

第2回高山市伝統構法木造建築物耐震化マニュアル
勉強会 平成27年8月29日
会場： 煥章館(高山市図書館の生涯学習ホール)

耐震性能評価法 (耐震診断法と耐震補強設計法)

齋藤建築構造研究室
齋藤幸雄

木造の耐震性能



耐震性能評価と耐震補強設計

既存の建築物の耐震性能評価(耐震診断)を適切に行い、耐震性能が不十分(耐震設計クライテリアを満足しない)な場合は、適切に耐震補強を行うことで、構造安全性を向上させる

適切に耐震性能評価を行い、耐震補強を行うためには、高山市伝統構法木造建築物の特徴を踏まえ、活かせる手法によることが必要不可欠である。

構造計算規定の枠組



耐震性能評価法 (耐震診断法)

建築物の変形性能を評価できる耐震性能評価法

2000年の法改正で、建築基準法施行令に許容応力度計算と並んで新たに規定された「限界耐力計算」は、近似応答計算により地震時の応答変位を求めることができる他、耐久性等関係規定を除いて告示1460号等の仕様規定を守らなくても設計が可能になった。(木造の仕様規定に準拠していない建物への適用可能)

このため、伝統構法木造建築物に限界耐力計算を適用すれば、法規定の枠組みの中で設計が可能になった。

限界耐力計算は新築のための計算法であるが、既存の建築物の耐震性能評価に適用可能である

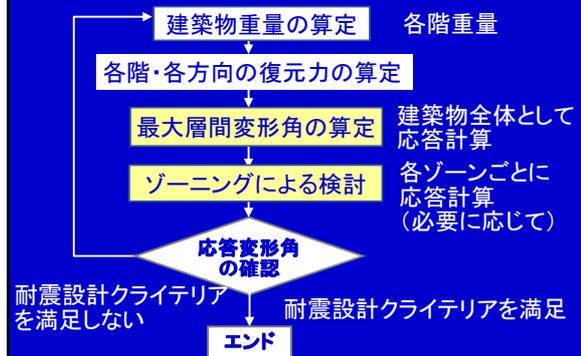
耐震性能評価(耐震診断)の方法

- ◆ 近似応答計算により建築物の各階・各方向の応答層間変形角を求める(限界耐力計算と同等)
- ◆ 応答層間変形角が(耐震)設計クライテリアを満足することを確認する

(耐震設計クライテリア)

入力地震動のレベルに応じて建築物に付与すべき耐震性能: 稀に発生する地震動、極めて稀に発生する地震動、(巨大地震動)

近似応答計算の流れ



耐震性能評価・耐震補強設計の流れ

現地での建築物調査(現地調査チェックリスト) 平面図、構造要素伏図、軸組図(全構面)の作成

各階・各方向の全軸組の復元力の算定
各階・各方向の層の復元力の算定

近似応答計算による耐震性能評価

耐震補強設計クライテリア



耐震性能評価の流れ



耐震設計クライテリア

- ◆ 稀に発生する地震動時
損傷限界層間変形角 $1/90\text{rad}$ 以下
(現行の法令では、 $1/120\text{rad}$ 以下の規定があるが、要素実験結果から $1/90\text{rad}$ 以下としても構造耐力に支障がある損傷は生じない)
- ◆ 極めて稀に発生する地震動時
安全限界層間変形角 $1/20\text{rad}$ 以下
(積雪荷重を考慮しない場合)
安全限界層間変形角 $1/15\text{rad}$ 以下
(積雪荷重を考慮する場合)

近似応答計算について

- ◆ 検討対象建築物を等価な1質点系に置換し、入力地震動の加速度応答スペクトルを基に、地震時の最大応答変位を求める(等価線形化法)
- ◆ 1質点系でバネが線形(弾性・損傷を受けない)なら、固有周期、減衰は常に一定で、応答が簡単に求まる非線形の場合(大地震時)、等価な1質点系(線形)に置換して応答を求める(等価線形化法)
- ◆ 建物は一般に、大地震時には塑性域に入る(非線形・損傷を受ける)が、その場合は固有周期が長くなり、減衰が大きくなる(応答加速度が小さくなる)ことで、設計クライテリアを満足できる場合がある
建物の変形性能が大きければ、比較的耐力が小さくても安全性を確保できる

近似応答計算

近似応答計算の手法

限界耐力計算は告示で、増分法によることが記述されている。

荷重増分法

RC造等は静的荷重増分解析により、荷重—変形関係を求め、等価線形化法により応答せん断力・応答変位を求める。解が求まる近傍の応答せん断力では繰り返し計算(収斂計算)を行って応答変位を求める

変位増分法(本マニュアル)

1階または2階の変位を増分しながら、必要性能スペクトルを求め、復元力特性との交点が応答変位として求まる(通常は1階の変位を増分)。

復元力特性が負勾配の場合でも解が求まる

近似応答計算に必要な事項

各階建物重量の算定(固定・積載・積雪)

⇒質点の質量: m

用いられている構造要素の復元力(各軸組の復元力)

各階・各方向の復元力(各軸組の総和): k

2階建ての場合は各階の m 、 k から等価な1質点系に変換 ⇒ 応答変位の算定

階高は応答には直接関係しないが、層間変形角の算定に必要であり、大変重要

近似応答計算を木造建築物に適用するために

手計算(エクセルシート)で応答計算が可能
対象建築物を2階建て以下とする

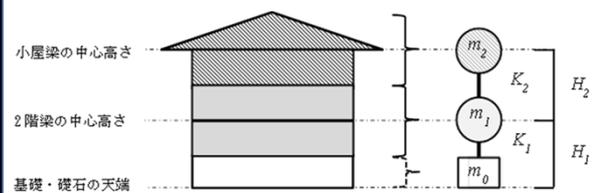
構造要素の変形をせん断型とする(1階と2階が独立)
(1階と2階の復元力を別々に算定)

剛床仮定により、層の復元力を各軸組の復元力の総和とする

偏心が生じないとする(各軸組に同じ変位が生じる)

復元力が負勾配でも計算可能(変位増分法)
土壁は $1/60\text{rad}$ より変形が大きくなると負勾配

建物重量の算定



m_2 : 2階の階高の1/2から上部の質量

m_1 : 1階の階高の1/2から2階の階高の1/2までの質量

m_0 : 1階の階高の1/2から下部の質量
 m_0 : 柱脚の移動の検討に必要

近似応答計算の重要な計算仮定

◆(1自由度)1質点系の応答

剛床仮定(床の変形を考慮しない)

⇒床の剛性が低い場合や吹き抜け等により床の剛性を確保できない場合は、ゾーニング等の手法により検討

並進振動(各鉛直構面が同じ方向に振動:ねじれ振動は考慮しない)

(偏心がない場合は、並進のみ)

⇒偏心が大きい場合は、偏心による変位増大を考慮するかゾーニング等の手法による

耐震診断・耐震補強設計用荷重

◆固定荷重

実測調査、荷重指針(日本建築学会)、建築基準法施行令第84等に基づいて、実況に応じて設定(妻壁(土塗り壁)の重量等は要注意:設計事例参照)

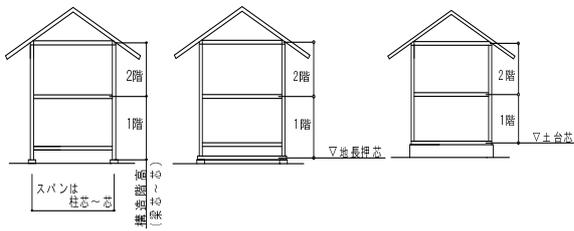
◆積載荷重

居室用: 600N/m^2 (実況に応じて設定)

◆積雪荷重

最大積雪量: 多雪区域であり、岐阜県建築基準法施行細則・運用指針による
積雪の単位荷重は 30N/cm^2
地震力との組合せ: 積雪荷重 $\times 0.35$

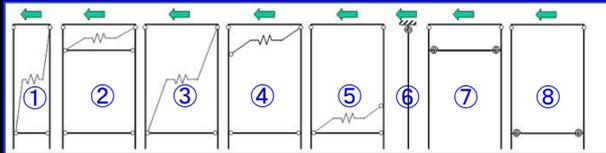
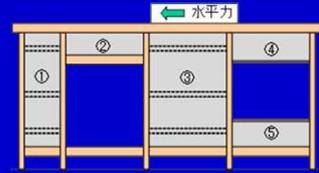
構造計算用階高



原則として横架材芯間距離
1階(石場建て)は礎石天端～2階横架材芯間
軸組により階高が異なる場合の対応は要注意

各鉛直構面の復元力

各構造要素(①～⑧)ごとに特定変形角での復元力を求め加算することで鉛直構面の復元力を求める



全面壁 (1P) 小壁 柱2本 全面壁 (2P) 小壁(垂れ) 柱1本 小壁(腰) 柱1本 柱ほぞ 差鴨居 足固め
軸組架構の構造モデル

構造要素の復元力は、原則として構造要素性能検証実験の結果を用いる

1	2	3	4	5	6
1P全面	2P全面	2P全面+2P全面	2P垂壁	2P腰壁	2P垂壁・腰壁
7	8	9	10	11	12
1P全面+2P垂壁・腰壁+1P全面	1P全面+2P垂壁+1P全面	2P垂壁・腰壁+2P垂壁・腰壁	1P全面+3P垂壁	1P全面+3P垂壁・腰壁	2P垂壁+2P垂壁

構造要素の設計用復元力特性 (設計資料)

- 特定変形角時のせん断耐力(Q)
- 土塗り壁(全面壁): せん断応力度(1P, 2P)
Q: せん断応力度 × 壁長さ × 壁厚
 - 土壁小壁: 単位壁高さ・単位壁厚あたりせん断力
Q: 単位せん断力 × 小壁高さ × 壁厚
 - 小壁を含む単位フレーム
Q: 算定式によるか、小壁の長さ・高さ・厚さ・柱径との組合せで、一覧表で示されている値を用いる(柱が1本有効か2本有効かで異なる)
 - 板壁: No.5試験体に使用した壁の復元力
今後仕様の違いによる実験を予定
 - 土塗り壁と板壁の複合壁: 扱い方に注意(板壁は無視)

I 構造要素の復元力



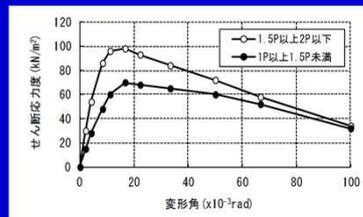
II 鉛直構面の復元力

上記の構造要素ごとに加算
小壁付き柱については、差鴨居により拘束されている場合は、柱2本有効、その他は柱1本有効として算定

III 層の復元力

鉛直構面の復元力を単純加算

全面土壁のせん断応力度



特定変形角時のせん断応力度 (kN/m²)

変形角(rad)	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15
せん断耐力	48	60	70	68	65	60	52
	86	96	98	93	84	72	58

柱ほぞのせん断耐力

柱ほぞ

- 長ほぞ仕口1箇所のほぞの強軸方向(図)の曲げモーメントを表に示す。
- ほぞの弱軸方向(強軸方向の直交方向)への曲げに対しては、強軸方向に比べて生じる曲げモーメントが小さいため、**評価の対象としない**。
- 曲げモーメントMと階高Hから、回転角毎に柱1本あたりの負担せん断力を計算する。



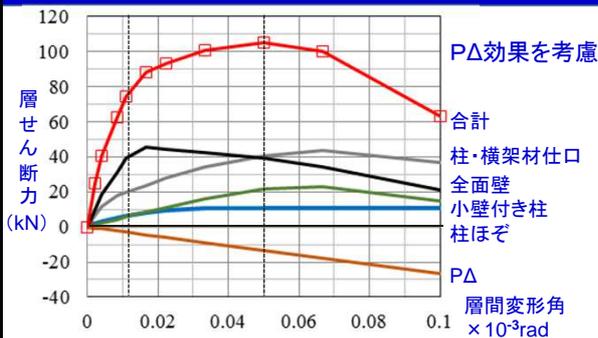
柱ほぞの強軸方向曲げ

特定回転角時の長ほぞ仕口の曲げモーメント

(rad)	($\times 10^{-3}$ rad)	曲げモーメント (kNm)
1/90	11.11	0.9
1/20	50.00	1.5

近似応答計算

層の復元力(?)



等価線形化法

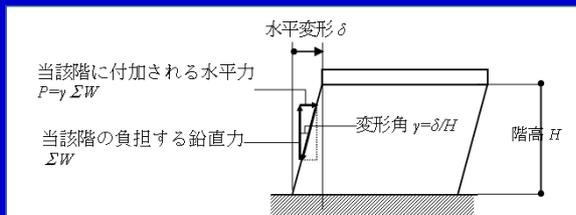
- ◆ 限界耐力計算(2000年の建築基準法改正で、新たに導入された計算法)で用いられている近似応答計算法
- ◆ 等価線形化法(他に近似応答計算法としてエネルギー一定則、変位一定則、エネルギーの釣合いによる方法等)は**非線形振動系に生じる最大応答を推定する方法**で、等価剛性と等価減衰を有する等価な線形な系として扱うために、非線形応答現象を理解しやすい

等価剛性: 非線形系に最大応答変位が生じたときの割線剛性(K_e)

等価減衰: $h=1/4\pi \cdot \Delta W/W$ (履歴減衰) + h_0
 h_0 : 内部粘性減衰(5%)

PΔ効果

- ・ 建築物の各階・各方向のせん断耐力はPΔ効果を考慮したせん断耐力とする。
- 各階・各方向で構造要素のせん断耐力を加算した結果(層のせん断力)に、PΔを考慮する。

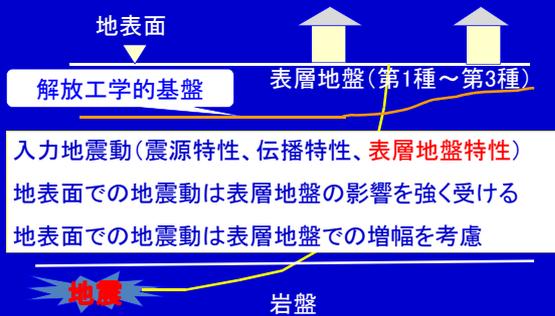


PΔ効果によって減じるせん断耐力: $(W_1 + W_2) \Delta / H$

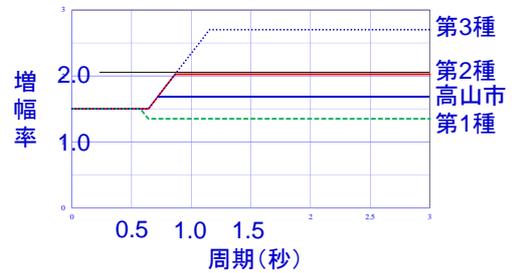
入力地震動の加速度応答スペクトル (告示1461号)

- ・ 解放工学的基盤における加速度応答スペクトル
2段階の地震動レベルを設定
地表面では、表層地盤での増幅を考慮
- ・ 稀に発生する地震動
建設地において、建築物の存在期間中に1度以上遭遇する事を想定する地震動
- ・ 極めて稀に発生する地震動
建設地において、建築物の構造安全性への影響度が最大級のレベルの地震動(稀地震の5倍)

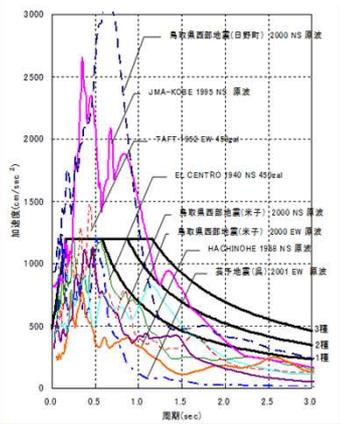
地盤種別と入力地震動



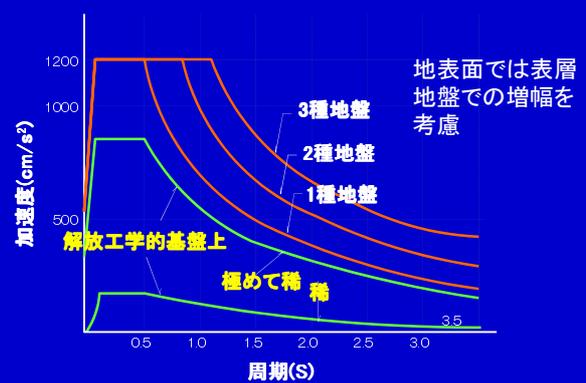
表層地盤増幅率



記録波の加速度応答スペクトル



加速度応答スペクトル(告示)

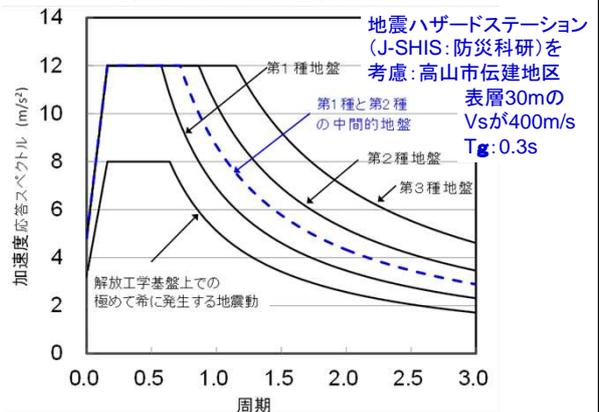


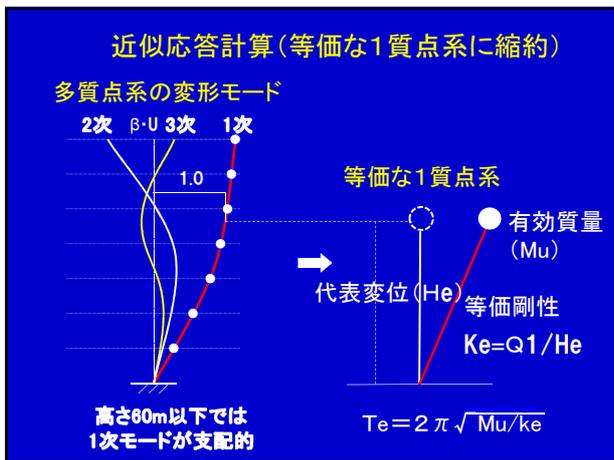
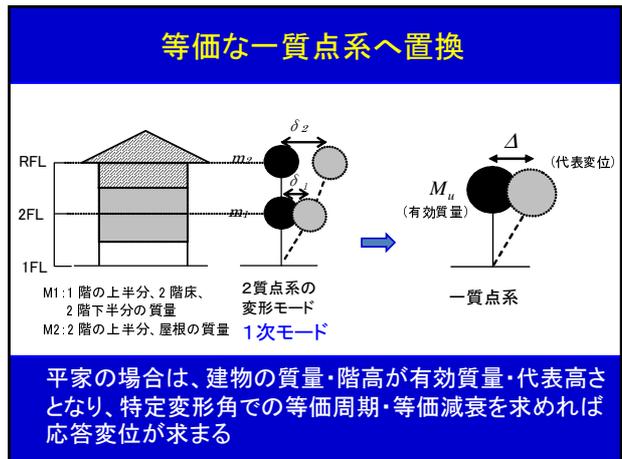
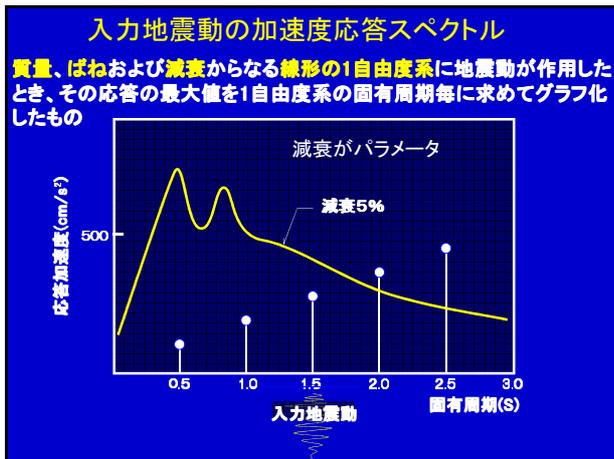
昭55建告第1793号第2

建築物の基礎の底部の直下の地盤種別

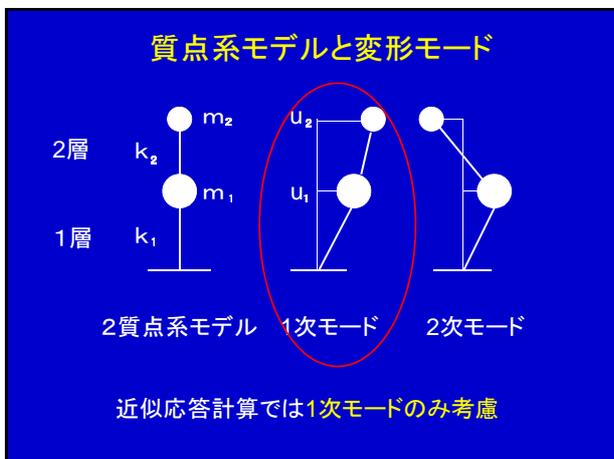
- 第1種地盤: 岩盤、硬質砂れき層その他主として第3紀層以前の地層によって構成されているもの又は地盤周期等についての調査若しくは研究の結果に基づき、これと同程度の地盤周期を有すると認められるもの(地盤周期0.2秒以下)
- 第2種地盤: 第1種・第3種以外(地盤の周期0.2~0.75秒)
- 第3種地盤: 腐植土、泥土その他これに類するもので大部分が構成されている沖積層(盛土を含む)で、その深さが概ね30m以上のもの、沼沢、泥海等を埋め立てた地盤の深さが概ね3m以上であり、かつ、これらで埋め立てられてから概ね30年経過していないもの又は地盤周期等についての調査若しくは研究の結果に基づき、これと同程度の地盤周期を有すると認められるもの(>地盤周期0.75秒)

地表面における加速度応答スペクトル





- ### 1質点系の特徴
- 1つの質量 (m) とばね (k) および減衰定数 (h) のみで、振動系を定義できる
 - 高次モードはなく、振動モードも1つしかない
 - 系が弾性であれば、固有周期は常に一定
 - 系が塑性域に入る場合は、等価な線形系に置換できる減衰は等価な減衰として評価できる
 - 入力地震動の加速度応答スペクトルを設定すれば、簡単に応答変位を求めることができる



◆ 変位増分法 (2階建の場合)

変形モードの求め方

自由振動方程式 $M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = 0$

$$X = \begin{pmatrix} X_1 \\ X_2 \end{pmatrix} \quad M = \begin{pmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{pmatrix} \quad K = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{pmatrix}$$

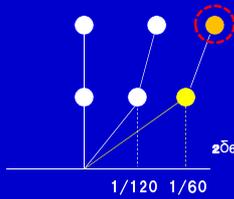
減衰を無視すると $X_i = U_i \times e^{i\omega t}$ $k_{11} = k_1 + k_2$
振動数方程式 $(k_{11} - m_1 \omega^2) (k_{22} - m_2 \omega^2) - k_{12} k_{21} = 0$ $k_{22} = k_2$
 $k_{12} = k_2 = -k_2$

$\frac{U_2}{U_1} = \frac{-k_{11} + m_1 \omega^2}{k_{12}}$ 1階の変位を設定すれば、2階の変位が求まる

変位増分法での固有モード算定方法

1/120時の応答変位は固有値計算による

1階の層間変形を1/60としたとき、
2階の層間変形をどう求めるか



$2\delta_{120}$: 1/120時の2階の変位

$1\delta_{120}$: 1/120時の1階の変位

$1\delta_{60}$: 1/60時の1階の変位

$2\delta_{60}$: 1/60時の2階の変位

$$2\delta_{60} = (2\delta_{120} \quad -1\delta_{120}) \times \frac{1\delta_{60}}{1\delta_{120}} \times \frac{1K_{60}}{2K_{120}} + 1\delta_{60}$$

$1K_{60}$: 1/60時の1階の等価剛性

$2K_{120}$: 1/120時の2階の等価剛性

線形(弾性)であればモードは一定

マニュアル(学芸出版社)での方法

等価剛性と減衰(h)

履歴による等価減衰

ΔW : 三角形の面積

(黄色)

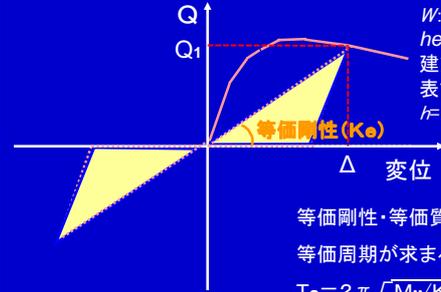
$W: 1/2 \cdot \Delta \cdot Q_1$

$h_{eq} = (1/4\pi) (\Delta W / W)$

建築物の減衰性を

表す数値(h)

$h = h_{eq} + h_0$



等価剛性・等価質量から

等価周期が求まる

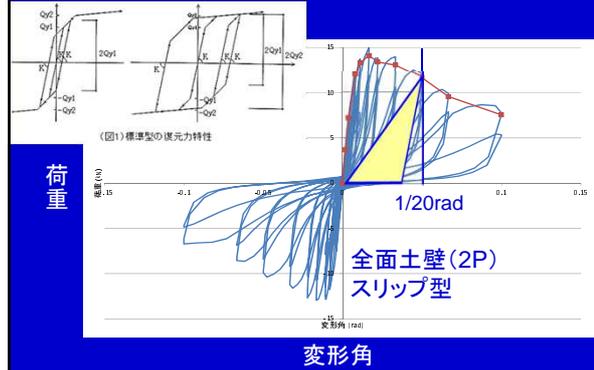
$$T_e = 2\pi \sqrt{M_u / K_e}$$

変形モード算定方法

線形(弾性)時はその1階・2階の剛性から固有値計算により変形モードを求める。非線形になると、1階の変位増分を行う時、2階の変位を求めるためには、

- ①前ステップの変形よりも大きい最も近傍の変位点の等価剛性を用いて変位を計算(1階と2階の剛性比で補正: 2004年: 伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル) $C_2/C_b \geq 2, W_2/W_1 \geq 0.7$ なら精度よく求まる
- ②前ステップの変形よりも大きい最も近傍の変位点の等価剛性を用いて固有値計算を行う(固有モードの算定)。固有モードから変位を計算。(この場合は当該ステップの等価剛性と固有モード対応していない。(JSCA関西レビュー委員会))

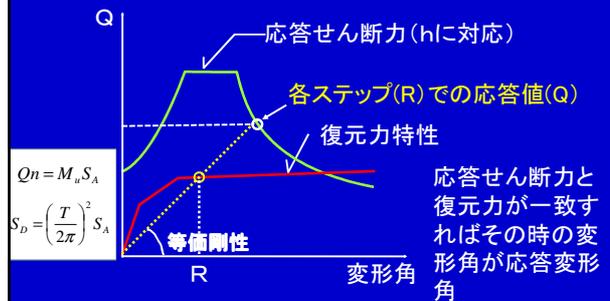
履歴減衰



等価剛性は応答変位から求まるので、

- ③精度を上げるためには、②で求めた等価剛性を用いて固有値計算を行う。この後、固有モードから応答変位を計算し、等価剛性を算定。固有モードと等価剛性がほぼ一致するまで繰り返し計算を行う(収斂計算)
- ④収斂計算は③と同じ
減衰の評価を等価1質点系ではなく、2質点系の1階・2階それぞれで行い、ひずみエネルギーで重み付けをして、等価減衰を算定

応答値の算出(変位増分法)



$$Q_n = M_n S_A$$

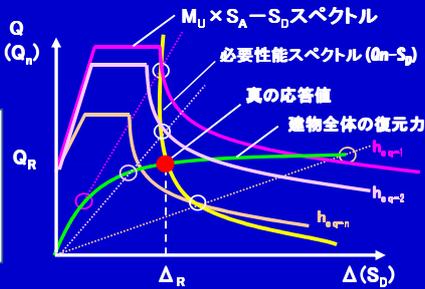
$$S_D = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 S_A$$

応答せん断力と復元力が一致すればその時の変形角が応答変形角

応答値の算出

$$Q_n = M_u S_A$$

$$S_D = \left(\frac{T}{2\pi}\right)^2 S_A$$



近似応答計算のフロー (2階建ての場合)

- ① 各特定変形角での固有モード計算
- ② 等価1質点系への置換
等価周期・等価減衰の算定
- ③ 応答せん断力の算定
- ④ 応答せん断力が復元力と一致する時の層間変形角の確認
- ⑤ 1階・2階の層間変形角の算定

近似応答計算

近似応答計算の手法

限界耐力計算は告示で、増分法によることが規定されている。

・荷重増分法

RC造等は静的荷重増分解析により、荷重-変形関係を求め、等価線形化法により応答せん断力・応答変位を求める。解が求まる近傍の応答せん断力では繰り返し計算(収斂計算)を行って応答変位を求める

・変位増分法(本マニュアル)

1階または2階の変位を増分しながら、必要性能スペクトルを求め、復元力特性との交点が応答変位として求まる。

復元力特性が負勾配の場合でも解が求まる

① 固有モードの方法

自由振動方程式から、固有モードを算定

自由振動方程式

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + KX = 0$$

$$X = \begin{vmatrix} X_1 \\ X_2 \end{vmatrix}$$

$$M = \begin{vmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{vmatrix}$$

$$K = \begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{21} & k_{22} \end{vmatrix}$$

減衰を無視すると $X_i = U_i \times e^{i\omega t}$ $k_{11} = k_1 + k_2$

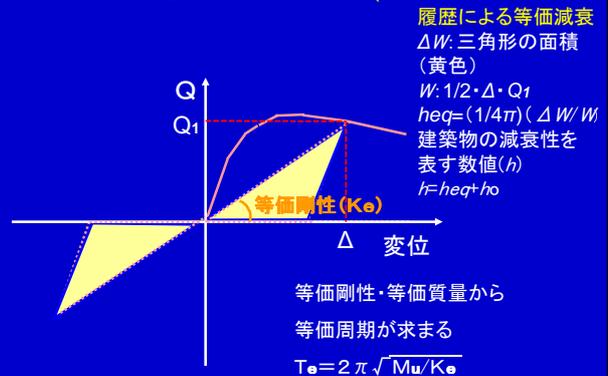
振動数方程式 $(k_{11} - m_1 \omega^2) (k_{22} - m_2 \omega^2) - k_{12} k_{21} = 0$ $k_{22} = k_2$

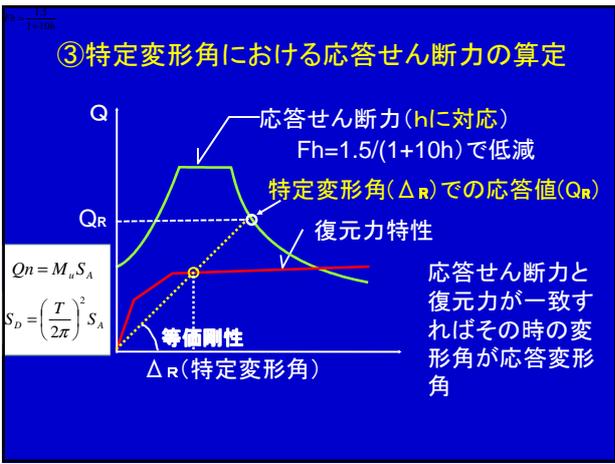
$\frac{U_2}{U_1} = \frac{-k_{11} + m_1 \omega^2}{k_{12}}$ (固有モード) $k_{12} = k_2 = -k_2$

近似応答計算(限界耐力計算)により応答値 (最大層間変形角)を求めるための具体的方法

- ◆ 応答計算はエクセルシートにより行う
(準備されているものを使用)
- ◆ 応答計算に必要なインプットデータは以下の通り
 - ・各階重量(質量)、各階の階高
 - ・各階・各方向の特定変形角における復元力
特定変形角とは1階の変位を増分するとき、計算を行う層間変形角(1/90rad、1/60rad、・・・、1/20rad等)で予めセットされている。ただし変更は可能
 - ・計算を行う時に少し操作が必要であるが、応答を求めるために必要な計算はすべてエクセルで行い、結果は変形モード、等価周期、減衰、応答変位等すべて一覧表に表示される

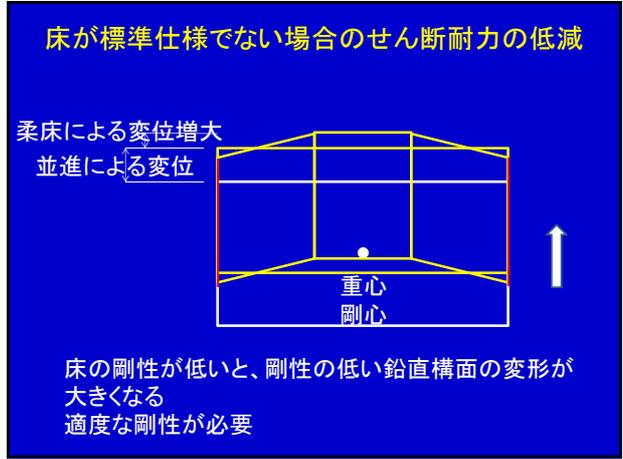
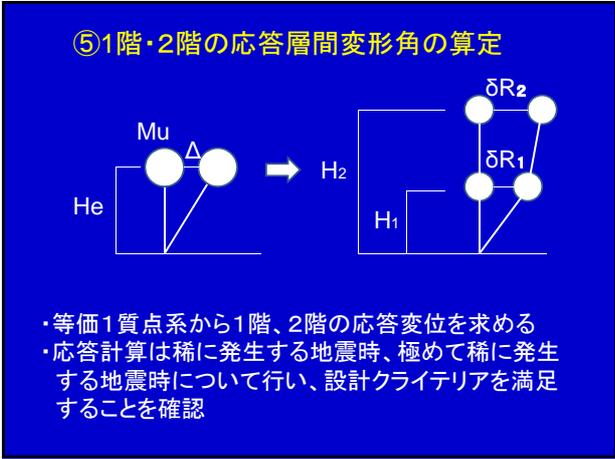
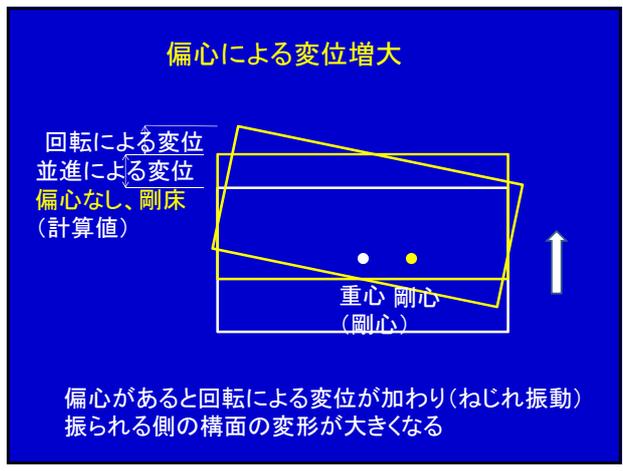
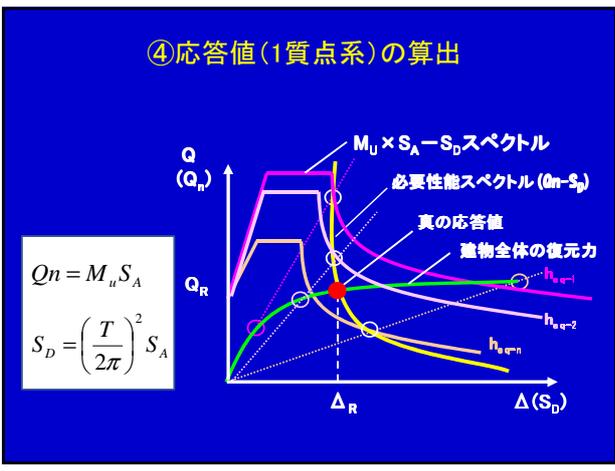
② 等価剛性と減衰(h)





近似応答計算の重要な計算仮定

- ◆ (1自由度)1質点系の応答
 - 剛床仮定 (床の変形を考慮しない)
 - ⇒ 床の剛性が低い場合や吹き抜け等により床の剛性を確保できない場合は、ゾーニング等の手法により検討
 - 並進振動 (各鉛直構面が同じ方向に振動:
 - ねじれ振動は考慮しない)
 - (偏心がない場合は、並進のみ)
 - ⇒ 偏心が大きい場合は、偏心による変位増大を考慮するかゾーニング等の手法による



床(剛・柔)の剛性が応答に及ぼす影響

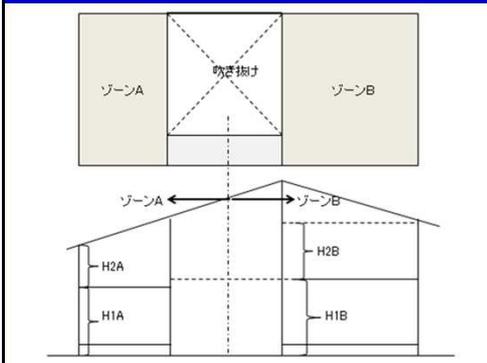


規模 : 4P × 4Pのユニットを3つ列べた2間 × 6間(4P × 12P)
 重錘 : 約10tonの錘 変形を拘束しないように設置

部分2階の場合の水平構面とゾーニング



ゾーニングによる検討



大きな吹き抜けがある場合、短辺方向(Y方向)はゾーニングによる検討を行う

偏心による変位増大率

偏心による各方法の変位増大率の計算は次式による

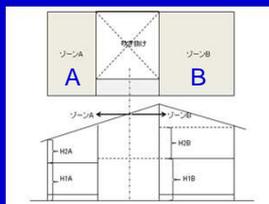
$$\frac{\delta_s}{\delta_m} = 1 + \frac{L}{e} R_e^2 = 1 + \frac{L}{r_e} R_e$$

δ_s : 偏心を考慮した変位、 δ_m : 近似応答計算による変位
 L : 偏心を計算する構面の剛心からの距離、 e : 偏心距離、 r_e : 弾力半径、 R_e : 偏心率



$R_e < 0.15$ 以下は割増率1.0
 $0.15 < R_e \leq 0.3$
 割増率の計算 (床剛性考慮)

なぜゾーニングによる検討が必要か

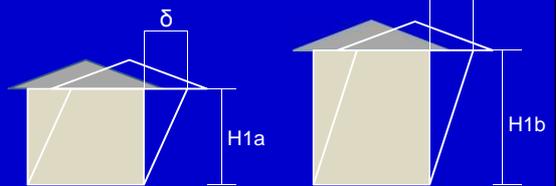


- 図のように建物に大きな吹き抜けがある場合、短辺方向の2階レベルでAゾーンとBゾーンの間で水平力の移動ができない
- 仮に、Bゾーン1階に十分な構造要素があっても、Aゾーンの2階床部分に作用する水平力を伝達できない

- ゾーニング分けることで、建物全体の偏心を小さくできる
- AゾーンとBゾーンで階高が大きく異なる場合があるが、ゾーニングにより応答結果に反映できる

応答変位、応答層間変形角と階高

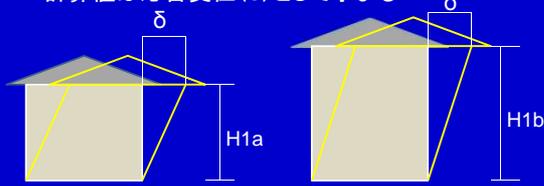
同じ応答変位でも、階高が変わると応答層間変形角が異なる



$1/(H1a/\delta)$ rad 層間変形角 $1/(H1b/\delta)$ rad
 仮に、 $H1a=3m$ 、 $H1b=3.6m$ で層間変形を15cmとすると
 変形角は1/20rad 1/24rad

階高に変化がある場合の扱い

計算値は応答変位(δ)として求まる



- ・階高の差が小さい場合は平均値を用いる
- ・階高の差が大きい場合は平均値で計算すると、H1aの層間変形角(γ_a)は平均値よりかなり大きくなる。従って、H1aの層間変形角を $\delta / (H1a + H1b) / 2 \Rightarrow \delta / H1a$ に補正して安全性を確認
- ・H1aの復元力: 各特定角での復元力を $\delta / H1a$ 時の復元力として補正して計算

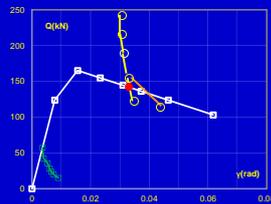
耐震補強方針

■ 高山市伝統構法建築物にふさわしい補強

- ・構造的特徴を踏まえた補強
- ・文化財としての価値を損なわない
- ・外観(ファサード)は変えない(町並み景観)
- ・吹き抜け空間等建築的価値を保持する手法
- ・耐久性、防耐火性能を向上させ、安全性を向上

近似応答計算で確認すべき事項と対応

- ・等価周期、等価減衰の確認
- ・ C_d 、 C_2/C_b 、 R_{co} の確認
- ・応答値近傍での必要性能スペクトル曲線急変している場合は、変位点の計算ピッチを細かくする



現地調査(構造詳細調査)

- ・耐震性能評価に必要な事項については、重点的に調査を行う。
- ・耐震性能評価に大きな影響がある事項
建物重量に必要な要素(屋根、壁、小屋組、天井、床等)
平面図(柱位置(通し柱・管柱)、部屋、吹抜、壁の配置)
全構面の軸組図(全構造要素、階高・柱位置、柱径・ほぞ、小壁の寸法、全面壁(土壁・板壁・壁厚))
- ・仕口接合部(込栓、鼻栓、楔等)、柱ほぞ
- ・基礎・地盤の沈下
- ・構造要素の増設が可能な位置の確認

耐震補強方針

耐震補強設計方針①

- ・耐震性能評価(計算)を行う前に、建物がどのように揺れるか想像する
- ・大地震時に大きな損傷を受けるとすれば、どこから損傷が始まるか、最大の弱点は何かを考える
- ・どのように補強するのが最も効果的かを考える
- ・計算仮定と実際の建物に大きな乖離がないか
- ・耐震上重要なことを見落としていないか

耐震補強設計方針②

- 劣化部材(腐朽・蟻害等)の取り換え・補修
計算で想定している復元力(当初の性能)を確保
- 建築物重量の軽減
例:屋根の軽減、土壁の一部撤去
- 構造要素の増設による補強
全面壁の増設等(変形性能を確認)
平面的な配置(偏心を小さく)と1・2階のバランスを考慮
- 制震補強
ダンパー等制震部材の付加(有効性・性能を十分検証)
- 柱・仕口接合部の性能維持
崩壊防止(柱の折損防止と仕口接合部の性能維持)
- 基礎の沈下や柱の傾斜への対応
不同沈下の是正、柱の安全性の検討等

耐震補強設計の流れ

耐震補強設計(構造要素の増設検討等)

補強後の構造要素配置平面図、軸組図(全構面:補強後)の作成、補強後の建物重量の算定

各階・各方向の全軸組の復元力の算定
各階・各方向の層の復元力の算定

近似応答計算による耐震性能評価

耐震補強設計クライテリア

YES

終了

NO

耐震補強設計(構造要素の変更)

構造要素の増設による補強 (注意点)

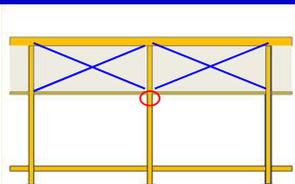
- 十分な変形性能が検証されている構造用を用いる
- 平面的・立体的な剛性・耐力バランスを考慮
偏心ができる限り小さくなるよう平面的に構造要素を配置
1階・2階の剛性・耐力を考慮した補強
(2階の剛性・耐力が大きくなり過ぎないように配置)

耐震補強のための構造要素

- 大きな変形性能を有する(1/15radまで顕著な損傷がなく1/10radまで急激な耐力低下がないことを実験等により確認したもの)
- 上記の変形性能が確認できない筋かいや木ねじで留めつける面材(石膏ボード、構造用合板など)は用いない
- 構造要素:全面壁(土塗り壁、乾式土壁、板壁)
小壁、柱-横架材仕口、伝統構法用に開発された構造要素

建築物が崩壊・倒壊に至らないためには、
建築物を支える軸組が大きな損傷を受けない

柱(小壁付き柱、通し柱、柱脚)は折損しない
仕口接合部は変形性能を維持



壁の損傷を防ぐための補強により、柱に損傷が生じた例

応答計算結果について

以下の結果が妥当かを検討

- 建物重量: m²あたり重量(事例を参照)

層間変形角1/20rad時

- 等価周期、等価減衰

- C_b 、 C_2 、 C_2/C_b 、 R_{co} 等

R_{co} : 1階と2階の応答変位が等しくなる時の、 C_2/C_b

$1.2 R_{co} \geq C_2/C_b \geq 1.1 R_{co}$ で C_b が小さくなる

(1階・2階のバランスを考慮)

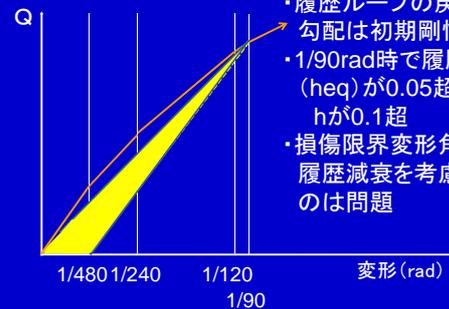
特に C_b が妥当かを検討(他の事例を参照)

柱の折損防止

折損防止のための柱の必要小径を図表および一覧表で提示(標準設計法)

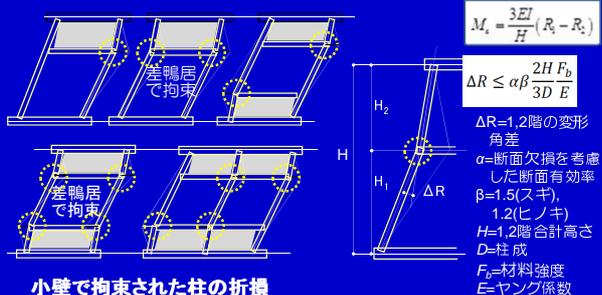
- ◆小壁付き独立柱(小壁下の柱の応力)
階高、小壁の高さ、小壁長さ、壁厚等による
- ◆通し柱(1階と2階の変形角の差による応力)
材種、1階・2階の階高の関係、(二方差、四方差)等による
- ◆隅部柱の柱脚(柱脚が滑ることによる応力)
材種、階数、足固め高さ、柱間隔等による

履歴減衰



- ・履歴ループの戻り勾配は初期剛性と同一
- ・1/90rad時で履歴減衰(heq)が0.05超
hが0.1超
- ・損傷限界変形角で履歴減衰を考慮するのは問題

柱の折損に対する検討



小壁で拘束された柱の折損

通し柱の折損しない条件

80

2005年11月11日加振実験

1995年 神戸海洋気象台記録
(NS:818Gal, EW:617Gal, UD332Gal)



基礎・地盤の沈下について

- ・礎石が基礎の役割を果たしている場合、地盤沈下が起きやすい(接地圧が大きい場合がある)
- ・有害な沈下(不同沈下が大きい場合:柱の傾斜の要因)が認められる場合は、その原因を明らかにした方がよい
- ・多くの場合、大きな接地圧による即時沈下で、圧密沈下の可能性はほぼない(築後50年も経てば沈下は収まる)
- ・従って、一般には地盤沈下が進行している可能性は低く、基礎に対する補強は必要としない。不同沈下が大きい場合は、柱脚と礎石の間に鉛板等を入挿することで、沈下差を小さくする

京町家の耐震補強

