

資 料 の 部

(研究資料)

建築用彎曲集成材製造資料

(Research Material)
Fabrication Data of Glued Laminated Wood Building Members
Minosaku SUGANO

菅 野 蓑 作⁽¹⁾

I 緒 言

建築用アーチ材に彎曲集成材を応用する手法は、海外においてはすでに 50 年の歴史をもち、じゅうぶん一般化した技術として認められているが、わが国ではここ数年の間に二、三の試みが行われてきたにすぎず、集成材を建築等の産業面に実用化するためには、製造技術の面からも規格、法規の上からも、なお、いくつかの問題点を残しており、これらは早急に解決しなければならない点である。たまたま、三井木材工業株式会社において名古屋の繊維板工場倉庫に集成材アーチを使用する計画が決まり、1954 年当初、アーチの製造と倉庫の建設が行われ、その後、約 3 年の使用年月を経過して、これらのアーチが倉庫用構造強度部材として実用しうることが経験的に実証されつつあるが、著者は、このアーチ材製造に際し、製造工程の測定試験等に関与したので、以下、これらの結果を報告することとした。

なお、稼動中の集成材生産工程のなかに測定試験等の作業を折り込むことは、なかなか厄介な仕事であるが、この計画にすすんで協力された三井木材工業株式会社の各位に、また、計画推進にあたって御指導いただいた斎藤場長、小倉木材部長、堀岡科長、中村源一技官、ならびに、資料とりまとめに協力願った西原技官に対し謝意を表する次第である。

II 試 験 経 過

集成材アーチの概要を第 1 表および第 2 図に示す。

1. 集成材材料

(1) 木 材

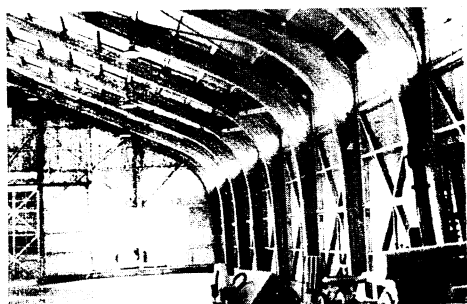
a. 樹 種

ラワン（赤ラワンおよび白ラワン、一部アビトンを含む）

b. 気乾比重

第 1 表 集成材アーチの概要

スパンの長さ	57'
壁の高さ	13'-6"
屋根の傾斜度	4/10
彎曲部の最小曲率半径	7'-5"
樹 種	ラワン
接着剤	尿素フォルマリン樹脂



第 1 図 集成材アーチによる工場倉庫内面図

(1) 木材部材質改良科技術研究室員

第2表 材料ラワン気乾比重

試料番号	気乾比重	含水率
1	0.61	11.0%
2	0.60	11.1 "
3	0.54	11.8 "
4	0.43	10.8 "
平均	0.55	11.1 "

材料ラワン挽板の中から代表的なサンプルを選び出し、それぞれ気乾比重を測定せる結果を第2表に示す。

c. メンバー挽板含水率

アーチ1本分のメンバー挽板について含水率を測定せる結果を第3表に示す。測定法は木研式含水率計を使用して、室温、11°Cにおいて測定を行い、20°Cに温度補正をして各測点の含水率値とした。

d. 等級、欠点

大半が無節無欠点、一部に径1/2~1"程度の節を有するものが混在したが、これらは、内層部積層メンバーに使用した。また、反り、ねじれ、などの狂いを有するもの、および割れ裂けなどの顕著な欠点あるものはこれを除外した。

(2) 接着剤

第3表 集成材メンバーの含水率

(%)

メンバー番号	測 点								平均
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
1	11.0	11.0	13.0	13.0	12.0	13.5	12.0	10.0	11.9
2	12.0	11.0	13.0	12.0	12.0	13.5	12.0	10.0	11.9
3	10.0	10.0	12.0	12.0	11.0	11.0	12.0	11.0	11.1
4	11.0	14.0	12.0	11.0	11.0	11.0	12.0	13.0	11.9
5	14.0	14.0	11.0	12.0	11.0	12.0	13.0	13.0	12.5
6	10.0	11.0	10.0	12.0	11.0	10.0	12.0	11.0	10.9
7	12.5	17.0	19.0	11.0	11.0	10.0	11.0	16.5	13.5
8	12.0	12.0	10.0	11.0	11.0	10.0	11.0	13.0	11.3
9	11.5	11.0	10.0	11.0	10.0	10.0	16.5	17.0	12.1
10	10.0	10.0	11.0	11.0	10.0	10.0	12.0	12.0	10.8
11	12.0	11.0	11.0	11.0	11.0	10.0	15.5	12.5	11.8
12	10.0	11.0	10.0	11.0	9.0	10.0	10.0	—	11.1
13	14.0	11.5	11.0	12.0	11.0	10.0	10.0	—	11.6
14	11.5	12.0	12.0	11.0	12.0	13.5	—	—	12.0
15	11.5	12.0	12.0	12.0	12.0	—	—	—	11.9
16	20.5	19.5	12.0	12.0	12.0	—	—	—	15.2
17	11.0	12.0	12.0	12.0	—	—	—	—	11.8
18	13.0	12.0	—	—	—	—	—	—	12.5
19	12.0	12.0	—	—	—	—	—	—	12.0
20	12.0	12.0	—	—	—	—	—	—	12.0
21	13.0	13.0	—	—	—	—	—	—	13.0
22	11.5	11.0	—	—	—	—	—	—	11.3
23	13.0	12.0	—	—	—	—	—	—	12.5
24	13.0	10.0	—	—	—	—	—	—	11.5
25	14.0	14.0	—	—	—	—	—	—	14.0
26	11.0	10.0	—	—	—	—	—	—	10.5
27	12.0	11.0	—	—	—	—	—	—	11.5

測点数 142. 最大 20.5%, 最小 9.0%, 総平均 11.85%

接着剤は集成材用接着剤として、専門接着剤メーカー（松栄化学株式会社）において、製造せる尿素ホルマリン樹脂であるが、その性質を記すと第4表のとおりである。

第4表 接 着 剤 の 性 質

	レジン率(%)	粘度(ポイズ)	比 重
厚 液	75.7	194.7	1.30
15% 水添加	62.7	8.7	1.20

ただし

$$(\text{レジン率}) = \frac{W}{W_0} \times 100 (\%)$$

ここに W = 最初の重量

W_0 = 100°C の乾燥器中に

て乾燥し恒量に達したときの重量。

(粘度)

ラフチェツク万能粘度計を用い測定時の測度 25°C にて錐体の落下時間を測定し、次式により絶対粘度を求めた。

$$\zeta = t(r_1 - r_2)$$

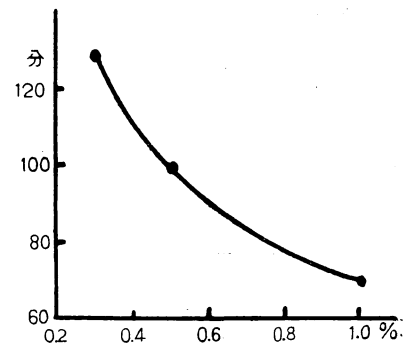
ここに ζ = 求める粘度 (ポイズ)

$t = 12cm$ の距離を落下する時間 (秒)

r_1 = 錐体の比重

r_2 = 液体の比重

C = 錐体の恒数



第2図 硬化剤の添加率と硬化時間との関係

つぎに接着剤原液に硬化剤を加え攪拌後の可使時間を測定し、さらに接着作業の堆積時間あるいは圧縮時間等を決定する資料をうるために以下の試験を行つた。

(i) 硬化剤の添加率と硬化時間との関係

硬化剤の添加方法は、原液に対して 15% 重量の水に塩化アンモン粉末をそれぞれ所定量ずつ溶解し、これをおのおの原液に添加し攪拌した。

試験結果を第5表および第2図に示す。

ただし、硬化剤添加率は固型塩化アンモンの添加率を示す。

(ii) 硬化剤 0.3% 添加時の温度と硬化時間との関係

(i)と同様の操作によつて硬化剤を添加し攪拌せる試料について温度と硬化時間との関係を試験し、結果を第3図に示す。

2. 集成材製造工程

(1) メンバー挽板加工

(i) スカフ加工

1～3間の乾燥挽板をスカフ接合して所定長とするために、メンバー挽板のスカフ切削を行う。形式は傾斜平面スカフとし傾斜度約 1/12.5、加工法は大工の手加工により、第4図および第5図のとおり行う。

(ii) スカフ接着

スカフ切削を終つた材料は第7図に示すとおり、電熱加板を使用せるスカフプレスにて接着する。

(iii) メンバー挽板の表面加工

スカフ接着を終った挽板は第8図に示すとおり、平削りの機械鉋にて表面加工を行い8分厚の材料を7.5分厚に仕上げる。

(2) メンバーの集成工程

(i) スカフ部分の分散

スカフ部分を分散せしめるために、最初の挽板の長さを第6表のとおり規整する。

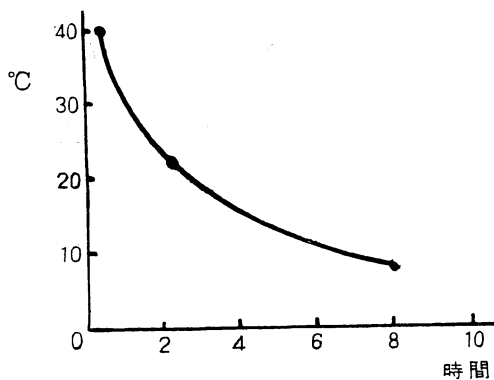
(ii) メンバー間の含水率偏差は第3表のとおりである。

(iii) 木理の組合わせは特に留意せず。

(iv) 2, (1), a, (b)に記載の多少の欠点あるメンバーは内層のメンバーとし、また、倉庫建設後、内面に露見するメンバーの色調を同一にするよう留意している。

(3) 接着剤塗付工程

接着剤はポット内にて1, (2), に示す処方と操作によつて原液に硬化剤を添加し、充分攪拌してから、これをそれぞれ小型のポットに分けて、第9図に示すように4~5名の人手により刷毛塗り



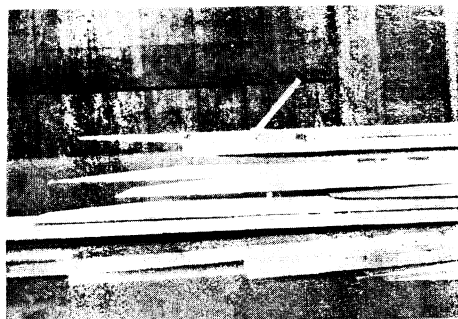
第3図 硬化剤0.3%添加時の温度と凝固時間との関係



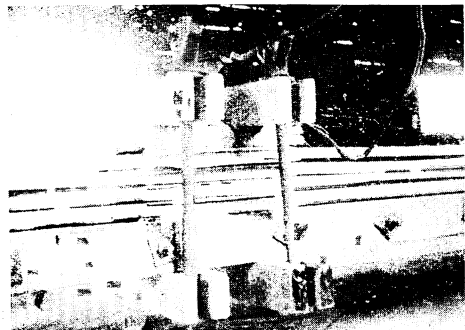
第4図 スカフ加工状況



第5図 同上



第6図 スカフ仕上り状況



第7図 スカフ接着



第8図 材料挽板の機械鉋仕上

第6表 スカフ部分を分散させるための挽板長さの組合せ

メンバー番号	挽 板 長 さ (尺)			
1	8.0	14.5	14.5	8.7
2	6.0	14.5	14.5	10.8
3	4.5	14.5	14.5	12.9
4	9.0	14.5	14.5	9.0
5	6.0	14.5	14.5	11.6
6	4.5	14.5	15.0	12.7
7	8.0	15.0	15.0	8.3
8	6.0	15.0	15.0	10.4
9	4.0	15.0	15.0	12.5
10	8.0	15.0	15.0	8.6
11	6.0	15.0	15.0	6.6
12	6.0	14.0	14.0	5.6
13	7.5	14.0	14.2	
14	5.0	15.0	13.0	
15	3.5	15.0	11.0	
16	8.5	14.0	14.0	
17	13.5	7.5		
18	13.5			
19	11.0			
20	9.5			
21	9.5			
22	9.5			
23	7.5			
24	7.5			
25	6.5			
26	6.5			
27	6.5			

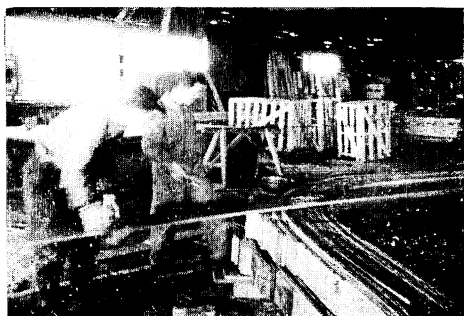
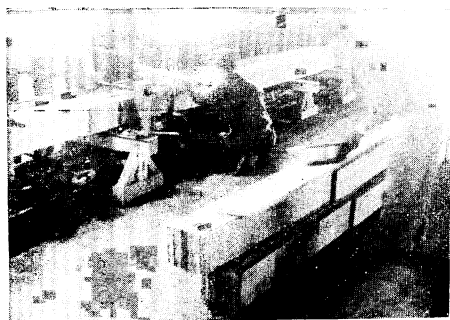
を行う。

塗付は両面塗付，塗付量は約 40g/尺²とした。

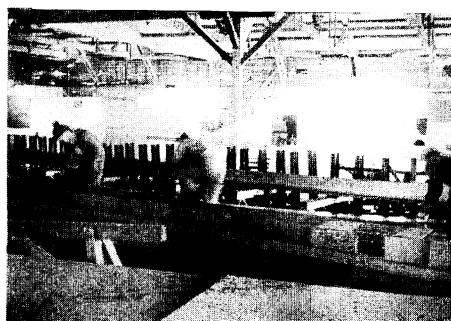
接着剤塗付を終った材料は第 10 図に示すように堆積し爾後の圧縮工程に移る。堆積時間は圧縮終了まで約 2 時間。

(4) 圧縮工程

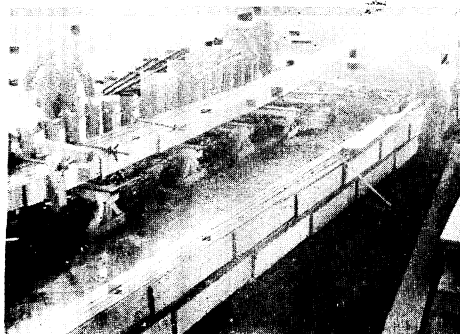
圧縮は第 11 図に示すとおりボルト・ナット形式のクランプあるいはターンバツクルによつてこれを行う。



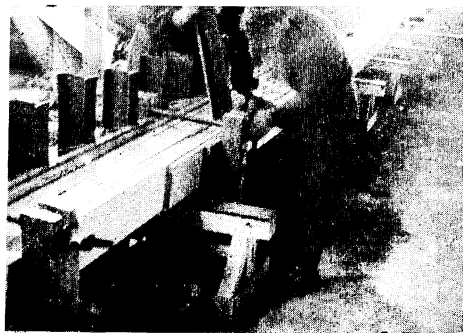
第 9 図 集成材メンバー接着剤塗付



第 10 図 集成材メンバーのアセンブリ



第 11 図 集成材通直部分圧縮



第 12 図 集成材通直部分圧縮

当て板は第 12 図に示すとおり、ラワン材の枕を挿入して、クランプ操作の調整をかねて行っている。

クランプ間隔は通直部分で約 60 cm 以下彎曲部分で約 30 cm 以下とする。

ボルト締めはレバーの長いパイプあるいは鉄棒によって行っているので、以下の計算式に基き圧縮圧力を計算すると次のとおりである。

$$FL = W \left\{ \frac{R(\pi f D + ik)}{(\pi D - fik)} + R'f \right\}$$

ただし、 F = レバーにかかる力

L = レバーの長さ

R = ボルトの平均半径

D = ボルトの平均直径

f = 摩擦係数 (0.2 とする)

k = ネジのピッチ

i = ネジの段数

R' = ナットの平均半径

$\pi = 3.14$

ここに、A、B 2 種類のボルト・ナットについて、

A は $D = 2.5 \text{ cm}$, $k = 0.4 \text{ cm}$

$i = 2$ $R' = 1.4 \text{ cm}$

B は $D = 2.6 \text{ cm}$ $k = 0.6 \text{ cm}$

$i = 2$ $R' = 1.5 \text{ cm}$

また、 $F = 30 \text{ kg}$, $L = 80 \text{ cm}$ とすると

A ボルトナットでは $6,074 \text{ kg}$

B ボルトナットでは $6,220 \text{ kg}$

の圧力がかかることとなる。

したがって、1 クランプ約 6 ton の圧力がかかる計算となり、

クランプ間隔は 60 cm のところでは接着面積 $1,200 \text{ cm}^2$ ($60 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$) となり

$$6,000 \text{ kg} / 1,200 \text{ cm}^2 = 5 \text{ kg/cm}^2$$

の圧力が加わる計算であるが、ここに圧力分布のムラは考慮していない。

なお、レバー長さのさらに短いパイプあるいはパイプレンチなどによる圧縮は、その比率だけ総圧力が減少することもちろんである。

ターンバックルについても同様のことがいいうるのでここでは省略する。

彎曲圧縮

彎曲圧縮は第 11 図および第 12 図に示すとおり、通直部分をクランプしてほぼ固定してから、第 13 図に示すとおり、チェインブロックにて一度に沿具の方へ曲げ、ほぼ沿具におさまった状態にしてから、逐次第 14 図のようにクランプしてゆく。かくて圧縮の終了せる状況を第 15 図に示す。

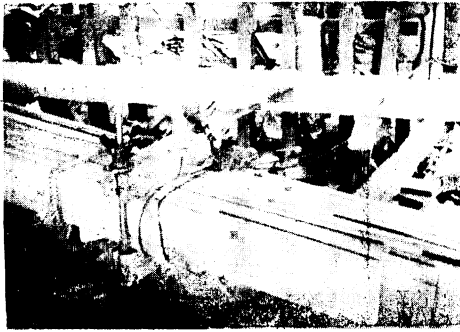
(5) 接着硬化工程

圧縮工程を終了せる材料は第 16 図に示すとおり、キャンバスをかけスチームパイプによる加熱保温を行う。

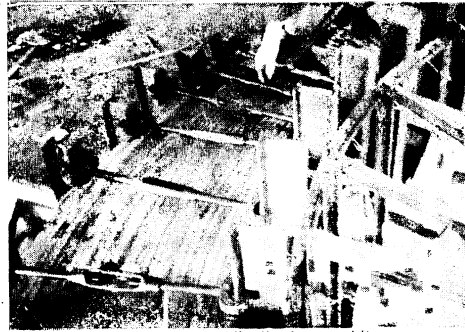
スチームパイプは集成材圧縮部分の下の床に $1\frac{1}{2}$ " パイプ 4 本をわらせ蒸気圧を $2 \sim 3 \text{ kg}$ に保つ。

加熱スケジュールならびに加熱状況の測定結果を以下に示す。

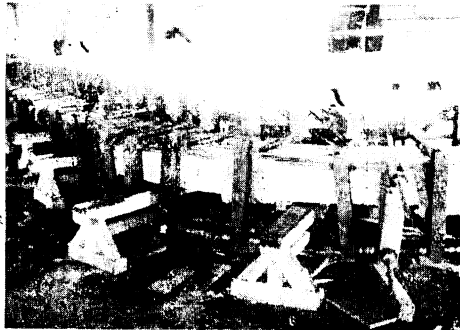
(i) 温度測定法



第13図 チェインブロックにて彎曲



第14図 彎曲部圧縮



第15図 圧縮終了

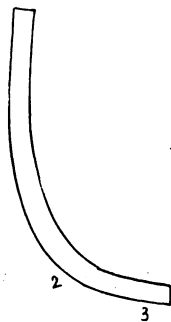


第16図 キャンバスをかけてスチーム加熱

温度の測定には銅・コンスタンタンの熱電対を使用し、容量 $5mV$ のミリボルトメーターのヨミから温度を計算した。

(ii) キャンバス内温度ムラ

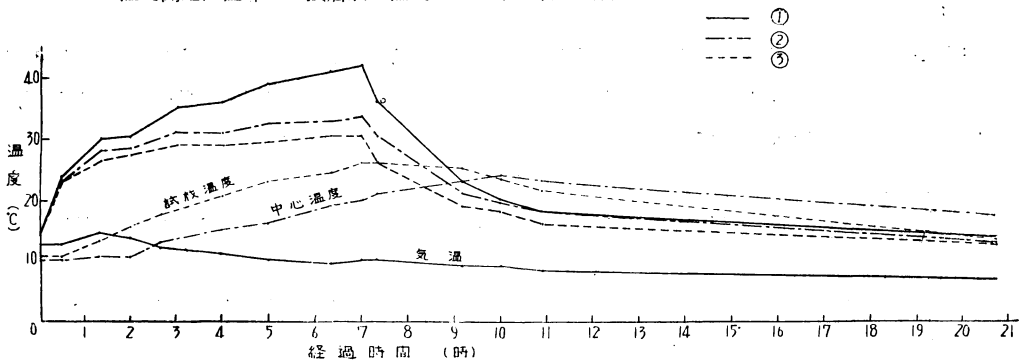
第17図に示すように、キャンバス内①、②、③点においてもそれぞれ温度を測定せる結果を第18図に示す。同図から明らかなように、加熱および保温過程の各点においてキャンバス内①、②、③点間の温度偏差を認めるが、これは、キャンバスの覆い状況ならびにキャンバス内空隙の広さの差異に起因するものと考えられる。



第17図 キャンバス内
温度測定位置

(iii) 接着層の温度のムラ

接着層の温度ムラの中で最も顕著に現われるのは、スチームパイプに面す



第18図 キャンバス内温度ムラ

る下面側とこれと反対の上面側との差、あるいは、太く長い材料の最内層中心部まで接着剤硬化のために必要な温度が与えられるか否かという点を検討しなければならないので第 19 図に示すとおり、彎曲 29ply 部の中央接着層 (13層) において、第 20 図のとおり、熱電対を埋め込み式に挿入し、その温度—時間曲線を求めると第 21 図および第 22 図のとおりである。

ここに第 21 図はスチームを 7 時間通じた場合、第 22 図は同 4 時間通じた場合の例であるが、これらの状況を 2, (1), b の接着剤の性質、特にその凝固硬化条件と対比検討して、ほぼ妥当な加熱保温条件と考えてさしつかえないであろう。

3. 製品仕上げ加工

圧縮硬化を終った材料は第 23 図に示すとおり大工の手作業によつて側面を削り、次に合板にて作製せる型に合わせて余剰部分を削り取り所定の寸法に仕上げる。

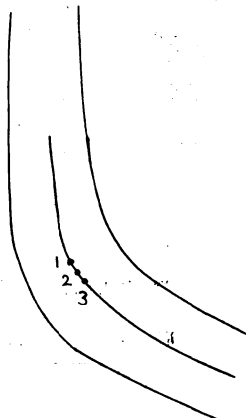
4. 製品の材質試験

a. 常態剪断接着力試験

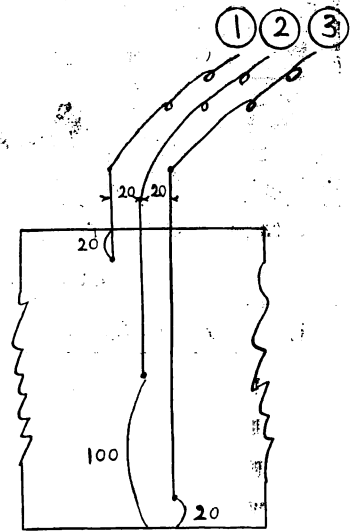
製品の初期接着力を試験するために、実物と同一材料、同一接着剤を使用し、その製造条件も同一にして第 24 図に示すような試料を調製した。なお同試料加熱硬化時の中心部の温度時間曲線を第 18 図(試料温度)に示した。

試験法は ASTM 805—52 に規定された方法に基き、アムスラー型 5ton の万能試験機を使用して荷重速度毎分約 40kg/cm^2 以下で剪断破壊せしめ、剪断接着力と木部破断率とを測定計算し、結果を第 7 表に示した。

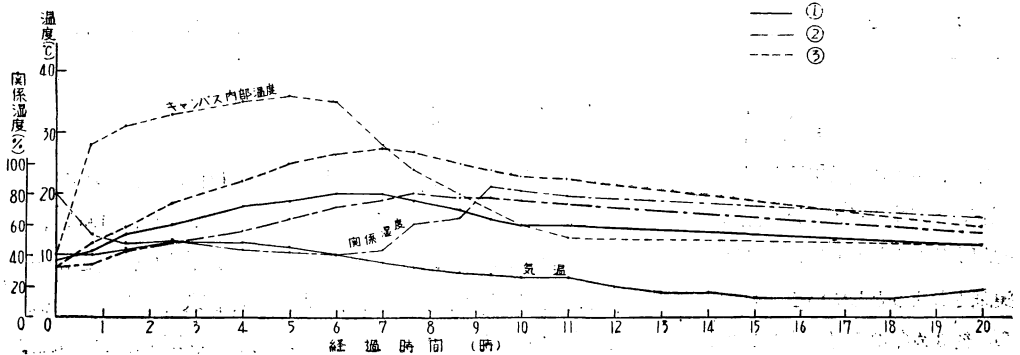
ただし、I, II, ……、VI はそれぞれ同一接着層より採取せる試験片グループの符号。



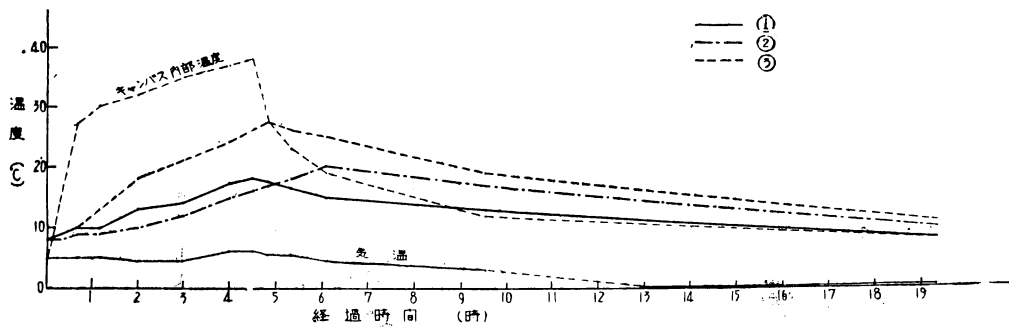
第 19 図 接着層温度測定位置



第 20 図 熱電対埋込深さ



第 21 図 集成材硬化温度時間曲線



第22図 集成材硬化温度時間曲線



第23図 圧縮硬化終了後の集成材側面加工



第24図 試験試料の調製状況

第7表 常態ブロック剪断試験の結果

符 号	剪断力 p. s. i	木 破 率 %	含 水 率 %	備 考
I	1.140	65	8.4	試験片 4 コの平均
II	1.191	55	9.0	"
III	1.010	88	8.7	"
IV	1.236	60	8.3	"
V	1.109	88	8.8	"
VI	1.001	80	8.6	"
平 均	1.105	73	8.6	試験片 24 コの平均

■ 考 察

木造建造物に接着工法を採用することが、本邦においては建築法規の上からまだ自由には行われ得ない現在、この集成材アーチの倉庫も一つの研究的な試みとして考えざるを得ないが、このアーチが1954年当初以来約3カ年の実用経験において、木造建築物構造強度部材としての役割を果し、接着上の信頼度も一応実証されようとしている。もちろん、これら建築物の使用年月は数十年にわたる半恒久的なものであるから、約3カ年の実用経験によつて、すべてを判断することはできないのでさらに今後の状況をみてゆかねばならないが、このアーチについて特徴的な点を考察すると以下のとおりである。

1. 挽板の性状

(1) 樹種

建築用集成材の材料樹種は、普通の木造建築物の場合と同様に、主として針葉樹材を材料としており、このアーチのように、ラワンを用いた例は内外を通じてあまり見受けられないので、この点も新しい試みである。建築用材としてのラワンの許容応力度等、強度的観点からの検討は省略するが、接着力試験に際しての木部破断率が他の樹種に比較して小さいことが接着信頼度の点でやや難点と考えられる。

(2) 挽板含水率

挽板はすべて人工乾燥室を通過したもので、第3表からも明らかなように、よく乾燥した優良材料と考えられる。

(3) 等級、欠点

欠点部分は材料挽板のときに選別し切断除去しているので、完成品はほとんど無欠点材料と考えてさしつかえない。

2. 接着剤

内装用集成材の接着剤はその使用条件から考えて、カゼインあるいは尿素樹脂によるのがたてまえであるから、このアーチについて接着剤タイプの選定は妥当と考えられる。しかして、ここに使用された尿素樹脂接着剤は第4表からも明らかなように合板用の尿素樹脂接着剤と顕著な相違は認められないが、刷毛による塗付は比較的低粘度の方が作業容易である。また、集成材の接着圧縮作業は合板等の場合と比較して、より長時間を要するのが普通であるから、今回のように、接着剤製糊の配合を考慮して、粘度、可使時間等を調整し、また、圧縮後の加熱硬化処理を工程に組み入れる等の操作によつて、接着作業を容易ならしめると同時に製品の接着性能を高度に保持するような処置が考慮されるべきであろう。

3. 製造工程

(1) スカフ

スカフの手加工は作業者の熟練度に左右されるので、正確均一な切削を能率的に行うためには、スカフマシン等を用いて工程を機械化しなければならないであろう。

(2) 圧縮工程

(i) クランプに主として合板用のターンバツクルを使用した点は既設の設備を活用する意味あいからは経済的であり、圧縮効果の点でも支障無きものと考えられるが、クランプ締の作業が厄介なので、集成材専用のボルトナット形式のクランプの方がより望ましいことはもちろんである。

(ii) 当て板の材質厚さ等を吟味し、クランプ密度もより密にして圧力ムラを減少させ、また、トルクレンチ等の測定具を用いて圧縮圧力の調整をはかるべきである。

(3) 接着硬化工程

この作業は、冬季、室温 10°C 前後の条件で行われたものであるから、断面の大きな集成材の最深部接着層といえども、尿素樹脂接着剤の硬化に必要な温度 (20°C 以上) まで加熱しなければならないのであるが、Ⅱ, 2, (5) の結果からも明らかなように、この条件はほぼ満足されている。

文 献

A. C. KNAUSS and M. L. SELBO: Laminating of Structural Wood Products by Gluing. 1948 Forest Products Laboratory.

三井木材工業株式会社: 新しい集成材建築, 木材工業, 9, (1954)