

木 質 接 着 部 材 の 耐 候 性

満 久 崇 磨*

Takamaro MAKU* : Durability of Glued Wood Construction Members

近年直交異方板としての合板の力学的挙動の理論的解明が発展し，これによつて合板およびこれを基材とする各種複合パネル，ガセット接合などの設計法が改善され，一方では集成材の利用開発，合成樹脂接着剤の発達などによつて，これら木質系接着部材を主体とする木構造が，とくに欧米において急速に発展した。これに伴つて，上記接着部材やその接合部の強度および耐候性に関する研究の重要性が強く認識され，これに関連した諸研究が最近大きく押し進められようとしている。本文ではこれらの諸研究のうち，主なものを紹介する。

1 劣化促進試験

木材あるいは接着層が化学薬品，腐朽菌および昆虫などにおかされる特別な場合は別として，健全な状態で長く大気にさらされた場合，その材質の劣化の原因となる因子はいろいろあるが，主なものをあげると

- (1) 水分
- (2) 熱
- (3) 光
- (4) 乾湿繰返しや外力によつて生ずる内部応力

などであるが，これらの因子の劣化機構や影響の程度などはまだ十分判つていない。しかし，少なくとも(4)が最も主要な因子の1つであることは断言できるであろう。また，これらの因子の相互作用——たとえば，耐候性試験では，しばしばぬれたままで強度試験を行なうことが多いが，この場合にあらわれる強度低下の原因が，はたして劣化によるものであるかあるいは単に含水率の影響によるものであるかなど——をはつきり区別して観察する必要がある。

木質材料の耐候性を論ずる場合，まず第一にでくわす問題は，これらの材料を長期間実際に使用した場合におこる材質の劣化を予測するために，短時間にこれと同じような効果を与える，いわゆる劣化促進試験ではどのような試験片を用いて，どのような環境条件（劣化因子）の与えかたをしたらよいかということである。というのは接着部材の耐候試験片は，原則として木部の劣化と接着層の劣化が，目的に応じてある程度バランスされていることが必要で，どちらかの劣化が極端に進むような試験片では，測定結果の信頼度が低く，また環境因子の与え方が不適當であると，実状にそわない結果におちいるおそれがあるからである。

* 木質材料研究部門 (Division of Composite Wood)

これらの問題は随分古くから論議されているが、総合的な研究が着手されたのはごく最近で、当然まだはつきりした結論には達していない。

従来、木質材料がきびしいばく露条件にさらされる場合の劣化促進試験としては、ASTM D-1037 に規定された

- (1) 49°C±2°C の水中浸漬 1hr
- (2) 93°C±3°C のスティーミング 3hr
- (3) -12°C±3°C の凍結 20hr
- (4) 99°C±2°C の熱気乾燥 3hr
- (5) 93°C±3°C のスティーミング 3hr
- (6) 99°C±2°C の熱気乾燥 18hr

なる1サイクル2日を6回繰返す合計12日間の試験法が、もっぱら適用されているが、最近では合板、パーティクルボード、集成材などの構造、外装用部材としての進出がいちじるしいため、各国共、この種の接着部材およびその接合部のサービスライフの評価をより正確にするための総合的な努力が払われている。たとえば、1966年北米の WCAMA 委員会¹⁾ (West Coast Adhesives Manufacturers Association Technical Committee) では、フェノール樹脂を結合剤とするパーティクルボードの劣化促進試験として、従来は上記 ASTM D-1037 を採用していたが、種々検討の結果(3)の凍結処理、(4)のスティーミング処理が接着力や厚さの膨張に影響がなく、耐候性の決定には煮沸と乾燥による膨張収縮の繰返して十分であることを認め

- (1) 18~30°C の水中浸漬 (26~28"水銀柱減圧) 0.5hr
- (2) 煮沸 3hr
- (3) 103°C の熱気乾燥 20hr

なる1サイクル1日の処理を6回繰返し合計6日間の新劣化促進試験法を提案しているが、この促進試験は3年のフィールド試験に相当することが確認されている。第1表は ASTM と

第1表 ASTM と WCAMA による劣化促進試験結果の比較 (5/8" ボード)

	ASTM	WCAMA
試 験 前 比 重	0.725	0.728
試 験 後 比 重	0.582 (80.3%)	0.570 (78.4%)
曲 げ 破 壊 係 数 psi	1397 (64.8%)	1318 (61.4%)
剥 離 強 度 psi	39.3 (50.2%)	38.7 (49.5%)

括弧内は対照試片に対する割合

WCAMA の試験結果を比較したもので、両者がほぼ同じ結果を示すことが認められる。

また SCATA 制定委員会 (Steering Committee for Accelerated Test for Adhesive) でも、接着材料のサービスライフを数週間から数カ月の実験によつて予想するための劣化促進試験法の制定を決議し、その一番手として接着層の劣化促進試験法 BDA System を検討中である²⁾。

このシステムは、水中浸漬、スティーミング、煮沸、熱気乾燥などの単独または組合せの繰返し処理からなるもので、まだ検討中の段階であり、樹種や接合部の形についても検討する必要はあるが、ダグラスファー合板の tension shear test (cross bond) の結果によると

(1) 100°C 煮沸—61°C 熱気乾燥

か (2) 100°C 煮沸—氷水浸漬—107°C 熱気乾燥

の繰返しが耐候性の判定に最も適合することがほぼ確認されている。同委員会では耐候性試験に適する試験片の形および寸法についての研究³⁾にも着手し、劣化処理として

(1) 減圧と加圧による飽水——長時間水中浸漬

(2) 飽水 4hr—93°C 熱気乾燥 20hr

(3) 連続煮沸 24hr

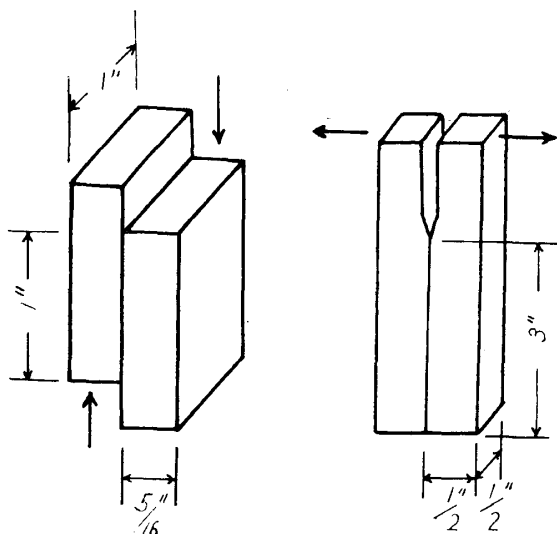
の3方法により、parallel bond の耐候性について比較検討した結果、block shear type では在来の ASTM D-905 は木部寸法が大きすぎるため、試験中や調湿時の乾燥期間に発生する乾燥割れによる木部の強度損失が早くおこり、接着層の真の劣化判定が阻害されることが判り、

(1) 接着長さを1"に短縮する

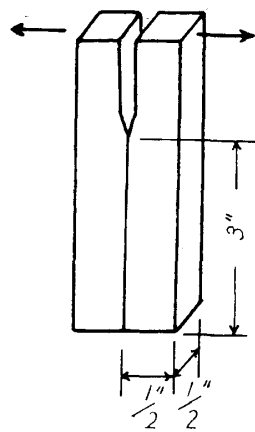
(2) 接着巾は直接影響はないが、便宜上1"に短縮する

(3) ラミナ厚を5/16"に短縮する

のが適切であることが確認された(第1図)。



第1図



第2図

また剥離の耐候性試験片としては cleavage type よりも tensile splitting type がより適切であることが認められ(第2図)，さらに block shear type と tensile splitting type について、数樹種、2接着剤を用いて比較した結果によると、両者の劣化にあまり差のないことから、耐候性試験にはどの type を用いてもよいことが確認されている。

前述したごとく、接着部材あるいは接着層の劣化試験法は最近ようやく組織的研究に着手されたばかりであり、表面劣化機構の究明とともに、今後に残された重要課題の1つであろう。

2 合板の耐候性

木質接着材料中の主位を占める合板の耐候性については、非常に多くの研究報告があるが、その大部分は接着層の耐候性、すなわち接着力の劣化、剥離あるいはこれに関連する因子の影響などにむけられており、材質劣化に関する資料は非常に少ない^{4),5)}。前者についてはすでに専門雑誌などに紹介されているので、ここでは剥離に関連する因子や材質劣化を取扱った最近の報告を2, 3紹介することにとどめておく。北米では最近 southern pine の合板が外装用として Douglas fir 合板に次いでのびているが、Koch⁶⁾が厚さ3/8", 3プライ合板を1年間

戸外にばく露して、単板の比重、年輪密度、裏割れの深さと密度、接着剤中の固形分、2次増量剤、塗布量、堆積時間など7つの因子と接着層の剥離の関係を調べた結果によると

- (1) 比重の低いものが剥離が少ない。
- (2) 年輪密度、裏割れの深さと数は剥離に無関係
- (3) 接着剤中の固形分の量には適値がある。
- (4) 2次増量剤と剥離には有意性がある。たとえば良質の増量剤（小麦粉）は低質（小麦粉+血液アルブミン）より剥離が少ない。
- (5) 塗布量には有意性がある。
- (6) 堆積時間は適度に短かい方がよい。

また、松本⁵⁾によると厚さ約 4mm, 3 プライ, フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤のラワン合板を6年間屋外にばく露した時の材質の劣化は第2表のごとくである。

第2表 屋外ばく露6年後の強度劣化（対照試片に対する百分率）

合板の種類	曲 げ 弾 性 係 数			引 張 強 度		
	試 験 方 向			試 験 方 向		
	0°	45°	90°	0°	45°	90°
N	36	30	102	23	19	57
A—53*	62	43	55	45	58	77
B—52	90	75	82	73	52	83
F—50	92	71	70	99	76	76
N'	48	38	108	27	28	84
A—42	93	45	63	51	28	63
B—45	79	45	62	80	36	67
F—43	89	72	69	58	60	53
F—25	98	67	78	87	56	71

* A, B, F はクラフト紙の厚さそれぞれ 0.12, 0.20, 0.22mm, N, N' は無処理合板（台板） 数字は含脂率を表わす

3 集成材の耐候性

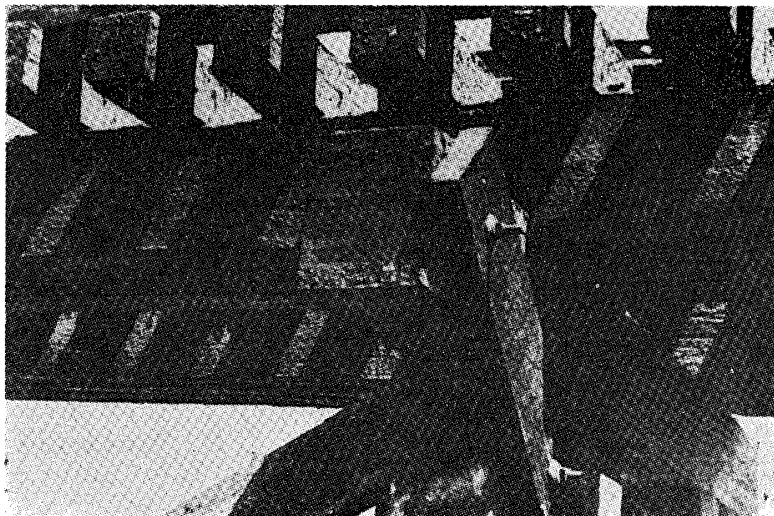
集成材構造が今世紀のはじめにスイスではじめて建造されて以来、その室内ばく露試験の報告は沢山出されており、ここで紹介するまでもないが、主なものを拾いあげてみると、まず北米の林産試験場で1934年に3滑節アーチ構造が組立てられ、設計のための諸資料がチェックされたが、これと平行してレゾルシノール、フェノール・レゾルシノール樹脂接着剤による集成材桁を12年間屋根組みの下でばく露した後、その接着力と剥離を調査した結果⁷⁾によると

- (1) 防腐処理の有無にかかわらず接着力 (block shear) は1～8%低下したにすぎない。
- (2) 水中浸漬、熱気乾燥の繰返しによる剥離試験 (ASTM D-1101) では southern pine, Douglas fir の場合剥離は2%以下である。

ことがわかり、この資料はその後の集成材構造の発展に大きく貢献した。また実際に10年間使用した後の調査によると、面白いことに剥離は主として節、うめ木、バットジョイント、機械

的接合部の付近から発生していることが観察され⁸⁾，2種の油性，3種の水性防腐剤処理をした red oak をフェノール・レゾルシノール接着剤で接着集成し，26.7℃，65%の雰囲気中に3年ばく露した例によると，接着力（block shear）は無処理集成材のそれに対して，初期，ばく露後ともに4～16%低下することが認められている。

最近構造用集成材はわが国でもかなり使用されているが，そのほとんどがまだ内装的利用である。しかし，欧米では建築はもちろん，鉄道，ハイウェイの橋桁，脚柱，送電塔など長期屋外ばく露される構造物にも，日本で想像されないほど広く利用されている。したがって，外装用耐候試験報告もたくさん出されているが，長期屋外ばく露の実例を2，3あげると，1945年北米 Virginia 州 Alexandria 附近にかけられた Southern Railway の木橋（第3図），1946



第3図 Southern Railway の Palm river にかけられた木橋の一部
樹種：Southern pine, 一部 red oak,
接着剤：フェノール・レゾルシノール樹脂
防腐剤：クレオソート・コールドタール 80：20

年 Florida 州 East Temper 附近を流れる Palm river にかけられた Atlantic Coast Line Rail Road の木橋，1948年 Oregon 州 Loon Lake 附近にかけられた重量物用林道のアーチ形木橋などはいずれも，各種の防腐処理をした Douglas fir や southern pine の集成橋桁，橋脚あるいは耐圧強度をますための，red oak の異樹種接着集成笠木などを使用しているが，約20年間実際使用後の調査では，水溶性防腐処理材の割れや剥離が油性防腐処理材のそれよりやや多くかつ大きい，一般に木部の割れや接着層の剥離は大したことはなく，今後なお長期の使用に耐えることが確認されている⁹⁾。

また，メラミン，フェノール系，レゾルシノール系樹脂接着剤を用い，各種防腐処理をした集成材についての1例¹⁰⁾，すなわち ASTM D-1101 による vacuum-pressure soaking と dry-ing の繰返し劣化促進試験と10～20年間の長期ばく露による剥離，接着力（block shear）の測定結果を紹介すると，

- (1) 木部の割れや接着層の剥離は針葉樹よりも広葉樹に多い。
- (2) 油性防腐処理材の方が一般に水性防腐処理材より割れや剥離が少ない。ただし屋根が

けをした場合、両者の差はあらわれない。

(3) 接着剤の種類による剥離の差は認められない。

(4) 10年、20年のばく露による接着力、木破率の劣化はきわめて少ない。

また、異樹種集成材の耐候性としては、エゾマツとミヅナラの柵、板目材を組合せて、フェノール樹脂接着した集成材について剥離 (ASTM D-1101) を調べた結果¹¹⁾によると

(1) 劣化促進試験の乾燥期間でエゾマツに接着層にそう木部割れが発生する。

(2) エゾマツコアが板目の場合、最も剥離が多く、柵目の場合最も少ない。

(3) 剥離発生の時期はナラ柵目—エゾマツ板目—ナラ柵目の組合せが最も早く1～2日、ナラ板目—エゾマツ板目—ナラ板目が最も遅く4～5日目である。

(4) 外側の樹種の比重が高いほど剥離が大きい。

4 合板と素材接合部の耐候性

Box beam, stressed skin panel, gusset, splice など近代木構造では合板と素材を接合することが非常に多い。この場合、理想としてはプレス接着が望ましいが、しばしば現場接着にたよらざるを得ないため、釘打ちによつて接着に必要な圧縮力を与える釘接着が重要になつてくる。

(1) 接着接合部の耐候性

合板と素材の接着接合部がはげしい大気湿度の変化、したがつて接合部の含水率変化の繰返しをうけた場合、その接合強度の劣化に影響を与える因子としては

(i) 素材の比重

(ii) 合板とくに表面単板の品質

(iii) 合板の表面繊維と素材繊維の傾斜角

などがあげられるが、このうち (i) と (ii) が最も影響が大きい。(i) は接合部の膨張収縮によつて発生する内部応力に関連し、比重が高いほど一般に応力も大きく、劣化により強く影響し、(ii) は応力によつて引起される単板の疲労や破壊に直接影響するからである。また合板の表面繊維が素材のそれに傾斜する場合、接着層や素材の膨張収縮をより強く拘束し、直交する場合にその影響が最も大きく、剛性の高い接着剤 (たとえばレゾルシンノール樹脂) は粘弾的な接着剤 (たとえばエポキシ樹脂) より劣化に対する影響が大きい。この外、接着面積もまた劣化に影響し、面積が小さいほど劣化も少ない傾向があるが、一般にサイズ効果は実用上無視しても差支えないといわれている。

KREUGER¹²⁾ が Douglas fir の外装用合板 (3/4"厚, 5 プライ) と素材をフェノール・レゾルシンノールとエポキシで接着した接合部を 27°C, 30% (EMC 7%) 27°C, 97% (EMC 24%) の繰返しにより、含水率を約24%まで段階的に吸湿平衡させた後、再び 27°C, 30% で平衡含水率まで乾燥した時の耐候性試験結果を要約すると

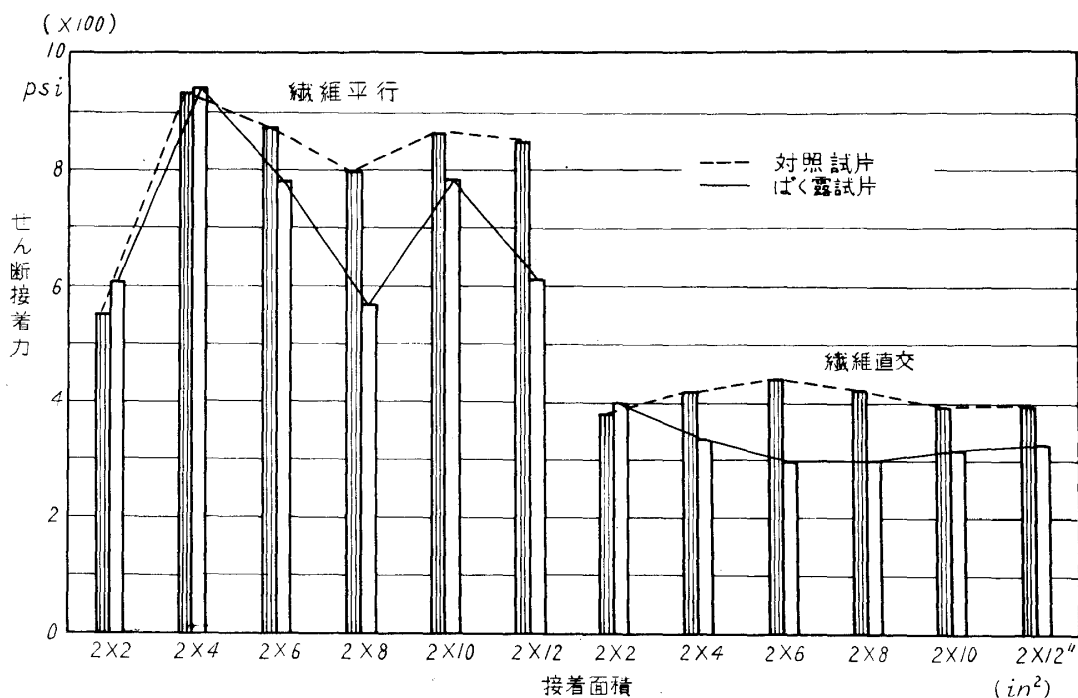
(i) 接合部繊維が平行する場合

レゾルシンノール樹脂の block shear の強度劣化は、接着面積の小さなものたとえば 2×2" ではほとんど認められないが、ある程度面積が大きくなると11.8～28.4%で、接着層の一部の剥離がこれと関連しているようである。素材比重が0.65～0.7の場合の強度劣化は0.5～0.65の場合

合の2.5～3倍である。これに対しエポキシ樹脂の場合、接着面積の影響については同じ傾向がみられ、強度劣化は13～17%であるが、素材比重の影響はない。

(ii) 接合部繊維が直交する場合

(i) の場合とかなり違った挙動を示し、レゾルシノールの強度劣化は素材比重が高いほど大きい。比重0.52の場合平均24.9%、素材破壊が平均18%、合板の表面単板の rolling shear による破壊が82%であった。エポキシの場合、強度劣化は比重0.52で平均11.1%、全部が rolling shear で破壊した。第4図は測定結果の1例である。



第4図 レゾルシノール樹脂接着剤による素材、合板接着接合部の耐候性試験結果

次に第5図のようなトラス屋根下弦材中央の突付部に合板スプライスをはつた場合のジョイントの挙動および劣化の参考資料としては WILKINSON¹³⁾ の報告がある。下弦材は 2×4" Douglas fir でスプライスはこの2組、3種類である。

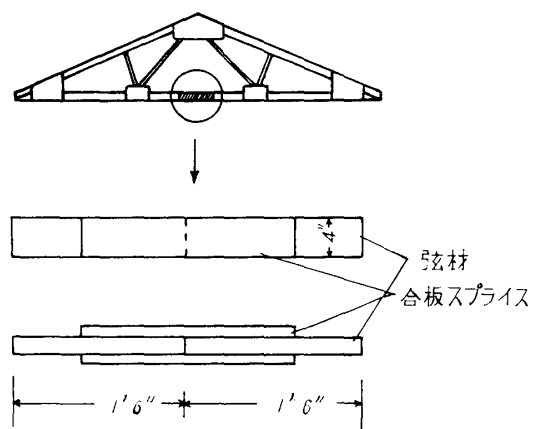
釘打ちスプライス：素材 1×4"

合板 1/2×4", 20"長

接着スプライス：合板 1/2×4", 10"長

接着剤はフェノール・レゾルシノール樹脂とカゼインで、下弦材の初期含水率は23～27%、15～19%、および8～12%の3段階である。

下弦材は通常引張応力と曲げモーメントをうけるから、第5図のような長さ約1'6"、巾4"



第5図

の弦材を突合せた両側にスプライスを接合した引張試験片および曲げ試験片を作り、前者には固定荷重 20 plf が加わる 28' span rafter に相当する引張荷重を、後者には uniform ceiling load 10 plf に相当する曲げ荷重を加えたまま

32°C, 95% (EMC 20%) 7日間

71°C, 45% (EMC 6%) 7日間

なるサイクルを3回与えた後、3～4日間 71°C, 73% (EMC 10%) で調湿し、その間のジョイントの伸びや撓みを調べ、最後にそれぞれの破壊荷重を測定した結果によると

(i) フェノール樹脂による接合部

耐候性のよい接着剤で合板スプライスを接合した場合、ジョイント強度は一般に合板の強度に支配されるが、弦材含水率が高いとスプライスの接着そのものはあまり問題はないが、サイクルの乾燥過程で弦材と合板の収縮差のため、接着層に小さな部分的破壊が観察され、これがサイクルによつて促進される、

さてこの場合、引張試片の伸びは非常に少なく (0.001～2")、ばく露による伸びの増加も認められない。曲げ撓みも同様である。強度低下は引張で5～21%、曲げで7～20%で弦材含水率が高い程低下が大きい。一般に引張、曲げ試片とも合板の rolling shear により破壊するが、弦材含水率が高い場合は上の理由からスプライス接着層の破壊が多い。

(ii) カゼイングルーによる接合部

接合部の伸びと撓みはばく露によつて影響を受けないが、引張強度の低下は11～23%、曲げ強度の低下は1～14%である。いずれも弦材含水率の高いものほど対照強度が小さいため低下率としては低くあらわれる。弦材の高含水率のものは大部分 スプライス 接着層の剥離によつて、低含水率のものは一部合板の破壊によつて破損している。

全般的に接着接合部の伸びや撓みは他の接合部 (素材スプライスの釘打ち、各種メタルプレート の釘打ち) のそれより小さいことがいえる。

なお、参考のため釘打ち接合部の挙動を見ると

(i) 変形：引張試片のばく露後の伸びは対照試片の1.48～3.0倍、曲げ試片では1.44～1.61倍である。いずれも弦材が乾燥しているほど上の数字は大きい方になる。これは乾燥弦材の対照試片のクリープが生弦材のそれより小さいため、剛性自体は乾燥弦材の場合が大きい。変形の大部分はサイクルの乾燥過程で生ずるが、これはこの時期に弦材が収縮して、スプライスとの間にギャップが生じ摩擦抵抗を減じて変形を許すためと考えられる。

(ii) 強度劣化：Tension shear の強度劣化は0～16%、曲げ強度の低下は10～30%でいずれも、弦材の初期含水率が高いほど低下が大きい、それでも設計値の4倍はあつた。

釘の腐蝕は1時的に保持力をますから、荷重が小さい間は釘の lateral resistance が支配するためあまり影響しないが、荷重がますと引抜抵抗の影響がはいる、サビによつて抵抗がます。この理由から、高含水率の弦材の接合強度は1時的に高くなるが、長年月を経過すると腐蝕が著しくなり、ジョイントがゆるみ、とくに剛性の劣化が一般に大きい。ジョイントの破壊はほとんど弦材またはスプライスの割れと釘の一部の引抜けによつておこるが、合板スプライスの場合は弦材との収縮差のため釘打ちの部分に破壊をおこしたのも若干ある。ばく露試片の強度試験による変形は当然対照試片のそれより大きい、設計値0.015"より小さかつた。

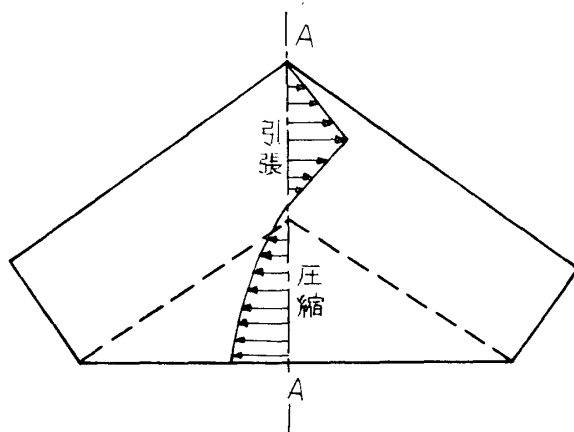
(2) 釘接着接合部

釘接着接合部の耐候性資料はあまりないが、DOYLE¹⁴⁾ がフェノール・レゾルシノール樹脂と 5 ペニイ釘（長さ $1\frac{3}{4}$ "）で、厚さ $\frac{5}{8}$ " の Douglas fir の外装用合板を厚さ 2" の Douglas fir の素材に第 6 図のように釘接着したジョイントを 13 カ月間室内および室外にばく露してその耐候性を調べた結果によると

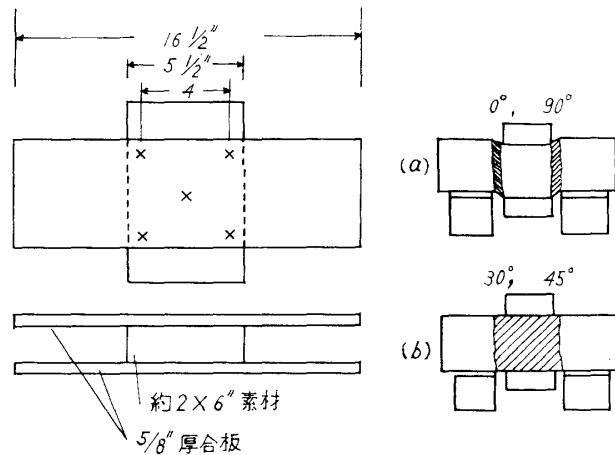
- (i) ジョイントの破壊は合板，素材間よりもむしろ合板自体に発生した。
- (ii) 素材，合板含水率がそれぞれ 18%，10% の場合と 12%，10% の場合の破壊強度に差はない。
- (iii) 暖房のない部屋に約 13 カ月間おいた接合部の強度低下は 2～3 % である。
- (iv) 戸外に約 13 カ月おいた接合部の強度低下は約 16 % である。
- (v) 27°C ，30%— 27°C ，80%— 27°C ，30%— 27°C ，90% を各項 3 カ月ずつ，合計 1 年間にばく露におけるジョイントの強度低下は約 16 % である。
- (vi) 破壊荷重の $\frac{1}{4}$ を 13 カ月加えた後の強度低下はみとめられない。
- (vii) 合板の表面繊維が素材繊維に平行または直交する場合のジョイントの破壊は合板のせん断破壊によつて起る。
- (viii) 表面繊維が素材繊維に 30° ， 45° 傾斜する場合のジョイントの破壊は合板の rolling shear による。

この実験に用いた合板の厚さ，釘の大きさ，釘打間隔などの諸条件は，普通の山形ラーメンガセットの標準的な値に近いから，この意味で実用的価値の大きな資料といえよう。

(3) トラス屋根の耐候性



第 7 図



第 6 図

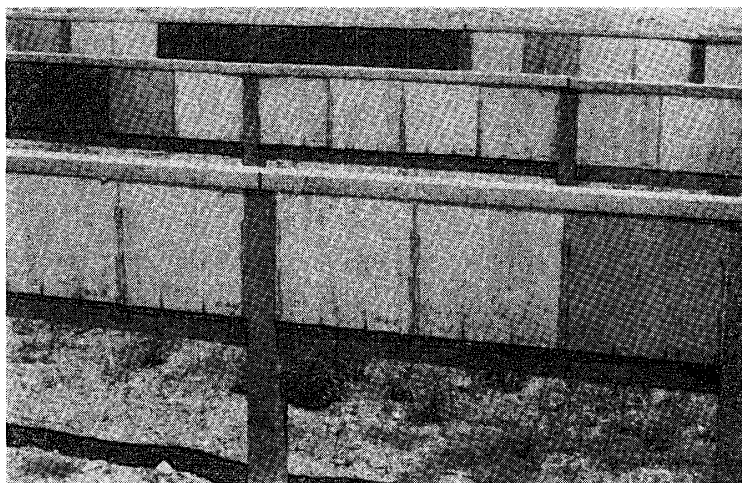
合板ガセットを用いた第 5 図のようなプレハブトラス屋根は，1940 年ごろから欧米の市場にあらわれたが，1960 年前後に従来より完全な設計資料が沢山公表されて以来急速に発展し，1966 年北米におけるこの種トラス屋根の年間生産量は約 700 万組といわれている。

ガセットプレートの設計にはいろいろの方法があるが¹⁵⁾，プレート内に生ずる応力の理論的解析はまだ十分ではなく，主として実験的資料に基いているものが多いが，このうちで面白いのはハンチガセットに APA が採用

している歪分布曲線である。これは多くの実験結果からガセット中心線 AA 上の歪分布曲線を第7図のごとく、引張側では三角形、圧縮側では2次のパラボラと仮定し、この歪を生ずる骨組の軸力、せん断力、曲げモーメントの平衡から合板の厚さを決定している。

さて合板ガセット接合部自体の耐候性についてはあまり発表されていないが、ガセットを用いたトラス屋根の耐候性については、かなり報告が出されており、その主なものは前に紹介した通りである¹⁶⁾。

木質接着部材とくに合板を主体とする新しい木構造は、この方面の研究および技術開発の遅れているわが国でも、ようやく明るい明期を迎えようとしている。接着部材や接着接合部の強度とその耐候性の研究には、今後ますます重要性が加えられるであろう。われわれの研究室でも昨年、各種の表面処理を行なった合板を用いた、釘打ち、釘接着、接着によるスティフナー付合板パネルの剛性、強度、スティフナーと合板の接合力などの耐候性の測定や表面劣化の観察のためフィールドテストに着手したが、これらの結果については時機をみて報告する予定である。第8図はこのフィールドテストの一部を示したものである。



第8図 合板パネルの耐候性フィールドテストの一部を示す
(京都大学木材研究所構内)

参 考 文 献

- 1) WCAMA, Forest Prod. J., 16, 6, 19 (1966).
- 2) NORTHOTT, P. L., R. E. KREIBICH and R. A. CURRIER, Forest Prod. J., 18, 5, 58 (1968).
- 3) STRICLER, M. D., Forest Prod. J., 18, 9, 84 (1968).
- 4) 平井信二他, 木材工業 23, 255, 267 (1968)
- 5) 松本庸夫, 木材工業 24, 266 (1969)
- 6) KOCH, P., Forest Prod. J., 17, 2, 41 (1967).
- 7) ANDERSON, L. O., Forest Prod. J., 14, 192 (1964).
- 8) SCHNIEWIND, A. P., Forest Prod. J., 13, 323 (1963).
- 9) SELBO, M. L., A. C. KNAUSS and H. E. WORTH, Forest Prod. J., 15, 466 (1965).
- 10) SELBO, M. L., Forest Prod. J., 14, 517 (1964), 17, 5, 23 (1967).
- 11) 椋代純輔・他, 林試研報, 153, 95 (1963)
- 12) KREUGER, G. P. and R. F. BLOMQUIST, U. S. Forest Serv. Res. Note FPL-076 (1964).
- 13) WILKINSON, T. L., U. S. Forest Serv. Res. Paper FPL-67 (1966).

- 14) DOYLE, D. V., U. S. Forest Serv. Res. Note FPL-042 (1964).
- 15) たとえば SUDDARTH, S. K., Purdue Univ. Res. Bull. No. 727 (1961).
PNEUMAN, F. C., APA Lab. Report 96 (1958).
APA, Plywood Rigid Frame Design Manual (1962).
宮島寛他, 北大農演研報 **25**, 85 (1967), **26**, 57 (1968)
CURTIS, O., Univ. Illinois, Agric. Exp. Station Bull. 654 (1961).
- 16) 満久崇磨, 木材研究 **38**, 1 (1966)