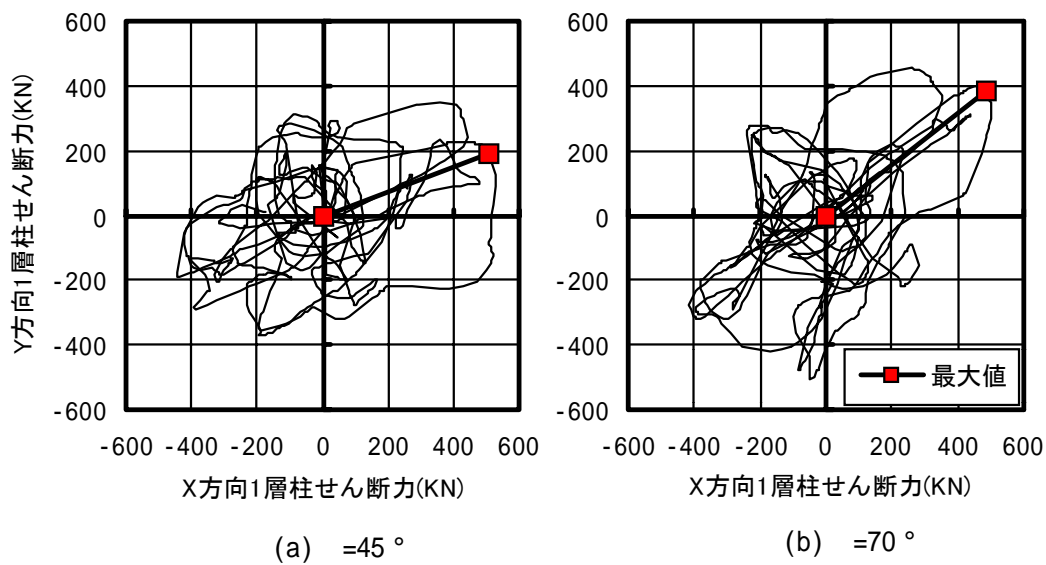


図 - 6 1層柱せん断力の軌跡(ELC)

力に寄与しないのに対して、角度が45°に近づくにつれて両方向の梁耐力が柱せん断力に寄与するようになるためである。なお、JMAとTOHでの45°1方向入力時の値は、45°静的機構時の値にほぼ等しい。

2方向入力時には、ELCでは70°、JMAでは90°、TOHでは85°の場合に最大の値を示している。ここで、ELCで、45°、70°の場合における1層柱せん断力の軌跡を図-6に示す。図中の はベクトル和が最大となる点を示している。ベクトル和の最大値は、45°の場合には骨組の45°方向から離れた角度で生じているが、70°の場合には骨組の45°方向に近

い角度で生じている。つまり、2方向入力時においても1方向入力時と同様、骨組の45°近くに応答点 came 時に値は最大となるのである。図には示さないが、他の地震動についても同様な結果であった。なお、図-5において2方向入力時における最大の値は、JMA、TOHの場合45°静的機構時の値を上回っている。これは、柱せん断力に対する高次モードの影響が考えられる。

(2) 1層隅柱変動軸力

2方向入力時および1方向入力時での各角度における1層隅柱変動軸力の最大値を、0°静的機構時における値で基準化して図-7に示す。

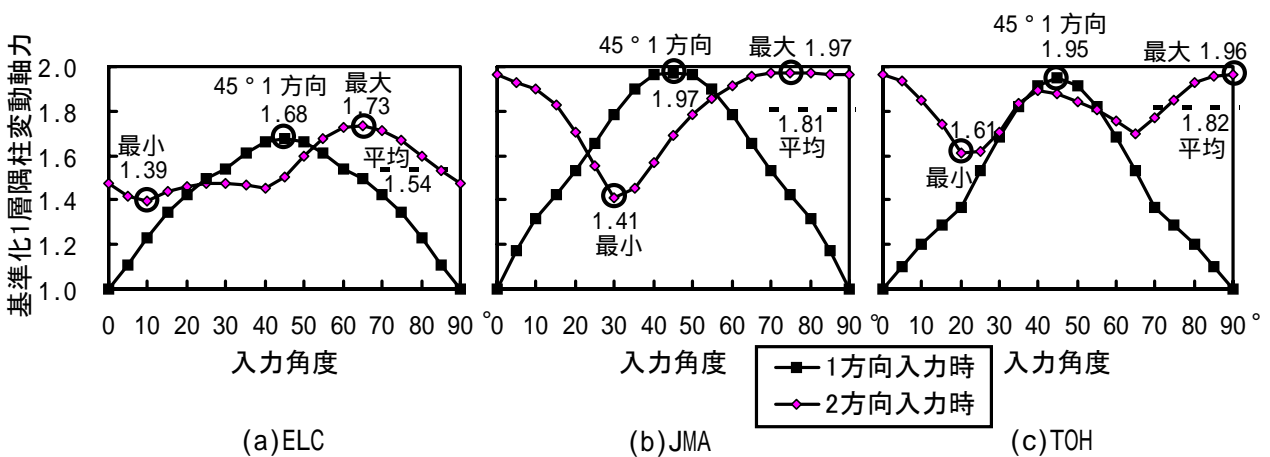


図 - 7 基準化1層隅柱変動軸力

同図には2方向入力時での最大の値と45°1方向入力時の値を示してある(2方向入力時での最小の値と平均値も示してあるが、これらについては後述する)。また、0°静的機構時と45°静的機構時における1層隅柱変動軸力を表-3に示す。表-3において45°静的機構時の1層隅柱変動軸力は0°静的機構時の値に対して1.96倍であり、2倍より少し小さい。これは、先ほど45°静的機構時における1層柱せん断力のところでも述べたのと同じ理由による。

図-7において、1方向入力時には、角度が45°に近づくにつれて値が増加している。これは、1層柱せん断力の場合と同様、角度が45°に近づくにつれて両方向の梁耐力が1層隅柱変動軸力に寄与するようになるためである。なお、JMAとTOHでの45°1方向入力時の値は45°静的機構時の値にほぼ等しい。

2方向入力時には、ELCでは65°、JMAでは80°、TOHでは90°の場合に最大の値を示している。これらの角度は1層柱せん断力が最大の値を示す角度とほぼ同じであり、これらの角度の場合に最大の値を示す理由も1層柱せん断力の場合と同じである。なお、2方向入力時における最大の値は、JMA、TOHの場合45°静的機構時の値とほぼ等しい。

### (3) 最上層水平変形

2方向入力時および1方向入力時での各角度における最上層水平変形の最大値を、0°静的機構時における値(8.70 cm)で基準化して図-8に示す。同図には、2方向入力時での最小の値と45°1方向入力時の値を示してある。

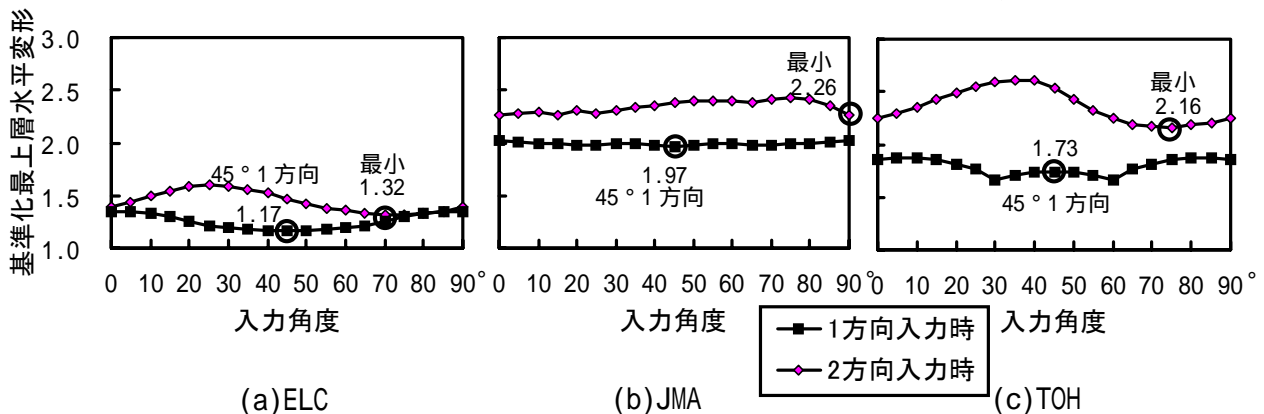


図-8 基準化最上層水平変形

1方向入力時には、JMAでは変化が見られないが、ELC、TOHでは角度が45°に近づくにつれて、値がわずかにあるが減少している。角度が45°に近づくにつれて両方向の梁耐力が骨組の耐力に寄与するため、それに反比例して変形量は減少する傾向となる、と考えられる。

2方向入力時の場合、ELCでは70°、JMAでは90°、TOHでは、75°の場合に最小の値を示している。これらの角度は、1層柱せん断力および1層隅柱変動軸力が最大の値を示す角度とほぼ同じであり、骨組耐力が高いとそれに反比例して変形量が減少する傾向にあることがその理由である。なお、45°1方向入力時の値と2方向入力時の最小の値を比べると、前者の方が小さい。

### 3.2 45°1方向入力時と2方向入力時の比較

3つの検討項目について、45°1方向入力時と2方向入力時の値の比較を以下に述べる。1層柱せん断力と1層隅柱変動軸力について、2方向入力時の最小の値と平均値を図-5、図-7に示す。ここで、2方向入力時の平均値は、2方向地震動がどの角度からも等確率に作用することを考慮したものである。

1層柱せん断力の場合、図-5より、45°1方向入力時の値は、2方向入力時での最大の値より小さいが、最小の値よりは大きく、平均値にほぼ近いことがわかる(平均値との違いは1~6%)。

1層隅柱変動軸力の場合、図-7より、45°1方向入力時の値は、2方向入力時での最大の値にほぼ等しいことがわかる(最大の値との違い

は1~5%)。45°1方向入力時の値が、1層柱せん断力では2方向入力時の平均値に近く、1層隅柱変動軸力では2方向入力時の最大の値に近いのは、1層柱せん断力に対しては高次モードの影響が大きい(2方向入力時の値が45°静的機構時の値以上になる)、1層隅柱変動軸力に対してはその影響が小さい(2方向入力時の値が45°静的機構時の値以上にならない)ため、と考えられる。

すでに述べたことであるが、最上層水平変形の場合、図-8より、45°1方向入力時の値は2方向入力時での最小の値よりさらに小さい。

### 3.3 2方向入力時と1方向入力時の比較

3つの検討項目について、角度ごとに2方向入力時の値から1方向入力時の値を引いた差分を図-9に示す。また、総体としての応答量を比較するために、これらの値の平均値を表-4に示す。

1層柱せん断力と1層隅柱変動軸力については、どの地震動でも45°に近い角度で2方向入力時の値が1方向入力時より小さくなっている。これは、45°に近い角度のときには1方向入力時の値が大きいためである。また、最上層水平変形の場合、角度に関係なく2方向入力時の値のほうが1方向入力時の値より大きい。

表-4に示した各角度での差の平均値は、1層せん断力、1層隅柱変動軸力、最上層水平変形で各々、6~14%、14~36%、19~57%である。

## 4. まとめ

本研究から得られた知見をまとめると以下のようになる。

(1) 45°1方向入力時の応答は、1層柱せん断力については2方向入力時の各角度での平均値に、また、1層隅柱変動軸力については2方向入力時での最大の値にほぼ等しく、最上層水平変形については2方向入力時での最小の値よりさらに小さい。45°1方向入力時の応答がこのような位置付けであることに留意する必要がある。

(2) 2方向入力時と1方向入力時での応答の違いを総体としてみると、1層せん断力、1層隅柱変動軸力、最上層水平変形について各々、10%、10~40%、20~60%程度、前者のほうが大きい。

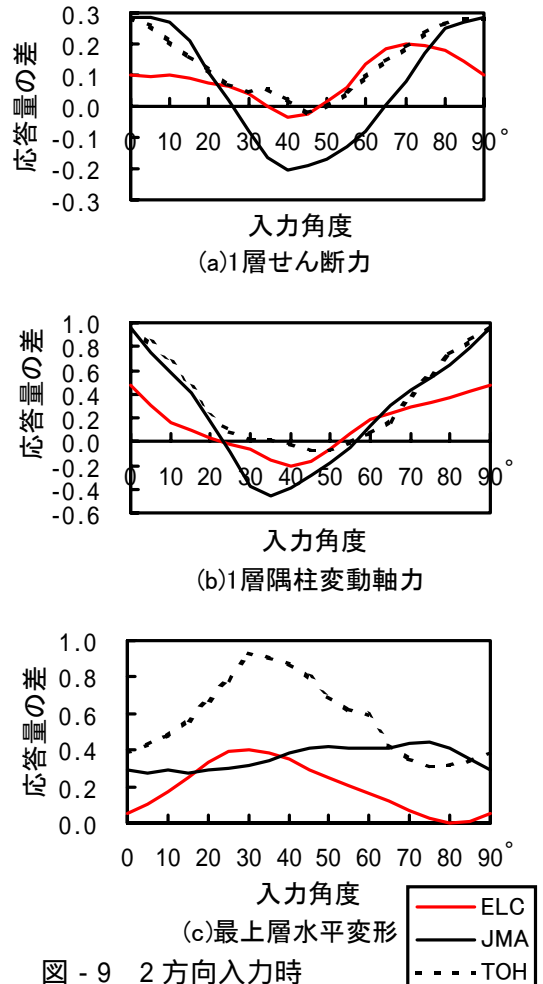


表-4 総体としての応答量の差

地震動	1層柱せん断力	1層隅柱変動軸力	最上層水平変形
ELC	0.09	0.14	0.19
JMA	0.06	0.26	0.36
TOH	0.14	0.36	0.57

### 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999
- 2) 木原祥智，芳村学：任意方向地震動を受けるRC建物の降伏機構と変形方向，コンクリート工学年次論文報告集，第18巻 第2号，pp245~250，1996
- 3) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説，1990