使用済み型枠用合板を活用した再生合板の開発^{*1}

古田直之^{*2}, 橋本裕之^{*2}, 平林 靖^{*2}, 平井卓郎^{*3}

Development of Reconstituted Plywood Using Waste Concrete Form Plywood^{*1}

Naoyuki FURUTA^{*2}, Hiroyuki HASHIMOTO^{*2}
Yasushi HIRABAYASHI^{*2} and Takuro HIRAI^{*3}

In order to reuse waste concrete form plywood effectively, we developed a way of reconstituting the waste plywood by reinforcing it with new veneers at both surfaces. We first prepared the core plywood by sanding, trimming and end or side jointing the waste plywood, and then reinforced it with new veneers at its face and back. We estimated the practical performance of the core plywood and the reconstituted plywood according to the standard testing methods. The core plywood, which consisted of waste plywood pieces joined together, did not have enough bending properties. The reinforcement with new veneers at the face and back of the core plywood, however, successfully improved the properties of the resultant reconstituted plywood, which satisfied the requirements for concrete form plywood. The adhesive properties between the core plywood and the surface veneers with a water-based polymer-isocyanate adhesive satisfied the Japanese Agricultural Standard for type-I plywood. The yield of reconstituted plywood was greatly influenced by the size of the waste plywood, and amounted to 39.6 to 50.0% of the collected waste plywood.

Keywords : concrete form plywood, reconstitution, bending property, butt joint, scarf joint.

使用済み型枠用合板（以下、使用済み合板）をチップ化することなく、合板の心板として再利用することを検討するため、これらの合板を研削して接合し、表裏面に新たな単板を接着することによる再生合板を試作し、各種性能を評価した。使用済み合板の接合のみでは、十分な曲げ性能が得られなかったが、表裏面に単板を接着することで、大きな補強効果が得られ、型枠用合板として十分な曲げ性能を満たした。水性高分子・イソシアネート系接着剤による心板と表裏単板の間の接着性能は、合板のJASに規定される1類の基準を満たした。実大サイズにおける再生合板の製造歩留まりは、使用済み合板入手時の寸法に大きく左右され、平均値で39.6～50.0%となった。

1. 緒 言

近年の環境問題に対する意識の高まりの中で、廃木材の再利用に対する社会的要請が強まっており、再利用用途の拡大が望まれている。使用済み型枠用合板（以下、使用済み合板）は、合板表面に異物が付着していることや破砕してもチップの品質が悪いこと等から、パーティクルボード原料の一部として利用¹⁾されているものの、現状ではその多くが燃料利用されているに過ぎない。使用済み合板の再利用

^{*1} Received November 20, 2009; accepted June 4, 2010. 本研究の一部は日本建築学会大会（2007年8月、九州）および日本建築学会大会（2008年9月、中国）において発表した。

^{*2} 地方独立行政法人北海道立総合研究機構林産試験場 Hokkaido Research Organization Forest Products Research Institute, Asahikawa 071-0198, Japan

^{*3} 北海道大学大学院農学研究院 Research Faculty of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060-8589, Japan

に関しては、セメントボードへの利用²⁾、炭化物を利用した吸着剤としての利用³⁾などが検討されているが、これらをチップ化することなく木質材料として再利用しようとする試みは見られない。また、廃木材の再利用に関しては、建築解体木材を縦接合⁴⁾や集成化⁵⁾することにより、軸材料として再構成⁶⁾して利用しようとする研究事例があるが、合板等の面材料においてはこのような研究事例は報告されていない。使用済み合板は短期間の転用で使い捨てされていることから、これらを面材料として再度利用できれば、廃棄までの期間を延長でき、木質資源の有効活用が図れる。

一方、国内における合板用原木は、熱帯産広葉樹（通称ラワン）から針葉樹への転換が急速に進んできたが、これらの針葉樹合板はその多くが構造用合板であり、型枠用合板に関しては、表面の平滑性や硬化不良、合板の狂い等の問題から針葉樹への樹種転換が進まず、平成20年の型枠用合板の国内生産量は、平成10年の20分の1程度にまで落ち込んでいる⁷⁾。これに対し、金属製や合成樹脂製等の多種多様な型枠も開発されており、最近では木質系廃材や廃プラスチックを原料としたもの⁸⁾等の環境配慮型の型枠についても研究開発が進んできている。しかし、南洋材を用いた型枠用合板は、これらの型枠に比べて価格や性能、加工の容易さ等の評価において多くの優位性を持っていることから、建設業界では依然として東南アジア諸国からの輸入型枠用合板への依存も強く、安定供給の困難な南洋材の消費量を削減するための対策が必要と考えられる。

このような背景から、使用済み合板を再利用することができれば、面材料としての利用期間を延長でき、南洋材消費量の削減という観点においても有効な技術となり得る。そこで、著者は使用済み合板の接着性能や曲げ性能等を調査し、合板の再利用に関する考察を行った⁹⁾。その結果、曲げ性能の劣化は表層部の一部に限定され、内層部の単板は当初の性能を維持していることが確認され、再利用の可能性が示された。この結果を踏まえて、本報では、使用済み合板を心板として利用して表裏面に新たな単板を接着することで再生型枠用合板（以下、再生合板）を製造し、単板厚さや心板の接合形状が曲げ性能に及ぼす影響について検討した。また、実大再生合板を製造する場合の問題点の把握と性能評価を行った。

2. 実験方法

2.1 再生合板の特徴

再生合板とは Fig. 1 に示すように使用済み合板を

Fig. 1. Configuration of reconstituted plywood.

心板として利用し、その表裏面に単板を接着して新たな型枠用合板としたものである。本研究では、再生合板の長さを L 、幅を B 、心板1枚の L 方向の長さを A とし、心板の表板繊維方向と単板の繊維方向が平行なものを平行型、直交するものを直交型と定義する。使用済み合板は寸法のバラツキが大きいため、一定寸法の再生合板として仕上げるには、心板に数カ所の接合部が必要になるが、本研究では合板の長手方向にのみ接合した再生合板について検討した。

2.2 製造工程

再生合板の製造工程を Fig. 2 に示す。表裏にはレッドメランチ (*Shorea* sp.) 原木から切削したロー

Fig. 2. Manufacturing process of the reconstituted plywood.

タリー単板を使用した。心板は、旭川市内の建設業者から廃棄予定の型枠用合板を入手し、試験に供した。これらはすべて公称厚さ12 mm, 5 プライ構成の無塗装型枠である。心板の含水率は合板の保管状況等により大きく異なっている⁹⁾ ため、実験室内において最低1年以上の自然乾燥を行った。また、心板に腐朽や単板のはく離、合板の破損等が含まれているものは目視により選別除去し、さらに表面に付着したコンクリート等の異物は人手によって除去した。型枠用合板は施工時に生じた貫通孔に詰め栓を埋め込んで転用するのが一般的であることから、孔の空いている心板には詰め栓(樹脂製市販品または木製試作品)の埋め込みを行った。また、心板の厚さを揃え、表面に付着したはく離剤¹⁰⁾等を除去するためにベルトサンダーを用いて10.5 mm~11.0 mm になるまで研削した。

2.3 試験体の製造

2.3.1 単板厚さの検討

単板厚さを1.0 mm と2.5 mm の2条件に設定し、Fig. 2 に従って再生合板を製造した。製造条件を Table 1 に示す。表裏に使用した単板の気乾密度と含水率の平均は、それぞれ0.54 g/cm³, 6.6%であった。使用した心板の自然乾燥後の密度と含水率の平均は、それぞれ、0.63 g/cm³, 11.9%であった。心板の接合は Fig. 3 に示すバットジョイント (BJ) とし、フェノール樹脂接着剤 (北日本ディック(株)製, HD-2305) を用いて行った。接合は、Fig. 4 に示すように合板側面から圧力を加えるための治具を用いてホットプレスにより熱圧して行った。製造条件は、熱圧温度130℃, 圧縮圧力0.8 MPa, 熱圧時間10分とした。側面圧力は Fig. 4 の治具に配置した5本のボルトを締めることにより加え、この時の圧力はおよそ0.5 MPa 程度であった。心板と単板の接着には水性高分子-イソシアネート系接着剤 (光洋産業(株)製,

Table 1. Manufacturing conditions for reconstituted plywood in relation to the effect of veneer thickness on bending properties of plywood.

Sort of plywood	Reconstituted plywood
Type	P
Joints	BJ
A (mm)	78
B (mm)	470
L (mm)	468
Thickness of veneer (mm)	1.0, 2.5
Thickness of core plywood after sanding (mm)	10.5
Number of samples	8

Note: P: Refer to Fig. 1, BJ: Refer to Fig. 3.

Fig. 3. Joints of core plywood.

Note: BJ: Butt joint, HLJ: Half lap joint, SJ3: Scarf joint of 1/3 slope, SJ6: Scarf joint of 1/6 slope.

Fig. 4. Jointing method of core plywood.

主剤: KR-M42, 架橋剤: AX-45) を使用した。塗布量はメーカーの指示に従い片面につき222 g/m² とし、コールドプレスにより圧縮圧力1.2 MPa で60分間圧縮した。再生合板の仕上がり厚さは、1.0 mm 単板を使用したものがおよそ12.5 mm (以下, 12 mm 厚合板), 2.5 mm 単板を使用したものがおよそ15.5 mm (以下, 15 mm 厚合板) である。

2.3.2 接合形状の検討

心板の接合形状の検討は、心板のみの場合およびこの表裏面に単板を接着した再生合板の場合の2種類について行った。接合形状は Fig. 3 に示す4条件とし、HLJ は階段状に切り欠いた形状 (ハーフラップジョイント), SJ3 と SJ6 は傾斜がそれぞれ1/3および1/6のスカフジョイントである。製造条件を Table 2 に示す。心板については、Fig. 2 の(1)~(7)の手順に従い製造した。使用した心板の自然乾燥後の密度と含水率の平均は、それぞれ0.58 g/cm³, 9.7%であった。再生合板については、単板厚さの検討結果 (後述の3.1参照) に基づき、表裏面に接着する単板厚さを1.0 mm とし、前述と同様に心板を製造した後、単板を接着して再生合板とした。表裏に使用した単板の気乾密度と含水率の平均は、それぞれ0.43 g/cm³, 7.2%であった。表裏単板の接着条件は前述と同様であるが、スカフジ

Table 2. Manufacturing conditions for reconstituted plywood in relation to the effect of joint shape on bending properties of plywood.

Sort of plywood	Core plywood	Reconstituted plywood
Type	P	P, V
Joints	BJ, HLJ, SJ3, SJ6	BJ, HLJ, SJ3, SJ6
A (mm)	225	225
B (mm)	450	450
L (mm)	450	450
Thickness of veneer (mm)	—	1.0
Thickness of core plywood after sanding (mm)	11.0	11.0
Number of samples	2	2

Note: P and V are shown in Fig. 1, BJ, HLJ, SJ3 and SJ6 are shown in Fig. 3.

ヨイントの接合においては、接合部に1 mm程度の段差が生じる位置で圧締治具を固定した。

2.3.3 実大再生合板の検討

上記の検討結果を踏まえ、実用上の問題点の把握と実用性能の評価を目的として、実大再生合板の製造を行った。使用した心板の長さの平均値は954 mm（最大1712 mm，最小549 mm），幅の平均値は644 mm（最大900 mm，最小460 mm）であった。これらの心板を用いて Fig. 2 の手順に従い，600×1800 mm の寸法の再生合板を製造した。接合形状は Fig. 3 の BJ とし，Fig. 1 の平行型および直交型を製造した。裁断寸法と合板使用枚数を Table 3 に示す。表裏に使用した単板の気乾密度と含水率の平均は，それぞれ0.43 g/cm³，8.5%であった。再生合板を製造するに当たり，Fig. 2 の工程(1)，(6)および(9)において材積を測定し，製造歩留まりを算出した。

心板自体の接着性能は既報⁹⁾において検討してい

るため，本試験では，表裏単板と心板の間の接着性能について検討した。製造した実大再生合板について，平行型および直交型それぞれ4枚から75×75 mmの寸法の試験片を4片ずつ採取し，合板のJASに従って1類浸せきはく離試験を行った。

2.4 曲げ試験

製造した心板および再生合板は，合板のJAS（構造用合板1級）に従って3点曲げ試験を行い，曲げヤング係数 (E_b) および曲げ強さ (σ_b) を算出した。試験体の幅は50 mm，スパンは厚さの24倍とした。単板厚さの検討に用いた試験体は，表板の繊維方向に対するスパンの方向が0度方向と90度方向のものを合板1枚からそれぞれ1体ずつ採取し，合計でそれぞれ8体とした。曲げ試験時の荷重点に対する心板の接合部の位置は無作為に決定した。接合形状の検討に用いた試験体は，表板の繊維方向とスパンの方向は0度方向のみとし，合板1枚から4体採取し，1条件当たり8体とした。曲げ試験時の荷重点は接合の中央部と一致させた。また，比較用として，接合部の無い心板および再生合板（以下，NJ）についても試験を行った。いずれの試験においても，試験体を20℃-65% R.H. の恒温恒湿器内で調湿し，重量が恒量に達した後に試験を行った。試験終了後，試験体の端部を切り出し，絶乾法により含水率を測定した。

実大再生合板については，合板のJAS（コンクリート型枠用合板）に従って，スパン1500 mmの中央集中荷重方式の3点曲げ試験を行い，曲げヤング係数 (E_b) を算出した。

3. 結果と考察

3.1 表裏単板厚さと再生合板の曲げ性能

再生合板の曲げ試験結果を Table 4 に示す。12 mm 厚合板の0度方向では，荷重点から離れた接合

Table 3. Trimmed dimensions of core plywood pieces and number of waste plywood pieces collected for this study.

Symbol	Type	Joints	A (mm)	B (mm)	T (mm)	<i>n</i>
PBJ	P	BJ	465	640	10.5	27
	P	BJ	930	640	10.5	14
VBJ	V	BJ	465	640	10.5	59

Note: A: Dimensions of core plywood pieces in lengthwise direction shown in Fig. 1.

B: Dimensions of core plywood pieces in widthwise direction shown in Fig. 1.

T: Thickness of core plywood after sanding.

n: Number of waste plywood pieces used for this tests.

P and V are shown in Fig. 1, BJ is shown in Fig. 3.

Table 4. Results of bending tests of reconstituted plywood.

Type	Direction		Moisture content (%)	Density (g/cm ³)	E_b (GPa)	σ_b (MPa)
R12	0°	Mean	10.8	0.64	7.98	39.7
		CV (%)	3.5	10.5	8.1	12.4
	90°	Mean	10.9	0.62	5.08	41.0
		CV (%)	2.7	14.8	29.2	33.4
R15	0°	Mean	10.4	0.64	10.79	62.5
		CV (%)	2.2	10.3	8.7	11.4
	90°	Mean	10.7	0.64	3.01	30.4
		CV (%)	3.2	8.4	32.6	36.3

Note: R12: Reconstituted plywood of 12.5 mm in thickness, R15: Reconstituted plywood of 15.5 mm in thickness, Direction: Direction of bending stress to the grain of face veneer, E_b : Modulus of elasticity, σ_b : Modulus of rupture, CV: Coefficient of variation.

部で破壊が生じたため、接合部に生じる曲げモーメントを用いて σ_b を算出した。15 mm 厚合板ではせん断破壊と荷重点における曲げ破壊の2種類が存在していたが、破壊時の最大荷重値から σ_b を求めた。したがって、15 mm 厚合板では σ_b を過小評価している可能性がある。なお、せん断によって破壊した試験体は0度方向では5体、90度方向では1体であった。15 mm 厚合板におけるせん断破壊は、繊維方向がスパンに直交する単板（0度方向では使用済み合板の2層目あるいは4層目、90度方向では3層目）におけるローリングシアによるもので、いずれも裏割れが開くような形で破壊が進行した後、水平方向に割裂した。

密度と E_b の関係を新品合板の値⁹⁾と合わせてFig. 5に示す。0度方向の E_b は12 mm 厚合板では新品合板よりも低い値となったが、15 mm 厚合板では新品合板と同程度かやや高い値を示した。90度方向の E_b は逆に15 mm 厚合板で新品合板よりもやや低い値となったが、12 mm 厚合板では新品合板と同程度であった。合板の曲げ性能は、繊維方向が

スパン方向に対して平行な単板の厚みを増す程、0度方向の合板の E_b 、 σ_b が増加し、90度方向の E_b 、 σ_b が低下するのが普通であり¹¹⁾、本試験の結果もこの傾向と一致した。再生合板の製造に当たっては、型枠用合板として必要な性能を満たすよう表裏単板厚さを決定する必要がある。合板のJASでは型枠用合板の E_b は実大サイズの曲げ試験によって評価し、0度方向の基準値は12 mm 厚さで7.0 GPa、15 mm 厚さで6.5 GPa以上と定めている。また、型枠用合板の σ_b に関する規定はないが、構造用合板1級（板面品質B-C）では、0度方向の基準値は12 mm 厚さで24 MPa、15 mm 厚さで22 MPa以上と定めている。12 mm 厚合板における0度方向の E_b 、 σ_b は、すべてこれらの基準値を満たしていることから、表裏単板厚さは1.0 mm 程度あれば十分であると考えられた。

3.2 接合形状と再生合板の曲げ性能

3.2.1 荷重-変位曲線と破壊性状

曲げ試験結果を心板のみの場合と再生合板の場合をまとめてTable 5に示す。心板のみの場合および再生合板の場合におけるそれぞれの接合形状の代表的な荷重-変位曲線をFig. 6に示す。心板のみの場合では、BJは比例限度内で急激に破壊したのに対し、その他は塑性域のある破壊を示した。HLJ、SJ3、SJ6は引張側の接合面に亀裂が入る際にやや荷重が低下し、その後また荷重が増加していく傾向が認められた。HLJは最大荷重到達後の急激な荷重低下が見られないのが特徴的であった。これは、HLJの接合部では引張り側接合面に亀裂が入った後は接合面に沿って水平方向に亀裂が進展するために、断面が急速に減少しないこと^{12, 13)}が影響しているものと推察された。再生合板の場合では、いずれの接合形状においてもNJに比べて最大荷重時の

Fig. 5. Correlation between density and E_b .

Note: R12, R15, Direction, E_b : Refer to Table 4. New commercial plywood: The data of new commercial concrete form plywood.¹⁰⁾

Table 5. Results of bending tests of core plywood and reconstituted plywood.

Sort of plywood	Type	Joints	Moisture content		Density		E_b		σ_b		E_b/E_{bNJ}	σ_b/σ_{bNJ}
			Mean (%)	CV (%)	Mean (g/cm ³)	CV (%)	Mean (GPa)	CV (%)	Mean (MPa)	CV (%)		
Core plywood	P	BJ	10.2	3.3	0.61	4.3	4.92	34.0	3.5	46.1	0.82	0.09**
		HLJ	10.3	5.0	0.61	3.5	4.11	16.6	11.3	12.8	0.68**	0.31**
		SJ3	10.5	1.1	0.61	9.2	6.24	12.5	17.9	11.9	1.04	0.49**
		SJ6	10.5	1.1	0.54	14.2	5.31	14.8	18.7	17.9	0.89	0.51**
		NJ	11.0	1.0	0.59	2.3	6.00	20.3	36.8	28.7	1.00	1.00
Reconstituted plywood	P	BJ	8.9	1.2	0.59	2.4	7.17	6.0	32.9	8.4	0.97	0.62**
		HLJ	10.0	3.2	0.59	6.9	7.02	9.1	48.0	7.8	0.95*	0.91**
		SJ3	10.7	5.7	0.63	5.0	8.48	12.1	45.3	7.7	1.14	0.86**
		SJ6	10.7	4.3	0.59	6.8	7.62	17.1	51.9	9.5	1.03	0.98
		NJ	9.0	1.6	0.61	8.6	7.41	2.4	52.9	2.9	1.00	1.00
	V	BJ	8.9	2.3	0.59	4.0	6.59	2.4	35.2	9.1	0.82**	0.56**
		HLJ	10.2	2.8	0.58	8.3	7.03	6.7	43.4	8.7	0.87**	0.69**
		SJ3	10.2	6.0	0.61	8.5	7.67	10.4	42.9	9.9	0.95	0.68**
		SJ6	10.6	0.4	0.61	6.6	8.14	6.2	58.8	6.6	1.01	0.94
		NJ	10.2	3.2	0.61	1.5	8.07	10.7	62.7	17.7	1.00	1.00

Note: P and V are shown in Fig. 1, BJ, HLJ, SJ3 and SJ6 are shown in Fig. 3.

CV: Refer to Table 4, NJ: No joint specimens, E_{bNJ} : MOE of the plywood without a joint, σ_{bNJ} : MOR of the plywood without a joint.

** : significant at 1% level, * : significant at 5% level.

変位が小さく、最大荷重値に達した後は急激な荷重低下が見られた。これは引張側の心板接合面付近の単板が破断し、心板の接合面に沿った形で破断が急激に進展するためと思われる。いずれのタイプとも接合形状によって最大荷重値は異なるものの、荷重-変位曲線の挙動に大きな違いは認められなかった。Fig. 7 は平行型の再生合板における破壊性状の例であるが、いずれのタイプとも引張側の接合面に起因する曲げ破壊であった。接合部の破断面は、SJ3 と SJ6 は本部破断が生じていたが、BJ と HLJ は本部破断をほとんど伴わない破壊が支配的であった。また、BJ と HLJ の一部では、破壊時に完全に2つに分断されるものがあり、極めて脆性的な破壊性状を示した。

3.2.2 曲げヤング係数と曲げ強さ

密度と E_b および σ_b の関係を心板のみの場合と再生合板の場合を合わせて Fig. 8 に示す。心板のみの場合は、 E_b は BJ の1体が1.1 GPa と非常に低い値を示したが、その他は3.5 GPa 以上の値を示し、接合形状による明確な傾向は認められなかった。 σ_b は NJ>SJ6>SJ3>HLJ>BJ の順となり、接合形状の違いが明確に表れた。再生合板の場合は、平行型、直交型とも E_b は密度との相関が高かったのに対して、 σ_b は密度との相関は認められなかった。通常の合板では、 E_b および σ_b は密度と正の相関が認められること⁹⁾ から、再生合板は E_b に関しては、通

常の合板とほぼ同様の性能が付与されたと考えられるが、 σ_b に関しては、通常の合板とは異なる性能を示すと考えられる。再生合板の σ_b の平均値は NJ>SJ6>HLJ>SJ3>BJ の順となり、心板とほぼ同様の傾向であったことから、再生合板の σ_b には表裏単板の性能に加えて心板の性能も複合的に作用するものと考えられた。

ここで、再生合板の曲げ性能に及ぼすこれらの構成要素の影響を把握するため、次式を用いて再生合板の曲げヤング係数、曲げ強さを計算してみた。

$$E_b = \frac{I_V}{I_P} E_V + \frac{I_C}{I_P} E_C \quad \dots\dots(1)$$

$$\sigma_b = \frac{Z_V}{Z_P} \sigma_V + \frac{Z_C}{Z_P} \sigma_C \quad \dots\dots(2)$$

ここで、 E_b 、 E_V 、 E_C はそれぞれ再生合板、表裏単板、心板の曲げヤング係数、 σ_b 、 σ_V 、 σ_C はそれぞれの曲げ強さ、 I_P 、 I_V 、 I_C はそれぞれの合板中立軸に対する断面二次モーメント、 Z_P 、 Z_V 、 Z_C はそれぞれの断面係数である。

E_V および σ_V は、本研究で使用了1 mm 厚さの単板から製造した5 プライ LVL の曲げ試験により得られた値 ($E_V=10.6$ GPa, $\sigma_V=66.1$ MPa, 試験体数8) を用い、 E_b と σ_b を計算した結果を Table 6 に示す。 E_b の計算値は実測値とよく一致したが、 σ_b は実測値が計算値をやや上回る結果となった。なお、表裏単板のみが曲げ応力を負担すると仮定し

Fig. 6. Typical Load-displacement curves in bending tests.

Note: BJ, HLJ, SJ3, SJ6: Refer to Fig. 4, NJ: No joint specimens.

Fig. 7. Typical failure modes observed in the bending tests.

Note: BJ, HLJ, SJ3, SJ6: Refer to Fig. 4.

た場合、(2)式は第1項のみが有効であり、その値はいずれの再生合板においても26.1 MPaとなる。 σ_b 全体に占める第1項の割合は、BJで0.93, HLJで0.79, SJ3で0.71, SJ6で0.70であり、このことから、BJでは σ_b に及ぼす表裏単板の影響が非常に大きいのに対し、SJ3やSJ6では心板の性能が少なからず σ_b に影響を与えていることがわかる。

次に、平行型における心板の σ_b に対する再生合板の σ_b の比を見てみると、BJでは9.5, HLJでは4.2, SJ3では2.5, SJ6では2.8となり、心板の σ_b が低いほど補強効果が大きいことがわかる。したがって、心板の接合のみでは合板としての十分な σ_b が得られない場合でも、表裏面に単板を接着した再生合板とすることで十分な性能が得られることが確認された。

3.2.3 接合の有無と曲げ性能の関係

NJの E_b に対するそれぞれの接合タイプの E_b を剛性比、NJの σ_b に対するそれぞれの接合タイプの σ_b を強度比としてTable 5に記載した。心板のみの場合では、剛性比は0.68~1.04, 強度比は0.09~0.51となった。構造材の一般的な接合法であるフィンガージョイントでは、剛性比で1.0程度、強度比で0.8程度の値が得られており¹⁴⁾、スカーフジョイントにおいては傾斜が1/5の時の強度比で0.6程度という報告¹⁵⁾がある。本試験での心板における強度比は、最も高いSJ6においても0.51であり、これらの報告よりも低い値となっている。これは集成材ラミナ等の製材に比べて、合板は裏割れや目ばれ等の影響で接合面に微細な欠損が生じて有効な接着面積が減少すること、接合面の単板繊維方向によって接着剤の木部への浸透が異なり、均一な接着剤塗布が難しいことなどが考えられる。さらに、接合面が長いことで合板の狂いや圧縮時の圧力の不均一さの影響を受けやすいこと等も推察される。合板の接合において、十分な接合強度を得るためにはスカーフジョイントの傾斜を更に小さくする必要があるが、歩留まりの大きな低下を招くことが問題として残される。再生合板の場合では、剛性比は直交型のBJとHLJでそれぞれ0.82, 0.87となりNJに比べやや低くなった。しかし、その他の接合における剛性比は0.95~1.14の範囲となり、平均値の t 検定の結果、NJとの間に危険率1%水準での有意差は認められなかった。再生合板の強度比は、いずれの接合タイプともNJよりも低く、平均値の t 検定の結果、SJ6以外はNJとの間に危険率1%水準での有意差が認められた。しかし、BJを除けば強度比は0.7程度以上あり、心板のみに比べて大幅に接合性能を向上できたと言え

Fig. 8. Relationship between Density and E_b or σ_b of core and reconstituted plywood.Note: BJ, HLJ, SJ3, SJ6: Refer to Fig. 4, NJ: Refer to Table 5, E_b , σ_b : Refer to Table 4.

**: Significant at 1% level.

Table 6. Measured and calculated values of the bending properties.

Joints	E_{b_cal}	E_b/E_{b_cal}	σ_{b_cal}	σ_b/σ_{b_cal}
BJ	7.17	1.00	28.2	1.17
HLJ	6.68	1.05	32.9	1.46
SJ3	7.98	1.06	36.9	1.23
SJ6	7.41	1.03	37.4	1.39
NJ	7.83	0.95	48.4	1.09

Note: E_b , σ_b : Refer to Table 4, E_{b_cal} : Calculated values by equation (1), σ_{b_cal} : Calculated values by equation (2).

る。

3.3 実大再生合板の評価

曲げ試験結果を Table 7 に示す。 E_b の平均値は平行型で 9.0 GPa、直交型で 8.2 GPa となり、平行型の方がやや高くなった。この試験結果を Table 5 の小試験体による結果と比較すると、 E_b は実大サイズの方が 25% 程度大きな値を示した。このように小試験体よりも実大サイズにおける E_b が高くなる傾

向は、既往の研究^{16, 17)}でも報告されており、これは小試験体では全体のたわみに対するせん断たわみの割合が大きくなるが、これを無視していることなどによるものと考えられる。したがって、型枠用合板としての E_b は、JAS に規定される実大サイズによる試験で評価することが望ましい。本試験では、直交型の 1 枚を除き、JAS 基準値の 7.0 GPa を上回っており、再生合板は型枠用合板として十分な E_b を有していることが確認された。

1 類浸せきはく離試験の結果、すべての試験片について、心板と表裏単板の接着面のはく離は認められなかった。従って、本試験の製造条件や接着条件においては、心板と表裏単板の間の接着性能には問題が無いことが示された。

各工程における歩留まりを Table 8 に示す。なお、ここに示す歩留まりは心板のみの値であり、表裏単板の歩留まりは考慮していない。最終製品における歩留まりは平行型で 50.0%、直交型で 39.6% となった。いずれの合板とも、心板裁断後の歩留まり低下

Table 7. Results of full-scale bending tests of reconstituted plywood.

Symbol	n	Density (g/cm³)		E_b (GPa)			
		Mean	CV (%)	Mean	Max	Min	CV (%)
PBJ	12	0.60	8.0	8.98	9.65	7.68	5.8
VBJ	14	0.59	6.6	8.22	9.06	6.72	8.2

Note: n : Number of samples, E_b , CV: Refer to Table 4, Max: Maximum value, Min: Minimum value, PBJ, VBJ: Refer to Table 3.

Table 8. Yields of core plywood at each stage.

Symbol		Initial (stage (1))	After sanding (stage (6))	After trimming (stage (6))	After trimming of reconstituted plywood (stage (9))
PBJ	Volume (m ³)	0.3120	0.2692	0.1714	0.1559
	Yield (%)	100	86.3	54.9	50.0
VBJ	Volume (m ³)	0.4223	0.3616	0.1843	0.1673
	Yield (%)	100	85.6	43.6	39.6

Note: PBJ, VBJ: Refer to Table 3.

Stage (1), (6), (9): Manufacturing stage shown in Fig. 2.

が著しいが、これらの値は使用済み合板の入手時の寸法に大きく左右された。このように、再生合板の歩留まりは入手材料により大きく変動するものと考えられるため、本試験による結果は1つの参考値と考えるのが妥当であろう。

3.4 実用化に向けた課題

本研究により明らかになった実用化に向けた技術的課題を以下に挙げてみる。バットジョイントにより製造した再生合板はJAS基準を満たしており、性能面において大きな問題は無いと考えられたが、単板を接着するまでの心板の運搬等で自重による接合面の破損が生じやすく、作業性において問題が残された。従って、実用的にはスカーフジョイントのような強度の高い方法を選択すべきであろう。本研究では厚さ規正の無いベルトサンダーによって研削を行ったが、心板の厚さに多少のバラツキが生じた。厚さのバラツキが大きくなると冷圧時に均等な圧力がかからずに接着不良の原因にもなるため、厚さ規制のあるサンダーを用いるなどして、一定の厚さに研削する必要がある。また、実用化に当たっては、可能な限り歩留まりを高めることが重要であり、そのためには心板の合板長手方向の長さ(A)を一定とせずに歩留まりが最も高くなるような木取りをすることが望ましい。したがって、長手方向の長さ(A)の最小値や継ぎ手が多くなった場合の検討も必要であろう。15 mm厚合板では、曲げ試験によりせん断破壊する試験体が散見されたが、これには心板自体の接着性能の低下⁹⁾が関与している可能性があり、心板自体の接着性能が大きく低下したものをどのように選別していくかが重要な課題である。

4. 結 論

使用済み合板を心板として利用して表裏面に新たな単板を接着することによる再生合板を製造し、曲げ性能や歩留まり等について評価した。その結果、以下の結論が得られた。

表裏単板厚さが厚くなるほど、0度方向の合板の

E_b , σ_b が増加し、90度方向の E_b , σ_b が低下したが、表裏単板厚さを1.0 mm程度にすることで十分な曲げ性能が得られた。再生合板の E_b は、密度との相関が高く接合形状による影響は小さかったが、 σ_b は接合形状の影響を受けることが確認された。心板の接合のみでは十分な σ_b は得られなかったが、表裏面に単板を接着した再生合板とすることで σ_b は2.5~9.5倍となり、大きな補強効果が得られることが確認された。

実大サイズにおける再生合板の製造歩留まりは39.6~50.0%となり、使用済み合板の入手時の寸法に大きく左右された。心板と表裏単板の間の接着性能はJAS 1類の基準を満たした。合板のJASに規定される実大サイズの曲げ試験の結果、再生合板はコンクリート型枠用合板の基準値を満たす性能が得られた。

文 献

- 1) 斉藤吉之: 木材工業 54(11), 572-574 (1999).
- 2) (財)日本住宅・木材技術センター: “木質廃棄物再資源化技術開発事業報告書”, 1997, pp. 21-40.
- 3) 岩淵 文, 佐々木陽, 平原英俊, 會澤純雄, 高橋諭, 成田栄一: 第54回日本木材学会大会研究発表要旨集, 札幌, 2004, p. 444.
- 4) 矢永国良, 相原庸夫, 藤田和彦, 榎本敬大: 日本建築学会学術講演梗概集, 近畿, 2005, pp. 247-248.
- 5) 赤木光志, 榎本敬大, 村田 忠, 原田浩司, 平原むつみ, 荒武志朗: 日本建築学会学術講演梗概集, 近畿, 2005, pp. 251-252.
- 6) 鈴木滋彦: 材料 53(4), 465-470 (2004).
- 7) 農林水産大臣官房統計部: 合板統計, 平成10年~平成20年.
- 8) 例えば, 大島 明, 菊池雅史, 小山明男, 福部聡, 柳 啓: 日本建築学会学術講演梗概集, 近畿, 2005, pp. 975-976.

- 9) 古田直之：日本建築学会技術報告集 **15**(29), 45-50 (2009).
- 10) 日本建築学会：“建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事”，丸善，東京，2009, pp.281-307.
- 11) 洪沢龍也, 名波直道, 渡邊洋子, 谷川信江, 神谷文夫：日本建築学会学術講演梗概集，東海，2003, pp.495-496.
- 12) 平井卓郎, 沢田 稔：北海道大学農学部演習林研究報告 **36**(2), 387-420 (1979).
- 13) Dansoh, A. B., Koizumi, A., Hirai, T. : *J. Wood Sci.* **49**, 405-410 (2003).
- 14) 宮島 寛, 生田晴家：北海道大学農学部演習林研究報告 **33**(1), 167-198 (1976).
- 15) 森 徹, 今泉勝吉：日本建築学会研究報告 **39**, 51-56 (1957).
- 16) 長尾博文：合板工業 **141**, 13-22 (1992).
- 17) 吉田弥明：林産試験場月報 **295**, 5-9 (1976).