

4. 木造建築物の基準の整備に 資する検討

住友林業株式会社

三井ホーム株式会社

ミサワホーム株式会社

一般社団法人木を活かす建築推進協議会

共同研究 独立行政法人 建築研究所

検討の目的

現行の建築基準法における

- 木材の基準強度の考え方
- 木造建築物の設計方法

に関する基準の整備に資することを目的として実験、調査、解析および基準の合理化に必要な資料のとりまとめを行った。

検討項目

イ) 長期許容応力度(荷重継続時間の調整係数)の検証

ロ) 木材のめり込みが建築物の安全性に与える影響に関する検証

ハ) 変形能力の異なる耐力要素併用時の地震時の挙動の検証と計算法及び設計法の検討

二) 平面・立面的に不整形な木造建築物に対する評価方法調査

木材の基準強度の考え方の検討状況

平成20、21、22、23年度

研究方針の検討、データの収集のための実験実施

平成24年度

基準の合理化に必要な資料のとりまとめ

<長期許容応力度(荷重継続調整係数)の検証>

荷重継続時間の調整係数を算出する実験用治具の作成と曲げ試験の実施

製材、集成材とも応力レベル90%、80%での曲げクリープ破壊試験の実施

同一応力レベルの平均破壊時間と応力レベルの回帰直線から50年後の応力レベルを推定、取りまとめた

集成材特注品、市場品の最外層ラミナフィンガージョイントについて引張強度と曲げクリープ破壊の関係を取りまとめた

<木材のめり込みが建築物の安全性に与える影響に関する検証>

既往の論文等の収集整理及び実務設計での実態調査

めり込みクリープ実験の実施

土台にめり込み強度を上回る圧縮力が作用しても顕著なめり込みは見られないことを確認した

木造建築物の設計方法の検討状況

平成20、21、22、23年度

研究方針の検討、データの収集のための実験実施

平成24年度

基準の合理化に必要な資料のとりまとめ

<変形能力の異なる耐力要素併用時の地震時の挙動の検証と計算法及び設計法の検討>

異なる変形能力を持つ壁を有する建物について時刻歴応答解析や既往データの収集を行った。

壁式構造と集成材フレームの直列的併用構造の実験実施

集成材フレームと耐力壁の併用構造で地震応答解析を行い安全の見込めるフレームの仕様を取りまとめた

引きボルト接合の集成材ラーメン構造について荷重変形性能予測の精緻化に資するデータを取りまとめた

集成材等建築物の構造設計の問題点を整理し、今後検討が必要な項目を取りまとめた

<平面・立面的に不整形な木造建築物に対する評価方法調査>

平面・立面的に不整形な形状を有する建築物の設計方法の検証

斜めの桁を有する鉛直構面や耐力壁が平面上斜めに配置された場合の水平せん断力試験の実施

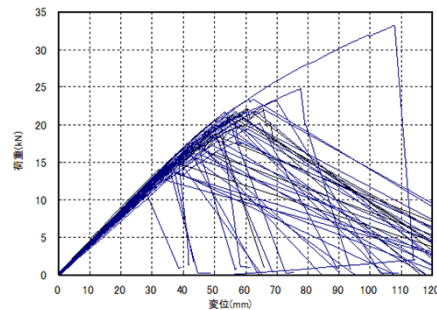
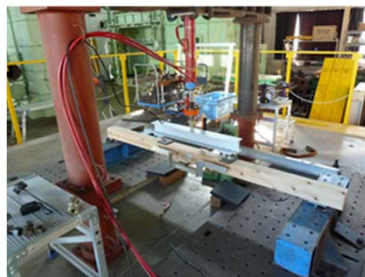
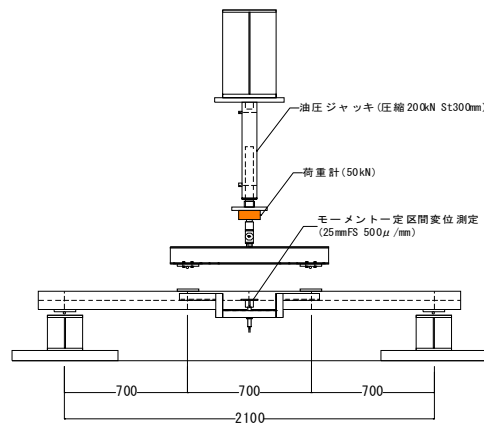
平面・立面的に不整形な形状を有する建築物の設計方法について耐震性能を確保するための条件を取りまとめた

斜めの桁を有する鉛直構面や耐力壁が平面上斜めに配置された場合の評価方法の条件を取りまとめた

長尺の筋かい壁の接合部仕様を取りまとめた

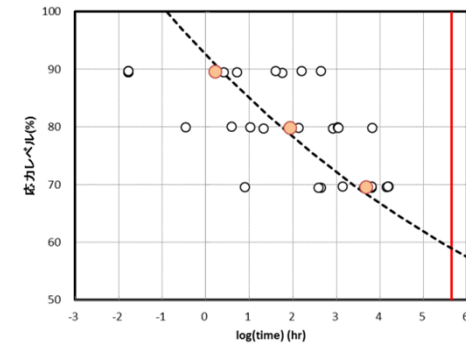
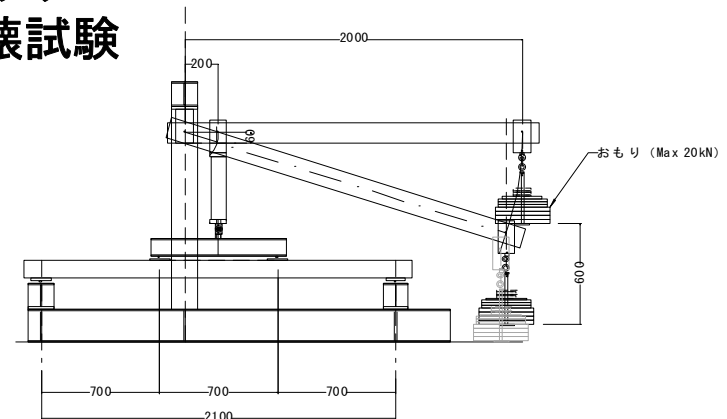
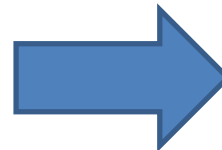
イ) 長期許容応力度 (荷重継続時間の調整係数) の検証

曲げ試験



曲げクリープ
破壊試験

応力レベル
の決定



荷重継続時間調整係数の算出

試験体

試験開始年度	材料	応力レベル(%)	試験体数	試験中の本数
2009	製材* ¹ (すぎ・E70)	90	10	0
		80	10	0
		70	10	2
	集成材* ² (すぎ・特注品)	90	10	0
		80	10	0
		70	10	1
2011	集成材* ³ (すぎ・市場品)	90	10	0
		80	10	0
		70	10	2

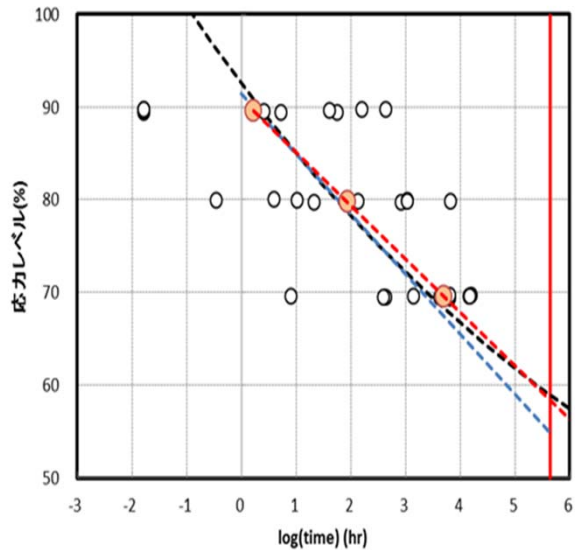
備考 *1:機械等級区分構造用製材E70のうちE=5.9~6.5(×103N/mm²)の範囲の試験体とする。

*2:特注集成材 断面105mm×105mm 4層構成 最外層L100 内層L80

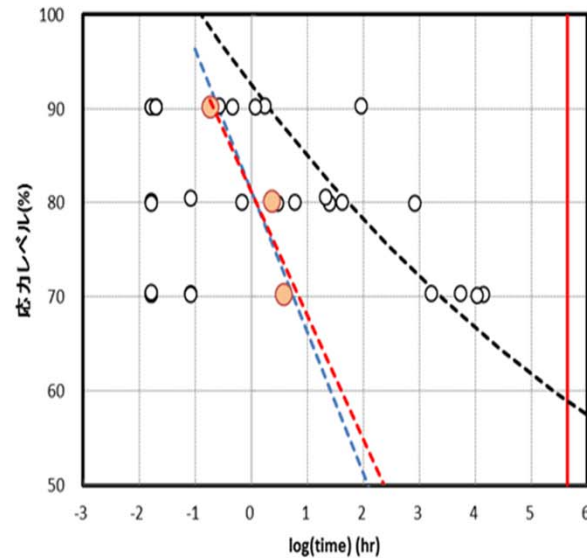
*3:同一等級構成構造用集成材E65-F255(2社より入手)

曲げクリープ破壊実験

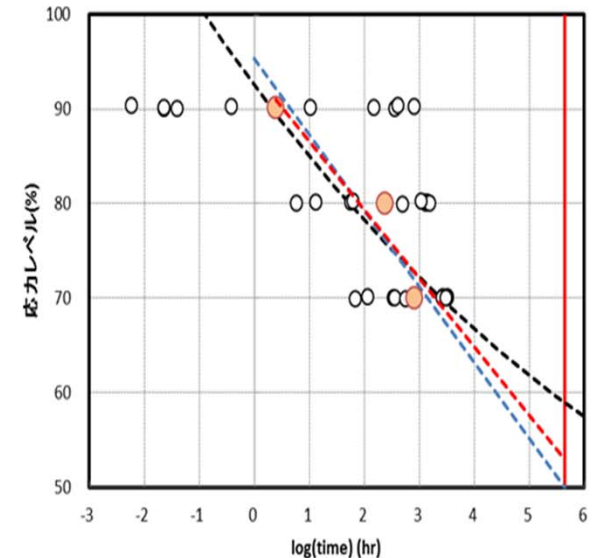
すぎ製材



すぎ集成材
(特注品)



すぎ集成材
(市場品)



黒点線:

Lyman W. Wood, Relation of strength of wood to duration of load, Forest Products Laboratory, 1951 の論文で示される応力レベルと破壊までの時間の関係

$$y = \frac{108.4}{x^{0.04635}} + 18.3$$

青点線: 応力レベルと独立変数 破壊時間を従属変数とした回帰直線

赤点線: 同一応力レベル10点の平均を用い、破壊時間を独立変数、応力レベルを従属変数とした回帰直線

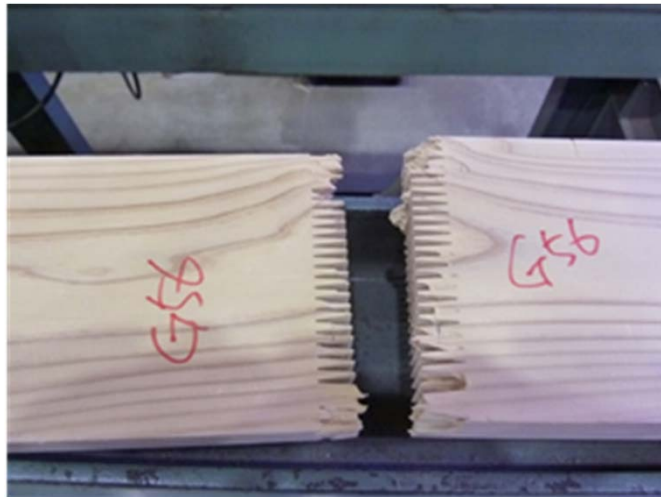
すぎ製材は3本実験中、すぎ集成材(市場品)は5本実験中

ラミナの引張試験

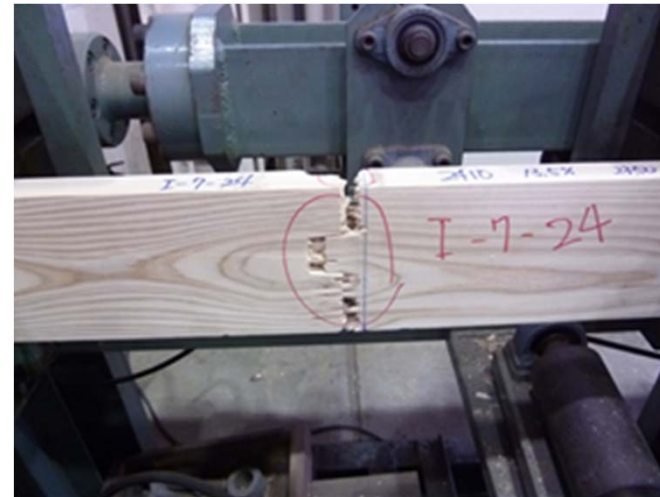
特注品集成材と市場品集成材のFJ引張性能比較



独立行政法人森林総合研究所所有の40トン木材引張試験装置



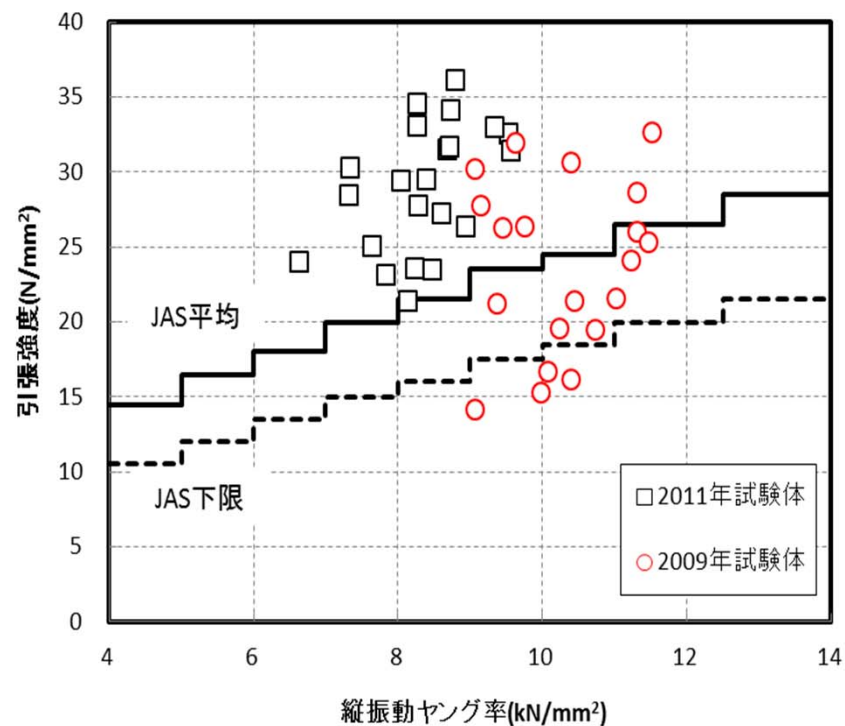
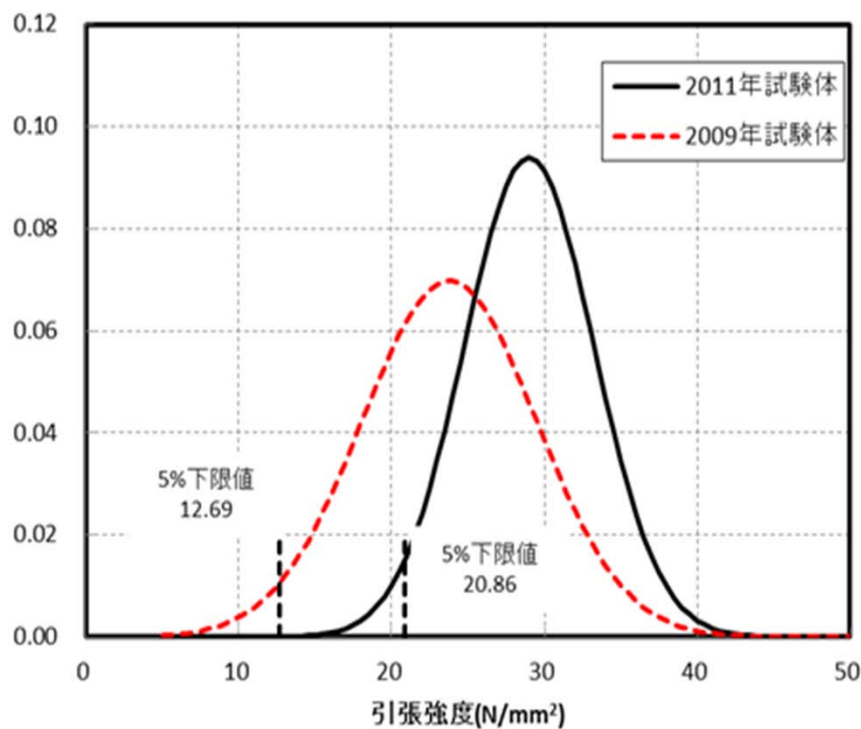
2009年度試験体(特注品)



2011年度試験体(市場品)

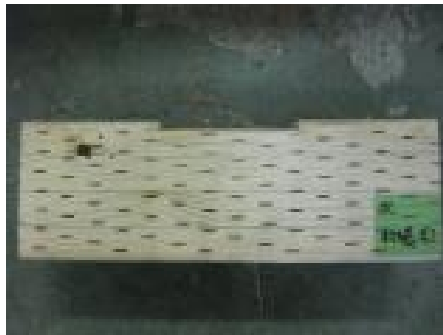
イ) 長期許容応力度(荷重継続時間の調整係数)の 検証(まとめ)

ラミナ引張強度分布及び 縦振動ヤング率と引張強度の関係



ロ) 木材のめり込みが建築物の安全性に与える影響に関する検証

- 要素実験: 柱土台接合部実験や動的壁実験で用いた土台の全面圧縮、部分圧縮試験による繊維に直角方向の挙動把握
- 接合部実験: 柱土台接合部の圧縮実験により土台に過大な圧縮力が生じたときのめり込み挙動把握
- 動的壁実験により過大な圧縮力が短時間に作用した場合の挙動把握



要素実験 試験後

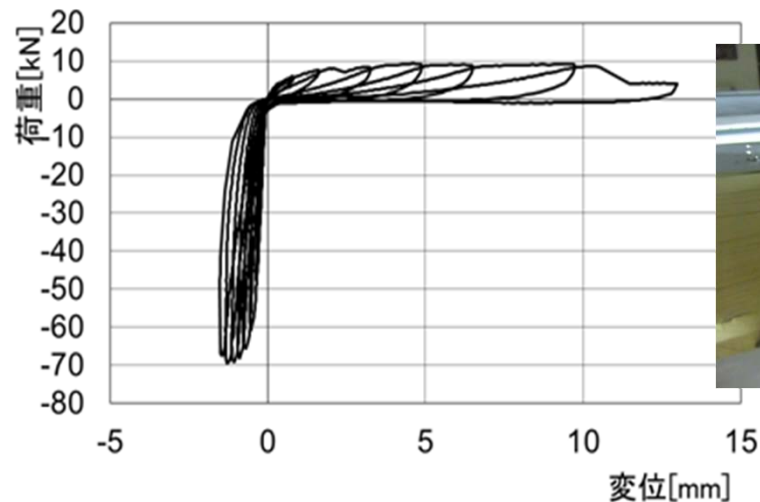
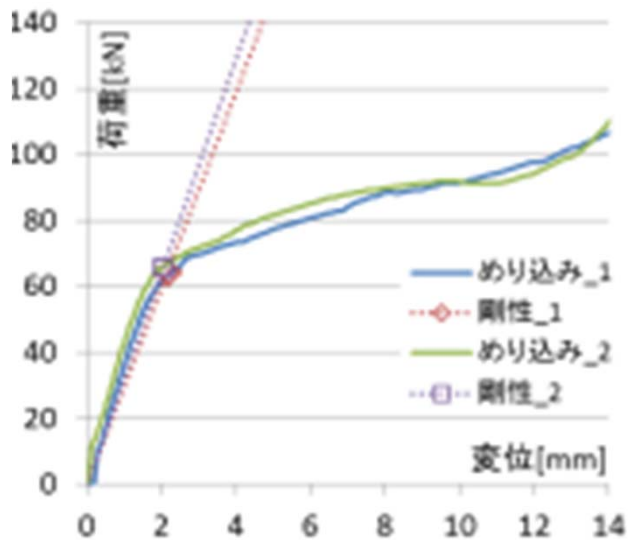


接合部実験



動的壁実験

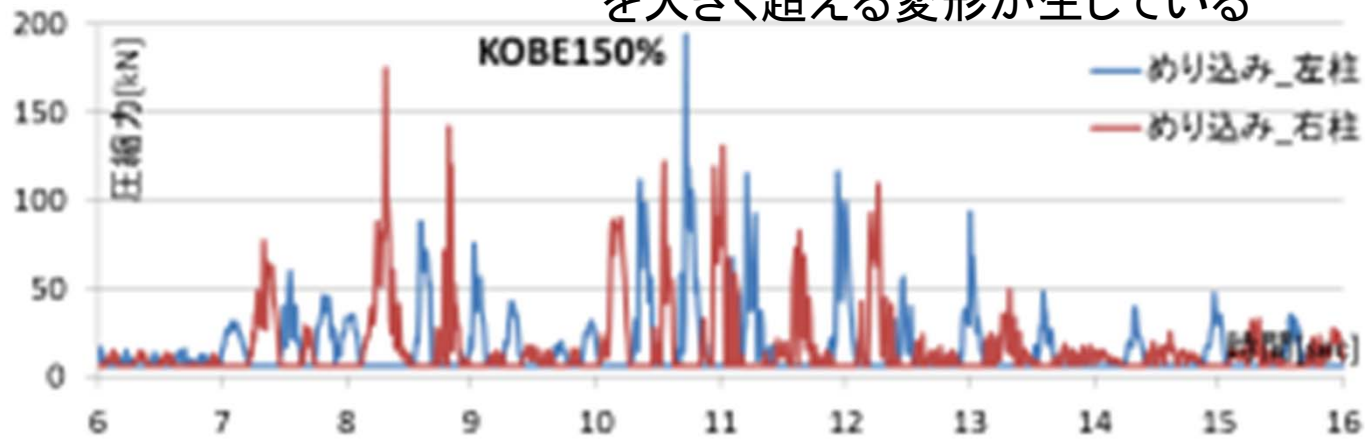
実験結果



単調部分圧縮試験

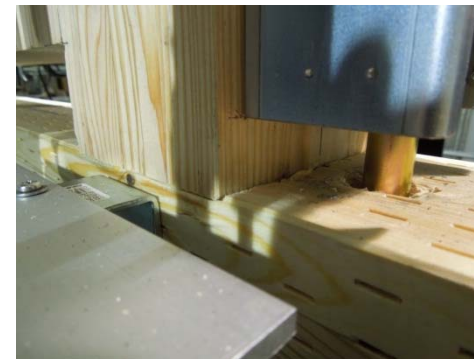
繰返し実験

瞬間的に部分圧縮試験の降伏点を大きく超える変形が生じている



動的壁実験

時間(s)



ロ)木材のめり込みが建築物の安全性に与える 影響に関する検証(まとめ)

繊維直角方向の特性値 (材中央部 単位: N/mm²)

	材料基準強度	短期許容応力度
Ⅱ類: ヒバ、ヒノキ、ベイヒ Ⅲ類: カラマツ、ツガほか	7.8	5.2

日本建築学会 「木質構造設計規準・同解説」

「製材の日本農林規格」 目視等級区分構造用製材および機械等級区分構造用製材

動的壁実験での作用外力

作用応力一覧 (N/mm²)

入力地震波	全断面有効	ほぞ除外
BSL100%	5.10	6.63
KOBE150%	16.55	21.53

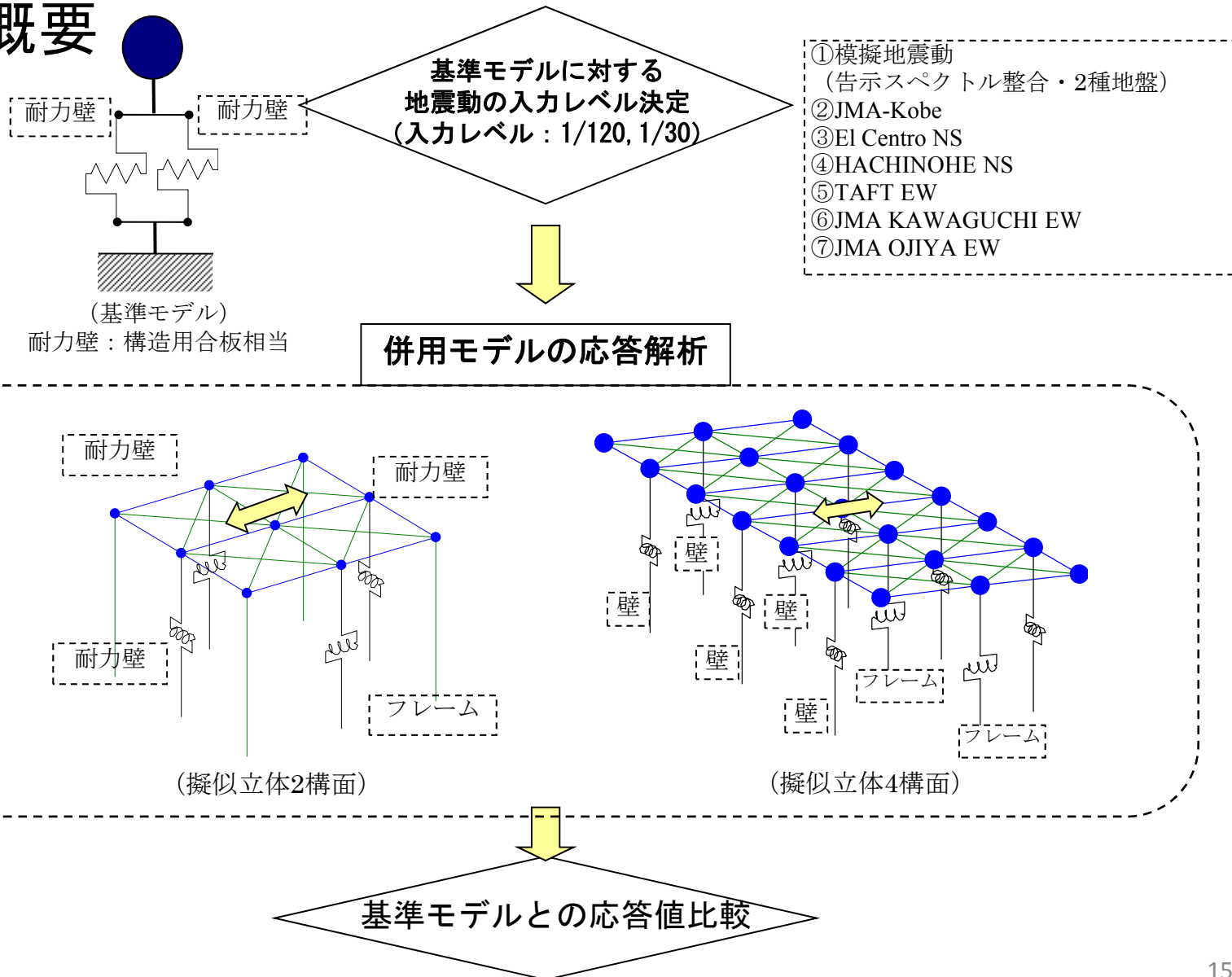
全断面有効とした場合であっても材料強度の2倍を超える外力が作用したが、1mm程度のめり込みがみられる程度で、その他の損傷は生じなかった

ハ) 変形能力の異なる耐力要素併用時の地震時の挙動の検証と計算法及び設計法の検討

- (1) 並列併用構造の構造性能に関する解析的検討
- (2) 集成材フレームの荷重変形性能予測の精緻化のための接合部性能の実験的検討
- (3) 集成材等建築物の構造設計法に関する検討

(1) 並列併用構造の構造性能に関する解析的検討

1) 検討概要

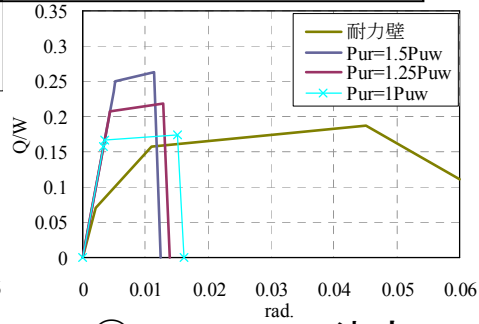
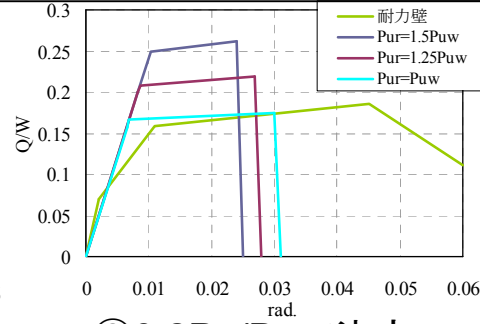
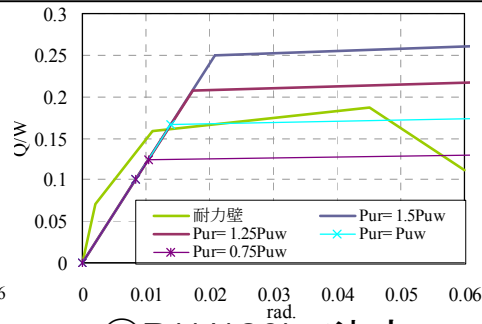
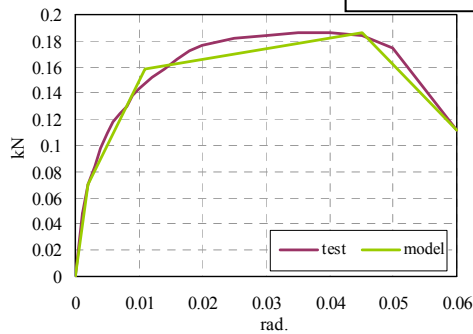


2) 解析モデル

① 耐力壁の骨格曲線：構造用合板の骨格曲線をトレース

② フレームの骨格曲線

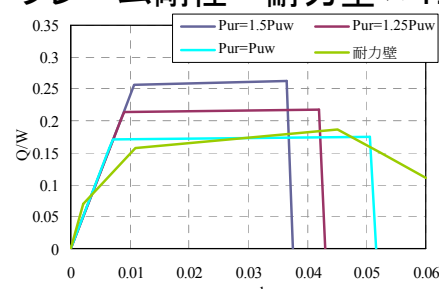
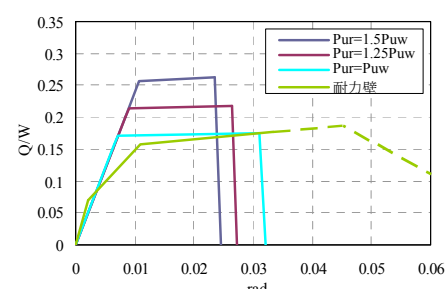
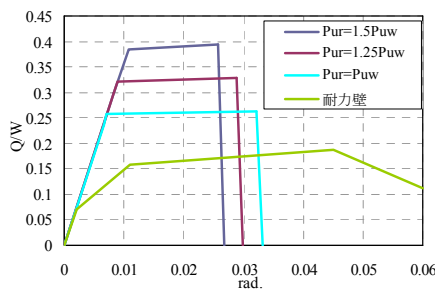
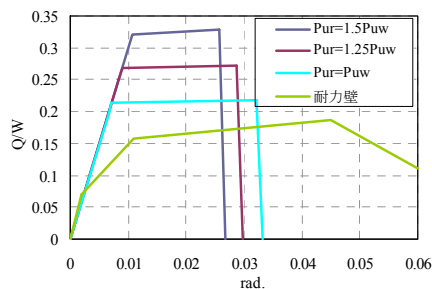
- ① $P(1/120)$ で決定
- ② $0.2Pu/Ds$ で決定 + フレームの弾性剛性 = 耐力壁の弾性剛性
- ③ $0.2Pu/Ds$ で決定 + フレームの弾性剛性 = 耐力壁の弾性剛性 $\times 1.5$



① $P(1/120)$ で決定

② $0.2Pu/Ds$ で決定
フレーム剛性 = 耐力壁剛性

③ $0.2Pu/Ds$ で決定
フレーム剛性 = 耐力壁 $\times 1.5$

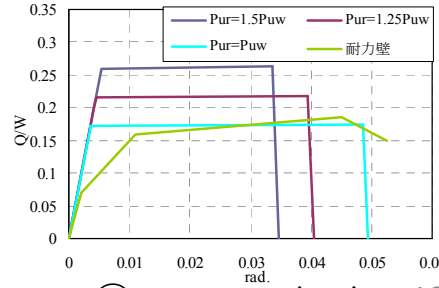
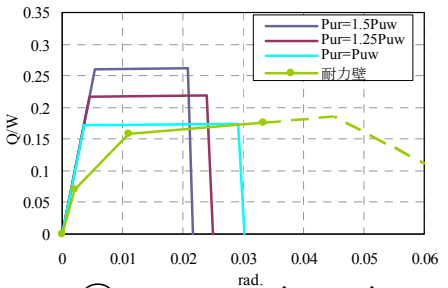
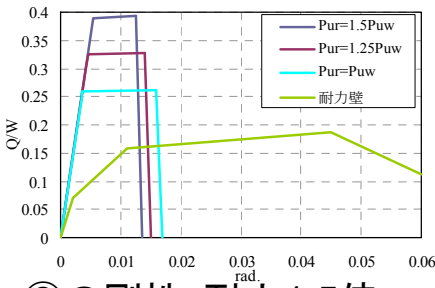
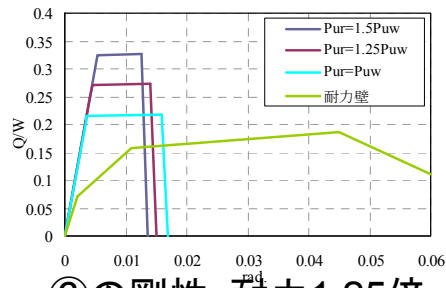


②の剛性・耐力1.25倍

②の剛性・耐力1.5倍

②の $E_F = E_W (1/30)$

②の $E_F = E_W (\delta u)$



③の剛性・耐力1.25倍

③の剛性・耐力1.5倍

③の $E_F = E_W (1/30)$

③の $E_F = E_W (\delta u)$

3) 復元力特性

Stewartモデルの履歴則(解析プログラム:Snap Ver.6)

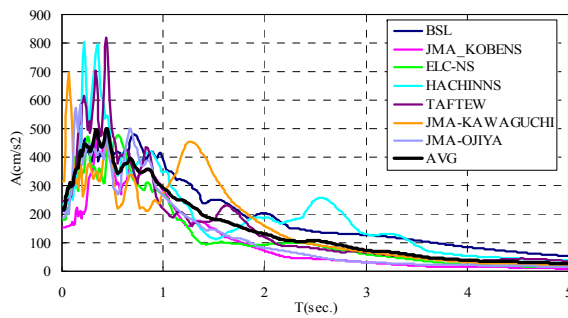
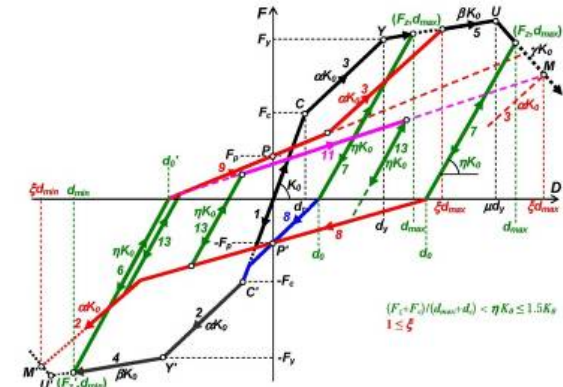
4) 解析モデル質量

フレーム及び耐力壁の短期許容せん断耐力の単純和を $C_0=0.2$ 相当の外力とし、その5倍を解析モデルの重量

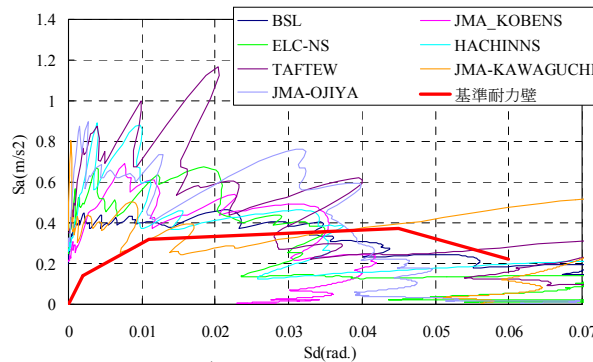
5) 入力地震動

1質点モデルに対し、観測地震波(4波)と模擬地震動(1波)を用いて応答解析。

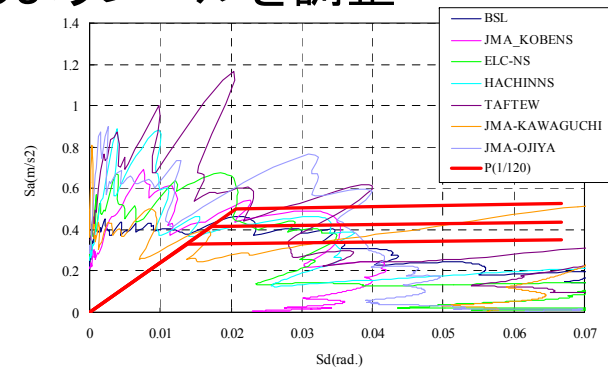
1質点モデルの**応答値が1/150rad.、約1/30rad.**となるようレベルを調整



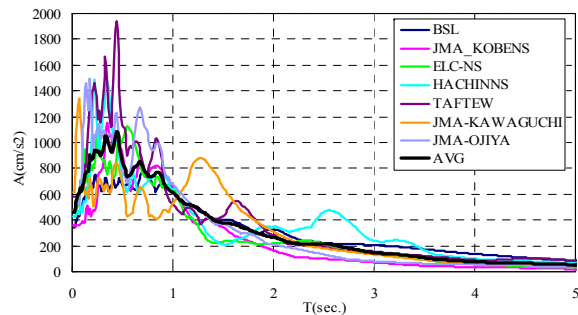
(1) 基準モデル1/120rad.応答レベル



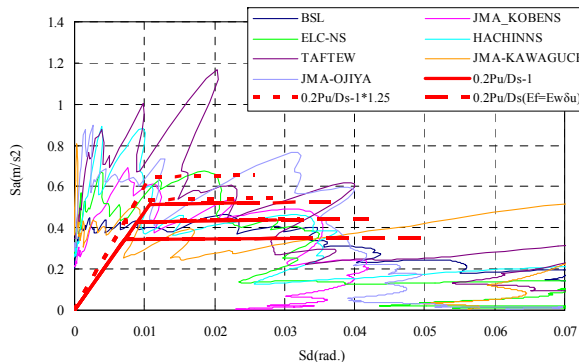
基準モデルSa-Sd曲線(h=15%)



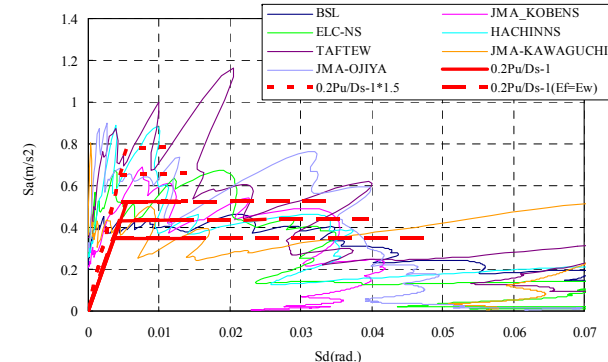
フレーム(P(1/120))Sa-Sd曲線



(2) 基準モデル1/30rad.応答レベル



フレーム(0.2Pu/Ds)剛性×1



フレーム(0.2Pu/Ds)剛性×2

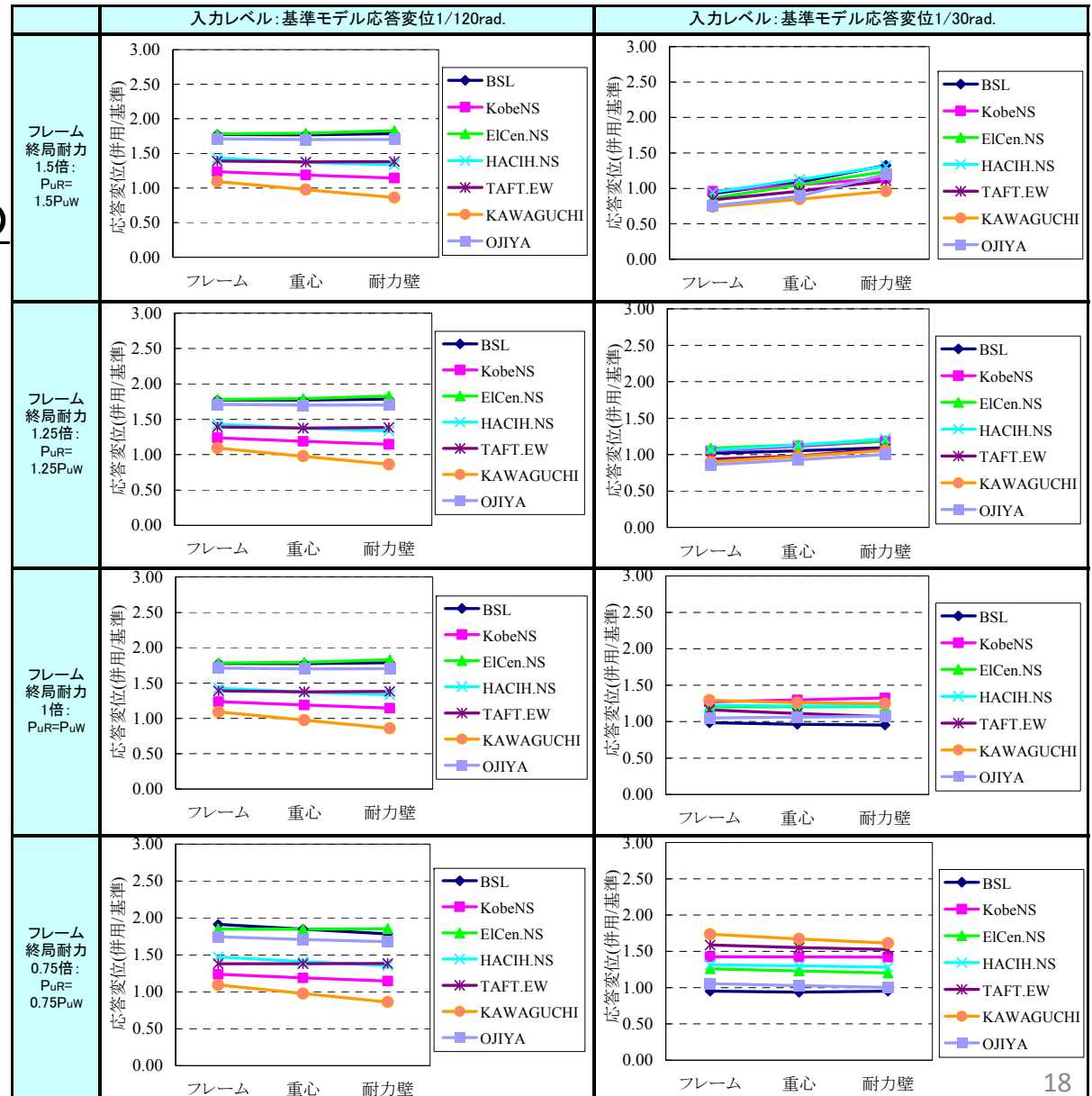
6) 解析結果の例

① フレーム短期許容せん断耐力がP(1/120)で決定する場合

・ 基準モデルの弾性応答レベルに対し併用モデルはフレーム側が1.8倍(1/65rad.)程度の応答変位

・ 基準モデルの弾塑性応答レベルに対し、併用モデルはフレーム、耐力壁共に最大1.5倍程度(1/20rad.)の応答変位

⇒ $h=10\% \sim 15\%$ の減衰を考慮した地震動とフレームの S_a-S_d 曲線の交点に相当



6) 解析結果の例(擬似立体2構面)

② フレームの短期許容せん断耐力が $0.2P_u/D_s$ で決定する場合

- ・ 基準モデルの弾性応答レベルに対し、併用モデルはフレーム側が0.5~1.0倍程度の応答、耐力壁側が最大で1.0~1.3倍程度の応答変位

- ・ 基準モデルの弾塑性応答レベルに対し、併用のモデルでは

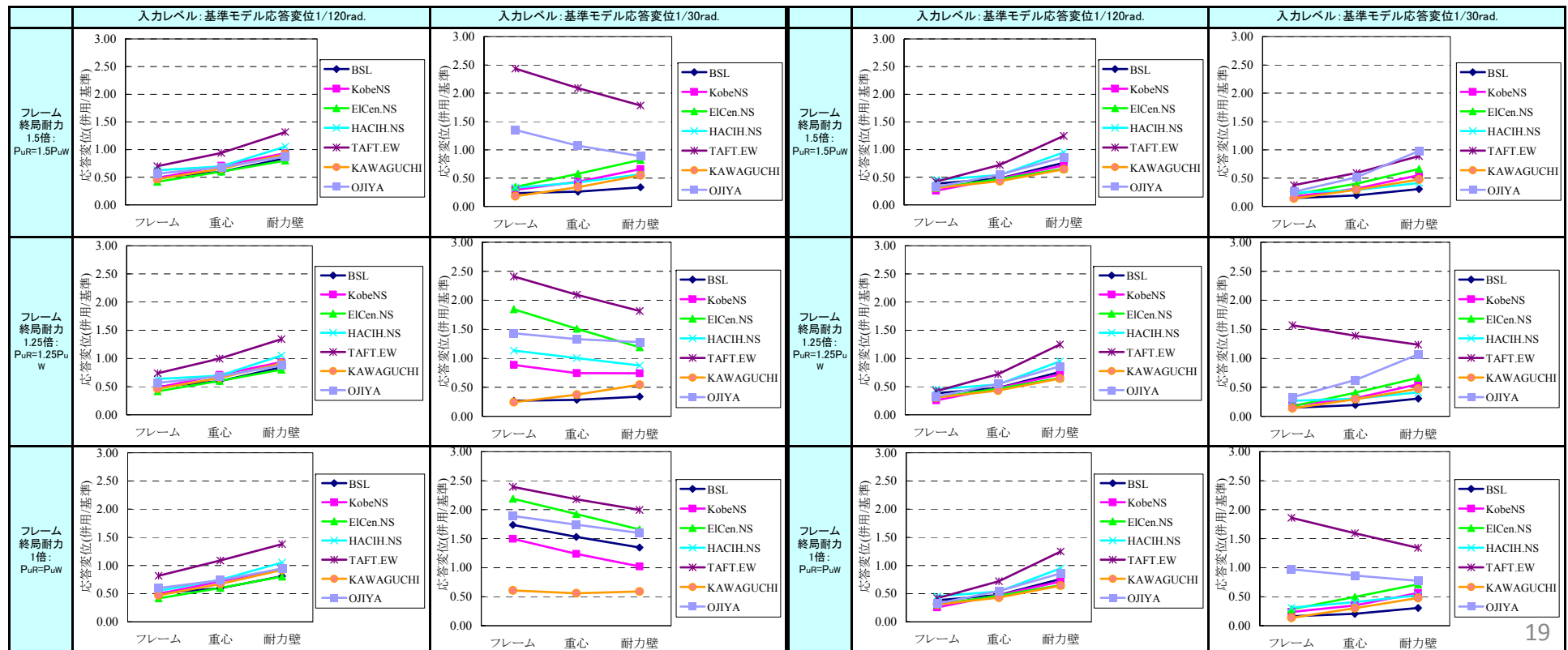
① 基本モデル、1.25倍、E(1/30)等価モデルではフレーム側が最大2.5倍程度の応答変位

② 1.5倍、E(δu)等価モデルでは、概ねフレーム側、耐力壁側の応答変位は1.0倍程度

⇒ $h=10\% \sim 15\%$ の減衰を考慮した地震動とフレームのSa-Sd曲線の交点に相当

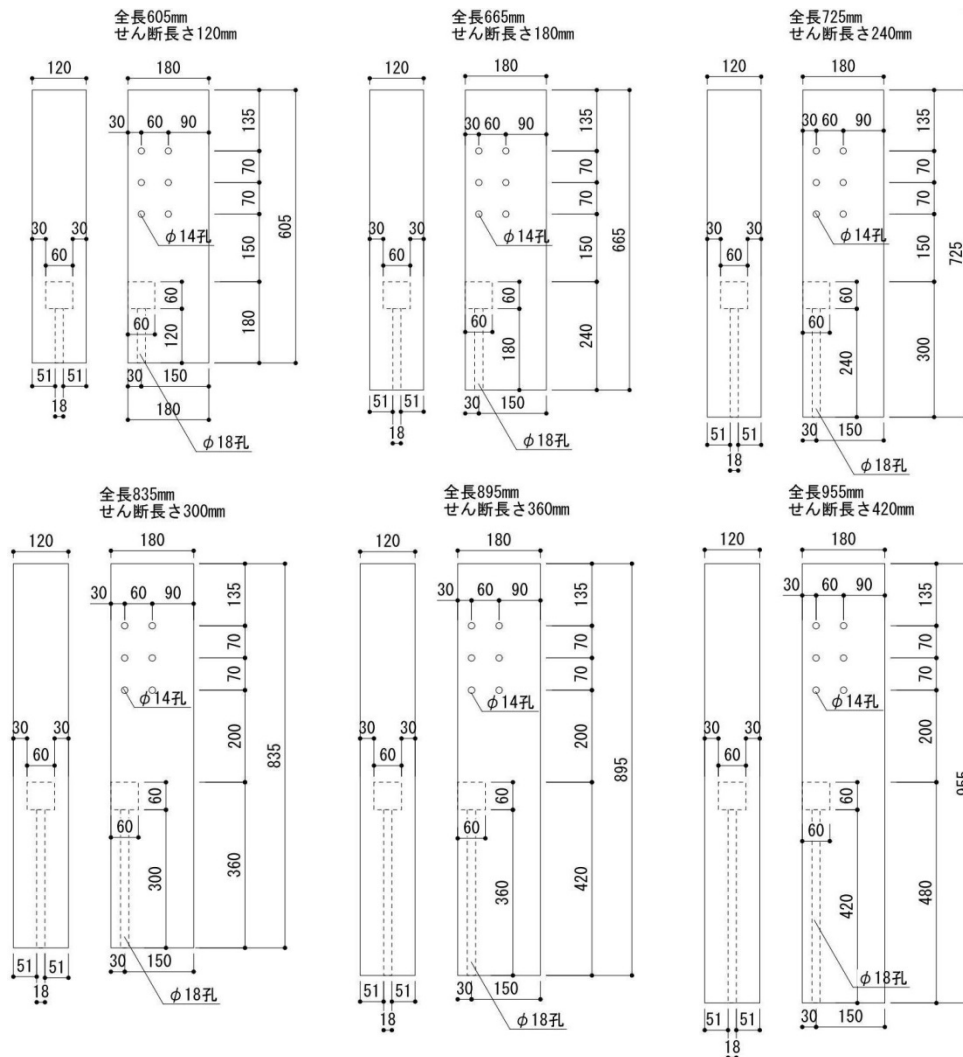
(a) フレーム短期 $0.2P_u/D_s$, $KF=2 \times KW$ で決定

(b) フレーム短期 $0.2P_u/D_s$, (a)の剛性・耐力 $\times 1.5$



(2) 集成材ラーメンの荷重変形性能予測の 精緻化のための接合部性能の実験的検討

- 1) 目的 **引きボルト接合部のせん断破壊時荷重を実験的に確認し、フレームの荷重変形性能の予測の精緻化のための技術資料を収集**

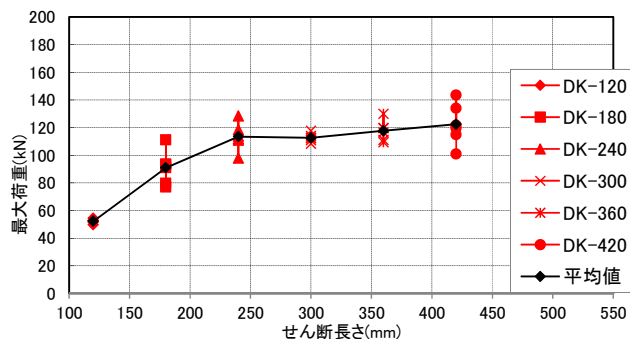


パラメータ:「樹種」、「せん断長さ」

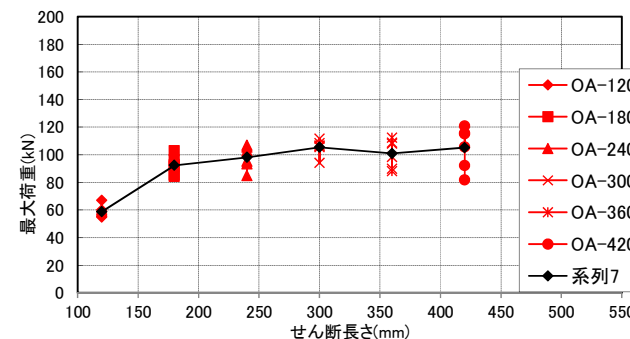
樹種	せん断長 (mm)	試験体全長 (mm)	試験体数
欧州 アカマツ 集成材	120	550	6
	180	610	6
	240	670	6
	300	730	6
	360	770	6
	420	830	6
(国産) カラマツ 集成材	120	550	6
	180	610	6
	240	670	6
	300	730	6
	360	770	6
	420	830	6

2) 実験結果

カラマツ同一等級



欧州アカマツ同一等級



3) 実験値と計算値の比較

<計算値>

- ・(木材)圧縮耐力 = 基準強度 (Fc) × 座金面積
- ・(木材)引張耐力 = 基準強度 (Ft) × 木材断面積 (座掘面積除く)
- ・(木材)せん断耐力 = 基準強度 (Fs) × せん断面積

		せん断長さ(mm)	120	180	240	300	360	420
カラマツ集成材 Fc=26.0 Ft =22.7 Fs =3.6(積層方向) 3.0(幅方向)	せん断長さ(mm)		120	180	240	300	360	420
	①(木材) 圧縮耐力kN		78.7	78.7	78.7	78.7	78.7	78.7
	②(木材) 引張耐力(kN)		408.6	408.6	408.6	408.6	408.6	408.6
	③(木材) せん断耐力(kN)		73.4	110.2	146.9	183.6	220.3	257
	最小値(kN)		73.4	78.7	78.7	78.7	78.7	78.7
	実験値(kN)		52.2	91	113.4	112.5	117.6	122.4
	実験値/計算最小値		0.71	1.16	1.44	1.43	1.5	1.56
欧州アカマツ集成材 Fc=28.1 Ft =24.5 Fs =3.6(積層方向) 3.0(幅方向)	せん断長さ(mm)		120	180	240	300	360	420
	①(木材) 圧縮耐力kN		85	85	85	85	85	85
	②(木材) 引張耐力(kN)		441	441	441	441	441	441
	③(木材) せん断耐力(kN)		73.4	110.2	146.9	183.6	220.3	257
	最小値(kN)		73.4	85	85	85	85	85
	実験値(kN)		58.8	92.3	98.1	105.4	100.9	105.2
	実験値/計算最小値		0.8	1.09	1.15	1.24	1.19	1.24

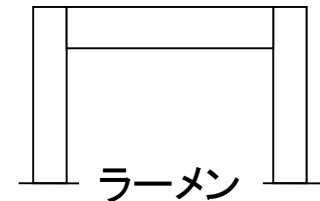
(3) 集成材等建築物の構造設計法に関する検討

平成23年度：終局耐力や靱性特性を考慮した設計法に関する問題点の整理、データ収集、予備解析、検討方針の策定

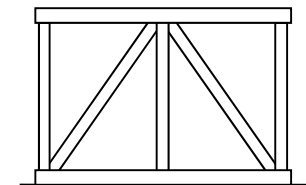
平成24年度：集成材等建築物の設計法に関する技術的資料とりまとめ

■ 検討対象とした接合形式・構造形式の組合せ

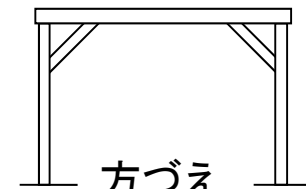
- 1) 引きボルト接合を用いたラーメン構造
- 2) 接着接合(グルードインロッド)を用いたラーメン構造
- 3) ラグスクリューボルト接合を用いたラーメン構造
- 4) 合わせ梁式モーメント抵抗接合を用いたラーメン構造
- 5) 鋼板挿入接合を用いたラーメン構造
- 6) ブレース構造とアーチ構造
- 7) ボルト接合を用いた方づえ構造



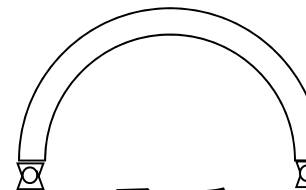
ラーメン



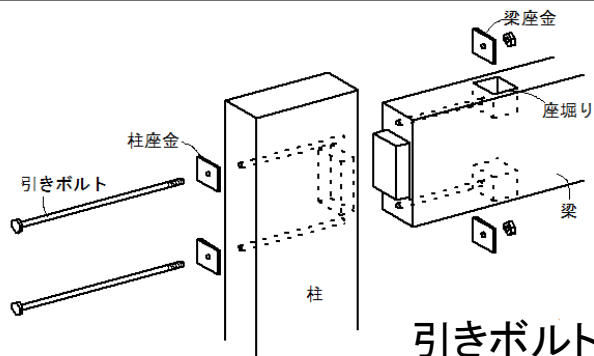
ブレース



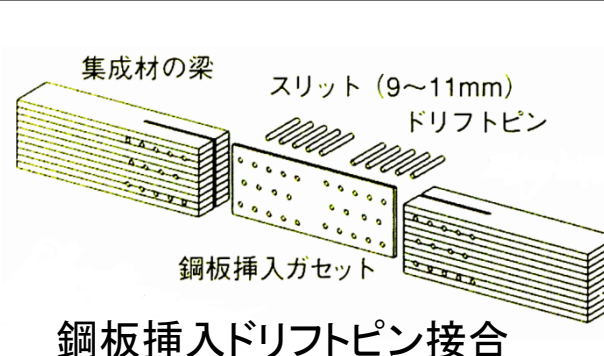
方づえ



アーチ



引きボルト



鋼板挿入ドリフトピン接合

■ 構造物全体の設計に係わる検討課題として水平構面剛性の考慮、損傷制御の考え方など11項目を抽出し検討を行った。

■ 接合形式・構造形式の組合せについて設計法に向けた検討を実施した。

1) 引きボルト接合を用いたラーメン構造

柱脚・基礎接合部の設計式の提案

2) 接着接合(グルードインロッド)を用いたラーメン構造、及び

3) ラグスクリューボルト接合を用いたラーメン構造

定着部分の強度予測式と、接合部曲げ耐力等の計算式の提案

4) 合わせ梁式モーメント抵抗接合を用いたラーメン構造

相欠き嵌合部を有する場合の接合部剛性耐力の計算方法の提案

5) 鋼板挿入接合を用いたラーメン構造

損傷制御型の接合仕様の提案と破壊モードや耐力の計算式の提案

6) ボルト接合を用いたブレース構造とアーチ構造

架構の靱性確保の観点から設計の考え方を整理

7) ボルト接合を用いた方づえ構造

挟み込みタイプの方杖構造の剛性・耐力計算式の提案

ハ) 変形能力の異なる耐力要素併用時の地震時の挙動の検証と計算法及び設計法の検討 (まとめ 1/2)

(1) 並列併用構造の構造性能に関する解析的検討

- ・基準モデル(耐力壁)と同程度の耐震性能を有する併用するフレームの必要性能は $h=10\sim 15\%$ の減衰を考慮した地震動の S_a-S_d 曲線と交点を持つような荷重変形性能を有する

(2) 集成材ラーメン構造(引きボルト形式)の構造性能予測の精緻化

以下の場合、実験値は計算値から概ね予測可能。

- ①計算値の最小が「せん断」の場合は計算値 \times 2/3
- ②計算値の最小が「圧縮」の場合は、計算値 \times 1.0

ハ) 変形能力の異なる耐力要素併用時の地震時の挙動の検証と計算法及び設計法の検討 (まとめ 2/2)

(3) 集成材等建築物の構造設計法に関する検討

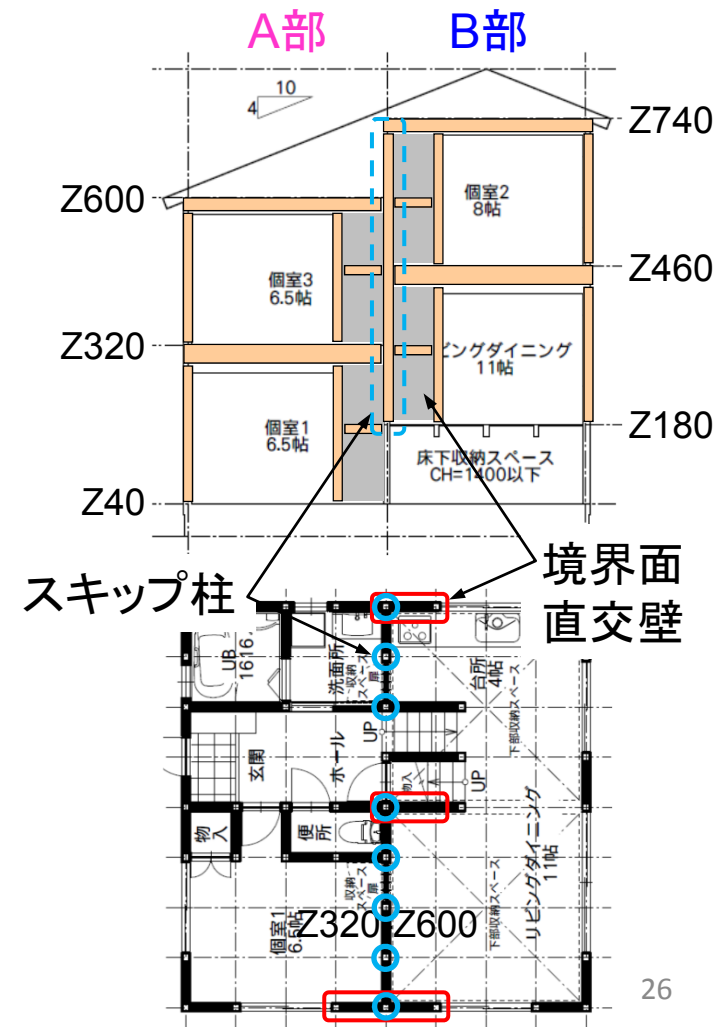
- (a) 構造物全体の設計に係わる検討課題として水平構面剛性の考慮、損傷制御の考え方など11項目を抽出、検討し整理した。今後、これらの課題について解析等に基づき詳細な検討を行う必要がある。
- (b) 具体的な接合形式・構造形式の組合せについて、剛性・耐力の計算式や破壊モード、靱性の確保方策など、設計法に向けた検討を実施した。

二) 平面・立面的に不整形な木造建築物に対する評価方法調査

1. スキップフロアの設計方法の検証

■ 目的: 現設計法の妥当性検証

- 1) 建物全体について許容応力度設計を満足
 - 地震力に対する水平耐力の検定比が1.0以下
 - 偏心率が0.3以下
- 2) スキップ境界面で区分されるA部、B部それぞれについて、
 - 地震力に対する水平耐力の検定比が1.0以下
 - 偏心率が0.3以下
 - A部・B部の水平耐力検定比が $3/4 \sim 4/3$ の範囲
 - スキップ境界面に直交して接する面材張り耐力壁(境界面直交壁)を配置



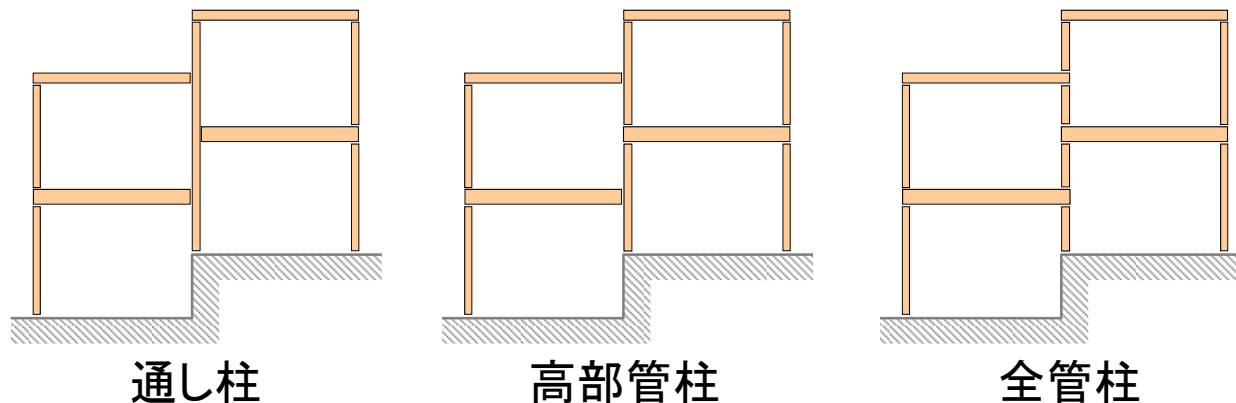
H21～23年度の検討

■検討方法

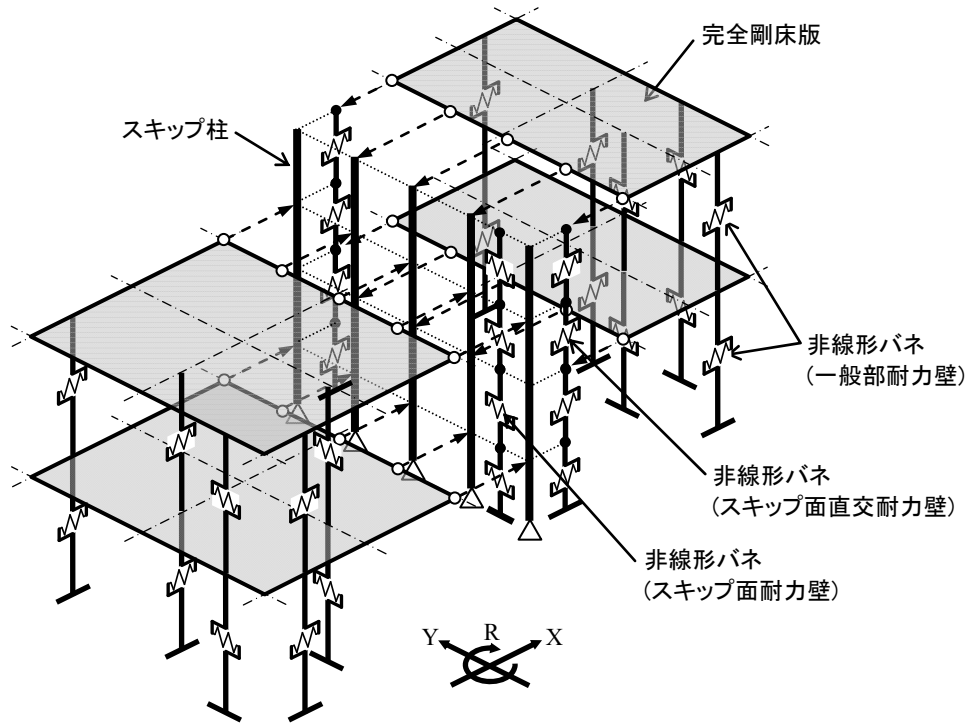
- 三次元フレームモデルを用いた時刻歴応答解析による木造スキップフロア建築物の耐震性能評価。

■主な結論

- スキップ柱を「全管柱」とする場合の耐震性能は一般建築物より低い。
- スキップ柱を「通し柱」または「高部管柱」とする場合は極稀地震時にスキップ柱の折損が生じやすい。
- ただし、スキップ柱の折損が生じなければ、スキップフロア建築物の耐震性能は同等の耐力壁量を有する一般建築物よりむしろ高い。
- かつ、等価一自由度系の有効質量は0.7以上であり、地震応答における一体性は満足されている。



H24年度の検討方針



①パラメトリック解析

- 完全剛床モデルを用いた増分解析 + 限界耐力計算による最大応答評価
- 全52200通り

②最大応答値データベース

③抽出条件に応じたデータ抽出

④抽出条件に応じた最大応答値

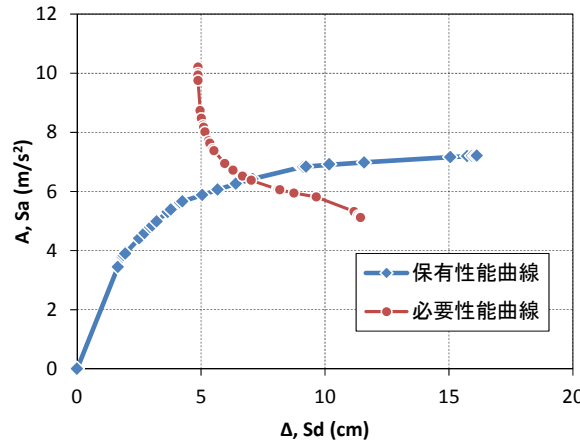
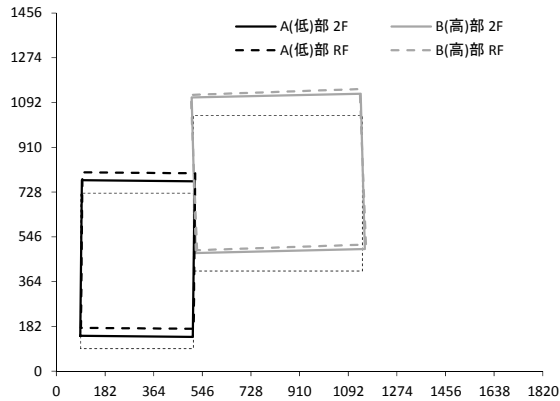
⑤所定の耐震性能を満足する抽出条件

⑥スキップフロア建築物の耐震設計基準

①パラメトリック解析、②データベース

段差H/2 スキップ柱:通し柱

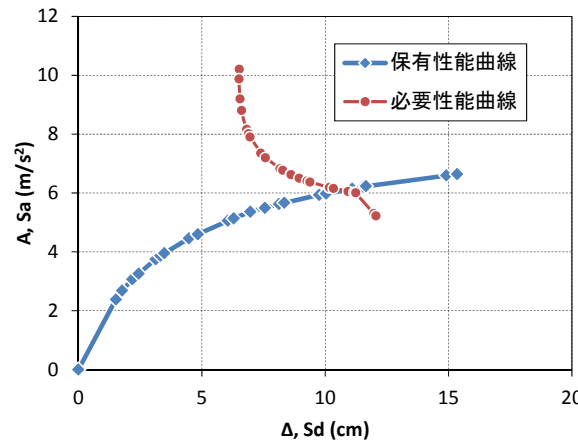
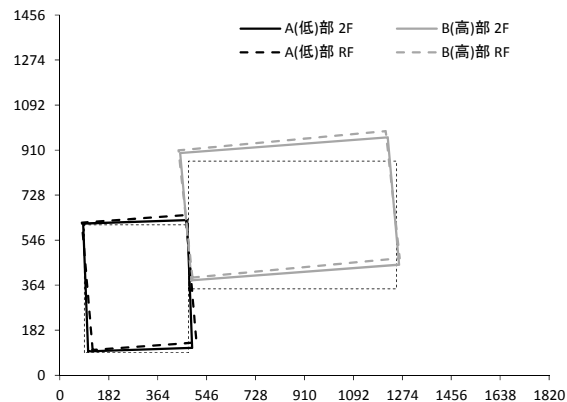
Y方向偏心率 A(低)部:0.299、B(高)部:0.265、全体:0.008 充足率比:0.895



有効質量比:0.951
耐震余裕度:1.409
スキップ柱検定比:・・・
スキップ柱-梁接合部引張力:
・・・

段差H/2 スキップ柱:通し柱

X方向偏心率 A(低)部:0.244、B(高)部:0.265、全体:0.267 充足率比:0.584



有効質量比:0.584
耐震余裕度:2.014
スキップ柱検定比:・・・
スキップ柱-梁接合部引張力:
・・・

③データ抽出

- 抽出のグループ
 - 1) 通し柱、スキップ面直交耐力壁無し
 - 2) 通し柱、スキップ面直交耐力壁有り
 - 3) 高部管柱、スキップ面直交耐力壁無し
 - 4) 高部管柱、スキップ面直交耐力壁有り

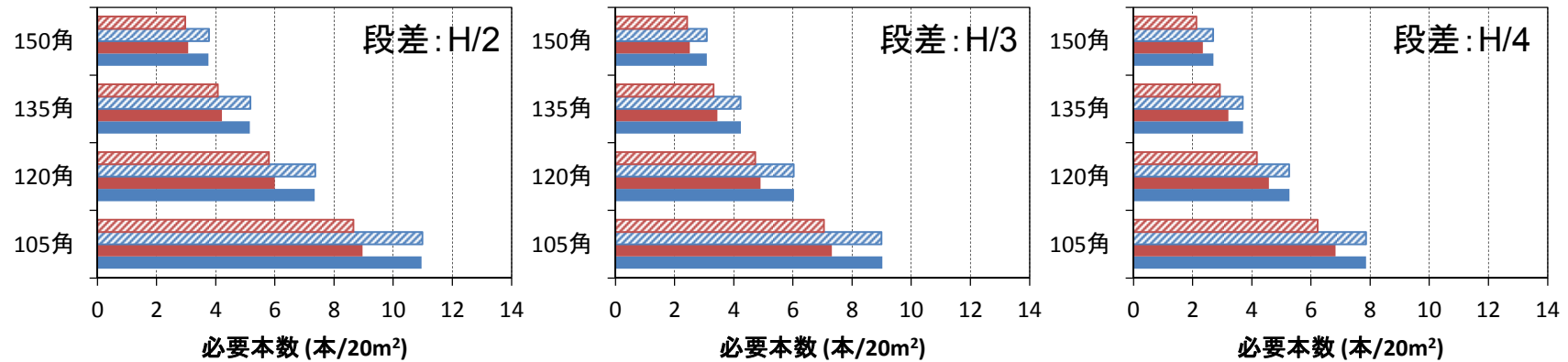
- 抽出条件
 - 1) 耐力壁充足率比 $0.75 \sim 1/0.75$ かつ 偏心率 ≤ 0.3
 - 2) 耐力壁充足率比 $0.75 \sim 1/0.75$ かつ 偏心率 ≤ 0.2

- 抽出項目
 - 1) 有効質量比
 - 2) 耐震余裕度
 - 3) スキップ柱の曲げ検定比 \Rightarrow 必要柱本数
 - 4) スキップ柱-梁接合部引張応力

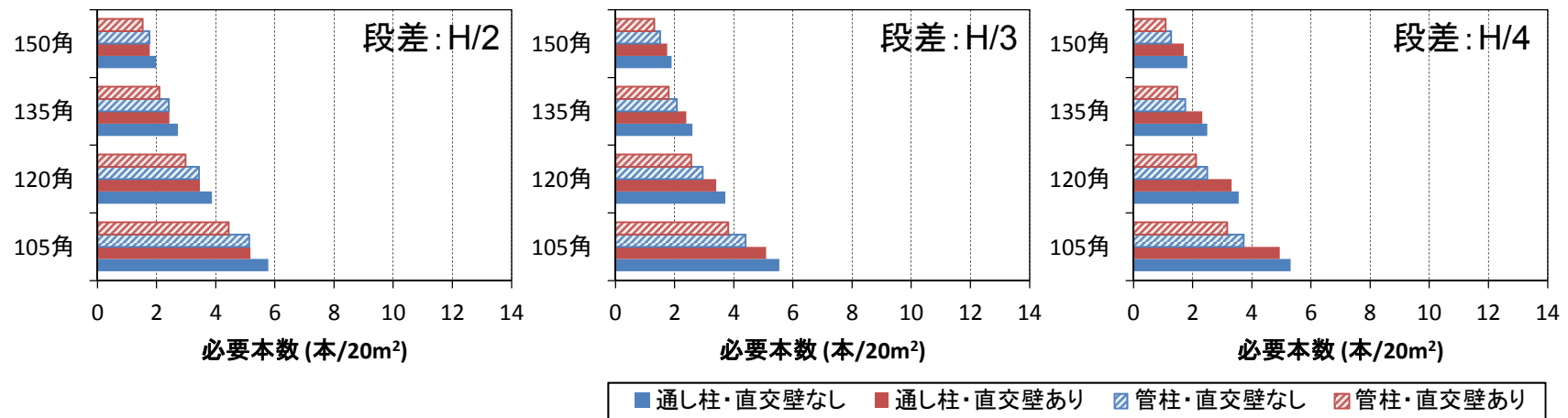
④抽出条件ごとの最大応答値

■スキップ柱の必要本数

抽出条件: 偏心率 ≤ 0.3 [有効質量比= 0.594~0.802 耐震余裕度= 0.894~1.065]



抽出条件: 偏心率 ≤ 0.2 [有効質量比= 0.815~0.976 耐震余裕度= 0.979~1.117]

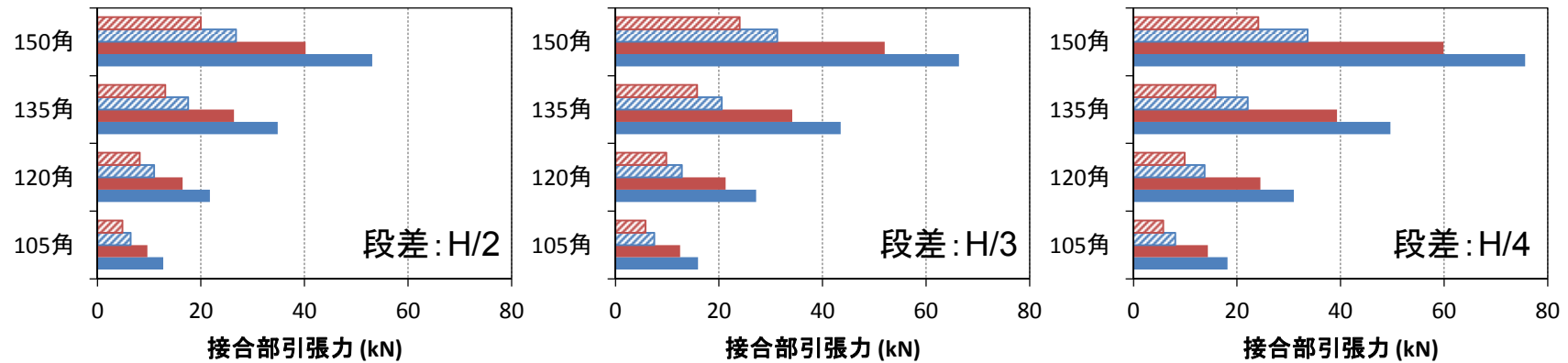


■ 通し柱・直交壁なし ■ 通し柱・直交壁あり ■ 管柱・直交壁なし ■ 管柱・直交壁あり

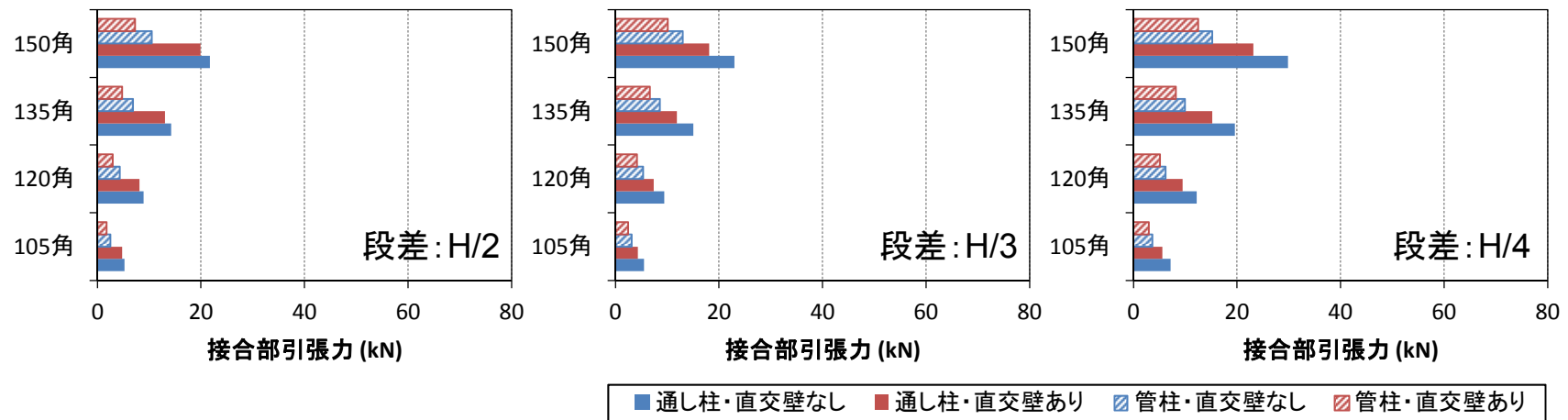
④抽出条件ごとの最大応答値

■スキップ柱-梁接合部の引張応力

抽出条件: 偏心率 ≤ 0.3



抽出条件: 偏心率 ≤ 0.2



二) 平面・立面的に不整形な木造建築物に対する評価方法調査

1. スキップフロアの設計方法の検証(まとめ)

■ 耐震設計法修正案

- 現行設計法を満足する。ただし、偏心率は0.2以下。
- 高部・低部の平面形状は概ね矩形、かつ縦横比は2以下。
- 全体形状は平面不整形に該当しない。
- スキップ柱は高部管柱とし、必要本数以上を概ね等間隔に配置する。

$$\text{必要本数} = 0.25 \cdot \frac{I_{105}}{I} \cdot S_{\min}$$

I : スキップ柱の断面二次モーメント

I_{105} : 105角柱の断面二次モーメント

S_{\min} : 高部・低部の1階床面積の小さい方(m²)

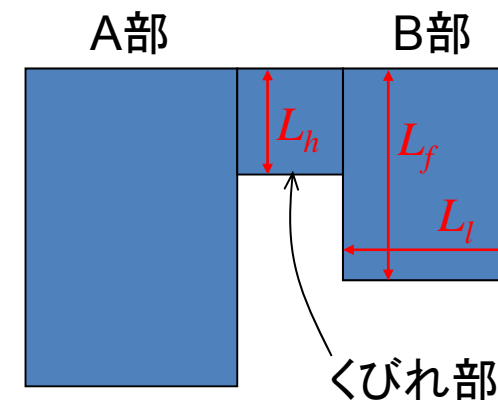
- スキップ面直交梁とスキップ柱接合部の終局引張耐力は下記の値以上とする。

$$\text{必要耐力} = 3.5 \cdot \frac{I}{I_{105}} \quad (\text{kN})$$

2. 不整形な形状を有する建築物の設計方法の検証

■ 現設計法の妥当性検証

- 1) 建物全体について許容応力度設計を満足する。
 - 鉛直構面・水平構面の地震力に対する水平耐力の検定比を1.0以下とする。
 - 偏心率を0.3以下とする。
- 2) 次の条件のすべてに該当する場合は、水平構面の検定比が1.0以下であっても3)に示す検定を行うことが望ましい(検定比 >1.0 であれば必須)。
 - B部の平面の面積が 14m^2 以上
 - B部奥行き L_f に対するくびれ部の奥行き L_h の比率が $1/2$ 未満
 - B部の幅 L_l に対するくびれ部の奥行き L_h の比率が $1/2$ 未満
- 3) つなぎ部分を含む水平構面の地震時面内せん断力が許容耐力を超える場合はA部、B部それぞれについて、
 - 地震力に対する水平耐力の検定比を1.0以下とする。
 - 偏心率を0.3以下とする。
 - A部・B部の水平耐力検定比を $3/4 \sim 4/3$ の範囲内とする。



検討概要

■H21～23年度

検討方法

- 現設計法をぎりぎり満足する平面不整形建築物を対象とした時刻歴応答解析シミュレーションによる耐震性能評価。

主な結論

- 現設計法を満足し、かつ、くびれ(弱床)部分の許容面内せん断耐力を床倍率1.0相当以上とすれば、くびれ部分のせん断変形は許容範囲に納まり、地震応答における一体性も確保される。

■H24年度

- H23年度までの結論の妥当性の再確認。

現設計法による弱床部の必要せん断耐力

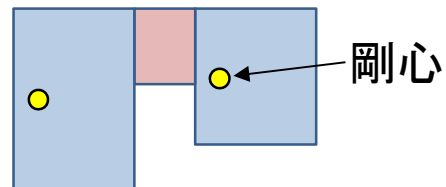
現設計法による必要床倍率

平面形	耐力壁配置※	2階	R階
コ形	AY	0.572	0.561
	BY	0.341	0.331
矩形	AY	0.145	0.142
	E3	0.004	0.004

AY: B部充足率/A部充足率 = 0.7 (Y方向のみ)

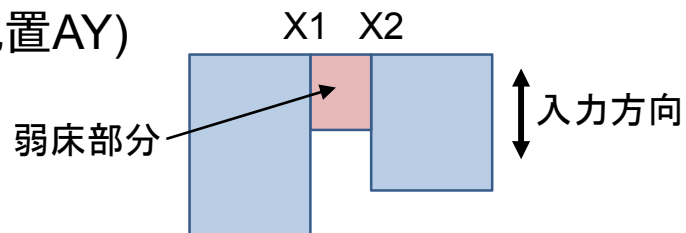
BY: B部充足率/A部充足率 = 1/0.7 (Y方向のみ)

E3: 偏心状態3 (下図)

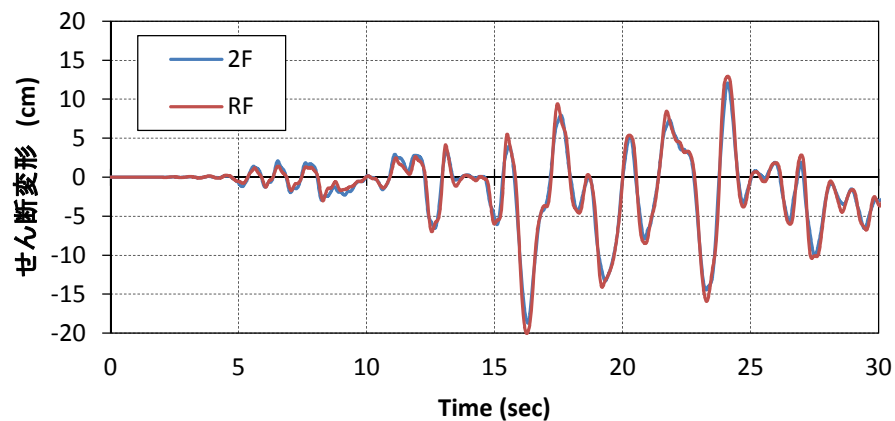
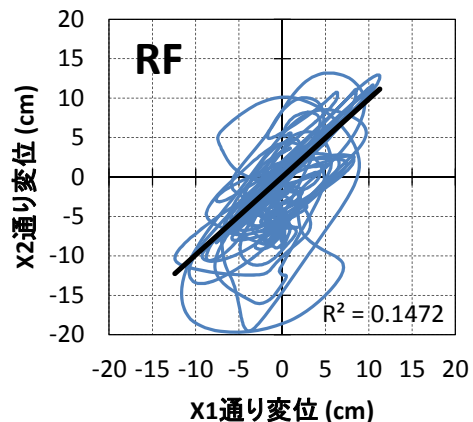
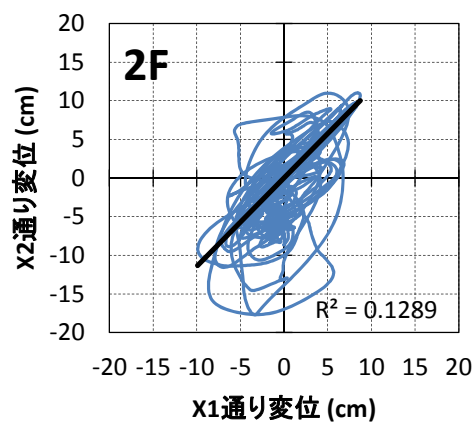


設計用下限床倍率による応答性状の相違

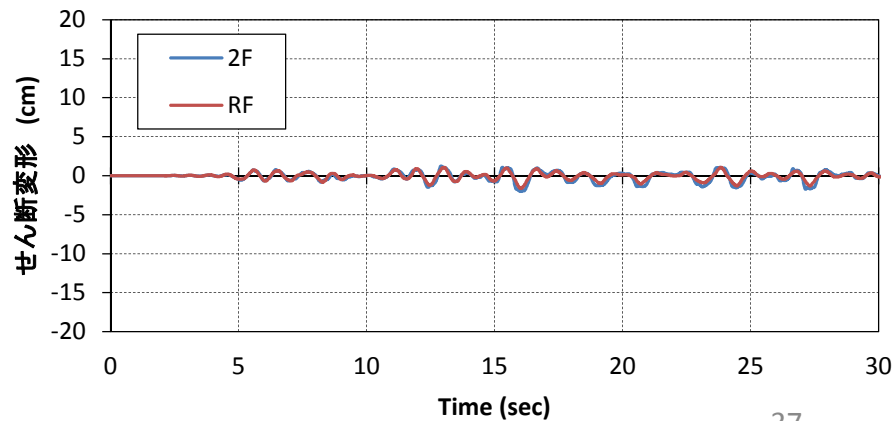
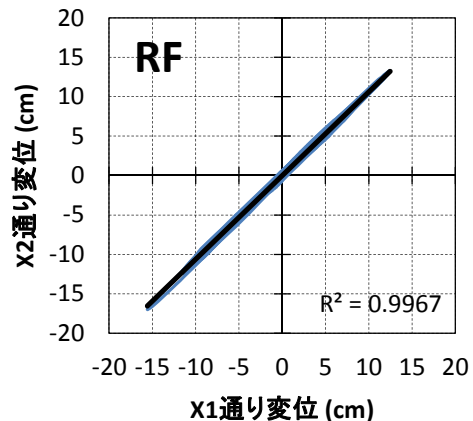
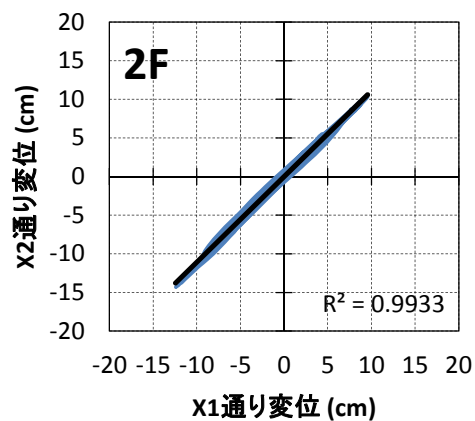
コ形平面 (耐力壁配置AY)



下限床倍率0.5

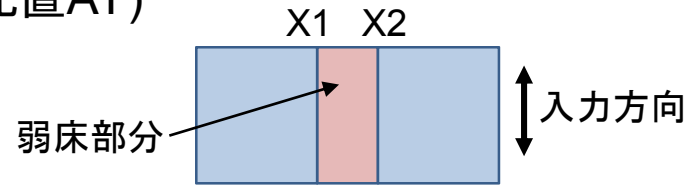


下限床倍率1.0

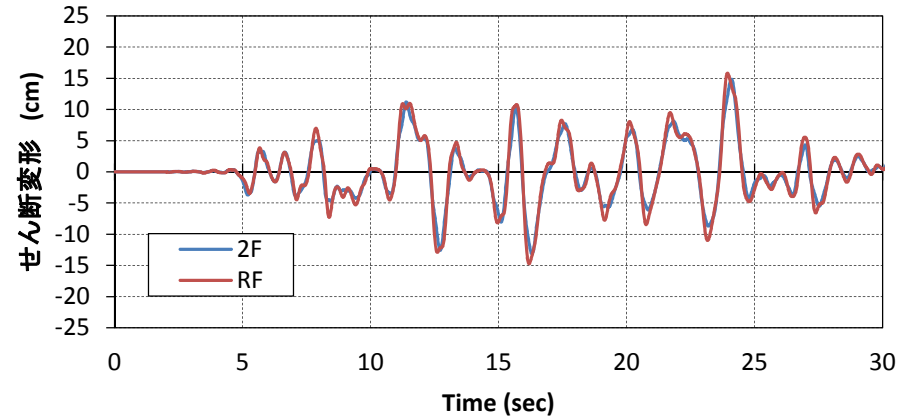
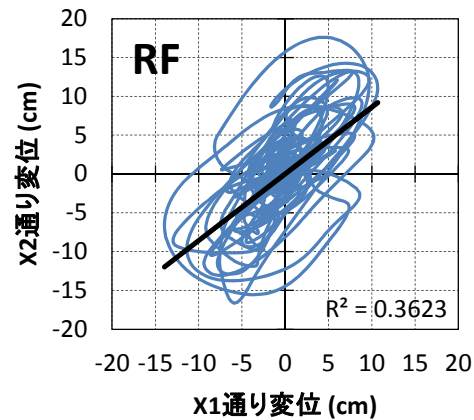
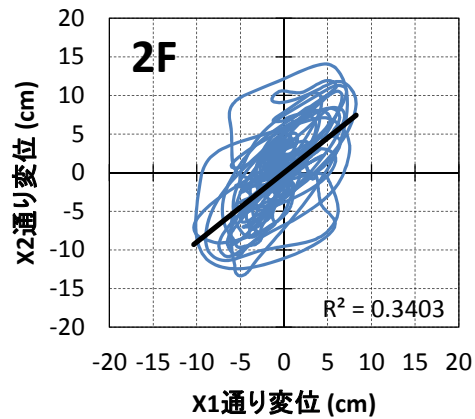


設計用下限床倍率による応答性状の相違

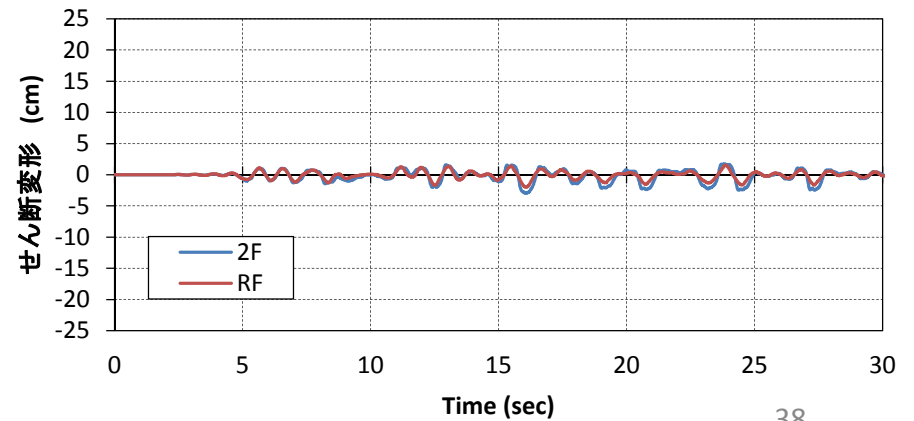
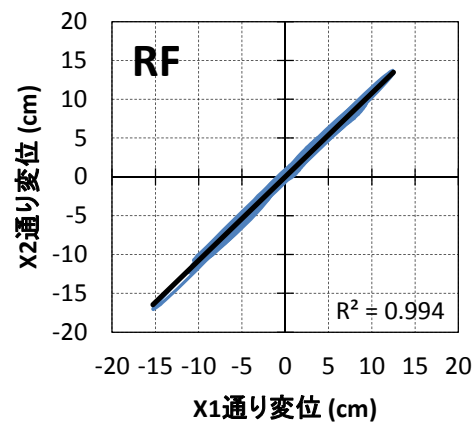
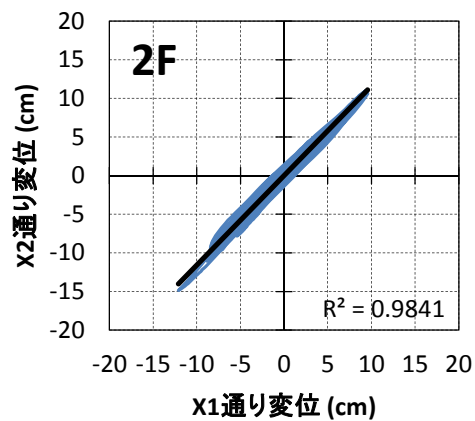
矩形平面 (耐力壁配置AY)



下限床倍率 0



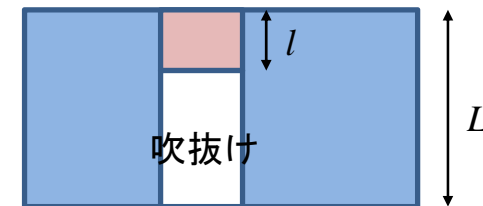
下限床倍率 0.5



二) 平面・立面的に不整形な木造建築物に対する評価方法調査

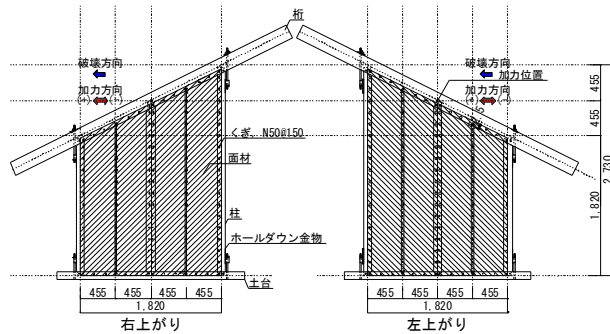
2. 不整形な形状を有する建築物の設計方法の検証(まとめ)

- 平面不整形建築物のくびれ(弱床)部分の設計用下限せん断耐力を1.96kN/mとすれば、耐震性能上の安全性が確保されることが再度確認された。
- 矩形あるいはそれに近い整形建築物においても、建物平面の中間に耐力が低い水平構面がある場合は当該部分を弱床部分として平面不整形に関する規定を適用するとともに、設計用下限せん断耐力を0.98kN/m以上に設定する必要がある。
- 実際の水平構面の許容せん断耐力が0.98kN/mを下回ることは稀と考えられるが、右図のように階段室等の吹抜け部分が存在する場合は下限値を割増す必要があることに注意する。

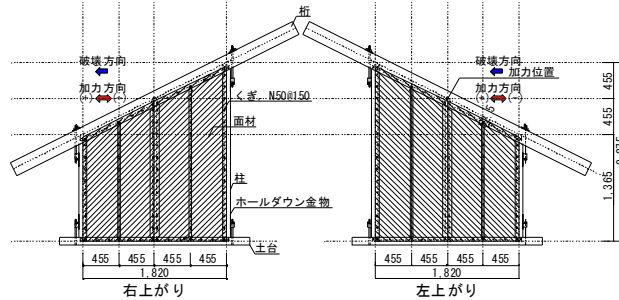


$$\text{下限値} = 0.98 \cdot \frac{L}{l}$$

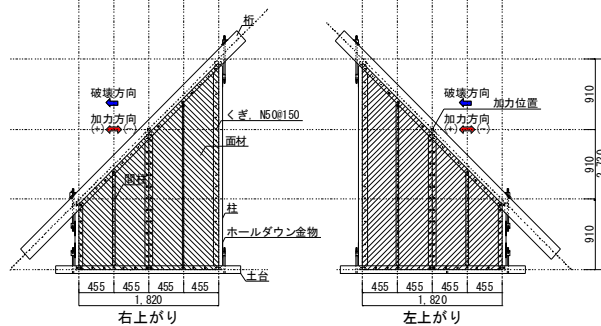
3. 斜め桁を有する鉛直構面の評価方法の提案



N5/10-2275-P, N5/10-2275-9-P N5/10-2275-M, N5/10-2275-9-M
 桁の傾斜: 5寸勾配 壁高さ: 2275mm, 面材厚さ: 7.5mm及び9mm



N5/10-1820-P, N5/10-1820-P N5/10-1820-M, N5/10-1820-M
 桁の傾斜: 5寸勾配 壁高さ: 1820mm, 面材厚さ: 7.5mm



N10/10-1820-P N10/10-1820-M
 桁の傾斜: 10寸勾配 壁高さ: 1820mm, 面材厚さ: 7.5mm

試験体の形状

一般的な住宅の階高2730mmが壁高さの上限とした試験体で面内せん断試験を実施

パラメータ
 桁の勾配: 5寸, 10寸
 壁高さ: 1820mm, 2275mm (平均高さ)
 面材の厚さ: 7.5mm, 9mm

試験体の一覧

試験体記号	桁の傾斜		壁高さ mm	壁長さ mm	面材		軸組材等 mm	接合方法 mm	数量
	勾配	向き			種類	厚さ mm			
N5/10-2275-P	5寸	右上がり	2275*	1820	構造用合板 (国産からまつ) JAS特類2級	7.5	土台 樹種: すぎ 寸法: 105×105 柱 樹種: すぎ 寸法: 105×105	面材と軸組 N50 くぎ打ち 外周部@150 中間部@150 縁距離 25	各 3
N5/10-2275-M		左上がり							
N5/10-2275-9-P		右上がり			9				
N5/10-2275-9-M		左上がり							
N5/10-1820-P	10寸	右上がり	1820*	1820	構造用合板 (べいまつ) JAS特類2級	7.5	梁 樹種: べいまつ 寸法: 180×105 間柱 樹種: すぎ 寸法: 30×105	柱頭柱脚仕口 20kN用 ホールダウン金物 短ほぞ差し及び 2-N90 平打ち	
N5/10-1820-M		左上がり							
N10/10-1820-P		右上がり			JAS特類2級				
N10/10-1820-M		左上がり							

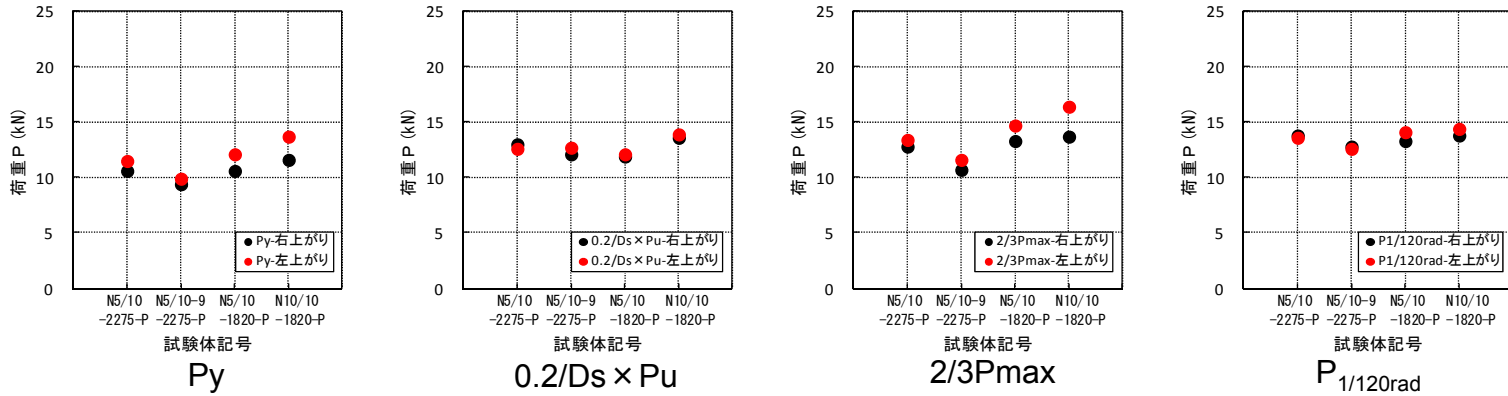
(注) 表中の*の壁高さは、斜め桁を有する面材耐力壁の中柱位置での壁高さを示す

実験結果

実験結果の一覧

試験体記号	梁の傾斜		面材厚さ mm	壁高さ (加力位置) mm	壁長さ mm	(a) Py kN	(b) (0.2/Ds) × Pu kN	(c) 2/3Pmax kN	(d) P _{1/120rad} kN	短期基準 せん断耐力 Po kN	見掛けの 壁倍率
	向き	勾配									
N5/10-2275-P	右上がり	5寸	7.5	2275	1820	10.6	13.0	12.8	13.8	10.6	2.8
N5/10-2275-9-P			9			9.4	12.1	10.7	12.8	9.4	2.5
N5/10-1820-P		10寸	7.5	1820		10.6	11.9	13.3	13.3	10.6	2.8
N10/10-1820-P			11.6			13.6	13.7	13.8	11.6	3.1	
N5/10-2275-M	左上がり	5寸	7.5	2275		11.5	12.6	13.4	13.6	11.5	3.1
N5/10-2275-9-M			9			9.9	12.7	11.6	12.6	9.9	2.6
N5/10-1820-M		10寸	7.5	1820		12.1	12.1	14.7	14.1	12.1	3.2
N10/10-1820-M						13.7	13.9	16.4	14.4	13.7	3.6

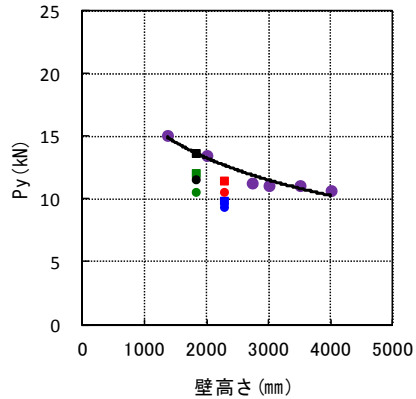
- (注) 1. □で囲んだ荷重は各指標値のうち最も小さい値を示す。
 2. 表中の見掛けの壁倍率は、低減係数を0.95と仮定して算出したものである。



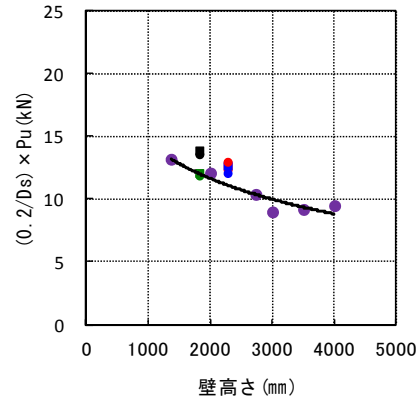
4指標の比較

矩形面材耐力壁との比較

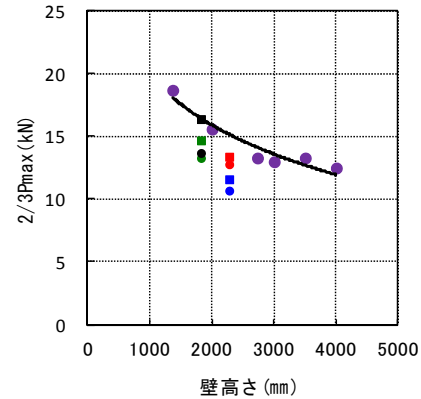
平均壁高さと同程度の矩形面材耐力壁と比較



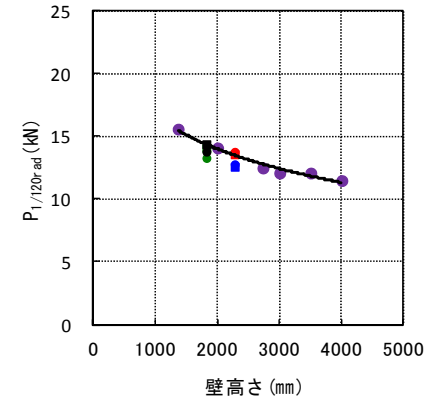
Py



$0.2/D_s \times P_u$

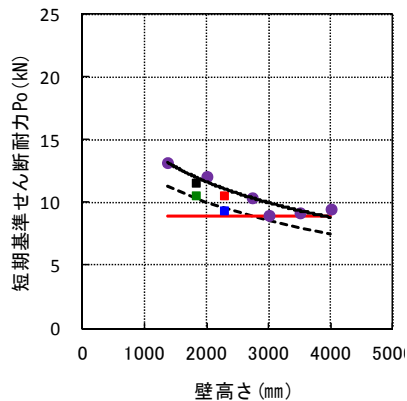


$2/3P_{max}$

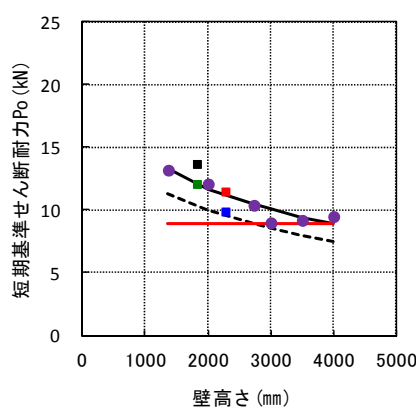


$P_{1/120rad}$

4指標



右上がり



左上がり

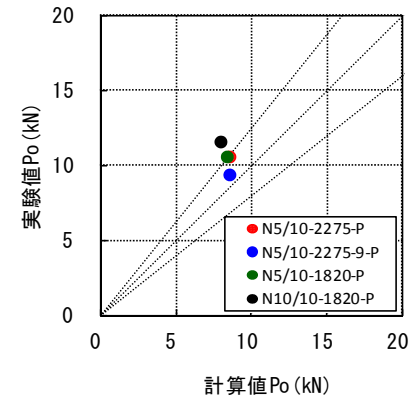
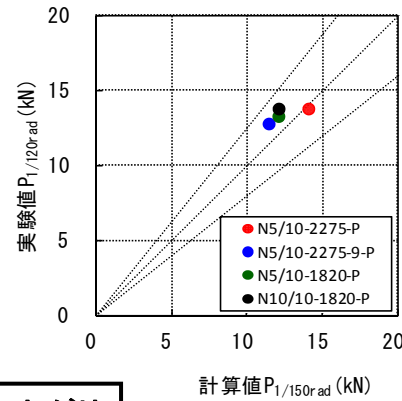
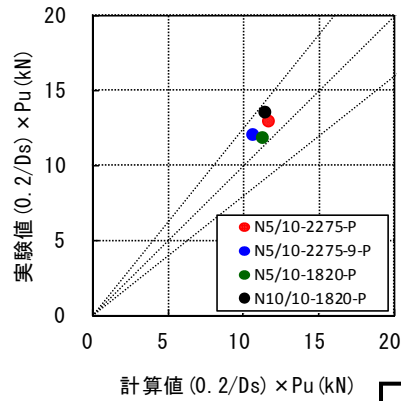
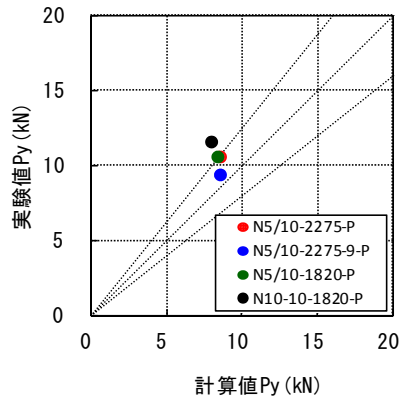
短期基準せん断耐力

- 矩形面材耐力壁
- 近似曲線
- - - 近似曲線 (15%低減)
- N5/10-2275
- N5/10-2275-9
- N5/10-1820
- N10/10-1820
- 壁倍率2.5

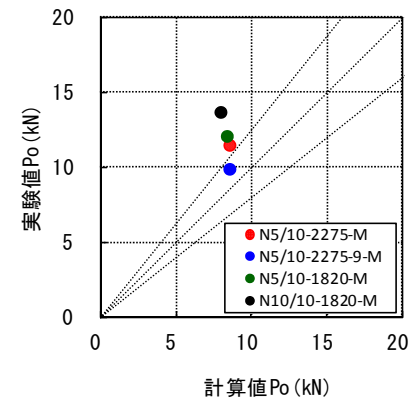
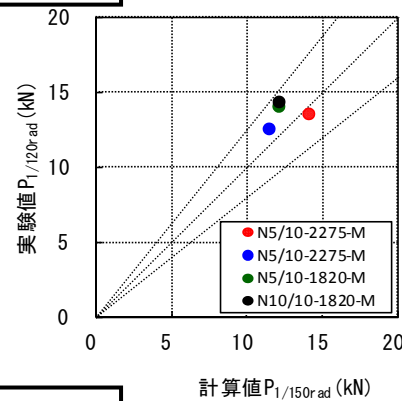
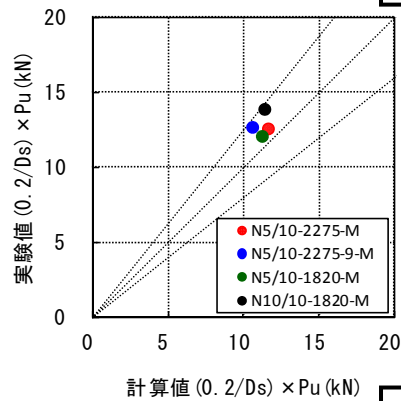
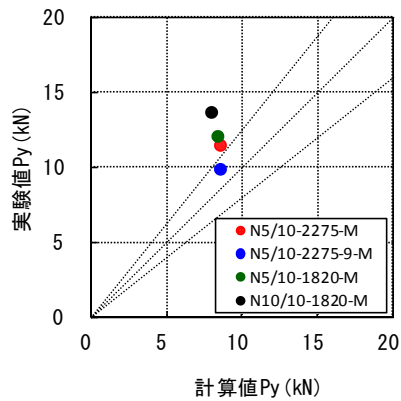
一般的な階高を上限とした壁高さであれば壁量計算の壁倍率としてカウント

壁高さが一般的な階高より高くなると所定の壁倍率を下回る危険性があり、注意が必要

面材張り大壁の詳細計算法による検証



右上がり



左上がり

斜め桁に適用するために
いくつかの仮定条件を設定



計算結果は概ね実験結果を
安全側に評価

二) 平面・立面的に不整形な木造建築物に対する評価方法調査

3. 斜め桁を有する鉛直構面の評価方法の提案(まとめ)

平均壁高さと同程度の矩形面材耐力壁として評価した場合、一般的な階高を上限とした壁高さであれば所定の壁倍率を満足しており、壁量計算の壁倍率としてカウントできると考えられる。

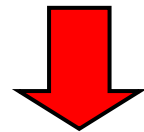
ただし、平均壁高さが一般的な階高より高くなると所定の壁倍率を下回る危険性があり、注意が必要である。

詳細計算を行う場合、既往の計算方法を用いて計算した結果、安全側の評価が可能である。

4. 長尺の筋かい壁に所定倍率を与えるための接合部仕様 検討とその検証実験

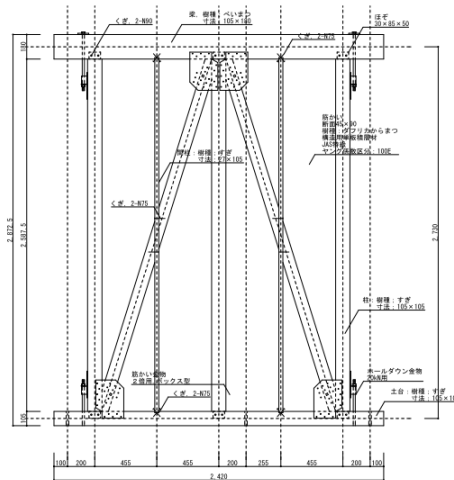
平成22～23年度、ボックス型筋かい、プレート型筋かい金物を用いた長尺筋かい壁の面内せん断実験を行った。

→ボックス型筋かいを用いた長尺筋かいでは所定の性能を満たさない可能性

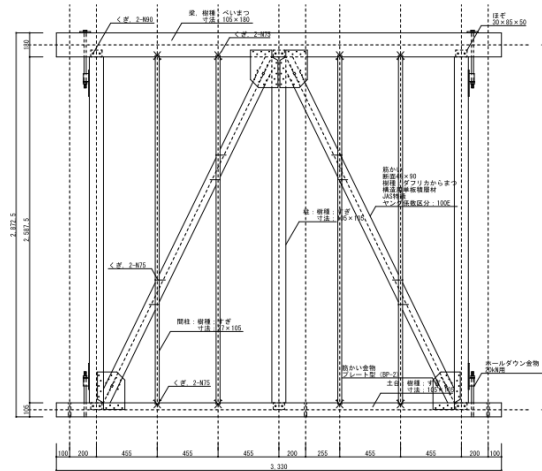


本年度は、プレート型金物を用いた筋かい耐力壁について、1P～2Pにスパンが渡る筋かい壁をハの字に配置をしてせん断実験を実施した。

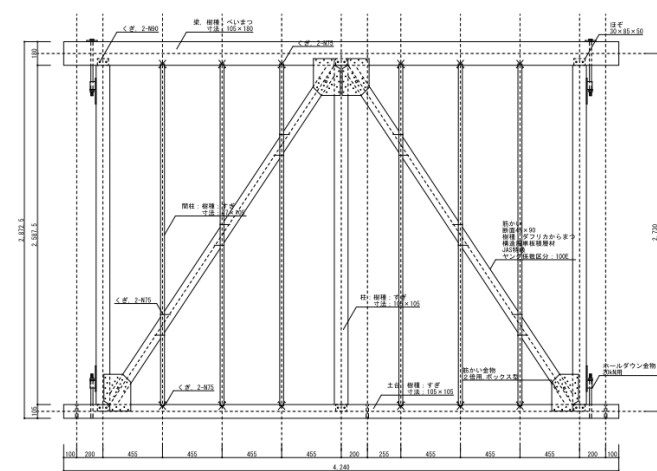
長尺筋かい壁の面内せん断実験



BP2-2P



BP2-3P



BP2-4P

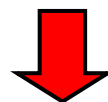
試験体名	接合部金物	面材	筋かいスパン	試験体数	中柱の柱脚 柱頭接合部
BP2-2P	プレート型	無し	1P	1	釘打ち
BP2-3P	プレート型	無し	1.5P	1	釘打ち
BP2-4P	プレート型	無し	2P	1	釘打ち
BP2-4P-HD	プレート型	無し	2P	3	HD 金物

長尺筋かい壁の面内せん断実験

試験体	4指標 (kN)				短期基準せん断耐力(kN)	見かけの壁倍率
	P_y	$0.2P_u/D_s$	$2/3P_{max}$	$P_{1/120}$		
BP2-2P	12.9	<u>7.3</u>	13.7	11.3	7.3	2.0
BP2-3P	13.5	<u>10.0</u>	19.2	23.2	10.0	1.9
BP2-4P	20.2	<u>12.6</u>	24.7	34.6	12.6	1.8
BP2-4P-HD	26.3	<u>18.4</u>	29.3	38.7	18.4	2.6
BP2-4P-HD	24.5	<u>18.0</u>	27.6	36.0	18.0	2.5
BP2-4P-HD	28.4	<u>17.8</u>	30.7	39.1	17.8	2.5

中柱接合部の先行破壊

筋かい耐力壁の要求性能(壁倍率:2倍)と同等以上の性能



(まとめ)

プレート型筋かい金物を用いた場合は2P程度の長尺筋かいは所定の性能を満足することを確認

5. 斜めに配置された耐力壁の評価方法の提案

斜めに配置した耐力壁の耐力性能の検証実験、関連接合部実験及び解析的試みを、前年度までに実施した。

本年度はこれらの結果の総合的とりまとめを報告する。

- ①4指標値の低減傾向
- ②指標の最小値の決定傾向と塑性率等の確認
- ③4指標の配置角度に伴うばらつき係数の傾向の確認
- ④ 配置角度と低減係数 α
- ⑤壁倍率の低減率
- ⑥耐力壁の面外方向の影響の確認
- ⑦斜めに配置された耐力壁の評価
- ⑧建物に斜め壁を配置したときの課題

4指標値の低減傾向

- ①4つの耐力指標のいずれによろうとも、耐力は $\text{COS}\theta$ 低減で捉えられる。
- ②特定変形角の P_{120} より、耐力壁剛性は配置角度30度程度までは $\text{COS}^2\theta$ に近傍し、配置角度が大きくなるに従い $\text{COS}\theta$ 低減側に近づく。 $\text{COS}\theta$ と $\text{COS}^2\theta$ の範囲の低減率程度になる。
- ③50%下限値によっても上記の傾向に違いはない。

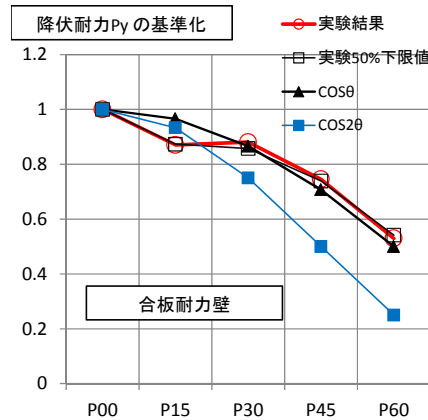


図5.5.1 降伏耐力（合板耐力壁）

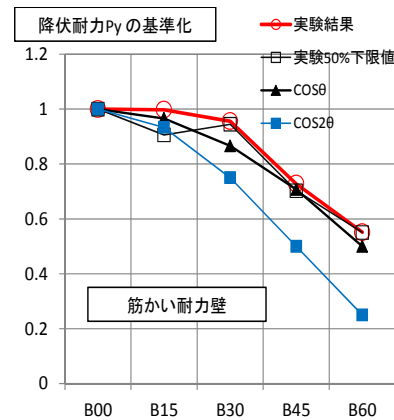


図5.5.2 降伏耐力（筋かい耐力壁）

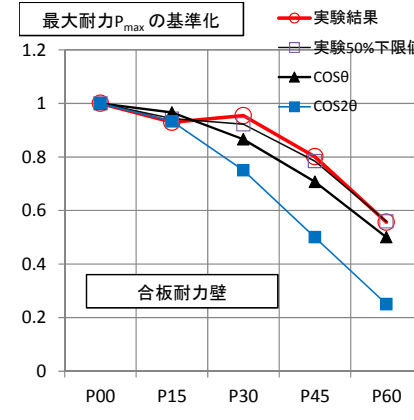


図5.5.3 最大耐力（合板耐力壁）

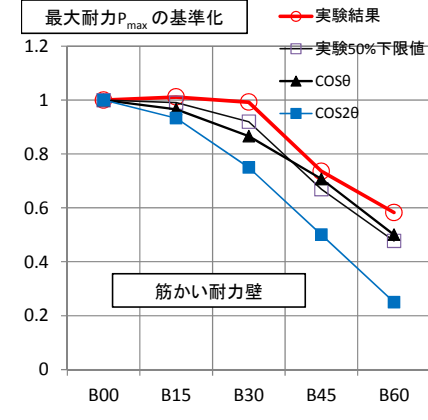


図5.5.4 最大耐力（筋かい耐力壁）

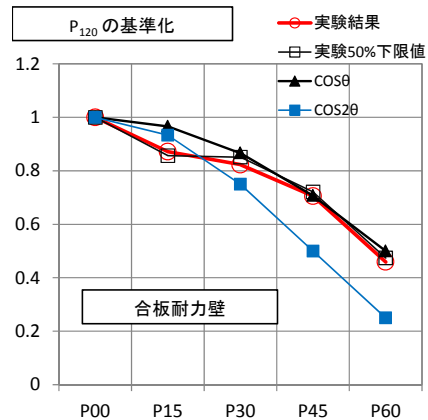


図5.5.5 P_{120} （合板耐力壁）

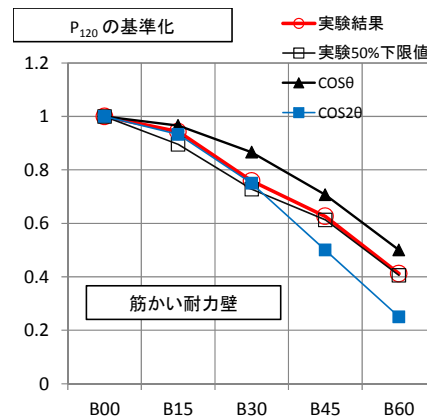


図5.5.6 P_{120} （筋かい耐力壁）

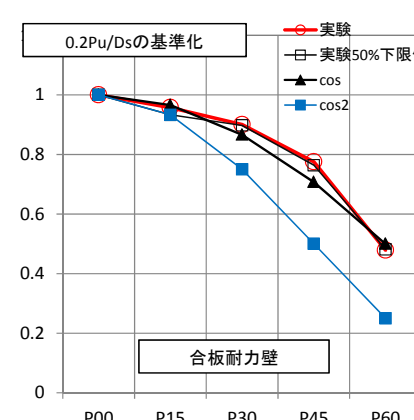


図5.5.7 $0.2P_u/D_s$ （合板耐力壁）

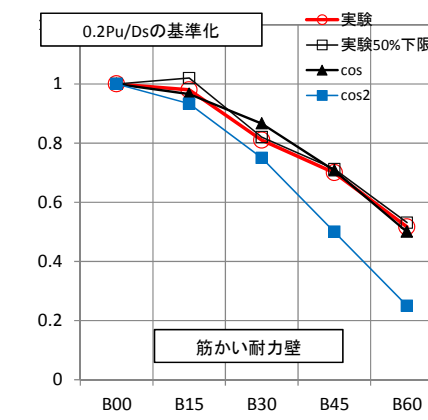


図5.5.8 $0.2P_u/D_s$ （筋かい耐力壁）

4指標の最小値の決定傾向と

塑性率等の確認

表5.5.5 4指標の最小値 (50%下限値) 色塗りは最小値

		2/3Pmax	Py	P120	0.2Pu/Ds
合板耐力壁	P00	15.76	12.41	12.38	11.44
	P15	14.87	10.84	10.61	10.67
	P30	14.53	10.64	10.54	10.26
	P45	12.36	9.17	8.93	8.73
	P60	8.82	6.72	5.87	5.51
筋かい耐力壁	B00	16.63	13.93	15.68	9.02
	B15	16.48	12.62	14.04	9.20
	B30	15.30	13.16	11.41	7.40
	B45	11.13	9.79	9.61	6.42
	B60	7.94	7.66	6.36	4.79

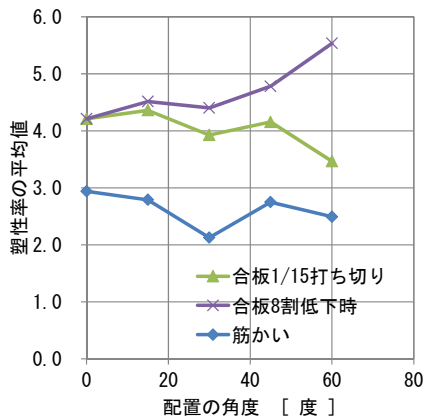


図5.5.9 塑性率の平均値

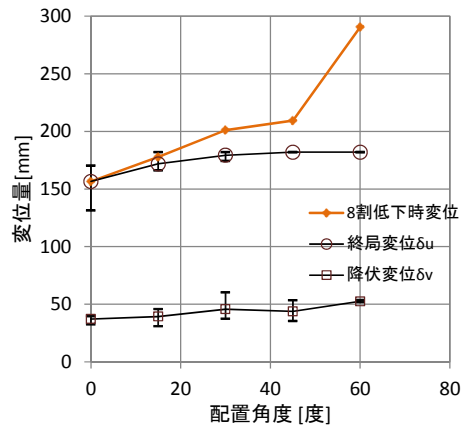
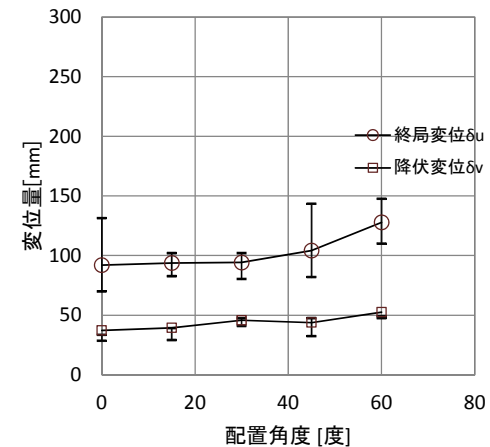


図5.5.10 降伏変位δvと終局変位δuと8割低下時変位



筋かい耐力壁 (終局変位=8割低下時変位)

- ①合板耐力壁は、配置角度15度より1/15radの打ち切りとなる試験体が出始め、45度以上ではすべて1/15rad打ち切りとなるために0.2Pu/Dsが4指標の最小値となる。
- ②①の1/15rad打ち切りという理由で、合板耐力壁の塑性率は配置角度の増加に伴い低下。
- ③筋かい耐力壁の塑性率は、降伏時変位と終局変位の増加傾向の割合が異なり低下。

4指標の配置角度に伴う ばらつき係数の傾向の確認

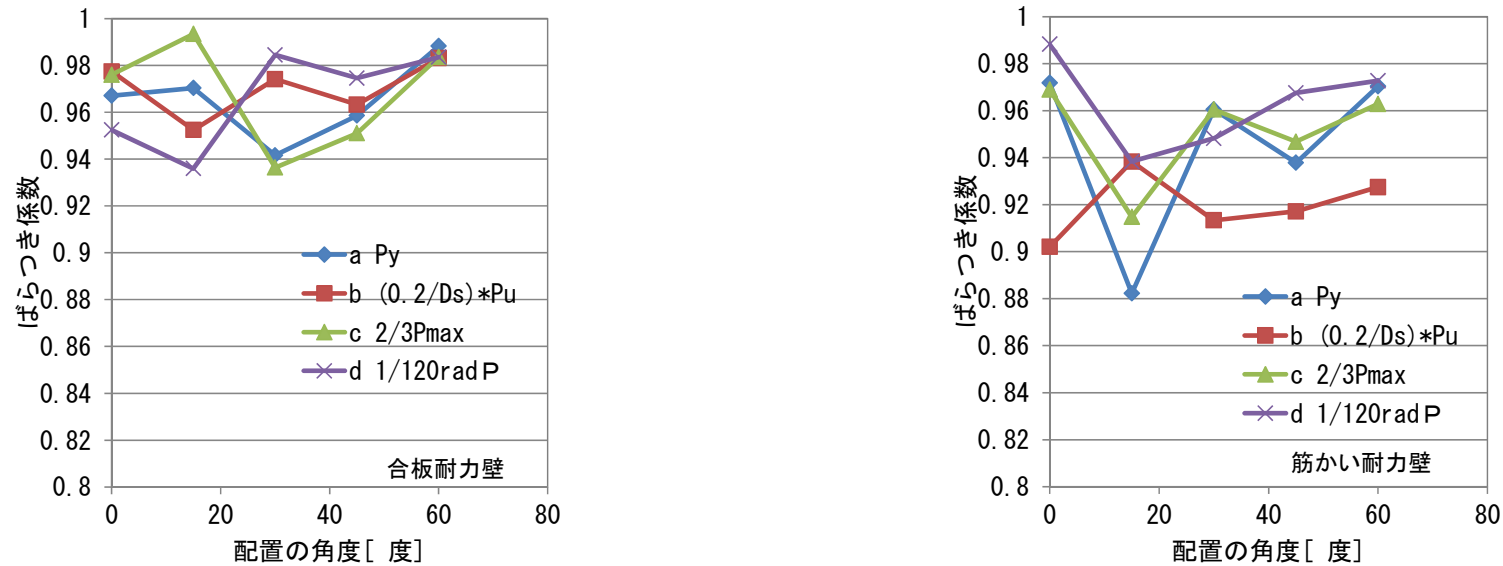


図5.5.11 ばらつき係数

- ① 耐力評価の場合は既往の算定式の $\text{COS}^2\theta$ 低減であれば、ばらつきを許容でき安全側としてとらえることができる。
- ② 4指標値の低減において50%下限値の結果からも、ばらつきに関する影響は小さい

壁倍率の低減率

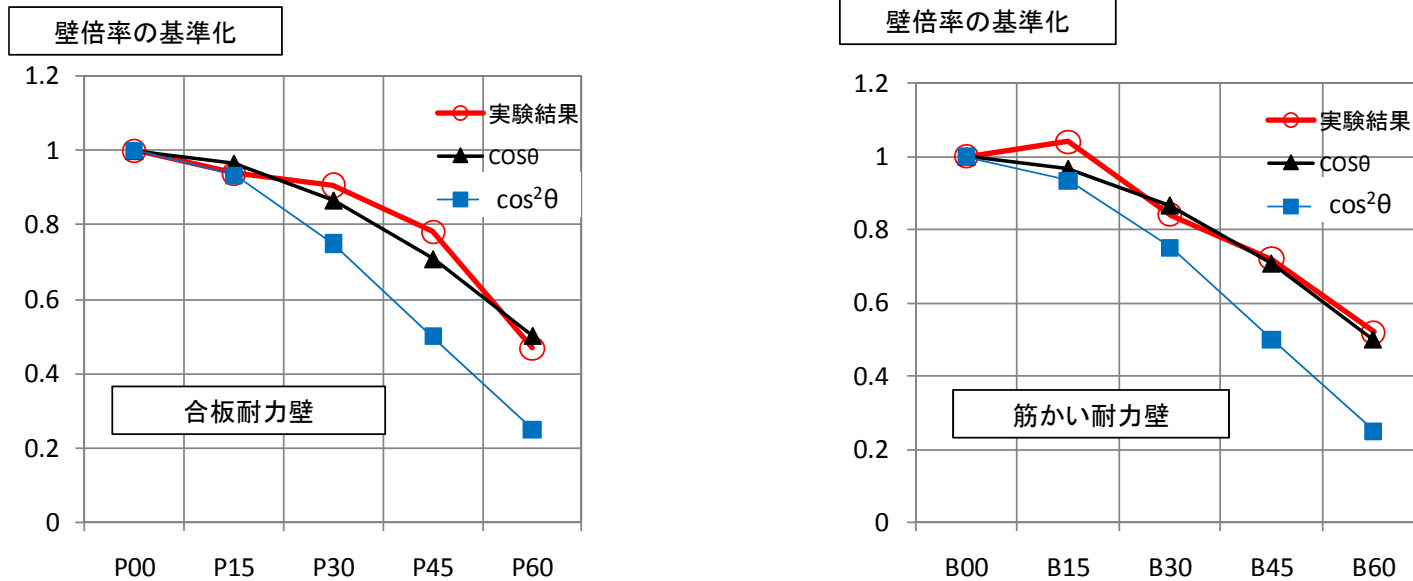


図5.5.12 壁倍率

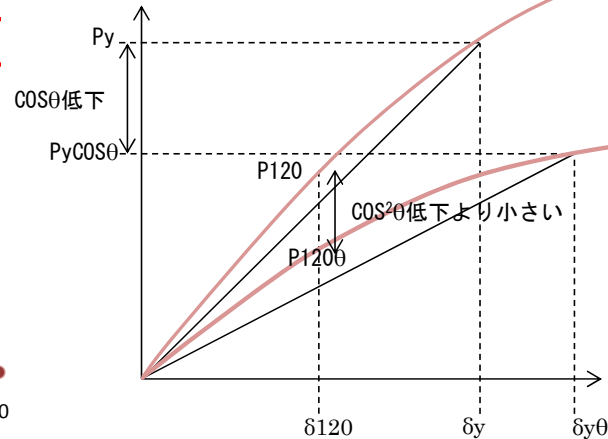
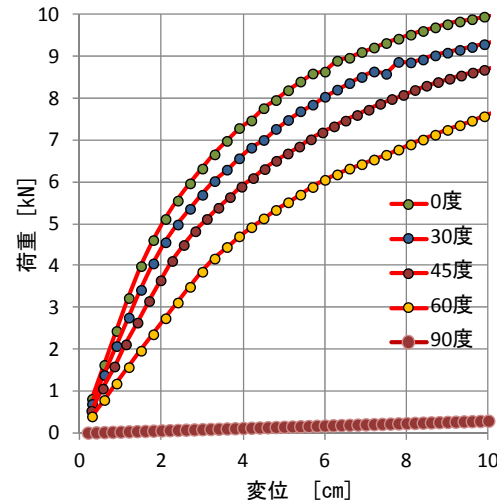
(1) 耐力評価の場合

壁倍率による耐力評価はCOSθ低減によって特に問題ない。

(2) 剛性評価の場合

耐力壁の実際の剛性はP120の低減傾向で捉えられるため、剛性評価においてCOS²θを用いることは多少の問題が残る。しかし、建物内すべての耐力壁が斜め配置となるわけではなく、斜め配置壁の存在割合が小さいと考えれば問題とはならないと考える。

耐力壁の面外方向の影響の確認



$$K = \left(\frac{P_{\text{面外}}}{\delta_{\text{面内}}} \sin \theta + \frac{P_{\text{面内}}}{\delta_{\text{面内}}} \cos \theta \right) \cos \theta$$

面外の寄与は小さい=0

式5.5.1 斜め壁の剛性

図5.5.13 90配置（面外方向）の剛性の寄与と実験結果のP120低減

- ①90度配置である面外方向の剛性は、殆ど無視できる程度である。
- ②剛性の低減傾向は面外方向の寄与が小さい。

二) 平面・立面的に不整形な木造建築物に対する評価方法調査 5. 斜めに配置された耐力壁の評価方法の提案(まとめ 1/2)

(1) 斜めに配置した耐力壁の耐力

4指標のうち最小値となる耐力値の傾向や、ばらつき傾向を踏まえても $\text{COS}\theta$ 低減により適切に捉えられる。

(2) 斜めに配置した耐力壁の剛性

配置角度が大きくなるに従い $\text{COS}^2\theta$ から $\text{OCOS}\theta$ の範囲で低減の値が小さくなる。理由としては、斜め配置により面内方向変形量が小さくなり、加えて耐力は非線形性を伴うため、見かけ上線形より剛性が高くなることによる。

(3) 既存式の耐力評価

$\text{COS}^2\theta$ 低減の評価について、本実験考察を踏まえても $\text{COS}\theta$ 倍の余裕度をもった安全側の評価

(4) 既存式の剛性評価

実際の耐力壁剛性を低く評価してしまうことに注意する必要がある(斜め壁の数量による)。

二) 平面・立面的に不整形な木造建築物に対する評価方法調査
 5. 斜めに配置された耐力壁の評価方法の提案(まとめ 2/2)

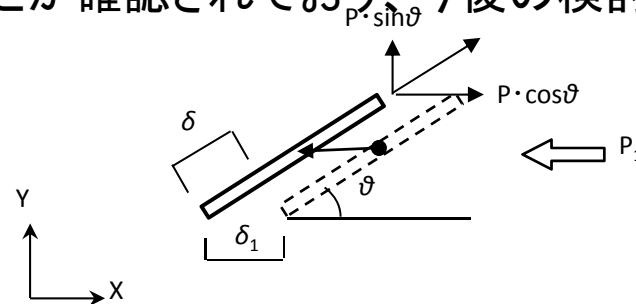
①理論と実験

耐力は $\cos\theta$ 、剛性は $\cos^2\theta$ を乗じて補正。

しかしながら実験結果では、配置角度15度の場合には耐力の低減が大きいこと、配置角度が大きい場合には剛性低下も $\cos\theta$ に近づくことが確認されており、今後の検討課題である。

$$K_x = K \cdot \cos^2\theta \quad (\text{式5.5.2})$$

$$P_x = P \cdot \cos\theta \quad (\text{式5.5.3})$$



②斜め壁とXY方向の壁量

斜め壁が有効に働くためには、同一階で斜め壁を耐力として見込む方向と直交方向にある程度の剛性すなわち壁量を有することが必要。

しかし、直交方向の壁量に対して斜め壁が10%程度であれば、大きな問題はないと考えられる。

③斜め壁の等価な壁への置換

斜め壁の等価な壁への置換は、あくまでも一方向(X方向またはY方向)の外力を別々に考えた場合に成り立つ話であることに注意が必要

