

(S38)

省エネ化に伴い重量化する木造建築物の 耐力壁の基準に関する検討

株式会社ドット・コーポレーション
京都大学 生存圏研究所

本事業の目的

近年の木造住宅は、省エネ化（断熱材や省エネ設備の設置）の影響から建築物が重量化しており、構造安全性確保のため、必要壁量等の基準を整備するための検討が必要とされている。

また、木造建築物の筋かい耐力壁の仕様・壁倍率は政令において定めているところであるが、最低断面寸法とそれに応じた壁倍率が示されており、断面寸法が大きくなった場合の性能は示されていない。

このような背景から、昨今の非住宅木造で求められている階高が高くても高い性能が担保できる筋かいの耐力壁の仕様・壁倍率を整備する必要がある。

本事業では、以上を踏まえて、**高階高、高耐力が実現できる筋かい耐力壁の仕様について技術的資料をまとめる。**

実施体制

検討委員会

委員長	河合直人	工学院大学
委員	五十田博	京都大学
	稲山正弘	東京大学
	青木謙治	東京大学
	大橋好光	東京都市大学
	山崎義弘	東京工業大学
	宇山善博	ハウスプラス確認検査株式会社
	津田千尋	(一財) ベターリビング
	逢坂達男	(一社) 日本木造住宅産業協会
	槌本敬大・中島昌一	建築研究所
協力委員	荒木康弘・秋山信彦	国土交通省国土技術政策総合研究所

検討WG

主査	五十田博	京都大学
委員	河合直人	工学院大学
	青木謙治	東京大学
	松田昌洋	信州大学
	小谷竜城	(株)NCN
	中島昌一	建築研究所
協力委員	荒木康弘・秋山信彦	国土交通省国土技術政策総合研究所

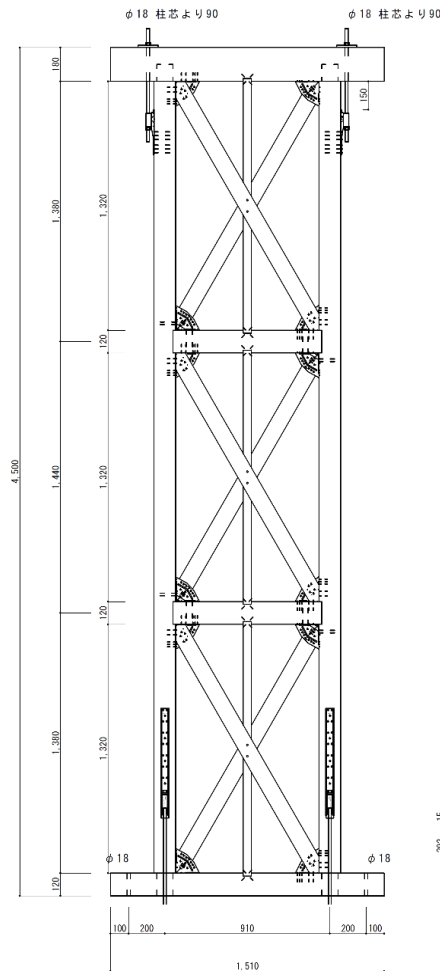
調査内容

高階高、高耐力が実現できる筋かい耐力壁の仕様について以下の手順にて実施した。（令和4～5年度の2か年で実施予定）

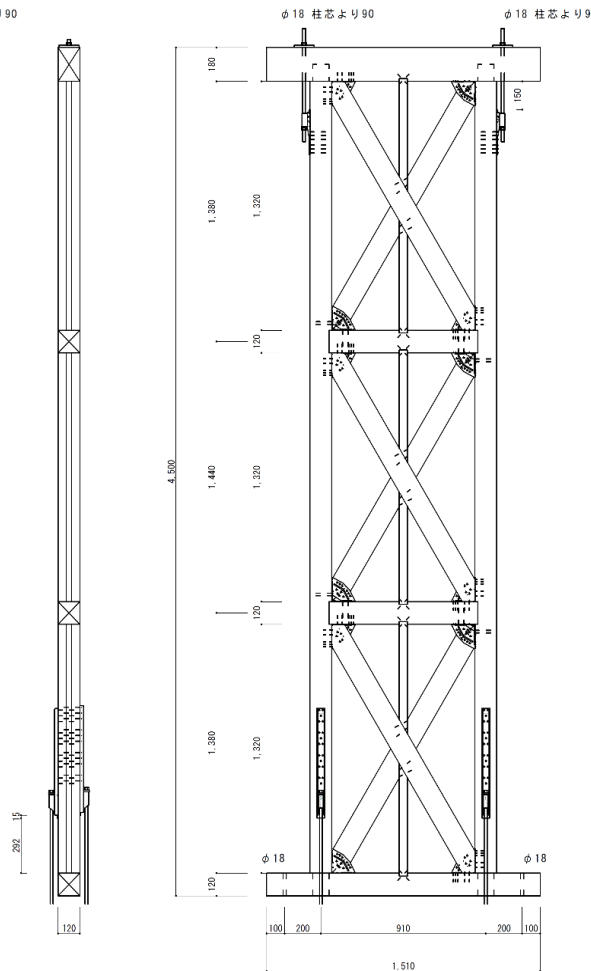
- ① ①高階高、高耐力（4mを超える階高、壁倍率4倍以上）が実現できる筋かい耐力壁の仕様について、既往の研究等を参考に検討を行った。（R4年度）
- ② ①の結果を踏まえて、現状容易に入手できる接合金物の性能と納まりを確認し、具体的な仕様を決定。（R4年度）
- ③ ②で決定した仕様にて、実大実験を実施し、その性能と破壊性状を確認。（R4年度）
- ④ ③の実験結果を参考に、目標性能を決定し、それに合致する仕様の範囲を確認する方法（解析および解析に必要なデータの要素試験による収集）を検討。（R4～R5年度）
- ⑤ ④と並行して実大実験による性能確認を実施。（R5年度）

R4年度の成果

- R4年度の検討において目標とする壁倍率を5とした。実大実験により、仕様Bは7.06倍となり、目標に対して、オーバースペックであるが、各部の納まりが目指す性能を確保するために有効であることが確認できた。



筋かい仕様A



筋かい仕様B

筋かい仕様 筋かい等分仕様

A : 45 × 90 スギ製材 E70相当

筋かいと間柱の接合 N75 × 2本 平打ち

B : 60 × 120 スギ製材 E70相当

筋かいと間柱の接合 N75 × 2本 斜め打ち

共通仕様

●各部材

梁 スギ製材 E70 120 × 180

中間横架材 スギ製材 E70 120 × 120

柱 スギ製材 E70 120 × 120

土台 スギ製材 120 × 120

間柱 45 × 120

※E70 (5.9以上7.8未満 GPa) のうち、

6.0~6.5GPaのものを選定

筋交いは、上記の条件の材からカット

※SD15 または SD20

●木材加工

柱脚 長ほぞ 90 × 120 × 45

柱頭 短ほぞ 90 × 90 × 45

※ほぞ及びほぞの寸法は、フレットでの加工

可能寸法を逸脱している場合、手加工

中間横架材 大入れ 深さ15

間柱 大入れ 深さ15

●接合金物

筋かい カネシ PS筋交い金物

柱脚 カネシ 高耐久フレックスネールφ60

柱頭 カネシ フルスケールφ40

中央横架材端部上下 カネシ ミドルコーナー15

間柱端部 N75 × 2本 斜め打ち

R5年度の検討の手順案

要素実験

本筋かい仕様の各部の接合部のデータを要素実験によって取得。

解析モデルの構築

R4実大実験データ、R5要素実験データを用いて解析モデルを構築。

解析モデルの妥当性の確認

R04に実施した実大実験等の結果と解析結果を照合し、解析モデルの妥当性を確認。

解析モデルによるパラスタ

解析モデルにてパラスタを実施。（高さ、断面違い）

実大実験による確認

パラスタ対象の仕様のうち数仕様を、実大実験にて性能を確認
（解析と並行して実施）

★次頁以降のスライドでは実大実験⇒要素実験⇒解析的検討の順に示す

検討対象とする実大試験体仕様

R4年度実大試験結果、R5年度解析的検討により壁倍率5の性能を確保できる仕様として以下を設定。

3段筋かい *はR4年度結果 () は壁倍率

壁高さ (mm) (土台下端-桁上)	試験体名 (筋かい断面別)					
	45×90	45×105	45×120	60×90	60×105	60×120
6000						3-6m
5500						
5000						3-5m
4500			3-4.5m			
	仕様A* (3.29)					仕様B* (7.06)
4000		3-4m				

2段筋かい

壁高さ (mm) (土台下端-桁上)	試験体名 (筋かい断面別)					
	45×90	45×105	45×120	60×90	60×105	60×120
4000						2-4m
3500			2-3.5m			
3000		2-3m				6

試験体仕様のポイント

【使用する材料の品質について】

- 柱、中間横架材、梁については、R5年度はスギE70に限定。R4年度は、材料調達時点でスギE70に指定し、かつ、ヤングが60～65となる低質材（節も考慮）を選別したものを用意したが低質材の割合が少なく、調達が困難であったため。筋かいについても同様の対応とするが、羽柄材のJAS材はないため軸材と同様にスギE70を指定した材を加工。

【筋かいの仕様】

- 筋かいの仕様は45×90、45×105、45×120、60×90、60×105、60×120のうち、下線のものを選択した。一般的に筋かいとして流通している断面寸法は45×90に限られるため、他の寸法は特注品となる。なお、45×105は間柱として流通している。

【柱の仕様】

- 120角の柱を用いたR4年度実大実験にて1/15rad以下で折損が見られた。そのため、柱断面を120角より大きな寸法とすることとした。135角、150角はプレカットではほぼ流通していないため、120×150、120×210の扁平な材を採用した。

【柱 長ほその仕様】

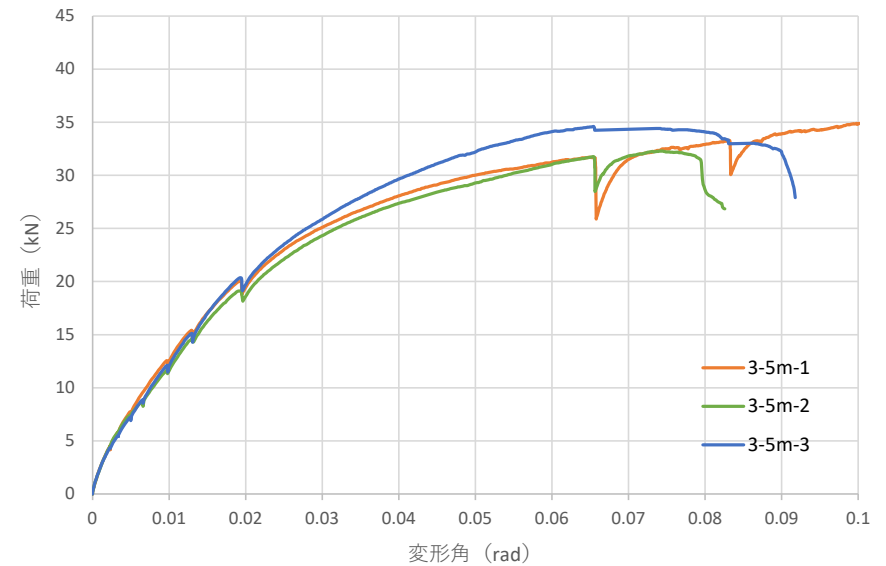
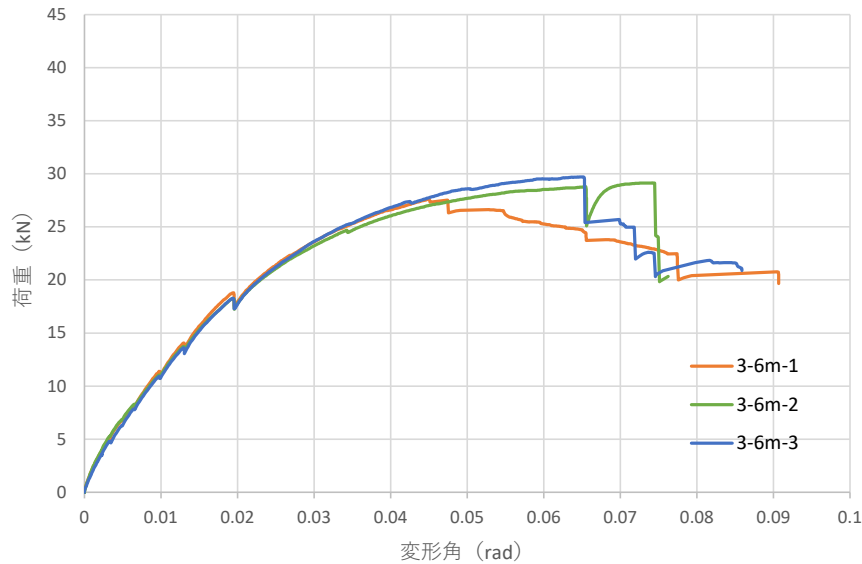
- ほその寸法は幅90×厚さ45×長さ90（柱頭）、120（柱脚）。一般的なプレカットでは幅は85～88mm、厚さ30mm、ほそ穴の深さは90mmが最大。今回の仕様では特注・手加工となると思われる。
- 上の仕様では、ほそが土台を貫通し架台に届くため柱のめり込みが生じにくく、剛性・耐力共に高くなる可能性が高い。

※筋かい金物、柱脚金物、柱頭金物、間柱、中間材等の仕様はR4年度と同じ

実大実験結果 (3段)

実験結果 (3段)

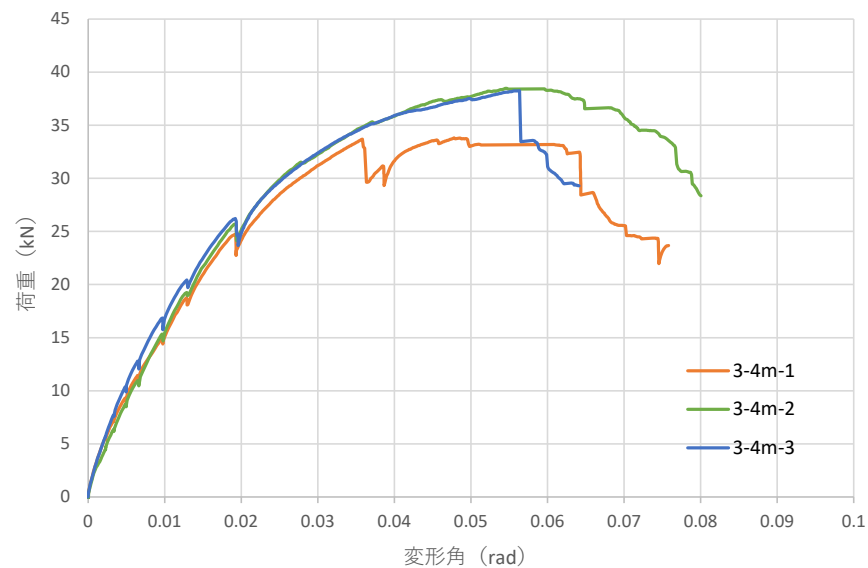
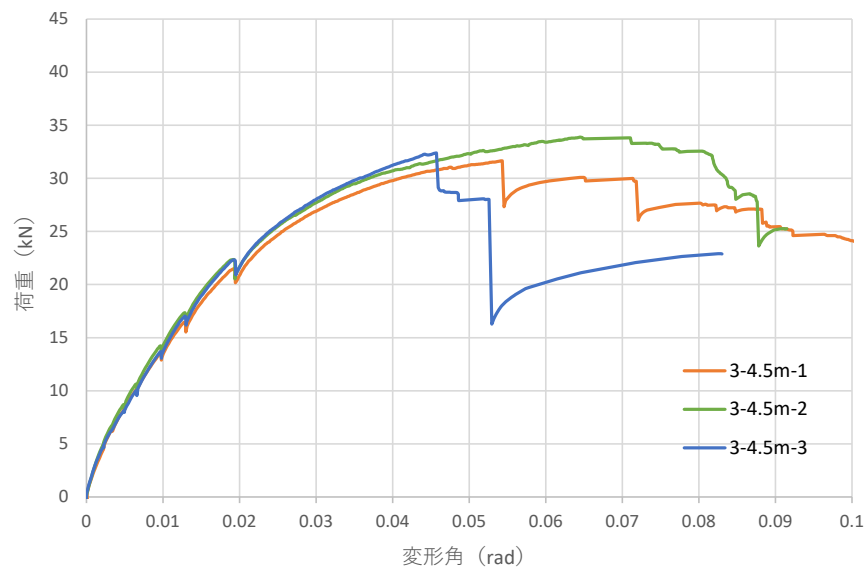
		3-6m						3-5m					
		1体目	2体目	3体目	平均	標準偏差	50%下限値	1体目	2体目	3体目	平均	標準偏差	50%下限値
①	P_y (kN)	15.6	16.3	16.3	16.1	0.4	15.9	18.1	18.3	19.2	18.5	0.6	18.2
②	$0.2P_u \times \sqrt{2\mu - 1}$	10.6	10.5	10.5	10.5	0.1	10.5	11.5	10.9	11.6	11.3	0.4	11.2
③	$2/3P_{max}$ (kN)	18.4	19.2	19.8	19.1	0.7	18.8	21.1	21.1	23	21.7	1.1	21.2
④	$P_{1/120}$ (kN)	9.9	9.7	9.5	9.7	0.2	9.6	11.1	10.2	10.5	10.6	0.4	10.4
		$P_0 = \min(\text{①}-\text{④})$ (kN)					9.6	$P_0 = \min(\text{①}-\text{④})$ (kN)					10.4
		単位壁長さ当たりの短期基準せん断耐力 P_0 (kN/m)					10.5	単位壁長さ当たりの短期基準せん断耐力 P_0 (kN/m)					11.4
		壁倍率 ($\alpha = 1.0$)					5.37	壁倍率 ($\alpha = 1.0$)					5.83



実大実験結果 (3段)

実験結果 (3段)

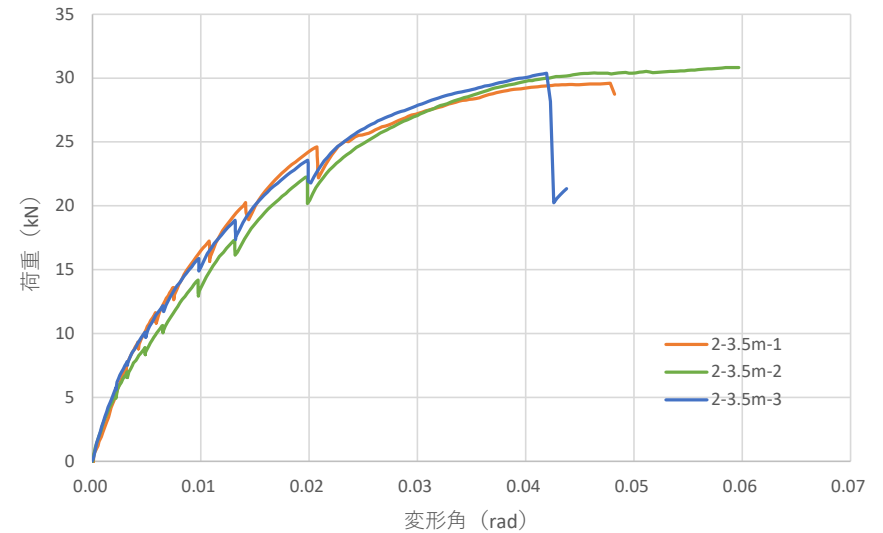
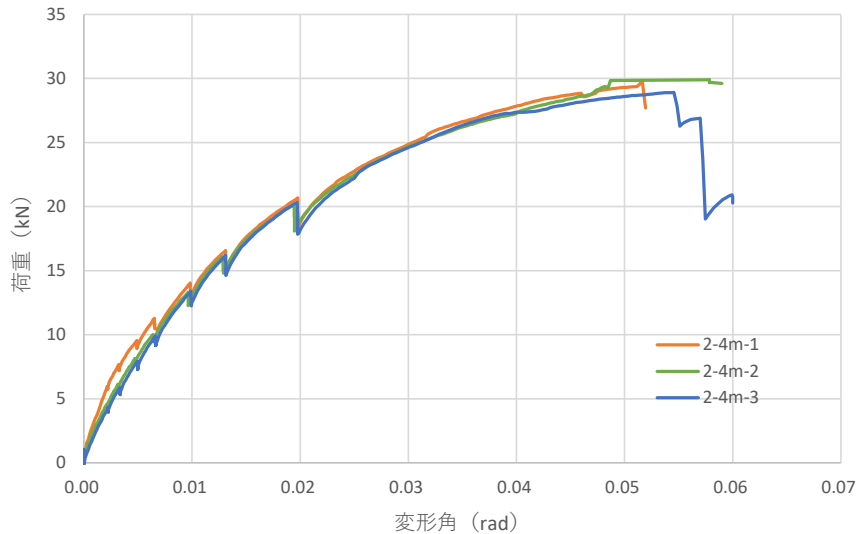
	3-4.5m						3-4m					
	1体目	2体目	3体目	平均	標準偏差	50%下限値	1体目	2体目	3体目	平均	標準偏差	50%下限値
① P_y (kN)	17.5	19	18.4	18.3	0.7	17.9	19.4	22.6	21.1	21	1.6	20.3
② $0.2P_u \times \sqrt{2\mu - 1}$	12.3	12.9	10.5	11.9	1.3	11.3	13.8	14.5	14.4	14.2	0.4	14.1
③ $2/3P_{max}$ (kN)	21.1	22.6	21.6	21.8	0.8	21.4	22.5	25.7	25.5	24.6	1.8	23.7
④ $P_{1/120}$ (kN)	11.9	12.6	12	12.1	0.4	12	13.2	13.2	14.9	13.7	1	13.3
	$P_0 = \min(\text{①}-\text{④})$ (kN)					11.3	$P_0 = \min(\text{①}-\text{④})$ (kN)					13.3
	単位壁長さ当たりの短期基準せん断耐力 P_0 (kN/m)					12.4	単位壁長さ当たりの短期基準せん断耐力 P_0 (kN/m)					14.5
	壁倍率 ($\alpha = 1.0$)					6.33	壁倍率 ($\alpha = 1.0$)					7.44



実大実験結果 (2段)

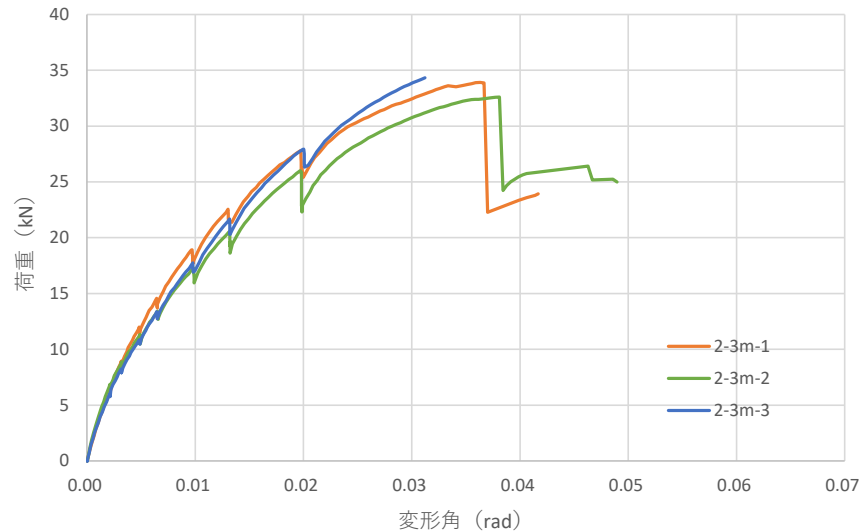
実験結果 (2段)

	2-4m						2-3.5m					
	1体目	2体目	3体目	平均	標準偏差	50%下限値	1体目	2体目	3体目	平均	標準偏差	50%下限値
① P_y (kN)	16.11	16.23	15.74	16.03	0.26	15.91	17	16.97	16.05	16.67	0.54	16.42
② $0.2P_u \times \sqrt{(2\mu - 1)}$	10.63	11.01	11.01	10.88	0.22	10.78	11.8	12.23	10.57	11.53	0.86	11.13
③ $2/3P_{max}$ (kN)	19.9	19.94	19.27	19.7	0.38	19.53	19.73	20.55	20.25	20.18	0.41	19.98
④ $P_{1/120}$ (kN)	12.45	12.07	11.79	12.1	0.33	11.95	14.41	12.71	14.34	13.82	0.97	13.37
	$P_0 = \min(\text{①}-\text{④})$ (kN)					10.78	$P_0 = \min(\text{①}-\text{④})$ (kN)					11.13
	単位壁長さ当たりの短期基準せん断耐力					11.84	単位壁長さ当たりの短期基準せん断耐力					12.23
	壁倍率 ($\alpha = 1.0$)					6.04	壁倍率 ($\alpha = 1.0$)					6.23



実験結果 (2段)

		2-3m					50%下限値
		1体目	2体目	3体目	平均	標準偏差	
①	P_y (kN)	18.19	17.23	18.04	17.82	0.51	17.58
②	$0.2P_u \times \sqrt{2\mu - 1}$	11.81	12.3	9.71	11.27	1.37	10.62
③	$2/3P_{max}$ (kN)	22.61	21.74	22.88	22.41	0.6	22.13
④	$P_{1/120}$ (kN)	17.18	15.61	15.87	16.22	0.84	15.82
		$P_0 = \min(\text{①}-\text{④})$ (kN)					10.62
		単位壁長さ当たりの短期基準せん断耐力					11.67
		壁倍率 ($\alpha = 1.0$)					5.95



3-6m 破壊性状

	1体目	2体目	3体目
1/50rad	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形
1/21rad	中段の間柱折損		
1/20rad	中段の圧縮筋かい座屈		
1/18rad	筋かいの土台、桁、中間材へのめり込み		筋かい端部めり込みと軽微なはらみ出し
1/15rad		筋かい端部めり込みと軽微なはらみ出し	下段間柱折損・筋かい亀裂
1/13.5rad			下段筋かい座屈
1/13rad		下段の間柱の折損・筋かいの座屈	



1/21rad 中段の間柱折損



1/50rad 筋かいの変形



1/15rad 筋かいの亀裂



1/20rad 中段の圧縮筋かい座屈



1/13rad 下段の筋かいの座屈



1/13.5rad 下段の筋かいの座屈

3-5m 破壊性状

	1体目	2体目	3体目
1/50rad	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形
1/15rad	耐力低下見られず	耐力低下見られず	耐力低下見られず
1/11.7rad		下段圧縮筋かいの座屈	
1/10.4rad			非加力側ホールダウンの破壊
1/9.4rad	圧縮筋かいの中間材へのめり込み		



1/50rad 変形の状況



1/15rad 下段筋かいの様子



1/15rad 下段筋かい端部



1/15rad 筋かい端部のめり込み



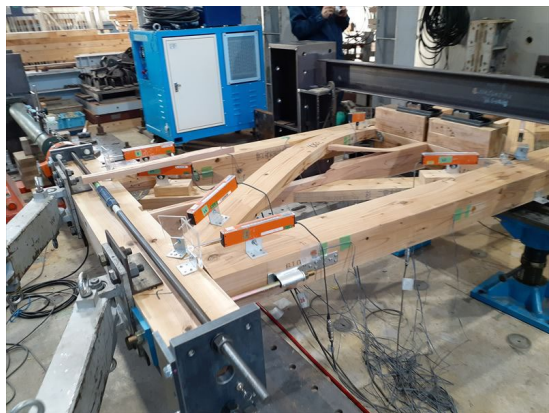
1/11.7rad 下段の筋かいの座屈



1/10.4rad 非加力側HDの破壊

3-4.5m 破壊性状

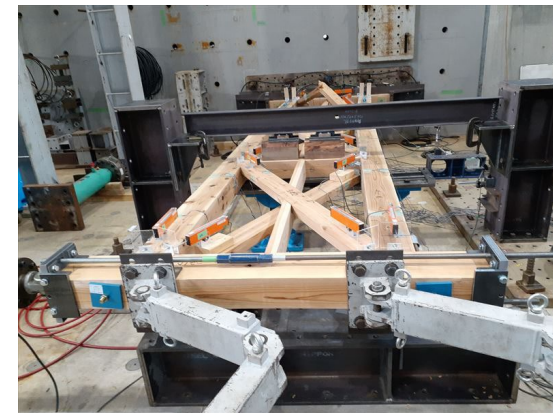
	1体目	2体目	3体目
1/50rad	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形
1/20rad			下段筋かい面外へはらみだし
1/17.5rad	上段間柱折損		下段筋かきの座屈
1/15rad		筋かい端部めり込みと軽微なはらみ出し	
1/11.7rad		中段圧縮筋かきの座屈	
1/10.5rad	上段筋かい座屈		
1/9.3rad	中段筋かい座屈		



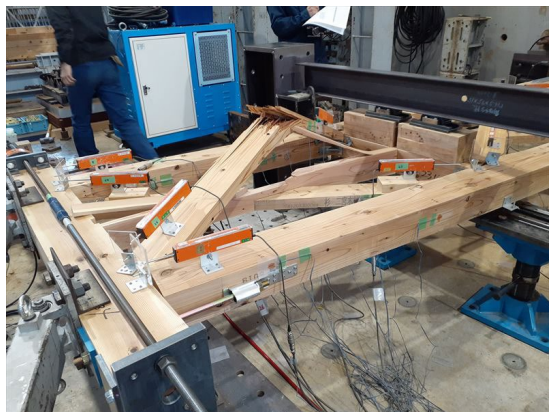
1/15rad 上段間柱折損



1/15rad 下段筋かきの様子



1/15rad 変形時の状況



1/10.5rad 上段筋かい座屈



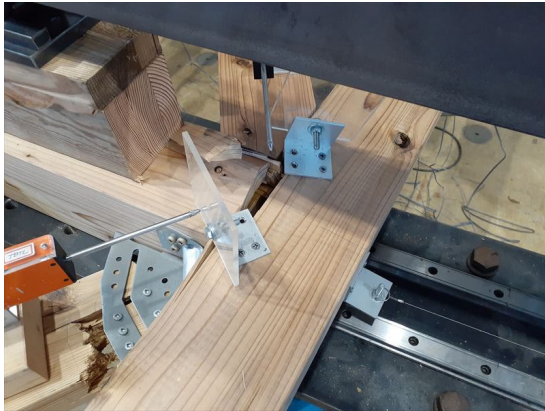
1/11.7rad 中段の筋かきの座屈



1/15rad 下段筋かきの座屈

3-4m 破壊性状

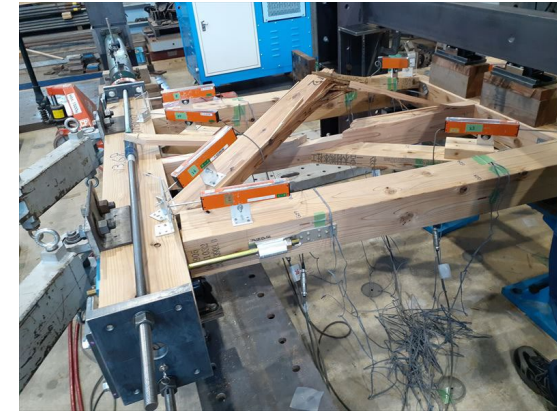
	1体目	2体目	3体目
1/50rad	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形
1/16.8rad			上段間柱の折損
1/15rad	筋かい端部めり込みと軽微なはらみ出し	筋かい端部めり込みと軽微なはらみ出し	上段筋かいの座屈
1/12.7rad			上段中間材付近の非加力側柱 引張破壊
1/11.6rad		下段中間材付近の非加力側柱 引張破壊	
1/8.2rad	圧縮筋かいの中間材へのめり込み		



1/15rad 上段筋かい端部



1/15rad 下段筋かいの様子



1/15rad 上段筋かいの座屈



1/8.2rad 下段・中段筋かいの状況



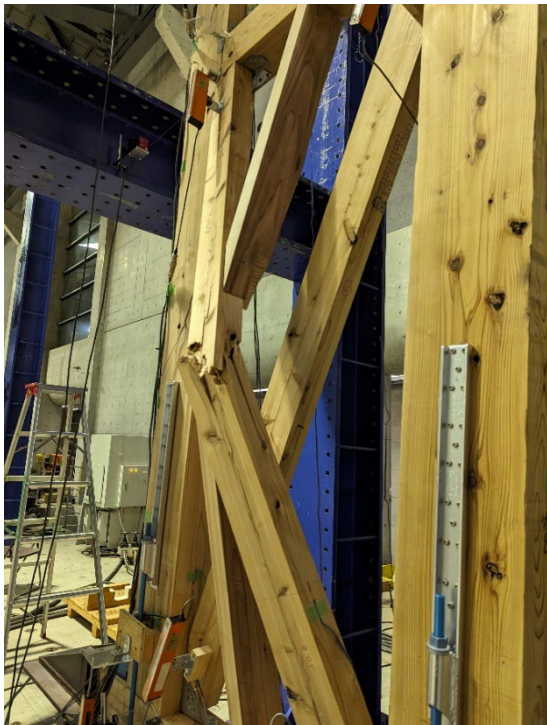
1/11.6rad 非加力側柱の引張破壊



1/15rad 上段引張筋かいの状況

2-4m 破壊性状

	1体目	2体目	3体目
1/50rad	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形
1/19rad	下段筋かいの座屈		上段間柱の折損
1/17rad		パンタグラフの干渉による载荷やり直し →下段筋かいの座屈	上段筋かいの座屈
1/15rad			



1/19rad 下段筋かいの座屈



1/17rad 下段筋かいの座屈



1/17rad 上段筋かいの座屈

2-3.5m 破壊性状

	1体目	2体目	3体目
1/50rad	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形
1/24rad			下段筋かいの座屈
1/21rad	下段筋かいの座屈		
1/16.5rad		下段筋かいの座屈	
1/15rad			



1/21rad 下段筋かいの座屈



1/16.5rad 下段筋かいの座屈



1/24rad 上段筋かいの座屈

2-3m 破壊性状

	1体目	2体目	3体目
1/50rad	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形	筋かい端部微かな圧縮・引張による変形
1/32rad			下段筋かいの座屈
1/27rad	下段筋かいの座屈		
1/26rad		下段筋かいの座屈	
1/15rad			



1/27rad 下段筋かいの座屈



1/26rad 下段筋かいの座屈



1/32rad 上段筋かいの座屈

実大試験結果まとめ

R5年度実大試験結果は以下の通り。目標とする5倍程度を満足した。

3段筋かい

壁高さ (mm) (土台下端-桁上)	壁倍率 (赤字) (筋かい断面別)					
	45×90	45×105	45×120	60×90	60×105	60×120
6000						3-6m 5.37
5500						
5000						3-5m 5.83
4500			3-4.5m 6.33			
	仕様A* (3.29)					仕様B* (7.06)
4000		3-4m 7.44				

2段筋かい

壁高さ (mm) (土台下端-桁上)	試験体名 (筋かい断面別)					
	45×90	45×105	45×120	60×90	60×105	60×120
4000						2-4m 6.04
3500			2-3.5m 6.23			
3000		2-3m 5.95				19

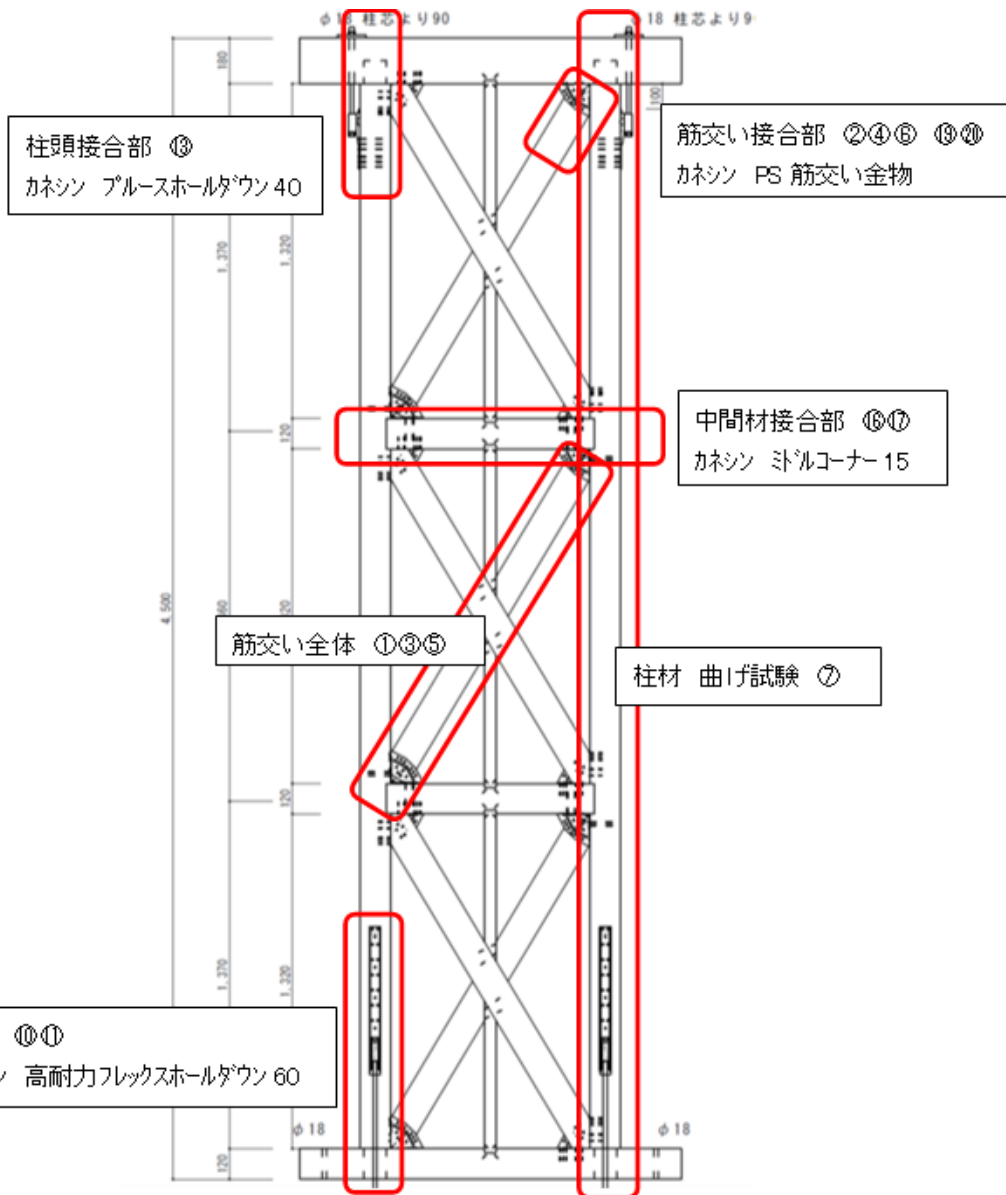
要素試験の概要

要素試験リスト

R5年度実施した試験は以下の黒字で示したものの。

緑字は、既往のデータが入手できたもの。

見え消しは、他の実験での計測で代替可能、解析モデルにて再現せずとも問題がないと判断し、実施しなかったもの。



- ①金物付筋かい 座屈実験
- ②金物付筋かい接合部 引張試験
- ③両端ピンの筋かい 座屈試験
- ④金物付筋かい接合部 面外方向加力試験
- ⑤筋かい材料—圧縮試験
- ⑥筋かい材料—引張試験
- ⑦柱（中間材接合部付） 曲げ試験
- ⑧柱材料—圧縮試験
- ⑨柱材料—引張試験
- ⑩柱脚接合部 引張試験
- ⑪柱脚接合部 圧縮試験
- ⑫柱脚接合部—面内曲げ試験
- ⑬柱頭接合部 引張試験
- ⑭柱頭接合部—圧縮試験
- ⑮柱頭接合部—面内曲げ試験
- ⑯中間材接合部 引張試験
- ⑰中間材接合部 せん断試験
- ⑱中間材接合部—面内曲げ試験
- ⑲筋かい金物のビス せん断試験
- ⑳筋かい金物のビス 引張試験
- ㉑中間材端部 引張試験

要素試験①、③

要素試験のうち、①金物付き筋かい圧縮座屈試験、②両端ピン筋かい圧縮座屈試験の概要を示す。

試験体仕様は、筋かい断面、筋かい長さはR4年度、R5年度の実大試験の仕様に合わせている。

試験体	端部仕様*1	筋かい断面	長さ	柱断面*2	横架材断面*2
No.1	金物付き	45mm×90mm	1536mm	120mm×120mm	120mm×120mm
No.2	金物付き	60mm×120mm	1536mm	120mm×120mm	120mm×120mm
No.3	金物付き	45mm×105mm	1395mm	120mm×120mm	120mm×120mm
No.4	金物付き	45mm×120mm	1532mm	120mm×150mm	120mm×120mm
No.5	金物付き	60mm×120mm	1669mm	120mm×150mm	120mm×120mm
No.6	両端ピン	45mm×90mm	1536mm	--	--
No.7	両端ピン	60mm×120mm	1536mm	--	--
No.8	両端ピン	45mm×105mm	1395mm	--	--
No.9	両端ピン	45mm×120mm	1532mm	--	--
No.10	両端ピン	60mm×120mm	1669mm	--	--

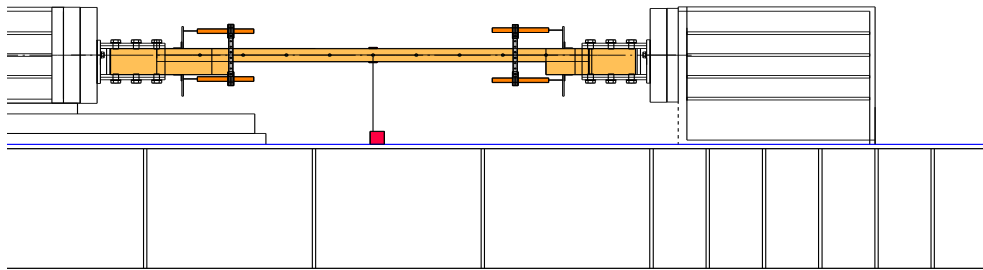
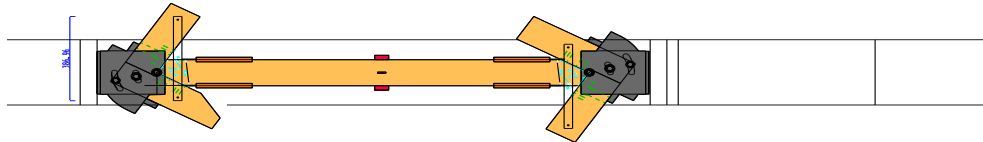
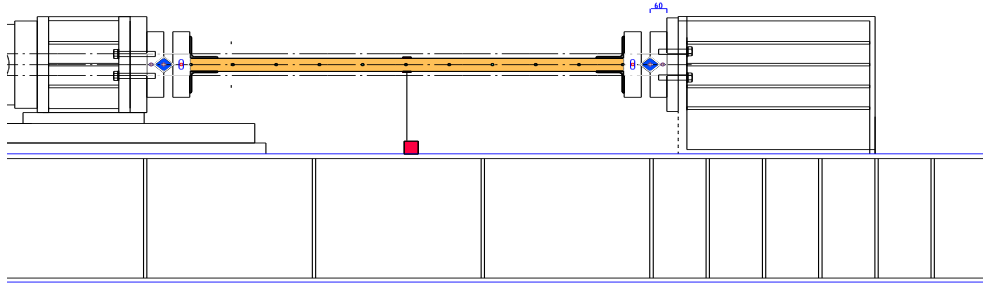
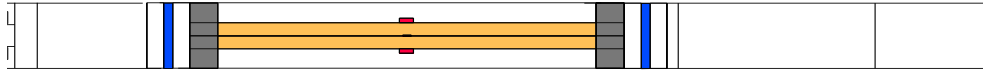
*材料はスギ (E70)

**金物はPS筋かい金物 (内付け)

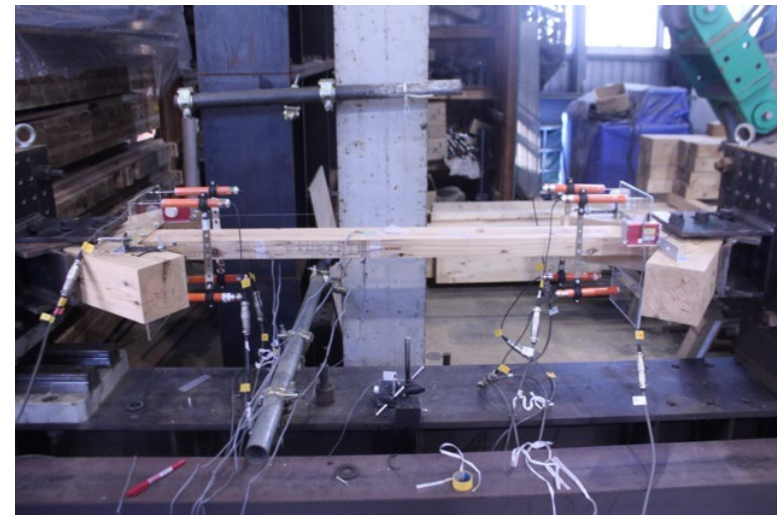
***柱及び横架材の長さは420mm

要素試験①、③

試験体セットアップ



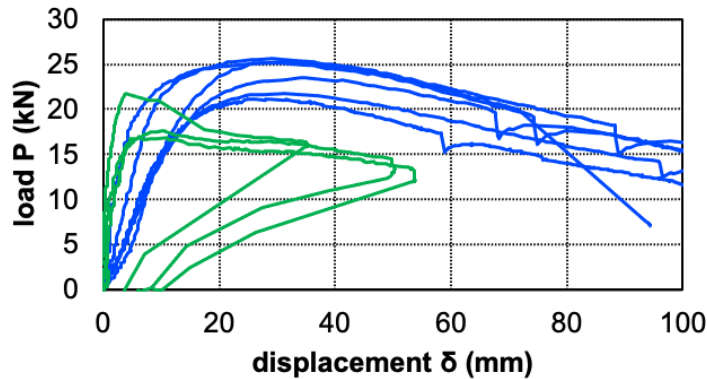
- 上図は両端ピン筋かい座屈試験、下図は金物付き筋かい試験
- 下写真は、金物付き筋かい試験の加力前の様子を示したものの



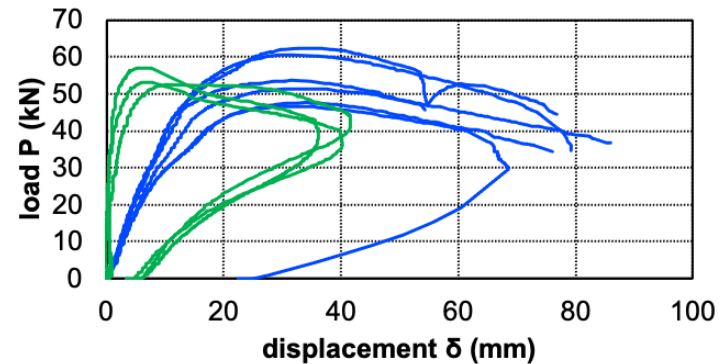
要素試験①、③

試験結果-荷重変位関係

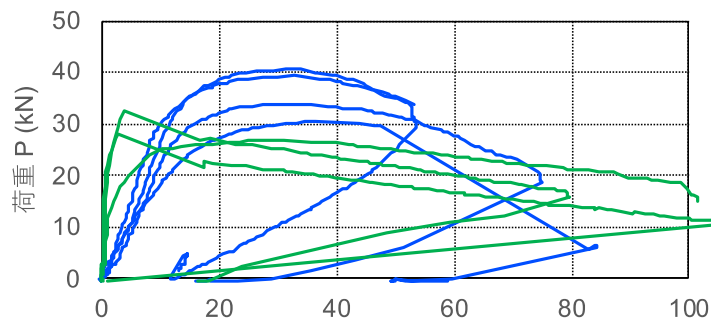
- 要素試験③（両端ピン・緑線）では、座屈が生じたあと、急激に荷重が低下し、中央たわみの変位が増大する傾向がみられた。
- 要素試験①（接合部あり・青線）では、加力初期から、中央たわみが増大し、座屈が生じた後も緩やかに荷重が低下し、中央たわみが増加した。終局時（中央たわみ70mm~100程度）には、材の曲げ破壊が生じ荷重が急激に低下した。



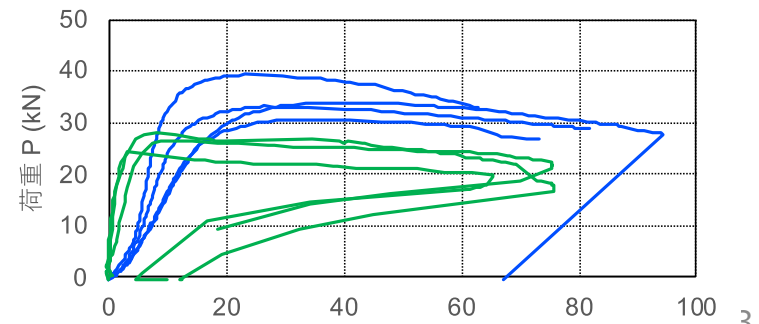
筋かい断面45×90 (No.1、No.6)



筋かい断面60×120 (No.2、No.7)



筋かい断面45×105 (No.3、No.8)

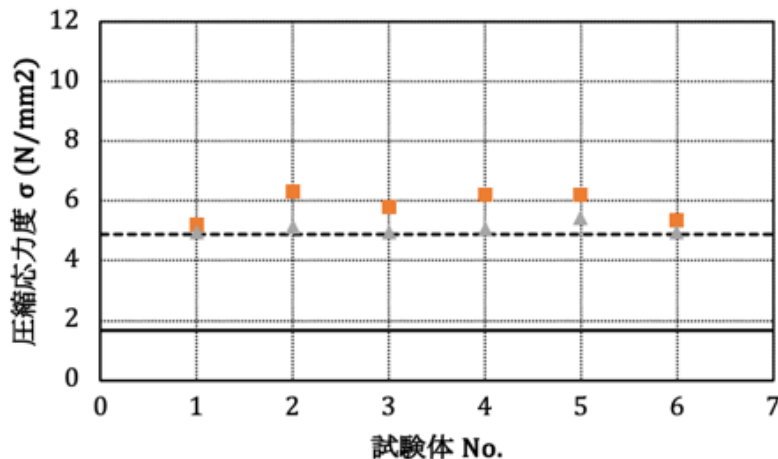


筋かい断面45×120 (No.4、No.9)

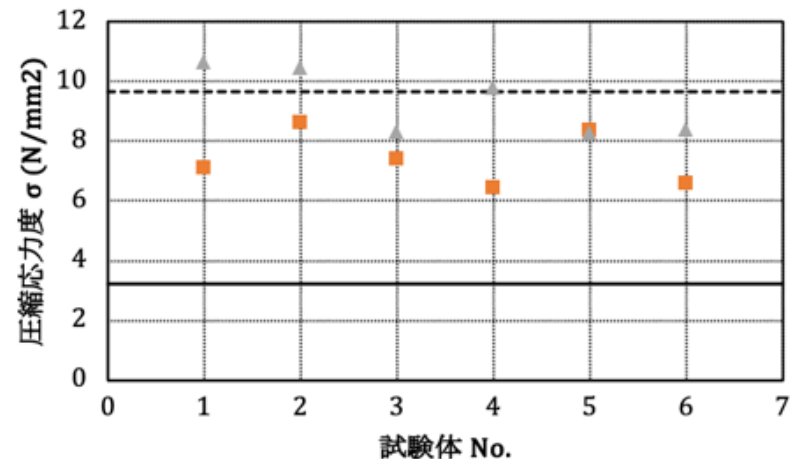
要素試験①、③

試験結果-計算値と実験値の比較

- 木質構造設計規準・同解説に示された、単一圧縮材の耐力算定式を元に計算した基準座屈応力度・許容座屈応力度、実験値の最大圧縮応力度、グレーディング時のヤング係数による座屈応力度の計算値を示す。
- いずれの実験値も座屈許容応力度を大きく上回っている。要素試験①（金物付き、No.1～No.5）について、板厚が45mmの場合、座屈耐力は計算値と同じか、やや上回っており、60×120の場合やや下回っている。各材料のヤング係数を用いて計算される値と実験値ではらつき傾向は一致している。



筋かい断面45×90 (No.1)



筋かい断面60×120 (No.2)

圧縮応力度の実験値（オレンジ）とヤング係数による計算値（グレー）の比較

実線：許容座屈応力度、点線：基準座屈応力度

解析的検討の概要

実大静加力実験における筋かい耐力壁の挙動を追跡することを目的とし、線材フレームモデルを用いた静的増分解析を行った。

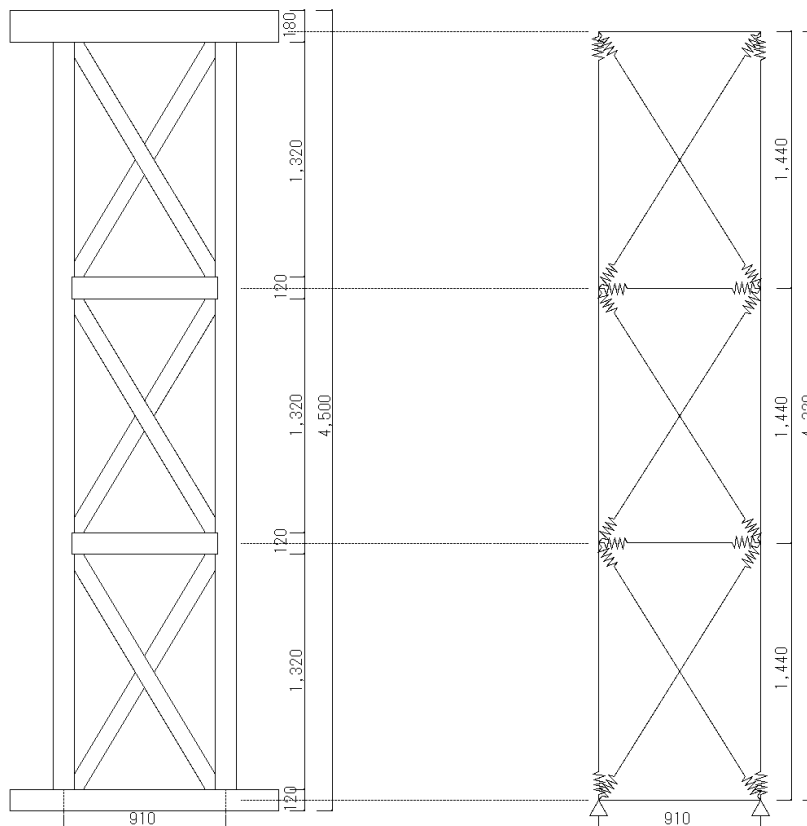
- ① R4年度実施された壁試験体を対象として解析モデルを作成
- ② 作成した解析モデルを使用して、R5年度対象とする筋かい耐力壁の実大実験における事前解析を実施
- ③ 実験後に実大実験結果を考慮した事後解析を行い、筋かい耐力壁のモデル化における課題を整理。

⇒ここでは実大実験結果を考慮した事後解析の結果を整理

筋かい耐力壁の解析的検討

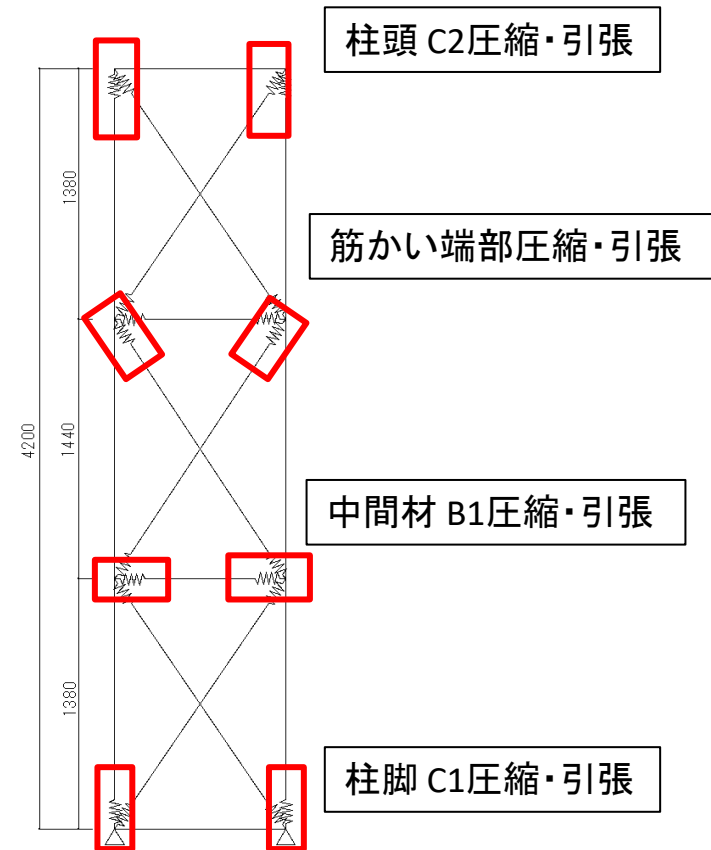
解析モデル

モデルは各部材を線材とし、端部にはバネを設定した。
解析モデルは実大試験体の各段の芯々をモデル化し、モデルでの筋交いの長さが長くなっているため、各筋かいのヤング係数に補正を行っている。



実大試験体図

解析モデル図

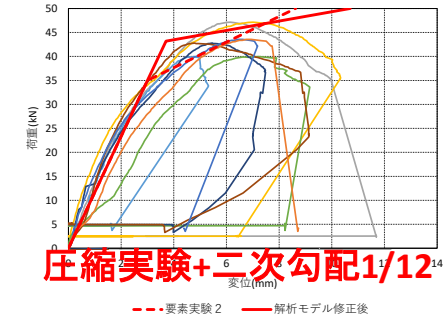
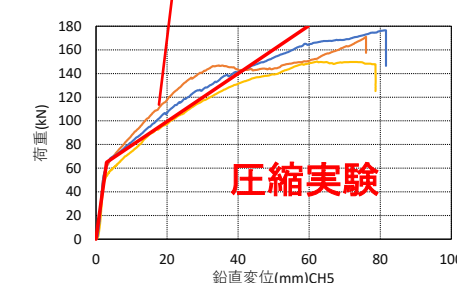
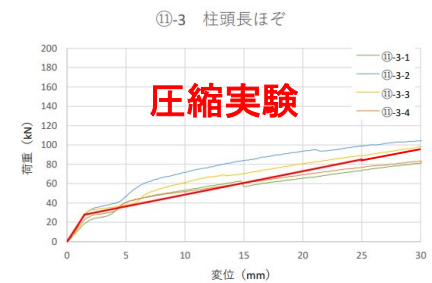
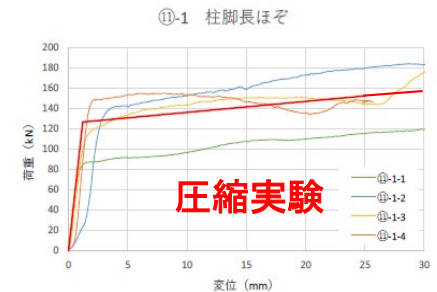
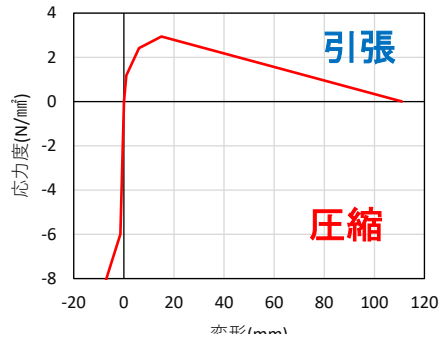
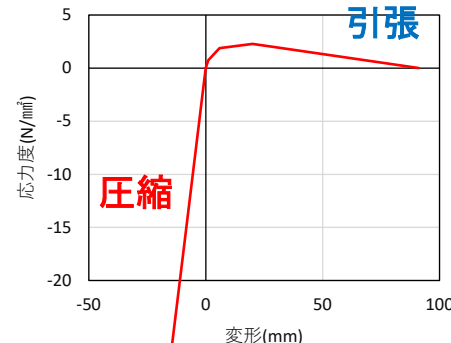
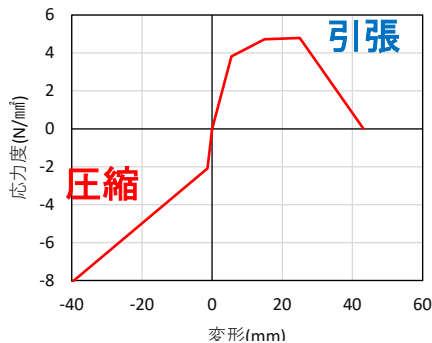
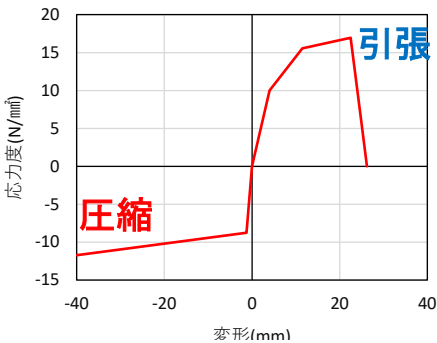
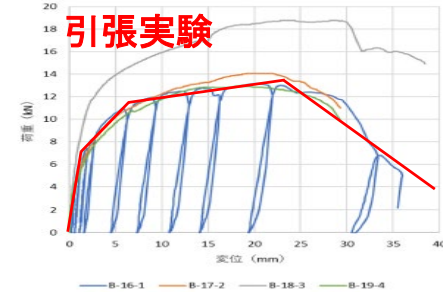
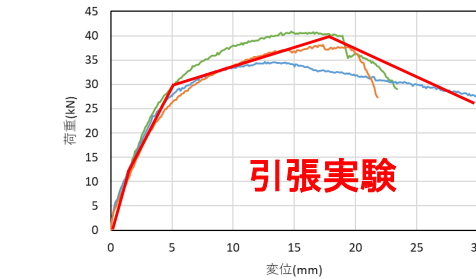
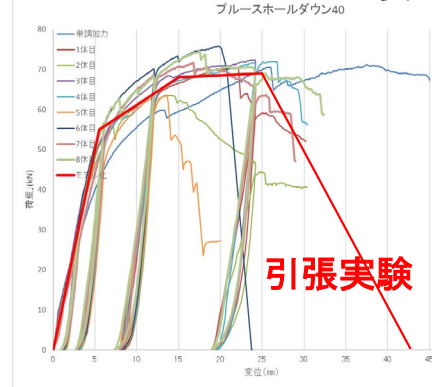
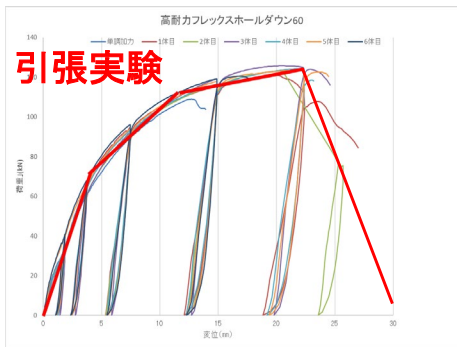


各接合部のモデル名称

筋かい耐力壁の解析的検討

要素実験から得た接合部のバネ

以下のように要素実験の結果から各接合部のバネを設定 (筋かい60×120の例)



柱脚:C1

柱頭:C2

中間材:B1柱(120×210)

筋交い:60×120(1669)

要素実験結果から得た接合部のバネ性能 (6000mm 筋かい断面60×120)

筋かい耐力壁の解析的検討

解析結果

3段筋かいの実大実験試験体4仕様を対象として解析を行った。
(3-4m、3-4.5m、3-5m、3-6m)

解析結果は事前解析、事後解析①、事後解析②を示した。いずれも接合部性能は要素実験を用いている。

事前解析：	R4年度実大実験から得た座屈長さ係数を用いた解析(3-4m、3-4.5mは0.8、3-5m、3-6mは1.0とする。)
事後解析①：	R5年度実大実験から得た座屈した筋かいの座屈荷重から求めた座屈長さ係数（試験体によって座屈長さ係数は異なる。）
事後解析②：	R5年度実大実験の筋かい座屈と同じタイミングで筋かい座屈が生じるように座屈長さ係数を変更した（座屈の生じていない試験体は最大値を示している。）

筋かい耐力壁の解析的検討

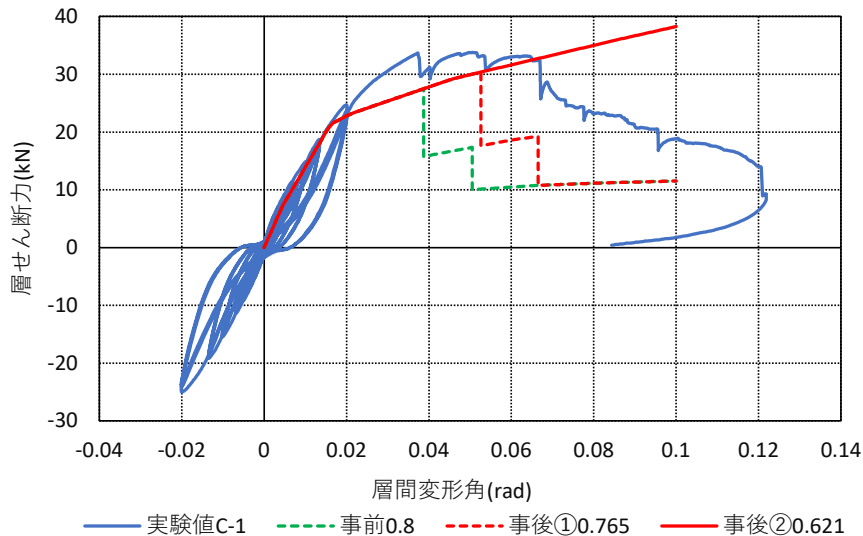
解析結果

仕様：3-4m-1 筋かい45×105 柱120×120

破壊性状（実大実験）

：加力側柱の折れ 0.121rad

仕様4mシリーズでは1/70rad時の降伏は筋かい端部の圧縮バネの降伏によるものであり、すべての段の圧縮筋かいがほぼ同じ変形角時に降伏している。



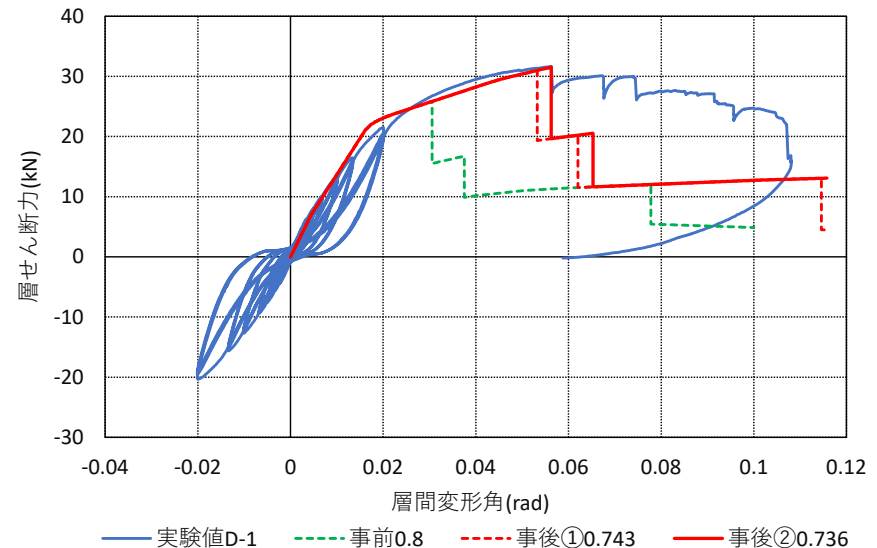
仕様：3-4.5m-1 筋かい45×120 柱120×150

破壊性状（実大実験）

：上段圧縮筋かい座屈 0.0571rad

中段圧縮筋かい座屈 0.107rad

仕様4.5mシリーズでは1/70rad時の降伏は筋かい端部の圧縮バネの降伏によるものであり、すべての段の圧縮筋かいがほぼ同じ変形角時に降伏している。



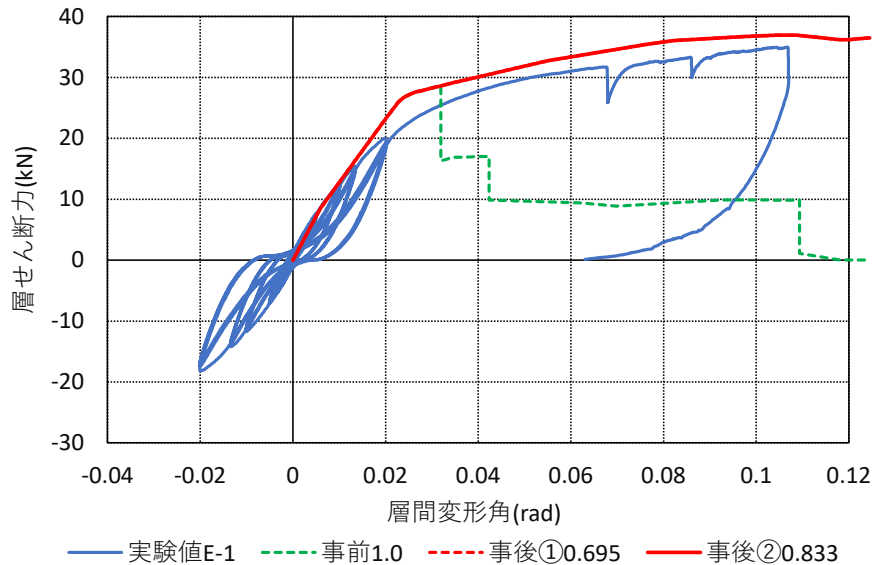
筋かい耐力壁の解析的検討

解析結果

仕様：3-5m-1 筋かい60×120 柱120×150

破壊性状（実大実験）
：座屈無

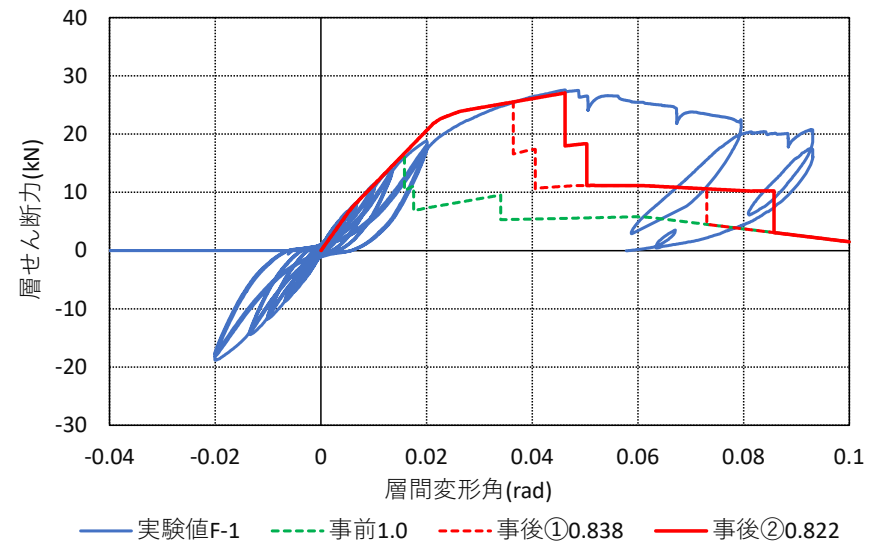
仕様5mシリーズでは1/50rad時の降伏は筋かい端部の圧縮バネの降伏によるものであり、すべての段の圧縮筋かいがほぼ同じ変形角時に降伏している。



仕様：3-6m-1 筋かい60×120 柱120×210

破壊性状（実大実験）
：中段圧縮筋かい座屈 0.0929rad

仕様6mシリーズでは1/50rad時の降伏は筋かい端部の圧縮バネの降伏によるものであり、すべての段の圧縮筋かいがほぼ同じ変形角時に降伏している。



筋かい耐力壁の解析的検討

解析結果－実験結果と解析結果（事後解析②）の特性値比較

	座屈長さ 係数k	Py (kN)	2/3Pmax (kN)	P1/120 (kN)	0.2Pu($\sqrt{2\mu-1}$) (kN)	壁倍率
3-4m解析	0.684	20.61	23.23	12.57	13.67	7.05
3-4m実験	0.740	21.03	24.57	13.77	14.23	7.61
3-4.5m解析	0.685	20.90	22.66	12.37	12.50	6.79
3-4.5m実験	0.760	18.30	21.77	12.17	11.90	6.53
3-5m解析	0.887	24.35	22,79	11.03	12.33	6.18
3-5m実験	0.816	18.53	21.73	10.60	11.33	5.95
3-6m解析	0.793	20.23	19.16	9.77	10.26	5.31
3-6m実験	0.830	16.07	19.13	9.70	10.53	5.42

まとめ

R4年度の実大実験を対象として解析を行った結果、実験で得られた座屈長さ係数を使用することで、荷重変形関係、壁倍率はおおむね実験の傾向をとらえることができた。一方で、同様の解析モデルを用いてR5年度の試験体を対象とした解析を行ったところ、初期剛性は一致するものの、座屈長さ係数の設定によっては最大荷重や靱性を過少評価してしまうこととなった。解析モデルの座屈発生が、実大実験で筋かいの座屈が生じた層間変位と同じになるように座屈長さ係数を調整した結果、荷重変形関係は実験と近い挙動を示し、壁倍率も同程度となった。

座屈長さ係数が10%程度変化すると、その影響によって解析上の筋かい耐力壁の性能は大きく異なってくる。座屈長さ係数に影響する要因として、筋かい端部接合金物、柱や横架材への筋かいのめり込み挙動などが考えられ、そのメカニズムについては不明な点が多い。筋かい耐力壁の性能に大きな影響を及ぼす座屈長さ係数の評価は今後の重要な検討課題である。

まとめ

本事業では、3段筋かいで壁高さ4～6m、2段筋かいで壁高さ3～4mで壁倍率が5倍程度となる仕様を示すことができた。今後の課題を以下に示す。

- 解析において、座屈長さ係数の設定を適切にできれば、壁倍率5倍となる仕様の範囲をより詳細に示すことが可能になると思われる。しかし、座屈長さ係数に影響する要因として、筋かい端部の接合金物、柱や横架材への筋かいのめり込み挙動などが考えられ、そのメカニズムについては不明な点が多い。
- 本検討では壁幅910mmを前提としているが、壁幅1365mmや1820mmの仕様も望まれるものと考えられる。筋かい耐力壁については、筋かい角度、筋かい長さによる性能への影響が大きいため、例えば壁高さ、筋かい段数、接合部仕様等が同じであっても壁幅910mmと壁幅1365mmの性能が同等であるとは言えない。壁幅が異なる場合は、別途検討が必要になる。
- 本事業での成果は、接合金物、ほぞ等の接合部仕様は実大試験での仕様限定したものである。今後、告示化を進める場合は、接合部の同等性評価等の考え方を整理しておく必要がある。
- 実大試験での柱の断面寸法は、扁平なもの（120×150、120×210）を使用した。実際の住宅において、隅部の柱はどのような納まりとするのがよいか整理しておく必要がある。
- 筋かい断面寸法は、現在の住宅用プレカット市場において対応可能な寸法は45×90のみである。それ以外の寸法を含めて告示化を進める場合は、材料の調達可能性も踏まえておく必要がある。