

真に強い木造住宅

(有)MASA建築構造設計室 真崎雄一

千葉県事務所協会会議室 2014.9.18

主催

公益社団法人 千葉県建築士事務所協

Video start
阪神大震災被害
シミュレーション

阪神神戸大震災 木造住宅 被害写真

撮影：真崎雄一

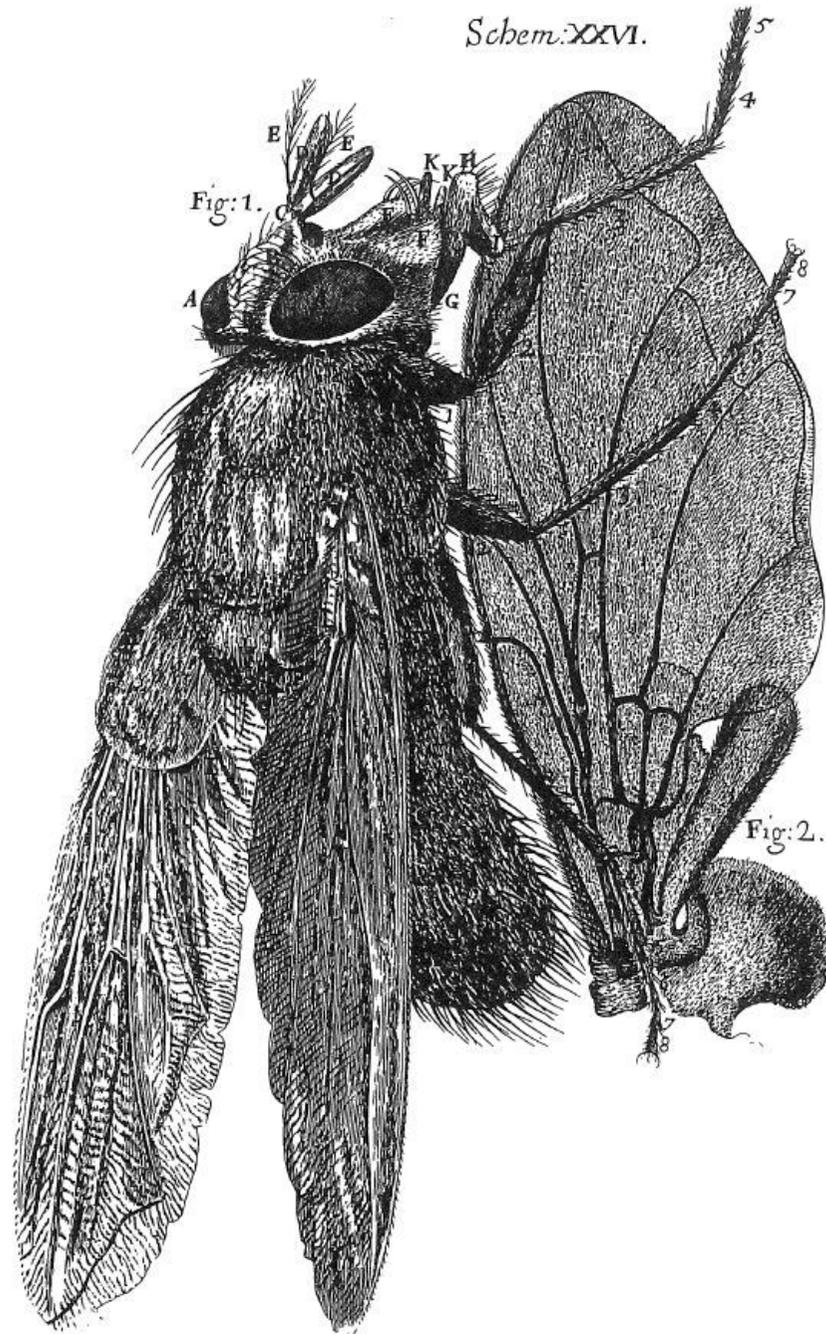
木造耐震講義

始まり 始まり

ものごとの始まりは、観察・推理・理論・
実験・考察・工夫・応用

ものごとの**発明・発見**には、あらゆることに興味を持ち、**緻密な観察**、および分析と直感にもとづく**創造力**が大切である。

分析とは**批判**と違うものである。
批判は他人よりも己が優れしと考える傲慢性である。

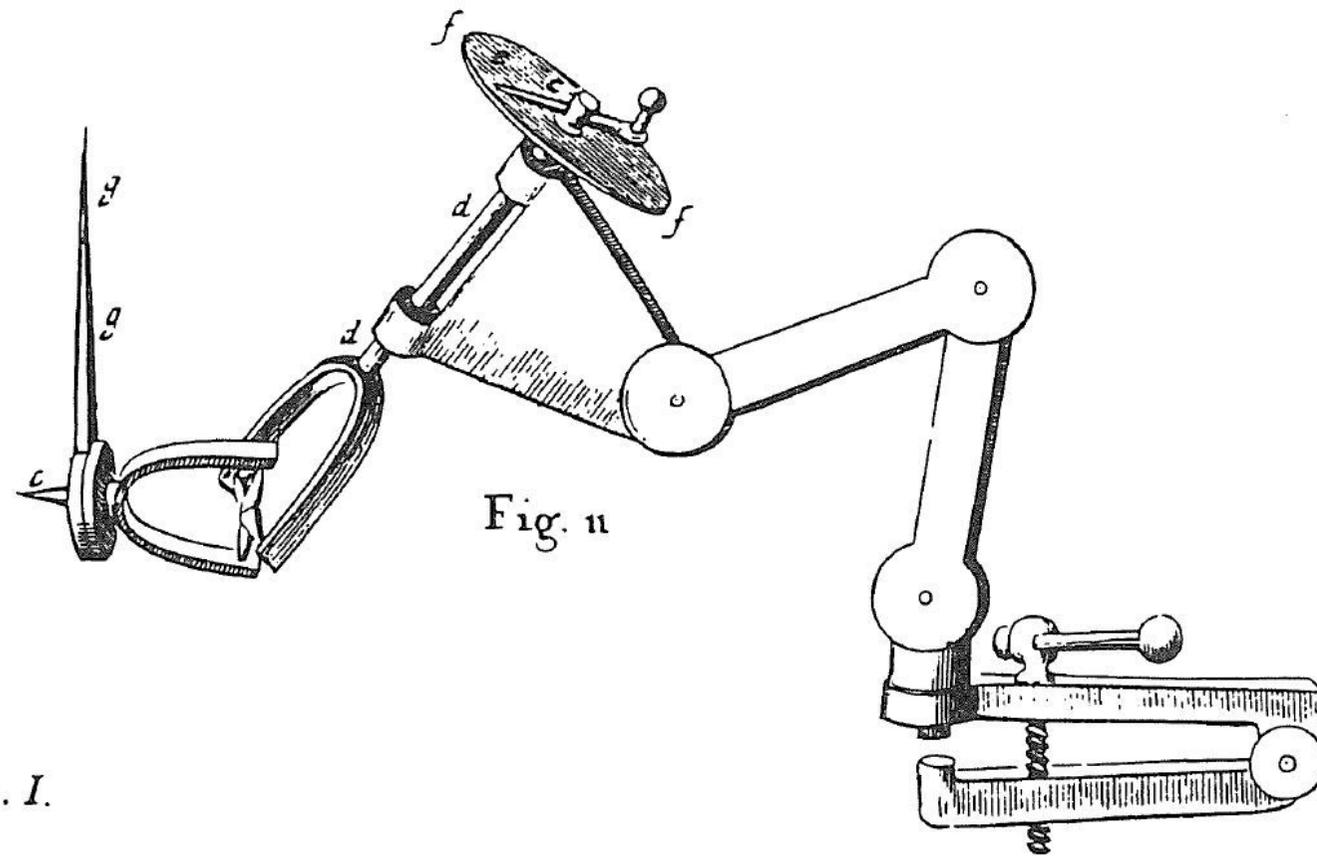


図版II 「青眼バエ」とその翅（『ミクログラフィア』図26）

ロバート・フック

「青眼バエ」
ミクログラフィア

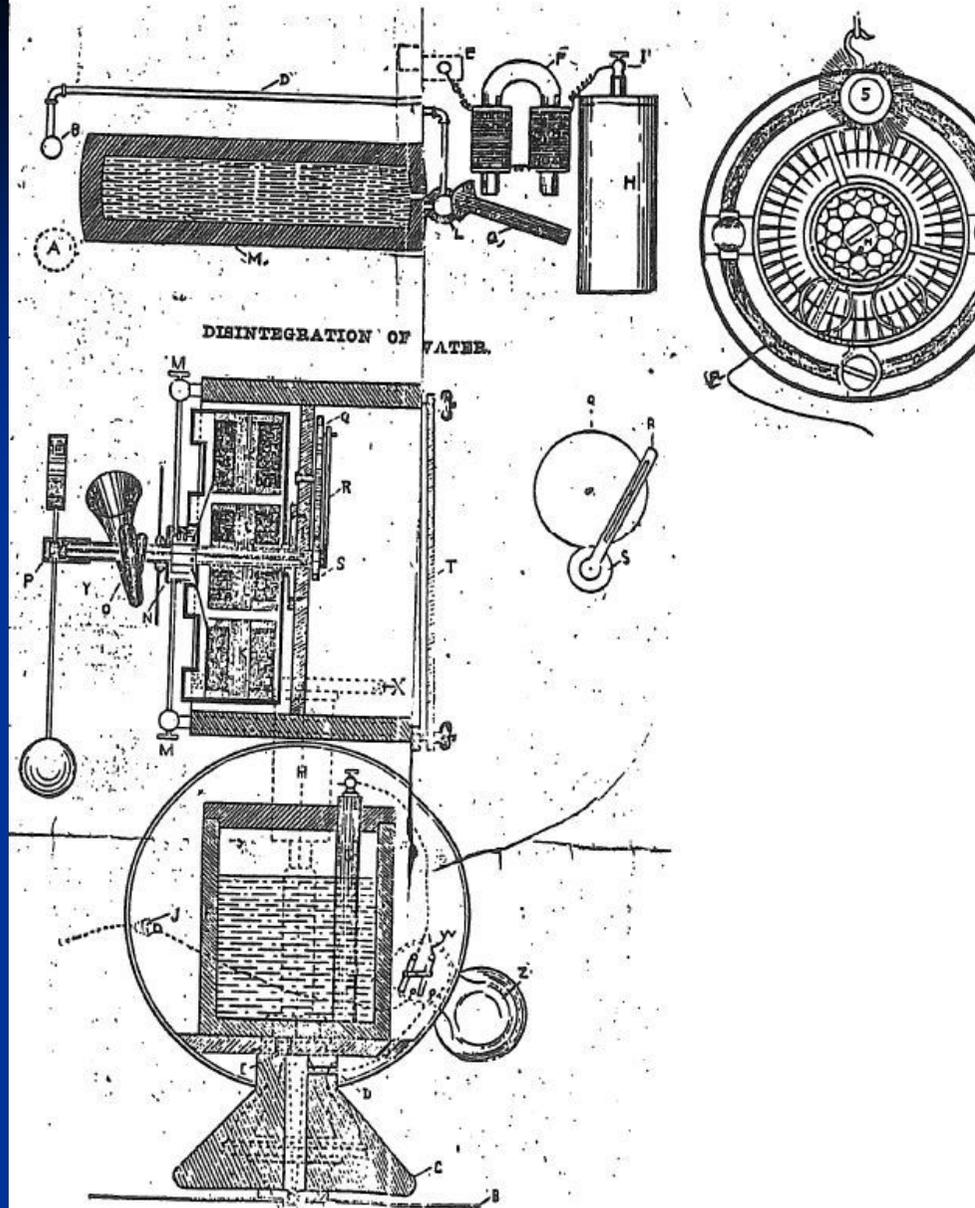
フックは、「バネの法則」「細胞」の発見で有名である。本来の専門は機械学であったが、物理学、天文学、化学、生理学、時計学、建築学、地図学などのあらゆる分野に亘って業績を上げた人物である。



Tab. I.

B. フックの、万能継手が実際に使われている「日時計作製用装置」
(ガンサー VII 所収の『太陽観測用望遠鏡についての記述』より)

ロバート・フック



A rare cross-section cut of Keely's engines. It is not known if his devices were actually built this way since all of his drawings and blueprints mysteriously vanished.

発明が、真の発明ほど一般に認められた技術用語で表現することは難しい。そのために、新しい造語を作り出す必要に迫られる。

ジョン・ウォーレル・キーリィ

海岸を歩きながらたくさんの貝殻を耳に当ててみると、同じ音を発するものは一つとしてなかった。

物質は、ある特定の和音に反応する「和音の集合体」である。

道端の水溜りが凍ると、氷の芸術に①



道端の水溜りが凍ると、氷の芸術に②

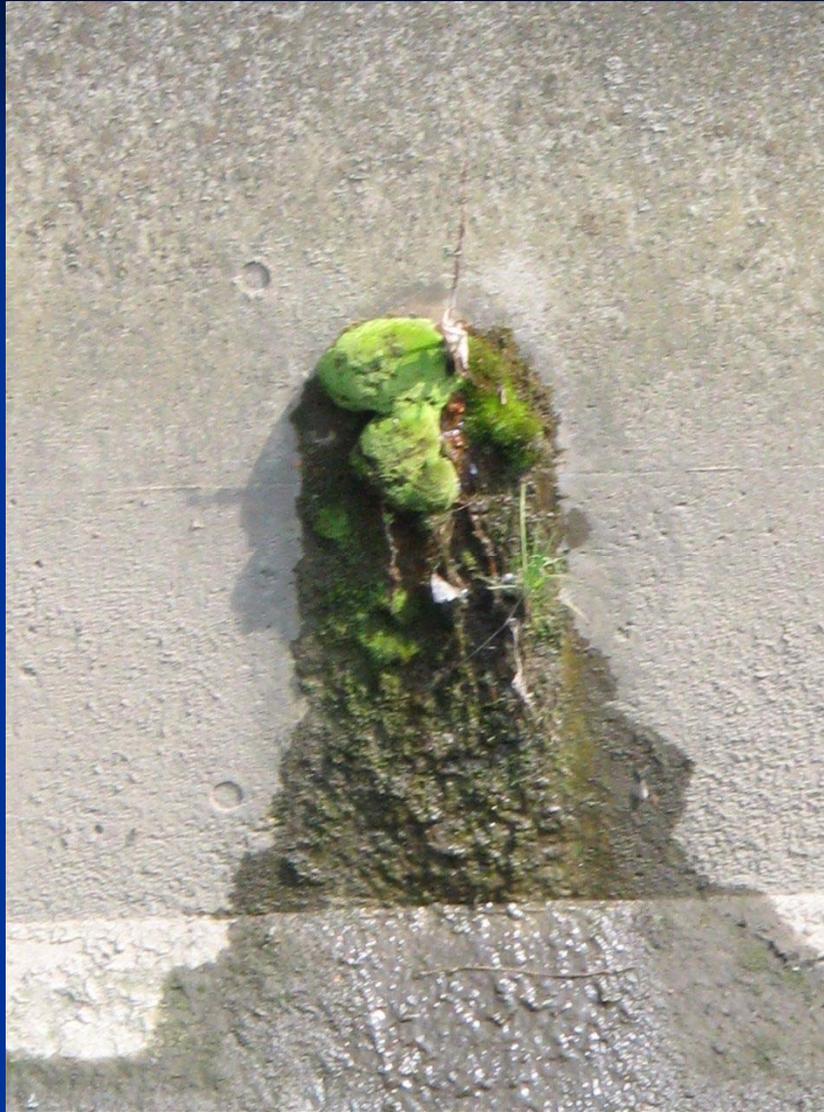


道端の水溜りが凍ると、氷の芸術に③





目も耳もない草が自然のエネルギーに委ねると
螺旋的に成長する。



槍を掲げる天使

そう思って見ると、見えてくる。



笛を吹く天使



朽ちた換気扇

変化自在の
念・気・流・液・粉・粘・
弾・固・剛・塑性

すべてに共通するキーワードは振動数

みみずがネジれて動く
ラセンの動き

■ 耐震建築の原理

真に強い建物とは

優しい耐震建築の原理

- 地震で建物が壊れない丈夫な建物を造るには。
- 自然は常に**変化を嫌い、周囲と調和し、現状を維持し安定**しようとする働きがあります。
- 地震動の動きは自動車の前進、後退の繰り返しに似ています。
- 常に安定を求める自然はリズム運動に対しても抵抗せずに合わせようとする傾向があります。
- 建物の場合も同様で建物の持つ反応し易いリズムを持っています。専門用語では**建物の固有周期**と言います。
- 建物が地震のリズムに反応する事を**共振現象**と呼びます。
- 建物の持つ固有のリズムつまり固有周期は凡そ建物の階数の $1/10$ です。

優しい耐震建築の原理

- 「力は抵抗するから発生する」
- 自然原理から言えば建物も地盤のリズムに合わせて揺れることで抵抗を避け、大きな力を受けないようにしているとも言えます。
- 建物の受ける大きな力は先程述べた変化に抵抗する力つまり慣性力です。
- 建物を揺する力はエネルギーとして考えるのが正しい見方です。
- 建物の変形し易い構造であれば慣性力は小さくなります。逆に固くて変形しにくい建物の慣性力は大きくなります。
- 通常規模の地震であれば、地震が収まるとやがて元に戻り、現状復帰するのは、なぜでしょう？

優しい耐震建築の原理

- 永遠に揺れないのは建物に**減衰力**があるからだ。
- 「減衰力」は空気と建物の摩擦に加えて、建物基礎と地盤、建物の内外仕上げ材、サッシュ、ドア、家具、什器、お風呂の溜め水、トイレの給水タンク、構造躯体の接合部等々の摩擦による**抵抗力と変形**で揺れの**エネルギー**を吸収します。
- 建物のエネルギー吸収を**エネルギー消費**と言い換えると建物の消費は建物が壊れること、あるいは損傷でしかありません。
- 最近では損傷の身代わりをする大きな減衰を持つ制震ダンパーを挿入する**制振構造**が増えています。
- **免震建物**はこの原理を取り入れたものです。通常の建物は丈夫にするとすれば、どんな力を受けてもバネのように元に戻る建物を思い浮かべます。しかし地震が衝撃のように1回位であればまだしも数分間続く場合は共振現象が生じて揺れは大きくなるので、バネの考え方だけでは不十分です。

**図で理解するわかり易い
振動、エネルギーの
概念と基本理解**

ニュートンとフックの関係式

生涯ライバルであったニュートン、フックをつなげる

ニュートンの力の定義

$$F = mA$$

フックのバネの法則

$$F = kD$$

A : 加速度

m : 質量

k : バネ定数

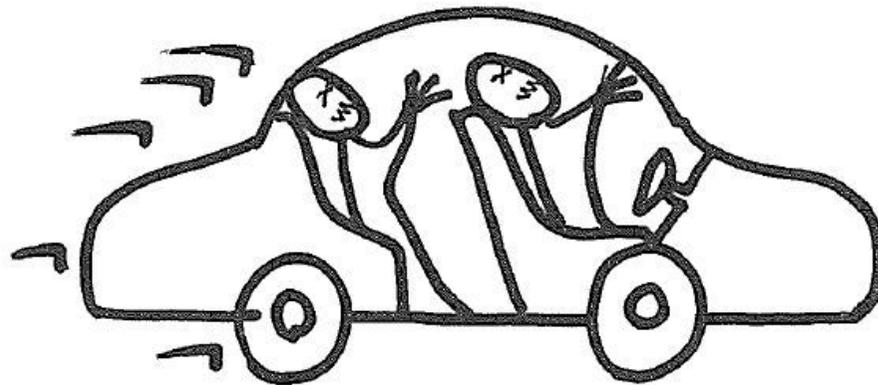
D : 変形

F : 力

ニュートンとフックの運動方程式

$$mA = kD$$

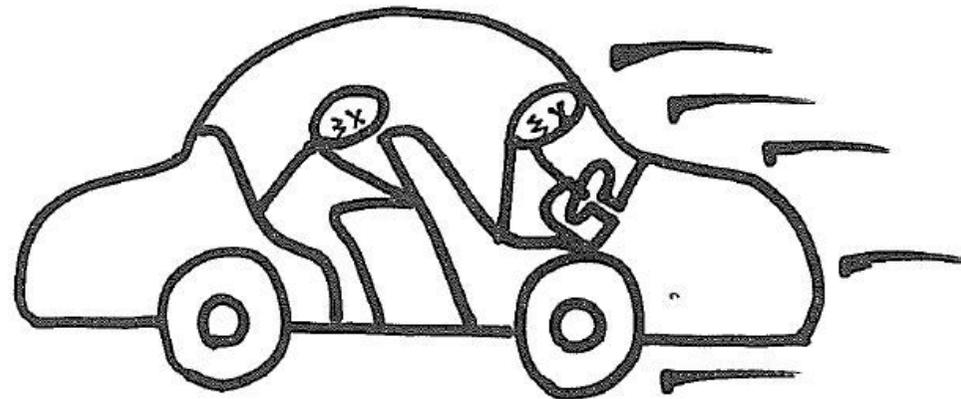
振動状態は、自動車の加速・ブレーキに例えられる。



急スタート →

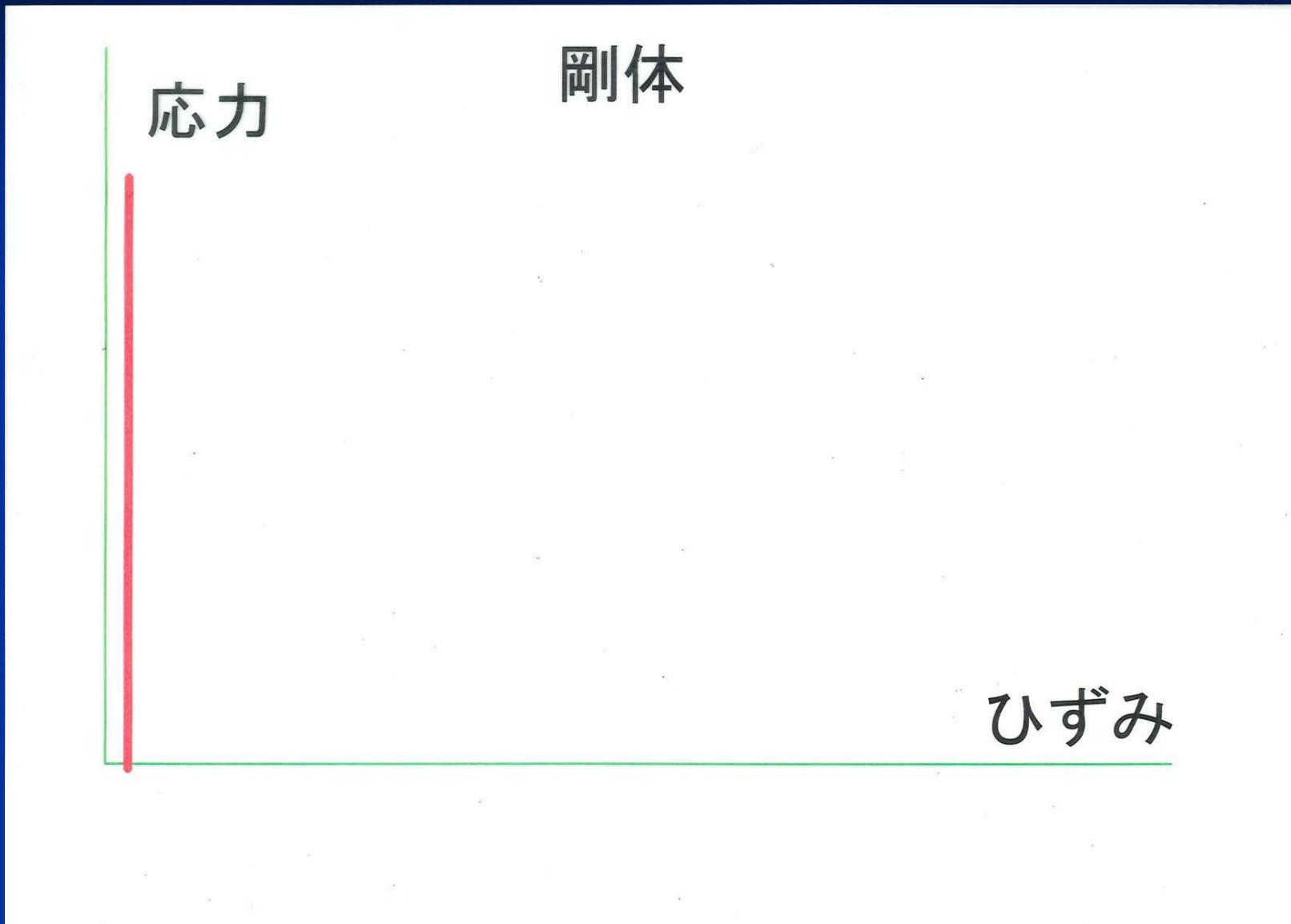
慣性力

慣性力

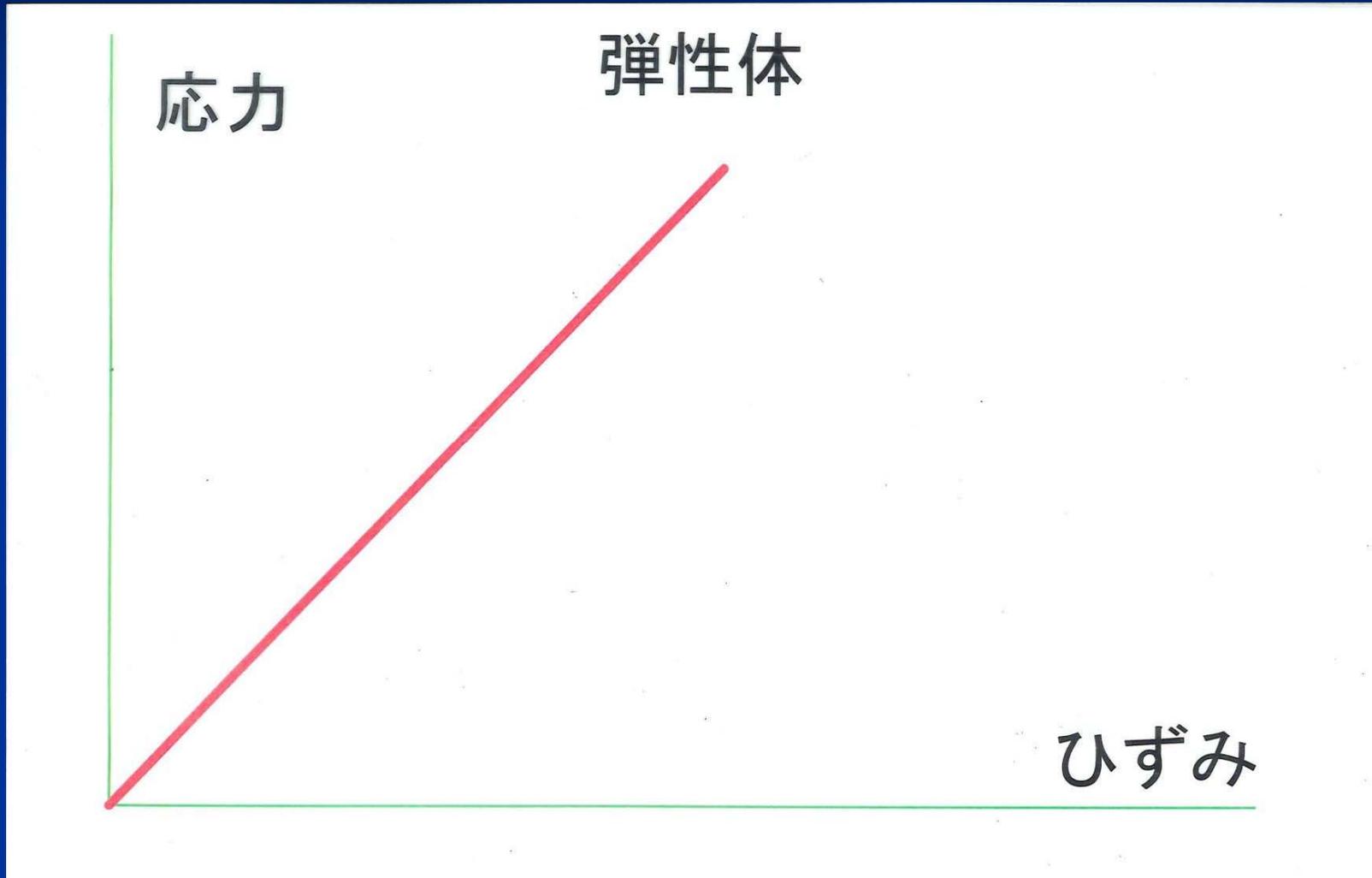


← 急バック

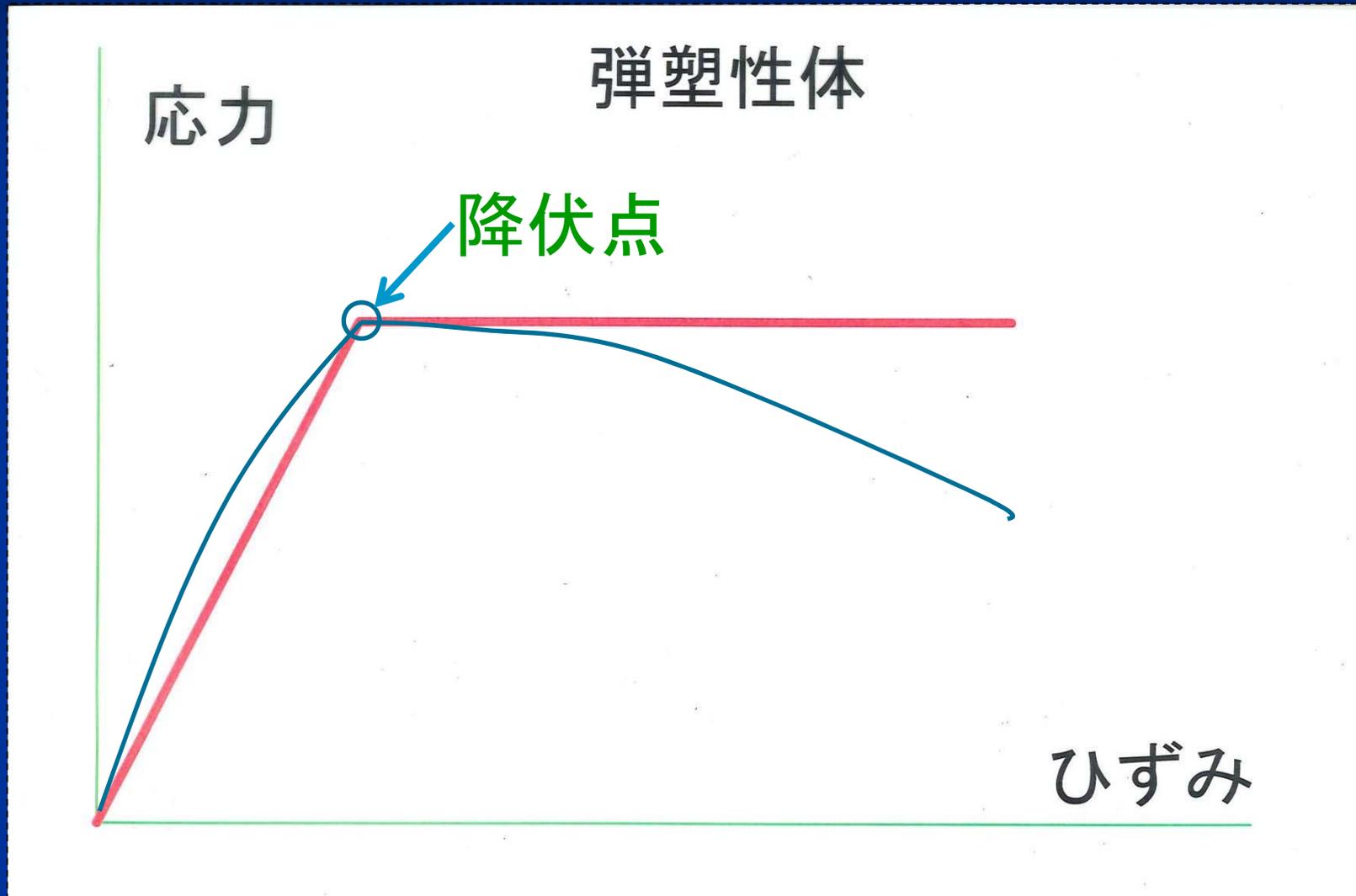
完全剛体とは、ひずみがなく応力のみである。



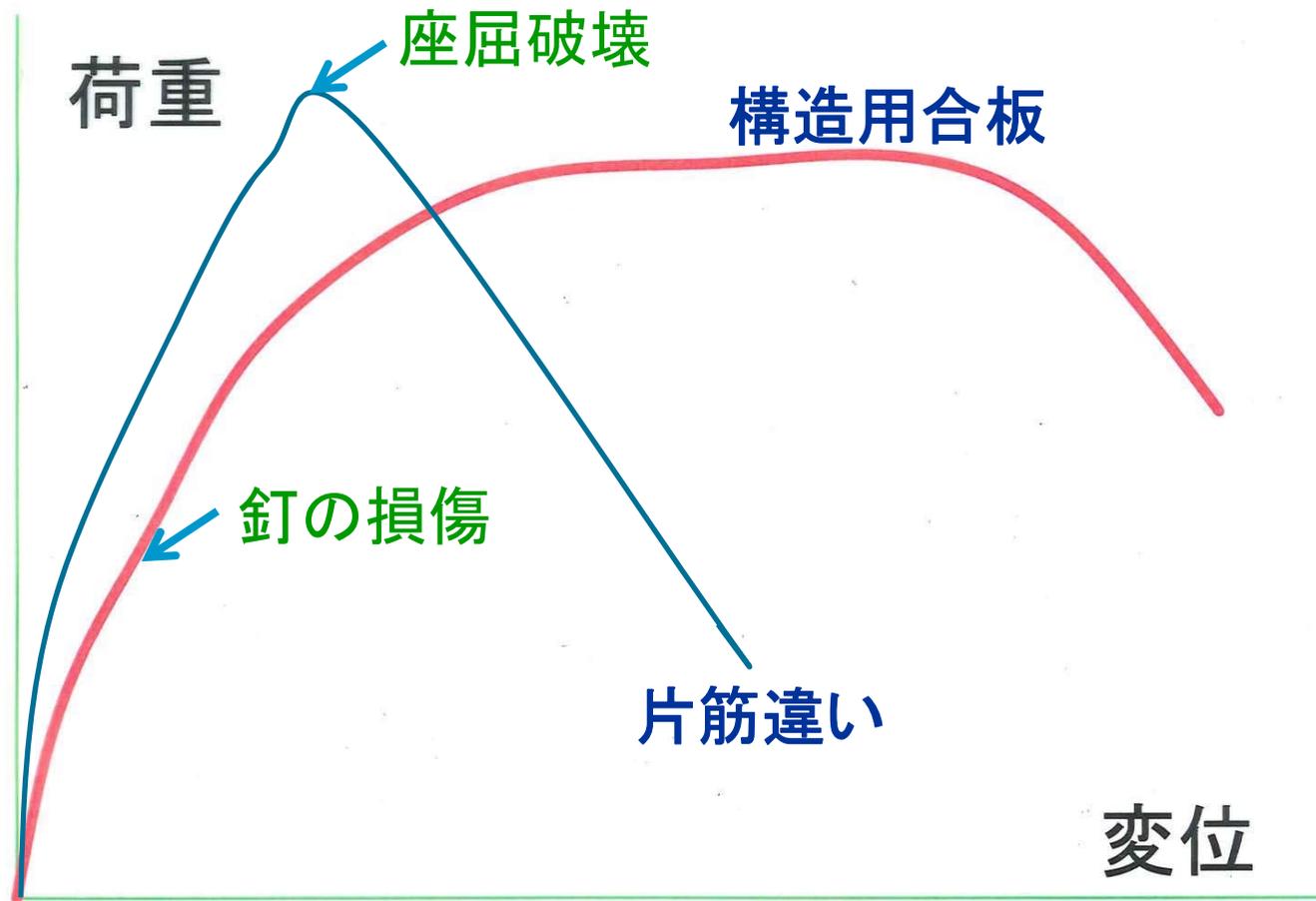
弾性とは元に戻る性質である。
線形弾性とは応力とひずみが比例する。



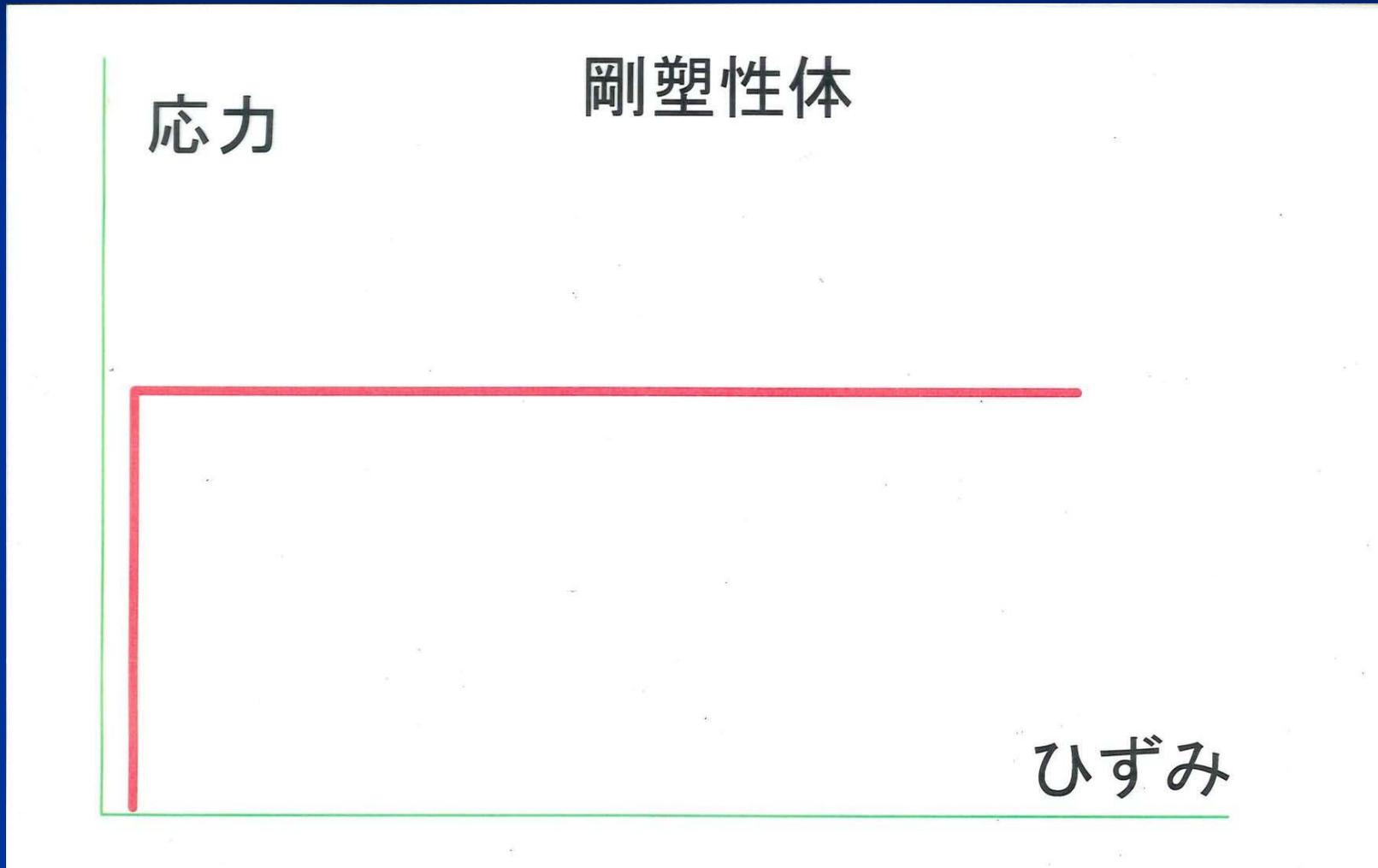
弾塑性とは弾性が降伏点以降、塑性になる状態



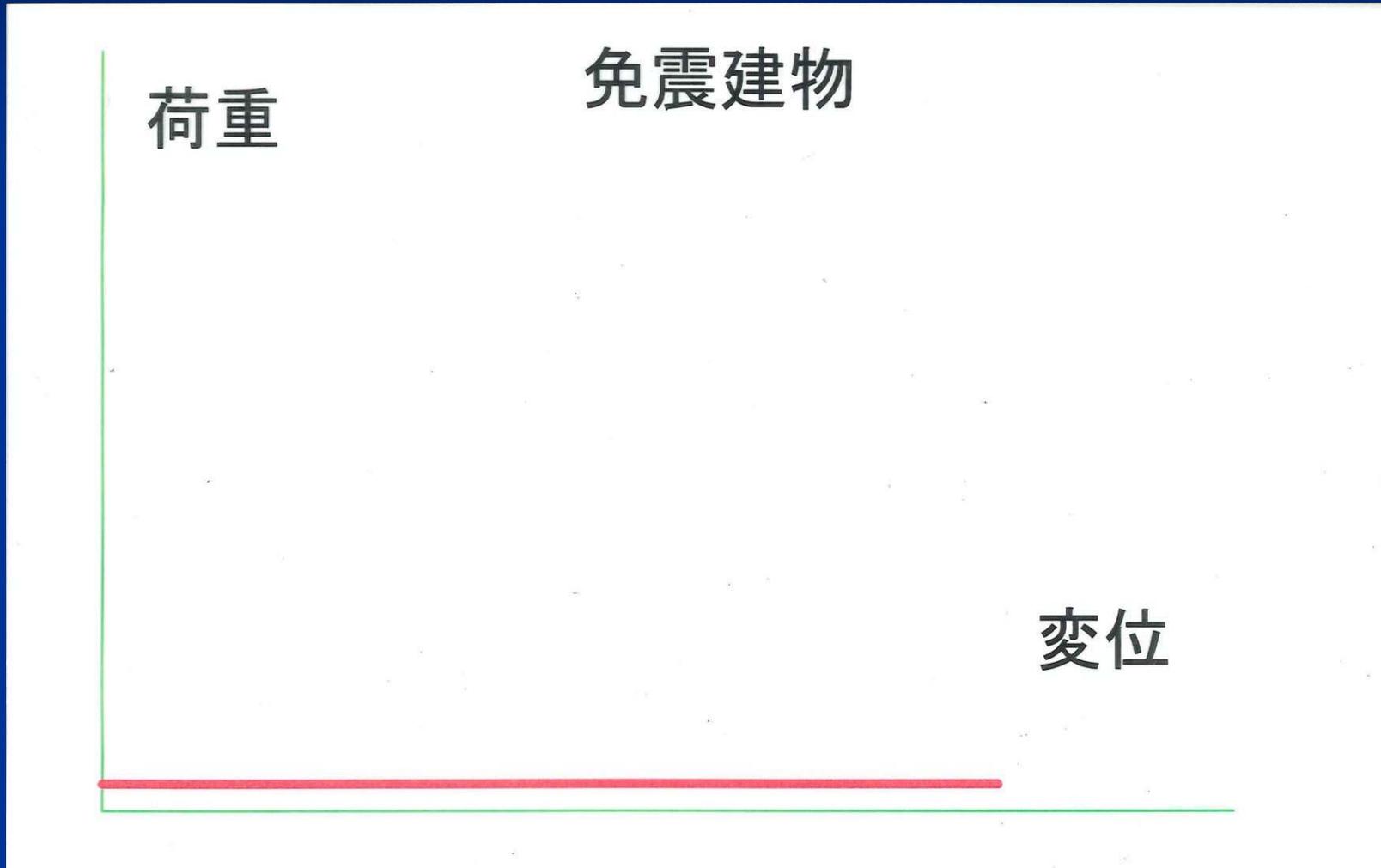
木造住宅の面材使用される要素の性能



剛塑性とは、摩擦、土石流や雪崩の現象

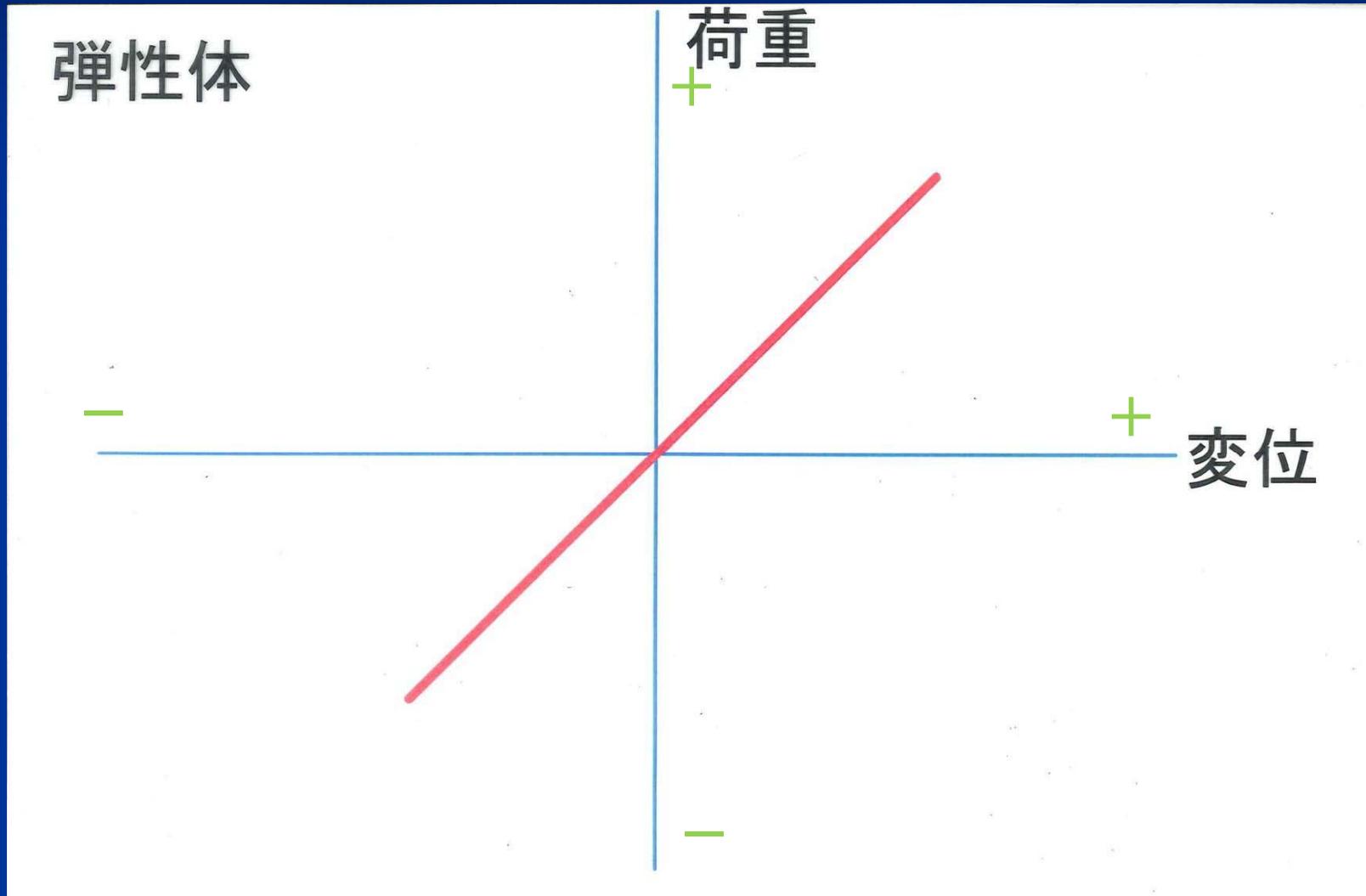


免震は、地震振動と建物を分離する。
住宅では30cm程度の動きを想定。強風対策に注意。

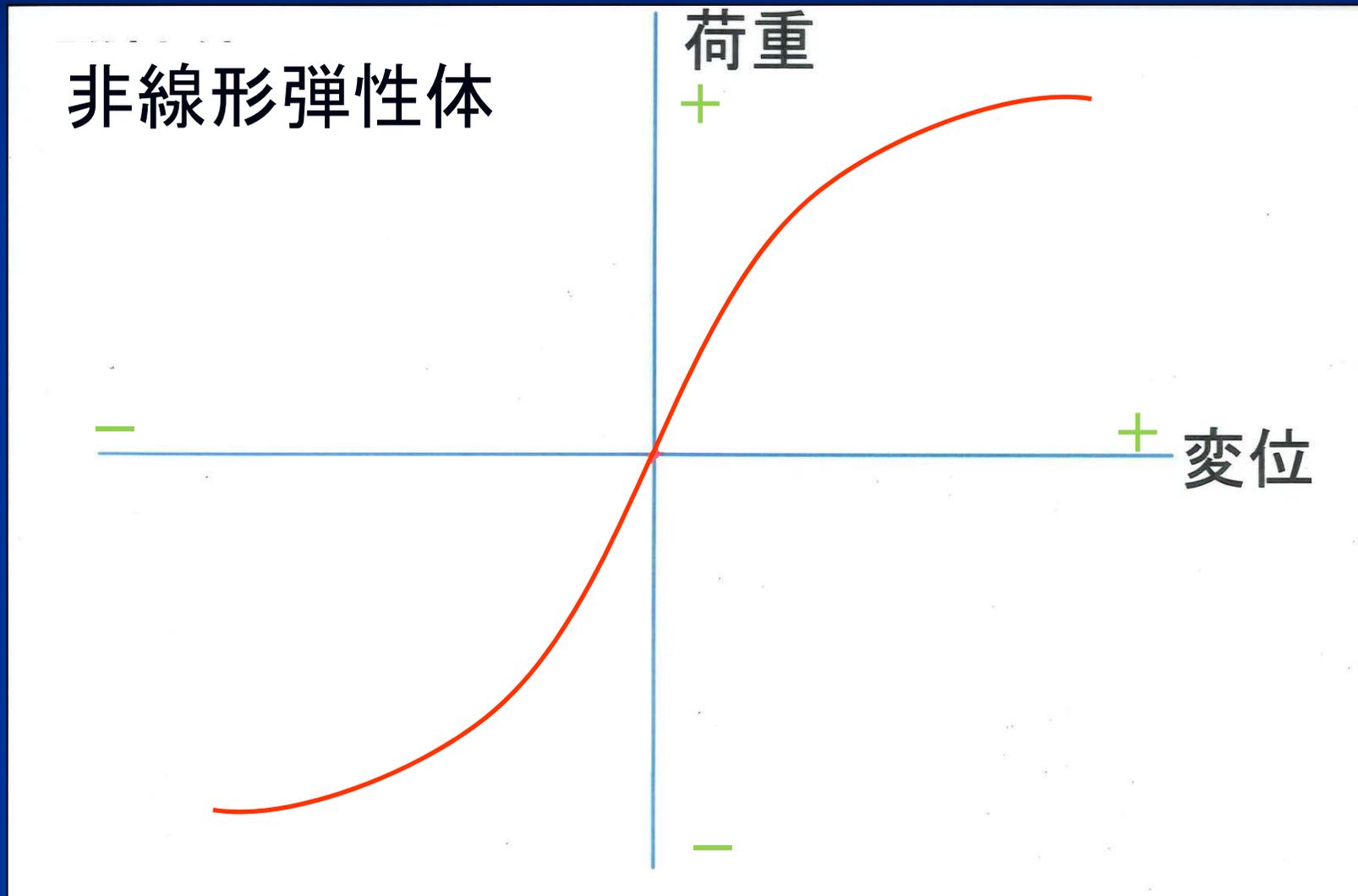


弾性振動状態。

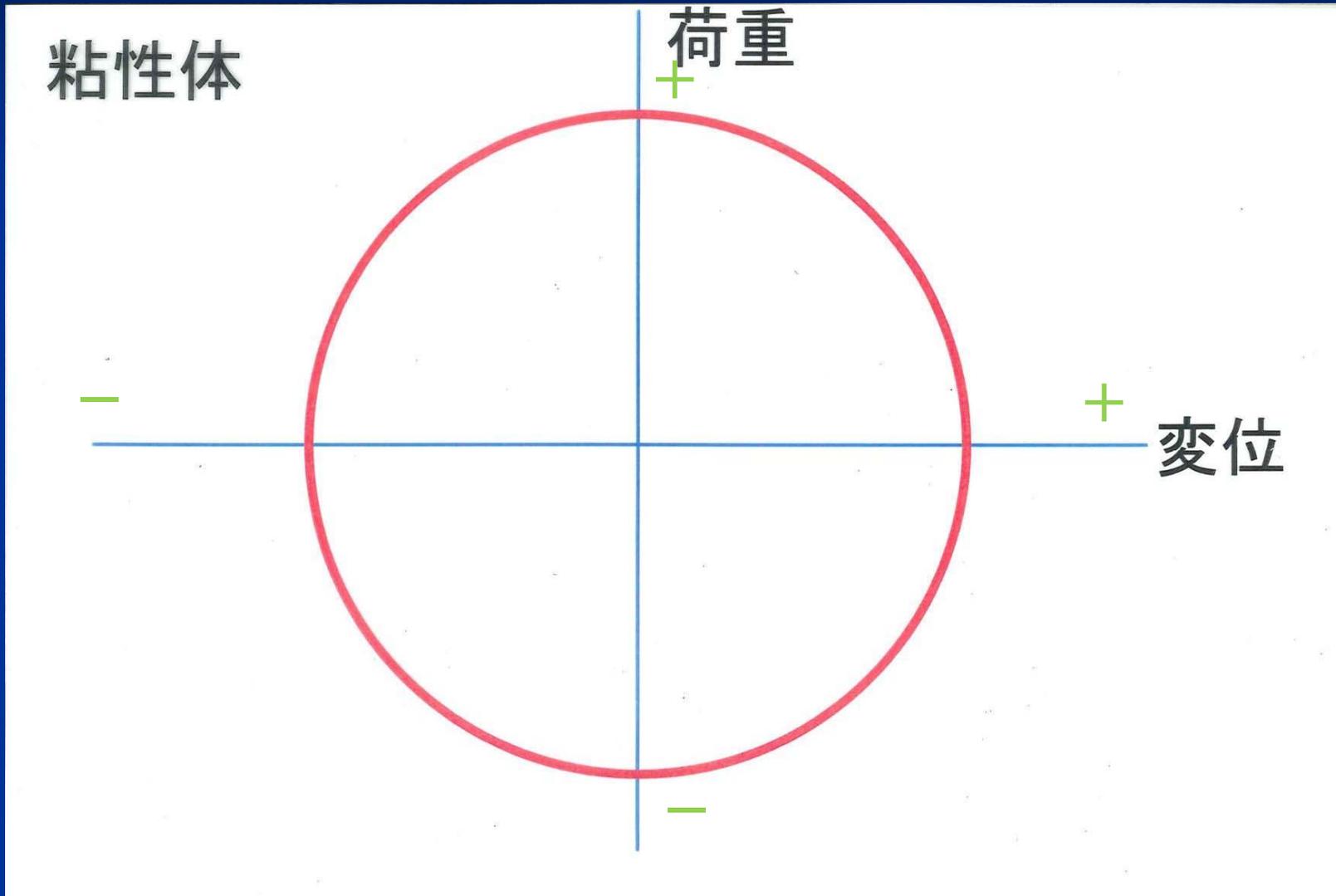
衝撃的な荷重には原点復帰の効果があるが、
共振に注意が必要である。



非線形の原点指向型であるが、エネルギー吸収はない

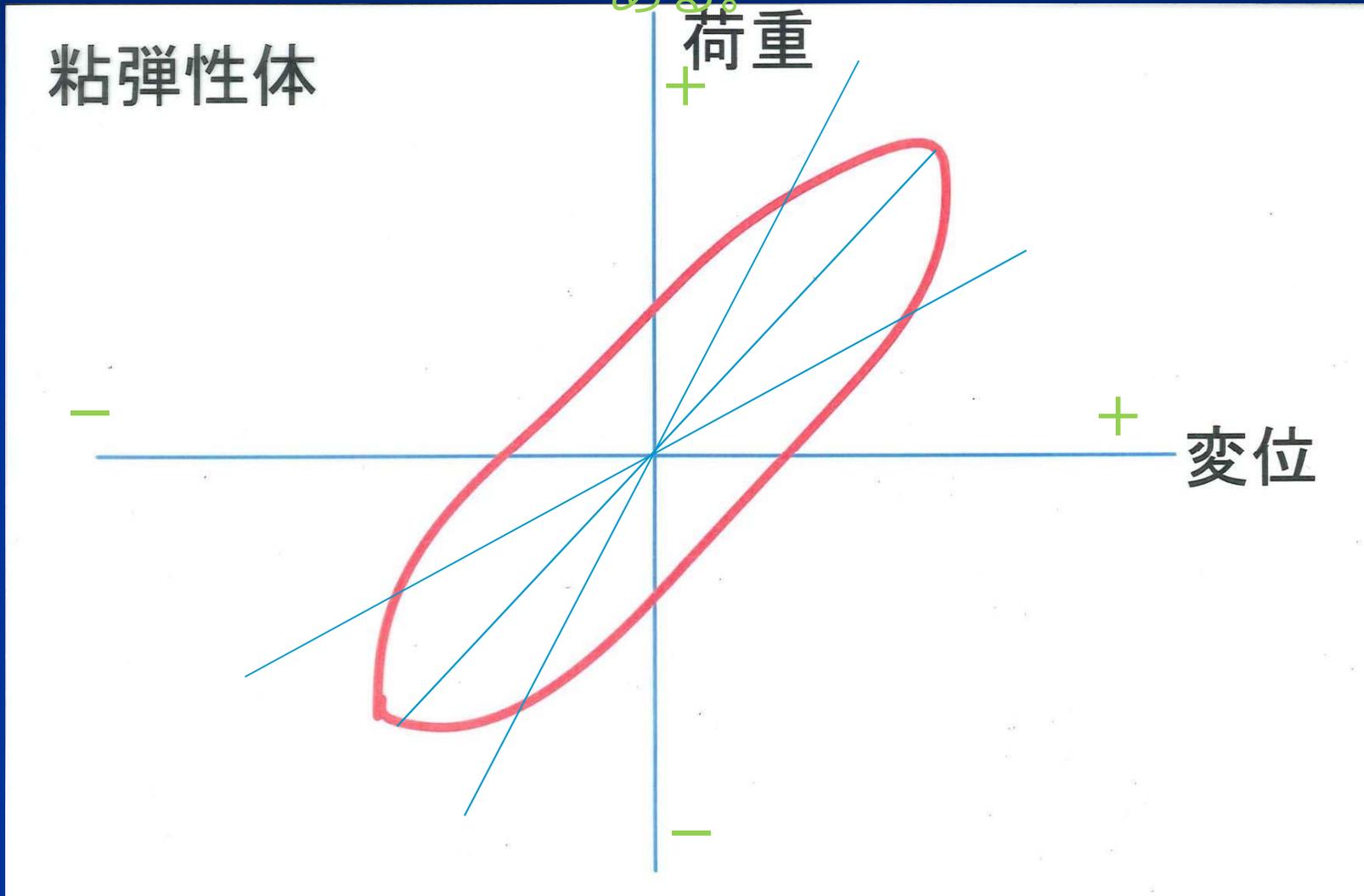


粘性体はオイルに代表される。
面積はエネルギー吸収量を表す。



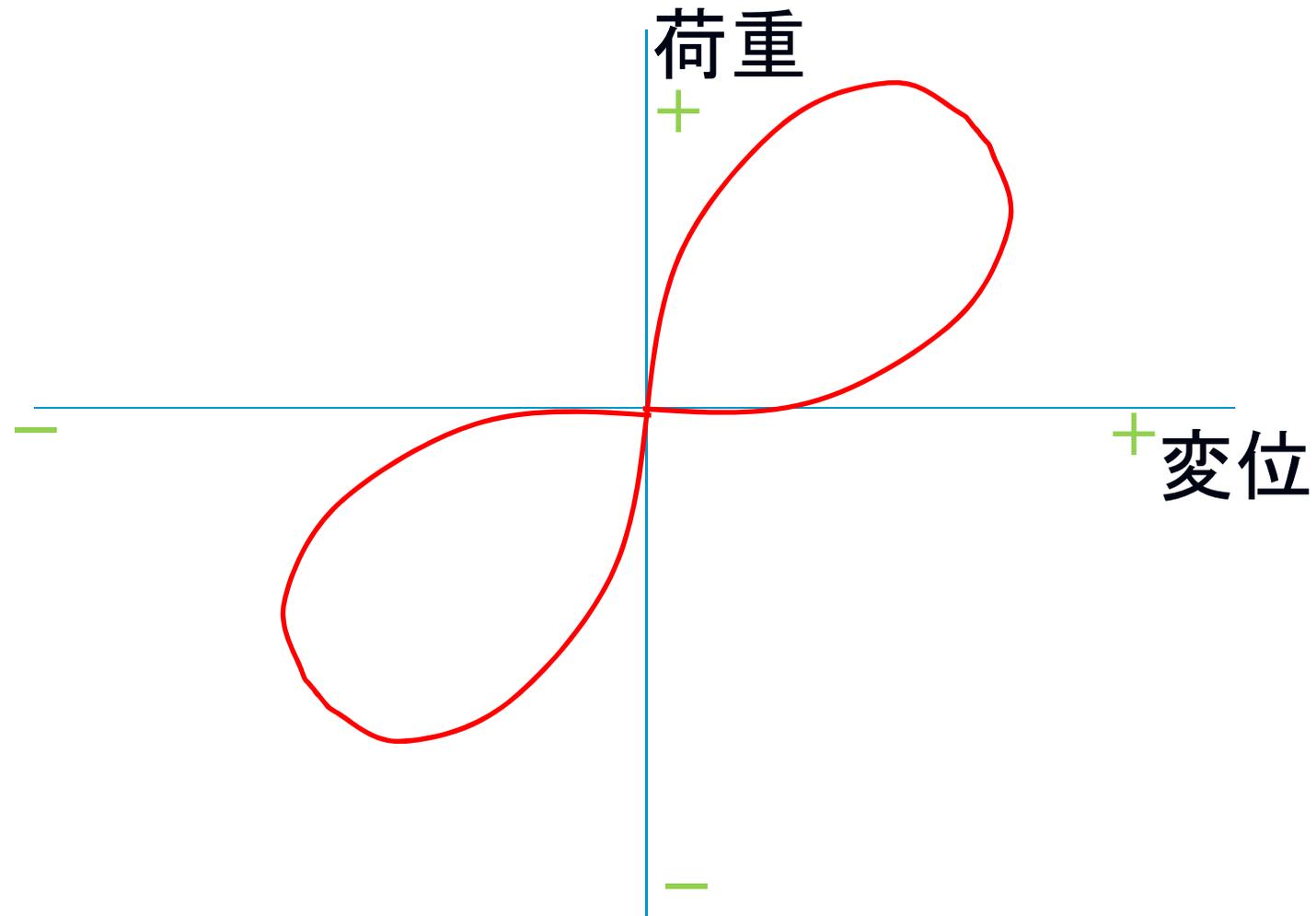
粘弾性体は、非加硫ゴム・アクリル系樹脂に
代表される。

粘性の性質と弾性の性質を持つ。速度・温度の依存性がある。



元に戻りつつも行きすぎない建物として理想的な
形

膨らみを持つ非線形弾性体

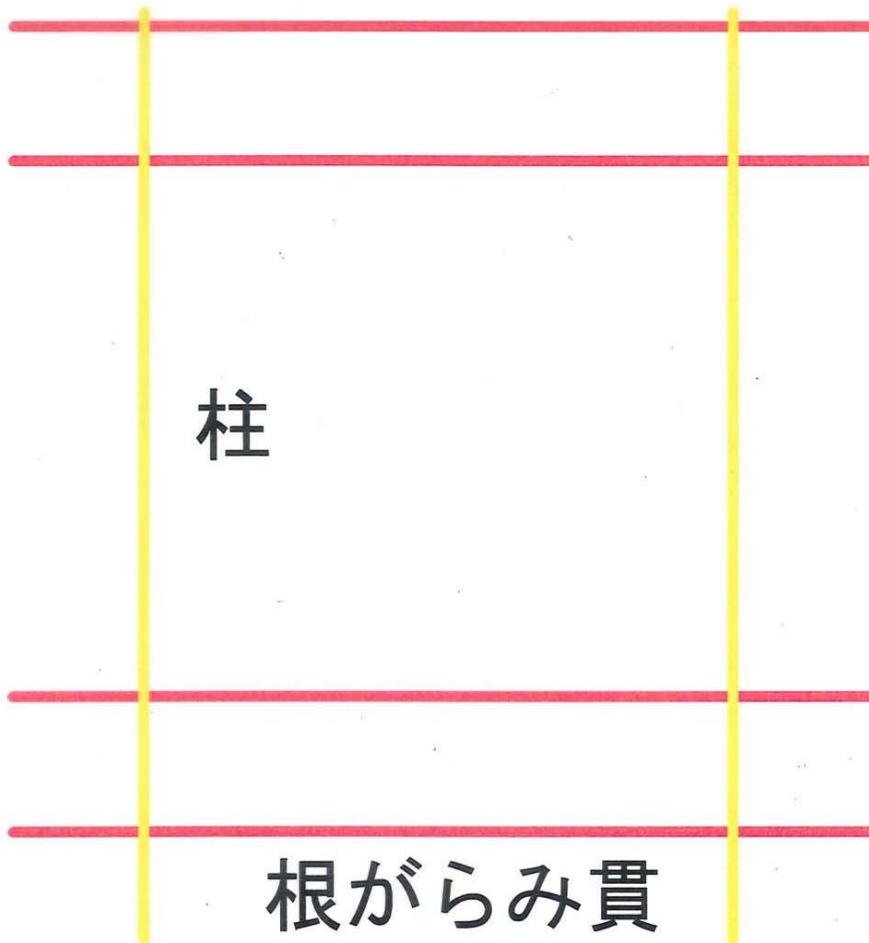


西洋貴族のフェンシングのサーベル
細身の鋼

海賊の使う青竜刀 青銅

日本の侍の日本刀 鋼+軟鉄

伝統木造



梁

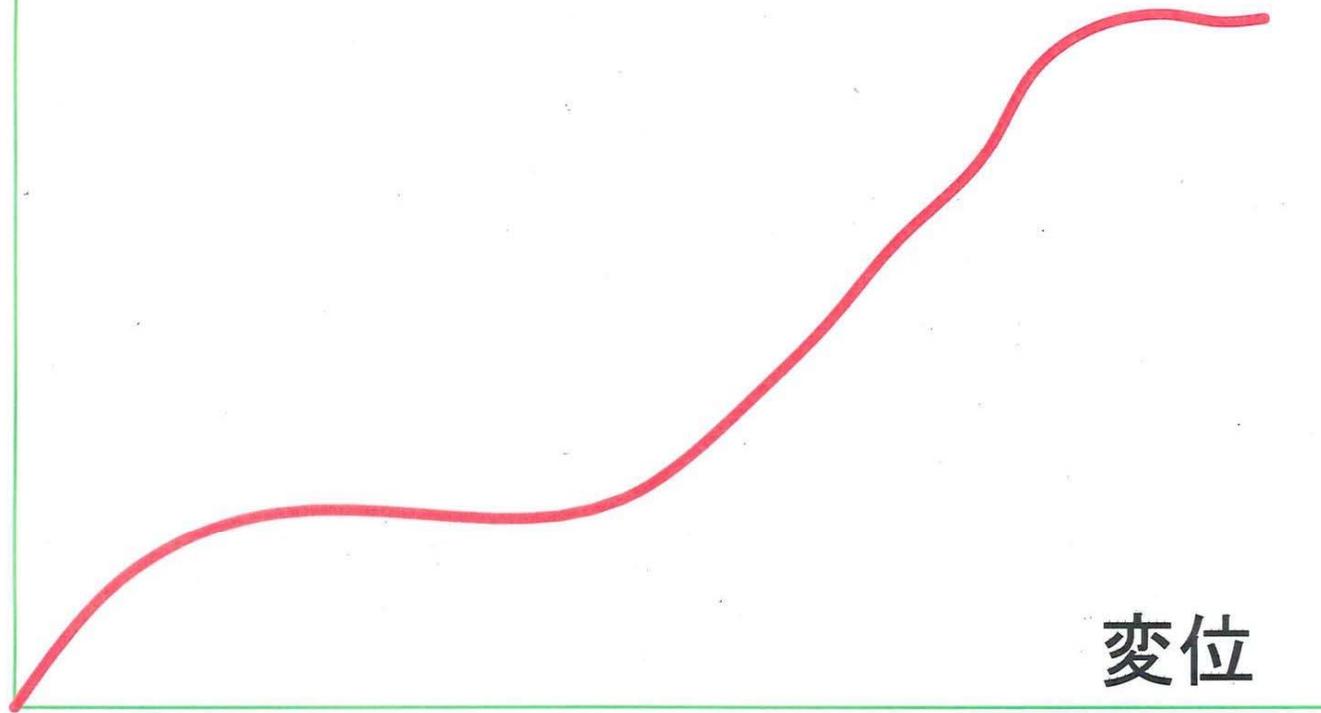
柱

大引き

根がらみ貫

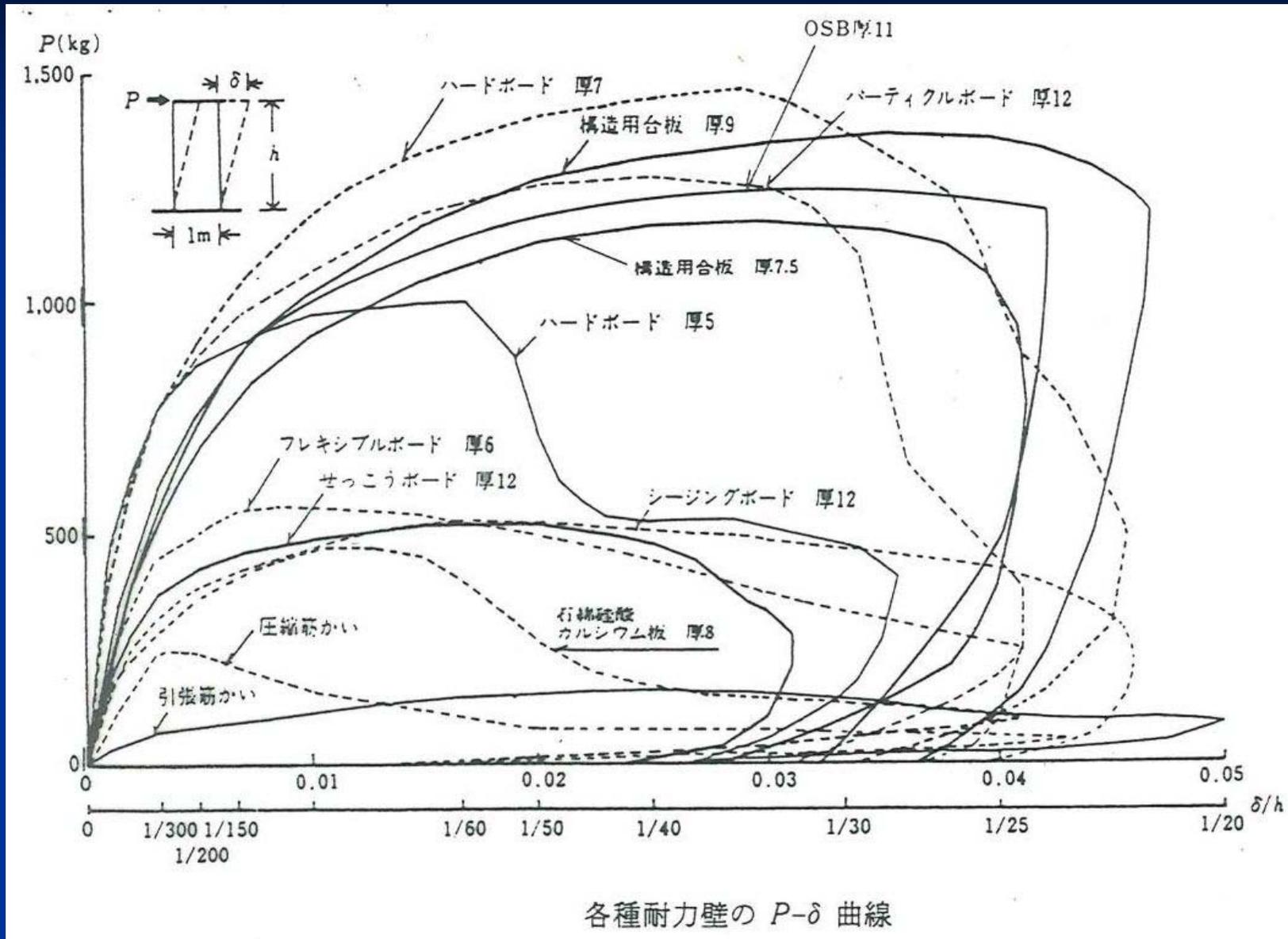
荷重

貫構造（仕口）



変位

各種耐力壁のP- δ 曲線(静的加力)

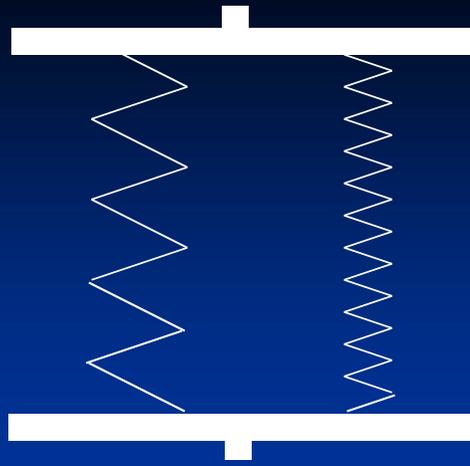


直列状態 吊り橋



並列状態 御神輿





力

並列バネ = 変形一定で力でバランス

直列バネ = 力一定で変形でバランス

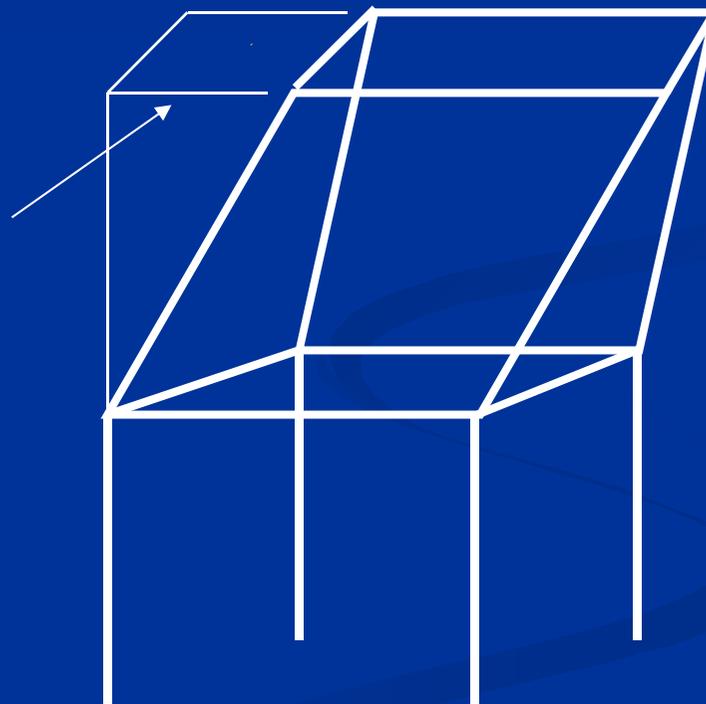
変形

エネルギー = 力 × 変形 (面積)

建物偏芯とは、並列バネの状態から直列バネの状態になることで、エネルギーの現れ方が変化することである。

各層直列バネ＋層内直列バネ

変形集中

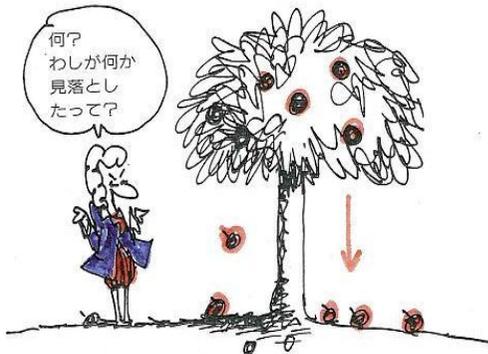


仕事(エネルギー)は、力×変形(移動量)

CHAPTER 9 ENERGY

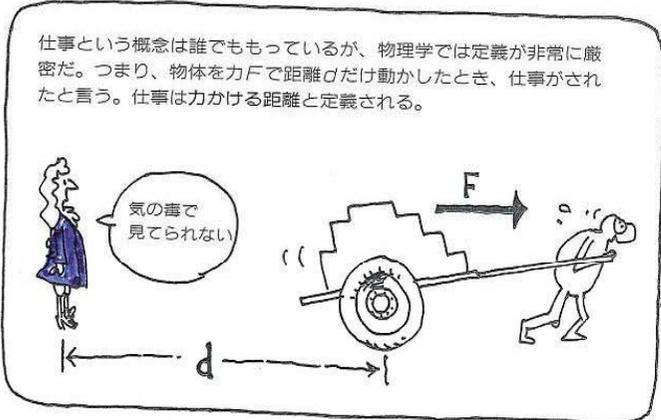
9. エネルギー

アイザック・ニュートンは、ほとんど独力で力学という科学を発明した。しかし、彼が見落とした概念がひとつあった。エネルギーである。



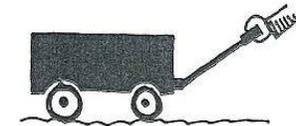
エネルギーはいろんな形態をしているが、基本的な定義では

仕事
に置き換える。

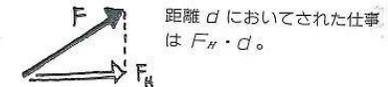


$$W = F \times d$$

この定義では、運動の方向にはたらく力だけを考える。荷車をある角度で引いても、水平方向に引いた力の部分だけが仕事をする。



→ 力の方向と移動の方向は同じ



総エネルギー＝運動エネルギー＋位置エネルギー

エネルギー

というのは、仕事をする能力と定義される。
 エネルギーを解放すると仕事をする——そして、何かに対して仕事をするというのは、それにエネルギーを加えるということだ。
 よって——エネルギーと仕事とは実際に等価の概念であり、次のように書く：

エネルギーは摩擦という消費ロスがある。

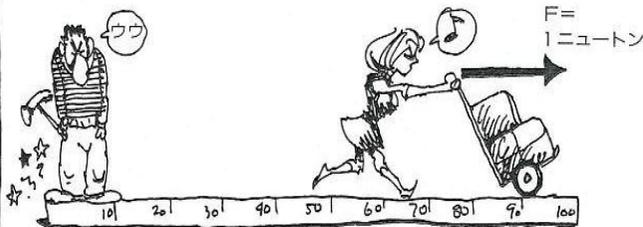
$$E = W = F \times d$$

ヤード・ポンド法では、エネルギーの単位はフット・ポンド（フィートかけるポンド）で、メートル法ではニュートン・メートル、またの名をジュールとも言う。

きみはジュールについて話してくれ—
 ぼくは足（フット）をポンドたたいてみるから…



つまり、1ジュールは1ニュートンの力を1メートルの距離だけはたらかせられる能力よ。



運動エネルギーと位置エネルギー



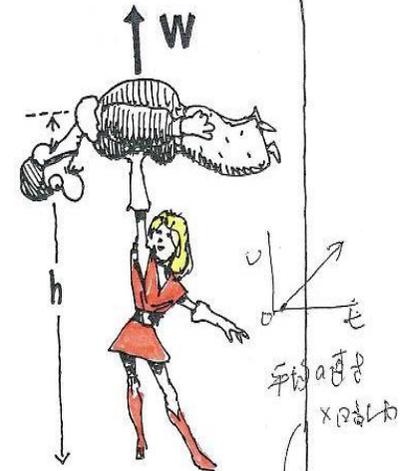
ボールを投げるとしよう。ボールを移動させることによって、私は確かに仕事をする。Fの力をdの距離はたらかせるということだ。そうするとボールはいくらかのエネルギー、つまり運動するエネルギー、言い換えると運動エネルギー（KE）を得る。
 簡単な数式の変形*から、

$$K.E. = \frac{1}{2}mv^2$$

が導かれる。

ここで m はボールの質量、v は速度である。

一方、私がリンゴを高さ h まで持ち上げたとする。私は力 W = リンゴの体重を、距離 h にわたってはたらかせるから、 $W \cdot h = mgh$ の仕事をする。持ち上げられたあと、リンゴは動いておらず、まだ mgh というエネルギーを余分にもっている。これは地球の重力場において、リンゴがいる位置によるものだ。このエネルギーを彼の位置エネルギー（PE）と呼ぶ。



$$P.E. = mgh$$

* F は一定とする。F = ma、よって $KE = F \cdot d = mad$ となる。ここで $d = \frac{1}{2}at^2$ だから、 $KE = \frac{1}{2}m(at)^2$ 。さらに $v = at$ だから、よって $KE = \frac{1}{2}mv^2$ となる。

エネルギーは宇宙を構成する

「宇宙を構成するエネルギー」と言えば話は大きいけど当たり前すぎて面白くない。逆に「エネルギーは宇宙を構成する」と言えばオオ～と考えさせられる逆転の発想となる。構造技術者が使用する。質量・加速度・速度・時間は全てを掛けるとエネルギーとなる。質量がエネルギーである事はアインシュタインに先をこされたが不可解な時間がエネルギーの一部であるとするアインシュタインの光速一定説も覆す理論となりうる?? 残念ながら私の数学力では宇宙ではなく住宅の話に落ち着くことになる。

2階建て住宅が50カインレベルの地震を受けた場合の入力エネルギーは50000 (N・m) 基礎共50tの住宅を10cm持ち上げるエネルギーと同等です。

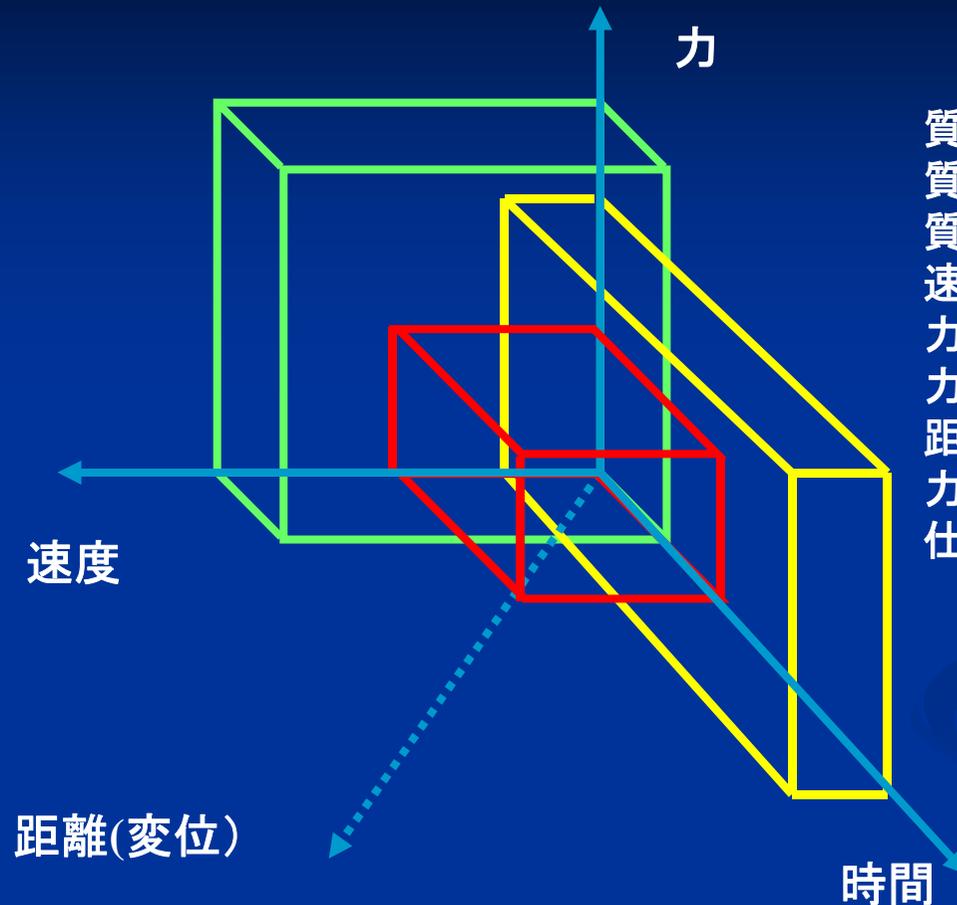
J (ジュール) は1カロリー=4.2 Jで割ると12000カロリー (12キロカロリー)。

1ワット (W) =1 J/秒は100W電球500秒 (8分間)。

ちなみに成人の消費カロリーは100Wの電球と同じ位だそうです。

1カロリーは1gの水を1℃上昇させるエネルギーから12000カロリーは1kgの水で12℃上昇と同じ等々。問題は建物を壊すエネルギーが12キロカロリーである事です。私の好物であるアーモンドチョコレートは一粒20キロカロリーと表示していましたので約10円とすると12キロカロリーは約6円の価格になります。従ってエネルギー法による構造計算料は17パーセントとして1円になります。この話は口外無用 真崎雄一

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。

デカルトは「運動する物体の本質は、**物体の質量×速度**
(運動量)である」とし、

ライプニッツは「運動する物体の本質は、**速度の二乗に比**
例する量 (運動エネルギー) である」とした。

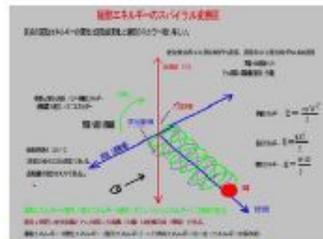
つまり、運動量は速度に依存し、運動エネルギーは速度の
二乗に依存するということが、このことはダランベールに
よって両者とも成立することが証明されている。

振動の用語

- 変位・速度・加速度・エネルギー
- 振幅・位相(同位相, 逆位相)
- 剛性・質量・減衰
- 自由振動・基本(調和)振動・強制振動
- 定常振動・非定常振動
- 非減衰振動・減衰振動
- 固有周期・モード形状
- 共振・連成振動

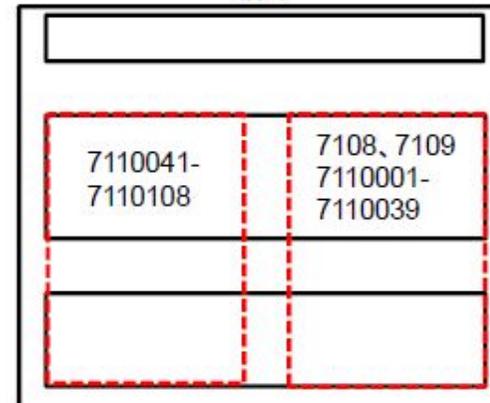
人力加振実験風景

真崎雄一先生 講演会
(MASA建築構造設計室、
JSCA千葉委員)
& 講義棟人力加振実験



建築振動学 第6回 人力加振実験

前方



建築振動学

平成24年度 第6回(講演会&人力加振)
10月29日(月) 18:10-
K704
永野 正行

目的

講義棟の微小振動時における振動特性を推定するため、人力加振により講義棟を揺すり、その自由振動から固有周期、減衰定数を調べる。

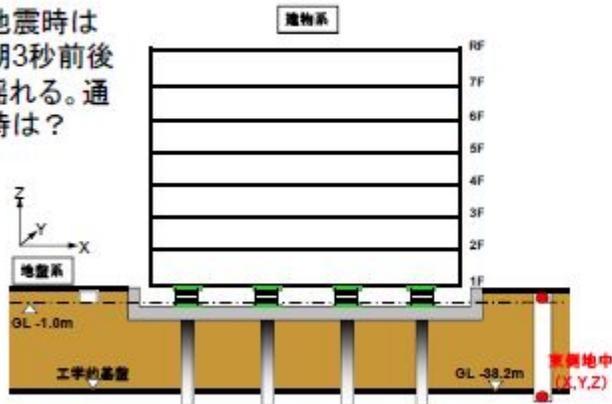
講義棟について

東京理科大学野田キャンパス講義棟 (北緯35° 57' 東経139° 53')	
延べ面積	15687.81㎡
構造	免震構造
上部構造	鉄筋コンクリート造
階数	地上8階、地下なし
最高高さ	36.1m
基礎	回転圧入鋼管杭
施工年月	2003年8月

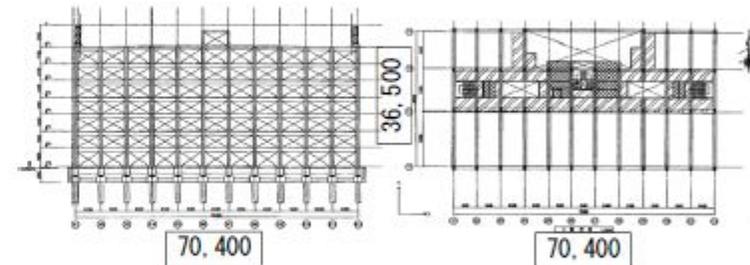


免震構造

大地震時は
周期3秒前後
で揺れる。通常
時は？



軸組図と伏せ図



軸組図

伏せ図

建物重量

階	各階重量 Wi(kN)	全重量 ΣWi(kN)
7	33593.0	33593.0
6	26139.0	59731.0
5	25838.0	85569.0
4	25996.0	111566.0
3	29466.0	141031.0
2	28619.0	169650.0
1	31248.0	200899.0
M	43771.0	244669.0

皆さんの重量

60kgf /人→

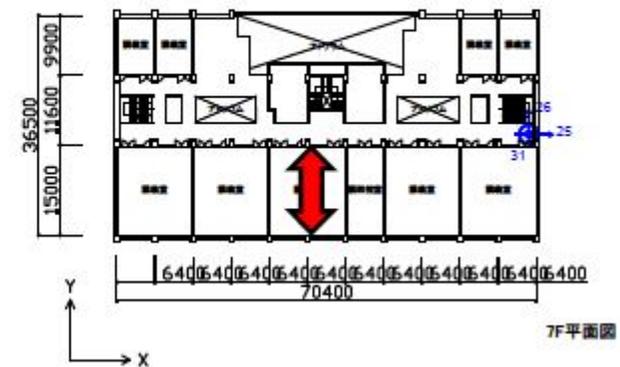
600N /人→

0.6kN/人

× 50人

=30kN

加振方向



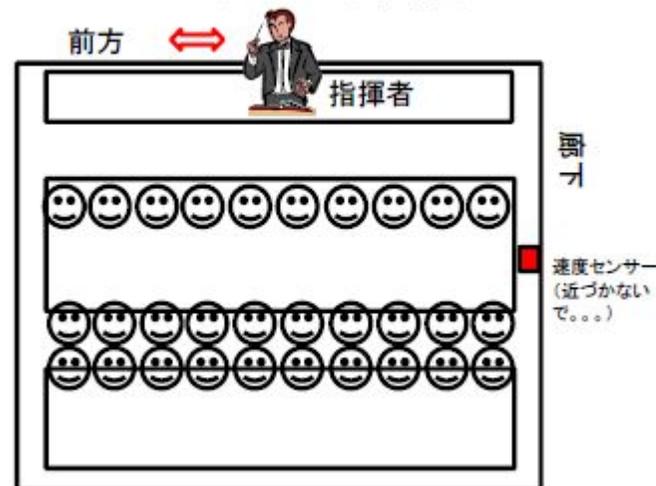
計測装置: 建物の揺れを測る

東京測振 ネットワークセンサCV-374BV



3成分サーボ型速度計(微動計)
測定範囲±2cm/s
AD変換24bit

スタンバイ位置



良い自由振動波形を得るために

- 建物の揺れを育てるために、皆さんで乱れずにリズムをとってください。
- あるタイミングで一斉に止まってください。
- その後、しばらくじっとしててください。

自由振動データ

<http://www.rs.noda.tus.ac.jp/nagano-l/>
IDとパスワードは学籍番号の最初の4桁、例えば7110



Video start
加振状況

運動量・力の変換図

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

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

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

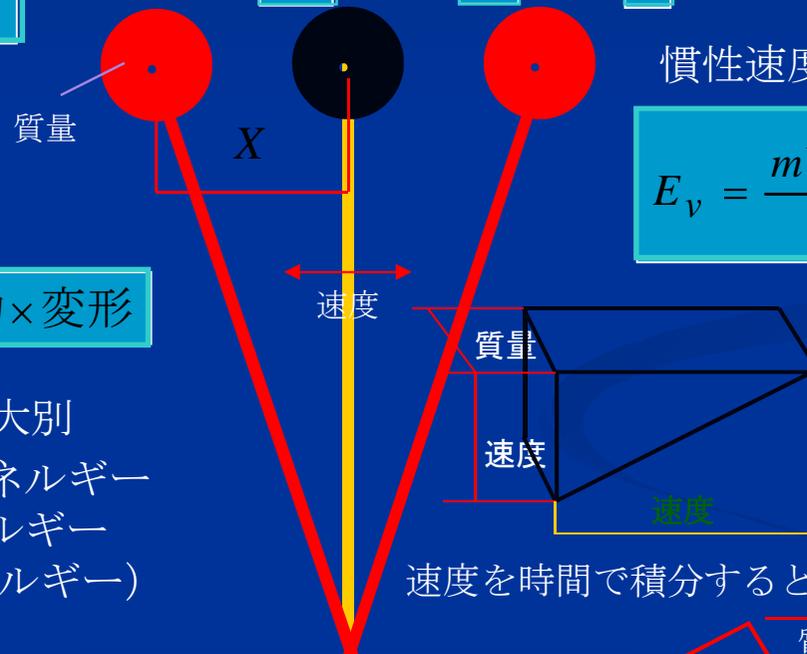
$$mv$$

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

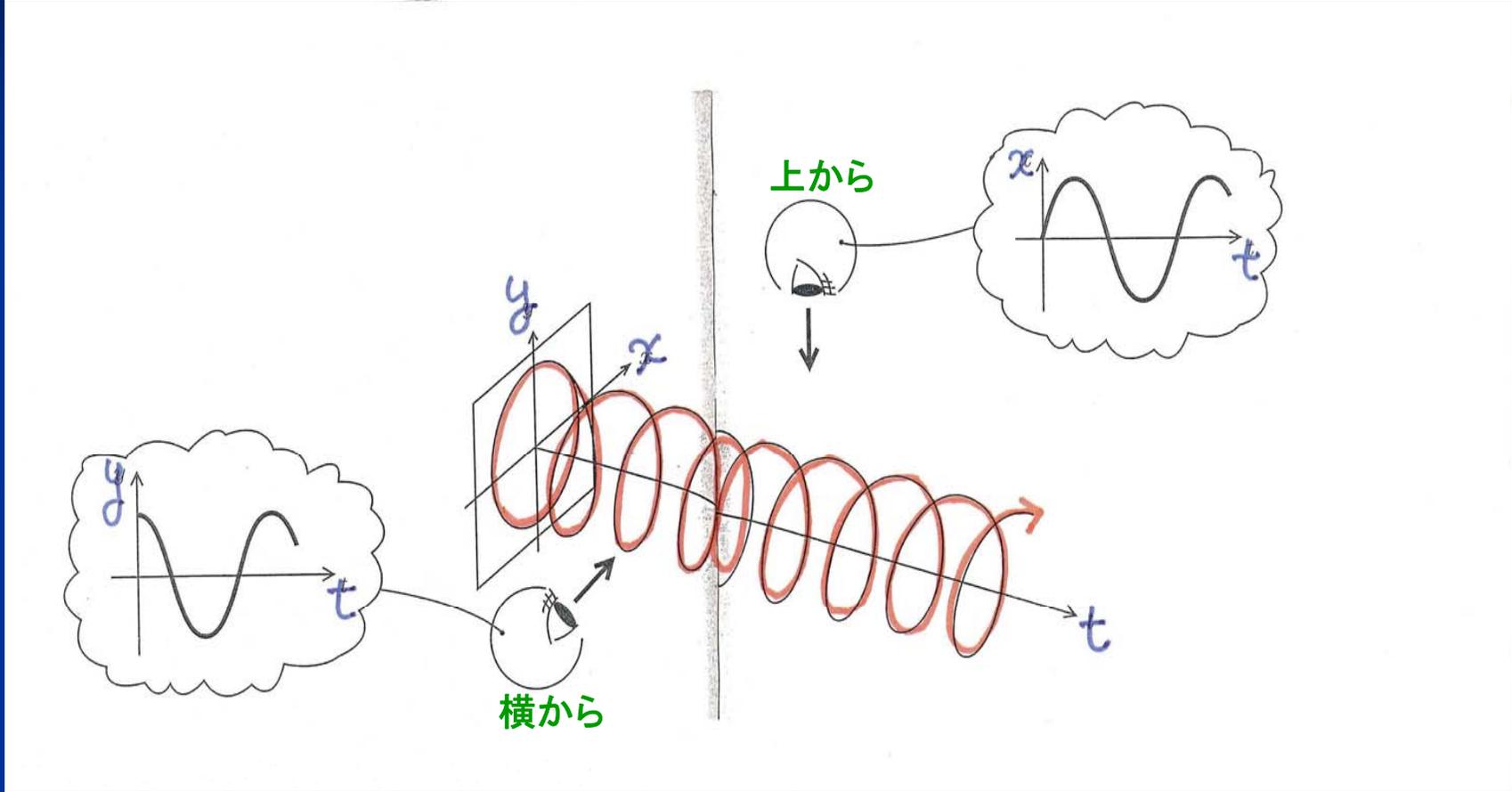
戸建て住宅の重さを想定

エネルギーより見た速度,加速度,変位の換算表

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

速度V		加速度 α		換算変位L	
cm/s	km/h	gal	G	cm	m
50	1.80	1000	1.0	2.50	0.025
100	3.60	1000	1.0	10.00	0.100

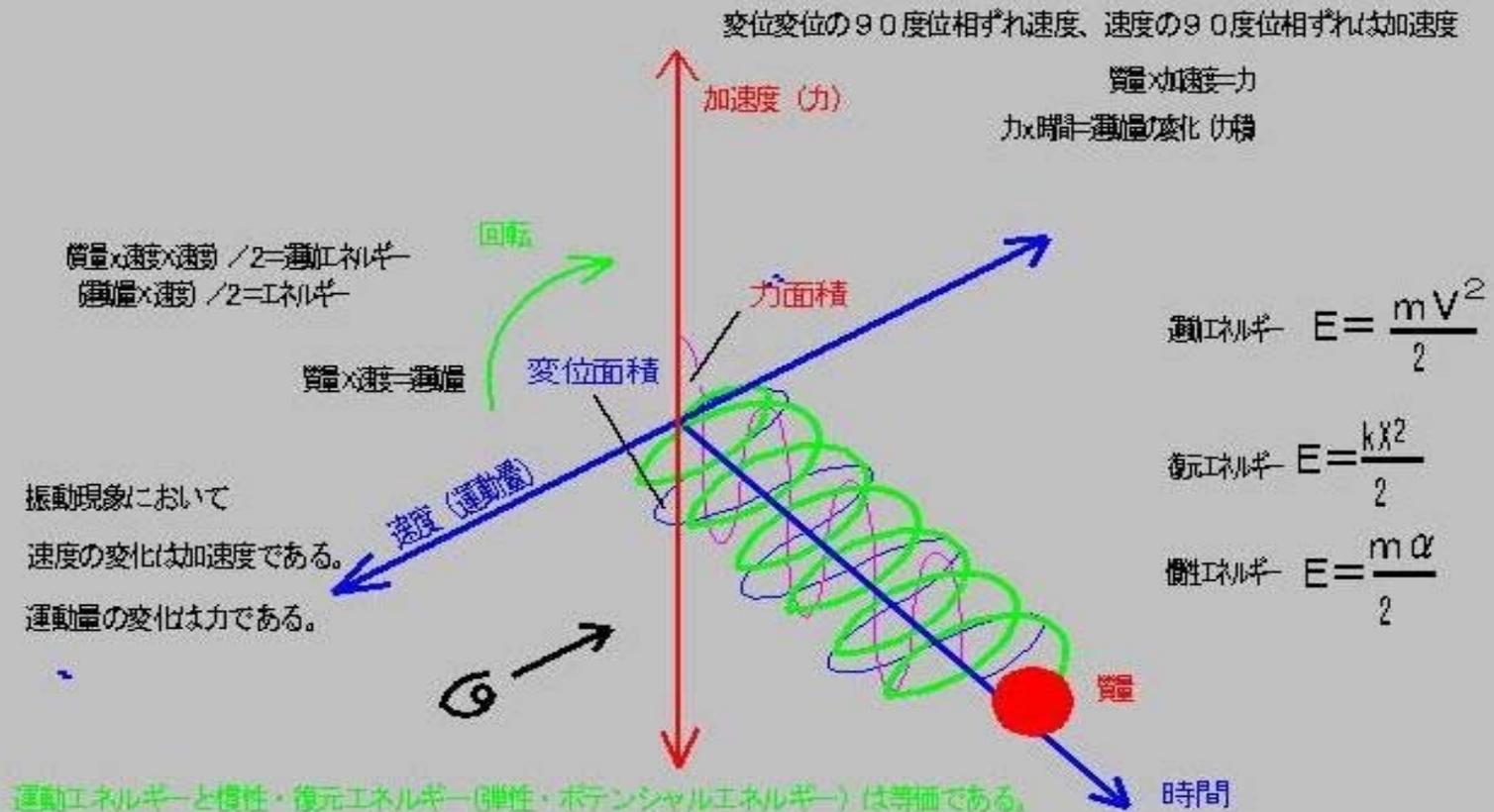
エネルギーは、**戸建て住宅** (重さ30tonf、質量:300 N·sec²/cm)を想定した算出値。



螺旋による振動エネルギー概念図

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。

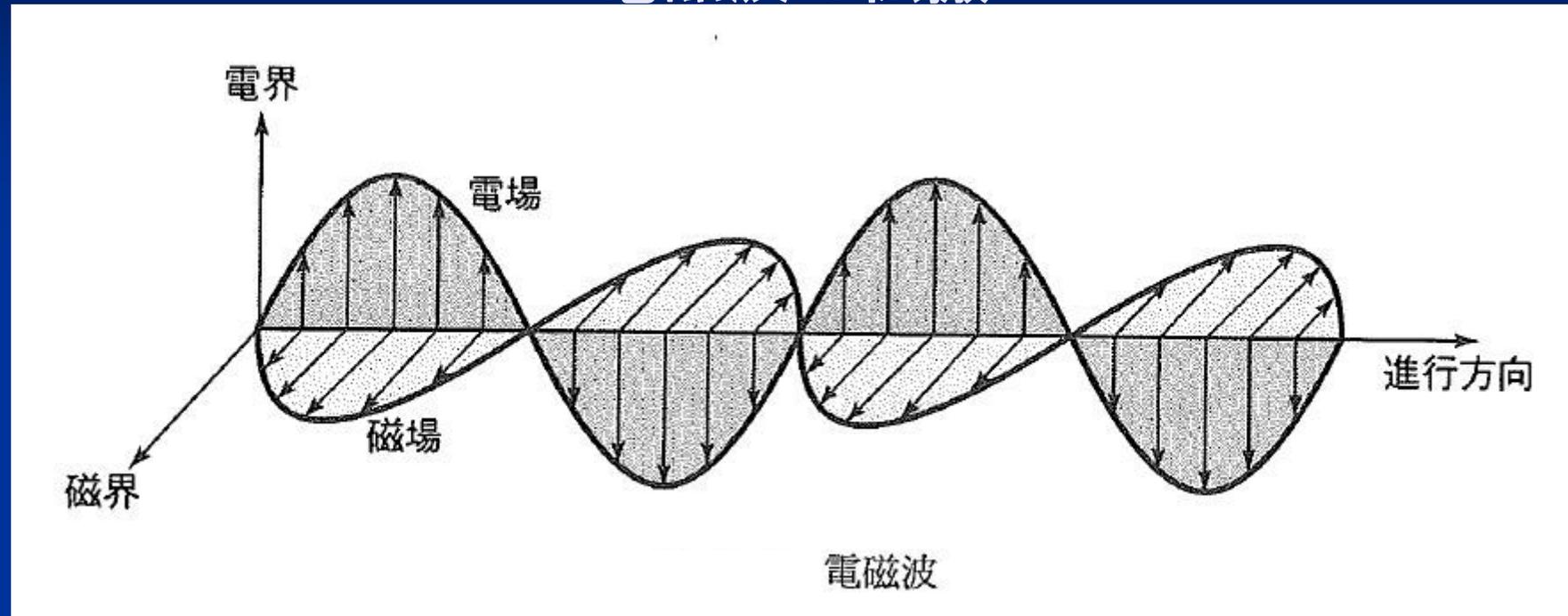


運動エネルギーと慣性・復元エネルギー(弾性・ポテンシャルエネルギー)は等価である。

速度×時間=変位面積と力×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)

電磁波の伝搬



縦軸：電界(電場)、横軸：磁界(磁場)。光は電磁波の一例である。

別例 縦軸：電圧(力)、横軸：電流(速度)
電流に時間を掛けると電力量(エネルギー消費量)となる。

エネルギーの釣合い式

$$E_e + E_{nd} + E_{add} + E_p = E_{ext}$$

E_e : 弾性振動エネルギー（運動エネルギー＋弾性歪エネルギー）

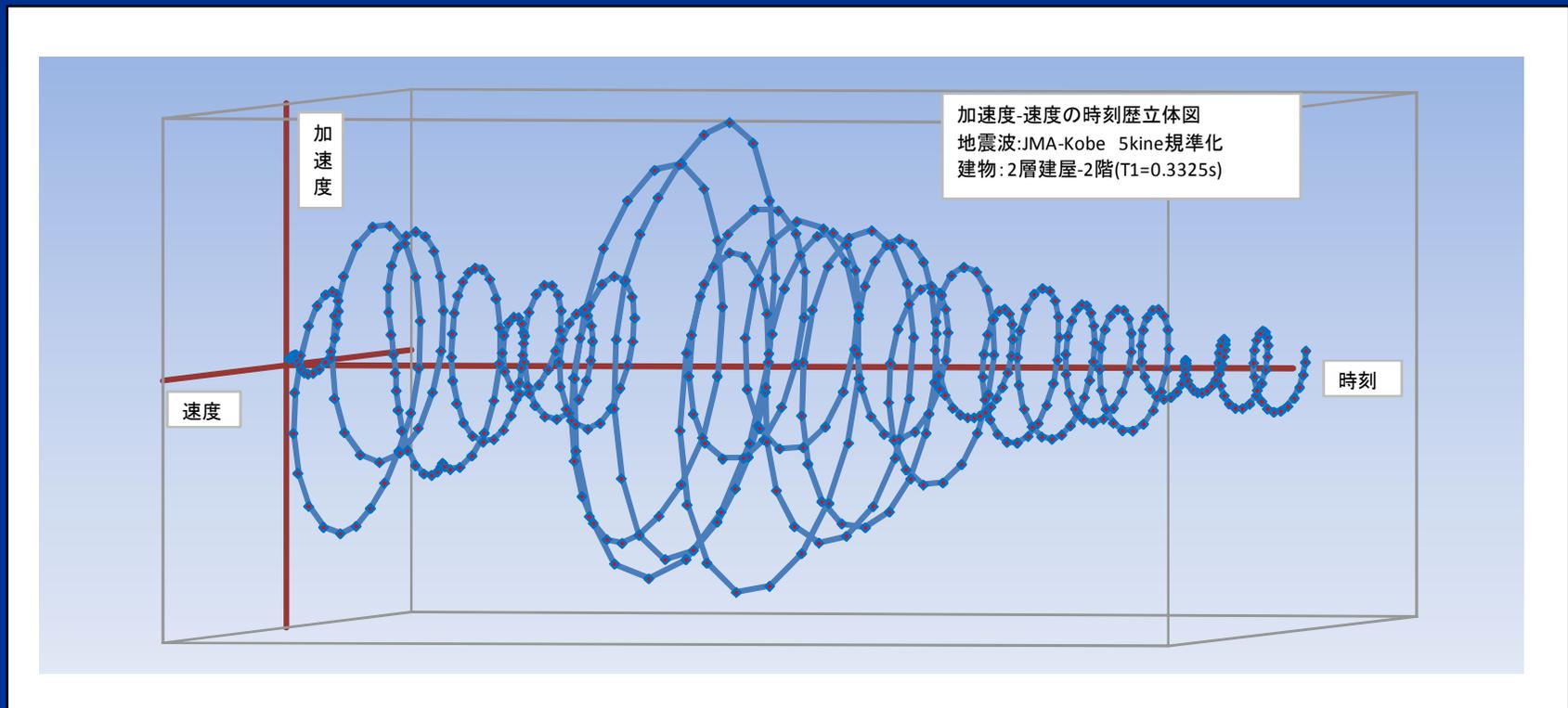
E_{nd} : 自然減衰（構造減衰）による消費するエネルギー

E_{add} : ダンパーにより吸収するエネルギー

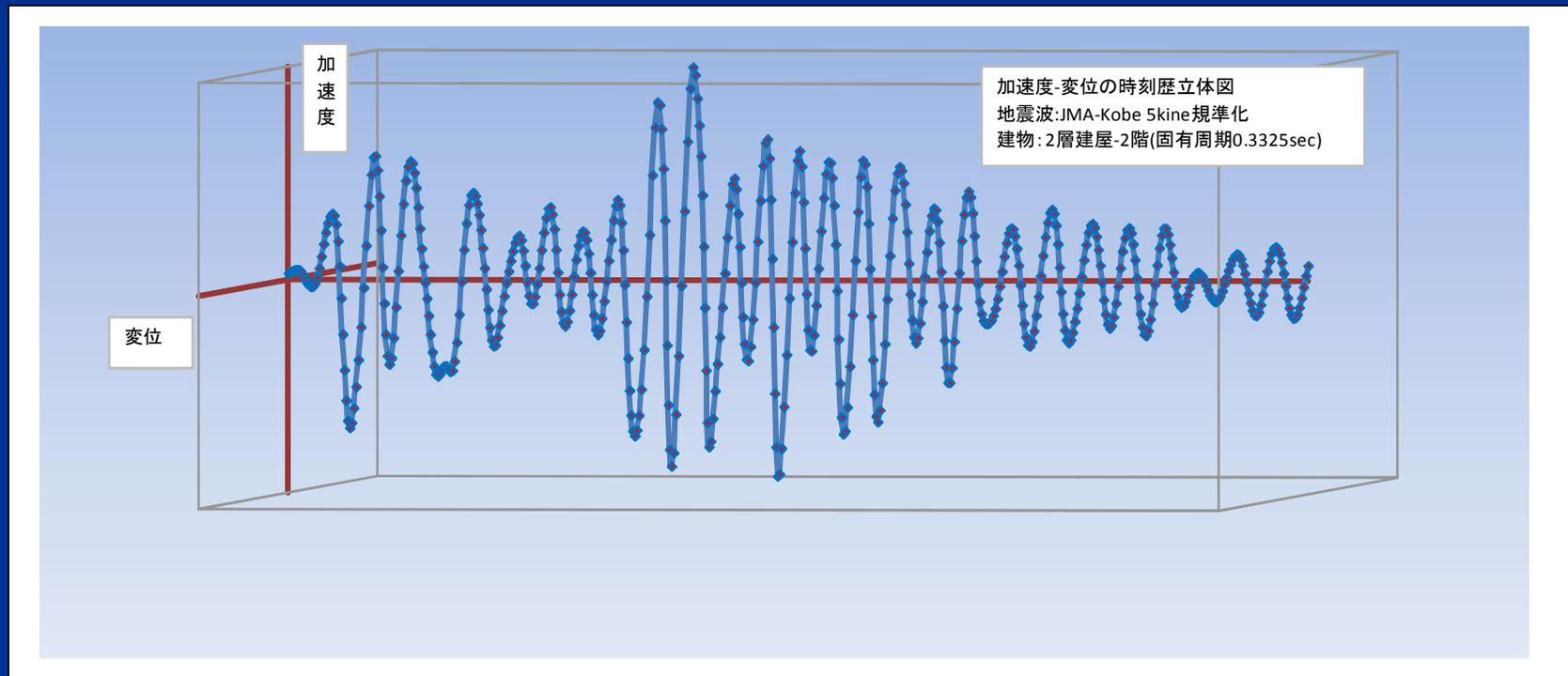
E_p : 構造物内部の累積塑性ひずみエネルギー

E_{ext} : 地震エネルギー入力

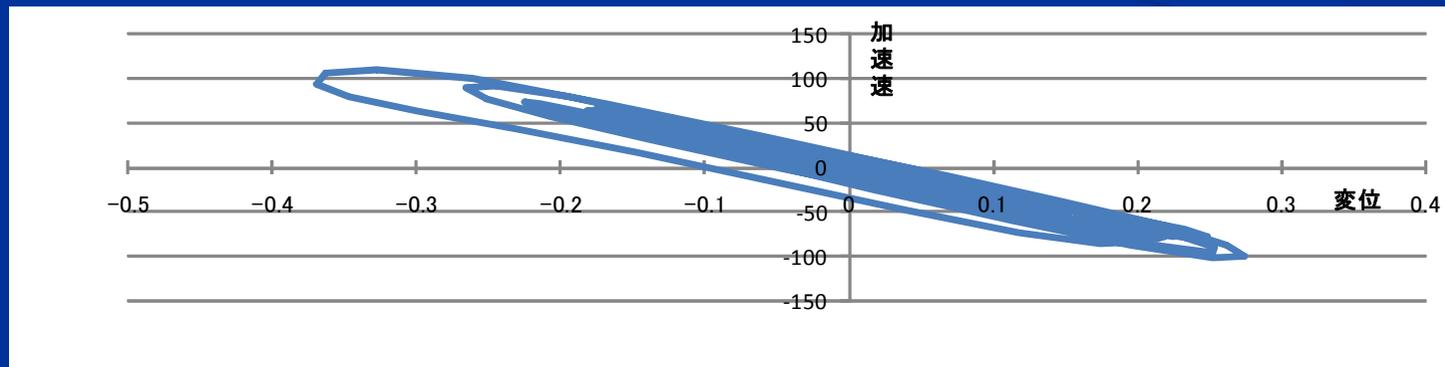
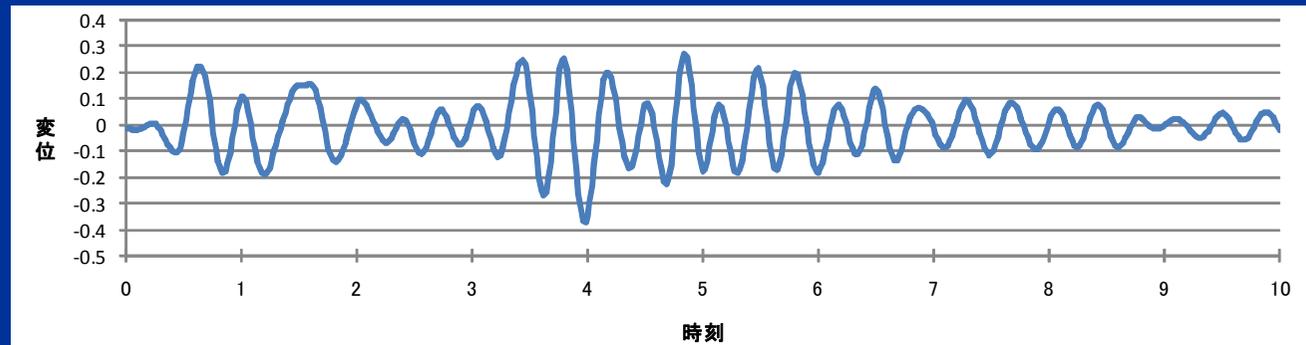
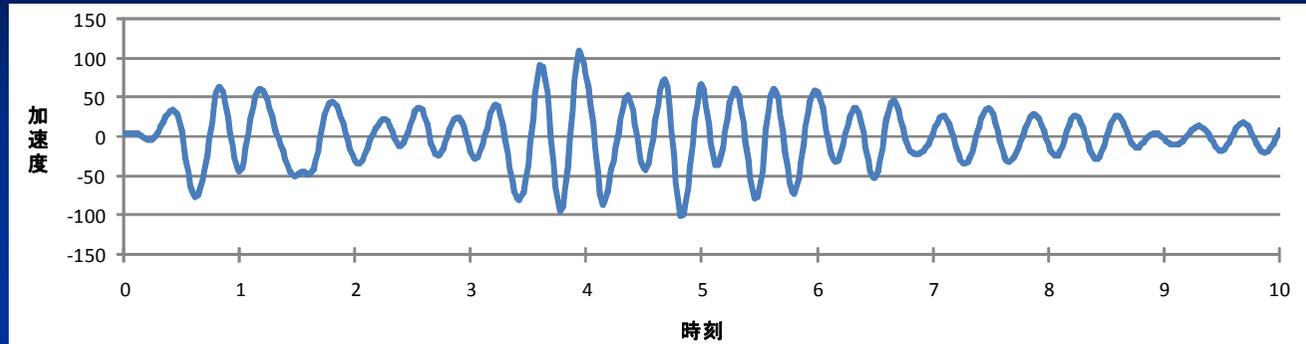
弾性応答—加速度・速度



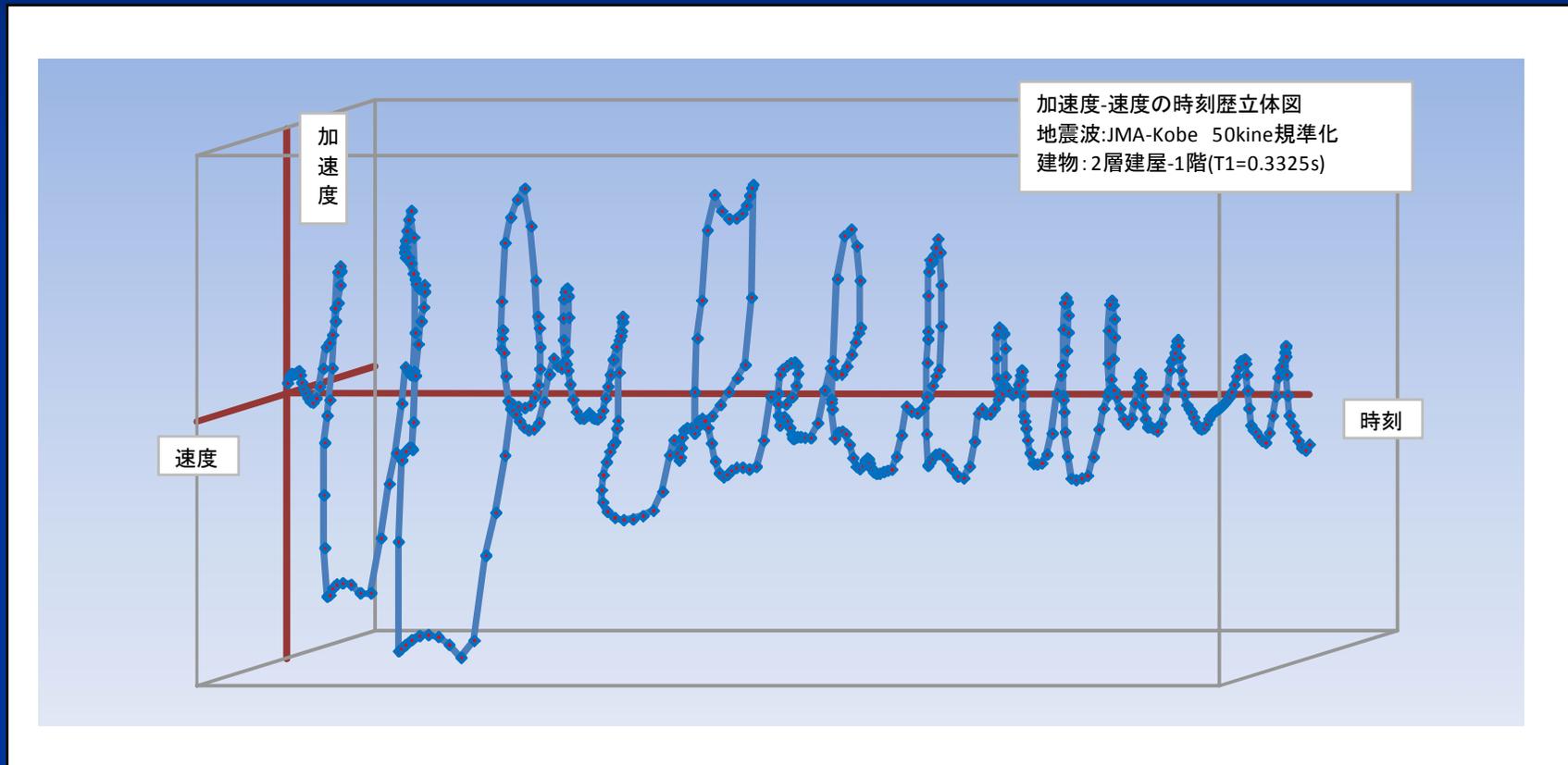
弾性応答—加速度・変位



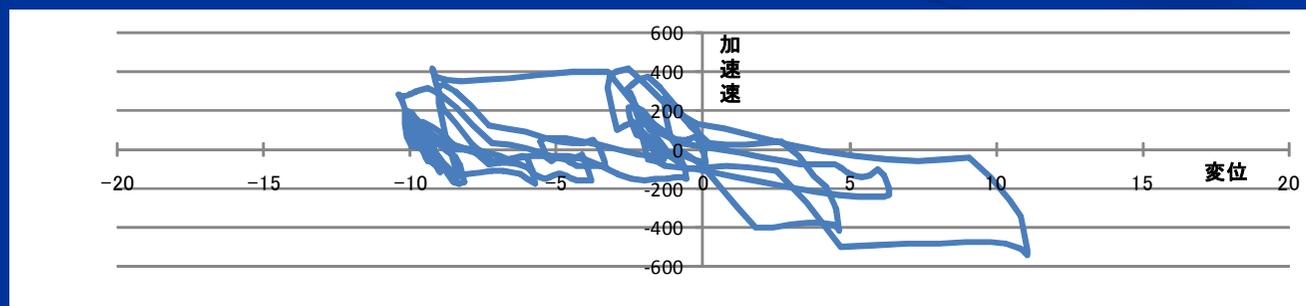
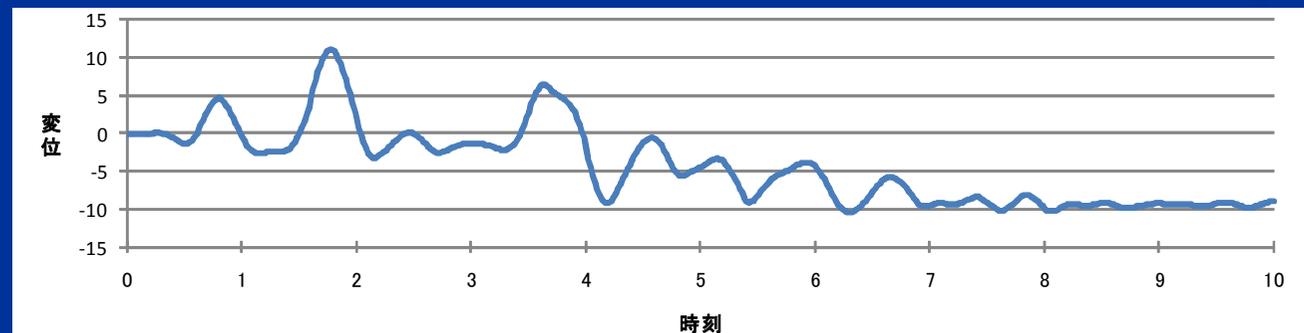
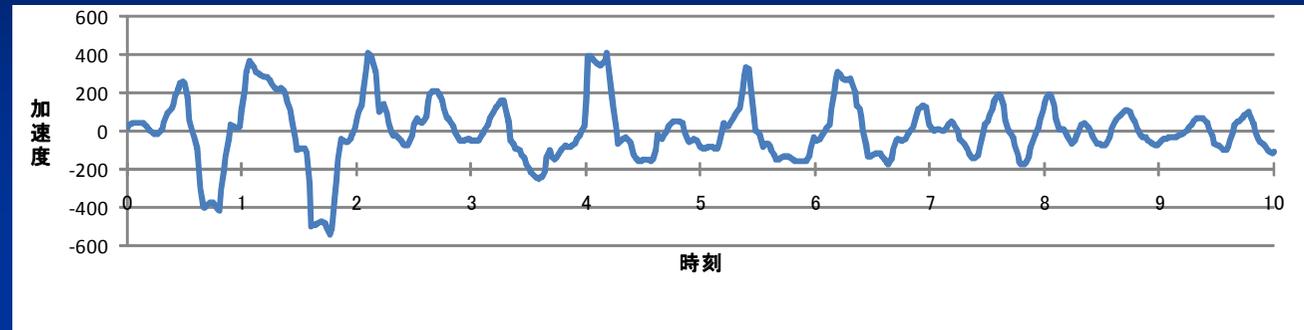
弹性応答—加速度・変位



弾塑性応答—加速度・速度



弹塑性応答—加速度・変位



東日本大震災による 千葉市高層免震ビル 国内初めての映像

撮影：真崎雄一

開発・応用 実施例

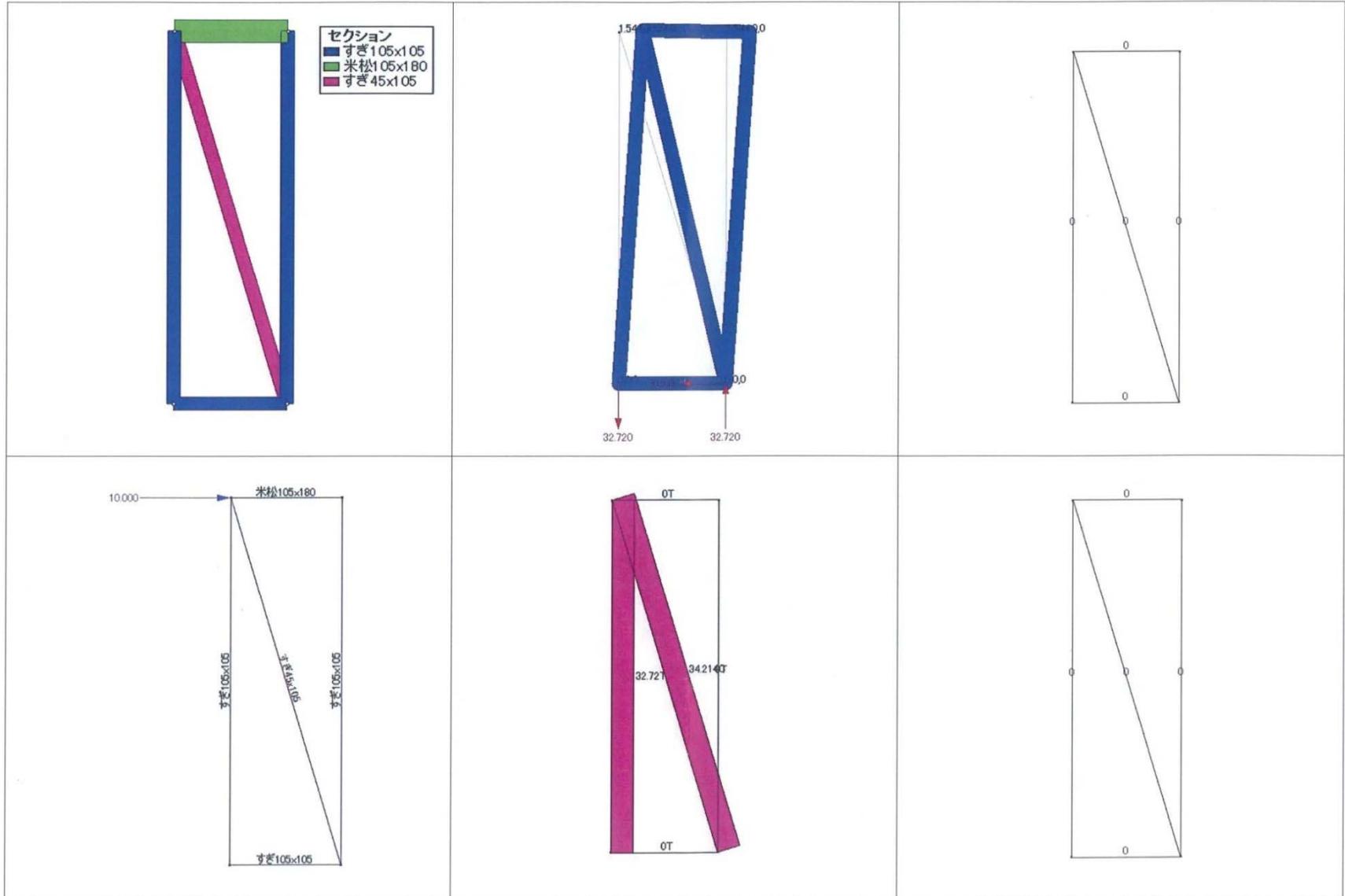
(有)MASA建築構造設計室 真崎雄一

世の中にパーフェクトはありえない。
よりよき技術は、常に改変により、進歩
するものである。

私の思考錯誤の過程を説明いたします。
木造の幅1m×高さ3mの空間が、私に
行き着くことなき課題を与えてくれます。

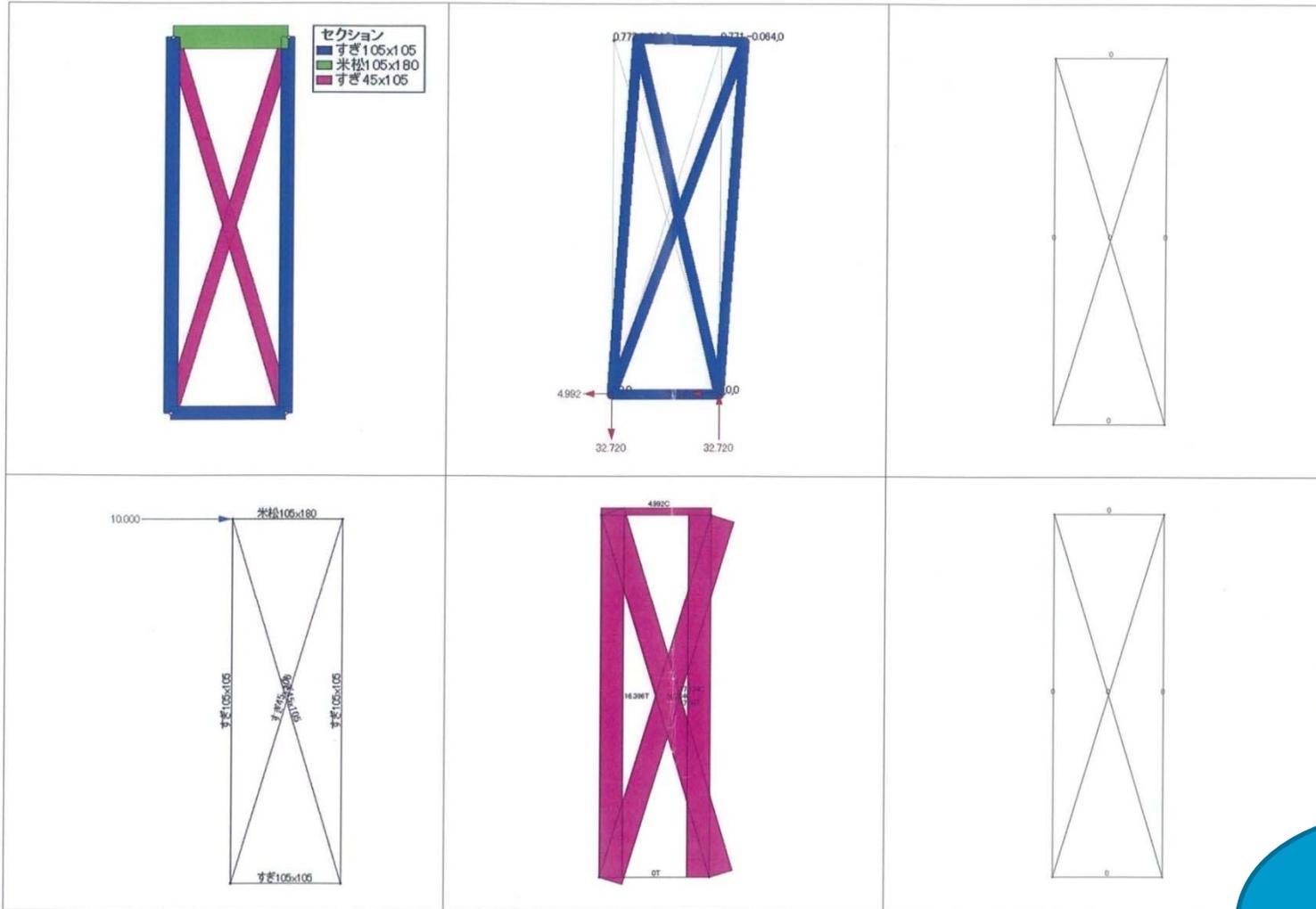
応力解析例 片筋かい

片筋かい 変形・耐力図(単位:cm,kN)



応力解析例 タスキ筋かい

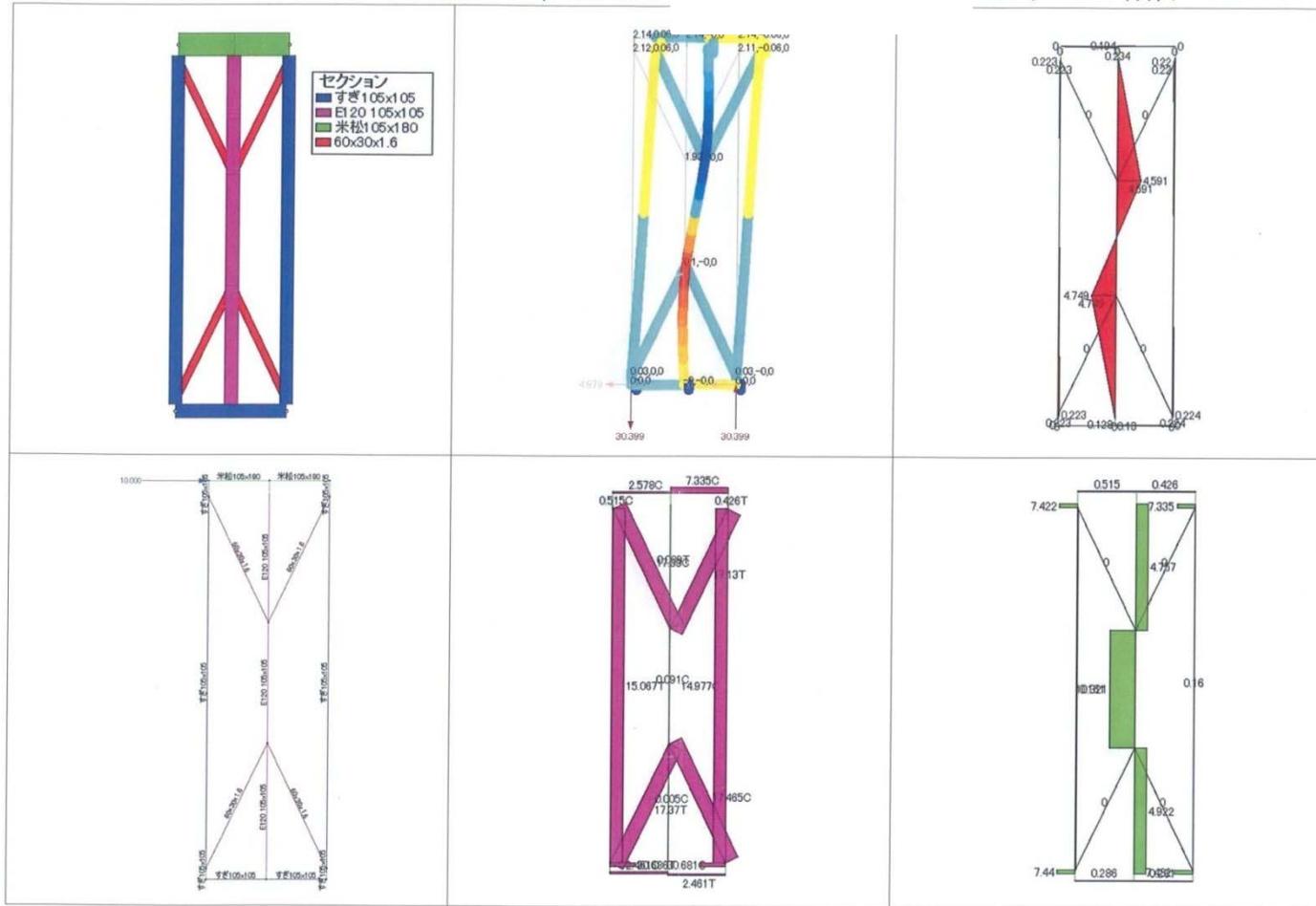
W 筋かい 変形・耐力図(単位:cm,kN)



Video start
タスキ
筋違い

応力解析例 X-Wall

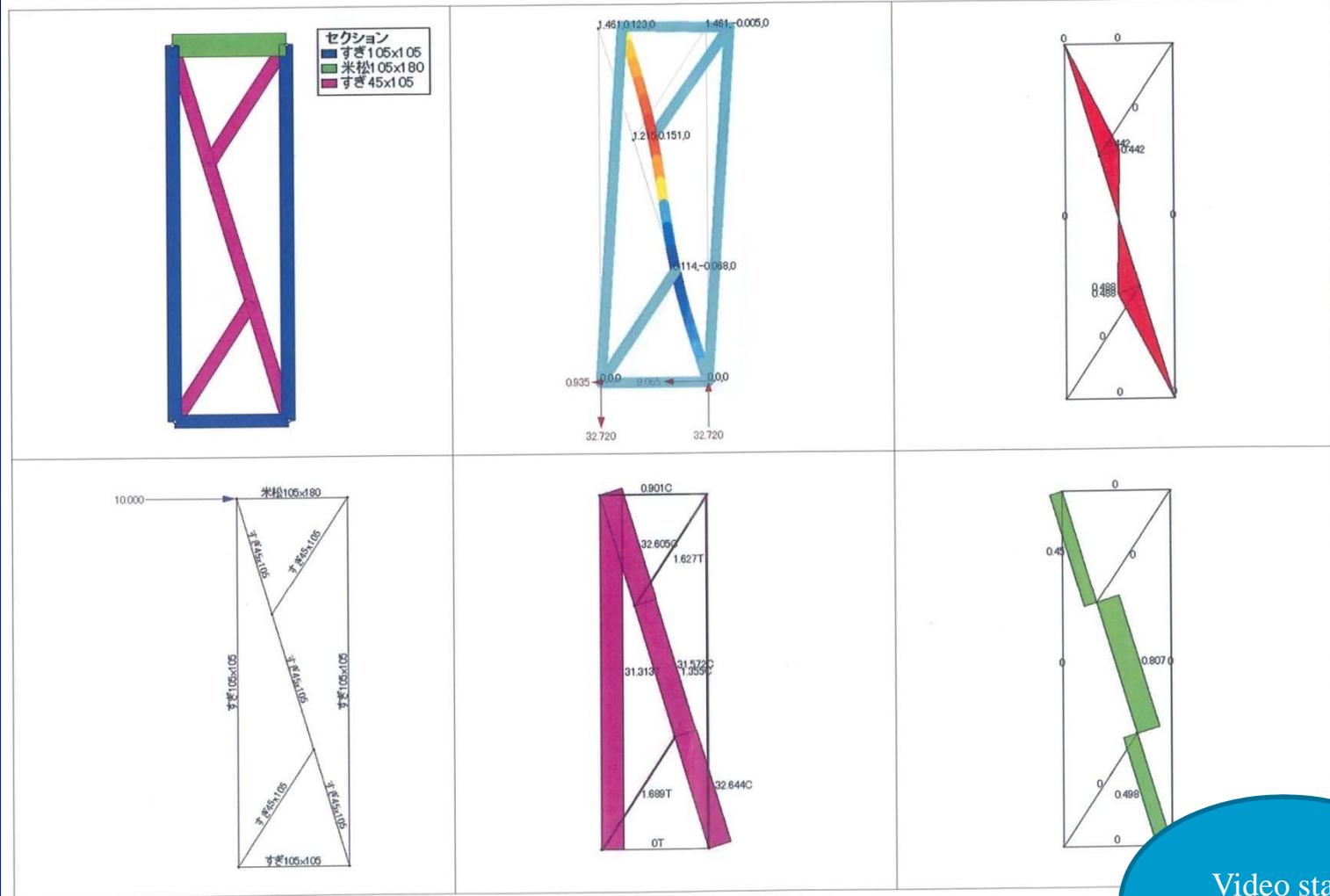
復元力間柱 変形・耐力図(単位:cm,kN) 接合部 PT-60x6.4 間柱(E120) PL削除-2



Video start
竹集成
復元力間柱

応力解析例 曲げ負担片筋かい

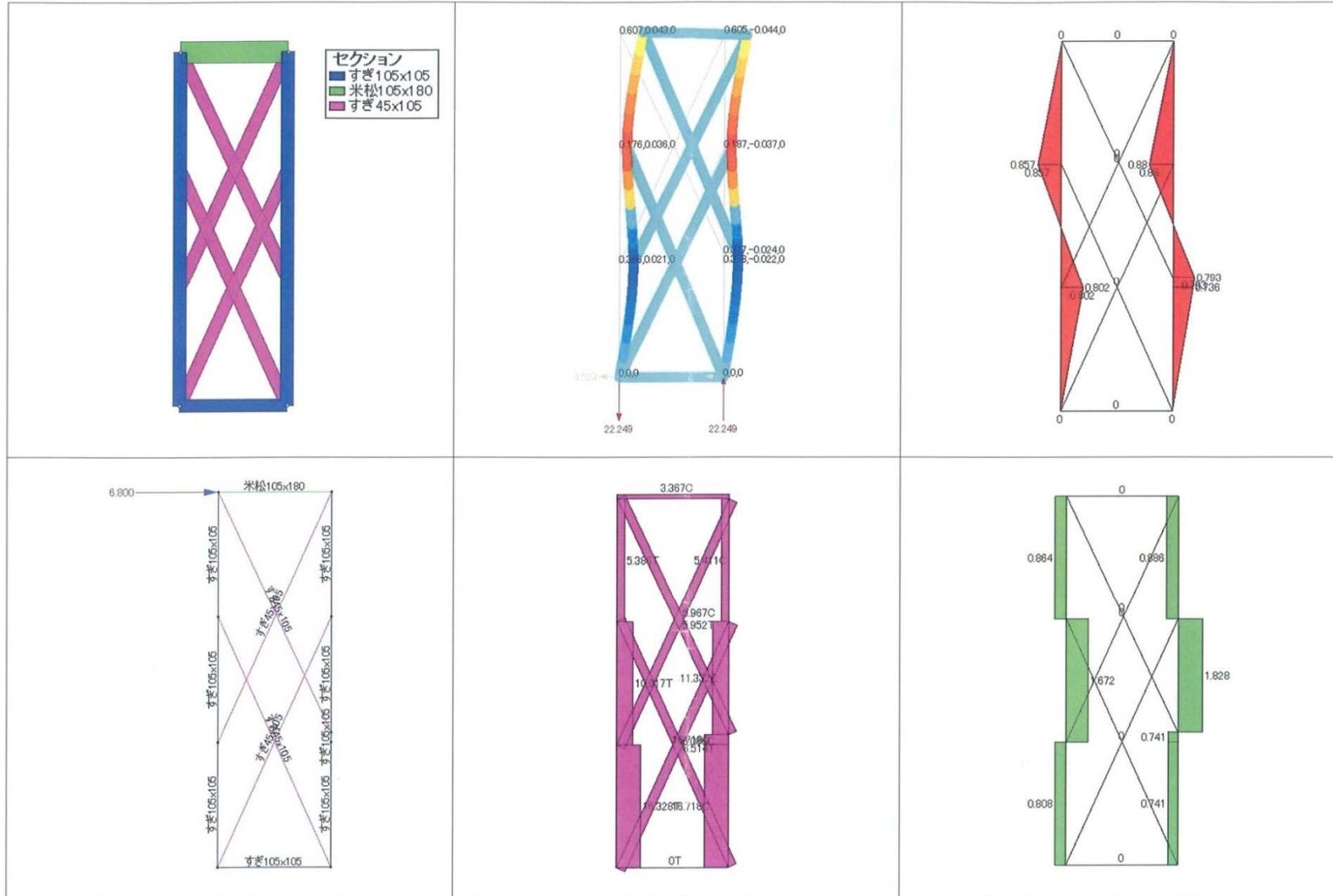
片筋かい 2 支持点 変形・耐力図(単位:cm,kN)



Video start
竹集成復元
片筋違い

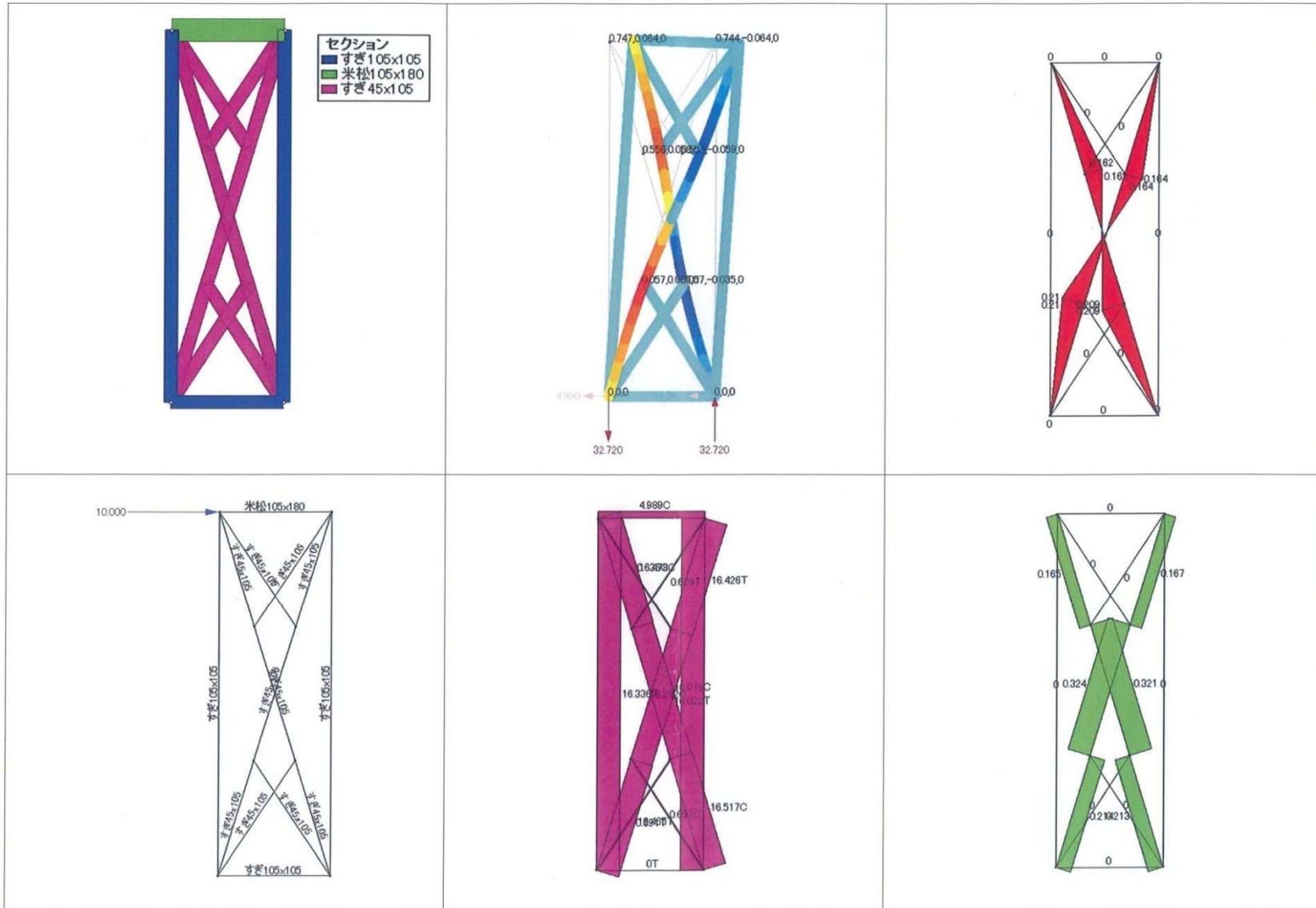
応力解析例 Wタスキ筋かい

復元力 SWX 筋かい 変形・耐力図(単位:cm,kN)



応力解析例 曲げ負担タスキ筋かい

W 筋かい 2 支持点 変形・耐力図(単位:cm,kN)



実施作品例

GVAテレビ取材

X-Wall販促ビデオ

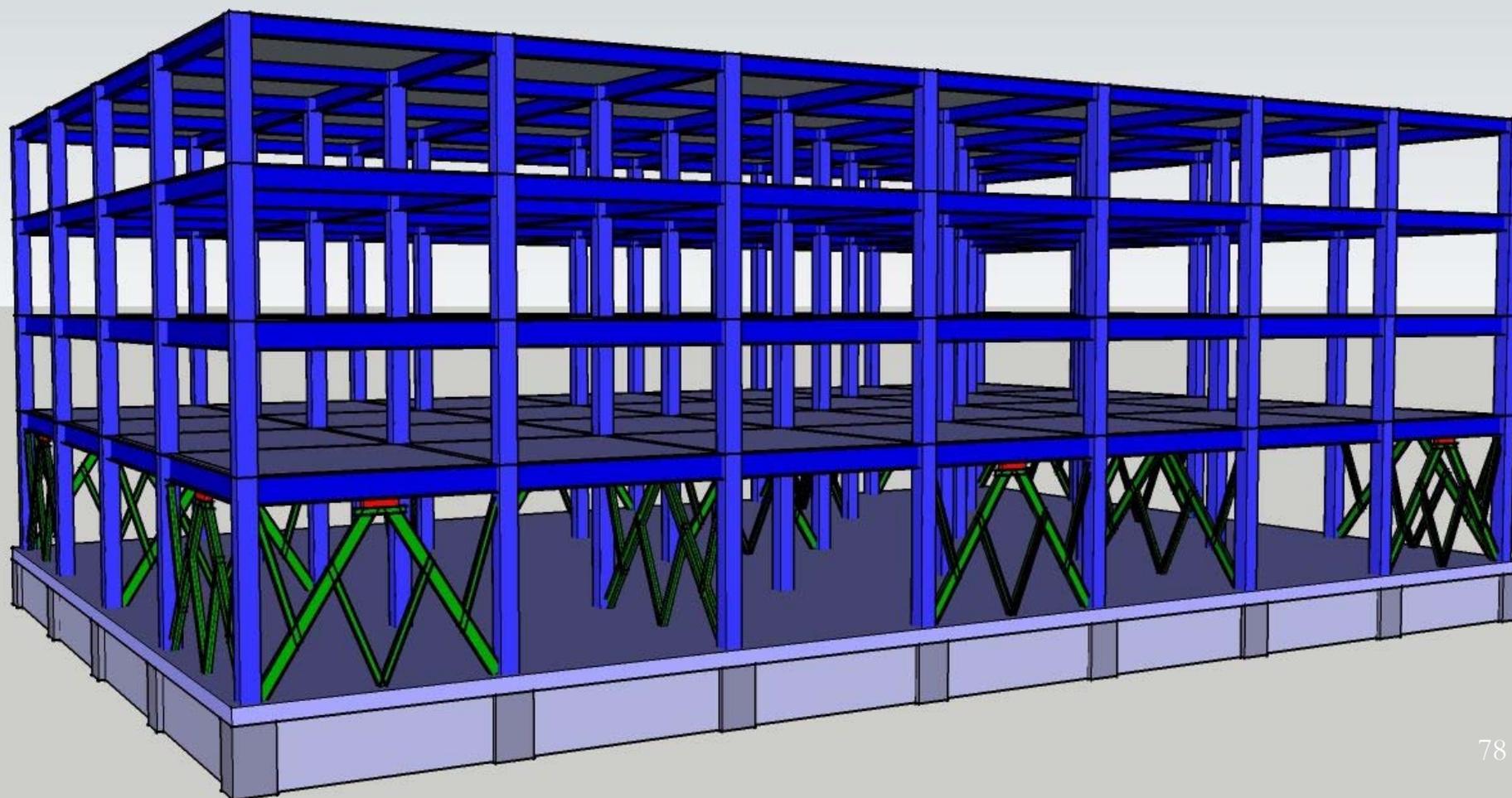
GVA (Groud+Vibration+Absorbe) 木造制振構法

木造在来軸組構造2階建て保育園
900m²の1階設置例40ユニット



SBD (Soft+Brace+Damper) 柔ブレース鉄骨造制振構法

鉄骨造ラーメン構造 4階建て6000m²
工場兼事務所 1回設置例18ユニット



金刀比羅神社 掘立木造柱+制振

① 柱の曲げ試験



長さ測定



直径測定



試験体設置概要



試験中（加力側から）



試験中（固定側から）



破壊状態

金刀比羅神社

② 工事写真-1



金刀比羅神社

③ 工事写真-2

柱脚固定方式 伊勢神宮をヒントに



金刀比羅神社 地盤改良

④ 工事写真-3

地盤改良 ガラスカレット入り土嚢3段敷き



森芳工場 木造リノベーション

工事写真

ダンパー挿入例

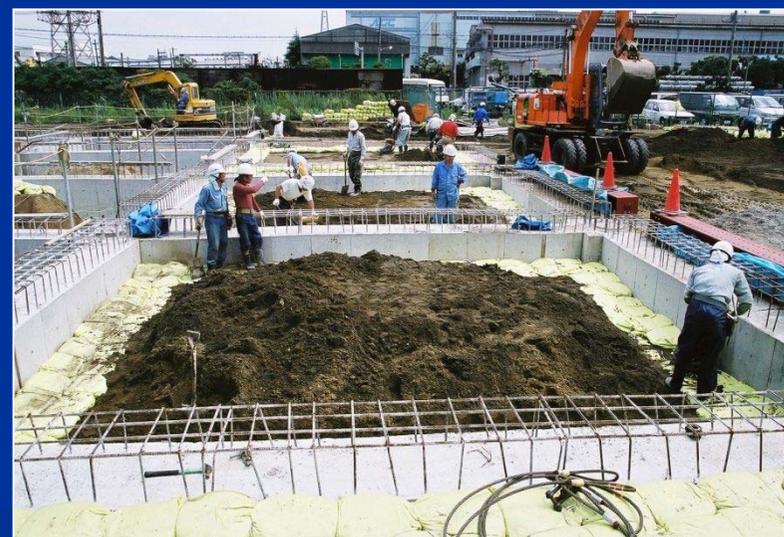


東洋化成本社ビル 鉄骨造4階建て

① 基礎・地盤工事



地中梁側面の埋戻しに土嚢2列20段
(全体土嚢数20万袋使用)

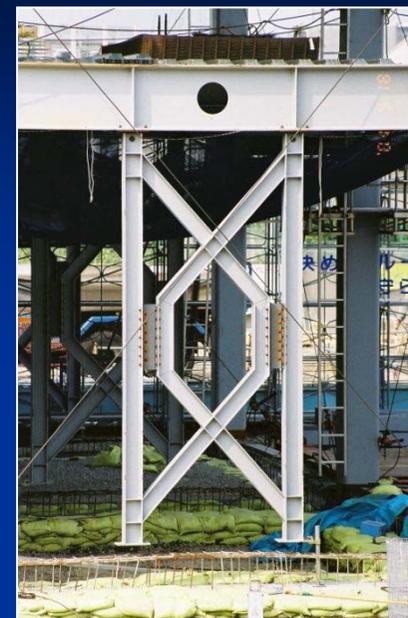


東洋化成本社ビル

② 躯体工事 柔筋かい制振フレーム



粘弾性ダンパー18基1階に採用



レピシエ 鉄骨造平屋建て倉庫

- ① 地盤改良 廃ガラス入り土のう
外付けダイヤフラム(日立機材)



倉庫土間(ラック倉庫)土嚢採用



厚型ダイヤフラムを採用

レピシエ

② 方杖型オイルダンパー（日本初）



油圧ダンパー6基(長さ5m)を採用





御清聴ありがとうございました。

「寂しき松の木」

原曲 ゴンドラの唄 中山晋平
作詞 ハンク・マサ

周りは木々無く人影も無い

海岸残りし松の木一人

ある日津波が押し寄せ来た

押し流されまいと無我夢中でした

ようやく収まり周り見渡すと

見慣し町が瓦礫の山

アーアー何たる全てが無い

仲間は何処に私は一人

海波穏やか波に問うてみる

私達に何を告げしか

ザーザー寂しげ打ち寄せるのみ

海の波も泣いてる 松の木寂し

ある日夢を見た空は青くに

太陽が輝き辺り一面

全て松の木生い茂りて

海の波も笑ってた松の木笑顔

