

合板の反りに与える単板含水率の影響

吉田 弥明 田口 崇

1. まえがき

先に異樹種構成合板の反りについて報告し、理論的に解析できるみとおしを得た。その中でも述べたように反りに対して最も大きく影響するのは構成単板の含水状態の変化である。今回の試験では、この含水状態の変化による影響をみるために、表裏単板の含水率を変えて3プライ合板を製造し、前回と同様長手方向の反りについて解析を試み、同時に前回の試験ではできなかった理論計算値と実測値との比較をおこなった。

2. 試験方法

2.1 供試単板

単板切削のための原木としてレッドラワン材を用いた。原木は約24時間90℃で煮沸した後、0.9mmおよび4.5mm単板をロータリー切削した。切削、乾燥は常法によりおこない、その後表裏単板については含水率5、12、18%を目標に、中板については5%を目標に調湿した。

2.2 供試合板

単板の厚さ構成0.9+4.5+0.9mm（切削厚さ）、表裏単板の含水率の組合せA) 18 - 12, B) 18 - 5, C) 12 - 12, D) 12 - 5, E) 5 - 5%（目標含水率）により、JAS 類相当の3プライ6mm、60×182cmの合板を製造した。使用単板はすべてワンピースもので、中板はタイトサイドが表になる様にした。

単板組合せと実測含水率、製造枚数は第1表に、接着剤の配合、塗布量、圧縮条件については下に記す。

糊液の配合

ユリアレジン（HD1002、樹脂率55%）	100部
小麦粉	20部
水	20部
硬化剤（塩安）	0.5部
塗布量	300～310g/m ²

第1表 単板の組合せと製造枚数

	表裏単板の含水率の組合せ		製造枚数
	公表	実測値	
A	18 - 12	18.0-13.3	5
B	18 - 5	18.0- 4.0	5
C	12 - 12	13.3-13.3	5
D	12 - 5	13.3- 4.0	3
E	5 - 5	4.0- 4.0	3

注：中板はすべて 4.8%（実測）の含水率

圧縮条件

冷圧：10kg/cm²，120分

熱圧：8kg/cm²，105～110℃，4分

2.3 合板の反りの測定

合板は熱板から取り出した後反りが安定した時点、次いで室温20±2℃、関係湿度65±5%の室内に4週間、さらに室温20±2℃、関係湿度85±5%の室内に4週間、放置した3時点で測定した。測定法その他については前報¹⁾と同様である。

反り矢高の測定と同時に合板の表裏面について長手方向の中心線に沿って、両端から30cm入った点および中央の3箇所の含水率を電気抵抗式含水率計（ケットM-8S型）のスタンプによって測定し、計算の基礎データとした。

2.4 供試材の収縮・膨張率

合板の反りを計算するためには構成単板の繊維方向の収縮・膨張率を必要とする。ところが単板では測定が困難である。そこで単板を採取した同一原木の外・中・内層から5×30×60mmの柎目の試片を採取し、これらを目標含水率5、12、18、12、5および18、12、5、12、18の環境にそれぞれ平衡に達するまで放置しJISA1003に準拠して測定した。

測定は、含水率23.5～25%に調整した試片中央に基線を入れ、これに直交する基線を約50mmの間隔に力

ミソリの刃で入れ、この間の距離の変化を微動装置のついた実体顕微鏡（ニコン工場顕微鏡）によって1/1000mm精度まで測定しおこなった。試片は各5片、計30片測定した。

3. 試験結果および考察

3.1 反りの計算

反りの計算については、既に報告した「木質積層パネルの反りについて²⁾」の中で述べたように、梁として解析すれば、次の(1)~(4)式から P_1, P_2, P_3 を求め

$$l_1 + \Delta l_1 = l_2 + \Delta l_2 = l_3 + \Delta l_3 \quad \dots\dots(1)$$

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= l_0 \alpha_1 u_1 \\ l_2 &= l_0 \alpha_2 u_2 \\ l_3 &= l_0 \alpha_3 u_3 \end{aligned} \right\} \dots\dots(2)$$

$$\left. \begin{aligned} \Delta l_1 &= l_0 \frac{P_1}{bh_1 E_1} \\ \Delta l_2 &= l_0 \frac{P_2}{bh_2 E_2} \\ \Delta l_3 &= l_0 \frac{P_3}{bh_3 E_3} \end{aligned} \right\} \dots\dots(3)$$

$$P_1 + P_2 + P_3 = 0 \quad \dots\dots(4)$$

ただし

- $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$: 表・中・裏板の収縮・膨張率
- u_1, u_2, u_3 : 表・中・裏板の初期含水率 f_{u1} , f_{u2} , f_{u3} とある環境下で平衡した時の含水率 l_{u1} , l_{u2} , l_{u3} との差, $l_{u1} - f_{u1}$, $l_{u2} - f_{u2}$, $l_{u3} - f_{u3}$

P_1, P_2, P_3 : 表・中・裏板に含水率の変化によって生ずる応力（引張の時正）

- h_1, h_2, h_3 : 表・中・裏板の厚さ
- E_1, E_2, E_3 : 表・中・裏板の弾性係数
- b : 合板の巾

(5)~(9)式に代入して、曲率 ρ_c が求められる。(第1図参照)

$$\rho_c = \frac{M}{EIz} \quad \dots\dots(5)$$

$$M = P_1 \left(\frac{h_1}{2} + h_2 + h_3 - \bar{\eta} \right) - P_2 \left(\frac{h_2}{2} + h_3 - \bar{\eta} \right) + P_3 \left(\frac{h_3}{2} - \bar{\eta} \right) \quad \dots\dots(6)$$

$$EIz = E_1 I_1 + E_2 I_2 + E_3 I_3 \quad \dots\dots(7)$$

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \int_{h_2+h_3-\bar{\eta}}^{h_1+h_2+h_3-\bar{\eta}} \frac{by^2 dy}{2} \\ I_2 &= \int_{h_3-\bar{\eta}}^{h_2+h_3-\bar{\eta}} \frac{by^2 dy}{2} \\ I_3 &= \int_{-\bar{\eta}}^{h_3-\bar{\eta}} \frac{by^2 dy}{2} \end{aligned} \right\} \dots\dots(8)$$

$$\bar{\eta} = \frac{E_1 \bar{\eta}_1 A_1 + E_2 \bar{\eta}_2 A_2 + E_3 \bar{\eta}_3 A_3}{E_1 A_1 + E_2 A_2 + E_3 A_3} \quad \dots\dots(9)$$

ただし、

- $\bar{\eta}$: 合板の下底から中立軸までの距離
- $\bar{\eta}_1, \bar{\eta}_2, \bar{\eta}_3$: 下底から表・中・裏板の断面重心までの距離
- I_1, I_2, I_3 : 表・中・裏板の中立軸に関する断面2次モーメント
- A_1, A_2, A_3 : 表・中・裏板の断面積

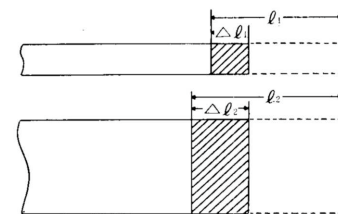
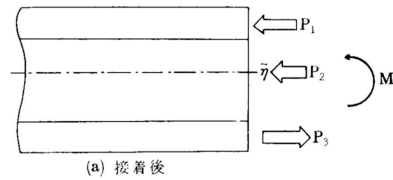
この曲率 ρ_c から次の式によって最大矢高 c が求められる。ただし、この最大矢高は中央に生ずる。

$$\delta_c = \frac{\rho_c l^2}{8} \quad \dots\dots(10)$$

ただし、 l : 合板長

以上、一般的な3プライ構成について述べてきたが

$t_1 = \frac{h_2}{h_1}$, $t_2 = \frac{h_3}{h_1}$, $e_1 = \frac{E_2}{E_1}$, $e_2 = \frac{E_3}{E_1}$ とおき、合



第1図 反り発生の機構

板の場合を考えてみると、 $t_2=1, e_1=0, e_2=1$ となり、さらに合板厚を h とおけば ρ_c は次のように整理できる。

$$\rho_c = \frac{3t_1^2 + 9t_1 + 6}{3t_1^2 + 6t_1 + 4} \cdot \frac{\alpha_3 u_3 - \alpha_1 u_1}{h} \quad (11)$$

本試験の場合、 $h_1=h_3=0.9\text{mm}, h_2=4.5\text{mm}$ (切削厚)であるから $t_1=5$ となり、さらに $\alpha_1=\alpha_3$ であるから、

$$\rho_c = \frac{1.156\alpha_1 (u_3 - u_1)}{h} \quad (12)$$

$$\delta_c = \frac{1.156\alpha_1 (u_3 - u_1) \ell^2}{8h} \quad (13)$$

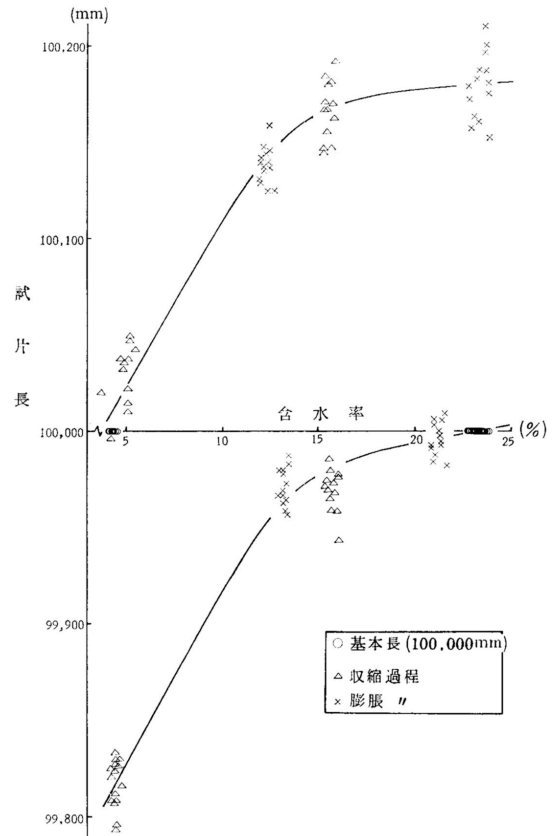
となる。したがって、反りの最大矢高は表裏の含水率の変化の差および収縮・膨脹率が明らかになれば求められる。

単板の収縮・膨脹率に関して単板と同一原木から取った素材試片の収縮・膨脹の状態を第2図に示した。この図は基準長 100mm とした時の高湿 低湿 高湿 (1)、および低湿 高湿 低湿 (2)へと平衡含水率を変化させた場合の各含水率における長さをプロットしたものである。このプロットされた各点を1本の線で結べば、(1)、(2)のような曲線になり、ともに含水率約15%までは直線的に増加するが、その後含水率が増加しても殆んど長さは増加しない。したがって、これらのデータから平均収縮率は求められるものの、この値をもって δ_c とすることはできない。

一方、(13)式を変形すれば次のようになり、

$$\delta_c = \frac{1.156 (\alpha_3 u_3 - \alpha_1 u_1) \ell}{8h}$$

$(\alpha_3 u_3 - \alpha_1 u_1)$ 即ち表裏単板長の変化の差を求め



第2図 含水率による長さの変化

ることによって、反りを計算することができる。さらに本試験の場合は、それぞれの環境における表裏含水率は等しいので、次に示すように初期含水率状態の差によって反りが生じることになる。

$$\begin{aligned} & \ell_3 u_3 - \ell_1 u_1 = \ell_1 (u_3 - f u_3) \\ & - \ell_1 (f u_1 - f u_1) = \ell_1 f u_1 - \ell_1 f u_3 \end{aligned}$$

ところで初期含水率をどのようにして決定するかが

問題となる。合板の接着工程を考えると、3プライ構成の場合中板に接着糊液を塗布し、直ちに圧縮され拘束されるわけではなく一定数量に

第2表 合板表裏板の含水率の変化

	初期含水率*				各環境下の平衡含水率		
	(a)		(b)		表裏: fU_1, fU_3 の平均値		
	表: fU_1	裏: fU_3	表: fU_1	裏: fU_3	製造直後	20°C .65% R.H.	20°C .85% R.H.
A	18.0	13.3	22.1	18.4	12.7	13.0	20.0
B	18.0	4.0	22.1	14.5	11.1	13.2	20.2
C	13.3	13.3	18.4	18.4	10.8	13.4	20.5
D	13.3	4.0	18.4	14.5	11.0	12.8	21.3
E	4.0	4.0	14.5	14.5	10.7	13.7	21.3

* 初期含水率について、(a)は仕組単板の含水率、(b)は接着剤中の水分が隣接する単板の含水率に反比例して完全に拡散したと仮定した時の含水率。

第3表 反りの実測値と計算値との比較

		製造直後		20°C .65% R.H.			20°C .85% R.H.			
		δ mm	δ/δ_c		δ mm	δ/δ_c		δ mm	δ/δ_c	
			(a)	(b)		(a)	(b)		(a)	(b)
A	1	13.5	0.746	2.500	9.0	0.497	1.667	11.5	0.646	2.170
	2	9.5	0.525	1.759	8.5	0.470	1.574	7.0	0.393	1.321
	3	6.5	0.359	1.204	4.5	0.249	0.833	3.5	0.197	0.660
	4	15.5	0.856	2.870	13.0	0.718	2.407	13.0	0.730	2.453
	5	10.5	0.580	1.944	10.5	0.580	1.944	9.5	0.534	1.792
B	1	21.0	0.613	2.055	9.1	0.503	1.685	8.9	0.500	1.679
	2	21.0	0.159	1.214	18.0	0.136	1.040	17.0	0.131	1.000
	3	22.0	0.159	1.214	18.5	0.140	1.069	22.5	0.174	1.324
	4	22.0	0.167	1.272	22.5	0.170	1.301	27.5	0.213	1.618
	5	22.0	0.167	1.272	20.0	0.152	1.156	21.5	0.166	1.243
C	1	23.5	0.178	1.358	21.0	0.159	1.214	22.5	0.174	1.324
	2	21.9	0.166	1.266	20.0	0.151	1.156	22.2	0.172	1.302
	3	5.0	—	—	5.5	—	—	3.0	—	—
	4	4.0	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	3.0	—	—	—	—	—	—	—	—
D	1	0	—	—	1.0	—	—	9.5	—	—
	2	1.0	—	—	0	—	—	3.0	—	—
	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
E	1	31.0	0.277	2.605	30.0	0.268	2.521	37.5	0.336	3.205
	2	30.0	0.268	2.521	29.5	0.263	2.479	37.0	0.331	3.162
	3	26.5	0.236	2.227	23.0	0.205	1.933	28.5	0.255	2.436
	4	29.2	0.260	2.451	27.5	0.245	2.311	34.3	0.307	2.934
E	1	-13.0	—	—	-12.5	—	—	-19.0	—	—
	2	-7.5	—	—	-8.0	—	—	-20.5	—	—
	3	-6.5	—	—	-6.0	—	—	5.5	—	—

δ : 反りの実測値, δ_c : 計算値, (a), (b)は第2表に同じ。

(b)との間にある。即ち、製造直後の反りを例にとれば、組合せA（表裏単板の仕組含水率：18.0 - 13.3%，以下同）では、実測値との比は(a)の0.61, (b)の2.06, 組合せB（18.0 - 4.0%）では(a)の0.17, (b)の1.27, 組合せD（13.3 - 4.0%）では(a)の0.26, (b)の2.45となっており、組合せAでは(a)寄りであり、組合せBでは(b)の値に寄っている。これは、一部には外気からの吸湿にもよると考えられるが、主として糊液塗布後の閉鎖堆積中における水分の移行によるものと思われる。この移行は当然仕組単板の含水率が低い程大きく、高い程小

さくなるであろう。このような理由により、Aでは表裏ともに単板の仕組含水率が比較的高いため、糊液中の水分の移行がきわめて少なく仕組単板含水率をそのまま初期含水率としても実測値と大きな差が生ぜず、一方、Bでは仕組単板の含水率が裏板で4%と低く相当に水分の移行があり、糊液中の水分が完全に移行した(b)の値に近似したものと考えられる。表板の含水率の変化も当然考慮しなければならないが18%と比較的高く、この範囲になると水分による長さの変化も非常に小さくなるので影響が少ない。組合せDにおいては前二者の間にあると考えられる。即ち表板は仕組単板含水率13.3%であるから、Aの場合から考えると水分の移行は比較的少なく、裏板の方は4.0%と非常に大きな移行が生ずるものと考えられる。さらに、Bにおいては表板の含水率が13.3%と水分による繊維方向の長さ変化の大きい範囲にあるため前記したように(a)の項からも(b)の項からもかけはなれた結果に

達するまで閉鎖堆積される。この間に糊液中の水分は当然表裏板に移行すると考えられ、この水分の移行によって表裏板の長さに変化が生じるので、仕組単板の含水率をそのまま初期含水率とするわけにいかない。今、中板両面に塗布された糊液中の水分が隣接する単板の含水率に反比例して完全に移行するまで閉鎖堆積されたと仮定した場合と前者の場合とを初期含水率として反りを算出した。第2表は先に示した糊液の配合割合および塗布量から算出した初期含水率と各環境における平衡含水率を合わせ示した。

3.2 実測値との比較

第3表に反りの実測値、および計算値 c) に対する割合を示した。表中(a)は先に述べたように仕組単板含水率をそのまま初期含水率とした場合、(b)は接着糊液中の水分が隣接する単板に完全に移行したとした場合である。

この表からみると反りの実測値は計算値(a)と

なったものと考えられる。

3.3 含水率の影響

前節でも述べたように表裏とも同一環境条件にさらされる場合は、表裏板の初期含水率の差が反りを支配する。しかしながら、これら含水率の差が大きいから反りも大きいとは限らない。即ち、初期含水率の差から考えれば、(a)の場合も(b)の場合も反りはともに $B > D > A$ でなければならないが、実際には $D > B > A$ である。これは第2図に示したように、含水率による長さの変化が含水率15~16%を境にして、それまで直線的であったものが急に小さくなることから説明されよう。つまり、含水率の高い領域における変化は低い領域のおよそ1/10程度であるから、低い領域の1%の含水率の変化は反りに対しては、高い含水率の領域の10倍もの重要性をもって作用していることになる。

また、組合せEにみるように、接着糊液の水分の移行、あるいは外気からの吸湿を受け易く、いわゆる「くるい」に対しては、仕組単板の含水率が低いということはきわめて不利である。今回の試験の場合は中板の含水率を4.8%と極端に低くして糊液水分の表裏板への移行を抑えようとしたにも拘わらずかなり大きな影響を受けており、中板含水率が高い場合には影響はさらに大きくなるであろう。一方、表裏板の含水率の比較的高い組合せCにおいては、一部を除き反りの発生はほとんど認められない。

また、組合せEにみるように、接着糊液の水分の移行、あるいは外気からの吸湿を受け易く、いわゆる「くるい」に対しては、仕組単板の含水率が低いということはきわめて不利である。今回の試験の場合は中板の含水率を4.8%と極端に低くして糊液水分の表裏板への移行を抑えようとしたにも拘わらずかなり大きな影響を受けており、中板含水率が高い場合には影響はさらに大きくなるであろう。一方、表裏板の含水率の比較的高い組合せCにおいては、一部を除き反りの発生はほとんど認められない。

一般には、くるいが発生すると、単板含水率をそろえるためにどうしても仕上り含水率を低くとるが、これはかえって逆効果になりかねないことを示しており、くるいを防ぐためには比較的高い含水率の範囲でそろえなければ効果がない。

3.4 環境条件の影響他

本試験の場合、反りは初期含水率の差に支配され、さらされる合板の環境条件によらないはずである。事実組合せAやBにおいては極端な差は認められない。しかしながら、組合せDの高湿条件下にあってはかなりの差異が認められる。今回の解析では前述したよう

に収縮、膨張は等しいとしたが、これらの結果からは実際にはそれぞれの過程ではかなりの差、とくに含水率15~6%で差が大きいではないかと考えられる。

この他重要な要因としては、接着層が表裏単板の収縮、膨張に及ぼす影響が考えられるが、今回は考慮していない。

4. おわりに

意識的に表裏の含水率を変えた単板を用いて3プライ6mm(切削厚:0.9+4.5+0.9mm)のラワン合板を製造し、反りに及ぼす含水率の影響を検討した結果、次のような結論が得られた。

1) 合板の両面を同一環境条件下にさらす場合、反りは表裏単板の初期含水率の差に支配される。

2) しかし、必ずしも初期含水率の差がそのまま反りの大小にはつながらず、これが比較的高い含水率領域にある場合は反りに対する影響は極めて小さい。

3) 素材の収縮・膨張から(13)式によって求めた計算値と実測値とは、閉鎖堆積中における糊液中の水分の隣接单板への移行の影響を受け、必ずしも計算値と一致しない。

4) この糊液中の水分の移行は、単板含水率が低い程大きく、高い程小さい。また低い場合には外気の影響も受け易い。

5) したがって、表裏単板が同一含水率であっても極端に低い、4%程度になると、これら水分の移行の差によってかなり大きな反りが発生する。

文 献

- 1) 吉田弥明他：異樹種構成3プライ合板の反り，木材の研究と普及または北林産式月報，1972年8月号．1~6頁
- 2) 吉田弥明：木質積層パネルの反りについて，同上，1973年5月号．5~9頁

- 試験部 合板試験科 -
(原稿受理 48.6.7)