木質接着パネル耐力壁における合板の層内せん断破壊に関する実験的研究

- 木質接着パネル構法における耐力壁のせん断挙動に関する研究 (第2報) -

AN EXPERIMENTAL STUDY ON ROLLING SHEAR DESTRUCTION OF BEARING WALL
BY WOODEN PANELS CONSTRUCTION

- A study on shearing behavior of bearing wall by wooden panels construction (Part 2) -

梶川 久光^{*1}, 三津橋 歩^{*2}, 小川 春彦^{*3}, 野口 弘行^{*4}

Hisamitsu KAJIKAWA, Ayumu MITSUHASHI, Haruhiko OGAWA

and Hiroyuki NOGUCHI

This study is an arrangement of structure behavior about rolling shear destruction(strength)of wooden panels construction experimentally. The purpose of this study is to define correlativity of plywood shear buckling and shear stress distribution by material experiment, experiment on pint-sized bearing wall, and experiment actual-size bearing wall model. Shearing test of pint-sized bearing wall model showed that shear stress distribution is inequality in the wake of buckling. And, it became clear experimentally that rolling shear bearing force by experiment on actual-size bearing wall is 0.87~1.11 times as low as by estimated equation of shear strength. There were defined correlation between shear buckling and shear stress as maximum bearing force by comparing shear stress as maximum bearing force with estimated equation of shear strength.

Keywords: *Wooden Panel Construction, Rolling Shear, Shear Stress Distribution, Shear Buckling, bearing wall*

木質接着パネル構法、層内せん断破壊、せん断応力度分布、せん断座屈、耐力壁

1. はじめに

本論文は、「木質接着パネル構法における耐力壁のせん断挙動に関する研究(第一報)」⁸⁾の続報である。第一報では、開口を有する実物大耐力壁のせん断実験を行い、さらに構造的条件を変化させ有限要素法解析を行うことにより、木質面材耐力壁のせん断耐力・剛性の評価法であるシーシングエリア係数法が、木質接着パネル構法の耐力壁に適用可能であることを確認した。その時、有限要素法解析により耐力壁における合板の層内せん断破壊を面内せん断応力度を調整することで表現し、層内せん断破壊の研究そのものは、課題として残した。本論文(第二報)は、第一報で課題となっていた「木質接着パネル耐力壁における合板の層内せん断(ローリングシヤー)破壊」について実験的に構造型態を整理したものである。

合板の層内せん断に関する研究においては、材料実験で大熊¹⁾の研究があり、実験的に層内せん断応力による破壊荷重を示している。又、木質構造設計規準・同解説²⁾においては、層内せん断における基準許容応力度を示しているが、接着充腹梁を想定しているだけである。同様に、木質構造限界状態設計指針(案)・同解説³⁾では、基準許容応力度、基準強度特性値を示しており、想定している状況は同じである。大熊の研究、木質構造設計規準・同解説、木質構造限界状態設計指針(案)・同解説の層内せん断における材料

強度は、ほぼ同じ値である。又、本論文におけるような、木質接着パネル耐力壁における合板の層内せん断破壊に関する研究においては、論文、文献等に殆ど発表されていないのが現状である。

本研究の問題点としては、第一として、「木質接着パネル耐力壁のように面内せん断力を受ける合板が、芯材との接着接合部において層内せん断を生じる場合、面内せん断と層内せん断を複合的に生じる。この状況下において、木質構造設計規準・同解説などに示されている純粋な層内せん断強度を用いて設計を行なうてよいのか」という問題と、第二として、「木質接着パネル耐力壁の合板は薄く、前述の状況に加え、せん断座屈を生じる。このような状況下においては、合板と芯材の接着接合部の層内せん断応力度分布においても、せん断座屈影響因子により複雑に変化していると考えられる。」という問題の2つがある。

研究の目的(進め方)としては、この2つの問題を明らかにしつつ、この問題が、木質接着パネル耐力壁のせん断耐力にどのような影響を与えているのかについて検証を行っていく。本論文(研究の第一歩)では、材料実験、小規模耐力壁モデルによるせん断実験、実物大耐力壁によるせん断実験を通して研究目的に沿った実験データの整理・検討を行ない、推定式の構築をする。

(尚、本論文の一部分は、参考文献4)~7)に発表している。)

*1 ㈱ミサワホーム総合研究所 工博
*2 ㈱ミサワホーム総合研究所 明治大学 工修
*3 ㈱ミサワホーム総合研究所 工修
*4 明治大学理工学部建築学科 教授・工博

MisawaHomes Institute of Research and Development Co., Ltd., Dr. Eng.
MisawaHomes Institute of Research and Development Co., Ltd., Meiji Univ., M. Eng.
MisawaHomes Institute of Research and Development Co., Ltd., M. Eng.
Prof., Dept. of Architecture School of Science Technology, Meiji Univ., Dr. Eng.

3. 小規模耐力壁モデルによるせん断実験

小規模耐力壁モデルによるせん断実験の試験装置及び加力方法の概要を図4に、実験概要を図5に示す。

図4 試験装置及び加力方法の概要

図5 実験概要

3.1 試験体

試験体及び試験体名の設定を図6に示す。

15V11-4.0-5.5-1

①接着幅 (b)	②合板表層の繊維方向	③パネル寸法 (L1×L2)	④合板厚 (t) [表-裏]	⑤試験体番号 (No.)
10:10mm	V: 加力に対して直交	11: 455mm×455mm	4.0-0.0: 4.0mm-0.0mm (片面)	1~4
15:15mm	H: 加力に対して平行	22: 682.5mm×682.5mm	5.5-0.0: 5.5mm-0.0mm (片面)	
20:20mm		33: 910mm×910mm	9.0-0.0: 9.0mm-0.0mm (片面)	
30:30mm		13: 455mm×910mm	4.0-4.0: 4.0mm-4.0mm	
45:45mm		31: 910mm×455mm	4.0-5.5: 4.0mm-5.5mm	
			5.5-5.5: 5.5mm-5.5mm	
			7.5-7.5: 7.5mm-7.5mm	
			9.0-9.0: 9.0mm-9.0mm	
			12-12: 12.0mm-12.0mm	

図6 試験体および試験体名

試験体は、木質接着複合パネル (合板 JAS 構造用合板 1 級、芯材 JAS 針葉樹構造用製材の甲種構造材 2 級 (スプルー) を接着

接合) の上下に土台及び桁 (JAS 構造用集成材、同一等級構成集成材 E95-F315) を取り付けて構成した。接合には、接着剤及びスクリュー釘を併用して接合した。土台には、縦芯材のめり込みを防止するためにめり込み防止用鉄板を配置した。

試験体名は、①合板と芯材の接着幅 (b) を 10mm~45mm の 5 種類、②合板表層の繊維方向を加力に対して直交方向 (V)、水平方向 (H) の 2 種類、③パネル寸法 (L1×L2) を 455 × 455mm ~ 910 × 910mm の 5 種類④表裏の合板厚 (t) を 4.0、5.5、7.5、9.0、12.0mm の 5 種類を組み合わせにより 9 種類変化させて設定した。試験体は、上記パラメータを変化させた合計 83 体である。

試験体は、反力床に設置した鉄骨架台とボルト (SS400、M12) により緊結し、土台両端でストッパーを用いて水平方向に固定した。又、試験体を面外方向に固定するために、振れ止めを反力床より設置し、ローラーを介して取り付けた。試験装置には、タイロッドを設置しており、試験体の浮き上がりを拘束している。

3.2 実験方法

加力は、図4に示すように反力壁に設置した油圧ジャッキにより、加力治具 (上下方向ローラー) を介して行った。加力は引張り方向加力 (ジャッキを引く方向) を正とし、静的単調加力を行った。(同一仕様試験体が 2 体以上ある場合については、もう一体については見かけのせん断変形角で制御し、正負繰り返し ($\pm 1/600[\text{rad}]$ 、 $\pm 1/450[\text{rad}]$ 、 $\pm 1/300[\text{rad}]$ 、 $\pm 1/200[\text{rad}]$ 、 $\pm 1/150[\text{rad}]$ 、 $\pm 1/100[\text{rad}]$ 、 δ_{max}) 加力を行った。)

測定方法を図7に示す。水平荷重は、油圧ジャッキ先端に取り付けた 200kN 用ロードセルによって測定した。変位量の測定は、変位計を水平方向、鉛直方向及び合板の面外方向の各点に配置して計測を行った。合板の面外方向の計測は土台及び桁からの相対変位を計測した。又、合板と芯材のずれは、芯材からの相対変位を計測した (図5 参照)。面材の面内せん断歪みは、歪みゲージを合板各所に配置して測定した。

図7 測定方法

3.3 実験結果

各試験体の実験結果を表4に示す。内容は、最大荷重時の破壊性状、最大荷重、最大荷重 (最大せん断力) を接着面積で除した値 (以下、「最大層内せん断応力度平均」)、合板の層内せん断強度に対する比、面内せん断歪み分布比、設計指針の基準特性値 1.4 に接着面積を乗じて算出したせん断耐力である。又、せん断座屈の理論式 (A 参照) における座屈荷重の影響因子についても併せて示す。検討は後述する。尚、最大層内せん断応力度平均は、最大荷重 (両面貼りの場合は合板厚の比率により表面と裏面に分配した荷重) を下芯材と合板の接着面積 (接着幅 (b) × 区画幅 (L2+2b)) で除した値とした。

【破壊性状】

小規模耐力壁モデルによるせん断実験の破壊性状を図 8 に示す。小規模耐力壁モデル実験では、層内せん断破壊と面内せん断破壊の 2 種類の破壊によりせん断耐力が大きく低下することが確認された。いずれの試験体においても、初期より合板がせん断座屈により面外方向に変形しつつせん断変形が進んで行き、最終的にこの 2 種類の破壊のいずれかが生じ、荷重が大きく低下した。合板厚が薄くパネル寸法が比較的大きいモデルは、せん断座屈の進行により、合板が局部的に折れ曲がるような損傷を受けたが、この破壊性状による大きな荷重低下は生じなかった。

合板の層内せん断破壊

合板の面内せん断破壊

合板のせん断座屈

図 8 破壊性状

図 9 に破壊性状と接着幅及び合板厚の関係を示す。合板厚が薄く、接着幅が大きい場合には面内せん断破壊が発生しやすく、合板厚が厚く、接着幅が小さい場合には層内せん断破壊が発生しやすい傾向が見られた。2 種類の破壊性状の境界は、合板の層内せん断強度、面内せん断強度、又、面内・層内せん断応力度分布等により決定すると考えられる。本研究がもう少し進めば、境界線についても示すことが出来るであろう。本論文においてはこれらの中で層内せん断破壊したものについて検証を進めていく。

図 9 破壊性状と接着幅及び合板厚の関係

【荷重-変位関係】

層内せん断破壊した試験体の荷重-変位関係を 30V33-4.0-4.0-1 を例に図 10 に示す。せん断力を受ける小規模耐力壁モデルの変形

性状は、一般的な 4 辺単純支持の薄板のせん断挙動と同様に一方の対角が圧縮となり、もう一方の対角が引張となることによりせん断座屈を生じている。せん断座屈によりパネル中央部の面外変位は、層内せん断破壊まで漸増する。最大荷重時において、層内せん断破壊を生じ、荷重が急激に低下した。他の試験体においても同様の傾向となった。

図 10 荷重-変位関係 (30V33-4.0-4.0-1)

【合板の面内せん断歪み分布及び面外変形】

試験体 30V33-4.0-4.0-1 のせん断変形角 $1/200[\text{rad}]$ 時及び最大荷重時における合板と芯材の接着接合近傍の面内せん断歪み分布を図 11 に、面外方向の変形を図 12 に示す。図 11 中の破線は合板と芯材の接着接合近傍の面内せん断歪みの平均値を示している。

合板と芯材の接着接合近傍のせん断歪み分布は、合板のせん断座屈により不均一となっている。せん断変形角 $1/200[\text{rad}]$ 時では、合板と芯材の接着接合近傍の面内せん断歪みの最大値に対する平均値の比 (以降「面内せん断歪み分布比」) が 0.70 であるが、最大荷重時 (せん断変形角 $1/68.5[\text{rad}]$) では、合板のせん断座屈に伴い、面内せん断歪み分布比が 0.45 と偏りが非常に大きくなっている。面内せん断力により層内せん断力が生じていることを考えると、層内せん断応力度分布においても、面内せん断歪み分布とほぼ同様の分布形状となっていると考えられる。

図 11 面内せん断歪み分布 (30V33-4.0-4.0-1): $[\times 10^{-6}]$

図 12 面外変形 (30V33-4.0-4.0-1):単位 [mm]

表 4 実験結果一覧

試験体名	No	パネル寸法 (L1×L2) [mm]	接着幅 (b) [mm]	合板厚 (表・裏) [mm]	繊維方向	横芯材寸法 [mm]	縦芯材寸法 [mm]	最大荷重時の破壊性状	最大荷重 [kN]	最大層内せん断応力度平均[N/mm ²] ^{※注2}		面内せん断歪み分布比 ^{※注3} 1/(max./ave.)	設計基準のせん断耐力[kN] (Fr=1.4[N/mm ²])	$k \times \left(\frac{t}{\min(L1, L2)} \right)^2$
										表面	裏面			
10V11-4.0-0.0	1	455 × 455	10	4.0-0.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	11.37	2.50(-)	-	-	6.37	0.00072
10V11-4.0-4.0	1			4.0-4.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	16.86	1.85(-)	1.85(-)	0.74	12.74	0.00072
10V11-5.5-5.5	1			5.5-5.5	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	25.89	2.85(-)	2.85(-)	0.76	12.74	0.00137
15V11-4.0-0.0	1			4.0-0.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	12.45	1.82(0.78)	-	0.63	9.56	0.00072
15V11-5.5-0.0	1			5.5-0.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	18.73	2.74(1.17)	-	0.85	9.56	0.00137
15V11-9.0-0.0	1			9.0-0.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	22.55	3.30(-)	-	0.75	9.56	0.00366
15V11-4.0-4.0	1			4.0-4.0	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	24.61	1.80(0.77)	1.80(0.77)	-	19.11	0.00072
15V11-4.0-4.0	2			4.0-4.0	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	22.55	1.65(0.70)	1.65(0.70)	-	19.11	0.00072
15V11-4.0-4.0	3			4.0-4.0	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	24.02	1.76(0.75)	1.76(0.75)	-	19.11	0.00072
15V11-4.0-4.0	4			4.0-4.0	鉛直	30×80	30×80	面内せん断破壊	25.69	-	-	-	-	-
15V11-4.0-5.5	1			4.0-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	24.81	1.53(0.65)	2.10(0.90)	-	16.50	0.00072
15V11-4.0-5.5	2			4.0-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	23.14	1.43(0.61)	1.96(0.84)	-	16.50	0.00072
15V11-4.0-5.5	3			4.0-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	26.87	1.66(0.71)	2.28(0.97)	-	16.50	0.00072
15V11-5.5-5.5	1			5.5-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	26.77	1.96(0.84)	1.96(0.84)	-	19.11	0.00137
15V11-5.5-5.5	2			5.5-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	24.51	1.80(0.77)	1.80(0.77)	-	19.11	0.00137
15V11-5.5-5.5	3			5.5-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	28.14	2.06(0.88)	2.06(0.88)	-	19.11	0.00137
15V11-5.5-5.5	4			5.5-5.5	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	34.12	2.50(1.07)	2.50(1.07)	0.65	19.11	0.00137
15V11-7.5-7.5	1			7.5-7.5	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	30.00	2.20(-)	2.20(-)	0.88	19.11	0.00254
15V11-9.0-9.0	1			9.0-9.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	40.01	2.93(-)	2.93(-)	0.73	19.11	0.00366
15V11-12-12	1			12.0-12.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	41.48	3.04(-)	3.04(-)	0.74	19.11	0.00650
20V11-5.5-0.0	1		20	5.5-0.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	20.30	2.23(-)	-	0.59	12.74	0.00137
20V11-4.0-4.0	1			4.0-4.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	27.16	1.49(-)	1.49(-)	-	25.48	0.00072
20V11-5.5-5.5	1			5.5-5.5	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	37.17	2.04(-)	2.04(-)	0.64	25.48	0.00137
30V11-4.0-0.0	1		30	4.0-0.0	鉛直	45×80	45×80	面内せん断破壊	14.12	-	-	-	-	-
30V11-5.5-0.0	1			5.5-0.0	鉛直	45×80	45×80	面内せん断破壊	17.55	-	-	-	-	-
30V11-9.0-0.0	1			9.0-0.0	鉛直	45×80	45×80	層内せん断破壊	25.59	1.87(-)	-	0.67	19.11	0.00366
30V11-4.0-4.0	1			4.0-4.0	鉛直	30×80	45×80	面内せん断破壊	27.06	-	-	-	-	-
30V11-4.0-4.0	2			4.0-4.0	鉛直	30×80	45×80	層内せん断破壊	30.20	1.11(0.59)	1.11(0.59)	-	38.22	0.00072
30H11-4.0-4.0	1			4.0-4.0	水平	30×80	45×80	面内せん断破壊	25.00	-	-	-	-	-
30V11-4.0-5.5	1			4.0-5.5	鉛直	30×80	45×80	層内せん断破壊	32.26	1.00(0.53)	1.37(0.55)	-	33.01	0.00072
30V11-4.0-5.5	2			4.0-5.5	鉛直	30×80	45×80	層内せん断破壊	30.89	0.95(0.51)	1.31(0.53)	-	33.01	0.00072
30H11-4.0-5.5	1			4.0-5.5	水平	30×80	45×80	面内せん断破壊	32.85	-	-	-	-	-
30V11-5.5-5.5	2			5.5-5.5	鉛直	30×80	45×80	面内せん断破壊	32.26	-	-	-	-	-
30V11-5.5-5.5	3			5.5-5.5	鉛直	45×80	45×80	面内せん断破壊	34.22	-	-	-	-	-
30H11-5.5-5.5	1			5.5-5.5	水平	30×80	45×80	面内せん断破壊	37.95	-	-	-	-	-
30V11-7.5-7.5	1			7.5-7.5	鉛直	45×80	45×80	層内せん断破壊	44.71	1.64(-)	1.64(-)	-	38.22	0.00254
30V11-12-12	1			12.0-12.0	鉛直	45×80	45×80	層内せん断破壊	48.93	1.79(-)	1.79(-)	0.81	38.22	0.00650
45V11-9.0-0.0	1		45	9.0-0.0	鉛直	45×80	45×80	面内せん断破壊	32.85	-	-	-	-	-
45V11-5.5-5.5	1			5.5-5.5	鉛直	45×80	45×80	面内せん断破壊	34.81	-	-	-	-	-
45V11-7.5-7.5	1			7.5-7.5	鉛直	45×80	45×80	層内せん断破壊	52.07	1.27(-)	1.27(-)	0.75	57.33	0.00254
45V11-12-12	1			12.0-12.0	鉛直	45×80	45×80	層内せん断破壊	55.99	1.37(-)	1.37(-)	0.86	57.33	0.00650
15V22-4.0-4.0	1	682.5 × 682.5	15	4.0-4.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	29.22	1.43(0.61)	1.43(0.61)	-	28.67	0.00032
15V22-5.5-5.5	1			5.5-5.5	鉛直	30×80	30×80	面内せん断破壊	41.28	-	-	-	-	-
30V22-4.0-4.0	1		30	4.0-4.0	鉛直	45×80	45×80	層内せん断破壊	31.87	0.78(0.41)	0.78(0.41)	0.57	57.33	0.00032
30V22-5.5-5.5	1			5.5-5.5	鉛直	45×80	45×80	面内せん断破壊	35.01	-	-	-	-	-
15V33-4.0-4.0	1		15	4.0-4.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	24.81	0.91(0.39)	0.91(0.39)	0.62	38.22	0.00018
15V33-5.5-5.5	1			5.5-5.5	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	30.79	1.13(0.48)	1.13(0.48)	0.55	38.22	0.00034
30V33-9.0-0.0	1		30	9.0-0.0	鉛直	45×80	45×80	層内せん断破壊	38.14	1.40(-)	-	0.55	38.22	0.00091
30V33-4.0-4.0	1			4.0-4.0	鉛直	45×80	45×80	層内せん断破壊	35.99	0.66(0.35)	0.66(0.35)	0.45	76.44	0.00018
30V33-5.5-5.5	1			5.5-5.5	鉛直	45×80	45×80	層内せん断破壊	43.93	0.80(0.33)	0.80(0.33)	-	76.44	0.00034
30V33-9.0-9.0	1			9.0-9.0	鉛直	45×80	45×80	層内せん断破壊	80.90	1.48(-)	1.48(-)	0.68	76.44	0.00091
15V13-5.5-0.0	1		455 × 910	5.5-0.0	鉛直	30×80	30×80	面内せん断破壊	40.20	-	-	-	-	-
15V13-9.0-0.0	1			9.0-0.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	44.81	3.28(-)	-	0.76	19.11	0.00248
15V13-4.0-4.0	1			4.0-4.0	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	28.53	1.05(0.44)	1.05(0.44)	-	38.22	0.00049
15V13-4.0-4.0	2			4.0-4.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	40.50	1.48(0.63)	1.48(0.63)	0.62	38.22	0.00049
15H13-4.0-4.0	1			4.0-4.0	水平	30×80	30×80	層内せん断破壊	35.50	1.30(0.63)	1.30(0.63)	0.72	38.22	0.00049
15V13-4.0-5.5	1			4.0-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	33.34	1.03(0.44)	1.41(0.60)	-	33.01	0.00049
15V13-5.5-5.5	1			5.5-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	36.67	1.34(0.57)	1.34(0.57)	-	38.22	0.00093
15H13-5.5-5.5	1			5.5-5.5	水平	30×80	30×80	層内せん断破壊	59.92	2.19(0.77)	2.19(0.77)	0.59	38.22	0.00093
15V13-9.0-9.0	1			9.0-9.0	鉛直	30×80	30×80	層内せん断破壊	80.22	2.94(-)	2.94(-)	0.78	38.22	0.00248
30V13-9.0-0.0	1		30	9.0-0.0	鉛直	45×80	45×80	層内せん断破壊	46.77	1.71(-)	-	0.72	38.22	0.00248
30V13-4.0-4.0	1			4.0-4.0	鉛直	45×80	45×80	面内せん断破壊	42.26	-	-	-	-	-
30H13-4.0-4.0	1			4.0-4.0	水平	30×80	45×80	面内せん断破壊	48.54	-	-	-	-	-
30H13-4.0-4.0	2			4.0-4.0	水平	45×80	45×80	層内せん断破壊	49.62	0.91(0.59)	0.91(0.59)	0.55	76.44	0.00049
30H13-4.0-5.5	1			4.0-5.5	水平	30×80	45×80	面内せん断破壊	55.60	-	-	-	-	-
30H13-5.5-5.5	1			5.5-5.5	水平	30×80	45×80	層内せん断破壊	61.58	1.13(0.47)	1.13(0.47)	-	76.44	0.00093
30H13-5.5-5.5	2			5.5-5.5	水平	45×80	45×80	層内せん断破壊	54.72	1.00(0.42)	1.00(0.42)	0.68	76.44	0.00093
30V13-9.0-9.0	1			9.0-9.0	鉛直	45×80	45×80	層内せん断破壊	86.69	1.59(-)	1.59(-)	0.65	76.44	0.00248
45V13-9.0-0.0	1		45	9.0-0.0	鉛直	45×80	45×80	面内せん断破壊	46.97	-	-	-	-	-
45V13-9.0-9.0	1			9.0-9.0	鉛直	45×80	45×80	面内せん断破壊	96.01	-	-	-	-	-
15V31-4.0-4.0	1	910 × 455	15	4.0-4.0	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	16.96	1.24(0.53)	1.24(0.53)	-	19.11	0.00049
15V31-4.0-4.0	2			4.0-4.0	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	21.08	1.54(0.66)	1.54(0.66)	-	19.11	0.00049
15V31-4.0-4.0	3			4.0-4.0	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	19.02	1.39(0.59)	1.39(0.59)	-	19.11	0.00049
15V31-4.0-5.5	1			4.0-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	22.65	1.40(0.59)	1.92(0.82)	-	16.50	0.00049
15V31-4.0-5.5	2			4.0-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	18.04	1.11(0.47)	1.53(0.65)	-	16.50	0.00049
15V31-4.0-5.5	3			4.0-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	22.06	1.36(0.58)	1.87(0.80)	-	16.50	0.00049
15V31-5.5-5.5	1			5.5-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	24.81	1.82(0.78)	1.82(0.78)	-	19.11	0.00093
15V31-5.5-5.5	2	5.5-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	23.14	1.70(0.72)	1.70(0.72)	-	19.11	0.00093		
15V31-5.5-5.5	3	5.5-5.5	鉛直	15×80	45×80	層内せん断破壊	21.67	1.59(0.68)	1.59(0.68)	-	19.11	0.00093		
30H31-4.0-4.0	1	30	4.0-4.0	水平	30×80	45×80	層内せん断破壊	19.41	0.71(0.46)	0.71(0.46)	-	38.22	0.00049	
30V31-4.0-5.5	1		4.0-5.5	鉛直	30×80	45×80	層内せん断破壊	24.02	0.74(0.39)	1.02(0.41)	-	33.01	0.00049	
30H31-4.														

【面内せん断歪み分布比】

図 13 は、試験体 30V33-4.0-4.0-1 のパネル中央部の面外変位と面内せん断歪み分布比の推移を示したものである。又、最大層内せん断応力度平均と合板の層内せん断強度 (合板厚 4.0mm 接着幅 28mm) の比を图中×印で併せて示す。図 13 より、面内せん断歪み分布比は、せん断座屈が大きくなるにつれて小さくなっている。又、面内せん断歪み分布比は、せん断座屈が大きくなるにつれて最大層内せん断応力度平均と合板の層内せん断強度の比 0.35 に近い値となっている。このことにより合板と芯材の接着接合部の層内せん断応力度分布は、合板と芯材の接着接合部近傍の面内せん断歪み分布と同様の分布形状を示していると推測する。

図 14 に、「最大荷重時の面内せん断歪み分布比」と「最大層内せん断応力度平均と合板の層内せん断強度の比」の関係を示す。図 14 より、「最大荷重時の面内せん断歪み分布比」と「最大層内せん断応力度平均と合板の層内せん断強度の比」は比例関係を示しており、接着接合部近傍の面内せん断応力度分布と層内せん断応力度分布は同様な分布形状を示していると推測する。実証については、有限要素法での解析により続報で行う予定である。

図 13 「面外変位」と「面内せん断歪み分布比」の関係 (30V33-4.0-4.0-1)

図 14 「最大荷重時の面内せん断歪み分布比」と「最大層内せん断応力度平均と合板の層内せん断強度の比」の関係

【最大層内せん断応力度平均と接着幅との関係】

図 15 に最大層内せん断応力度平均と接着幅の関係を示す。図 15 より、接着幅が大きくなると最大層内せん断応力度平均は小さくなっている。これは、接着幅方向の接着接合部の層内せん断応力度分布が、不均一になっており、接着幅が大きくなるとその影響も大きく現れていると推測される。

図 15 最大層内せん断応力度平均と接着幅の関係

4. 木質接着パネル耐力壁における合板が層内せん断破壊した場合のせん断耐力推定式

これまで進めてきた検証等により、せん断座屈により木質接着パネル耐力壁の合板と芯材の接着接合部分の層内せん断応力度分布が不均一となっていることが推測される。そこで、最大層内せん断応力度平均と座屈影響因子との相関関係を検証しその関係式を求める。尚、座屈影響因子 (せん断座屈に影響を与える因子) は、付録 A に示したせん断座屈荷重の理論式より、本論文の範囲では合板のヤング係数・ポアソン比は一定であると仮定し $k \cdot (t/\min(L1, L2))^2$ とした。

図 16、図 17 に層内せん断破壊した試験体 (表 4 参照) の最大層内せん断応力度平均と座屈影響因子 ($k \times (t/\min(L1, L2))^2$) の関係を接着幅ごとに示す。又、合板の層内せん断強度 (表 2、接着幅ごとの平均値) 及び対数近似曲線を併せて示す。

図 16 最大層内せん断応力度平均と座屈影響因子との関係 (接着幅 15mm)

図 17 最大層内せん断応力度平均と座屈影響因子との関係 (接着幅 30mm)

座屈影響因子と最大層内せん断応力度平均には相関関係があり、せん断座屈が生じにくくなる(座屈影響因子が大きくなる)につれて最大層内せん断応力度平均は対数曲線的に大きくなっている。せん断座屈が生じやすい(座屈影響因子が小さい)と合板と芯材の接着接合部のせん断応力度分布に偏りが生じ、座屈影響因子が0.001以下の場合、最大層内せん断応力度平均は、接着幅15mmで0.91~2.19[N/mm²]、接着幅30mmで0.66~1.48[N/mm²]となっており、合板の層内せん断強度と比較すると小さな値となっている。

小規模耐力壁モデルによる実験結果を検証し、木質接着パネル耐力壁のせん断座屈を考慮したせん断耐力推定式として、最大層内せん断応力度平均と座屈影響因子の対数近似関係を、接着幅毎(15mm、30mm)に式(1)~(3)に示す。

$$Q_a = f_{sr} \times A \quad (1)$$

$$\begin{cases} \text{接着幅 15mm の場合 } (f_{sr} = 2.46 \text{ を上限とする}) \\ f_{sr} = 0.7763 \log x + 7.2854 \\ \text{接着幅 30mm の場合 } (f_{sr} = 1.97 \text{ を上限とする}) \\ f_{sr} = 0.3950 \log x + 3.9437 \end{cases} \quad (2)$$

$$x = k \cdot \left(\frac{t}{L_2} \right)^2 : \text{但し } k = 5.35 + 4(L_2/L_1)^2 \quad (3)$$

記号

Q_a : せん断耐力 [N]

A : 合板と芯材の接着面積 [mm²]

f_{sr} : 最大層内せん断応力度平均 [N/mm²]

x : 座屈影響因子

k : 荷重・支持条件による座屈係数 (四辺単純支持)

L_1, L_2 : パネル寸法 (長方形板の一辺の長さ)[mm]

$L_1 > L_2$

t : 合板厚 [mm]

5. 実物大耐力壁のせん断実験⁸⁾によるせん断耐力推定式の検証

5.1 実験概要及び試験体

本実験は耐力壁の力学的性状を解明する為及び実大建物と単体壁の相関性を検証する為に独立法人森林総合研究所実験棟において計17体⁹⁾、明治大学理工学部構造物試験棟において計10体¹⁰⁾の合計27体行われた。加力方法としては正負交番繰返し載荷と単調載荷の2種類の静的加力とし、壁面の見掛けのせん断変形角により制御し、破壊に至るまで行った。測定は「変位計・歪みゲージ・ロードセル」を用い、各点を測定した。

試験体は「壁長(柱芯間1,820mm~7,280mm)・壁高(パネル高1,820mm~3,640mm)・開口面積」を変化させた合計24種類27体とした。試験体名の設定は図19に示すとおりである。

図18 実験概要図 (OR8-2W2W-RD)

OR6H-2W 2D-RD

①壁長	②壁高	③開口幅	④開口形状	⑤加力方法
OR8 7,280mm	特記なし 2,578mm	1 1モジュール	M 無開口	RD 繰返し載荷
OR6 5,460mm	L 1,820mm	?	W 窓型開口	SD 単調載荷
OR4 3,640mm	H 3,640mm	8 8モジュール	D ドア型開口	
OR2 1,820mm				

※1モジュール=910mm

図19 試験体名の設定

5.2 実物大耐力壁のせん断実験結果とせん断耐力推定式の比較

実験結果として、各試験体の破壊性状、破壊荷重、破壊荷重時のせん断力を接着面積で除した値(以下、「最大層内せん断応力度平均」)を表5を示す。尚、最大層内せん断応力度平均は、破壊荷重を木質接着パネルの合板継ぎ目部分の合板と芯材の接着面積で除して算出した(合板厚の比率により表面と裏面に分配した荷重とし、垂れ壁・腰壁は除いて計算している、図20参照)。又、表5は、全試験体の中で図20に示した合板継ぎ目部分で合板が層内せん断破壊した試験体にて検証を行った。

表5より、最大層内せん断応力度平均は、表面(合板厚4.0mm)で1.18~1.51N/mm²、裏面(合板厚5.5mm)で1.62~2.08N/mm²となった。せん断耐力推定式から算出した最大層内せん断応力度平均は、表面で1.32N/mm²、裏面で1.81N/mm²となり、実大耐力壁実験結果に近い値を示した。

表5中の()内の数値(注1参照)は、実大耐力壁実験結果の最大層内せん断応力度平均に対する、せん断耐力推定式(式(1)~(3))から算出した最大層内せん断応力度平均の比である。実大耐力壁実験結果に対する比は、0.87~1.11(平均1.06)となっている。又、開口の有無による違いは、無開口の場合1.10~1.11、ドア型及び窓型開口の場合0.87~1.11であり、開口の有無による違いは無かった。

このことより、実物大耐力壁によるせん断実験においても、せん断耐力推定式を用いて木質接着パネル耐力壁のせん断座屈を考慮したせん断耐力(層内せん断破壊)を表現することができた。

図20 せん断応力度負担面積

表5 実験結果一覧

試験体名	破壊性状	破壊荷重 [kN]	最大層内せん断応力度平均 [N/mm ²] ^{※1)}	
			表面(4.0mm)	裏面(5.5mm)
OR8-M-RD	層内せん断破壊	306.4	1.18(1.11)	1.62(1.11)
OR8-4W2D-RD	層内せん断破壊	58.5	1.20(1.09)	1.65(1.09)
OR6-M-RD	層内せん断破壊	233.2	1.20(1.10)	1.65(1.10)
OR6-4W-RD	層内せん断破壊	76.7	1.18(1.11)	1.63(1.11)
OR6-2W2D-RD	層内せん断破壊	73.6	1.51(0.87)	2.08(0.87)

注1: 破壊性状が層内せん断破壊の試験体のみ記載。()内の数値は実大耐力壁実験結果に対するせん断耐力推定式の最大層内せん断応力度平均の比

6. まとめ

本研究における合板の層内せん断を誘発する接着せん断実験、小規模耐力壁モデルによるせん断実験、実物大耐力壁によるせん断実験結果において検証した内容をまとめると以下のようになる。

①合板の層内せん断を誘発する接着せん断実験における層内せん断強度（面内せん断により層内せん断を生じる場合）は、平均で $1.55 \sim 2.84 [\text{N}/\text{mm}^2]$ となり純粋な層内せん断強度 $1.18 \sim 1.45 [\text{N}/\text{mm}^2]$ と比較すると若干大きい値となっている。本論文の研究範囲においては、面内せん断の層内せん断強度に与える影響は小さいと考えられる。

②合板と芯材の接着接合近傍の面内せん断歪み（応力度）分布は、合板のせん断座屈により、不均一となっていることが実験的に確認された。せん断変形角 $1/200 [\text{rad}]$ 時では、面内せん断歪み分布比が 0.70 に対し、最大荷重時では、合板のせん断座屈に伴い、面内せん断歪み分布比が 0.45 と偏りが非常に大きくなった。

③座屈影響因子と最大層内せん断応力度平均には相関関係があることが確認された。又、木質接着パネル耐力壁のせん断座屈を考慮したせん断耐力推定式として、最大層内せん断応力度平均と座屈影響因子の対数近似関係を、接着幅毎（ 15mm 、 30mm ）に式に示すことができた。実物大耐力壁による実験値と、せん断耐力推定式によるせん断耐力を比較したところ、その比は、 $0.87 \sim 1.11$ （平均 1.06 ）となり、非常によく一致し、せん断耐力推定式の実物大耐力壁の適用性を確認できた。

今後の課題

①木質接着パネル耐力壁における合板の面内せん断の層内せん断強度への影響に関する研究。

②木質接着パネル耐力壁における合板と芯材の接着接合部の層内せん断応力度分布について、有限要素法解析によりその性状を明らかにし、せん断耐力推定式の理論化を行う。

謝辞 本研究の実施にあたり、明治大学理工学部建築学科野口研究室の皆様、特に林明範氏には多大な協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 大熊幹章:合板の機械的性質に関する研究（第3報）合板表面に平行な面内に働くせん断に対する強さ（ローリングシアアおよびホリゾンタルシアア）、木材学会誌, Vol.12, No2, pp.71-74, 1966
- 2) 木質構造設計規準・同解説—許容応力度・許容耐力設計法—, 日本建築学会, 2002
- 3) 木質構造限界状態設計指針（案）・同解説, 日本建築学会, 2003
- 4) 林明範, 野口弘行, 梶川久光, 三津橋歩, 小川春彦:木質接着パネル構法耐力壁の破壊機構に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.469-470, 2004
- 5) 林明範, 野口弘行, 梶川久光, 三津橋歩:合板の座屈・ローリングシアアを考慮した木質接着パネルの耐力性状に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.381-382, 2005
- 6) 野口弘行, 梶川久光, 三津橋歩, 小川春彦:面内せん断力を受ける小規模木質接着パネル耐力壁の合板座屈挙動及びせん断応力度分布 その1 実験の概要及び結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.205-206, 2006
- 7) 小川春彦, 野口弘行, 梶川久光, 三津橋歩:面内せん断力を受ける小規模木質接着パネル耐力壁の合板座屈挙動及びせん断応力度分布 その2 実験結果の考察及び検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.207-208, 2006
- 8) 梶川久光, 野口弘行, 神谷文夫, 平田俊次, 小川春彦:開口を有する木質接着パネル耐力壁における杉山らのシーシングエリア係数法の適用に関する検証【木質接着パネル構法における耐力壁のせん断挙動に関する研究（第1報）】, 日本建築学会構造系論文集, pp.99-107, 2005.5
- 9) 神谷文夫, 杉本健一, 三井信宏, 平田俊次, 老岐俊英, 梶川久光:面材接着耐力壁のせん断耐力に及ぼす壁長さ, 壁高さ, 開口率の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.387-388, 2001.9
- 10) 福岡崇博, 梶川久光, 野口弘行:木質接着パネル構法による開口を有する耐力壁のせん断挙動に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.323-324, 2002.8
- 11) Timoshenko, S.P. and Gere, J.M.: Theory of Elastic Stability, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd, Tokyo, 1961

A 板要素のせん断座屈応力度

周辺が支持された板要素の座屈応力度（面内せん断応力度） τ_{cr} は、レーリー-リッツの方法を使った近似式（4）で表される¹¹⁾。ここで、 k は座屈係数を示し、4 辺が単純支持の場合、辺長比（ b/a ）本論分では $L1/L2$ もしくは $L2/L1$ ）を用いて式（5）で表される。

$$\tau_{cr} = k \cdot \frac{\pi^2 E}{12(1-\nu^2)} \left(\frac{t}{b} \right)^2 \quad (4)$$

$$k = 5.35 + 4(b/a)^2 : \text{但し } a > b \quad (5)$$

（ E ：ヤング係数， ν ：ポアソン比）

（2006年10月2日原稿受理，2007年4月19日採用決定）