

令和 5 年度 木材製品の消費拡大対策のうち CLT 建築実証支援事業のうち
CLT 等木質建築部材 技術開発・普及事業

「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」

報告書

2024 年 2 月
株式会社 長谷萬

令和5年度 木材製品の消費拡大対策のうち

C L T 建築実証支援事業のうち C L T 等木質建築部材技術開発・普及事業

「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」

目次

1. 事業概要	1
1.1 事業の背景と目的	1
1.1.1 事業の背景	1
1.1.2 本事業の目的	5
1) シアコネクタのせん断試験	8
2) DLT-CC実大曲げ試験	8
3) コンクリートの染み出し汚れ防止効果の確認	8
1.2 事業実施体制とスケジュール	6
1.2.1 実施体制	6
1.2.2 全体スケジュール	7
2. 事業内容	8
2.1 シアコネクタのせん断試験	9
2.1.1 試験目的	9
2.1.2 試験概要	9
1) 試験体の仕様	9
2) 試験体の形状、寸法	12
2.1.3 試験方法	23
2.1.4 試験結果	24
2.1.5 試験結果の考察	49
1) シアコネクタせん断性能について	49
2) コンクリートとの境界面について	50
2.1.6 試験写真	51
2.2 DLT-CCの実大の曲げ試験	57
2.2.1 試験目的	57
2.2.2 試験概要	57
1) DLT-CCの設計	57
2) 試験体の仕様	60

3)	試験体の形状、寸法	65
2.2.3	試験方法	67
2.2.4	試験結果	68
2.2.5	試験結果の考察	73
1)	試験結果について	73
2)	曲げ試験結果の解析	75
3)	解析結果と試験結果の検討	75
2.2.6	試験写真	77
2.3	コンクリート染み出し汚れの防止効果の確認	80
2.3.1	目的	80
2.3.2	試験概要	80
2.3.3	接合具の施工確認	81
1)	無処理仕様	81
2)	透湿防水シート仕様	81
3)	合板仕様	82
2.3.4	コンクリートの施工確認	84
1)	無処理試験体	84
2)	透湿防水シート仕様	85
2.3.5	コンクリート解体後の確認結果	86
3.	DLT-CCの活用と普及にむけて	87
3.1	DLT-CC の活用について	87
3.2	DLT-CCの利用拡大に向けた課題	88
4.	添付資料	90
5.	謝辞	105
6.	参考資料	105

1. 事業概要

本報告書では、令和5年度 木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業による「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」について報告する。

事業名 : 「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」

事業主体 : 株式会社長谷萬

事業期間 : 令和5年4月8日～令和6年2月20日

1.1 事業の背景と目的

1.1.1 事業の背景

- 木ダボ接合積層材（DLT：Dowel Laminated Timber）は、製造時に接着剤や釘を使用せず木ダボで板材等を積層した床・壁・屋根などに使用できるマスティンバー材である（写真1）。DLTの製造は大規模な製造設備が不要で、中小の製材事業者による高付加価値型の多品種少量生産に適している。地域分散型の生産で地域の木材産業の活性化につながるとして、欧州の中山間部では小さな製材所、加工所、工務店によって、DLTのサプライチェーンが構築されている。北米でもCLT、NLTなどの他のマスティンバー材と同様に多くの建築物で活用され普及が進んでいる。



写真1 スギDLT 基本タイプ

- DLTの製作は図1で示すように板の配列、穿孔、ダボ挿入という単純な工程で製造でき、木材の加工性の高さを活かした多彩な表面デザインが可能である（表1）。また素材段階での寸法許容範囲が広く、歩留りが良いため、現状よりさらに高い製材歩留りを目指せる可能性がある。

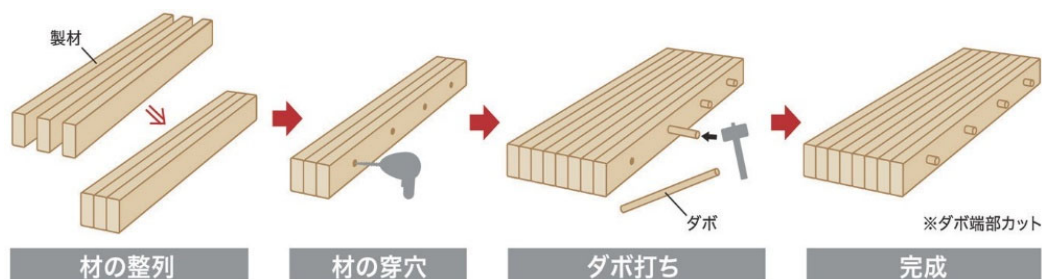


図1 DLT 製作工程

表 1 DLT表面意匠のバリエーション例

基本タイプ 加工しないひき板の積層。 	ベベルエッジ タイプ1 平面を残し、斜めに深く削り、凸凹を強調したもの。 	ベベルエッジ タイプ2 ひき板端部の斜め加工により、表面に変化をつけたもの。 
丸身付き 丸身付きのひき板により、均質でない、自然でラフな印象。 	グループエッジ タイプ1 側面に溝をつけたひき板の積層により、ひき板を強調したもの。 	グループエッジ タイプ2 側面に溝をつけたひき板の積層により、ひき板の凸凹を強調したもの。 

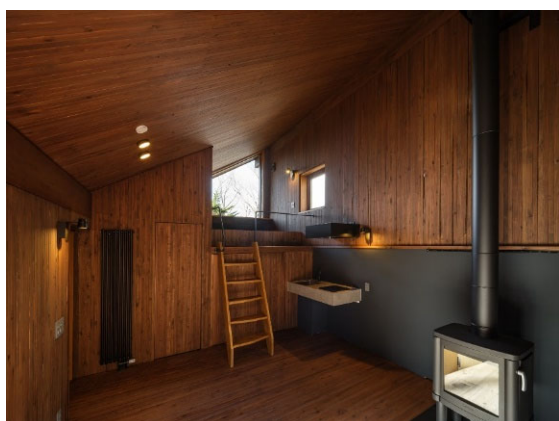


写真 2 DLT活用例 1 (天井、壁、床)



写真 3 DLT活用例 2 (天井)

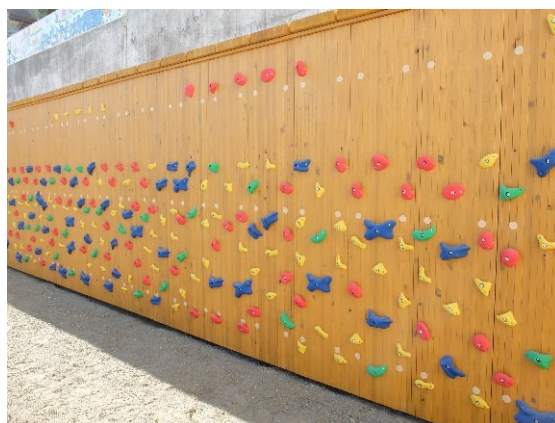


写真 4 DLT活用例 3 (外構)

これまでに、DLTについて以下の各種性能を確認した。

1) 曲げ性能の確認

令和元年度事業のDLTの曲げ試験の結果より、DLTは木ダボによる接合・積層で強度向上しないことを確認した。また、ラミナにJAS甲種2級同等材を使用したスギDLTは、同断面のスギ集成材 同一等級構成 E65F255 の平使いの梁と同等程度の曲げ性能が確認された。また、偏荷重による梁の曲げ試験により、木ダボによる荷重分散効果が確認された。

DLTは、集成材のように一気に破壊する脆性的な曲げ破壊でなく、欠点を有する弱いラミナから徐々に破壊する、延性的で粘り強い性状を確認した。

2) DLT-コンクリート合成床版の曲げ性能の確認

令和元年度事業で、DLTの上面にコンクリートを打設したDLT-コンクリートの合成材（Dowel Laminated Timber-Concrete Composite ; DLT-CC）の基礎的な曲げ試験、クリープ試験を実施し、DLTとコンクリートの合成床版（DLT-CC）が、鉄骨造やRC造での混構造での活用できる可能性を確認した。

3) 壁性能の確認

令和元年度事業のDLT壁の面内せん断試験の結果より、DLT壁が耐力壁としても利用可能であることを確認した。壁倍率認定を未取得のため、DLTを耐力壁として使用する場合は、試験結果より許容応力度計算による確認が必要である。

軸組構造の壁にDLTを組み込み、耐力面材を使用する場合、使用する構造用面材の種類に応じた壁倍率を利用することができる。

4) 意匠性の検証

令和元年度事業では、DLTに多様な意匠性を持たせられることを確認した。一般的に利用されない丸身付き材の活用により、製材歩留まりを向上できる可能性がある。また、DLTの多様な意匠性を活かすことで、住宅や非住宅用途での天井現しの床や屋根、内装壁としても活用が期待できる。

5) 吸音性の検証

令和元年度事業で積層する木材の断面加工と吸音材との組み合わせにより、DLTに吸音性能を付与できることを確認した。

6) DLT床構造の防火性能の検証

令和2年度事業では、DLT床構造について小型試験炉で予備試験、実大水平炉での載荷加熱試験を実施し、以下を確認した。

- スギ38×140DLT スパン3.9mの試験体で60分準耐火構造 床と同等の性能を有することを確認した。

- スギ30×105DLT スパン3.9mの試験体は、加熱開始後37分で試験中断し、45分 準耐火構造 床の性能を満たすことが確認できなかったが、必要な断面とすることで45分 準耐火構造 床の性能を確保できる確証が得られた。
- 試験の経過状況よりスギ 30ミリ×105ミリDLT スパン3.9mは、30分の準耐火構造の屋根と同等程度の性能を有することを確認した。

7) DLT壁構造の防火性能の検証

令和4年度事業では、金属サイディング仕様のDLT壁構造について4つ枠試験体での予備試験、実大壁炉での載荷加熱試験を実施し、以下を確認した。

- 金属サイディング仕様の外壁面加熱から、45分準耐火構造 壁と同等の防火性能を確認した。
- DLT現わし仕様の内壁面加熱より柱の鉛直方向の変位、非加熱面の温度上昇が規定値以下であったが、DLTの隙間からの煙漏出があった。火災時に煙漏出があると安全避難が困難となる可能性があるため、改善すべき点が確認された。

1.1.2 本事業の目的

これまでに構造性能、防火性能の性能確認を行ってきた結果、防火性能要求がない小規模建築物やその他構造物でDLTの利活用が進みつつある。

令和3年10月1日「都市（まち）の木造化推進法」の施行、令和4年6月の「建築基準法」等の改正を通じ、グリーンビルディングの取り組みが進んだ結果、木造ハイブリッド構造による超高層オフィスビルの建築計画も発表されている一方で、現実的には3階までの低層非住宅建築物での木造化率は5.6%と低く、圧倒的に鉄骨造が多く、中高層建築物に至ってはほぼ非木造であると令和4年林業白書で記されている。

低層非住宅建築物の構造材を全て木材、マスティンバー材とすると、構造面や経済性で課題が生じる場合もあるが、事業主体や施工主の脱炭素社会の実現に向けた取り組みから、木材利用のニーズが高まっている。DLTの意匠性と、地域産材の利用の容易さから、RC造の壁面にDLT現しの化粧型枠材として採用された事例もある。同様に木造以外の構造躯体の床構造に、DLTを適用できるようになれば、地域材の利活用の拡大につながるものとする。

そこで、鉄骨造やRC造の床構造でのDLT適用を図るため、本事業ではDLTの上面にコンクリートを打設したDLT-コンクリート合成材（DLT-Concrete Composite、以下、DLT-CC）の性能検証を行った。DLT-CCの取り組みの成果は、DLTへの適用に限らず大径材や丸太材においても、同様の木材-コンクリート合成材（Timber- Concrete Composite、以下、T-CC）として、応用が可能と考える。

1.2 事業実施体制とスケジュール

1.2.1 実施体制

自治体、製材業者、大学・研究機関と連携し、以下の体制で検討委員会を構成し、検討を進めた。（敬称省略）

委員長	宮田雄二郎	法政大学デザイン工学部建築学科 准教授
委員	網野禎昭	法政大学デザイン工学部建築学科 教授
	花井厚周	株式会社竹中工務店 エンジニアリング本部 木造・木質建築推進本部 副本部長
	飯田智裕	株式会社竹中工務店 エンジニアリング本部 木造・木質建築推進本部 技術グループ チーフエンジニア
	平松 靖	（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 領域長
	大木文明	（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 積層接着研究室 研究員
	小井土義治	小井土製材株式会社 代表取締役社長
	小林 慧	群馬県 環境森林部 林業振興課 県産木材振興係 主任
	長谷川泰治	株式会社長谷萬 代表取締役社長

オブザーバー：

	立花紀之	林野庁 木材産業課 木材製品技術室 木材製品調査班 木材専門官
	齋藤 平	林野庁 木材産業課 木材製品技術室 木材製品調査班 企画調整係長
	井道裕史	（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 材料接合研究室長
	鈴木賢人	（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室 主任研究員
	宮武 敦	（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 研究専門員
	上里和夢	株式会社宮田構造設計事務所
	平原章雄	木構造振興株式会社 常務取締役
事務局	鈴木康史、小林辰美（株式会社長谷萬）	

1.2.2 全体スケジュール

本事業は下表のスケジュールで実施した（表 2）。

表 2 全体スケジュール

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
委員会		▽				▽				▽
材料調達			—	—		—	—			
試験体製作				—	—		—	—		
試験実施					—			—		
事業報告作成							—	—	—	—
P R 活動				—	—	—	—	—	—	—

委員会の開催日程

第 1 回	令和 5 年 6月28日(水曜日)	14:00～15:30
第 2 回	令和 5 年10月13日(金曜日)	14:00～15:30
第 3 回	令和 6 年 2月 9日(金曜日)	10:30～12:00

2. 事業内容

DLT-CCの実用化のため本事業では、以下の項目について確認した。

1) シアコネクタのせん断試験

木-コンクリート合成材では、木材と上部のコンクリートの層間のせん断力の伝達機構であるシアコネクタがキーデバイスであることから、DLT-CC、T-CCに適するシアコネクタのせん断性能確認のため、複数種類のシアコネクタのせん断試験を実施した。

2) DLT-CCの実大曲げ試験

シアコネクタのせん断試験の結果より、剛性及び耐力、施工性を考慮しDLT-CCに適したシアコネクタを選択し、DLT-CCによる梁の合成效果の確認、評価を行うため実大DLT-CCの曲げ試験を実施した。

3) コンクリートの染み出し汚れ防止効果の確認

DLT-CCでは、木材の上部にコンクリートを打設に伴い、ラミナ間からのコンクリートの染み出しによりDLT下面への汚れの恐れがある。DLTとコンクリート界面の仕様を変え、コンクリートの染み出し有無を確認した。

表 4 コネクタの種類

記号	仕様	強度（抵抗）要素
LS	ラグスクリュー 1-M12、L 125mm	コンクリート部：接合具との付着力、支圧 木-接合具：せん断抵抗、引き抜き抵抗力
SC	パネリード 2-PX8 [φ8mm] ×140 mm	コンクリート：接合具との付着力、支圧 木-接合具：せん断抵抗、引き抜き抵抗力
PL	L型有孔鋼板 L-40×40×3.2 パネリード 2-PX8 [φ8mm] ×110 mm	コンクリート部：接合具との付着力 木-接合具：せん断抵抗、引き抜き抵抗力
NN	ノッチ 深さ：30mm、幅：180（190）mm	コンクリート部：せん断抵抗 木部：支圧力、せん断抵抗
NL	ノッチ 深さ：30mm、幅：180（190）mm ラグスクリュー 1-M12、L 125mm	コンクリート部：せん断抵抗、接合具との付着力 木-接合具：せん断抵抗、引き抜き抵抗力 木部：支圧力、せん断抵抗

注）（）内は側材が集成材の場合。

表 5 防水材の種類

記号	仕様	種類
S	透湿防水シート	スーパーエアテックスKD30（フクビ製）
P	コンクリート用型枠合板	パネコート（ウレタン塗装） 厚さ12mm

表 6 試験体 記号、種類

記号	側材	シアコネクタ	境界面の仕様
D-LS-S	DLT	ラグスクリュー*4	透湿防水シート※5
D-LS-P	DLT	ラグスクリュー*4	型枠合板（12mm）
D-SC-S	DLT	スクリュービス*1	透湿防水シート※5
D-SC-P	DLT	スクリュービス*1	型枠合板（12mm）
D-PL-S	DLT	L型有孔鋼板＋スクリュービス*2	透湿防水シート※5
D-PL-P	DLT	L型有孔鋼板＋スクリュービス*2	型枠合板（12mm）
D-NN-S	DLT	ノッチ*3	透湿防水シート※5
D-NL-S	DLT	ノッチ*3＋ラグスクリュー*4	透湿防水シート※5
G-LS-S	集成材	ラグスクリュー*4	透湿防水シート※5
G-SC-S	集成材	スクリュービス*1	透湿防水シート※5
G-PL-S	集成材	L型有孔鋼板＋スクリュービス*2	透湿防水シート※5
G-NN-S	集成材	ノッチ*3	透湿防水シート※5
G-NL-S	集成材	ノッチ*3＋ラグスクリュー*4	透湿防水シート※5

※1 パネリードX(PX8-140)

※2 パネリードX(PX8-110)

※3 ノッチ深さ30mm

※4 M12, 首下長さ125mm

※5 スーパーエアテックス KD30

側材（木材）の仕様；

① スギDLT

DLTラミナには群馬県産 スギ JAS 枠組壁工法構造用製材 甲種 2 級を使用。縦振動法によるヤング係数が 5.5 ～11kN/mm²、含水率 16%以下で欠点を含まない材を木ダボ接合した。試験体寸法切り出し前のラミナおよび DLT(長さ3,000mm)の材料特性を表 11、表 12に示す。DLTは縦振動法によるラミナ 5 枚のヤング係数の平均値が同等となるよう割付けし、積層後に縦振動法により測定したヤング係数を表 13に示す。

② スギ集成材

スギ集成材は同一等級構成集成材 強度等級：E75-F270を使用。試験体寸法切り出し前(長さ 3,000mm)の集成材の材料特性を表 14に示す。長さ 3,000mm で測定した縦振動法によるヤング係数の平均値は、7.32 kN/mm² であった。

主材（コンクリート）の仕様；

使用コンクリート：呼び強度24、スランプ18cm、粗骨材の最大寸法20mm（表 7）。コンクリートの調合表を表 8、フレッシュ性状を表 9に、実験前後の材料特性を表 10示す。

試験体は、屋根のある屋外にてコンクリート打設し、ビニールシートを掛け養生した。現場封かん養生したテストピース(直径100mm、高さ200mm)を用い、材齢3日、7日に圧縮強度、材齢28日(実験開始時)、37日(実験終了時)に圧縮強度、圧縮ヤング係数、割裂強度を測定した。圧縮ヤング係数は下記のNewRC式より算出した。

$$E=33500 \times k_1 \times k_2 \times \left(\frac{\gamma}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60}\right)^{\frac{1}{3}}$$

γ ：コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m³)
 k_1 ：粗骨材の種類によって定まる定数 ($k_1=1$)
 k_2 ：混和材の粗骨材の種類によって定まる定数 ($k_2=1$)
 F_c ：コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

表 7 配合の設計条件

コンクリートの種類	呼び強度	スランプ	粗骨材の最大寸法	セメントの種類
普通	24	18cm	20mm	N

表 8 調合表 (kg/m³)

セメント	水	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤
325	184	544	236	770	3.25

JIS適合品、W/C:56.6%、細骨材率44.9%

表 9 フレッシュ性状

スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(°C)
20	3.8	32

表 10 実験前後におけるコンクリートの材料特性

呼び強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮ヤング係数 (kN/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
24	24.5	21.2	2.4

2) 試験体の形状、寸法

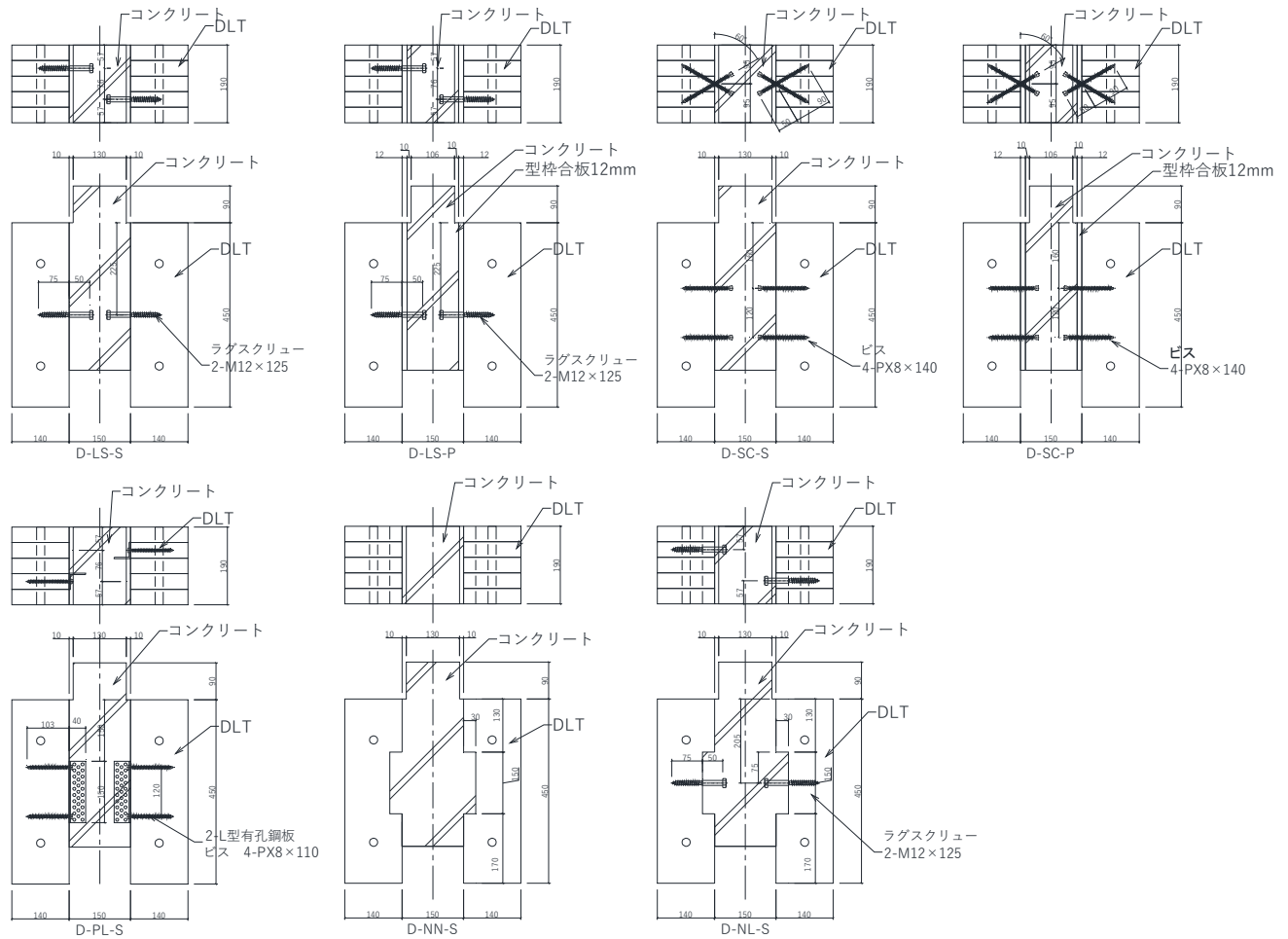


図 3 DLT試験体図

表 11 DLTのラミナ構成 (1)

DLT番号	ラミナ									
	層番号	ラミナ 番 号	幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)	密度 (kg/m ³)	含水率 3点平均 (%)	ヤング係数	
									縦振動法 (kN/mm ²)	5枚平均 (kN/mm ²)
0	1	156	38.0	140.0	3005	5.90	369	12.33	6.85	7.31
	2	17	38.0	140.0	3004	4.99	312	13.90	7.09	
	3	24	38.0	140.0	3005	5.77	361	14.00	8.60	
	4	28	38.0	140.0	3004	5.22	327	10.07	7.81	
	5	11	38.0	140.0	3005	6.64	415	15.63	6.18	
1	1	81	38.0	140.0	3005	5.85	366	9.63	6.85	7.32
	2	4	38.0	140.0	3005	5.56	348	12.57	7.12	
	3	150	38.0	140.0	3005	5.94	372	13.13	8.63	
	4	5	38.0	140.0	3005	6.10	382	13.30	7.81	
	5	102	38.0	140.0	3005	6.22	389	12.30	6.18	
2	1	39	38.0	140.0	3005	5.41	338	10.53	6.78	8.05
	2	159	38.0	140.0	3006	5.71	357	10.47	7.12	
	3	77	38.0	140.0	3005	5.47	342	11.07	8.66	
	4	63	38.0	140.0	3005	4.95	310	11.53	7.84	
	5	23	38.0	140.0	3005	6.46	404	15.07	9.86	
3	1	25	38.0	140.0	3005	5.34	334	10.43	6.77	7.31
	2	94	38.0	140.0	3006	5.68	355	10.37	7.16	
	3	95	38.0	140.0	3005	6.12	383	15.33	8.74	
	4	101	38.0	140.0	3007	6.12	383	13.47	7.85	
	5	72	38.0	140.0	3004	6.29	394	12.07	6.04	
4	1	61	38.0	140.0	3007	5.61	351	8.83	6.72	7.29
	2	111	38.0	140.0	3005	5.87	367	12.23	7.18	
	3	1	38.0	140.0	3005	5.69	356	15.23	8.75	
	4	160	38.0	140.0	3007	5.82	364	12.93	7.88	
	5	124	38.0	140.0	3008	6.72	420	15.47	5.90	
5	1	131	38.0	140.0	3006	5.46	341	14.67	6.72	8.21
	2	80	38.0	140.0	3005	5.78	362	10.97	7.21	
	3	125	38.0	140.0	3006	6.25	391	11.97	8.84	
	4	126	38.0	140.0	3004	5.96	373	14.43	8.11	
	5	115	38.0	140.0	3007	6.75	422	14.63	10.16	
6	1	142	38.0	140.0	3005	6.17	386	13.60	6.71	7.39
	2	50	38.0	140.0	3007	6.24	390	12.83	7.40	
	3	91	38.0	140.0	3005	5.75	360	9.80	8.89	
	4	97	38.0	140.0	3005	5.94	372	12.97	8.12	
	5	58	38.0	140.0	3002	6.79	425	15.27	5.83	
7	1	44	38.0	140.0	3006	5.91	370	11.70	6.64	7.39
	2	145	38.0	140.0	3006	6.16	385	13.77	7.42	
	3	42	38.0	140.0	3005	5.76	360	14.90	8.90	
	4	38	38.0	140.0	3005	5.86	367	11.97	8.16	
	5	71	38.0	140.0	3000	6.33	397	11.70	5.81	

表 12 DLTのラミナ構成 (2)

DLT番号	ラミナ									
	層番号	ラミナ 番 号	幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)	密度 (kg/m ³)	含水率 3点平均 (%)	ヤング係数	
									縦振動法 (kN/mm ²)	5枚平均 (kN/mm ²)
8	1	85	38.0	140.0	3004	5.76	360	14.40	6.61	7.42
	2	133	38.0	140.0	3005	5.39	337	11.80	7.45	
	3	35	38.0	140.0	3006	5.65	353	13.57	8.99	
	4	33	38.0	140.0	3005	5.60	350	11.73	8.26	
	5	32	38.0	140.0	3006	6.37	398	14.30	5.81	
9	1	64	38.0	140.0	3005	6.19	387	15.90	5.20	7.16
	2	87	38.0	140.0	3004	5.37	336	12.50	7.51	
	3	88	38.0	140.0	3006	5.79	362	12.40	8.99	
	4	89	38.0	140.0	3005	6.00	375	10.33	8.31	
	5	55	38.0	140.0	3004	5.28	330	12.97	5.78	
10	1	62	38.0	140.0	3007	6.59	412	13.90	9.56	8.96
	2	75	38.0	140.0	3007	5.75	359	12.10	7.53	
	3	92	38.0	140.0	3005	5.59	350	9.67	9.13	
	4	93	38.0	140.0	3005	6.04	378	10.83	8.35	
	5	70	38.0	140.0	3006	6.16	385	14.77	10.25	
11	1	14	38.0	140.0	3005	6.03	377	13.23	9.59	9.03
	2	104	38.0	140.0	3005	5.32	333	12.13	7.60	
	3	158	38.0	140.0	3004	5.90	369	13.57	9.25	
	4	52	38.0	140.0	3005	5.36	335	13.70	8.36	
	5	37	38.0	140.0	3005	5.97	373	12.80	10.33	
12	1	121	38.0	140.0	3005	5.40	338	13.13	6.32	8.43
	2	41	38.0	140.0	3005	5.80	363	12.37	7.65	
	3	31	38.0	140.0	3003	5.69	356	15.20	9.33	
	4	90	38.0	140.0	3006	5.87	367	12.93	8.47	
	5	112	38.0	140.0	3005	6.81	426	14.70	10.40	
13	1	100	38.0	140.0	3004	4.84	303	10.10	6.30	7.51
	2	107	38.0	140.0	3005	6.26	392	12.60	7.70	
	3	49	38.0	140.0	3004	5.59	350	10.97	9.49	
	4	65	38.0	140.0	3006	5.93	371	12.73	8.51	
	5	151	38.0	140.0	3006	4.85	303	8.87	5.57	
14	1	2	38.0	140.0	3005	6.28	393	13.43	6.27	8.62
	2	48	38.0	140.0	3006	5.18	324	12.27	7.80	
	3	21	38.0	140.0	3005	5.49	343	13.10	9.50	
	4	147	38.0	140.0	3005	5.34	334	10.57	8.57	
	5	154	38.0	140.0	3005	6.18	387	12.70	10.96	
平 均 値			38.0	140.0	3005	5.84	365	12.66	7.83	7.83
標準偏差			0.0	0.0	1	0.45	28	1.72	1.33	0.66
最 小 値			38.0	140.0	3000	4.84	303	8.83	5.20	9.03
最大値			38.0	140.0	3008	6.81	426	15.90	10.96	7.16
変動係数(%)			0	0	0	8	8	14	17	8

表 13 DLTの材料特性（試験体寸法切り出し前、長さ 3,000mm）

DLT番号	DLT						DLT/ラミナ
	幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)	密度 (kg/m ³)	ヤング係数 縦振動法 (kN/mm ²)	ヤング係数 縦振動法 —
0	190.60	139.66	3003	28.77	360	7.11	0.97
1	190.41	139.74	3002	29.92	375	7.49	1.02
2	190.58	139.70	3002	28.21	353	7.69	0.96
3	190.40	140.04	3002	29.84	373	7.09	0.97
4	190.16	140.03	3003	29.97	375	7.06	0.97
5	190.61	139.98	3004	30.44	380	7.79	0.95
6	190.35	139.98	3002	31.13	389	7.17	0.97
7	190.43	139.91	3004	30.23	378	7.14	0.97
8	190.31	139.90	3004	28.97	362	7.16	0.96
9	190.67	139.99	3004	28.94	361	6.87	0.96
10	190.69	139.98	3004	30.44	380	8.55	0.95
11	191.04	140.06	3003	28.77	358	8.58	0.95
12	190.89	140.03	3003	29.83	372	8.16	0.97
13	190.87	140.30	3004	27.81	346	7.23	0.96
14	190.74	139.81	3004	28.67	358	8.17	0.95
平均値	190.58	139.94	3003	29.46	368	7.55	0.96
標準偏差	0.24	0.16	1	0.94	12	0.57	0.86
最小値	190.16	139.66	3002	27.81	346	6.87	0.76
最大値	191.04	140.30	3004	31.13	389	8.58	1.20
変動係数(%)	0	0	0	3	3	8	0.90

表 14 集成材の材料特性（試験体寸法切り出し前、長さ 3,000mm）

集成材番号	集成材					
	幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	重量 (Kg)	密度 (kg/m ³)	ヤング係数縦 振動法 (kN/mm ²)
1	180.44	120.65	3000	26.19	401	7.07
2	180.40	120.54	3000	25.66	393	7.37
3	180.31	120.45	3000	25.90	398	6.89
4	180.34	120.66	3001	25.90	397	7.38
5	180.14	120.40	3000	27.01	415	7.56
6	180.49	120.63	3001	26.62	407	7.61
7	180.31	120.67	3001	26.52	406	7.27
8	180.19	120.52	3000	26.51	407	7.25
9	180.34	120.35	3000	26.53	407	7.74
10	180.11	120.47	3000	26.13	401	7.11
平 均 値	180.31	120.53	3000.30	26.30	403.29	7.32
標準偏差	0.13	0.12	0.48	0.41	6.50	0.26
最小値	180.49	120.67	3001.00	27.01	415.11	7.74
最大値	180.11	120.35	3000.00	25.66	393.29	6.89
変動係数(%)	0	0	0	2	2	4

表 15 DLT の材料特性（試験体寸法切り出し後、長さ 450mm）

試験体 シリーズ	試験体名	連番	左右	DLT 番号	外形			ノッチ		重量 (g)	密度 (kg/m ³)	ヤング係数 縦振動法 (DLT) (kN/mm ²)	含水率 (%)
					幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)				
D-LS-S	D-LS-S-1	1	L R	9 9	190.84 190.94	140.07 139.95	448 449	— —	— —	4299 4298	359 358	6.87 6.87	12.53
	D-LS-S-2	2	L R	0 0	190.62 190.96	139.70 140.31	449 449	— —	— —	4277 4265	358 355	7.11 7.11	12.68
	D-LS-S-3	3	L R	1 1	190.50 190.79	140.06 140.00	449 449	— —	— —	4430 4418	370 368	7.49 7.49	12.79
	D-LS-S-4	4	L R	8 8	190.73 190.61	139.71 139.62	449 449	— —	— —	4268 4383	357 367	7.16 7.16	13.51
	D-LS-S-5	5	L R	2 2	190.59 190.56	140.01 140.33	449 449	— —	— —	4170 4204	348 350	7.69 7.69	12.78
	D-LS-S-6	6	L R	12 12	190.83 190.75	139.34 139.41	450 449	— —	— —	4397 4458	367 373	8.16 8.16	13.26
D-LS-P	D-LS-P-1	1	L R	9 9	190.51 190.70	140.34 140.18	449 450	— —	— —	4429 4293	369 357	6.87 6.87	12.55
	D-LS-P-2	2	L R	3 3	191.04 190.60	140.18 140.60	450 449	— —	— —	4373 4473	363 372	7.09 7.09	11.38
	D-LS-P-3	3	L R	7 7	190.55 190.53	139.76 139.93	450 449	— —	— —	4545 4530	379 378	7.14 7.14	11.22
	D-LS-P-4	4	L R	8 8	190.65 190.62	139.03 139.48	449 449	— —	— —	4304 4317	362 362	7.16 7.16	13.17
	D-LS-P-5	5	L R	5 5	190.52 190.80	140.13 140.11	448 449	— —	— —	4590 4525	384 377	7.79 7.79	12.57
	D-LS-P-6	6	L R	14 14	190.71 190.90	139.41 139.81	449 450	— —	— —	4307 4270	361 356	8.17 8.17	13.11
D-SC-S	D-SC-S-1	1	L R	4 4	190.44 190.42	139.03 139.87	450 450	— —	— —	4512 4501	379 376	7.06 7.06	12.33
	D-SC-S-2	2	L R	3 3	190.62 190.65	140.21 140.18	449 450	— —	— —	4485 4481	374 373	7.09 7.09	12.35
	D-SC-S-3	3	L R	7 7	190.84 190.48	139.82 139.83	450 449	— —	— —	4471 4550	372 380	7.14 7.14	12.70
	D-SC-S-4	4	L R	13 13	190.93 191.05	139.91 139.88	448 449	— —	— —	4172 4130	349 344	7.23 7.23	11.82
	D-SC-S-5	5	L R	5 5	190.54 190.73	139.74 140.23	449 449	— —	— —	4530 4596	379 383	7.79 7.79	12.34
	D-SC-S-6	6	L R	14 14	190.98 190.52	139.90 139.55	449 449	— —	— —	4316 4363	360 365	8.17 8.17	12.49

表 16 DLT の材料特性（試験体寸法切り出し後、長さ 450mm）

試験体 シリーズ	試験体名	連番	左右	DLT 番号	外形			ノッチ		重量 (g)	密度 (kg/m ³)	ヤング係数 縦振動法 (DLT) (kN/mm ²)	含水率 (%)
					幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)				
D-SC-P	D-SC-P-1	1	L R	4 4	190.62 190.56	139.00 139.24	450 450	— —	— —	4530 4501	380 377	7.06 7.06	12.12
	D-SC-P-2	2	L R	3 3	190.46 190.83	140.33 139.90	450 449	— —	— —	4470 4499	372 375	7.09 7.09	11.44
	D-SC-P-3	3	L R	6 6	190.96 190.29	140.03 140.00	450 450	— —	— —	4616 4706	384 393	7.17 7.17	12.36
	D-SC-P-4	4	L R	13 13	191.29 191.55	139.81 139.97	449 449	— —	— —	4166 4158	347 345	7.23 7.23	12.33
	D-SC-P-5	5	L R	5 5	190.46 190.76	140.21 140.08	449 449	— —	— —	4455 4503	372 375	7.79 7.79	12.24
	D-SC-P-6	6	L R	10 10	190.77 190.70	139.64 140.10	449 450	— —	— —	4534 4518	379 376	8.55 8.55	11.76
D-PL-S	D-PL-S-1	1	L R	0 0	190.96 190.93	139.42 139.65	449 450	— —	— —	4409 4323	369 360	7.11 7.11	12.45
	D-PL-S-2	2	L R	1 1	190.29 190.66	139.98 139.81	449 450	— —	— —	4540 4428	380 369	7.49 7.49	12.54
	D-PL-S-3	3	L R	6 6	190.89 190.79	140.35 140.01	450 450	— —	— —	4745 4566	394 380	7.17 7.17	12.25
	D-PL-S-4	4	L R	2 2	190.60 190.90	140.07 139.84	449 449	— —	— —	4236 4191	353 350	7.69 7.69	12.85
	D-PL-S-5	5	L R	12 12	190.62 190.76	139.51 139.51	449 449	— —	— —	4406 4416	369 370	8.16 8.16	13.10
	D-PL-S-6	6	L R	10 10	190.72 190.62	139.75 139.58	449 450	— —	— —	4552 4532	380 379	8.55 8.55	12.54
D-NN-S	D-NN-S-1	1	L R	4 4	190.46 190.47	139.27 139.23	450 449	109.38 109.56	150.35 149.99	4026 4252	337 357	7.06 7.06	12.63
	D-NN-S-2	2	L R	1 1	190.85 190.55	140.06 139.95	448 449	109.33 109.01	150.30 150.40	4268 4197	357 351	7.49 7.49	12.90
	D-NN-S-3	3	L R	6 6	190.46 190.56	140.00 139.87	449 449	109.43 109.72	149.88 150.41	4321 4293	361 359	7.17 7.17	12.79
	D-NN-S-4	4	L R	13 13	191.18 190.84	139.95 139.89	449 449	109.63 109.31	150.38 150.46	3850 3868	321 323	7.23 7.23	12.81
	D-NN-S-5	5	L R	12 12	190.65 190.65	139.73 139.94	450 449	109.09 109.12	150.31 150.43	4236 4127	353 345	8.16 8.16	12.97
	D-NN-S-6	6	L R	10 10	190.52 190.71	139.83 139.84	449 450	109.60 109.21	150.51 150.49	4280 4244	358 354	8.55 8.55	12.11

表 17 DLT の材料特性（試験体寸法切り出し後、長さ 450mm）

試験体 シリーズ	試験体名	連番	左右	DLT 番号	外形			ノッチ		重量 (g)	密度 (kg/m ³)	ヤング係数 縦振動法 (DLT) (kN/mm ²)	含水率 (%)
					幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)				
D-NL-S	D-NL-S-1	1	L R	9 9	190.64 190.71	139.98 140.10	449 449	109.53 109.42	150.61 150.48	3978 4050	332 338	6.87 6.87	13.09
	D-NL-S-2	2	L R	0 0	190.71 190.78	139.43 139.64	449 449	109.13 109.89	150.34 150.26	3806 3934	319 329	7.11 7.11	13.28
	D-NL-S-3	3	L R	7 7	190.94 190.34	140.10 139.90	449 449	109.38 109.72	150.33 150.48	4222 4159	352 348	7.14 7.14	13.14
	D-NL-S-4	4	L R	8 8	190.93 190.70	139.75 139.50	449 449	109.20 109.27	150.53 150.31	4045 4046	338 339	7.16 7.16	12.99
	D-NL-S-5	5	L R	2 2	190.94 190.75	140.09 140.23	449 449	109.40 109.17	150.35 150.44	3925 3966	327 330	7.69 7.69	11.70
	D-NL-S-6	6	L R	14 14	190.78 190.53	139.20 139.35	449 448	108.99 109.27	150.05 150.46	3863 3924	324 330	8.17 8.17	12.25

表 18集成材の材料特性（試験体寸法切り出し後、長さ 450mm）

試験体 シリーズ	試験体名	連 番	左 右	集成材 番号	外形			ノ ッ チ		重 量 (g)	密 度 (kg/m ³)	ヤング係数 縦 振 動 法 (kN/mm ²)	含 水 率 (%)
					幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)				
G-LS-S	G-LS-S-1	1	L R	1 1	180.35 180.47	120.40 120.43	450 450	— —	— —	3928 3929	402 402	7.07 7.07	12.47
	G-LS-S-2	2	L R	2 2	180.14 180.33	120.54 120.47	450 450	— —	— —	3723 3891	381 398	7.37 7.37	12.75
	G-LS-S-3	3	L R	3 3	180.35 180.33	120.44 120.53	450 450	— —	— —	3899 3867	399 395	6.89 6.89	12.59
	G-LS-S-4	4	L R	4 4	180.32 180.55	120.47 120.51	450 450	— —	— —	3911 3860	400 394	7.38 7.38	12.24
	G-LS-S-5	5	L R	5 5	180.29 180.25	120.36 120.52	450 450	— —	— —	4126 4185	423 428	7.56 7.56	12.69
	G-LS-S-6	6	L R	6 6	180.55 180.54	120.53 120.54	450 450	— —	— —	3987 4087	407 417	7.61 7.61	12.31
G-SC-S	G-SC-S-1	1	L R	1 1	180.27 180.27	120.45 120.43	450 450	— —	— —	3953 3928	405 402	7.07 7.07	12.02
	G-SC-S-2	2	L R	2 2	180.37 180.33	120.51 120.53	450 450	— —	— —	3916 3840	400 393	7.37 7.37	12.34
	G-SC-S-3	3	L R	3 3	180.17 180.14	120.46 120.53	450 450	— —	— —	3939 3964	403 406	6.89 6.89	12.80
	G-SC-S-4	4	L R	4 4	180.38 180.33	120.60 120.61	450 451	— —	— —	3923 3850	401 392	7.38 7.38	13.07
	G-SC-S-5	5	L R	5 5	180.34 180.50	120.47 120.42	450 450	— —	— —	4122 3941	422 403	7.56 7.56	12.55
	G-SC-S-6	6	L R	6 6	180.41 180.54	120.50 120.50	450 450	— —	— —	3925 3969	401 405	7.61 7.61	12.24
G-PL-S	G-PL-S-1	1	L R	1 1	180.29 180.25	120.53 120.63	450 450	— —	— —	3861 3879	395 396	7.07 7.07	12.32
	G-PL-S-2	2	L R	2 2	180.37 180.42	120.57 120.50	450 450	— —	— —	3919 3860	400 395	7.37 7.37	12.84
	G-PL-S-3	3	L R	3 3	180.10 180.16	120.42 120.42	450 450	— —	— —	3844 3823	394 392	6.89 6.89	12.80
	G-PL-S-4	4	L R	4 4	180.37 180.40	120.96 120.45	450 450	— —	— —	3842 3853	391 394	7.38 7.38	12.67
	G-PL-S-5	5	L R	5 5	180.51 180.31	120.86 120.41	450 450	— —	— —	4032 3957	411 405	7.56 7.56	11.95
	G-PL-S-6	6	L R	6 6	180.53 180.48	120.66 120.73	450 450	— —	— —	3989 3981	407 406	7.61 7.61	11.64

表 19集成材の材料特性（試験体寸法切り出し後、長さ 450mm）

試験体 シリーズ	試験体名	連番	左右	集成材 番号	外形			ノッチ		重量 (g)	密度 (kg/m ³)	ヤング係数 縦振動法 (kN/mm ²)	含水率 (%)
					幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)				
G-NN-S	G-NN-S-1	1	L	7	180.50	120.29	450	89.21	149.90	3673	376	7.27	12.30
			R	7	180.52	120.24	450	89.12	150.17	3653	374	7.27	
	G-NN-S-2	2	L	7	180.57	120.27	451	89.36	150.08	3674	375	7.27	12.87
			R	7	180.59	120.49	450	89.47	150.24	3582	366	7.27	
	G-NN-S-3	3	L	8	180.15	120.40	451	89.76	150.23	3565	365	7.25	12.86
			R	8	180.27	120.48	450	89.33	150.29	3428	351	7.25	
G-NL-S	G-NN-S-4	4	L	9	180.32	120.09	450	89.55	150.28	3621	372	7.74	12.41
			R	9	180.33	120.51	449	89.12	150.33	3595	369	7.74	
	G-NN-S-5	5	L	10	180.29	120.30	451	89.67	150.06	3596	368	7.11	13.29
			R	10	180.24	120.36	450	89.72	150.29	3568	366	7.11	
	G-NN-S-6	6	L	10	180.22	120.45	450	89.51	150.43	3572	366	7.11	13.73
			R	10	180.20	120.29	450	89.34	150.36	3535	363	7.11	
	G-NL-S-1	1	L	7	180.50	120.45	451	89.39	150.11	3609	368	7.27	12.22
			R	7	180.50	120.50	450	89.61	150.09	3532	361	7.27	
	G-NL-S-2	2	L	8	180.37	120.57	450	89.54	150.30	3575	365	7.25	13.31
			R	8	180.65	120.49	450	89.44	150.24	3793	387	7.25	
	G-NL-S-3	3	L	8	180.33	120.36	451	89.57	150.36	3757	384	7.25	12.77
			R	8	180.27	120.54	450	89.75	150.32	3671	376	7.25	
	G-NL-S-4	4	L	9	180.47	120.17	450	89.26	150.21	3688	378	7.74	13.08
			R	9	180.27	120.49	450	89.25	150.16	3619	370	7.74	
	G-NL-S-5	5	L	9	180.37	120.52	450	89.34	150.34	3613	370	7.74	13.09
			R	9	180.34	120.29	450	89.42	150.12	3569	366	7.74	
	G-NL-S-6	6	L	10	180.39	120.54	451	89.46	150.56	3588	366	7.11	13.57
			R	10	180.33	120.46	450	89.82	150.39	3503	359	7.11	

2.1.3 試験方法

加力方法

- a. 試験内容：接合部の圧縮型せん断試験
- b. 試験実施日 2023 年8月29日～2023 年9月7日
- c. 試験場所：（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所
実大強度試験機：A-300-B4 前川試験機（株） 最大容量 3000kN
- d. 試験方法

加力方法および、スリップ変位の測定方法を図 6、写真 5に示す。試験体を下側加力盤に設置し、上部クロスヘッド側の反力盤の回転を固定した後に下側加力盤を上昇させることで接合部に1面せん断力を作用させた。

加力は一方向単調載荷とし、最大荷重後その80%に荷重低下するまで載荷した。側材の開き止めにクランプ金物を使用した。

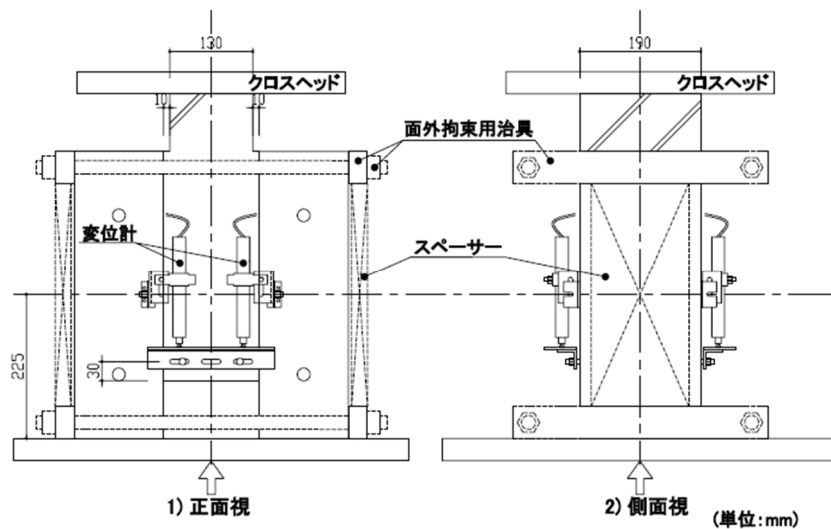
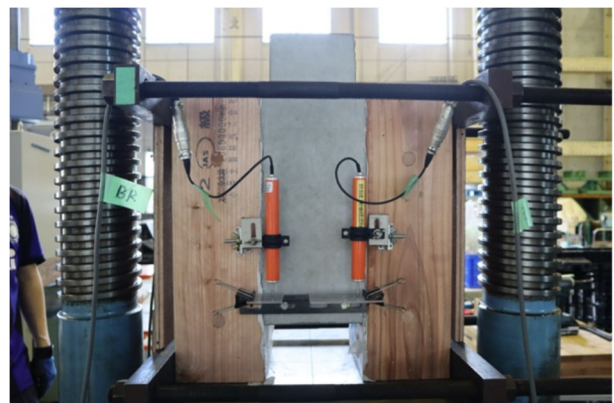


図 6 試験方法



1) 正面視



2) 背面視

写真 5 試験方法

2.1.4 試験結果

荷重－スリップ変位関係を用いて完全弾塑性モデルによる評価手法を準用し、力学的特性値として降伏耐力(P_y)、降伏耐力時のスリップ変位(δy)、終局耐力(P_u)、終局耐力到達時のスリップ変位である降伏点変位(δv)、終局変位(δu)、最大耐力(P_{max})、最大耐力時のスリップ変位(δ_{max})、塑性率($\mu = \delta u / \delta v$)を算出した。接合部の評価はスリップ変位が 30mm 以下の範囲を対象とし、 δu は最大耐力後の0.8 P_{max} 時のスリップ変位または、特定スリップ変位として 30mm のいずれか小さい値とした。

初期剛性(K)は、0.1 P_{max} から 0.4 P_{max} の範囲における荷重－スリップ変位の傾きを最小二乗法によって算出した値($K(0.1_0.4)$)と、原点から降伏点までの傾きを算出した値($K(0_P_y)$)の 2 種類を算出した。

ノッチ部分のコンクリートが木質材料を圧縮することで終局変位が 20mm を超える試験体があったが、剛性を除く力学的特性値は評価対象から除外した。

表 20 にDLT試験体の力学的特性値を、表 21 に集成材試験体の力学的特性値を、DLT試験体の平均値を表 22に、集成材試験体の平均値を表 23に示す。各試験体のP- δ 曲線を図 7～図 90に、DLT試験体のまとめを図 91に、集成材試験体のまとめを図 92示す。

表 20 力学的特性値一覧 (DLT)

試験体	K(0_ P_y) (kN/mm)	K(0.1_0.4) (kN/mm)	P_p (kN)	δp (mm)	P_y (kN)	δy (mm)	δu (mm)	P_u (kN)	δv (mm)	μ	D_s	P_{max} (kN)	δ_{max} (mm)
D-LS-S-1	3.85	5.75	4.57	0.6	6.52	1.7	30	10.09	2.62	11.44	0.21	11.02	27.6
D-LS-S-2	4.65	6.95	4.79	0.57	6.98	1.5	30	10.61	2.28	13.15	0.2	11.36	28.69
D-LS-S-3	5.44	7.59	5.05	0.54	7.37	1.35	30	10.6	1.95	15.4	0.18	11.46	28.4
D-LS-S-4	4.12	6.59	4.43	0.55	6.52	1.58	30	9.74	2.36	12.69	0.2	10.6	28.83
D-LS-S-5	4	6.46	4.04	0.52	5.98	1.5	30	9	2.25	13.33	0.2	9.72	27.78
D-LS-S-6	4.82	6.13	5.4	0.65	7.42	1.54	30	11.54	2.4	12.52	0.2	12.44	19.44
平均	4.48	6.58	4.71	0.57	6.80	1.53	30.00	10.26	2.31	13.09	0.20	11.10	26.79
標準偏差	0.60	0.64	0.48	0.05	0.56	0.11	0.00	0.87	0.22	1.31	0.01	0.91	3.63
D-LS-P-1	4.53	5.37	6.53	1	8.38	1.85	30	13.29	2.94	10.22	0.23	14.89	17.9
D-LS-P-2	4.56	7.03	5.48	0.63	7.97	1.75	30	11.6	2.54	11.8	0.21	12.6	18.1
D-LS-P-3	4.31	5.7	5.3	0.77	7.33	1.7	30	10.81	2.51	11.97	0.21	12.22	17.43
D-LS-P-4	6.09	7.29	4.42	0.47	5.99	0.98	30	9.2	1.51	19.84	0.16	10.03	15.7
D-LS-P-5	4.35	5.45	5.41	0.84	7.14	1.64	30	11.07	2.55	11.77	0.21	12.33	18.45
D-LS-P-6	3.8	4.31	6.14	1.2	7.72	2.03	30	12.03	3.16	9.49	0.24	13.29	17.06
平均	4.61	5.86	5.55	0.82	7.42	1.66	30.00	11.33	2.54	12.52	0.21	12.56	17.44
標準偏差	0.78	1.12	0.73	0.26	0.83	0.36	0.00	1.36	0.57	3.73	0.03	1.58	0.98
D-SC-S-1	2.56	2	5.86	1.98	6.47	2.52	30	12.52	4.89	6.14	0.3	13.38	29.52
D-SC-S-2	1.98	1.86	6.36	2.82	7.18	3.63	30	13.27	6.71	4.47	0.35	14.38	29.9
D-SC-S-3	2.41	2.42	6.15	1.92	7.44	3.08	30	12.9	5.35	5.61	0.31	14.25	30
D-SC-S-4	2.18	1.79	6.11	2.28	6.99	3.21	30	12.95	5.94	5.05	0.33	14.15	30
D-SC-S-5	2.12	2.25	7.78	2.73	9.95	4.69	30	15.63	7.36	4.08	0.37	17.48	30
D-SC-S-6	1.99	2.08	5.67	2.09	7.14	3.59	30	11.25	5.65	5.31	0.32	12.24	30
平均	2.21	2.07	6.32	2.30	7.53	3.45	30.00	13.09	5.98	5.11	0.33	14.31	29.90
標準偏差	0.23	0.24	0.75	0.39	1.23	0.73	0.00	1.43	0.91	0.75	0.03	1.75	0.19

試験体	K(0.Py) (kN/mm)	K(0.1.0.4) (kN/mm)	Pp (kN)	δp (mm)	Py (kN)	δy (mm)	δu (mm)	Pu (kN)	δv (mm)	μ	Ds	Pmax (kN)	$\delta \max$ (mm)
D-SC-P-1	1.75	1.5	6.34	3.35	6.87	3.93	30	13.29	7.6	3.95	0.38	14.41	20.42
D-SC-P-2	2.08	1.34	8.48	4.92	7.13	3.43	30	14.11	6.8	4.41	0.36	15.27	19.73
D-SC-P-3	1.84	1.54	8.23	4.43	8.29	4.5	30	15.85	8.6	3.49	0.41	16.93	19.79
D-SC-P-4	2.26	2.09	6.87	2.63	7.87	3.48	30	14.33	6.35	4.73	0.34	15.75	18.25
D-SC-P-5	3.57	3.79	6.84	1.64	7.33	2.05	30	14.91	4.17	7.19	0.27	16.81	17.23
D-SC-P-6	2.44	2.72	7.59	2.21	10.26	4.2	30	15.96	6.53	4.59	0.35	17.11	22.23
平均	2.32	2.16	7.39	3.20	7.96	3.60	30.00	14.74	6.68	4.73	0.35	16.05	19.61
標準偏差	0.66	0.95	0.85	1.28	1.24	0.86	0.00	1.04	1.48	1.29	0.05	1.08	1.74
D-PL-S-1	1.78	1.44	6.17	3.1	6.72	3.77	30	12.85	7.2	4.17	0.37	13.81	29.64
D-PL-S-2	1.8	1.54	6.95	3.03	8.49	4.71	30	14.74	8.17	3.67	0.4	15.99	30
D-PL-S-3	1.92	1.41	8.78	4.58	8.75	4.55	30	16.94	8.81	3.41	0.41	18.16	24.54
D-PL-S-4	2.22	1.69	7.57	3.11	8.15	3.67	30	15.09	6.79	4.42	0.36	16.48	30
D-PL-S-5	2.02	1.5	7.76	3.59	8.23	4.07	30	15.94	7.89	3.8	0.39	17.09	29.73
D-PL-S-6	3.17	2.6	7.79	2.07	8.59	2.71	30	16.98	5.35	5.61	0.31	18.45	29.95
平均	2.15	1.70	7.50	3.25	8.16	3.91	30.00	15.42	7.37	4.18	0.37	16.66	28.98
標準偏差	0.52	0.45	0.88	0.82	0.74	0.72	0.00	1.56	1.22	0.79	0.04	1.69	2.18
D-NN-S-1	133.91	191.77	66.35	0.5	65.88	0.49	3.54	104.58	0.78	4.54	0.35	121.18	2.87
D-NN-S-2	106.24	145.33											
D-NN-S-3	97.58	156.31	51.39	0.41	66.06	0.68	4.46	94.84	0.97	4.59	0.35	112.7	4
D-NN-S-4	119.45	160.02	58.84	0.47	64.5	0.54	6.16	99.68	0.83	7.39	0.27	112.34	4.19
D-NN-S-5	107.13	176.77	52.13	0.41	73.28	0.68	5.67	102.04	0.95	5.96	0.3	113.3	3.52
D-NN-S-6	158.57	206.81	60.76	0.38	60.89	0.38	2.96	94.46	0.6	4.98	0.33	115.89	2.49
平均	120.48	172.84	57.89	0.43	66.12	0.55	4.56	99.12	0.83	5.49	0.32	115.08	3.41
標準偏差	22.53	23.33	6.25	0.05	4.51	0.13	1.36	4.44	0.15	1.20	0.03	3.68	0.73
D-NL-S-1	80.73	141.65											
D-NL-S-2	81.86	135.6	64.53	0.75	66.14	0.81	19.14	95.02	1.16	16.49	0.18	107.33	4.2
D-NL-S-3	90.02	134.95	68.21	0.67	75.43	0.84	12.13	117.25	1.3	9.32	0.24	125.63	6.29
D-NL-S-4	85.92	127.13											
D-NL-S-5	88.08	182.31	69.56	0.67	70.02	0.8	5.13	120.02	1.36	3.77	0.39	128.46	3.95
D-NL-S-6	84.66	125.62	55.94	0.65	58.92	0.7	7.7	101.87	1.2	6.4	0.29	115.61	2.87
平均	85.21	141.21	64.56	0.69	67.63	0.79	11.03	108.54	1.26	9.00	0.28	119.26	4.33
標準偏差	3.56	20.98	6.13	0.04	6.94	0.06	6.13	12.04	0.09	5.49	0.09	9.68	1.43

表 21 力学特性値一覧（集成材）

試験体	K(0 Py) (kN/mm)	K(0.1 0.4) (kN/mm)	Pp (kN)	δp (mm)	Py (kN)	δy (mm)	δu (mm)	Pu (kN)	δv (mm)	μ	Ds	Pmax (kN)	δmax (mm)
G-LS-S-1	6.04	8.3	5.31	0.45	7.64	1.26	26.43	11.6	1.92	13.75	0.19	12.6	16.49
G-LS-S-2	6.22	7.91	5.18	0.5	7.31	1.18	30	11.32	1.82	16.49	0.18	11.94	17.52
G-LS-S-3	6.85	8.09	6.18	0.56	8.04	1.17	29.77	13.14	1.92	15.52	0.18	14.12	13.87
G-LS-S-4	6.95	9.38	5.12	0.38	7.48	1.07	30	11.11	1.6	18.77	0.17	11.74	15.1
G-LS-S-5	7.48	9.5	6.29	0.47	8.62	1.15	30	13.6	1.82	16.49	0.18	14.57	15.53
G-LS-S-6	7.5	9.38	4.79	0.33	6.75	0.9	24.97	10.49	1.4	17.85	0.17	11.12	14.35
平均	6.84	8.76	5.48	0.45	7.64	1.12	28.53	11.88	1.75	16.48	0.18	12.68	15.48
標準偏差	0.61	0.73	0.61	0.08	0.64	0.12	2.24	1.22	0.21	1.76	0.01	1.38	1.36
G-SC-S-1	3.48	3.42	7.11	1.54	8.44	2.43	30	15.67	4.51	6.66	0.28	16.85	29.91
G-SC-S-2	2.97	3.15	6.73	1.48	8.37	2.82	30	14.09	4.75	6.31	0.29	15.64	30
G-SC-S-3	2.27	1.82	8.54	3.3	9.45	4.16	30	18.34	8.08	3.71	0.39	19.79	24.4
G-SC-S-4	3.11	2.74	7.5	2	8.43	2.72	30	15.94	5.13	5.84	0.31	17.22	30
G-SC-S-5	2.53	2.52	8.1	2.57	9.56	3.78	30	16.2	6.41	4.68	0.35	17.92	30
G-SC-S-6	2.39	2.2	7.66	2.67	8.91	3.73	30	15.96	6.69	4.48	0.35	17.29	27.02
平均	2.79	2.64	7.61	2.26	8.86	3.27	30.00	16.03	5.93	5.28	0.33	17.45	28.56
標準偏差	0.47	0.59	0.65	0.71	0.54	0.70	0.00	1.36	1.38	1.16	0.04	1.37	2.35
G-PL-S-1	1.86	1.11	8.34	4.67	8.08	4.33	30	15.39	8.26	3.63	0.4	16.84	29.88
G-PL-S-2	4.43	3.01	9.88	2.18	10	2.26	30	19.78	4.46	6.73	0.28	21.23	15.8
G-PL-S-3	5.45	3.99	10.57	1.5	11.7	2.15	30	22.45	4.12	7.28	0.27	24.63	22.15
G-PL-S-4	4.12	3	10.85	2.51	11.29	2.74	27.72	21.43	5.2	5.33	0.32	22.88	14.6
G-PL-S-5	3.9	3.5	8.26	1.61	9.59	2.46	30	17.7	4.54	6.61	0.29	19.61	30
G-PL-S-6	4.78	3.03	9.2	1.77	9.63	2.01	30	19.37	4.05	7.41	0.27	20.97	27.65
平均	4.09	2.94	9.52	2.37	10.05	2.66	29.62	19.35	5.11	6.17	0.31	21.03	23.35
標準偏差	1.22	0.98	1.10	1.19	1.31	0.86	0.93	2.55	1.60	1.44	0.05	2.68	6.93
G-NN-S-1	115.41	177.46											
G-NN-S-2	112.72	172.7	57.94	0.43	61.43	0.55	2.6	99.17	0.88	2.96	0.45	108.61	2.09
G-NN-S-3	103.92	163.26	48.41	0.41	63.6	0.61	3.13	101.19	0.97	3.21	0.43	112.58	2.63
G-NN-S-4	121.27	183.61	64.67	0.47	66.09	0.55	3.17	102.46	0.84	3.76	0.39	112.13	2.35
G-NN-S-5	125.53	159.99	55.41	0.45	54.48	0.43	2.34	84.04	0.67	3.5	0.41	96.64	1.93
G-NN-S-6	103.45	175.19											
平均	113.72	172.04	56.61	0.44	61.40	0.54	2.81	96.72	0.84	3.36	0.42	107.49	2.25
標準偏差	8.96	8.90	6.72	0.03	4.99	0.08	0.41	8.56	0.13	0.35	0.03	7.45	0.31
G-NL-S-1	81.81	153.93	66.54	0.64	71.34	0.87	5.96	119.83	1.46	4.07	0.37	131.7	3.83
G-NL-S-2	98.77	153.52	61.84	0.63	81.19	0.82	4.05	106.46	1.08	3.76	0.39	120.37	2.58
G-NL-S-3	103.29	137.61	76.15	0.74	75.81	0.73	4.46	106.91	1.04	4.31	0.36	120.01	3.21
G-NL-S-4	96.84	167.07	49.5	0.52	68.27	0.7	3.52	89.96	0.93	3.79	0.39	104.99	1.92
G-NL-S-5	97.26	137.67	60.01	0.65	56.22	0.58	2.74	98.4	1.01	2.71	0.48	112.94	1.89
G-NL-S-6	80.53	142.92	60.4	0.56	61.04	0.76	3.79	107.44	1.33	2.84	0.46	117.05	3.56
平均	93.08	148.79	62.41	0.62	68.98	0.74	4.09	104.83	1.14	3.58	0.41	117.84	2.83
標準偏差	9.52	11.54	8.75	0.08	9.25	0.10	1.08	10.01	0.21	0.66	0.05	8.87	0.83

表 22 力学的特性値一覧 (DLT 平均値)

試験体	K(0_Py) (kN/mm)	K(0.1_0.4) (kN/mm)	Pp (kN)	δp (mm)	Py (kN)	δy (mm)	δu (mm)	Pu (kN)	δv (mm)	μ	Ds	Pmax (kN)	δmax (mm)
D-LS-S	4.48 (0.60)	6.58 (0.64)	4.71 (0.48)	0.57 (0.05)	6.80 (0.56)	1.53 (0.11)	30.00 (0.00)	10.26 (0.87)	2.31 (0.22)	13.09 (1.31)	0.20 (0.01)	11.10 (0.91)	26.79 (3.63)
D-LS-P	4.61 (0.78)	5.86 (1.12)	5.55 (0.73)	0.82 (0.26)	7.42 (0.83)	1.66 (0.36)	30.00 (0.00)	11.33 (1.36)	2.54 (0.57)	12.52 (3.73)	0.21 (0.03)	12.56 (1.58)	17.44 (0.98)
D-SC-S	2.21 (0.23)	2.07 (0.24)	6.32 (0.75)	2.30 (0.39)	7.53 (1.23)	3.45 (0.73)	30.00 (0.00)	13.09 (1.43)	5.98 (0.91)	5.11 (0.75)	0.33 (0.03)	14.31 (1.75)	29.90 (0.19)
D-SC-P	2.32 (0.66)	2.16 (0.95)	7.39 (0.85)	3.20 (1.28)	7.96 (1.24)	3.60 (0.86)	30.00 (0.00)	14.74 (1.04)	6.68 (1.48)	4.73 (1.29)	0.35 (0.05)	16.05 (1.08)	19.61 (1.74)
D-PL-S	2.15 (0.52)	1.70 (0.45)	7.50 (0.88)	3.25 (0.82)	8.16 (0.74)	3.91 (0.72)	30.00 (0.00)	15.42 (1.56)	7.37 (1.22)	4.18 (0.79)	0.37 (0.04)	16.66 (1.69)	28.98 (2.18)
D-NN-S	120.48 (22.53)	172.84 (23.33)	57.89 (6.25)	0.43 (0.05)	66.12 (4.51)	0.55 (0.13)	4.56 (1.36)	99.12 (4.44)	0.83 (0.15)	5.49 (1.20)	0.32 (0.03)	115.08 (3.68)	3.41 (0.73)
D-NL-S	85.21 (3.56)	141.21 (20.98)	64.56 (6.13)	0.69 (0.04)	67.63 (6.94)	0.79 (0.06)	11.03 (6.13)	108.54 (12.04)	1.26 (0.09)	9.00 (5.49)	0.28 (0.09)	119.26 (9.68)	4.33 (1.43)

表 23 力学的特性値一覧 (集成材平均値)

試験体	K(0_Py) (kN/mm)	K(0.1_0.4) (kN/mm)	Pp (kN)	δp (mm)	Py (kN)	δy (mm)	δu (mm)	Pu (kN)	δv (mm)	μ	Ds	Pmax (kN)	δmax (mm)
G-LS-S	6.84 (0.61)	8.76 (0.73)	5.48 (0.61)	0.45 (0.08)	7.64 (0.64)	1.12 (0.12)	28.53 (2.24)	11.88 (1.22)	1.75 (0.21)	16.48 (1.76)	0.18 (0.01)	12.68 (1.38)	15.48 (1.36)
G-SC-S	2.79 (0.47)	2.64 (0.59)	7.61 (0.65)	2.26 (0.71)	8.86 (0.54)	3.27 (0.70)	30.00 (0.00)	16.03 (1.36)	5.93 (1.38)	5.28 (1.16)	0.33 (0.04)	17.45 (1.37)	28.56 (2.35)
G-PL-S	4.09 (1.22)	2.94 (0.98)	9.52 (1.10)	2.37 (1.19)	10.05 (1.31)	2.66 (0.86)	29.62 (0.93)	19.35 (2.55)	5.11 (1.60)	6.17 (1.44)	0.31 (0.05)	21.03 (2.68)	23.35 (6.93)
G-NN-S	113.72 (8.96)	172.04 (8.90)	56.61 (6.72)	0.44 (0.03)	61.40 (4.99)	0.54 (0.08)	2.81 (0.41)	96.72 (8.56)	0.84 (0.13)	3.36 (0.35)	0.42 (0.03)	107.49 (7.45)	2.25 (0.31)
G-NL-S	93.08 (9.52)	148.79 (11.54)	62.41 (8.75)	0.62 (0.08)	68.98 (9.25)	0.74 (0.10)	4.09 (1.08)	104.83 (10.01)	1.14 (0.21)	3.58 (0.66)	0.41 (0.05)	117.84 (8.87)	2.83 (0.83)

P- δ 曲線

荷重は試験機の荷重値をせん断面2面で除した 1面あたりの値を示し、スリップ変位は相対変位 4箇所の平均値を示す。また、図中の○印はスリップ変位 30mm 以下の範囲における最大荷重を示す。

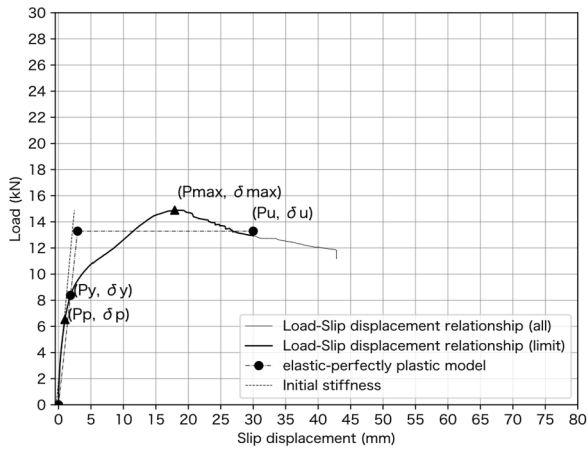


図 7 D-LS-P-1 P- δ 曲線

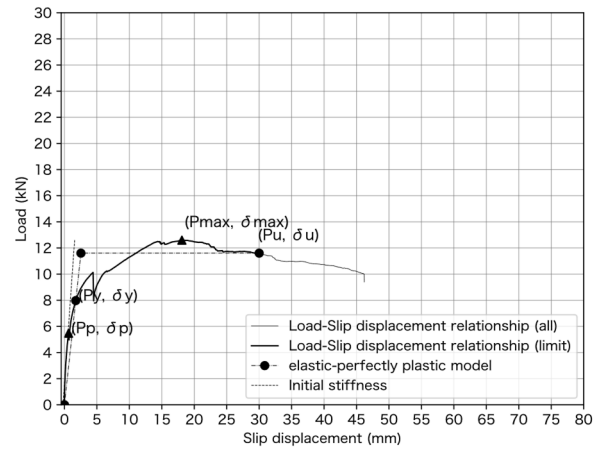


図 8 D-LS-P-2 P- δ 曲線

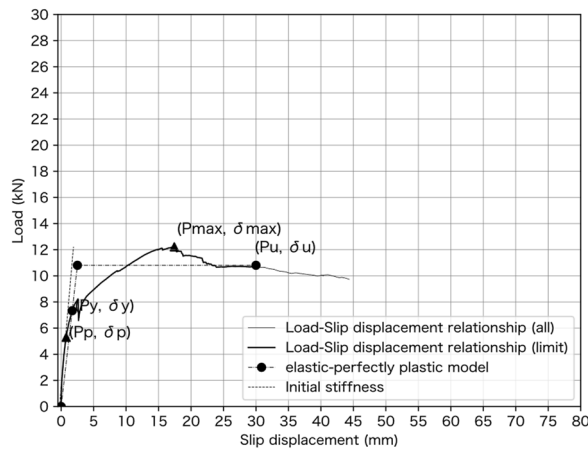


図 9 D-LS-P-3 P- δ 曲線

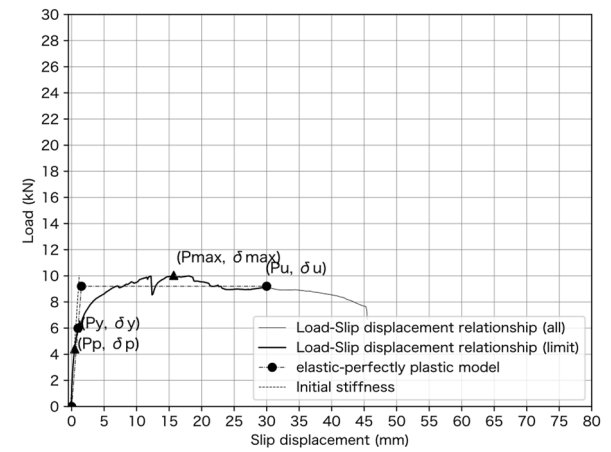


図 10 D-LS-P-4 P- δ 曲線

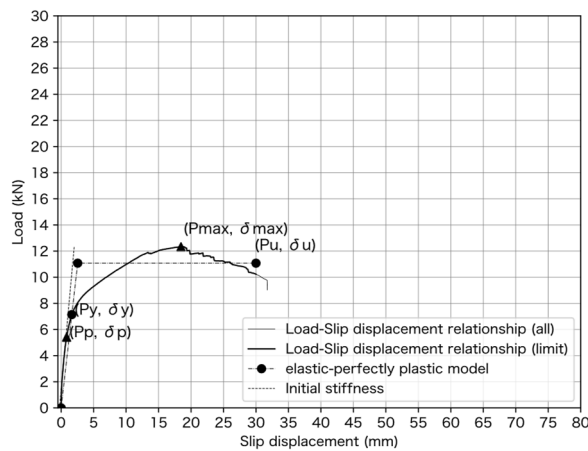


図 11 D-LS-P-5 P- δ 曲線

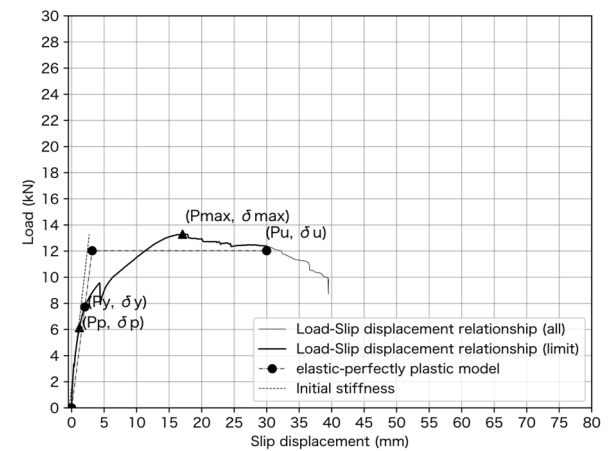


図 12 D-LS-P-6 P- δ 曲線

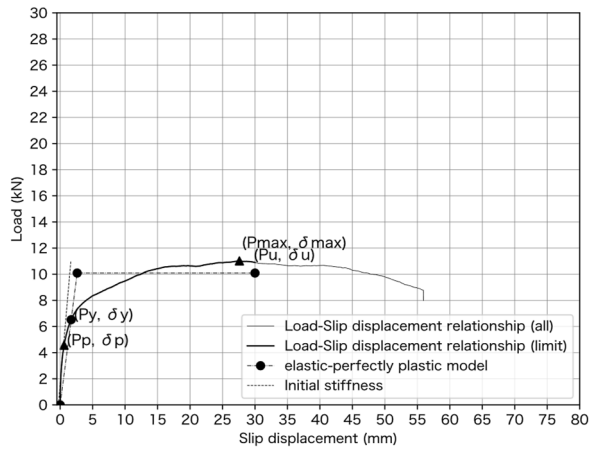


圖 13 D-LS-S-1 P- δ 曲線

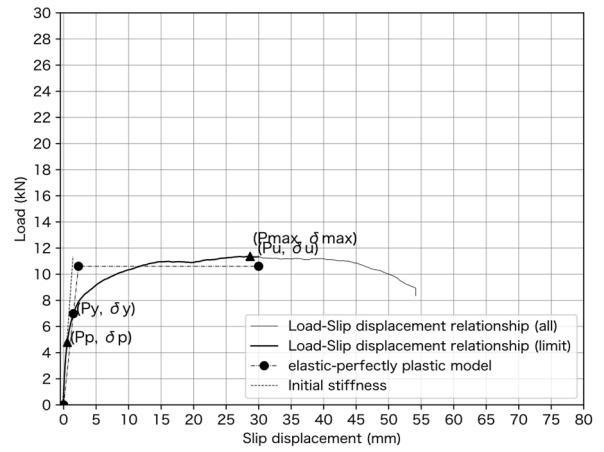


圖 14 D-LS-S-2 P- δ 曲線

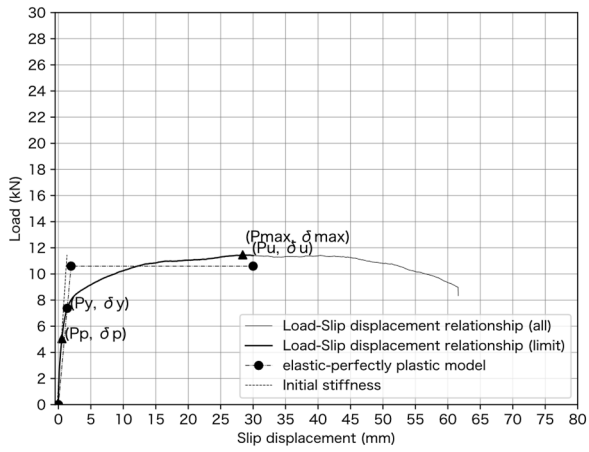


圖 15 D-LS-S-3 P- δ 曲線

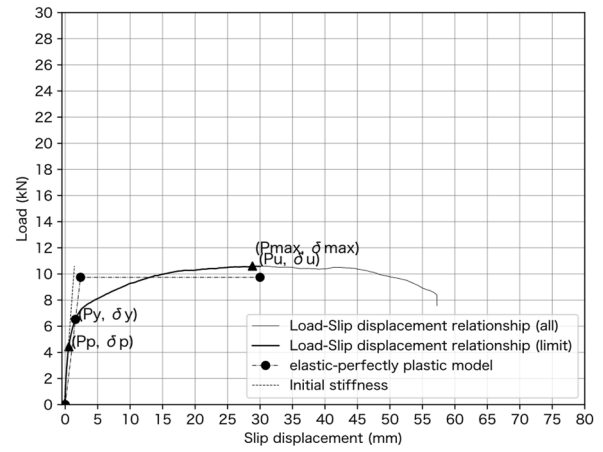


圖 16 D-LS-S-4 P- δ 曲線

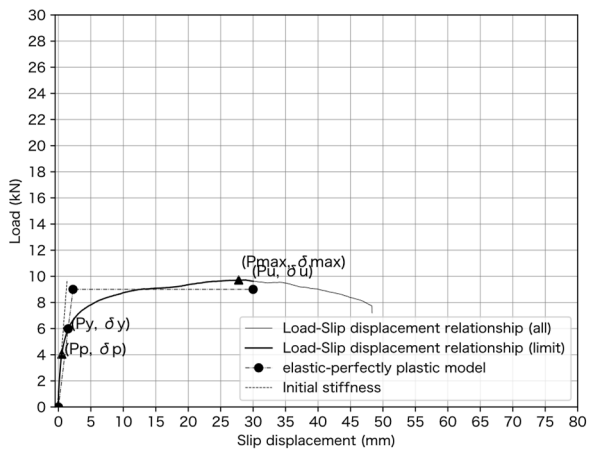


圖 17 D-LS-S-5 P- δ 曲線

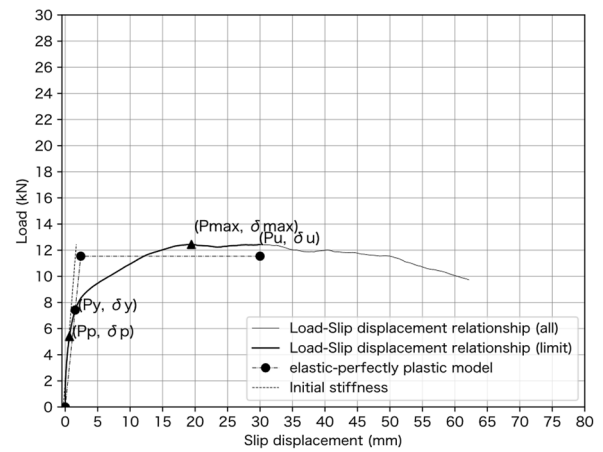


圖 18 D-LS-S-6 P- δ 曲線

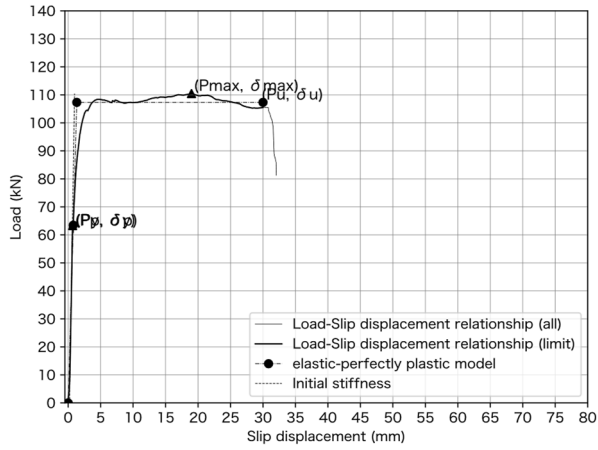


圖 19 D-NL-S-1 P- δ 曲線

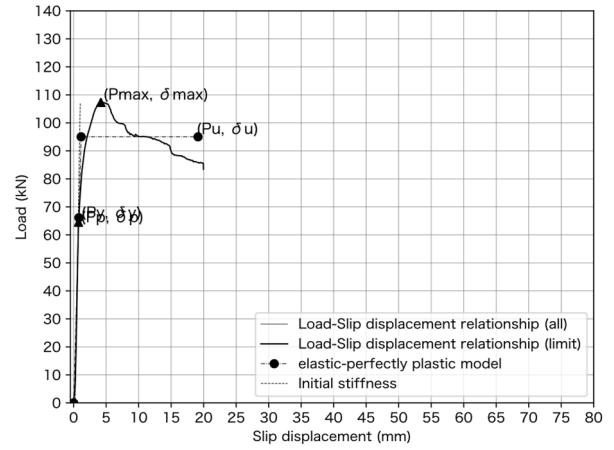


圖 20 D-NL-S-2 P- δ 曲線

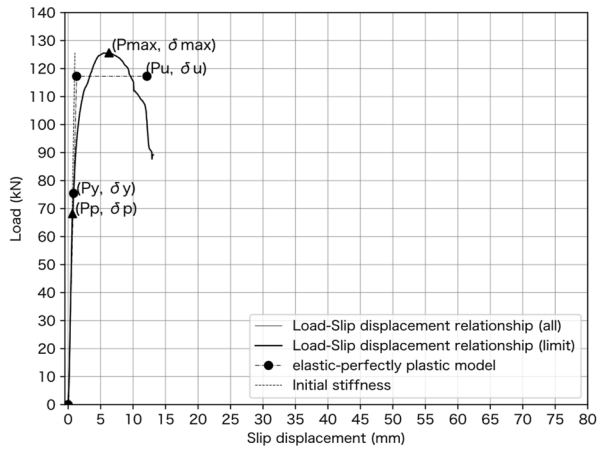


圖 21 D-NL-S-4 P- δ 曲線

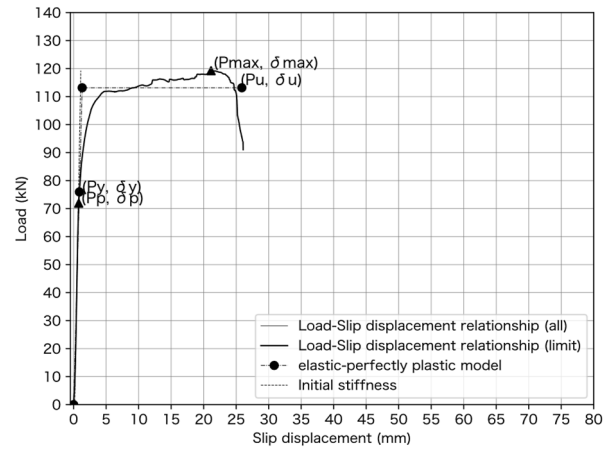


圖 22 D-NL-S-3 P- δ 曲線

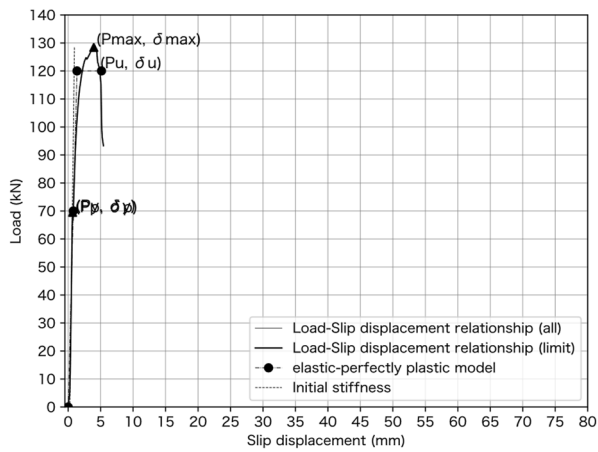


圖 23 D-NL-S-5 P- δ 曲線

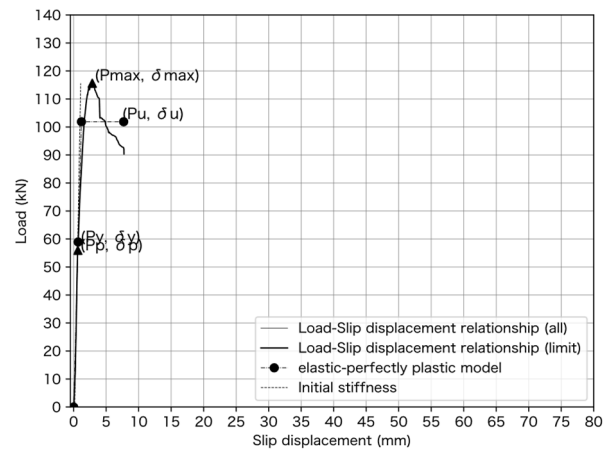


圖 24 D-NL-S-6 P- δ 曲線

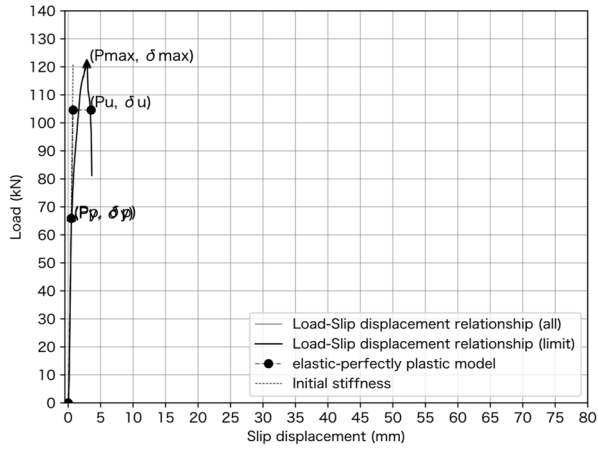


圖 25 D-NN-S-1 P- δ 曲線

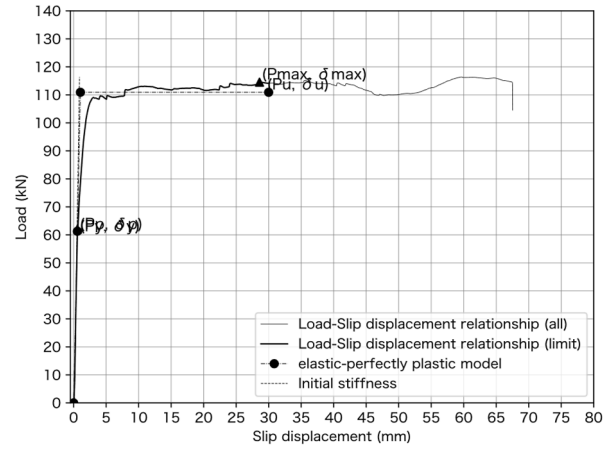


圖 26 D-NN-S-2 P- δ 曲線

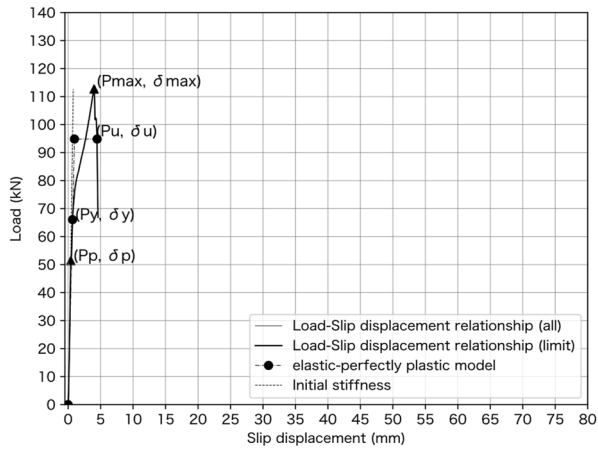


圖 27 D-NN-S-3 P- δ 曲線

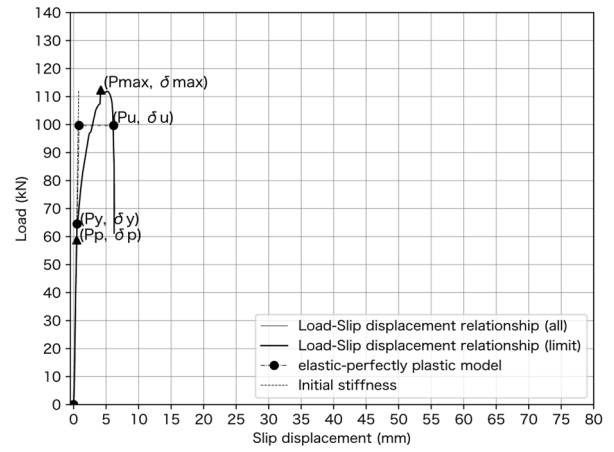


圖 28 D-NN-S-4 P- δ 曲線

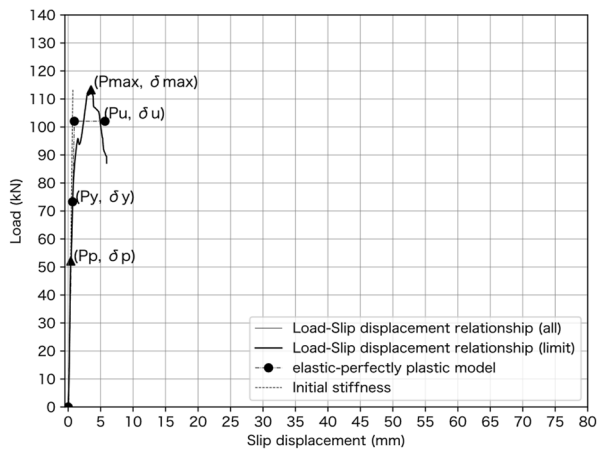


圖 29 D-NN-S-5 P- δ 曲線

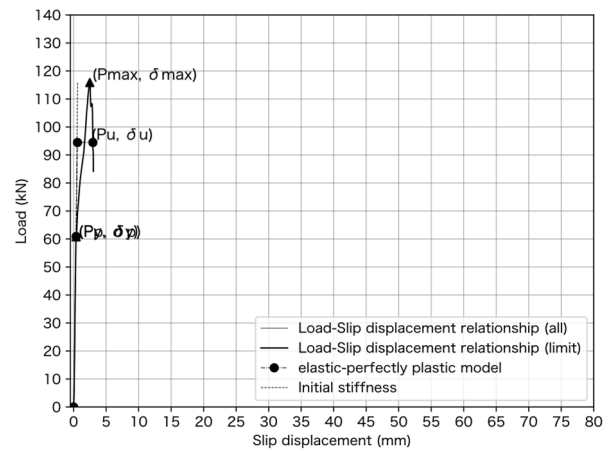


圖 30 D-NN-S-6 P- δ 曲線

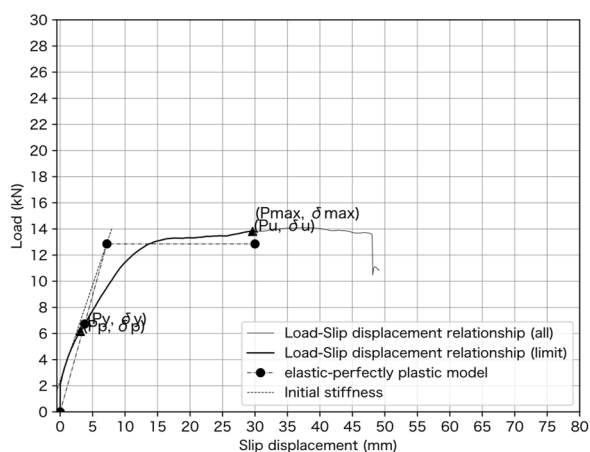


圖 31 D-PL-S-1 P- δ 曲線

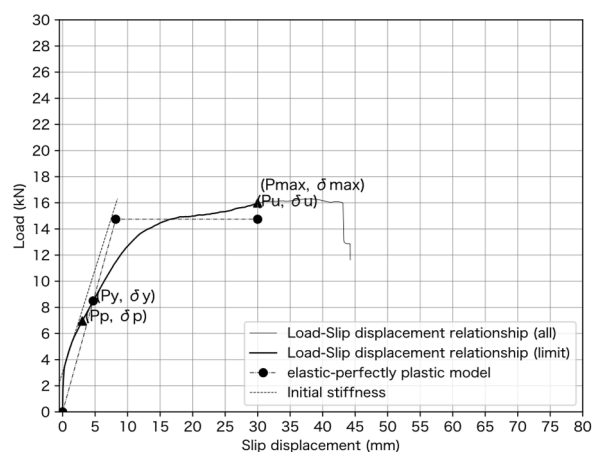


圖 32 D-PL-S-2 P- δ 曲線

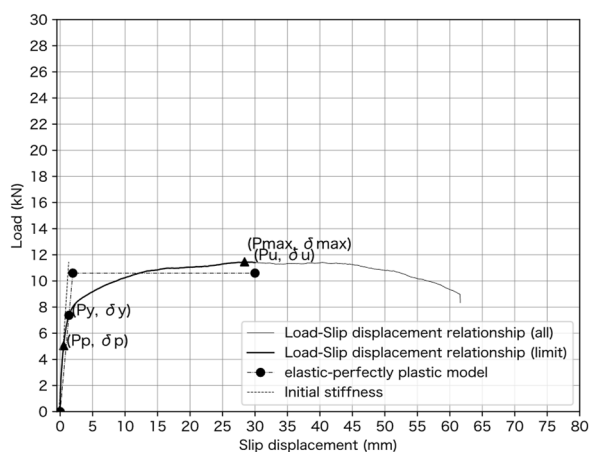


圖 33 D-PL-S-3 P- δ 曲線

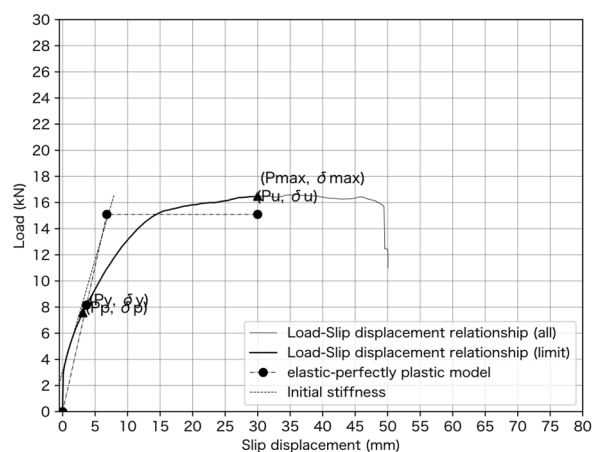


圖 34 D-PL-S-4 P- δ 曲線

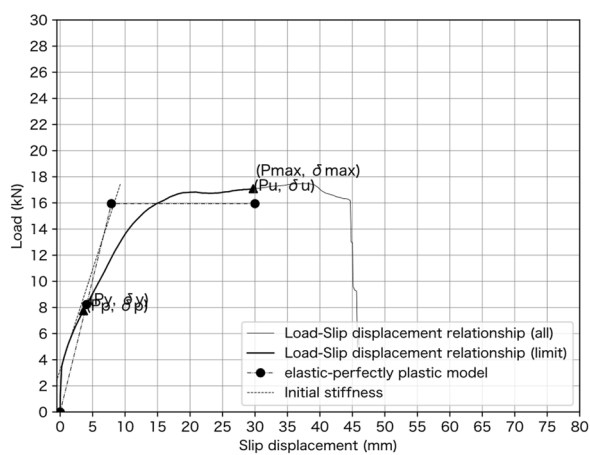


圖 35 D-PL-S-5 P- δ 曲線

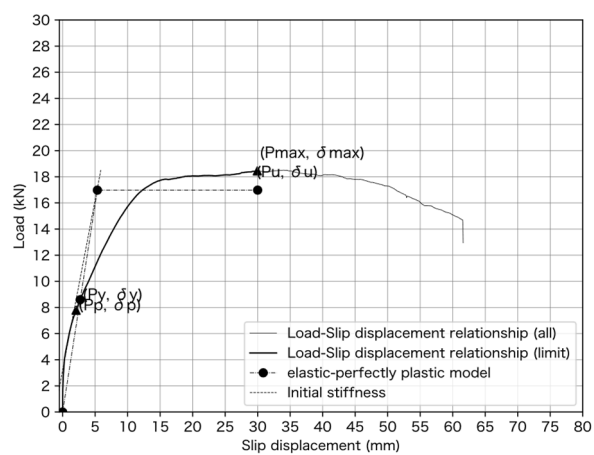


圖 36 D-PL-S-6 P- δ 曲線

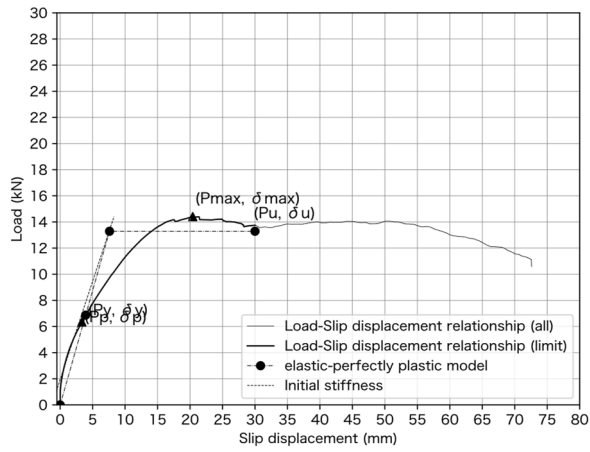


圖 37 D-SC-P-1 P- δ 曲線

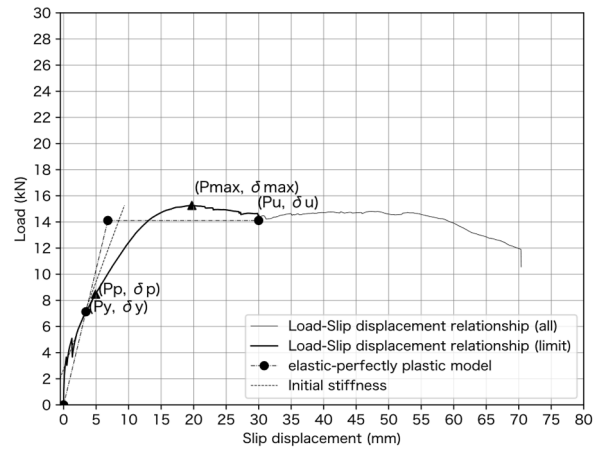


圖 38 D-SC-P-2 P- δ 曲線

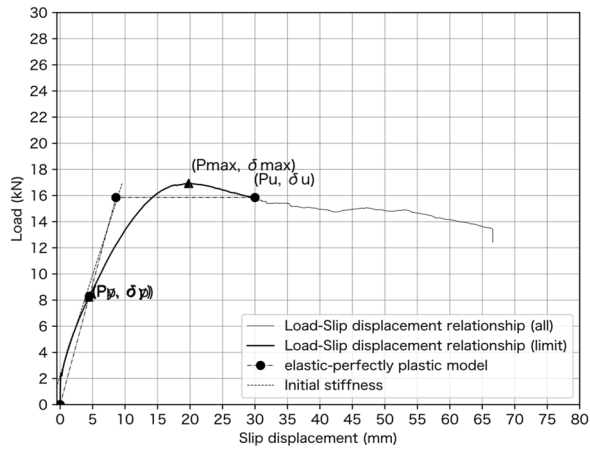


圖 39 D-SC-P-3 P- δ 曲線

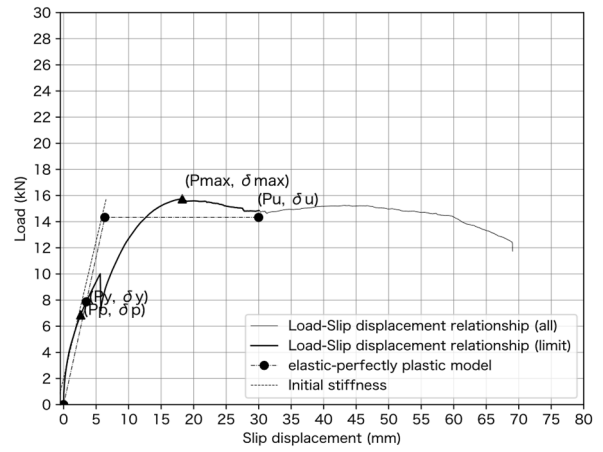


圖 40 D-SC-P-4 P- δ 曲線

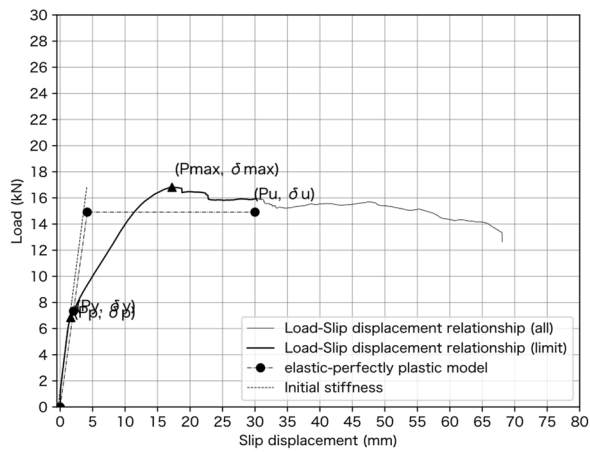


圖 41 D-SC-P-5 P- δ 曲線

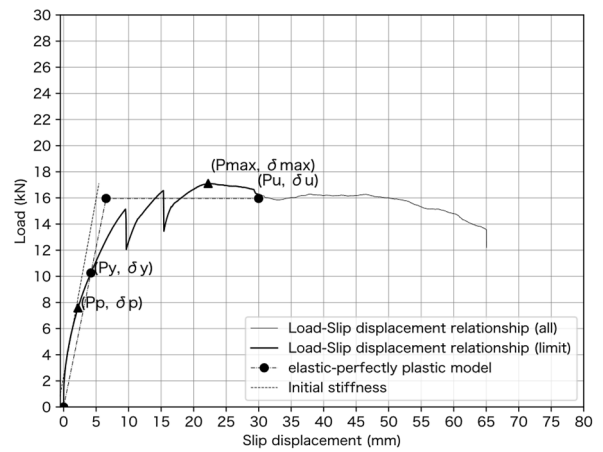


圖 42 D-SC-P-6 P- δ 曲線

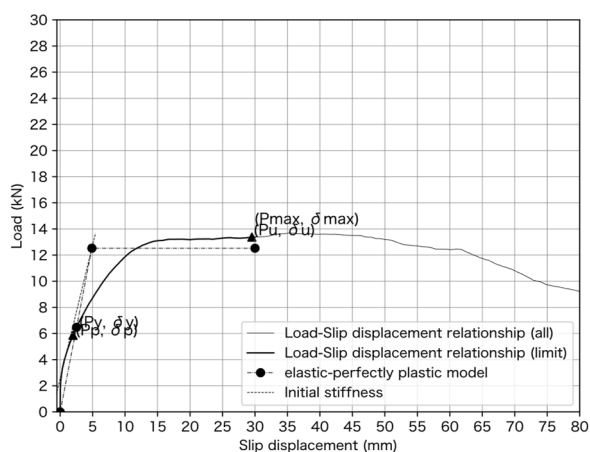


圖 43 D-SC-S-1 P- δ 曲線

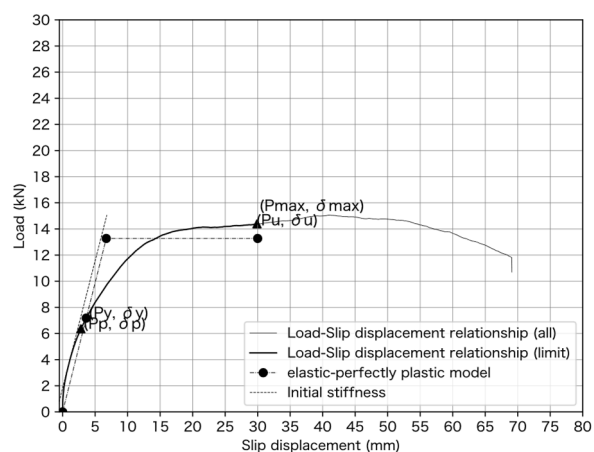


圖 44 D-SC-S-2 P- δ 曲線

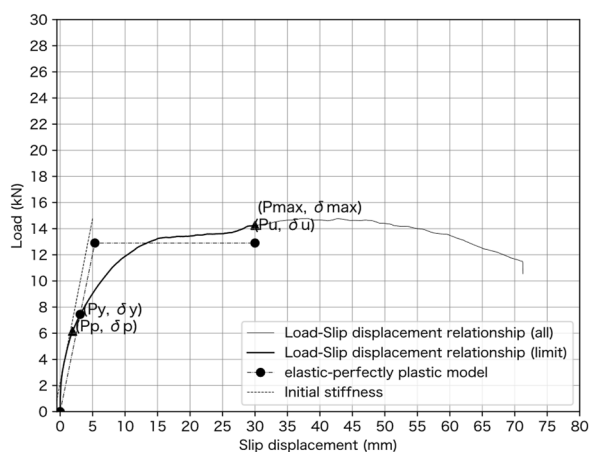


圖 45 D-SC-S-3 P- δ 曲線

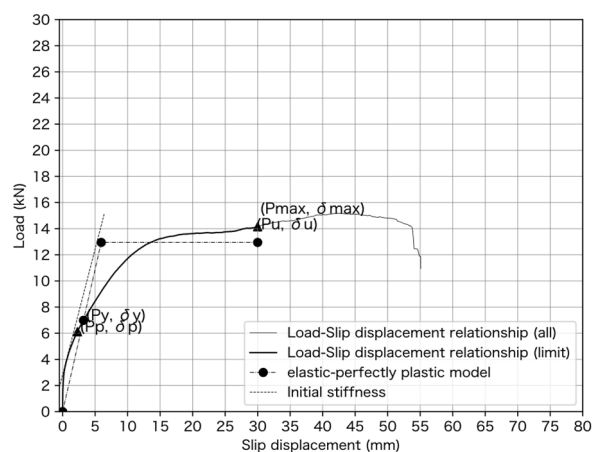


圖 46 D-SC-S-4 P- δ 曲線

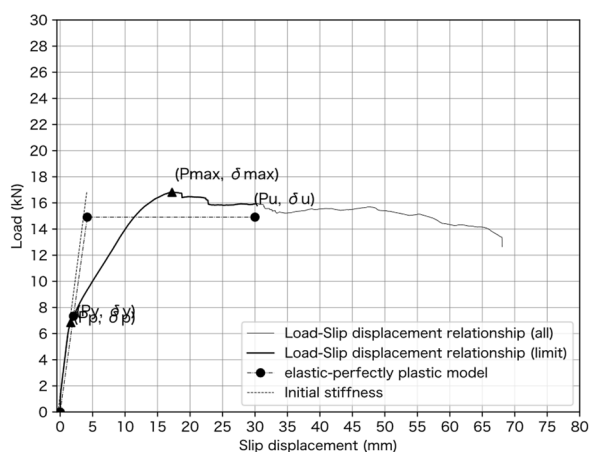


圖 47 D-SC-S-5 P- δ 曲線

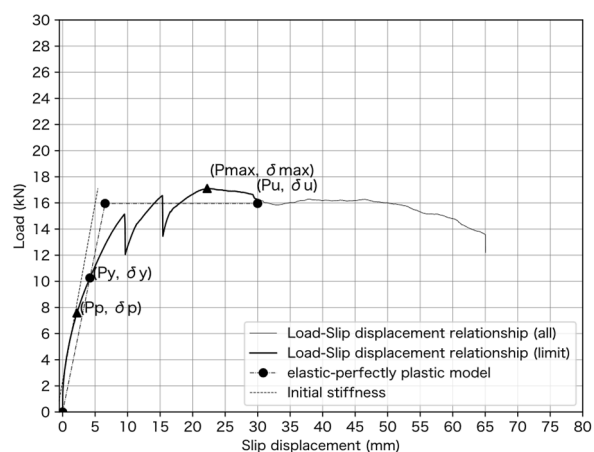


圖 48 D-SC-S-6 P- δ 曲線

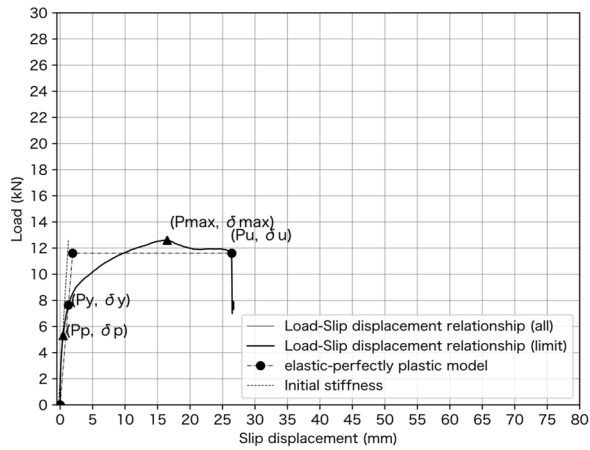


圖 49 G-LS-S-1 P- δ 曲線

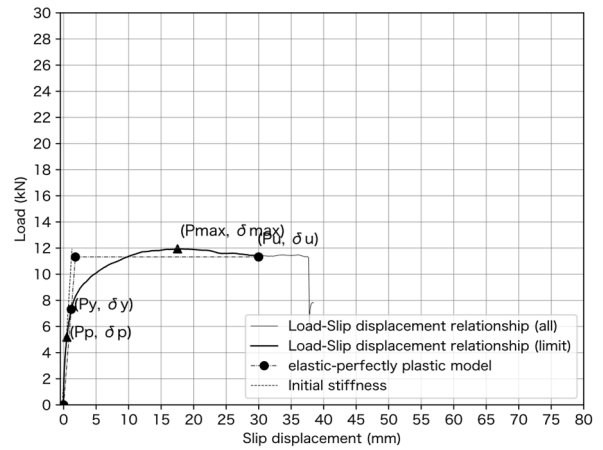


圖 50 G-LS-S-2 P- δ 曲線

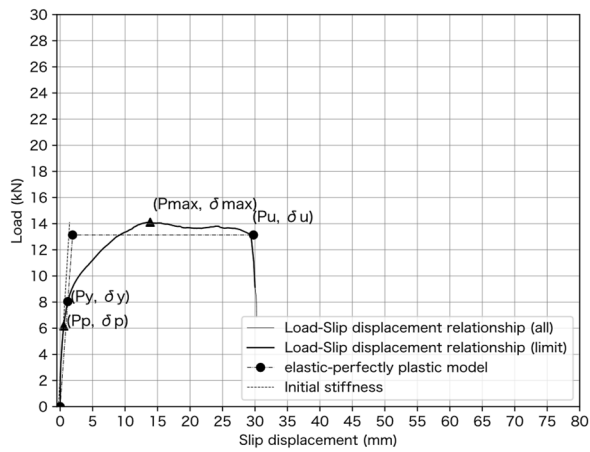


圖 51 G-LS-S-3 P- δ 曲線

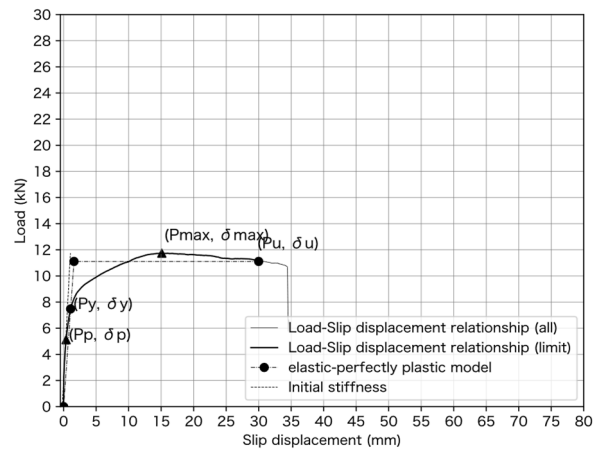


圖 52 G-LS-S-4 P- δ 曲線

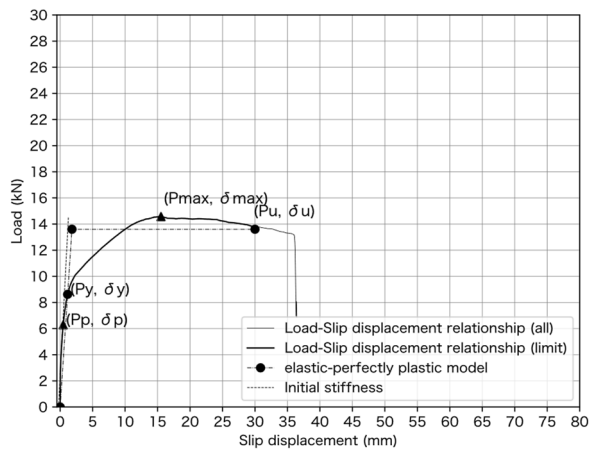


圖 53 G-LS-S-5 P- δ 曲線

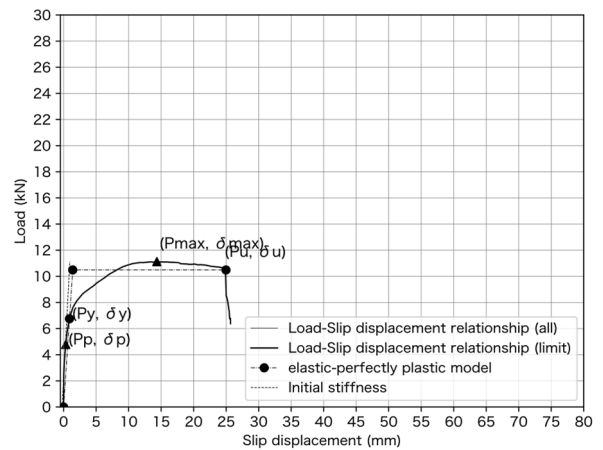


圖 54 G-LS-S-6 P- δ 曲線

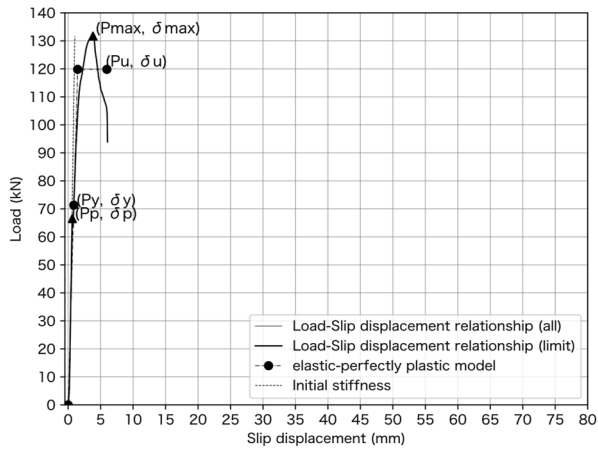


圖 55 G-NL-S-1 P- δ 曲線

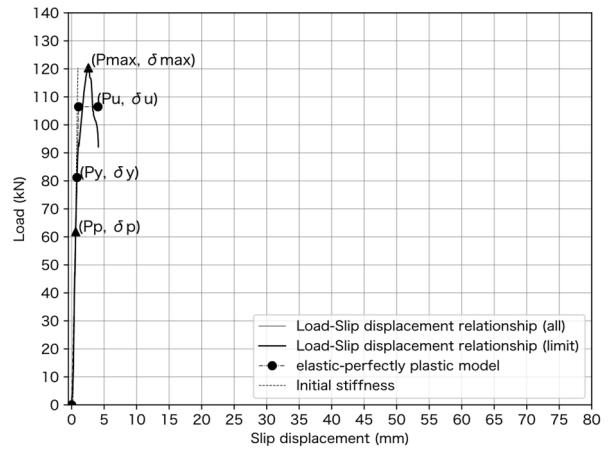


圖 56 G-NL-S-2 P- δ 曲線

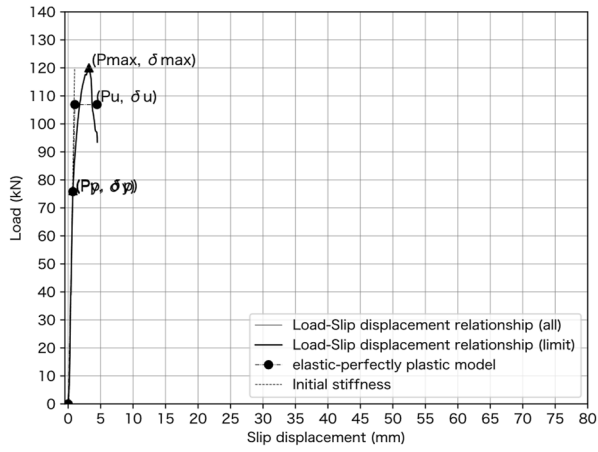


圖 57 G-NL-S-3 P- δ 曲線

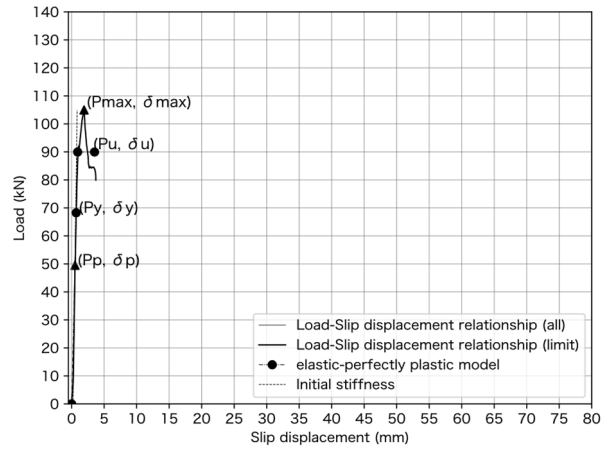


圖 58 G-NL-S-4 P- δ 曲線

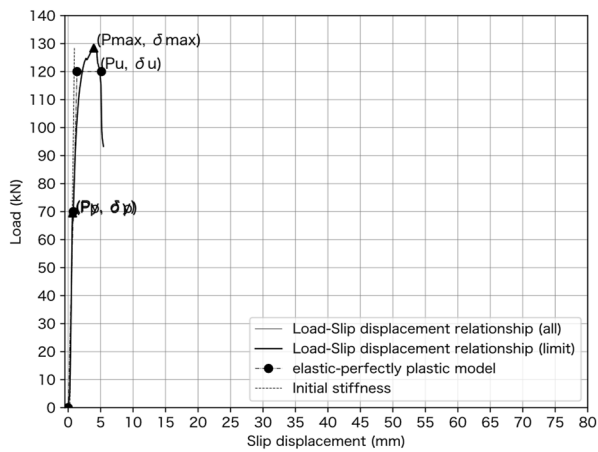


圖 59 G-NL-S-5 P- δ 曲線

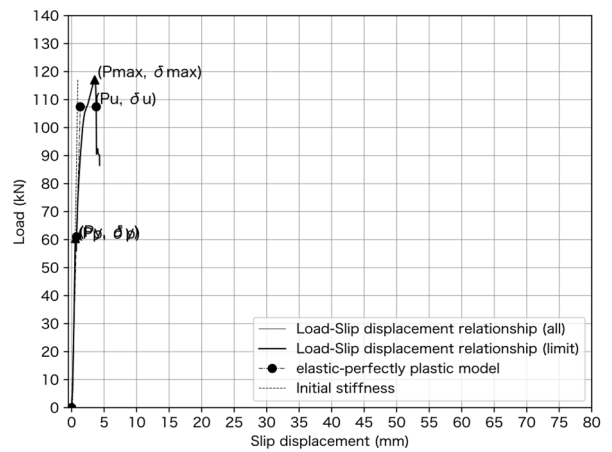


圖 60 G-NL-S-6 P- δ 曲線

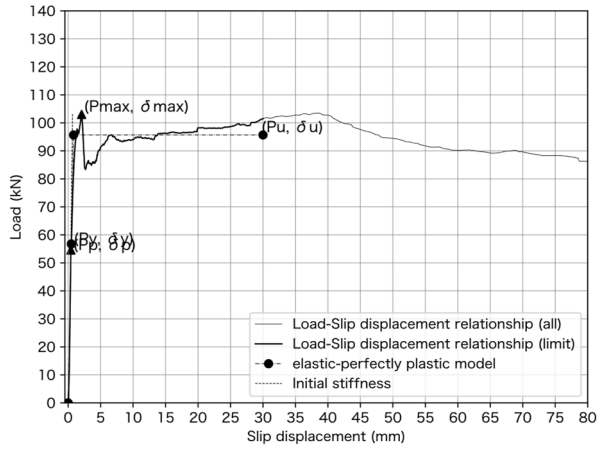


圖 61 G-NN-S-1 P- δ 曲線

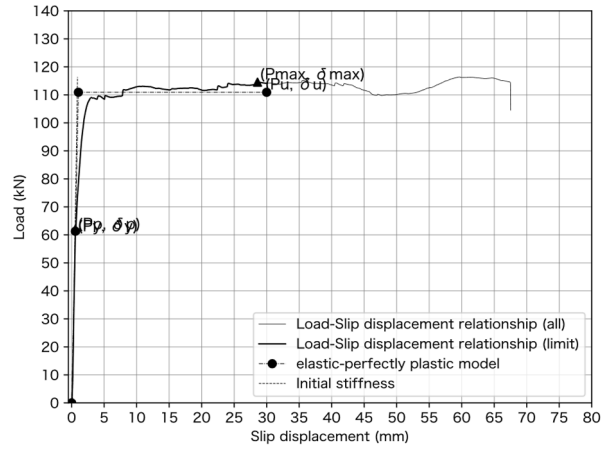


圖 62 G-NN-S-2 P- δ 曲線

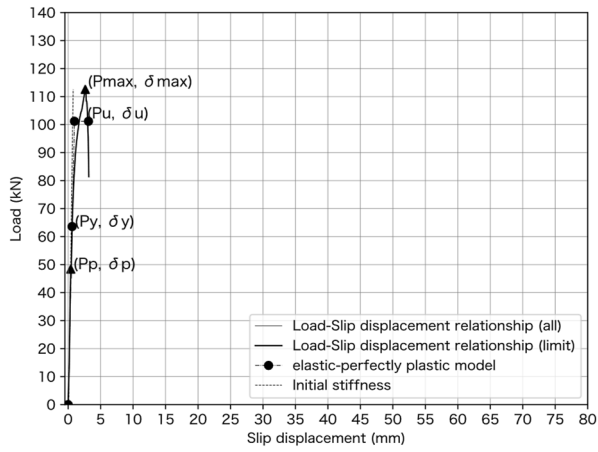


圖 63 G-NN-S-3 P- δ 曲線

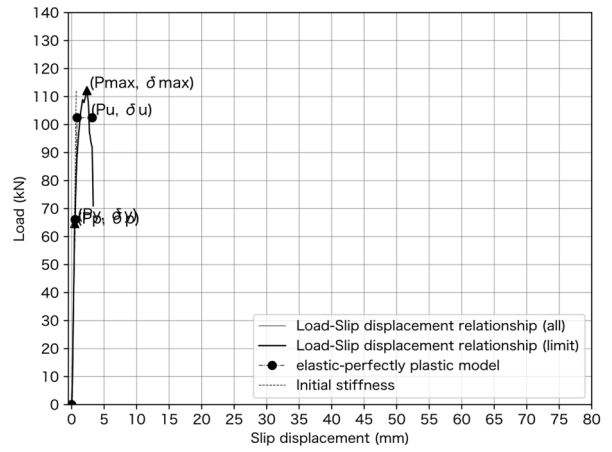


圖 64 G-NN-S-4 P- δ 曲線

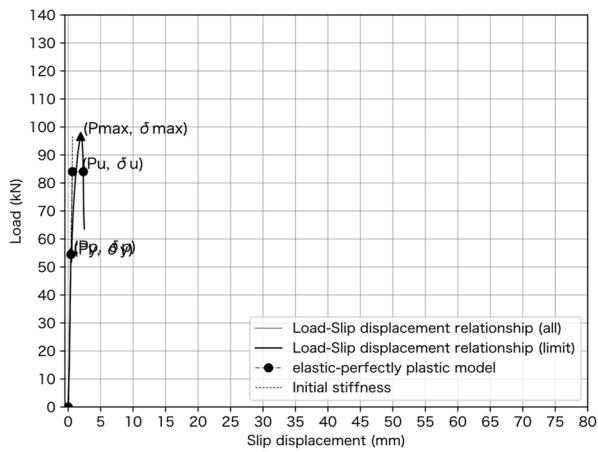


圖 65 G-NN-S-5 P- δ 曲線

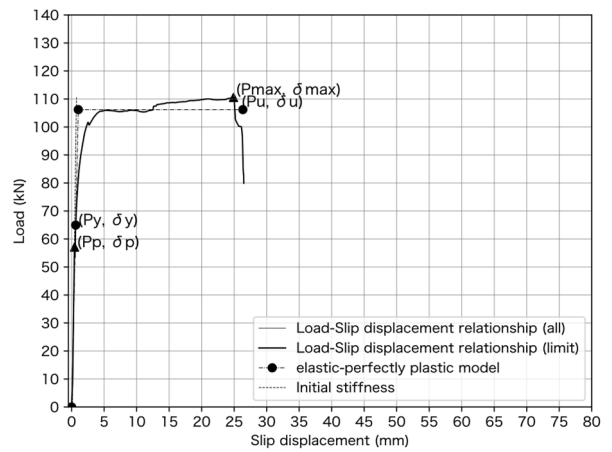


圖 66 G-NN-S-6 P- δ 曲線

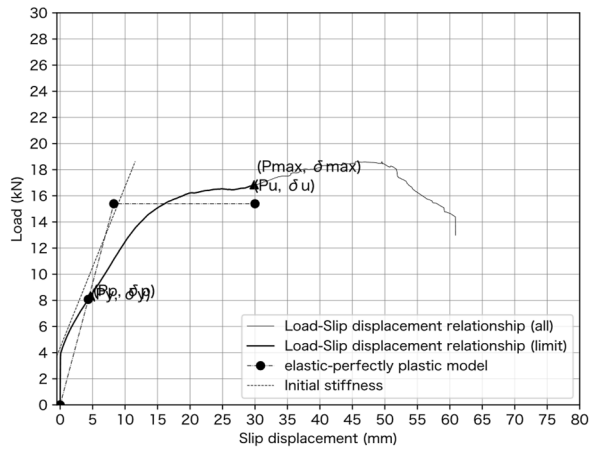


圖 67 G-PL-S-1 P- δ 曲線

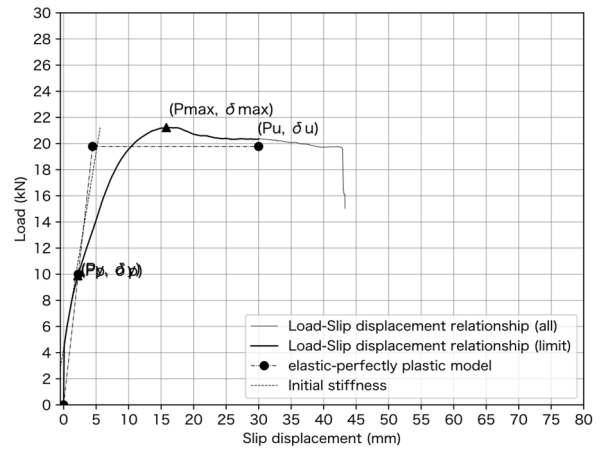


圖 68 G-PL-S-2 P- δ 曲線

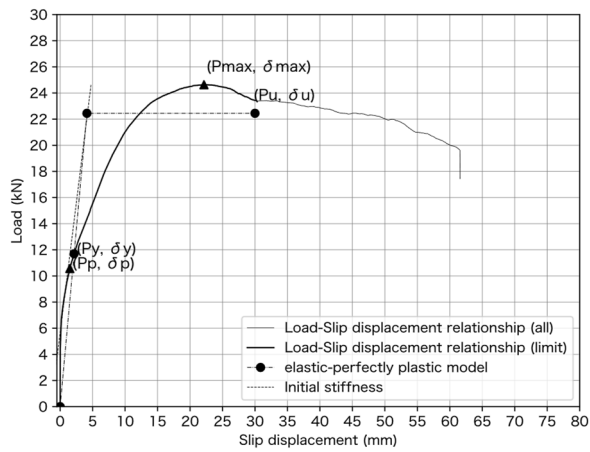


圖 69 G-PL-S-3 P- δ 曲線

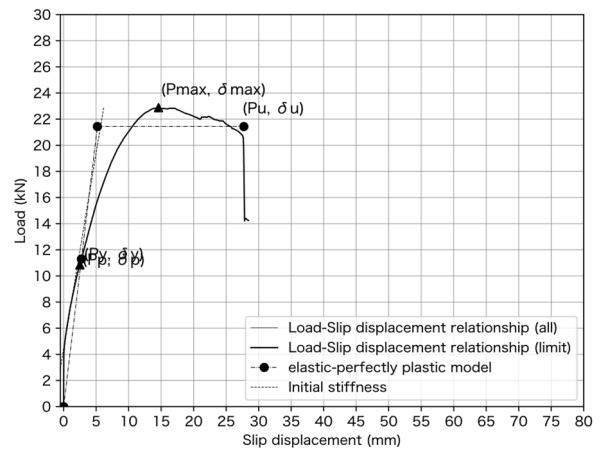


圖 70 G-PL-S-4 P- δ 曲線

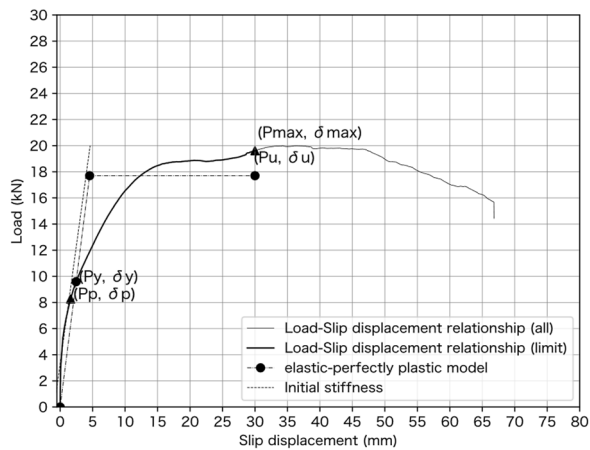


圖 71 G-PL-S-5 P- δ 曲線

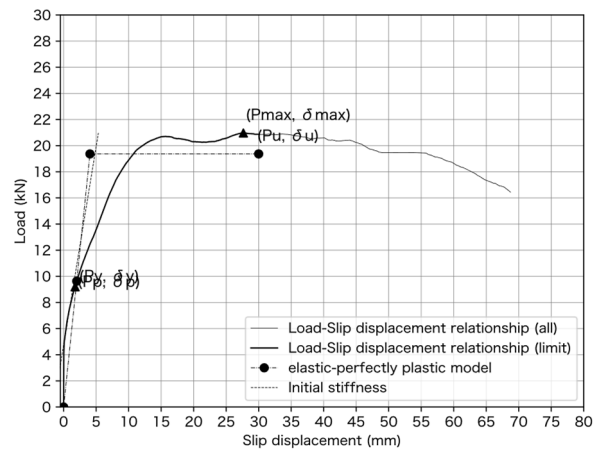


圖 72 G-PL-S-6 P- δ 曲線

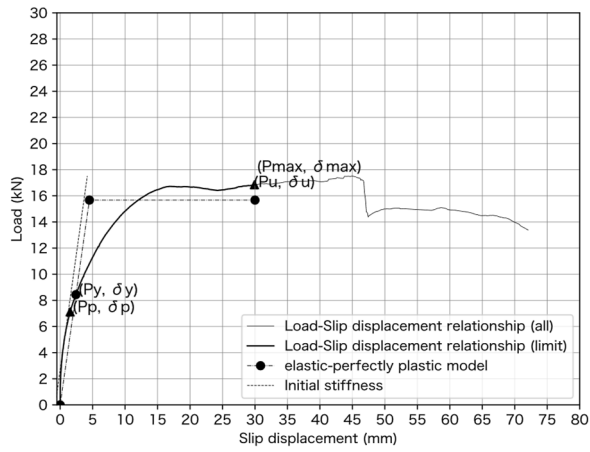


圖 73 G-SC-S-1 P- δ 曲線

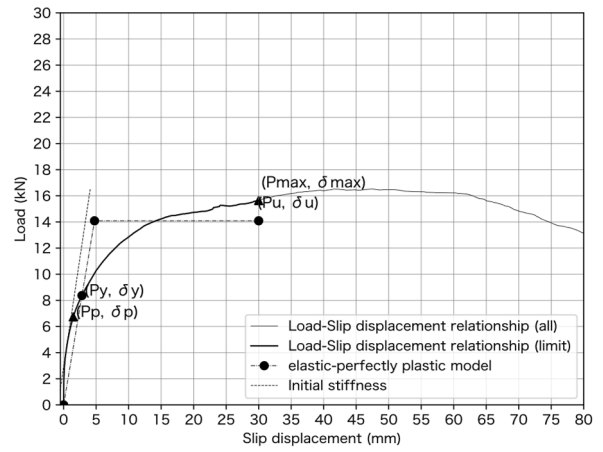


圖 74 G-SC-S-2 P- δ 曲線

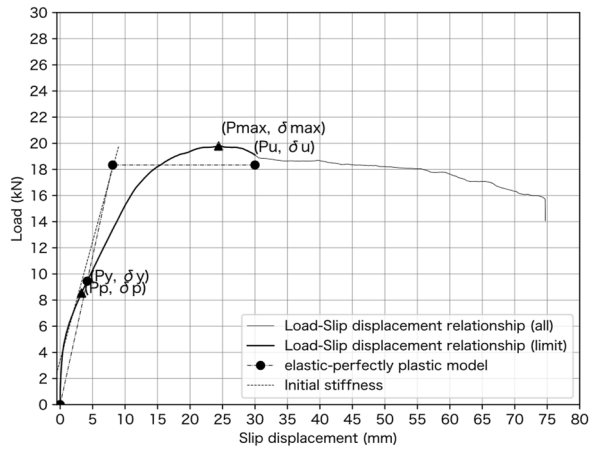


圖 75 G-SC-S-3 P- δ 曲線

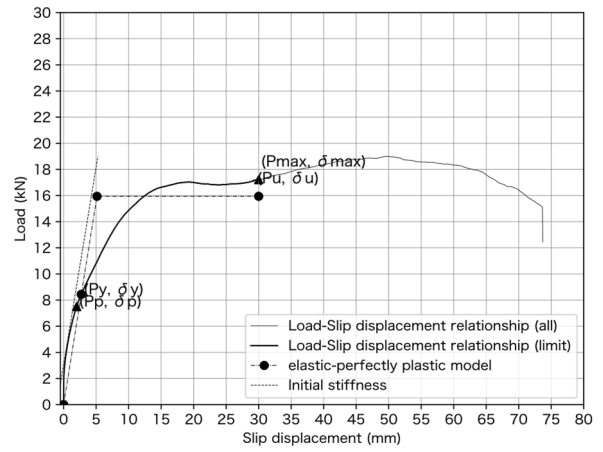


圖 76 G-SC-S-4 P- δ 曲線

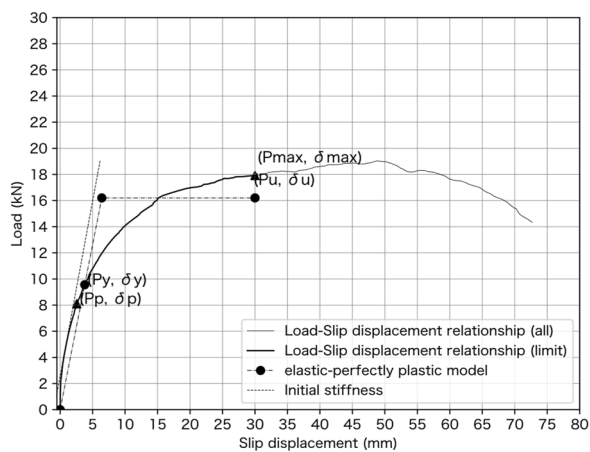


圖 77 G-SC-S-5 P- δ 曲線

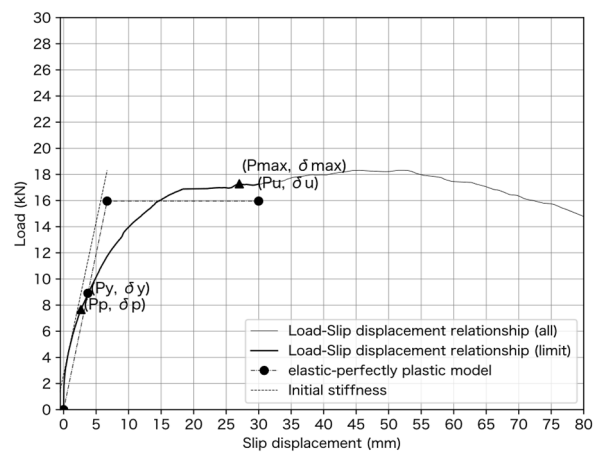


圖 78 G-SC-S-6 P- δ 曲線

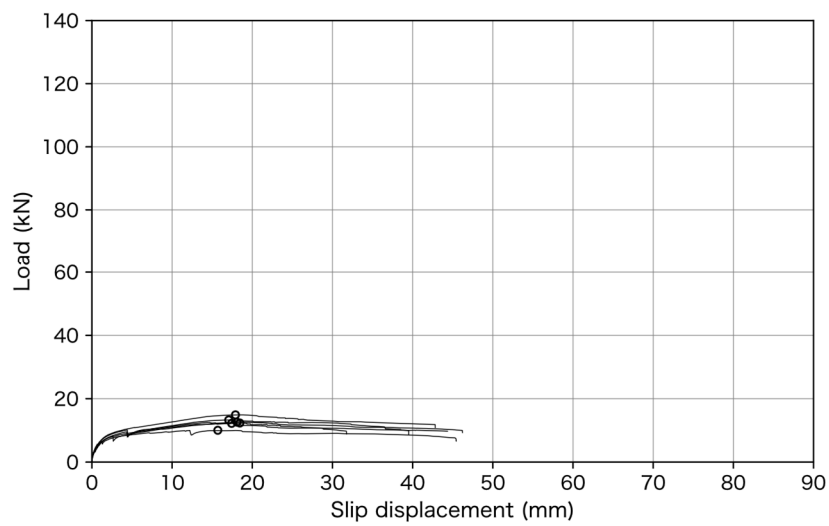


圖 79 D-LS-P P- δ 曲線

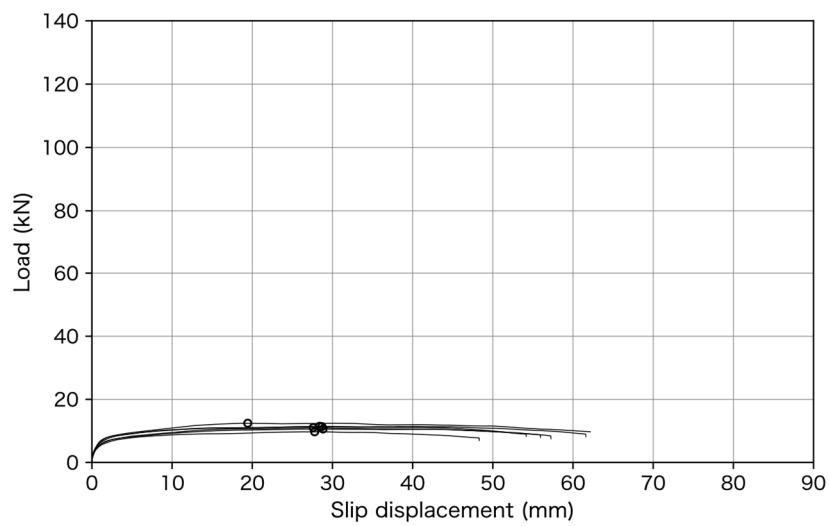


圖 80 D-LS-S P- δ 曲線

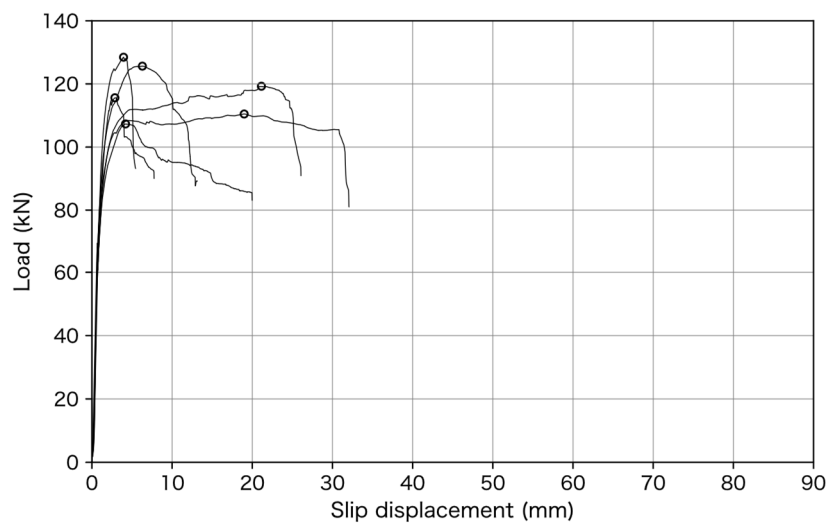


圖 81 D-NL-S P- δ 曲線

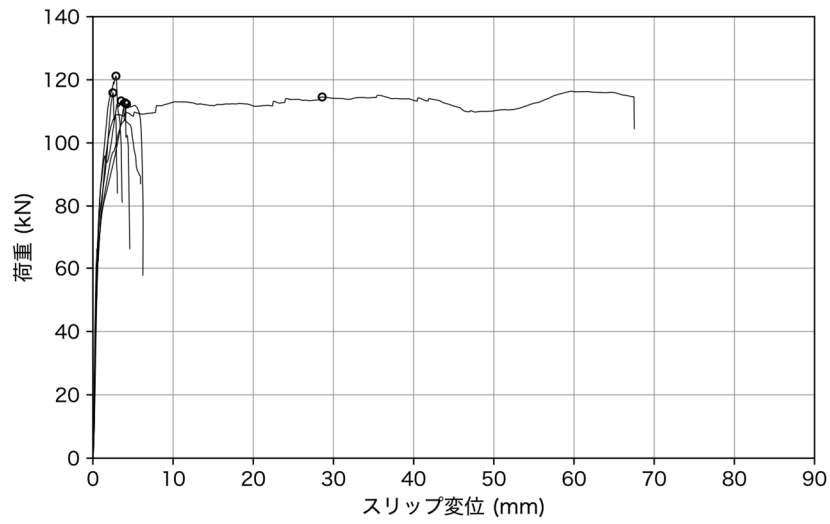


図 82 D-NN-S P- δ 曲線

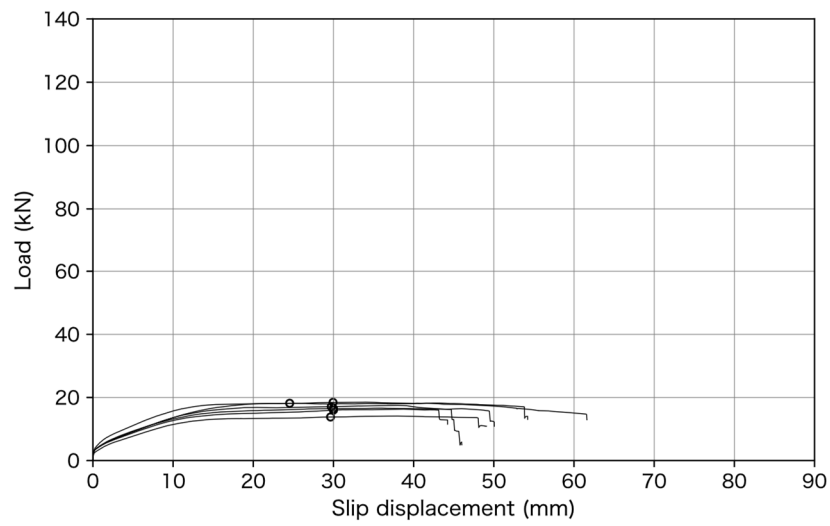


図 83 D-PL-S P- δ 曲線

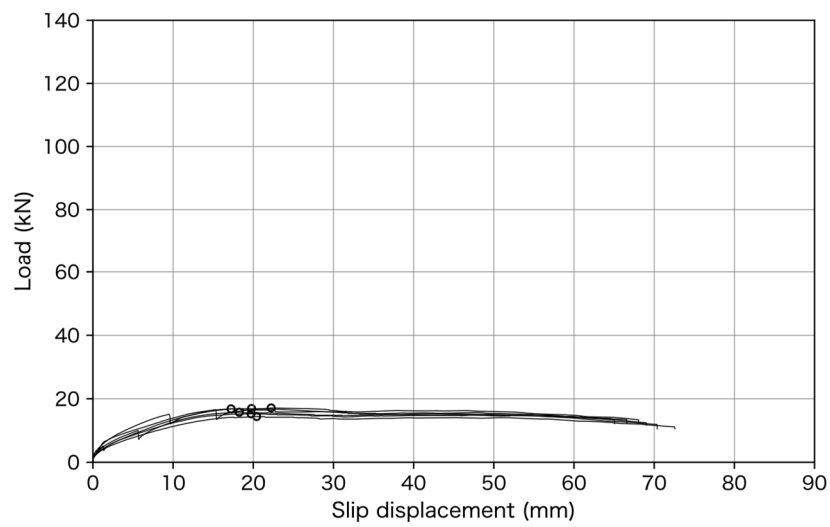


図 84 D-SC-P P- δ 曲線

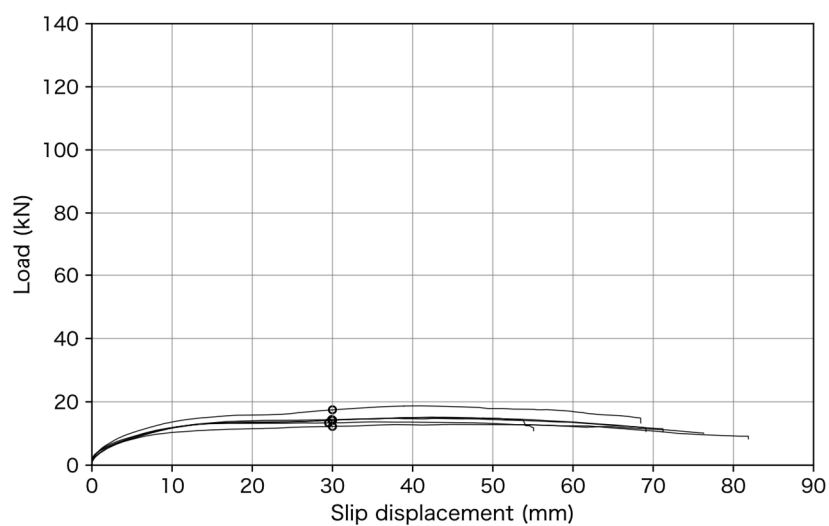


圖 85 D-SC-S P- δ 曲線

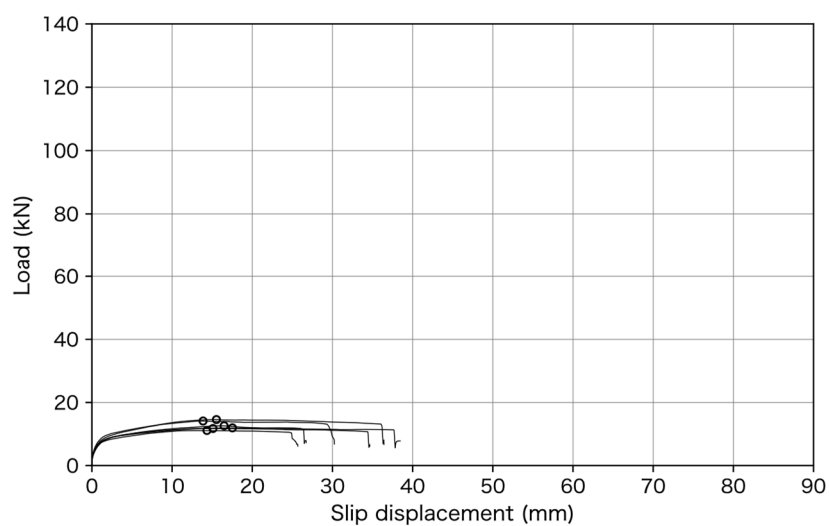


圖 86 G-LS-S P- δ 曲線

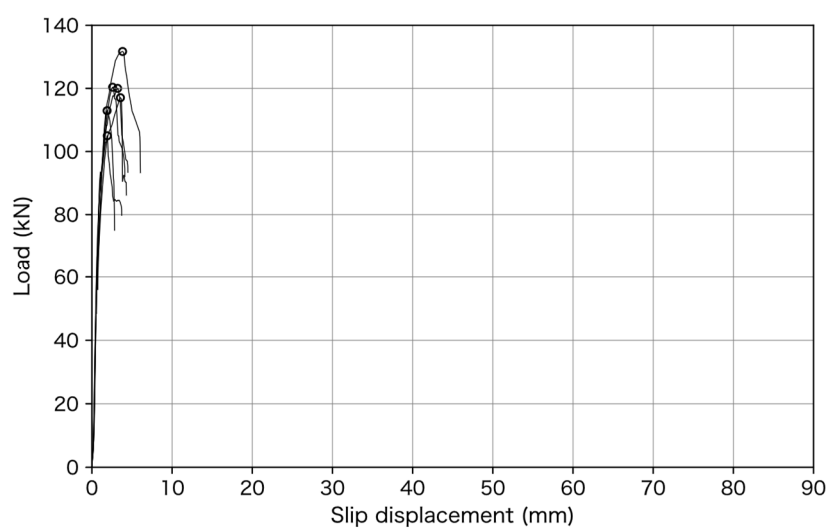


圖 87 G-NL-S P- δ 曲線

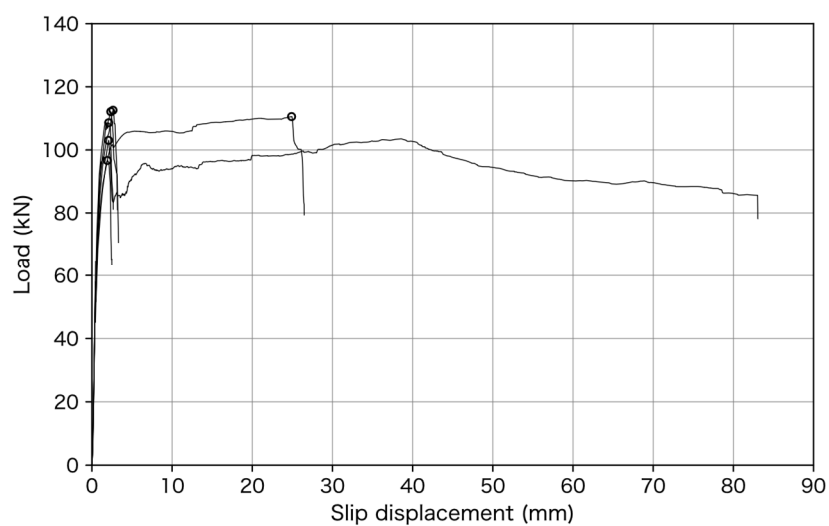


圖 88 G-NN-S P- δ 曲線

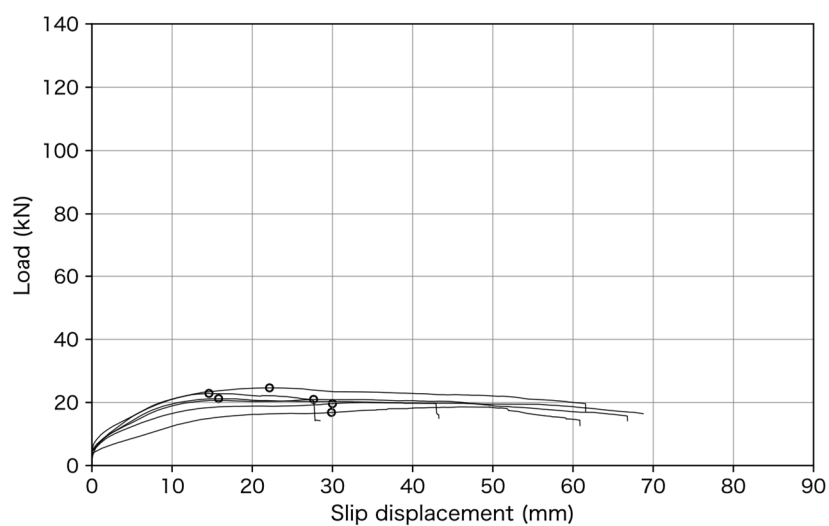


圖 89 G-PL-S P- δ 曲線

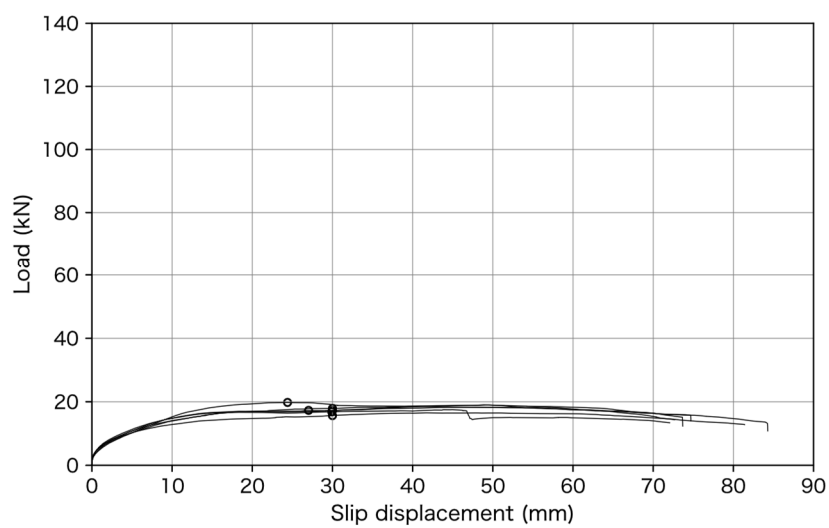


圖 90 G-SC-S P- δ 曲線

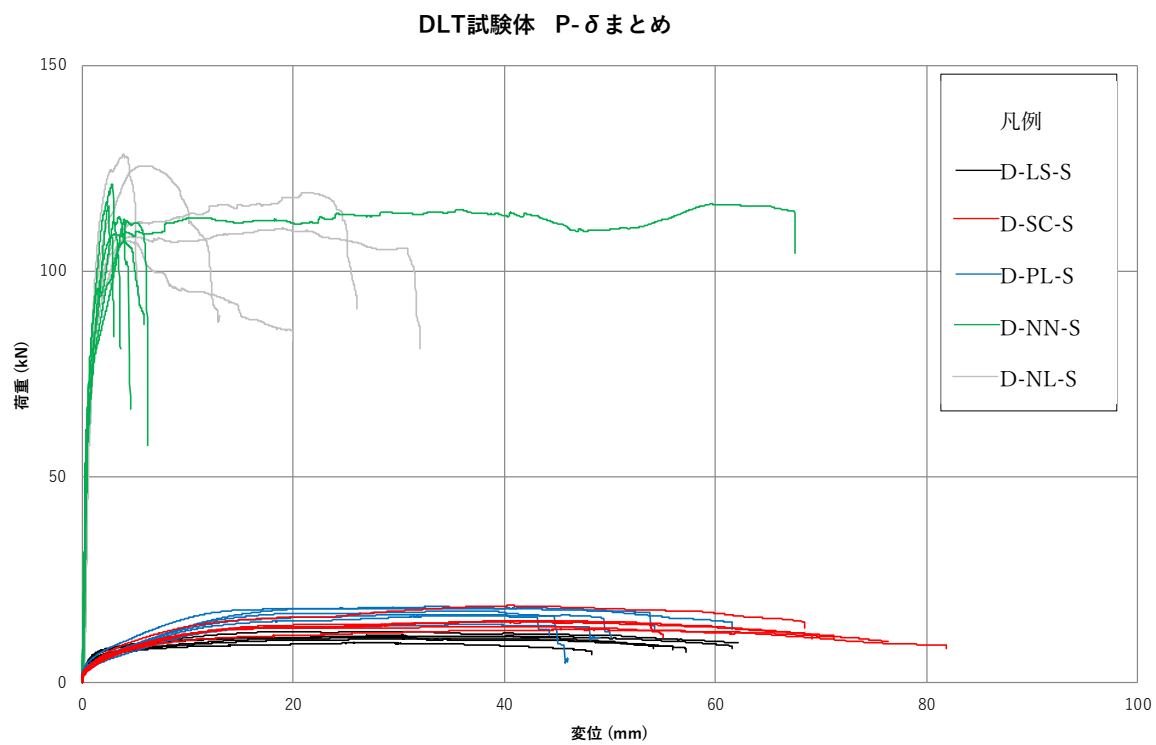


図 91 DLT試験体 P- δ まとめ

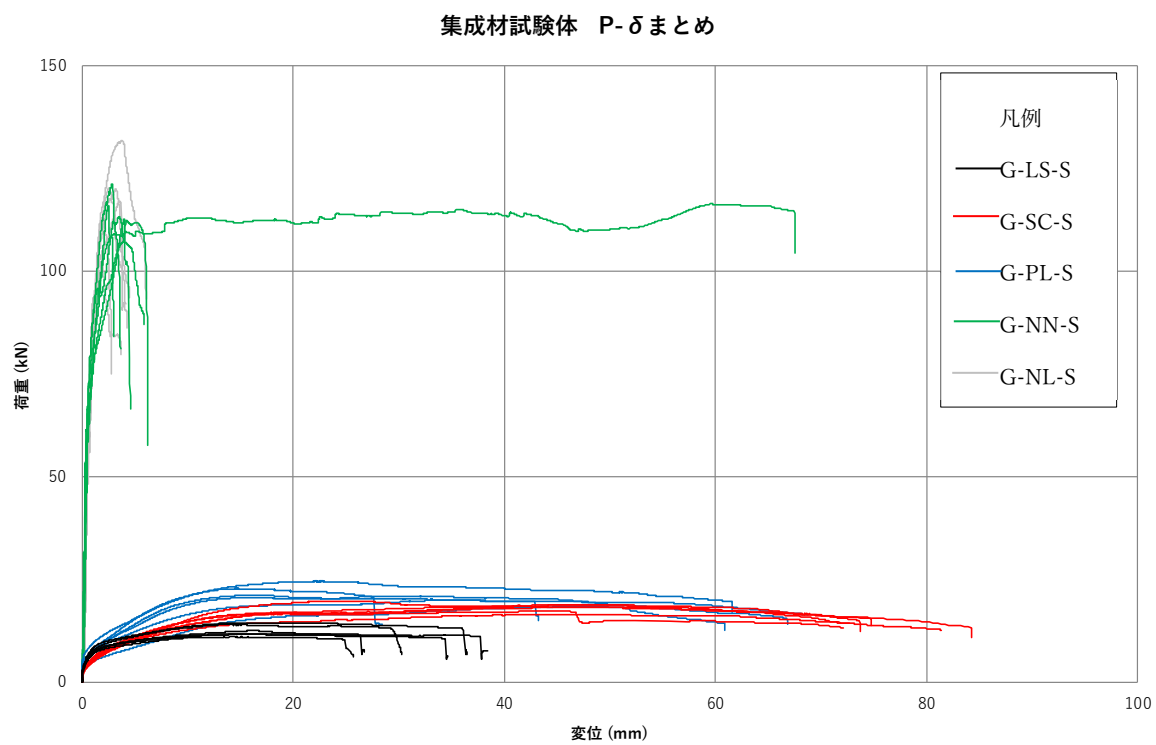


図 92 集成材試験体 P- δ まとめ

短期接合耐力の算定

「財団法人 日本住宅・木材技術センター木造軸組工法住宅の許容応力度設計」における「第2章木造軸組工法住宅の各部要素の試験方法と評価方法5. 仕口、継手の評価の方法」に準じて短期基準接合耐力を求める。

荷重－変位曲線から完全弾塑性モデルにより降伏耐力 P_y 等の特性値を算出する。短期基準接合耐力は、下記に示す方法により算出する。

下記①、②における試験荷重の平均値にばらつき係数を乗じた値の小さい方を短期基準接合耐力とする。

① 降伏耐力 P_y

② 最大荷重 P_{max} の $2/3$ の値にばらつき係数は次式による。

ばらつき係数 = $1 - c.v. \cdot k$

$c.v.$: 変動係数

k : 信頼水準 75% の 95% 下限許容限界を求めるための定数 $k=2.336$ ($n=6$ より)

表 24 各シアコネクタの短期基準接合耐力 (DLT)

試験体	初期剛性 $K(0.1_{-0.4})$ (kN/mm)	降伏耐力 P_y (kN)	最大荷重 $\times 2/3$ $P_{max} \cdot 2/3$ (kN)	変動係数 $c.v.$	定数 k	ばらつき係数 $1 - c.v. \cdot k$	短期基準接合耐力 P_0 (kN)
D-LS-S	6.58	6.8	7.40	0.88	2.336	0.87	5.49
D-LS-P	5.86	7.24	8.37	0.11	2.336	0.739	5.48
D-SC-S	2.07	7.53	9.54	0.16	2.336	0.619	4.66
D-SC-P	2.16	7.96	10.70	0.16	2.336	0.636	5.06
D-PL-S	1.70	8.16	11.11	0.09	2.336	0.789	6.43
D-NN-S	172.84	66.12	76.72	0.07	2.336	0.841	55.61
D-NL-S	141.21	67.63	79.51	0.10	2.336	0.76	51.40

表 25 各シアコネクタの短期基準接合耐力 (集成材)

試験体	初期剛性 $K(0.1_{-0.4})$ (kN/mm)	降伏耐力 P_y (kN)	最大荷重 $\times 2/3$ $P_{max} \cdot 2/3$ (kN)	変動係数 $c.v.$	定数 k	ばらつき係数 $1 - c.v. \cdot k$	短期基準接合耐力 P_0 (kN)
G-LS-S	8.76	7.64	8.45	0.08	2.336	0.804	6.14
G-SC-S	2.64	8.86	11.63	0.06	2.336	0.86	7.60
G-PL-S	2.94	10.05	14.02	0.13	2.336	0.70	6.99
G-NN-S	172.49	61.40	71.66	0.08	2.336	0.81	49.73
G-NL-S	148.79	68.98	78.56	0.13	2.336	0.69	47.39

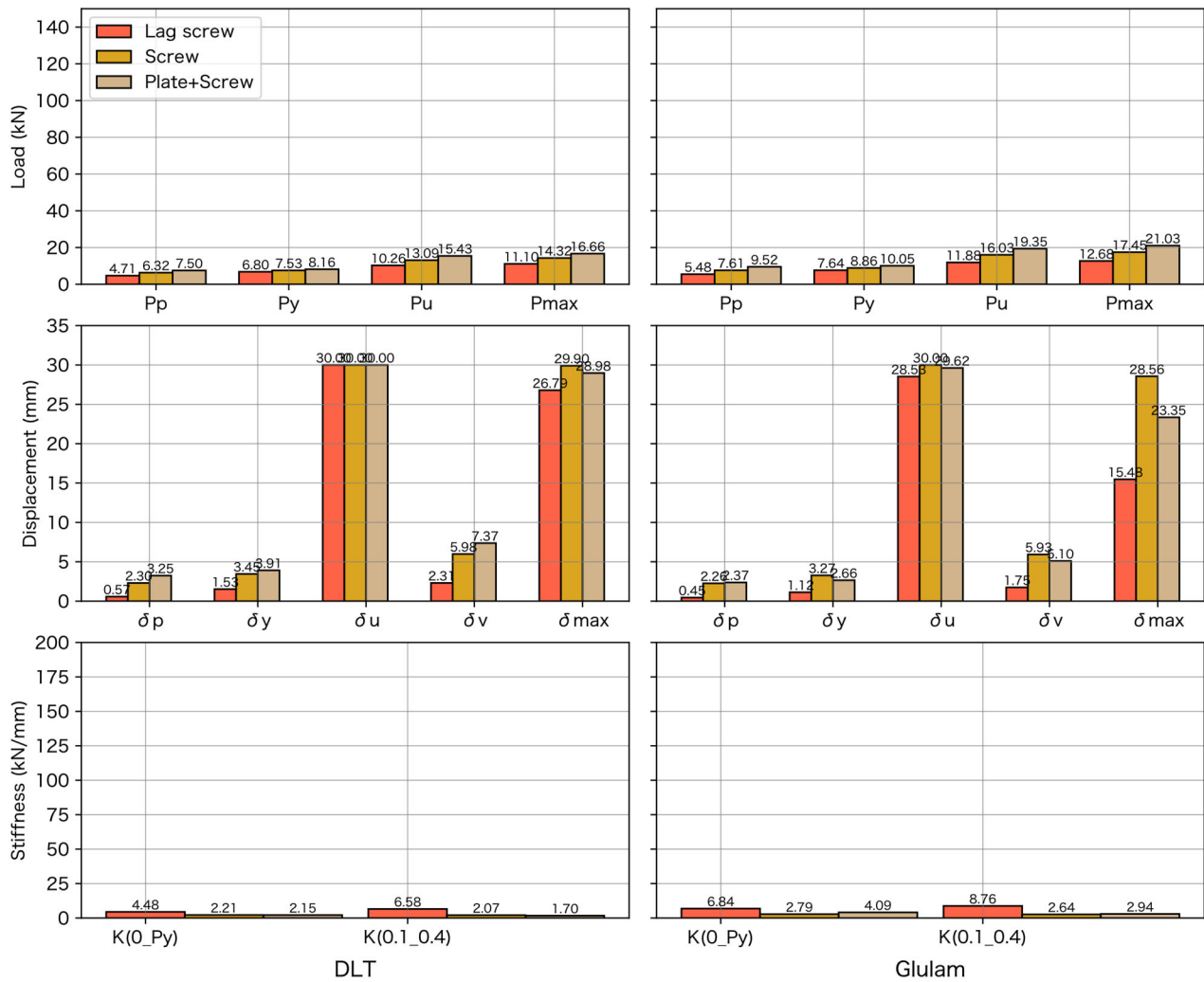


図 93 コネクタの仕様による構造特性の比較

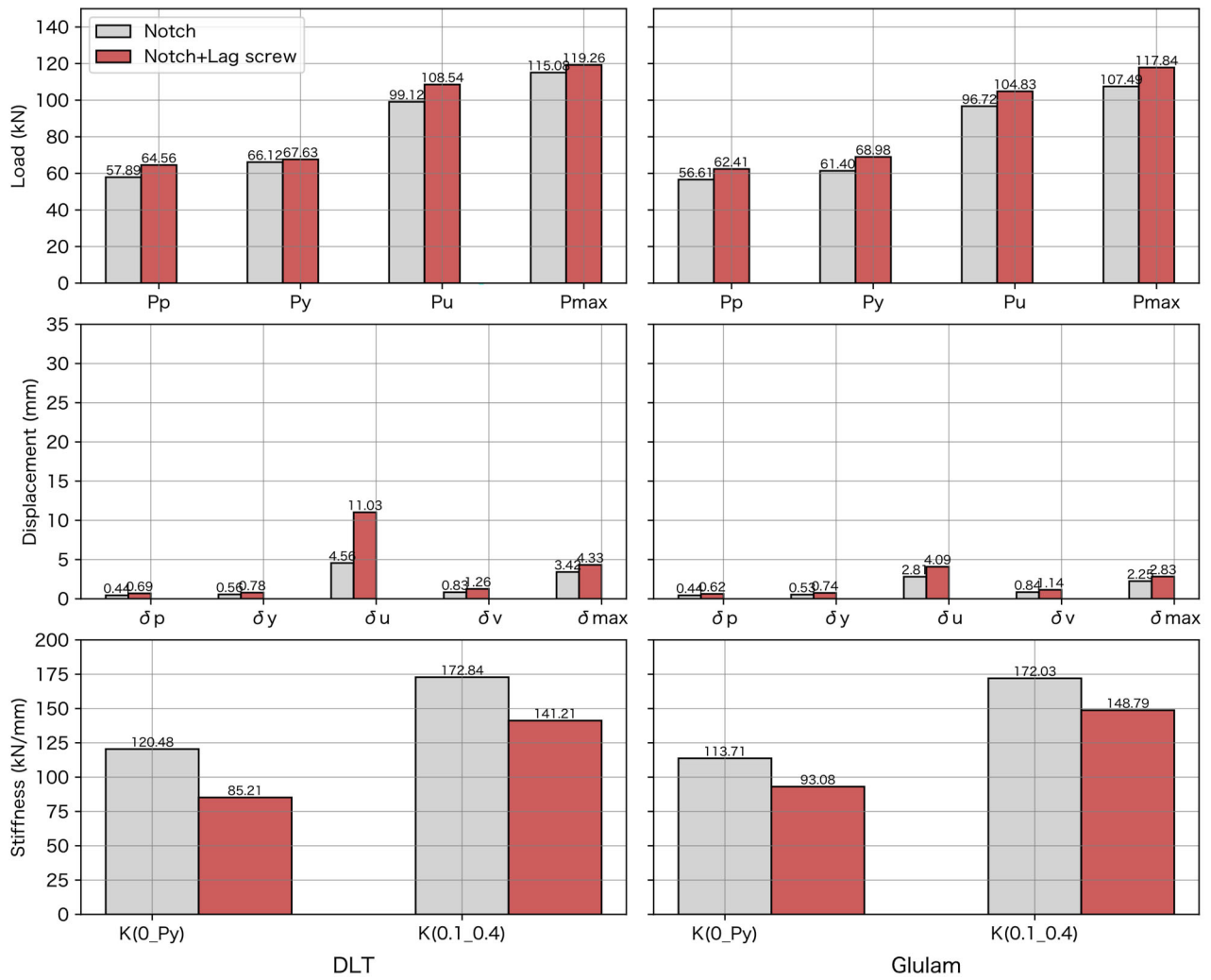


図 94 ノッチタイプの構造特性の比較

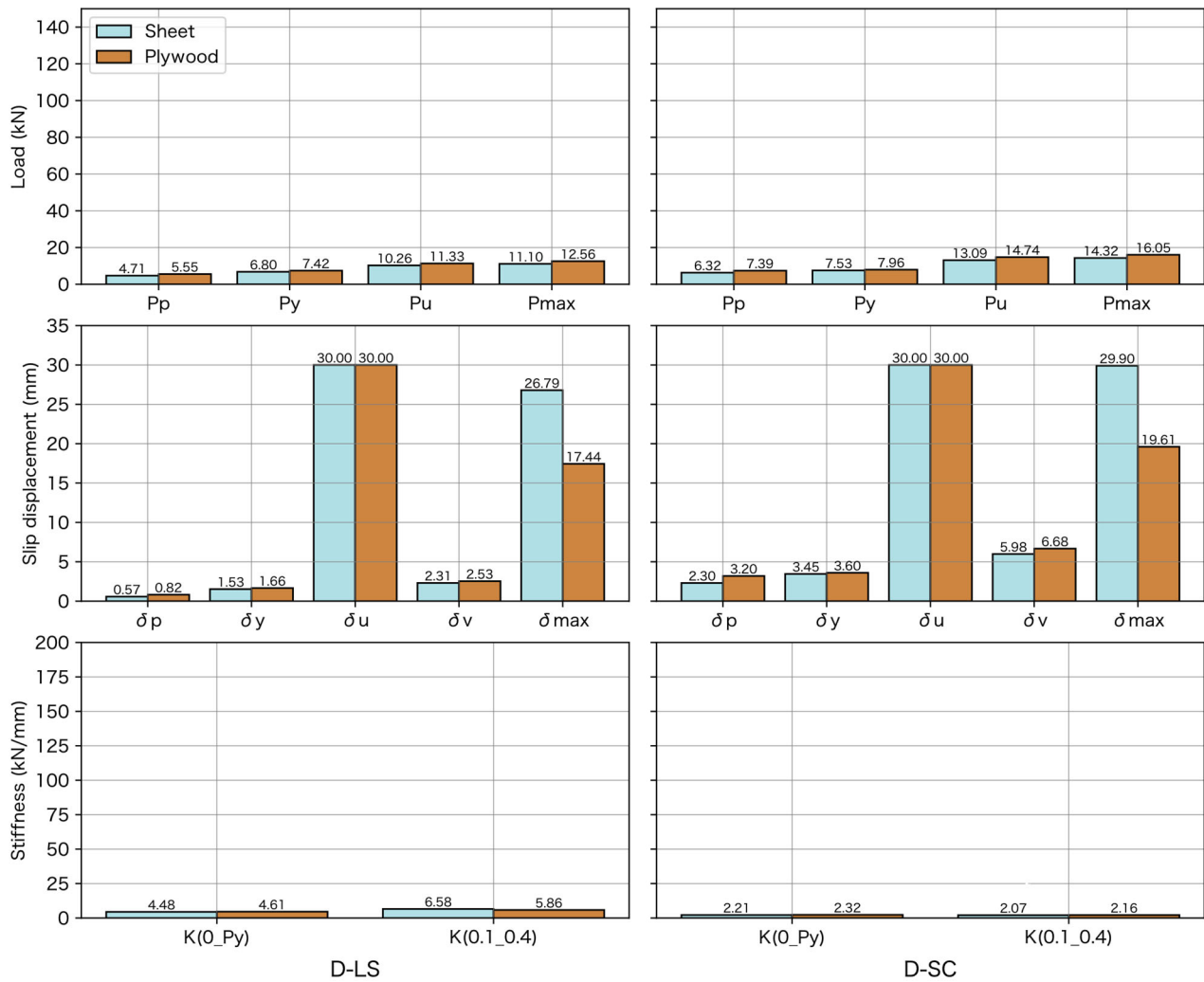


図 95 コンクリート境界面の仕様の違いによる比較

2.1.5 試験結果の考察

1) シアコネクタせん断性能について

- 剛性評価について、1) 0_{Py} ：原点と降伏点を結んだ直線の傾きより求める剛性（完全弾塑モデルによる剛性： $K(0_{Py})$ ）と、2) $0.1P_{max}$ から $0.4P_{max}$ の範囲における荷重-スリップ変位の傾きを最小二乗法によって算出した剛性（最小二乗法による剛性： $K(0.1_{0.4})$ ）を求めた。一般的には完全弾塑モデルによる剛性が採用されているが、最小二乗法による剛性が実情に即していると考えられる。
- 図 93**より、各接合タイプともDLT、集成材とでは顕著な差がないことから、本試験結果はDLT、集成材（CLTを含む）に限らず、含水率やヤング係数等の諸条件が同等であれば、その他製材や丸太加工材でも活用可能と考えられる。
- LS（ラグスクリュウM12）とSC（パネリードPX8×140）との接合耐力について、**表 24**、**表 25**よりLSはDLTで5.49 kN、5.48 kN（平均5.48 kN）、集成材で6.14 kN、SCはDLTで4.66 kN、5.06（平均4.86 kN）、集成材で7.60kNであった。LSはSCに比べ、DLTでは×1.12倍と若干耐力が高いが、集成材では0.81倍と逆転する。**図 93**よりLSはSCに比べ初期剛性で2.03倍、降伏耐力で0.9倍であった。

LS（ラグスクリュウM12）は外径 ϕ 12mmで木部への埋め込み深さ75mm、SC（パネリードPX8×140）は外径 ϕ 8mmで木部への埋め込み深さ90mm、コンクリート部の埋め込み深さは共に50mmとしたが、SCは複数ラミナを貫通するよう打ち込んだため、LSはSCに対して断面積で2.25倍、周長で1.5倍あるものの、木材部への埋め込み深さよりせん断耐力が上回っている。せん断耐力の差異だけでなく、LSは先穴加工が必要となることから、施工性も考慮するとSCの方が使い勝手がよいと考えられる。

- 山形鋼を用いたPL(プレートタイプ)は、コンクリート側の鋼板とコンクリートとの付着力と、木材にプレートを固定するスクリーブス（パネリードPX8×110）のせん断耐力との組み合わせにより、コネクタのせん断耐力を任意に求められ、DLTまたはCLTなどの床版面に複数配列も可能である。本試験では、コンクリート側は山形鋼（L40×40×3.2、L150）の付着面積 40mm×150mm×2面のコンクリート付着力と木材側の固定スクリーブス（パネリードPX8×110）2本の耐力より、コネクタのせん断性能が得られた。

図 93よりPLタイプはLSタイプ、SCタイプより耐力は高いが、剛性が低いことが確認できる。この理由として、コンクリートの付着力に対し、プレートを固定するスクリーブスの耐力不足と推測される。今後の木-コンクリート合成材での活用に向けては、プレート、スクリーブスの適切な適切な組み合わせの検証が必要である。

- NN（ノッチ）とNL（ノッチ+ラグスクリュウ）では、**図 91**、**図 92**で示す通りDLT、集成材とも他の接合具に比べ、非常に高い耐力と初期剛性が得られた。NN、NLはDLTや集成材に限らず、大径材や丸太材を活用したT-CCへの活用も期待できる。
NN、NLにおいて、ノッチ部のコンクリートのせん断破壊の進展により荷重低下したが、ノ

ッチ下部のDLTまたは集成材のめり込みにより、コンクリートのせん断破壊が進展しない試験体がD-NL (図 19、図 22)、D-NN (図 26)、G-NN (図 61、図 62、図 65) で認められた。

図 94より、NNはNLに対して耐力 (P_y 、 P_u 、 P_{max})、変位 (δ_y 、 δ_u 、 δ_{max}) は少ないが、剛性は若干高い結果であった。本試験では試験体仕様を限定しており、この差の明確な理由は不明である。

2) コンクリートとの境界面について

- 図 95より透湿防水シート (S)と型枠合板 (P)とでは、D-LS、D-SCとも耐力的には型枠合板の方が若干大きく、剛性面ではほとんど差がないことが確認できた。型枠合板仕様では δ_{max} が小さい結果であった。本試験結果からこの変位の差の明確な理由は不明である。
- 境界面の仕様の違いによる耐力的な優劣が少ない。施工の容易性、接合具の施工確認、ノッチへの対応、コンクリートの染み出し確認から、コンクリート界面の仕様はシートタイプでも使用上問題ないを考える。

2.1.6 試験写真



写真 6 最終破壊形状 (D-LS-S-2)

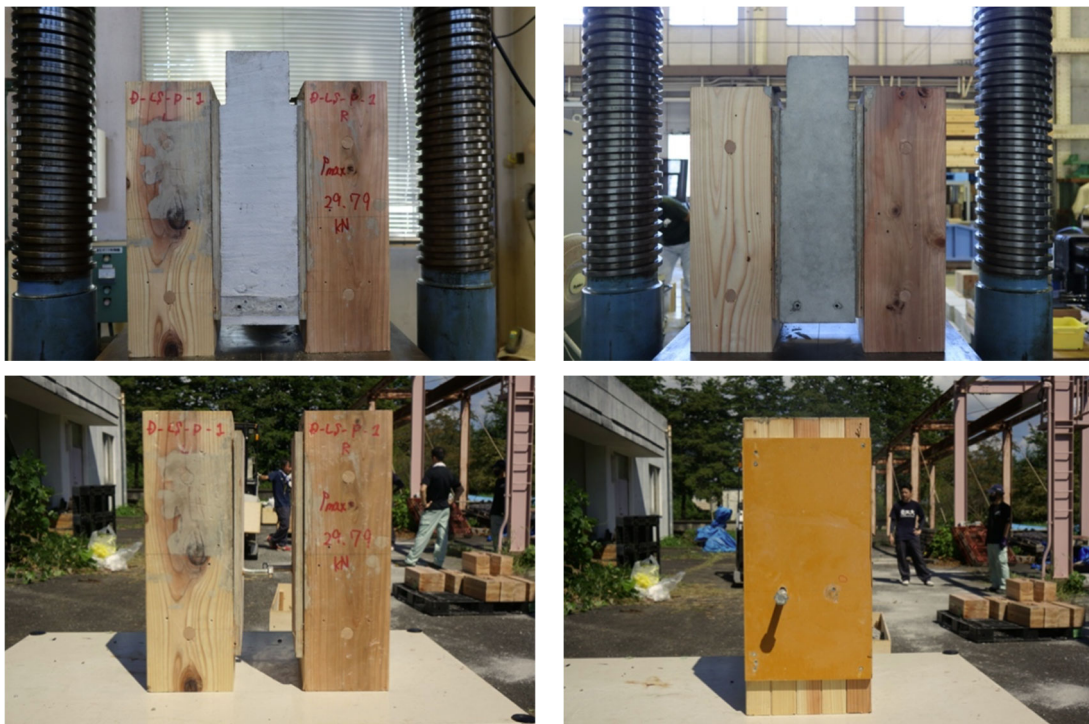


写真 7 最終破壊形状 (D-LS-P-1)

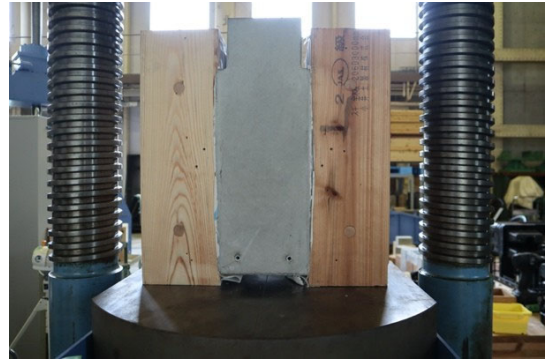


写真 8 最終破壊形状(D-SC-S-6)



写真 9 最終破壊形状(D-SC-P-4)



写真 10 最終破壊形状(D-PL-S-1)



写真 11 最終破壊形状(D-NN-S-3)

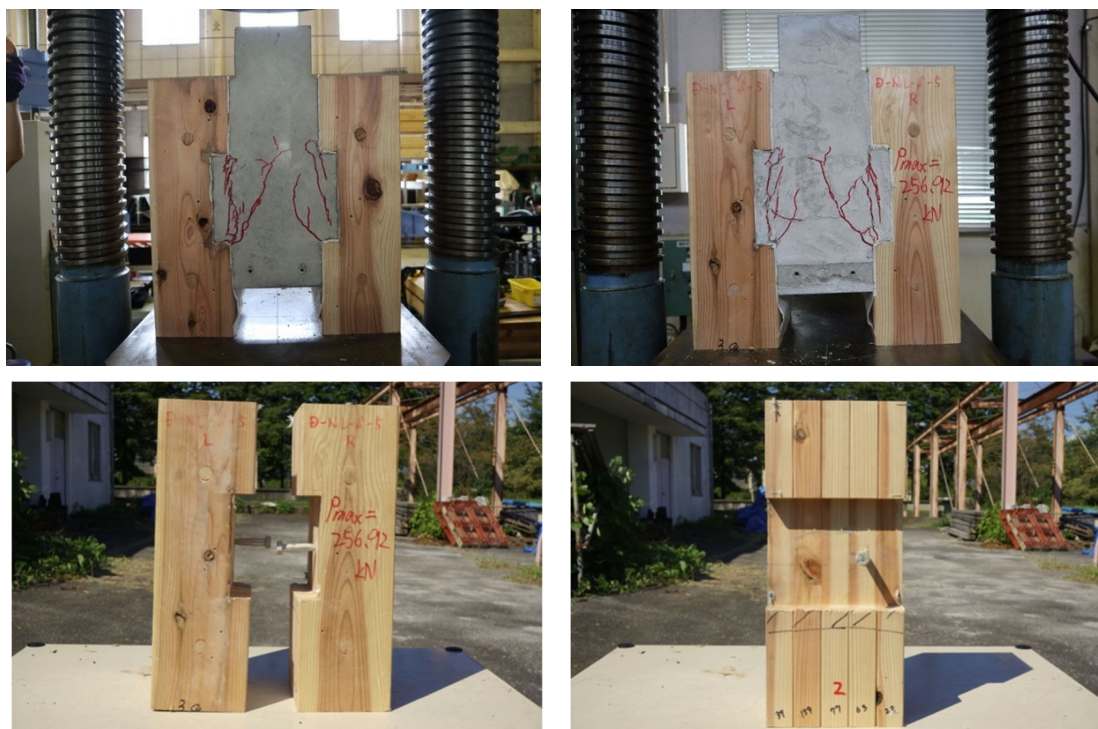


写真 12 最終破壊形状 (D-NL-S-5)



写真 13 最終破壊形状 (G-LS-S-5)

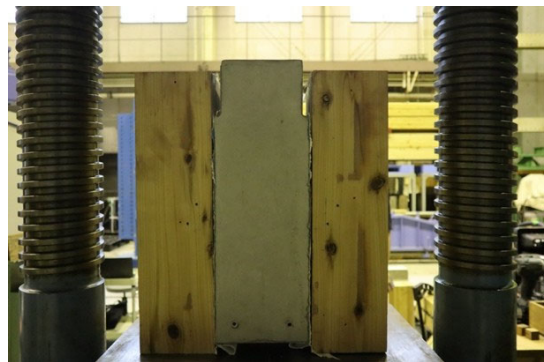


写真 14 最終破壊形状 (G-SC-S-2)

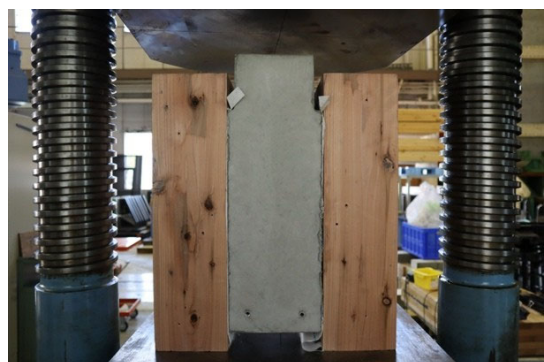


写真 15 最終破壊形状 (G-PL-S-3)

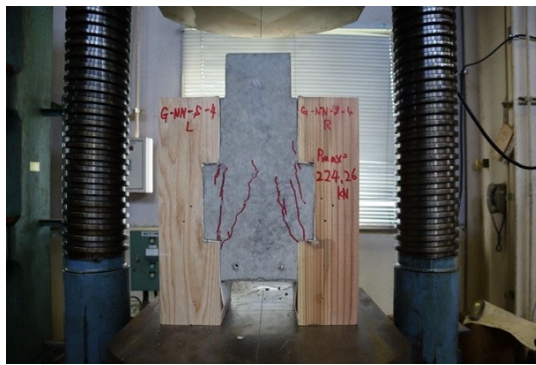


写真 16 最終破壊形状 (G-NN-S-4)

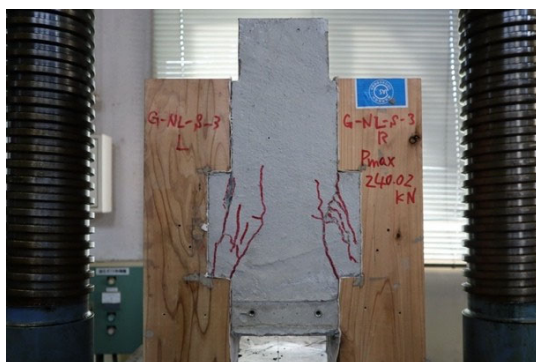


写真 17 最終破壊形状 (G-NL-S-3)

2.2 DLT-CCの実大の曲げ試験

2.2.1 試験目的

予備試験の結果より、施工性・汎用性が高いシアコネクタのSC（スクリーブス）タイプと、ノッチを用いて剛性が高いNL（ノッチ+ラグスクリー）タイプを選択し、DLT-コンクリート合成材（DLT-CC）、集成材-コンクリート合成材（T-CC）の曲げ試験を行い、木-コンクリート合成材の構造性能を確認する。

2.2.2 試験概要

1) DLT-CC の設計

DLT-CCを事務所の床構造に用いる場合を想定し試験体を検討した。

a. 設計条件

積載荷重※	2900N/m ² (応力用) ※
	※ 建築基準法施工令第85条 事務室の積載荷重
仕上げ荷重	400N/m ²
支持条件	ピン、ローラー指示
スパン	3,600mm

b. 断面仕様

木部材断面	DLT-CC ; 266mm (38mm×7層) ×140mm
	T-CC ; 270mm×140mm
スラブ厚	70mm (60mm+仕上げ10mm)
ひび割れ防止筋	メッシュ筋φ6 #100

c. 荷重計算

自重	$70 \times 23 + 140 \times 5 = 2,310\text{N/m}^2$
積載荷重	負担幅266mm
応力用荷重	$W1 = (2780+2900) \times 0.266 = 1511\text{ N/m}$ (等分布荷重)
	$3.6\text{m} \times 1.52\text{ kN/m} = 5.472\text{ kN}$

d. 解析モデル

解析モデルの概略を図 101に示す。解析モデルではコンクリート断面の材芯を部材芯とした上弦材、木断面の材芯を部材芯とした下弦材、シアコネクタのせん断耐力をブレース置換（図 96）した斜材で構成する平行弦トラスとした。実際には存在しない束材は両端ピンで大きい剛性で設定。支持点はピンとローラーとした。DLT-CC試験体ではラミナ毎にモデル化している。

なお、コンクリートのひび割れ防止のためメッシュ筋φ6 #100を入れたが、メッシュ筋は引張を負担しないものとし、重ね継ぎ手せずに隙間を設け配置した。

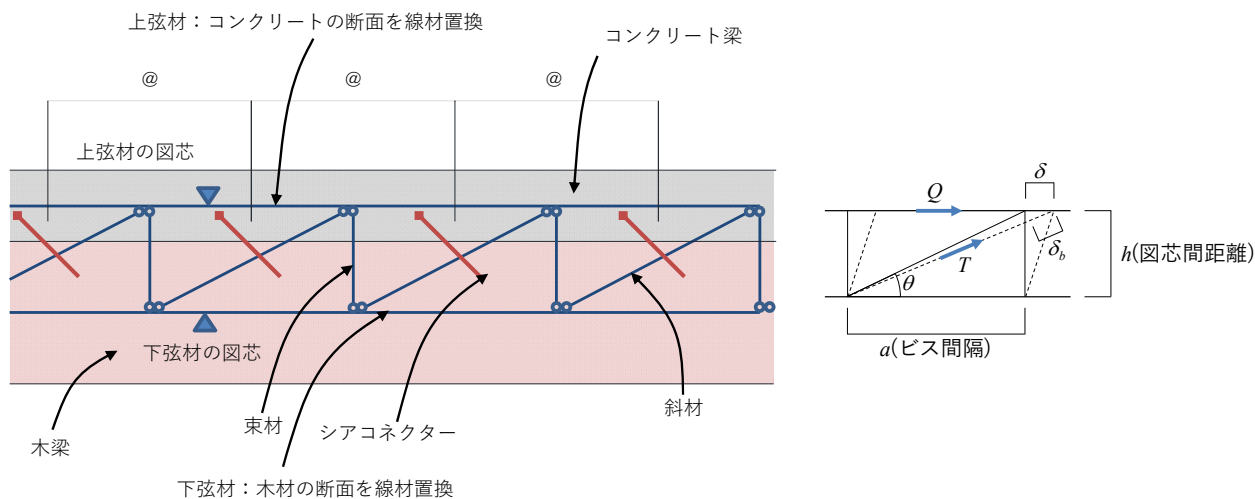


図 96 DLT-CCの平行弦トラスへのモデル化

図 97 シアコネクターのブレース置換モデル

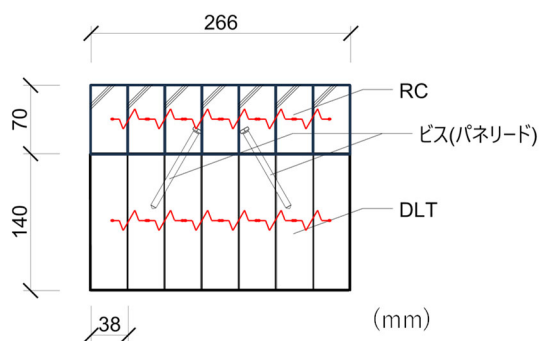


図 98 DLT-CC断面の解析モデル

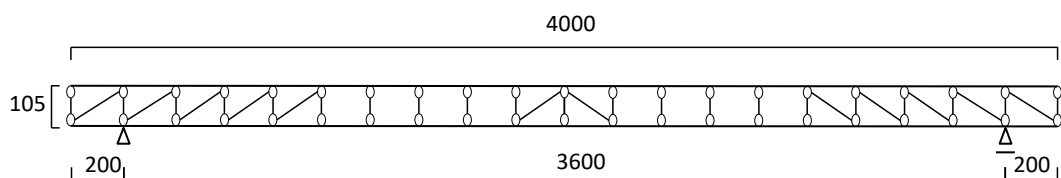


図 99 試験体 (D-NL-S) の解析モデル図

図 96 ブレースに作用する水平方向力 Q 、ブレースの伸びを δ とすると、ブレースの水平剛性 k_H は $k_H = \frac{Q}{\delta}$ (N/mm) で表せ、シアコネクターのせん断試験結果よりブレース置換の結果を表 26 に示す。

表 26 コネクターのブレース置換断面

シアコネクター	せん断剛性 (ks) (kN/mm/本)	$\cos \theta$	$E_s A_s$ (kN)	E_B (N/mm ²)	A_B (mm ²)	置換断面
SC	0.55	0.885	158.6	1,000	158.6	12.6 × 12.6
NL	8.52	0.885	2455.0	1,000	2455.0	49.5 × 49.5

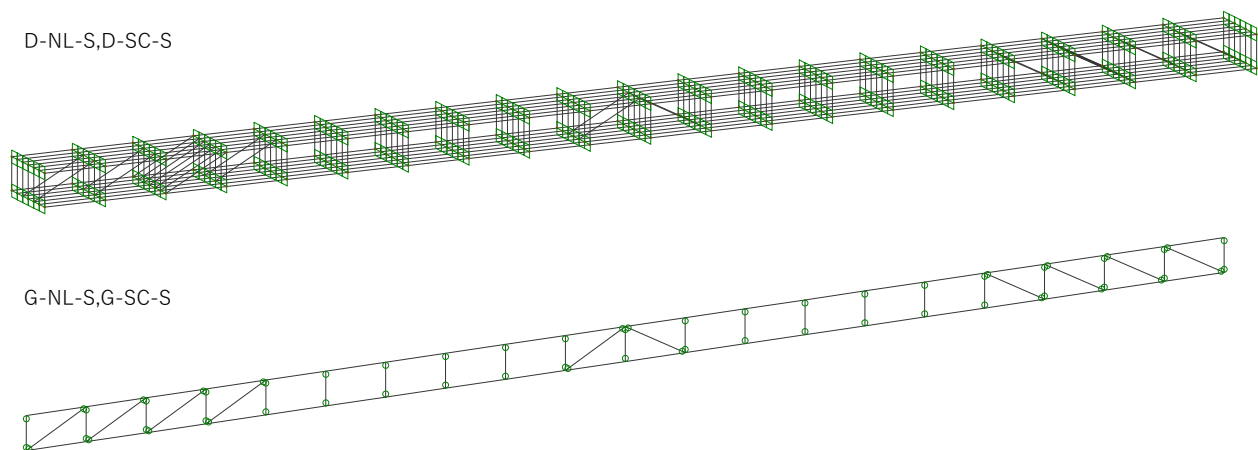


図 100 試験体の解析モデル

e. 解析結果

DLTモデルはラミナ毎にモデル化しており、各ラミナで長期荷重（応力用荷重）を載荷した。長期荷重（応力用荷重）に対する解析結果は下表の通り（表 27）。ここで、ブレース軸力＝シアコネクタせん断力(kN)×cos θで求められる。

応力解析には汎用構造解析ソフト「midas iGen」を使用した。

表 27 トラスモデルによる長期荷重の解析結果

試験体	入力値 (kN)	中央たわみ (mm)	曲げ剛性 (kN/mm)	梁中央部の応力検討					梁端部シアコネクタの検討		
				作用引張力 (kN)	引張応力度 (N/mm ²)	作用曲げモーメント (kN-m)	曲げ応力度 (N/mm ²)	検定比	ブレース軸力 (kN)	せん断力 (kN)	検定比
D-SC-S	5.47	3.81	1.43	1.88	0.35	0.21	1.69	0.07	13.26	11.74	0.14
D-NL-S	5.47	6.08	0.90	0.83	0.16	0.31	2.50	0.08	0.68	0.56	0.04
G-SC-S	5.47	3.56	1.54	12.39	0.33	1.49	1.69	0.06	13.64	12.07	0.14
G-NL-S	5.47	5.63	0.97	4.66	0.12	2.13	2.41	0.08	0.80	0.66	0.05

NLタイプ試験体では、梁端部ノッチ間の木部のせん断耐力に対し、ノッチ部分のコンクリートが先行破壊するように設計した（表 28）。

表 28 ノッチ部耐力比較表

部位	強度	断面積	せん断基準強度 F _s (N/mm ²)	長期許容せん断応力度 Lσ _s (N/mm ²)	短期許容せん断応力度 Sσ _s (N/mm ²)	短期許容せん断耐力 Sf _s (N)
DLT梁端部 木材断面	スギ E70	266×425	1.8	1/3×1.8= 0.6	2/3×1.8= 1.2	1.2×266×425 = 135,660 (1.0)
コンクリート ノッチ断面	Fc24	266×150	—	0.49×(1/100)×24 = 0.73	0.73×1.5=1.095	1.095×266×150 = 43,690 (0.32)

2) 試験体の仕様

試験体の構成一覧を表 29に、試験体の仕様を表 34～表 37に、試験体図を図 101～図 104に示す。コンクリートと木材材との界面には透湿防水シートをタッカー留めし、コネクタの接合方法は予備試験と同様とした。

表 29 試験体の構成一覧

試験体	木質材料						RC			コネクタ	界面処理
	名称	規格	幅 (mm)	高さ (mm)	密度 (kg/m ³)	真の曲げヤング係数 (kN/mm ²)	呼び 強度	幅 (mm)	高さ (mm)		
D-SC-S	DLT	ラミナ： 38×140 積層数：7層 木ダボ：欧州 ブナ(φ20)	266	140	368 (6)	8.53 (0.14)	24	266	70	スクリュービス※1	透湿防水シート※4
D-NL-S					372 (2)	8.51 (0.13)				スクリュービス※1 ノッチ※2 ラグスクリュー※3	
G-SC-S	集成材	同一等級構成 E75-F270	270	140	372 (6)	8.95 (0.19)		270		スクリュービス※1	
G-NL-S					382 (9)	8.86 (0.15)				スクリュービス※1 ノッチ※2 ラグスクリュー※3	

()は標準偏差を示す。

※1 パネリードX(PX8-140)

※2 ノッチ深さ30mm

※3 M12, 首下長さ125mm

※4 スーパーエアテックス KD30

木材の仕様；

① スギDLT

DLTラミナには群馬県産 スギ JAS 枠組壁工法構造用製材 甲種 2 級を使用。縦振動法によるヤング係数が 6.18 ～10.32kN/mm² (表 34、表 35)、含水率 Mc 16%以下で欠点を含まない材を木ダボ接合した。DLT積層後の縦振動法によるヤング係数の平均値は、8.30kN/mm² であった (表 37)。

② スギ集成材

スギ集成材は同一等級構成集成材 強度等級：E75-F270を平使いで使用。長さ 4,000mmで測定した縦振動法によるヤング係数の平均値は、8.58kN/mm² であった (表 37)。

コンクリートスラブの仕様；

使用コンクリート：呼び強度24、スランプ18cm、粗骨材の最大寸法20mm (表 30)。コンクリートの調合表を表 31、フレッシュ性状を表 32に示す。試験体は、屋根のある屋外にてコンクリート打設し、ビニールシートを掛け養生した。現場封かん養生したテストピース(直径100mm、高さ200mm)を用い、材齢3日、7日に圧縮強度、材齢28日(実験開始時)、37日(実験終了時)に圧縮強度、圧縮ヤング係数、割裂強度を測定した。測定結果を表 33に示す。圧縮ヤ

ング係数は、コンクリートの圧縮強度および単位体積重量から下記のNewRC式より算出した。

$$E=33500 \times k_1 \times k_2 \times \left(\frac{\gamma}{24}\right)^2 \times \left(\frac{F_c}{60}\right)^{\frac{1}{3}}$$

γ : コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m³)
 k_1 : 粗骨材の種類によって定まる定数
 k_2 : 混和材の粗骨材の種類によって定まる定数
 F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

表 30 配合の設計条件

コンクリートの種類	呼び強度	スランプ	粗骨材の最大寸法	セメントの種類
普通	24	18cm	20mm	N

表 31 調合表 (kg/m³)

セメント	水	細骨材①	細骨材②	粗骨材	混和剤
318	180	544	241	983	3.18

JIS適合品、W/C:56.6%、細骨材率45.4%

表 32 フレッシュ性状

スランプ(cm)	空気量(%)	コンクリート温度(°C)
17.8	3.1	22

表 33 実験前後におけるコンクリートの材料特性

呼び強度 (N/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	圧縮ヤング係数 (kN/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
24	22.1	22.4	2.4

表 34 DLT試験体のラミナの仕様（1）

試験体	ラミナ									
	層番号	ラミナ 番 号	幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	重量 (kg)	密度 (kg/m ³)	含水率 3点平均 (%)	ヤング係数	
									縦 振 動 法 (kN/mm ²)	7枚平均 (kN/mm ²)
D-SC-S-1	1	70	38.3	140.0	3998	7.27	340	8.30	7.23	8.41
	2	137	38.5	140.5	4002	7.31	338	5.50	6.74	
	3	19	38.2	140.0	4001	7.98	373	10.33	7.93	
	4	21	38.2	139.9	4003	8.86	414	8.10	8.38	
	5	85	38.3	140.2	4000	6.93	322	4.47	8.88	
	6	46	38.2	139.7	4003	8.42	394	13.63	9.53	
	7	58	38.3	140.0	4002	7.93	370	6.93	10.20	
D-SC-S-2	1	132	38.2	139.9	4000	8.19	383	8.03	7.33	8.27
	2	131	38.3	140.1	4005	8.08	376	13.30	6.91	
	3	31	38.1	140.0	4002	7.55	354	5.27	7.59	
	4	92	38.3	140.1	4001	7.76	362	4.57	8.20	
	5	43	38.4	140.0	4002	7.09	330	6.10	8.59	
	6	48	38.2	139.8	4003	8.87	415	10.33	9.42	
	7	27	38.2	139.8	4001	8.18	383	7.73	9.82	
D-SC-S-3	1	57	38.2	140.0	3997	6.73	315	5.53	7.34	8.54
	2	20	38.1	140.1	4004	7.64	357	5.77	9.06	
	3	71	38.4	140.1	4001	7.89	367	9.77	7.58	
	4	33	38.3	140.1	4000	7.59	354	5.03	8.15	
	5	65	38.3	139.8	3997	8.04	376	12.90	8.51	
	6	30	38.2	139.9	4001	8.55	400	7.23	9.34	
	7	52	38.2	140.0	4000	8.15	380	8.60	9.82	
D-NL-S-1	1	23	38.2	140.0	4002	8.44	395	6.57	7.00	8.33
	2	26	38.2	139.8	4002	8.61	403	8.73	9.29	
	3	45	38.3	139.9	4001	7.90	368	9.43	7.96	
	4	2	38.2	139.6	4002	8.23	386	13.93	8.40	
	5	89	38.3	140.0	4003	7.72	359	5.07	8.89	
	6	25	37.7	139.6	4003	7.69	365	8.00	6.47	
	7	1	38.3	139.8	4002	7.41	346	5.97	10.32	
D-NL-S-2	1	119	38.3	140.4	4000	8.52	396	13.87	7.32	7.69
	2	5	38.1	140.2	4004	8.54	399	6.17	9.13	
	3	102	38.1	139.4	4003	7.37	347	13.47	7.76	
	4	114	38.3	140.2	4000	6.86	319	5.93	8.29	
	5	138	38.4	140.1	4005	7.92	368	11.63	8.62	
	6	87	38.3	140.0	4001	8.56	399	13.97	6.56	
	7	17	38.2	140.0	4004	7.83	366	9.07	6.18	

表 35 DLT試験体のラミナの仕様（2）

試験体	ラミナ									
	層番号	ラミナ 番 号	幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	重量 (kg)	密度 (kg/m ³)	含水率 3点平均 (%)	ヤング係数	
									縦振動法 (kN/mm ²)	7枚平均 (kN/mm ²)
D-NL-S-3	1	24	37.8	139.8	4003	6.97	330	4.93	7.28	7.91
	2	117	38.4	140.1	4002	7.00	325	7.87	6.82	
	3	116	38.4	140.1	3998	9.26	431	15.03	7.86	
	4	14	38.2	139.6	4004	8.56	401	13.07	8.29	
	5	10	38.1	139.7	4002	7.94	372	7.33	8.76	
	6	18	38.1	140.1	4004	8.03	376	9.10	6.52	
	7	61	38.2	139.7	4000	7.57	355	7.67	9.86	
平均値			38.2	140.0	4002	7.90	369	8.67	8.19	8.19
標準偏差			0.1	0.2	2	0.60	28	3.14	1.11	0.32
最小値			37.7	139.4	3997	6.73	315	4.47	6.18	7.69
最大値			38.5	140.5	4005	9.26	431	15.03	10.32	8.54
変動係数(%)			0	0	0	8	8	36	14	4

表 36 DLT試験体の仕様

試験体	DLT							DLT/ラミナ
	幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	重量 (kg)	密度 (kg/m ³)	ヤング係数 縦振動法 (kN/mm ²)	真の曲げヤ ング係数 (kN/mm ²)	ヤング係数 縦振動法
D-SC-S-1	269.50	140.78	4004	55.27	364	8.29	8.67	0.99
D-SC-S-2	268.38	140.13	4001	56.32	374	8.13	8.52	0.98
D-SC-S-3	270.04	140.58	3999	55.49	366	8.42	8.40	0.99
平均値	269.3	140.5	4001	55.7	367.9	8.28	8.33	0.99
標準偏差	0.8	0.3	2.5	0.6	5.6	0.14	0.23	0.001
D-NL-S-1	269.38	140.36	4004	56.62	374	8.21	8.65	0.98
D-NL-S-2	268.40	140.36	4002	56.08	372	7.67	8.49	1.00
D-NL-S-3	268.92	140.39	4003	55.84	369	7.83	8.38	0.99
平均値	268.9	140.4	4003	56.2	371.8	7.9	8.28	0.99
標準偏差	0.5	0.0	1.0	0.4	2.2	0.3	0.1	0.01

表 37 集成材試験体の仕様

試験体	集成材						
	幅 (mm)	高さ (mm)	長さ (mm)	重量 (kg)	密度 (kg/m ³)	ヤング係数 縦振動法 (kN/mm ²)	真の曲げヤ ング係数 (kN/mm ²)
G-SC-S-1	270.37	140.25	3999	59.52	393	8.56	9.02
G-SC-S-2	270.26	140.46	3999	57.46	379	8.54	8.83
G-SC-S-3	270.41	140.29	3999	56.99	376	8.40	8.73
平均値	270.49	140.36	3999	56.52	372.29	8.67	8.75
標準偏差	0.15	0.05	0.58	0.86	6.02	0.16	0.15
G-NL-S-1	270.43	140.34	3998	57.01	376	8.83	9.04
G-NL-S-2	270.37	140.33	3999	57.02	376	8.65	9.08
G-NL-S-3	270.66	140.42	3999	55.53	365	8.52	8.73
平均値	270.35	140.33	3999	57.99	382.22	8.50	8.49
標準偏差	0.08	0.11	0.00	1.35	9.03	0.08	0.21

3) 試験体の形状、寸法

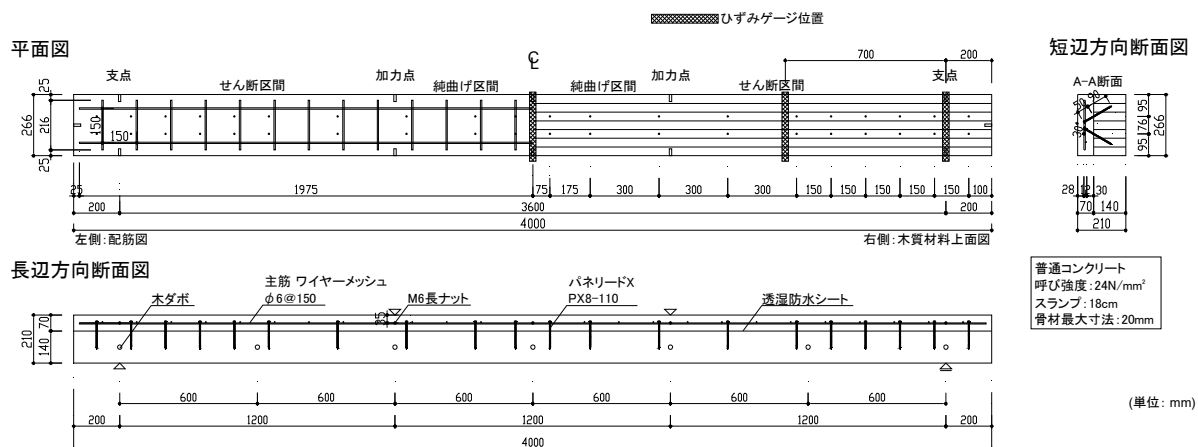


図 101 試験体図 (D-SC-S)

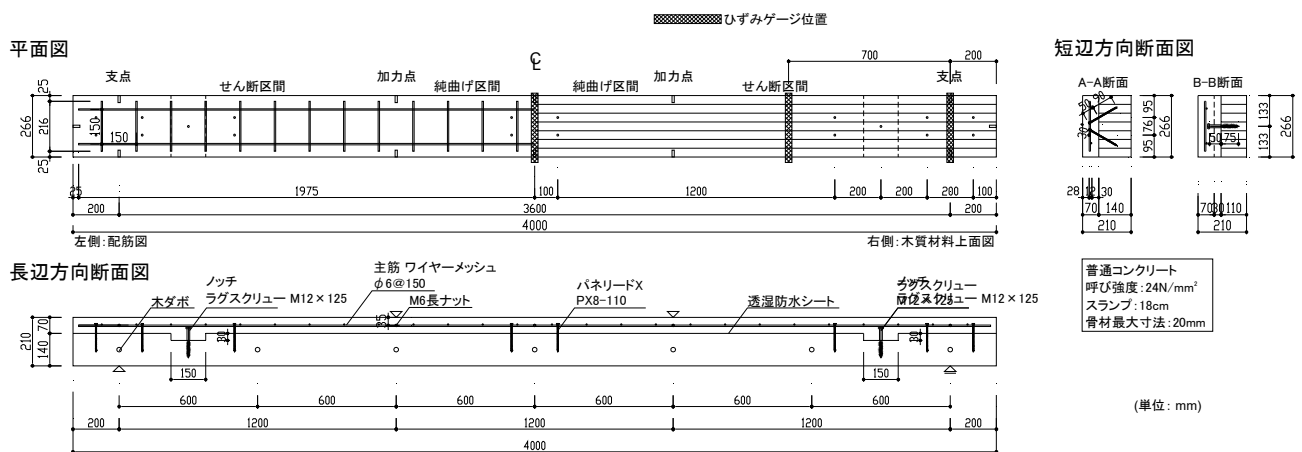


図 102 試験体図 (D-NL-S)

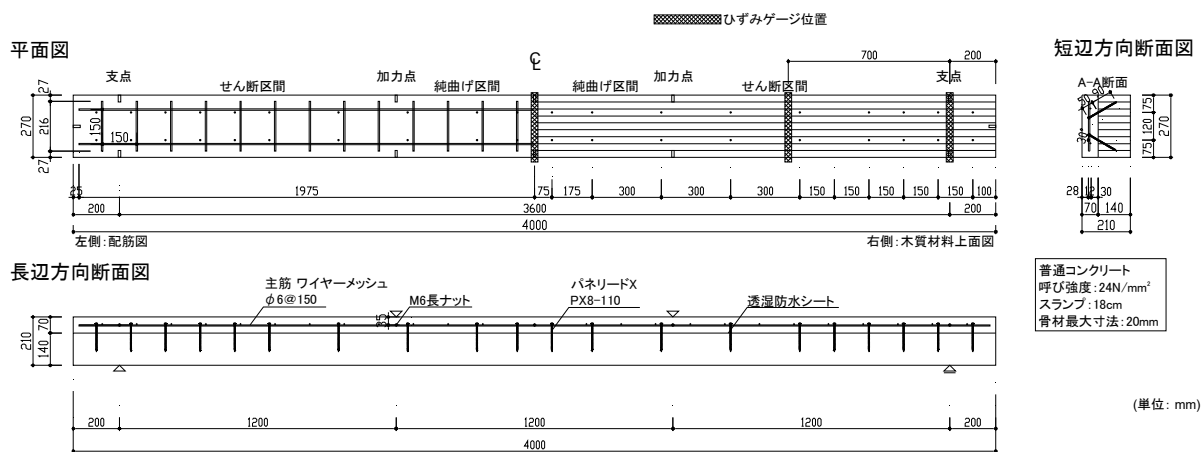


図 103 試験体図 (G-SC-S)

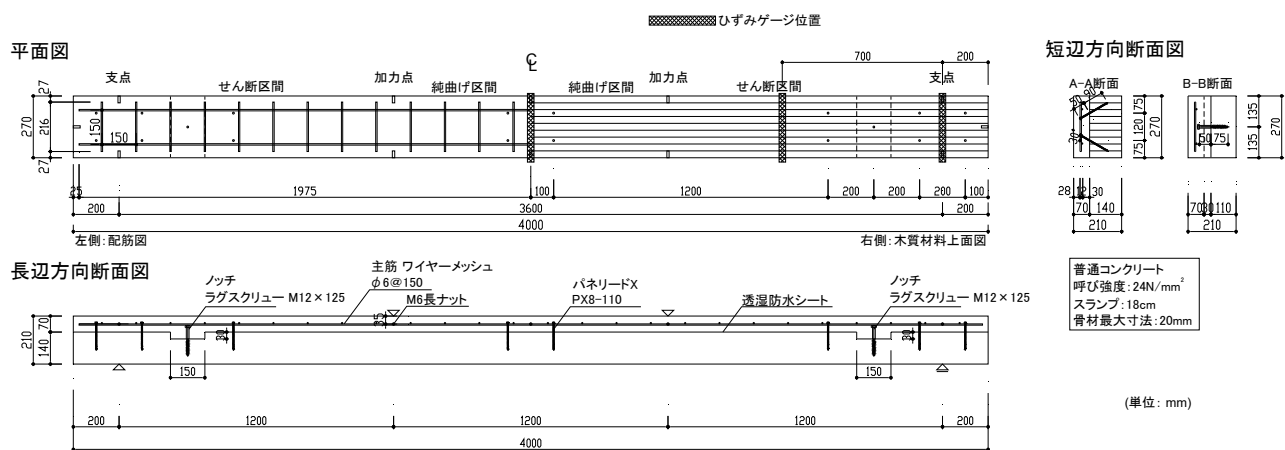


図 104 試験体図 (G-NL-S)

2.2.3 試験方法

加力方法

- a. 試験内容：木-コンクリート合成材の実大曲げ試験
- b. 試験実施日 2023 年11月8日～2023 年11月13日
- c. 試験場所：（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所
実大木材強度試験機：前川試験機（株） 最大容量 1000kN
- d. 試験方法

加力位置、測定位置を図 105に示す。支点間距離は3,600mm。载荷は3等分点2線荷重とした。加力速度は2mm/minとし、最大荷重後、荷重が最大荷重を越えないと判断された時点まで载荷を継続した。試験中は目視によるコンクリートの曲げひび割れ観察を行った。

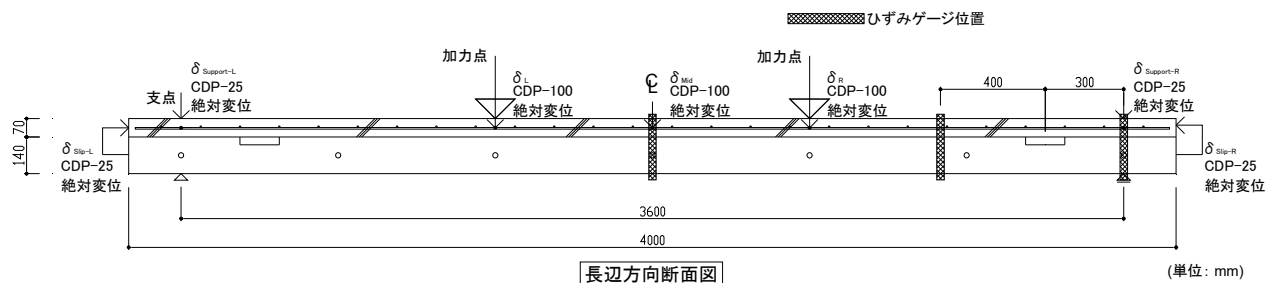


図 105 試験方法

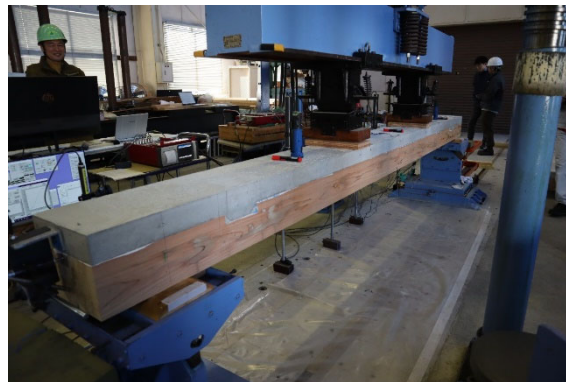


写真 18 曲げ試験状況

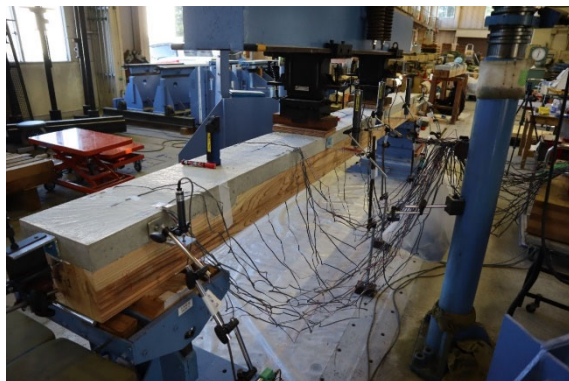


写真 19 計測機器の配置状況



写真 20 計測機器の配置状況

2.2.4 試験結果

表 38に全試験体の力学的特性値を、図 118～図 121に各試験体のP- δ 曲線を示す。

表 38 力学的特性値一覧

試験体	K(0_Py) (kN/mm)	K(0.1_0.4) (kN/mm)	Pp (kN)	δp (mm)	Py (kN)	δy (mm)	δu (mm)	Pu (kN)	δv (mm)	μ	Ds	Pmax (kN)	δmax (mm)
D-SC-S-1	1.07	1.09	31.69	28.71	35.6	33.3	84.5	57.85	54.11	1.56	0.69	66.29	84.05
D-SC-S-2	1.06	1.07	32.82	28.27	41.59	39.13	94.76	63.57	59.81	1.58	0.68	72.26	92.51
D-SC-S-3	1.03	1.06	34.98	31.78	43.53	42.09	100.48	66.65	64.45	1.56	0.69	74.2	99.46
平均	1.06	1.07	33.16	29.59	40.24	38.17	93.25	62.69	59.46	1.57	0.68	70.92	92.01
標準偏差	0.02	0.01	1.67	1.91	4.13	4.47	8.1	4.47	5.18	0.01	0	4.12	7.72
D-NL-S-1		1.75	66.49	39.52			54.65					74.83	54.45
D-NL-S-2		1.61	63.14	41.81			53.15					74.84	52.91
D-NL-S-3		1.79	62.09	37.23			46.89					74.46	46.68
平均		1.71	63.91	39.52			51.56					74.71	51.35
標準偏差		0.09	2.3	2.29			4.12					0.22	4.11
G-SC-S-1	1.47	1.28	32.89	21.9	34.2	23.32	85.38	64.65	44.08	1.94	0.59	75.05	77
G-SC-S-2	1.54	1.34	29.77	18.58	31.98	20.8	68.81	58.71	38.19	1.8	0.62	69.35	67.38
G-SC-S-3	1.43	1.2	30.83	21.31	31.46	22	73.18	58.49	40.9	1.79	0.62	70.02	72.42
平均	1.48	1.27	31.16	20.6	32.55	22.04	75.79	60.61	41.06	1.84	0.61	71.47	72.27
標準偏差	0.05	0.07	1.59	1.77	1.45	1.26	8.59	3.49	2.95	0.08	0.02	3.12	4.81
G-NL-S-1		1.82	71.23	39.56			39.82					71.24	39.57
G-NL-S-2		1.78	75.14	42.59			43.11					75.14	42.6
G-NL-S-3		1.71	69.53	43.38			43.92					69.54	43.39
平均		1.77	71.97	41.84			42.28					71.97	41.85
標準偏差		0.06	2.87	2.02			2.17					2.87	2.02

P- δ 曲線

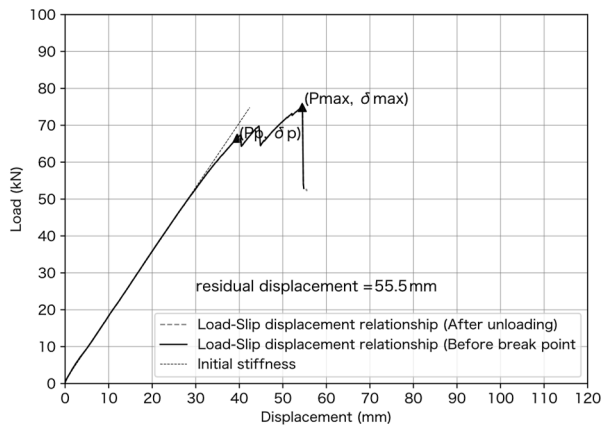


圖 106 D-NL-S-1 P- δ 曲線

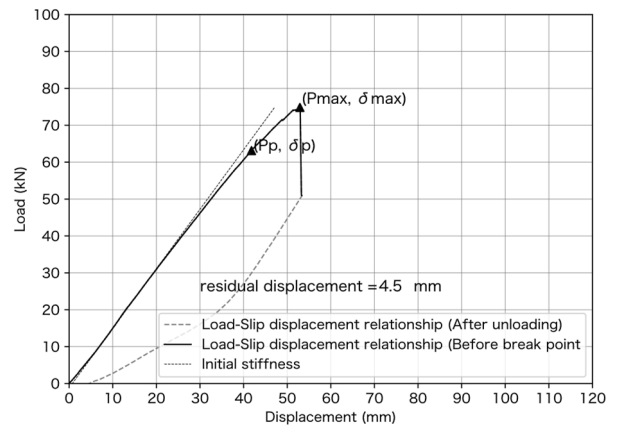


圖 107 D-NL-S-2 P- δ 曲線

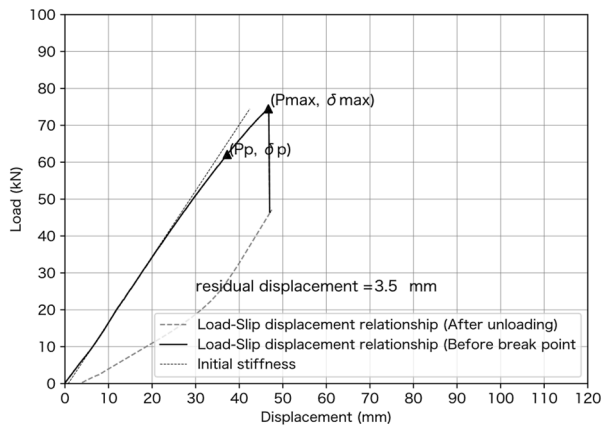


圖 108 D-NL-S-3 P- δ 曲線

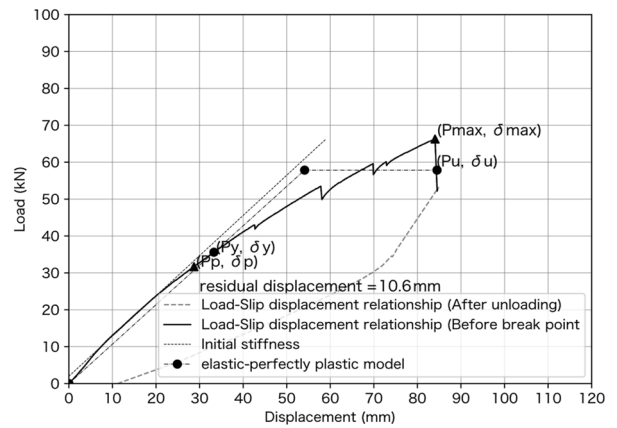


圖 109 D-SC-S-1 P- δ 曲線

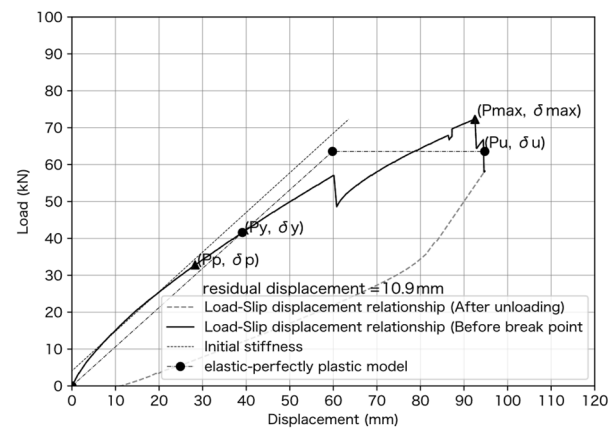


圖 110 D-SC-S-2 P- δ 曲線

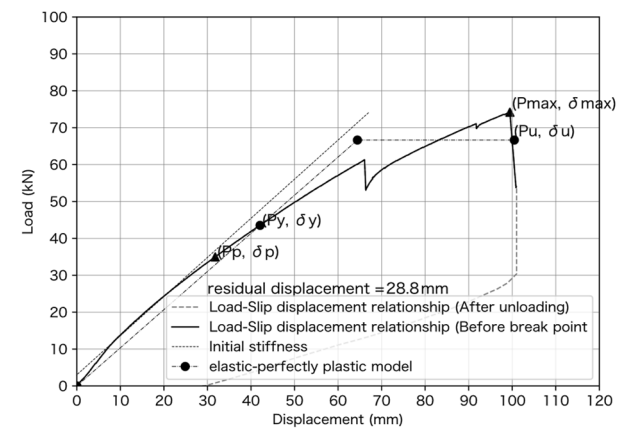


圖 111 D-SC-S-3 P- δ 曲線

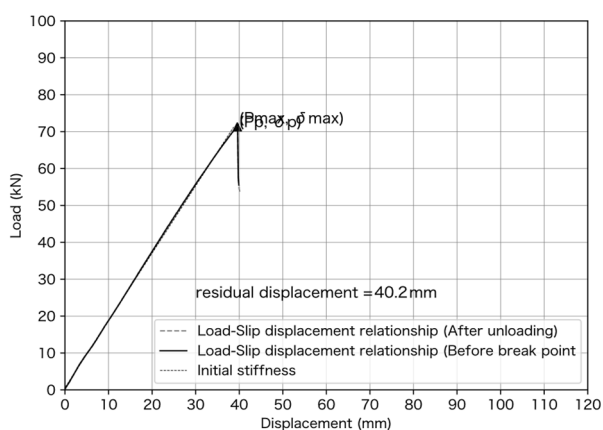


圖 112 G-NL-S-1 P- δ 曲線

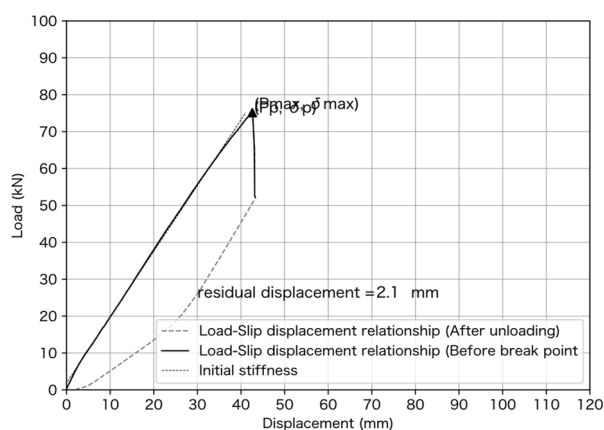


圖 113 G-NL-S-2 P- δ 曲線

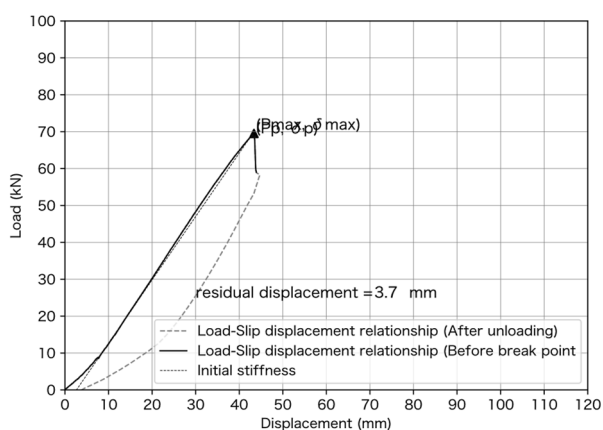


圖 114 G-NL-S-3 P- δ 曲線

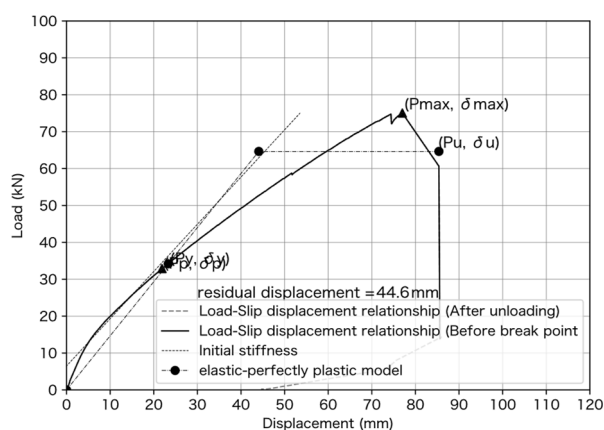


圖 115 D-SC-S-1 P- δ 曲線

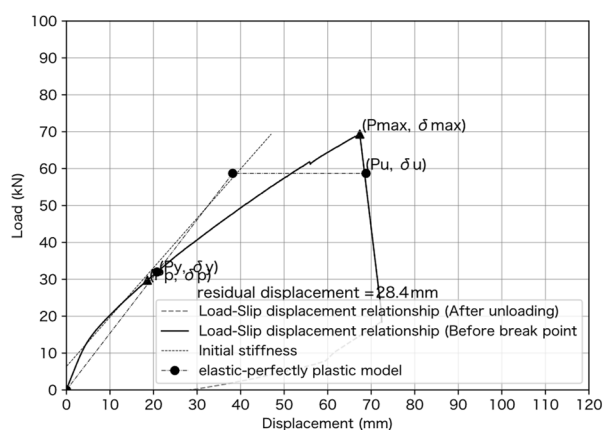


圖 116 G-SC-S-2 P- δ 曲線

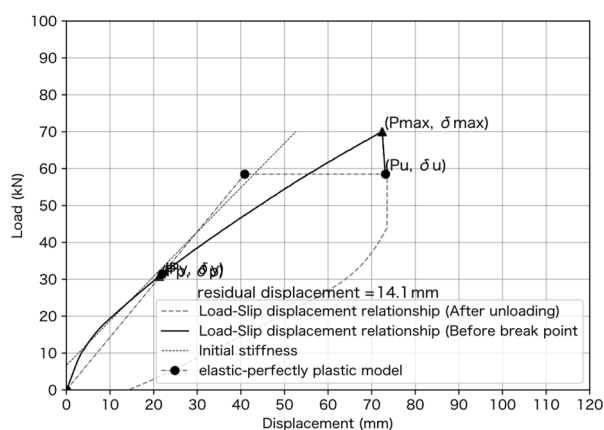


圖 117 D-SC-S-3 P- δ 曲線

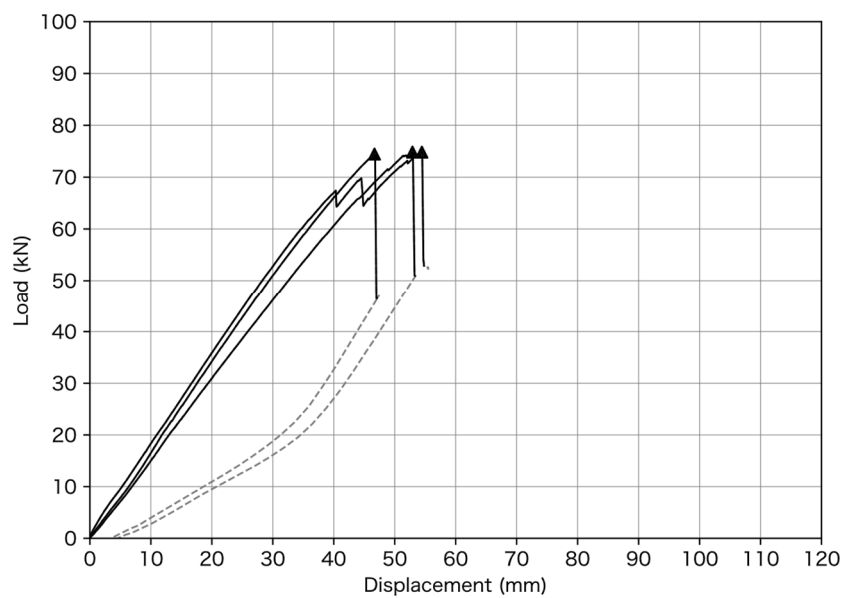


圖 118 D-NL-S P- δ 曲線

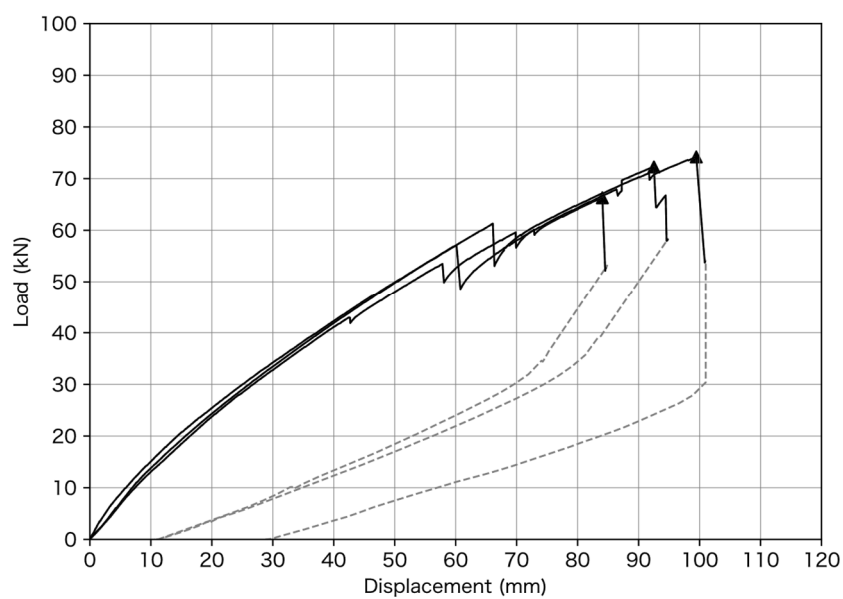


圖 119 D-SC-S P- δ 曲線

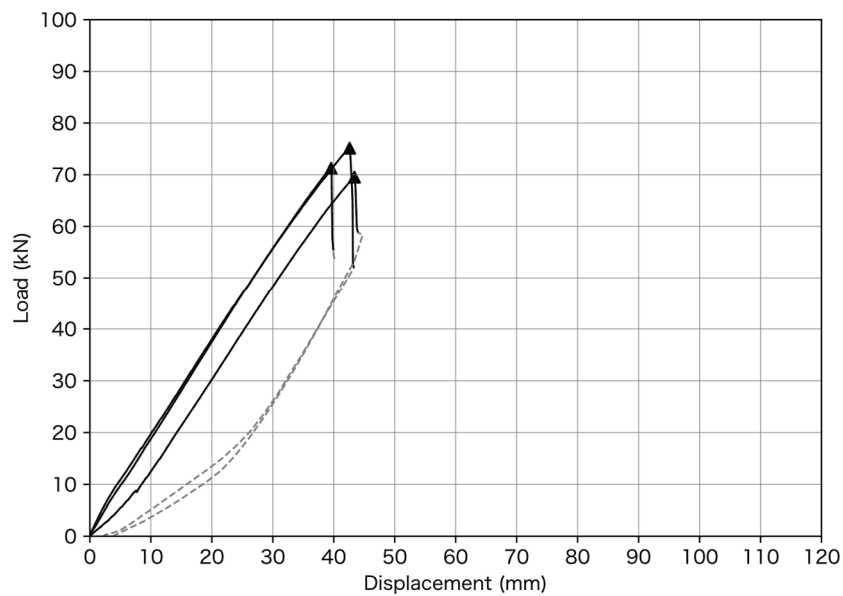


圖 120 G-NL-S P- δ 曲線

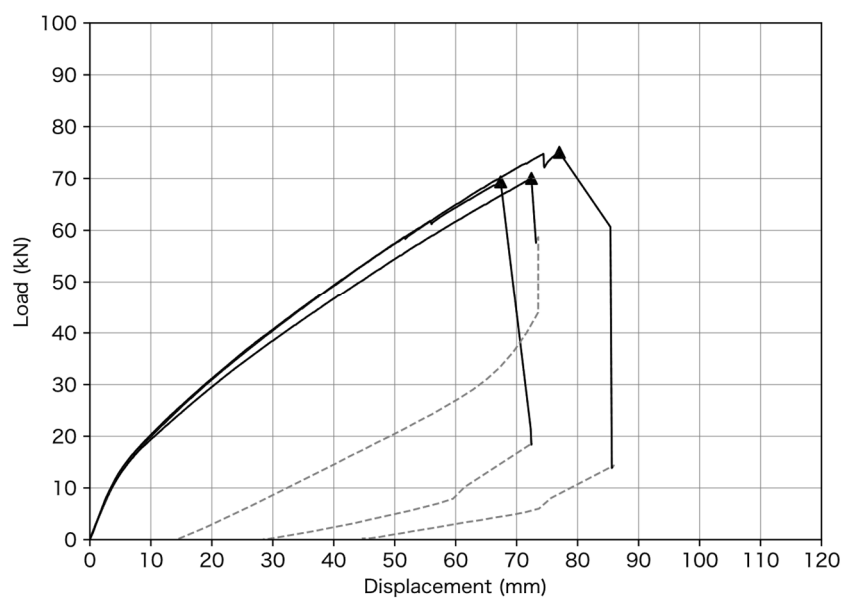


圖 121 G-SC-S P- δ 曲線

2.2.5 試験結果の考察

1) 試験結果について

- ・ 試験結果（表 38）より、トラスモデルの解析値（表 27）に対して各試験体のPmaxはほぼ同等レベルである。
- ・ 破壊荷重は長期荷重に対して7倍以上の余裕があることから、DLT-CCの設計上に問題はないと考える。またノッチタイプ試験体（D-NL-S、G-NL-S）ではノッチ部のコンクリートの先行せん断破壊であり設計通りである。
- ・ SCタイプ試験体（D-SC-S、G-SC-S）では、NLタイプ試験体に比べ約1.8倍程度大きく変形し、木部で破壊している。SCタイプ試験体はコンクリート解体後の試験体では、木部にシアコネクタによるめり込みが確認された。シアコネクタの木部へのめり込み、ずれが生じたことにより、コンクリートと木部の合成度が低下して、木部が曲げ破壊している。試験体D-SC-Sでは、下面に節などの欠点を有するラミナから破壊するが、全体破壊まで至らず荷重回復してPmax更新を繰り返しており（図 119）、DLT-CCにおいても靱性の高さが確認された。
- ・ NLタイプ試験体（D-NL-S、G-NL-S）では、加力による梁のたわみに伴いノッチ部のコンクリートが木部へめり込み支圧力が作用する。SCタイプ試験体（D-SC-S、G-SC-S）に比べ、 δ_{max} が $\times 0.56$ （D-SC-S）、 $\times 0.58$ （G-SC-S）と少なくなり、試験中の目視観察においても、コンクリート部と木部との層間のずれも少ない。初期剛性の平均値も1.72 kN/mm（D-NL-S）、1.77 kN/mm（G-NL-S）と近い値を示している。
- ・ 非合成の木梁（ $h=140\text{mm}$ ）に対するコンクリートとの合成による剛性の増大率 ϕ を求める。曲げ試験の梁中央たわみは $\delta = \frac{23Pl^3}{1296EI}$ で示され、木-コンクリート合成材の曲げ剛性 $(EI)_{composit}$ は次式より求められる。

$$(EI)_{composit} = \frac{23l^3}{1296} \times k$$

ここで、 k ：試験結果における初期剛性 $k(0.1.0.4)$

I ：試験体の合成断面における断面2次モーメント（ $h=210\text{mm}$ ）

$$\phi_{DLT} = \frac{(EI)_{composit}}{(EI)_{DLT}}$$

$$\phi_{集成材} = \frac{(EI)_{composit}}{(EI)_{集成材}}$$

木コンクリートの合成材の剛性増大率 ϕ を下表で示す。

木質材料（ $h=140\text{mm}$ ）の剛性 $(EI)_{DLT}$ 、 $(EI)_{集成材}$ に対する合成部材の剛性 $(EI)_{composit}$ は、SCタイプ試験体では平均で185%、NLタイプ試験体では約280%であった。

表 39 非合成材との剛性の比較

試験体	試験結果						木質部材 (h = 140mm)		剛性の増 大率 ϕ
	Pmax (kN)	δ max* (mm)	K(0_Py) (kN/mm)	平均初期剛性 (kN/mm)	ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ剛性 (kNmm ²)	見かけの ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ剛性 (kNmm ²)	
D-NL-S-1	74.8	54.45	1.75						
D-NL-S-2	74.8	52.91	1.61	1.72	6.92	1,424,160,000	8.28	503,633,757	283%
D-NL-S-3	74.5	46.68	1.79						
D-SC-S-1	66.3	84.05	1.09						
D-SC-S-2	72.3	92.51	1.07	1.07	4.33	885,960,000	8.33	506,675,024	175%
D-SC-S-3	74.2	99.46	1.06						
G-NL-S-1	75.1	39.57	1.82						
G-NL-S-2	69.4	42.6	1.78	1.77	7.03	1,465,560,000	8.48	523,555,200	280%
G-NL-S-3	70	43.39	1.71						
G-SC-S-1	71.2	77	1.28						
G-SC-S-2	75.1	67.38	1.34	1.27	5.06	1,051,560,000	8.75	540,225,000	195%
G-SC-S-3	69.5	72.42	1.2						

※ δ maxはPmax時の中央たわみの値（せん断変形を含む）

2) 曲げ試験結果の解析

- 試験結果を踏まえ、解析モデルに3等分点2線荷重（図 122）として $P=70\text{kN}$ を作用させ、DLT、シアコネクタの応力を確認した。DLT、シアコネクタの応力が耐力を上回る場合、荷重低減して破壊荷重の最小値を得た。

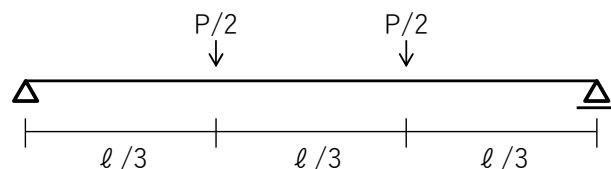


図 122 荷重作用位置

3) 解析結果と試験結果の検討

- 解析結果と解析結果と試験結果との比較を示す（表 40、表 41）。ビスタイプ試験体（D-SC-S、G-SC-S）では試験結果と同様に約70kNでDLT中央部が破壊する解析結果であったが、ノッチタイプ試験体（D-NL-S、G-NL-S）では約40kNでノッチ部分が破壊する結果となった。

表 40 トラスモデルによる解析結果 （）内の数値は検定比を示す。

試験体	入力値 (kN)	中央たわみ (mm)	初期剛性 (kN/mm)	DLT中央部の応力検討					梁端部シアコネクタの検討		
				作用引張力 (kN)	引張応力度 (N/mm ²)	作用曲げモーメント (kN-m)	曲げ応力度 (N/mm ²)	検定比	ブレース軸力 (kN)	せん断力 (kN)	検定比
D-NL-S	40	27.52	1.45	13.30	2.50 (0.12)	1.52	12.24 (0.25)	(0.37)	96.24	85.17	(1.01)
	70	48.78	1.44	24.06	4.52 (0.22)	2.66	21.43 (0.62)	(0.84)	169.31	149.84	(1.82)
D-SC-S	70	77.40	0.90	10.53	1.98 (0.10)	3.96	31.90 (0.92)	(1.01)	8.6	7.04	(0.49)
G-NL-S	40	27.44	1.46	90.84	2.4 (0.11)	10.66	12.09 (0.35)	(0.46)	96.69	85.57	(1.04)
	70	45.56	1.54	158.51	4.19 (0.20)	19.02	21.56 (0.62)	(0.82)	174.43	154.37	(1.84)
G-SC-S	70	76.18	0.92	50.63	1.34 (0.07)	27.68	31.38 (0.89)	(0.96)	8.67	7.10	(0.50)

表 41 解析結果と試験結果との比較 （）内数値は解析結果に対する比率を示す。

試験体	解析結果			試験結果（平均値）		
	設計荷重 (kN)	初期剛性 (kN/mm)	中央たわみ (mm)	Pmax (kN)	K(0_Py) (kN/mm)	δ max (mm)
D-NL-S	40	1.45	27.52	74.71 (1.87)	1.71 (1.18)	51.35 (1.86)
D-SC-S	70	0.90	77.40	70.92 (1.01)	1.07 (1.19)	92.01 (1.19)
G-NL-S	40	1.46	27.44	71.97 (1.87)	1.77 (1.21)	41.85 (1.52)
G-SC-S	70	0.92	76.18	71.47 (1.02)	1.27 (1.38)	72.27 (0.95)

- ・ DLT試験体の初期剛性について、NLタイプ試験体（D-NL-S、G-NL-S）では解析値 1.45kN/mm、1.46 kN/mmに対し、試験値は1.71kN/mm、1.77kN/mmで約1.2倍。また、SCタイプ試験体（D-SC-S、G-SC-S）では解析値 0.90kN/mm、0.92kN/mmに対し、試験値は1.07kN/mm、1.27kN/mmで約1.2～1.4倍試験値を上回る結果であった。
- ・ 解析結果と試験結果との比較より、トラスモデルによる解析では、シアコネクタの違いにより解析結果と試験結果では大きな相違がある。スクリーブスのような非線形性のせん断性能を有するシアコネクタでは試験値に近い解析結果が得られた（表 41）。

一方で、ノッチのような非線形性の確認が難しいせん断性能のシアコネクタでは、破壊荷重が解析値より約1.87倍程度高く、数値に解離がある。非線形性の確認が難しいせん断性能のシアコネクタでは、荷重の増加による剛性低下を考慮することで、より精度よく破壊荷重の推定ができると推測される。

2.2.6 試験写真

1) 試験体製作



写真 21 試験体製作状況

2) コンクリート打設



写真 22 コンクリート打設状況

3) 曲げ試験

試験体D-NL-S-1



写真 23 D-NL-S-1 試験中



写真 24 D-NL-S-1 試験後全景



写真 25 D-NL-S-1 解体後

試験体D-SC-S-1



写真 26 D-SC-S-1 試験中



写真 27 D-SC-S-1 試験後全景



写真 28 D-SC-S-1 解体後

試験体G-NL-S-1



写真29 G-NL-S-1 試験中



写真30 G-NL-S-1 試験後全景



写真 31 G-NL-S-1 解体後

試験体G-SC-S-1



写真32 G-SC-S-1 試験中



写真33 G-SC-S-1 試験後全景

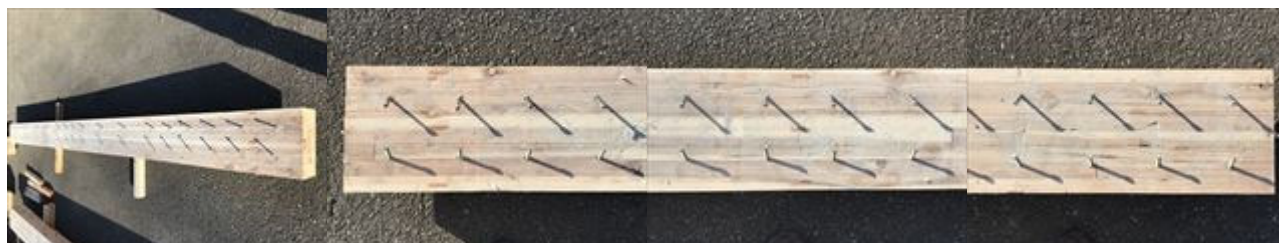


写真 34 G-SC-S-1 解体後

2.3 コンクリート染み出し汚れの防止効果の確認

2.3.1 目的

DLT-CCではDLT上面へのコンクリート打設により、下面からのコンクリートの染み出し、外観の汚れの懸念があることから、DLTとコンクリート界面の処理による染み出し、外観の汚れや、界面を処理した際の接合具の施工性について確認する。

2.3.2 試験概要

試験体の仕様

試験体にはDLT スギ38mm×140mm 5層 幅190mm、高さ140mm、長さ980mmを使用。試験体種別は以下の3種類とした。

DLTとコンクリートの界面に処理を行っていない1) 無処理

透湿防水シートを施工した2) 透湿防水シート

合板を設けた3) 合板

試験体数は各1体とした。2) 透湿防水シート仕様では深さ30mm、長さ150mmのノッチを設けた。

コンクリートは調合済みの早強コンクリートを使用。無筋で厚さ75mm程度とし、スランプや空気量、コンクリート温度等の検査は省略した。

試験体種別と確認内容を表 42に、各試験体には表 43に示す接合具を施工した。

表 42 試験体一覧

試験体	確認内容	
1) 無処理	・接合具の施工性	・コンクリートの染み出し汚れの確認
2) 透湿防水シート	・ビスの位置出し、ビスの挿入による透湿防水シートの破損の検討 ・透湿防水シートの固定方法の検討	・コンクリートの染み出し汚れの確認 ・ノッチ部分におけるコンクリートの充填
3) 合板	・ビスの位置出しやすさの確認	・コンクリート打設なし

表 43 接合具一覧

接合具の種類	外径(mm)	先穴径(mm)	首下長さ (全長)(mm)
ラグスクリュー	9	4	125 (133)
ラグスクリュー	12	6	80 (88)
ラグスクリュー	12	6	100 (108)
ラグスクリュー	12	6	125 (133)
スクリュービス	8	なし	(140)

2.3.3 接合具の施工確認

接合具はラグスクリーを垂直に、スクリービスは1箇所あたり2本、DLTラミナを複数枚貫通するよう挿入角度30°で90mm程度挿入した。コンクリート打設前を写真 35、写真 36 に示す。

1) 無処理仕様



写真 35 無処理材 全体



ラグスクリー 外径12mm、首下長さ125mm
ラグスクリー 外径12mm、首下長さ150mm
スクリービス 外径8mm、全長140mm

写真 36 接合具の施工状況（無処理）

2) 透湿防水シート仕様



写真 37 透湿防水シート材 全体



写真 38 接合具の施工状況（透湿防水シート）

3) 合板仕様



写真 39 接合具の施工状況（合板）



写真 40 接合具の施工状況（合板）

接合具の施工確認より

- 1) 無処理仕様において、ラミナ厚 3 8 mmでは下穴加工したラグスクリュー、下穴加工をしないスクリュービス共にDLTの割れは認められず、施工上の問題は認められなかった。
- 2) 合板仕様における接合具の挿入位置出しは幅方向端部から計測した。本試験体幅が190mmと狭いため、位置出しに問題はなかったが、施工面積が大きい場合では、接合具をラミナ内に施工するための正確な位置出しが必要となる。
- 3) 透湿防水シート仕様では、透湿防水シートをDLTにタッカーで留め付けた。ラグスクリューの先穴加工は透湿防水シートを施工後に設けた（写真 38）。スクリュービスを挿入する際に透湿防水シートを巻き込みによる破断が懸念されたことから、先穴施工前に切れ込みを設けた後、先穴加工を施し、スクリュービスを施工した。また、施工時の透湿防水シートに破れは、養生テープで補修した。

2.3.4 コンクリートの施工確認

コンクリート打設 : 2023年7月18日

脱型、解体 : 2023年8月14日～ 脱型後、木ダボを抜き、DLTを解体。

写真 40～写真 44に無処理、**写真 45～写真 48**に透湿防水シートのコンクリート打設前、脱型後のコンクリート破壊後上面、コンクリート破壊後ラミナの積層面を示す。

1) 無処理試験体

型枠とDLTの接触面の防水処理を省略した結果、外層のDLT側面にはコンクリートの染み出し・汚れが確認された(写真 43)。ラミナ積層面での染み出し・汚れは、下面に達するものは認められないが、木ダボ付近までの染み出し・汚れが確認された(写真 44)。



写真 41 打設前の状況（無処理）



写真 42 解体時の状況（無処理）



写真 43 脱型時の側面（無処理）



写真 44 解体ラミナの状況（無処理）

2) 透湿防水シート仕様

透湿防水シート仕様では、コンクリートの染み出しや汚れは確認できなかった（写真 46、写真 48）。またノッチ部へのコンクリートの充填も確認した（写真 47）。



写真 45 打設前の状況（透湿防水シート仕様）



写真 46 解体時の状況（透湿防水シート仕様）



写真 47 脱型時の側面（透湿防水シート仕様）



写真 48 解体ラミナの状況（透湿防水シート仕様）

2.3.5 コンクリート解体後の確認結果

- ・ 本試験では、早強コンクリートを使用し、夏季の打設であったことからコンクリート硬化が早く、無処理仕様でも下面までの染み出しや汚染を確認できなかったが、木材を現わしとする場合には、境界面には適切な処理が必要と考える。
- ・ 透湿防水シート仕様でもノッチ部へのコンクリート充填が確認できたが、不透明な透湿防水シートではノッチ部のコーナーや、接合具とラミナとの位置関係の目視確認が難しいことから、透明性を有するシートの使用が好ましいと考える。

3. DLT-CCの活用と普及にむけて

3.1 DLT-CC の活用について

- ・ 本事業で実施したDLTとコンクリート合成材（DLT-Concrete Composite、以下 DLT-CC）のシアコネクタのせん断性能、実大梁の曲げ性能などの構造性能の検証より、単体のDLTに比べ、コンクリートとの合成により高い曲げ性能を得られることが確認された。木質材料とコンクリートの合成部材の活用は、木材活用と炭素蓄積の観点から、鉄骨造やRC造のコンクリートスラブ床構造へのDLT-CCへの代替による木材利用の拡大が期待される。

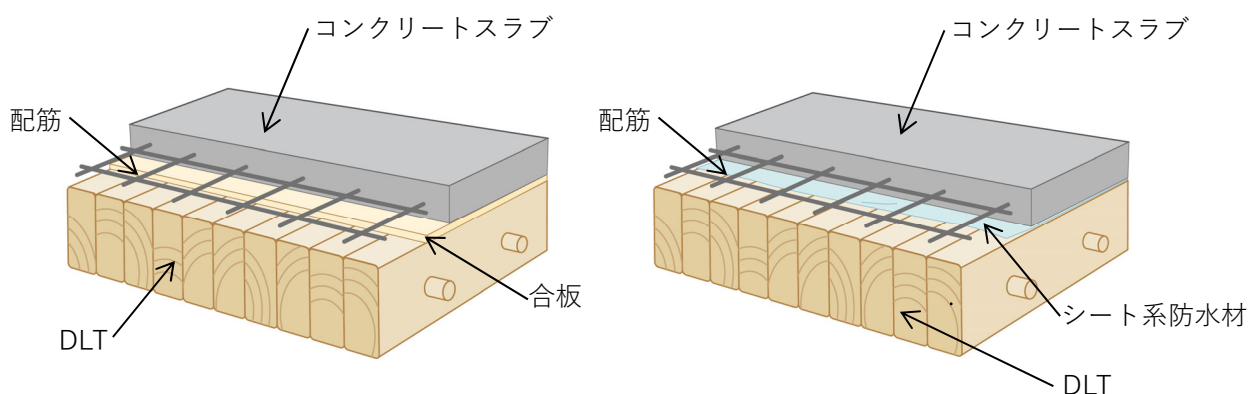


図 123 木-コンクリート合成部材のイメージ図

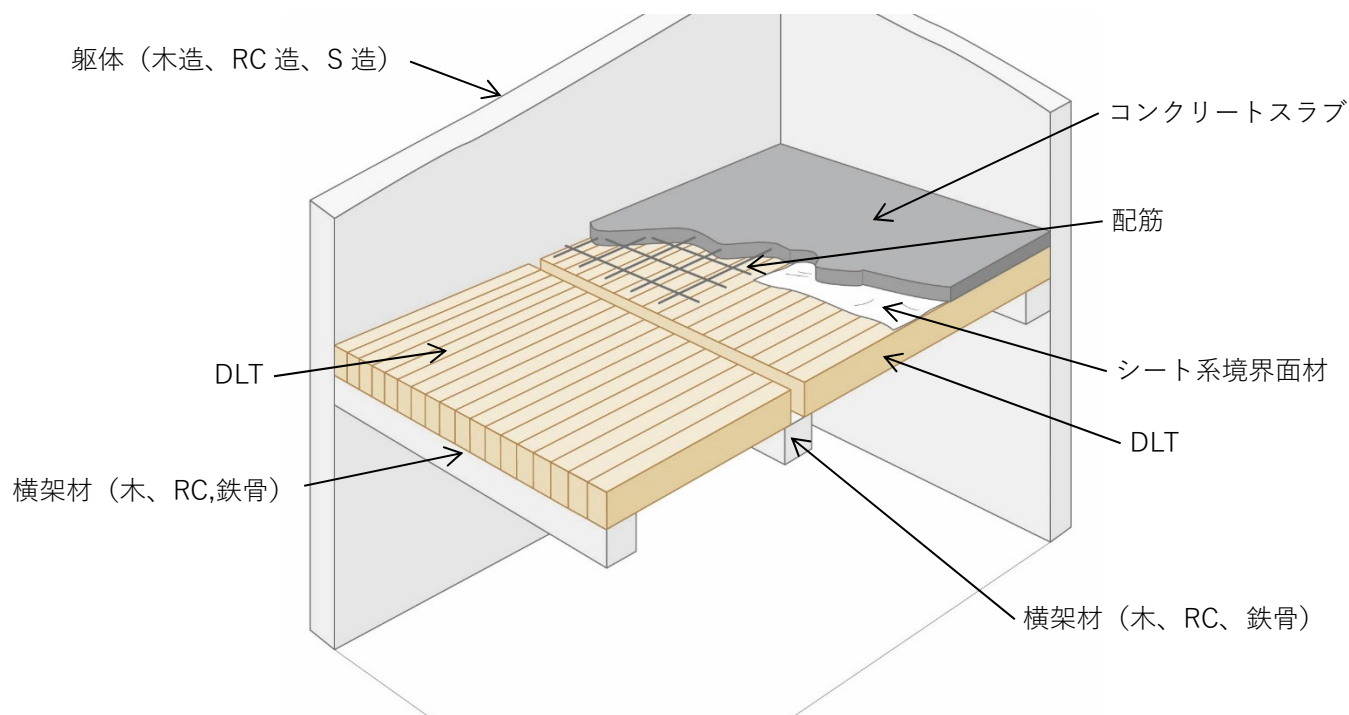


図 124 木-コンクリート合成床版活用のイメージ図

- ・ DLTは長辺方向（強軸方向）の一方向曲げを対象としている。今回のDLT-CCは短辺方向（弱軸方向）の合成効果について確認していないため、活用は長辺方向（強軸方向）の一方向曲げを対象とし、かつ負曲げを受けない架構に限定される。

- ・ 内装制限が課せられる室内の天井では現わしでは、使用できないので注意が必要である。（延べ面積100m²以内に防火区画した場合、防火区画による制限緩和を受けた場合、難燃処理、準不燃処理を施したひき板を積層する場合、スプリンクラーと排煙設備が設けられている場合などは、この限りではない。）
- ・ 本事業では、一般流通材の木材を活用する観点から、DLTは材長4 mとした。その結果、ノッチタイプのシアコネクタは両端部に1か所の配置としたが、4 m超の長大材では、シアコネクタを複数設置できるため、合成効果がより高いと考えられ、木-コンクリート合成による高い剛性向上が期待できる。
- ・ 本事業で検証したシアコネクタのせん断性能は、DLTだけでなく、製材や丸太材、丸太材の両側の面や3面を挽き落とした太鼓形の材や、CLTでも同様に活用が可能である。シアコネクタの改良を重ねることで、例えば天井面を木材現わしとし、製材歩留まりに配慮した床構造での、大径材の利用拡大にも寄与できると考えられる。

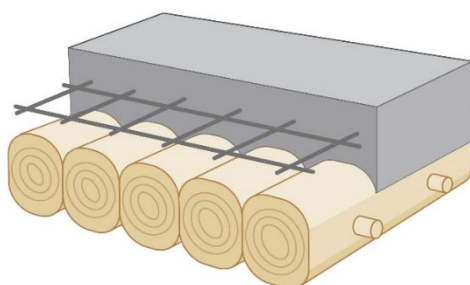


図 125 丸太材を活用したDLTとコンクリート合成部材のイメージ図

- ・ 木とコンクリートとの合成により、平面的な混構造が可能となる。さらに副次的な効果として、床構造で必要な遮音性能や、上面からの耐火性能の向上も期待できる。
- ・ DLTは大規模な生産設備を必要とせず、地域の木材関連事業者が取り組みやすい。コンクリートプラントは全国各地にあり、どこでもJIS品質のコンクリートの入手、施工が可能であることから、DLT-CCは各地の中小事業者でも取組める手法と言える。

従来のデッキスラブなど非木造躯体に従事していた建設事業者にも取り組みやすいといえる。

DLT-CCは地域産材の活用だけでなく、地域の建設事業者の木材活用の取り組み促進にも寄与できる。

3.2 DLT-CCの利用拡大に向けた課題

木材利用拡大のために、木造化のほか、鉄骨造やRC造における木材利用が不可欠と言える。木-コンクリート合成材（DLT-CC、T-CC）を活用した床構造は、鉄骨造やRC造で使用されているコンクリート床版への適用により、公共建築物や共同住宅に限らず、都市部における非住宅建築物等での利用拡大も期待できると考えられる。

今後の木-コンクリート合成材の利用拡大を図る上での課題を挙げる。

1) シアコネクタの改良、せん断性能の確認

木-コンクリート合成材の層間のせん断変形、曲げ剛性に、シアコネクタの仕様、せん断性能が影響する。シアコネクタの種類・形状、木部やコンクリートへの埋設深さ、ノッチの深さや形状など、せん断性能に影響する因子を複数組み合わせ、より改良したシアコネクタのせん断試験を通じ、さらなるシアコネクタの最適化が求められる。

2) 長尺材活用にむけた構造性能の確認

本事業では長さ4mの一般流通材を使用したため、ノッチ型のシアコネクタを複数設けることができなかった。ノッチ型シアコネクタを複数設置する場合、より高い曲げ剛性向上が期待できることから、DLT-CCをより効果的に活用するため、ロングスパン材での実大曲げ試験、クリープ試験を行い、木とコンクリート合成效果の確認が求められる。

3) 木-コンクリート合成材の解析手法の確立

木-コンクリート合成材の試験体設計にあたり、コンクリート部を圧縮材、木部を引張り材、シアコネクタのせん断耐力をブレース置換したトラス法により耐力を求めた。試験結果と解析結果の比較から、スクリーブス等のシアコネクタのせん断剛性が弾性範囲内で非線形性が確認できる場合は、トラス法は精度の高い検討が可能であることが確認された。ノッチタイプのように接合部剛性の非線形性の確認が難しい場合、試験値が解析値より大きく安全側ではあるものの精度が低いことが判った。

木-コンクリート合成材の普及を図るためには、荷重の増加によるシアコネクタの剛性低下の考慮を含め、解析手法の確立が必要と言える。

4) 木-コンクリート合成材の構造評定取得による一般化

設計者に広く、木-コンクリート合成材を活用してもらうためには、構造評定の取得が必要となる。計算モデルの確立を図り、第三者機関による構造評定等を取得することで、木-コンクリート合成材（DLT-CC、T-CC）の一般化が可能となり、さらなる木材活用が期待できる。

5) プレキャスト化への対応検討

本事業では試験体製作時にコンクリートは現場打設とした。一般的にデッキスラブでは湿潤養生期間（打設後5日間以上）と無載荷期間（打設後12日間以上）の確保が必要で、DLTの敷設からコンクリート打設、養生に2週間程度の工期が必要となる。またコンクリートの現場打設では直接作業の他、養生や部分的に支保工設置が必要となる。

天井現しのDLT-CCやT-CCの活用促進を図るうえで、コンクリート打設時の現場養生手間や、養生期間の確保を考えると、大きい床面積での活用においては、現場打設に代えてプレキャストコンクリートの使用または、コンクリート打設済みのDLT-CC、T-CCの活用が有効と考えられる。プレキャストコンクリートの活用にあたっては、後施工が可能なシアコネクタの検討が課題となる。

4. 添付資料

DLT-CC性能検証委員会議事録

2023 年度 DLT-CC 検討委員会 第 1 回議事録

日時 : 2023 年 6 月 28 日 (水) 14:00~15:30

場所 : 株式会社長谷萬 1F 会議室 + オンライン

参加者 :

網野禎昭様 (法政大学 デザイン工学部 建築学科 教授)
宮田雄二郎様 (法政大学 デザイン工学部 建築学科 准教授)
花井厚周様 (株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 副本部長)
飯田智裕様 (株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 技術グループ チーフエンジニア)
平松 靖様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 領域長)
大木文明様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 積層接着研究室 研究員)
小林 慧様 (群馬県 環境森林部 林業振興課 県産木材振興係 主任)
長谷川泰治 (株式会社長谷萬 代表取締役 執行役員社長)

オブザーバー :

立花紀之様 (林野庁 木材産業課 木材製品技術室 木材製品調査班 木材専門官)
齋藤 平様 (林野庁 木材産業課 木材製品技術室 木材製品調査班 企画調整係長)
井道裕史様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 材料接合研究室長)
鈴木賢人様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室 主任研究員)
宮武 敦様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 研究専門員)
上里和夢様 (株式会社宮田構造設計事務所)
平原章雄様 (木構造振興株式会社 常務取締役)

欠席: 小井土義治様 (小井土製材株式会社 取締役社長)

事務局: 鈴木康史、小林辰美 (株式会社長谷萬)

1. オリエンテーション

1) 事業主体挨拶

2) 委員会名称

略称: DLT-CC 検討委員会 とする。

3) 委員長選出

宮田委員が選出された。

2. 事業の概要

木-コンクリート合成材の海外での活用事例と過去に実施した DLT-CC の性能検証事例を紹介。(事務局)

- ・ 木-コンクリート合成で、どんな建物、やスパンを狙うか、ターゲットが大きな課題になると

思う。私の欧州での経験から、スパン 8M あたりから木-コンクリートの合成で狙うケースが一番多かった。8M とは概ね小学校の教室サイズである。小学校の教室の規模で十分なたわみ剛性を持つ床をつくるということだと思う。

- ・ 欧州では、一般流通材で 8M 材や 12M 材があるが、日本では 4M である。DLT のコンセプトは、板材は簡単に入手でき、乾燥も容易で、一般に市場流通しない“はね材”も使えるという点が非常に面白いところであるが、一方で長尺材をどう調達するかが大きな課題でもある。
- ・ 大スパンに対し、木-コンクリート合成で剛性を高めようとすればするほど、重量が増えるトレードオフの関係が出てくる。それが難しいところでもある。また、上階からの床衝撃音の課題がある。合成では重量が増えるため、付随的に遮音性能効果が期待できるということではあるのか？構造的なメリットを狙うためのコンポジットであり、遮音性を高めることは方向性が若干違う気がする。
- ・ 木-コンクリートの合成により剛性を高めることで重量が重くなり、付随的に遮音効果が得られることと理解している。集合住宅のように居住性が重要視されるような建物では、躯体の振動の問題や、たわみ制限も厳しい。そのような用途に木-コンクリート合成の可能性があると考えている。（事務局）
- ・ 構造設計をすると遮音性能や居住性能の観点から、コンクリートを打設したいと考える。木造の事務所を建てる場合、RC 造や鉄骨造と比較すると柔らかい印象を受ける。
- ・ 今後、木造を鉄骨造や RC 造と同等にしていくことを考えると、やはり床にコンクリートを打設するのが一番確実だと考える。コンクリートを打設すると居住性能が上がるので、今後の中大規模木造を考える場合、コンクリート打設は有効だと思う。一般的に遮音性能を上げるときは ALC 板を敷くが、ALC 板は単に重りにしかになっていない。構造的には何も効いていないのもったいない。
- ・ 床にコンクリート打設できると平面混構造にもできる。RC 造のコアを作り、地震力を RC 造部分に負担させ、コア以外の柱を木造にして、床の構面を RC 造と同等に剛にできるとデザインの幅が広がるだろう。このような取り組みの施工事例もたくさんあると思うが、まだ床のコンクリートを打つシステムがそれほど確立されていないので、本事業で検証できればと思う。
- ・ 今回は、曲げ性能の検証であるが、曲げ性能だけで考える必要はないと考える。建築設計の視点は、遮音性、耐火性、振動に対する居住性能、そして水平構面を固める平面混構造と複合的に考える。デザインと性能を複合的に考えると、木-コンクリート合成という選択肢は有効なので、海外ではいろいろ施工されている。
- ・ 適用するスパンは、曲げ剛性だけに着目しないで考える必要があると思う。DLT でやるとなると、やはり 4M が考えられる。製材の有効活用を考えると、できるだけ 4M 材で DLT-CC を構築するのが良いと思う。
- ・ 製材の長尺対応は、過去の委員会でも再三話題になっていたテーマだ。網野委員が指摘の長尺材の対応について、現在、6M 材、7M 材、8M 材の原木調達ルートを準備中です。（事務局）
- ・ これまで CLT と RC との合成スラブをいろいろ施工している。先ほどスパンの話があったが、

建物用途によりどうするかが課題になっている。遮音性能を求める建物では、木と RC スラブの合成断面は RC スラブ単独に遮音性能でかなわない。

- ・ また、スラブが厚くなる課題もある。建物が多層となると天井高と階高から、建物高と階高の制約の中で層を入れられないという問題が生じる。木造の合成断面を考える際は、あまり遮音性を厳密に求める建物でない方がよいとの意見もある。
- ・ まずは準耐火建築物に限るという方針だが、耐火建築物の場合は耐火被覆の話が出てくる。準耐火建築物に絞るならば、いろいろやれると考えられる。(花井委員)
- ・ 実欧州では木材を現わしにせず被覆し、床等の中に入れて二酸化炭素を蓄積する使い方がなされている。我々は現わしで木材活用しがちだが、徐々にこなれてくると耐火要求も出てくるはずで、そのときには被覆が必要になると考えている。(事務局)
- ・ 当社のある案件で、床 CLT に長期荷重を負担させ耐火被覆をしたところ、コストが高い木材を使うのに、なぜ隠すのかという意見があった。耐火建築物の場合、いかに木材に力を掛けないかという点がポイントになるが、ターゲットが準耐火であれば、そういう制約がなく楽しみに思う。
- ・ 床のスパンについて、事務所建築などではモジュールで決まる。7.2M スパンでだいたい天井割付が決まっている。宮田委員長がおっしゃるように 4M がターゲットだと思う。小梁が入るのは普通にあって、さらに準耐火構造の場合、木の梁があっても違和感がないので、無理にスパンを飛ばす必要はないと思う。

3. 実施事業の説明・協議

1) 実施事業の内容

- ① DLT とコンクリートの層間のせん断力を伝達するシアコネクタの検討・選定
既往事例を踏まえ DLT-コンクリート合成梁の設計を行い、シアコネクタの仕様を変えて、複数種類のせん断試験実施し、実用化を見据えたシアコネクタの候補を絞り込む。
- ② DLT-コンクリート合成梁の曲げ性能の検証
予備試験の結果により絞り込んだシアコネクタを使用し、DLT-コンクリート合成梁の曲げ試験を実施し、DLT-コンクリート合成床版の性能を把握する。
- ③ DLT-コンクリート合成梁の外観検証
モルタルなどの染みだしによる、木部の外観への影響の有無について試験を通じて確認する。

2) DLT-コンクリート合成梁の概略設計の資料説明。

- ・ 木-コンクリート合成で、どの程度の重ね梁効果がでるか考えた。シアコネクタにより、完全に木材とコンクリートとが完全に一体になった場合と、ズレを考慮した場合で、どのくらい剛性が変化するか、最初にある程度目安の値を設定し、それで要素試験を行うとよいと考えた。概略設計では、できるだけ分かりやすい計算方法とするため、トラスに置き換えた計算モデルでの計算と、海外の計算例を参考に比較した。

- ・ 木-コンクリート合成では、クリープが課題になる。木造のクリープ変形は概ね2倍で、RC造だと8倍程度になる。今回は海外の計算例を参考にした。コンクリートのクリープによる剛性低下を3分の1にし、木材は2分の1、そしてシアコネクタを4分の1として、クリープによる剛性低下を検討すると、木単体のたわみ倍率が2倍くらいのところ、3倍になる。資料ではどの程度重ね梁効果があるかとめた。
- ・ シアコネクタをDLTに対して1列に配置した場合と、2列に配置した場合で剛性効果を計算した。1列配置では、もともとの木材に対して1.75倍。2列配置では2倍くらいの剛性が予想でき、重ね梁効果で2倍くらいの剛性が期待できる。シアコネクタの剛性が無限大に近い場合で重ね梁効果は4倍くらいになる。資料では現状の仮定で2倍くらいになるという検討結果を記している。
- ・ 完全な一体にはならないと思いますが、シアコネクタのせん断試験結果より、コネクタを選択し、曲げ試験を行うことで理論の検証できると考えられます。
- ・ トラス理論の計算結果と、海外の計算例を参考にした計算結果でほぼ変わらない数値になるので、実際にそれを実大梁の試験で検証ができれば、理論と実験値の比較検証できる。(事務局)
- ・ クリープは現状でも2倍になる。クリープ倍率が2倍ではなく、木材に対して2倍ということだ。それにコンクリートの重量が増えるため、4Mスパンだと重ね梁効果だけを目的にすると効果が得られにくい、8Mくらいまでスパンを飛ばすと重ね梁効果が期待できる。
- ・ 今回は、コンクリートを打設した場合の床システムを作ることの目的にすればよいと思う。合成効果が見られなかったら、単なるおもりになってしまう。合成効果で梁せいが小さくできるということはないが、必要な曲げ剛性を担保することができる。
- ・ 検討資料で、解析モデルの接合具の配置間隔が200mmとなっているが理由は？
- ・ 検討は100mmから200mmで仮定した。
- ・ 検討資料に接合部のせん断試験の写真があるが、何を使用しているのか。
- ・ 2020年度事業ではパネリードPX8-110を45°斜め打ちで試験実施した。(事務局)
- ・ 本事業の仕様と異なるが、既往の試験結果から採用したということか。境界面の処理は。
- ・ 境界面の処理は行っていない。(事務局)
- ・ コンクリートの付着力も入っていると思われる。コンクリートの付着力で結構耐力が出ると思うので、本事業で実施予定の接合部に比べ、検討で使用した耐力、剛性は高めだと思う。
- ・ ビスメーカーへのヒアリングでは、コンクリートの付着力がある部分でスリップが生じないため初期剛性は高くなるが、コンクリートの付着を超えたところでビス本来の剛性が生じ、最大耐力は初期の付着力を超えて発生するとのこと。初期の接着力の影響は確かにあり、その点には実際に正確に確認できておらず、試験結果もばらつきがある結果だった。(事務局)
- ・ 試験結果はばらつきが大きく、剛性の取り方で悩ましいところがあったので、本事業で再確認

できる。

- ・ 境界面に合板型枠を使用して、接合部の一面せん断試験を行ったが、それでもばらつきがあり試験体数でカバーするしかないと思う。
- ・ 初期剛性について、コンクリートの付着を考慮しないため、本事業では透湿防水シートを貼るとしている。木材のアルカリ汚染、木とコンクリートの付着を透湿防水シートで取り除けると考える。(事務局)
- ・ 透湿防水シートが付着力を十分に切る効果があるかは、実際に行ってみないとわからないが、実際の防水効果をどのように狙うかを考えた場合、1 つにコンパネがある。コンパネを敷きジョイント部をシールするパターンと、もう一つは、壁の型枠として DLT を使用した例では、透湿防水シートと壁の下の方で側圧が大きいところでは、透湿防水シートで止めきれず、フィルムを付加した。ただ、シアキーを統一し、付着を一律に揃えるのは意義があると思う。
- ・ シアキーの性能はビスやラグボルトのような長物だと、頭の部分の材料の特性にかなり依存し、その部分のめり込みで左右されるようなところもあるので、せん断が生じないような簡易な工程にしたとしても正常値と変わるかなと思う。シアキーの性能でどちらを使うかを選べばよいと思う。

3) 事務局より試験体の概要説明

- ・ 合板の止め方はどのように行うのか？
- ・ 合板は側材に釘 4 カ所程度で止めるよう、試験体製作者と打合せている。(事務局)
- ・ LAG ボルト M12 では先穴をあけるのか？
- ・ $\phi 6\text{mm}$ の先穴を加工する。実際に手物の DLT サンプルで確認している。(事務局)
- ・ ビスの場合は、引張が効くように斜めビスとするが、今回はどうするのか？
- ・ LAG ボルトでは水平に打つとしている。DLT の場合では、ビスはラミナ複数枚を貫通しせん断がラミナに作用するように材軸直角方向に 60° で打つとしている。(事務局)
- ・ DLT のラミナ等級はどの程度か。
- ・ 製材 80 枚調達し、約半数が E70 と E90 で E50 は 5%程度あるかないか。残りが E110、E130。(事務局)
- ・ 要素試験にあたって、ラミナのヤング係数は E50 でやっておいた方がよいと思う。なるべく低い値で評価をして、それでも十分な性能が出ているから問題ないという主張をするのがいいのか、もしくは中央値として E70 程度でやって、それぐらいで今後も評価をするようなスキームにするのか。というのは作戦が必要かと思われる。
- ・ 実際に、製材 80 枚調達して E50 が 5%程度だったので、E50 に統一すると相当数の製材を調達が必要なので、ラミナは集成材の等級に合わせグレーディングし配置している。(事務局)
- ・ 合板、透湿防水シートで LAG ボルトを打てることを事前に確認しているとのことだが、合板

があると DLT ラミナにちゃんと打てるのか？

- ・ 今回は試験的に、付着の影響を見るために、LAG ボルトを合板ありで試験するが、現実的に合板の部分は梁として使うということでない、ということによろしいか。
- ・ はい。施工試験でも確認する予定だ。(事務局)
- ・ その話題は以前もあり、DLT の上に合板をかぶせたらどこへ打ったのかわからなくなる。ラミナ間に入るかもしれない、斜めになるかもしれないので、墨出しが必要になるという話だった。
- ・ 実施工の時は、ある一定間隔での墨出しは必要と考える。ビスでも同じで、ビス 1 本がラミナ 1 枚しかかからない打ち方ではなく、複数枚当たるようにするべきと考えます。ノッチをつけた場合には合板は敷かないので、プレートとビスのタイプでも同じようなことが出てくる。実際に梁を作るとき、実大梁の曲げ試験のときに実施工を踏まえた考え方をしたい。(事務局)
- ・ 経済性の問題もある。型枠合板、フィルム、プラベニアなどもあると考える。木材の汚染を防ぐことが目的なので、施工面積が大きくなればなるほど、経済性と施工性が課題となる。塗装による処理は、塗装回数が増えると経済性や、乾燥も問題になる。(事務局)
- ・ 構造性能から考えると、フィルムのような薄い方が明快だが、フィルム系のものとコネクタを打ったときに、その周りを乱して水が回り込む恐れがあるので合板の方が安心かと考える。それを今回の試験で確認するとよい。透湿防水シートも下が見えないので、多分墨出しと問題と同じ話が出てくる。少し見えるものだったらよいと思う。
- ・ L 型の鋼板の向きだが、これはせん断面に対してどのような向きか？フランジがせん断に対して効くように配置すると思ったが、平行に配置するのか？
- ・ 当初、宮田委員長との打ち合わせでも引っかかるような形式もありましたが、トラスプレートのようなもの流通の可能性もあり、試験体で示すような使い方としました。(事務局)
- ・ フランジが材軸方向にあるということか。
- ・ フランジが材軸に対して直角側になると、ノッチと逆の形になるので、ノッチタイプで判断できると考え直した。トラスプレート場合では、コンクリートの付着強度のだけで持つように考えられる。付着強度だけで評価できれば材軸方向に対し、L 型プレートを直角方向に配置した場合、このプレートの曲げが有効に効いてくるので、より剛性は高まると考える。
- ・ 木-コンクリート合成材の海外事例では、NLT や DLT でラミナとラミナの間にギャングネイルプレートまたは、トラスプレートを挟みこんでいる。また、CLT では溝を掘り込み、接着している事例がある。今回の試験では資料にお示しする方向に配置している。(事務局)

4. 今後のスケジュールについて

試験実施 8 月末頃

第 2 回委員会 9 月末頃

本試験実施 11 月末頃

第三回委員会 12～1 月

以上

2023 年度 DLT-CC 検討委員会 第 2 回議事録

日時 : 2023 年 10 月 13 日 (金) 14:00~15:30

場所 : 株式会社長谷萬 1F 会議室 + オンライン

参加者 :

宮田雄二郎様 (法政大学 デザイン工学部 建築学科 准教授) (委員長)

飯田智裕様 (株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 技術グループ チーフエンジニア)

平松 靖様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 領域長)

大木文明様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 積層接着研究室 研究員)

長谷川泰治 (株式会社長谷萬 代表取締役 執行役員社長)

オブザーバー :

立花紀之様 (林野庁 木材産業課 木材製品技術室 木材製品調査班 木材専門官)

齋藤 平様 (林野庁 木材産業課 木材製品技術室 木材製品調査班 企画調整係長)

井道裕史様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 材料接合研究室長)

鈴木賢人様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室 主任研究員)

上里和夢様 (株式会社宮田構造設計事務所)

平原章雄様 (木構造振興株式会社 常務取締役)

欠席 :

網野禎昭様 (法政大学 デザイン工学部 建築学科 教授)

花井厚周様 (株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 副本部長)

小井土義治様 (小井土製材株式会社 取締役社長)

小林 慧様 (群馬県 環境森林部 林業振興課 県産木材振興係 主任)

事務局 : 鈴木康史、小林辰美 (株式会社長谷萬)

1. オリエンテーション

2. 予備試験の実施結果の説明

事務局より実施結果を説明

- ・ 剛性は、原点と降伏点を結んだ直線の傾きより求める剛性（完全弾塑モデルによる剛性： $K(0_Py)$ ）と、 $0.1P_{max}$ から $0.4P_{max}$ の範囲における荷重と変位の傾きを最小二乗法によって算出した剛性（最小二乗法による剛性： $K(0.1_0.4)$ ）を求めた。一般的には $K(0_Py)$ が採用されるが、 $K(0.1_0.4)$ が実状に即していると思われる。
- ・ ラグボルトタイプとビスタイプとの特性値、接合耐力より、ラグボルトタイプはビスタイプに比べ、初期剛性で 2.03 倍、降伏耐力で 0.9 倍、短期基準接合耐力は 1.18 倍であるが、ラグボ

ルトは先穴加工が必要とで、施工面から薄板を木ダボで積層する DLT の場合、ビスタイプの方が使い勝手がよいと考える。(事務局)

- ・ ノッチタイプでは DLT、集成材とも、他のシアコネクタに比べ高い耐力と初期剛性が得られた。ノッチタイプは DLT や集成材に限らず、製材大径材や丸太等でも活用が期待できると考えられる。(事務局)
- ・ コンクリートとの境界面の仕様の相違について、型枠合板仕様は透湿防水シート仕様に対して、 P_{max} が $\times 1.12 \sim 1.13$ 、 δ_{max} で $\times 0.65$ 、 $K(0_{Py})$ で $\times 1.03 \sim 1.05$ で、顕著な優位性が確認されない。解体した試験体のコネクタ周りの木材汚染が微小であることから、境界面の仕様は透湿防水シートタイプでよいと考える。(事務局)
- ・ 評価方法について、事務局説明のとおり。実際のスラブでは試験結果のように変位しないで、0-30mm で取り出し評価した。剛性も 2 種類で評価した。
- ・ 木材圧縮も起こりえる破壊形式だと考えられる。どの程度の荷重レベルか？ノッチ部に直角にシートを貼るところで多少曲がりがありコンクリートは充填に影響はなかったか？
- ・ 透湿防水シートはノッチ形状に、ほぼ直角に施工している。ノッチの加工も NC 加工しており加工精度の差はほとんどないと考える。 P_{max} が出た後に木部のめり込み、圧縮破壊した。(事務局)
- ・ せん断破壊と圧縮破壊で P_{max} の荷重レベルもほぼ同レベルということか。
- ・ NL タイプでは、NL タイプは NN タイプに比べ P_{max} が後に変位が進んでいる。(事務局)
- ・ 承知した。ノッチタイプの施工事例はあるか。
- ・ ノッチタイプで国内事例はないが、最近では NL にのこぎり状にノッチを配列した試験事例がある。(事務局)
- ・ NL タイプの剛性が NN タイプより低いのはなぜか？
- ・ 顕著な差ではないが、今回の試験結果から理由は明確に分かっていない。境界面の仕様について、他の研究事例で合板を入れた場合と、その他の仕様と比較事例から、合板を入れた場合に耐力が下がるとの報告があるが、今回の結果は異なる。また、境界面を無処理とする場合、コンクリートの付着がでるため、変形が生じにくくなる。
- ・ 実際の建築物で利用する場合、DLT は現わしで使用するため、漏れる可能性がある無処理は難しい。
- ・ 合板を入れる場合では、シアキーのめり込みにより耐力が左右され、合板の固定具による合板の耐力に影響される。CLT にコンクリートを打設した実案件では、界面処理として塗装を施し、CLT ジョイント部はテープ養生した。

3. 本備試験（実施内容の説明、質疑）

事務局より実施内容、試験体案を説明

- ・ 本試験では、シアコネクタを SC タイプ、NL タイプとし、スギ DLT、スギ集成材 各 3 体でコンクリート合成材の曲げ試験を行う。
- ・ 試験体のモデル、解析結果について説明。
- ・ 完全分離モデルは DLT のみで剛性を算出、完全分離モデルに対してノッチ 1 カ所の NL タイプでは、2.69 倍、曲げ剛性では 1.61 倍剛性が上がる。
端部に設けたシアコネクタが有効に作用するため、中央部のシアコネクタの配置間隔は変位に影響はない。
長期たわみの検討では、コンクリート等のクリープ係数を設定し、ヤング係数で除した値を使用。シアコネクタのクリープ係数を 4 と仮定すると、弾性たわみに比べ、長期たわみは×2.6 倍程度となる。
端部のノッチはコンクリートが先行破壊するように設定した。
- ・ ねじに注目するとローカル座標で、ネジの打ち込み深さで解く解析結果と一致しない。計算より実験値の方が高い。
- ・ 実施工では、スラブでメッシュ筋を設置し、かぶりを確保するとコンクリート厚は 80mm 必要となる。メッシュ筋を重ねると 80mm でも厳しい場合があり苦労した。重ねないという選択肢もある。
- ・ メッシュ筋は試験実施までコンクリートのひび割れを防ぐためであり、実施工ではかぶり厚を考慮すべきと考える。(事務局)
- ・ 使用する集成材は同一等級か？
- ・ スギ集成材 同一等級構成 E75-F270 を平使いする。(事務局)

4. 今後のスケジュールについて

本試験 試験体製作 11 月 6 日～

コンクリート打設 11 月 10 日

曲げ試験実施 12 月 11 日～15 日（予定）

第三回委員会 1 月末予定

事業終了 令和 6 年 2 月 20 日

以上

2023 年度 DLT-CC 検討委員会 第 3 回議事録

日時 : 2024 年 2 月 9 日 (金) 10:30~12:00

場所 : 株式会社長谷萬 1F 会議室 + オンライン

参加者 :

宮田雄二郎様 (法政大学 デザイン工学部 建築学科 准教授) (本委員会 委員長)

網野禎昭様 (法政大学 デザイン工学部 建築学科 教授)

飯田智裕様 (株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 技術グループ チーフエンジニア)

平松 靖様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 領域長)

大木文明様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 積層接着研究室 研究員)

小林 慧様 (群馬県 環境森林部 林業振興課 県産木材振興係 主任)

小井土義治様 (小井土製材株式会社 取締役社長)

長谷川泰治 (株式会社長谷萬 代表取締役 執行役員社長)

オブザーバー :

立花紀之様 (林野庁 木材産業課 木材製品技術室 木材製品調査班 木材専門官)

齋藤 平様 (林野庁 木材産業課 木材製品技術室 木材製品調査班 企画調整係長)

井道裕史様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 材料接合研究室長)

鈴木賢人様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室 主任研究員)

宮武 敦様 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 研究専門員)

上里和夢様 (株式会社宮田構造設計事務所)

欠席 :

花井厚周様 (株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 副本部長)

平原章雄様 (木構造振興株式会社 常務取締役)

事務局 : 鈴木康史、小林辰美 (株式会社長谷萬)

1. オリエンテーション

2. DLT 実大曲げ試験実施結果について

4) 実施内容

- ・ 実大曲げ試験体のシアコネクタは、せん断試験結果より、ノッチタイプとスクリービスタイプを選択した。ノッチタイプは木材加工を施すことで高いせん断性能が得られ、適用の可能性が高い DLT や集成材に限らず、大径材や丸太等でも活用が見込める。スクリービスタイプは施工性が高いことから選択した。(事務局)
- ・ 木部材は、スギ DLT 38mm を 7 枚積層した 266mm×140mm とスギ集成材 270mm×140mm 同一等級構成 横使いの 2 種。スラブ厚は最小スラブ厚 60mm + 10mm の合計 70mm とし、ひび割れ防止を目的にメッシュ筋を入れているが、引張力を負担しないよう不連続としている。(事務局)
- ・ 解析に用いたモデルは、上弦材をコンクリート断面の部材芯、下弦材を木断面の部材芯とし、シアコネクタのせん断耐力をブレース置換した斜材で構成する平行弦トラスとした。支持点はピンとローラーとした。DLT-CC 試験体はラミナ毎にモデル化し設計した。(事務局)

5) 実大曲げ試験の試験体仕様、試験体図、試験結果

- ・ 試験体の解析モデル、解析結果について説明。
- ・ 各試験体の試験結果の P_{max} は各試験体とも近似していた。破壊荷重が長期荷重に対して 7 倍以上の余裕があることから、DLT-CC の設計上で問題はないと考える。またノッチタイプ試験体は、ノッチ部のコンクリートが先行せん断破壊して、設計通りの結果が得られた。(事務局)
- ・ スクリービスタイプ試験体はノッチタイプ試験体に比べ、大きく変形して木部が破壊した。試験体の解体後、木部にシアコネクタのめり込みが確認された。シアコネクタが木部へのめり込んだことにより、コンクリートと木部の合成度合が低下して木部が曲げ破壊したと考えられる。(事務局)
- ・ DLT のノッチタイプ試験体でも、ラミナが先行して破壊するのか？
- ・ ノッチ部が破壊し P_{max} を得ている。(事務局)
- ・ 設計上は、ラミナが 1 本でも破壊したら、そこから使用できないと考えるが、 P_{max} 直前まで破壊しない、設計値に対し 7 倍以上の安全率があれば、問題ないと考えられる。
- ・ ノッチタイプ試験体では、降伏耐力 P_y が得られていないが、短期に対してどのように考えるのか？
- ・ 本試験ではシアコネクタのせん断試験の結果を使用した。今後、せん断試験の仕様を変えて試験をすることで、より詳しい値が得られるだろうと考えている。(事務局)
- ・ 設計は長期荷重で検討している。降伏耐力は最大耐力の $1/3$ で考えることができると思う。

- ・ ノッチタイプ試験体ではコンクリートに偏心による曲げが作用するが、トラスモデルでは考慮していないので、モデル化の検証も必要だと思う。
- ・ 実際の使用でたわみ量が問題となる。設計上は破壊耐力を正確に求める必要はないので、トラスモデルによる設計でたわみ量が想定できれば良い。
- ・ 最終的には設計指針をまとめ、構造評定を取得することになるだろう。そのバックグラウンドとしてトラスモデルや弾塑性モデルでの検討があるとよいと考える。設計者に対してはなるべくシンプルな計算式がよい。
- ・ 木と RC との合成床では、耐火の取り扱いについて建築主事により判断が変わる。木は短期荷重を負担しないとしているが、短期の耐力を問われることもある。振動の検討もあるため、短期の検討も必要と思われる。
- ・ 試験結果の解析とその結果について説明。
- ・ スクリュービスタイプ試験体では試験値に近い解析結果が得られたが、ノッチタイプ試験体では初期剛性が高く、シアコネクタの違いにより解析結果と試験結果で相違があった。理論値の精度向上にはシアコネクタのせん断試験やトラスタイプの解析の積み重ねが必要であり、今後の課題として挙げている。(事務局)
- ・ その後の検討から、ノッチタイプ試験体では初期剛性が高く、荷重の増加による剛性低下を考慮した等価剛性とすることで、精度よい破壊荷重の推定ができた。

3. DLT-CC の活用と普及に向けた課題について

- ・ 事務局より今後の活用方法、普及に向けた課題について説明。
- ・ 建設事業者にとって、木材の上に湿式のコンクリートを打設することに抵抗感はない。遮音性と耐火性を解決する上で、コンクリートの使用は必然性がある。
20 年前くらいから、コンクリート床スラブのひび割れが注目されている。メッシュ筋の切れ目があり、圧縮力しか作用しないとしても乾燥収縮がある。スラブ厚が 70mm のなかでどのように処理するか、今後ブラッシュアップすることで、設計者が悩まず使用できるとおもう。
- ・ 本試験では、メッシュ筋が引張力を負担しないよう、メッシュ筋は切れ目があるが、実仕様ではメッシュ筋を重ねることになるため、かぶり厚確保するとスラブ厚が厚くなる。(事務局)
- ・ クリープ変形について、デッキスラブでは変形増大係数は 1.5 としており、今回の構造では木材の変形増大係数は 2 を超えるだろう。
- ・ 海外の文献では変形増大係数は木材 2、コンクリート 3、シアコネクタ 4 とされており、今回の試験体設計でも同じ係数で検討した。
- ・ 木 - コンクリート合成床版の長期使用によるコンクリートのひび割れなどに対して、クリープ試験による検証が必要と認識しており、普及のための課題に挙げている。(事務局)
- ・ この合成材による混構造のアイデアは重要だと思う。ゼネコン各社にヒアリングすると、純木造で建てることは難しく、設計も複雑になるため躊躇するが、既存技術の RC 造、鉄骨造の設

計であれば何も問題ない。木造で建てる場合でも、耐震コアを RC 造や鉄骨造で造り、木材は鉛直荷重を負担する部材として使う形式の混構造であれば、無理なく取り組めるという意見がある。

この場合の課題は、水平構面の確保、遮音性能と耐火性能である。合成効果によって木材の曲げ性能が向上してもコンクリート打設は重量が増えるため、木造でのメリットはそれほど得られないが、混構造を見据えることで、合成構造の開発はメリットが出てくる。

- ・ デッキ合成スラブはメッシュ筋をいれているが、端部にひび割れ補強鉄筋を入れると、かぶり厚の確保のため、スラブ厚 70mm では不足する。そのあたりの配慮が必要となる。
- ・ RC 造や鉄骨造に慣れた設計者にとって、木造は新たな知識の習得が必要となる。複雑な設計式になってしまうと、それだけで木材活用のやる気を削いでしまうので、解りやすい計算式とすることが必要だと思う。昨今の設計変更が多い中では、複雑な設計式だと設計変更の対応に手間が掛り採用し難い。シンプルに使える計算式だと普及するだろう。
- ・ この組み合わせで、水平構面のせん断耐力も確認できる大変とよい。設計でより安心して使える。
- ・ 基準階の床面積 1,000m² でスラブ厚 70mm では足りないが、その 1/2 程度の床面積で間口も狭ければ 70mm で足りるかもしれない。床コンクリートに発生するせん断力が、終局時に $1/15F_c$ 以下であれば、ひび割れによるせん断合成の顕著な低下は生じにくいと思われるため、剛床の一つの目安にしていることが多い。
- ・ 一般的に 1,000m² では 150mm くらいのスラブ厚で、せん断応力度が F_c の $1/15$ 以下で設計している。デッキ合成スラブで 80mm くらいなので、その時のコンクリートの最大耐力が気になる。
- ・ 配筋がクロスで組まれていれば大丈夫だろうが、メッシュ筋で大丈夫かという意見もある。
- ・ 森林総研では合成材で面内せん断試験を実施したことはあるか？
- ・ 実施例はない。
- ・ 森林総研の面内せん断試験機は耐力壁を想定したもので、水平面内せん断試験機は屋外実験場にあり CLT の水平せん断耐力で使用したが、RC 造の耐力に対応するか不明。
- ・ 長期許容せん断を超えるような建物はあまり多くないと思う。外周部を木柱としコア部分を RC 造と、外周部からコア部分まで水平せん断力を伝達するため必要なスラブ厚とするケースがあったが、限界値を超えるような設計がどれくらいあるか見定めが必要だろう。
- ・ 木材利用の拡大を進めるなかで、水平面内せん断試験の話は出てくると思われる。(事務局)
- ・ DLT に限った話ではないが、お客様から湿っているコンクリートに接触している木が腐朽しないか、虫が突然出てこないか、といったことで顧客が不安に思い、質問を受けることがある。また、社内の設計者からも質問を受けることがある。そのようなことについて文献等にまとめられ、安心を発信することも大事かと思う。

- ・ クリープ試験などで、コンクリートに接する木材の腐朽や虫の発生の有無なども確認できる。
不安の払しょくも課題の一つと考える。(事務局)

以上

5. 謝辞

本事業は令和5年度 木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業の採択を受けて実施致しました。本事業の推進にあたりご協力頂きました関係者の方々に、心より感謝の意を表します。

6. 参考資料

- 株式会社長谷萬：木構造振興株式会社 令和4年度 木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」報告書（2023年 2月）
- 株式会社長谷萬：木構造振興株式会社 令和2年度 木材製品の消費拡大対策のうち CLT建築実証支援事業のうち CLT等木質建築部材 技術開発・普及事業「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」報告書（2022年 2月）
- 株式会社長谷萬：木構造振興株式会社 令和元年度 木材製品の消費拡大対策事業のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業 「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」報告書（2021年 2月）
- 株式会社長谷萬：林野庁 令和元年度木材産業・木造建築活性化対策事業（横架材・2×4部材等の製品・技術開発事業）「木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動」報告書（2020年 3月）
- 大木文明：木材とRC を機械的接合した合成床について（木材工業、巻77号、P2-7、2022-01）
- 大木文明、ほか4名：複合床スラブの曲げ性能に与える合成度の影響に関する実験的研究（日本建築学会大会学術講演梗概集、66B、P215-222、2020-03）
- 畔 柳 歩、ほか6名：集成材梁-RC床版合成梁設計法の提案と実験による検証 集成材梁とRC床版の一体効果を考慮した合理的部材設計手法の構築 その1（日本建築学会構造系論文集、697号、P393-400、2014-03）
- 蒲池 健、ほか6名：集成材梁-RC床版合成梁設計法の提案と実験による検証 集成材梁とRC床版の一体効果を考慮した合理的部材設計手法の構築 その2（日本建築学会構造系論文集、702号、P1147-1156、2014-08）
- Worked examples: vCeCCotti, A. (2002). "Composite concrete-timber structures." Progress in Structural Engineering and Materials、4(3)、264-275.
- Samuel Cuerrier-Auclair, M.Sc., P.Eng./, March 2020、"Design-guide-for-timber-concrete-composite-floors-in-Canada"