

(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交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
	伊藤嘉則	(一財) 建材試験センター
	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
協力委員	槌本敬大・中島昌一・山崎義弘	建築研究所
	荒木康弘	国土交通省国土技術政策総合研究所
	秋山信彦	国土交通省国土技術政策総合研究所

検討WG

主査委員	五十田博	京都大学
	河合直人	工学院大学
	青木謙治	東京大学、
	小谷竜城	(株)NCN
協力委員	荒木康弘	国土交通省国土技術政策総合研究所
	秋山信彦	国土交通省国土技術政策総合研究所

調査内容

1. 高階高、高耐力が実現できる筋交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）が実現できる筋交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。
 - 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。
 - 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。
 - 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。
2. 省エネ性能の高い建築物の必要壁量に関する検討についての情報を共有し、ニーズ等についての意見交換を実施。
（報告は省略）

現在の法令上の筋交い仕様

施行令第45条 筋交い

1. 引張り力を負担する筋かいは、厚さ1.5センチメートル以上で幅9センチメートル以上の木材又は径九ミリメートル以上の鉄筋を使用したものとしなければならない。
2. 圧縮力を負担する筋かいは、厚さ3センチメートル以上で幅9センチメートル以上の木材を使用したものとしなければならない。
3. 筋かいは、その端部を、柱とはりその他の横架材との仕口に接近して、ボルト、かすがい、くぎその他の金物で緊結しなければならない。
4. 筋かいには、欠込みをしてはならない。ただし、筋かいをたすき掛けにするためにやむを得ない場合において、必要な補強を行なったときは、この限りでない。

施行令第46条 構造耐力上必要な軸組等 表1

	軸組の種類	倍率
(1)	土塗壁又は木ずりその他これに類するものを柱及び間柱の片面に打ち付けた壁を設けた軸組	0.5
(2)	木ずりその他これに類するものを柱及び間柱の両面に打ち付けた壁を設けた軸組	1
	厚さ1.5センチメートル以上で幅9センチメートル以上の木材又は径九ミリメートル以上の鉄筋の筋かいを入れた軸組	1
(3)	厚さ3センチメートル以上で幅9センチメートル以上の木材の筋かいを入れた軸組	1.5
(4)	厚さ4.5センチメートル以上で幅9センチメートル以上の木材の筋かいを入れた軸組	2
(5)	9センチメートル角以上の木材の筋かいを入れた軸組	3
(6)	(2)から(4)までに掲げる筋かいをたすき掛けに入れた軸組	(2)から(4)までのそれぞれの数値の2倍
(7)	(5)に掲げる筋かいをたすき掛けに入れた軸組	5
(8)	その他(1)から(7)までに掲げる軸組と同等以上の耐力を有するものとして国土交通大臣が定めた構造方法を用いるもの又は国土交通大臣の認定を受けたもの	0.5から5mでの範囲において国土交通大臣が定める数値
(9)	(1)又は(2)に掲げる壁と(2)から(6)までに掲げる筋かいとを併用した軸組	(1)又は(2)のそれぞれの数値と(2)から(6)までのそれぞれの数値の和

平成12年5月31日建設省告示第1460号 木造の継手及び仕口の構造方法を定める件
筋交いの断面寸法別に接合具の種類が示されている。

現在の法令上の筋交い仕様

高階高、高耐力の筋交いの仕様を検討する上での現状の整理

- 施行令第45条（筋かい）でどこまで読めるか、という点を整理して、仕様を検討する必要がある。
- 現状では、高さやアスペクト比の条件は示されていないが、これらが変わることで、筋交いの長さ、角度が異なる場合は筋交いの性能が変わる。高階高・高耐力の筋交いの仕様を示すなら、高さやアスペクト比で制限を付ける必要がある。
- 壁高さが高くなる場合、柱頭・柱脚接合部への影響については別途検討が必要。（本事業の対象外）
- 筋交いでは、N値計算の際に補正するルール（補正係数）があるが、圧縮と引張の差を考慮して決定したもの。筋交いの形状によって補正が必要な場合があるが、本事業では対象とはせず、筋交いの性能のみを対象とする。

検討対象とする筋交い仕様

高階高・高耐力 筋交いの具体的な仕様として、以下を設定。

高さが4.5mで壁倍率5の性能を確保できる仕様

今年度は、これが実現できる仕様を探ることとした。

- 既往の研究等より、以下の仕様で実験にて性能を確認した。

仕様A：筋かい断面 45×90

仕様B：筋かい断面 60×120

筋交い	3段
筋交い金物	壁倍率2以上用の筋かい金物 柱梁接合タイプ
柱	120角 背割りなし 土台との接合部は長ほぞとし、ほぞの長さは試験治具の鋼材まで 当たるようにする。（圧縮側のめり込み補強のため）
柱脚金物	60kN用HD金物×2 →壁側面ではなく壁表裏に1つずつ
柱頭金物	40kN用HD金物×1（壁側面）
間柱	45×120 →仕様Bの場合は筋かい交差部で途切れてしまうことになる。筋かいに対して釘どめする。
中間材	120角 →柱との留め付けは大入れ+コーナー金物（15kN以上）

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、スギE70とする。ただし、材料調達時点でヤングを計測し、ヤングが60~65となる低質材（節も考慮）を選別する。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低質材を選別した後加工。
- JAS材指定をしない場合に入手される可能性のある低質材での実験を行うことが目的。

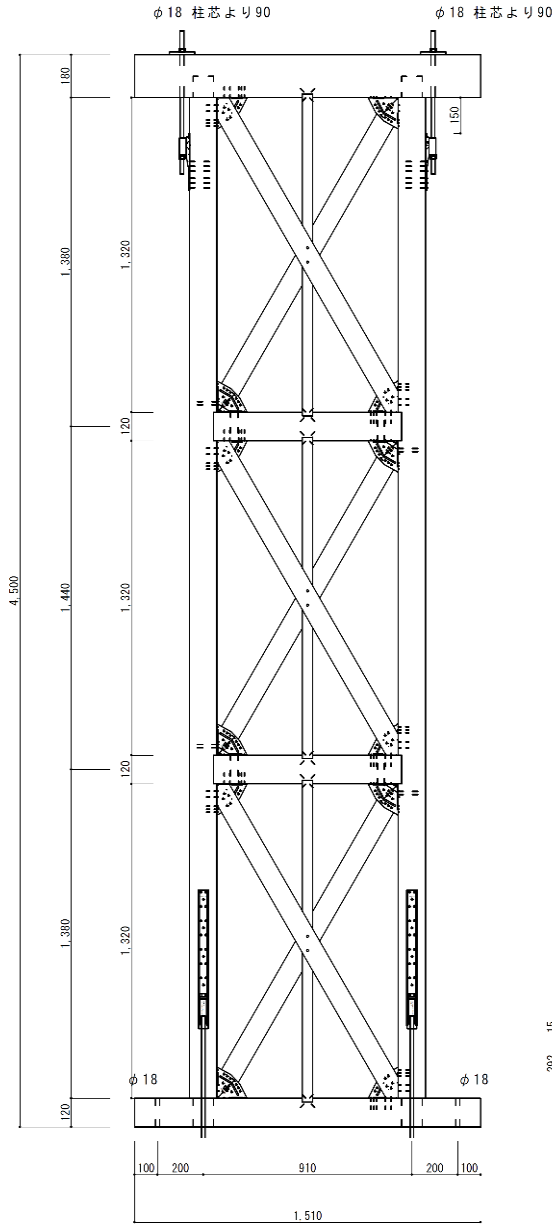
【中間材の仕様】

- 中間横架材の断面寸法は120角。筋かい金物、中間横架材のコーナー金物の留付けビス（L=85mm）を考慮して、ビスが干渉しないように留付け位置を確認した上で、可能な限り小さいせいとなるよう決定。
- 中間横架材は柱に対して大入れとし、せん断剛性に効かせるようにした。施工上も、位置決めのためにあってよいと思われる。性能的には大入れではなくほぞ差しでもよいが、ほぞ差しだと施工がしづらい。ただし、直交方向に同じ壁が来た場合は大入れだと納まらない。この場合、片方は梁受け金物で対応する必要がある。

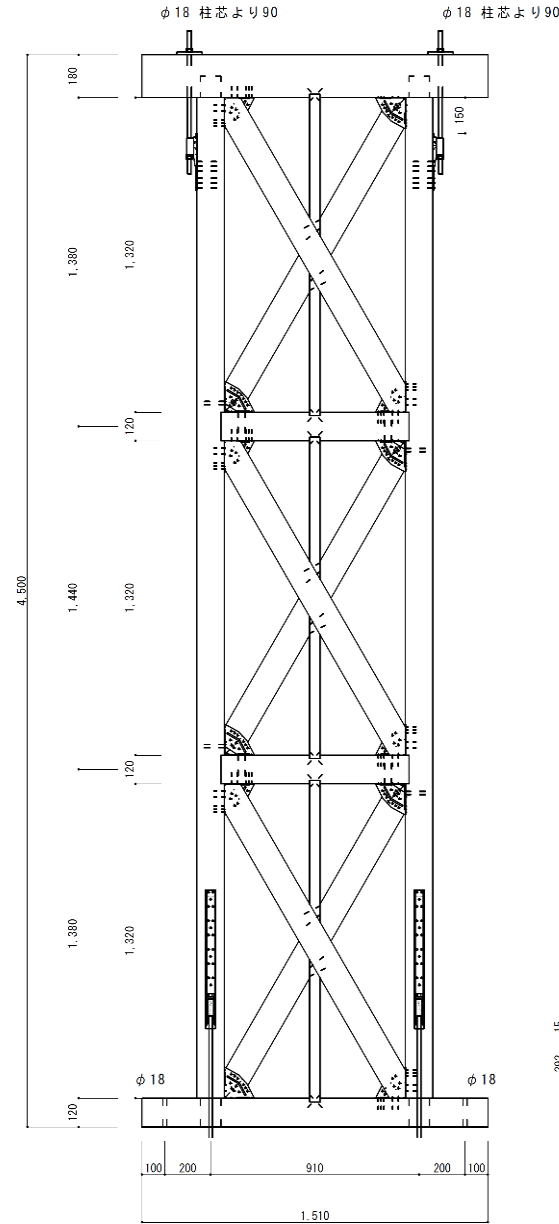
【長ほぞの仕様】

- ほぞの寸法は幅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、ほぞ穴の深さは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、ほぞ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。

試験体図



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 高耐力フレックスホルダ'ウン60

柱頭 カネシ フルスホルダ'ウン40

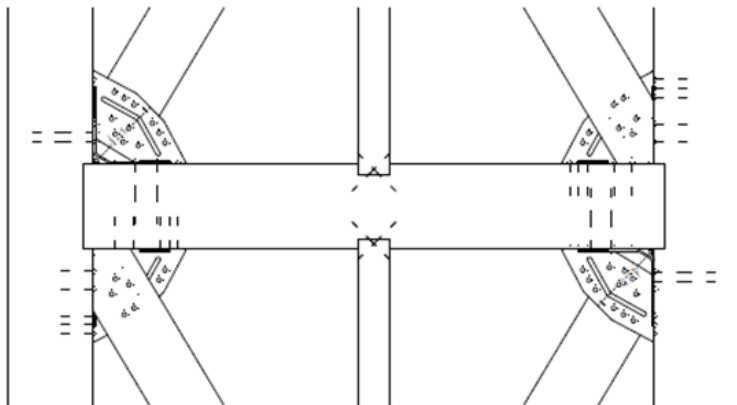
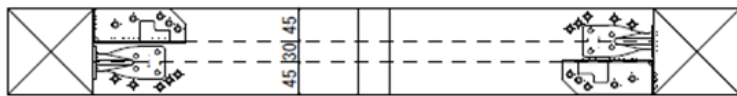
中央横架材端部上下 カネシ ミドルコーナ-15

間柱端部 N75×2本 斜め打ち

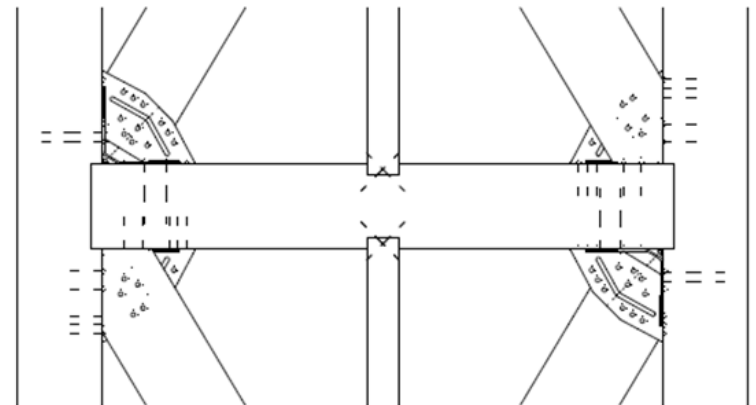
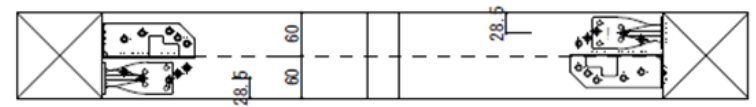
試験体図 部分詳細

接合金物納まり

筋かい カネシン PS筋交い金物
中間横架材端部上下 カネシン ミドルコーナー



試験体 A 筋交い90×45

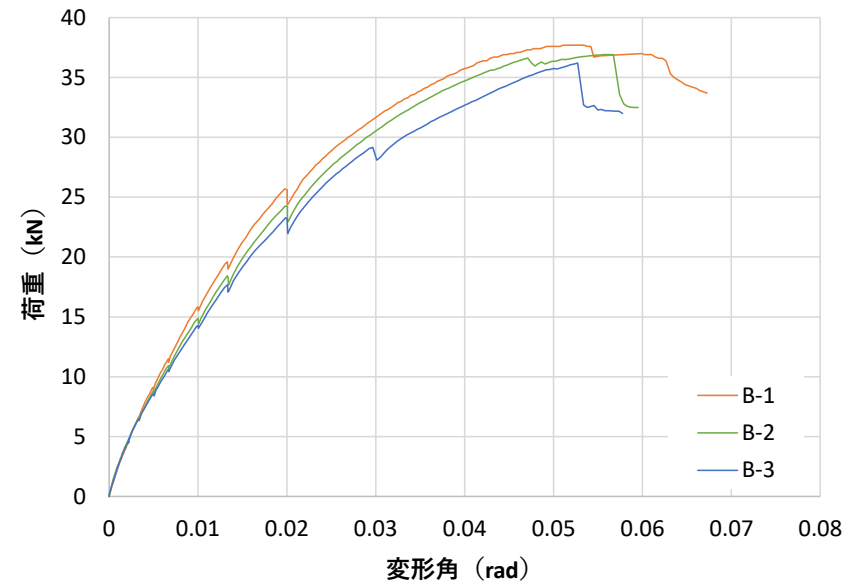
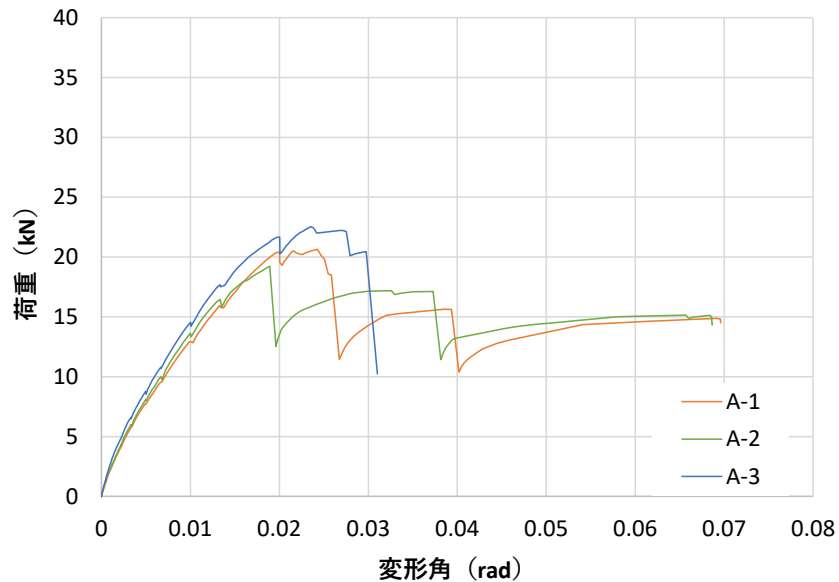


試験体 B 筋交い120×60

実験結果

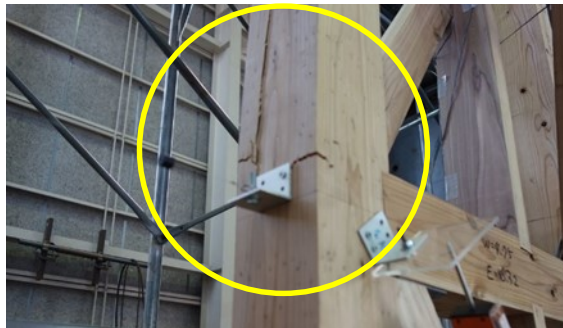
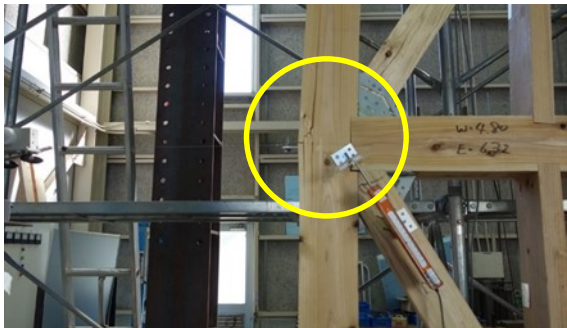
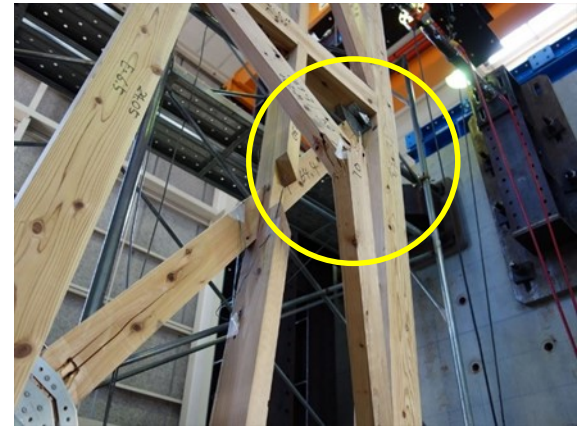
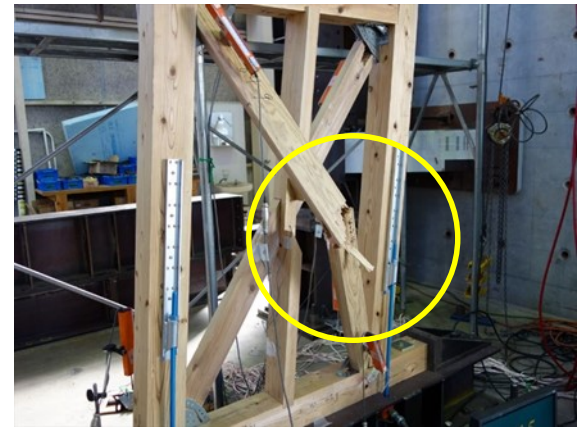
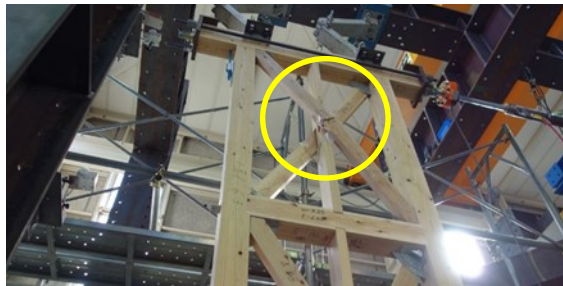
実験結果

		仕様A						仕様B					
		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	10.23	10.27	11.88	10.79	0.94	10.35	20.95	19.95	20.73	20.54	0.53	20.30
②	$0.2P_u \times \sqrt{(2\mu - 1)}$	6.40	5.22	7.82	6.48	1.30	5.87	14.70	12.97	12.04	13.24	1.35	12.60
③	$2/3P_{max}$	13.77	12.82	15.02	13.87	1.10	13.35	25.14	24.61	24.13	24.63	0.51	24.39
④	$P_{1/120}$	11.37	11.94	12.78	12.03	0.71	11.70	13.79	13.02	12.54	13.12	0.63	12.82
参考	$P_{1/300}$	5.56	5.91	6.53	6.00	0.49	5.77	6.48	6.57	6.44	6.50	0.07	6.47
		$P_0 = \min (① \sim ④)$					5.87	$P_0 = \min (① \sim ④)$					12.60
		単位壁長さ当たりの短期基準せん断耐力 P_0 (kN/m)					6.45	単位壁長さ当たりの短期基準せん断耐力 P_0 (kN/m)					13.85
		壁倍率					3.29	壁倍率					7.06



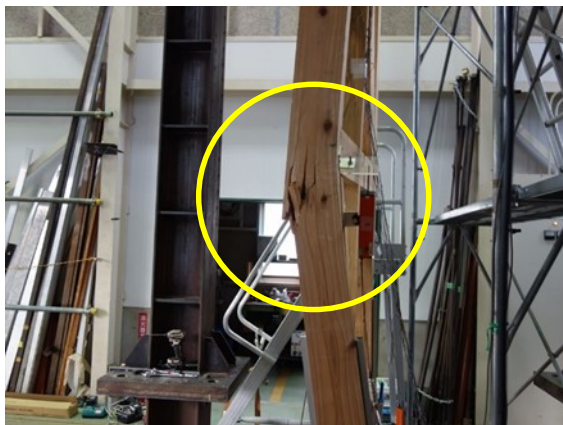
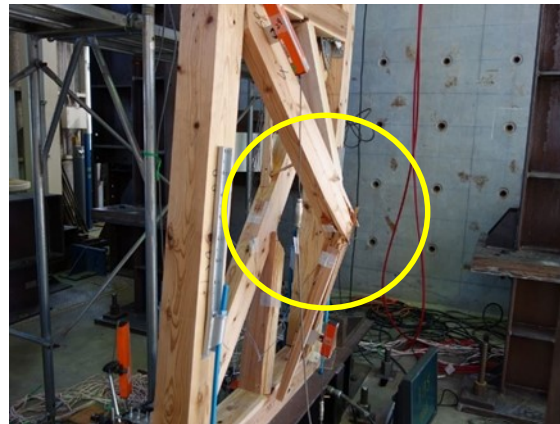
仕様A 破壊性状

	1体目	2体目	3体目
1/50rad	上段筋かい 圧縮時面外へ微かに変形	上段圧縮筋かいの座屈②-1 負側で上段圧縮筋かい（裏）の面外変形	正側・負側とも上段圧縮筋かいの面外変形
1/38rad	上段圧縮筋かい座屈①-1		
1/28rad	中段圧縮筋かい座屈①-2	中段圧縮筋かい座屈②-2	下段圧縮筋かい座屈③-1
1/21rad			中段圧縮筋かい座屈③-2
1/15rad	非加力側柱と下側中間横架材の仕口部柱 折れ①-3	非加力側柱と下側中間横架材の仕口部柱 折れ②-3	



仕様B 破壊性状

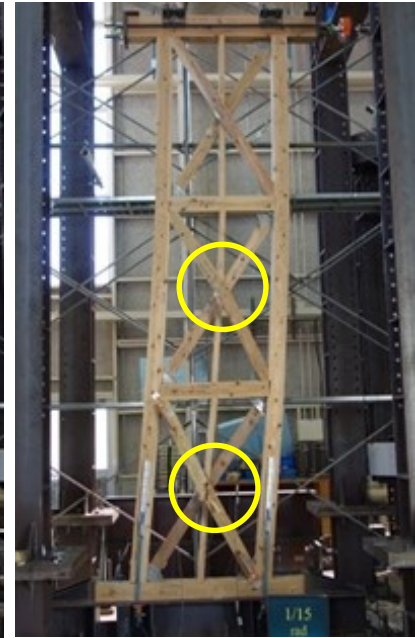
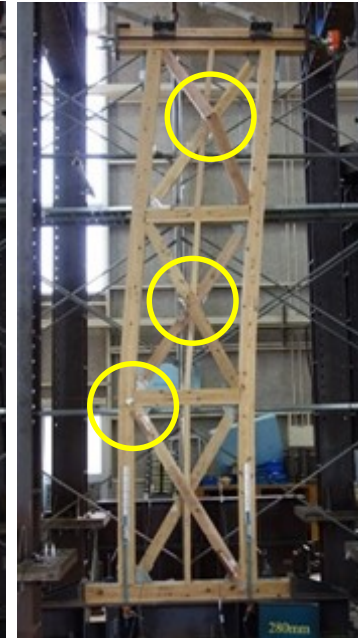
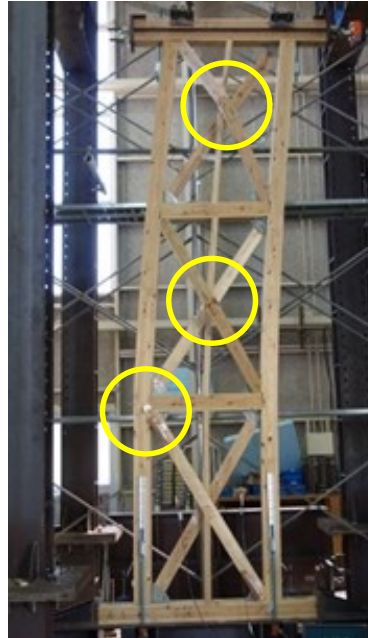
	1体目	2体目	3体目
1/19rad	圧縮筋かい端部の軸組へのめり込み		
1/18.9rad			上段圧縮筋かいの座屈③-1
1/17.6rad		下段圧縮筋かいの座屈②-1	
1/17.2rad			加力側及び非加力側の柱（上部中間横架材部）の破断 ③-2
1/15rad	下段圧縮筋かいの座屈①-1 加力側柱の座屈①-2		



破壊性状 1/15rad時

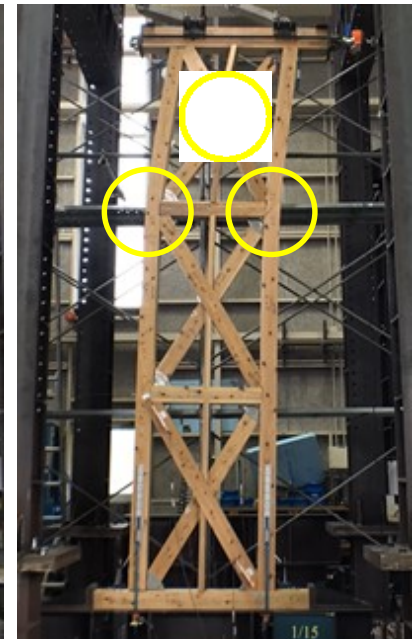
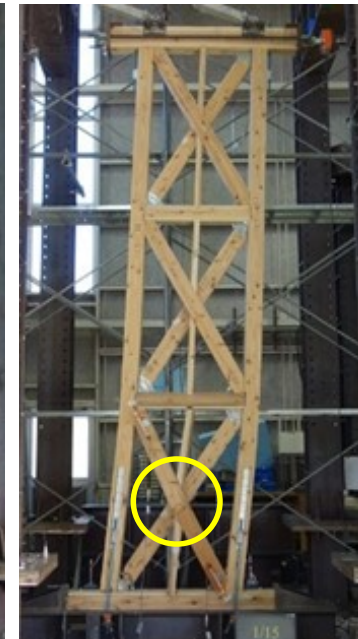
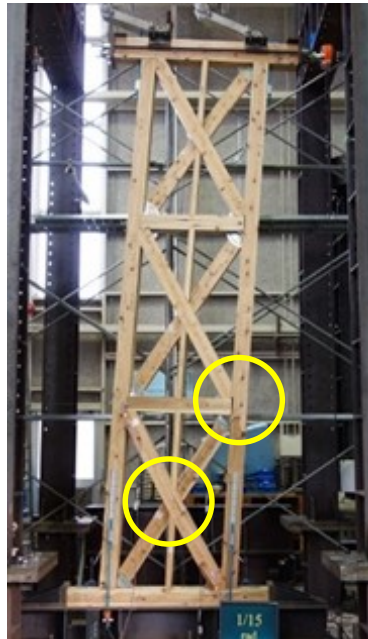
仕様A 筋交い90×45

試験体		A-1			A-2			A-3		
部材	位置	E	密度	含水率	E	密度	含水率	E	密度	含水率
筋かい	上段-表	6.4	365	10.0	6.4	340	9.5	6.3	391	12.0
	上段-裏	6.4	323	9.5	6.3	357	9.7	6.4	391	10.3
	中斷-表	6.3	340	10.7	6.4	391	10.7	6.3	391	9.3
	中斷-裏	6.3	382	10.3	6.4	323	9.0	6.3	357	10.7
	下段-表	6.4	340	9.7	6.4	382	10.8	6.4	357	10.7
	下段-裏	6.4	340	10.5	6.4	374	11.7	6.3	357	10.7
柱	柱-右	6.1	387	20.5	6.5	437	13.7	6.3	461	16.2
	柱-左	6.4	346	11.3	6.3	397	15.8	6.5	396	14.8



仕様B 筋交い120×60

試験体		B-1			B-2			B-3		
部材	位置	E	密度	含水率	E	密度	含水率	E	密度	含水率
筋かい	上段-表	6.0	455.0	12.8	6.2	588.0	15.8	5.9	519.0	20.2
	上段-裏	6.2	450.0	16.2	5.9	504.0	16.2	5.9	455.0	11.2
	中斷-表	6.1	450.0	14.8	6.4	425.0	12.8	6.1	534.0	20.8
	中斷-裏	6.1	529.0	20.7	5.9	544.0	17.7	5.9	445.0	9.7
	下段-表	6.0	469.0	13.7	5.9	595.0	22.5	6.4	544.0	11.5
	下段-裏	6.0	455.0	18.7	6.2	430.0	14.0	6.2	534.0	14.3
柱	柱-右	6.5	413.0	14.2	6.2	470.0	13.3	6.3	469.0	16.0
	柱-左	6.5	465.0	15.8	6.4	472.0	14.5	6.0	462.0	14.0

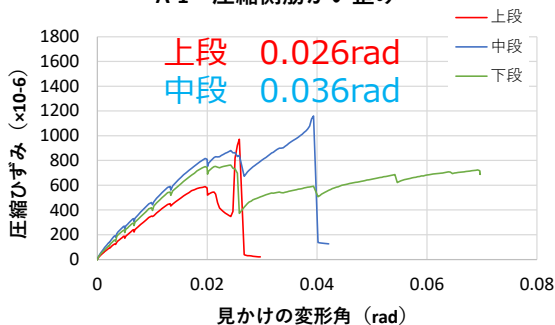


破壊した部材を赤字で表示

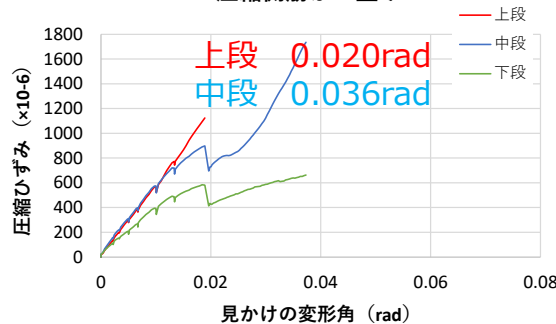
各部の変形 A仕様 45×90

各段の圧縮筋かいのひずみ履歴の包絡線の重ね合わせ
 各段の横架材（桁、中間材）位置の水平変位と試験体頂部の変形角
 各段間変位（変位差）と試験体頂部の水平変形角

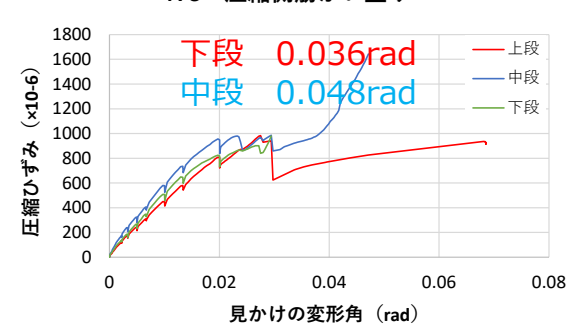
A-1 圧縮側筋かい歪み



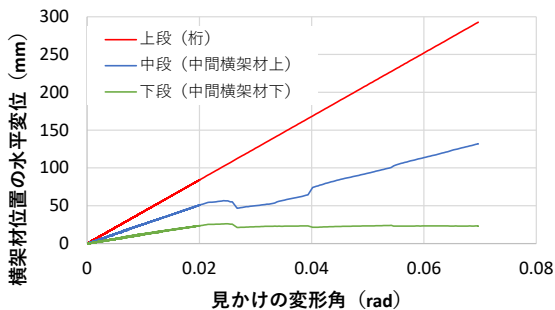
A-2 圧縮側筋かい歪み



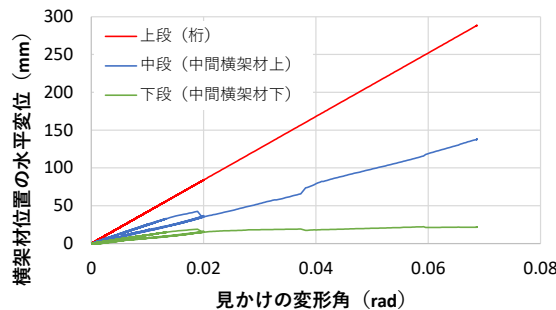
A-3 圧縮側筋かい歪み



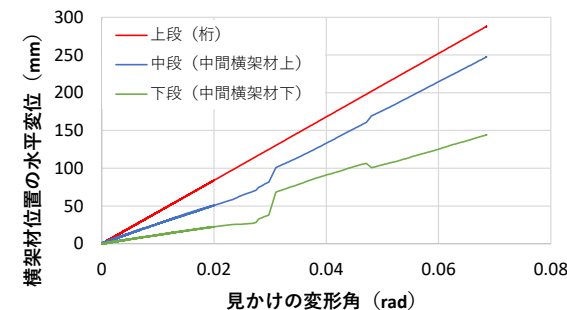
各段の横架材位置の水平変位



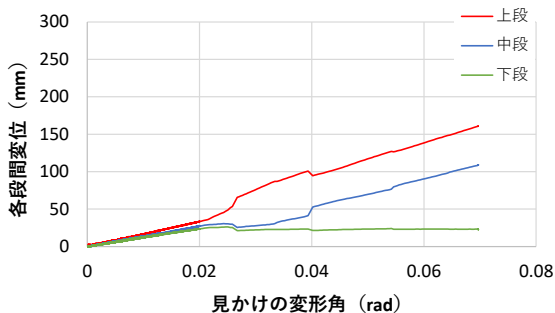
各段の横架材位置の水平変位



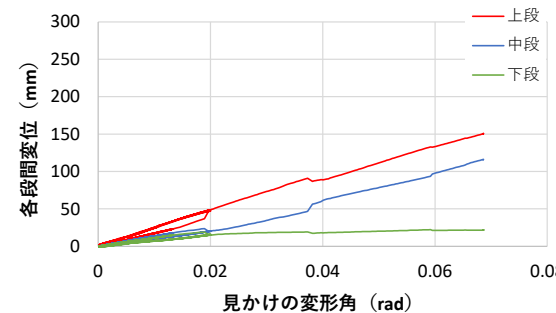
各段の横架材位置の水平変位



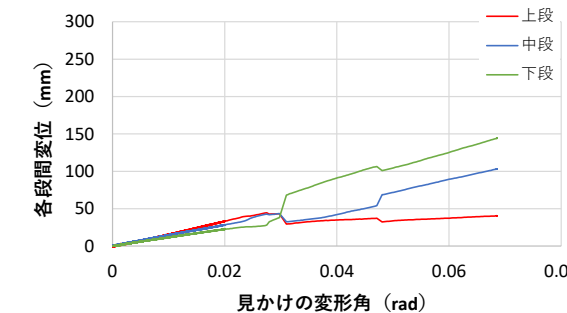
各段間変位



各段間変位



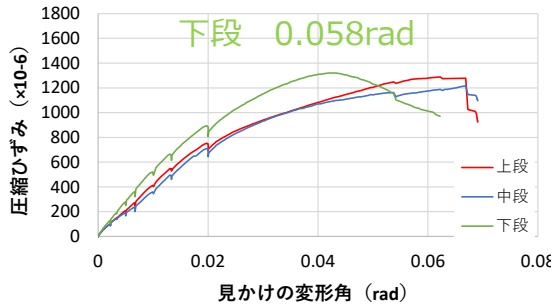
各段間変位



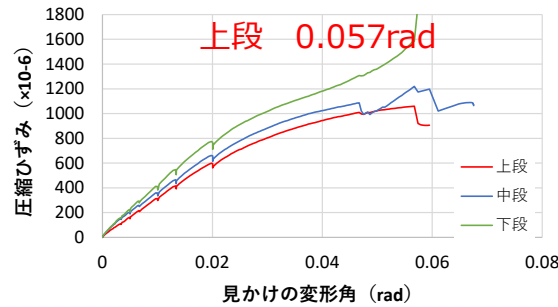
各部の変形 B仕様 120×60

各段の圧縮筋かいのひずみ履歴の包絡線の重ね合わせ
 各段の横架材（桁、中間材）位置の水平変位と試験体頂部の変形角
 各段間変位（変位差）と試験体頂部の水平変形角

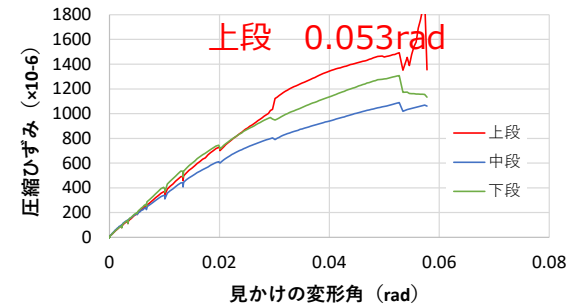
B-1 圧縮側筋かい歪み



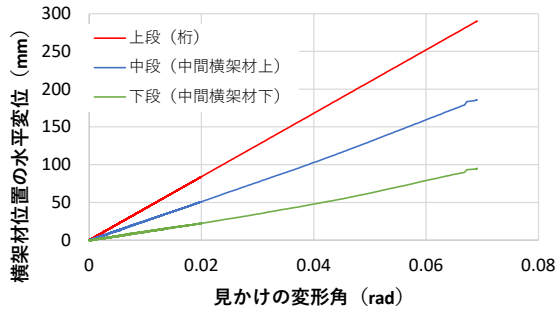
B-2 圧縮側筋かい歪み



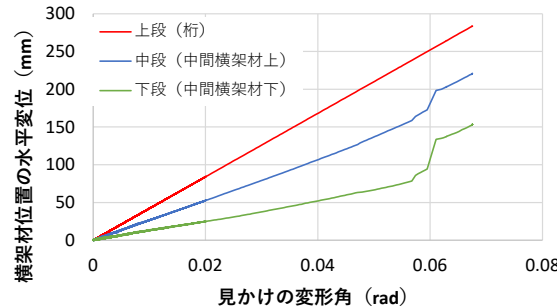
B-3 圧縮側筋かい歪み



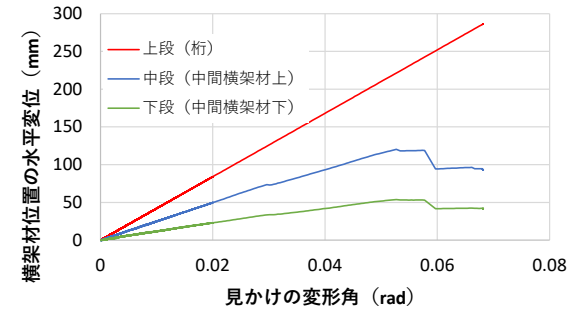
各段の横架材位置の水平変位



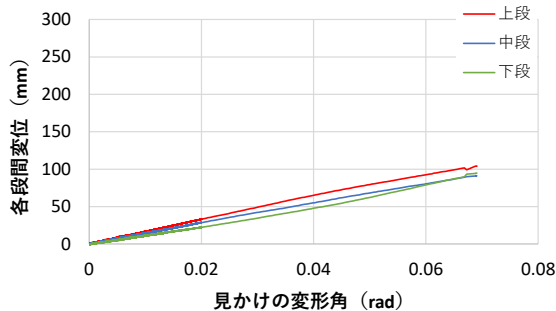
各段の横架材位置の水平変位



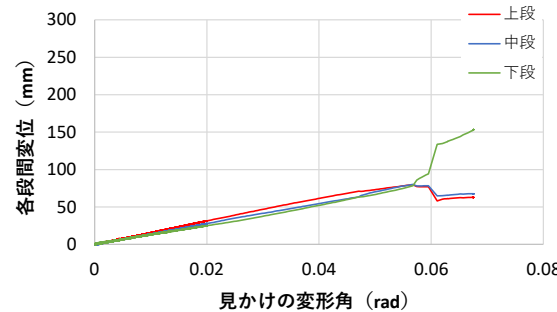
各段の横架材位置の水平変位



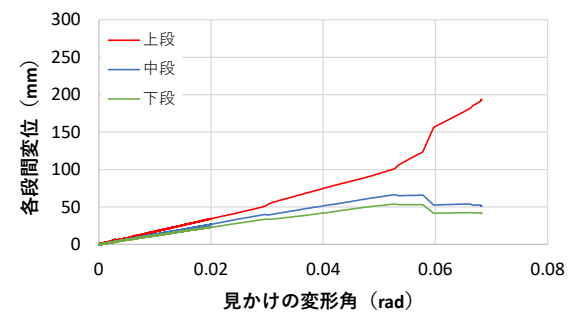
各段間変位



各段間変位



各段間変位



実験のまとめ

- 目標（壁倍率5）に対して、仕様A（90×45）では3.29倍、仕様B（120×60）では7.06倍となった。
- 柱の折損は、筋交いの座屈が生じた後、座屈が生じていない段との間の中間材接合部分で生じる。
- 筋交いの座屈の順番は、A仕様では最初に上段または下段に生じ、続いて中段に生じる。B仕様でも同様に最初に上段または下段に生じるが、そのあとの中段では生じていない。上下段どちらに生じるかは、B仕様では筋交いのヤングの差がある試験体があり、それらでは低い方で生じているように見える。

試験体		A-1			A-2			A-3			試験体		B-1			B-2			B-3		
部材	位置	E	密度	含水率	E	密度	含水率	E	密度	含水率	部材	位置	E	密度	含水率	E	密度	含水率	E	密度	含水率
筋かい	上段-表	6.4	365	10.0	6.4	340	9.5	6.3	391	12.0	筋かい	上段-表	6.0	455.0	12.8	6.2	588.0	15.8	5.9	519.0	20.2
	下段-表	6.4	340	9.7	6.4	382	10.8	6.4	357	10.7		下段-表	6.0	469.0	13.7	5.9	595.0	22.5	6.4	544.0	11.5

- 他の試験体では、筋交いのヤングはほぼ同じであり、上下どちらが先に座屈するかはランダムに見える。

今年度の成果

- 仕様Bは7.06倍となり、現状では目標倍率5に対して、オーバースペックであるが、今年度の実験によって、各部の納まりがほぼ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。

今後の進め方

- 今後は、この納まりの範囲内で壁倍率5となる仕様を検討していく。
- このような検討は、実験で行うには膨大な試験体数が必要となるため、解析的に検討を行う必要がある。
- そこで、来年度は、各種接合部等をモデル化できるように要素実験を行い、解析用モデルでも検討することを目指す。

検討の手順案

要素実験

本筋交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

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。

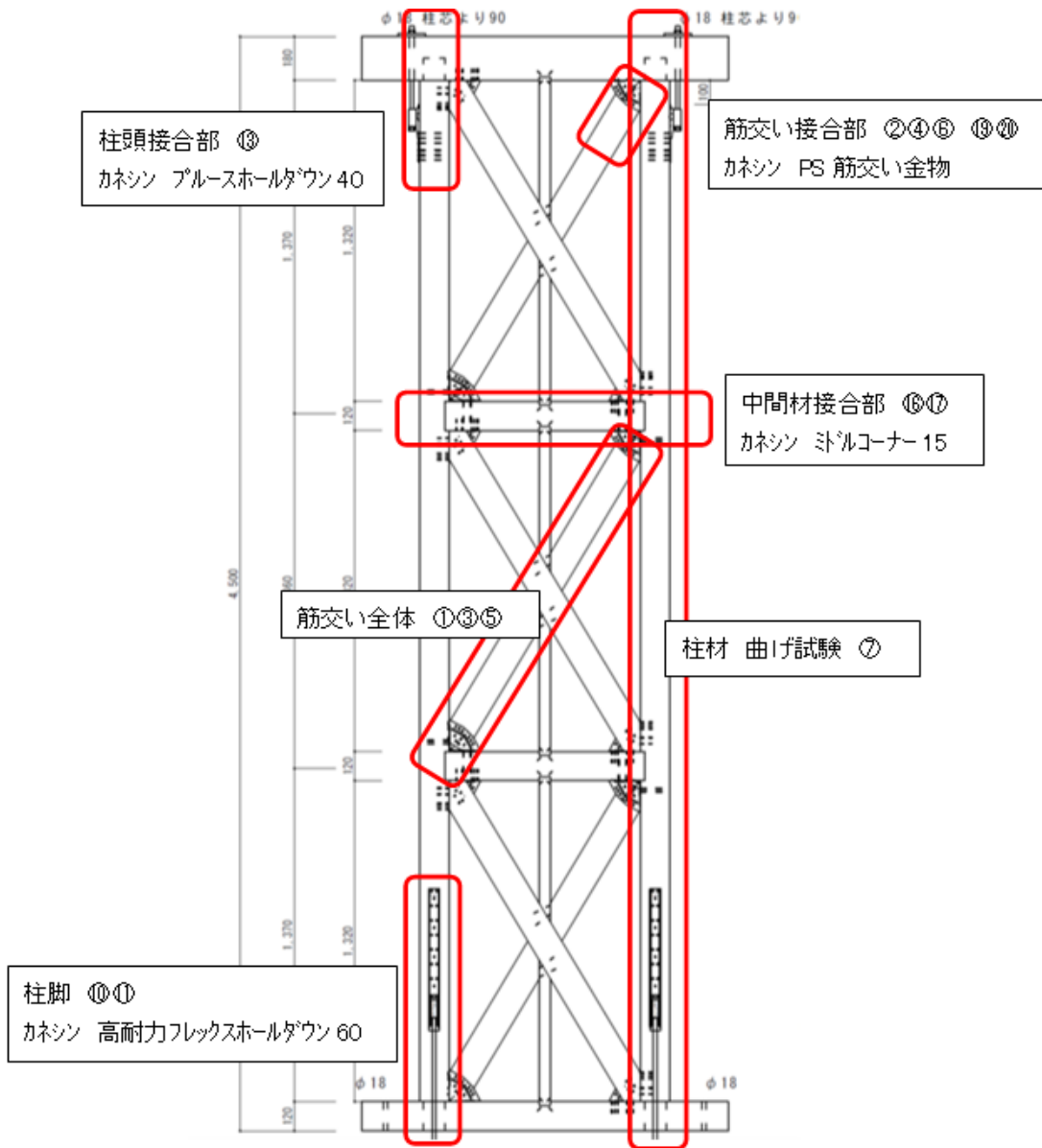
解析モデルによるパラスタ

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

要素試験のイメージ



要素実験データ候補

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、と考えられるもの。

- ①金物付筋交い 座屈実験
- ②金物付筋交い接合部 引張試験
- ③両端ピンの筋交い 座屈試験
- ④金物付筋交い接合部 面外方向加力試験
- ⑤筋交い材料—圧縮試験
- ⑥筋交い材料—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筋交い金物のビス せん断試験
- ⑳筋交い金物のビス 引張試験