

平成 30 年度

CLT 等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業

CLT による鉄骨造建築物の耐力壁構成技術の開発
報告書

平成 31 年 3 月

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

目 次

第 1 章 事業の概要

1.1 事業の目的と概要.....	第 1 章-1
1.2 実施体制と事業スケジュール	第 1 章-3
1.2.1 実施体制	第 1 章-3
1.2.2 実施スケジュール.....	第 1 章-4
1.3 S 造+CLT 耐力壁 設計の考え方.....	第 1 章-5
1.3.1 設計概要	第 1 章-5
1.3.2 接合部設計.....	第 1 章-5
1.3.3 パラメータスタディ 1 (CLT パネルの検討)	第 1 章-6
1.3.4 パラメータスタディ 2 (ドリフトピンの検討)	第 1 章-7
1.3.5 1/2 スケール構面実験の設計.....	第 1 章-12
1.3.5.1 ドリフトピン性能の確認	第 1 章-12
1.3.5.2 ドリフトピン接合部の設計	第 1 章-13
1.3.6 防耐火に関する検討.....	第 1 章-16
1.4 実験の全体像 要素実験と構面実験	第 1 章-17
1.4.1 本事業で実施した実験.....	第 1 章-17
1.4.2 各試験の目的と仕様の決定	第 1 章-17

第 2 章 要素実験

2.1 CLT 材料実験	第 2 章-1
2.1.1 引張実験	第 2 章-1
2.1.1.1 実験概要と特性値算出方法	第 2 章-1
2.1.1.2 実験結果と考察.....	第 2 章-3
2.1.2 せん断実験.....	第 2 章-12
2.1.2.1 実験概要と各特性値算出方法	第 2 章-12
2.1.2.2 実験結果と考察.....	第 2 章-14
2.1.3 圧縮試験	第 2 章-19
2.1.3.1 試験概要と各特性値算出方法	第 2 章-19
2.1.3.2 試験結果.....	第 2 章-23
2.2 モルタル圧縮試験.....	第 2 章-44
2.2.1 試験概要	第 2 章-44
2.2.2 試験方法	第 2 章-44
2.2.3 試験結果	第 2 章-44
2.3 フレーム用鋼材引張試験.....	第 2 章-49
2.3.1 試験概要	第 2 章-49
2.3.2 試験方法	第 2 章-52

2.3.3	試験結果	第 2 章-53
2.4	鋼板挿入ドリフトピン接合部実験	第 2 章-58
2.4.1	ドリフトピン曲げ試験	第 2 章-58
2.4.2	ドリフトピン引張試験	第 2 章-63
2.4.3	ドリフトピン単位接合部実験	第 2 章-64
2.4.3.1	実験概要と特性値算出方法	第 2 章-64
2.4.3.2	実験結果と考察	第 2 章-66
2.4.4	ドリフトピン接合部全体実験	第 2 章-80
2.4.4.1	実験概要と特性値算出方法	第 2 章-80
2.4.4.2	実験結果と考察	第 2 章-81

第 3 章 1／2 スケール構面実験

3.1	試験体概要	第 3 章-1
3.1.1	試験体	第 3 章-1
3.1.2	試験体詳細	第 3 章-2
3.1.3	施工方法・組立手順	第 3 章-7
3.2	実験方法	第 3 章-9
3.2.1	試験装置	第 3 章-9
3.2.2	加力計画	第 3 章-10
3.2.3	計測計画	第 3 章-11
3.3	事前解析	第 3 章-16
3.3.1	解析概要	第 3 章-16
3.3.2	解析結果	第 3 章-19
3.4	実験結果	第 3 章-21
3.4.1	データ処理の方針	第 3 章-21
3.4.2	荷重変形関係・破壊性状	第 3 章-23
3.4.3	CLT の負担荷重と柱の負担荷重	第 3 章-32
3.4.4	各接合部のすべり変形	第 3 章-36
3.4.5	主な応力図	第 3 章-40
3.4.6	構面実験まとめ	第 3 章-48

第 4 章 設計法の検討

4.1	事後解析－実験結果との比較	第 4 章-1
4.1.1	事後解析概要	第 4 章-1
4.1.2	事後解析結果	第 4 章-4
4.1.3	事後解析・実験結果比較の考察	第 4 章-13
4.2	構造設計の方法	第 4 章-14
4.2.1	解析モデル	第 4 章-14
4.2.2	設計用解析結果	第 4 章-16

第 5 章 参考資料

5.1 議事録（時系列）	第 5 章-1
--------------------	---------

第 1 章 事業の概要

1.1 事業の目的と概要

CLT 活用促進に関する関係省庁連絡会議が公表した『CLT の普及に向けたロードマップ～需要の一層の拡大をめざして～』には、CLT を使いやすくするための取り組み事項として「中高層建築物における CLT の利用が容易になるよう建築部材等の開発を促進」することが示されており、その中で「混構造建築物の設計・施工技術の開発」が具体的な内容として示されている。

本事業は、ロードマップのその部分に該当するものであり、鉄骨造に水平力を負担する耐力壁として CLT を組み込む技術の社会実装を目的とするものである。

本事業では、鉄骨ラーメンフレームに CLT を挿入した架構について、構造性能、耐火性能の検討を実施する。構造性能については、1 仕様の CLT について構造実験（構面実験、要素実験）を実施し、標準的な納まりを提案している。耐火性能については、既存の知見と構造実験での試験体仕様から検証を行った結果を示す。

具体的には、図 1.1-1 に示す解析・実験を進める。

既往の検討としては、『平成 28 年度 都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業／CLT 接合部データ等の収集』の『CLT 等の木質系材料による非木造建築物の耐震壁構成技術の開発』において、鉄骨造への適用の前提条件の整理や接合方法についてフィージビリティスタディを実施している。また、平成 29 年度に、京都大学の予算により、鉄骨フレームに CLT 壁を挿入した 5 層 5 プライの壁試験体を試作し、実大実験を行った。

上記の成果を用いて、本事業では社会実装を見込んだ納まりの設計を進め、その仕様における構面実験を実施し、その性能を把握する。加えて、要素実験により各部詳細性能を把握する。

それらを統合して解析モデルを作成し、構造設計方法の提案を行う。併せて今回の仕様における耐火性能についての検討も実施する。

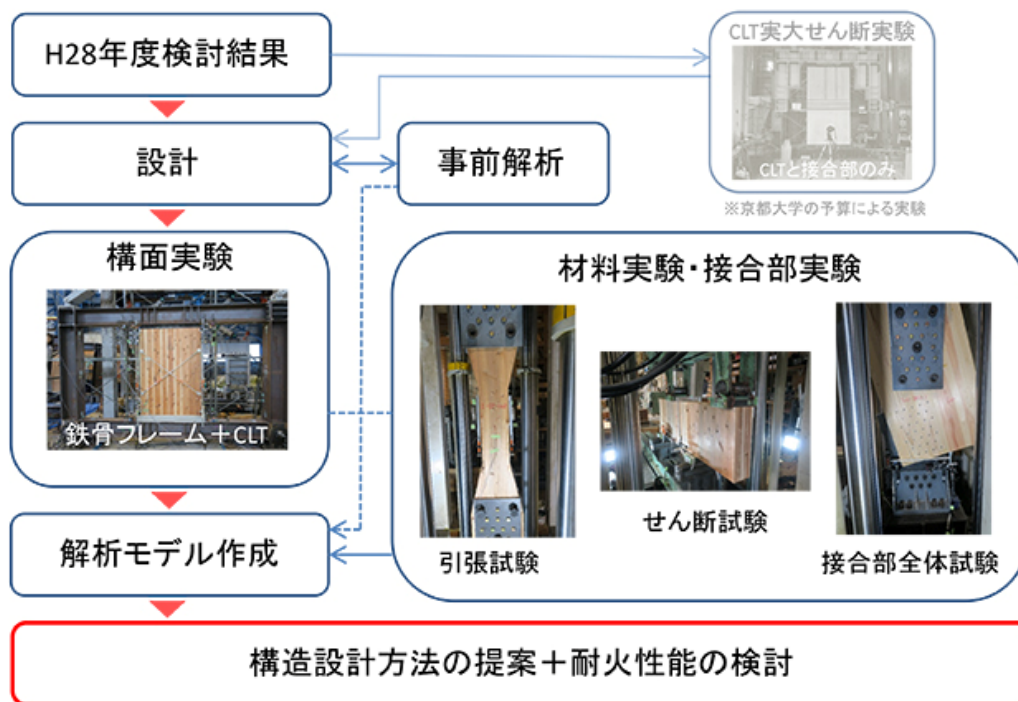


図 1.1-1 本事業の構成

1.2 実施体制と事業スケジュール

1.2.1 実施体制

本事業においては、委員会を設置して、以下の有識者で構成した。

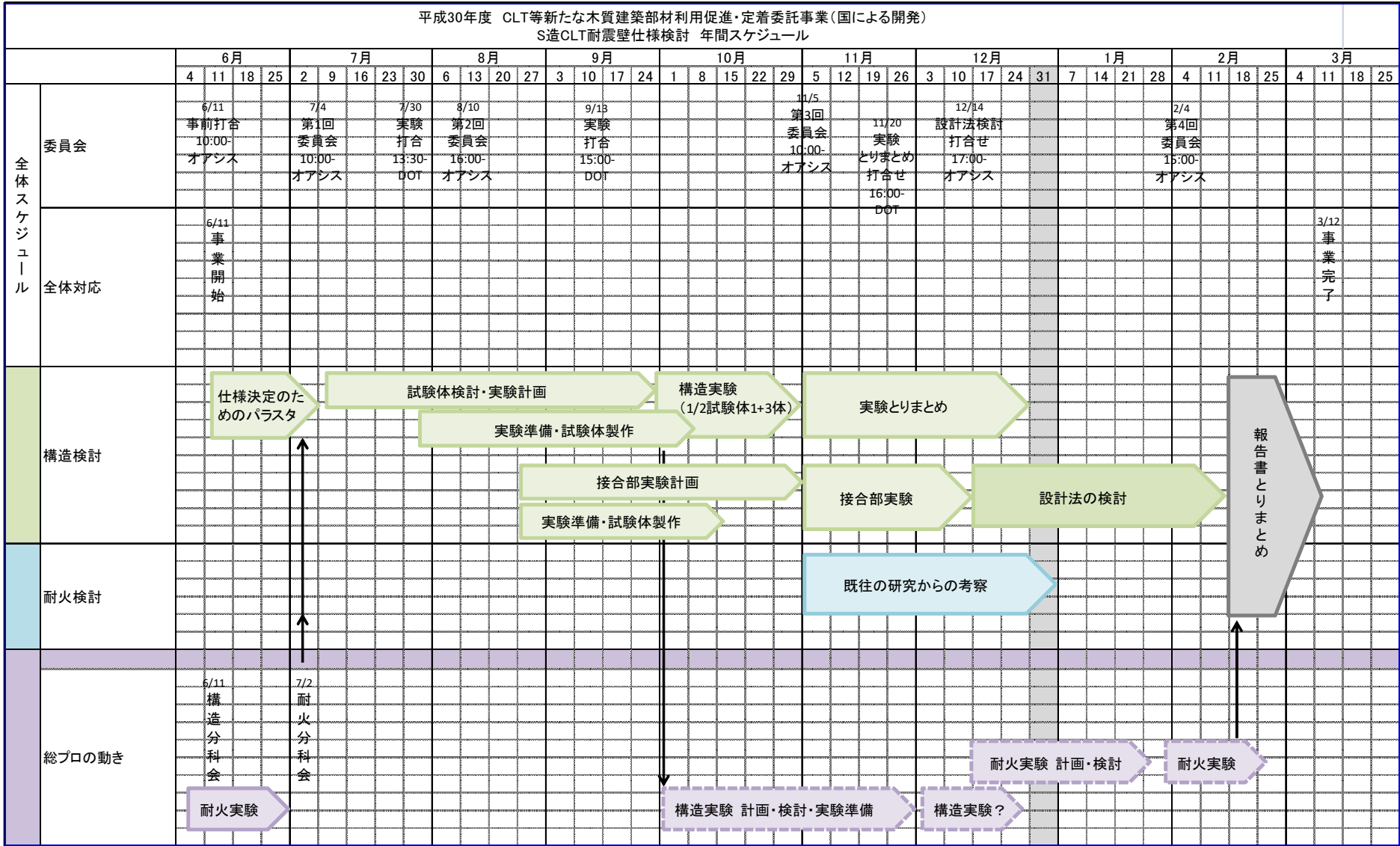
OS 造 CLT 耐力壁 仕様検討委員会

委員長	五十田 博	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野	教授
委員	中川 貴文	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野	准教授
	北守 顕久	京都大学 生存圏研究所 生活圏構造機能分野	助教
	荒木 康弘	国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部	
		基準認証システム研究室	主任研究官
	中島 昌一	国立研究開発法人建築研究所 構造研究グループ	研究員
	石原 直	国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部	
		評価システム研究室	研究室長
	三木 徳人	国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部	
		構造基準研究室	研究官
	鈴木 淳一	国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部	
		防火基準研究室	主任研究官
	野秋 政希	国立研究開発法人建築研究所 防火研究グループ	研究員
	宇佐美 徹	株式会社竹中工務店 技術研究所 構造部	
		架構システムグループ	長

オブザーバー

	服部 和徳	一般社団法人ベターリビングつくば建築試験センター	
		技術評価部	上席試験研究役
	福本 晃治	株式会社竹中工務店 大阪本店 設計部 構造部門	
		構造第1グループ	副部長
	國府田まりな	株式会社竹中工務店 大阪本店 設計部 構造部門	
		構造第1グループ	
	赤根 健司	有限会社山辺構造設計事務所	
	金澤 和寿美	京都大学 生存圏研究所	修士2年
行政	斉藤 方彦	林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室	
		木材技術担当専門職	
事務局	平野 陽子	(株) ドット・コーポレーション	
	山崎 渉	(株) ドット・コーポレーション	
	佐々木留美	(株) ドット・コーポレーション	

1.2.2 実施スケジュール



1.3 S 造+CLT 耐力壁 設計の考え方

1.3.1 設計概要

本事業で提案するモデルは、CLT 耐震壁を鉄骨造に挿入する設計のモデルとなることを目指している。したがって、設計法が確立している鉄骨造の設計法で設計が可能となるように鉄骨の梁が先行して降伏することを前提とした。また、非木造率が高い都市部の一般的な事務所建築を想定している。

設計の手順を表 1.3.1-1 に示す。

表 1.3.1-1 設計手順

設計手順	試設計
鉄骨フレームの柱梁断面とモジュールを決定	オフィスビル 7 階建 スパン 7.2m 階高 4m 柱：□-500×500×19(BCR295) 梁：H-600×300×12×22(SN490B)
CLT の種類を決定する	強度等級(Mx60,Mx90,S60,S90)の許容せん断力を比較し、最大となるものを選択する (パラメータスタディ 1)
接合部設計	CLT のせん断耐力を最大限発揮するよう CLT せん断耐力<接合部耐力とする
接合部設計のもととなる DP 単位 接合部の耐力は解析によって求める	(パラメータスタディ 2)

設計手順は、今回研究的に実施したため、接合部の許容耐力を解析的に求めている。EYT 式などによりドリフトピン接合部の短期許容耐力が与えられれば、その強度に対して設計すればよく、今回のような煩雑な計算は荷重変形関係を求めたいときに限られる。層の終局耐力を求めたいときは、鉄骨造フレームに壁要素をピン接合として挿入したモデルとして、壁要素の剛性を CLT に対して係数倍して設計することを想定している。

1.3.2 接合部設計

接合部設計に際して接合部にかかる力を整理する。CLT にせん断力 Q が作用すると、上下の接合部にはそれぞれ水平力が Q だけはたらく。また、上部にせん断力 Q が働くことによって回転する動きによる鉛直力 V がそれぞれの接合部にはたらし、次の式であらわされる。

$$V = Q \times \frac{H}{2W}$$

ここで、 H : CLT 高さ、 W : CLT 幅である。

接合部設計では四隅の接合部が V に対して十分な耐力を有していること、また上下それぞれの接合部で Q に対して十分な耐力を有していることが求められる。これを踏まえ、木

質構造設計規準¹⁾に沿って設計する。

1.3.3 パラメータスタディ 1 (CLT パネルの検討)

ここでは、強度等級の異なる CLT パネルについて、幅、高さが与える保有耐力の影響を検討する。パラメータを以下のように設定する。ラミナ厚は全て 30mm とする。

強度等級：Mx60/ Mx90/ S60/ S90/ S120

層プライ種類：5 層 5 プライ/5 層 7 プライ/7 層 7 プライ

CLT 幅：1200/ 1800/ 2400 (mm)

CLT 高さ：3000 /4000 (mm)

ここで、CLT の端部は固定されており反曲点位置はパネル中央にあるとして、保有せん断耐力は以下のように計算する。

保有耐力 $Q = \min\{Q_s, Q_m\}$

保有せん断耐力 $Q_s = F_s \times W \times D$

保有曲げ耐力 $Q_m = M / (H/2)$

曲げモーメント $M = D \times W^2 / 6 \times F_b$

ここで、W:CLT パネル幅、H:CLT パネル高さ、D:CLT 厚さ

F_s : 面内せん断基準強度 全ての強度等級で 2.70 N/mm^2

F_b : 面内強軸曲げ基準強度 表 1.3.3-1 に示す

CLT の基準強度は CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル²⁾に記載の方法を用いて算出した。

表 1.3.3-1 面内強軸曲げ基準強度

強度等級	層-プライ		
	5-5	5-7	7-7
S60	9.72	11.57	9.26
S90	12.42	14.79	11.83
S120	15.12	18.00	14.40
Mx60	8.10	10.41	6.94
Mx90	9.66	11.50	7.89

全ての計算結果一覧を表 1.3.3-2 に示す。

現在入手可能なことを考慮すると S90-5-7 が最も保有耐力が高く、鉄骨フレームに挿入するには効果的だと結論付けた。実験では強度等級をパラメータとするため、標準的な試験体を S60 とし、S90 はさらに耐力向上を目指す試験体とした。

表 1.3.3-2 CLT 保有耐力計算一覧

		5-5				5-7				7-7			
	H	3000		4000		3000		4000		3000		4000	
	W	Qs(kN)	Qm(kN)	Qs(kN)	Qm(kN)	Qs(kN)	Qm(kN)	Qs(kN)	Qm(kN)	Qs(kN)	Qm(kN)	Qs(kN)	Qm(kN)
S60	1200	486.0	233.3	486.0	175.0	680.4	388.8	680.4	291.6	680.4	311.0	680.4	233.3
	1800	729.0	524.9	729.0	393.7	1020.6	874.8	1020.6	656.1	1020.6	699.8	1020.6	524.9
	2400	972.0	933.1	972.0	699.8	1360.8	1555.2	1360.8	1166.4	1360.8	1244.2	1360.8	933.1
S90	1200	486.0	298.1	486.0	223.6	680.4	496.8	680.4	372.6	680.4	397.4	680.4	298.1
	1800	729.0	670.7	729.0	503.0	1020.6	1117.8	1020.6	838.4	1020.6	894.2	1020.6	670.7
	2400	972.0	1192.3	972.0	894.2	1360.8	1987.2	1360.8	1490.4	1360.8	1589.8	1360.8	1192.3
S120	1200	486.0	362.9	486.0	272.2	680.4	604.8	680.4	453.6	680.4	483.8	680.4	362.9
	1800	729.0	816.5	729.0	612.4	1020.6	1360.8	1020.6	1020.6	1020.6	1088.6	1020.6	816.5
	2400	972.0	1451.5	972.0	1088.6	1360.8	2419.2	1360.8	1814.4	1360.8	1935.4	1360.8	1451.5
Mx60	1200	486.0	194.4	486.0	145.8	680.4	349.9	680.4	262.4	680.4	233.3	680.4	175.0
	1800	729.0	437.4	729.0	328.1	1020.6	787.3	1020.6	590.5	1020.6	524.9	1020.6	393.7
	2400	972.0	777.6	972.0	583.2	1360.8	1399.7	1360.8	1049.8	1360.8	933.1	1360.8	699.8
Mx90	1200	486.0	231.8	486.0	173.9	680.4	386.4	680.4	289.8	680.4	265.0	680.4	198.7
	1800	729.0	521.6	729.0	391.2	1020.6	869.4	1020.6	652.1	1020.6	596.2	1020.6	447.1
	2400	972.0	927.4	972.0	695.5	1360.8	1545.6	1360.8	1159.2	1360.8	1059.8	1360.8	794.9

1.3.4 パラメータスタディ 2（ドリフトピンの検討）

接合部設計に必要となる鋼板挿入ドリフトピン単位接合部の荷重変形関係を解析によって求めた。CLT 強度等級、加力角度、層プライ数をパラメータとする。ドリフトピンを梁要素に、ラミナの支圧を単軸ばね要素とする弾塑性床上の梁モデルを用いて有限要素解析を実施した。

使用するラミナはスギ、厚さ $t=30\text{mm}$ とした。また、鋼板が挿入されるためのスリット部分には単軸ばねはない。図 1.3.4-1 に解析モデル図を示す。ドリフトピンの中心位置に荷重 P を与えて増分解析を実施し、荷重 P と加力点の加力方向の変位 δ の関係を求めた。

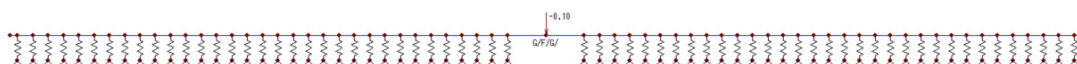


図 1.3.4-1 ドリフトピン単位接合部 解析モデル図

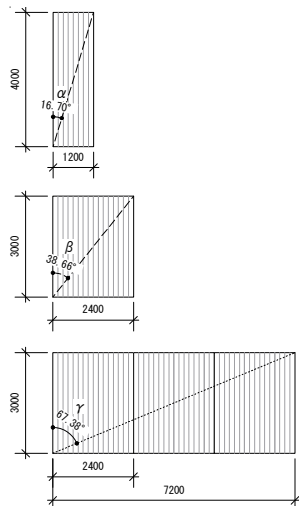
パラメータは次のように設定する。

強度等級：S60, S90, Mx60, Mx90 の 4 種類

層プライ数：7 層 7 プライ、7 層 5 プライ、5 層 5 プライの 3 種類

加力角度は最外層の繊維方向に加力する場合を 0 度として 0, α , β , γ 度の 4 種類とした。図 1.3.4-2 に加力角度と、強度等級・層プライ種類ごとの使用ラミナを示す。

	平行層	直交層
0°	0	90
α°	16.70	73.30
β°	38.66	51.34
γ°	67.38	22.62



	外層/内層	プライ	強度等級			
			S60	S90	Mx60	Mx90
7層7プライ	外層	1	M60	M90	M60	M90
	内層	2			M30	M30
		3				
		4				
		5				
		6				
	外層	7			M60	M90
5層7プライ	外層	1	M60	M90	M60	M90
	内層	2			M30	M30
		3				
		4				
		5				
	外層	6			M60	M90
		7			M60	M90
5層5プライ	外層	1	M60	M90	M60	M90
	内層	2			M30	M30
		3				
		4				
		5				
	外層	6			M60	M90
		7			M60	M90

図 1.3.4-2 加力角度・使用ラミナー一覧

ドリフトピンは完全弾塑性、強度は $F=400(\text{N}/\text{mm}^2)$ とした。

ラミナの支圧強度は木質構造設計規準と参考文献により次のように決定した。

1) 木質構造設計規準より、スギの基準支圧強度は繊維方向を $19.4(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、繊維直角方向を $9.7(\text{N}/\text{mm}^2)$ とする。

2) ラミナの曲げ強さと支圧強度に相関があると仮定し、M60 ラミナの支圧強度が基準支圧強度であるとして曲げ強さの M60 に対する比率より M30、M90 ラミナの支圧強度を求めた。ラミナの曲げ強さは直交集成板の日本農林規格³⁾による。

表 1.3.4-1 ラミナ支圧強度

	曲げ強さ	倍率	支圧強度	
			繊維方向	繊維直角方向
M90	34.5	1.253	24.31	12.16
M60	27.0	1.000	19.40	9.70
M30	19.5	0.747	14.49	7.24

3) 参考文献⁴⁾より繊維方向、繊維直角方向の降伏点変位 δ を 1.10mm、1.64mm として支圧剛性を算出し、二次剛性の初期剛性に対する比 p をそれぞれ 0.001、0.16 とした。

4) 繊維方向に対する加力角度が $\alpha^\circ\beta^\circ\gamma^\circ$ のときの支圧強度 F と降伏点変位をハンキンソン式¹⁾によって求め、支圧剛性 k を算出した。また、二次剛性の支圧強度に対する比 p は、図 1.3.4-3 に示すように繊維方向・繊維直角方向のグラフの交点に第 2 直線が向かうように決定した。このようにして求めた単軸ばねの特性を表 1.3.4-2 にまとめる。

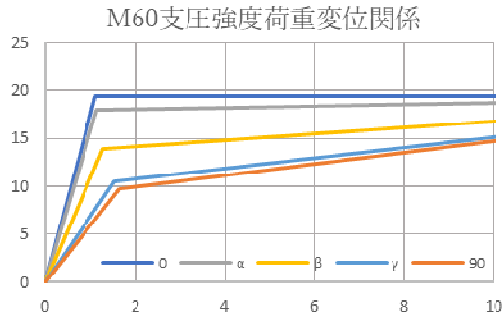


図 1.3.4-3 単軸ばねモデル角度別材料特性

表 1.3.4-2 単軸ばね特性入力値一覧

繊維方向に対して		θ°			$90-\theta^\circ$		
ラミナ強度	θ	F_θ	k_θ	p_θ	F_{90}	k_{90}	p_{90}
		[N/mm ²]	[N/mm ³]		[N/mm ²]	[N/mm ³]	
M30	0	14.49	13.17	0.001	7.24	4.42	0.160
	α	13.38	11.83	0.006	7.55	4.79	0.089
	β	10.42	8.25	0.030	9.00	6.54	0.051
	γ	7.82	5.12	0.080	12.62	10.91	0.010
M60	0	19.40	17.64	0.001	9.70	5.91	0.160
	α	17.92	15.85	0.006	10.12	6.42	0.089
	β	13.95	11.06	0.030	12.05	8.76	0.051
	γ	10.47	6.85	0.080	16.90	14.62	0.010
M90	0	24.31	22.10	0.001	12.16	7.41	0.160
	α	22.46	19.86	0.006	12.68	8.05	0.089
	β	17.49	13.86	0.030	15.10	10.97	0.051
	γ	13.13	8.59	0.080	21.18	18.32	0.010

解析結果より得た荷重変位関係を表 1.3.4-3 に示す。

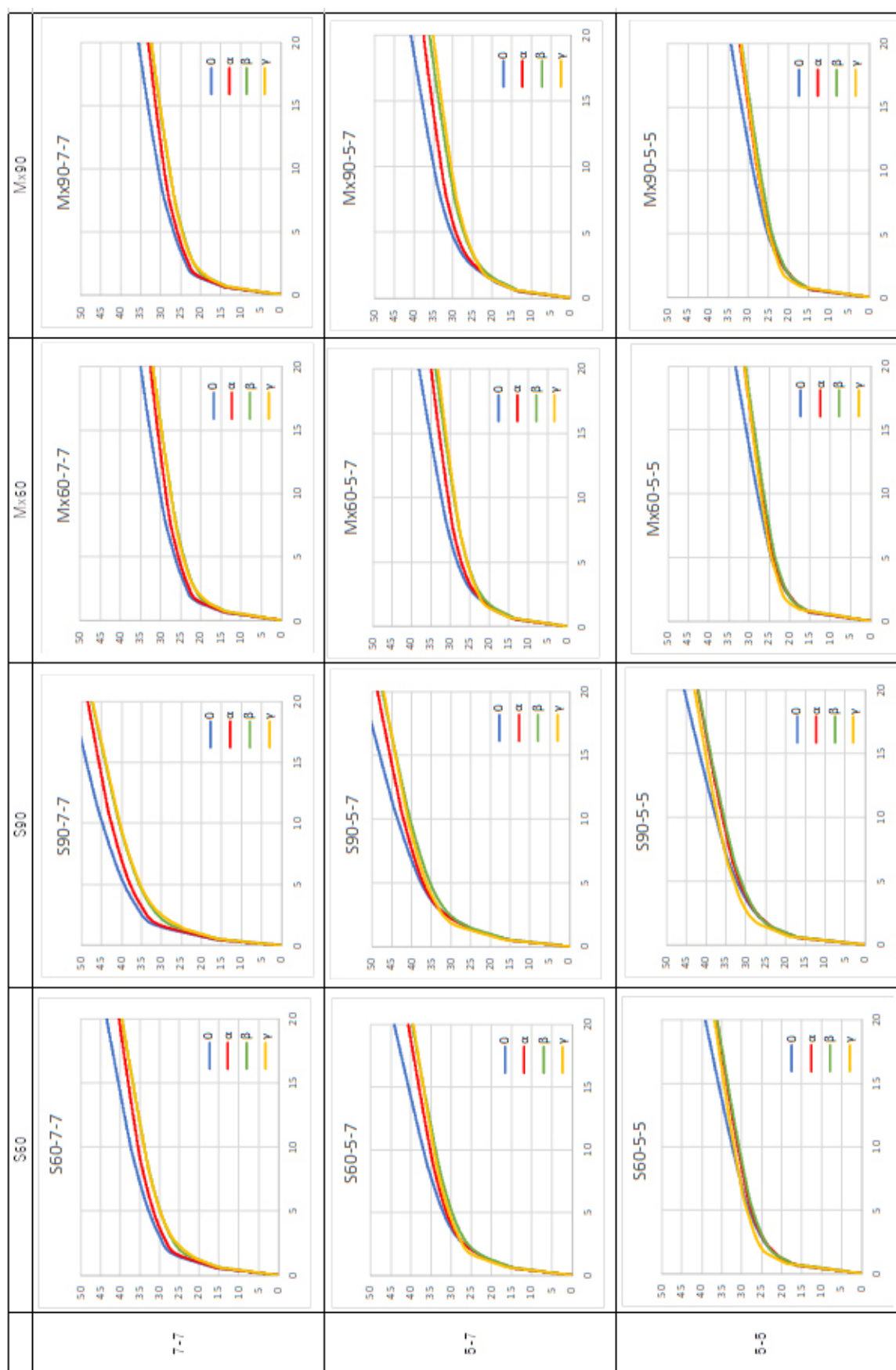
どの解析ケースにおいても、多少の差はあるものの、加力角度による荷重変形関係に大きく違いは見られないことが明らかとなった。

また、解析結果より、それぞれ加力角度が 0 度のときについて、初期剛性 K (0.1Pmax と 0.4Pmax を結ぶ直線) とその 2 % オフセット値で求めた降伏点 Py を表 1.3.4-4 に示す。

表 1.3.4-4 初期剛性と降伏点一覧

	S60		S90		Mx60		Mx90	
	K	Py	K	Py	K	Py	K	Py
	[kN/mm]	[kN]	[kN/mm]	[kN]	[kN/mm]	[kN]	[kN/mm]	[kN]
7層7プライ	24.163	25.261	24.880	31.496	23.659	19.291	22.951	19.644
5層7プライ	19.688	23.038	20.934	27.688	18.763	19.554	18.003	20.928
5層5プライ	25.843	20.416	25.375	23.520	22.647	18.103	24.936	17.671

表 1.3.4-3 ドリフトピン荷重変形関係 解析結果一覧



また、S90-5-7 の CLT について、ドリフトピンの径が $\Phi=16$ の場合についても同じ解析モデルを作成し、増分解析をしてその荷重変形関係を求めた。図 1.3.4-4 に加力角度 0 度の時の $\Phi=20$ のケースとの比較を示す。さらに、表 1.3.4-4 に初期剛性 K ($0.1P_{\max}$ と $0.4P_{\max}$ を結ぶ直線) とその 2 % オフセット値で求めた降伏点 P_y を示し、 $\Phi=20$ の加力角度 0 度のケースに対する P_y の比率を算出した。

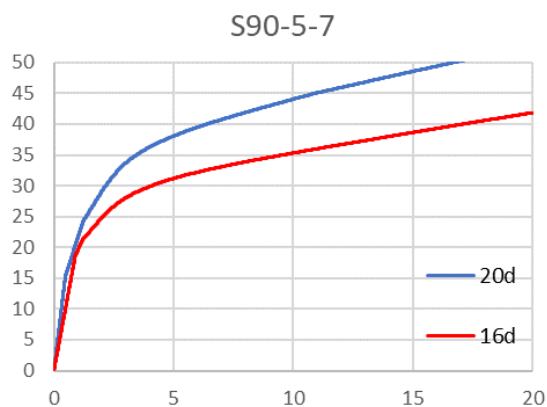


図 1.3.4-4 ドリフトピン径による荷重変形角関係の比較

表 1.3.4-4 初期剛性と降伏点

	角度	K	P_y	0° に対する比率
20d	0	20.7985	27.2862	
	α	21.7972	26.1244	95.7%
	β	20.7452	26.416	96.8%
	γ	25.6614	26.6431	97.6%
16d	0	20.8565	22.4932	82.4%

角度が変わっても降伏耐力の低減率は 5% 以下に収まることが明らかとなった。

また、ドリフトピン間隔を 7d としたとき $\Phi=16, \Phi=20$ のドリフトピンの 1 m 当たりの本数は 8.9 本、7.1 本となり、それぞれ本数倍した時の耐力はほぼ等しいため、施工性を考慮すると $\Phi=20$ を使用するほうが良いと結論付けた。

1.3.5 1/2 スケール構面実験の設計

実験は、想定するモジュールの 1/2 スケールで行う。本事業では、当初実大（1/1）で実施することを検討していたが、実大試験体の加力が可能な試験場がなかったことから、1/2 スケールで実施することとなった。

試験体は、幅、高さとも 1/2 のスケールであるので、構面に作用する荷重は想定の 1/4 となる。CLT パネルは 5 層 7 プライで厚さが 210mm のものを想定していたが、実験では厚さ 105mm のものを使用することとなる。しかし、5 層 7 プライで厚さが 105mm の CLT は製造不可能であったため、ラミナ厚を 21mm とした 5 層 5 プライの CLT パネルを代用した。

1.3.5.1 ドリフトピン性能の確認

実験で使用するドリフトピンの径を決定するため、パラメータスタディ 2 で用いた解析方法で実験用のドリフトピンの性能を求めて比較した。

想定する CLT とドリフトピンは、5 層 7 プライの CLT と径 $\Phi=20$ のドリフトピンであり、実験用の性能は想定の 1/4 となればよい。実験用の CLT はラミナ厚が 21mm の 5 層 5 プライの CLT で、ドリフトピンの径を $\Phi=10,12,14,15$ として荷重変形関係を求めた。図 1.3.5-1 に S60,S90 それぞれの解析結果を示す。径 $\Phi=10$ の解析結果が想定する性能の 1/4 とよく一致することが確認できた。

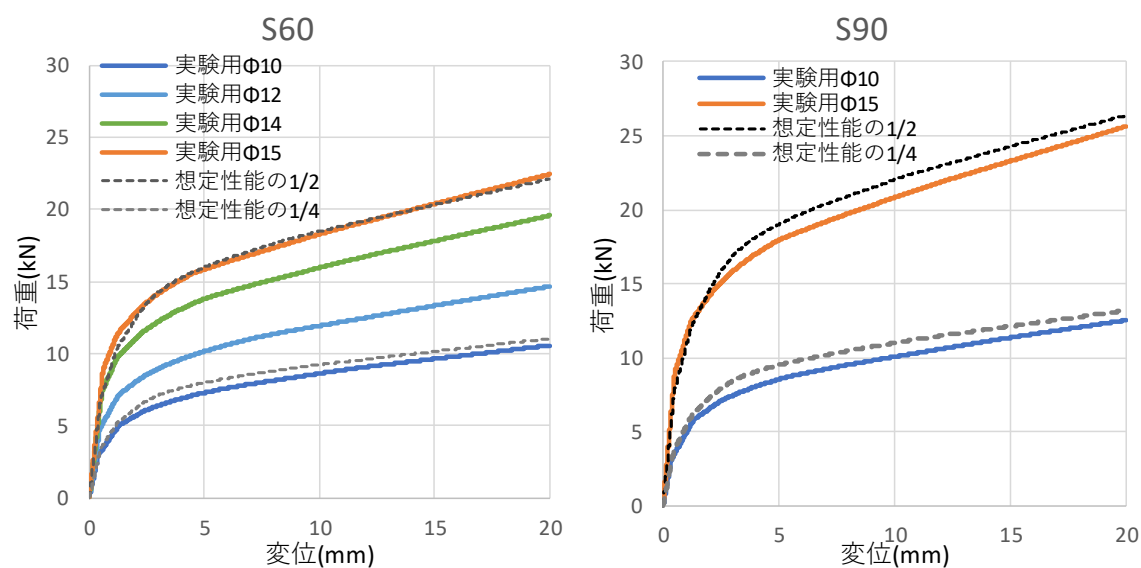


図 1.3.5-1 実験用ドリフトピン接合部解析荷重変形関係

1.3.5.2 ドリフトピン接合部の設計

ドリフトピン接合部の設計では、ドリフトピン接合部での破壊が起こらないよう、CLTのせん断耐力<ドリフトピン接合部設計耐力となるように設計する。

CLTのせん断耐力は、パラメータスタディ1と同じ計算方法である。

CLTせん断耐力 $Q = \min\{Q_s, Q_m\}$

保有せん断耐力 $Q_s = F_s \times W \times H$

保有曲げ耐力 $Q_m = M/(H/2)$

曲げモーメント $M = D \times W^2/6 \times F_b$

このせん断力がCLTパネルにかかるとき、モーメントの反曲点がパネル中央にあるとするとCLTの脚部に作用する鉛直力は

$$V = Q \times \frac{H}{2W}$$

であらわされるので、それぞれのドリフトピン接合部ではこの鉛直力Vに耐えうる接合とする。

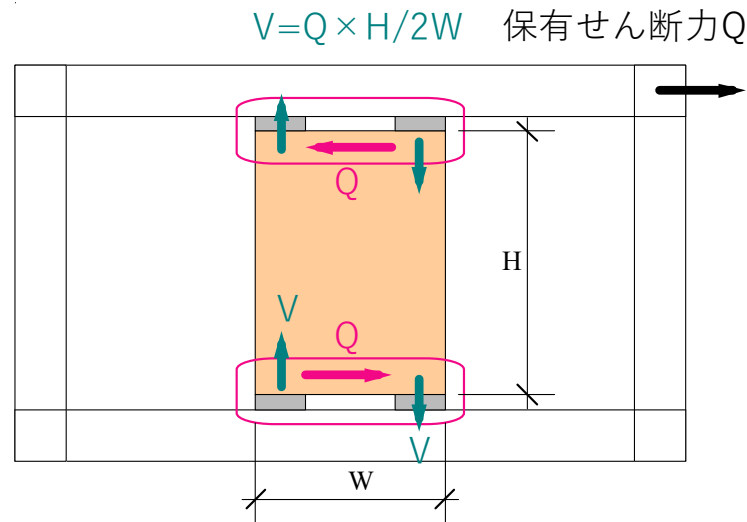


図 1.3.5-2 CLT 端部に作用する力

ドリフトピン接合部の耐力は木質構造設計規準¹⁾に準じて求める。

耐力を求める接合部を図 1.3.5-3 に示す。

接合部全体の接合部耐力 $P_{u0} = \min\{P_{uj}, P_{uw}\}$

P_{uj} : 木材が割裂、せん断及び引張等により破壊しないと仮定した場合の接合部全体のせん断耐力。力の作用方向、接合部の配置、個数等を勘案して求める。

ドリフトピン接合の場合、

$$P_{uj} = \sum_{i=1}^m jK_n \cdot n_i \cdot p_y$$

p_y : 単位接合部の降伏せん断耐力

n_i : 1 列のドリフトピン本数

jK_n : 1 列のドリフトピン本数による耐力の低減係数。今回は 0.9 である。

ドリフトピンの単位接合部の降伏荷重は 1.3.5.1 で求めた解析の荷重変形関係結果より定めた。

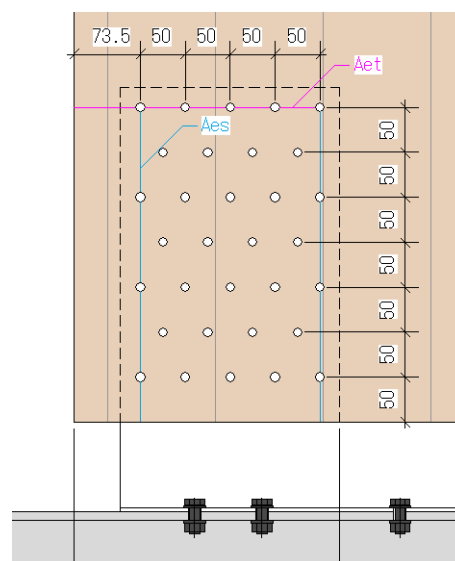


図 1.3.5-3 接合部概略図

P_{uw} : 接合部がにおける木材の割裂、せん断、引張に対する耐力。今回は集合型せん断破壊に対する設計が必要である。集合型せん断破壊に対する設計は Eurocode5 に従って行った。

$$P_{uw} = \max\left\{\frac{A_{et} \cdot F_t \cdot 1.5}{A_{es} \cdot F_s \cdot 0.7}\right\}$$

A_{et} : 引張部分の有効面積（先孔による断面欠損を除いた値）

A_{es} : せん断の有効面積（先孔による断面欠損を除いた値）

F_t : 木材の引張基準強度

F_s : 木材のせん断基準強度

設計用計算シートでは、この検討のみ許容耐力となっていないため 2/3 をかけている。

強度等級 S60,S90 について、それぞれ計算したシートを図 1.3.5-4, 1.3.5-5 に示す。

設計方針 $\min(Q_s, Q_b) < \min(\text{せん断接合性能}, \text{曲げ接合性能})$

案2: 脚部と頂部にてモーメント負担 (半極点H/2)

CLT保有耐力概算

Qs: 保有せん断耐力	$= F_s \times W \times D =$	311.9 (kN)	
Qb: 保有曲げ耐力	$= M / (H/2) =$	268.9 (kN)	→ 179.2476 (kN)
			設計用許容耐力
M: 最大曲げモーメント	$= DW^2/6 \times F_b =$	205.821 (kNm)	
		137.214 (kNm)	許容曲げモーメント

接合部検討

DP 別紙接合部詳細図参照

W=1100, H=1531のときCLTの保有耐力はQs(短期)=179.25(kN)

CLTに179.25(kN)の水平力が作用するとき脚部DPに作用する鉛直力は

$$V = Q \times (H/2) / W' = 162.962 \text{ (kN)}$$

DP 32本の許容耐力は

$$= 32 \times 6.08 \times 0.9 = 175.162 \text{ (kN)} \quad \text{OK}$$

集合型破壊の検討(P_{uj}=max{P01, P02})

$$\text{引張 P01} = A_t \times F_t \times 2/3 \times 1.5 = 163.076 \text{ (kN)} \quad \text{OK}$$

$$\text{2面 せん断 P02} = A_s \times F_s \times 2/3 \times 0.7 \times 2 = 70.888 \text{ (kN)}$$

水平力は182.952(kN)を2か所で負担するので一か所あたりの設計用水平力は

$$Q_s/2 = 89.624 \text{ (kN)}$$

集合型破壊の検討(弱軸)

$$\text{引張 P01} = A_t' \times F_t' \times 2/3 \times 1.5 = 135.024 \text{ (kN)} \quad \text{OK}$$

$$\text{2面 せん断 P02} = A_s' \times F_s \times 2/3 \times 0.7 \times 2 = 57.0767 \text{ (kN)}$$

HTB 鉄骨と治具の留め付けに必要なM12HTBは

$$\text{片側鉛直} \quad 163.0 \div 51 = 4 \text{ (本)}$$

脚部水平力63.72(kN)に必要なM12HTBは

$$179.2 \div 26 = 8 \text{ (本)}$$

鋼板の留め付け: 頭部2面せん断の時

$$\text{鉛直力} \quad 163.0 \div 51 = 4 \text{ (本)} \quad \text{片側}$$

$$\text{水平力} \quad 179.2 \div 51 = 4 \text{ (本)} \quad \text{全体}$$

使用CLT

S60-5-5

D:	CLT厚さ	105 (mm)
W:	CLT幅	1100 (mm)
H:	CLT高さ	1531 (mm)
Fs:	CLT基準面内せん断強度	2.70 (N/mm ²)
Fb:	CLT基準面内強軸曲げ強度	9.72 (N/mm ²)
Ft:	CLT基準面内引張強度(強軸)	7.20 (N/mm ²)
Ft':	CLT基準面内引張強度(弱軸)	4.80
W':	DP応力中心間距離	842 (mm)
At(=As')	有効引張面積	22649.5 (mm ²)
	有効引張長さ	233.5 (mm)
As(=At')	有効せん断面積	28130 (mm ²)
	有効せん断長さ	290 (mm)

使用DP

径Φ=10, 長さl=105

$$P_y = 6.08 \text{ (kN)}$$

使用ボルト

M12 (F10T)

$$\text{離間耐力} = 51.2 \text{ (kN/本)}$$

$$\text{最大引張耐力} = 84 \text{ (kN/本)}$$

$$\text{滑り耐力(一面摩擦)} = 25.6 \text{ (kN/本)}$$

$$\text{最大耐力(一面摩擦)} = 67.8 \text{ (kN/本)}$$

※2面摩擦ではそれぞれ2倍

図 1.3.5-4 S60 設計用計算シート

設計方針 $\min(Q_s, Q_b) < \min(\text{せん断接合性能}, \text{曲げ接合性能})$

案2: 脚部と頂部にてモーメント負担 (半極点H/2)

CLT保有耐力概算

$$Q_s: \text{保有せん断耐力} = F_s \times W \times D = 311.9 \text{ (kN)} \rightarrow 207.9 \text{ (kN)}$$

設計用許容耐力

$$Q_b: \text{保有曲げ耐力} = M / (H/2) = 343.6 \text{ (kN)}$$

$$M: \text{最大曲げモーメント} = DW^2 / 6 \times F_b = 262.994 \text{ (kNm)} \\ 175.329 \text{ (kNm)} \quad \text{許容曲げモーメント}$$

接合部検討

DP 別紙接合部詳細図参照

W=1100, H=1500のときCLTの保有耐力は Q_s (短期)=207.9(kN)

CLTに207.9(kN)の水平力が作用するとき脚部DPに作用する鉛直力は

$$V = Q \times (H/2) / W' = 189.0 \text{ (kN)}$$

Puj DP 32本の許容耐力は

$$= 30 \times 7.18 \times 0.9 = 206.698 \text{ (kN)} \quad \text{OK}$$

Puw 集合型破壊の検討($P_{uw} = \max\{P_{01}, P_{02}\}$)

$$\text{引張 } P_{01} = A_t \times F_t = 208.942 \text{ (kN)} \quad \text{OK}$$

$$\text{せん断 } P_{02} = A_s \times F_s = 59.8878 \text{ (kN)}$$

水平力は827.10(kN)を2か所で負担するので一か所あたりの設計用水平力は

$$Q_s / 2 = 103.95 \text{ (kN)}$$

集合型破壊の検討(弱軸)

$$\text{引張 } P_{01} = A_t' \times F_t' = 146.155 \text{ (kN)} \quad \text{OK}$$

$$\text{せん断 } P_{02} = A_s' \times F_s = 61.1537 \text{ (kN)}$$

HTB 鉄骨と治具の留め付けに必要なM12HTBは

$$\text{鉛直片側 } 189.0 \div 51 = 4 \text{ (本)}$$

脚部水平力63.72(kN)に必要なM12HTBは

$$207.9 \div 26 = 9 \text{ (本)}$$

鋼板の留め付け: 頭部2面せん断の時

$$\text{鉛直力 } 189.0 \div 51 = 4 \text{ (本)} \quad \text{片側}$$

$$\text{水平力 } 207.9 \div 51 = 5 \text{ (本)} \quad \text{全体}$$

使用CLT

S90-5-5

D:	CLT厚さ	105 (mm)
W:	CLT幅	1100 (mm)
H:	CLT高さ	1531 (mm)
Fs:	CLT基準面内せん断強度	2.70 (N/mm ²)
Fb:	CLT基準面内強軸曲げ強度	12.42 (N/mm ²)
Ft:	CLT基準面内引張強度(強軸)	9.225 (N/mm ²)
Ft':	CLT基準面内引張強度(弱軸)	6.15
W':	DP応力中心間距離	842 (mm)
At(=As有効引張面積	22649.5 (mm ²)	
有効引張長さ	233.5 (mm)	
As(=At有効せん断面積	23765 (mm ²)	
有効せん断長さ	245 (mm)	

使用DP

径Φ=10, 長さl=105

$$P_y = 7.18 \text{ (kN)}$$

使用ボルト

M12 (F10T)

離間耐力 51.2 (kN/本)

最大引張耐力 84 (kN/本)

滑り耐力(一面摩擦) 25.6 (kN/本)

最大耐力(一面摩擦) 67.8 (kN/本)

※2面摩擦ではそれぞれ2倍

図 1.3.5-5 S90 設計用計算シート

1.3.6 防耐火に関する検討

防耐火に関する検討は、今年度予算の都合により実施ができなかった。そこで、現在実施中の国土交通省総合技術開発プロジェクト「新しい木質材料を活用した混構造建築物の設計・施工技術の開発(H29-33)」にて鉄骨造と木質材料の接合部の耐火実験を実施しており、委員より情報提供いただきつつ、そちらのデータがある程度使える仕様を今回も対象とした。

1.4 実験の全体像 要素実験と構面実験

1.4.1 本事業で実施した実験

1.3 での設計を元に、表 1.4.1-1 に示す通り、要素実験（第 2 章）、1/2 スケール構面実験（第 3 章）を実施した。

表 1.4.1-1 本事業で実施した実験

実施した試験		バリエーション
要素実験（第 2 章）	CLT の引張実験（2.1.1）	S60・S90 × 強軸・弱軸
	CLT のせん断実験（2.1.2）	S60・S90 × 強軸・弱軸
	モルタル圧縮試験（2.2）	
	鋼材引張試験（2.3）	
	ドリフトピン曲げ試験（2.4.1）	
	ドリフトピン引張試験（2.4.2）	
	ドリフトピン単位接合部実験（2.4.3）	S60、S90
	ドリフトピン接合部全体実験（2.4.4）	S60、S90
1/2 スケール構面実験（第 3 章）		フレームのみ S60 真ん中配置 S90 真ん中配置 S60 片寄配置

1.4.2 各試験の目的と仕様の決定

本試験体は、設計上 CLT のせん断で決まるもの、曲げで決まるものなどがある。基準強度に対して実際の試験体は余裕があると考えられ、その余裕度を検討する目的で、CLT の引張試験、せん断試験を実施した。モルタル圧縮実験は無収縮モルタルを用いたため、強度を特定する目的で実施した。ドリフトピン関係の実験は接合部の事前解析を追跡する目的と実際の強度を求める目的で実施している。鋼材は用いた鉄骨造のフレームの強度を予測するために実施した。

1/2 スケール構面実験では、フレームのみ、S60 の CLT パネルをフレームの真ん中に配置したもの（S60 真ん中配置）を標準仕様とし、S90 をフレームの真ん中に配置したもの（S90 真ん中配置）、S60 をフレームの片方に寄せたもの（S60 片寄配置）の 4 種類を実施した。

今回想定している構面では、CLT の破壊性状としてせん断破壊が先行することを目指した。S60 真ん中配置は標準仕様であるが、CLT の基準強度による試算では S60 の場合は曲げ破壊が先行することになる。そのため、CLT の基準強度による試算上、せん断破壊が先行する仕様として S90 の CLT パネルも実施することとした。（CLT の基準強度は小さく設定されているため、実際の性能としては S60 でもせん断破壊が先行するものと見込んでいた。実験では S60 もせん断破壊が先行することが確認できた。）

また、実用的な壁の設置を考慮し、片寄せ配置の場合も実施することとした。予算の限りがあることから、本事業ではこの 4 体を実施することし、検討を進めた。

第2章 要素実験

2.1 CLT 材料実験

2.1.1 引張実験

2.1.1.1 実験概要と特性値算出方法

(1) 実験概要

図 2.1.1-1、図 2.1.1-2 に強軸方向、弱軸方向の試験体図をそれぞれ示す。使用した CLT は 5 層 5 プライの厚さ 105mm である。強軸、弱軸とも CLT の強度等級が S60 と S90 の 2 種類で実施し、各 4 体を試験に供した。載荷方法は単調引張で、Instron100t 試験機を用いて加力した。加力速度は 0.5mm/分とした。計測方法はひずみゲージと変位計を併用した。

表 2.1.1-1 試験体概要

CLT		加力方向	試験体数
仕様	強度等級		
5 層 5 プライ 厚さ 105mm スギ	S60	強軸	4
		弱軸	4
	S90	強軸	4
		弱軸	4

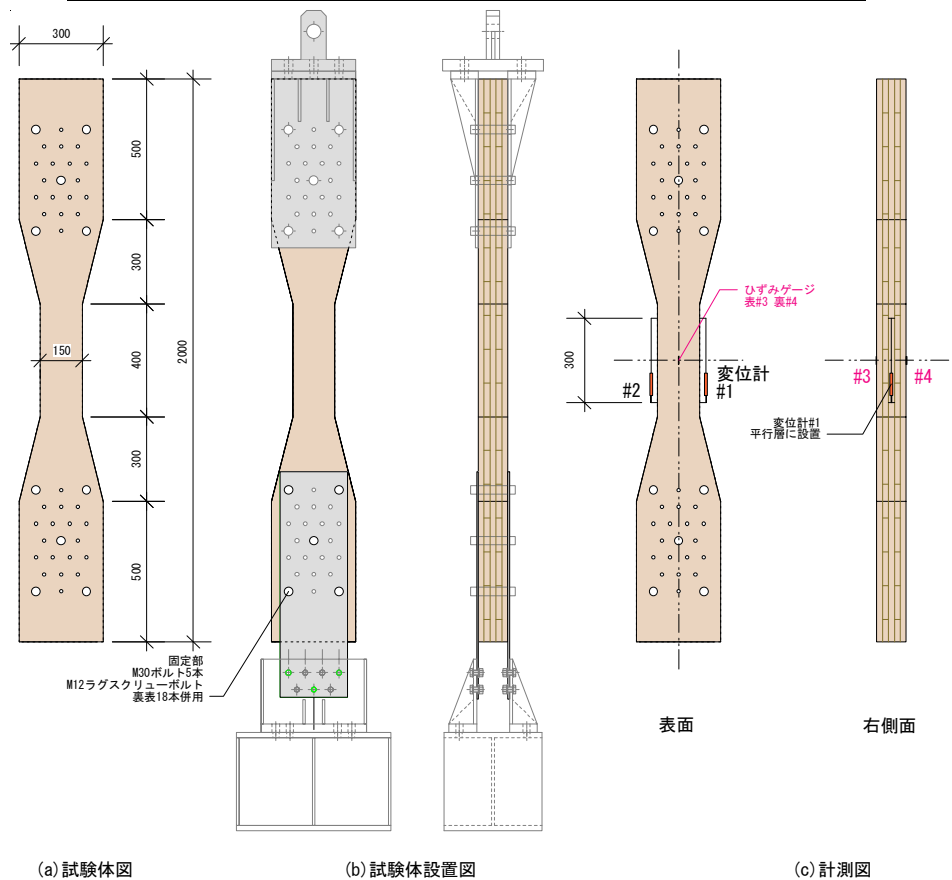


図 2.1.1-1 CLT 引張実験強軸試験体図

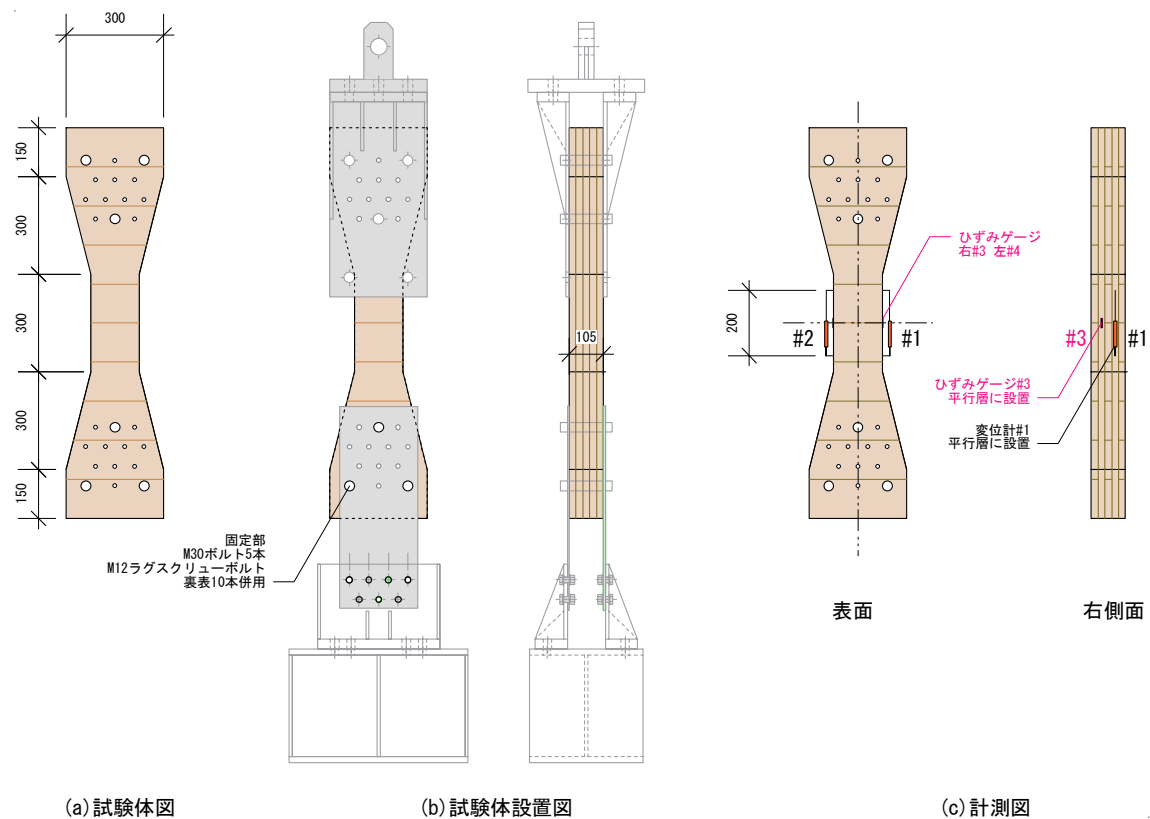


図 2.1.1-2 CLT 引張実験弱軸試験体図

(2) 各特性値算出方法

- 荷重 P
アクチュエータに取り付けたロードセルにより計測した値
- 変位 δ
変位計#1,#2 の平均
- 変位計によるひずみ ε_d

$$\varepsilon_d = \frac{\delta}{l}$$

ここで、 l : 標点距離 (強軸のとき 300mm、弱軸のとき 200mm)

- ひずみゲージによるひずみ ε_g
ひずみゲージ#3,#4 の平均
- 平均引張応力 σ_t

$$\sigma_t = \frac{P}{A}$$

ここで、

A : 試験部全断面積 (公称断面 $150 \times 105\text{mm}$ 、各試験体で計測)

- 引張ヤング係数 E
平均引張応力の最大値の 10%と 40%の値と、それに対応するひずみ γ との 2 点を結んだときの傾きをヤング係数とし、変位計による E_d とひずみゲージによる E_g の 2

種類で求める

- ・ 下限値

応力の下限值は、母集団を正規分布と仮定した場合の信頼水準 75%の 95%下側許容限界値とし、ヤング係数の下限値は信頼水準 75%の 50%下側許容限界値とする。

2.1.1.2 実験結果と考察

(1) 実験結果-強軸 S60 試験体

(a) 破壊性状

破壊性状を図 2.1.1-3 に示す。上部のくびれ部分から亀裂が生じ、破断に至った。



S60-T0-1



S60-T0-2



S60-T0-3



S60-T0-4

図 2.1.1-3 CLT 強軸引張 S60 試験体破壊性状

(b) 平均引張応力ひずみ関係と特性値

図 2.1.1-4 に平均引張応力とひずみの関係を、表 2.1.1-2 に各特性値を示す。

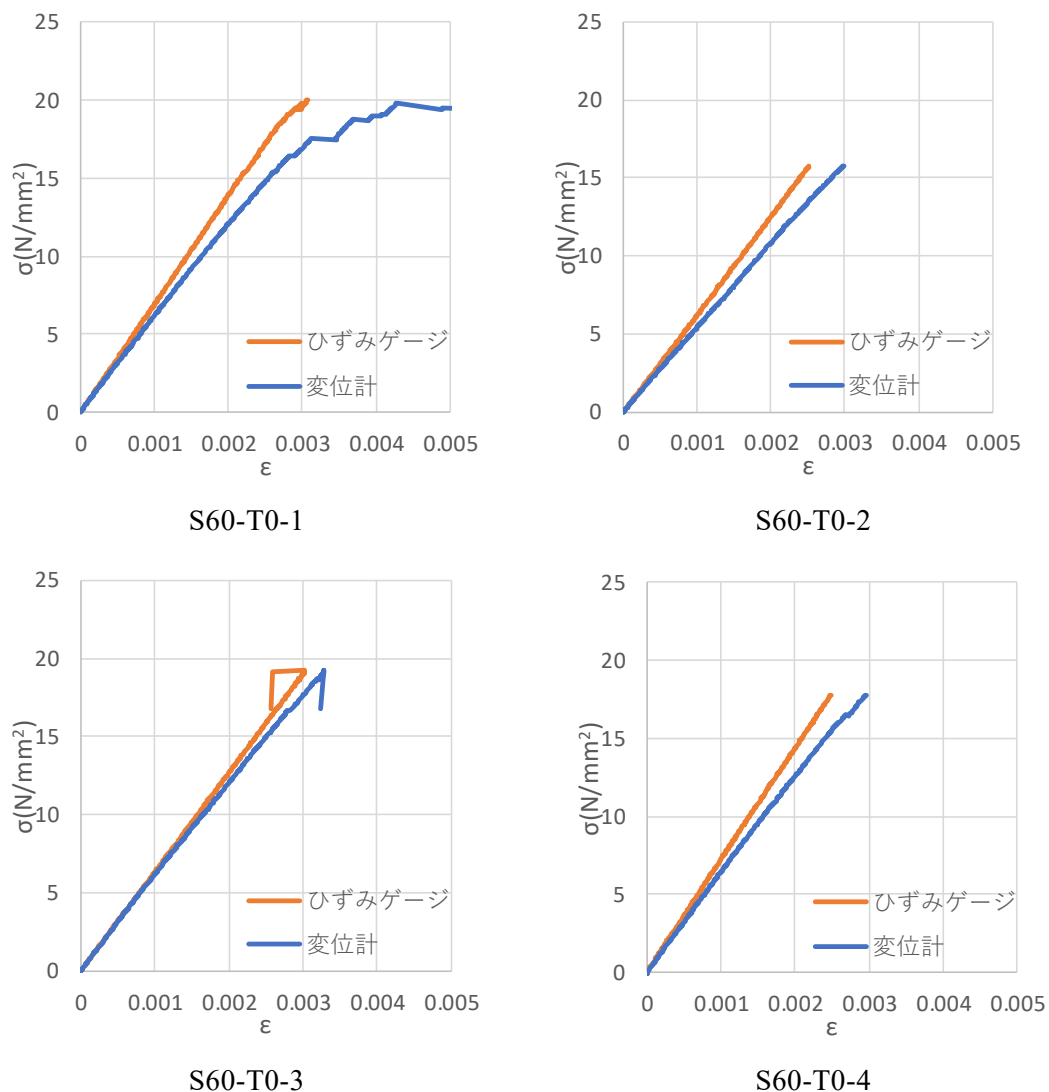


図 2.1.1-4 CLT 強軸引張 S60 試験体応力ひずみ関係

表 2.1.1-2 CLT 強軸引張 S60 試験体特性値

S60-T0-	σ_t	$\varepsilon_{g \sigma \max}$	E_g	$\varepsilon_{d \sigma \max}$	E_d
	[N/mm ²]		[N/mm ²]		[N/mm ²]
1	20.04	0.00308	6895.1	0.0056	6071.1
2	15.78	0.00252	6244.8	0.0030	5380.6
3	19.21	0.00303	6317.8	0.0033	6105.0
4	17.75	0.00248	7220.7	0.0030	6461.9
平均値	18.19	0.00278	6669.6	0.0037	6004.7
標準偏差	1.62	0.00028	405.8	0.0011	391.5
変動係数	0.09	0.10	0.06	0.30	0.07
下限値	13.86		6514.2		5854.7

(2) 実験結果-強軸 S90 試験体

(a)破壊性状

破壊性状を図 2.1.1-5 に示す。くびれ部分から亀裂が生じ、破断に至った。



S90-T0-1



S90-T0-2



S90-T0-3



S90-T0-4

図 2.1.1-5 CLT 強軸引張 S90 試験体破壊性状

(b) 平均引張応力ひずみ関係と特性値

図 2.1.1-6 に平均引張応力とひずみの関係を、表 2.1.1-2 に各特性値を示す。

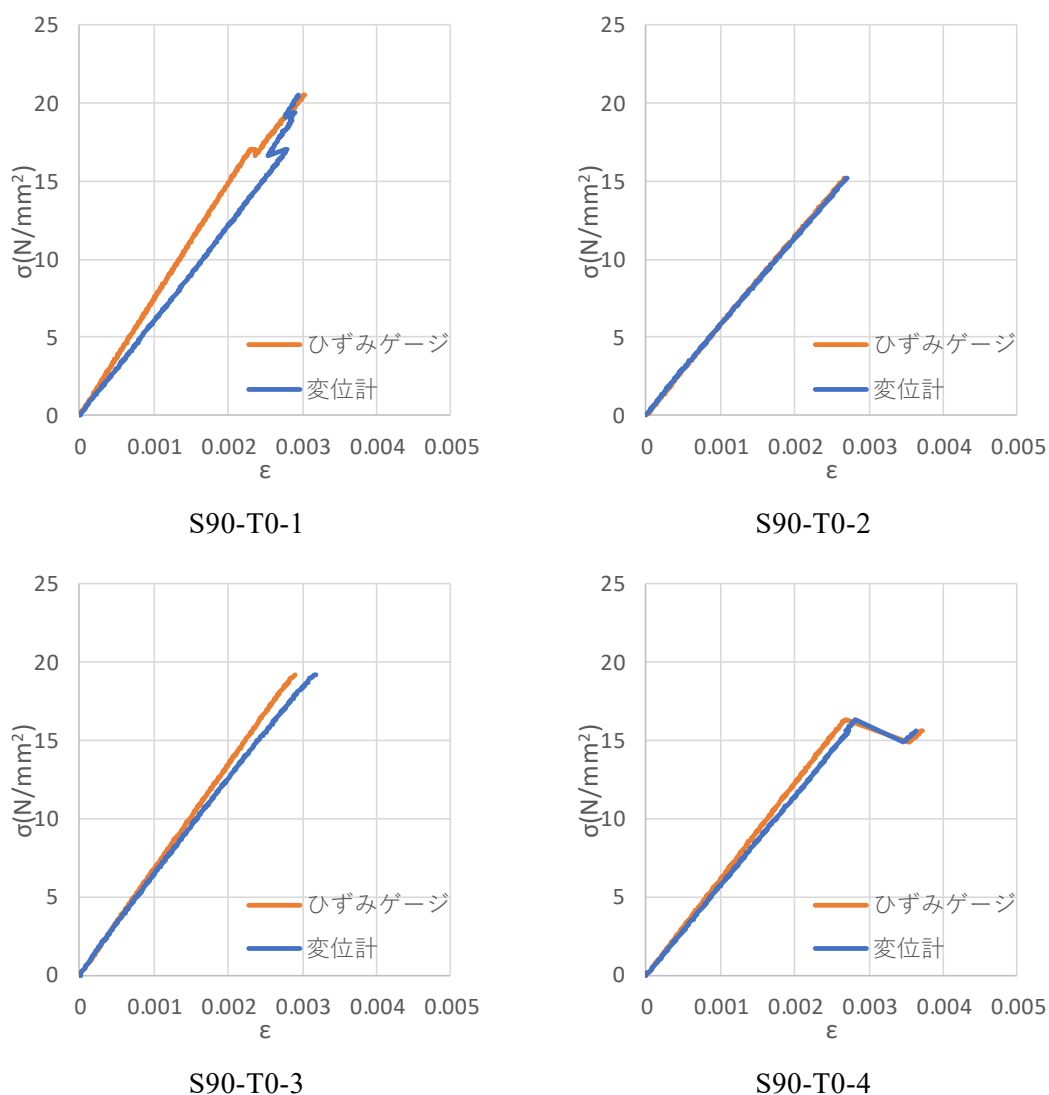


図 2.1.1-6 CLT 強軸引張 S90 試験体 応力ひずみ関係

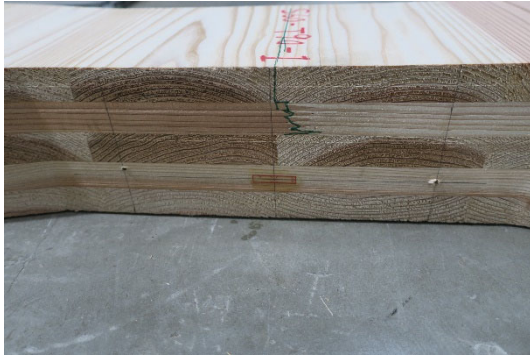
表 2.1.1-2 CLT 強軸引張 S90 試験体 特性値

S90-T0-	σ_t	$\varepsilon_{g \sigma \max}$	E_g	$\varepsilon_{d \sigma \max}$	E_d
	[N/mm ²]		[N/mm ²]		[N/mm ²]
1	20.55	0.00302	7435.3	0.0029	5991.7
2	15.19	0.00268	5791.6	0.0027	5666.2
3	19.22	0.00290	6748.7	0.0032	6237.8
4	16.35	0.00268	6171.9	0.0028	5779.7
平均値	17.83	0.00282	6536.9	0.0029	5918.9
標準偏差	2.15	0.00015	620.6	0.0002	218.1
変動係数	0.12	0.05	0.09	0.06	0.04
下限値	12.06		6299.2		5835.4

(3) 実験結果-弱軸 S60 試験体

(a)破壊性状

破壊性状を図 2.1.1-7 に示す。くびれ部分から亀裂が生じ、破断に至った。



S60-T90-1



S60-T90-2



S60-T90-3



S60-T90-4

図 2.1.1-7 CLT 弱軸引張 S60 試験体破壊性状

(b) 平均引張応力ひずみ関係と特性値

図 2.1.1-8 に平均引張応力とひずみの関係を、表 2.1.1-3 に各特性値を示す。

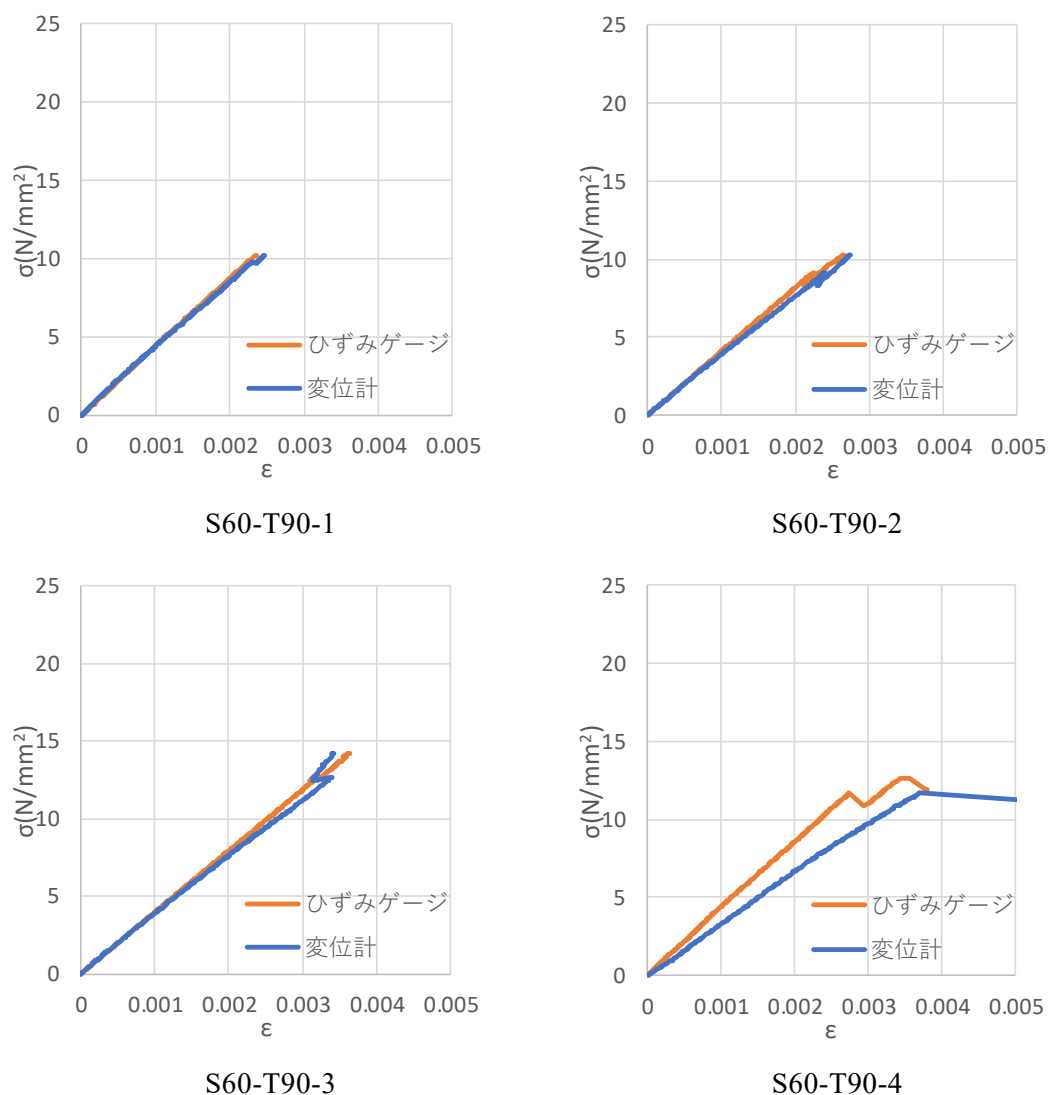


図 2.1.1-8 CLT 弱軸引張 S60 試験体 応力ひずみ関係

表 2.1.1-3 CLT 弱軸引張 S60 試験体 特性値

S60-T90-	σ_t	$\varepsilon_{g \sigma \max}$	E_g	$\varepsilon_{d \sigma \max}$	E_d
	[N/mm ²]		[N/mm ²]		[N/mm ²]
1	10.24	0.00235	4447.7	0.0025	4341.4
2	10.30	0.00265	4117.3	0.0027	3894.8
3	14.24	0.00363	3965.6	0.0034	3813.5
4	12.68	0.00355	4308.1	0.0080	3412.9
平均値	11.86	0.00304	4209.7	0.0042	3865.7
標準偏差	1.69	0.00056	183.3	0.0023	329.7
変動係数	0.14	0.18	0.04	0.54	0.09
下限値	7.34		4139.5		3739.4

(4) 実験結果-弱軸 S90 試験体

(a)破壊性状

破壊性状を図 2.1.1-9 に示す。くびれ部分から亀裂が生じ、破断に至った。



S90-T90-1



S90-T90-2



S90-T90-3



S90-T90-4

図 2.1.1-9 CLT 弱軸引張 S90 試験体破壊性状

(b) 平均引張応力ひずみ関係と特性値

図 2.1.1-10 に平均引張応力とひずみの関係を、表 2.1.1-4 に各特性値を示す。

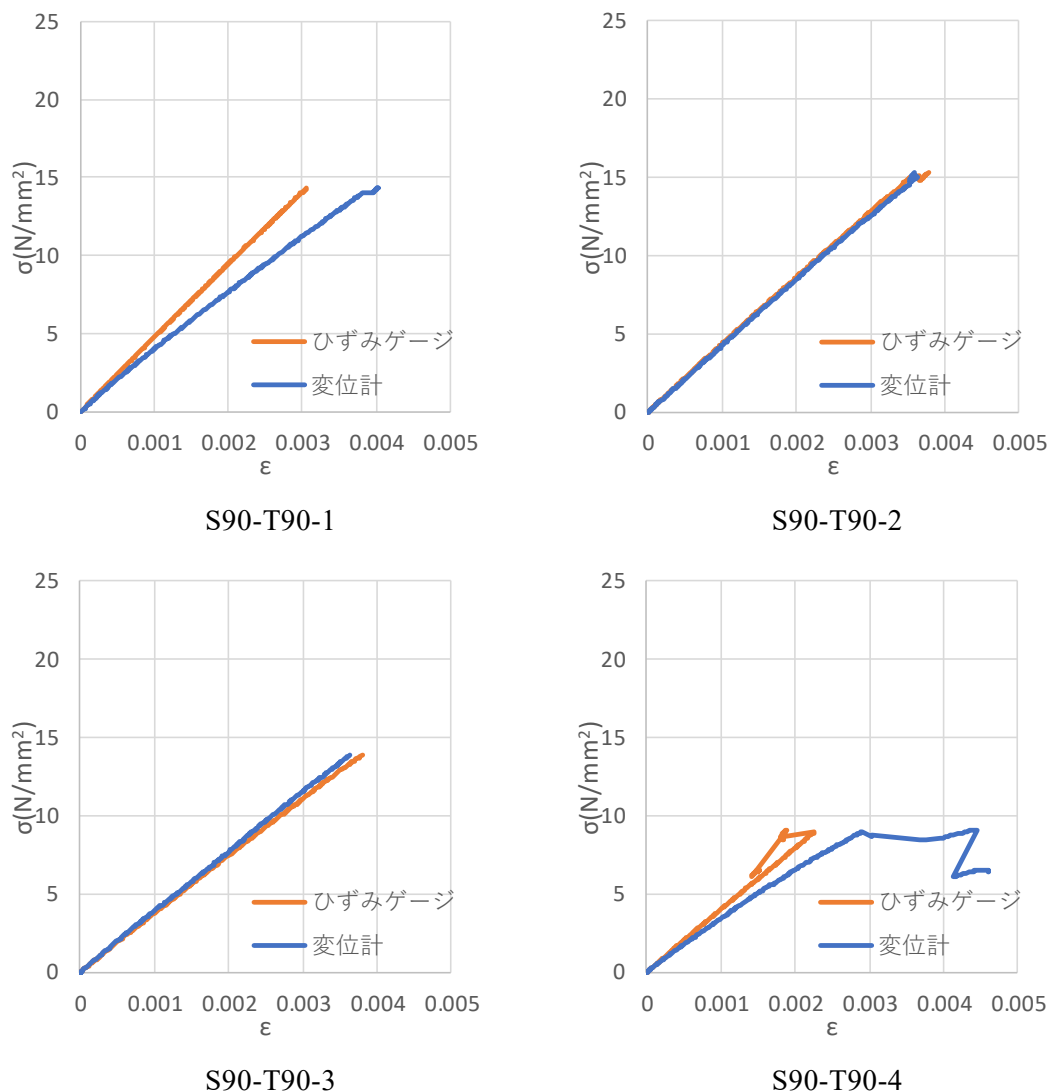


図 2.1.1-10 CLT 弱軸引張 S90 試験体 応力ひずみ関係

表 2.1.1-4 CLT 弱軸引張 S90 試験体 特性値

S90-T90-	σ_t	$\varepsilon_{g \sigma \max}$	E_g	$\varepsilon_{d \sigma \max}$	E_d
	[N/mm ²]		[N/mm ²]		[N/mm ²]
1	14.36	0.00306	4739.0	0.0040	3804.4
2	15.27	0.00378	4310.8	0.0036	4275.5
3	13.92	0.00380	3728.3	0.0036	3830.0
4	9.10	0.00189	4028.3	0.0045	3345.7
平均値	13.16	0.00313	4201.6	0.0039	3813.9
標準偏差	2.39	0.00077	372.4	0.0004	328.9
変動係数	0.18	0.25	0.09	0.09	0.09
下限値	6.74		4059.0		3687.9

(5) 引張試験のまとめ

構面実験に使用する強度等級 S60・S90 の CLT について、それぞれ強軸方向と弱軸方向の引張試験を行い、以下の知見を得た。

S60-強軸試験体では最大引張応力の平均値は 18.19N/mm^2 、下限値は 13.86N/mm^2 であり、変位計で計測したひずみから求めたヤング係数は 6004.7N/mm^2 となった。最大引張応力の平均値と引張基準強度 7.2N/mm^2 を比べると約 2.5 倍の性能、ヤング係数 3600N/mm^2 と比べても約 1.6 倍の性能であり、かなり性能が高いラミナが使われていた。

S90-強軸試験体では最大引張応力の平均値は 17.83N/mm^2 、下限値は 12.06N/mm^2 であり、変位計で計測したひずみから求めたヤング係数は 5918.9N/mm^2 となった。最大引張応力の平均値と引張基準強度 9.2N/mm^2 を比べると約 1.9 倍の性能、ヤング係数 5400N/mm^2 と比べて約 1.1 倍の性能であった。

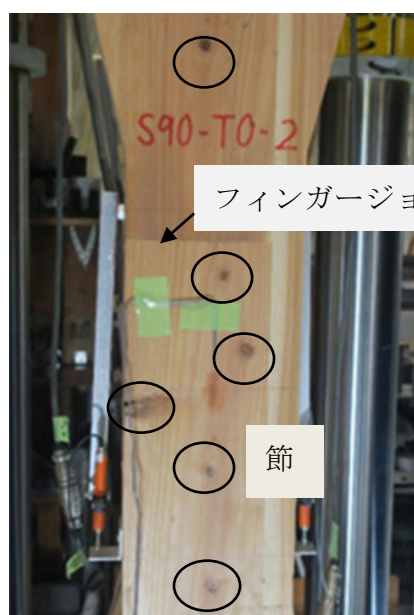
S60-弱軸の試験体では、最大引張応力の平均値は 11.86N/mm^2 、下限値は 7.34N/mm^2 であり、変位計で計測したひずみから求めたヤング係数は 3865.7N/mm^2 となった。最大引張応力の平均値と引張基準強度 4.8N/mm^2 を比べると約 2.5 倍の性能、ヤング係数 2400N/mm^2 と比べると約 1.6 倍の性能であった。強軸と弱軸では基準強度との比が同程度であった。

S90-弱軸の試験体では、最大引張応力の平均値は 13.16N/mm^2 、下限値は 6.74N/mm^2 であり、変位計で計測したひずみから求めたヤング係数は 3813.9N/mm^2 となった。最大引張応力の平均値と引張基準強度 6.2N/mm^2 を比べると約 2.1 倍の性能、ヤング係数 3600N/mm^2 と比べると約 1.1 倍の性能であった。強軸と弱軸では基準強度との比が同程度であった。

強度等級で比べると、S60 の試験体の方が基準強度に対して高い性能を有しており、本来強度等級が低いはずである S60 の方が最大引張応力とヤング係数が高い結果となった。ただし、試験体を観察すると、図 4.2.1-11 のように S60 に使用されているラミナは節が極端に少なく、欠点が少ないことが引張試験の結果に表れていると考えられる。



S60-節がほとんど見られない



S90-節やフィンガージョイントが多い

図 2.1.1-11 試験体表面写真

2.1.2 せん断実験

2.1.2.1 実験概要と各特性値算出方法

(1) 実験概要

図 2.1.2-1 に試験体図を示す。使用する CLT は幅 1200mm、高さ 360mm、厚さ 105mm で、強度等級が S60、S90 とともに 6 体ずつ実施した。試験方法はスパン 720mm の逆対称 4 点荷重法で、Instron100t 試験機を用いて加力した。載荷方法は単調載荷であり、試験時間が 10 分前後となるよう加力速度は 1.0mm/分とした。

表 2.1.2-1 試験体概要

CLT		試験体数
仕様	強度等級	
5 層 5 プライ 厚さ 105mm スギ	S60	6
	S90	6

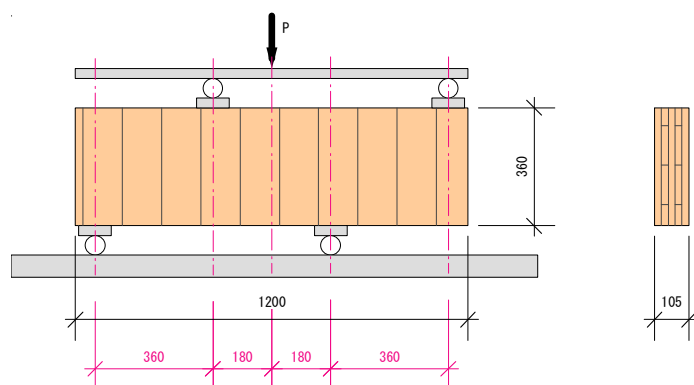


図 2.1.2-1 CLT 面内せん断試験 試験体図

計測方法を図 2.1.2-2 に示す。せん断ひずみを計測するため 2 種類の方法を用いて計測した。一方は、試験体中央に取り付けたアームより水平変位を計測する(#1,#2)。もう一方は摺動式計測器を用いて斜め方向の変位を計測する(#3,#4)。

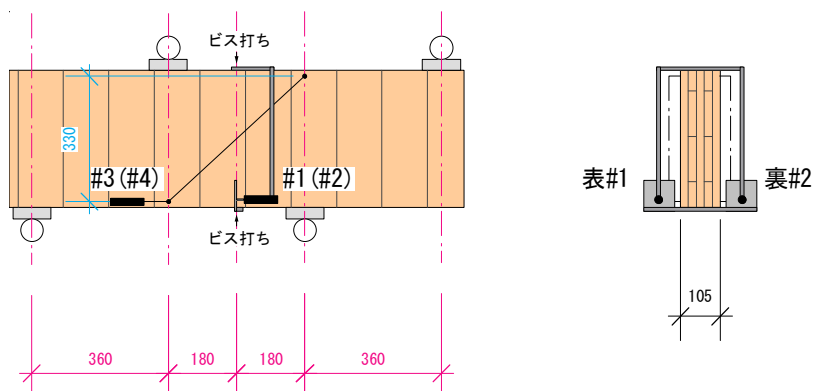


図 2.1.2-2 計測方法

(2) 各特性値算出方法

- ・ 荷重 P
アクチュエータに取り付けたロードセルにより計測した値
- ・ せん断力 Q

$$Q = \frac{1}{2}P$$

- ・ 平均せん断応力度 $_{ave} \tau$

$$_{ave} \tau = \frac{Q}{bh}$$

ここで、

t : 梁厚さ=105mm

h : 梁せい=360mm

- ・ 最大せん断応力度 $_{max} \tau$: 長方形断面のせん断応力分布はパラボラ状であり、その最大値は以下のように求められる。

$$_{max} \tau = \frac{3}{2} \cdot \frac{Q}{bh}$$

- ・ 水平変位 δ_h
変位計#1,#2 により計測した値の平均値
- ・ 水平変位計によるせん断ひずみ γ_h

$$\gamma_h = \frac{\delta_h}{h}$$

ここで、 h : 梁せい = 360mm

- ・ ななめ変位 δ_d
変位計#3,#4 により計測した値の平均値
- ・ 斜め変位計によるせん断ひずみ γ_d

$$\gamma_d = \frac{\Delta q}{p} = \frac{\sqrt{(l + \delta_d)^2 - p^2} - q}{p}$$

ここで、 $l, p, q, \Delta q$ については図 2.1.2-3 参照。

- ・ せん断弾性係数 G
 $_{ave} \tau$ の最大値の 10% と 40% の値と、それに対応する γ との 2 点を結んだときの傾き
水平変位計によるものを G_h 、斜め変位計によるものを G_d とする。

- ・ 下限値
応力の下限值は、母集団を正規分布と仮定した場合の信頼水準 75% の 95% 下側許容限界値とし、せん断弾性係数の下限値は信頼水準 75% の 50% 下側許容限界値とする。

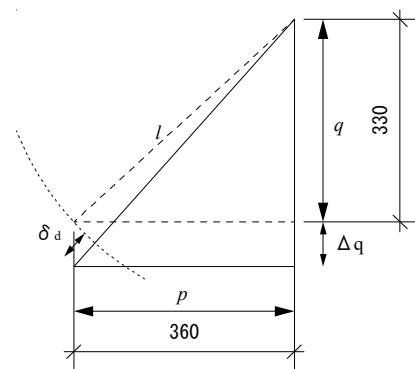


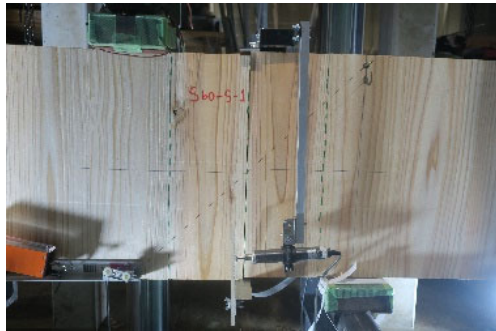
図 2.1.2-3 せん断ひずみ算出補足

2.1.2.2 実験結果と考察

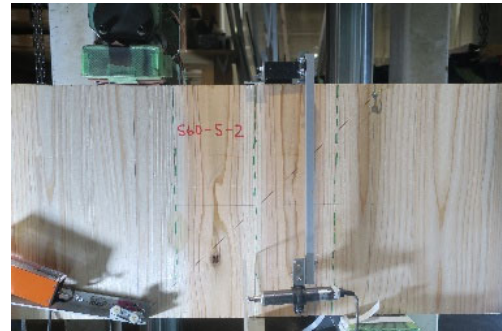
(1) 実験結果-S60 試験体

(a)破壊性状

破壊性状を図 2.1.2-4 に各試験体の破壊性状を示す。破壊性状は全て接着面でのローリングシア破壊となった。



S60-S-1



S60-S-2



S60-S-3



S60-S-4



S60-S-5



S60-S-6

図 2.1.2-4 S60 試験体破壊性状

(b)せん断応力せん断歪関係と特性値

せん断応力せん断歪関係を図 2.1.2-5 に、特性値一覧を表 2.1.2-2 に示す。

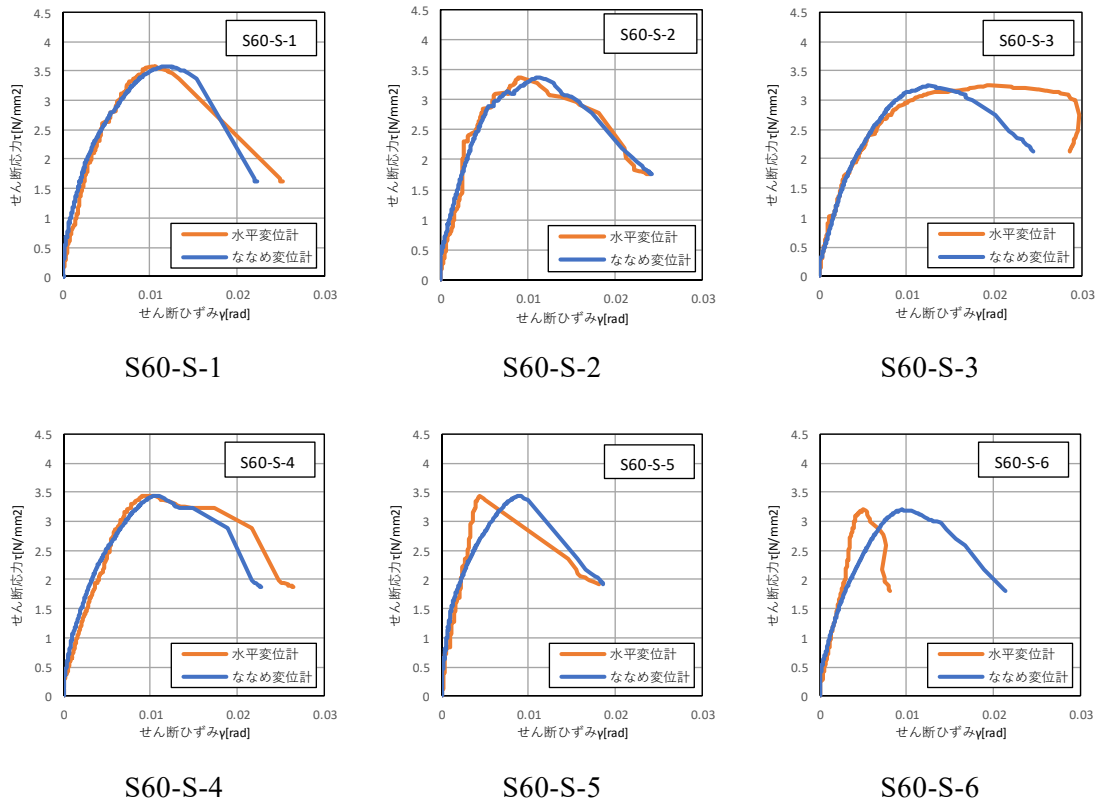


図 2.1.2-5 S60 試験体平均せん断応力せん断歪関係

表 2.1.2-2 S60 試験体せん断実験特性値

S60-S-	ave $\tau_{\max}$ [N/mm ²]	max $\tau_{\max}$ [N/mm ²]	$\gamma_{hQ\max}$ [rad]	G_h [N/mm ²]	$\gamma_{dQ\max}$ [rad]	G_d [N/mm ²]
1	3.57	5.36	0.0103	618.7	0.0116	734.1
2	3.36	5.05	0.0090	550.5	0.0111	629.2
3	3.25	4.87	0.0191	543.1	0.0123	505.5
4	3.44	5.17	0.0095	488.0	0.0105	617.3
5	3.44	5.17	0.0044	847.5	0.0090	1084.0
6	3.20	4.80	0.0050	713.9	0.0094	596.9
平均値	3.38	5.07	0.0096	626.9	0.0106	694.5
標準偏差	0.13	0.19	0.0048	121.4	0.0012	186.5
変動係数	0.037	0.037	0.505	0.194	0.110	0.269
下限値	3.09	4.63		590.9		639.1

(2) 実験結果-S90 試験体

(a) 破壊性状

破壊性状を図 2.1.2-6 に各試験体の破壊性状を示す。破壊性状は全て接着面でのローリングシア破壊となった。



S90-S-1



S90-S-2



S90-S-3



S90-S-4



S90-S-5



S90-S-6

図 2.1.2-6 S90 試験体破壊性状

(b) せん断応力せん断歪関係と特性値

せん断応力せん断歪関係を図 2.1.2-7 に、特性値一覧を表 2.1.2-3 に示す。

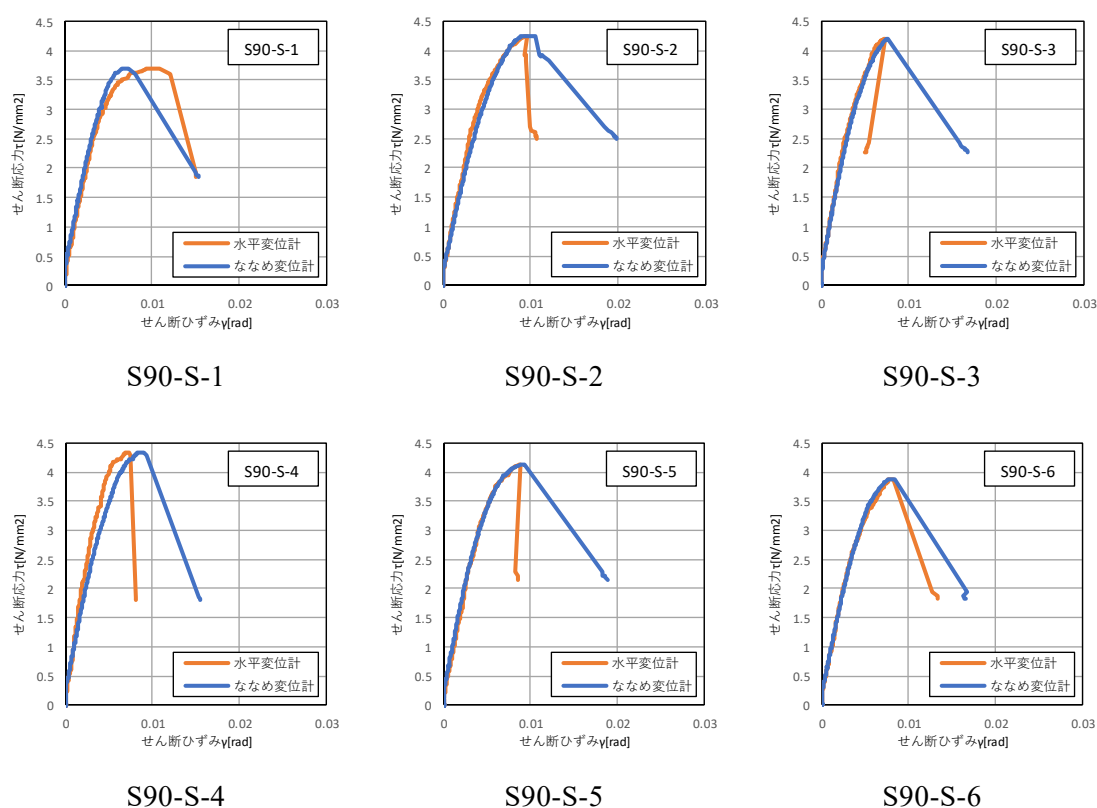


図 2.1.2-7 S90 試験体せん断応力せん断歪関係

表 2.1.2-3 S90 試験体せん断実験特性値

S90-S-	ave $\tau_{\max}$ [N/mm ²]	max $\tau_{\max}$ [N/mm ²]	$\gamma_{hQ\max}$ [rad]	G_h [N/mm ²]	$\gamma_{dQ\max}$ [rad]	G_d [N/mm ²]
1	3.69	5.54	0.0094	736.5	0.0065	770.0
2	4.25	6.37	0.0093	761.0	0.0089	677.0
3	4.21	6.31	0.0072	815.4	0.0076	799.3
4	4.34	6.51	0.0069	1028.4	0.0084	756.8
5	4.12	6.19	0.0087	711.7	0.0088	782.3
6	3.88	5.82	0.0077	735.3	0.0076	722.7
平均値	4.08	6.12	0.0082	798.0	0.0080	751.3
標準偏差	0.22	0.34	0.0010	108.0	0.0008	40.8
変動係数	0.055	0.055	0.121	0.135	0.105	0.054
下限値	3.56	5.34		766.0		739.2

(3) CLT の密度

CLT の密度は構面実験後の試験体より小角材を切り出し、寸法測定と質量測定を行った。ここで、切り出した CLT の層間の接着面がはがれていたため、厚さは 105mm とした。結果を表 2.1.2-4 に示す。

表 2.1.2-4 CLT 密度

試験体		体積	質量	密度	密度平均
		(cm^3)	(g)	(g/cm^3)	(g/cm^3)
S60-	1	1803.9	723.7	0.4012	0.3991
	2	1561.5	619.9	0.3970	
S90-	1	1009.3	480.6	0.4762	0.4797
	2	1406.4	679.5	0.4831	

(4) せん断試験のまとめ

構面実験で使用した CLT の面内せん断試験を行い、以下の知見を得た。

S60 の試験体では、最大せん断応力が平均値で $3.38\text{N}/\text{mm}^2$ 、下限値で $3.09\text{N}/\text{mm}^2$ であった。水平変位計で計測したせん断弾性係数は $626.9\text{N}/\text{mm}^2$ となった。これはせん断基準強度 $2.7\text{N}/\text{mm}^2$ と比べて約 1.3 倍、せん断弾性係数 $500\text{N}/\text{mm}^2$ と比べて約 1.3 倍であった。

S90 の試験体では、最大せん断応力が平均値で $4.08\text{N}/\text{mm}^2$ 、下限値で $3.56\text{N}/\text{mm}^2$ であった。水平変位計で計測したせん断弾性係数は $798.0\text{N}/\text{mm}^2$ となった。これはせん断基準強度 $2.7\text{N}/\text{mm}^2$ と比べて約 1.5 倍、せん断弾性係数 $500\text{N}/\text{mm}^2$ と比べて約 1.6 倍であった。

強度等級で比べると、基準強度では強度等級では違いがないが、試験結果は S90 試験体の方が最大せん断応力、せん断弾性係数ともに高い性能を示す結果となった。

2.1.3 圧縮試験

2.1.3.1 試験概要と各特性値算出方法

(1)試験概要

図 2.1.3-1 に試験体図を示す。用いたのは 5 層 5 プライ厚さ 105mm の CLT で、せん断試験に供した試験済みの試験体より、全面圧縮試験体 F200、F360 と部分圧縮試験体 P200 をそれぞれ切り出した。また、切り出す際にラミナの継ぎ目が中央に来るように微調整を行った。CLT の強度等級は S60 と S90 の 2 種類で実施し、各 6 体を試験に供した。载荷方法は単調圧縮で、Instron100t 試験機を用いて加力した。加力速度を F360 は 0.8mm/分、F200 と P200 は 0.6mm/分とした。変位は変位計を用いて計測した。

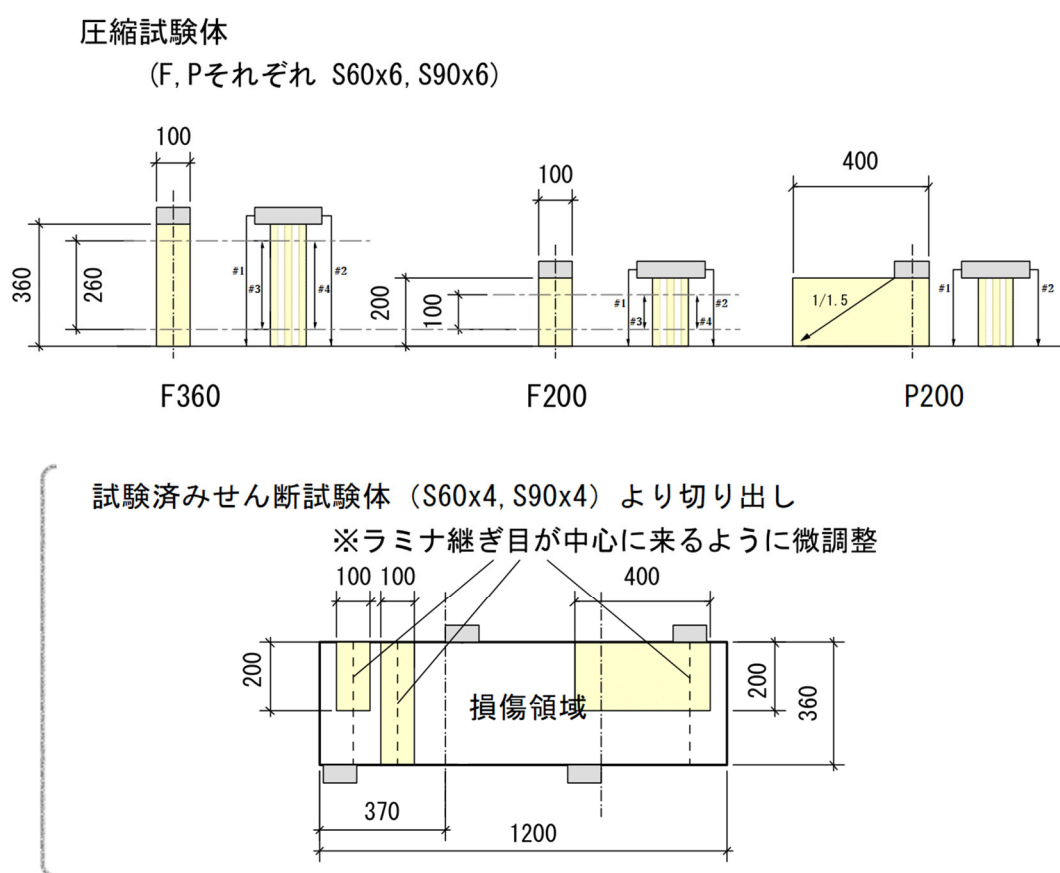


図 2.1.3-1 圧縮実験試験体図

(2)各特性値算出方法

・荷重 P

アクチュエータに取り付けたロードセルにより計測した値。

・全体変位 δ_a

試験体の表裏に設置した変位計#1、#2により計測した値の平均値。全ての試験体 F360、F200、P200 で全体圧縮変位を表裏で計測し、その平均値を見かけの圧縮変位(全体変位 δ_a)とした。

・全体ひずみ ε_a

全体ひずみを次式より求める。 H は試験体の高さであり、F360 なら $H=360$ 、F200 なら $H=200$ 、P200 なら $H=200$ である。

$$\varepsilon_a = \frac{\delta_a}{H}$$

・圧縮変位 δ_b

左右に設置した変位計#3、#4により計測した値の平均値。全面圧縮試験体 F360、F200 で、上下の端から 50mm の位置を標点とし、標点間での圧縮変位を左右で計測し、その平均を真の圧縮変位(圧縮変位 δ_b)とした。

・圧縮ひずみ ε_b

圧縮ひずみを次式より求める。 h は標点間の距離であるから $h=H-100$ であり、F360 なら $h=260$ 、F200 なら $h=100$ である。

$$\varepsilon_b = \frac{\delta_b}{h}$$

・平均圧縮応力 σ_c

圧縮応力を次式により求める。 A は試験部全断面積である。公称断面は積層方向 105×幅方向 100mm であるが、各試験体で計測する。(N/mm²)

$$\sigma_c = \frac{P}{A}$$

・圧縮ヤング係数 E_c

平均圧縮応力 σ_c の最大値 σ_{max} の 10% の値 $0.1\sigma_{max}$ と 40% の値 $0.4\sigma_{max}$ と、それぞれに対応するひずみ $\varepsilon_{0.1\sigma_{max}}$ と $\varepsilon_{0.4\sigma_{max}}$ の 2 点を結んだときの傾きを求める。(N/mm²)

$$E_c = \frac{(0.4\sigma_{max} - 0.1\sigma_{max})}{\varepsilon_{0.4\sigma_{max}} - \varepsilon_{0.1\sigma_{max}}}$$

・応力の下限值

応力の下限值は、母集団を正規分布と仮定した場合の信頼水準 75%の 95%下側許容限界値とする。信頼水準 75%における 95%下側許容限界値を求めるための係数 $k=2.336$ （試験体数 6 の時）とする。

- ・ヤング係数の下限値

ヤング係数の下限値は、母集団を正規分布と仮定した場合の信頼水準 75%の 50%下側許容限界値とする。信頼水準 75%における 50%下側許容限界値を求めるための係数 $k=0.383$ （試験体数 6 の時）とする。

- ・下限値

下限値は、平均値にばらつき係数を乗じて算出した値とする。なお、ばらつき係数は、母集団の分布形を正規分布とみなし、統計的处理に基づく信頼水準 75%の 95%下側許容限界値をもとに次式より求める。

$$\text{ばらつき係数} = 1 - CV \cdot k$$

ここで、

CV ：変動係数

k ：信頼水準 75%における 95%下側許容限界値を求めるための係数

なお、変動係数は次式により求める。

$$\text{変動係数} CV = \frac{\text{標準偏差}}{\text{平均値}}$$

(3)試験体名

試験体名は表 2.1.3-1 に示す通りとした。

表 2.1.3-1 圧縮試験体名

	圧縮試験方法	寸法			等級	試験体名
		高さ[mm]	厚さ[mm]	幅[mm]		
1	全面圧縮試験体 FULL	200	105	100	S60	F200-S60-S1
2						}
6						F200-S60-S6
7					S90	F200-S90-S1
8						}
12						F200-S90-S6
13		360	105	100	S60	F200-S60-S1
14						}
18						F200-S60-S6
19					S90	F360-S90-S1
20						}
24						F360-S90-S6
25	部分圧縮試験体 PART	200	105	100 ※圧縮部分	S60	P200-S60-S1
26						}
30						P200-S60-S6
31					S90	P200-S90-S1
32						}
36						P200-S90-S6

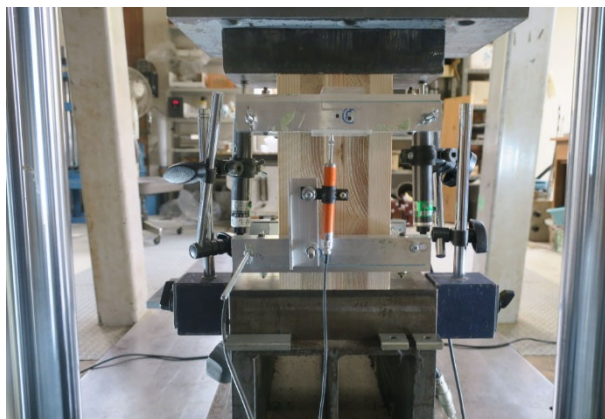
2.1.3.2. 試験結果

(1)全面圧縮試験体 F200-S60

全面圧縮試験体 F200-S60 の様子の例として図 2.1.3-2 に試験前の様子を、図 2.1.3-3 に試験後の様子を示す。また、図 2.1.3-4 に破壊性状を示す。標点間で圧縮破壊が起こった。層の境界やラミナの継ぎ目をきっかけとして、割れが生じやすい。



F200-S60-S3

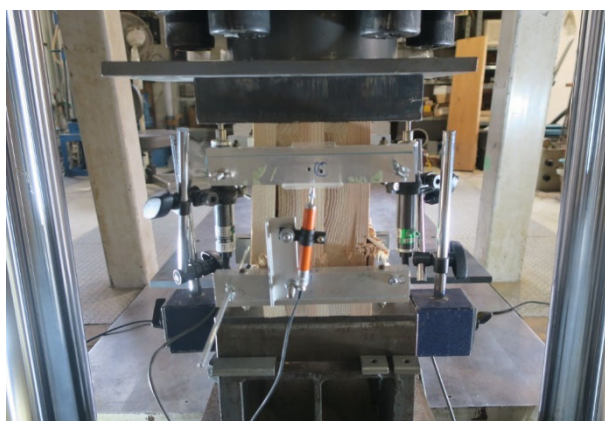


F200-S60-S4

図 2.1.3-2 全面圧縮試験体 F200-S60 試験前の様子

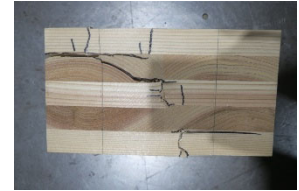
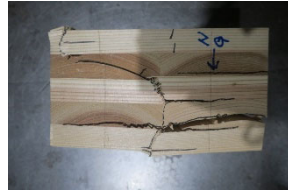
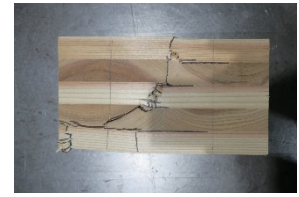
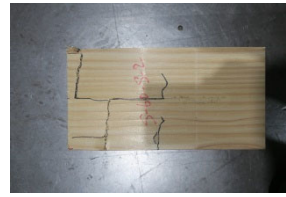
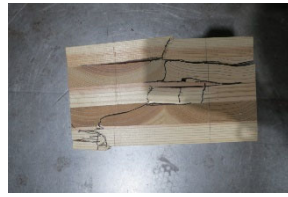
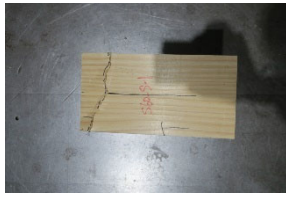


F200-S60-S5



F200-S60-S6

図 2.1.3-3 全面圧縮試験体 F200-S60 試験後の様子



F200-S60-S1

F200-S60-S2



F200-S60-S3

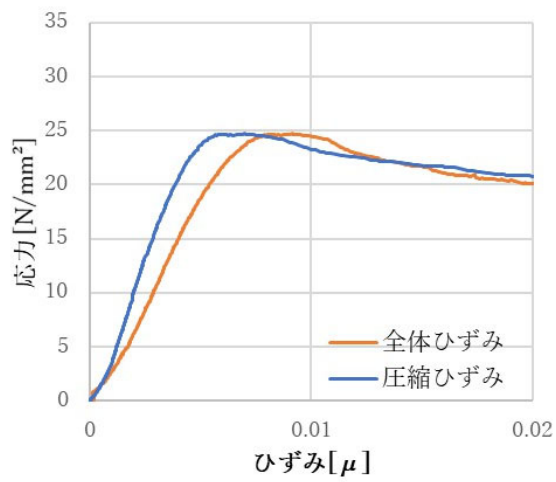
F200-S60-S4



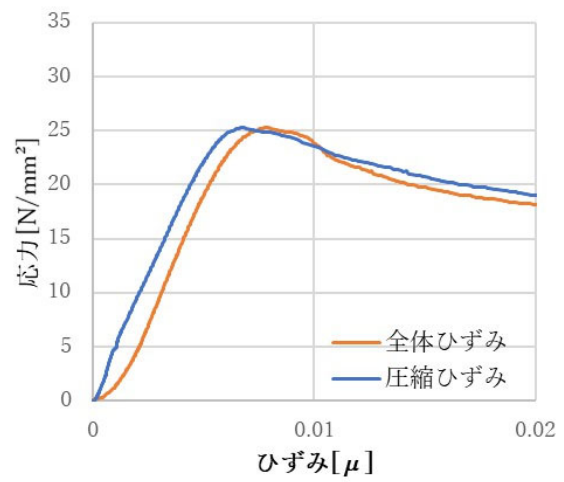
F200-S60-S5

F200-S60-S6

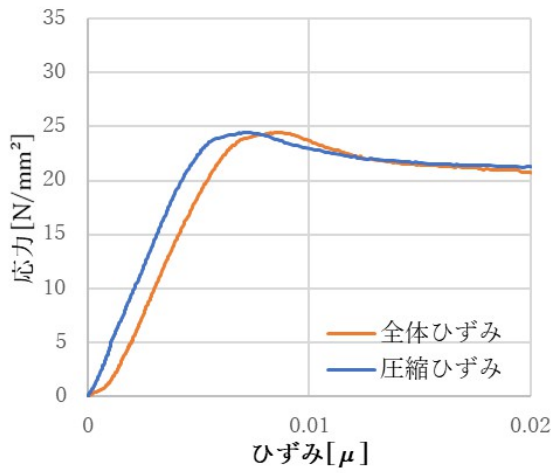
図 2.1.3-4 全面圧縮試験体 F200-S60 破壊性状



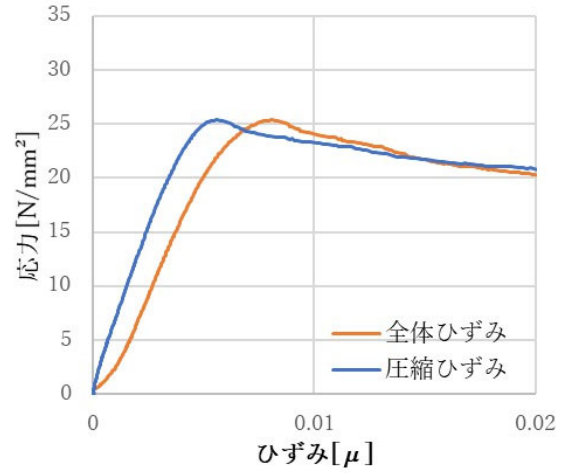
F200-S60-S1



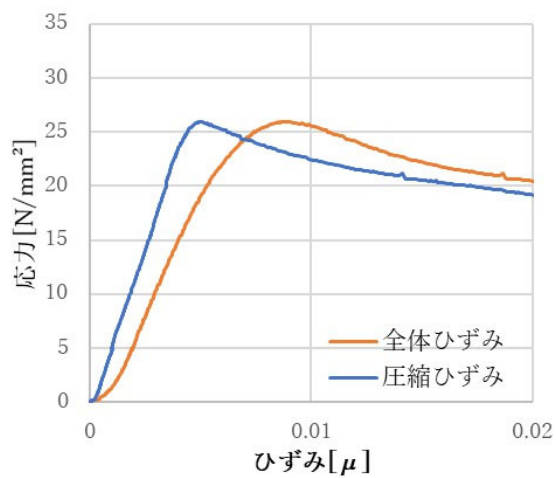
F200-S60-S2



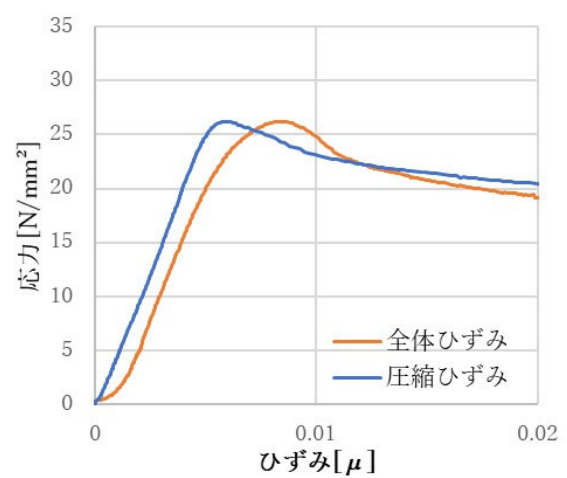
F200-S60-S3



F200-S60-S4



F200-S60-S5



F200-S60-S6

図 2.1.3-5 全面圧縮試験体 F200-S60 応力-ひずみ関係

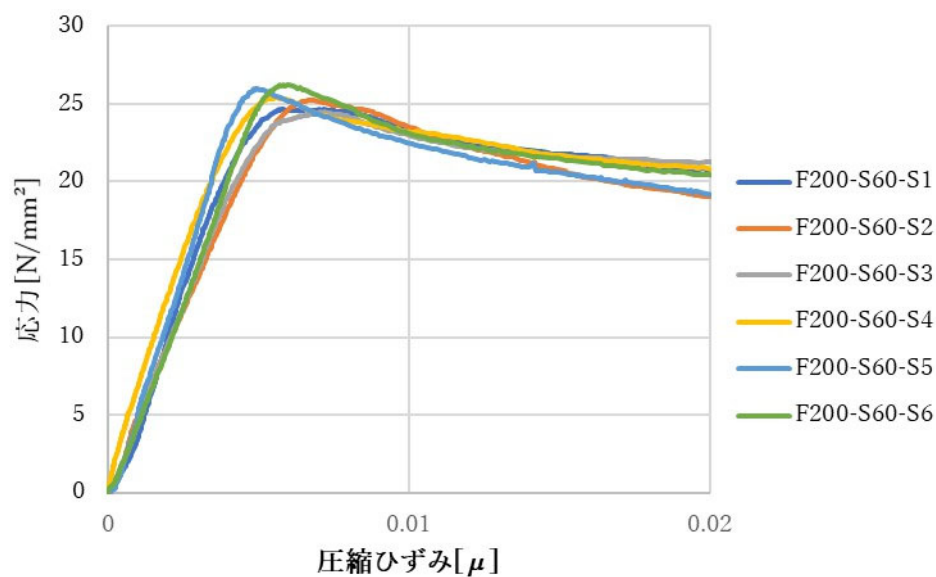


図 2.1.3-6 全面圧縮試験体 F200-S60 圧縮応力-圧縮ひずみ関係

表 2.1.3-2 全面圧縮試験体 F200-S60 特性値

F200-S60	密度	圧縮応力	圧縮ひずみ	圧縮ヤング係数
	[g/cm ³]	[N/mm ²]	[10 ⁻⁹]	[N/mm ²]
S1	0.381	24.70	7.015	6224
S2	0.379	25.24	6.655	4960
S3	0.377	24.46	7.220	5074
S4	0.392	25.38	5.560	6080
S5	0.391	25.97	5.000	6282
S6	0.382	26.21	5.945	4983
平均値	0.384	25.33	6.233	5601
標準偏差	0.006	0.624	0.798	598.9
変動係数	0.015	0.025	0.128	0.107
kの値		2.336		0.383
ばらつき係数		0.942		0.959
下限値		23.87		5371

全面圧縮試験体 F200-S60 の真の圧縮変位より得られた平均ヤング係数は 5600.641 N/mm²であった。

(2)全面圧縮試験体 F200-S90

全面圧縮試験体 F200-S90 の様子として破壊性状のみ図 2.1.3-7 に示す。



F200-S90-S1



F200-S90-S2



F200-S90-S3



F200-S90-S4



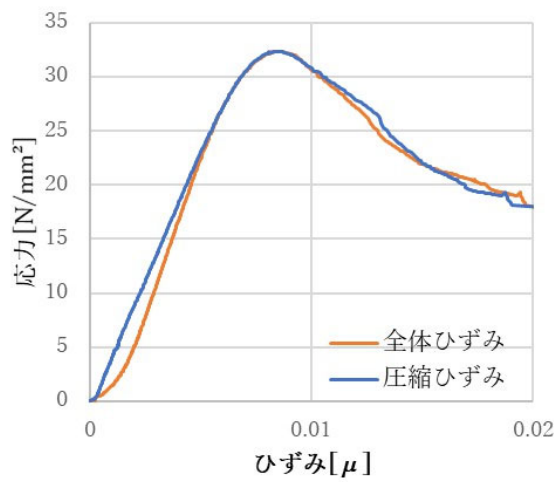
F200-S90-S5



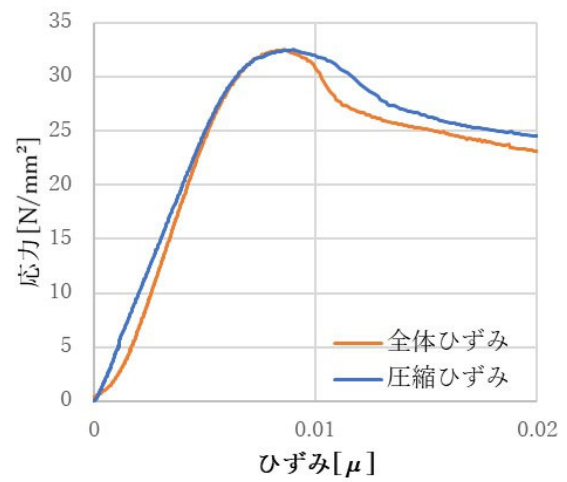
F200-S90-S6



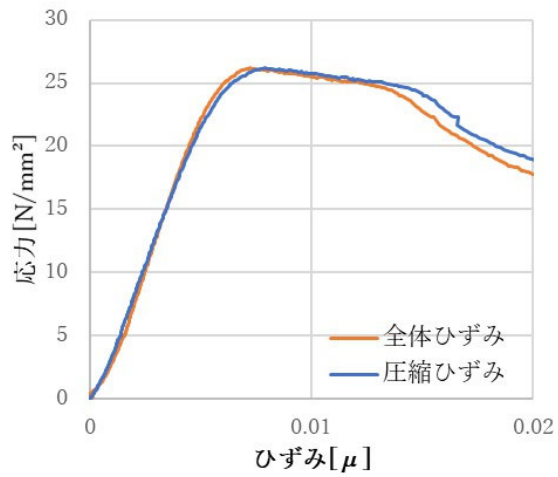
図 2.1.3-7 全面圧縮試験体 F200-S90 破壊性状



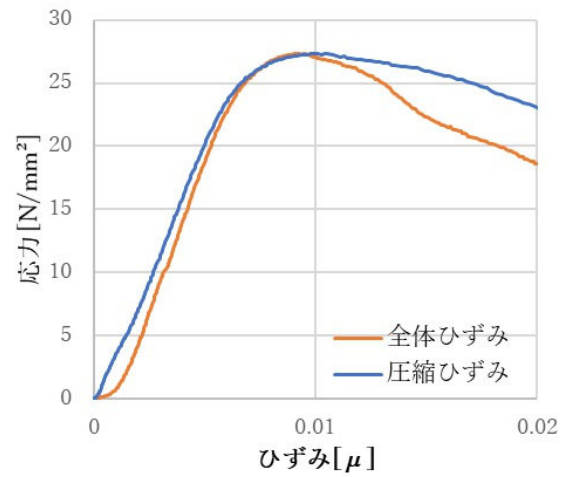
F200-S90-S1



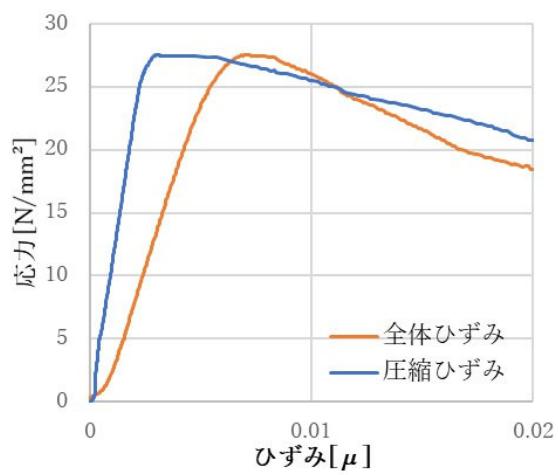
F200-S90-S2



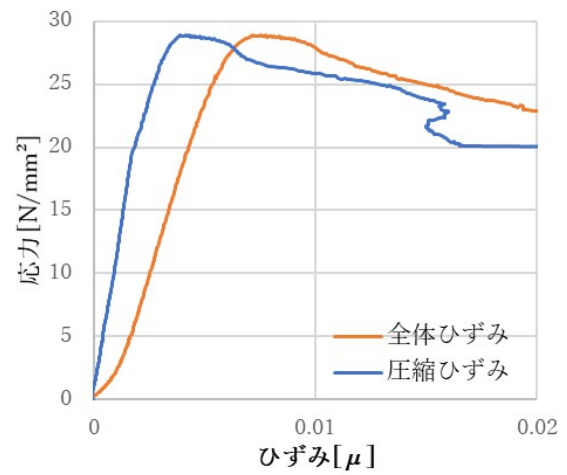
F200-S90-S3



F200-S90-S4



F200-S90-S5



F200-S90-S6

図 2.1.3-8 全面圧縮試験体 F200-S90 応力-ひずみ関係

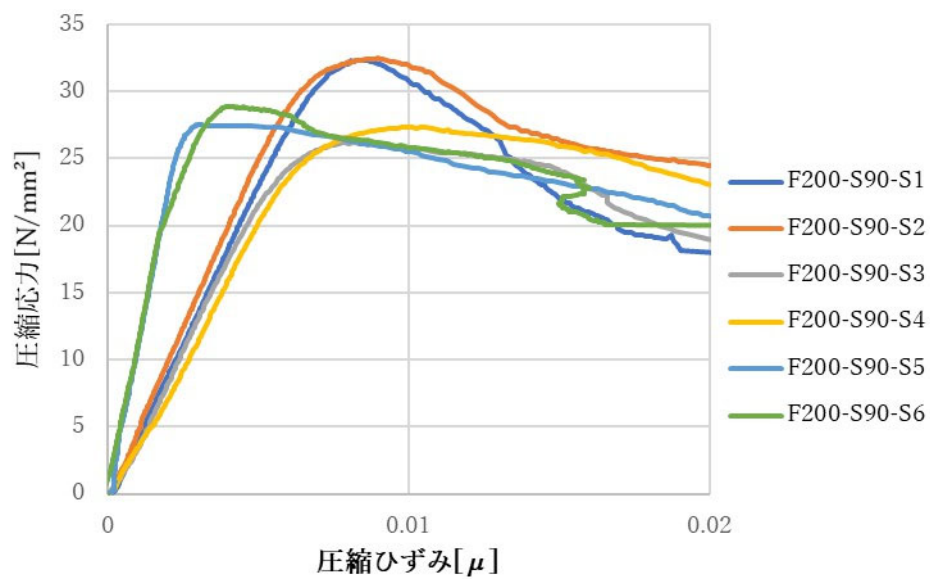


図 2.1.3-9 全面圧縮試験体 F200-S90 圧縮応力-圧縮ひずみ関係

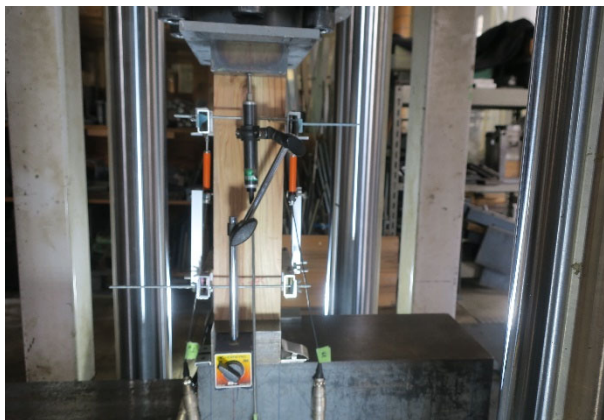
表 2.1.3-3 全面圧縮試験体 F200-S90 特性値

F200-S90	密度	圧縮応力	圧縮ひずみ	圧縮ヤング係数
	[g/cm ³]	[N/mm ²]	[10 ⁻⁹]	[N/mm ²]
S1	0.475	32.34	8.690	6357
S2	0.476	32.49	9.000	5255
S3	0.480	26.21	7.905	4785
S4	0.481	27.37	10.145	3878
S5	0.479	27.52	2.915	11473
S6	0.479	28.92	4.315	10458
平均値	0.478	29.14	7.162	7034
標準偏差	0.002	2.446	2.624	2889
変動係数	0.004	0.084	0.366	0.411
kの値		2.336		0.383
ばらつき係数		0.804		0.843
下限値		23.43		5928

全面圧縮試験体 F200-S90 の真の圧縮変位より得られたヤング係数は 7034.122 N/mm²であった。

(3)全面圧縮試験体 F360-S60

全面圧縮試験体 F360-S60 の様子の例として図 2.1.3-10 に試験前の様子を、図 2.1.3-11 に試験後の様子を示す。また、図 2.1.3-12 に破壊性状を示す。



F360-S60-S4

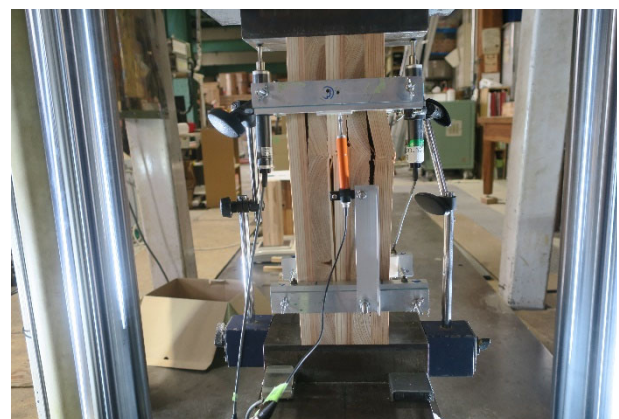


F360-S60-S6

図 2.1.3-10 全面圧縮試験体 F360-S60 試験前の様子

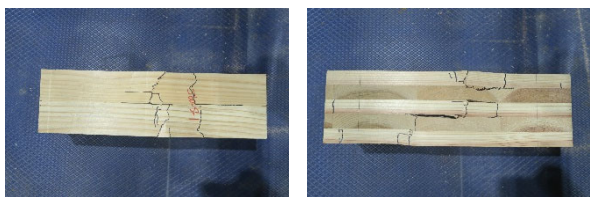


F360-S60-S5

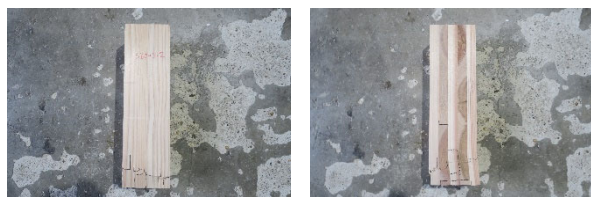


F200-S60-S3

図 2.1.3-11 全面圧縮試験体 F360-S60 試験後の様子



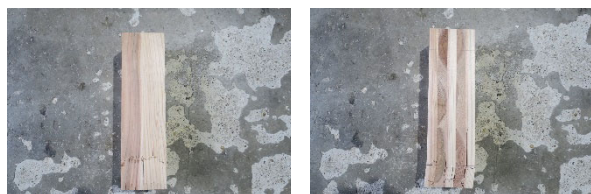
F360-S60-S1



F360-S60-S2



F360-S60-S3



F360-S60-S4



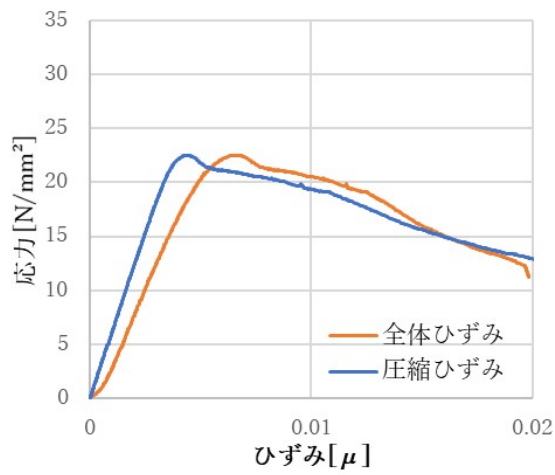
F360-S60-S5



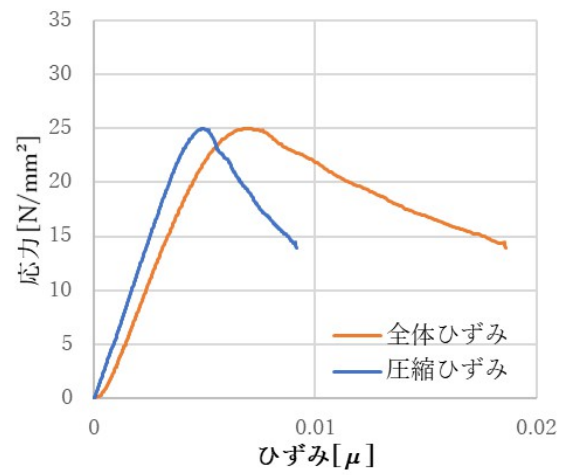
F360-S60-S6



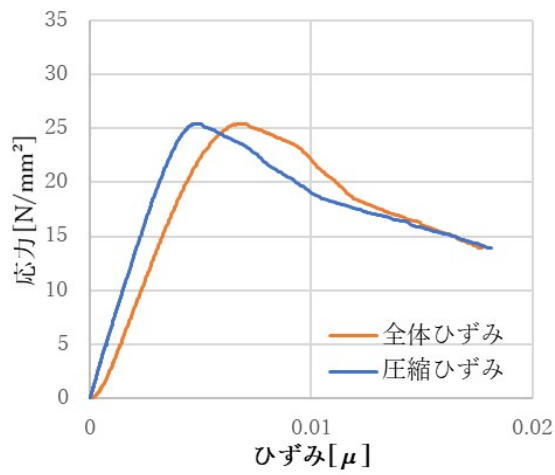
図 2.1.3-12 全面圧縮試験体 F360-S60 破壊性状



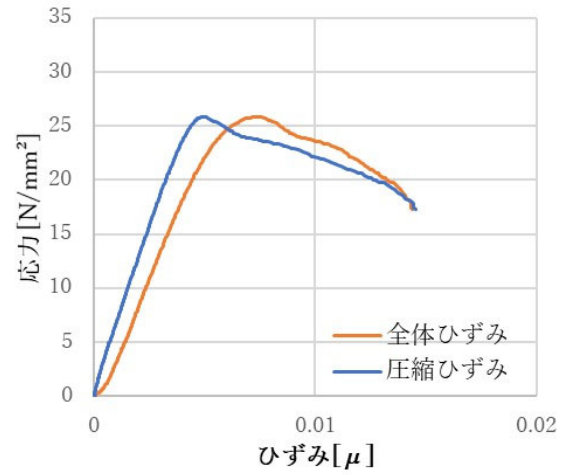
F360-S60-S1



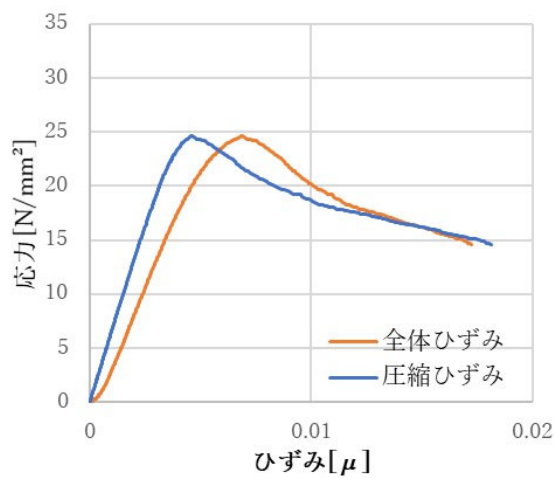
F360-S60-S2



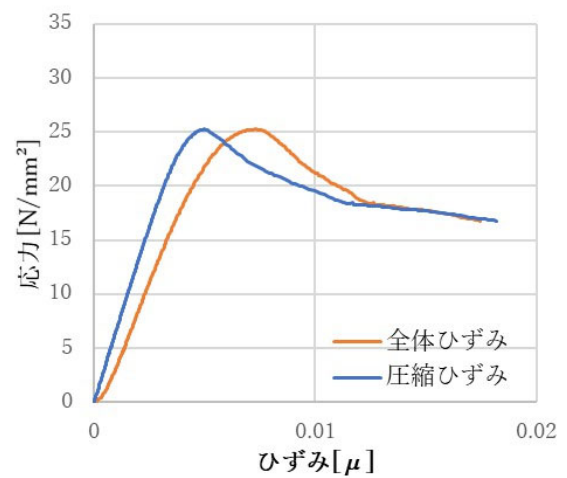
F360-S60-S3



F360-S60-S4



F360-S60-S5



F360-S60-S6

図 2.1.3-13 全面圧縮試験体 F360-S60 応力-ひずみ関係

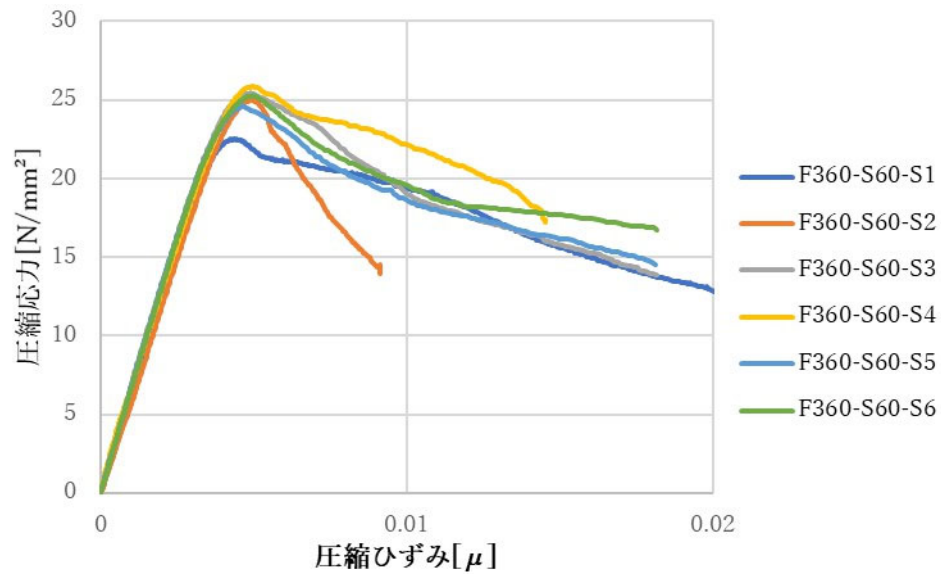


図 2.1.3-14 全面圧縮試験体 F360-S60 圧縮応力-圧縮ひずみ関係

表 2.1.3-4 全面圧縮試験体 F360-S60 特性値

F360-S60	密度	圧縮応力	圧縮ひずみ	圧縮ヤング係数
	[g/cm ³]	[N/mm ²]	[10 ⁻⁹]	[N/mm ²]
S1	0.382	22.51	4.402	6159
S2	0.375	25.02	4.946	5896
S3	0.382	25.45	4.915	6964
S4	0.386	25.87	4.977	6193
S5	0.382	24.61	4.623	6691
S6	0.374	25.29	4.994	6634
平均値	0.380	24.79	4.810	6423
標準偏差	0.004	1.090	0.221	367.1
変動係数	0.011	0.044	45.939	0.057
kの値		2.336		0.383
ばらつき係数		0.897		0.978
下限値		22.25		6282

全面圧縮試験体 F360-S60 の真の圧縮変位より得られたヤング係数は、6422.798N/mm²であった。

(4)全面圧縮試験体 F360-S90

全面圧縮試験体 F360-S90 の様子として破壊性状のみ図 2.1.3-15 に示す。

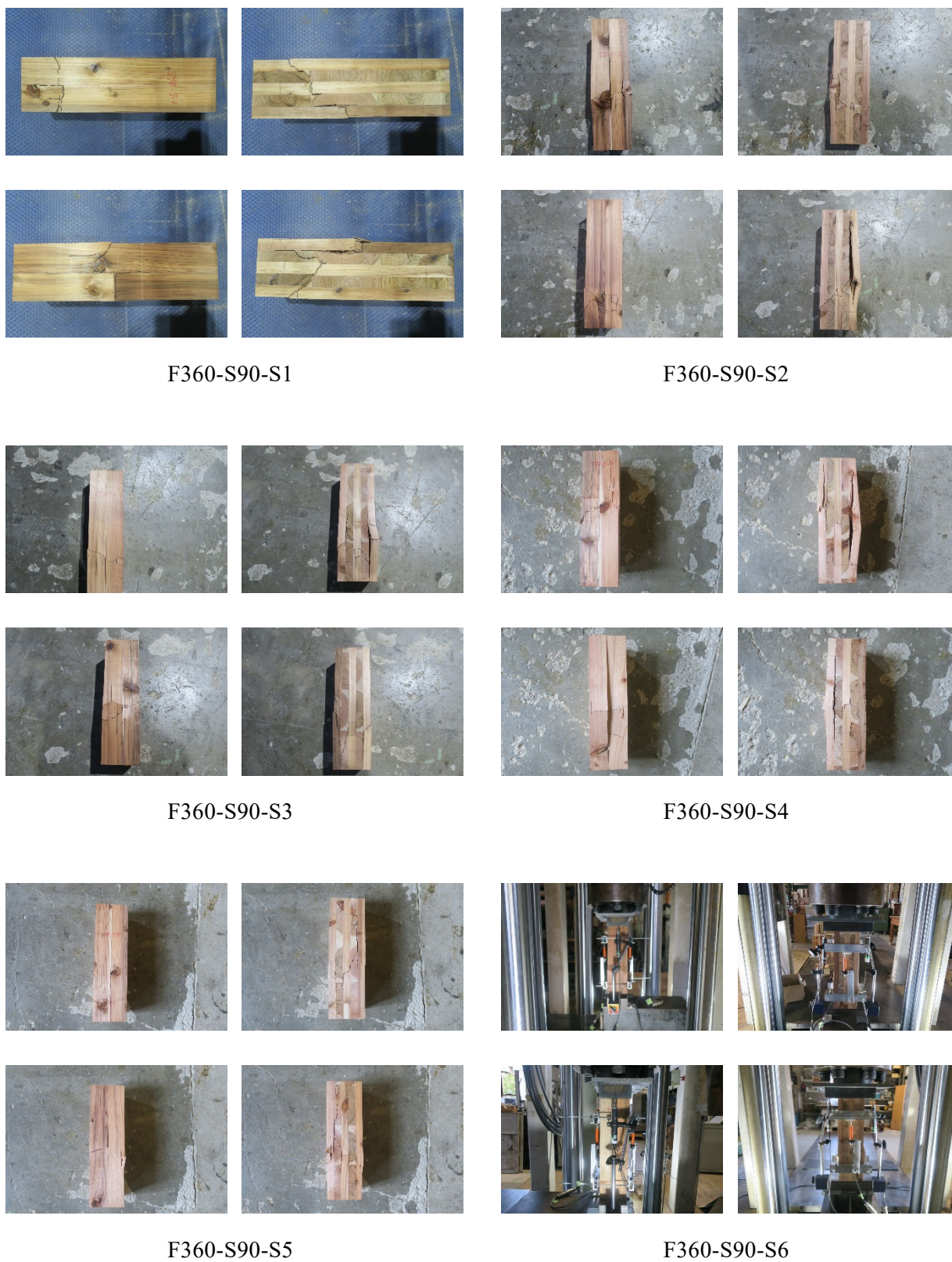
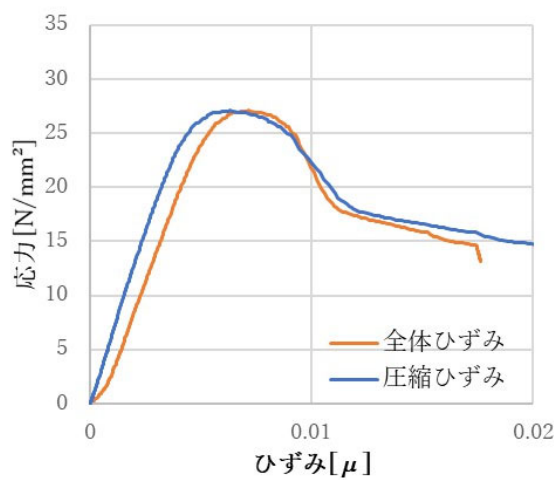
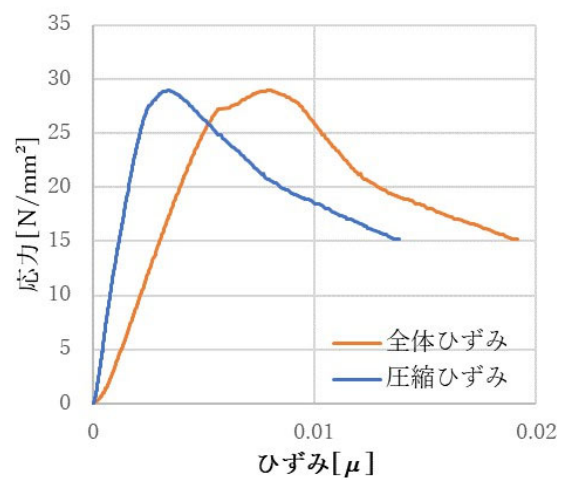


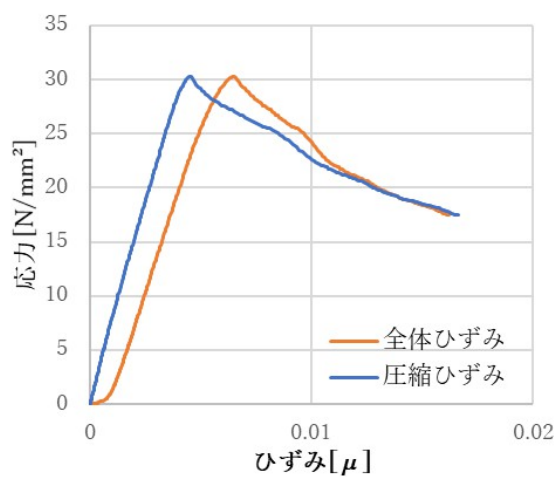
図 2.1.3-15 全面圧縮試験体 F360-S90 破壊性状



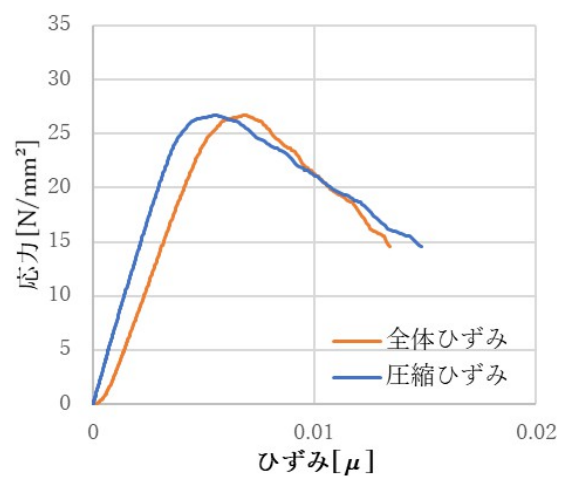
F360-S90-S1



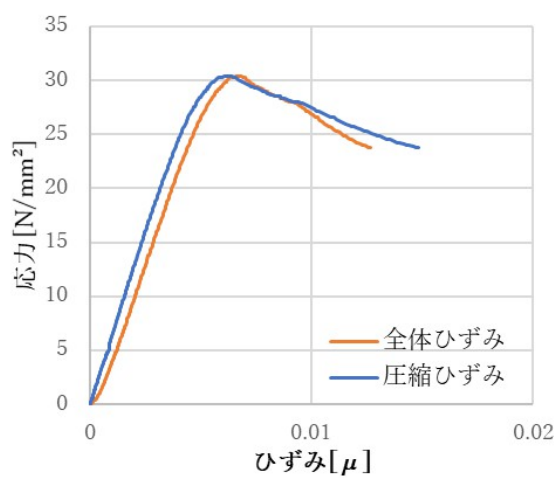
F360-S90-S2



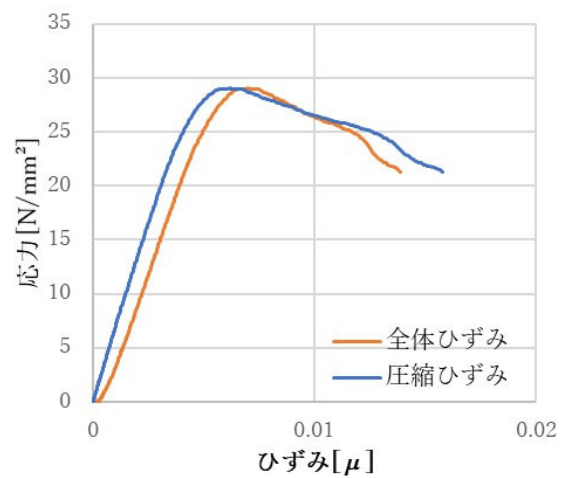
F360-S90-S3



F360-S90-S4



F360-S90-S5



F360-S90-S6

図 2.1.3-16 全面圧縮試験体 F360-S90 応力-ひずみ関係

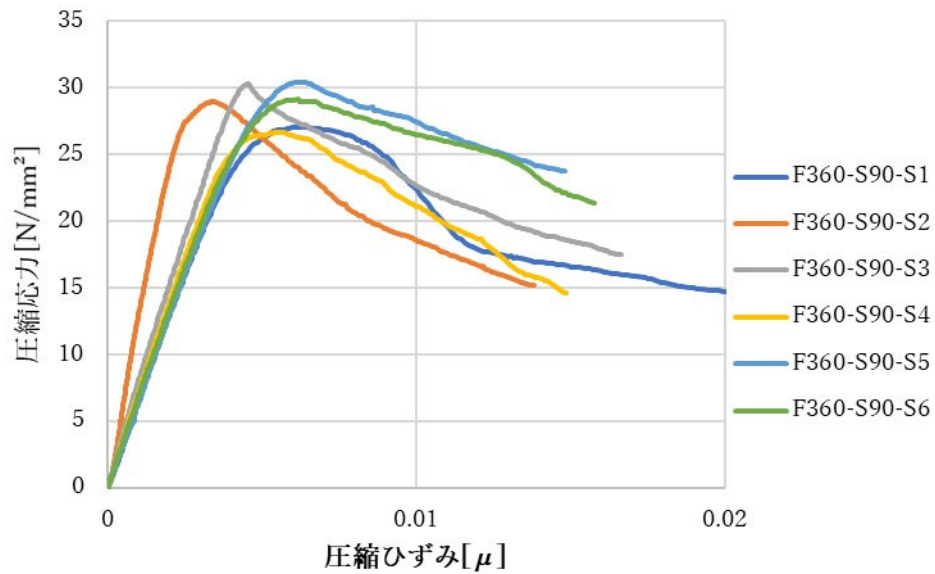


図 2.1.3-17 全面圧縮試験体 F360-S90 圧縮応力-圧縮ひずみ関係

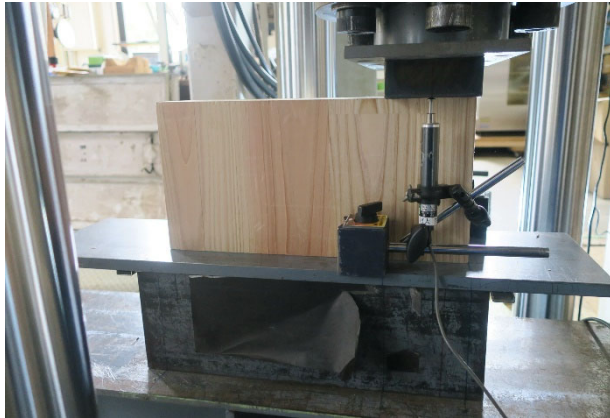
表 2.1.3-5 全面圧縮試験体 F360-S90 特性値

F360-S90	密度	圧縮応力	圧縮ひずみ	圧縮ヤング係数
	[g/cm ³]	[N/mm ²]	[10 ⁻⁹]	[N/mm ²]
S1	0.467	27.10	6.346	6670
S2	0.485	28.92	3.373	14368
S3	0.459	30.28	4.556	7699
S4	0.469	26.69	5.631	7115
S5	0.479	30.42	6.419	6501
S6	0.468	29.11	6.188	6694
平均値	0.471	28.76	5.419	8174
標準偏差	0.009	1.428	0.001	2798
変動係数	0.018	0.050	0.205	0.342
kの値		2.336		0.383
ばらつき係数		0.884		0.869
下限値		25.42		7103

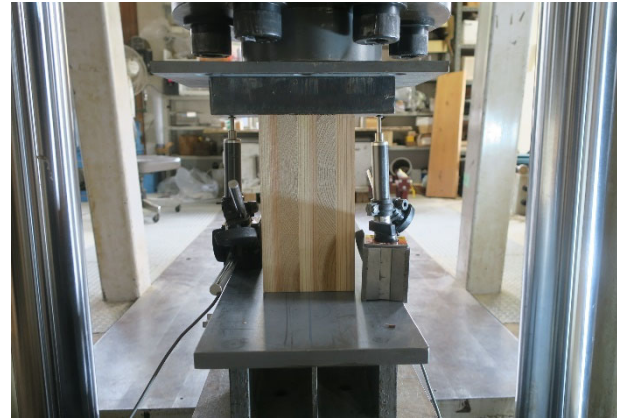
全面圧縮試験体 F360-S90 の真の圧縮変位より得られたヤング係数は、8174.482N/mm²であった。

(5)部分圧縮試験体 P200-S60

部分圧縮試験体 P200-S60 の様子の例として図 2.1.3-18 に試験前の様子を、図 2.1.3-19 に試験後の様子を示す。また、図 2.1.3-20 に破壊性状を示す。



P200-S60-S4



P200-S60-S4

図 2.1.3-18 部分圧縮試験体 P200-S60 試験前の様子

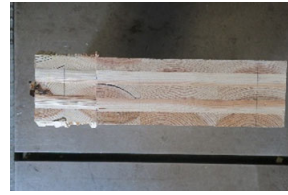


P200-S60-S2



P200-S60-S5

図 2.1.3-19 部分圧縮試験体 P200-S60 試験後の様子



P200-S60-S1

P200-S60-S2



P200-S60-S3

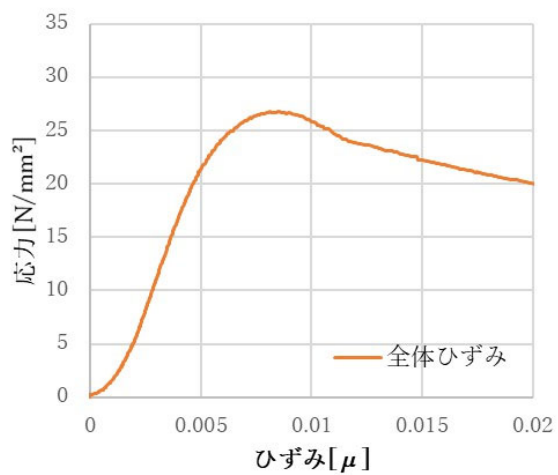
P200-S60-S4



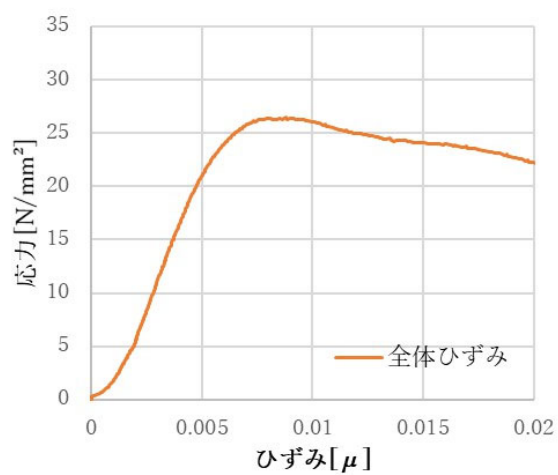
P200-S60-S5

P200-S60-S6

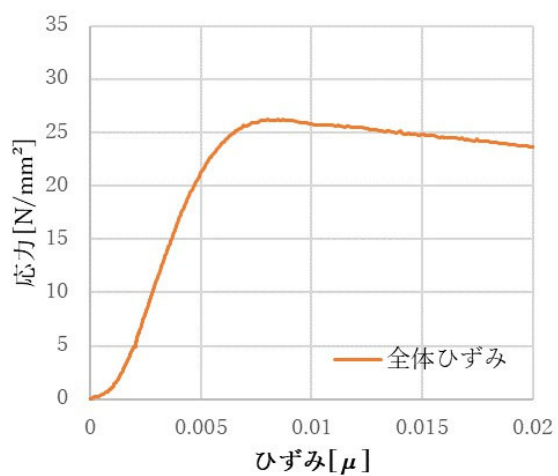
図 2.1.3-20 部分圧縮試験体 P200-S60 破壊性状



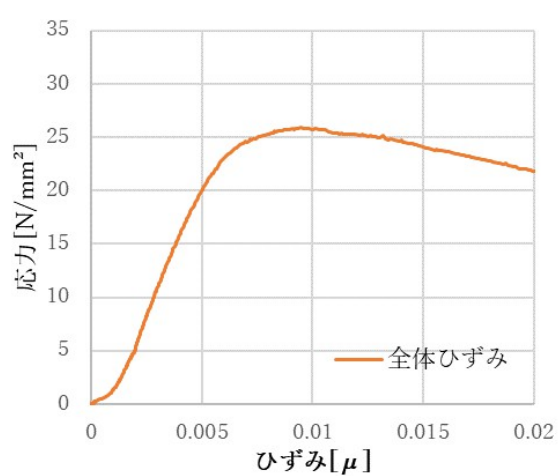
P200-S60-S1



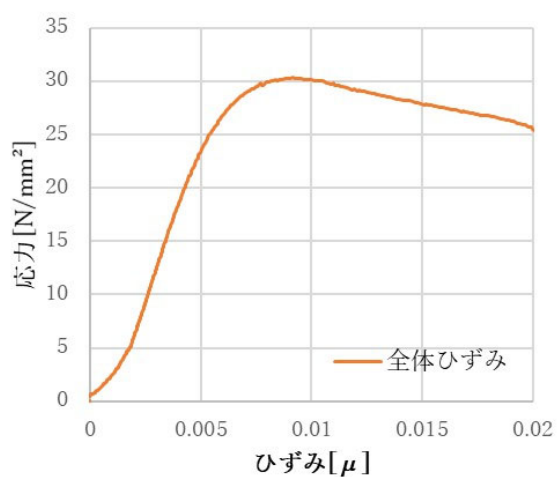
P200-S60-S2



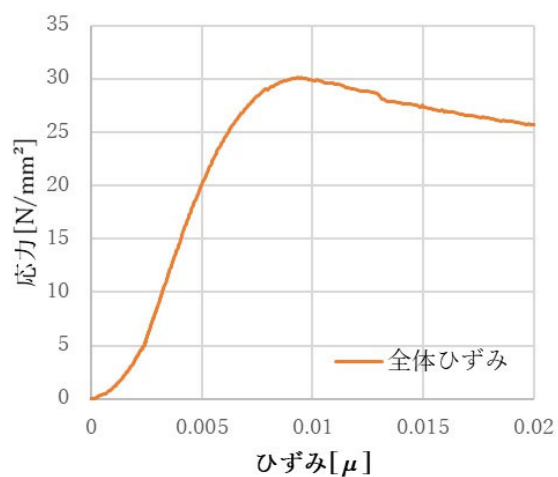
P200-S60-S3



P200-S60-S4



P200-S60-S5



P200-S60-S6

図 2.1.3-21 部分圧縮試験体 P200-S60 応力-ひずみ関係

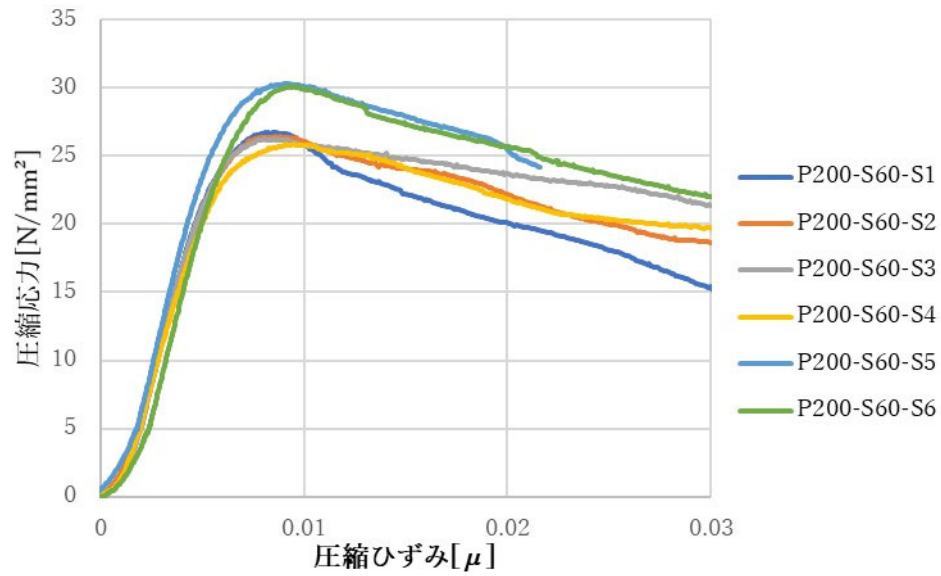


図 2.1.3-22 部分圧縮試験体 P200-S60 圧縮応力-圧縮ひずみ関係

表 2.1.3-6 部分圧縮試験体 P200-S60 特性値

P200-S60	圧縮応力	全体ひずみ	全体ヤング係数
	[N/mm ²]	[10 ⁻⁹]	[N/mm ²]
S1	26.74	8.115	5089
S2	26.45	8.805	4871
S3	26.26	8.500	5499
S4	25.92	9.505	5149
S5	30.28	9.010	5205
S6	30.13	9.355	5151
平均値	27.63	8.882	5161
標準偏差	1.838	0.478	185.3
変動係数	0.067	0.054	0.036
kの値	2.336		0.383
ばらつき係数	0.845		0.986
下限値	23.34		5090

(6)部分圧縮試験体 P200-S90

部分圧縮試験体 P200-S90 の様子として破壊性状のみ図 2.1.3-23 に示す。



P200-S90-S1

P200-S90-S2



P200-S90-S3

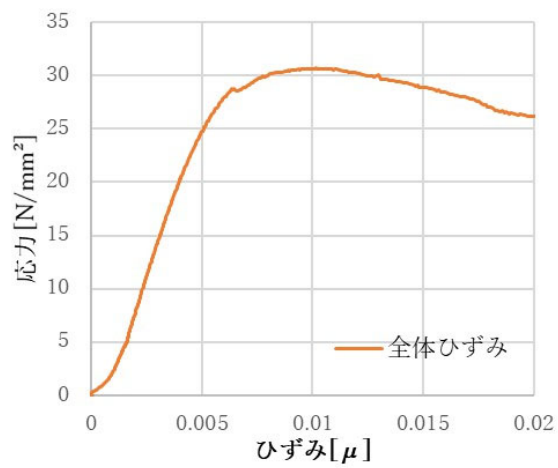
P200-S90-S4



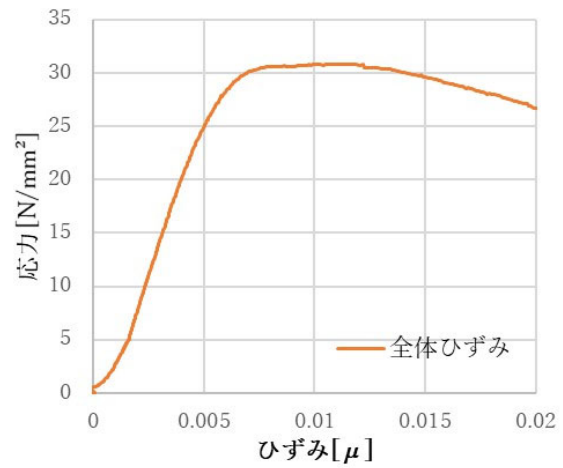
P200-S90-S5

P200-S90-S6

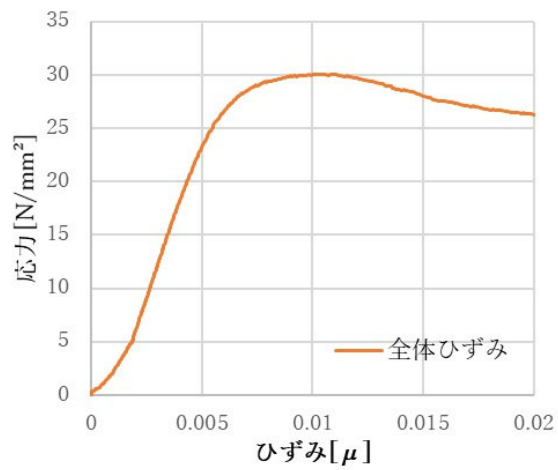
図 2.1.3-23 部分圧縮試験体 P200-S90 破壊性状



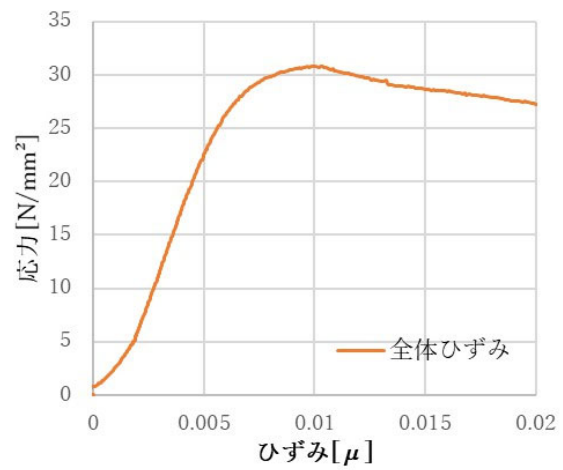
P200-S90-S1



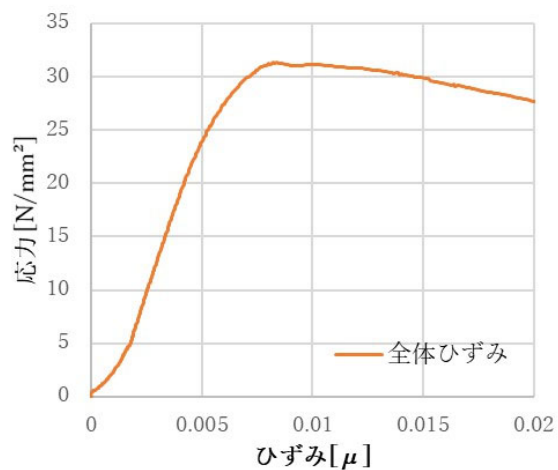
P200-S90-S2



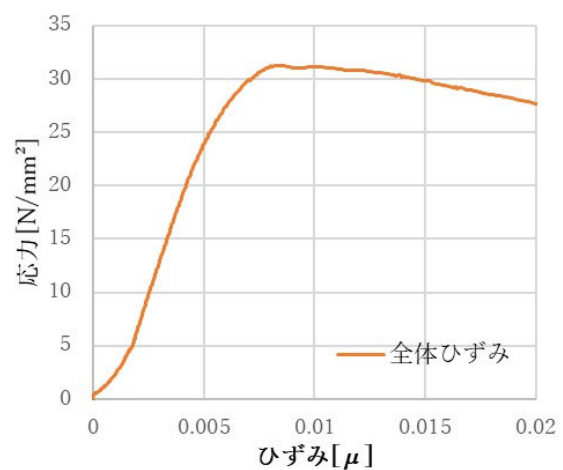
P200-S90-S3



P200-S90-S4



P200-S90-S5



P200-S90-S6

図 2.1.3-24 部分圧縮試験体 P200-S90 応力-ひずみ関係

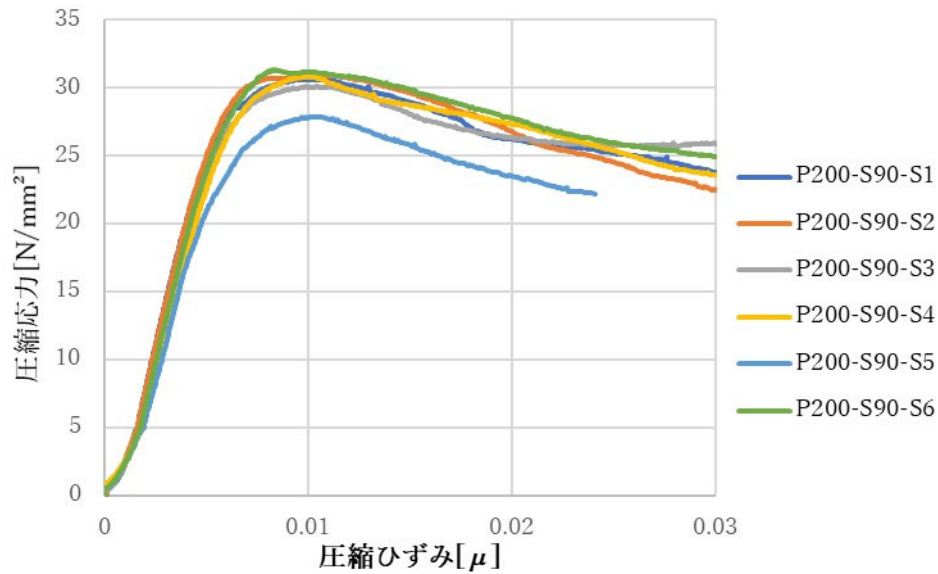


図 2.1.3-25 部分圧縮試験体 P200-S90 圧縮応力-圧縮ひずみ関係

表 2.1.3-7 部分圧縮試験体 P200-S90 特性値

P200-S90	圧縮応力	全体ひずみ	全体ヤング係数
	[N/mm ²]	[10 ⁻⁹]	[N/mm ²]
S1	30.66	0.010	6180
S2	30.81	0.011	5790
S3	30.08	0.011	5205
S4	30.81	0.010	4828
S5	27.86	0.010	4529
S6	31.29	0.008	5556
平均値	30.25	0.010	5348
標準偏差	1.129	0.001	561.6
変動係数	0.037	0.094	0.105
kの値	2.336		0.383
ばらつき係数	0.913		0.960
下限値	27.61		5133

(7)まとめ

全面圧縮試験体の真の圧縮変位（標点間の圧縮変位）より得られたヤング係数の平均値は F200-S60 が 5600.641 N/mm²、F200-S90 が 7034.122 N/mm²、F360-S60 が 6422.798N/mm²、F360-S90 が 8174.482N/mm²であった。部分圧縮試験体の全体の圧縮変位より得られたヤング係数の平均値は P200-S60 が 5160.728 N/mm²、P200-S90 が 5347.999 N/mm²であった。また、せん断試験に供した試験済みの試験体より、圧縮試験体を切り出したため、同じせん断試験体から切り出したものは結果が近いものになるなどの影響は少なからずあった。

2.2 モルタル圧縮試験

2.2.1 試験概要

鉄骨フレームと CLT パネルの接合部のうち、脚部鉄骨梁側との接合部では、梁天端から CLT 小口面まで無収縮モルタルを充填している。その無収縮モルタルについて圧縮試験を実施した。なお、本試験については、一般財団法人ベターリビングに委託し、実施された。

モルタル圧縮試験体は下記の通りである。1/2 スケール構面実験試験体のモルタル打設時に、1/2 スケール構面実験の試験体ごとにモルタル圧縮試験体を 3 体ずつ採取し、各構面試験の当日に圧縮試験も併せて実施した。

表 2.2.1-1 モルタル圧縮試験体一覧

1/2 スケール構面実験 試験体名（第 3 章-p1 参照）	試験体数	打設（圧縮試験体製作）日時	寸法	材料
S60-DP-C1	3	2018/10/3	φ 50mm 高さ 100mm	デンカ プレタ スコン TYPE-1
S90-DP-C1	3	2018/10/3		
S60-DP-E1	3	2018/10/9		

2.2.2 試験方法

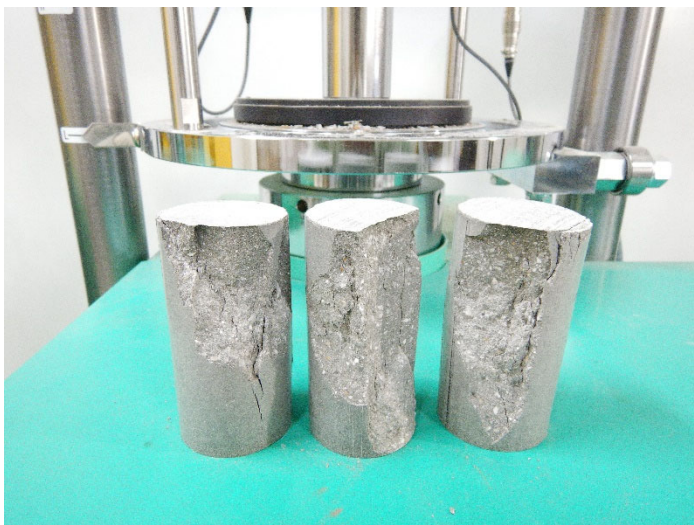
JIS A 1108 : 2018 コンクリートの圧縮強度試験方法に準拠した。

2.2.3 試験結果

モルタルの圧縮強度試験結果一覧を表 2.2.3-1 に示す。供試体を写真 2.2.3-1～3 に示す。

表 2.2.3-1 モルタルの圧縮強度試験結果一覧

1/2スケール 構面実験 試験体名	番号	質量	直径	高さ	断面積	荷重	試験時 強度	試験日
		(g)	(mm)	(mm)	(mm ²)	(kN)	(N/mm ²)	
S60-DP-C1	1	412	49.9	99.1	1956	90.5	46.3	2018/10/15
	2	414	49.9	99.0	1956	83.1	42.5	
	3	417	50.0	99.6	1963	110.0	56.0	
	AVE.	-	-	-	-	-	48.3	
S90-DP-C1	1	419	49.8	99.6	1948	107.0	54.9	2018/10/17
	2	416	49.8	99.4	1948	77.1	39.6	
	3	420	49.8	100.1	1948	82.6	42.4	
	AVE.	-	-	-	-	-	45.6	
S60-DP-E1	1	417	49.9	99.7	1956	95.0	48.6	2018/10/19
	2	415	49.9	99.0	1956	82.3	42.1	
	3	417	49.9	99.1	1956	111.0	56.8	
	AVE.	-	-	-	-	-	49.1	

試験前 1	
試験前 2	
試験後	
写真 2.2.3-1 S60-DP-C1 試験体	

試験前 1



試験前 2



試験後



写真 2.2.3-2 S90-DP-C1 試験体

試験前 1	
試験前 2	
試験後	
写真 2.2.3-3 S60-DP-E1 試験体	

2.3 フレーム用鋼材引張試験

2.3.1 試験概要

1/2 スケール構面実験で使用された鋼材について引張試験を実施した。降伏点、引張強さ、伸びについて確認することを目的とする。なお、本試験については、一般財団法人ベターリビングに委託し、実施された。

試験片は、1/2 スケール構面実験（図 2.3.1-1）で使用した鋼材と同一ロットの鋼材より採取しており、柱材に RH-300×300×10×15（SN490B）、梁材に RH-294×200×8×12（SN400B）が用いられている。試験片一覧を表 2.3.1-1 に示す。試験片を写真 2.3.1-1 に示す。

試験片は、JIS Z2241:2011（金属材料引張試験方法）に示される 1A 号試験片である。試験片形状および試験片採取を図 2.3.1-1 に示す。

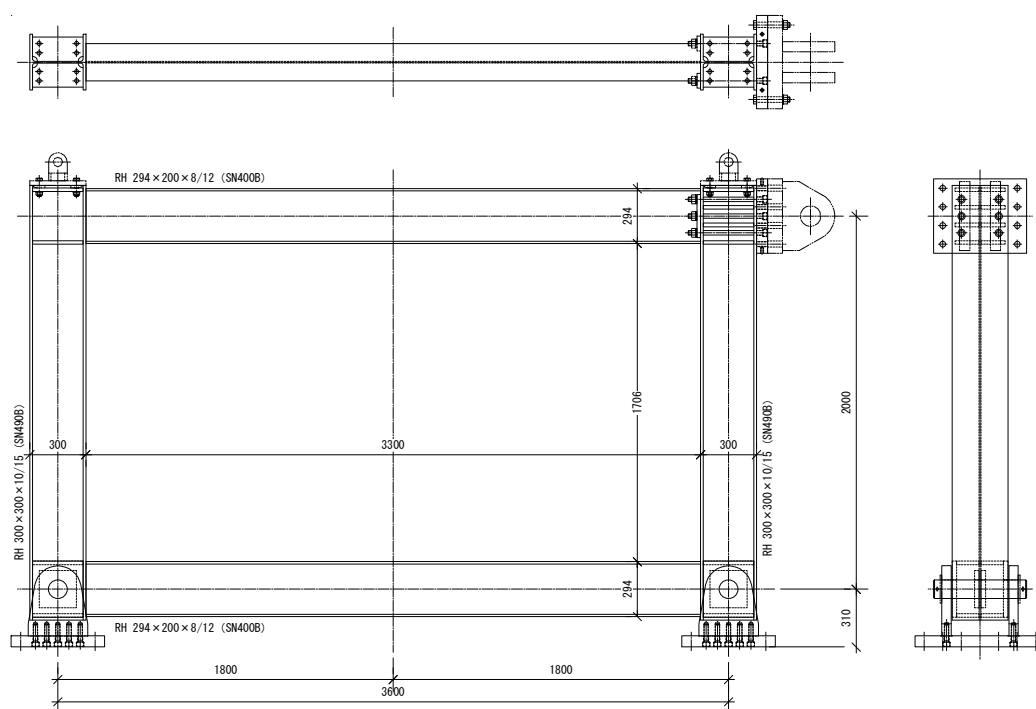


図 2.3.1-1 1/2 スケール構面実験 試験体一例 F-00

表 2.3.1-1 試験片一覧

試験片No.	部材	断面	鋼種	採取位置	試験片	数量
A-1～3	梁	RH-294×200×8×12	SN400B	ウェブ	1A号	3
A-4～6				フランジ		3
B-1～3	柱	RH-300×300×10×15	SN490B	ウェブ		3
B-4～6				フランジ		3

* 試験片：JIS Z 2241：2011(金属材料引張試験方法)による。



写真 2.3.1-1 試験片

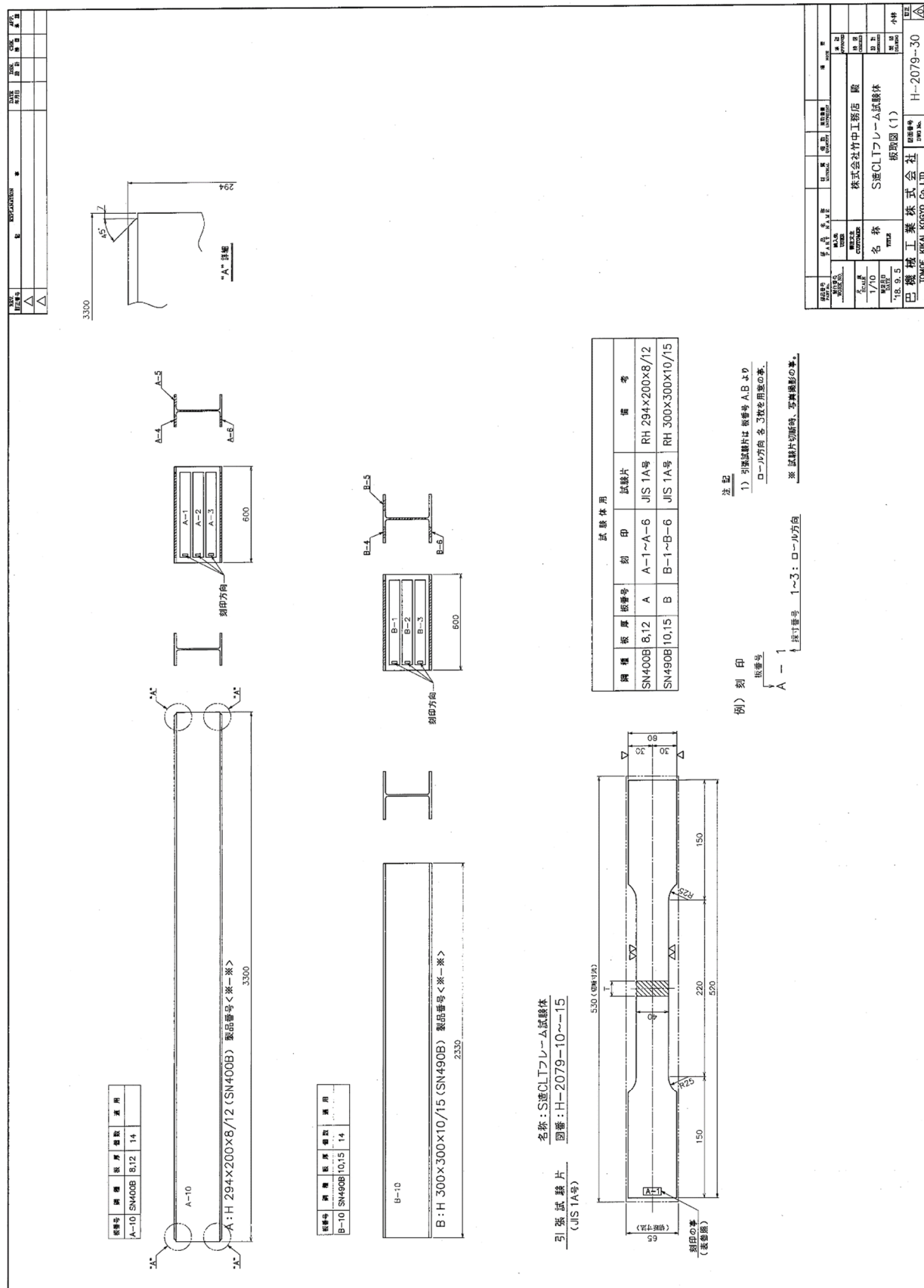


図 2.3.1-1 試験片形状および試験片採取位置

2.3.2 試験方法

試験は、JIS Z 2241:2011（金属材料引張試験方法）に準拠して実施した。試験機は、1000kN アムスラー型万能試験機を用いて実施した。計測項目は、荷重（応力）、ひずみ、耐力、引張強さおよび破断伸びとした。荷重は、試験機の荷重計、ひずみはひずみゲージ（東京測器研究所製：YFLA-2-3LT）を用いて計測した。ひずみゲージは試験片中央の裏表に各 1 枚（計 2 枚）添付した。試験状況を写真 2.3.2-1 に示す。

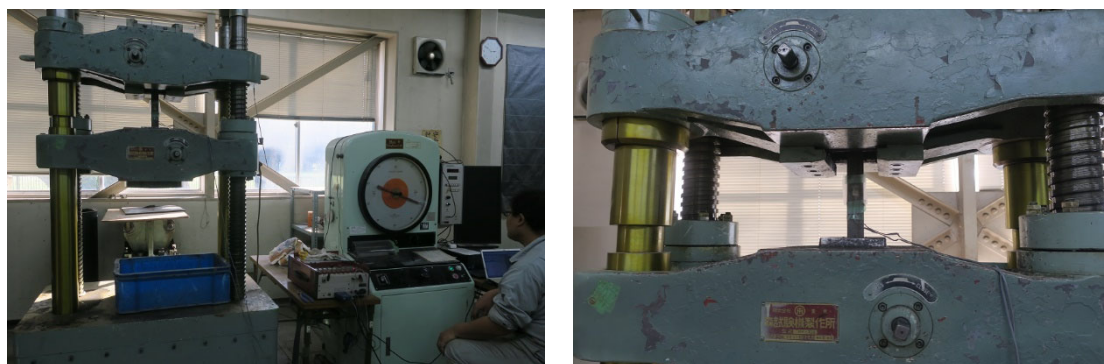


写真 2.3.2-1 試験状況

2.3.3 試験結果

表 2.3.3-1 に試験結果一覧を示す。また、表 2.3.3-2 にミルシートに記載されている値を示す。

図 2.3.3-1 では応力—ひずみ関係を、写真 2.3.3-1 では試験後の試験体を示す。図 2.3.3-1(b) より、A-4 および A-6 試験片において、理由は不明であるが、応力 200N/mm² 程度から直線性を僅かに失っていた。

表 2.3.3-1 試験結果一覧

試験片名	採取位置	断面積	上降伏点	下降伏点	引張強さ	破断伸び	破断位置
		mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	%	
A-1	梁：ウェブ	320.80	331	321	446	23	A
A-2		321.54	349	331	447	26	A
A-3		320.96	351	338	448	24	A
AVE.		-	344	330	447	24	-
A-4	梁：フランジ	487.48	285	279	422	30	A
A-5		500.03	290	284	420	29	A
A-6		490.67	287	284	421	29	A
AVE.		-	287	282	421	30	-
B-1	柱：ウェブ	392.53	364	361	530	25	A
B-2		391.64	395	386	536	26	A
B-3		394.20	369	356	528	26	A
AVE.		-	376	368	531	26	-
B-4	柱：フランジ	614.82	337	329	519	27	A
B-5		613.57	357	338	521	25	A
B-6		618.61	356	338	518	25	A
AVE.		-	350	335	519	26	-

表 2.3.3-2 ミルシートの値

部材	断面	鋼種	降伏点	引張強さ	伸び	降伏比
			N/mm ²	N/mm ²	%	%
梁	RH-294 × 200 × 8 × 12	SN400B	285	425	33	67
			302	428	33	71
柱	RH-300 × 300 × 10 × 15	SN490B	359	529	27	68

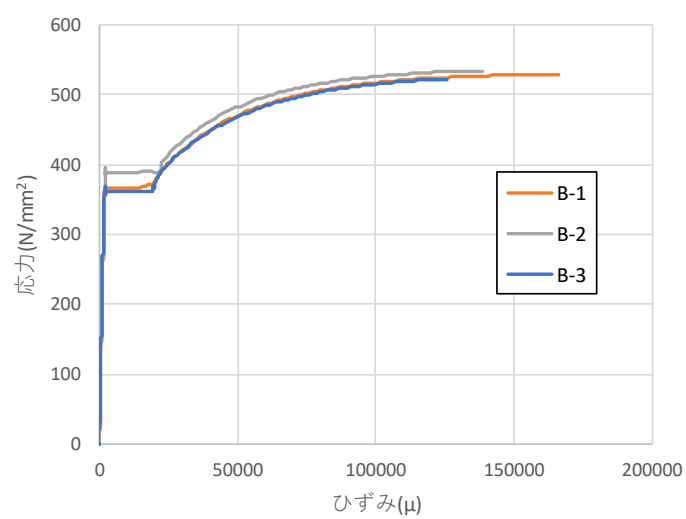
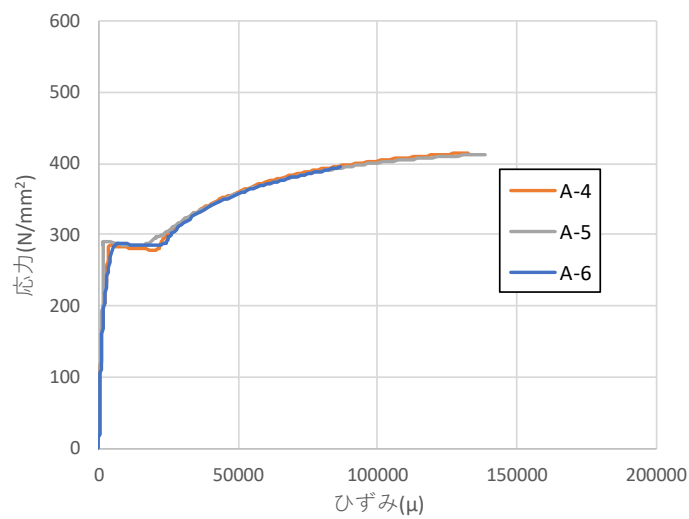
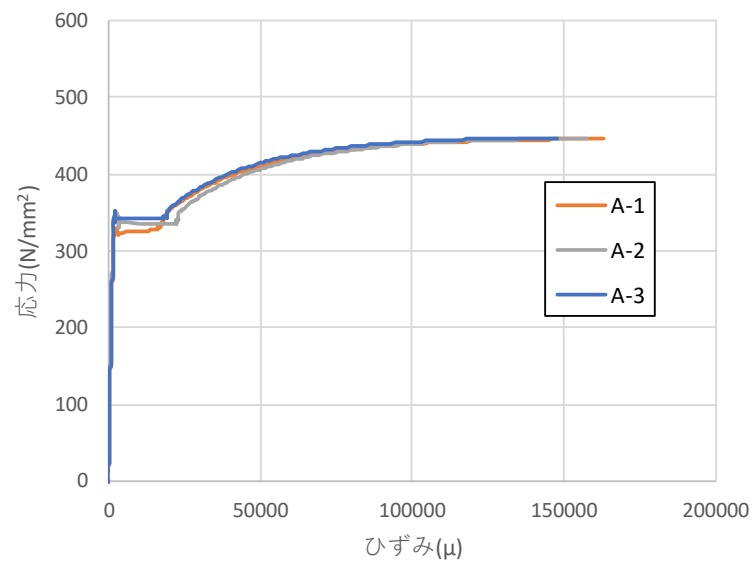


図 2.3.3-1(a) 応力—ひずみ関係

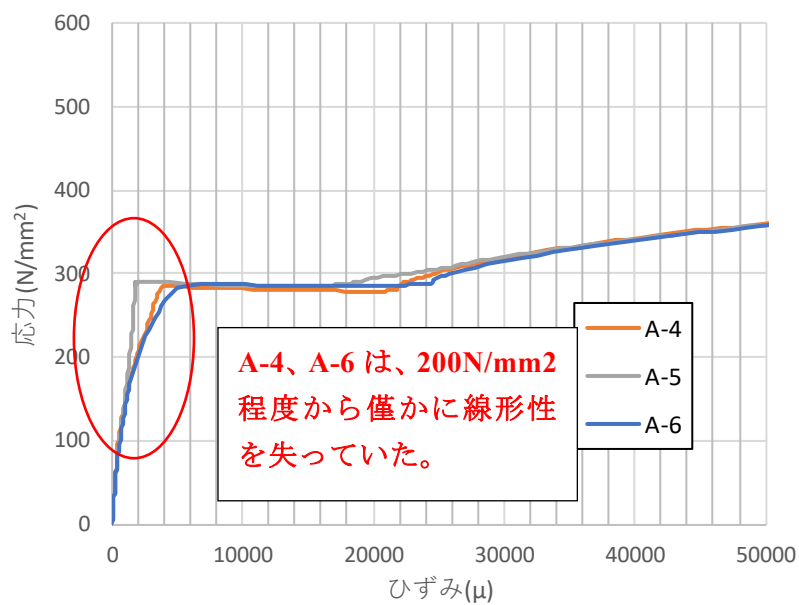
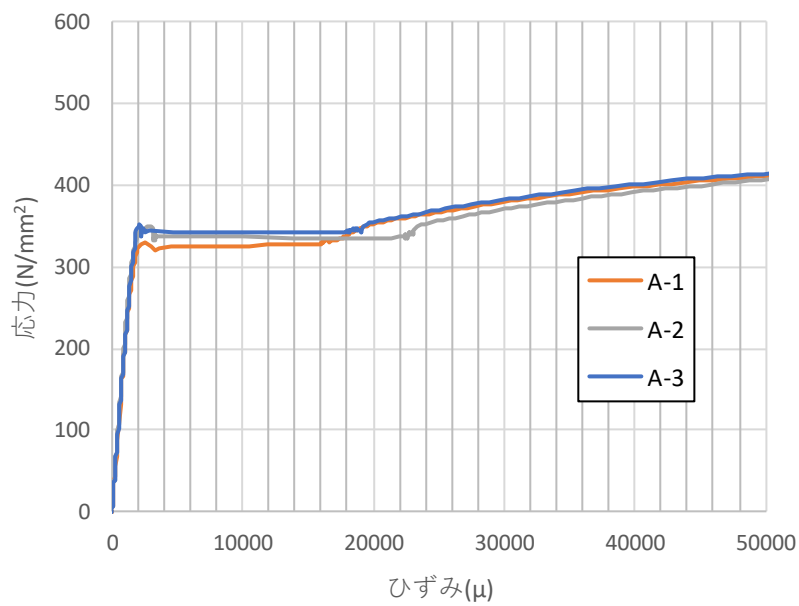
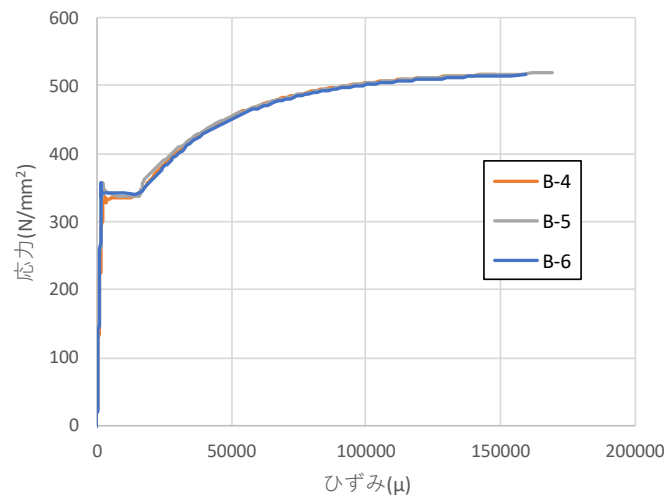


図 2.3.3-1(b) 応力—ひずみ関係

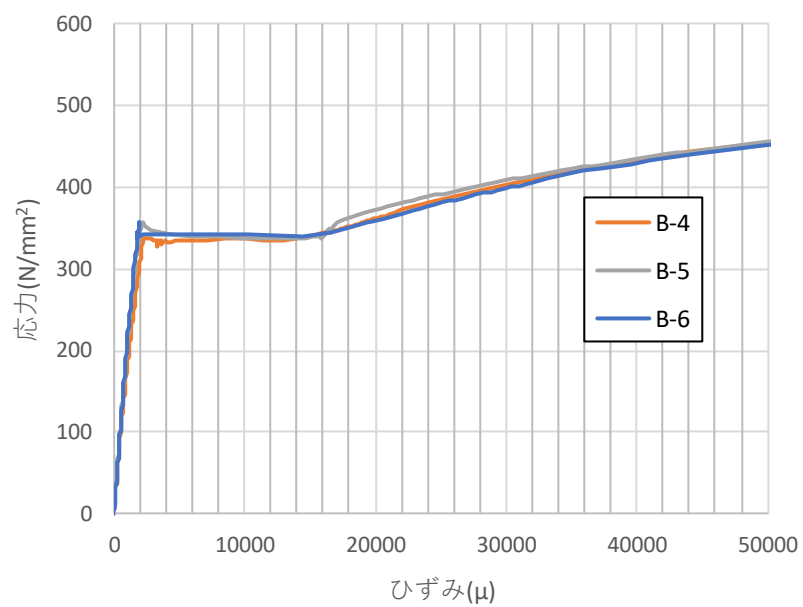
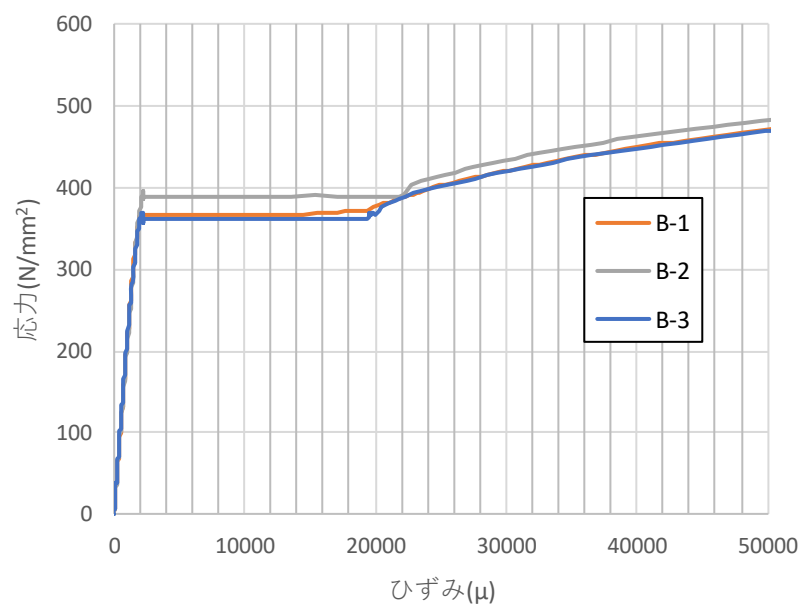


図 2.3.3-1(c) 応力—ひずみ関係



写真 2.3.3-1(a) 試験後写真 A-1～A-3 梁ウェ
ブ



写真 2.3.3-1(b) 試験後写真 A-4～A-6 梁フラ
ンジ



写真 2.3.3-1(c) 試験後写真 B-1～B-3 柱ウェ
ブ



写真 2.3.3-1(d) 試験後写真 B-4～B-6 柱フラ
ンジ

2.4 鋼板挿入ドリフトピン接合部実験

2.4.1 ドリフトピン曲げ試験

(1) 試験概要

この試験は、静岡大学小林研二准教授に依頼、実施した。その結果を掲載する。

径 $\Phi=10\text{mm}$ 、長さ 105mm (テーパ部含む)のドリフトピンについて、次の試験方法で3体曲げ試験を行った。

図 2.4.1-1 に試験方法概要図を示す。試験には、万能試験機（島津製作所製、AG-I オートグラフ、最大荷重 $\pm 50\text{kN}$ ）を使用した。ISO10984-1 のMethod B に基づき、中央集中載荷の3点曲げ形式で試験を行った。支点間距離 l_4 は 60mm とした。これはドリフトピン径の5倍ないし6倍に相当し、ISO10984-1 で規定される l_4 の最小値 $4d$ (d : 接合具径)を満足する。テーパ部を除く余長 l_5 は約 20mm となり、ISO10984-1 で規定される l_5 の最小値 $2d$ をやや下回る。支点及び加力点の直径は 10mm とした。加力速度は $2\text{-}3\text{mm/min}$ とし、加力点の変位が 16mm (変形角約 55°) を超えるまで加力を行った。

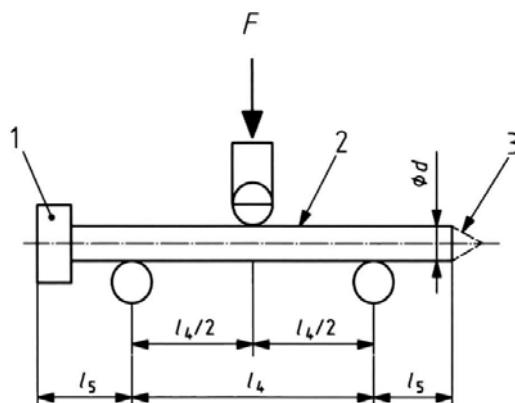


図 2.4.1-1 試験方法（ISO10984-1 より抜粋）

以下の手順により 5%オフセット法による降伏モーメント M_y および最大モーメント $M_{\max}$ を算出した。

- ① 包絡線上の $0.1P_{\max}$ と $0.4P_{\max}$ を結ぶ第 I 直線を引く。
- ② 第 I 直線を接合具公称径の 5%だけ平行移動した第 II 直線を引く。
- ③ 第 II 直線と包絡線との交点の荷重を降伏荷重 F_y とする。
- ④ 包絡線における最大荷重を $F_{\max}$ とする。
- ⑤ 式(1)(2)より降伏モーメント M_y および最大モーメント $M_{\max}$ を求める。
- ⑥ 式(3)より材料強度 F を求める。

$$M_y = \frac{F_y l_4}{4} \quad (1)$$

$$M_{max} = -\frac{F_{max}l_4}{4} \quad (2)$$

$$F = \frac{6}{d^3} M_{max} \quad (3)$$

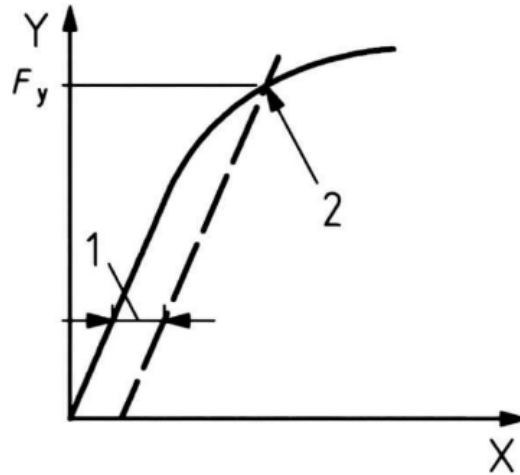


図 2.4.1-2 降伏耐力の算出方法 (ISO10984-1 より抜粋)

(2) 試験結果

試験より得られた特性値一覧を表 2.4.1-1 に示す。個別の試験結果については図 2.4.1-3 から図 2.4.1-5 に示す。最大曲げモーメント M_{max} から求めた材料強度 F の値は、 817N/mm^2 となった。いずれも値のばらつきは小さかった。また、加力終了時点で加力点および支点による圧縮変形が見られたものの、亀裂等は確認できなかった。

表 2.4.1-1 特性値一覧

K10	K10-1	K10-2	K10-3	平均値	標準偏差
F_y (kN)	7.31	7.30	7.32	7.31	0.01
F_{max} (kN)	8.99	8.98	9.04	9.00	0.03
M_y (Nm)	110	109	110	110	0.19
M_{max} (Nm)	135	135	136	135	0.48
F (N/mm^2)	816	813	821	817	3.87

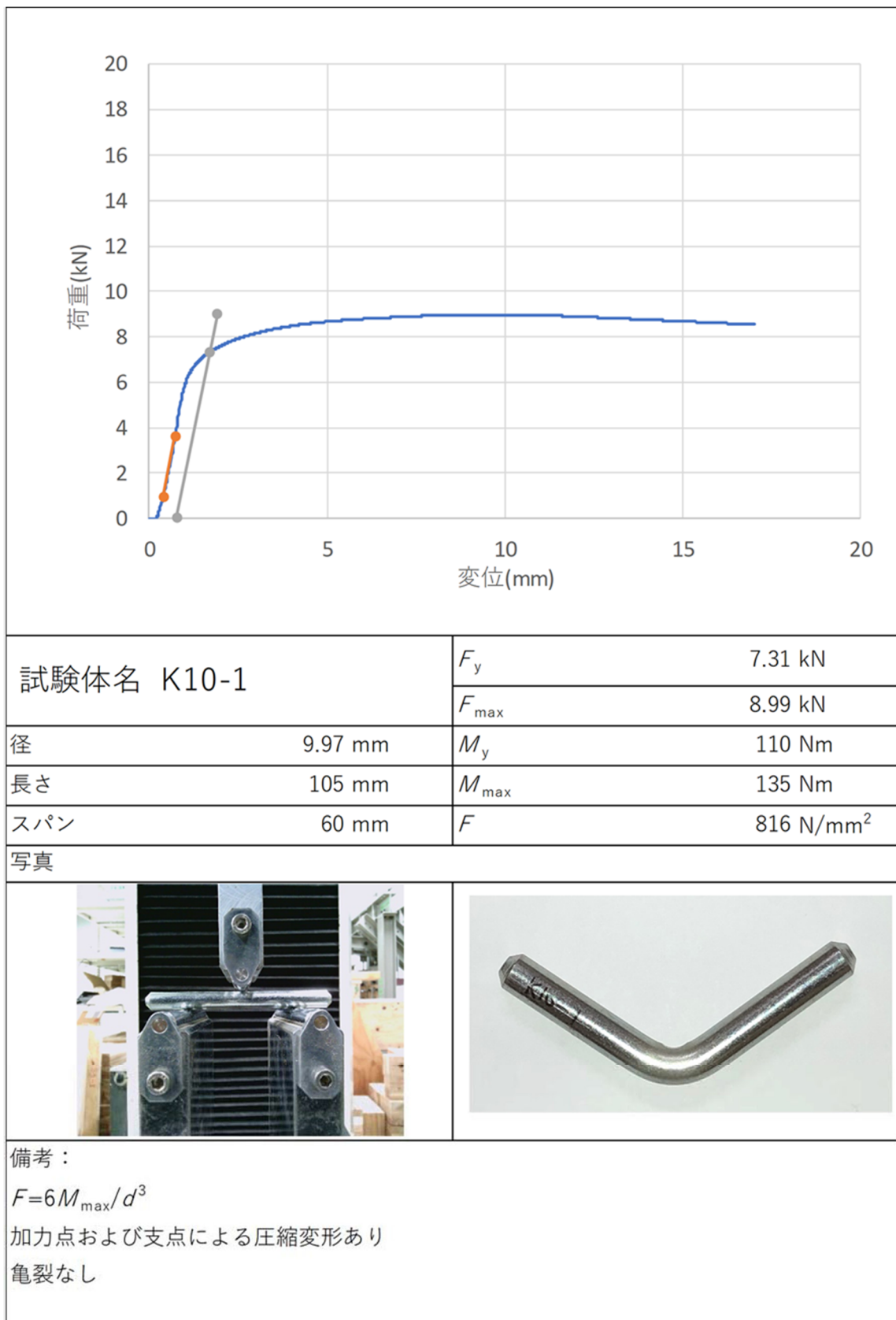


図 2.4.1-3 K10-1 試験結果

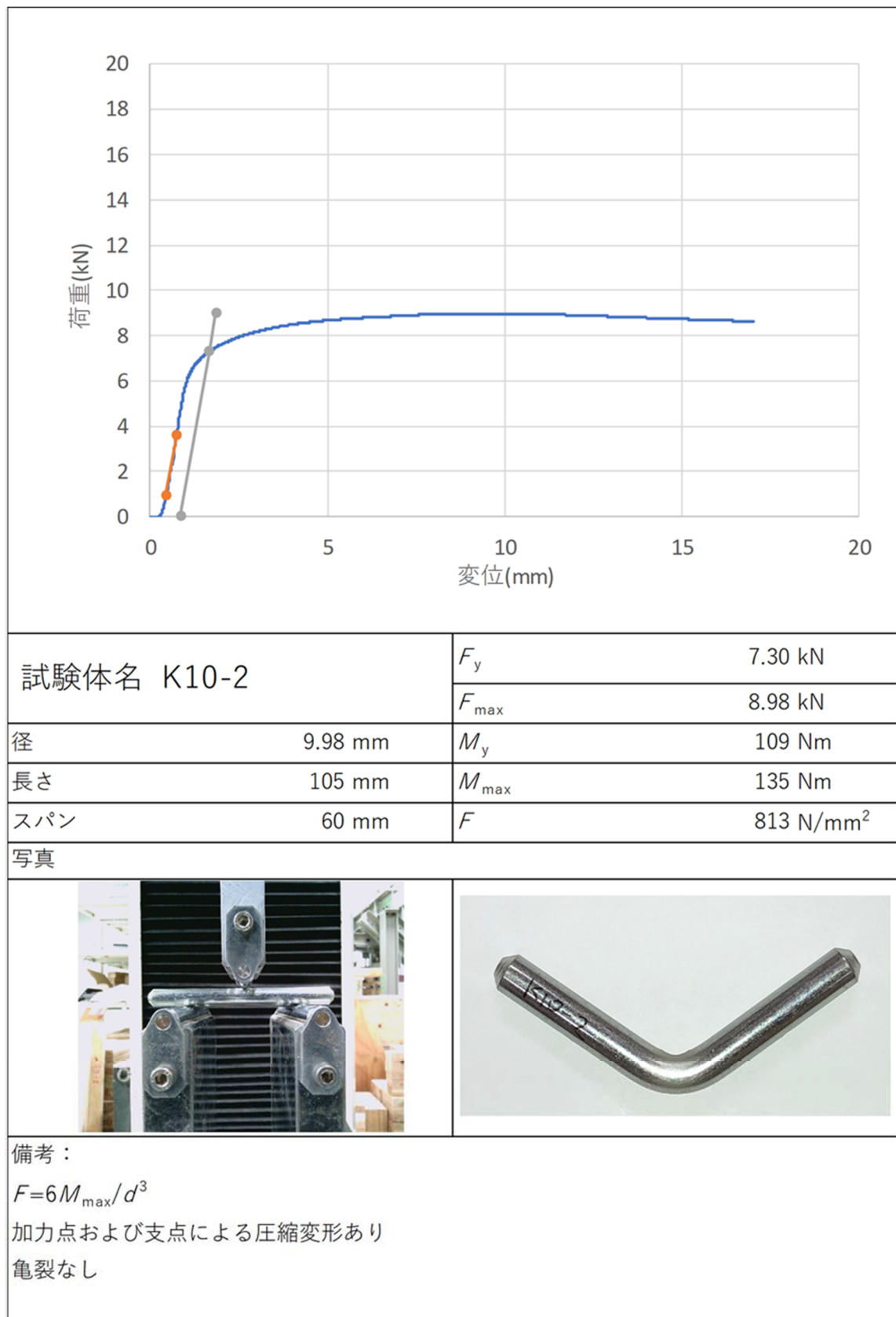


図 2.4.1-4 K10-1 試験結果

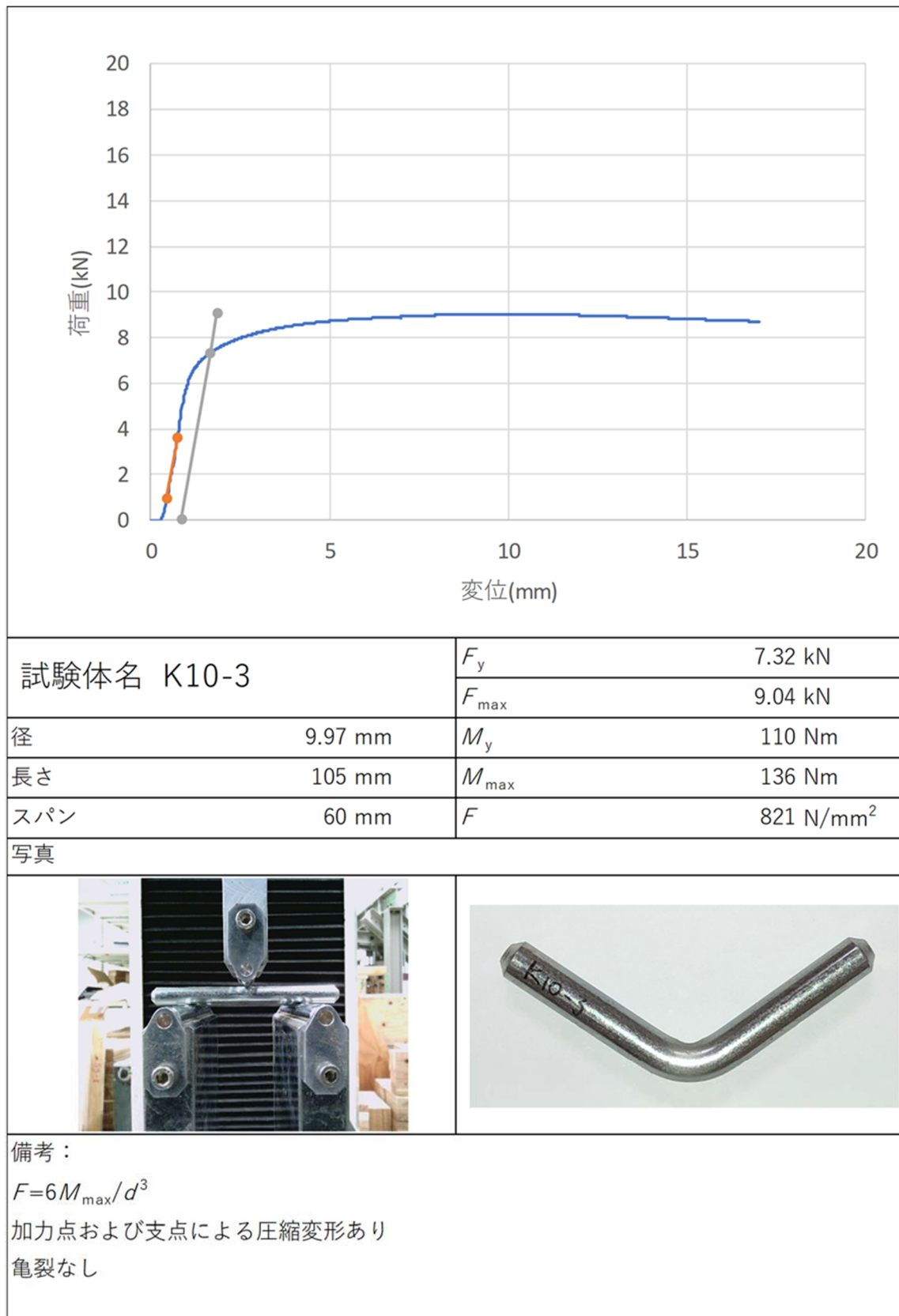


図 2.4.1-5 K10-3 試験結果

2.4.2 ドリフトピン引張試験

(1) 試験概要

径 $\Phi=10\text{mm}$ 、長さ 105mm (テーパ部含む)のドリフトピンについて、次の試験方法で3体引張試験を行った。なお、試験は竹中工務店技術研究所にて実施した。

試験片は、JIS Z2241:2011(金属材料引張試験方法)に示される14A号試験片とし、平行部の径 $\phi=6\text{mm}$ とし、原標点距離を 30mm として加工したもので試験を実施した。

試験方法は、JIS Z 2241:2011(金属材料引張試験方法)に準拠して実施した。

(2) 試験結果

上記試験による結果は表 2.4.2-1 の通りである。また、試験時の応力ひずみ曲線を図 2.4.2-1 に示す。

表 2.4.2-1 試験結果一覧(平行部の径 $\phi=6\text{mm}$)

試験片 No.	降伏応力 N/mm^2	ヤング係数 $\times 10^5 \text{N/mm}^2$	引張強さ N/mm^2	最大の力 kN	断面積 mm^2	破断伸び $\%$	原標点 距離 mm	最終標点 距離 mm
1	586.103	2.070	634.964	18.314	28.843	12.322	30.27	34.00
2	578.206	2.077	633.369	18.268	28.843	14.556	30.16	34.55
3	582.959	2.096	630.248	18.178	28.843	12.791	30.96	34.92
全平均	582.423	2.081	632.860	18.253	28.843	13.223	—	—

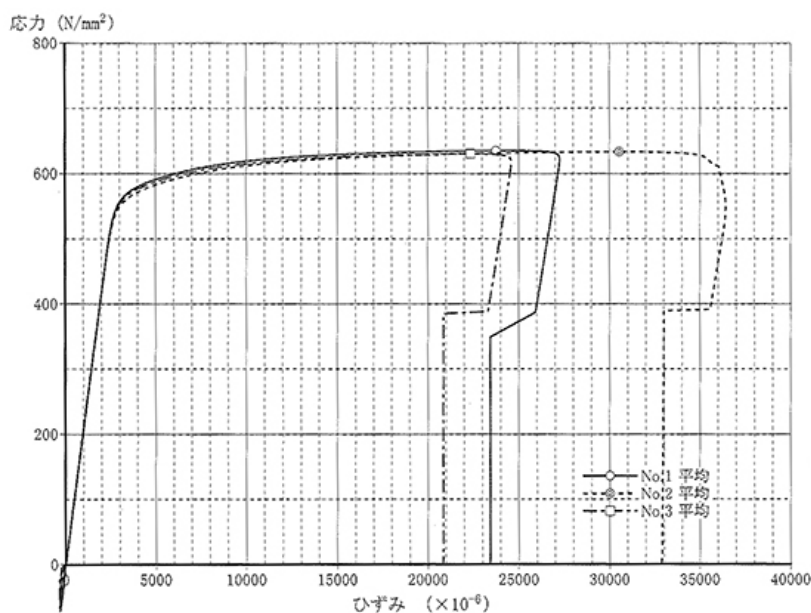


図 2.4.2-1 応力ひずみ曲線

2.4.3 ドリフトピン単位接合部実験

2.4.3.1 実験概要と特性値算出方法

(1) 実験概要

試験体図面、計測図面を図 2.4.3-1 に示す。使用した CLT は幅 140mm、高さ 600mm、厚さ 105mm で鋼板挿入のため 7mm のスリットがあらかじめ施されている。鋼板厚さは 6mm である。ドリフトピンは $\Phi=10\text{mm}$ で長さ 105mm である。縁距離、端距離とも $7d(=70\text{mm})$ とした。CLT の強度等級は S60、S90 の 2 種類とし、加力方向が CLT に対して強軸方向、弱軸方向、斜め方向となるよう CLT を切り出し、それぞれ強軸 8 体、弱軸 7 体、斜め方向 7 体を試験に供した。ここで、斜め方向とは、1/2 スケールの構面実験において、各接合部が負担する水平力と鉛直力の合力方向である。(3)でその計算方法を述べる。載荷方法は単調引張で、Instron100t 試験機を用いて加力した。加力速度は 1.0m/分とした。

表 2.4.3-1 試験体概要

ドリフトピン	CLT		加力方向	試験体数
	仕様	強度等級		
$\phi 10$ 長さ 105mm 1 本	5 層 5 プライ 厚さ 105mm スギ	S60	強軸	8
			弱軸	7
			斜め	7
		S90	強軸	8
			弱軸	7
			斜め	7

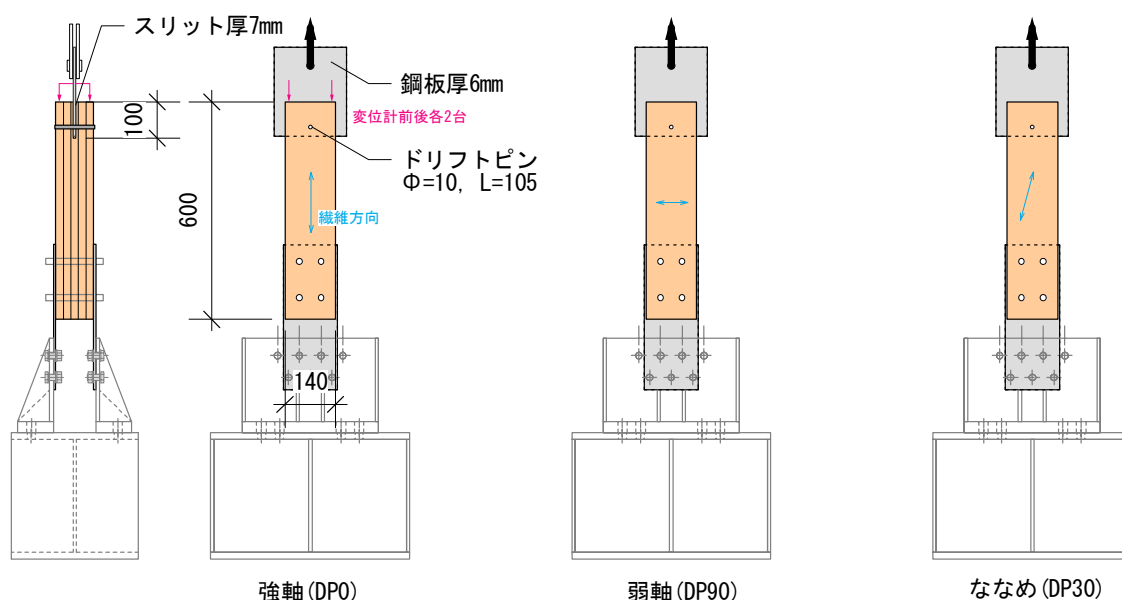


図 2.4.3-1 単位接合部実験試験体図兼計測図

(2) 特性値算出方法

- ・ 荷重 P
アクチュエータに取り付けたロードセルにより計測した値
- ・ 変位 δ
鋼板と CLT の四隅に設置した相対変位計(#1~#4)の平均値
 - ・ その他の特性値は、『CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル』第 10 章 CLT パネル工法における接合部試験・評価方法を参照し、得られた荷重変位関係より完全弾塑性モデルに置換して算出した。

(3) 斜め方向の定義

斜め方向とは、構面実験で使用した CLT の各接合部が負担する水平力と鉛直力の合力方向であるが、その計算方法を以下に示す。図 2.4.3-2 に計算に用いた寸法等を示す。

せん断力は上下の 2 か所ずつの接合部と中央のせん断用ドリフトピンで負担し、それぞれの本数が接合部 32 本、せん断用ドリフトピン 32 本であるので、上下それぞれに係る水平力を 74 とする。その水平力に対して各接合部には、各接合部中心間の高さ(1171mm)/幅(753mm)の鉛直力がかかるため、 $74 \times \frac{1171}{753} = 115$ の鉛直力がかかる。各接合部が負担する水平力は 32、鉛直力は 115 であり、その合力方向は 15.55 度となる。これを斜め方向とする。

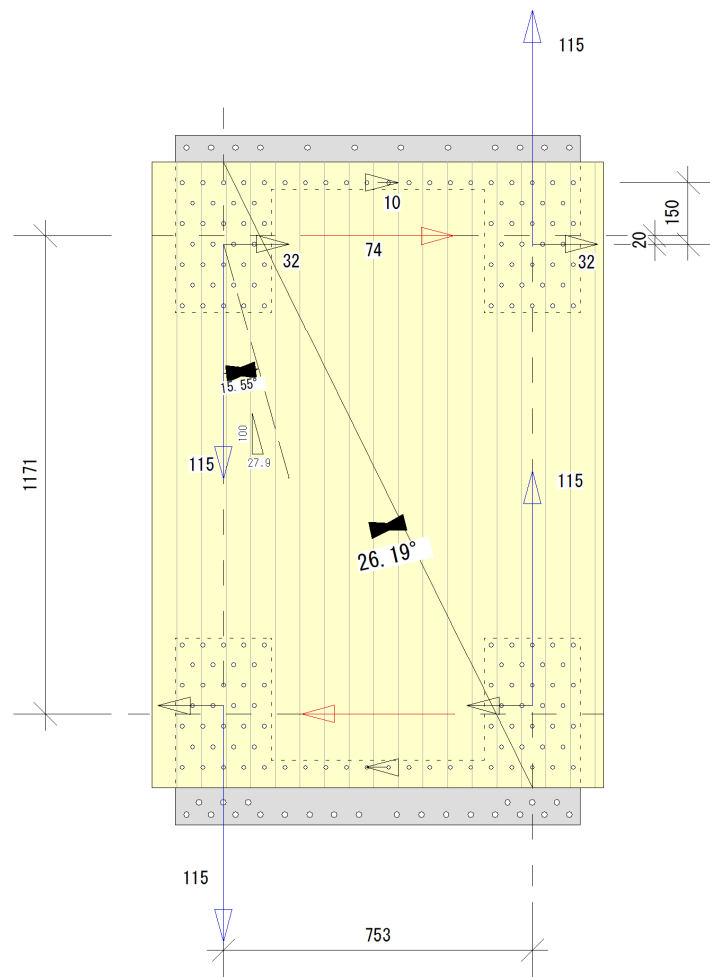


図 2.4.3-2 斜め方向の定義

2.4.3.2 実験結果と考察

(1) 実験結果-S60 強軸

(a)破壊性状

各試験体の破壊性状を図 2.4.3-3 に示す。すべての試験体でスリットから割れが入り、荷重低下に至った。



S60-DP0-1



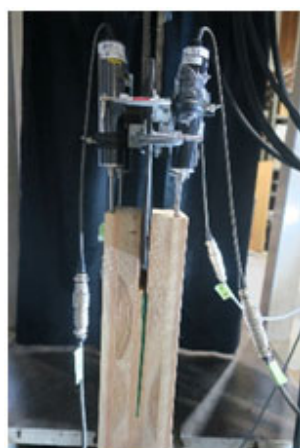
S60-DP0-2



S60-DP0-3



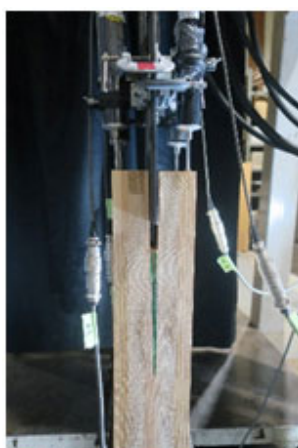
S60-DP0-4



S60-DP0-5



S60-DP0-6



S60-DP0-7



S60-DP0-8

図 2.4.3-3 S60-DP0 破壊性状

(b) 荷重変位関係と特性値

荷重変位関係を図 2.4.3-4 に、得られた特性値を表 2.4.3-2 に示す。

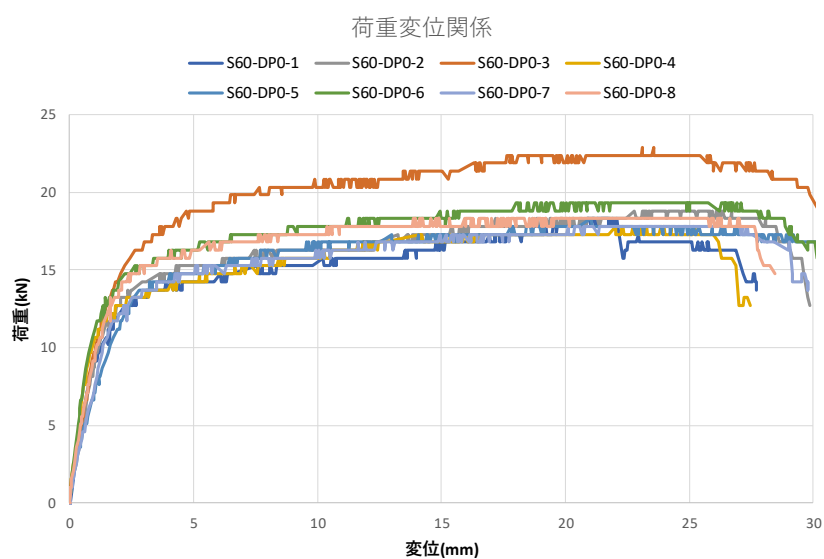


図 2.4.3-4 S60-DP0 荷重変位関係

表 2.4.3-2 S60-DP0 特性値

S60-DP0-	Pmax	δm	δu 時荷重	δu	Py	δy	K	Pu	δv	$\mu = \delta u / \delta v$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN/mm]	[kN]	[mm]	
1	18.31	20.16	14.65	27.61	12.52	2.13	5.876	16.16	2.75	10.04
2	18.82	22.79	15.06	29.57	13.06	2.06	6.336	17.20	2.72	10.89
3	22.89	23.10	18.31	30.80	15.11	2.16	6.994	21.02	3.01	10.25
4	17.80	22.03	14.24	26.88	11.97	1.49	8.047	16.31	2.03	13.26
5	18.31	21.04	14.65	33.21	12.85	2.46	5.233	16.87	3.22	10.30
6	19.33	18.01	15.46	30.20	13.35	1.73	7.712	18.24	2.36	12.77
7	17.80	20.11	14.24	29.79	12.60	2.17	5.798	16.64	2.87	10.38
8	18.31	13.86	14.65	28.44	12.78	1.65	7.734	17.53	2.27	12.54
平均値	18.95	20.14	15.16	29.56	13.03	1.98	6.716	17.50	2.65	11.30
標準偏差	1.56	2.83	1.25	1.86	0.87	0.30	0.986	1.48	0.38	1.24
変動係数	0.082	0.141	0.082	0.063	0.067	0.153	0.147	0.084	0.142	0.109
下限値	15.53		12.42		11.12					

(2) 実験結果-S60 弱軸

(a)破壊性状

各試験体の破壊性状を図 2.4.3-5 に示す。すべての試験体でスリットから割れが入り、荷重低下に至った。



S60-DP90-1



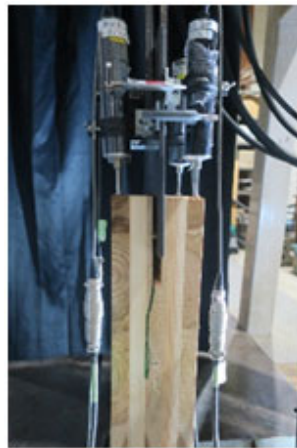
S60-DP90-2



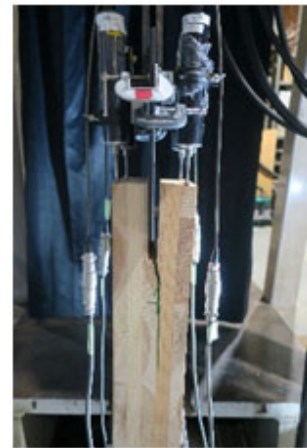
S60-DP90-3



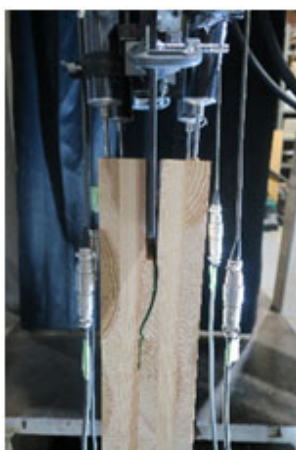
S60-DP90-4



S60-DP90-5



S60-DP90-6



S60-DP90-7

図 2.4.3-5 S60-DP90 破壊性状

(b) 荷重変位関係と特性値

荷重変位関係を図 2.4.3-6 に、得られた特性値を表 2.4.3-3 に示す。

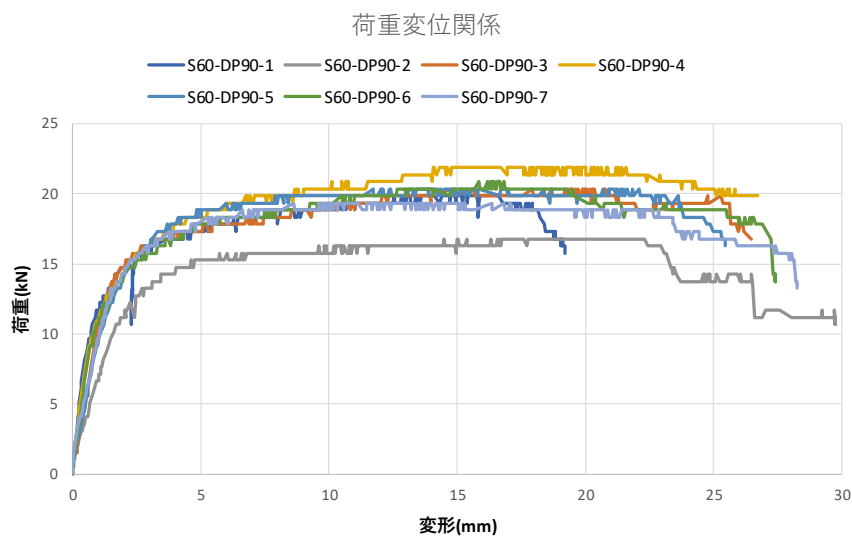


図 2.4.3-6 S60-DP90 荷重変位関係

表 2.4.3-3 S60-DP90 特性値

S60-DP90-	Pmax	δ_m	δ_u 時荷重	δ_u	P _y	δ_y	K	P _u	δ_v	$\mu = \delta_u / \delta_v$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN/mm]	[kN]	[mm]	
1	19.84	12.53	15.87	19.20	12.75	1.35	9.452	18.57	1.96	9.77
2	16.79	14.48	13.43	26.51	11.18	1.87	5.993	15.74	2.63	10.10
3	20.35	14.77	16.28	26.49	14.59	1.83	7.959	19.05	2.39	11.07
4	21.87	14.05	17.50	29.98	13.06	1.49	8.770	20.21	2.31	13.01
5	20.35	11.71	16.28	25.44	12.64	1.60	7.885	19.41	2.46	10.33
6	20.86	15.86	16.68	27.23	13.06	1.58	8.272	19.07	2.30	11.81
7	19.33	8.62	15.46	28.05	13.13	1.48	8.860	18.20	2.05	13.65
平均値	19.91	13.14	15.93	26.13	12.91	1.60	8.170	18.61	2.30	11.39
標準偏差	1.47	2.25	1.18	3.13	0.93	0.18	1.025	1.31	0.21	1.38
変動係数	0.074	0.171	0.074	0.120	0.072	0.109	0.125	0.070	0.092	0.122
下限値	16.59		13.27		10.83			15.66		

(3) 実験結果-S60 斜め方向

(a)破壊性状

各試験体の破壊性状を図 2.4.3-7 に示す。すべての試験体でスリットから割れが入り、荷重低下に至った。



S60-DP30-1



S60-DP30-2



S60-DP30-3



S60-DP30-4



S60-DP30-5



S60-DP30-6



S60-DP30-7

図 2.4.3-7 S60-DP30 破壊性状

(b) 荷重変位関係と特性値

荷重変位関係を図 2.4.3-8 に、得られた特性値を表 2.4.3-4 に示す。

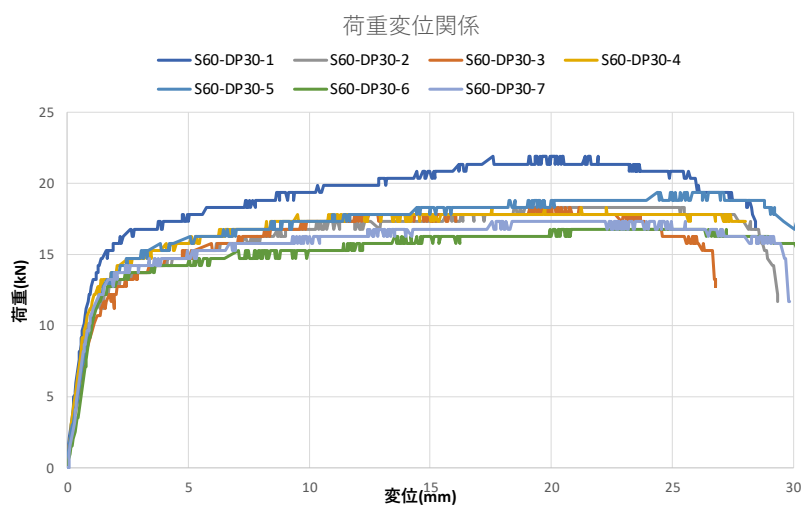


図 2.4.3-8 S60-DP30 荷重変位関係

表 2.4.3-4 S60-DP30 特性値

S60-DP30-	Pmax	δm	δu 時荷重	δu	Py	δy	K	Pu	δv	$\mu = \delta u / \delta v$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN/mm]	[kN]	[mm]	
1	21.87	17.60	17.50	28.34	14.99	1.51	9.955	19.90	2.00	14.17
2	18.31	18.47	14.65	28.96	11.83	1.38	8.602	17.02	1.98	14.63
3	18.31	19.12	14.65	26.65	11.74	1.62	7.245	16.88	2.33	11.43
4	18.31	17.54	14.65	35.69	12.41	1.18	10.489	16.93	1.61	22.11
5	19.33	24.40	15.46	33.16	13.66	1.81	7.554	17.74	2.35	14.12
6	16.79	19.94	13.43	31.26	12.21	1.62	7.549	15.79	2.09	14.95
7	17.29	17.57	13.84	29.68	12.36	1.49	8.276	16.36	1.98	15.01
平均値	18.60	19.23	14.88	30.53	12.74	1.51	8.524	17.23	2.05	15.20
標準偏差	1.53	2.27	1.23	2.86	1.09	0.18	1.165	1.22	0.23	3.04
変動係数	0.082	0.118	0.082	0.094	0.085	0.122	0.137	0.071	0.113	0.200
下限値	15.15		12.12		10.30			14.48		

(4) 実験結果-S90 強軸方向

(a)破壊性状

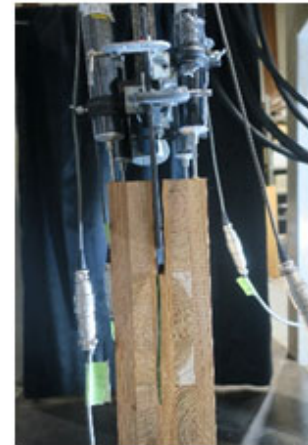
各試験体の破壊性状を図 2.4.3-9 に示す。すべての試験体でスリットから割れが入り、荷重低下に至った。



S90-DP0-1



S90-DP0-2



S90-DP0-3



S90-DP0-4



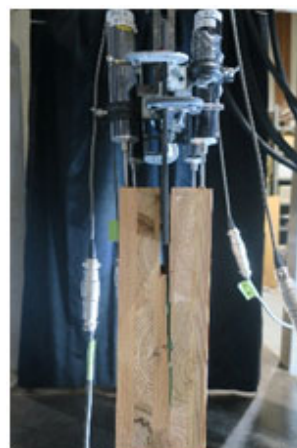
S90-DP0-5



S90-DP0-6



S90-DP0-7



S90-DP0-8

図 2.4.3-9 S90-DP0 破壊性状

(b) 荷重変位関係と特性値

荷重変位関係を図 2.4.3-10 に、得られた特性値を表 2.4.3-5 に示す。

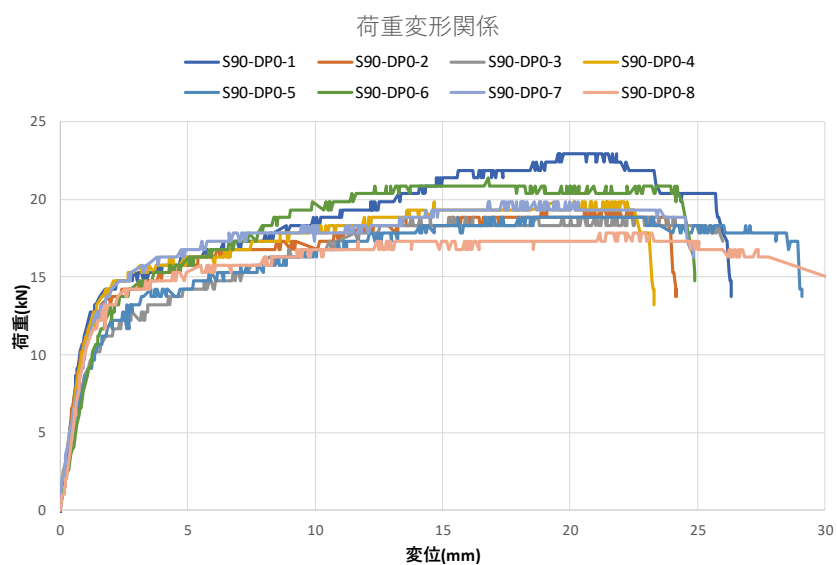


図 2.4.3-10 S90-DP0 荷重変位関係

表 2.4.3-5 S90-DP0 特性値

S90-DP0-	Pmax	δm	δu 時荷重	δu	Py	δy	K	Pu	δv	$\mu = \delta u / \delta v$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN/mm]	[kN]	[mm]	
1	22.89	19.54	18.31	25.84	13.76	1.58	8.719	19.69	2.26	11.44
2	19.33	18.87	15.46	23.96	12.91	1.57	8.221	17.71	2.15	11.12
3	18.82	13.78	15.06	25.98	11.20	2.06	5.444	17.34	3.19	8.15
4	19.84	14.66	15.87	23.08	13.70	1.65	8.319	18.20	2.19	10.55
5	18.82	15.63	15.06	28.95	12.17	2.00	6.081	17.31	2.85	10.17
6	21.36	16.81	17.09	24.40	12.74	1.92	6.646	19.34	2.91	8.38
7	19.84	16.78	15.87	24.84	13.63	1.79	7.608	18.40	2.42	10.27
8	17.80	21.19	14.24	32.44	12.55	1.65	7.622	16.48	2.16	15.00
平均値	19.84	17.16	15.87	26.19	12.83	1.78	7.332	18.06	2.52	10.64
標準偏差	1.50	2.37	1.20	2.88	0.83	0.18	1.087	1.01	0.38	1.99
変動係数	0.076	0.138	0.076	0.110	0.064	0.102	0.148	0.056	0.151	0.187
下限値	16.54		13.24		11.02			15.86		

(5) 実験結果-S90 弱軸方向

(a)破壊性状

各試験体の破壊性状を図 2.4.3-11 に示す。すべての試験体でスリットから割れが入り、荷重低下に至った。



S90-DP90-1



S90-DP90-2



S90-DP90-3



S90-DP90-4



S90-DP90-5



S90-DP90-6



S90-DP90-7

図 2.4.3-11 S90-DP90 破壊性状

(b) 荷重変位関係と特性値

荷重変位関係を図 2.4.3-12 に、得られた特性値を表 2.4.3-6 に示す。

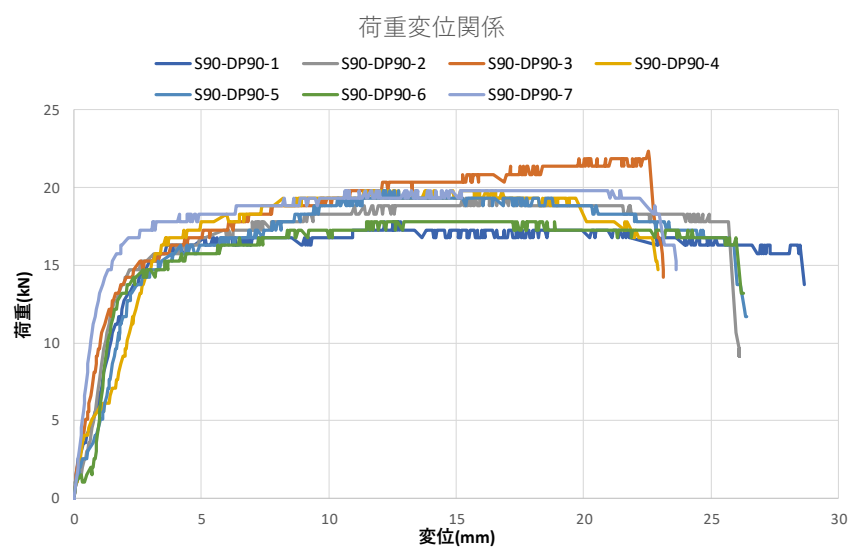


図 2.4.3-12 S90-DP90 荷重変位関係

表 2.4.3-6 S90-DP90 特性値

S90-DP90-	Pmax	δ_m	δ_u 時荷重	δ_u	P _y	δ_y	K	P _u	δ_v	$\mu = \delta_u / \delta_v$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN/mm]	[kN]	[mm]	
1	17.80	12.20	14.24	28.51	13.85	2.53	5.483	16.88	3.08	9.26
2	19.33	15.23	15.46	25.66	14.04	2.01	6.996	18.13	2.59	9.90
3	22.38	22.54	17.90	22.76	14.08	2.01	7.011	19.70	2.81	8.10
4	19.84	11.38	15.87	22.71	20.29	5.54	3.221	19.93	6.19	3.67
5	19.84	12.15	15.87	25.89	14.54	2.98	4.881	18.26	3.74	6.92
6	17.80	11.50	14.24	25.98	13.00	1.82	7.134	16.88	2.37	10.98
7	19.84	10.62	15.87	23.54	13.50	1.07	12.623	18.98	1.50	15.65
平均値	19.55	13.66	15.64	25.01	14.76	2.56	6.764	18.39	3.18	9.21
標準偏差	1.44	3.87	1.15	1.96	2.30	1.33	2.734	1.14	1.38	3.43
変動係数	0.073	0.283	0.073	0.078	0.156	0.520	0.404	0.062	0.434	0.372
下限値	16.32		13.05		9.57			15.83		

(6) 実験結果-S90 斜め方向

(a)破壊性状

各試験体の破壊性状を図 2.4.3-13 に示す。すべての試験体でスリットから割れが入り、荷重低下に至った。



S90-DP30-1



S90-DP30-2



S90-DP30-3



S90-DP30-4



S90-DP30-5



S90-DP30-6



S90-DP30-7

図 2.4.3-13 S90-DP30 破壊性状

(b) 荷重変位関係と特性値

荷重変位関係を図 2.4.3-14 に、得られた特性値を表 2.4.3-7 に示す。

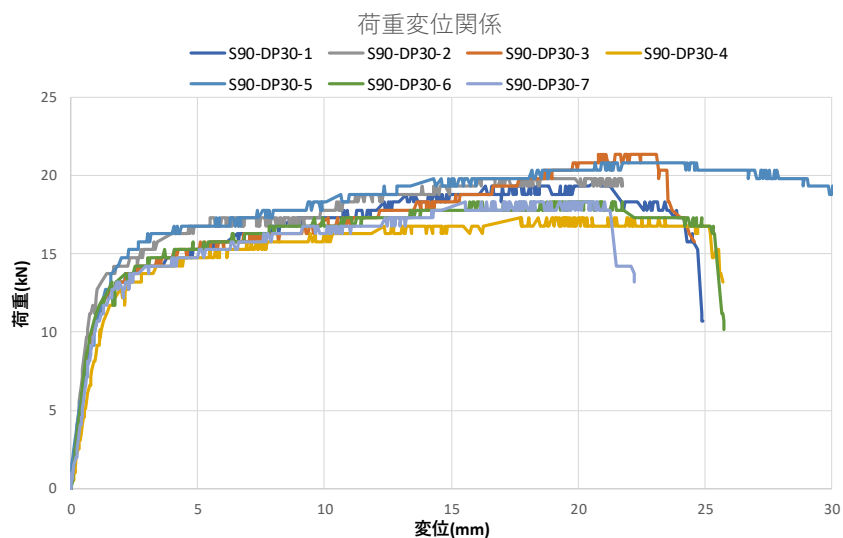


図 2.4.3-14 S90-DP30 荷重変形関係

表 2.4.3-7 S90-DP30 特性値

S90-DP30-	Pmax	δ_m	δ_u 時荷重	δ_u	P_y	δ_y	K	P_u	δ_v	$\mu = \delta_u / \delta_v$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN/mm]	[kN]	[mm]	
1	19.84	20.87	15.87	24.49	12.94	1.73	7.474	17.62	2.36	10.39
2	19.84	16.15	15.87	25.89	13.37	1.26	10.591	18.30	1.73	14.98
3	21.36	20.82	17.09	24.22	13.23	2.13	6.214	18.22	2.93	8.26
4	17.29	17.72	13.84	25.54	12.16	1.72	7.082	16.17	2.28	11.18
5	20.86	20.68	16.68	30.32	14.50	1.91	7.574	19.23	2.54	11.94
6	18.31	15.72	14.65	25.38	12.26	1.35	9.054	16.98	1.88	13.53
7	18.31	15.55	14.65	21.32	12.47	1.61	7.758	16.75	2.16	9.88
平均值	19.40	18.21	15.52	25.31	12.99	1.67	7.964	17.61	2.27	11.45
標準偏差	1.37	2.32	1.10	2.48	0.76	0.28	1.329	0.98	0.37	2.10
変動係数	0.071	0.127	0.071	0.098	0.058	0.167	0.167	0.056	0.165	0.183
下限値	16.32		13.05		11.29			15.41		

(7) 考察

強度等級と加力角度別の P_y , P_{max} , P_u の平均値をまとめたものを表 2.4.3-8 に示す。また、表 2.4.3-8 の結果を荷重変形関係としてグラフにプロットしたものと、設計時に行ったドリフトピン単位接合部の解析結果（加力角度は強軸）を合わせて図 2.4.3-15 に示す。

加力角度別で比較すると、それぞれの加力角度で降伏点に至る 1 次剛性に大きな違いは見られないが、降伏点から最大荷重点に至る 2 次剛性では弱軸方向の試験体が高い傾向にあった。これは、中央の内層がスリットによりほとんど支圧効果がないことと、外層から 2 番目の層に繊維直交方向の層が存在することが寄与しているためと考えられる。

強度等級別で比較すると、降伏点は大きな違いが見られないが、最大荷重は S90 の方が大きい傾向が見られた。

また、解析と実験結果を比較すると、解析では 1 次剛性は一致しているものの、降伏点や最大荷重は半分程度にしか評価していないことが分かった。これは、大きな要因としてドリフトピンの材料強度がかなり高かったことが挙げられる。また、CLT 材料試験の引張試験でも基準強度より高い性能を有していたことから、解析で用いた木材の支圧強度が、実際の CLT では基準支圧強度より高かったことが原因であると考えられる。

表 2.4.3-8 単位接合部試験結果一覧

試験体		Py	Pmax	Pu
S60-DP0	荷重(kN)	13.03	18.95	17.5
	変位(mm)	1.98	20.14	29.56
S60-DP30	荷重(kN)	12.74	18.6	17.23
	変位(mm)	1.51	19.23	30.53
S60-DP90	荷重(kN)	12.91	19.91	18.61
	変位(mm)	1.6	13.14	26.13
S90-DP0	荷重(kN)	12.83	19.84	18.06
	変位(mm)	1.78	17.16	26.19
S90-DP30	荷重(kN)	12.99	19.4	17.61
	変位(mm)	1.67	18.21	25.31
S90-DP90	荷重(kN)	14.76	19.55	18.39
	変位(mm)	2.56	13.66	25.01

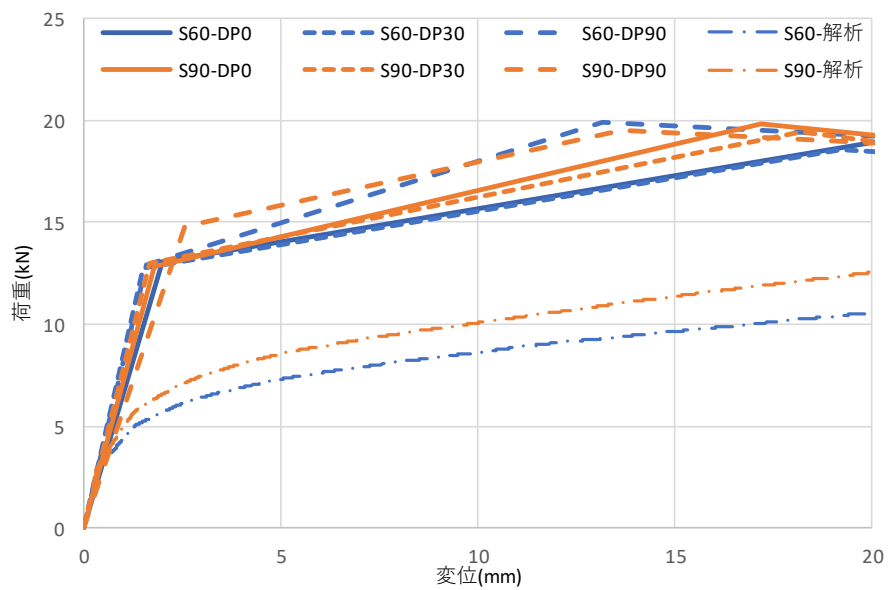


図 2.4.3-15 単位接合部荷重変形関係

2.4.4 ドリフトピン接合部全体実験

2.4.4.1 実験概要と特性値算出方法

(1) 実験概要

試験体図面、計測図面を図 2.4.4-1 に示す。使用した CLT は幅 600mm、高さ 1000mm、厚さ 105mm で鋼板挿入のため 7mm のスリットがあらかじめ施されている。鋼板厚さは 6mm である。ドリフトピンは $\Phi=10\text{mm}$ で長さ 105mm を 32 本使用している。CLT の強度等級は S60、S90 の 2 種類とし、構面実験にて想定される接合部にかかる合力方向に加力し、それぞれ 4 体を試験に供した。それぞれ 1 体目は単調引張载荷とし、2 体目以降はその結果を見て降伏点付近で 1 回繰り返し载荷のち単調引張とした。計測は、前後で加力の中心から 150mm の位置で鋼板と CLT の相対鉛直変位を計測し、試験結果はそれら 4 点の平均を用いた。

表 2.4.4-1 試験体概要

ドリフトピン	CLT		加力方向	試験体数
	仕様	強度等級		
$\phi 10$ 長さ 105mm 32 本	5 層 5 プライ 厚さ 105mm スギ	S60	斜め	4
		S90	斜め	4

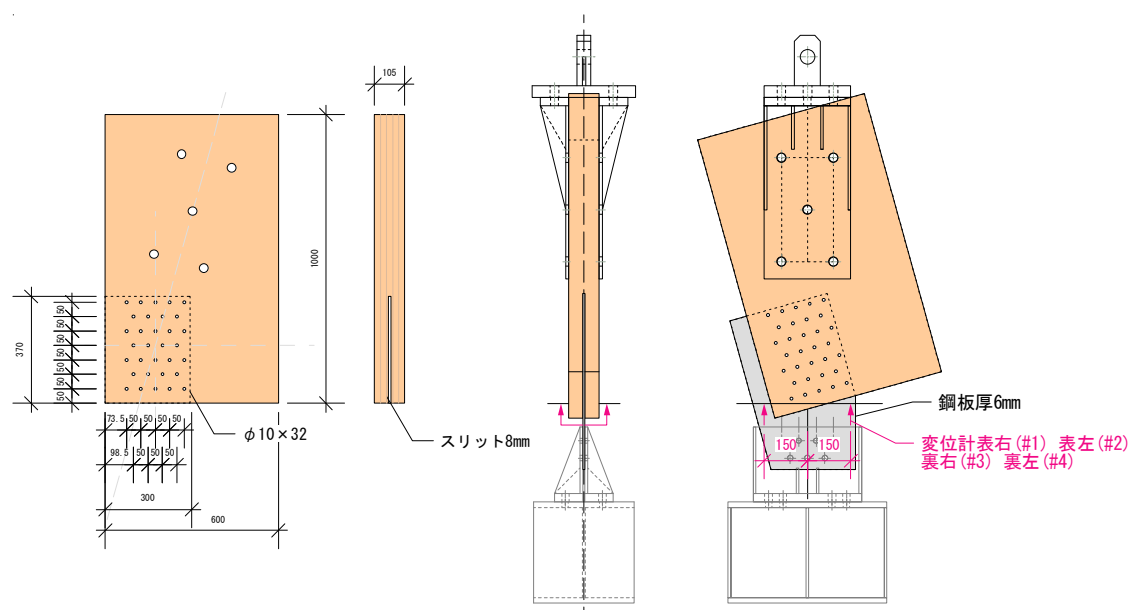


図 2.4.4-1 接合部全体試験体図

(2) 特性値算出方法

- ・ 荷重 P
アクチュエータに取り付けたロードセルにより計測した値
- ・ 変位 δ
鋼板と CLT の四隅に設置した相対変位計(#1~#4)の平均値

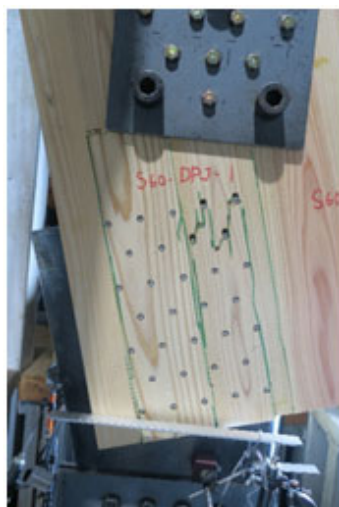
その他の特性値は、『CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル』第 10 章 CLT パネル工法における接合部試験・評価方法を参照し、得られた荷重変位関係より完全弾塑性モデルに置換して算出した。

2.4.4.2 実験結果と考察

(1) 実験結果-S60 試験体

(a)破壊性状

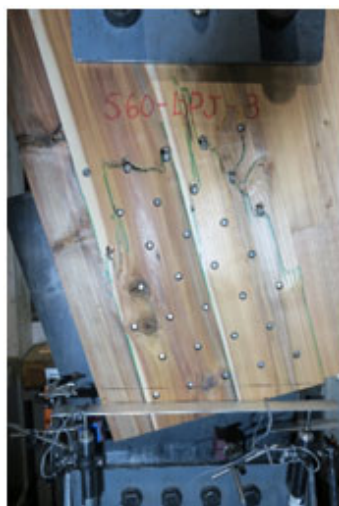
破壊性状を図 2.4.4-2 に示す。ドリフトピンの変形も見られたが、CLT が部分的に破断し荷重低下が見られた。



S60-DPJ-1



S60-DPJ-2



S60-DPJ-3



S60-DPJ-4

図 2.4.4-2 S60 接合部試験体 破壊性状

(b) 荷重変形関係と特性値

荷重変形関係を図 2.4.4-3 に、特性値を表 2.4.4-2 に示す。

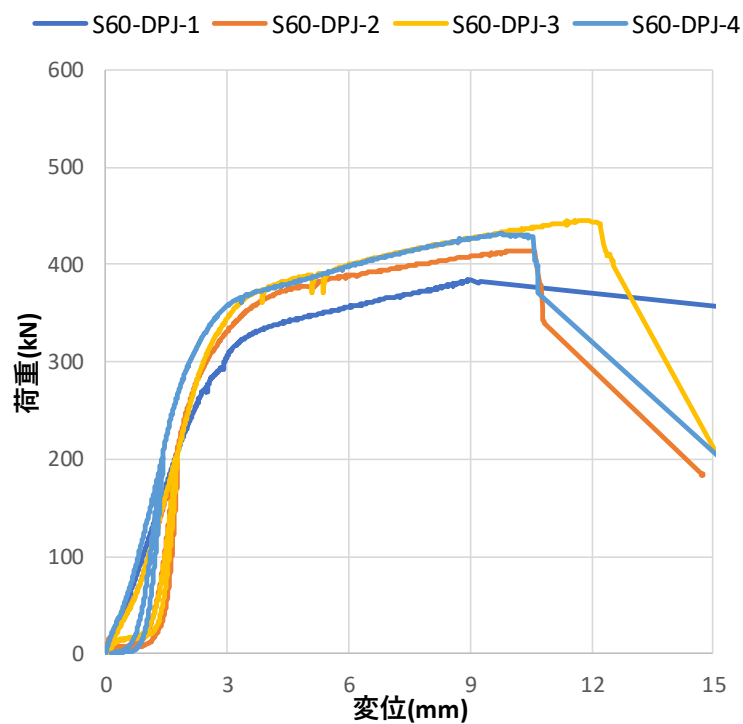


図 2.4.4-3 S60 接合部試験体 荷重変形関係

表 2.4.4-2 S60 接合部試験体 特性値

S60-DPJ-	Pmax	δm	δu 時荷重	δu	Py	δy	K	Pu	δv	$\mu = \delta u / \delta v$
	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN]	[mm]	[kN/mm]	[kN]	[mm]	
1	384.04	9.01	307.23	17.50	273.21	2.51	108.817	361.36	3.32	5.27
2	414.56	10.49	331.65	10.83	320.13	2.80	114.479	389.57	3.40	3.18
3	445.59	11.76	356.47	12.53	335.05	2.85	117.723	410.67	3.49	3.59
4	431.34	9.72	345.07	10.69	317.31	2.28	139.083	401.47	2.89	3.70
平均値	418.88	10.25	335.11	12.89	311.43	2.61	120.026	390.77	3.27	3.94
標準偏差	22.92	1.02	18.34	2.76	23.07	0.23	11.455	18.55	0.23	0.79
変動係数	0.055	0.099	0.055	0.214	0.074	0.087	0.095	0.047	0.071	0.202
下限値	357.43		285.95		249.58			341.02		

(2) 実験結果-S90 試験体

(a)破壊性状

破壊性状を図 2.4.4-4 に示す。ドリフトピンの変形も見られたが、CLT が部分的に破断し荷重低下が見られた。



S90-DPJ-1



S90-DPJ-2



S90-DPJ-3



S90-DPJ-4

図 2.4.4-4 S90 接合部試験体 破壊性状

(b) 荷重変形関係と特性値

荷重変形関係を図 2.4.4-5 に、特性値を表 2.4.4-3 に示す。

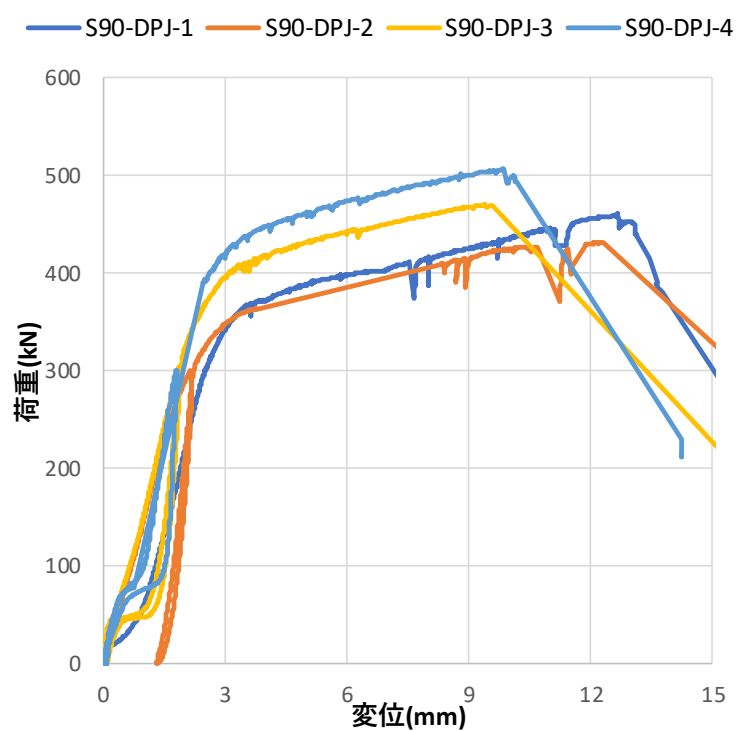


図 2.4.4-5 S90 接合部試験体 荷重変位関係

表 2.4.4-3 S90 接合部試験体 特性値

S90-DPJ-	Pmax [kN]	δm [mm]	δu 時荷重 [kN]	δu [mm]	Py [kN]	δy [mm]	K [kN/mm]	Pu [kN]	δv [mm]	$\mu = \delta u / \delta v$
1	460.85	12.66	368.68	13.76	347.31	3.10	112.213	411.65	3.67	3.75
2	434.40	23.67	347.52	23.79	319.14	2.97	107.514	404.43	3.76	6.32
3	470.51	16.58	376.41	17.02	355.86	2.76	129.122	440.11	3.41	4.99
4	507.13	17.28	405.71	18.02	400.76	3.40	117.719	476.52	4.05	4.45
平均値	468.22	17.55	374.58	18.15	355.77	3.06	116.642	433.18	3.72	4.88
標準偏差	26.07	3.95	20.85	3.62	29.31	0.23	8.060	28.36	0.23	0.94
変動係数	0.056	0.225	0.056	0.199	0.082	0.077	0.069	0.065	0.061	0.193
下限値	398.33		318.67		277.18			357.15		

(b') S90 試験体限定補正後の荷重変形関係と特性値

(b)で示したグラフでは、S90-DPJ-3, S90-DPJ-4 で、一度除荷した際にプレートと CLT の相対変位と実際にかかった荷重の原点がずれていることが分かった。これは、試験開始前に加力部、接合部のどちらかに隙間が生じている状態で加力をスタートしてしまったためと考えられる。よって図 2.4.4-6 のように真の原点と思われる点を原点と補正してその他の試験体と同様に荷重変形関係と特性値を算出した。

荷重変形関係を図 2.4.4-7 に、特性値を表 2.4.4-4 に示す。

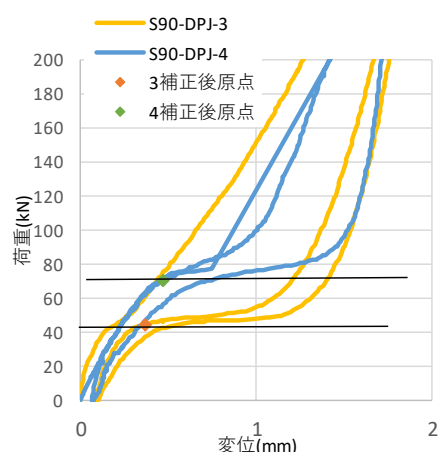


図 2.4.4-6 原点補正補足図

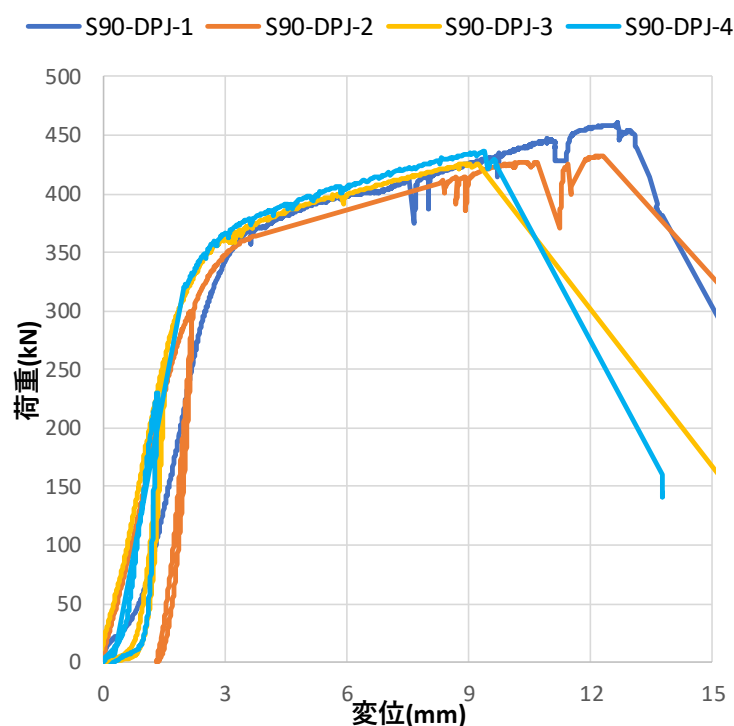


図 2.4.4-7 原点補正後 S90-DPJ 荷重変形関係

表 2.4.4-4 原点補正後 S90-DPJ 特性値

S90-DPJ-	Pmax [kN]	δm [mm]	δu 時荷重 [kN]	δu [mm]	Py [kN]	δy [mm]	K [kN/mm]	Pu [kN]	δv [mm]	$\mu = \delta u / \delta v$
1	460.85	12.66	368.68	13.76	347.31	3.10	112.213	411.65	3.67	3.75
2	434.40	23.67	347.52	23.79	319.14	2.97	107.514	404.43	3.76	6.32
3	436.43	9.36	349.14	9.72	291.98	1.80	161.937	397.74	2.46	3.96
4	425.75	9.03	340.60	9.23	301.46	1.86	161.762	396.90	2.45	3.76
平均値	439.35	13.68	351.48	14.13	314.97	2.43	135.857	402.68	3.08	4.45
標準偏差	13.04	5.94	10.43	5.85	21.06	0.60	26.046	5.95	0.63	1.09
変動係数	0.030	0.434	0.030	0.414	0.067	0.247	0.192	0.015	0.205	0.244
下限値	404.39		323.52		258.50			386.73		

(3) 考察

表 2.4.4-5 に強度等級別(S90 については原点補正後のもの)の P_y , P_{max} , P_u をまとめたものと、単位接合部の試験結果の荷重を本数倍し、さらに設計方法に準じて低減係数 0.9 をかけたものをまとめて示す。図 2.4.4-8 にそれらを荷重変形関係のグラフにプロットしたものを示す。

強度等級の違いについて、降伏点に至る 1 次剛性はほとんど変わらず、降伏荷重は S90の方が約 1.1 倍高い結果となった。接合部全体の試験では、接合部の CLT が部分的に破断する破壊性状であったため、引張強度の差が降伏点の差に寄与していると考えられる。

単位接合部を本数倍して低減係数をかけたものと比較すると、強度等級に関わらず試験結果の方が低いことが分かった。設計段階でもこの接合部の許容耐力は集合型破壊による許容耐力で決まっており、この結果は妥当といえる。

表 2.4.4-5 試験結果一覧

試験体			P_y	P_{max}	P_u
S60-DPJ	荷重(kN)	0	311.43	418.88	390.77
	変形(mm)	0	2.61	10.25	12.89
S60-DP30-32本×0.9	荷重(kN)	0	366.91	535.68	496.22
	変形(mm)	0	1.51	19.23	30.53
S90-DPJ	荷重(kN)	0	314.97	439.35	402.68
	変形(mm)	0	2.43	13.68	14.13
S90-DP30-32本×0.9	荷重(kN)	0	374.11	558.72	507.17
	変形(mm)	0	1.67	18.21	25.31

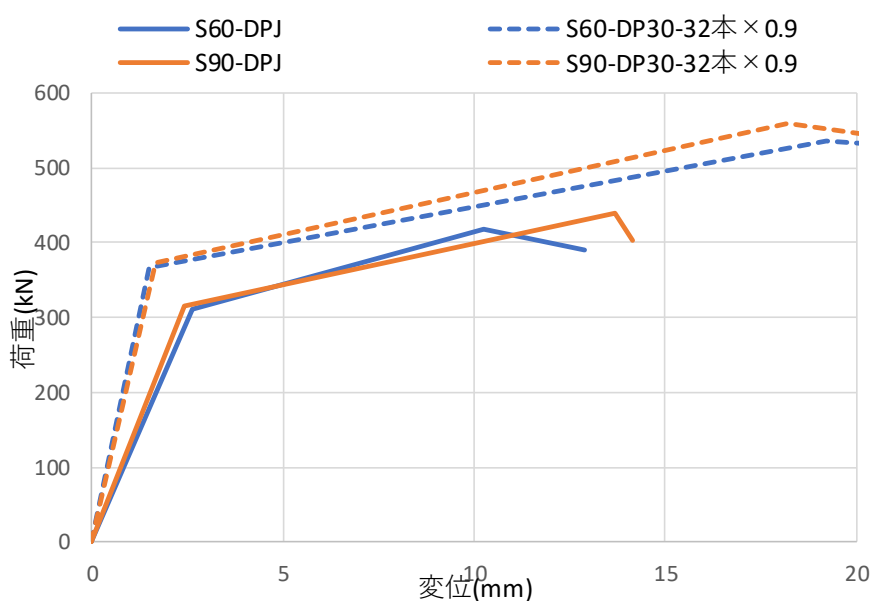


図 2.4.4-8 試験結果荷重変形関係

第 3 章 1/2 スケール構面実験

3.1 試験体概要

3.1.1 試験体

本章では、1/2 スケールで行った構面実験について取り扱う。試験体のイメージ一覧を図 3.1.1-1 に示す。基本仕様は、柱心間距離 3600mm、梁心間距離 2000mm の鉄骨フレームに幅 1100mm の CLT 耐震壁が鋼板挿入ドリフトピン接合によって留め付けられており、さらに CLT 脚部接合部には無収縮モルタルが梁と CLT 間に充填されている。

比較パラメータとして、鉄骨フレームのみ、CLT の強度等級、CLT の挿入位置を設定し、計 4 種類とした。それぞれの試験条件に対して試験体を各 1 体作製し、試験に供した。試験体名命名の際のルールを図 3.1.1-2 に示す。

試験体名	F-00	S60-DP-C1
写真		
特徴	鉄骨フレームのみ	基本仕様
試験体名	S90-DP-C1	S60-DP-E1
写真		
特徴	CLT 強度が高い	CLT を端に挿入

図 3.1.1-1 試験体イメージ一覧

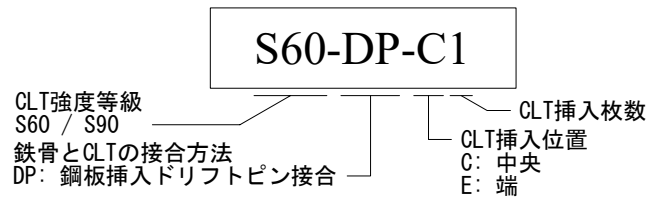


図 3.1.1-2 試験体命名のルール

3.1.2 試験体詳細

各試験体詳細図を図 3.1.2-1(a)~(d)に、また接合部詳細図を図 3.1.2-2 に示す。

鉄骨フレームは柱心間距離 3600mm、梁心間距離 2000mm で柱には SN490B の RH-300×300×10×15 を、梁には SN400B の RH-294×200×8×12 を使用しており、これらは各試験体において共通である。柱と梁は剛に溶接されている。それぞれの試験体で適宜梁に補強用のリブを設けた。

S60-DP-C1（基本仕様）では、強度等級 S60-5 層 5 プライの幅 1100mm、高さ 1531mm、厚さ 105mm の CLT を使用し、鉄骨フレームの中央に挿入した。鋼板挿入ドリフトピンに要する鋼板は厚さ 6mm である。ドリフトピンは径 10mm、長さ 105mm であり、四隅に鉛直力伝達のために各 32 本、CLT 上部下部にせん断力伝達のために各 10 本使用している。挿入した鋼板と鉄骨フレームは高力ボルトで摩擦接合している。CLT 上部では L 型の治具を 2 個用いて鋼板を挟み込み、鉄骨と L 型治具、L 型治具と鋼板をそれぞれ F10T-M12 高力ボルトで 2 面摩擦として留め付けている。CLT 下部ではあらかじめ鉄骨に厚さ 9mm の鋼板を溶接しておき、挿入鋼板と F10T-M12 高力ボルトで 1 面摩擦として留め付けている。CLT 下部はさらに無収縮モルタルを CLT の下端から梁天端まで十分にいきわたるよう充填している。

S90-DP-C1 では、使用した CLT の強度等級を S90-5 層 5 プライとした。そのほかの仕様は基本仕様と同じである。

S60-DP-E1 では、使用した CLT の強度等級は基本仕様と同じ S60-5 層 5 プライであるが、挿入位置を端とした。両柱の間の距離は 3300mm で、それを 3 等分した端の位置に CLT を挿入しており、CLT と柱の間の空間を確保するために S60-DP-C1 と同じ仕様の CLT の柱側の部分を 25mm 切り落としたものを使用した。つまり、幅 1075mm、高さ 1531mm、厚さ 105mm である。そのほかの仕様は基本仕様と同じである。

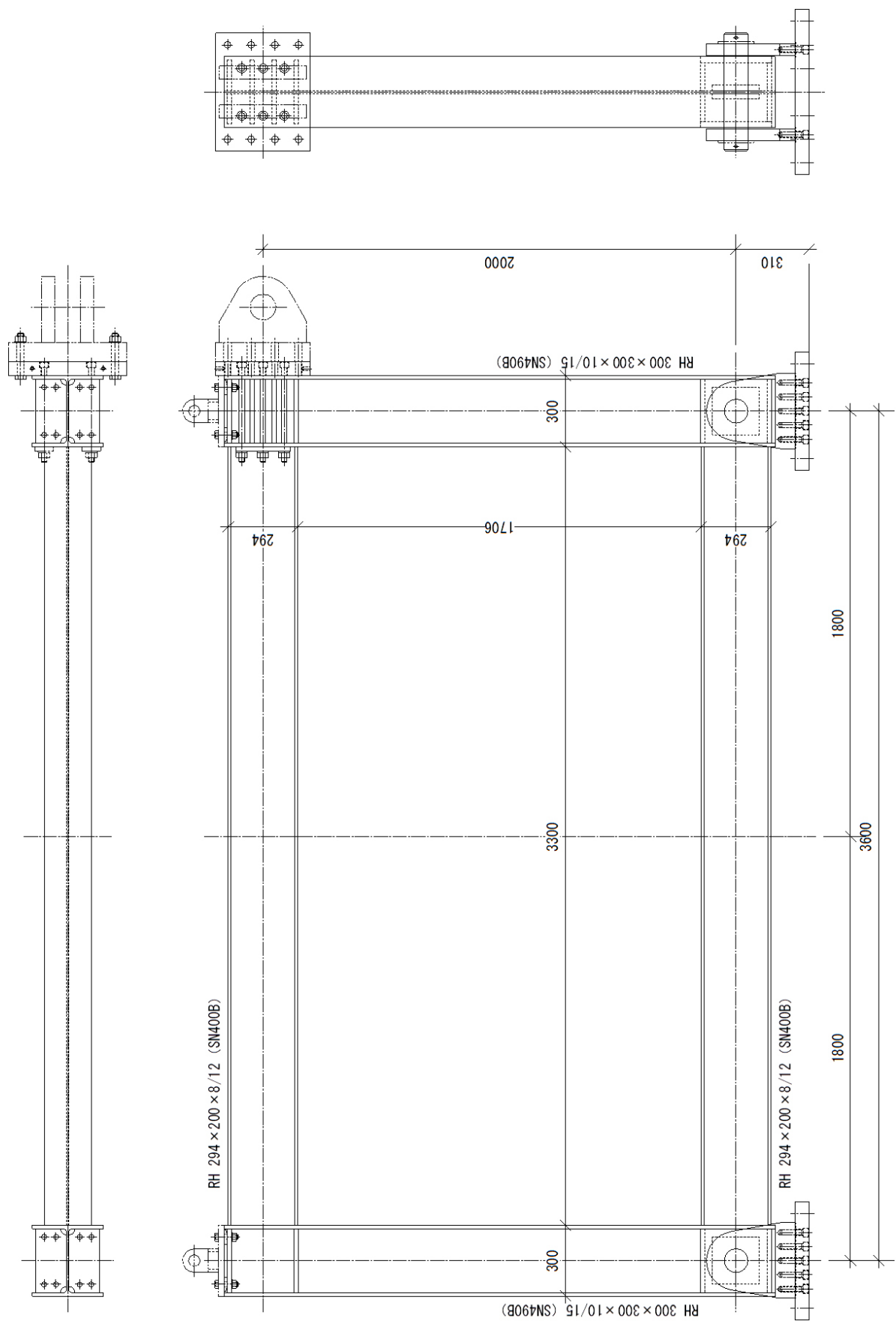


図 3.1.2-1 試験体図 (a) F-00

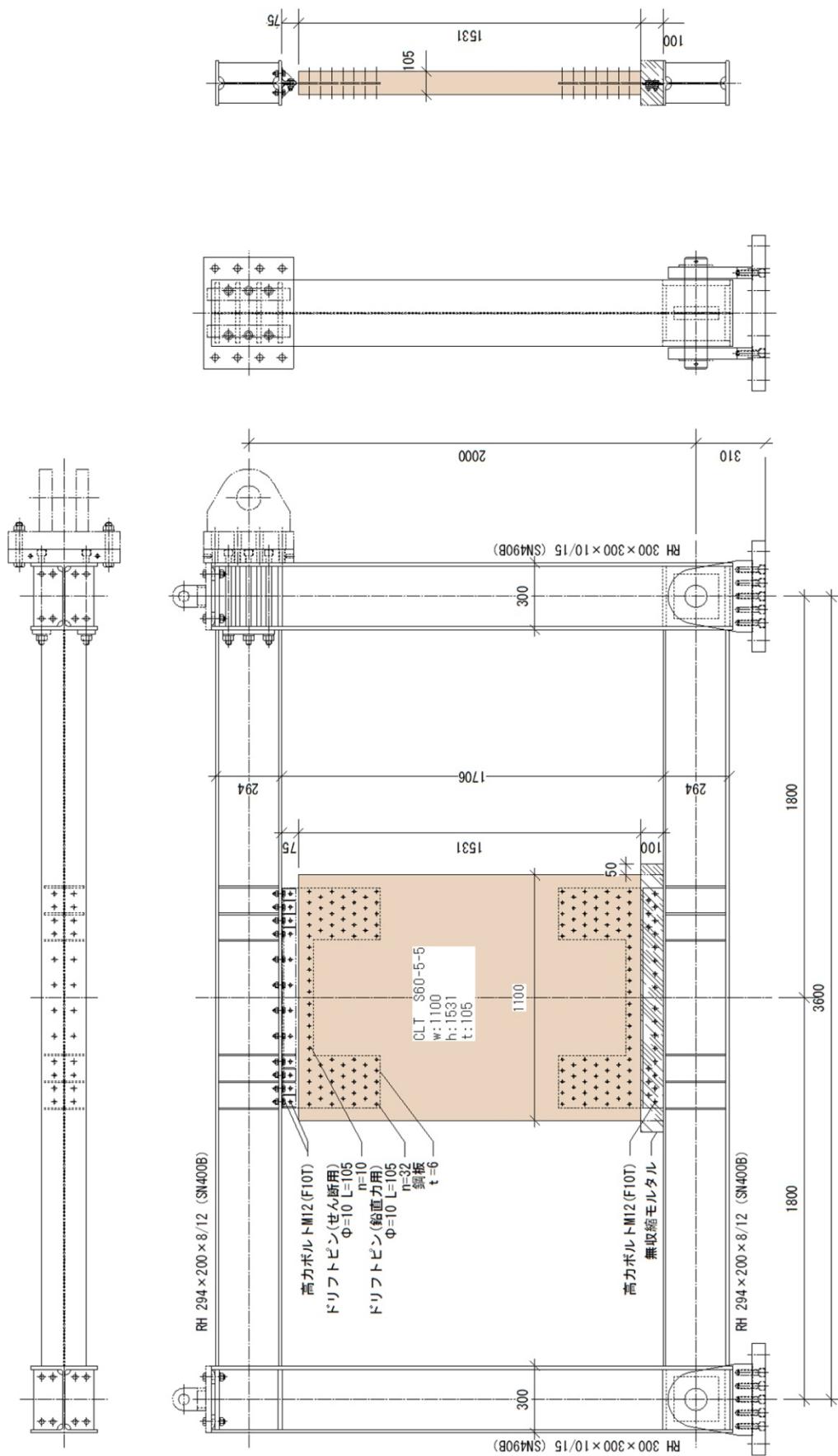


図 3.1.2-1 試験体図 (b) S60-DP-C1

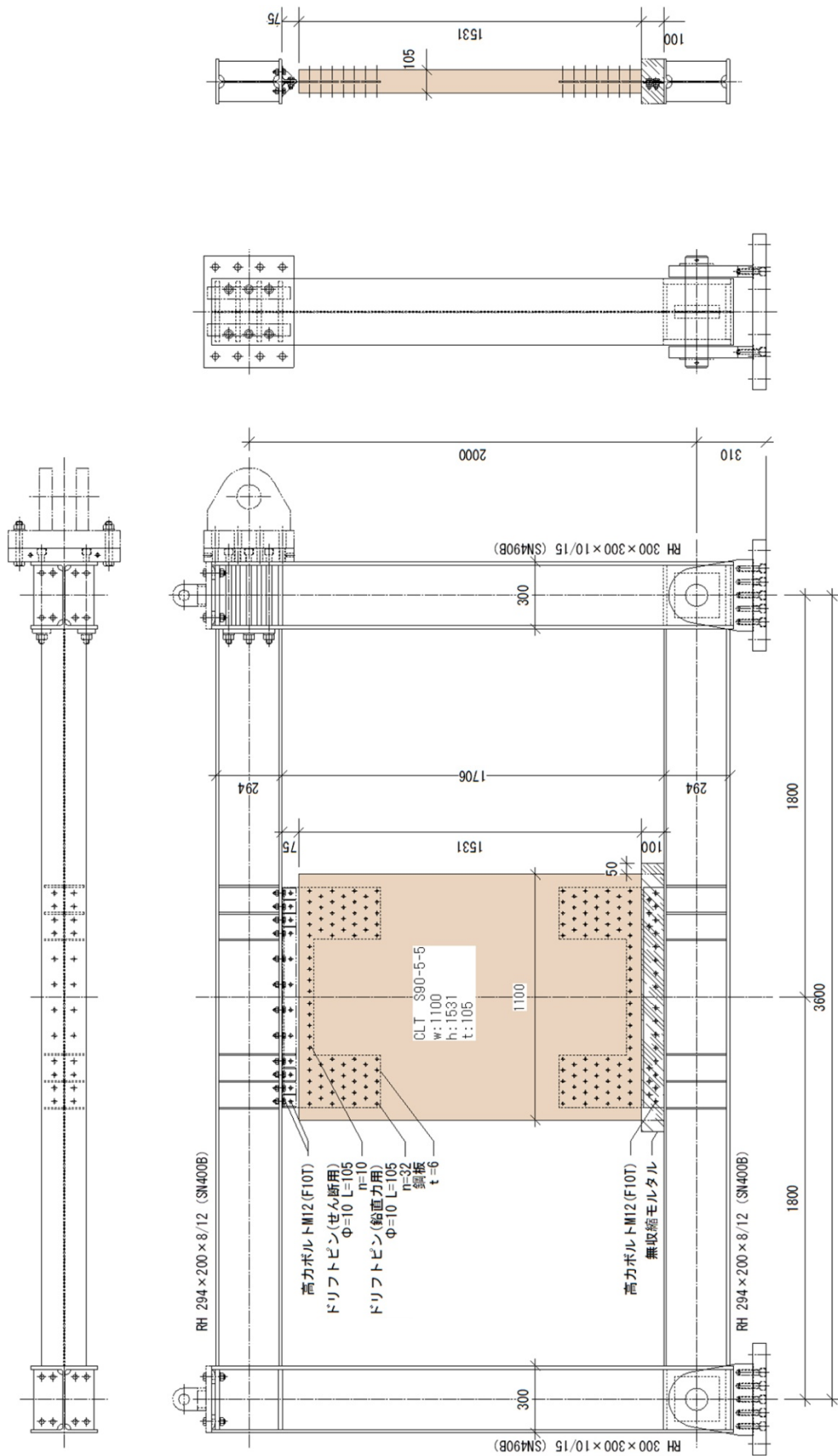


図 3.1.2-1 試験体図 (c) S90-DP-C1

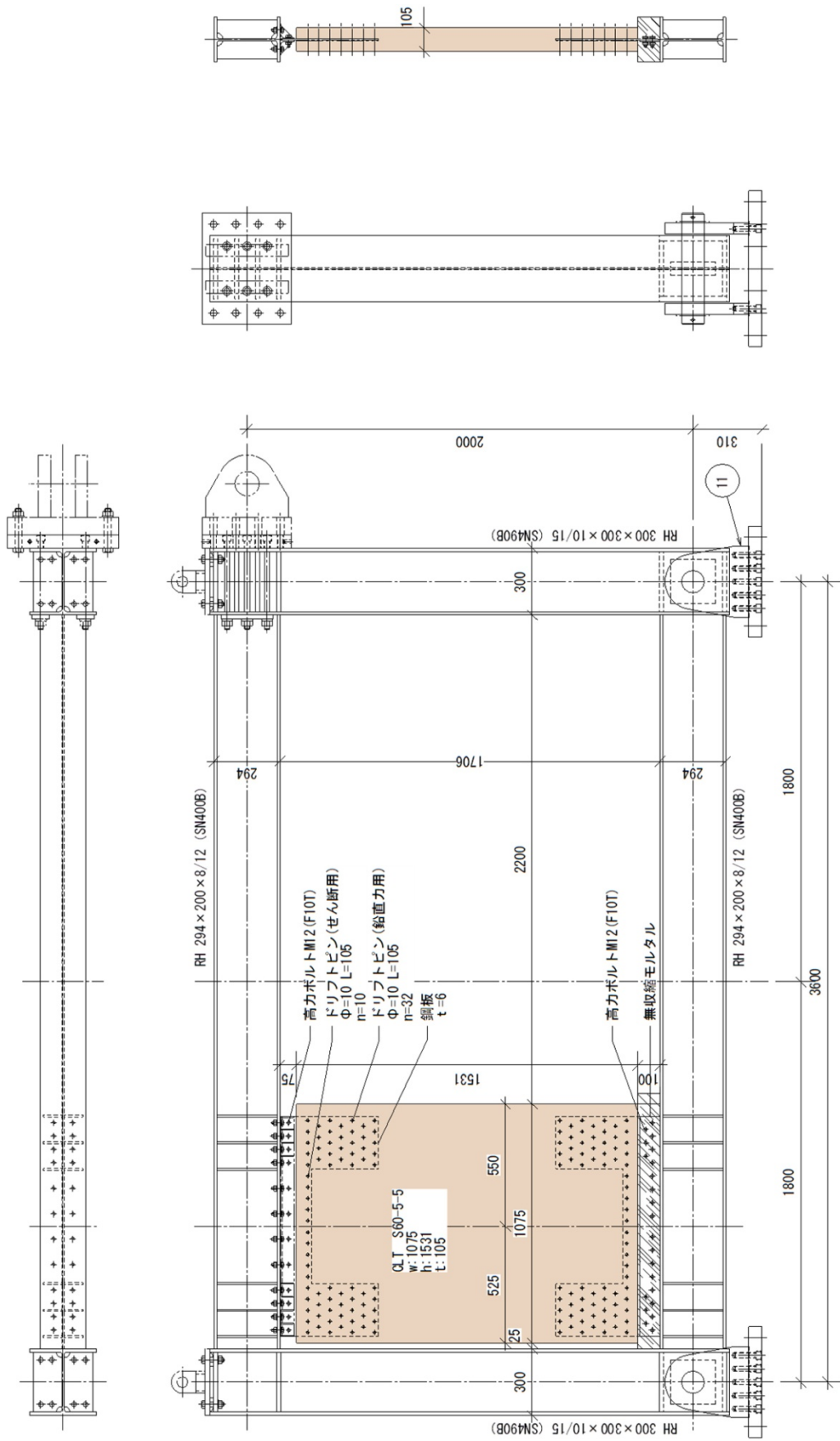


図 3.1.2-1 試験体図 (d) S60-DP-E1

3.1.3 施工方法・組立手順

試験体の施工手順を表 3.1.3-1 に示す。また、施工中の写真を図 3.1.3-1 に示す。

表 3.1.3-1 試験体施工手順

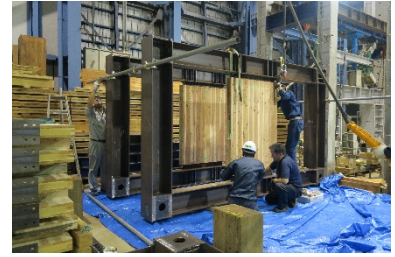
手順	1	2	3	4	5
説明	L型対角筋側フレンジ側HTB設置、仮締め	CLT建て込み	寸法調整材設置	下部CLT側面HTB設置、仮締め	L型対角筋側フレンジ側HTB設置、仮締め
図					
手順	6	7	8	9	10
説明	上部CLT側面HTB設置、仮締め	L型対角筋側フレンジ側HTB設置、仮締め	寸法調整材 抜く	下部CLT側面HTB設置、仮締め	ロイヤリート打設
図					
写真	中	中	中	中	中



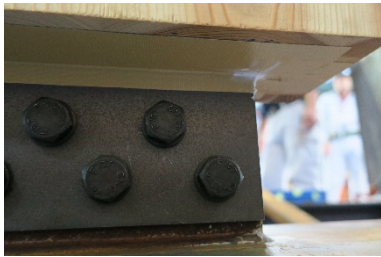
鉄骨フレーム搬入



CLT パネルの留め付け



CLT 留め付け後、立てる



CLT 下側スリットをモルタル施工前にシーリング



モルタル型枠施工



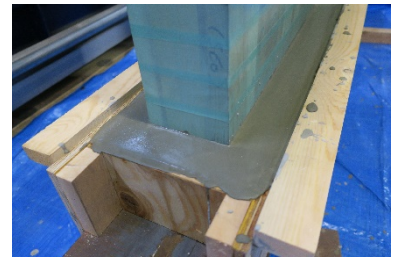
型枠詳細



モルタル練り混ぜ



モルタル施工中



モルタルは完全に小口面まで行き渡るよう小口より少し高い面まで注入



CLT パネルひずみゲージ



型枠取り外し後



計測器は加力前日に設置

図 3.1.3-1 施工写真

3.2 実験方法

3.2.1 試験装置

試験体加力装置取り付け図を図 3.2.1-1 に示す。試験体は片方から加力ジャッキによって加力される。試験体フレームの両柱の上部にはパンタグラフが取り付けられ、面外変形を拘束している。

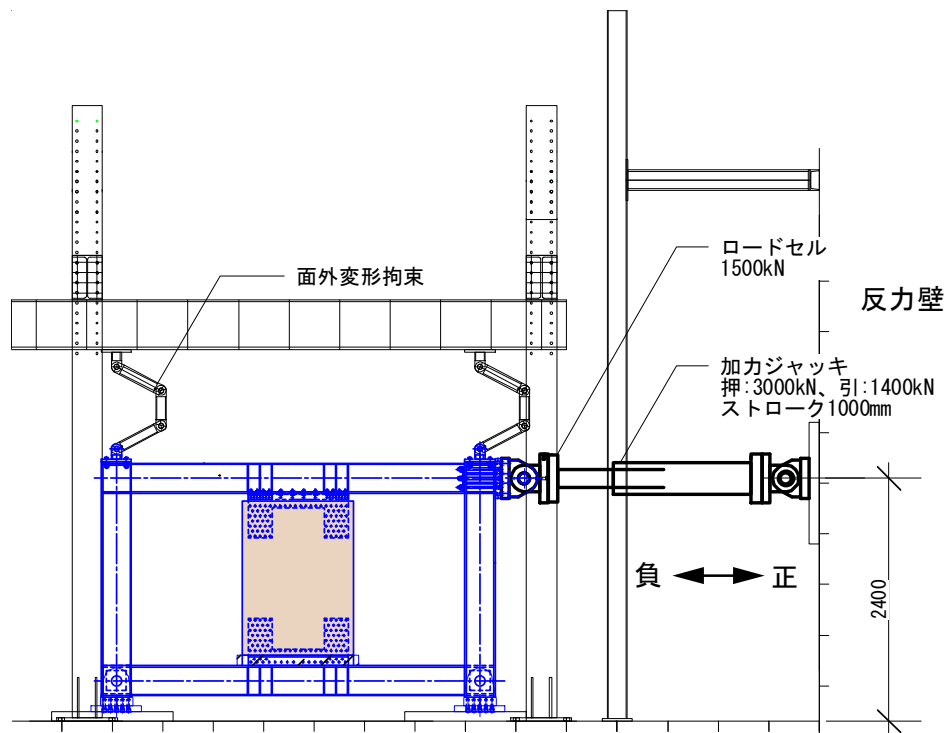


図 3.2.1-1 加力装置取り付け図

3.2.2 加力計画

試験体の右側に取り付けた加力ジャッキの引き側を正、押し側を負として、制御変形角が $1/450$, $1/300$, $1/200$, $1/150$, $1/100$, $1/75$, $1/50$, $1/30$ rad のスケジュールで正負交番の3回繰り返しとした。その後 $1/10$ rad を目安として引き壊しとした。図 3.2.2-1 に加力スケジュールを示す。

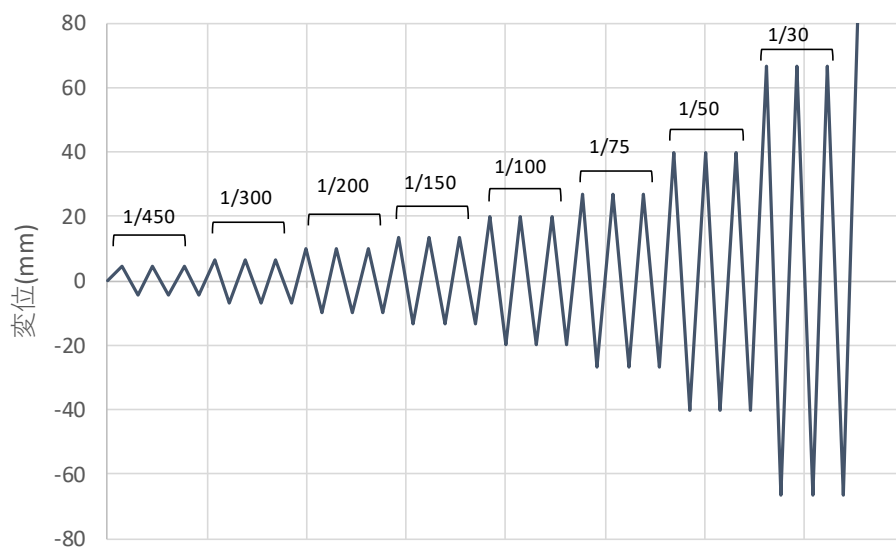


図 3.2.2-1 加力スケジュール

3.2.3 計測計画

各試験体の計測計画を図 3.2.3-1(a)~(d)に示す。

柱のせん断力を求めるため、柱の両サイドにひずみゲージを設けており、すべての試験体において共通である。梁のモーメントを求めるための梁のひずみゲージは試験体によって異なる位置に設けている。また、CLT パネルがある箇所にはせん断用のひずみゲージをウェブ中央に設置した。

変位計については、構面全体の水平変位を測るため#H1~#H5 と#DP1000 を取り付け、大変形時は#DP1000 のみの計測とした。鉛直変位はフレーム脚部のピンの位置で計測した。

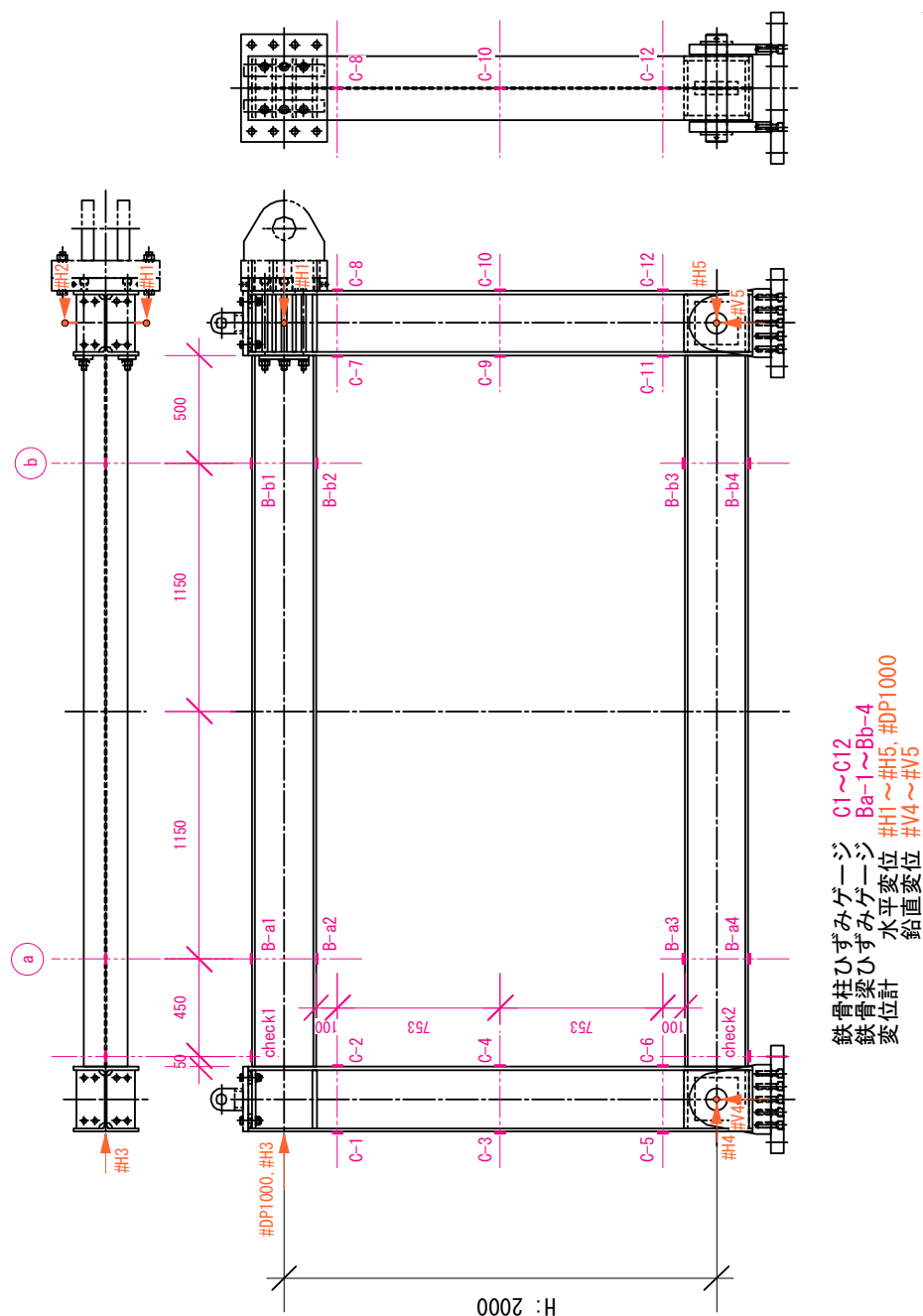


図 3.2.3-1 計測計画 (a) F-00

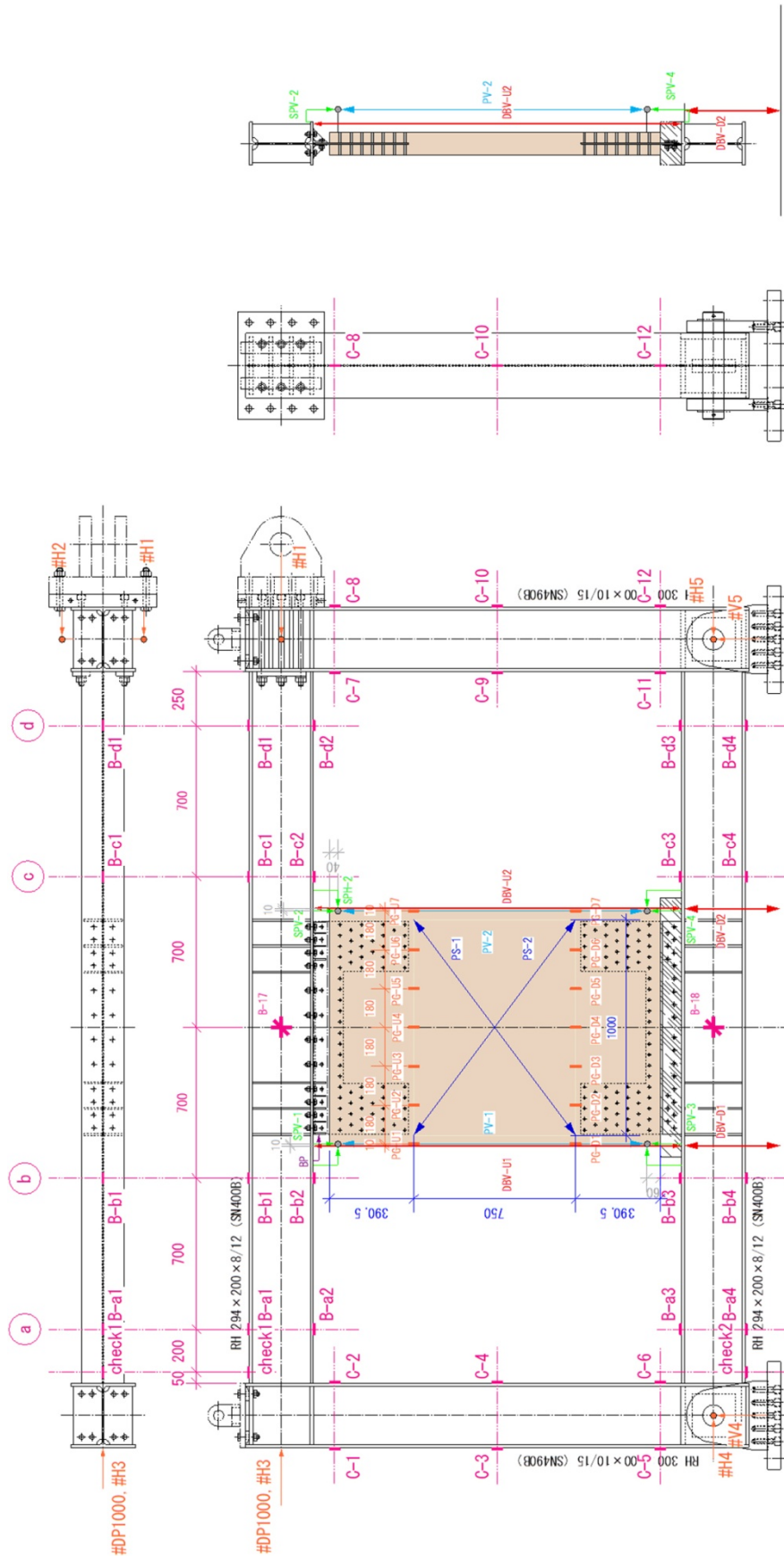
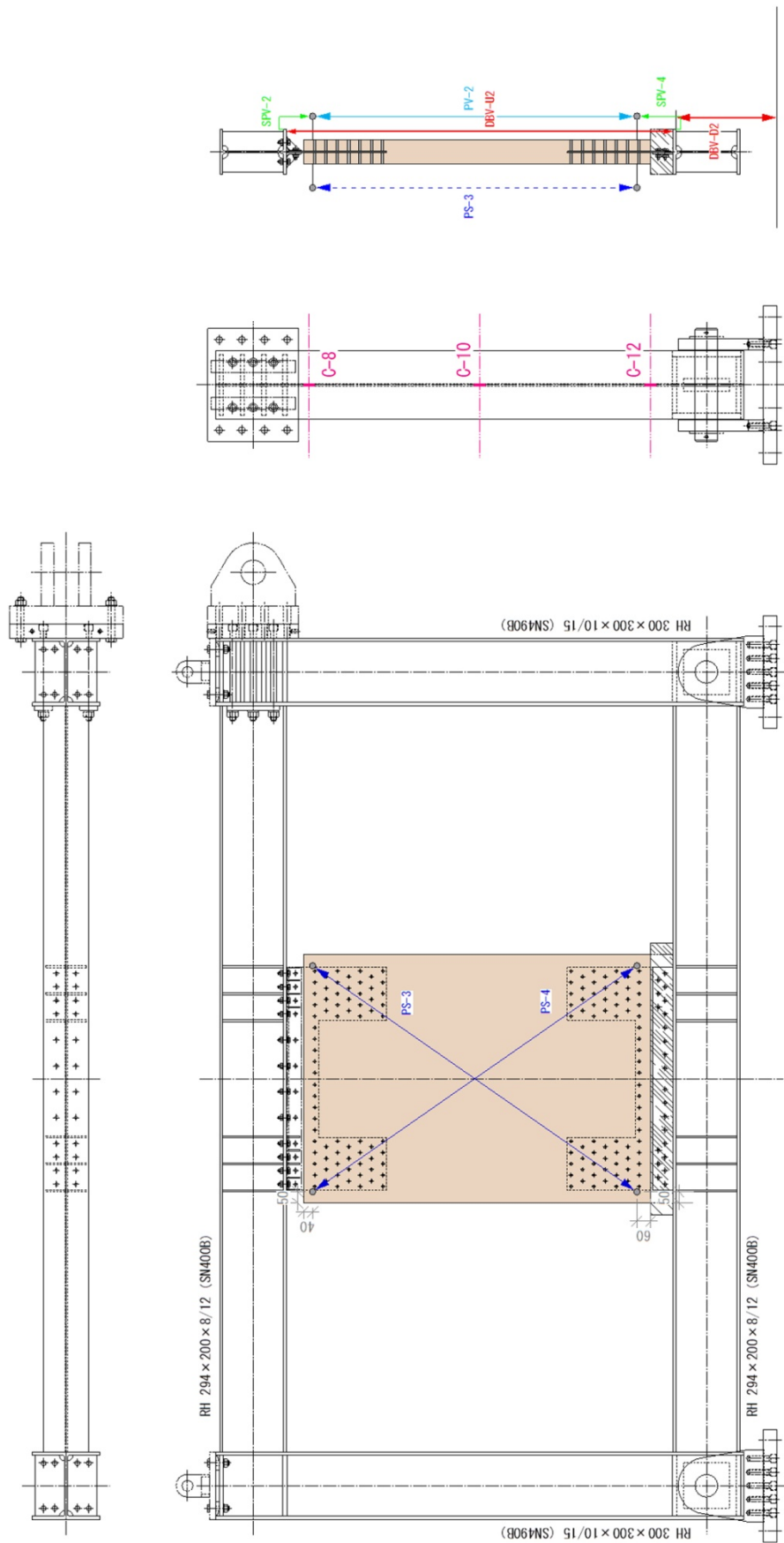


図 3.2.3-1 計測計画 (b) S60-DP-C1, S90-DP-C1 共通

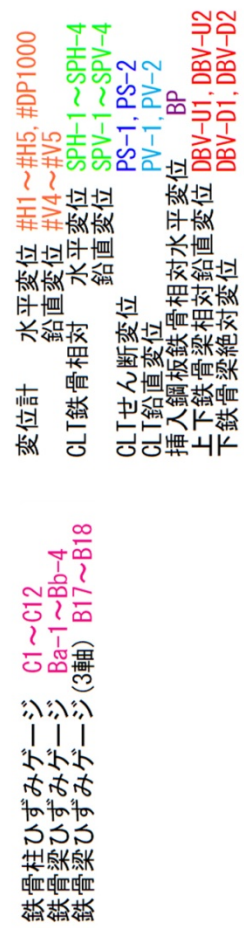
鉄骨柱ひずみゲージ C1~C12
鉄骨梁ひずみゲージ Ba-1~Bd-4
鉄骨梁ひずみゲージ (3軸) B17~B18
CLTひずみゲージ PG-U1~PG-D7

変位計 水平変位 #H1~#H5, #DP1000
鉛直変位 #V4~#V5
CLT鉄骨相対 水平変位 SPH-1~SPH-4
鉛直変位 SPV-1~SPV-4
CLTせん断変位 PS-1, PS-2
CLT鉛直変位 PV-1, PV-2
挿入鋼板鉄骨相対水平変位
上下鉄骨梁相対鉛直変位 DBV-U1, DBV-U2
下鉄骨梁絶対変位 DBV-D1, DBV-D2



CLTせん断変位 PS-3, PS-4

図 3.2.3-1 計測計画 (c) S90-DP-C1 裏面透視図



第3章-14

3.3 事前解析

3.3.1 解析概要

構面実験を把握するにあたり、事前に耐力や接合部等の挙動を把握することを目的として、有限要素解析を用いて静的増分解析を行った。解析モデルは、構面実験と同じ柱芯間距離 3600mm、階高 2000mm で、構面実験と同じバリエーションで 4 種類とする。柱・梁は線材弾塑性要素で、CLT 壁は両端に剛体を設けた線材弾性要素である。CLT と梁の接合部は、鋼板挿入ドリフトピン接合を模した鉛直方向の圧縮引張バネと水平方向のせん断バネを上下各 2 か所に設けた。また、CLT と下梁の間には、無収縮モルタルの支圧効果を考慮し、鉛直方向の支圧バネを設けた。

図 3.3.1-1 に解析モデル概要を示す。

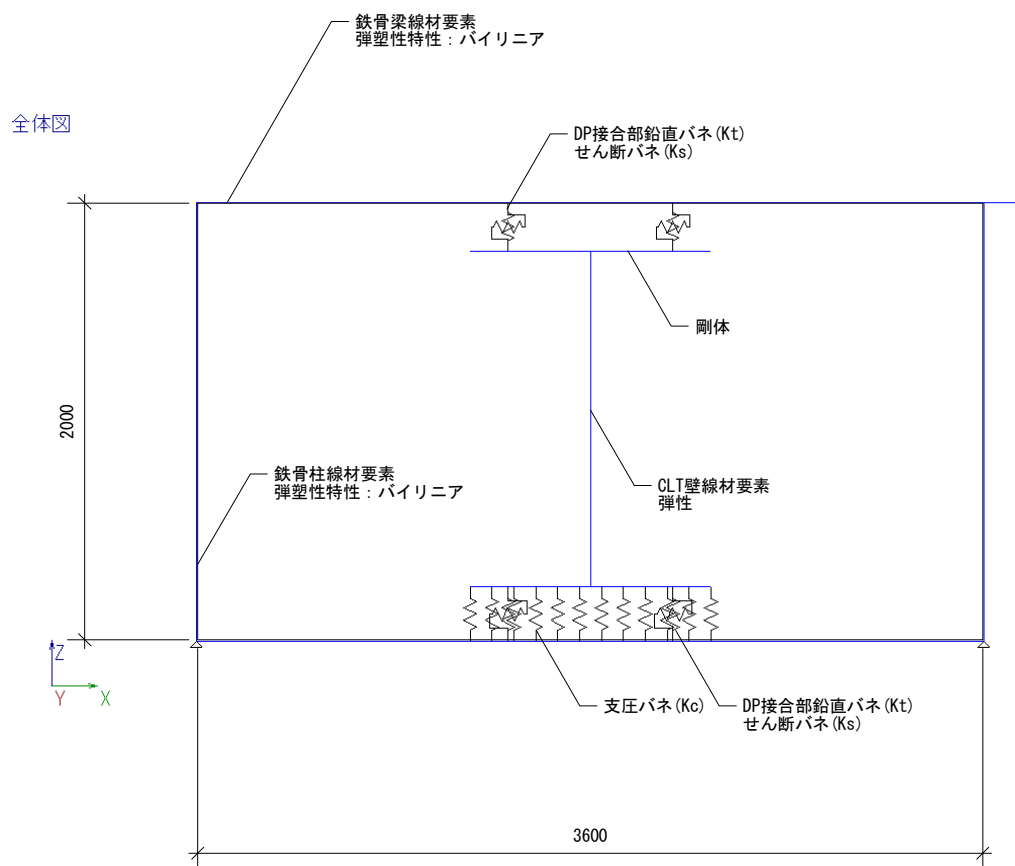


図 3.3.1-1 解析モデル概要

各要素の弾塑性特性を以下のように決定した。

(a) 鉄骨梁・柱要素

曲げ成分は、曲げ耐力 M_u を算出し、バイリニアでモデル化する。また、せん断成分はせん断耐力 Q_u を算出し、バイリニアでモデル化する。鋼材強度は F 値の 1.1 倍とした。また、降伏後の剛性低下率は 0.001 とする。表 3.3.1-1 に柱梁の M_u 、 Q_u をまとめる。

表 3.3.1-1 鉄骨梁・柱特性

鉄骨許容応力	鋼材	降伏点	曲げ許容 応力度	せん断許 容応力度	H	B	t1	t2	断面積	せん断用 断面積	断面二次 モーメント	断面係数	塑性断面 係数	Mu	Qu
		1.1×F	Fb	Fs					A	As	Ix	Zx	Zpx	=Fb×Zpx	=Fs×As
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm ³	kNm	kN
梁	SN400B	258.5	258.5	149.2	294	200	8	12	71.05	21.6	11100	756	842	217.7	322.4
柱	SN490B	357.5	357.5	206.4	300	300	10	15	118.5	27	20200	1350	1480	482.6	557.3

(b) CLT 壁線材要素

CLT 壁は断面特性 A_w 、 I_w 、材料特性 E_w 、 G_w を定義し、弾性とした。

ヤング係数は S60 のとき $E_w=3600(\text{N/mm}^2)$ 、せん断弾性係数 $G_w=500(\text{N/mm}^2)$ とした。

S90 のとき $E_w=5400(\text{N/mm}^2)$ 、せん断弾性係数 $G_w=500(\text{N/mm}^2)$

これらの特性は CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル²⁾ に記載の CLT の基準強度・ヤング係数による。

(c) ドリフトピン接合部引張圧縮バネ K_t ・せん断バネ K_s

ドリフトピン 1 本の解析結果を本数倍し、トリリニアでモデル化する。図 3.3.1-2 にその特性を示す。ドリフトピン 1 本の解析については(c-補足)で後述する。

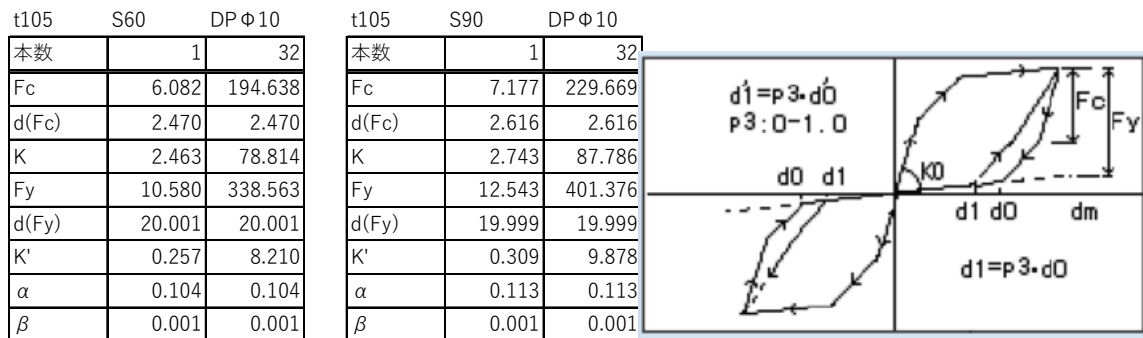


図 3.3.1-2 ドリフトピン特性

(d) 支圧バネ K_c

支圧バネはバイリニアとし、その剛性 T_c と降伏耐力 F_c は以下のように求める。

$$T_c = \frac{E_c \times t \times d}{h}$$

$$F_c = F_b \times t \times d$$

ここで、

E_c :CLT ヤング係数 S60 のとき 3600N/mm^2 , S90 のとき 5400N/mm^2

t :CLT 厚さ 105mm

d :バネ間隔 100mm

h :CLT 高さ 1531mm

F_b :CLT 面内強軸曲げ基準強度 S60 のとき 9.72 N/mm^2 、S90 のとき 12.42 N/mm^2

(c-補足)

ドリフトピン 1 本の解析の概要とその結果を報告する。径 $\Phi=10$ 、長さ $l=105$ のドリフトピンをラミナ厚 21mm の 5 層 5 プライの CLT に挿入するときを対象にモデル化する。鋼板挿入用に CLT 中央に設けるスリットは 9mm である。パラメータは、CLT の強度等級で S60 と S90 の 2 種類である。解析モデルを図 3.3.1-3 に示す。ドリフトピンを梁要素に、ラミナの支圧を単軸ばね要素とする弾塑性床上の梁モデルを用いる。ドリフトピン中央に荷重を与え、増分解析を実施して荷重 P と加力点の加力方向の変位 δ の関係を求めた。

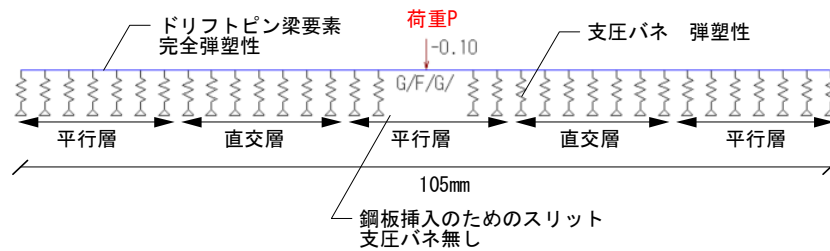


図 3.3.1-3 ドリフトピン解析概要

ドリフトピンは $F=400(\text{N}/\text{mm}^2)$ とする。その下に CLT の支圧バネを 3mm 間隔で設け、バネの特性はパラメータスタディ 2 と同様の方法で定めた。

解析結果を図 3.3.1-4 に示す。得られた荷重変形曲線の $0.1 \times P_{\max}$ と $0.4 \times P_{\max}$ の点を結んだ直線を 1.0mm オフセットした直線と荷重変形曲線の交点を降伏点と定めた。特性値は(c)で示したとおりである。

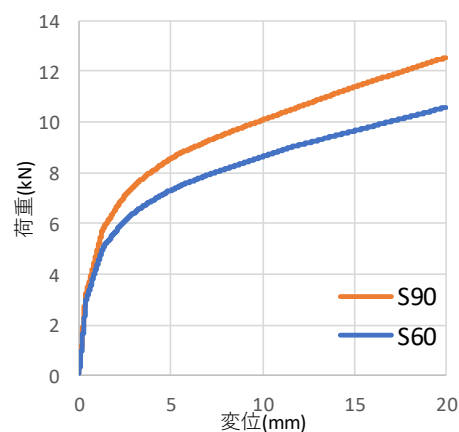


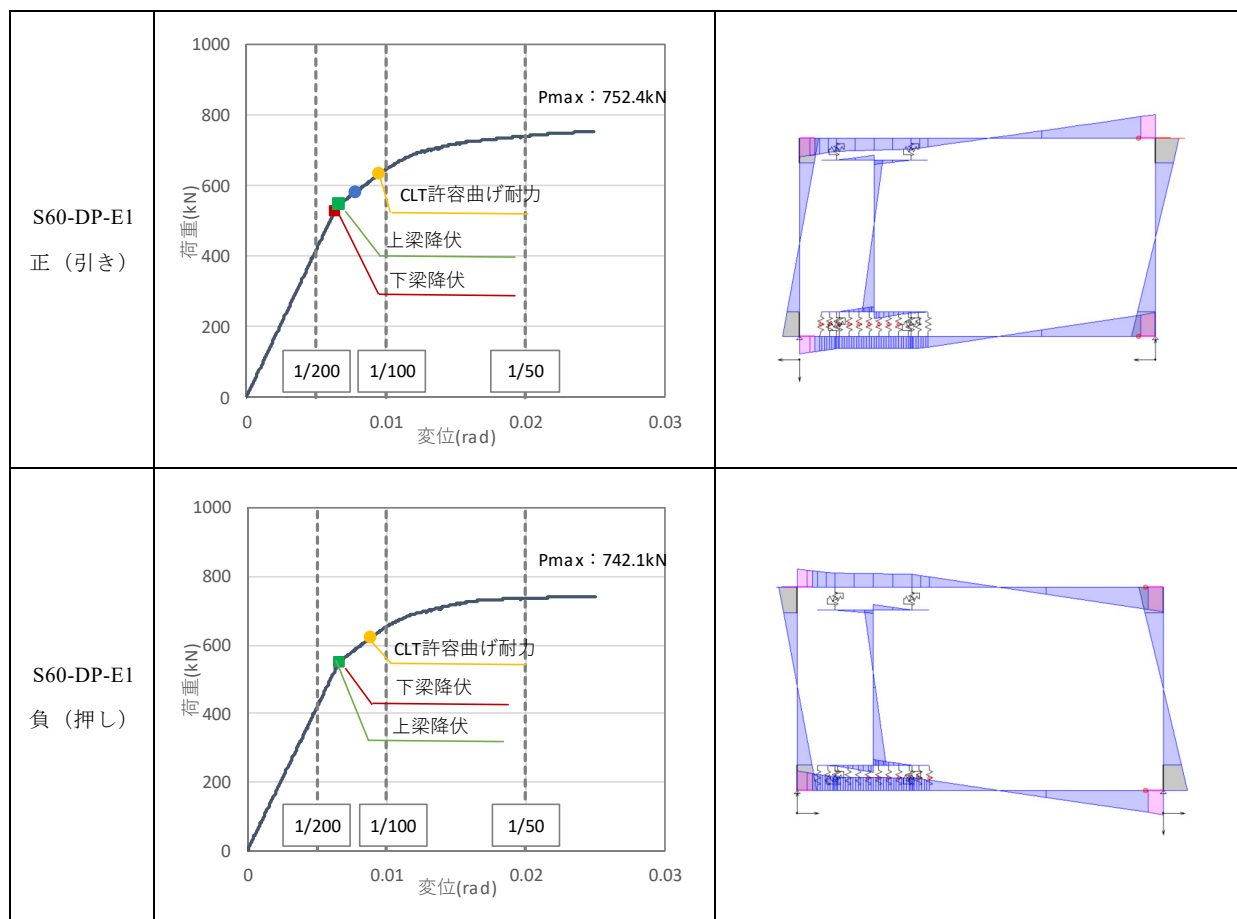
図 3.3.1-4 ドリフトピン単位接合部 解析結果荷重変形関係

3.3.2 解析結果

表 3.3.2-1 に解析結果と降伏時のモーメント図を示す。

表 3.3.2-1 事前解析結果

試験体	解析結果—荷重変形角関係	降伏時モーメント図
F-00		
S60-DP-C1		
S90-DP-C1		



3.4 実験結果

3.4.1 データ処理の方針

(1)すべての実験結果について、盛替えや破壊性状の確認のためアクチュエータを一旦停止した際に生じる荷重低下のデータは省くこととする。

(2)各試験体において、全体の水平変形 δ (mm)は図 3.2.3-1 の計測位置を用いて次のように求めた値とする。また、層間変形 R も以下のように求める。試験体下側の鉛直変位は大変形時でも $\pm 2\text{mm}$ 以下であったため、考慮しないこととする。

$$\delta = \#DP1000 - \frac{(\#H4 + \#H5)}{2}$$

$$R = \frac{\delta}{H}$$

ここで、H:梁中心間の距離=2000(mm)

(3)各試験体において、鉄骨柱、CLT パネルがそれぞれ負担するせん断力 $Q_{\text{柱}}$ 、 Q_{CLT} は以下のように求める。柱に設置したひずみゲージの実験値より柱のせん断力を求め、全体の荷重より柱のせん断力を引いて CLT 負担せん断力とする。

$$Q_{\text{CLT}} = Q - (Q_{\text{左柱}} + Q_{\text{右柱}})$$

Q_{CLT} :CLT が負担するせん断力

Q :実験値水平荷重

$Q_{\text{柱}}$:柱が負担するせん断力

柱のせん断力は次のように求める。

実験値はモーメントによるひずみと軸力によるひずみの和となっているため、軸力によるひずみを取り除く必要がある。

$\#Cn$:図 3.2.3-1 中の Cn の位置で計測された柱のひずみゲージ実験値の値

C_N :柱の高さ中央の位置($C3, C4$ と $C9, C10$)にかかる、軸力によるひずみ実験値

$$C_{NL} = \frac{\#C3 + \#C4}{2}, \quad C_{NR} = \frac{\#C9 + \#C10}{2}$$

ε_{a1} :C1 の位置のモーメントによるひずみ

$$\varepsilon_{a1} = (C1 - C_{NL}) \times 10^{-6}$$

$$\varepsilon'_{a1} = \frac{\varepsilon_{a1} - \varepsilon_{a2}}{2}$$

同様に ε'_{a5} 、 ε'_{a7} 、 ε'_{a11} を求める。

Mn : Cn の位置にかかるモーメント

$$M_n = \varepsilon'_{an} \times E \times Z$$

E :鉄骨ヤング係数=205,000(N/mm²)

Z :柱(RH300×300×10/15)断面係数=1,350,000(mm³)

$$Q_{\text{左柱}} = \frac{M_1 - M_2}{h}$$

h :C1 と C2 間の高さ=1506(mm)

ただし、S60-DP-E1 試験体については#C6 がモルタルに埋もれていたため、#C14 を新たに追加し、そのひずみ値に 731/500 をかけて補正した値を#C6 の代わりに使用した。

(4)CLT セン断変位 δ_s の求め方は、表面に設置したせん断変形用の変位計(#PS1,#PS2)を用いて次のように求める。なお、この変位計は中央に設置しているので曲げ変形による鉛直方向の変位は無視できるとする。式中の b,h,l については図 3.4.1-1 中に記載する。

図 3.4.1-1 (a)より $(b + \delta_s)^2 + h^2 = (l + \#PS1)^2$ が成り立ち、この式より、

$$\delta_s = \sqrt{(l + \#PS1)^2 - h^2} - b$$

これより、CLT セン断角 γ_s は、

$$\gamma_s = \frac{\delta_s}{h}$$

また、S90-DP-C1,S60-DP-E1 試験体については、裏側で全体の斜め方向の変位を計測しているが、これは鉛直方向の影響が大きいため、せん断変形 δ_s' は以下のように求める。

図 3.4.1-1 (b)より $(b' + \delta_s')^2 + (h' + \#PV2)^2 = (l' + \#PS1)^2$ が成り立つので、

$$\delta_s' = \sqrt{(l' + \#PS1)^2 - (h' + \#PV2)^2} - b'$$

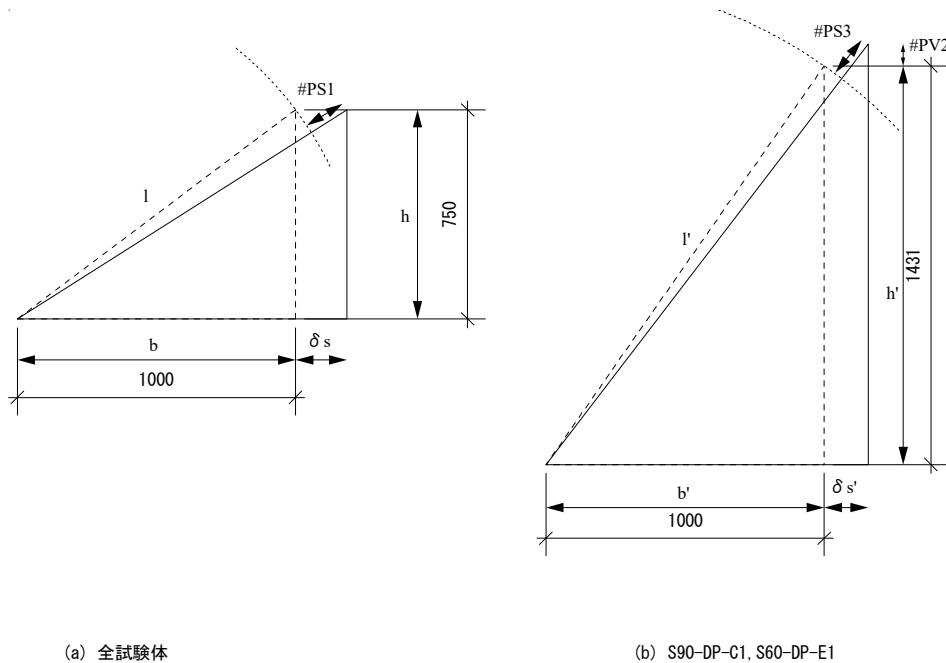


図 3.4.1-1 セン断変形の算出方法

3.4.2 荷重変形関係・破壊性状

(1) F-00 試験体（鉄骨フレームのみの試験体）

図 3.4.2-1 に荷重変形関係を、写真 3.4.2-1 (1)～(6)に試験体の損傷状況を示す。

試験体は予定された加力サイクルで載荷され、制御層間変形角 $R=1/75\text{rad}$ の正側 1 回目に下梁端部のひずみゲージが塑性化した。 $R=1/50\text{rad}$ の正側で下梁の局部座屈を観察した。 $R=1/30\text{rad}$ まで各 3 回正負交番繰り返し加力を行ったのち引き壊しを行った。耐力低下は見られず、柱の端部の変形が見られたため全体変形 $\delta=300\text{mm}$ で試験を終了した。

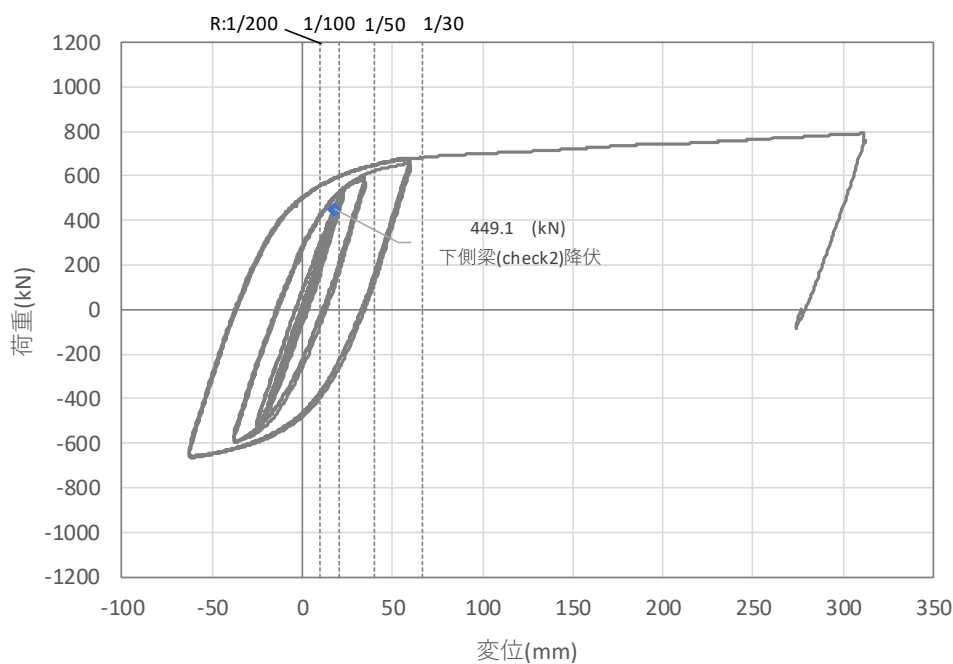


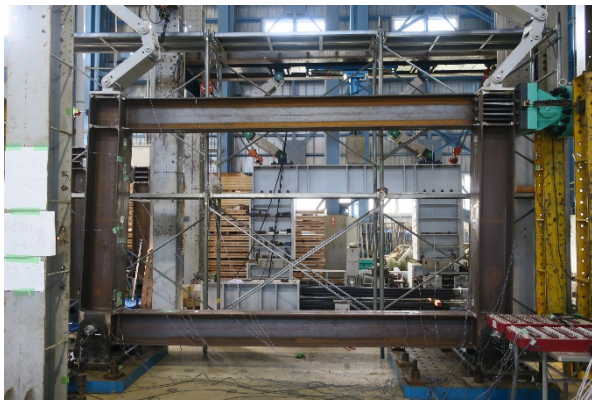
図 3.4.2-1 F-00 荷重変形関係



(1)試験前 試験体全体



(2)1/50rad 下梁端部塑性化



(3)1/30rad 試験体全体



(4)1/30rad 荷重負側 下梁端部局部座屈



(5)最大変形 1/6.6rad 試験体全体



(6)最大変形時 上梁局部座屈

写真 3.4.2-1 F-00 損傷状況

(2) S60-DP-C1 試験体

図 3.4.2-2 に、荷重変形関係と F-00 試験体実験結果包絡線をあわせて示す。また、写真 3.4.2-2 (1)～(6)に試験体の損傷状況を示す。

試験体は、制御層間変形角 $R=1/150\text{rad}$ の加力サイクルにて脚部モルタルの割れが生じ始め、その後サイクルが増えるごとに割れが広がった。 $R=1/100\text{rad}$ の加力サイクルで CLT のメリメリと破壊するような音が発生した。次いで、 $R=1/50\text{rad}$ の加力サイクルで CLT の表層ラミナがずれてせん断破壊する様子が顕著となり、2 サイクル目からは最大荷重に到達することがなくなった。1 サイクル目で記録した最大荷重は 930.9kN であった。 $R=1/30\text{rad}$ の加力サイクルで鉄骨梁の柱との接続部付近で降伏が見られ、荷重が停滞した。また、ドリフトピン接合部の引張力を受ける箇所では CLT のスリットが開く様子が観察された。その後、 $R=1/10\text{rad}$ まで引き壊しを行った。その間に圧縮力を受ける接合部ではモルタルの圧壊、CLT の圧壊、挿入鋼板の座屈が観察され、引張を受ける接合部では CLT スリットの開き、挿入鋼板の破断が観察された。加力終了まで荷重は停滞した。

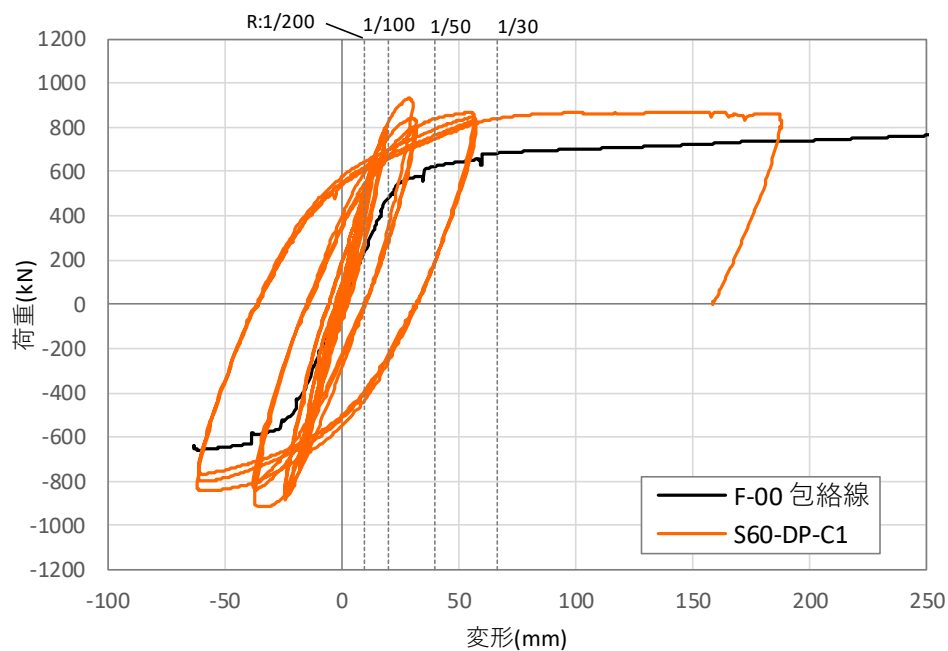
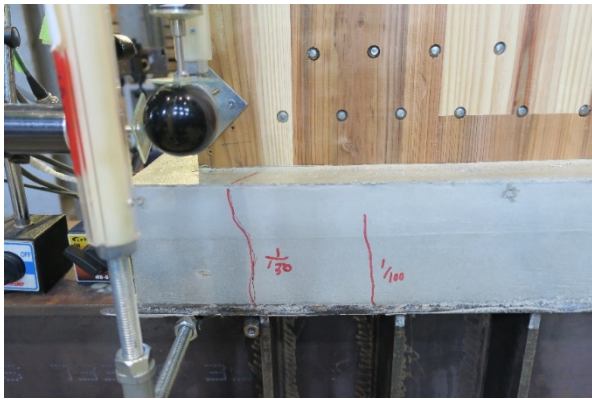
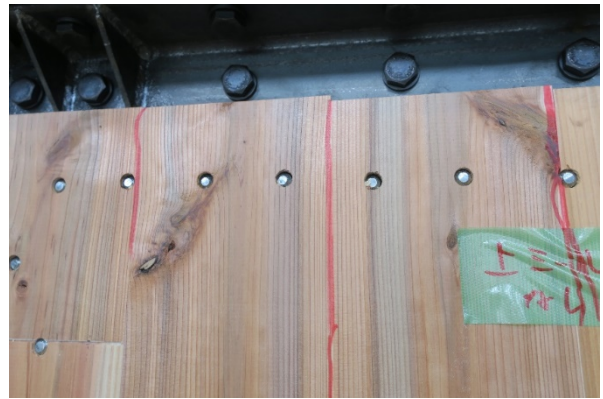


図 3.4.2-2 荷重変形関係



(1) 1/100rad 脚部モルタル割れ



(2) 1/50rad)CLT せん断破壊



(3) 1/30rad 正側 試験体全体



(4) 1/30rad 負側 上梁局部座屈



(5)引き壊し中 ドリフトピン接合部 CLT の開き



(6) 試験終了後 CLT 下部挿入鋼板破断

写真 3.4.2-2 S60-DP-C1 損傷状況

(3) S90-DP-C1 試験体

図 3.4.2-3 に、荷重変形関係と F-00 試験体実験結果包絡線をあわせて示す。また、写真 3.4.2-3 (1)～(6)に試験体の損傷状況を示す。

試験体は、制御層間変形角 $R=1/100\text{rad}$ の加力サイクルにて脚部モルタルの割れが生じ始め、その後サイクルが増えるごとに割れが広がった。同サイクルで、CLT のメリメリと破壊するような音が発生した。 $R=1/75\text{rad}$ で鉄骨下梁の端部の降伏を確認した。また、上部の挿入鋼板と摩擦接合している L 型金物の間に滑りが生じていることを確認した。次いで、 $R=1/50\text{rad}$ の加力サイクルで CLT の表層ラミナがずれてせん断破壊する様子が顕著となり、2 サイクル目からは最大荷重に到達することがなくなった。また、上部の挿入鋼板が座屈し、それに伴って CLT がスリット部分から開いた。1 サイクル目で記録した最大荷重は 950.4kN であった。 $R=1/30\text{rad}$ の 3 回目の加力サイクルで脚部引張側の鋼板に亀裂が入っていることを確認した。その後、 $R=1/10\text{rad}$ まで引き壊しを行った。その間、 $R=1/15\text{rad}$ 付近で脚部引張側鋼板が破断し、圧縮側鋼板は上下とも座屈した。鉄骨下梁の局部座屈、CLT の局部圧壊、モルタルの圧壊も観察された。加力終了まで荷重は停滞した。

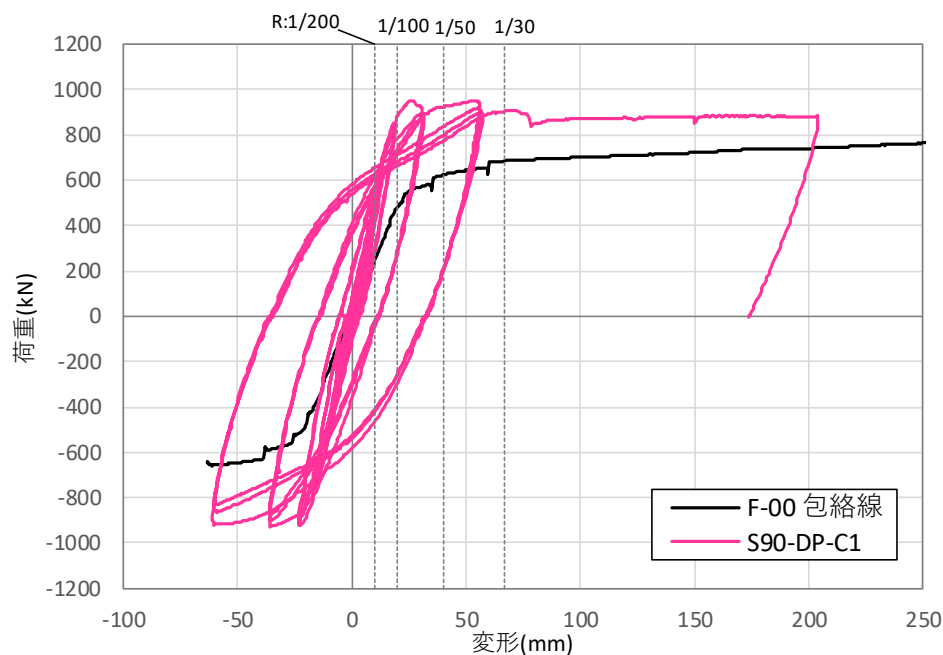
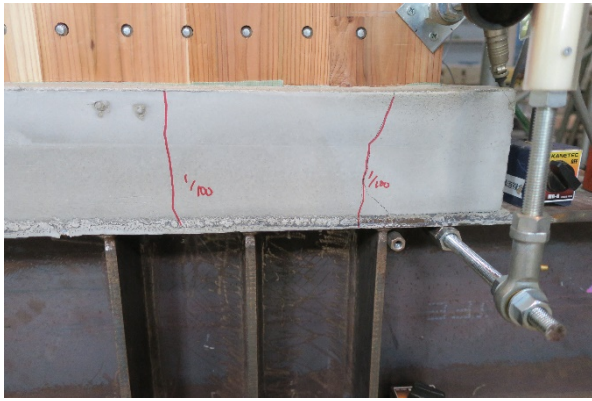


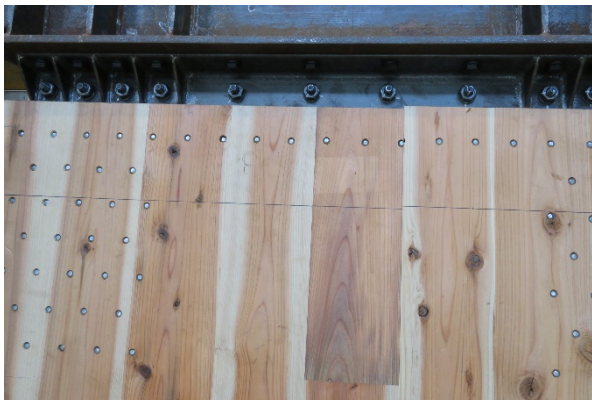
図 3.4.2-3 S90-DP-C1 荷重変形関係



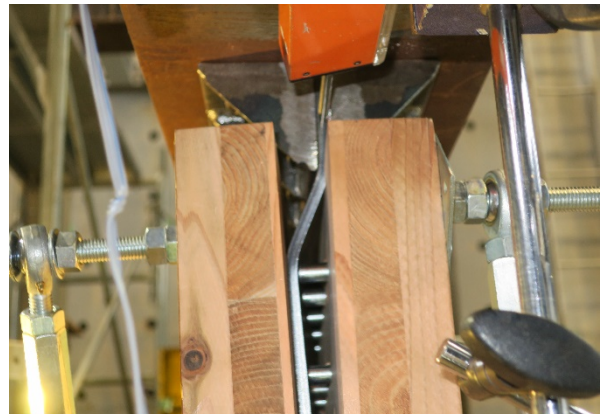
(1) 1/100rad モルタルひび割れ



(2) 1/75rad 挿入鋼板すべり



(3) 1/50radCLT せん断変形



(4) 1/30rad 上部鋼板座屈と CLT ひらき



(5) 引き壊し中 1/15radCLT モルタル圧壊



(6) 最大変形時 試験体全体

写真 3.4.2-3 S90-DP-C1 損傷状況

(4) S60-DP-E1 試験体

図 3.4.2-4 に、荷重変形関係と F-00 試験体実験結果包絡線をあわせて示す。また、写真 3.4.2-4(1)～(6)に試験体の損傷状況を示す。

試験体は、制御層間変形角 $R=1/100\text{rad}$ の加力サイクルにて脚部モルタルの割れが生じ始め、その後サイクルが増えるごとに割れが広がった。同サイクルで、CLT のメリメリと破壊するような音が発生した。 $R=1/75\text{rad}$ で鉄骨下梁の端部の降伏を確認した。また、下部引張側のモルタル端部が浮き上がっていることと、上部の挿入鋼板と摩擦接合している L 型金物の間に滑りが生じていることを確認した。次いで、 $R=1/50\text{rad}$ の加力サイクルで CLT の表層ラミナがずれてせん断破壊する様子が顕著となった。 $R=1/30\text{rad}$ の負側 1 回目で鉄骨上部の局部座屈と面外への横座屈がみられた、正側の 2 回目を行ったのち、負側は鉄骨梁の面外変形が大きくなったため途中の $1/50\text{rad}$ で加力を中止し、除荷した。その後、 $R=1/10\text{rad}$ まで正側に引き壊しを行った。その間、CLT のドリフトピン接合部が集合型引張破断し荷重低下がみられた。鉄骨下梁の局部座屈、CLT の局部圧壊、モルタルの圧壊も観察された。その後加力終了まで荷重は停滞した。

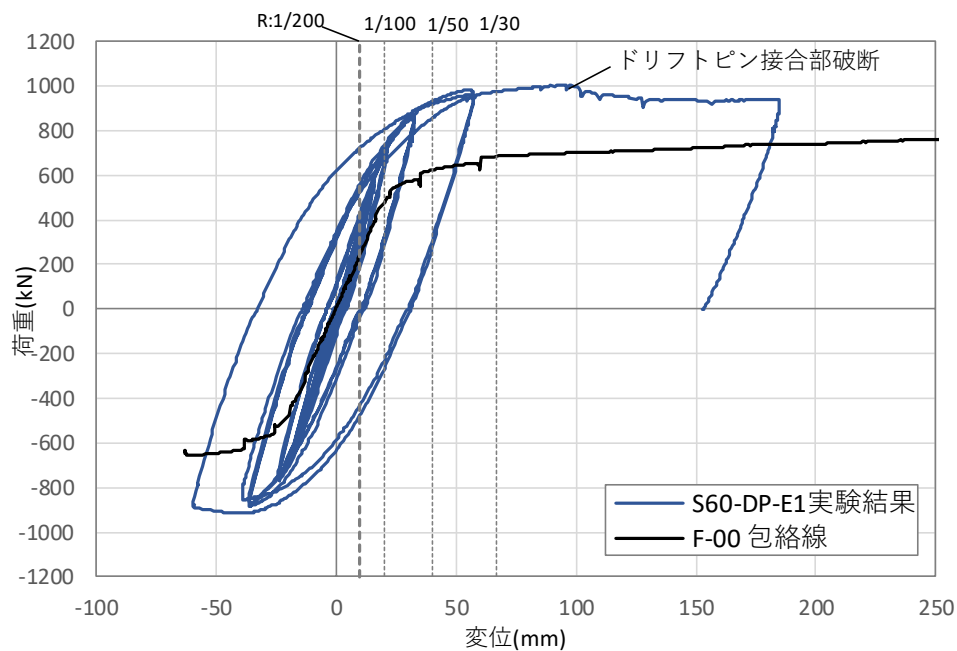
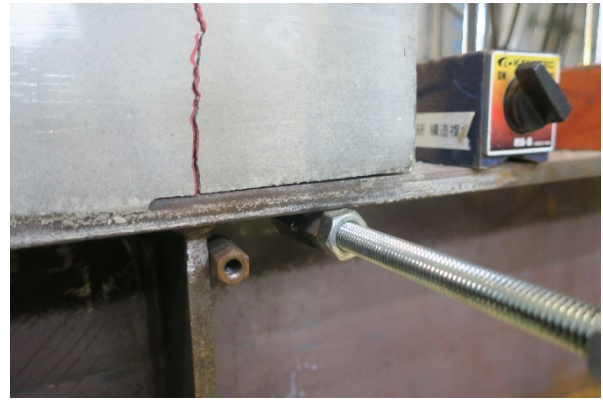


図 3.4.2-4 S60-DP-E1 荷重変形関係



(1) 1/100rad 脚部モルタル割れ



(2) 1/75rad モルタル浮き上がり



(3) 1/30radCLT せん断変形



(4) 1/30rad 負側鉄骨局部座屈・面外変形



(5) 引き壊し中 CLT 集合型引張破壊



(6) 最大変形時 試験体全体

写真 3.4.2-4 S60-DP-E1 損傷状況

(5)各試験体荷重変形関係まとめ

それぞれの試験体の最大荷重(Pmax)と初期剛性を表 3.4.2-1 に示す。初期剛性は Pmax の 0.1 倍、0.4 倍の荷重とその時の変形を結ぶ直線の傾きとする。また、それぞれの試験体の荷重変形関係の包絡線を図 3.4.2-5 に示す。これらの比較より以下のことが明らかになった。

1. CLT を 1 枚挿入することで最大荷重・初期剛性とも 1.5 倍～2 倍近く大きくなり、補強効果が十分にあることが確認できた。
2. CLT の強度等級が S60 と S90 では、わずかに S90 の最大荷重、初期剛性ともに大きくなった。破壊性状や引き壊しまでの挙動に大きな差は見られなかった。
3. CLT を中央に挿入したものと端に挿入したものでは、中央に挿入するほうが正負ともに剛性が高くなったが、最大荷重は端に挿入したほうが高い結果となった。中央に挿入したものは CLT のせん断破壊が進んだ後にドリフトピンの接合部破壊が見られたことに対し、端に挿入したものは CLT の大きな破壊が起こる前に鉄骨フレームが座屈し、そのあとにドリフトピン接合部が破壊した。
4. CLT を端に挿入したとき、正負で初期剛性にさほど大きな差は見られなかった。

表 3.4.2-1 実験結果まとめ

			F-00	S60-DP-C1	S90-DP-C1	S60-DP-E1
正側	Pmax	[kN]	791.3	931.7	950.4	1003.4
	初期剛性	[kN/mm]	24.32	46.08	51.88	37.11
	F-00に対する比			1.895	2.133	1.526
負側	Pmax	[kN]	-664.7	-915.1	-928.9	-915.3
	初期剛性	[kN/mm]	-23.70	-45.15	-54.33	-38.31
	F-00に対する比			1.905	2.292	1.616

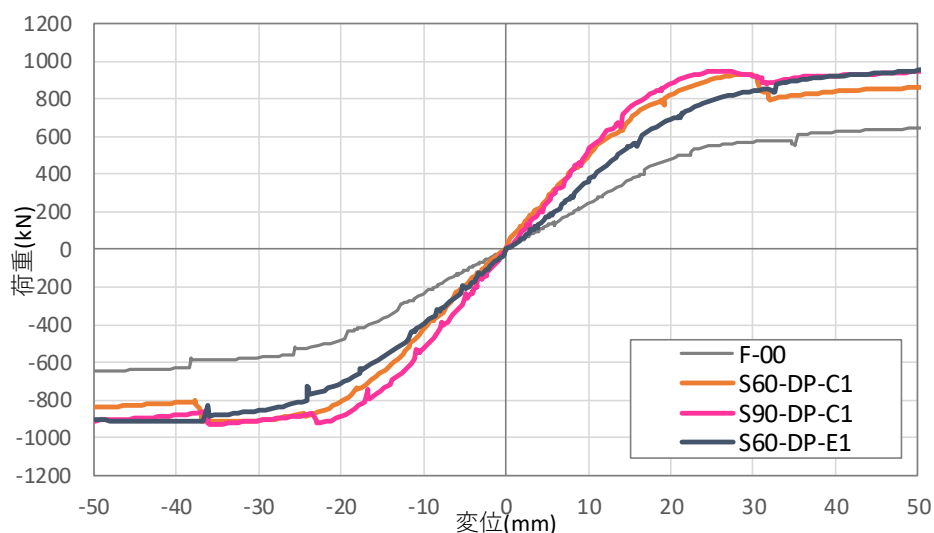


図 3.4.2-5 各試験体荷重変形関係包絡線

3.4.3 CLT の負担荷重と柱の負担荷重

CLT を挿入することによる補強効果を確認するため、それぞれの試験体について CLT ・ 柱の負担荷重を柱のひずみゲージより求めた。また、CLT の平均せん断応力と CLT のせん断変形角関係を求めた。

(1) S60-DP-C1

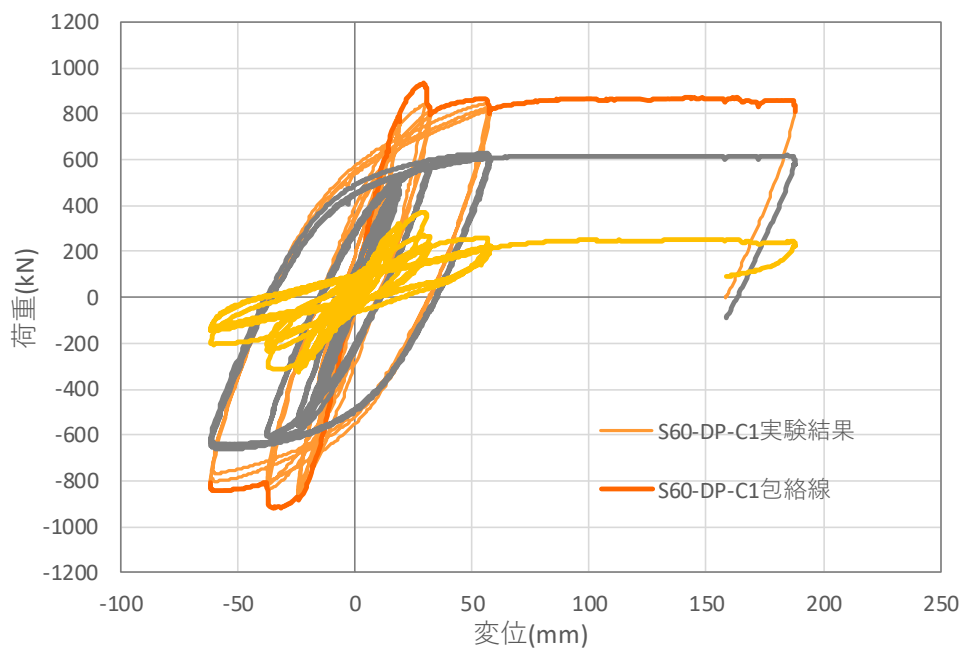


図 3.4.3-1 S60-DP-C1 柱 CLT 負担荷重変位関係

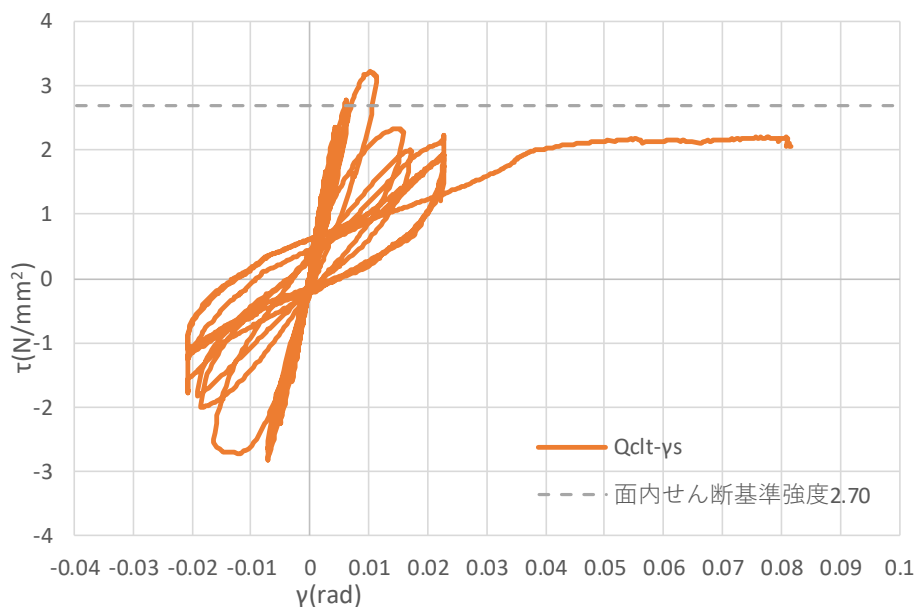


図 3.4.3-2 CLT 負担応力せん断変形角関係

(2) S90-DP-C1

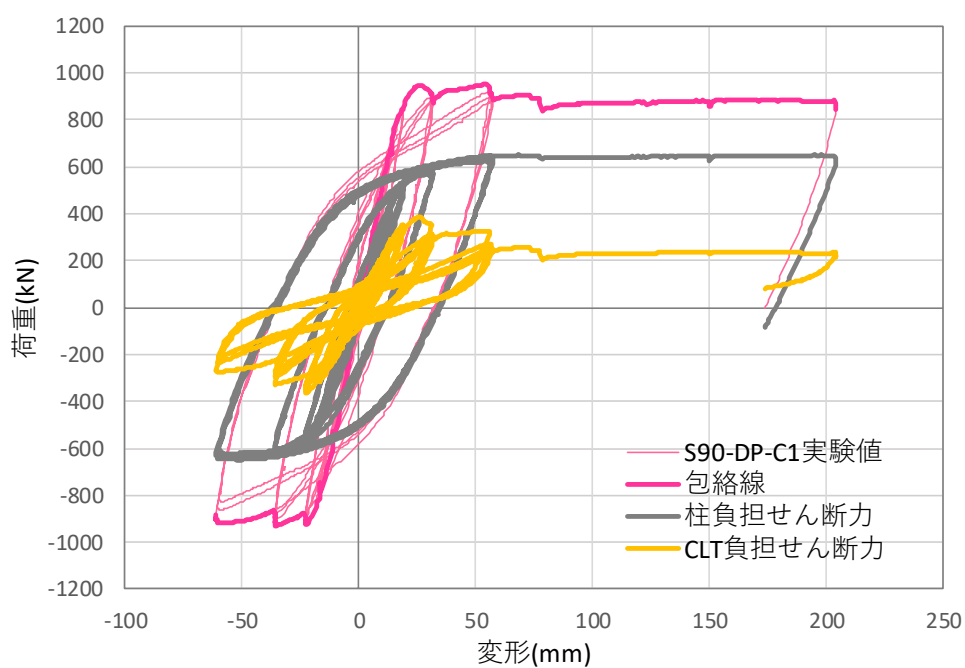


図 3.4.3-3 S90-DP-C1 柱 CLT 負担荷重変位関係

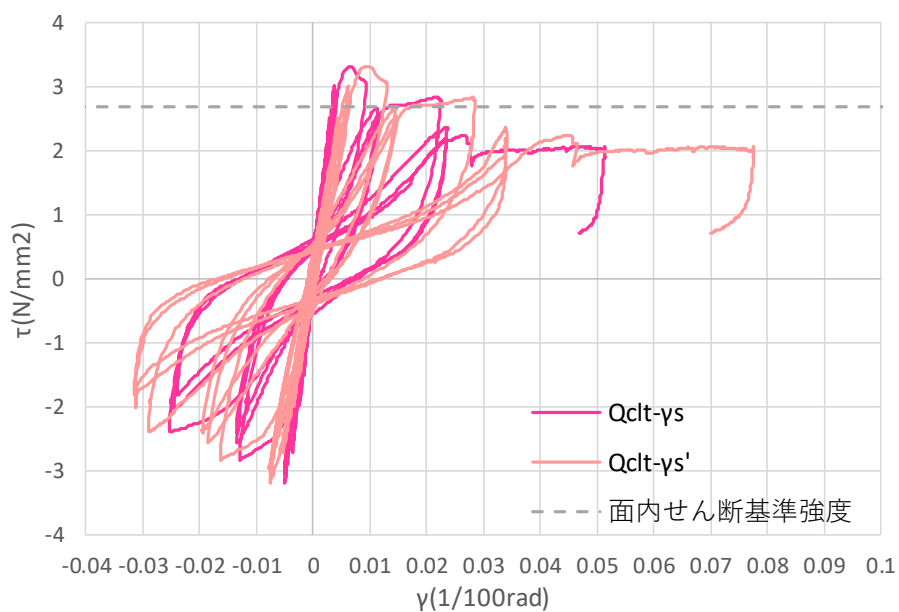


図 3.4.3-4 CLT 負担応力せん断変形角関係

$\gamma s'$ については 3.4.1 データ処理の方針(4)を参照。

(3) S60-DP-E1

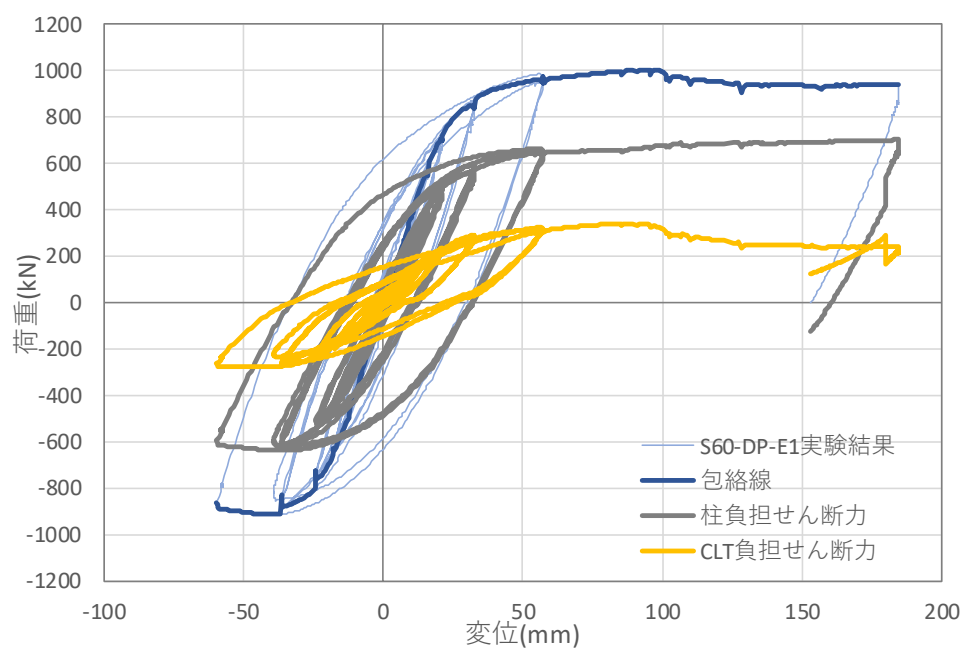


図 3.4.3-5 S60-DP-E1 柱 CLT 負担荷重変位関係

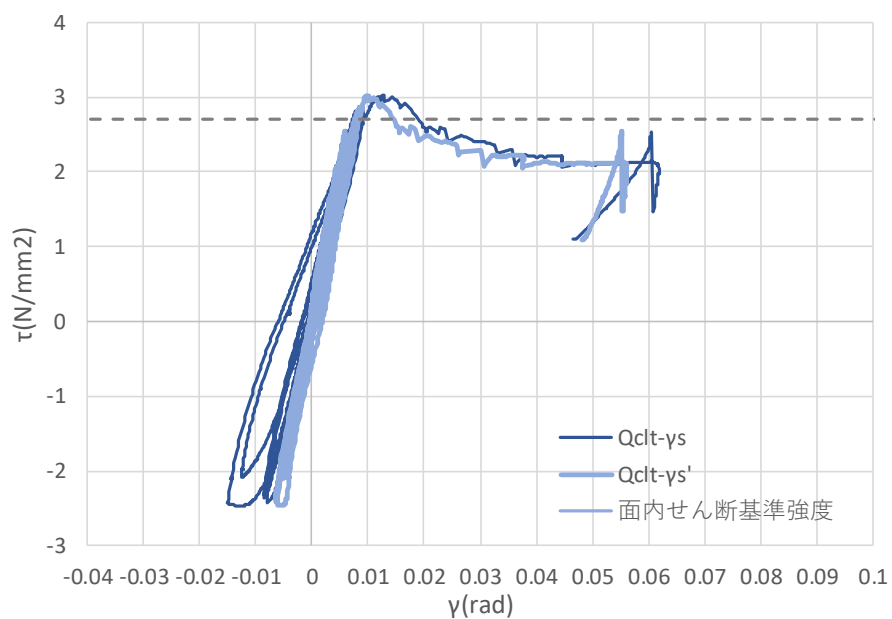


図 3.4.3-6 CLT 負担応力せん断変形角関係

(4) CLT せん断応力まとめ

図 3.4.3-7 に各試験体の CLT せん断応力せん断変形角関係を包絡線で示す。ただし、図中のせん断弾性係数は第 2 章で報告した CLT のせん断実験の結果より得た数値である。これらの結果から以下のことが明らかになった。

1. 全ての試験体で、CLT の面内せん断基準強度 2.70 N/mm^2 以上の耐力が得られた。
2. CLT を中央に配置した試験体では CLT のせん断変形角が 0.01rad 付近のときせん断破壊が生じ、応力低下が見られた。
3. CLT の強度等級が S60 のものと S90 のものでは、S90 の方が剛性が高いことが確認でき、それぞれせん断弾性係数と同程度となった。
4. CLT を端に配置した試験体ではせん断破壊が如実ではなかったため大きな応力低下は見られなかった。

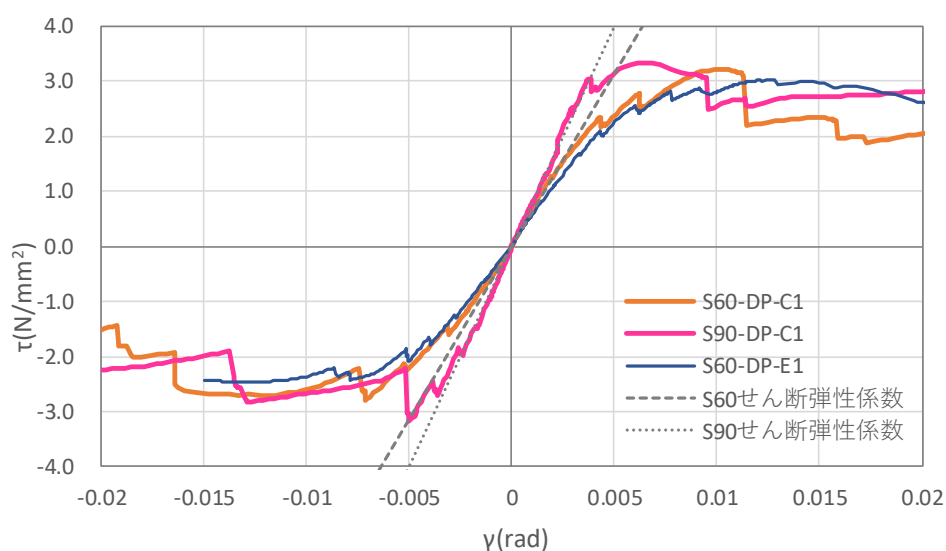


図 3.4.3-7 CLT せん断応力—せん断変形角包絡線

3.4.4 各接合部のすべり変形

それぞれの試験体について、水平方向・鉛直方向の CLT パネルと鉄骨梁のドリフトピン接合部の相対変位を図 3.4.4-2～4 に示す。

測定位置の拡大図を図 3.4.4-1 に示す。

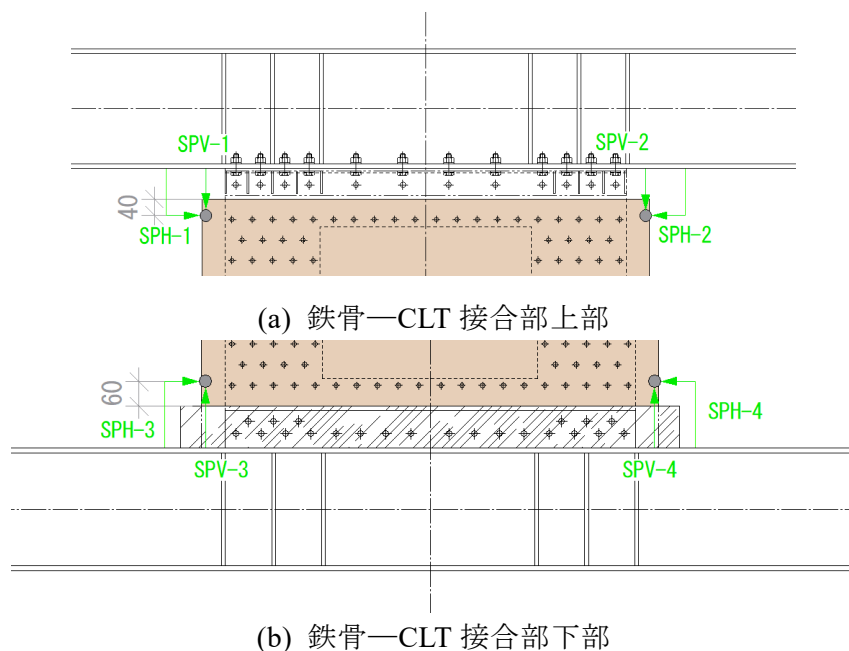
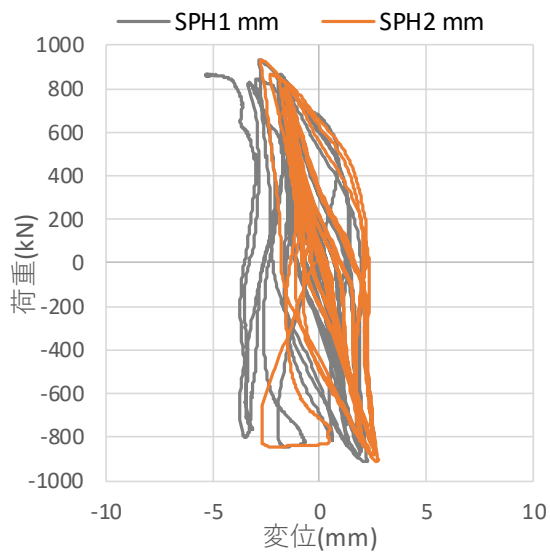
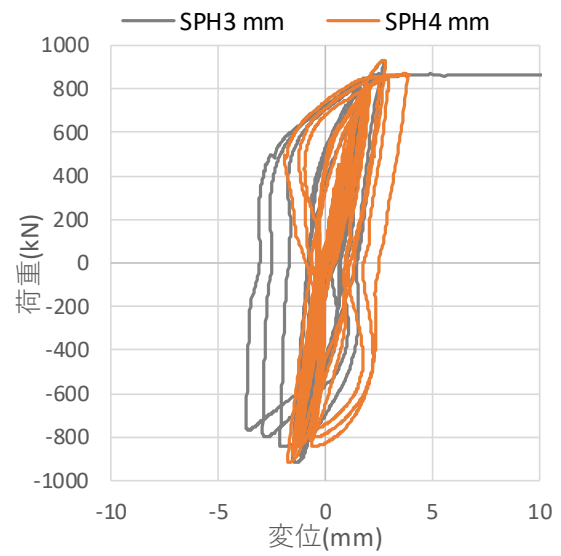


図 3.4.4-1 計測位置拡大図

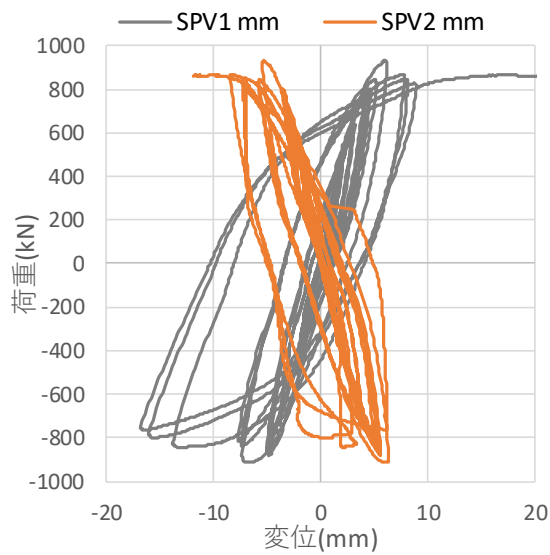
(1) S60-DP-C1



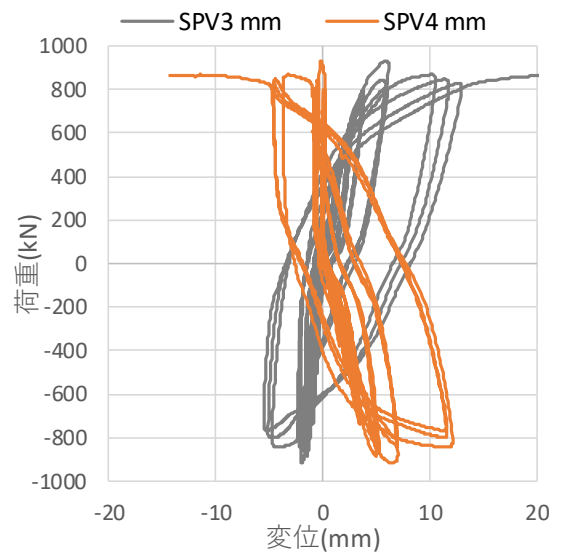
(a) 水平変位上部



(b) 水平変位下部



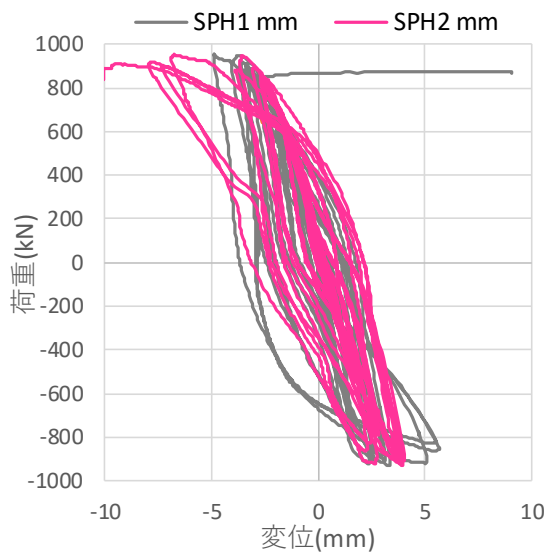
(c) 鉛直変位上部



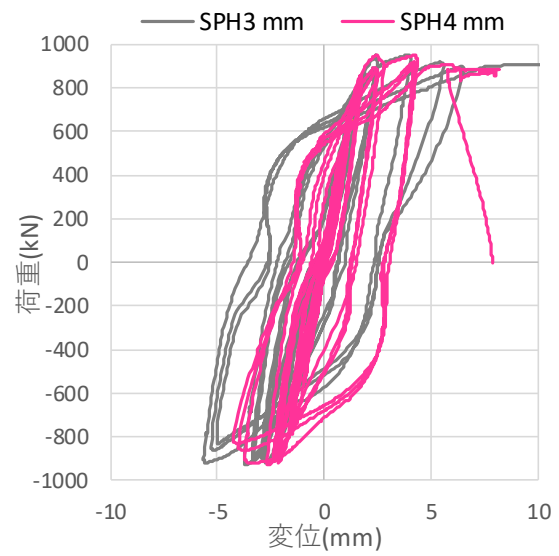
(d) 鉛直変位下部

図 3.4.4-2(a)~(d) S60-DP-C1 接合部すべり変形

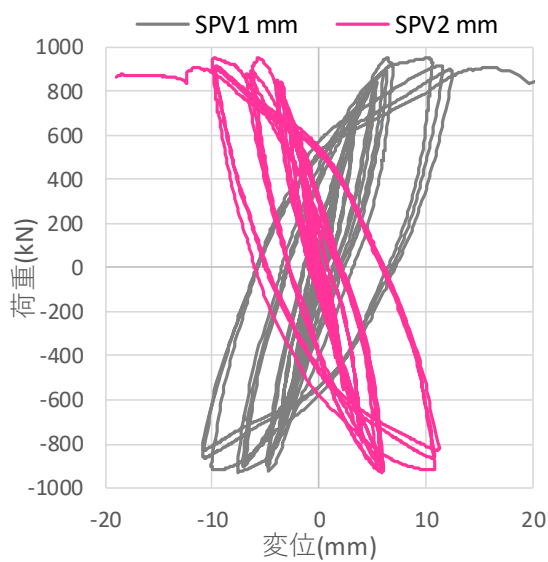
(2) S90-DP-C1



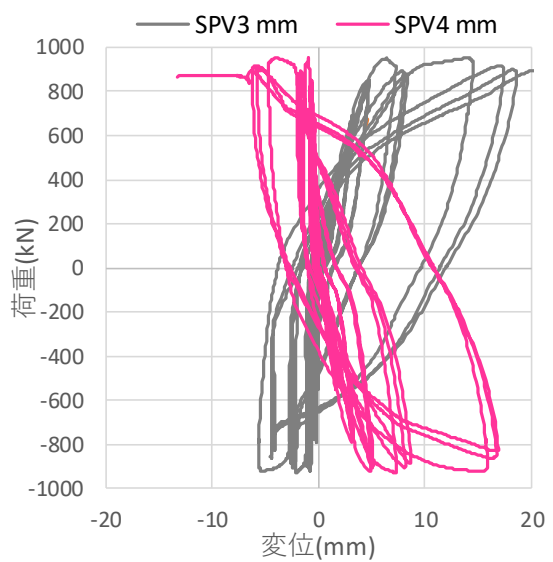
(a) 水平変位上部



(b) 水平変位下部



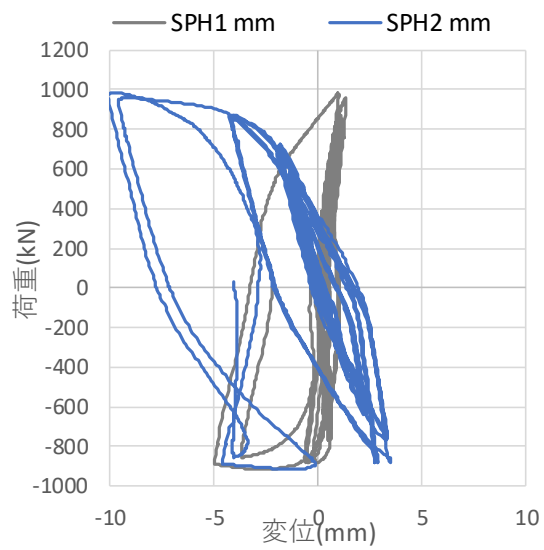
(c) 鉛直変位上部



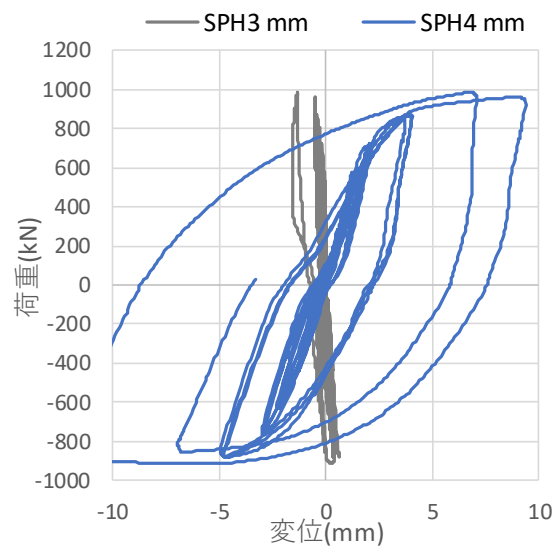
(d) 鉛直変位下部

図 3.4.4-3(a)~(d) S90-DP-C1 接合部すべり変形

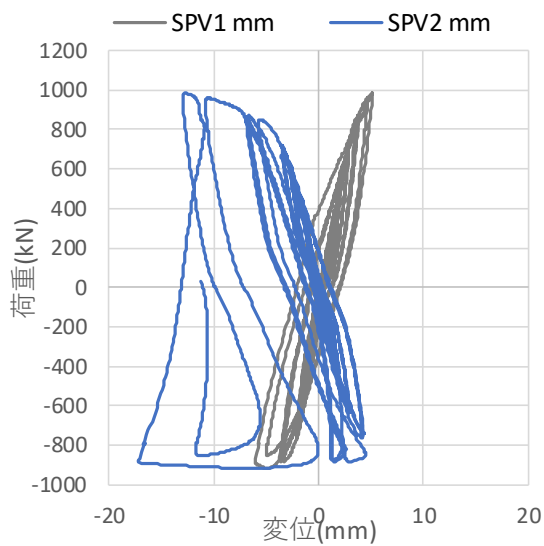
(3) S60-DP-E1



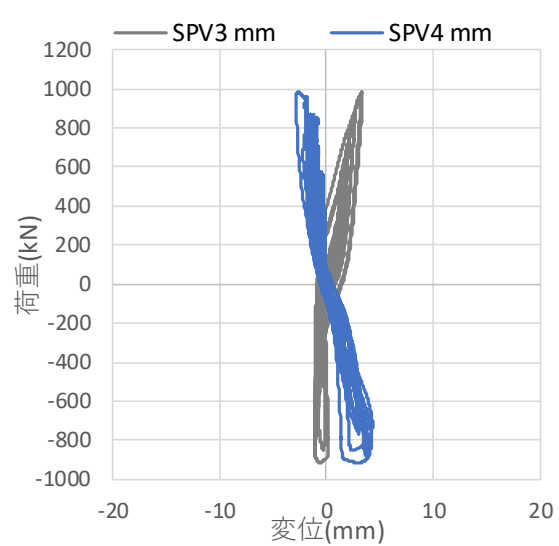
(a) 水平変位上部



(b) 水平変位下部



(c) 鉛直変位上部



(d) 鉛直変位下部

図 3.4.4-4(a)~(d) S60-DP-E1 接合部すべり変形

3.4.5 主な応力図

ここでは各試験体について制御変形角が 1/200、1/100、1/50rad 時と最大荷重時の曲げモーメント図を示す。それぞれの曲げモーメント図は鉄骨梁・柱ひずみゲージ、CLT パネルひずみゲージより計算した。

(1) F-00

凡例を図 3.4.5-1 に示す。それぞれの計測位置での曲げモーメントを算出し、直線でつないだ。梁についてはパネルゾーン付近まで直線を延長した。また、梁・柱の曲げ耐力 M_u を超えてる場合はその値を()で示し、その計測位置の曲げモーメントを M_u (梁：237.4kNm、柱：472.5kNm) とした。 M_u の算出にはフレーム用鋼材引張試験で得られたウェブの降伏点の値を用いた。

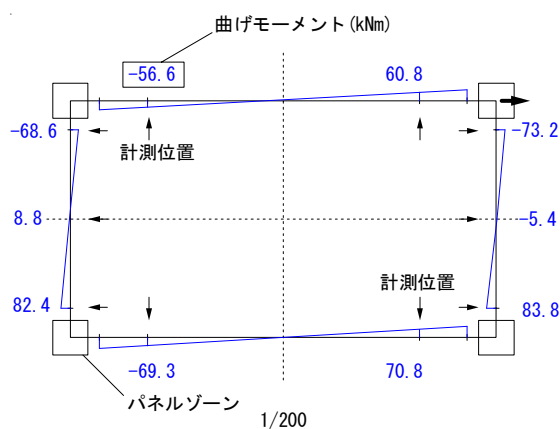
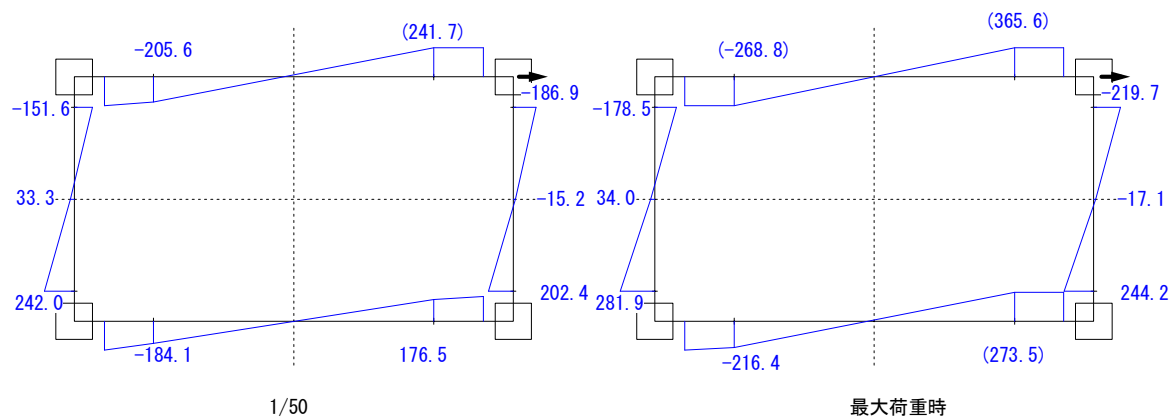
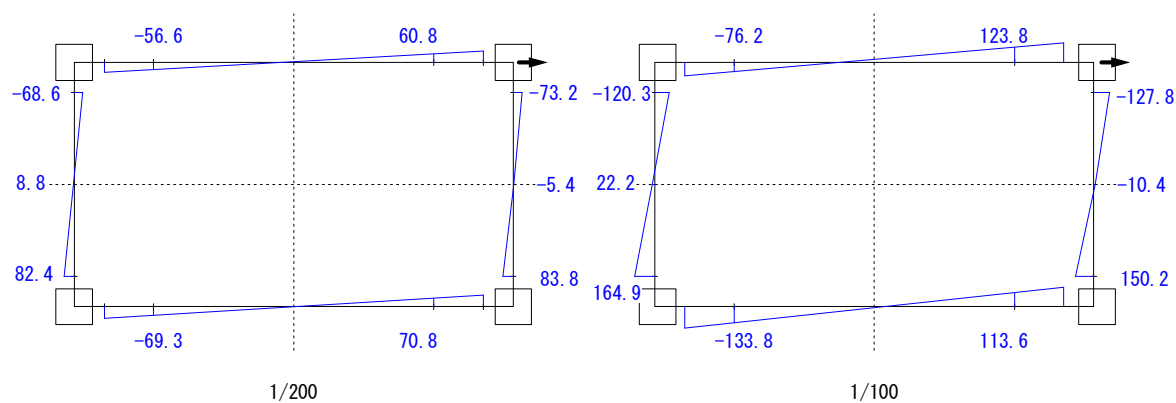


図 3.4.5-1 F-00 凡例

正（引き）



負（押し）

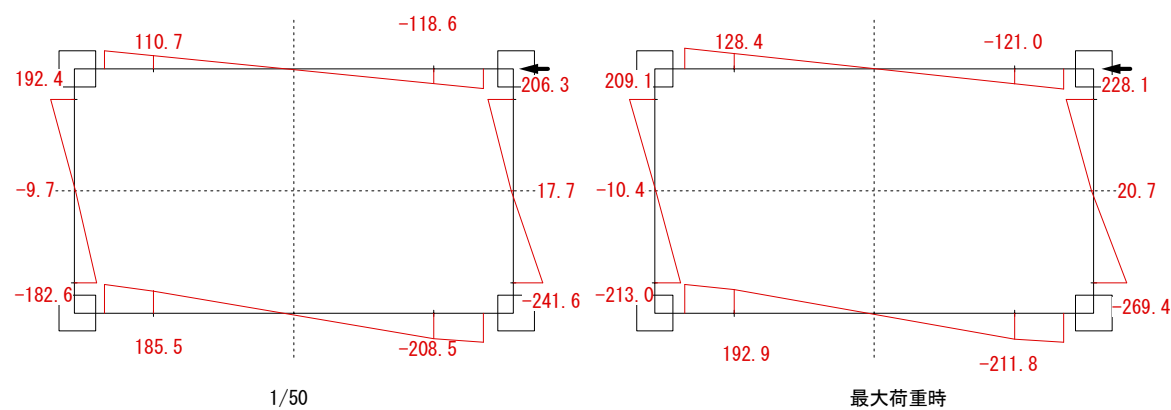
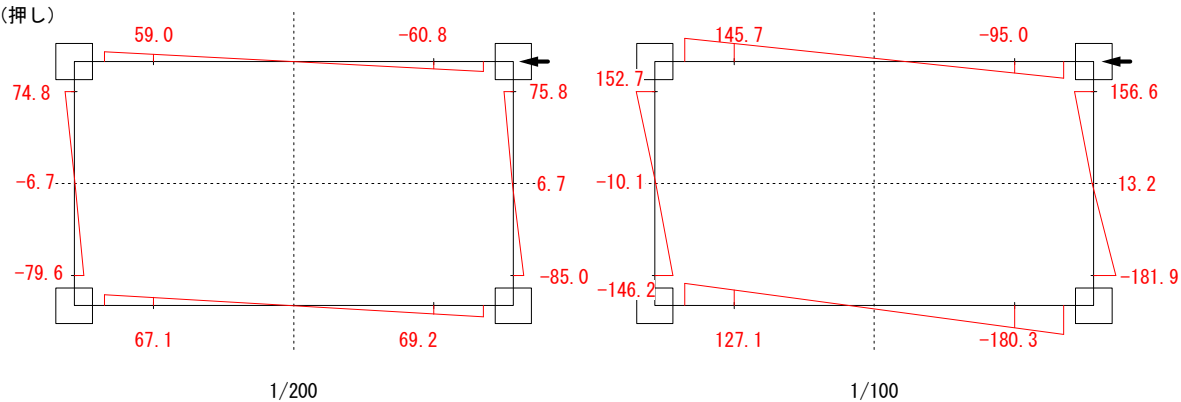


図 3.4.5-2 F-00 モーメント図

(2) S60-DP-C1

凡例を図 3.4.5-3 に示す。柱の曲げモーメント算出方法は F-00 と同様である。梁のモーメントは、CLT パネルを挿入した位置の上下で計測したせん断歪よりせん断力を求め、曲げモーメントの傾きとした。それ以外の計測位置で計測したモーメントをプロットし、直線で結び、梁中央の直線と交わるまで延長した。F-00 と同様に、梁の M_u を超えた場合はその値を()で示し、その位置のモーメントを M_u とした。

せん断歪よりせん断力を求める方法は、まず CLT パネルの上下に設置した 3 軸ゲージのひずみをせん断歪に換算し、さらに鉄骨のせん断弾性係数 $G=79,000\text{N/mm}^2$ をかけてせん断応力とする。3 軸ゲージは梁ウェブの中央に設置しており、H 形鋼のせん断応力度分布の最大値となる。H 形鋼の最大せん断応力は次の式であらわされるので、せん断力 Q を得る。

$$\tau_{max} = \frac{Q}{t_w I_z} \left\{ \frac{1}{2} b t_f (h - t_w) + \frac{t_w h_1^2}{8} \right\}$$

ここで、 I_z : 梁断面 2 次モーメント

h : 梁せい

b : 梁幅

t_w : ウェブ厚さ

t_f : フランジ厚さ

$h_1=h-2t_f$ とする。

CLT パネルの曲げモーメントは、パネルに設置した鉛直方向のひずみゲージの値よりその高さのモーメントを算出し、直線で結んだ。CLT のひずみゲージよりモーメントを算出する方法を以下に示す。

それぞれのゲージの値より圧縮引張応力 σ を算出する。

$$\sigma = E\varepsilon$$

ここで、 E :CLT ヤング係数 (S60 のとき 3600 N/mm^2)

それぞれの位置でプロットした圧縮引張応力 σ の近似直線より中立軸位置を求め、次の式でその高さのモーメントを得る。補足資料を図 3.4.5-4 に示す。

$$M = \sum |\sigma_n \cdot j_n \cdot d \cdot t|$$

ここで、

j_n :中立軸位置からの距離

d :ひずみゲージ間隔 (=180mm)

t :CLT 厚さ (=105mm)

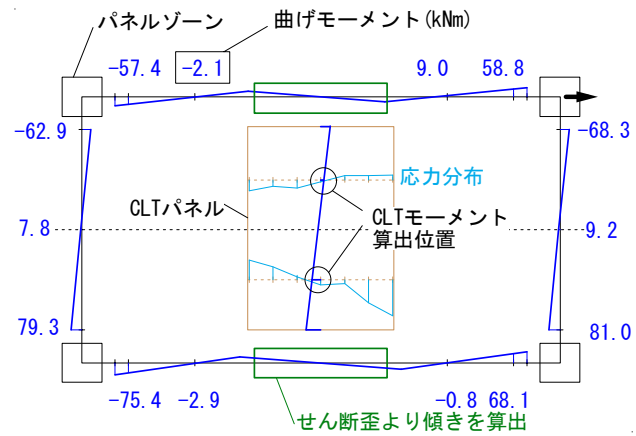


図 3.4.5-3 S60-DP-C1 凡例

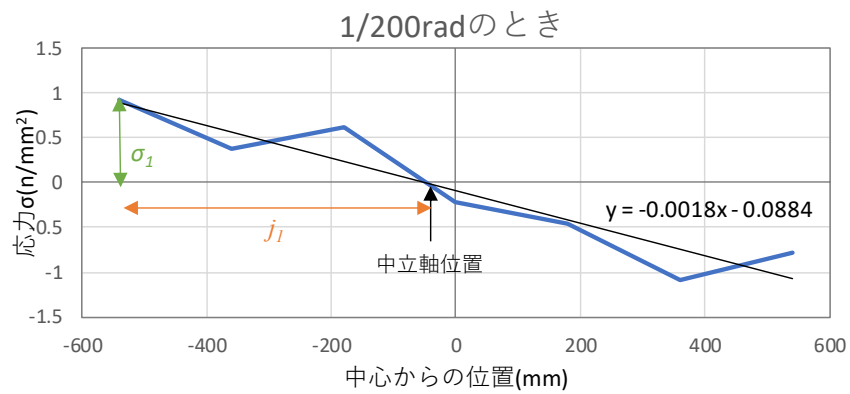
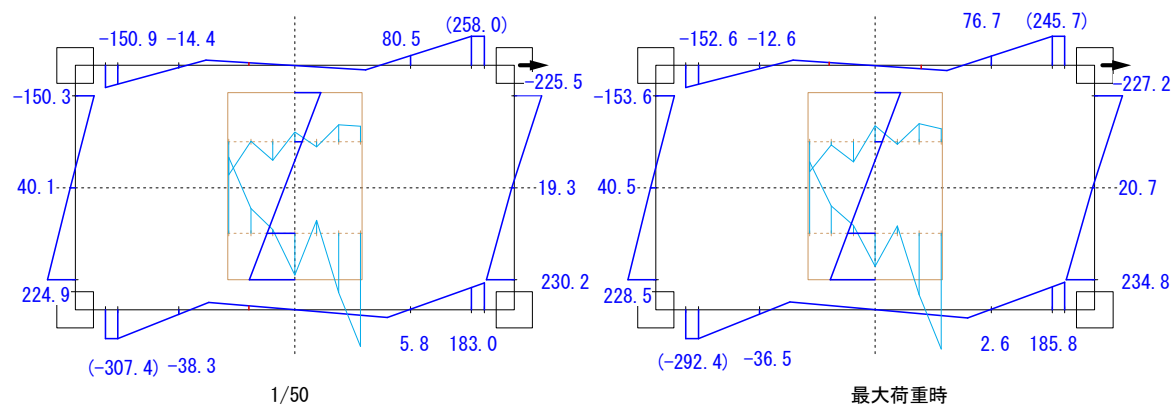
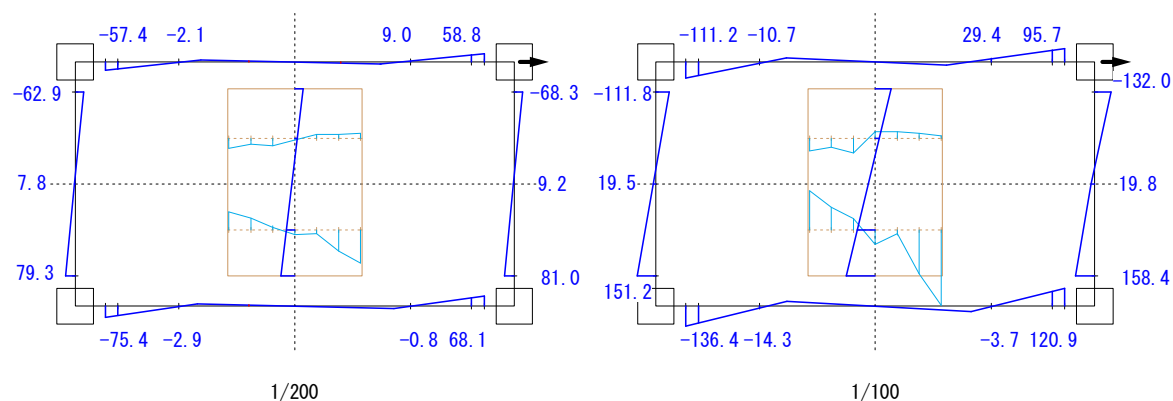


図 3.4.5-4 CLT パネルモーメント算出方法補足資料

正 (引き)



負 (押し)

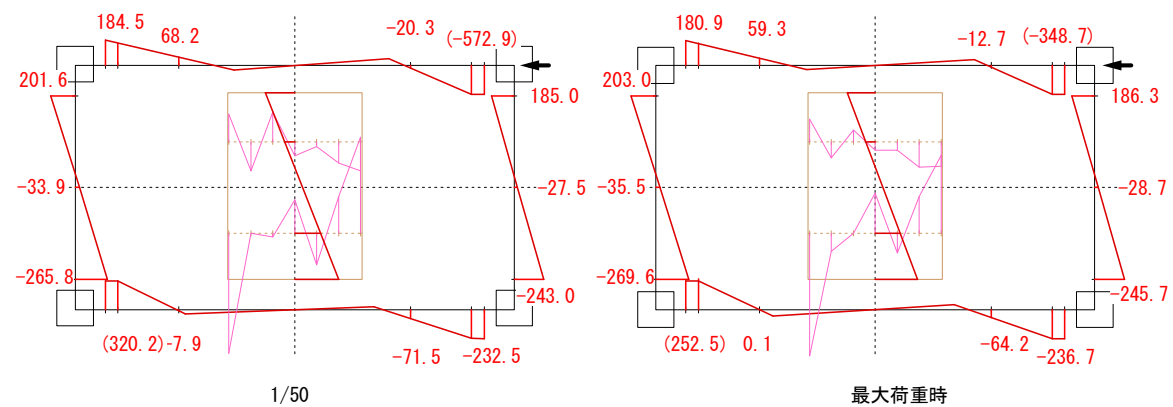
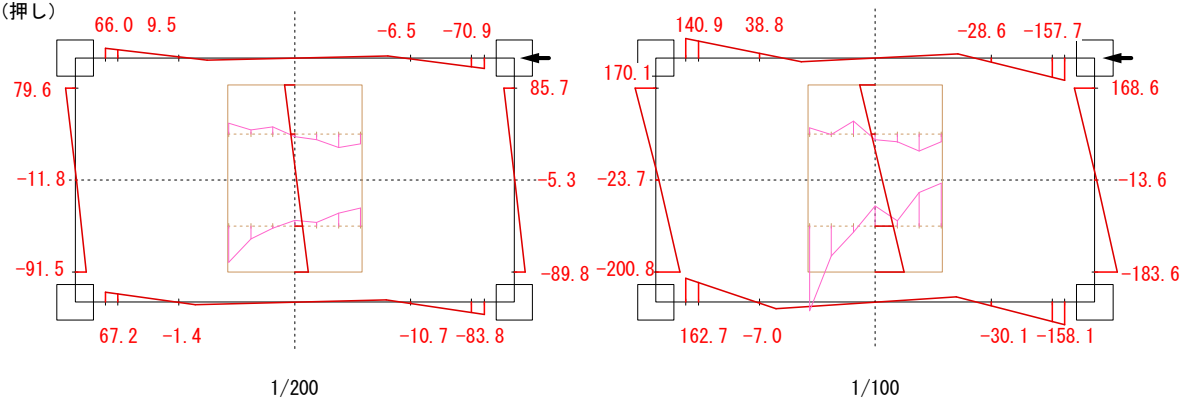
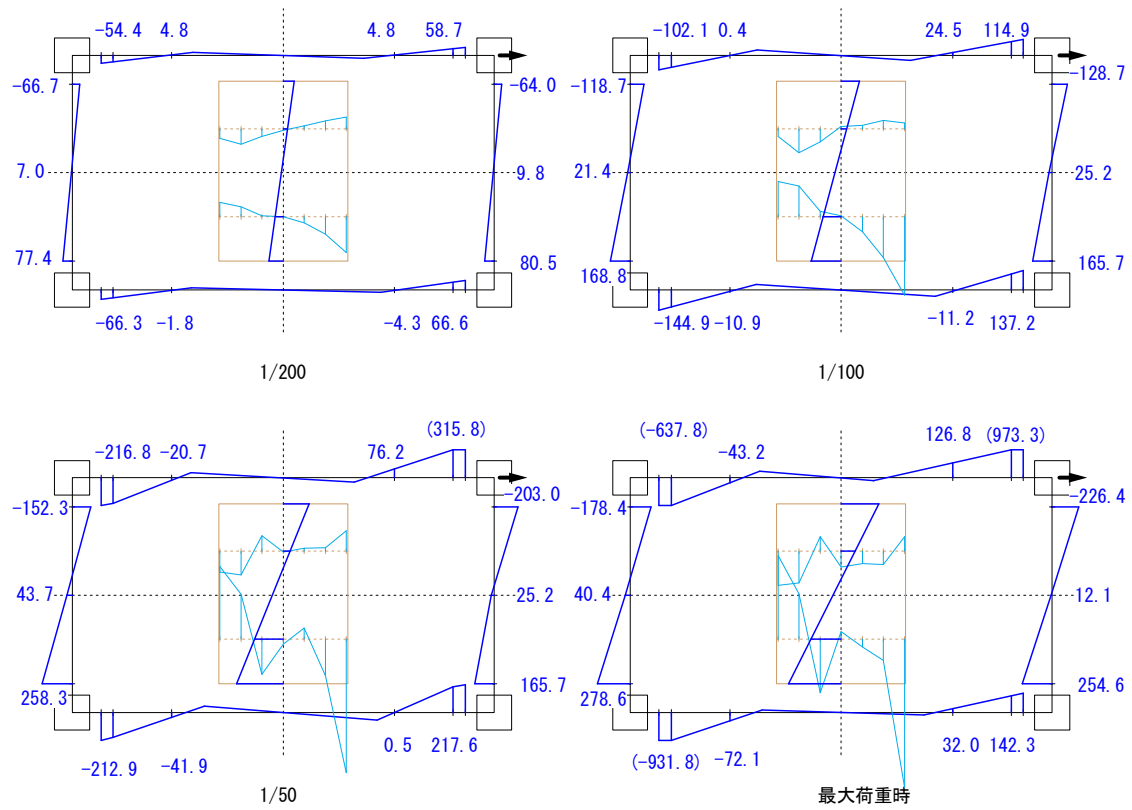


図 3.4.5-5 S60-DP-C1 モーメント図

(3) S90-DP-C1

凡例は S60-DP-C1 と同様のため省略する。

正 (引き)



負 (押し)

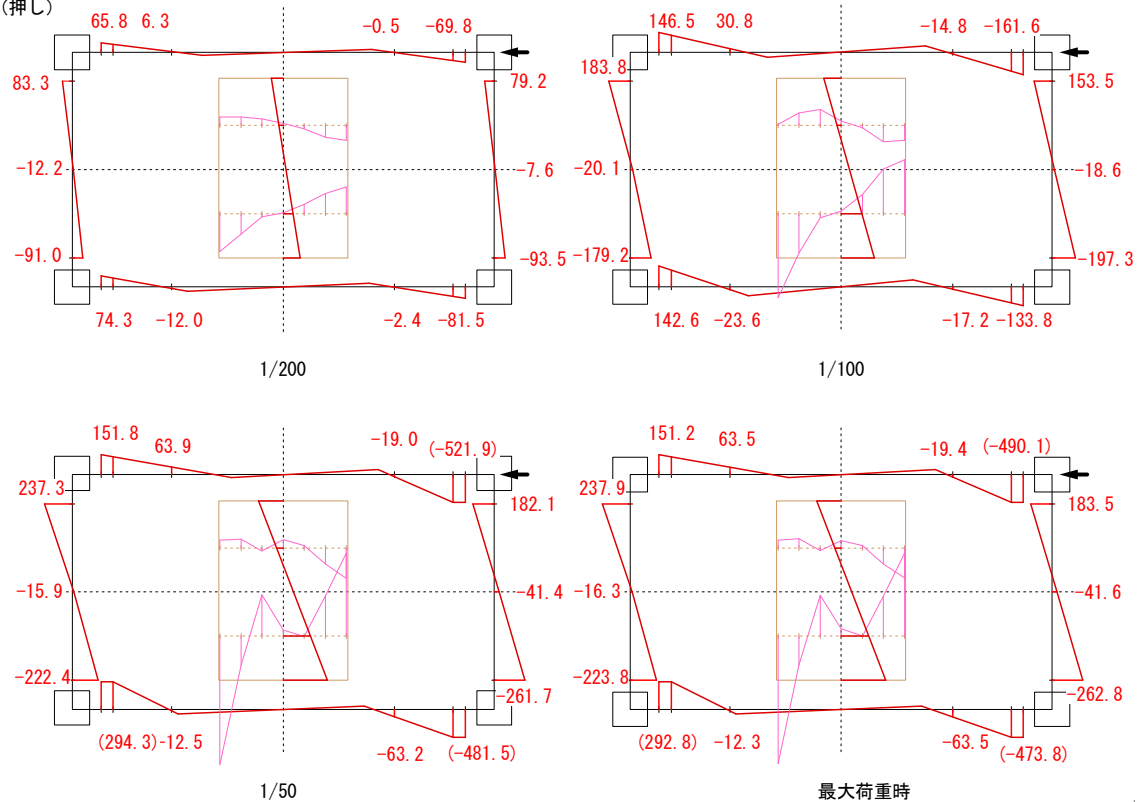


図 3.4.5-6 S90-DP-C1 モーメント図

(4) S60-DP-E1

凡例を図 3.4.5-7 に示す。柱の曲げモーメント算出方法は F-00 と同様である。梁のモーメントは、ひずみゲージから計測したモーメントをプロットし、CLT パネル上下の梁端のモーメントは柱端のモーメントと同じ値として、梁と平行な直線で結び、梁中央の直線と交わるまで延長した。CLT パネルの上下で計測したせん断歪から求めたせん断力がモーメントに対して微小だったため CLT パネルがある部分の梁のモーメントは梁と平行な直線とした。また、F-00 と同様に、梁の M_u を超えた場合はその値を()で示し、その位置のモーメントを M_u とした。

CLT パネルのモーメントは S60-DP-C1 と同様である。

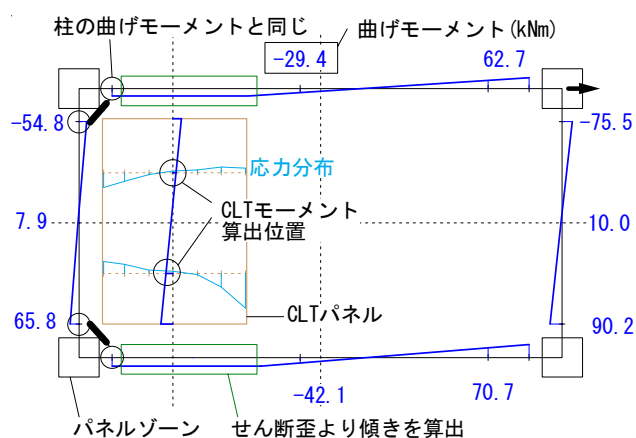
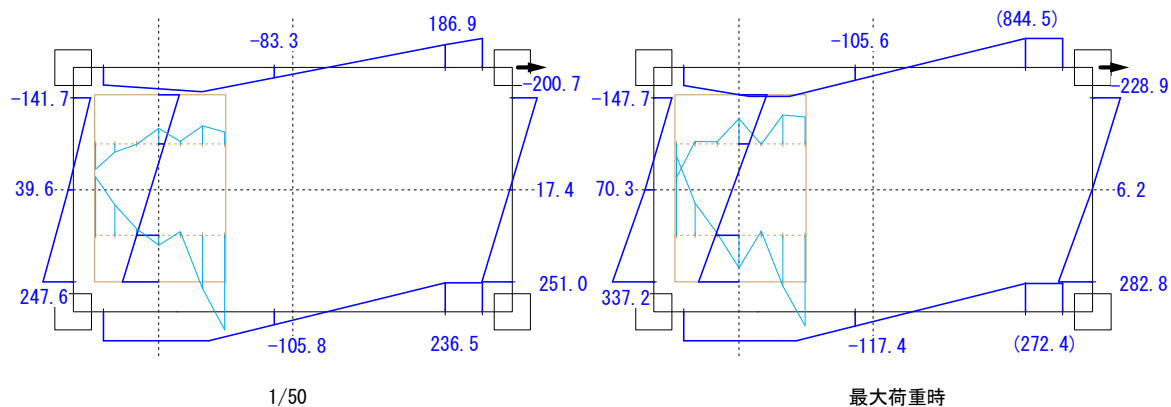
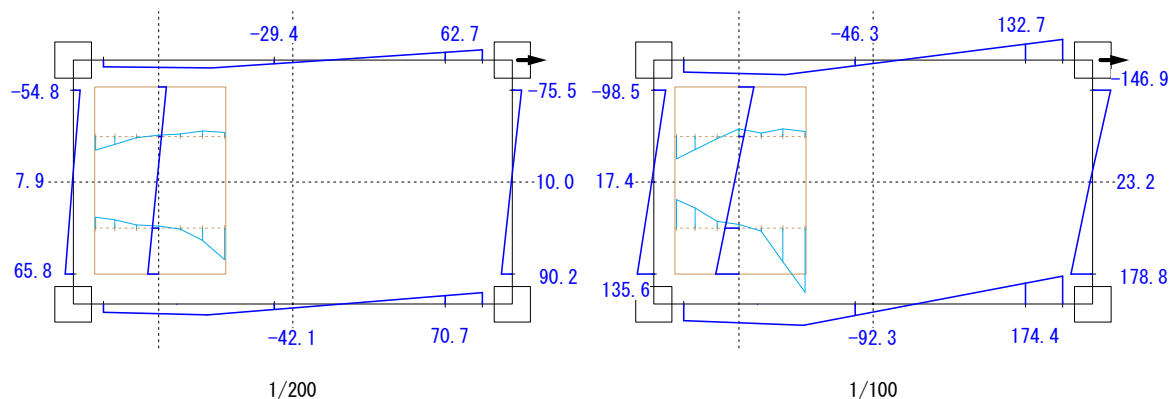


図 3.4.5-7 S60-DP-E1 凡例

正 (引き)



負 (押し)

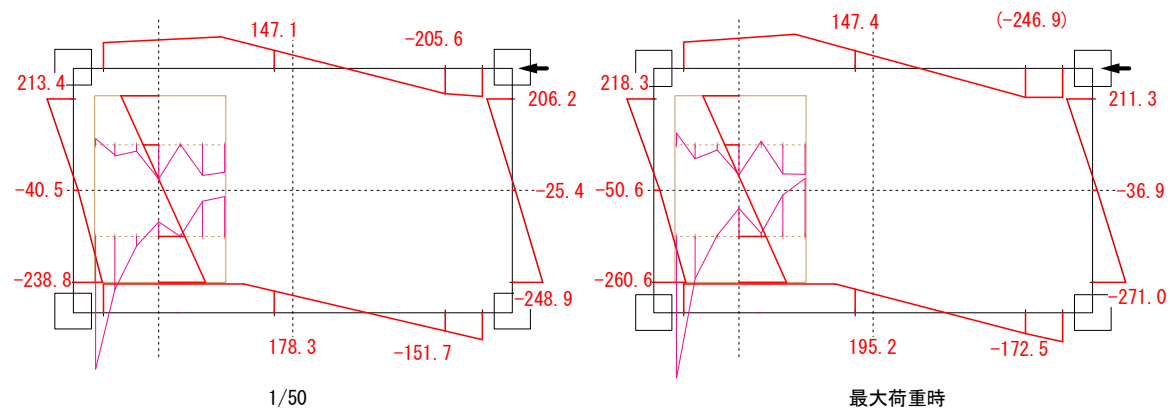
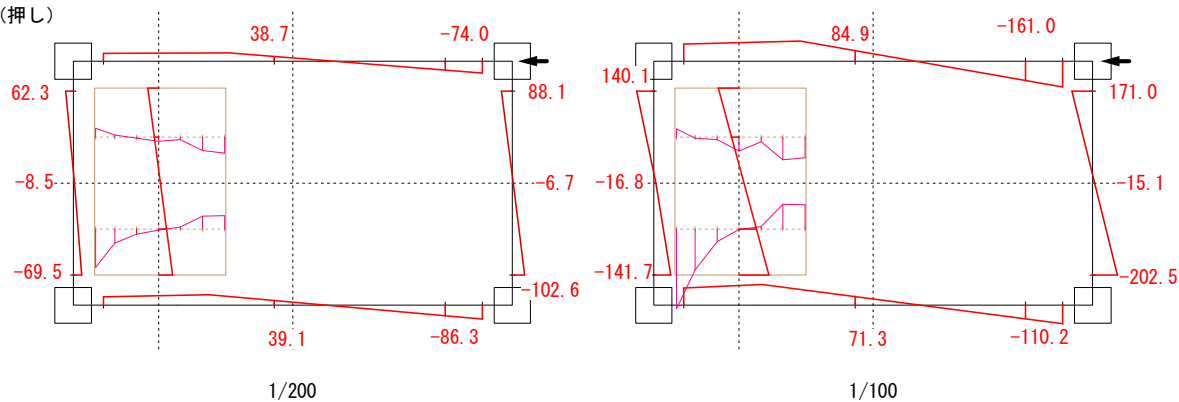


図 3.4.5-8 S60-DP-E1 モーメント図

3.4.6 構面実験まとめ

構面実験について、試験結果を荷重変形関係、CLT の平均せん断応力—せん断変形角関係、応力図などの方法で詳細に挙動把握を行った。

- ・ 構面実験では CLT を鉄骨フレームに 1 枚挿入すると、最大荷重は 1.2～1.4 倍、初期剛性は 1.5 倍～2 倍近く大きくなることが明らかとなり、補強効果が十分にあることが確認できた。
- ・ CLT の平均せん断応力は面内せん断基準強度の 2.7N/mm^2 以上で CLT の破壊が起こっており、CLT の持つせん断能力を最大限発揮していることが分かった。
- ・ 鉄骨柱と CLT 壁のせん断力負担割合は、鉄骨フレームの中央に CLT を挿入する試験体では 1/3 程度であり、鉄骨フレームの端に CLT を挿入する試験体では 1/4 程度であった。
- ・ CLT の挿入位置によって鉄骨フレームのモーメント図も大きく異なり、破壊性状にも違いがあることが確認できた。

第4章 設計法の検討

4.1 事後解析－実験結果との比較

4.1.1 事後解析概要

第3章の事前解析の構面モデルと同様、有限要素法を用いて第4章の材料実験の結果を反映させた事後解析によって、実験結果との整合性を確認する。図4.1.1-1に解析モデルを示す。事後解析で更新した項目は以下の通りである。

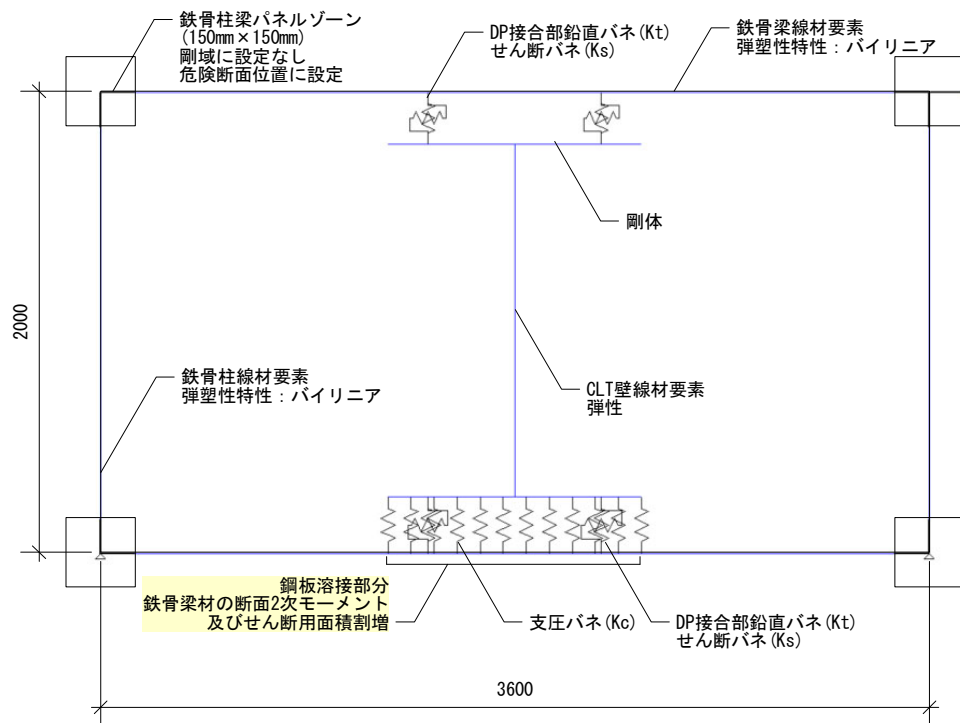


図 4.1.1-1 解析モデル

(1) CLT 材料特性

CLT のヤング係数 E_w とせん断弾性係数 G_w は材料実験の結果より次のように定めた。なお、材料実験では変位計とひずみゲージにて測定しているが、ひずみゲージの値は局部的だと判断したため変位計で測定した値を用いた。

S60 : $E_w=6004.7 \text{ N/mm}^2$, $G_w=626.9 \text{ N/mm}^2$

S90 : $E_w=5918.9 \text{ N/mm}^2$, $G_w=798.0 \text{ N/mm}^2$

(2) 鉄骨梁・柱鋼材強度

鋼材の引張実験より降伏点を定め、以下事前解析と同様に曲げ耐力 M_u を算出しバイリニアでモデル化した。降伏後の剛性低下率は 0.001 である。表 4.1.1-2 に鉄骨梁・柱特性を示す。

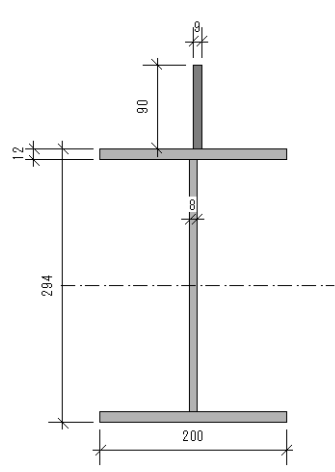
また、実験では CLT を挿入する位置に鋼板が溶接されており、鋼板が溶接されたこと

による断面 2 次モーメントやせん断用断面積の寄与が大きいため、該当部分の断面 2 次モーメントとせん断用面積を割増した。表 4.1.1-3 に鋼板溶接による影響を整理する。また、実験結果と剛性を合わせるため、柱梁の剛域の設定をしないこととした。

表 4.1.1-2 事後解析鉄骨梁・柱特性

鉄骨許容応力	鋼材	降伏点	曲げ許容 応力度	せん断許 容応力度	H	B	t1	t2	断面積	せん断用 断面積	断面二次 モーメント	断面係数	塑性断面 係数	Mu	Qu
		F	Fb	Fs					A	As	Ix	Zx	Zpx	=Fb*Zpx	=Fs*As
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm ³	kNm	kN
梁	SN400B	282	282	162.8	294	200	8	12	71.05	21.6	11100	756	842	237.4	351.7
柱	SN490B	350	350	202.1	300	300	10	15	118.5	27	20200	1350	1480	472.5	545.6

表 4.1.1-3 鋼板溶接による梁の断面 2 次モーメントとせん断用面積への割増

I_{px} : 鋼板の断面 2 次モーメント I_{bx} : 梁の断面 2 次モーメント A_p : 鋼板断面積 X : 梁図心 X' : 鋼板図心 溶接された鋼板の X 軸に関する断面 2 次モーメントは、 $I_{px} + A_p \times (X' - X)^2$ であるので $I_{px} = 55 + 4743 = 4,798(\text{cm}^4)$ $I_x = 10860 + 4798 = 15,658(\text{cm}^4)$ I_{bx} の 1.441 倍	 梁と鋼板断面図
せん断用面積 A_s は梁ウェブの面積 A_w と L 型治具の高さ方向の面積 A_L の和とする。 $A_w = 270 \times 8 = 2160(\text{mm}^2)$ $A_p = 90 \times 9 = 810(\text{mm}^2)$ $A_s = 2160 + 810 = 2970(\text{mm}^2)$ A_w の 1.375 倍	

(3) ドリフトピンバネ要素特性

ドリフトピン接合部のバネ要素の特性を図 4.1.1-2、図 4.1.1-3 に示す。第 2 章 要素実験の接合部全体実験の結果を用いて事前解析と同様トリリニアでモデル化した。図中の F_c は実験結果の降伏値を、 F_y は最大値を用いた。

S60

本数	実験値
F _c	311.430
d(F _c)	2.610
K	119.322
F _y	418.880
d(F _y)	10.250
K'	14.064
α	0.118
β	0.001

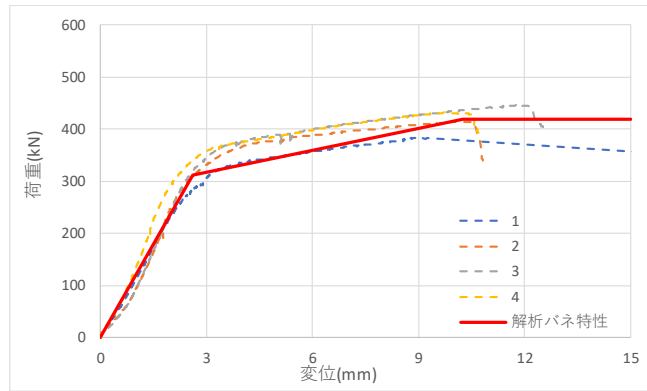


図 4.1.1-2 S60 ドリフトピン特性

S90

本数	実験値
F _c	355.770
d(F _c)	3.060
K	116.265
F _y	468.220
d(F _y)	17.550
K'	7.761
α	0.067
β	0.001

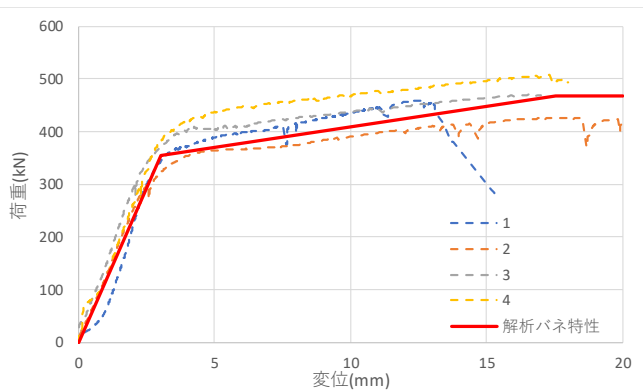


図 4.1.1-3 S90 ドリフトピン特性

(4) CLT 支圧バネ特性

支圧バネは事前解析と同様バイリニアとし、剛性T_cと降伏耐力F_cは以下のように求める。

$$T_c = \frac{E_c \times 1.1 \times t \times d}{h}$$

$$F_c = F_b \times t \times d$$

ここで、材料実験の結果を用いて、

E_c :CLT ヤング係数 S60 のとき 6004.7N/mm², S90 のとき 5918.9N/mm²

t :CLT 厚さ 105mm

d :バネ間隔 100mm

h :CLT 高さ 1531mm

F_b :CLT 引張強度 S60 のとき 18.19 N/mm², S90 のとき 17.83 N/mm²

CLT の部分圧縮実験では、全面圧縮に比べてヤング係数が大きくなる傾向にあることが報告されており⁵⁾、E_cを1.1倍とした。

4.1.2 事後解析結果

各試験体について、事後解析の結果を事前解析結果・実験結果と比較して示す。

実験モーメント図の凡例を図 4.1.2-1 に示す。実験結果の応力図より、鉄骨柱・梁については解析モデルの危険断面位置でのモーメントを求めた。また、CLT のせん断力・鉄骨のせん断力は、鉄骨のひずみゲージから求めたせん断力を示した。さらに CLT については CLT のひずみゲージより求めたせん断力を [] 内に示した。それぞれの試験体において、構面に作用する荷重が実験値と等しい時を比較対象とした。

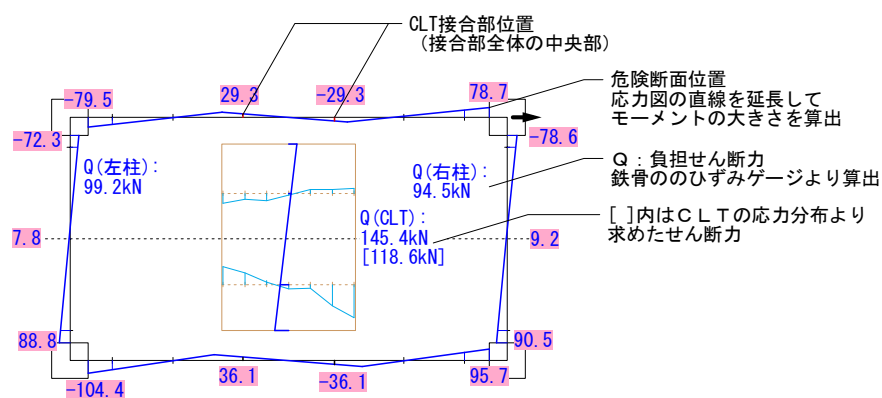
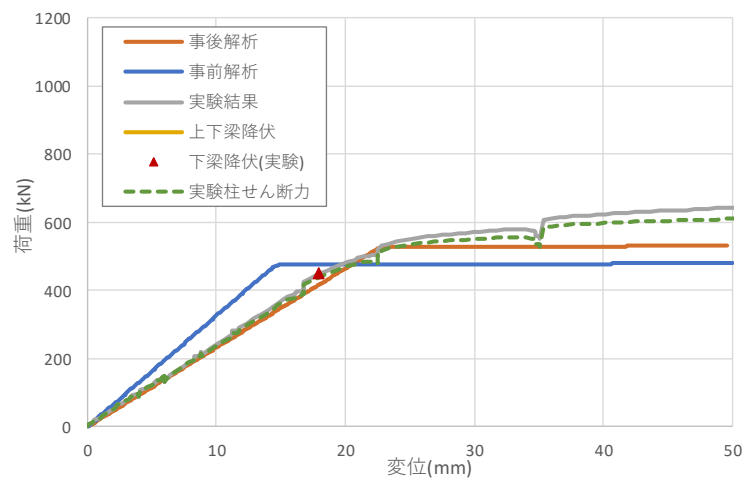


図 4.1.2-1 実験モーメント図凡例

・ F-00



制御変形角	実験モーメント図	解析モーメント図
1/200 (217.5kN)	Moment diagram for the 1/200 scale (217.5kN). The diagram shows moments at the corners of the frame. The maximum moments are 96.7 kNm (top right) and 95.6 kNm (bottom right). The minimum moments are -83.9 kNm (top left) and -99.8 kNm (bottom left). The shear force is 8.8 kN.	Moment diagram for the 1/200 scale (217.5kN). The diagram shows moments at the corners of the frame. The maximum moments are 100.5 kNm (top right) and 93.6 kNm (bottom right). The minimum moments are -99.1 kNm (top left) and -99.5 kNm (bottom left). The shear force is 0.3 kN.
1/100 (404.5kN)	Moment diagram for the 1/100 scale (404.5kN). The diagram shows moments at the corners of the frame. The maximum moments are 169.5 kNm (top right) and 171.5 kNm (bottom right). The minimum moments are -117.5 kNm (top left) and -184.9 kNm (bottom left). The shear force is 22.2 kN.	Moment diagram for the 1/100 scale (404.5kN). The diagram shows moments at the corners of the frame. The maximum moments are 186.1 kNm (top right) and 173.3 kNm (bottom right). The minimum moments are -183.4 kNm (top left) and -184.2 kNm (bottom left). The shear force is 0.5 kN.
1/50 (570.5kN)	Moment diagram for the 1/50 scale (570.5kN). The diagram shows moments at the corners of the frame. The maximum moments are 237.4 kNm (top right) and 231.3 kNm (bottom right). The minimum moments are -237.4 kNm (top left) and -237.4 kNm (bottom left). The shear force is 33.3 kN.	Moment diagram for the 1/50 scale (570.5kN). The diagram shows moments at the corners of the frame. The maximum moments are 243.5 kNm (top right) and 225.8 kNm (bottom right). The minimum moments are -243.5 kNm (top left) and -243.5 kNm (bottom left). The shear force is 0.0 kN.

表 4.1.2-2 F-00 柱梁曲げモーメント比較

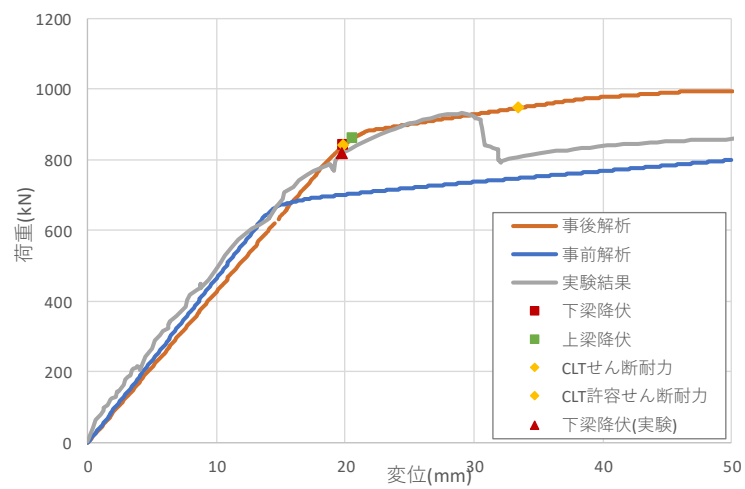
		1/200 (217.5kN)			1/100 (404.5kN)			1/50 (570.5kNと最大荷重)		
		実験値	事後解析	解析/実験	実験値	事後解析	解析/実験	実験値	事後解析	解析/実験
左柱	上	-78.9	-91.9	1.16	-139.2	-170.1	1.22	-176.2	-225.8	1.28
	下	92.1	92.4	1.00	183.9	171.0	0.93	269.7	225.8	0.84
右柱	上	-82.2	-93.1	1.13	-143.4	-172.4	1.20	-209.7	-225.8	1.08
	下	95.6	93.6	0.98	171.5	173.3	1.01	231.3	225.8	0.98
上梁	左端	-83.9	-99.1	1.18	-117.5	-183.4	1.56	-237.4	-243.5	1.03
	右端	96.7	100.5	1.04	169.5	186.1	1.10	237.4	243.5	1.03
下梁	左端	-99.8	-99.5	1.00	-184.9	-184.2	1.00	-237.4	-243.5	1.03
	右端	101.3	101.0	1.00	170.1	187.0	1.10	237.4	243.5	1.03

色付けのルール

	0.8以下
	1.2以上

F-00 では概ね破壊性状と荷重変形関係、曲げモーメント分布が一致した。

・ S60-DP-C1



制御変形角	実験モーメント図	解析モーメント図
1/200 (339.1kN)	Experimental Moment Diagram for 1/200 scale (339.1kN). The diagram shows moment distribution around the frame. Key values include: - Q(左柱): 99.2kN - Q(右柱): 94.5kN - Q(CLT): 145.4kN [118.6kN]	Analytical Moment Diagram for 1/200 scale (339.1kN). The diagram shows moment distribution around the frame. Key values include: - Q(左柱): 104.9kN - Q(右柱): 106.3kN - Q(CLT): 127.1kN
1/100 (639.0kN)	Experimental Moment Diagram for 1/100 scale (639.0kN). The diagram shows moment distribution around the frame. Key values include: - Q(左柱): 192.9kN - Q(右柱): 174.7kN - Q(CLT): 271.4kN [239.4kN]	Analytical Moment Diagram for 1/100 scale (639.0kN). The diagram shows moment distribution around the frame. Key values include: - Q(左柱): 197.9kN - Q(右柱): 200.5kN - Q(CLT): 239.7kN
1/50 (914.4kN)	Experimental Moment Diagram for 1/50 scale (914.4kN). The diagram shows moment distribution around the frame. Key values include: - Q(左柱): 302.6kN - Q(右柱): 249.2kN - Q(CLT): 362.6kN [383.2kN]	Analytical Moment Diagram for 1/50 scale (914.4kN). The diagram shows moment distribution around the frame. Key values include: - Q(左柱): 276.7kN - Q(右柱): 276.8kN - Q(CLT): 361.2kN

表 4.1.2-3 S60-DP-C1 柱梁曲げモーメント比較

		1/200 (339.1kN)			1/100 (639.0kN)			1/50 (914.4kN)		
		実験値	事後解析	解析/実験	実験値	事後解析	解析/実験	実験値	事後解析	解析/実験
左柱	上	-72.3	-90.4	1.25	-129.2	-170.4	1.32	-175.6	-236.1	1.34
	下	88.8	88.0	0.99	168.7	166.0	0.98	249.4	234.4	0.94
右柱	上	-78.6	-85.3	1.09	-152.2	-160.9	1.06	-258.0	-236.1	0.92
	下	90.5	95.4	1.05	176.8	179.9	1.02	258.2	238.9	0.93
上梁	左端	-79.5	-93.3	1.17	-151.4	-175.9	1.16	-205.5	-242.2	1.18
	CLT接合部左	8.7	15.8	1.82	17.3	29.7	1.72	23.6	58.3	2.47
	CLT接合部右	-8.7	-5.4	0.62	-17.3	-10.3	0.60	-23.6	-21.1	0.89
	右端	78.7	90.0	1.14	124.0	169.8	1.37	237.4	242.1	1.02
下梁	左端	-104.4	-90.9	0.87	-185.2	-171.4	0.93	-237.4	-242.1	1.02
	CLT接合部左	9.0	18.4	2.04	21.0	34.7	1.65	31.0	44.6	1.44
	CLT接合部右	-9.0	-16.9	1.88	-21.0	-31.9	1.52	-31.0	-54.8	1.77
	右端	95.7	96.9	1.01	170.7	182.7	1.07	237.0	242.3	1.02

色付けのルール

	0.8以下
	1.2以上

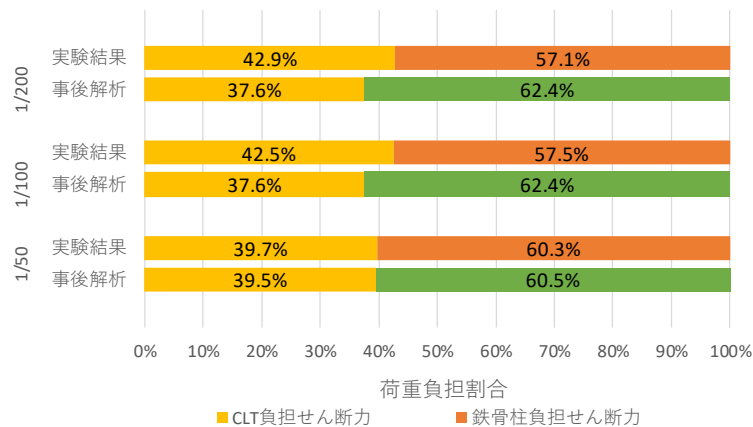
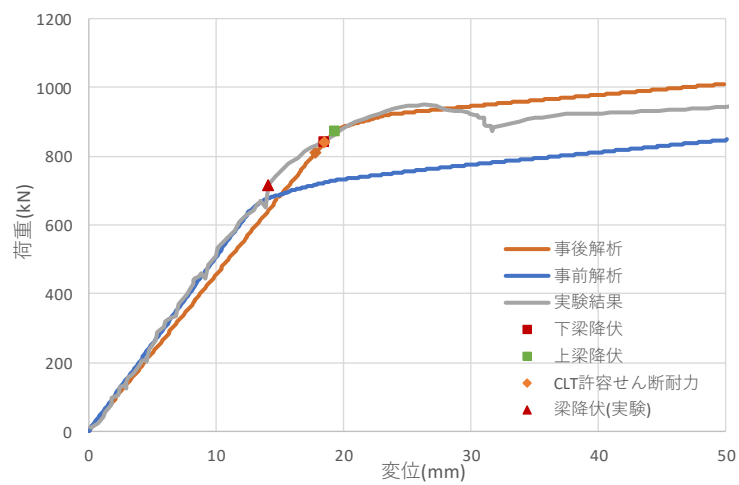


図 4.1.2-4 S60-DP-C1 CLT・柱せん断力負担割合

S60-DP-C1 でも破壊性状、荷重変形関係は概ね一致した。CLT パネルのせん断力負担割合は、解析の方が 5%程小さく出る結果となった。また、鉄骨の曲げモーメントも解析の方が大きい傾向となった。

・ S90-DP-C1



制御変形角	実験モーメント図	解析モーメント図
1/200 (342.6kN)	Experimental Moment Diagram for 1/200 scale (342.6kN). The diagram shows moments on the frame members. Key values include: Q(左柱): 95.7kN, Q(右柱): 96.0kN, Q(CLT): 150.9kN [138.7kN].	Analytical Moment Diagram for 1/200 scale (342.6kN). The diagram shows moments on the frame members. Key values include: Q(左柱): 106.1kN, Q(CLT): 127.4kN, Q(右柱): 107.7kN.
1/100 (676.0kN)	Experimental Moment Diagram for 1/100 scale (676.0kN). The diagram shows moments on the frame members. Key values include: Q(左柱): 190.9kN, Q(右柱): 195.4kN, Q(CLT): 289.7kN [267.5kN].	Analytical Moment Diagram for 1/100 scale (676.0kN). The diagram shows moments on the frame members. Key values include: Q(左柱): 210.9kN, Q(CLT): 253.1kN, Q(右柱): 213.9kN.
1/50 (910.0kN)	Experimental Moment Diagram for 1/50 scale (910.0kN). The diagram shows moments on the frame members. Key values include: Q(左柱): 272.6kN, Q(右柱): 284.6kN, Q(CLT): 352.9kN [403.8kN].	Analytical Moment Diagram for 1/50 scale (910.0kN). The diagram shows moments on the frame members. Key values include: Q(左柱): 276.3kN, Q(CLT): 357.1kN, Q(右柱): 276.4kN.

表 4.1.2-5 S90-DP-C1 柱梁曲げモーメント比較

		1/200 (342.6kN)			1/100 (676.0kN)			1/50 (910.0kN)		
		実験値	事後解析	解析/実験	実験値	事後解析	解析/実験	実験値	事後解析	解析/実験
左柱	上	-76.5	-91.5	1.20	-137.3	-181.8	1.32	-178.3	-235.6	1.32
	下	86.7	88.9	1.03	188.4	176.7	0.94	286.8	234.1	0.82
右柱	上	-73.8	-86.5	1.17	-150.0	-171.9	1.15	-233.3	-231.7	0.99
	下	89.9	96.5	1.07	184.4	191.7	1.04	184.4	238.1	1.29
上梁	左端	-78.1	-94.4	1.21	-143.1	-187.6	1.31	-237.4	-241.9	1.02
	CLT接合部左	12.8	15.8	1.23	25.7	31.3	1.22	21.2	56.0	2.64
	CLT接合部右	-12.8	-5.7	0.45	-25.7	-11.3	0.44	-21.2	-23.8	1.12
	右端	80.3	91.2	1.14	151.1	181.3	1.20	237.4	241.9	1.02
下梁	左端	-92.1	-91.9	1.00	-198.5	-182.6	0.92	-237.4	-241.8	1.02
	CLT接合部左	9.4	18.2	1.94	25.7	36.1	1.40	29.9	44.7	1.49
	CLT接合部右	-9.4	-16.9	1.80	-25.7	-33.6	1.31	-29.9	-56.3	1.88
	右端	95.0	98.1	1.03	196.6	195.0	0.99	237.4	242.0	1.02

色付けのルール

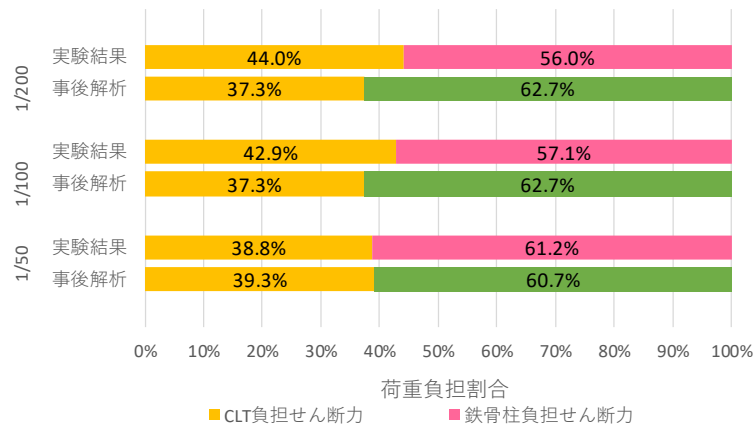
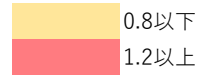
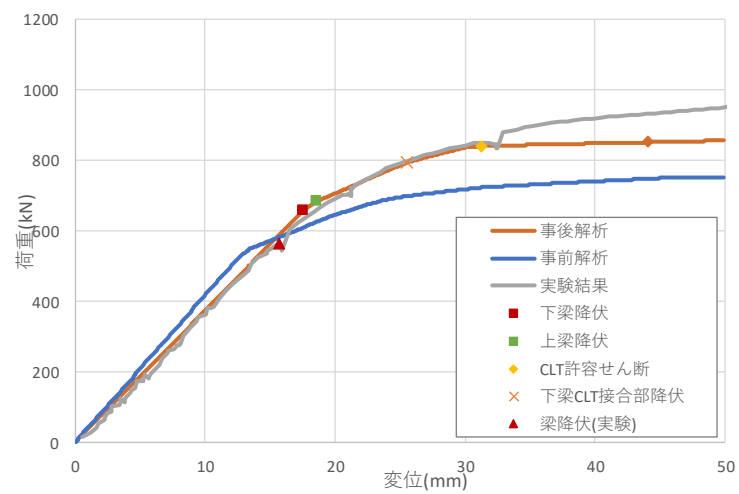


図 4.1.2-6 S90-DP-C1 CLT・柱せん断力負担割合

S90-DP-C1 でも破壊性状、荷重変形関係は概ね一致した。CLT パネルのせん断力負担割合は、解析の方が 5%程小さく出る結果となった。また、鉄骨の曲げモーメントも解析の方が大きい傾向となった。

・ S60-DP-E1



制御変形角	実験モーメント図	解析モーメント図
1/200 (283.0kN)	Experimental Moment Diagram for 1/200 scale. Key values: Q(左柱): 80.1kN, Q(CLT): 92.9kN [100.1kN], Q(右柱): 110.1kN. Corner moments: Top-left (-54.1), Top-right (89.0), Bottom-left (-63.5), Bottom-right (102.9). Edge moments: Left (-63.1, 7.9), Top (-62.6), Right (-86.9, -10.0), Bottom (73.5, 100.9).	Analytical Moment Diagram for 1/200 scale. Key values: Q(左柱): 80.8kN, Q(CLT): 90.9kN, Q(右柱): 113.2kN. Corner moments: Top-left (-79.7), Top-right (99.5), Bottom-left (-71.9), Bottom-right (105.0). Edge moments: Left (-67.6, 69.8), Top (-58.1), Right (-92.7, -10.0), Bottom (-72.3, 99.9).
1/100 (561.9kN)	Experimental Moment Diagram for 1/100 scale. Key values: Q(左柱): 155.5kN, Q(CLT): 190.2kN [204.9kN], Q(右柱): 216.3kN. Corner moments: Top-left (-96.1), Top-right (183.8), Bottom-left (-131.9), Bottom-right (237.4). Edge moments: Left (-113.9, 17.4), Top (-119.1), Right (-169.5, 23.2), Bottom (151.3, 199.5).	Analytical Moment Diagram for 1/100 scale. Key values: Q(左柱): 159.5kN, Q(CLT): 179.5kN, Q(右柱): 223.5kN. Corner moments: Top-left (-134.3), Top-right (196.3), Bottom-left (-141.3), Bottom-right (207.3). Edge moments: Left (-133.4, 137.7), Top (-114.7), Right (-182.9, 197.1), Bottom (-142.8, 242.6).
1/50 (844.7kN)	Experimental Moment Diagram for 1/50 scale. Key values: Q(左柱): 258.5kN, Q(CLT): 286.3kN [305.5kN], Q(右柱): 299.9kN. Corner moments: Top-left (-135.0), Top-right (237.4), Bottom-left (-237.4), Bottom-right (237.4). Edge moments: Left (-165.8, 39.6), Top (-194.0), Right (-232.3, 17.4), Bottom (275.8, 282.0).	Analytical Moment Diagram for 1/50 scale. Key values: Q(左柱): 250.0kN, Q(CLT): 320.0kN, Q(右柱): 274.7kN. Corner moments: Top-left (-219.9), Top-right (242.6), Bottom-left (-216.2), Bottom-right (242.6). Edge moments: Left (-215.1, 209.9), Top (-242.9), Right (-232.7, 234.2), Bottom (-249.1, 242.6).

表 4.1.2-7 S60-DP-E1 柱梁曲げモーメント比較

		1/200 (283.0kN)			1/100 (561.9kN)			1/50 (844.7kN)		
		実験値	事後解析	解析/実験	実験値	事後解析	解析/実験	実験値	事後解析	解析/実験
左柱	上	-63.1	-67.6	1.07	-113.9	-133.4	1.17	-165.8	-215.1	1.30
	下	73.5	69.8	0.95	151.3	137.7	0.91	275.8	209.9	0.76
右柱	上	-86.9	-92.7	1.07	-169.5	-182.9	1.08	-232.3	-232.7	1.00
	下	100.9	99.9	0.99	199.5	197.1	0.99	282.0	234.2	0.83
上梁	左端	-54.1	-79.7	1.47	-96.1	-134.3	1.40	-135.0	-219.9	1.63
	CLT接合部	-62.6	-58.1	0.93	-119.1	-114.7	0.96	-194.0	-242.9	1.25
	右端	89.0	99.5	1.12	183.8	196.3	1.07	237.4	242.6	1.02
下梁	左端	-63.5	-71.9	1.13	-131.9	-141.3	1.07	-237.4	-216.2	0.91
	CLT接合部	-85.5	-72.3	0.85	-167.4	-142.8	0.85	-237.4	-249.1	1.05
	右端	102.9	105.0	1.02	237.4	207.3	0.87	237.4	242.6	1.02

色付けのルール

	0.8以下
	1.2以上

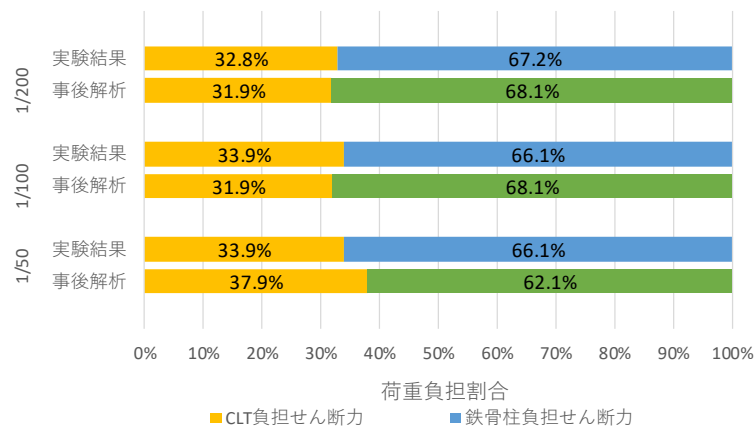


図 4.1.2-8 S60-DP-E1 CLT・柱せん断力負担割合

S60-DP-E1 でも破壊性状、荷重変形関係は概ね一致した。CLT パネルのせん断力負担割合は、解析の方が若干小さく出る結果となったが概ね一致した。また、鉄骨の曲げモーメントも解析の方が大きい傾向となった。

4.1.3 事後解析・実験結果比較の考察

事後解析と実験結果の比較をすると、破壊性状はすべての試験体についてよく一致した。S60-DP-C1、S90-DP-C1 では最初に鉄骨が降伏し、そのあとに CLT のせん断耐力に達した。S60-DP-E1 も最初に鉄骨梁の端部が降伏し、そのあとに CLT 挿入部の梁が降伏して CLT はせん断耐力に至らず、実験結果と一致した。

荷重変形関係については、すべての試験体について、鉄骨のパネルゾーンの剛域を設定せずに解析を行ったところ、剛性や最大荷重等が概ね一致した。パネルゾーンを剛域とした解析では少し剛性が大きくなるが、これは解析では施工のクリアランスや部材間のあそびがあることを考慮していないためであると考えられる。

鉄骨柱梁の曲げモーメントについては、同荷重時でも解析の方が大きくなる傾向となった。また、解析では実験と比べて CLT のせん断負担割合が低くなった。これらの原因として、解析では CLT のドリフトピン接合部を CLT 端部の 4 か所としているが、実験ではさらに上下にせん断用のドリフトピンが 10 本ずつ配置されており、その影響が小さくなかったことが挙げられる。

また、解析と実験結果の CLT 挿入部の梁の曲げモーメントの整合率が悪いことについては、実験結果の取りまとめ方法に改善の余地があると考ええる。実験結果では、CLT 挿入部分のせん断歪よりモーメントの傾きを算出し、S60-DP-C1 と S90-DP-C1 では CLT の中心線上の位置のモーメントを 0 として CLT 接合部付近のモーメントを算出している。しかし、CLT の応力分布でも圧縮ストラッドができていることがわかるように、CLT 端部の支圧効果や圧縮ストラッドによって CLT 接合部から梁に作用する力が左右対称ではないことがわかっており、梁中央を 0 とすることは適切とは言えない。さらに、せん断力の算出方法についてここでは H 形鋼のせん断応力分布に従ってせん断力を算出したが、CLT 上部には鉄骨梁に L 型アンクルが取り付けられ、CLT の下部の鉄骨梁には鋼板プレートが溶接されているため、梁だけではなく他の部材も一体となってせん断力を負担している可能性があり、せん断応力分布を詳細に検討することが今後の課題として挙げられる。

4.2 構造設計の方法

4.2.1 解析モデル

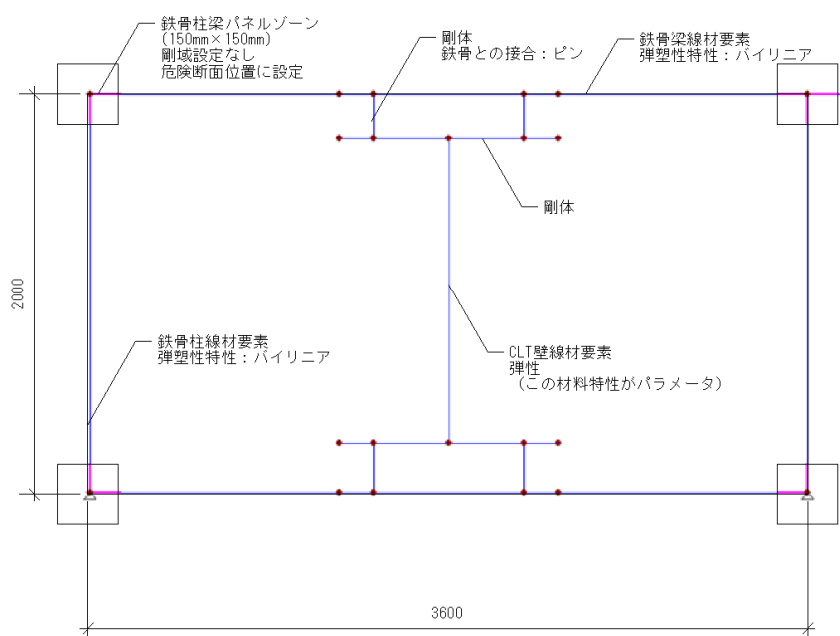


図 4.2.1-1 解析概要図

材料特性は、鉄骨については事後解析と同様とし、CLTについては事前解析と同じく基準強度をもとに決定した。

(4) 鉄骨梁・柱要素

鋼材の引張実験より降伏点を定め、以下事前解析と同様に曲げ耐力 M_u を算出しバイリニアでモデル化した。降伏後の剛性低下率は 0.001 である。梁と柱の接合部は節点からそれぞれ 150mm をパネルゾーンとして危険断面位置の設定をした。また、降伏後の剛性低下率は 0.001 とする。表 4.2.1-2 に柱梁の M_u 、 Q_u をまとめる。

表 4.2.1-2 鉄骨梁・柱特性

鉄骨許容応力	鋼材	降伏点	曲げ許容 応力度	せん断許 容応力度	H	B	t1	t2	断面積	せん断用 断面積	断面二次 モーメント	断面係数	塑性断面 係数	M_u	Q_u
		F	Fb	Fs					A	As	Ix	Zx	Zpx	=Fb*Zpx	=Fs*As
		N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	mm	mm	mm	mm	cm ²	cm ²	cm ⁴	cm ³	cm ³	kNm	kN
梁	SN400B	282	282	162.8	294	200	8	12	71.05	21.6	11100	756	842	237.4	351.7
柱	SN490B	350	350	202.1	300	300	10	15	118.5	27	20200	1350	1480	472.5	545.6

(a) CLT 壁線材要素

CLT 壁は断面特性 A_w 、 I_w 、材料特性 E_w 、 G_w を定義し、弾性とした。この材料特性を変えることで解析のパラメータとした。

CLT の材料特性は、CLT 基準強度に基づき、ヤング係数は S60 のとき $E_w=3600(\text{N/mm}^2)$ 、せん断弾性係数 $G_w=500(\text{N/mm}^2)$ とした。

S90 のとき $E_w=5400(\text{N/mm}^2)$ 、せん断弾性係数 $G_w=500(\text{N/mm}^2)$ とした。

以下に解析対象と材料特性を示す。接合部のバネを CLT のヤング係数、せん断弾性係数の低下として扱うことを設計モデルとして提案している。そこで、今回は CLT の性能を 1/2、1/3、1/4 として、実験結果との整合性を確認した。

表 4.2.1-3 解析対象と材料特性

解析対象名		特徴	ヤング係数 N/mm^2	せん断弾性係数 N/mm^2
C1-	CLT ∞	CLT 部分剛体	1.0×10^8	1.0×10^8
S60-C1-	CLT	CLT 基準強度	3600	500
	1/2CLT		1800	250
	1/3CLT		1200	166.7
	1/4CLT		900	125
S90-C1-	CLT	CLT 基準強度	5400	500
	1/2CLT		2700	250
	1/3CLT		1800	166.7
	1/4CLT		1350	125
E1-	CLT ∞	CLT 部分剛体	1.0×10^8	1.0×10^8
S60-E1-	CLT	CLT 基準強度	3600	500
	1/2CLT		1800	250
	1/3CLT		1200	166.7
	1/4CLT		900	125

4.2.2 設計用解析結果

計算結果を図 4.2.2-1 (a) ～ (c) に示す。今回の結果では 1/2 とした場合とほぼ一致する。CLT のせん断強度で頭打ちにすれば、ほぼ、耐力も再現できるものと思われる。今後、接合部のすべりから、1/2 で妥当であるかの検討を要する。

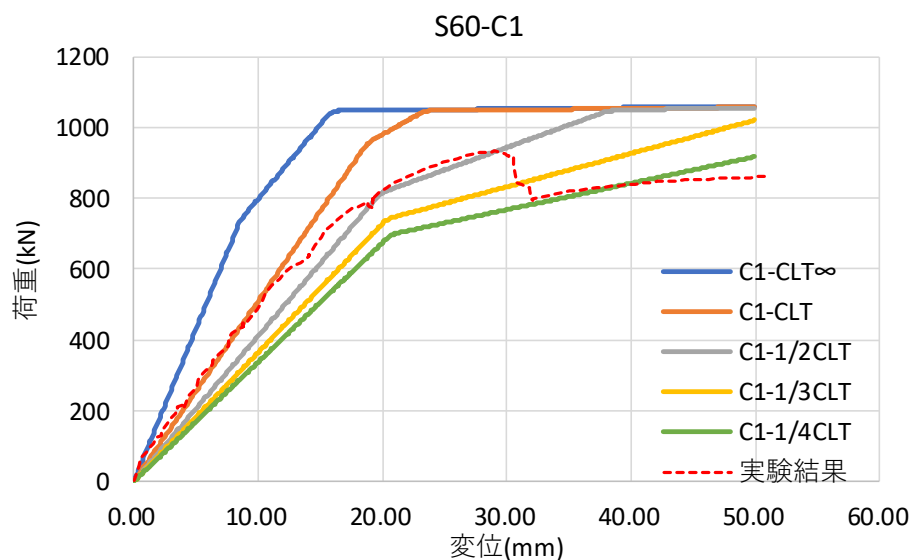


図 4.2.2-1 (a) S60-C1 解析結果

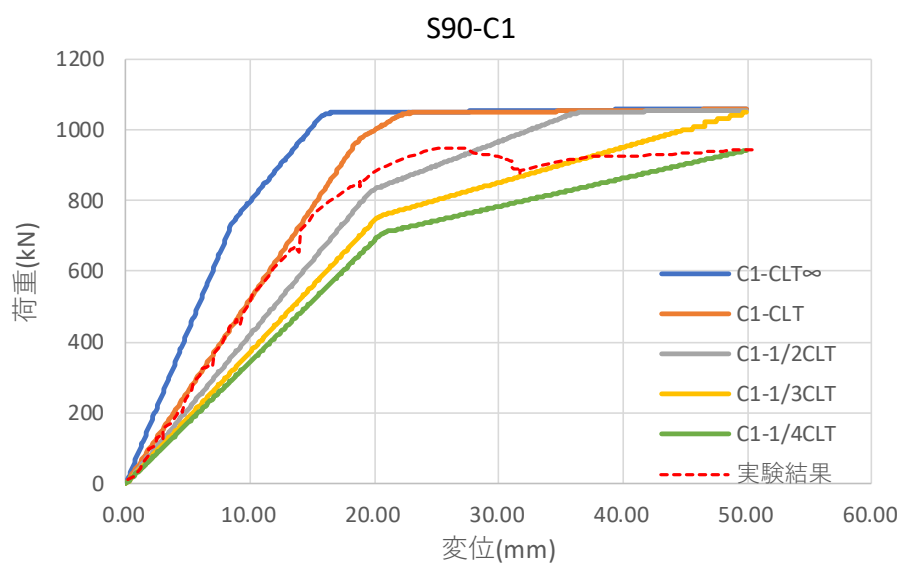


図 4.2.2-1 (b) S90-C1 解析結果

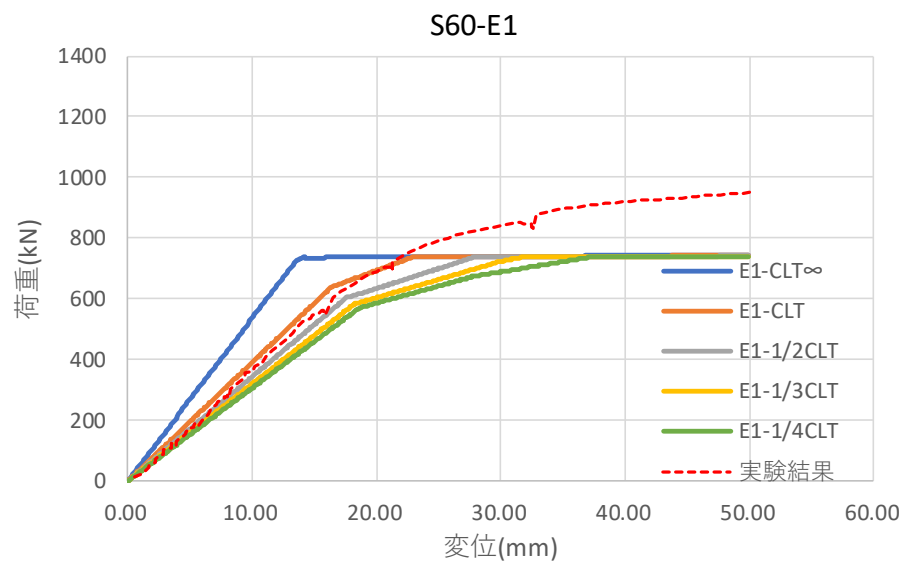


図 4.2.2-1 (c) S60-E1 解析結果

[第1章～第4章 参考文献]

- 1) 一般社団法人 日本建築学会, 木質構造設計規準・同解説―許容応力度・許容耐力設計法―
- 2) 公益財団法人日本住宅・木材技術センター, 2016年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル, 平成28年10月
- 3) 農林水産省, “直交集成板の日本農林規格,” 平成30年3月.
- 4) 株式会社ドット・コーポレーション, “第5章 鉄骨造建築物への CLT 耐震壁の適用に関する検討,” : 平成28年度林野庁委託事業 CLT 等の木質系材料による非木造建築物の耐震壁構成技術の開発報告書, 平成29年3月.
- 5) 弥浦壮太、五十田博、槌本敬大、中川貴文、北守顕久、鈴木圭、津田千尋, “小幅パネルを引きボルト接合した CLT 壁の水平力に対する挙動,” 日本建築学会構造系論文集 第81巻, 2016年3月.

第 5 章 参考資料

5.1 打合せ議事録

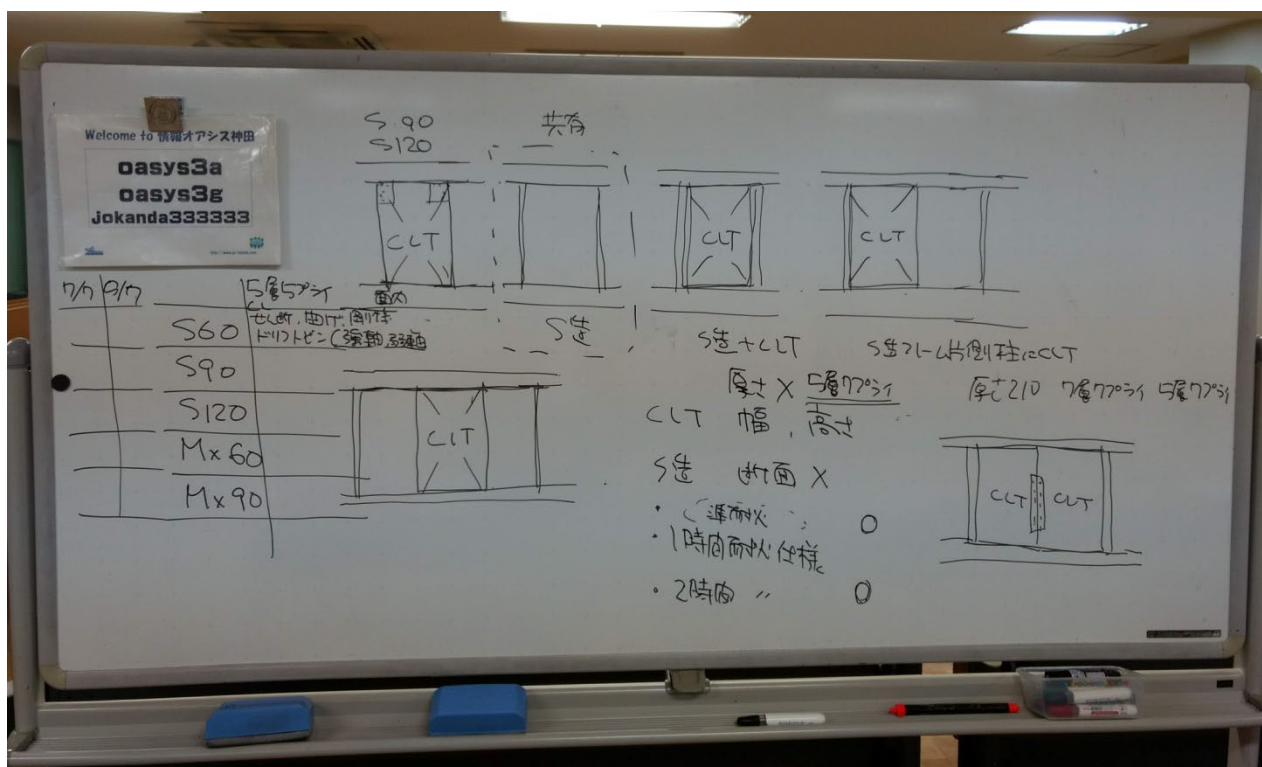
本事業で実施した委員会・打合せは以下の通りである。

	日 時	場 所
事前打合せ	平成 30 年 6 月 11 日（月） 10：00～12：00	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 3」
第 1 回委員会	平成 30 年 7 月 4 日（月） 10：00～12：00	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 1」
試験体打合せ	平成 30 年 7 月 30 日（月） 14：00～16：00	ドット・コーポレーション
第 2 回委員会	平成 30 年 8 月 10 日（水） 16：00～18：00	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 1」
構造実験打合せ	平成 30 年 9 月 13 日（木） 15：00～17：30	ドット・コーポレーション
第 3 回委員会	平成 30 年 11 月 5 日（月） 10：00～12：00	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 3」
報告書とりまとめ 打合せ	平成 30 年 11 月 20 日（火） 16：00～17：30	ドット・コーポレーション
第 2 回報告書とり まとめ打合せ	平成 30 年 12 月 14 日（金） 17：00～19：00	ドット・コーポレーション
第 4 回委員会	平成 31 年 2 月 4 日（月） 15：00～17：00	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 1」

次ページから、委員会・打合せの議事録を掲載する。

平成 30 年度 CLT 等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業(国による開発) S 造 CLT
事前打合

日時	2018 年 6 月 11 日 月曜日 10:00～12:00
場所	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 3」
参加者 (敬称略)	委員:五十田、北守、荒木、中島、鈴木、石原、三木 オブザーバー:金澤 事務局:平野、山崎(議事録作成)
配付資料 資料 01:関係者名簿 資料 02:平成 30 年度 CLT 等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業に係る企画書 資料 03:【仕様書】3.国による開発 資料 04:試験体検討案 1. 今年度事業での実施内容の確認 - 企画書(資料 02)の内容、提案書・契約書に添付する仕様書(資料 03)を確認した。 - 事業終了日は 2019 年 3 月 12 日。 2. 試験体の検討方針 - 社会実装できる施工性等にも配慮した 1 仕様で構造、耐火を満足するものの具体的な提案を行う。 - CLT の仕様を絞り込むにあたって、下記の仕様でパラスタを行い、今年度実施する試験体を決定する。京大で材料としての面内せん断・面内曲げ・剛性、建研でドリフトピン接合部の検討を進める。 (CLT の仕様) — 厚さ 210mm(決定) — 層構成 5 層 5 プライ、5 層 7 プライ、7 層 7 プライ — 強度等級 S60、S90、S120、Mx60、Mx90 - 最終的な接合部の仕様は、2 時間耐火、1 時間耐火、準耐火?(→現在告示化が検討されている性能)によって、異なる可能性があるため、これまでの知見や 6 月中に国総研で実施する耐火実験の結果を用いて、決定する。 →耐火実験の結果は 7 月 2 日の防火分科会で報告される予定で、その結果を次回委員会で共有。 - 実験時の鉄骨フレームの断面寸法等は一定とする。 - 上記より仕様(CLT、接合部、耐火)を決定した上で、試験体は、実際の建物への適用を考え、以下のバリエーションを考慮し、優先順位をつけて決定する。 ①CLT の幅・高さのバリエーションを持たせる。 (CLT の寸法(下線は標準寸法)) — 幅 1200mm、1800mm、<u>2400mm</u> — 高さ <u>3000mm</u>、4000mm ②CLT のバリエーションに加えて、鉄骨フレームとの関係についてもバリエーションを持たせる。(写真参照) ③設備等との取り合いで、開口等が求められる場合の検討も必要か(優先順位は低)。	



3. 実験の計画

【構造実験】

- ・ 建築研究所で10月に実施する予定。実験場は1ヶ月間使えることになっている。
- ・ 試験体入れ替え等の作業時間を含めて8~10体実施可能。
- ・ 資料04の案1に示すようなものであれば、CLTと金物で1体50万円程度(フレームは除く。)
- ・ ドリフトピンの要素実験は必要に応じて京都大学で実施する。

【耐火実験】

- ・ 構造実験の結果を踏まえて、11月末より最終チェックを兼ねて行う。
- ・ 耐火実験は1体の予定。
- ・ 試験体の形状は、全体(構造実験と同様の寸法)とするか、部分的なものとするかは、7月2日の結果も踏まえて今後決定する。
- ・ 資料04の案1に示すような3m幅のものであれば、1体150万円程度(試験体費、委託費を含む。)

【共通項目】

- ・ 両実験に使用するCLTの発注の準備(納期調整)を進める。

4. 現在の知見・その他情報

- ・ 現在分かっている耐火性能について、梁下から加熱する場合、2時間耐火性能は厳しく仕様を考慮する必要

がある。梁上から加熱する場合、床があることから、接合部の形状に関わらず性能が見込めると考えている。壁下部の接合部で引張りを、壁上部の接合部でせん断のみを負担する方が実用的。

- ・ 設計法の具体的なイメージはどういうものか。
→資料 04 で示した案は許容応力度のみであるが、最終的には増分解析に対応できるようにし、モデル化の手法、検定法を決定できるようにしたい。
- ・ 剛性についてはどのように考えているか。
→過去の検討は 1 ケースしかないが剛性に寄与しそうだというイメージは持っている。鉄骨ブレースと同等の性能だと実用性が低いと思われることから、将来的には、CLT の剛性を考慮して鉄骨の断面を減らせるようにし、CLT を使うメリットを出せるようにしたいと考えている。その場合コストスタディが必要となるが、本事業ではそこまではできない。

4. 他事業との連携について

- ・ S 造に CLT を用いる研究・検討については、国総研の総プロや民間企業でも行われている。無駄なく漏れなく効果的に事業を進めるには、他事業との情報交換や連携が重要になる。可能な範囲で、情報交換を行いたい。

5. 次回 WG までに準備すること

- ・ 試験体決定のためのパラスタを行う。(担当:材料については金澤、ドリフトピン接合部については中島)
 - ・ 構造実験に使用する CLT の発注の準備(納期調整)。(担当:dot)
 - ・ 総プロの防火分科会のとりまとめの情報共有(次回委員会資料の準備)(担当:鈴木)
 - ・ 委員会の体制・委員の決定を行う。(担当:五十田、荒木)
-
- ・ 次回第 1 回委員会の予定は 7 月 4 日(水) 10:00~12:00(@オアシス)

第 1 回委員会

日時	2018 年 7 月 4 日 水曜日 10:00～12:00
場所	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 1」
参加者 (敬称略)	委員:五十田、北守、荒木、中島、鈴木、石原、三木、野秋、宇佐美 行政:斉藤 オブザーバー:金澤 事務局:山崎(議事録作成)
配付資料 資料 01:関係者名簿 資料 02:平成 30 年度 CLT 等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業に係る企画書 資料 03:【仕様書】3_国による開発 資料 04:全体スケジュール 資料 05:事前打合議事録(6/11) 資料 06:S+CLT FEM 解析によるスタディ(資料 A、B、C) 資料 08-01:混構造建築物における木造異種構造間の接合部の耐火性 資料 08-02:耐火試験に用いる接合部試験体図 資料 09:鉄骨架構に適用した CLT 耐震壁の構造実験 1. 今年度事業での実施内容の確認 ・ 今年度関係者名簿(資料 01)、企画書(資料 02)の内容、提案書・契約書に添付する仕様書(資料 03)を確認した。 →委員に、京都大学中川氏を加える ・ 事前打ち合わせにより決定したスケジュール(資料 04)、議事録(資料 05)を確認した。 2. 総プロの耐火分科会で報告された内容の共有(資料 08 シリーズ) 【耐火実験の概要】 ・ 耐火実験は、CLT のパネル構成・厚さ(Mx5-5 150mm、Mx9-9 270mm)、スラブ厚さ(100mm、200mm)、加熱面(下面、上面)のバリエーションで、6 体実施した(加熱面(下面)はスラブ厚さ 100mm のみ)。加熱は標準加熱に沿って 2 時間。 ・ この実験での仕様は、階の延焼を完全に遮断することが目的で、一般的な大臣認定のものよりもワンランク上としている。梁の被覆材であるケイ酸カルシウム板は、今回の実験では 50mm を使用した。一般的には、50mm は 3 時間耐火の大臣認定、45mm は 2 時間耐火の告示仕様、の性能を見込むことができる。 ・ 床の厚み(スラブ)が 200mm あれば問題ないということが見えてきた。 ・ 4 時間時点での炉内温度は、不燃系の試験体に比較して平均温度が 200℃程度高い。これは炭の影響によるもの。	

【耐火実験に関する議論】

- ・ 本事業の実験では CLT は厚さ 210mm としているため、ケイ酸カルシウム板の厚さを 40mm としてもまだ余裕はあるのではないかと考える。また、被覆材のコストを下げたい場合は、ケイ酸カルシウム板の比重 (0.5TK→0.2TK) を減らすことも選択肢としてはある。比重を減らしたとしても熱的な性能はそれほど変わらないと考えている。
- ・ 本事業の実験でもスギを使用するのか？
→スギを使用する。
- ・ 本事業で実施する耐火実験で、例えばせいの小さいもので実験したとすると、せいの大きなものにも適用が可能か。
→せいの小さいものでの実験により、せいの大きなものにも適用できると考える。基本的には、加熱される周長と断面積の関係で決まるため、実験結果を用いてせいの違いによる耐火性能の検討は可能である。
- ・ デッキプレートを用いる場合は、不利側になるのではないか。デッキプレートの場合、コンクリートを 200mm とすることはほとんどない(事務所の場合)。最小 130mm～で 150mm 程度が現実的と思われる。
→総プロの実験では、スラブの厚さを 100mm、200mm と設定している。それは、その間に防火上の設計値が入ればよいという考えによるものである。また、それぞれのスラブ厚さに対して CLT の厚さが 150mm、270mm の 2 種類で実験を行っている。
上記の実験結果を考慮すると、本事業では CLT の厚さが 210mm であることから、スラブの厚さが 150mm あれば大きな問題はないと思われる。ただし、遮熱性が足りるかどうかは心配である。
- ・ 総プロの実験の鉄骨断面 (400×200) は、現実的には少し小さい可能性がある。
→スパン割にもよるが、10m スパンの場合は、せいが 600mm 程度となる可能性がある。ただ、プランに直結して決定されるもので、一概には言えない。京大と竹中工務店で別途検討中。

【構造実験に関連する議論】

- ・ 構造の検討では、無収縮モルタルにより CLT と鉄骨梁の間の圧縮伝達を考えている。下側加熱の耐火実験での仕様は、鉄骨梁をケイ酸カルシウム板で被覆しているため、それが期待できない。鉄骨梁の CLT 側の面については、無収縮モルタルを鉄骨梁の被覆と見なし、ケイ酸カルシウム板を省略することは防火上可能なのか。
→無収縮モルタルに耐火性能があることが条件となり、それが説明できるかどうかは分からない。もし無収縮モルタルに耐火性能があったとしても、ケイ酸カルシウム板と無収縮モルタルを併用(複数の耐火被覆を併用)することはあまり推奨されない。
- ・ 竹中工務店で実施している例で言うと、圧縮伝達を考慮している事例はあるか。また、どのような仕様か。
→資料 9 で示す「(仮称)仙台市泉区高森 2 丁目プロジェクト(高層集合住宅)」では、圧縮伝達を見込んだものであるが、耐火上の処理は全面を被覆している。「兵庫県林業会館」

は表しでの利用で、圧縮伝達を見込んでいると思うが、詳細な仕様は把握できていない。
いずれにしても、施工を考慮すると逃げが必要となる。

→本事業での仕様は表しとしたい。

- ・ドリフトピンが露出していることによる熱的な考慮は必要か。
→その部分の影響はほぼ無視してよい。ただ、この実験では、壁の小口に金物によるスリットがない。小口(側面)まで貫通したスリットをいれ、かつ金物が小さく隙間が発生しているとすると、性能を満たすには難しい場合もあると思われる。

3. FEM 解析によるスタディ(資料 6=資料 A、B、C)

【解析結果の概要】

- ・試験体検討のための手順としては、等級種類別設計用保有耐力の確認(資料 A)、ドリフトピンの単位接合性能の確認(資料 B)、フレーム別の挙動確認・強度等級と脚部ドリフトピン本数の検討(資料 C)を行った。
- ・解析のバリエーションは以下の通り。
 - －フレームパターン: 4 種類、
 - －CLT: S60-5-7、S90-5-7、
 - －ドリフトピン: $\phi 16$ 、 $\phi 20$ 、
 - －CLT と鉄骨梁の圧縮伝達: 頭部脚部、脚部のみ今回の資料 6 では、CLT と鉄骨梁の圧縮伝達が脚部のみの場合の検討は行われていない。
- ・解析結果としては、S60、S90に関わらず、鉄骨梁がせん断で先に塑性化している。そのため S90 にする必要はないと考える。また、本数を減らすことができるため、ドリフトピンは $\phi 20$ とする。

【解析に関する議論】

- ・鉄骨梁はせん断降伏させてよいのか？
→終局時にどういう崩壊形が許容されるかによる。鉄骨の場合は、せん断降伏 $\neq$ 崩壊で、それを許容するかどうかは、基本的には設計思想による。
短スパンの場合は、鉄骨梁でせん断が先行するケースが多い。ただ、フランジの破断が発生する場合には注意が必要である。実際の設計では、フランジを拡幅するなど対応策はあるが、低層の建物ではそこまではしない。
設計者によっては、ヒンジができると主事に説明がつかなくなるため嫌がるというケースもある。
- ・フレーム別応力解析図(資料 C)でパネルの方がせん断が大きいように見える。想定しているほど梁で壊れないのではないか。
→応力図を作成し、確認する。
- ・設計上の方針としては、CLT 接合部で壊すか、梁の曲げで壊すか、スパンの短い場合は鉄骨梁のせん断で壊すかということになる。圧縮伝達ができるとなると鉄骨梁で壊れると

考える。ただ、防耐火の議論より、ケイ酸カルシウム板の被覆が必要であることから、上側の圧縮伝達が期待できないとすると鉄骨梁で壊すことが可能なのか今回はまだ検証ができていない。もしできない場合は、設計上どうするか考える必要がある。

→接合部の設計は難しいため、鉄骨梁側が壊れるとして設計できるようにするのが一般的には分かりやすい(設計がやりやすい)。

- ・ 上側も下側と同じ数のドリフトピンとして、金物で圧縮伝達してはどうか。総プロでも金物だけで圧縮伝達するような設計思想で進めている。
→上側と下側(面タッチあり)を圧縮伝達するとして、検討を進める。
- ・ 支圧バネの計算式(資料 C-4(資料 6))で、H を CLT 高さとせず、バネの支点間距離で計算しないと剛性を小さく評価することになる。
- ・ 鉄骨柱の 175 角に梁幅 300mm としているが解析上は可能でも現実的にはできない。
→寸法を見直す
- ・ 上記を踏まえて、解析を見直す。CLT の発注を急ぐ必要があるため、試験体の詳細については、委員長に一任する。

【試験体(鉄骨)】

- ・ 解析ではピンで想定している部分が多い。しかし、実際にどのような鉄骨フレームとすることが難しい。他の事業等で行われている実験でも悩ましい部分である。
→京大、竹中工務店で情報を共有して、細かい仕様を決定する。
- ・ 鉄骨の発注はどのぐらい見込めばよいか？
→ファブによる。最近では時間がかかる可能性があるため確認が必要。

4. 次回委員会までに準備すること

- ・ CLT の仕様決定と発注。(担当:五十田、北守、金澤、山崎)
- ・ 鉄骨フレームのファブへの声かけ(担当:五十田)
- ・ 鉄骨フレームの断面検討。(担当:北守、金澤)
- ・ 次回第 2 回委員会の予定は 8 月 10 日(金) 16:00~18:00(@オアシス)

平成 30 年度 CLT 等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業(国による開発) S 造 CLT
試験体打合せ

日時	2018 年 7 月 30 日 月曜日 13:30～15:30
場所	ドット・コーポレーション
参加者 (敬称略)	委員:五十田、荒木、宇佐美 オブザーバー:服部、福本、國府田、金澤 事務局:平野、山崎(議事録作成)
配付資料 資料 01:設計方針 2018/7/25 資料 02:建研式のピン 資料 03:林野打合せメモ 検討事項 資料 04:CLT+鉄骨ハイブリッド構造の開発研究 1. 事業の目的等の確認 ・ 今年度実験の目的と概要についての説明。 2. 試験体の検討と実験に関する検討事項 【試験場の検討】 ・ 構造実験を実施する場所は構造複合実験棟(建築研究所)で、期間は10/1～10/31。この期間内で、本事業の構造実験、竹中工務店で進めている試験を実施する予定。 ・ 構造複合実験棟は、引き 150t、押し 200t まで、また反力壁は 300t まで可能。 ・ 1 ヶ月で 10 体(本事業分は約 7 体)を実施しようとする、3 日で 2 体ぐらいのペースが必要となる。 ・ 試験の日程が厳しいので、事前準備(試験体施工)も含めると、CLT の納期は 9 月 21 日(金)とする。(現状 20 日頃で発注依頼) 【試験体の詳細】 ・ 現在の試験体寸法(実大:高さ4m、スパン7.2m)は、想定する加力から構造複合実験棟では不可能であるため、実大構造物実験棟(小スト)で実施する必要がある。また、試験体の搬入・組み立て時に現場での溶接が必要となり、限られた期間での試験体の入れ替えを考えると難しい。 →試験体寸法は 1/2 とし、接合部の確認実験も同様とする。S 造の実験では 1/2、1/3 でやるのが普通で、実大でやらないため、設計法の検討としては問題ない。 ・ 上記より CLT の寸法は 厚さ 105mm、幅 1100mm、高さ 1500mm(鉄骨フレーム芯高さは 2000mm)とする。 ・ この場合、ラミナ厚を 15mm とする必要があるが、銘建工業ではラミナ厚が 20mm 以下のものは製造できない(プレーナーが 20mm までの対応) →5 層 5 プライでラミナ厚 21mm で解析を進める。解析によっては層構成を変更する可能	

性がある。

- ・ ドリフトピンは 1/2 サイズであれば $\phi 10$ となるが、接合部のせん断耐力が半分になるものを確認して、径を決定する。
- ・ 竹中工務店で検討中の鉄骨フレームの寸法は、柱が 500 角 $t=19\text{mm}$ 、梁が $600 \times 200 \times 11 \times 17$ で、SS400 もしくは SN400B としている。6～7 階建てオフィスを想定したブレース構造での断面寸法。
 - 1/2 にすると、柱が 250 角 $t=9\text{mm}$ 、梁が $300 \times 150 \times 6.5 \times 9$
 - 梁が軸降伏してしまうため、寸法を小さくする方向で見直し。
 - もしくは梁を寸法を小さくせず、CLT の性能を落とすか。
- ・ 鉄骨フレームの製作は角田製作所をお願いする。
- ・ まずは今回決定した条件により解析を進め、予算によって最終的な試験体数を決定する。
- ・ 接合部の実大実験は、年度末までに京大で実施する。(現状は、試験機が壊れている)

3. 今後の進め方

【解析結果の概要】

- ・ 試験体鉄骨フレーム ～8/3(担当: 福本)
 - 治具の検討 (担当: 宇佐美)
- ・ CLT・接合部の検討(層構成、ドリフトピン) ～8/3(担当: 金澤)
- ・ 実験の工程表作成 (担当: 宇佐美→服部)
- ・ 計測計画(変位計・ひずみゲージ等の計画)の検討 (担当: 福本)

4. 第 2 回委員会について

- ・ オブザーバーとして、服部、福本、國府田の 3 名に参加いただく
- ・ 次回第 2 回委員会の予定は 8 月 10 日(金) 16:00～18:00(@オアシス)

平成 30 年度 CLT 等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業(国による開発) S 造 CLT
第2回委員会

日時	2018 年 8 月 10 日 金曜日 16:00～18:00
場所	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 1」
参加者 (敬称略)	委員:五十田、北守、荒木、中島、石原、三木、鈴木、宇佐美 オブザーバー:金澤、服部、福本、赤根(山辺の代理) 事務局:平野(議事録作成)、山崎
配付資料 資料 01:関係者名簿 資料 02:第 1 回打合せ議事録(20180704) 資料 03:実験打合せ議事録(20180730) 資料 04:全体スケジュール 資料 05:試験体バリエーション・解析結果 資料 06:鉄骨フレームの設計 資料 07:ー 資料 08:構造実験計測計画 資料 09:構造実験治具計画 資料 10:構造実験 発注済 CLT および接合部設計上の注意点 資料 11:構造実験 実験計画 1. 新たな参加者の紹介 ・ 竹中工務店設計部から福本・國府田(國府田は本日は欠席)がオブザーバーとして参加。S 造 CLT 壁の開発について京都大学と共同研究を実施中。効率的に開発を進めるために、相互で情報交換を行いつつ進めることとなった。 ・ 一般財団法人ベターリビングより服部がオブザーバーとして参加。10 月に建築研究所の構造複合実験棟にて実施する構造実験を担当いただくため、実験終了まで参加予定。 ・ 山辺構造設計事務所から山辺がオブザーバーとして参加。今回は、代理で赤根が参加。建築研究所の総プロで S 造 CLT の試設計を実施する予定があり、その仕様を本事業で提案するものとする事となったため、情報交換のため。 2. 前回の議事録および実験打合せの議事録の確認 ・ 10 月に実施する構造実験に間に合わせるために、実験の手法について、実験打合せを実施した。その際に、試験場の能力・鉄骨フレームの施工の問題などから、実大実験は不可能との判断に至り、急遽、1/2 試験体で実施することに変更。 ・ それに合わせて、CLT の発注は完了済み。 3. 1/2 試験体による構造実験について 【発注・実験実施関連】(資料 06、08、09、10、11 関係)	

- 試験体は、以下の4体を予定する。見積もりによっては、3体に変更の可能性有り。優先順位は番号の通り。また、同時に実施する竹中の試験体も参考のために示す。①フレームは両方で共有。

林野事業	竹中事業
①フレームのみ	
①フレーム中央に CLT 壁 1 枚(S60)	①フレーム中央に CLT 壁 1 枚(S60)
②フレーム片側に CLT 壁 1 枚(S60)	②フレームに CLT 壁 2 枚(S60)位置は検討
③フレーム中央に CLT 壁 1 枚(S90)	③フレーム全面に CLT 壁 3 枚(S60)

※竹中で実施する複数枚のものは CLT 同士の接合部の検討も必要。

- CLT について(銘建工業に発注)
銘建工業に対するの加工図の提出は 8 月 24 日金曜日。
加工時に、床側の CLT 小口にはシーラー(ニューブリード)塗布を依頼。
1/2 試験体に用いる CLT の納期は 9 月 21 日金曜日。
接合部実験に用いる CLT については、加工まで依頼するのか、どこに、いつ納めるのかを早急に決定。8 月 24 日金曜日までに接合部実験の加工図を制作することをめざす。
- 鉄骨フレームについて(角田製作所に発注)
鉄骨フレームの納期は、1 回目が 9 月 21 日金曜日(もしくは 9 月 25 日月曜日午前)、2 回目は 10 月 2 日火曜日。2 回目については、多少後ろへずらすことも可能か。
フレームの設計を元に、上の納期に間に合う鋼材で最終決定を行う。見積もりによっては、試験体数を削減の可能性有り。
鋼材の想定 柱 ①H300×300×10×5(SN490B or SM490A or SN400B)
②□-250×250×12(STKR400 or STKR490)
③□-300×300×12(STKR400 or STKR490)
柱に合わせる→ 梁 H-300×150×6×12(SN490B or SM490A or SN400B)
角田製作所に対する加工図の提出は 8 月 24 日金曜日。(CLT 接合部の加工、実験中の仮置きのための加工も含む。)
- 試験体の施工について
CLT の建て込み、モルタル充填の施工をどこに依頼するか検討。
無収縮モルタルの養生は、高強度タイプ(80 or 100)とすることで、2 日程度確保できれば良い。
- 建築研究所での前に行っている実験は、9 月 26 日に終了予定。試験体は順次処分されているので、本実験の試験体等が上に示した納期であっても保管は可能か。試験体の建て込み作業や保管する試験体数を考慮すると、立てて保管するのがベスト。(無収縮モルタルの施工については、寝かせた方がやりやすいが。)安全対策、手順については、別途検討。
- 加力は、ジャッキ 1000kN(実験ではギリギリか)までを想定しているが、押しだけなら 1500 kN まで可能。ロードセルは定格 1000kN だが、安全率を考慮すると 1500kN まで可能。ワガーを想定して、加力は耐力が低い試験体から実施。

CLT 壁が2～3 枚設置される場合は、1000kN では足りない。その場合、ジャッキは 1500 kN があるので、最初からそれを設置するのも有り。ただし、治具の設計もそれに合わせて行う必要がある。

- ・ 治具について(角田製作所に発注)

納期は 9 月 28 日金曜日。10 月 1 日月曜日より試験装置組み立て。

角田製作所に対する加工図の提出は 8 月 24 日金曜日。(仮)

- ・ 計測計画は、資料 08 をベースに進める。
- ・ 実験補助は、京大より 1 名(金澤)、信州大学より 1 名、合計 2 名が入る予定。

【鉄骨フレーム・CLT 耐力壁の設計】(資料 05)

- ・ フレーム内の CLT の位置・枚数をパラメータとして解析を実施。
→今回示した解析では CLT を弾塑性で設定したが、実際の破壊モードに合わせて、弾性で検証する。鉄骨フレーム側で降伏するような設計としたい。今回の解析結果は、ねらいと異なる。
- ・ フレーム中央に CLT が 1 枚設置されるパターンで、今回の解析では、ほとんど CLT が効いていないのはなぜか。本来のねらい通りならば、梁の CLT が取り付けられている部分が降伏するはず。
本来のねらいを考えると、鉄骨フレームの柱と梁の接合部はそれほど重要ではなく(ヒンジは発生しない)、柱断面を口から H に変更した方が、治具の納まりも、納期・費用を考えても良いのではないか。
→CLT の設定等を修正して、再度解析で確認。
→鉄骨フレームの仕様は製作の条件から最終決定。→【発注・実験実施関連】へ
- ・ 1/2 試験体での構造実験では、CLT に合わせて実大での破壊モードを再現するような鉄骨フレームを想定した。実大だと、梁は H-588×300 をイメージしている。
(解析上で、CLT が S60 だと CLT が先行破壊、S90 だと梁が塑性するぐらいをねらいたい。
→難しいが。)

4. 1/2 試験体による接合部実験について

- ・ 構造実験の試験体と同一の仕様による接合部実験を立案。実施時期、試験体の納期を明らかにして、加工の発注を早急に行う。→【発注・実験実施関連】へ

5. 耐火実験について

- ・ 11 月末実施をめざして、準備を進める。構造実験の試験体仕様が決定した段階で、実大寸法の耐火実験の試験体図を作成。試験体制作に1ヶ月は必要であるので、10 月末には発注。
CLT は実大 7 層 7 プライ 210 mm 厚 S60 スギとなるが、在庫品で対応可能か。
- ・ これまでの知見から、検証対象は梁側の上部接合部のみで OK。予算の範囲内で実施。

6. その他

- ・ 次回第3回委員会の予定は 10 月 1 日(月) 13:00～15:00(@オアシス)
議題は 接合部実験計画の確認
耐火実験の試験体検討等
構造実験の最終確認(スケジュール等)

→ 第 3 回委員会の日程は変更 11 月 5 日(月)10:00～12:00(@オアシス)

平成 30 年度 CLT 等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業(国による開発) S 造 CLT
構造実験打合せ

日時	2018 年 9 月 13 日 木曜日 15:00～17:30
場所	ドット・コーポレーション
参加者 (敬称略)	委員:五十田、荒木、宇佐美、北守 オブザーバー:服部 事務局:平野、山崎(議事録作成)
配付資料 資料 01:試験体図 資料 02:測定計画 資料 03:発注対応整理 資料 04:施工に関する注意点 ※下線は要検討項目 1. 施工方法の検討 - 作業内容、施工担当については別添スケジュールを参照。 - 京大試験体の型枠施工・モルタル打設は、立てたまま行う。 →<u>型枠の詳細イメージについては型枠大工に確認する(担当:宇佐美)</u> →<u>型枠大工に施工を依頼＋竹中試験体の型枠施工については確認中(9/14 現在、担当:荒木)</u> - 竹中試験体の型枠施工・モルタル打設は、寝かせた状態で行う。 - モルタル、型枠等の必要資材については、施工者から発注をお願いする。(試験体・治具・試験装置組立のボルトは巴機械工業で手配済。) 2. 計測計画の検討 【計測計画の検討】 - 資料 02 に示されている箇所の計測の他に、パネルの変位(鉛直、水平)を計測。 →<u>計測器具等の設置のためフレームに設けるナット等の検討＋巴機械工業に依頼(担当:宇佐美)</u> <u>京大試験体については、追加でゲージを検討。</u> - ゲージ貼りの担当、日程については、別添スケジュールを参照。 【載荷のサイクル】 3 回繰り返し 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30 3. 発注関係、他 - 鉄骨フレームの製品検査(9/27)は宇佐美、山崎で対応。 - 未発注はひずみゲージ(三軸ゲージは在庫確認済)	

→京大での追加検討後、発注

- ・ 解体・廃棄は 10 月 24 日に 4 体、10 月 31 日に 3 体とする。
- ・ 学生の実験補助については、10/1～31 難波(信州大)、10/2～31 金澤(京大)とする。
→宿泊・交通等については、事務局と別途調整

4. 委員会日程

- ・ 次回委員会日程は、10 月 1 日であるが、構造実験の予算が未確定。今後の検討の方向性も含めて延期する方向で調整。
→候補日時は 11/1(木)15:00～17:00

平成 30 年度 CLT 等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業(国による開発) S 造 CLT
第3回委員会

日時	2018 年 11 月 5 日 月曜日 10:00～12:00
場所	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 3」
参加者 (敬称略)	委員:五十田、北守、荒木、中島、石原、三木、鈴木、野秋、宇佐美 行政:斉藤 オブザーバー:金澤、服部、福本、赤根(山辺の代理) 事務局:平野(議事録作成)
配付資料 資料 01:第 2 回打合せ議事録(20180810) 資料 02:全体スケジュール 資料 03:構造実験速報 資料 04:CLT 要素試験について 資料 05:接合部実験・CLT 要素実験 試験体図 1. 前回の議事録の確認 ・ 構造実験関係で予算を使い果たしたことから、耐火実験は実施しないこととなった旨を報告。 2. 1/2 試験体によるフレーム実験の速報(資料 NO.03) ・ 実験の速報を金澤+五十田より報告。 ・ 最終の試験体図は本日の資料と異なる。 → 床側の無収縮モルタルの寸法は、幅方向は CLT より 500 mmオーバー(偏りタイプでは柱まで)、梁幅方向は梁のフランジいっぱいまで。 ・ フレームの鋼材の実験より得られたデータから、想定したフレームのみの荷重変形関係は 1.5 倍程度大きくなることから、今回の実験結果と一致する。 ・ 試験体は、梁がせん断破壊する想定で計画した。また、中央タイプで S60 と S90 の CLT を実施したが、設計上は S60 では曲げ破壊が生じるが、S90 では生じないということになっている。しかし、基準強度はかなり余裕があるので、どちらも実際には曲げ破壊は生じないということを示すことを目的としている。 ・ 資料 03 の図 9、13、17 のグラフの横軸の変形角はどのように算出しているのか？ → CLT に X 形状に設置した変位計より算出している。 → 材料のせん断ではなく、圧縮力の影響が出ている可能性がある。 ・ 変形が進んでも荷重が下がらないのは不思議な現象ではある。今後、解析を進めたい。 → 実験の様子からは鋼板挿入プレートの中央部分がきいている可能性がある。 ・ 試験体として鉄骨フレームが左右対称ではない(柱上部の仕様が異なる)ので、左右の柱の負担せん断力が異なると思われる。解析を進めるに当たって、左右の差について確認をしておく必要がある。	

→ 繰り返しの範囲では柱の負担せん断力は左右でほとんど差が無い。ただし、破壊性上などが異なるので、確認は必要。

- ・ 資料 03 の表 1 の初期剛性は、グラフから見るとかなり低いように感じるが？
→ この値は概算の速報値で、単純に 10 mm変形時(1/200rad)のものをそのまま掲載している。今後、データを整理した上で、詳細値を示す。
- ・ ドリフトピン接合の鋼材に対する縁距離はどのように対応しているのか？鋼材の基準から見ると少し小さいのでは？
→ ドリフトピンに発生する力を計算した上で、鋼材の縁距離をチェックした。
→ 設計にかかわるところなので、整理が必要。

3. 要素実験、接合部実験について(資料 04、05)

- ・ CLT のせん断実験については、資料 04 に示す通り、大野式と圧縮式で行うことを計画している旨を北守より説明。
→ せん断実験の目的は、第一は材料の確認である。当該実験のための材料実験は、大野式、圧縮式どちらがふさわしいかは、結果を見て判断することとなる。
- ・ せん断は脆性的な破壊が生じるが、1/2 試験体によりフレーム実験ではそのような様子は見られない。これについての考察や設計法に活用できる知見を得ることは可能なのか？
→ フレーム実験ではせん断はみかけの変形で、CLT 全体がきれいにせん断変形しているのではなく、分布がある。そのため、要素実験の値を用いて設計を行うということは難しいか。
→ 建研式の既往の研究で、脆性的な破壊が生じない理由等の説明は可能かと思う。
- ・ 接合部実験および CLT の引張試験とせん断試験の試験体は資料 05 に示す通りである。
- ・ 接合部実験において、ドリフトピンの引張実験は単調引張とするが、接合部の斜め引張試験は単調引張とするか繰り返しとするか？
→ 1/2 試験体によるフレーム実験で接合部に生じている現象を再現するように計画する。実験の解析を進めて、決定する。降伏点 100%での繰り返しを実施すると、ドリフトピンが破断するなど、実際には生じていない破壊性状を示すことになる。

4. 本仕様にたいしての耐火性能

- ・ 耐火構造とする場合、床の仕様は問題無い。梁側は、求められる耐火被覆を行えば性能は確保できると思われるが、吹きつけ系の耐火被覆については実験を実施していないので、実験での確認は必要か。
- ・ また、建築研究所等で実施している耐火構造の実験と比較して、鋼材の量が多くなっている点は気になる。実物件での確認申請では、現段階では、実験結果を求められるケースが想定される。

5. その他

- ・ 今後の予定

実験とりまとめ打合せ 11 月 20 日(火)16:00-18:00(@DOT)

設計法の検討打合せ 12 月 14 日(金)17:00-19:00(@オアシス)

上2つについては、出席者は事務局より連絡致します。

第 4 回委員会(最終) 2 月 4 日(月)15:00-17:00(@オアシス)

平成 30 年度 CLT 等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業(国による開発) S 造 CLT
報告書とりまとめ打合せ

日時	2018 年 11 月 20 日 火曜日 16:00～17:30
場所	ドット・コーポレーション
参加者 (敬称略)	委員:五十田、北守 オブザーバー:福本、金澤、難波 事務局:平野、山崎(議事録作成)
配付資料 資料 01:報告書構成案 資料 02:報告書とりまとめ案 1. 報告書の構成 ・ 報告書目次案については別添を参照。 ・ 2 章 要素実験については、実施した実験を全て並べる。 →CLT(引張、せん断)(強軸、弱軸)S90・S60、鋼材引張、ドリフトピン引張、モルタル圧縮(BL データ待ち) ・ 2. 報告書の取りまとめ方 ・ 1.4 試験の全体像において、実験で使用了材料に関する全体を示す。CLT の大版からのカット図も含む。 ・ 3.1 試験体図には、施工方法・試験体組立手順を含む。 ・ 3.4.1 データ処理の方針として、負担荷重の求め方等を示しておく。 ・ 3.4.4 主な応力図では、まずは鉄骨フレームの M 図を作成する(1/200(正負)、1/100(正負)、1/50(正負)、最大荷重時)。M 図をもとに、CLT の応力をどのように示すか検討する。 ・ 資料 02(報告書 3.4.2 荷重変形と破壊性状)については、基本的にはこのレイアウトで進める。1 ページ目の荷重変形関係のグラフは盛替え部分を削除して作成する。ただし盛替え部分も含めた元データは保存しておく。2 ページ目の写真は 6 枚、もしくは 8 枚でできるだけ多く見せる。各グラフの縦軸・横軸の数値はグラフ枠外に記載する。 3. その他 ・ CLT の全面圧縮試験については、日程上可能であれば実施する。 ・ 「参考」の試験体製作図等については、報告書に必要なかどうか提出前に判断する。 ・ 次回 12/14 の打合せでは、構面実験の部分についてできたところまで、要素実験の速報を示す。	

第2回 報告書とりまとめ打合せ

日時	2018 年 12 月 14 日 金曜日 17:00～19:00
場所	ドット・コーポレーション
参加者 (敬称略)	委員:五十田、北守、宇佐美、石原 オブザーバー:福本、金澤 事務局:平野、山崎(議事録作成)
配付資料 資料 01:報告書目次案 資料 02:材料実験結果速報 資料 03:鉄骨柱負担せん断力 資料 04:報告書案(3.4 実験結果) 1. 報告書の担当 ・ 1.3、1.4(五十田) ・ 2.2、2.3(ドット) 2. 第2章要素実験(資料 02) 【引張実験】 ・ 結果から強度、ヤング係数を求める。また破壊性状を整理する。 ・ ひずみゲージと変位計の値が違うのはなぜか。 →変位計は全体の変位を計測しているが、ひずみゲージはラミナ 1 枚を計測しているためであると思われる。 →以前、集成材でひずみゲージ、変位計の差を確認した実験を実施したことがあるが、差がなかった。今回の試験では、変位計、ゲージの位置等も含めて何らかの影響が出ていないか。 →ひずみゲージは外層ラミナに貼り、変位計は内層ラミナの中心に設置している。 →ゲージ位置、試験方法等の情報が整理されたら再度確認する。 →報告書としては変位計によるデータ、ひずみゲージによるデータの両方整理しておく。 【せん断実験】 ・ S60 の 1 体目、2 体目は治具が動いている可能性があるため、測定結果は怪しい。 ・ 試験結果のグラフの縦軸は合わせる。 ・ 評価方法については、CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル 10.6.1(2)に基づいて行う。pickpoint というソフトがあるのでそれで算出する。 【接合部実験 ドリフトピン単位接合部】 ・ グラフのがたつきは、荷重レベルが低いため。 ・ 最終的に 6 本実施するルールであれば、外れ値(のようなもの)を外してはどうか。 →そうすると 95%下限値が上がる。木造ではこうした場合で外すことはしない。	

【接合部実験 接合部全体】

- ・ 一度除荷しているため、グラフがばらついている。
- ・ 設計上の耐力はどのような値か。
→S90 は、許容耐力が 206kN。終局耐力は算出していない。
- ・ S90-DPJ-4(青)、S90-DPJ-3(グレー)は、初期軸力が入った状態でスタートしてしまったため、原点がずれているのではないかと考えており、もう少し下がると思われる。
→データは問題ないのか。計測はどこでイニシャルとるのか決められているか。あるいは、0 の時にひずみがいくつの値になっているかどうかダイレクトデータはあるか。
→いつの時点でひずみを 0 としたかは分かって、どの時点を荷重を 0 としたかは記録がないと分からない。ピンが回るところを 0 にするなど何かのルールがあって進めるはずだけれども。
→セッティングしてからボルトを締めてしまっているのでは、引張力が入っている可能性がある。
→ボルトを締める前にデータをとっておけば分かる。ボルトを締めてからとってしまうと分からない。
→原点を移動させるのであれば、根拠がないとねつ造と思われる。確実に理由が分かるのであれば問題ないが、推測で修正してしまうのは問題。手を加え、修正した場合は、データの取扱上注意が必要ということを明記しておく。修正するのであれば、修正方法と修正前後を明記しておく。
- ・ ドリフトピンの実験は 3 点曲げ、引張で実施する。3 点曲げは静岡大学小林先生、引張は竹中で実施していただく。

3. 鉄骨柱負担せん断力(資料 03)

- ・ 実験値水平荷重と柱せん断力を比較した図を見ると、差がある。
→ひずみゲージから梁の軸力を求め、柱のせん断力(ロードセル側)を足したものが水平荷重と一致するかどうか確認する。一致しなければどこかに摩擦が生じている。
→加えて、ロードセルの反対側の柱のせん断力と、梁の軸力が一致しているかどうか確認する。
- ・

4. 実験結果の整理(資料 04)

- ・ 水平変位を補正しているのであれば、回転(浮き上がり)も考慮してはどうか。
→柱脚はピンとなっているが、横方向の変位は、ピンの下の板の摩擦が足りなく滑っていることによる。
→変位計をどこから計測しているか分かるように示して欲しい。全て固定からの計測。
- ・ 図 3.4.2-1 の点はどういう意味か。
→チェックするために設置していた梁のひずみゲージが降伏した点を示している。
→局所応力なので早いですが、フレーム全体の降伏はもっと高いところにある。

→その点についても記載する。

- ・ kN の有効数字は小数点 1 位まで。
- ・ 各グラフの縦軸を合わせる。横軸はフレーム(F-00)のみ長く、後は合わせる。
- ・ 試験体の正負はどこで示すか。
→3.2 試験方法で示す予定。
- ・ S60-DP-E1 の荷重変形関係(第 3 章-p32)で最後 CLT の荷重が上がっている。
→端に CLT を設けているタイプである。この試験体のみ CLT の接合部が壊れた(集合型破壊)。
- ・ 同じ図で CLT の負担せん断力が一部下がっているところでは何が起きているか。
→他の線を比べてみてもよく分からないため、データを確認する。
- ・ 3.4.5 主な応力図で、各値がどのような値か、また凡例を追記する。Q は M 図を書くために求めたものであり、消してしまってもよい。
- ・ 壁のせん断力を追記して欲しい。
- ・ 3.4.3 の CLT の負担せん断力について、3 体の比較をしてほしい。

5. その他

- ・ 最終は 2/8(修論提出日)
- ・ 必要な場合は、次の日程で報告書打合せを実施する。1/21 10:00～(仮)

平成 30 年度 CLT 等新たな木質建築部材利用促進・定着委託事業(国による開発) S 造 CLT
第4回委員会

日時	2019 年 2 月 4 日 月曜日 15:00～17:00
場所	情報オアシス神田 神田北スペース 会議室「オアシス 1」
参加者 (敬称略)	委員:五十田、北守、荒木、中島、石原、三木、野秋、宇佐美 行政:斉藤 オブザーバー:赤根(山辺の代理) 事務局:平野、山崎(議事録作成)
配付資料 資料 01:第 3 回委員会議事録(20181105) 資料 02:報告書目次(案) 資料 03:報告書(案) 資料 04:現行の防火関係規定での CLT 現し型耐震壁の実現可能性 資料 05:全体スケジュール 1. 前回の議事録の確認 ・ 前回委員会より報告書の取りまとめ方に関する打合せを実施したことを報告。 2. 報告書の確認(資料 03) ・ 第 2 章の各実験において、試験概要の冒頭に、試験体仕様をまとめた表を示す(dot 作成)。 ・ 第 2 章、第 3 章の試験体・破壊性状等の写真を大きく示す。(モルタル、鋼材引張の写真は小さくなくてもよい) ・ 未実施の圧縮試験は、最終的には取っておきたいデータである。報告書への記載は別途相談。 【第 2 章 要素実験】 ・ 2.1.2 CLT のせん断実験 ・ 密度の結果を追加する。 ・ せん断力 Q は $2/4P$ ではないか。→確認する(北守) ・ せん断応力度 τ に $3/2$ を掛けなくてよいか。→平均せん断応力度、最大せん断応力度の両方を示す。 ・ 2.2 モルタル圧縮実験 ・ 試験概要について差しかえ(dot 作成)。 ・ モルタル試験の各試験体と $1/2$ 構面実験の試験体の関係を示す。 ・ 2.3 フレーム用鋼材引張実験 ・ 試験概要について差しかえ(dot 作成)。 ・ 第 2 章-p30 の表の単位を修正、ミルシートの内容も追加する	

- ・ 2.4.1 ドリフトピン曲げ実験、2.4.2 ドリフトピン引張試験
 - ・ ミルシートも合わせて示す(dot 確認)。
- ・ 2.4.3 ドリフトピン単位接合部実験
 - ・ 第 2 章-p38 の写真で、加力側の鋼板が軸に対して斜めになっているように見えるが、どのような状況か教えていただきたい。
→上側の板の加力点がピンであり、除荷した状態での写真であると思われる。加力中はまっすぐである。
- ・ 2.4.4 ドリフトピン接合部全体実験
 - ・ 耐力については、ドリフトピンの単位接合部実験より求めた本数倍の値と、CLT の引張・せん断実験から求めた CLT の破断強度を参考に示しておく。
 - ・ 第 2 章-p54 のグラフの原点を移動させるか。
→原点を移動させる場合は、理由、修正方法、修正前後を示しておく(12/14 報告書打合せ議事録参照)。

【第 3 章 1/2 スケール構面実験】

- ・ 3.2.3 計測計画
 - ・ 各試験体の図を大きく示す。(A4 横で 1 ページに 1 つ)
- ・ 3.4.4 各接合部のすべり変形
 - ・ 各グラフが、どこの部分の変形を示しているのかが分からない。
→説明図を入れる
- ・ 3.4.5 主な応力図
 - ・ 第 3 章-p37 以降、せん断歪より算出したせん断力も記載しておく。

【事後解析】

- ・ 事後解析では、CLT パネルを入れた試験体は、実験結果と合っている。しかし、鉄骨フレームのみ(F-00)の試験体では、剛性が合わない。その理由がよく分かっていない。
→(※)フレームの解析を合わせるのは難しい。パネルゾーンを剛域に設定していたが、変形を追加すると合う可能性がある。

【設計法の提案】

- ・ 設計用モデルを提案し、接合部を含めた式を作ることを目的としている。
- ・ 剛性について、CLT の負担分を 1/2 とすると、実験結果と合ってくる。
- ・ CLT を端に設けたもの(S60-E1)については傾向が異なる。
→線材としてモデル化しているが、シェルとするとうまくいくかもしれない。

→事後解析の(※)で示した部分と上記のモデル化に関する部分の検討は、研究的な内容であり、実用に向けての検討では現状のもので問題ない。報告書としてはこのままとする。

3. 報告書目次案(資料 02)

- ・ 報告書のうち、今後作成が必要な部分(と担当者)は、下記の通り。
 - 1.3 S 造+CLT 耐力壁 設計の考え方(構造と防火) (担当:五十田)
 - 1.4 試験の全体像 要素実験と構面実験(担当:五十田)
 - 2.4.1 ドリフトピン曲げ実験
 - 2.4.2 ドリフトピン引張試験
 - 4.3 耐火被覆の考え方と納まり事例(担当:鈴木)
- ・ 「4.3 耐火被覆の考え方と納まり事例」については、鈴木・野秋委員に相談し、総プロ等での知見を踏まえて、今回の試験体について防耐火上の留意点について執筆いただく。(1～2 ページ程度)

4. その他

- ・ 今後の予定
 - 3/4 に林野庁事業成果報告会が開催される。2/20 に発表用パワポ締切。
 - 3/12 事業完了