JSCA千葉　若手向け構造設計研修会

# 真に強い木造住宅を目指して

JSCA千葉　技術委員会

(有)MASA建築構造設計室

真崎雄一

ポリテクカレッジ千葉　2010.12.16

# 過去の地震被害

兵庫県南部地震（1995年）

# 過去の地震被害

兵庫県南部地震（1995年）

# 過去の地震被害

兵庫県南部地震（1995年）

# 過去の地震被害

兵庫県南部地震（1995年）

ニュートンの力の定義

$$F = mA$$

フックのバネの定義

$$F = kD$$

$A$ ：加速度

$m$ ：質量

$k$ ：バネ定数

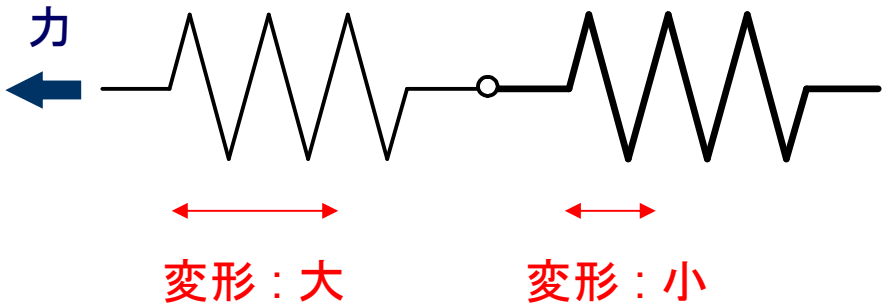
$D$ ：変形

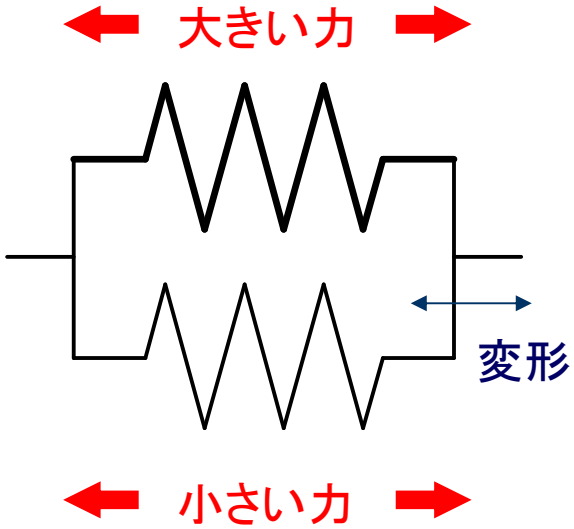
$F$ ：力

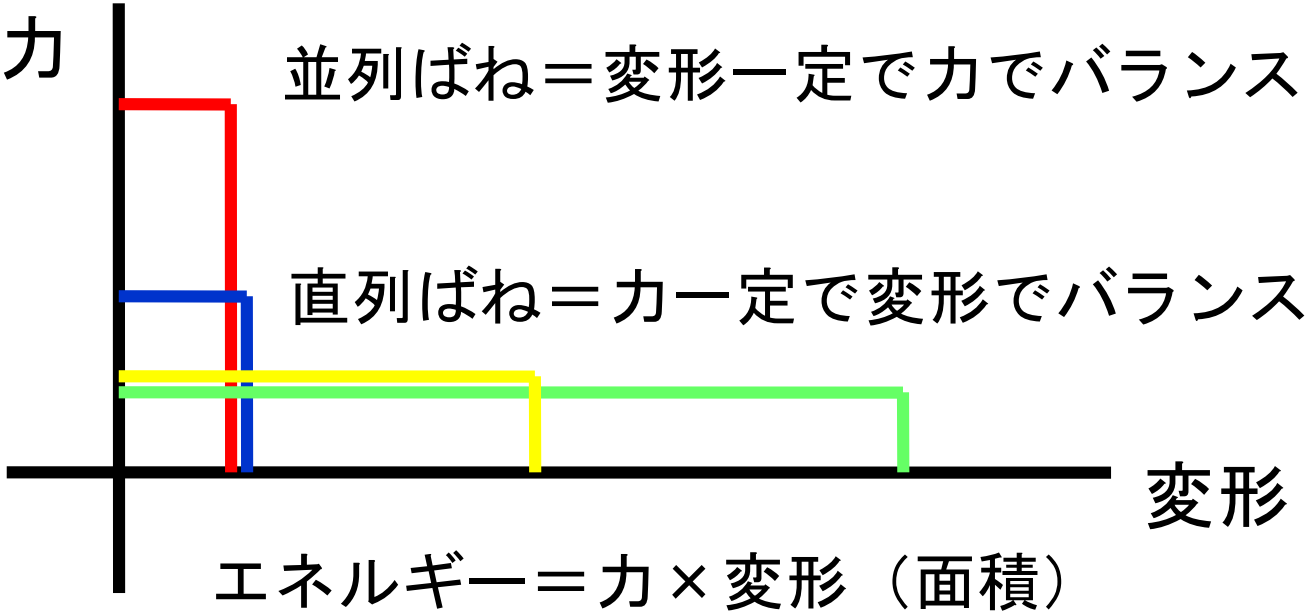
ニュートンとフックの運動方程式

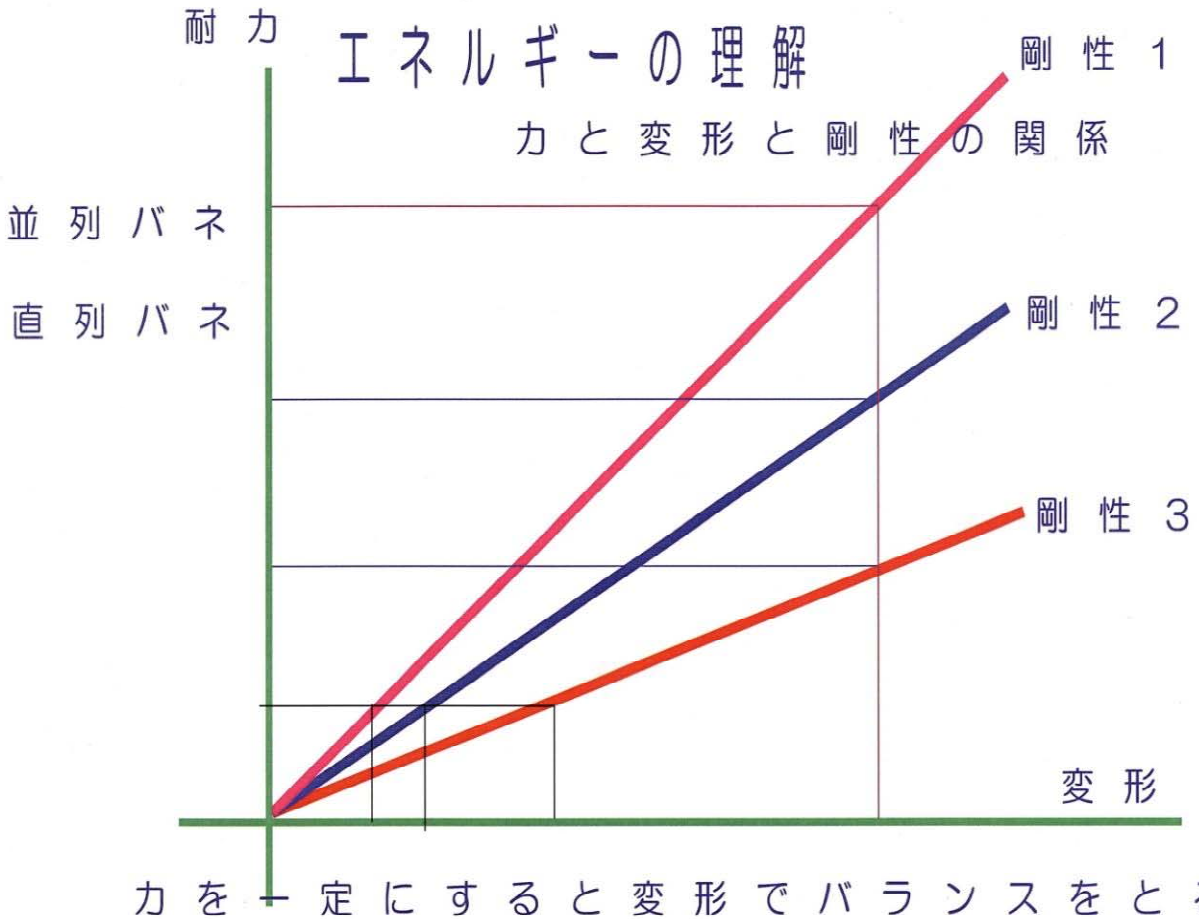
$$mA = kD$$

# 直列ばねと並列ばね


力
変形：大
変形：小


大きい力
変形
小さい力

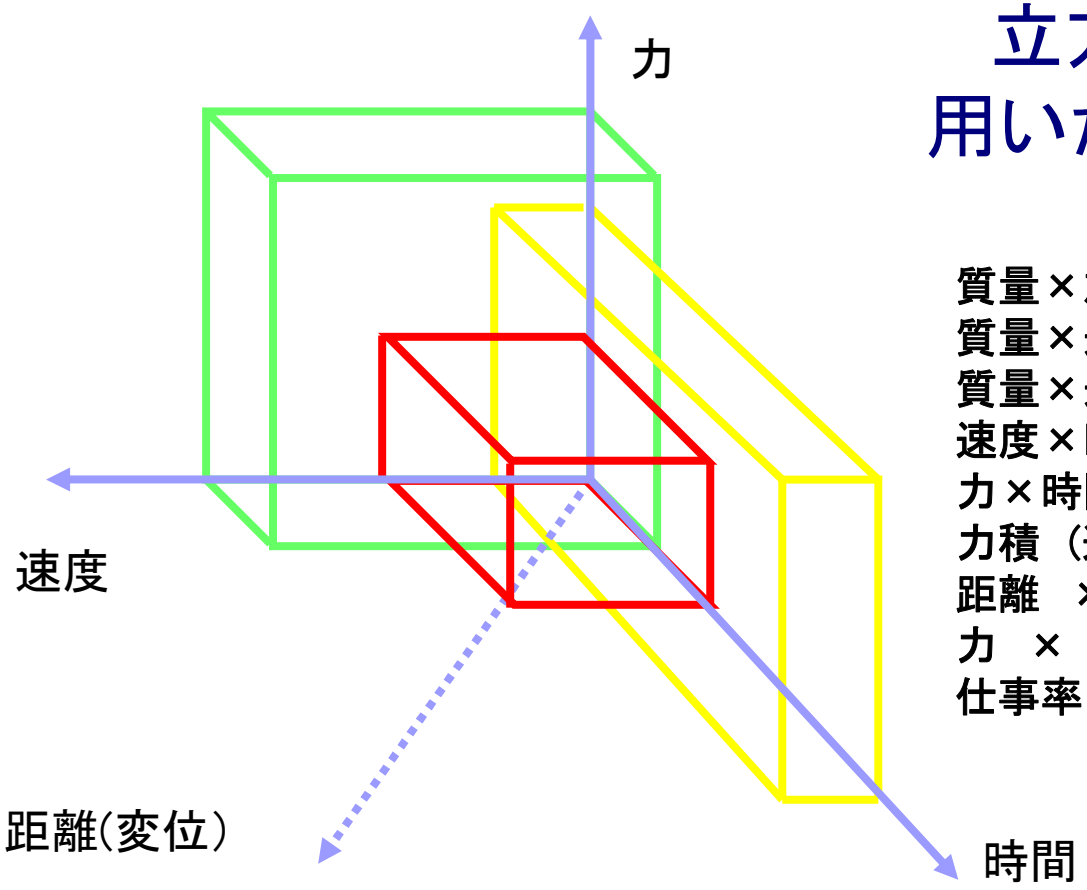

力
並列ばね＝変形一定で力でバランス
直列ばね＝力一定で変形でバランス
変形
エネルギー＝力×変形（面積）




力を一定にすると変形でバランスをとる。

変形を一定にすると力でバランスをとる。

# 立方体の体積量を用いたエネルギー概念




質量×加速度＝力
質量×速度＝運動量
質量×速度の変化=運動量の変化
速度×時間＝距離(変位)（空間）
力×時間＝力積　運動量の変化
力積（運動量の変化）×速度＝エネルギー
距離　×　力　＝エネルギー
力　×　速度　＝仕事率
仕事率　×　時間　＝エネルギー

## エネルギー一定とすると

速度が無限に小さく力(重さ)が一定でもエネルギーの消費の時間が長い＝クリープ
作用時間が非常に短いと速度と力(仕事率)が大きくなる＝衝撃力
力が小さくとも時間を短くすると速度が速くなり衝撃力は大きくなる。

# 運動量・力の変換図

$$\frac{mV^2}{2} = \frac{m\alpha}{2} \times X$$

$$V^2 = \left| \alpha \times X \right|$$

速度の2乗＝力×変形

運動エネルギーの大別

慣性速度エネルギー
慣性力エネルギー
(復元力エネルギー)

振動数

$$f = \frac{V}{2\pi X}$$

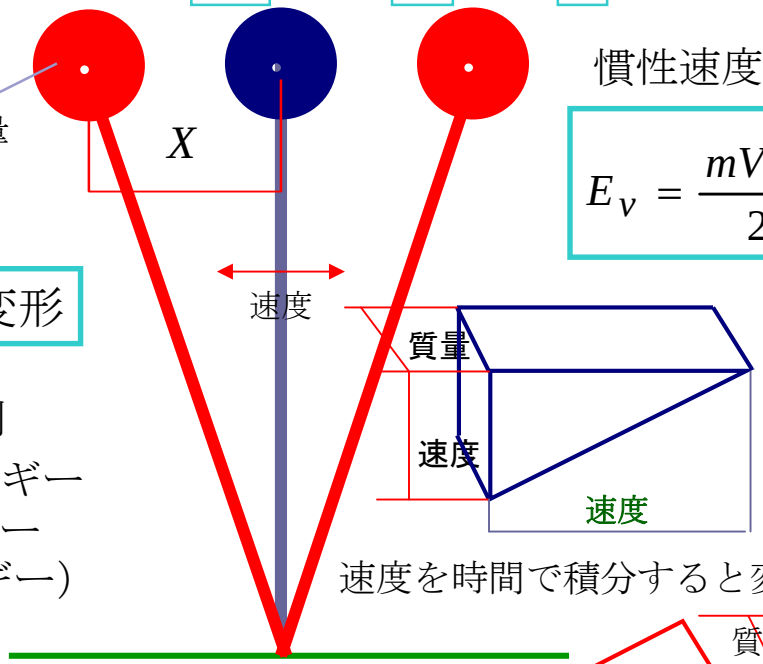
速度最大

運動量＝質量×速度

$mv$　$m$　$v$

加速度最大(変位)

力＝質量×加速度




慣性速度エネルギー

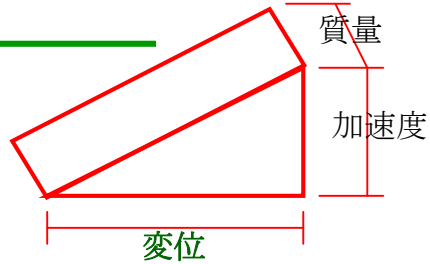
$$E_v = \frac{mV^2}{2}$$




復元力(弾性力)エネルギー

$$E_r = \frac{kX^2}{2}$$

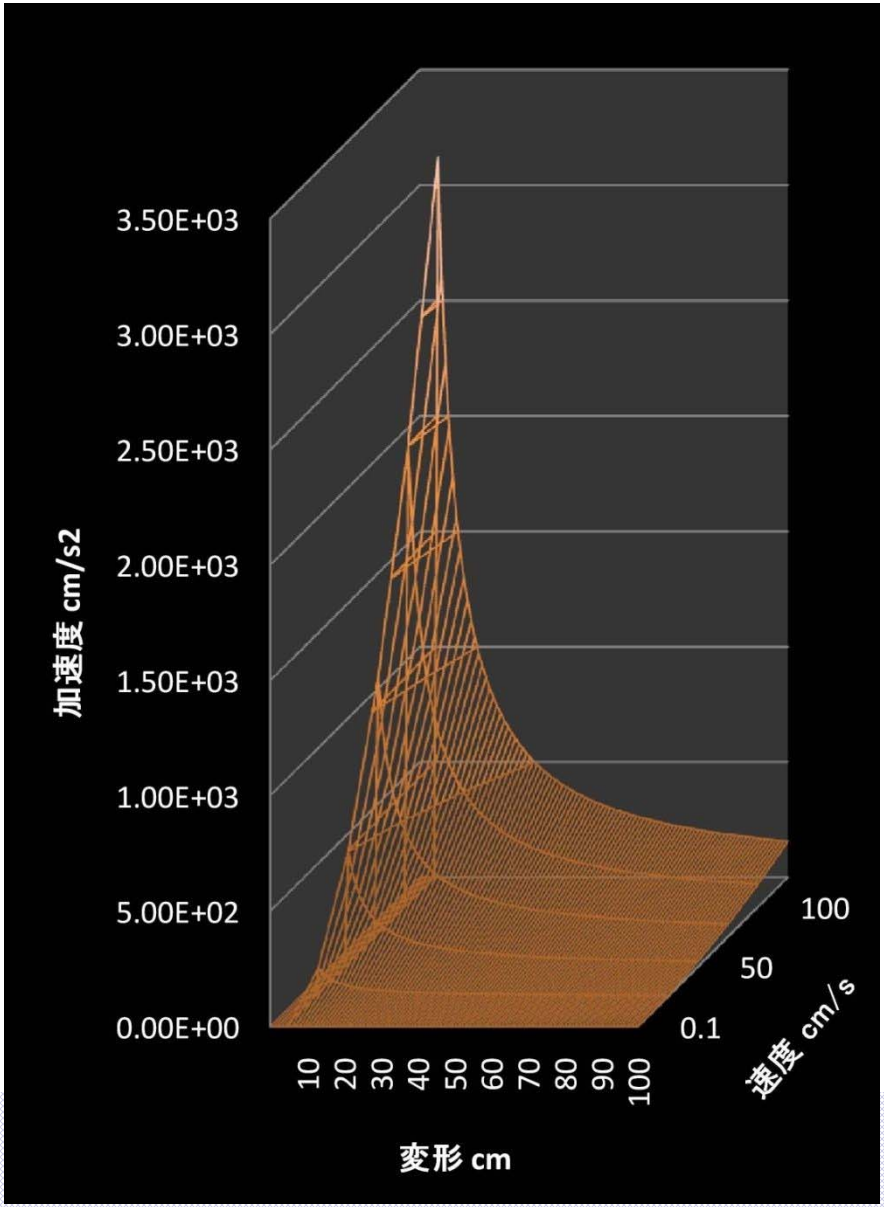
速度を時間で積分すると変位　(速度×時間＝変位)




慣性力エネルギー

$$E_f = \frac{m\alpha}{2} \times X$$

変位を時間で微分すると速度




加速度・速度・変位の3Dグラフ

$$V^2 = \alpha \times L$$

# 自動車の重さを想定

エネルギーより見た速度,加速度,変位の換算表

$$E = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}m\alpha \times L \qquad V^2 = \alpha \times L \qquad V = \sqrt{\alpha \times L}$$

| 速度 | | 加速度 | | 換算変位 | | | エネルギー |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cm/s | km/h | gal | G | cm | m | km | N･m |
| 100 | 3.6 | 1000 | 1.0 | 10 | 0.1 | 0.0001 | 1000 |
| 1000 | 36 | 1000 | 1.0 | 1000 | 10 | 0.0100 | $1.0*10^5$ |
| 2778 | 100 | 1000 | 1.0 | 7716 | 77.2 | 0.0772 | $7.7*10^5$ |
| 10000 | 360 | 1000 | 1.0 | 100000 | 1000 | 1.0 | $1.0*10^7$ |
| 100000 | 3600 | 1000 | 1.0 | 10000000 | 100000 | 100 | $1.0*10^9$ |

# 続き

| 速度 | | 加速度 | | 換算変位 | | | エネルギー |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cm/s | km/h | gal | G | cm | m | km | N･m |
| 100 | 3.6 | 500 | 0.5 | 20 | 0.2 | 0.0002 | 1000 |
| 1000 | 36 | 500 | 0.5 | 2000 | 20 | 0.0200 | $1.0*10^5$ |
| 2778 | 100 | 500 | 0.5 | 15432 | 154.3 | 0.1543 | $7.7*10^5$ |
| 10000 | 360 | 500 | 0.5 | 200000 | 2000 | 2.0 | $1.0*10^7$ |
| 100000 | 3600 | 500 | 0.5 | 20000000 | 200000 | 200 | $1.0*10^9$ |

| 速度 | | 加速度 | | 換算変位 | | | エネルギー |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cm/s | km/h | gal | G | cm | m | km | N･m |
| 100 | 3.6 | 100 | 0.1 | 100 | 1 | 0.0010 | 1000 |
| 1000 | 36 | 100 | 0.1 | 10000 | 100 | 0.1000 | $1.0*10^5$ |
| 2778 | 100 | 100 | 0.1 | 77160 | 771.6 | 0.7716 | $7.7*10^5$ |
| 10000 | 360 | 100 | 0.1 | 1000000 | 10000 | 10.0 | $1.0*10^7$ |
| 100000 | 3600 | 100 | 0.1 | 100000000 | 1000000 | 1000 | $1.0*10^9$ |

エネルギーは、重さ2tonf(質量:20 N･$sec^2$/cm)の場合の算出値。
音速は340m/s=33000cm/s=1225km/h

# 戸建て住宅の重さを想定

エネルギーより見た速度,加速度,変位の換算表

$$E = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}m\alpha \times L \qquad V^2 = \alpha \times L \qquad V = \sqrt{\alpha \times L}$$

| 速度V | | 加速度 α | | 換算変位L | | エネルギーE | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cm/s | km/h | gal | G | cm | m | N･m | kcal |
| 25 | 0.90 | 1000 | 1.0 | 0.63 | 0.006 | 938 | 0.224 |
| 50 | 1.80 | 1000 | 1.0 | 2.50 | 0.025 | 3750 | 0.896 |
| 75 | 2.70 | 1000 | 1.0 | 5.63 | 0.056 | 8438 | 2.016 |
| 100 | 3.60 | 1000 | 1.0 | 10.00 | 0.100 | 15000 | 3.583 |
| 125 | 4.50 | 1000 | 1.0 | 15.63 | 0.156 | 23438 | 5.599 |

# 続き

| 速度 | | 加速度 | | 換算変位 | | エネルギーE | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cm/s | km/h | gal | G | cm | m | N･m | kcal |
| 25 | 0.90 | 500 | 0.5 | 1.25 | 0.013 | 938 | 0.224 |
| 50 | 1.80 | 500 | 0.5 | 5.00 | 0.050 | 3750 | 0.896 |
| 75 | 2.70 | 500 | 0.5 | 11.25 | 0.113 | 8438 | 2.016 |
| 100 | 3.60 | 500 | 0.5 | 20.00 | 0.200 | 15000 | 3.583 |
| 125 | 4.50 | 500 | 0.5 | 31.25 | 0.313 | 23438 | 5.599 |

| 速度 | | 加速度 | | 換算変位 | | エネルギーE | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| cm/s | km/h | gal | G | cm | m | N･m | kcal |
| 25 | 0.90 | 100 | 0.1 | 6.25 | 0.063 | 938 | 0.224 |
| 50 | 1.80 | 100 | 0.1 | 25.00 | 0.250 | 3750 | 0.896 |
| 75 | 2.70 | 100 | 0.1 | 56.25 | 0.563 | 8438 | 2.016 |
| 100 | 3.60 | 100 | 0.1 | 100.00 | 1.000 | 15000 | 3.583 |
| 125 | 4.50 | 100 | 0.1 | 156.25 | 1.563 | 23438 | 5.599 |

エネルギーは、戸建て住宅(重さ30tonf、質量:300 N･sec2/cm)を想定した算出値。

# 地震波と戸建て住宅を想定

## エネルギーより見た速度,加速度,変位の換算表

$$E = \frac{1}{2}mV^2 = \frac{1}{2}m\alpha \times L$$

| 速度V | | エネルギーE | | 繰返回数$n_i$×E (kcal) | |
|---|---|---|---|---|---|
| cm/s | km/h | N･m | kcal | $n_i$=5 | $n_i$=10 |
| 25 | 0.90 | 938 | 0.224 | 1.12 | 2.24 |
| 50 | 1.80 | 3750 | 0.896 | 4.48 | 8.96 |
| 75 | 2.70 | 8438 | 2.016 | 10.1 | 20.2 |
| 100 | 3.60 | 15000 | 3.583 | 17.9 | 35.8 |
| 125 | 4.50 | 23438 | 5.599 | 28.0 | 56.0 |

エネルギーは、戸建て住宅(重さ30tonf、質量:300 N･sec2/cm)を想定した算出値。

# 応答スペクトル

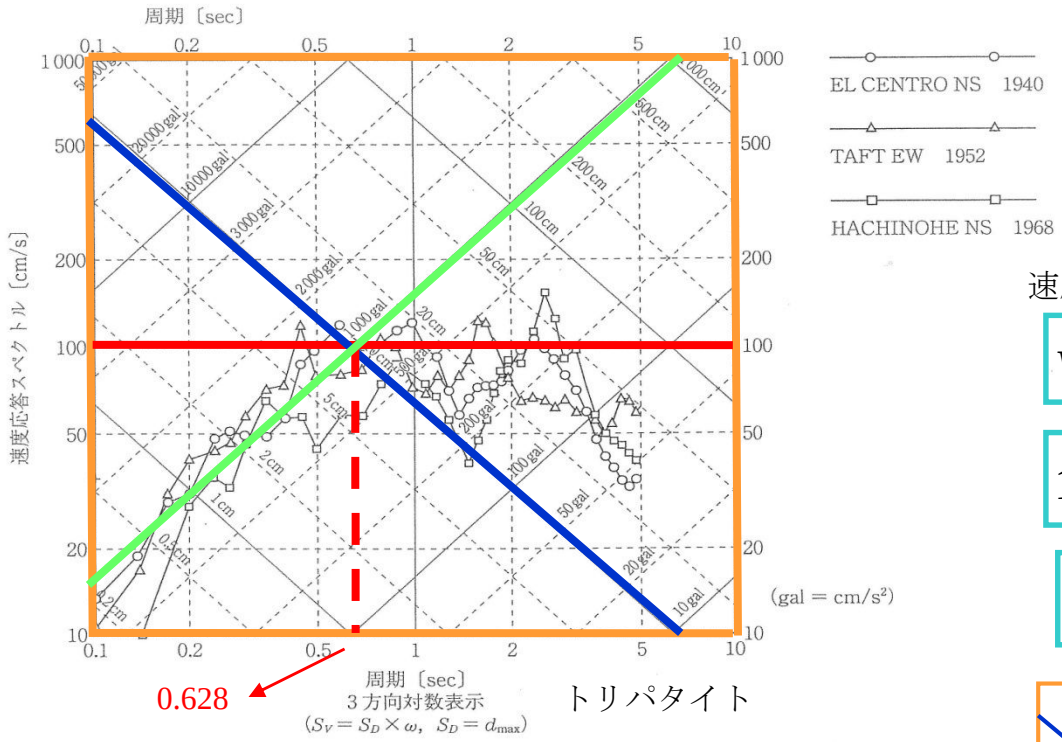


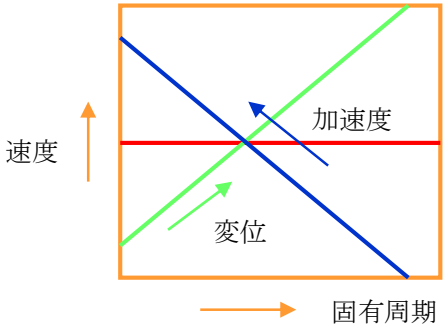

図4・6 観測地震動の応答スペクトル（レベル2 減衰：$h$=5%）

速度　加速度　変形

$$V^2 = \alpha \times X$$

$$100^2 = 1000 \times 10(cm)$$

$$1^2 = 10 \times 0.1(m)$$




固有周期

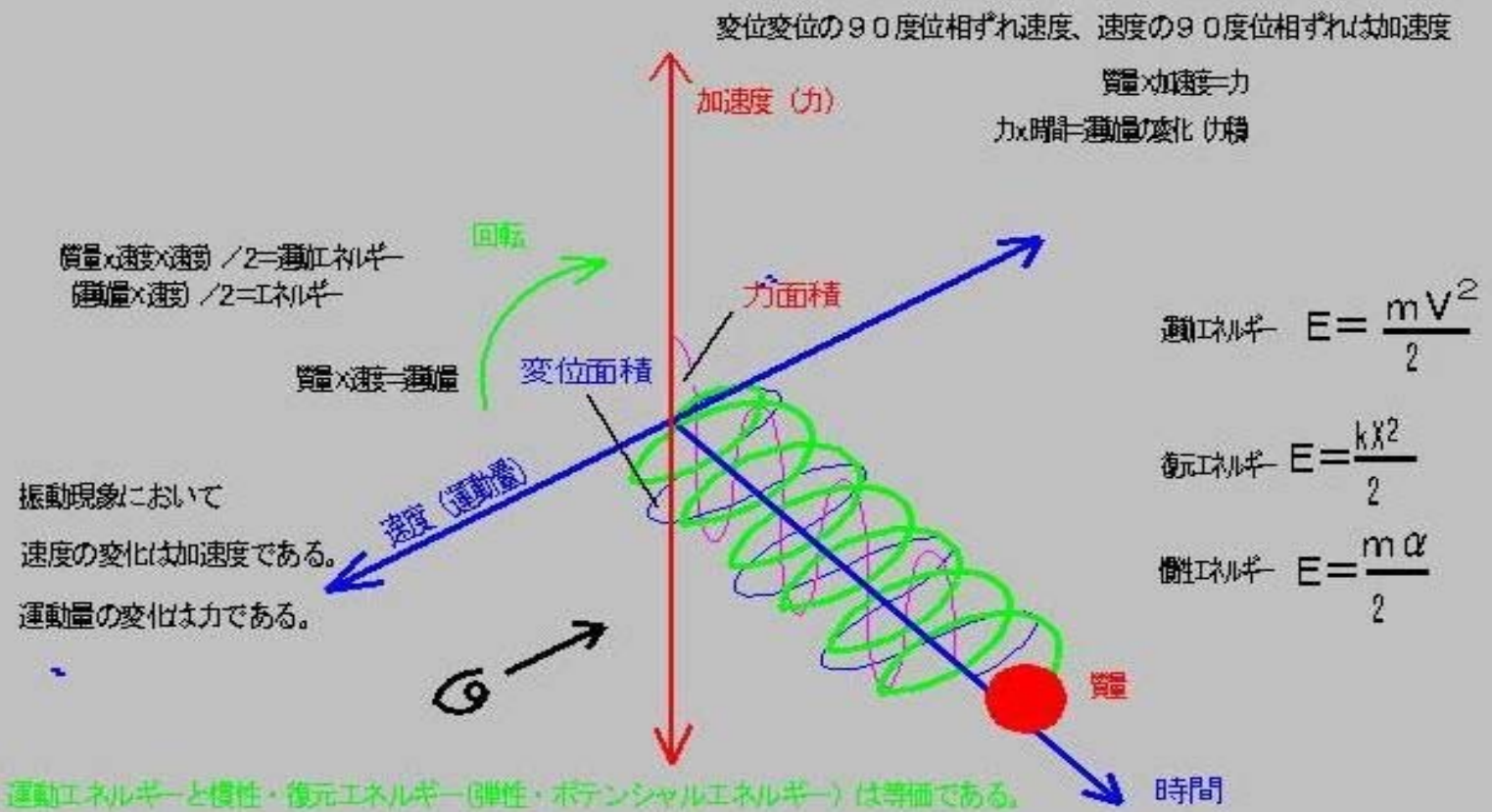
$$T = \frac{2\pi X}{V}$$

$$T = \frac{2 \times 3.14 \times 0.1}{1}$$

$$= 0.628$$

# 振動エネルギーのスパイラル変換図

質点の運動エネルギーの変化は運動量変化と速度のスカラー積に等しい。




運動エネルギーと慣性・復元エネルギー（弾性・ポテンシャルエネルギー）は等価である。

速度ｘ時間=変位面積と力ｘ時間=力面積（力積）は変換可能（等価）である。

運動エネルギー＋慣性エネルギー（復元エネルギー）＝力学的エネルギーは一定（エネルギーの保存則）

# 変位応答倍率曲線

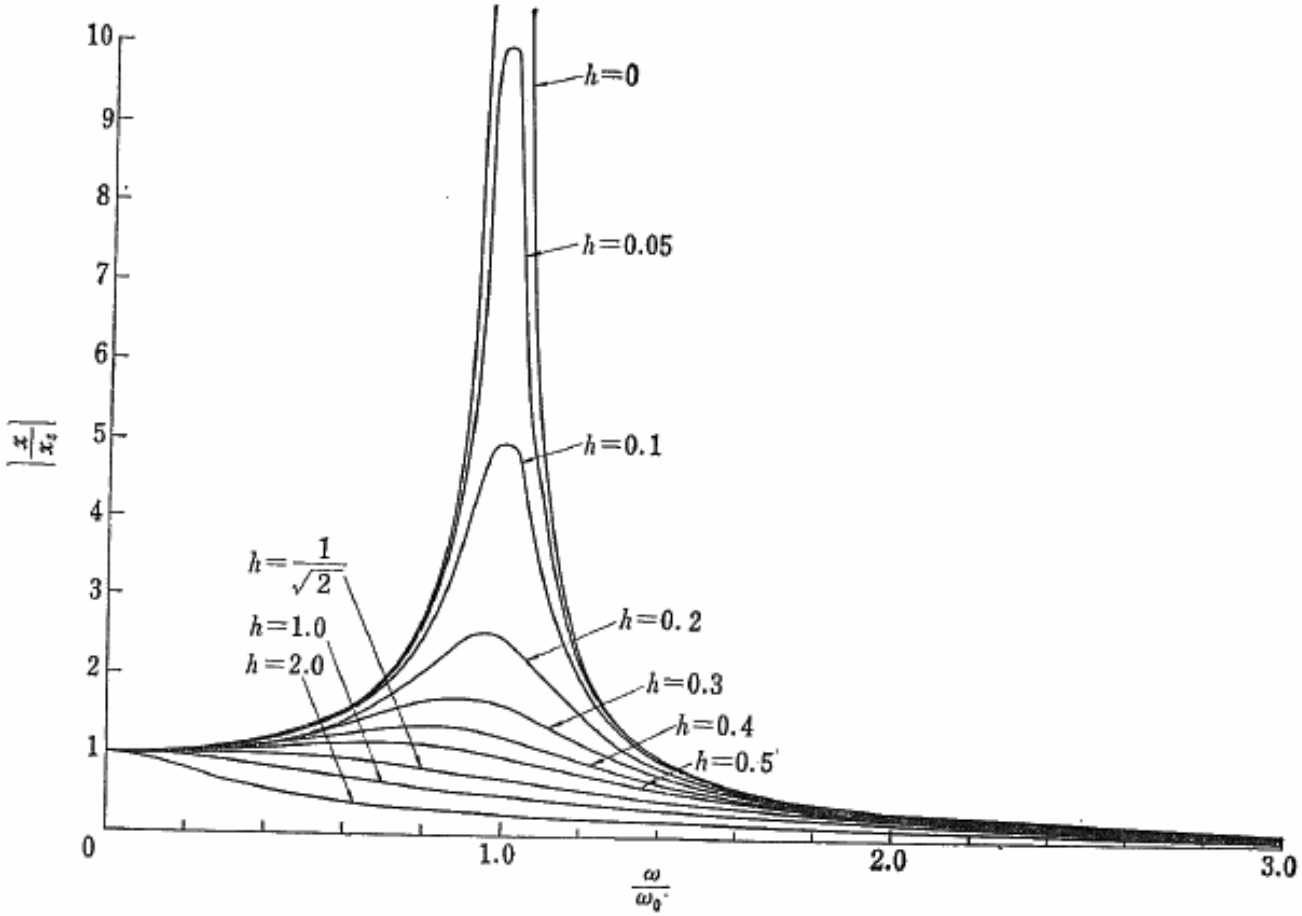



図 3·4　正弦波地動（加速度振幅一定）に対する変位応答倍率
$x_s$：地動による慣性力を静的に加えた場合の変位
$\omega_0$：非減衰固有振動数，$h$：減衰定数

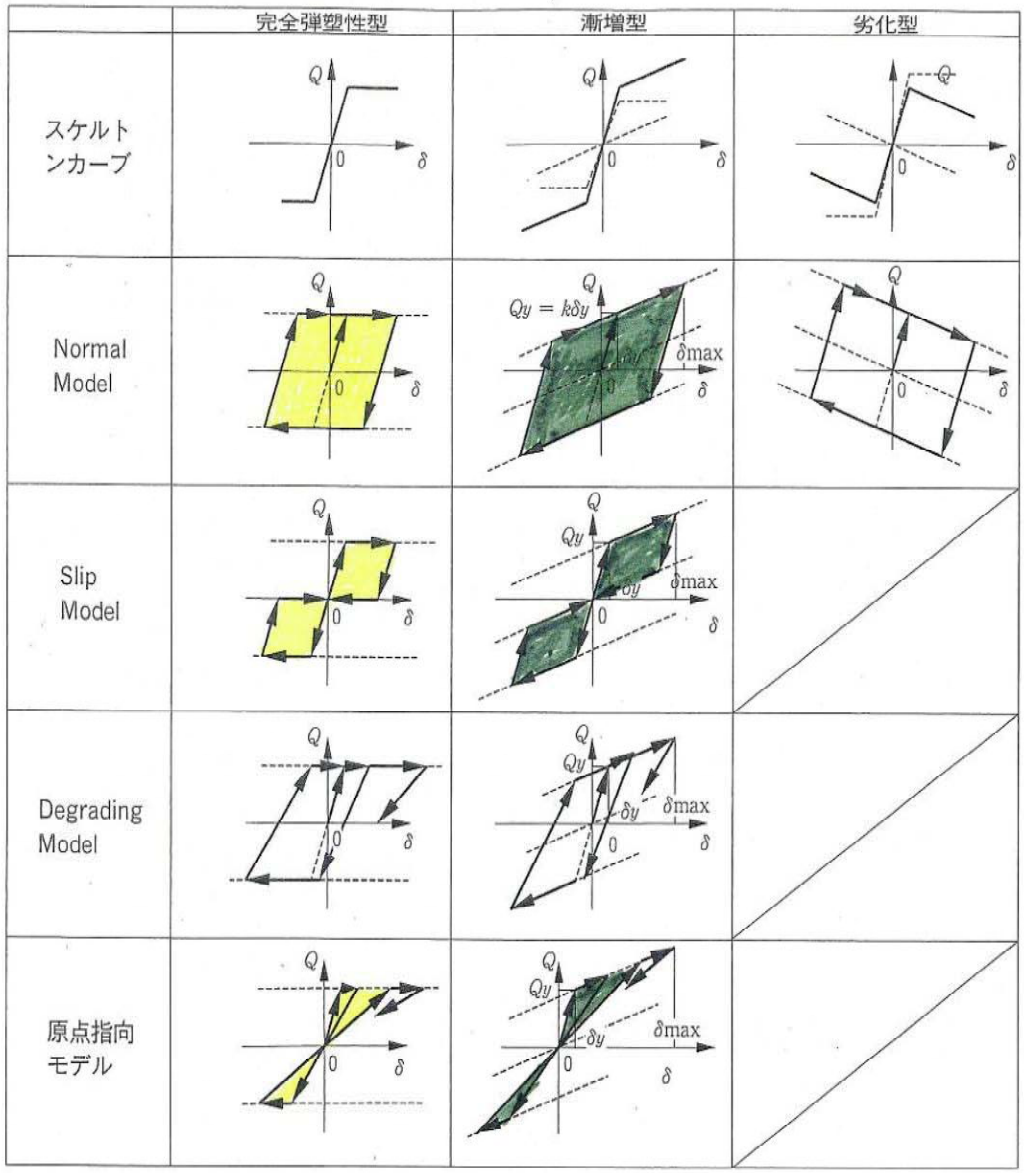
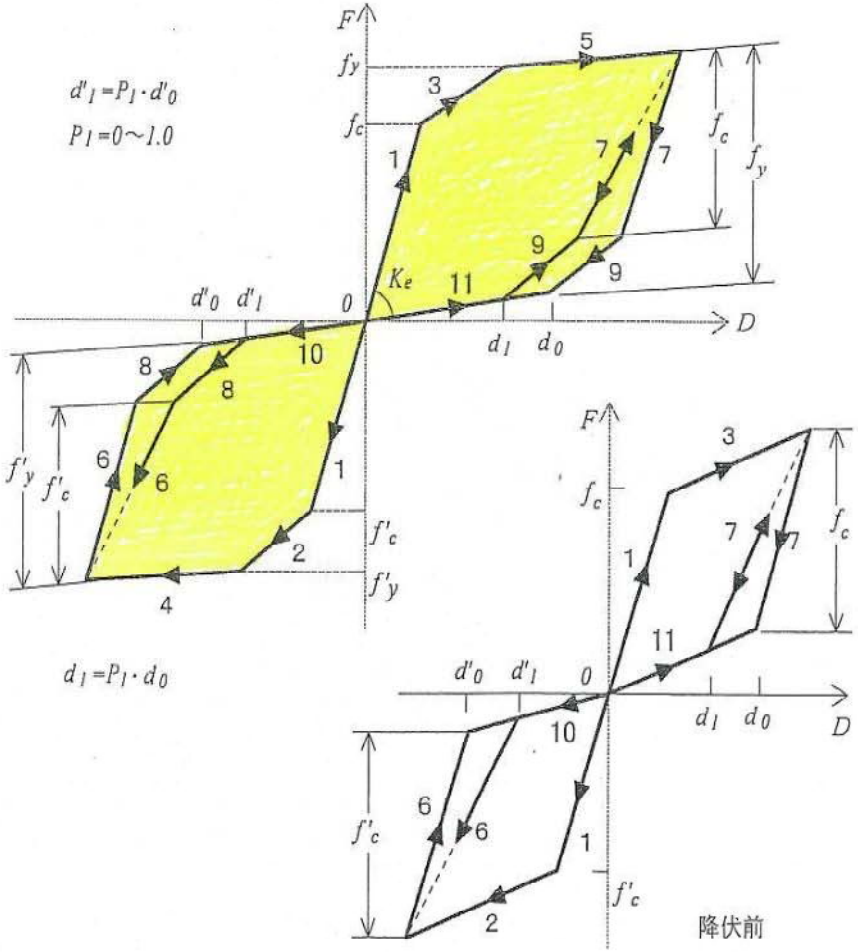
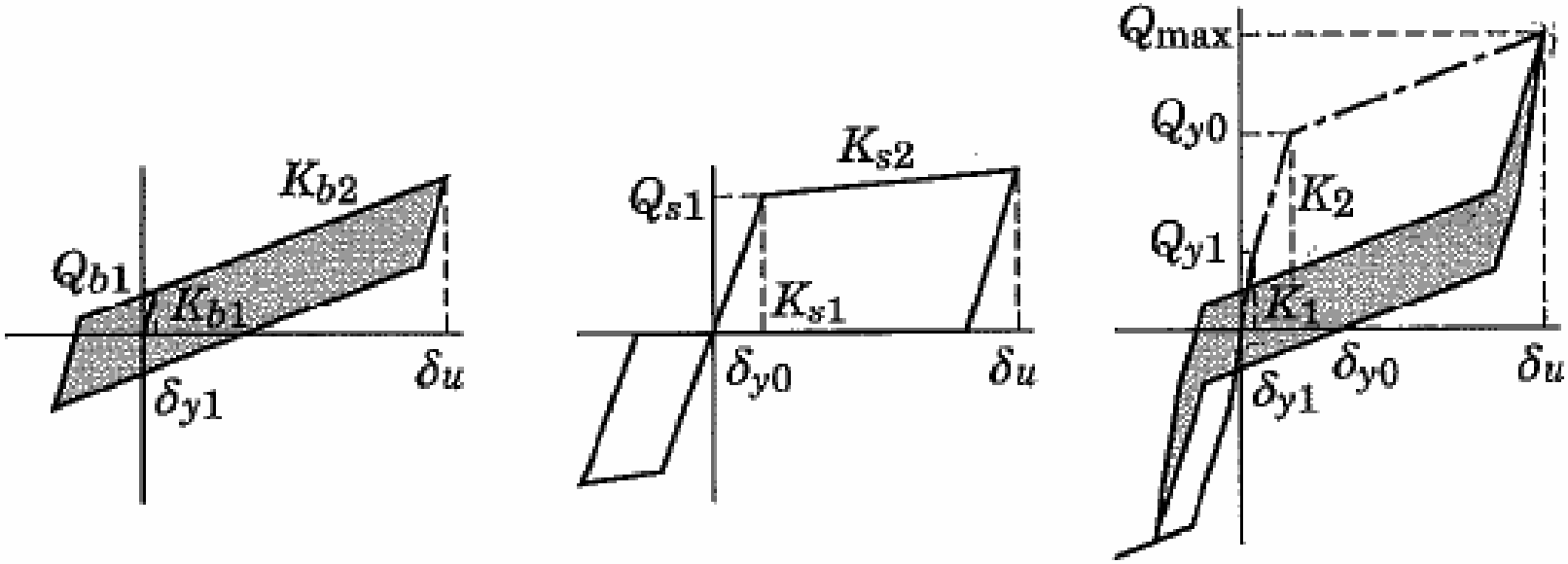



図6.2　バイリニヤー型復元力特性

| No | モデル名/復元力特性 | パラメータ |
|---|---|---|
| 8 | トリリニアスリップ型（SL3）<br>  <br> | P3(η):0.0～1.0　　Def=0.5 |

# バイリニアースリップ 履歴モデル




（a）正規バイリニア曲線　（b）スリップ曲線　（c）合成曲線

図 5.16　耐震要素の復元力特性モデル図

## 構造用合板復元力特性

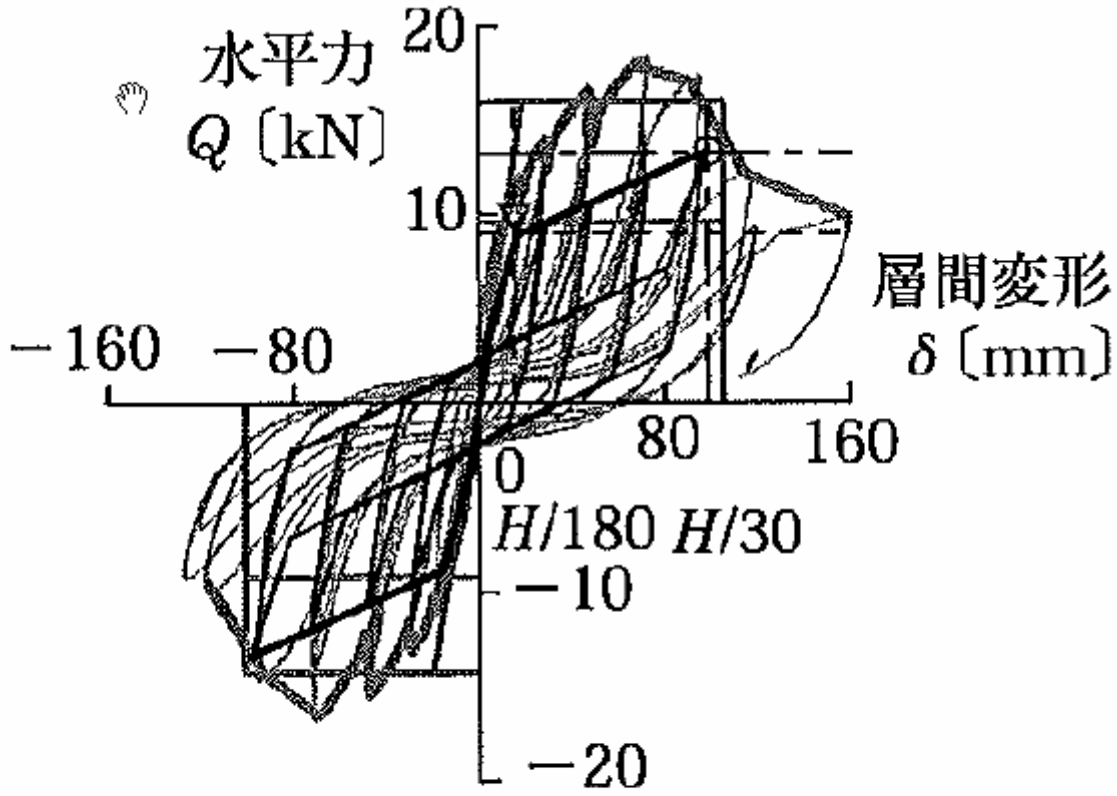
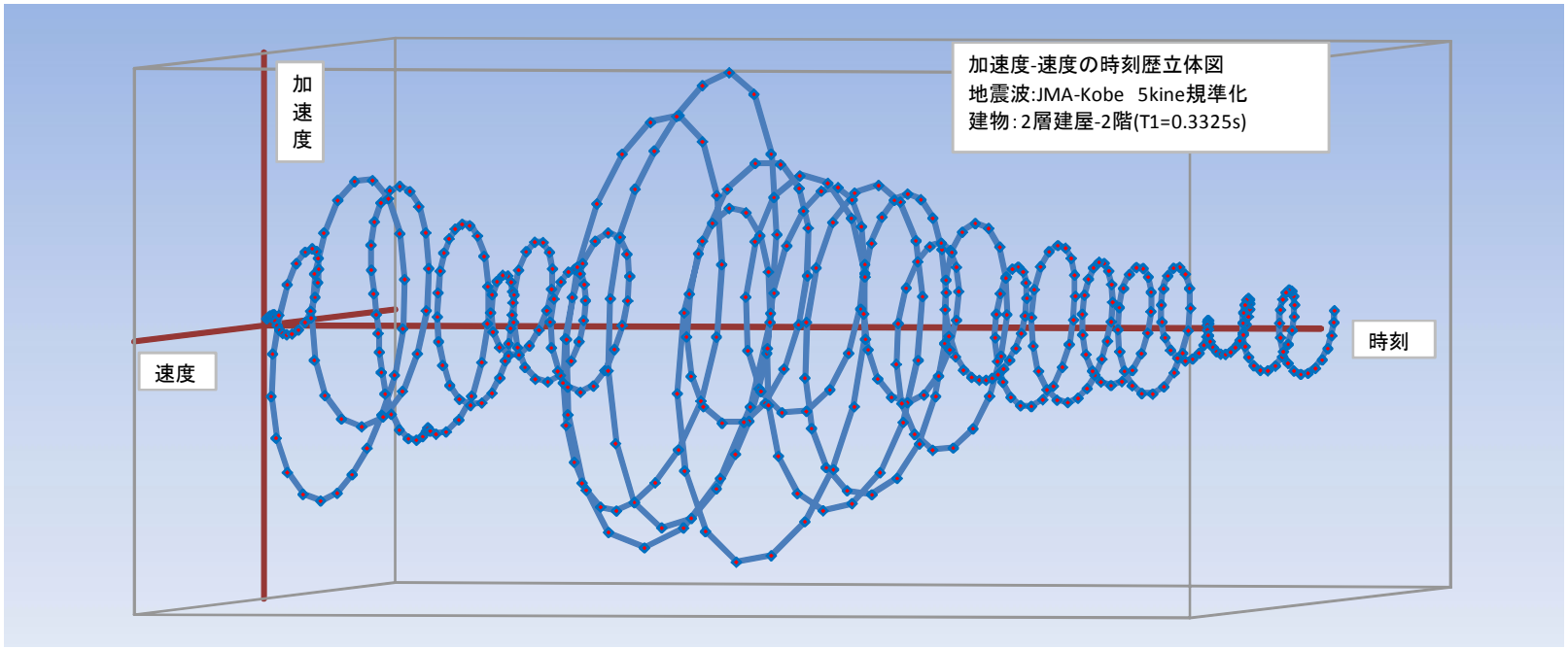
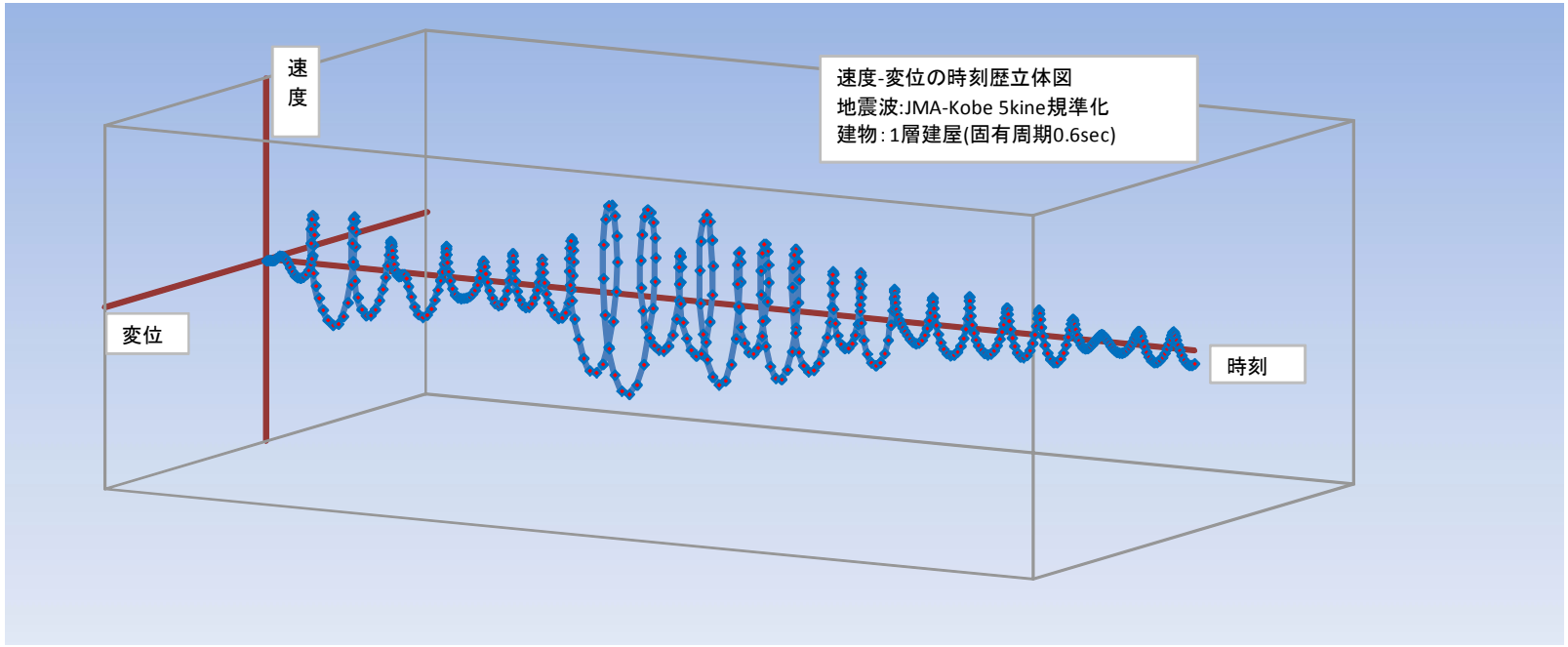



図 5.17　復元力特性モデルと
実験曲線との比較

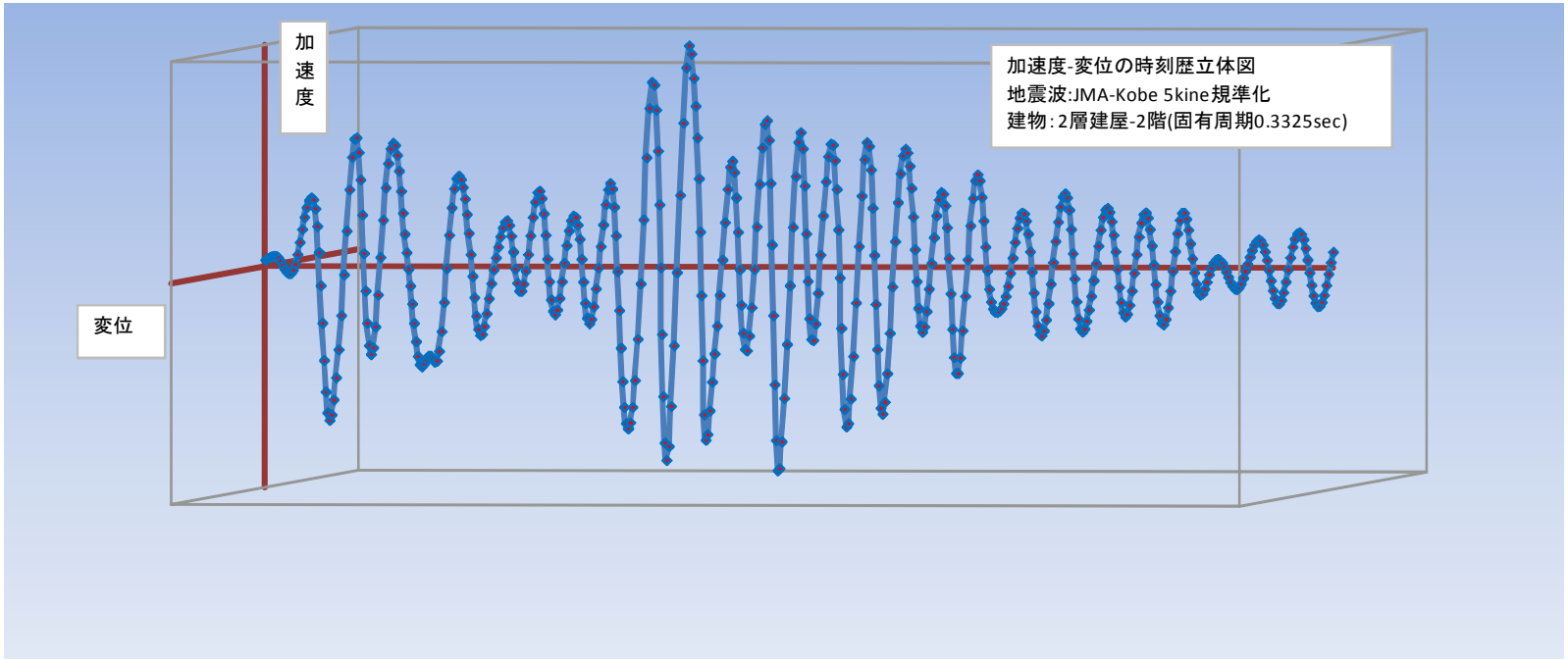
# 弾性応答ー加速度･速度


加速度-速度の時刻歴立体図
地震波:JMA-Kobe　5kine規準化
建物：2層建屋-2階(T1=0.3325s)
加速度
速度
時刻

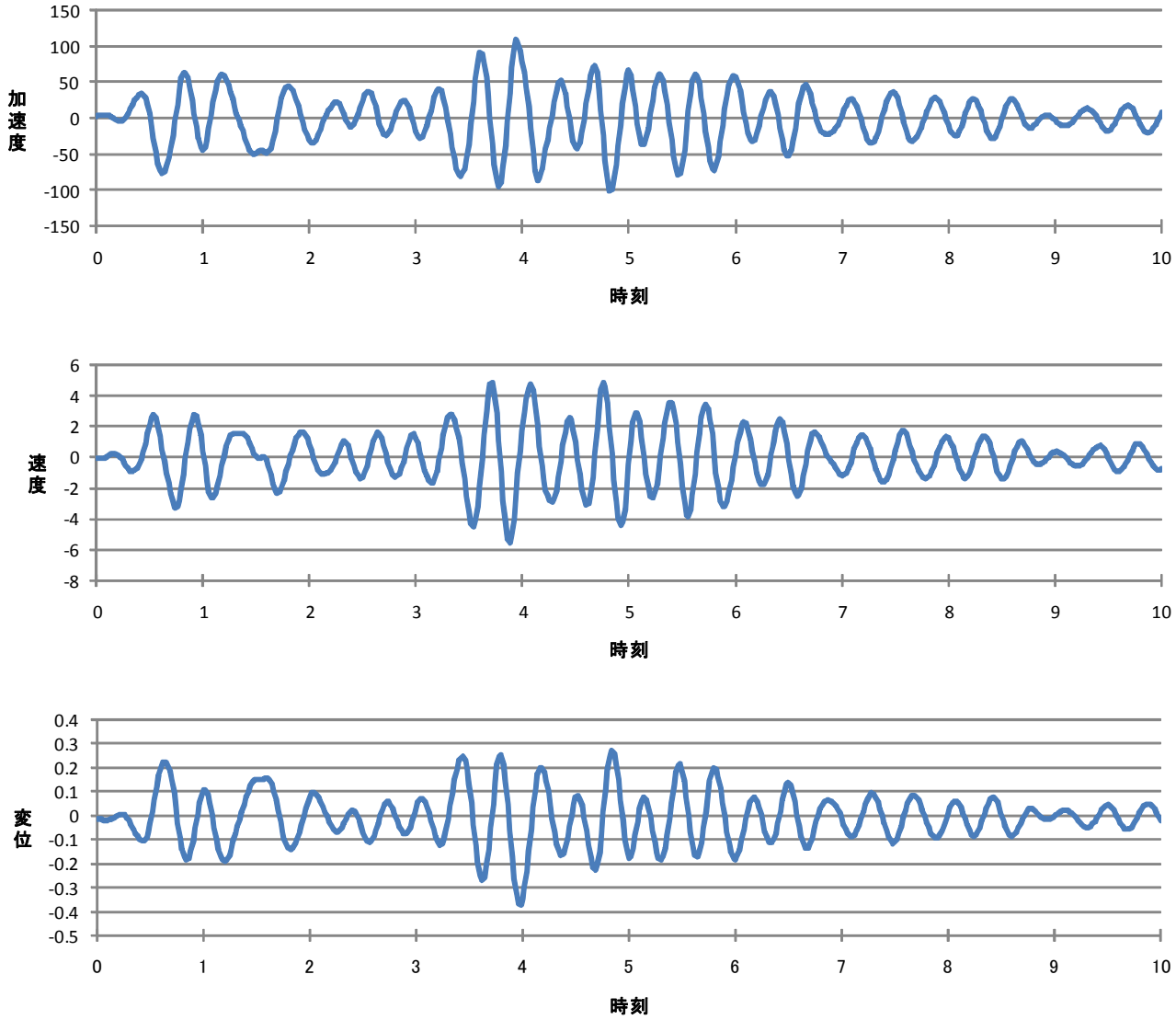
# 弾性応答ー速度･変位


速度
速度-変位の時刻歴立体図
地震波:JMA-Kobe 5kine規準化
建物：1層建屋(固有周期0.6sec)
変位
時刻

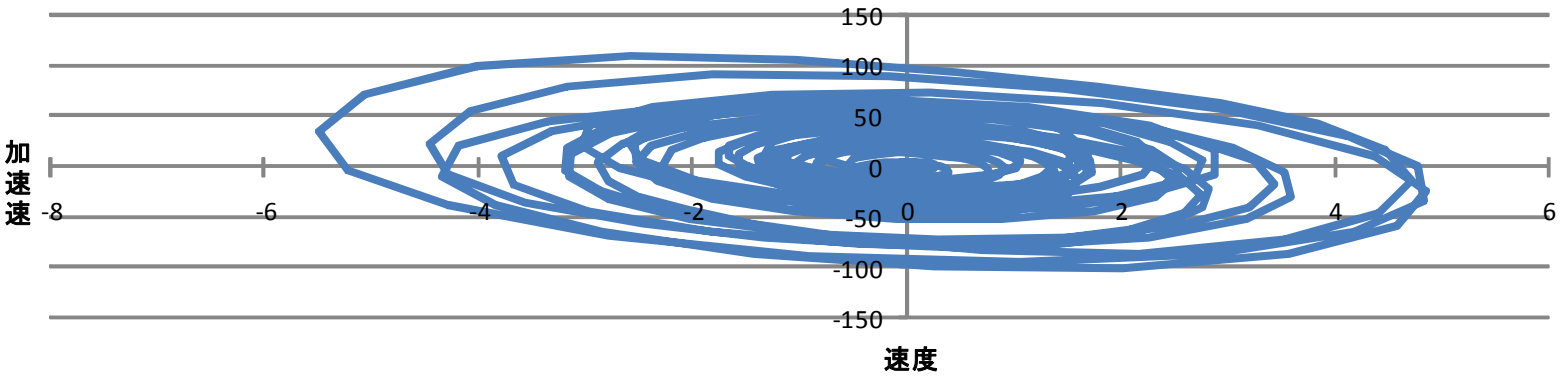
# 弾性応答ー加速度･変位


加速度
変位
加速度-変位の時刻歴立体図
地震波:JMA-Kobe 5kine規準化
建物：2層建屋-2階(固有周期0.3325sec)

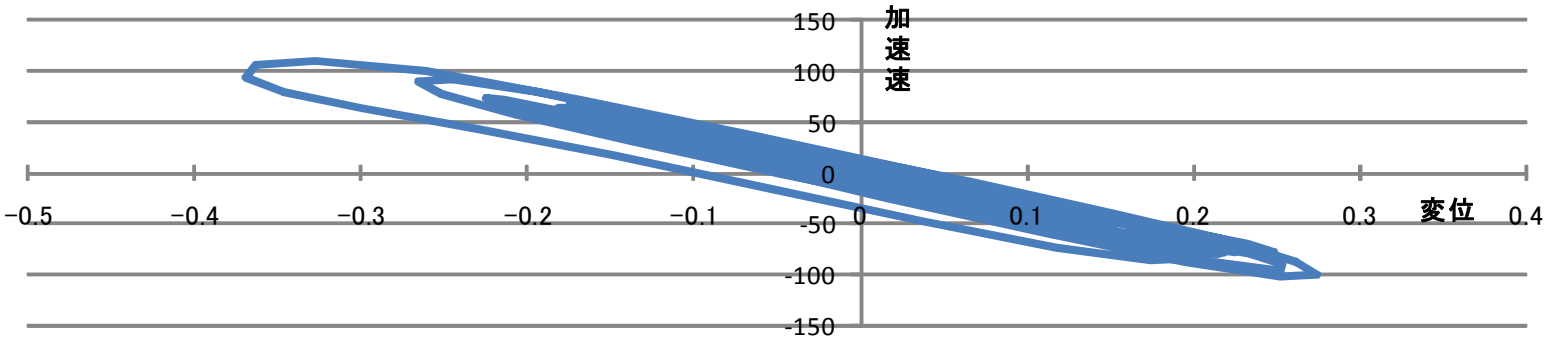
# 弾性応答ー加速度･速度･変位



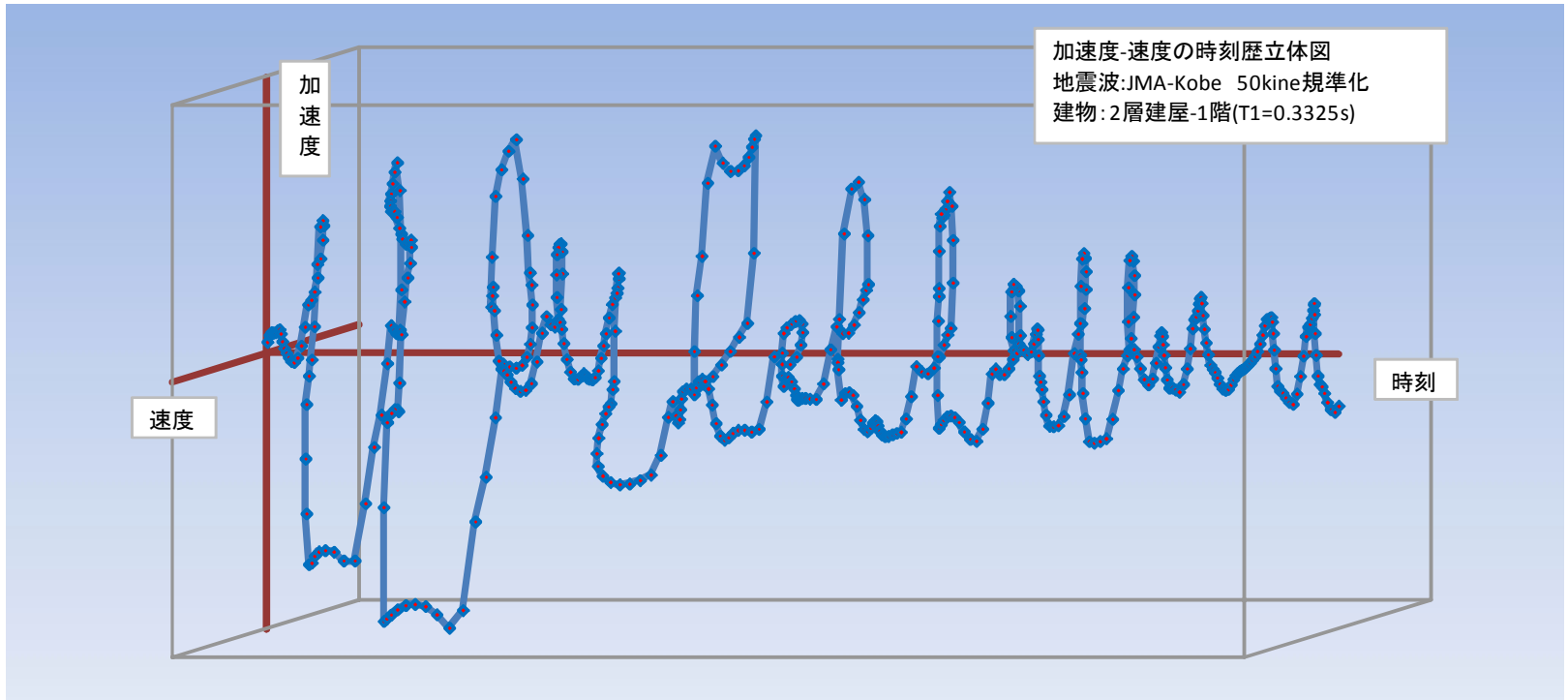
# 弾性応答ー加速度･速度



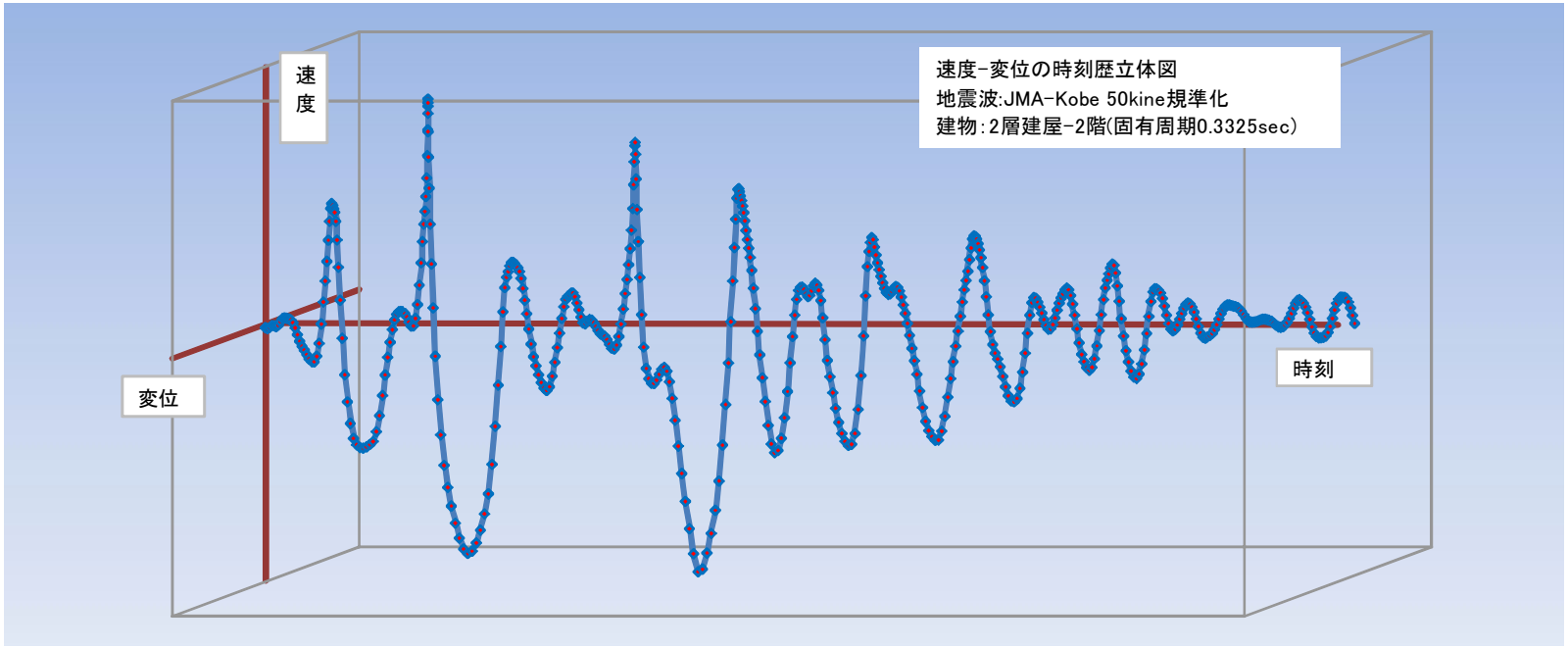

# 弾性応答ー加速度･変位



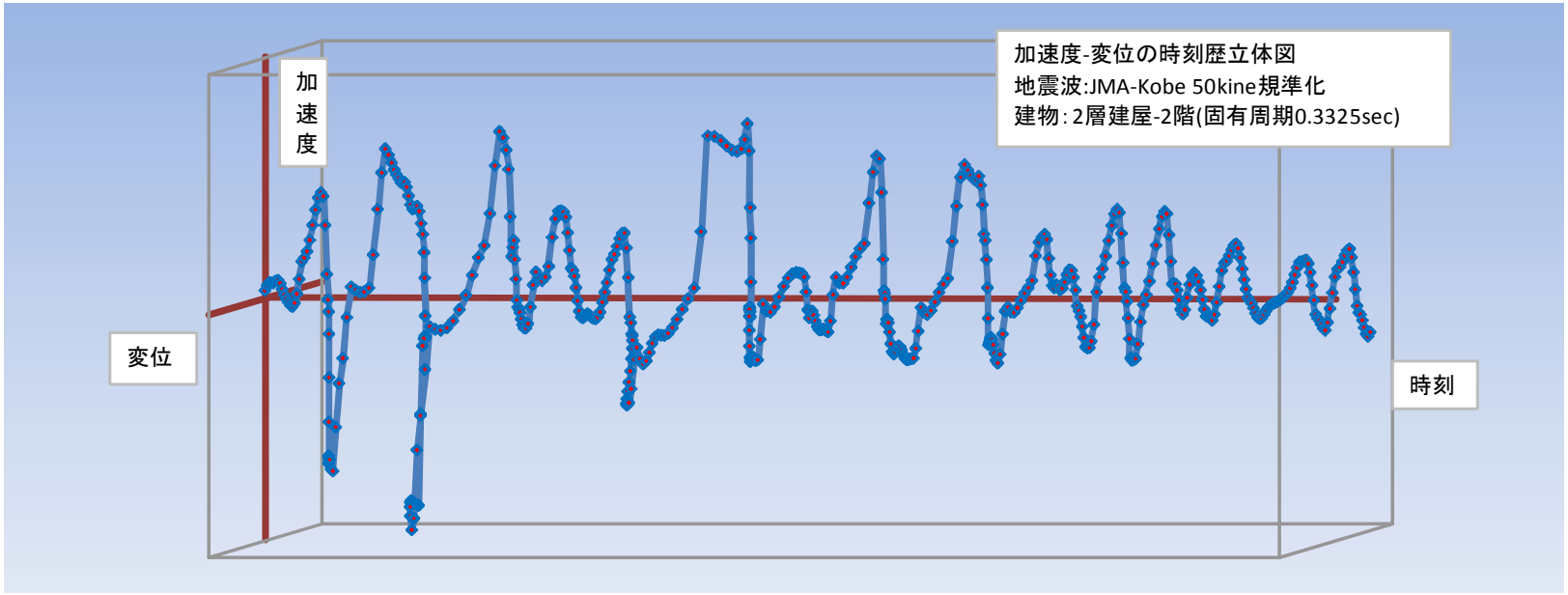
# 弾塑性応答ー加速度･変位



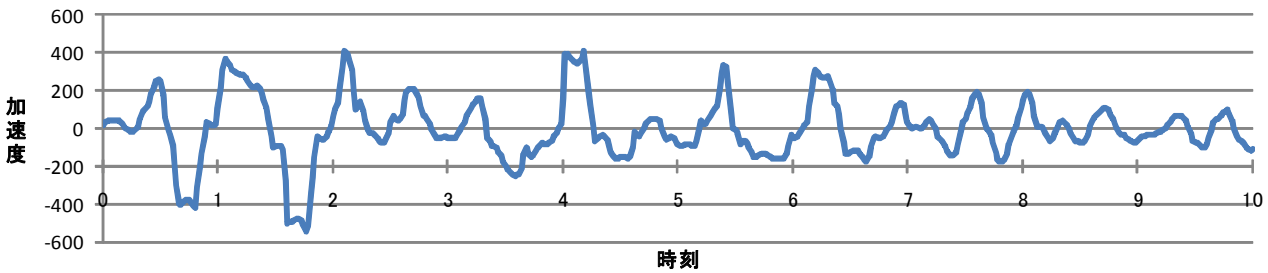
# 弾塑性応答ー速度・変位

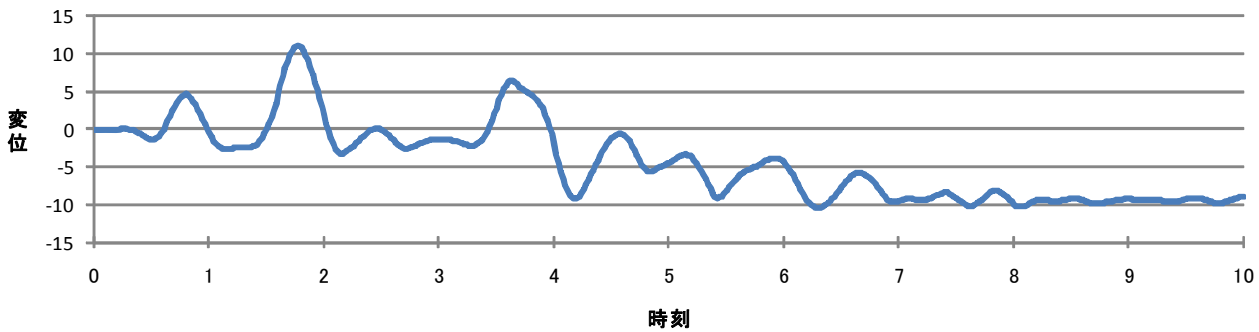

速度
変位
時刻
速度-変位の時刻歴立体図
地震波:JMA-Kobe 50kine規準化
建物:2層建屋-2階(固有周期0.3325sec)

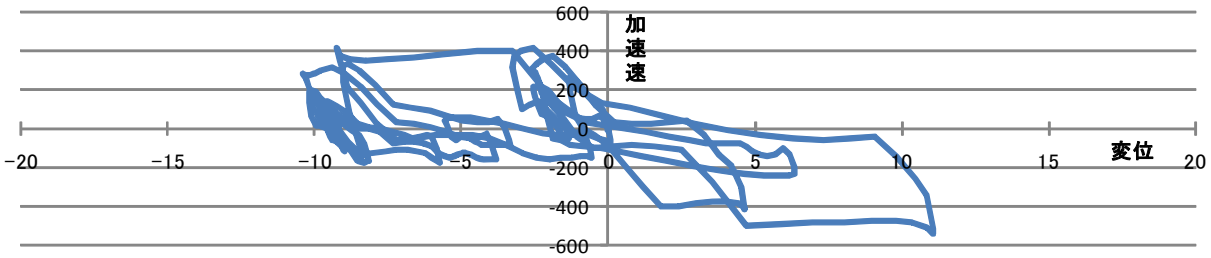
# 弾塑性応答ー加速度･変位



# 弾塑性応答ー加速度･変位



# 木製間柱方杖
# ダンパーの開発

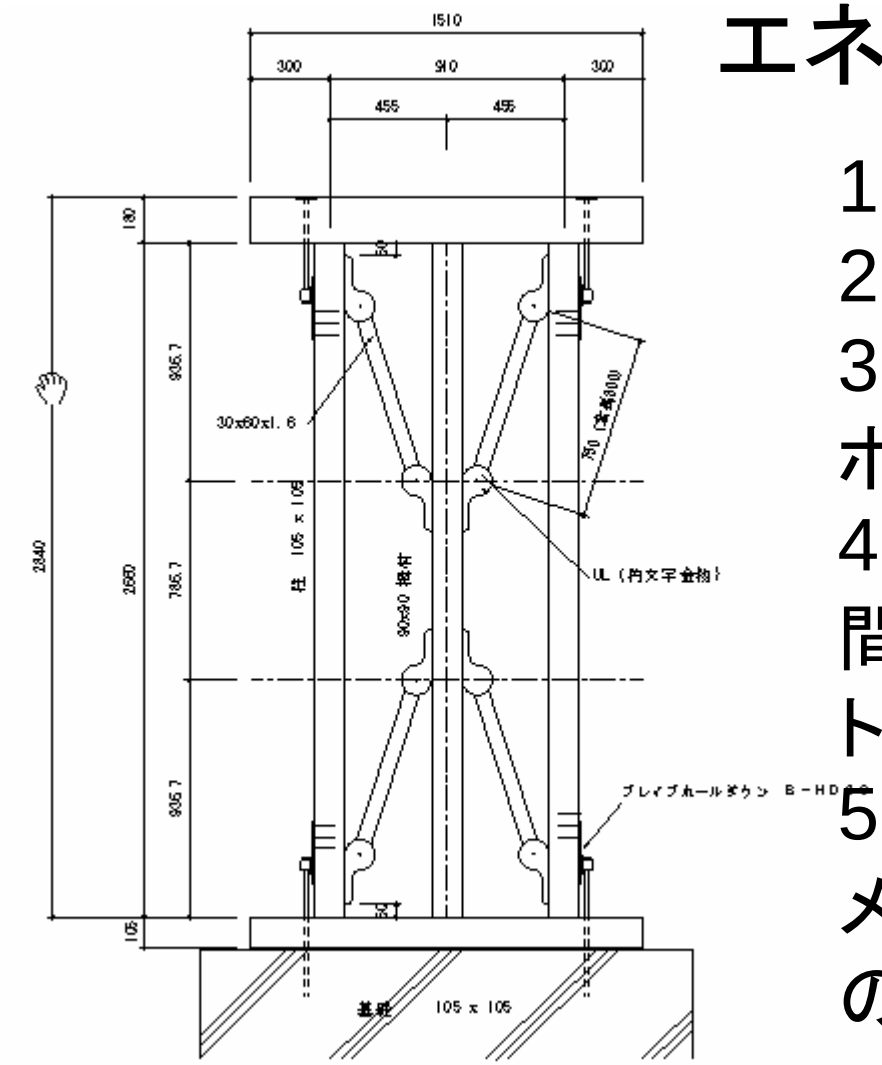
# 現状の木造建物の性状

1.筋かい(圧縮)は層間変形角1/45～1/30で最大耐力となり座屈により突然破壊する。
2.合板は釘の塑性変形によりエネルギー吸収は高いが、1/30から降下をはじめ、原点復帰しない性状を示す。
3.伝統的日本建築　柱梁ラーメン架構と接合部のめり込みと摩擦によるエネルギー吸収がある。

# 既往の制振ダンパーの分類

1.建物の揺れを弾性的性質で吸収する原点復帰型として弾性ゴム･バネ鋼材などがある。
2.材料の塑性的性質で履歴型として、塑性金属(鉛･スズ･低降伏点鋼材･摩擦型等が上げられる。
理想的な耐震性能を得るためには、種々の素材を組み合わせが必要である。

# 木製間柱方杖ダンパーの
# エネルギー吸収原理



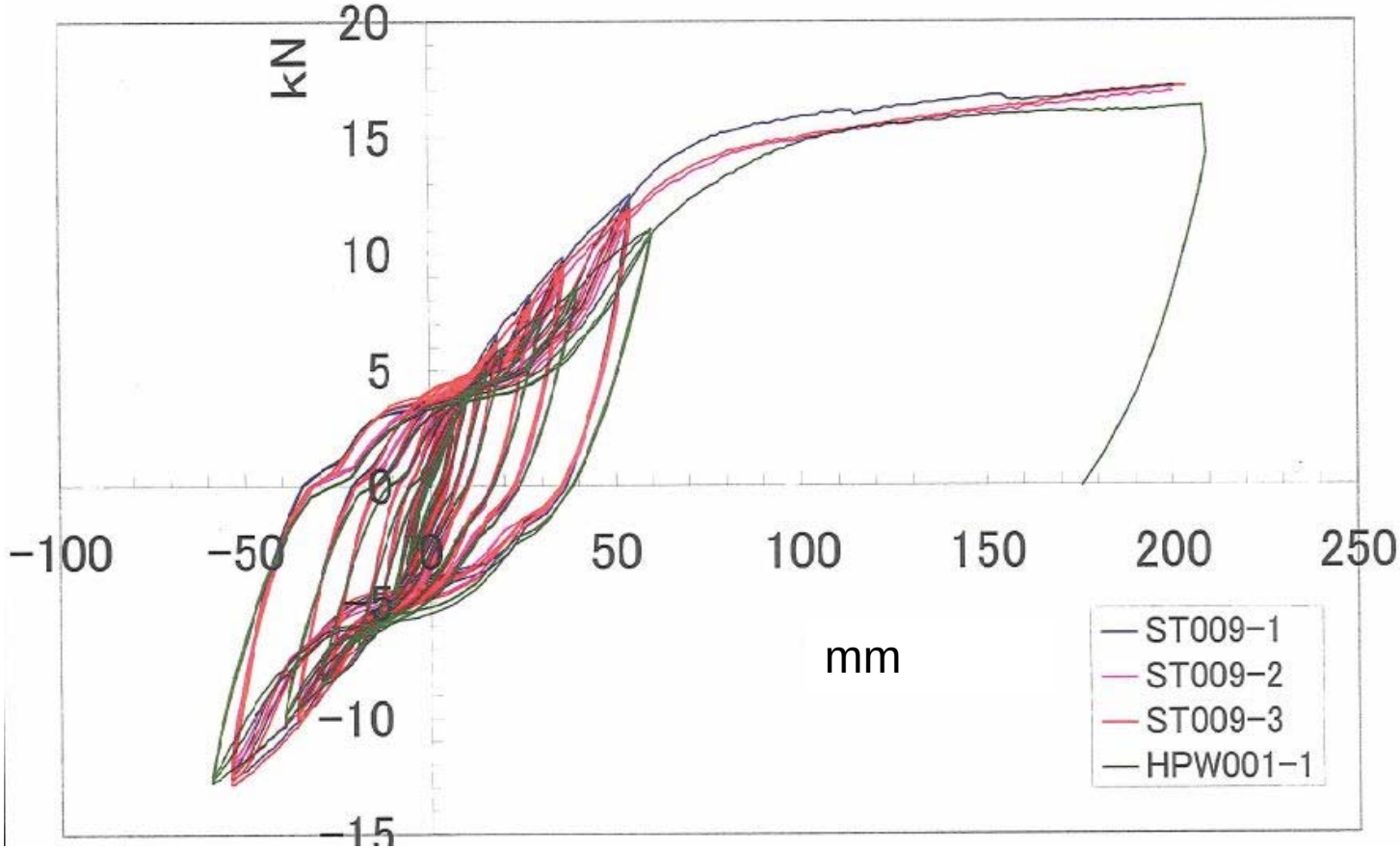

1. 間柱は柱と同寸の木材
2.方杖は軽量角形鋼管
3.方杖の両端の接合金物はボルトで筋結する。
4.フレームに生ずる水平力は、間柱に水平力と回転モーメントを生じさせる。
5.間柱に与えられた回転モーメントは間柱の上部で逆方向の抵抗力を生じる。

# 実験風景　合板

# 実験風景　間柱方杖

# 木製間柱方杖ダンパーの復元力特性

## 静的試験結果



# 木製間柱方杖ダンパーの復元力特性

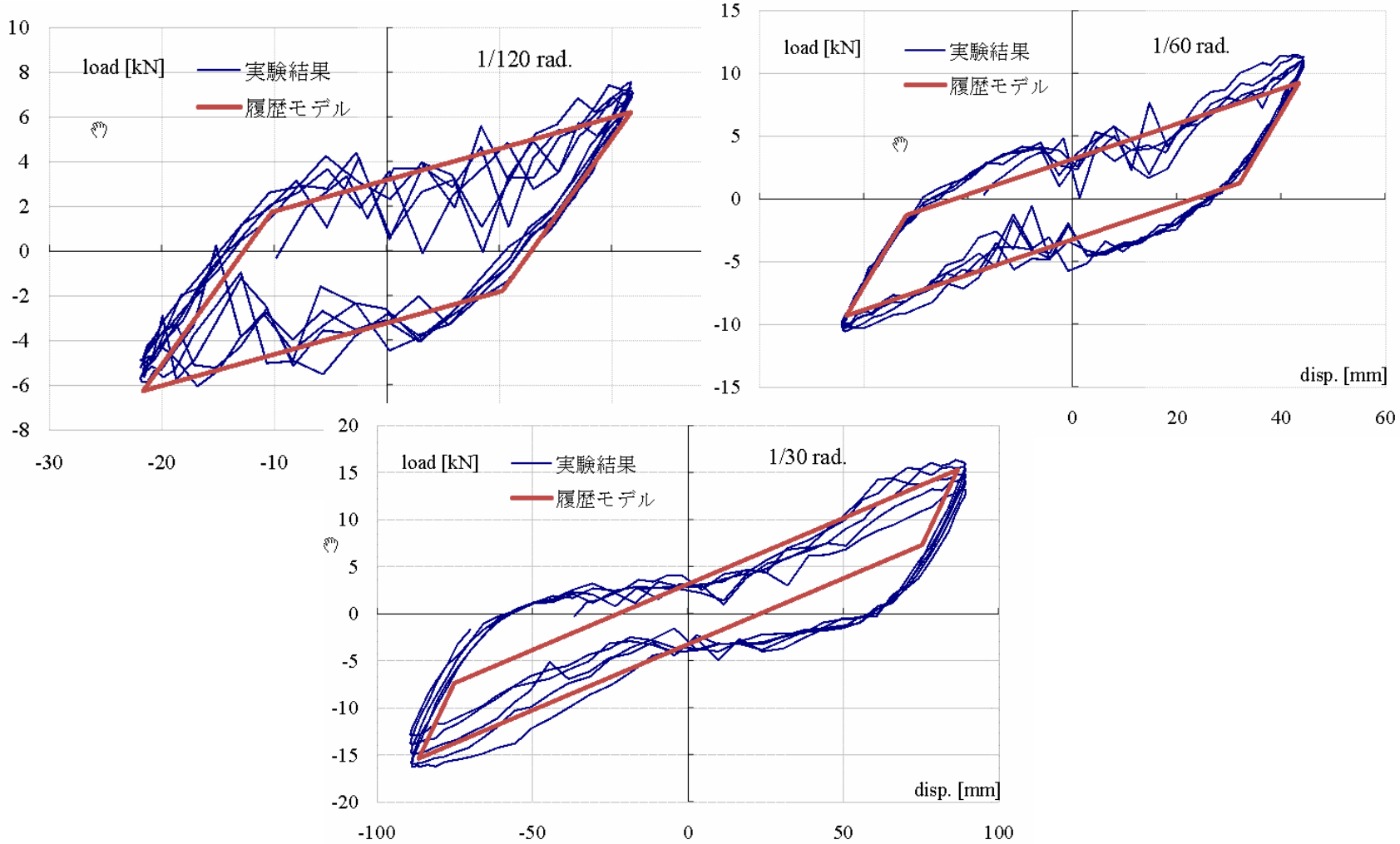
## 静的試験結果

確認試験結果

| | a<br>Py | b<br>(0.2/Ds)*Pu | c<br>2/3Pmax | d<br>1/120radP | e<br>1/300radP |
|---|---|---|---|---|---|
| No.1 | 0.6 | 7.0 | 11.3 | 7.0 | 5.2 |
| No.2 | 9.4 | 6.9 | 11.1 | 7.0 | 4.8 |
| No.3 | 9.9 | 6.9 | 11.3 | 7.0 | 5.1 |
| 平均 | 9.3 | 6.9 | 11.2 | 7.0 | 5.0 |
| 標準偏差 | 0.66 | 0.06 | 0.12 | 0.00 | 0.21 |
| 変動係数 | 0.071 | 0.009 | 0.011 | 0.000 | 0.042 |
| ばらつき係数 | 0.967 | 0.996 | 0.995 | 1.000 | 0.980 |
| 基準耐力 | 9.0 | 6.9 | 11.1 | 7.0 | 4.9 |
| 許容耐力 | 9.0 | 6.9 | 11.1 | 7.0 | 4.9 |
| 壁倍率 | 5.0 | 3.9 | 6.2 | 3.9 | 2.7 |
| | | | | | |
| | | | | | |

# 木製間柱方杖ダンパーの復元力特性

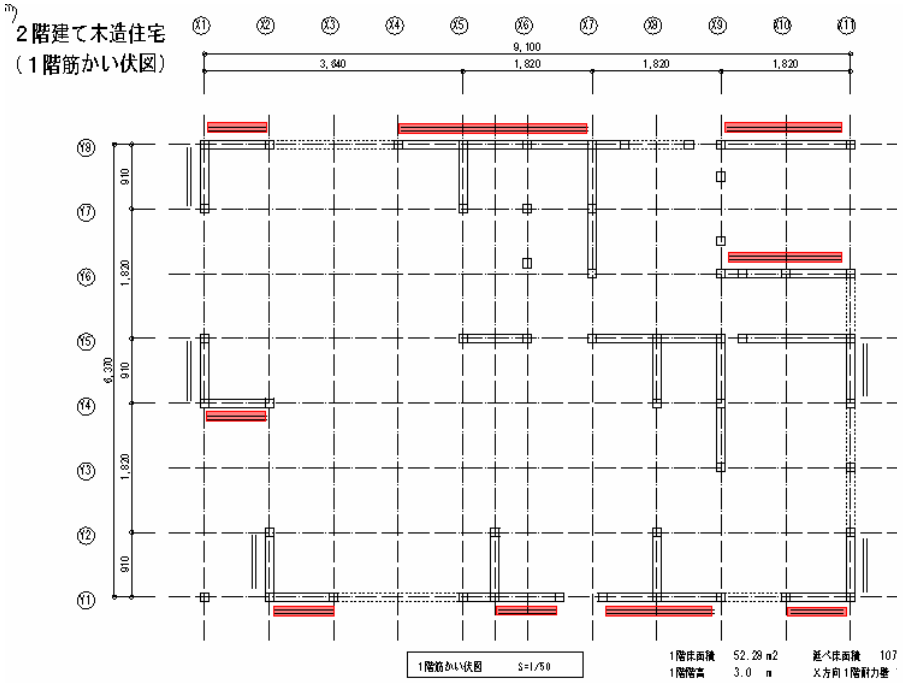
## 動的試験結果

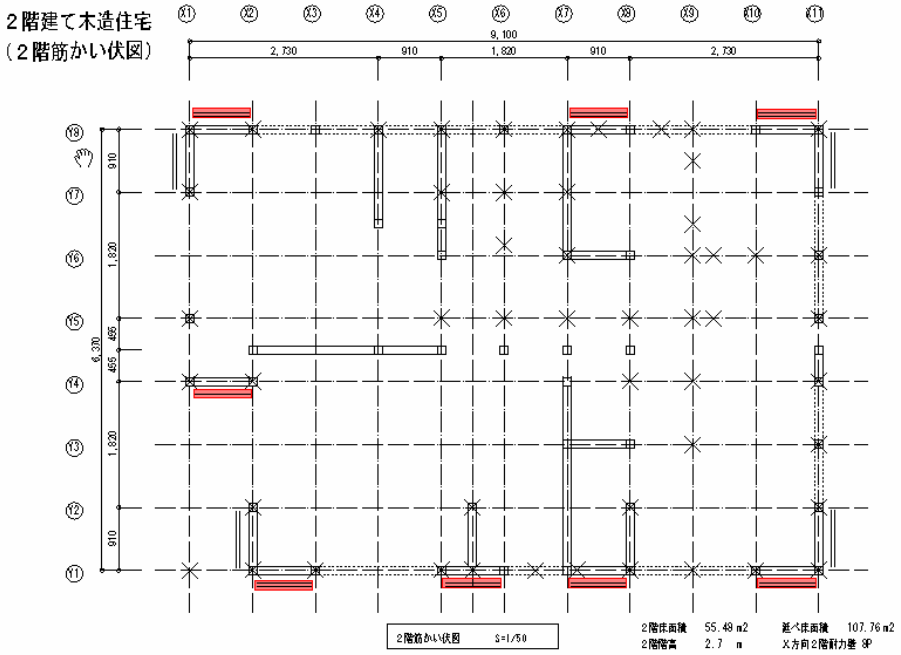


# 木造軸組工法建物
# 振動応答解析例

1.面材合板仕様
2.木製間柱方杖仕様
3.面材+木製間柱方杖仕様

# 地震応答解析事例（2階建て住宅）



# 計算条件

延べ面積　107.76m$^2$　1F:52.28m$^2$　2F:55.48m$^2$
階高　　1F:3.0m　2F:2.7m

耐力壁量　　地震時必要壁量の2倍相当(令46条)

解析方向　X方向のみ

タイプ1　面材合板仕様　　2F:8P　1F:14P
タイプ2　間柱方杖仕様　　2F:8P　1F:14P
タイプ3　面材+間柱方杖　2F:8P　1F:14P

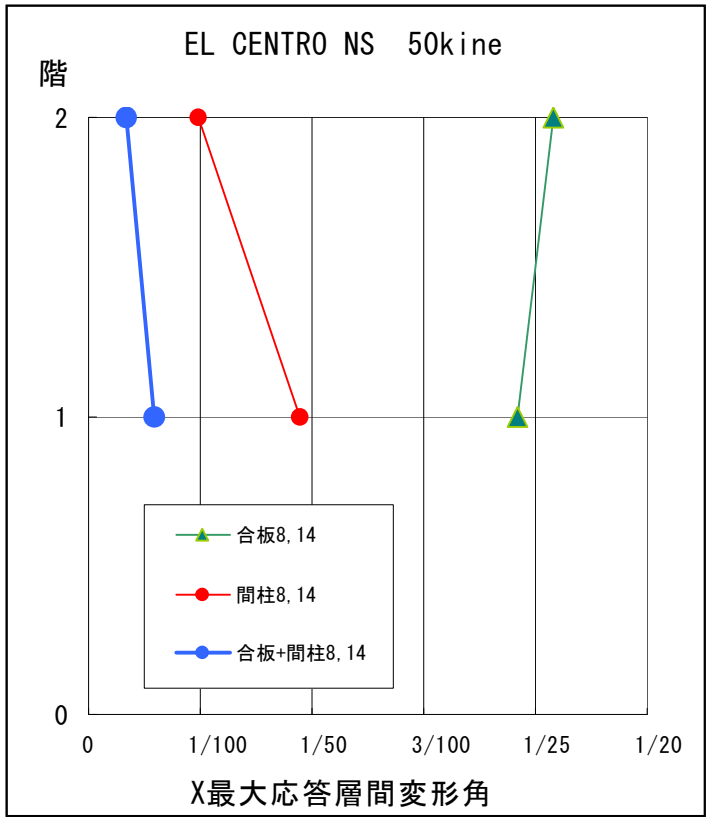
入力地震波　El Centro-NS、八戸NS、Taft-EW、
JMA神戸-NS　50kine基準化

# 地震応答解析事例(2階建て住宅)

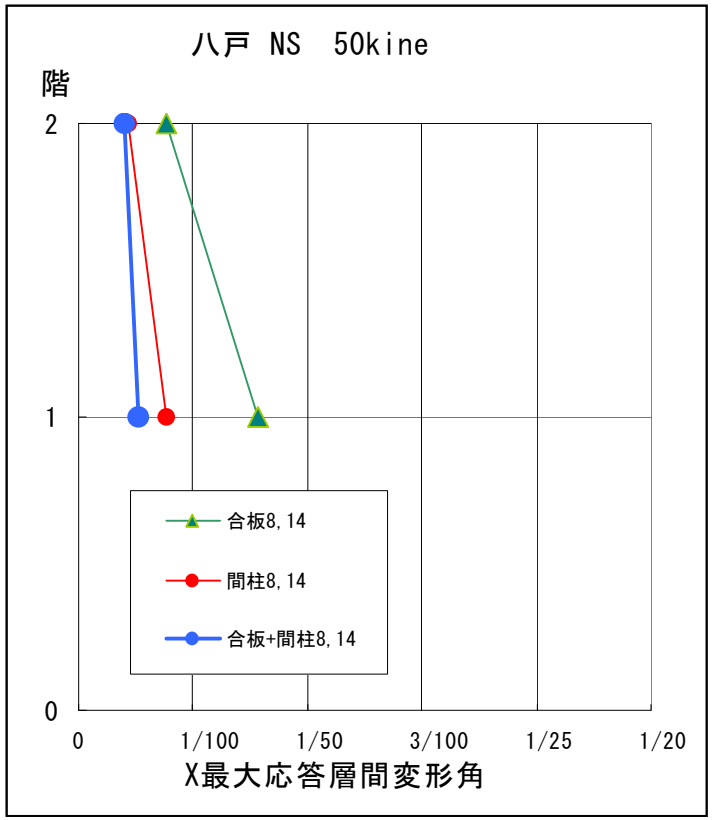
層間変形角　rad.

| 地震波 | 階 | 合板<br>2F 8P<br>1F 14P | 間柱<br>2F 8P<br>1F 14P | 合板+<br>間柱<br>2F 8P<br>1F 14P |
|---|---|---|---|---|
| El Centro-NS<br>50kine | 2<br>1 | 1/24<br>1/26 | 1/102<br>1/53 | 1/299<br>1/171 |
| 八戸-NS<br>50kine | 2<br>1 | 1/130<br>1/64 | 1/228<br>1/131 | 1/253<br>1/193 |
| Taft-EW<br>50kine | 2<br>1 | 1/86<br>1/34 | 1/103<br>1/60 | 1/227<br>1/108 |
| JMA Kobe-NS<br>50kine | 2<br>1 | 1/43<br>1/22 | 1/88<br>1/52 | 1/245<br>1/136 |

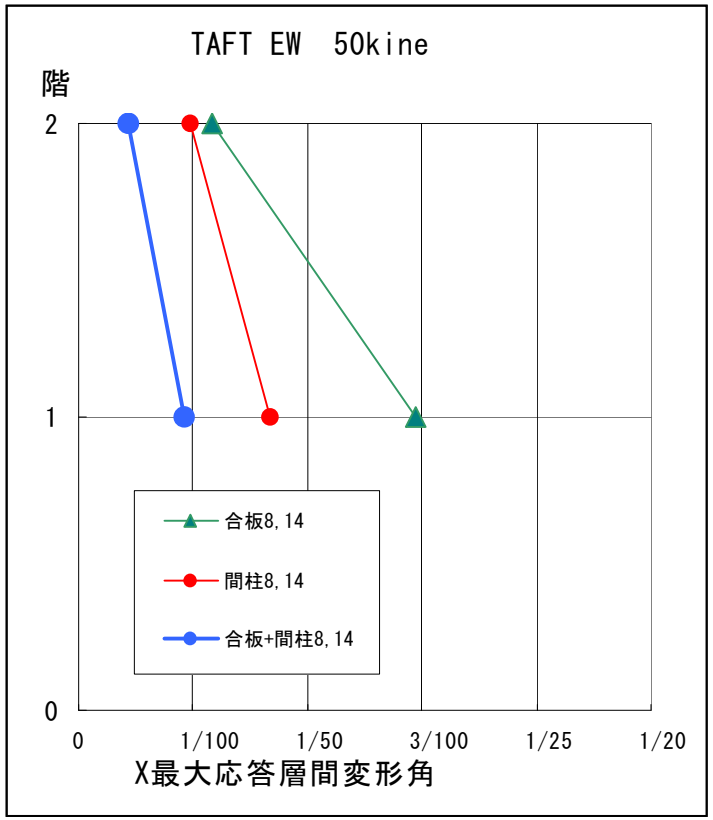
# 地震応答解析事例(2階建て住宅)



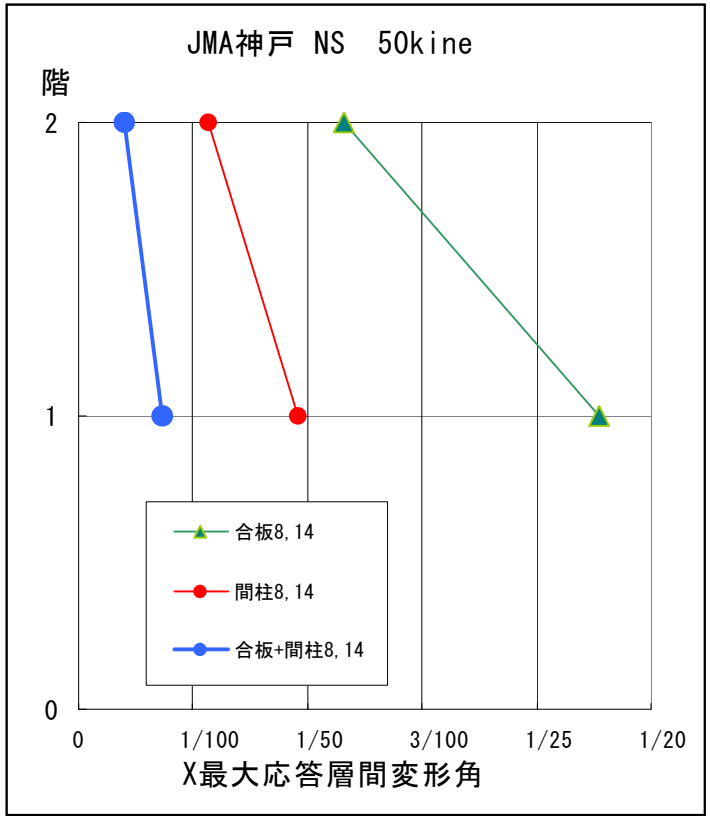
# 地震応答解析事例(2階建て住宅)



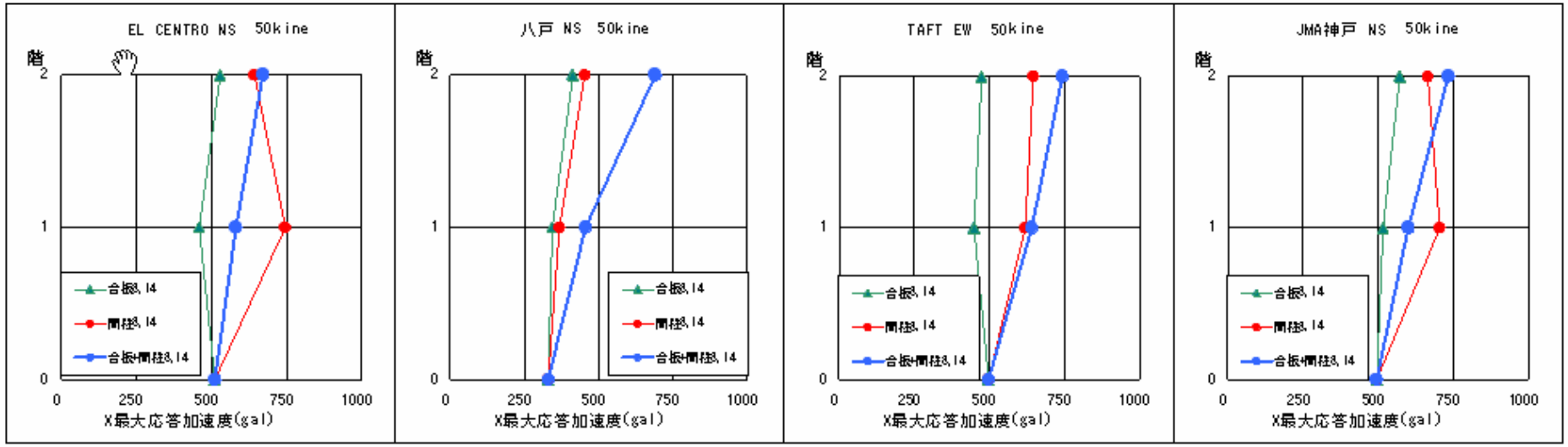
# 地震応答解析事例(2階建て住宅)



# 地震応答解析事例(2階建て住宅)



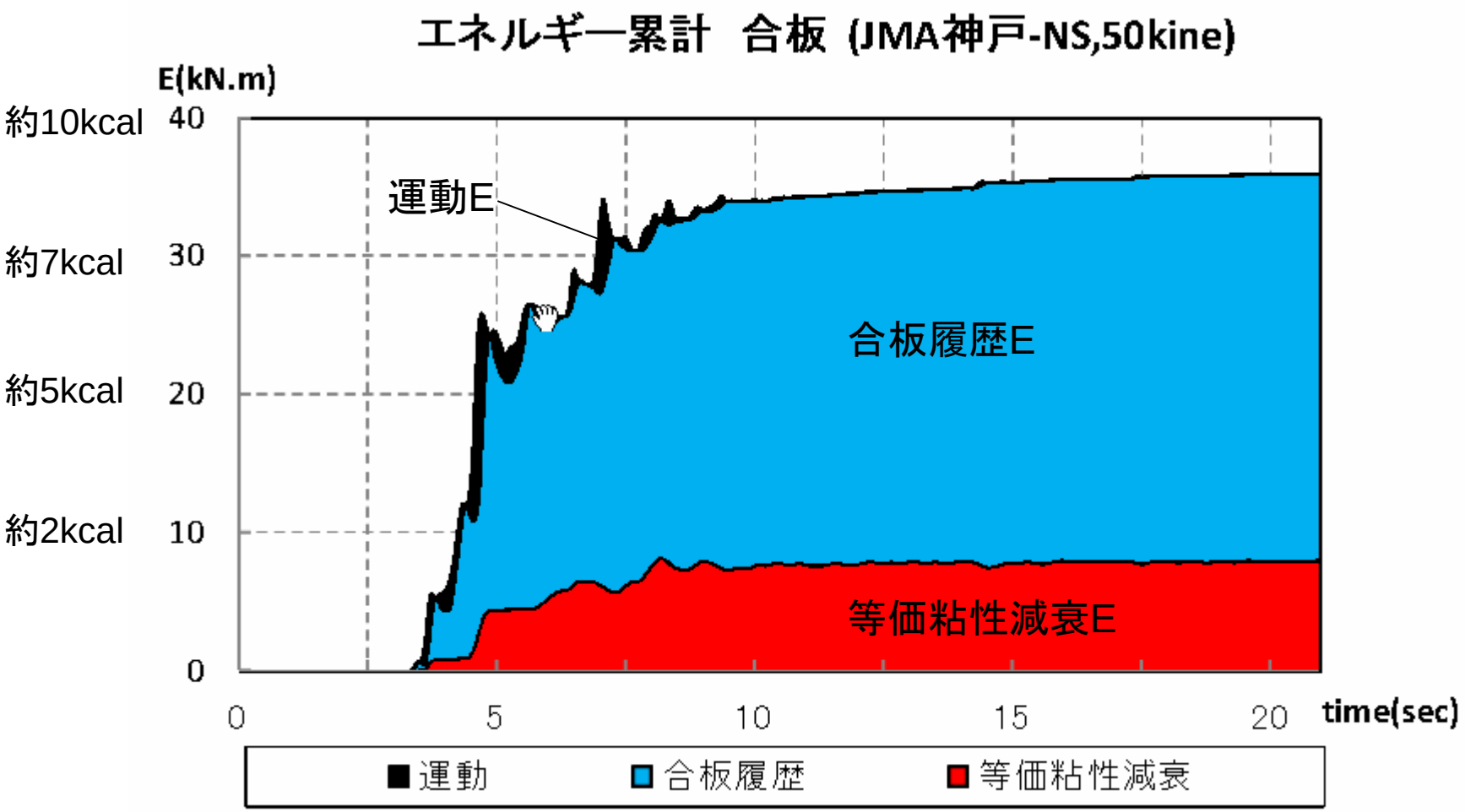
# 地震応答解析事例(2階建て住宅)



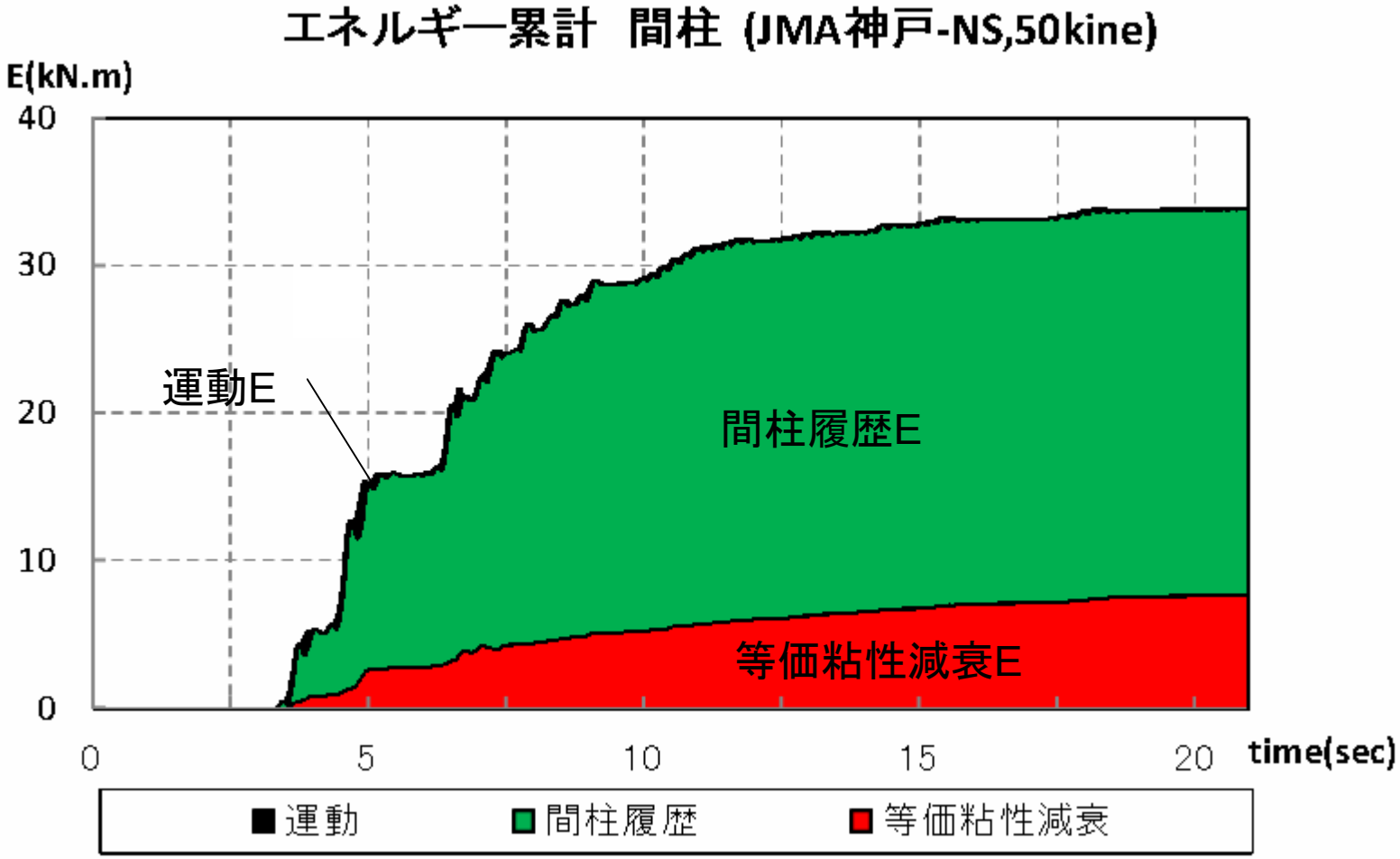

絶対加速度　cm/sec$^2$

| 地震波 | 階 | 合板<br>2F 8P<br>1F 14P | 間柱<br>2F 8P<br>1F 14P | 合板+<br>間柱<br>2F 8P<br>1F 14P |
|---|---|---|---|---|
| El Centro-NS<br>50kine | 2<br>1 | 529.0<br>458.8 | 643.1<br>745.5 | 671.0<br>581.5 |
| 八戸-NS<br>50kine | 2<br>1 | 413.7<br>344.3 | 453.2<br>367.7 | 691.9<br>455.8 |
| Taft-EW<br>50kine | 2<br>1 | 474.5<br>448.8 | 646.4<br>619.2 | 742.8<br>640.8 |
| JMA Kobe-NS<br>50kine | 2<br>1 | 571.3<br>515.8 | 664.3<br>704.6 | 733.3<br>599.9 |

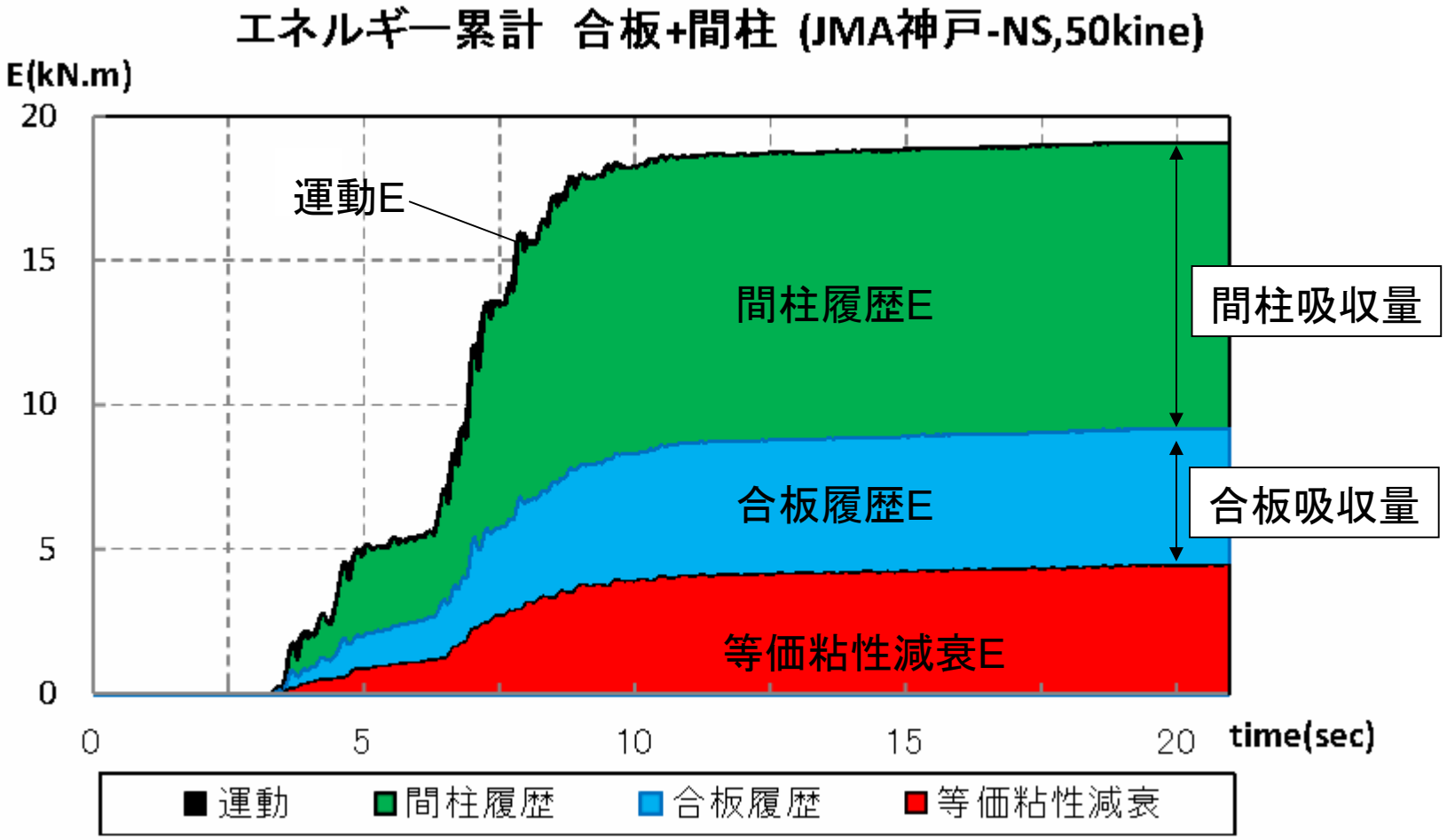
# 地震応答解析事例（2階建て住宅）



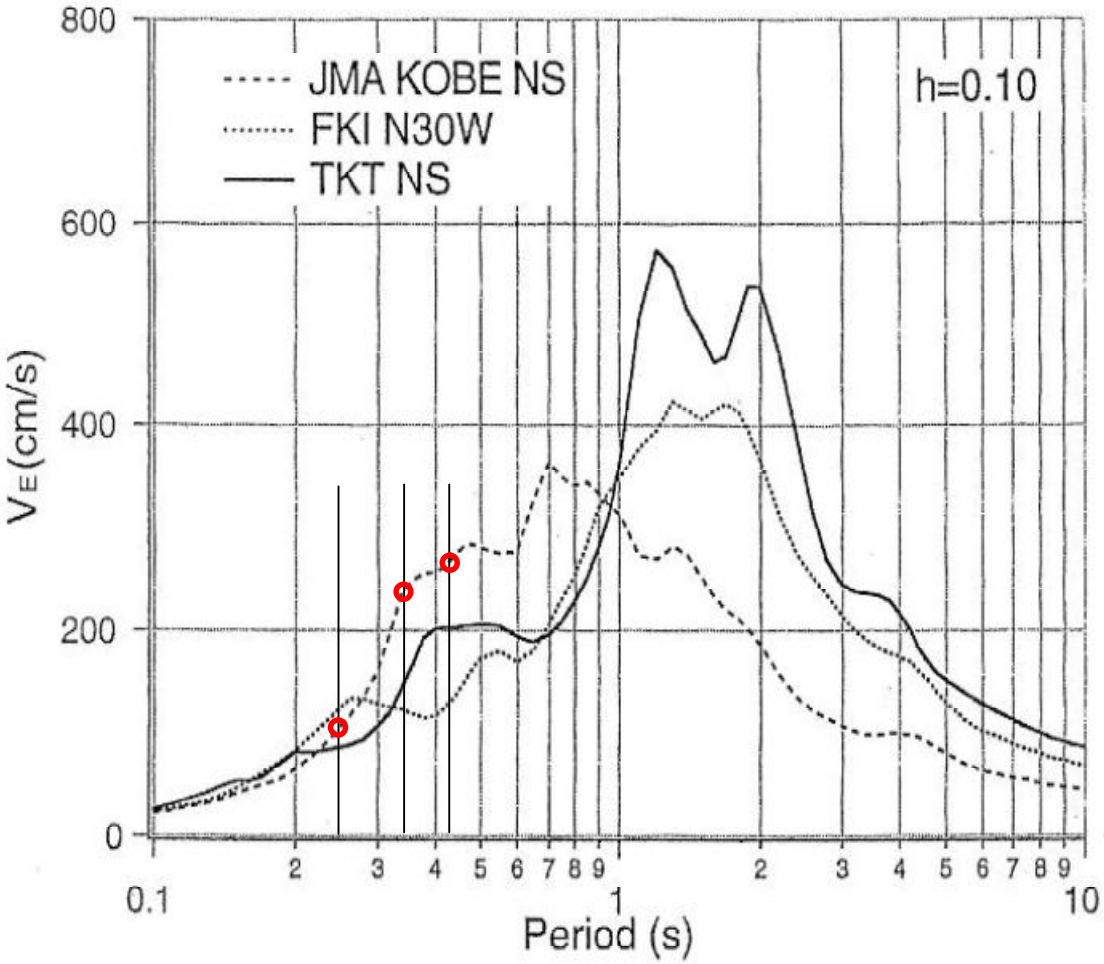
# 地震応答解析事例（2階建て住宅）



# 地震応答解析事例（2階建て住宅）



# 入力エネルギー(等価速度Ve)



真に強い木造住宅を目指すためには、まだまだ極めなければならない課題が山積しております。つねに問題意識を持ち、よりよい解決を目指して勉強を続けなければなりません。時代を担う若い構造技術者の今後に期待します(^_-)-☆

ご清聴ありがとうございました。