スタックラミナパネルを用いた 木・鋼ハイブリッド耐震壁工法 の開発

THE DEVELOPMENT OF HYBRID SHEAR WALL WITH STUCK LAMINATED PANEL AND STEEL FRAME

笹谷真通 — * 1 芥川 豪 — * 2
後藤一真 — * 3 藤原圭吾 — * 3
立花正彦 — * 4

Masamichi SASATANI — * 1 Tsuyoshi AKUTAGAWA — * 2
Kazuma GOTO — * 3 Keigo FUJIWARA — * 3
Masahiko TACHIBANA — * 4

キーワード：
ハイブリッド耐震壁, スタックラミナパネル, 鉄骨フレーム, 支圧

Keywords:
Hybrid shear wall, Stuck laminated timber, Steel frame, Bearing pressure

A new system of the structural shear wall is proposed that it is hybrid structure with stack laminated timber panel and steel frame for buildings. It is remarkable conceptual characteristic that hybrid shear wall consists of steel frame and timber panel. Timber panel doesn't resist of shear tensile force. The result of study shows structural behavior for seismic force, stress, stiffness and structural characteristic coefficient as the experimental study for the capable of application.

1. はじめに

建築物の用途や品質に対する要求や環境保全などの意識が高まる中、素材の持つ長所を生かし、かつ構造的な合理性を追求した結果のひとつに、木材と鋼材を組み合わせたハイブリッド構造が広く用いられている¹⁾。特に近年は公共建築物における木材の利用促進が期待されている背景もあり、CLTの実用化に向けた取り組みも盛んに行われている²⁾が、最近の実用例では、LVLを鉄骨フレームに内蔵したハイブリッド耐震壁の提案もある³⁾。ただしこれらは木と鋼が一体化される段階での施工精度が要求され、さらに建物供用後の乾燥収縮により生じる木材の割れへの対処が求められる。

本報では、建方精度や乾燥収縮時応力に着目した木・鋼ハイブリッド耐震壁工法（以下本工法）を提案し、各種実験を通して本工法の基礎性状を把握し、設計に用いる資料を得ることを目的とする。

2. 工法の概要および構成要素

2.1 工法の概要

本工法の概要を図1に、隅部詳細図を図2にそれぞれ示す。工法の特徴を以下に示す。

- ① 長期荷重時は鉄骨フレームが負担し、水平荷重時は木質パネルが圧縮力を、外周鉄骨フレームが引張力を負担し、各素材のもつ長所が一体化された構造計画である。
- ② 木質パネルと鉄骨フレームの接合部は、接合金物の側面からボルトにて締め付けるくさび機構を有する。これを木質パネルの隅部4か所に設置し、鋼材と木材の接触面を支圧状態にする。
- ③ 木質パネルと鉄骨フレームは支圧接合であるため、長期的な乾燥による木材端部の面内収縮方向への拘束はなく、木材の割れへの配慮がされていると同時に、施工誤差を吸収できる機構である。
- ④ 木質パネルが乾燥収縮し、接合金物同士が離間しようとした際に、皿ばねの伸び効果により、双方が常に接触状態を保つ。

図1 本工法概要

図2 隅部詳細図

2.2 本工法を構成する各要素の概要

本工法を用いる対象建築物は、都内某所に計画された地上3階建て、階高3.6mの事務所建築であり、平面計画上1.5mおよび3.6mスパンに配置される2種類の耐震要素を提案するものである。本工法を構成する要素を以下に示す。

- a) 木質パネル 本工法では様々な木質パネルが選択可能であるが、意匠性、および構造用集成材としての実績や基準強度を有することを考慮して、30mm厚×150mm幅のラミナ材をこば立てで積層した、厚さ150mmのスタックラミナパネルを採用する。
- b) 鉄骨フレーム 鉄骨フレームは木質パネルと一体化することにより耐震性能を発揮するほか、鉄骨フレーム単体で長期荷重を負担する。鉄骨柱は水平荷重時に大きな引張力を負担させ、かつ高い軸剛

¹⁾ アラップ アソシエイト, 構造エンジニア
(〒150-0031 渋谷区桜丘町24-4 東武富士ビル)
²⁾ 東京電機大学未来科学部建築学科 大学院生
³⁾ アラップ 構造エンジニア
⁴⁾ 東京電機大学未来科学部建築学科 教授・工博

¹⁾ Associate Structural Engineer, Arup.
²⁾ Graduate School, Dept. of Future Science, Architecture Div., Tokyo Denki Univ.
³⁾ Engineer, Structural Engineer, Arup.
⁴⁾ Prof., Dept. of Future Science, Architecture Div., Tokyo Denki Univ., Dr. Eng.

性に期待し、本工法では矩形の中実（無垢）断面（■-100×100）を用い、材質については入手可能なSS400材とする。

c) 接合金物 あらかじめ接合金物Ⅰを挿入した木質パネルを建て方し、その後鉄骨フレームと接合金物Ⅰとの間に接合金物Ⅱが設置され、接合金物Ⅱに設けたボルトを用いて接合金物同士が支圧状態になる。また接合金物同士の接触面には1/3勾配のテーパ面が設置され、接触面を粗面とすることにより、ボルトの引張力を介さず、支圧力により円滑に鉄骨フレーム側に応力伝達させる。さらに木質パネルが乾燥収縮状態において接合金物Ⅰが接合金物Ⅱから離間しようとした際に、鉄骨フレームが木質パネルを拘束することなく、ボルトに内蔵された皿ばねの効果によって追従し、常に接合金物同士が接触状態を保つことができる。

d) 座屈止め材 水平力作用時に、鉄骨柱には引張力が作用し、また木質パネルには圧縮ストラットが形成される。この応力状態において木質パネルの面外方向への座屈を拘束する材を適所に設置する。なお面内方向にルーズ孔を設け、面内方向の応力は負担しない。

3. 木・鋼ハイブリッド耐震壁の基礎実験

3.1 木材の素材実験

本実験は耐震要素となる木質パネルのラミナの積層方向と圧縮強度の関係を把握することを目的とする。実験方法および実験より得られた圧縮強度と角度 θ との関係を図3に示す。

a) 実験計画および実験方法 1.5m スパンタイプ（以下SFW）および3.6m スパンタイプ（以下WFW）のそれぞれの辺長比を加味して、実験変数はラミナ材の積層方向と加力方向とのなす角度 θ として、SFWは3水準：0, 30, 90度、WFWは5水準：0, 30, 45, 60, 90度とする。試験体の形状は断面寸法150mm×150mm、高さ300mmとする。なお試験体は実大水平加力実験に用いる木質パネルの一部より採取したものが含まれており、各水準3体、合計87体製作する。加力は万能圧縮試験機（能力：2000kN）による単調圧縮载荷とする。

b) 実験結果および考察 本実験より以下の点が明らかになった。

- $\theta=30$ および45度試験体においては、ラミナ材の積層方向に沿って試験体が割れ、それ以外は圧壊に至った。
- 実験より得られた圧縮強度（ $\sigma_{\max}$ ）は、ハンキンソン式より求めた圧縮強度（ σ_{θ} ）と概ね一致する傾向を示した。

3.2 木材の収縮変形に対する接合金物の挙動確認実験

本実験は木材の乾燥により木質パネル面内方向に収縮した際に接

合金物それぞれが離間しない挙動を確認することを目的とする。実験方法を図4に示す。

a) 実験方法及び測定項目 試験体は実大寸法の木質パネル隅部を用い、木質パネルおよび接合金物は同一仕様とする。加力は油圧ジャッキ（性能：2000kN）を用い、試験体上部には木材の回転を拘束するための治具とローラーを設置し、水平方向のみ変形できるようにする。測定項目は、接合金物の面外方向変位である。実験は以下の手順で実施する。

- (1) 接合金物同士をボルトの手締めにて接触状態にする
- (2) 油圧ジャッキにより試験体に圧縮力50kNまで荷重を載荷
- (3) 接合金物のボルトをトルクレンチにて20N・mで締め付ける
- (4) 鉄板とビスで木質パネルの収縮状態を保ったまま除荷

b) 実験結果および考察 実験結果を図5に示す。実験結果より以下の点が明らかになった。

- 接合金物Ⅱは、加力時に面外移動はなく、応力を鉄骨フレームに伝達できる。
- 木質パネルを拘束したまま除荷した結果、残留変形が0.5mmで、接合金物Ⅱは内側に1.5mm程度移動した。この結果より接合金物の移動量は、1/3勾配の関係と一致し、木材の収縮時に皿ばねの効果により接合金物Ⅱが追従できる機構であることが確認された。

4. 木・鋼ハイブリッド耐震壁の実大実験

4.1 実験計画および試験体形状・寸法

実験計画は表1に示すとおり、実験変数は柱芯間距離：1500mm（SFW）および3600mm（WFW）の2水準とし、これに木質パネルの有無による性状の違いを把握するために、鉄骨フレームのみの試験体（SF, WF）の2水準とする。鋼材の機械的性質を表2に示す。また木材の機械的性質は木材の素材実験結果（図3）を用いる。

試験体の形状および寸法を図6に示す。試験体は実大寸法とした1層1スパンの架構であり、SFW及びWFWは同一試験体を各3体、S及びWF試験体を各1体とした合計8体製作する。鉄骨フレームは各シリーズ共通で、柱：■100×100（SS400 中実無垢断面）および梁：H200×200×8×12（SN490B）で構成され、上下梁端部にはPL-12にて両側面を補強している。鉄骨フレーム内部に挿入する木質パネルは、厚さ30mm×幅150mmのラミナ材を積層させたスタックラミナパネル（樹種：スギ材、ヤング率：JAS機械等級区分構造用製材E65、含水率：20%以下）を用い、試験体高さは実際の建物階高にあわせ

図3 ラミナ積層角度と圧縮強度の関係

図4 乾燥収縮時挙動確認実験

図5 挙動確認実験結果

て、上下梁芯間 3600mm とする。なお鉄骨フレーム下部梁は、全長にわたり加力フレームに高力ボルトにて固定されている。

木質パネルと鉄骨フレームを接合する隅部は、木質パネル側に設けたスリット部に接合金物Ⅰを挿入し、木質パネル建て込み時に、接合金物Ⅱは鉄骨梁フランジと接合金物Ⅰとの隙間に挿入し、外側から接合金物Ⅱを中ボルト 2-M20 にて、接合金物のテーパ面が接触状態になるまで締め込む。座屈止め材は、SFW 試験体は鉄骨柱にそれぞれ 2 か所ずつの計 4 箇所、WFW 試験体は鉄骨柱と梁にそれぞれ 2 か所ずつ計 8 箇所、1-M20 の中ボルトにて接合する。

ここで SFW-1 試験体は加力実験途中において、引張側柱脚部のダイヤフラムプレートとの隅肉溶接部の溶接量不足による引張破断が生じた。それ以外の全試験体は、当該箇所を部分溶け込み溶接としたほか、PL-16 によるプレート補強を両側部に行い、柱脚部に溶接部破断を先行させない対処を施した。

4.2 実験方法および測定項目

本実験の加力計画を図 7 に示す通り、試験体の鉄骨フレーム上部左右端の梁芯位置に設置した油圧ジャッキ（能力：2000kN）を用い、それぞれのジャッキが圧縮力を作用させ、正負交番繰返载荷による無載荷式加力を行う。载荷計画は試験体の水平変形 δ を試験体高さ（上下梁芯位置 3600mm）で除した値を全体変形角 R とし、 $R=1/450$, $1/300$, $1/200$, $1/150$, $1/100$, $1/75$, $1/50$ を 3 サイクルずつ行い、その後正加力側にて最大変形まで単調载荷を行う。

測定項目は、鉄骨フレームの水平変形および軸変形である。また鉄骨フレームのひずみは鉄骨柱両端部の材軸方向に、一方向ゲージを用いて計測を行う。

4.3 実験結果と考察

（1）破壊性状

代表的な破壊性状を写真 1 に示す。最終破壊形式は、せん断破壊（TypeA）および接合金物Ⅰの木質パネルへのめり込みが顕著にあらわれたもの（TypeB）の 2 種類に分類される。SFW および WFW 試験体の実験経過はそれぞれ以下のとおりである。

<SFW 試験体> 木質パネルは $R=1/200$ までは目立った損傷は確認されなかったが、接合金物Ⅰが木質パネルへめり込む音や、座屈止め材のすべる音が、加力側上部接合部とその対角の脚部接合部で断続的に確認された。 $R=1/200$ 以降は、接合金物Ⅰが木質パネルのラミナ直交面への横圧縮によるめり込みが生じ、同時に木質パネルの隅部が面外方向に膨らむ現象が見られ始めた。 $R=1/75$ までに、加力側接合部ではラミナ直交面への横圧縮によるめり込みが顕著に確認された。 $R=1/50$ 時に、加力側上部接合部近辺でめり込みによってラミナ材方向の割裂が発生し、変形が大きくなるにつれて加力側上部とその対角の脚部接合部近辺は割裂が顕著に見られた。 $R=1/40$ 付近で、SFW-1 試験体は引張側柱脚ダイヤフラムの溶接部が破断して耐力が低下し実験を終了した。SFW-2, 3 および WFW 試験体は脚部破断箇所を補強し、終局時において SFW-2 は、接合部の木質パネルへのめり込みが顕著になり、SFW-3 は木質パネルにラミナ材方向にせん断破壊が生じた後、実験を終了した。

<WFW 試験体> $R=1/150$ までは SFW 試験体と同様の現象が確認され、 $R=1/100$ 以降より、接合金物Ⅰの木質パネルのラミナ直交面へ

表 1 実験計画表

パネル	スパン(m)	
	1.5(木材:1.2m)	3.6(木材:3.3m)
有	SFWシリーズ(3体)	WFWシリーズ(3体)
無	SFシリーズ(1体)	WFシリーズ(1体)

表 2 鋼材の機械的性質

部材	材質	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	伸び率 (%)
柱	SS400	280	432	37
梁	SN490	422	540	29

図 6 試験体の形状及び接合金物の部品図

図 7 実験方法及び測定項目

写真 1 試験体の破壊状況

の横圧縮によるめり込みが SFW 試験体よりも顕著にあらわれ、同時に梁に設置された座屈止め材が回転し、木材にめり込んでいく現象

が確認された。R=1/50 より加力側上部接合部近辺で、ラミナ材方向のめり込みによる割裂が発生し、変形が大きくなるにつれて加力側上部とその対角の脚部接合部付近ではラミナ材方向および直交方向の割裂が顕著にみられた。終局時は、WFW-1 試験体は接合部端部のめり込みが著しくなることで荷重が低下したので実験を終了し、WFW-2 および WFW-3 試験体は座屈止め材がめり込みその部分から木質パネルにせん断割裂が入り、終局時は木質パネルのせん断破壊により、実験を終了した。

(2) 履歴性状

各試験体の履歴曲線を図8に示す。また各試験体のR=1/450, 1/200, 1/50時の無次元化履歴曲線を表3に示す。無次元化履歴曲線は各変形角の第三サイクル履歴曲線を正側最大荷重・変位で基準化したもののうちの代表例である。

<SF・SFW試験体> SFW試験体は、加力初期よりR=1/75 まで若干逆S字ループ形状を示し、その後変形が増大して接合部のパネルへのめり込みが顕著になり、剛性が徐々に低下した。R=1/50 以降はほぼ荷重の増大はないまま変形が進行し、R=1/22 付近で最大耐力(Qav=436.0kN)に達した。SF試験体は、R=1/50までは概ね弾性挙動を示し、その後剛性が徐々に低下しながら変形量が増大し、R=1/29 に最大耐力(89.1kN)に達した。また木質パネルを挿入した結果、最大耐力が4.8 倍、初期剛性で7.5 倍上昇した。

<WF・WFW試験体> WFW 試験体は、R=1/200付近より若干逆S字型のループが見られ始め、その後R=1/75より剛性が低下した。R=1/50以降はほぼ荷重の増加はないまま変形が進行し、R=1/20 付近で最大耐力(Qav=632.4kN)に達した。WF試験体は最大耐力時までSF試験体と同様の性状を示し、R=1/17 に最大耐力(84.6kN)に達した。また木質パネル挿入した結果、最大耐力が7.5 倍、初期剛性で13 倍上昇した。

<耐震壁の辺長比による影響> WFW 試験体の初期剛性および最大耐力は、SFW試験体に対して1.3倍程度上昇する結果となった。これは、WF試験体は鉄骨フレームの柱スパンが大きくなることにより、耐力および剛性がSF試験体よりも小さくなるが、木質パネルを挿入することにより、WFW試験体の木質パネルのせん断力負担割合がSFW試験体よりも増加することから、ハイブリッド耐震壁全体としての耐震性能が上がったものと考えられる。また履歴ループ面積はSFWおよびWFW試験体ともにR=1/450 から減少するが、R=1/200 以降は面積の減少は見られなかった。R=1/200 以降の履歴ループの面積は、SFWよりWFW試験体のほうが1.8 倍程度高い傾向がみられた。これは接合金物の木質パネルへのめり込みがWFW試験体のほうが、圧縮ストラット角度の違いにより、WFW試験体のほうがラミナ材直角方向へ作用する横圧縮力がより大きくなることから、ラミナ材直角方向へのめり込み現象が顕著になったためと考えられる。

(3) 構造特性係数(Ds 値)

構造特性係数(Ds値)は、表4に示すとおり、実験より得られた履歴曲線より枠組壁工法建築物構造計算指針⁴⁾の評価方法に基づき算出する。なお、SFW-1はR=1/48にて柱脚ダイアフラムの溶接部が破断したため、SFW-1のR=1/50以降の実験結果は評価対象から除外する。各試験体のDs値の平均値は、SFW試験体で0.51、WFW試験体は0.49となり、両シリーズで大きな差は見られなかったが、短期基準せん断耐

図8 各試験体履歴曲線

表3 無次元化履歴曲線

表 4 実験結果及び各特性値

試験体名	降伏耐力 Q _y (kN)	降伏変位 δ _y (mm)	剛性 K(N/mm)	終局耐力 Q _u (kN)	終局変位 δ _u (mm)	塑性率 μ	Ds値	最大荷重 Q _{max} (kN)	Q _{1/20} (kN)	短期基準 せん断耐力(N)	
SF	66.5	68.71	9.68	86.5	127.90	1.43	0.73	89.1	29.99	—	
WF	62.7	82.21	7.64	80.9	202.90	1.91	0.60	84.6	24.50	—	
SFW	-1	202.5	28.53	71.00	331.4	92.43	1.98	0.58	360.4	213.20	—
	-2	261.3	41.46	63.00	384.4	181.00	2.97	0.45	433.0	199.10	170.9
	-3	274.4	53.38	51.40	390.7	155.91	2.05	0.57	439.0	155.80	137.6
	平均値	267.9	47.42	61.80	387.6	168.46	2.51	0.51	436.0	177.45	154.2
標準偏差	9.3	8.43	9.85	4.5	17.74	0.65	0.08	4.2	30.62	23.5	
WFW	-1	285.6	29.86	95.66	532.1	157.90	2.84	0.46	616.7	286.40	230.2
	-2	345.9	40.08	86.31	546.5	138.90	2.19	0.54	621.2	299.70	201.3
	-3	424.0	49.82	85.10	618.3	194.90	2.68	0.48	659.3	297.80	258.2
	平均値	351.8	39.92	89.02	565.6	163.90	2.57	0.49	632.4	294.63	230.0
標準偏差	69.4	9.98	5.78	46.2	28.48	0.34	0.04	23.4	7.19	28.5	

力は両シリーズ共に終局時まで耐力低下を生じることはなく、SFW試験体は154.2kN、WFW試験体は230.0kN(いずれも平均値)であり、SFW試験体に比べてWFW試験体の方が約1.5倍上昇する結果となった。

(4) 木質パネルと鉄骨フレームのせん断力分担

SFW およびWFW試験体の資格所定変形角時の鉄骨柱の軸力及び曲げモーメントの相関を図9に示す。縦軸は軸力N(kN)、横軸は曲げモーメント(kN・m)とする。

この結果よりSFW試験体は、降伏線と重なるR=1/75付近で、同様にWFW試験体は1/50付近で鉄骨柱が降伏したのと考えられる。また、WFW試験体に比べて柱負担軸力の大きいSFW試験体は曲げモーメントに対する軸力の負担割合が大きい傾向を示している。

ひずみ測定結果より、鉄骨フレームのせん断力(ΣQs)および木質パネルが負担するせん断力を算出し、SFWおよびWFW試験体のそれぞれについて、SFおよびWF試験体の結果との比較を行い、フレーム全体に作用するせん断力Qと、鉄骨柱より算出したQsの差分を木質パネ

ルが負担するせん断力 Q_w として、下式により算出した。得られた Q_s , Q_w 及び包絡線を図10 (a) (b)にそれぞれ示す。

$$N_s = \varepsilon_{ave} \times E \times A = \{(\varepsilon_i + \varepsilon_{i+1}) / 2\} \times E \times A \cdots \cdots (1)$$

$$M_s = \varepsilon_{def} \times E \times Z = \{(\varepsilon_i - \varepsilon_{i+1}) / 2\} \times E \times Z \cdots \cdots (2)$$

$$Q_s = (T M_s + B M_s) / 2 \cdots \cdots (3)$$

$$Q_w = Q - Q_s \cdots \cdots (4)$$

ここで、 N_s ：鉄骨フレームの柱軸力、 M_s ：柱頭および柱脚の曲げモーメント（T：柱頭、B：柱脚）、L：歪の測定間距離（2100mm）である。

SFW・WFW試験体については、鉄骨フレームに作用するせん断力とSF・WF試験体の荷重変形関係はほぼ同様の性状を示した。また試験体の弾性域における木質パネルの負担せん断力と、鉄骨柱の負担せん断力との負担割合は8：1であり、WFW 試験体については9：1であった。

5. 鋼木ハイブリッド耐震壁の評価および設計への適用

5.1 概要

本実験に用いた試験体の解析モデル⁵⁾を作成し、得られた結果との解析的な比較検証を行う。解析モデルは図11に示す通り、鉄骨フレームは柱および梁を線材モデルに置換し、柱梁接合部は剛接合とし、脚部はピン支持とする。また木質パネルは有限要素によりメッシュ分割された板要素とする。接合金物ⅠおよびⅡは、接合金物と木質パネルの接触部分を節点が共有できるような有限要素分割を行う。さらに鉄骨フレーム側に設置した接合金物Ⅰと、木質パネル側に設置される接合金物Ⅱとの境界部分については、水平加力時に木質パネルに作用するせん断力は端部において圧縮力となり、木質パネルと鉄骨フレーム間の相互に応力伝達するが、非加力側において、接合金物は引張力を負担しない。本解析モデルにおいて、相互を連結する要素は、非加力側において引張力を負担しない連結要素とし、この接合金物同士が非加力側にて離間したときの状態を解析的に再現する。これら木質パネル、鉄骨フレームおよびこれらの連結要素となる接合金物を一体化させ、1層1スパンの弾性解析を行う。

5.2 解析結果および剛性および各種耐力の評価

解析結果を図12に、本工法の耐荷機構を図13に示す。また解析結果と実大実験結果との比較を図14にそれぞれ示す。以下に初期剛性および各種耐力の実験値との比較結果を述べる。

（1）初期剛性

初期剛性の評価においては、木質パネル単体のヤング率（図3参照）、鉄骨フレームおよび接合金物の鋼材の剛性のほかに、接合金物Ⅰと木質パネル境界部分とのめり込み剛性については、等変位めり込み基準式⁵⁾より求められた剛性値を連結要素に与える。この結果より、本解析結果より得られた初期剛性は、SFWは63.73kN/cm、WFWは82.67kN/cmとなり、概ね実験結果と一致することが確認された。

$$K_1 = x_p y_p C_x C_y \cdot E' / Z_0 \cdots \cdots (5)$$

$$C_x = 1 + \frac{2Z_0}{3X_p} \left(2 - e^{\frac{3x_1}{2Z_0}} - e^{\frac{3x_2}{2Z_0}} \right), C_y = 1 + \frac{2Z_0}{3nX_p} \left(2 - e^{\frac{3ny_1}{2Z_0}} - e^{\frac{3ny_2}{2Z_0}} \right) \cdots \cdots (6)$$

E' ：全面横圧縮ヤング係数（ $E' = 1/25E_0$ ）

n ：繊維方向に対する繊維直交方向の置換係数（ $n = 5$ ）

図9 鉄骨柱の軸力及び曲げモーメントの相関

図10(a) SFWせん断力負担状況

図10(b) WFWせん断力負担状況

図11 解析モデル図

表5 解析モデルの入力値

部材	要素タイプ	材質	弾性係数(N/mm ²)	ポアソン比	モデル名	配置位置	剛性入力値
柱	ビーム	SS400	2.05×10 ⁵	0.3	SFW	梁-パネル	5.5×10 ⁵
梁		SN490				柱-パネル	2.0×10 ⁵
木パネル	板要素 (直交異方性)	-	繊維方向 7.89×10 ³ 直交方向 7.00×10 ²	0.4	WFW	梁-パネル	2.2×10 ⁴
						柱-パネル	8.0×10 ³

図 12 解析結果(200kN 載荷時)

(2) 各種耐力

実験結果より得られた最大荷重時に木質パネルに作用する主応力度の等高線分布を図 15 にそれぞれ示す。本耐震壁に水平力が作用した時、木質パネルには圧縮ストラットが形成され、また鉄骨フレームを構成する柱部材には、それにつりあう引張力が作用する。木質パネルに形成される圧縮ストラット幅は、破壊性状より木質パネルの横圧縮力によるめり込み性状が支配的であった点から、応力を負担する面積をラミナ直交面の接合金物の面積と仮定し、この状態における降伏耐力は、ハンキンソン式によるラミナ材の積層方向となす角度から求められる圧縮強度 σ_{θ} より算出される。この推定値と実験結果を比較すると、SFW においては木質パネルの端部のめり込み応力度と鉄骨柱の降伏耐力がほぼ同時に生じており、また WFW については、木質パネルの端部のめり込み応力度と、それぞれ実験値がほぼ一致することが確認された。また終局耐力においては図 15 に示す通り、接合金物 I の端部を結んでできるストラット幅に対して、木質パネル中央付近にて SFW 試験体はストラット幅が減少する傾向を、WFW 試験体においては増加する傾向を示した。ハンキンソン式を用いて算出された木材の圧縮ストラットのなす角より求められる応力度を用いて、実験より得られた最大耐力時のストラットに作用する圧縮力を負担する断面積を求めた結果、この傾向と概ね一致することが確認された。

6. まとめ

スタックラミナパネルを用いた木・鋼ハイブリッド耐震壁の工法を提案し、各種実験結果と解析結果との比較を通して、初期剛性や各種耐力、および構造特性係数に関する設計に必要な基礎資料を得ることができた。

7. あとがき

本研究は東京電機大学と株式会社平成建設との共同研究で得られた成果に基づくものである。本工法開発および実験の実施に際し、法政大学網野昭信教授、逸見康彦氏、奥村賢史氏(株式会社平成建設)、岡部実氏(ベタリービングつくば試験センター) 深沢協三氏(中央技術研究所)、岡田賢氏(東京電機大学大学院生)にご助言・ご協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

図 13 耐荷機構図

図 14 実験結果と解析結果の比較

図 15 パネルの主応力度の等高線分布

参考文献

- 1) 社団法人日本鋼構造協会, 新しい建築空間 ハイブリッド構造の新展開 2009.4
- 2) 安村 基, スギを用いて製造したクロス・ラミネイティド・ティンバー (CLT) の強度性能 その 1~20, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp115, 2013.83)
- 3) 塩手 博道ら, 鉄骨フレーム組みと LVL パネルを用いたハイブリッド耐震システムの開発 その 1~3, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), pp129~132, 2013.9
- 4) 2007 年枠組壁工法建築物構造計算指針 日本ツバイロ建築協会 2007.10
- 5) 木質構造基礎理論 日本建築学会 2010

[2015 年 2 月 18 日原稿受理 2015 年 3 月 24 日採用決定]