

大断面集成材解体材の性能評価と再利用

木材工業部 遠矢良太郎, 山角達也, 山之内清滝, 日譚富男, 図師朋弘

Performance of Used Heavy Timber and its Recycled Utilization

Ryotaro TOYA, Tatsuya YAMAZUMI, Kiyotatsu YAMANOUCHI, Tomio HIDAKA and Tomohiro ZUSHI

26年間駅舎の構造材として使用されてきたツガ大断面集成材の劣化を調べた。接合部分以外の材は、接着剤にユリア樹脂接着剤が用いられていたが、接着強さの低下及び材質の劣化がほとんど認められなかった。しかし、接合部分の材は、材端部において接着層の剥離及びボルトの金属錆による材劣化が多く認められた。接合部を除く材部分は健全材とほとんど同等の性能を有していたので、展示場の構造材として再利用された。

1. 緒 言

今日、木造ドーム、木橋、レストラン等大断面集成材を用いた大型の木質構造物が全国各地で建築されつつあり、新木造と呼ばれる時代を迎えている。

建築物は使用期間が長いことから、建物の安全性及び機能性を長期間にわたって維持するために耐久性を保つことが必要である。大断面集成材を用いた大型の木質構造物についても、使用期間中の安全性及び機能性を維持するために、構造材として高耐久性が必要である。鹿児島県は高温多湿の気候下であり、シロアリやカビ等による生物劣化を受けやすく、また台風の常襲地帯でもあることから自然災害に対しても構造安全性を保つ必要性があり、他の地域にくらべより一層の耐久性の性能が求められる。

一方、木材は二酸化炭素のストック材料であり、木材を建築物として利用し長期にわたって耐久性を保つことは、二酸化炭素が長期間固定されることとなり、については地球温暖化防止と地球環境に貢献することになる。

従って、建物を解体後、即木屑にして産業廃棄物として燃焼処理するのではなく、可能な限り部材の再利用を図り、長くストックすることが望まれている。

今回鹿児島において、大断面集成材を用いた建物が解体され、それを再利用して、新たな建物の構造材に供することになった。そこで構造材として長期間使用された大断面集成材について、材料強度、接着面のせん断強さ及び接合部の材質変化状況を調べ、再利用のための知見を得たので報告する。

2. 試験方法

2.1 解体前の駅舎と再利用の概要

西鹿児島駅は、鹿児島本線と日豊本線の始発駅であり、鹿児島の玄関の駅となっている。昭和47年(1962年)は鹿児島国体の年であり、これに合わせて駅舎の改造が行われた。当時は人の多く集まる場所や大型建築物には木は燃えるから木造は使えない時代であり、このような場所に木材を使用することには幾多の困難があったのではないかとと思われるが、旧国鉄の建築課や関係者の努力で、改札口から売店付近の回廊部分の屋根を支える構造材として湾曲大断面集成材が用いられた。湾曲大断面集成材が用いられた建屋の様子は次の通りである。

建屋面積:992.2m²

設計:鹿児島鉄道管理局建築課

納材:丸十産業株式会社

竣工:昭和47年1月3日

図1は駅舎の構内で外気側で使用されていた湾曲大断面集成材の外観を、図2はそのディテールと雨樋や屋根の取り付け状況を示す。また、屋内側湾曲集成材の外観を図3に、その柱脚部の取り付け状況のディテールを図4にそれぞれ示す。

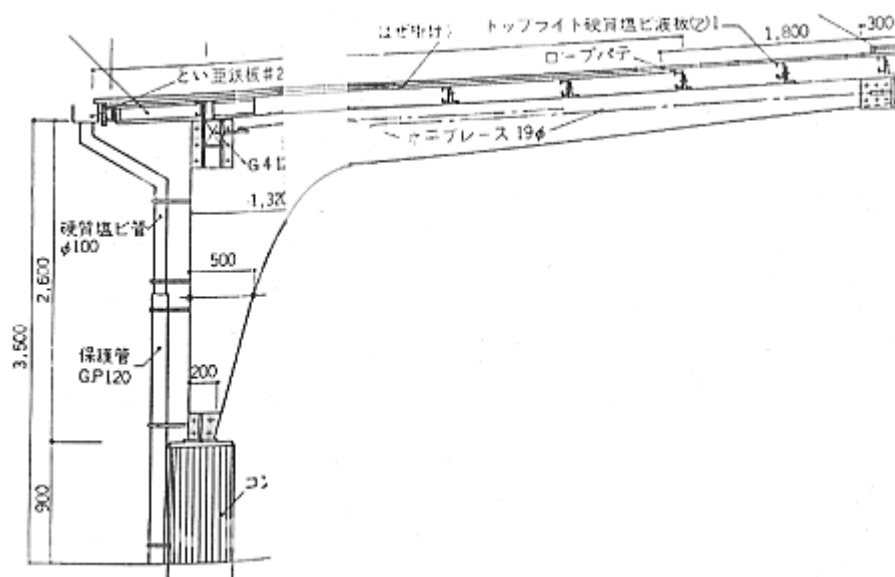


図1 駅舎の外気側に位置した湾曲集成材

図2 湾曲集成材の取り付け状況とディテール



図3 屋内側に位置する湾曲集成材

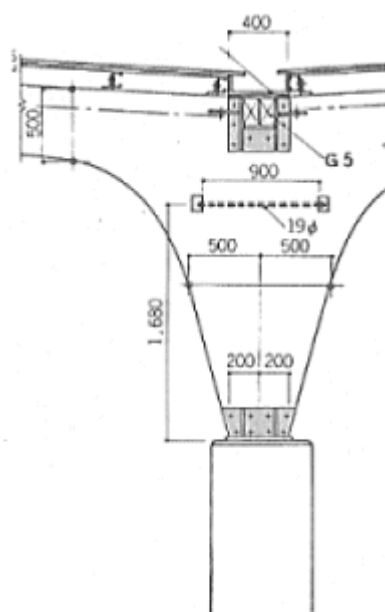


図4 柱脚部の取り付け状況とディテール

集成材の柱脚間のスパンは14mで、柱脚部は高さ90cmのコンクリート製基礎に取り付けられ、柱脚部及び棟部の接合部は、鋼板添え板によるボルト接合が用いられていた。集成材やプレス及び金具は全面塗装されていた。集成材は霧島産のツガ材で、使用された接着剤はユリア樹脂である。集成材は宮崎県都城市にあって九州で唯一の集成材工場であった丸十産業株式会社で製造された。この企業では、昭和30年代後半から大断面集成材が製造されており、当時集成材製造の草分け的企業であった。

この貴重な集成材を解体して廃棄してしまうのは惜しいということで、展示用建物の構造材に再利用して、集成材の美しさを表した建物を造りたいとする企業が現れ、集成材を再利用した建物が実現した。

このことに際して、解体された集成材の材料強度と劣化の程度を把握することが必要になり、当工業技術センターで試験を行った。

2. 2 解体材である大断面集成材の性能試験

2. 2. 1 実物大集成材の曲げ試験

湾曲大断面集成材について接合部と湾曲部を除く材部から通直材(幅15×せい27.5×長さ500cm)を作製し、全スパン400cm、中央載荷間の距離92cmで、4点曲げ試験を行った。

2. 2. 2 ラミナの曲げ性能試験

実物大曲げ試験終了後、曲げ破壊の影響のなかった部分から、幅:15cm、厚さ:2cm、長さ:100cmの材を採取した。集成材を構成するラミナは、厚さ:1.3cmであったので、これらラミナを接着層に添って切断しプレーナーがけして、幅:2cm、厚さ:1cm、長さ:25cmの試験片を製作した。曲げ試験は、スパン15cmの中央集中荷重で行い、曲げヤング係数(MOE)と曲げ破壊係数(MOR)を求めた。

2. 2. 3 木部せん断強さとせん断接着力試験

ラミナの曲げ試験と同様に、実物大曲げ試験終了後、曲げ破壊の影響のなかった部分から、幅:15cm、厚さ:3cm、長さ:100cmの材を採取した。この材からJIS Z 2114 によるイス型せん断試験片を製作し、試験に供した。

木部せん断試験片は、接着層に平行なものと直交なものの2種類とした。なお接着層に平行な試験片のせん断面は木部となるようにし、接着層と一致しないようにした。

せん断接着力試験片は、せん断面が接着層に一致するように製作した。

2. 2. 4 接合部のせん断強さ試験と観察

解体材の接合部について劣化が平均的である部材を選びせん断接着試験片を製作した。試験片は添え板鋼板が当てられていた箇所の材から採取した。

CT観察は当センターに設置してあるX線CTスキャナ装置を用い、撮影条件は、出力120KV、100mA、撮影時間:4.5秒とした。

3. 結果と考察

3. 1 実物大集成材の目視観察と曲げ性能

集成材の塗装は2層にペンキが塗られていて、塗膜の剥離はみられず、塗膜は木部に強固に密着していた。屋根の棟付近は透明な硬質塩ビ波板でトップライトになっていたが、塗膜の劣化は生じていなかった。塗膜のメンテナンスが行き届いていたのと思われる。木部及び接着層ともにクラックは見られず、またラミナの縦接合にはスカーフジョイントが用いられていたが、スカーフジョイント部分の剥離は全くない等、品質の優れた集成材が製造されていたことが明らかになった。

湾曲大断面集成材について、接合部と湾曲部を除く通直材の材部分は屋根を支える梁であり、この梁にかかる荷重のレベルは大きくなかったものとする。

この集成材の曲げの残存強度を調べた結果を図5に、破壊状況を図6に示す。

曲げ試験の結果はMOE:110.5tonf/cm²、MOR:333kgf/cm²であり、異等級構成(非対称構成)構造用集成材の基準値E110-F315Iに相当する強度性能を示した。この値はツガ材で製造した集成材の新材とほぼ同等の値ではないかと思われ、曲げ性能の低下はほとんどなかったものとする。

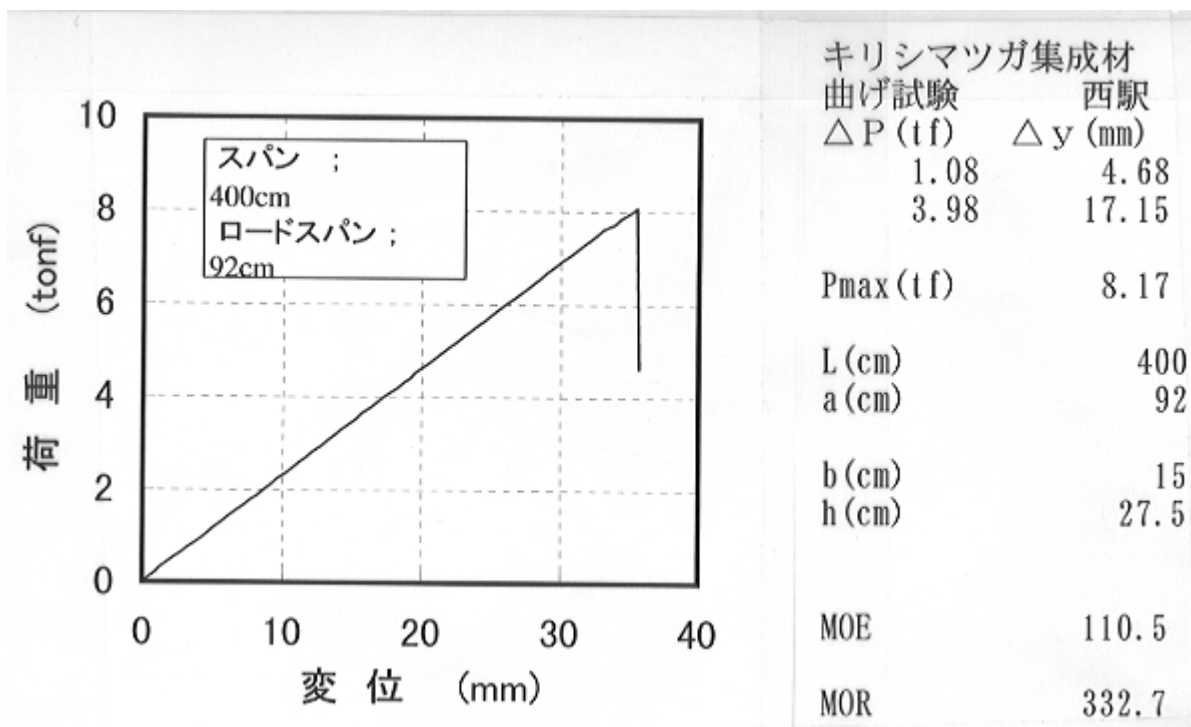


図5 集成材の曲げ荷重と変位線図



図6 集成材の側面と下面（引張り面）における破壊状況

3.2 ラミナの曲げ強度性能

ラミナのMOEを表層から内層さらに表層へと連続して測定した結果を図7に、MORを同様に測定した結果を図8に示す。実物大集成材のMOE(110.5tonf/cm²)に対してラミナの外層のMOE(90~100tonf/cm²)が小さくなっていたが、このことについて、試験材として採取した箇所の外層ラミナのMOEが小さい値の箇所が選ばれたもので、もっと数多くのラミナを測定する必要がある。また、ラミナのMORの平均値は892kgf/cm²、実物大集成材は333kgf/cm²で、ラミナのMORにくらべて実物大集成材のMORがかなり低く、実物大の集成材のMORについては節や目切れ等の影響が大きいことが伺える。

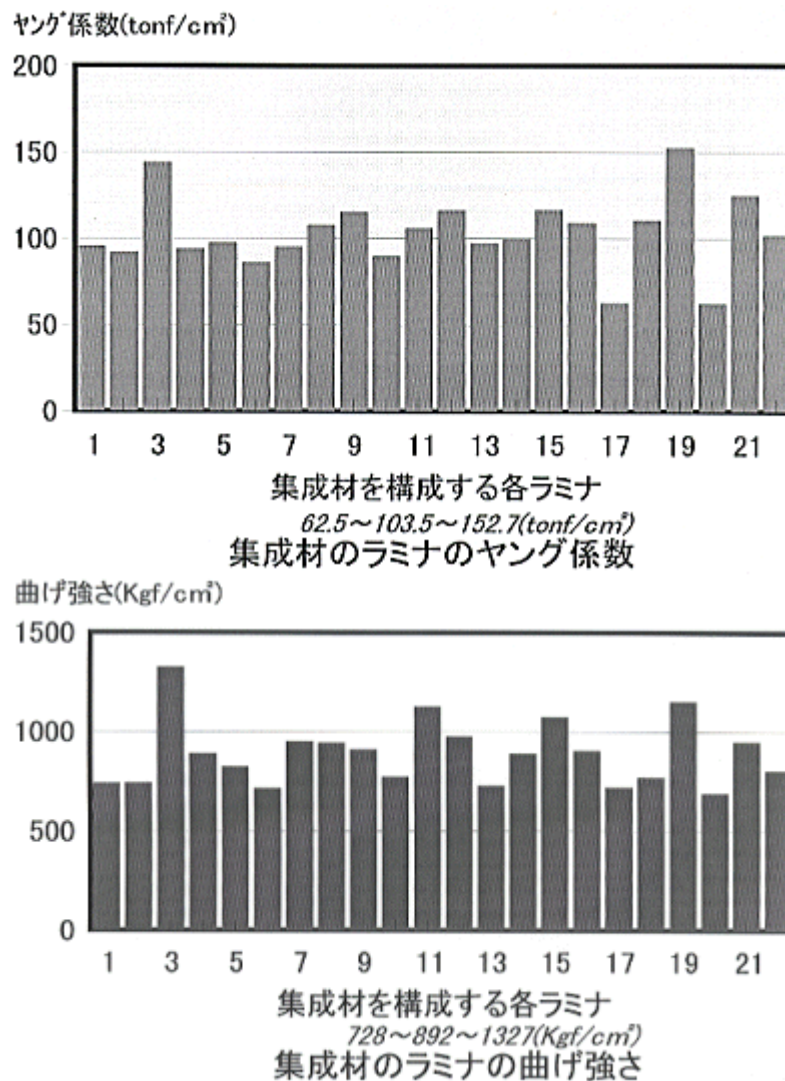
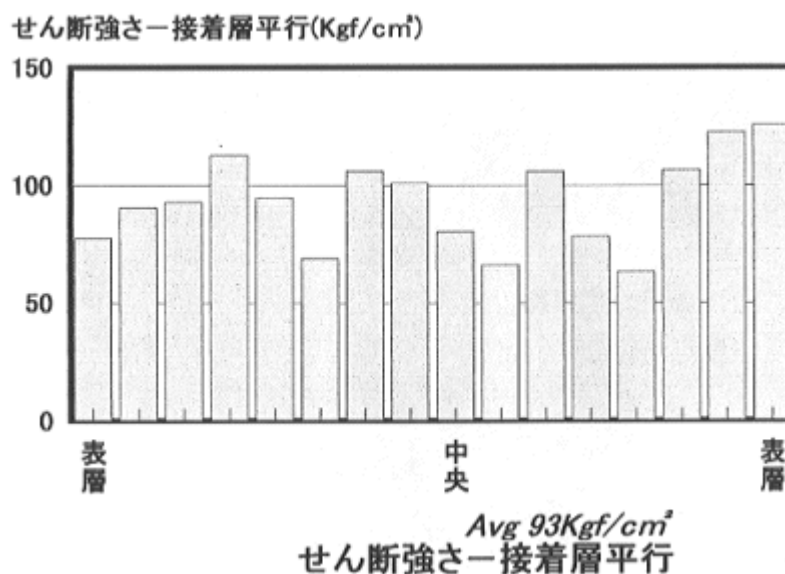


図7 集成材の表層～内層～表層ラミナのMOE

図8 集成材の表層～内層～表層ラミナのMOR

3.3 ラミナのせん断強さと接着力

集成材の表層～内層～表層と連続してラミナのせん断強さを測定した。接着層に平行な木部のせん断強さを図9, 接着層に直交する木部のせん断強さを図10に示す。平行(平均値: 93kgf/cm²)と直交(平均値: 98kgf/cm²)との間でせん断強さに差は認められない。



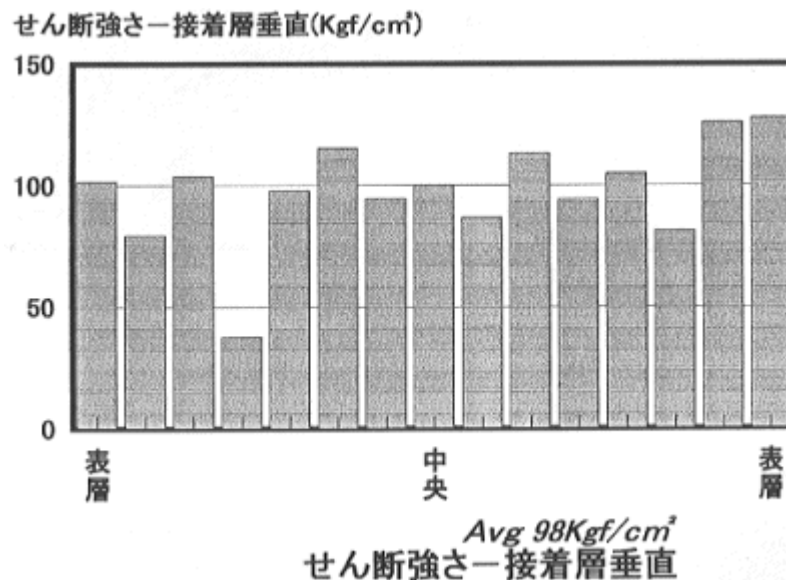


図9 集成材内におけるラミナのせん断強さ（接着層に平行）

図10 集成材内におけるラミナのせん断強さ（接着層に直交）

接着試験における接着力を図11に、木破率を図12に示す。接着力の平均値は 92 kgf/cm² (min 34, max 140), 木破率: 平均値 75 % (min 40, max 100) であり、接着力と木部のせん断強さにはほとんど差がないこと、木破率も大きいことから、接着力は十分な性能を維持していたことを示している。接着剤にはユリア樹脂が用いられていたが、集成材が屋内で使用されていたこと、塗膜が性能を維持していたこと等から、ユリア樹脂が劣化を受けずに接着力が健全に維持されていたものと思われる。このような状態で使用されるについては、ユリア樹脂でも長期間にわたり接着性能が維持されることが明らかになった。

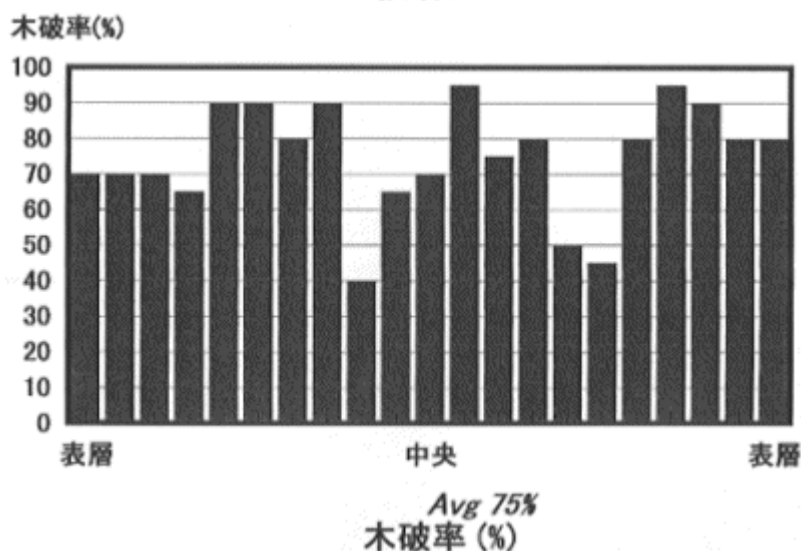
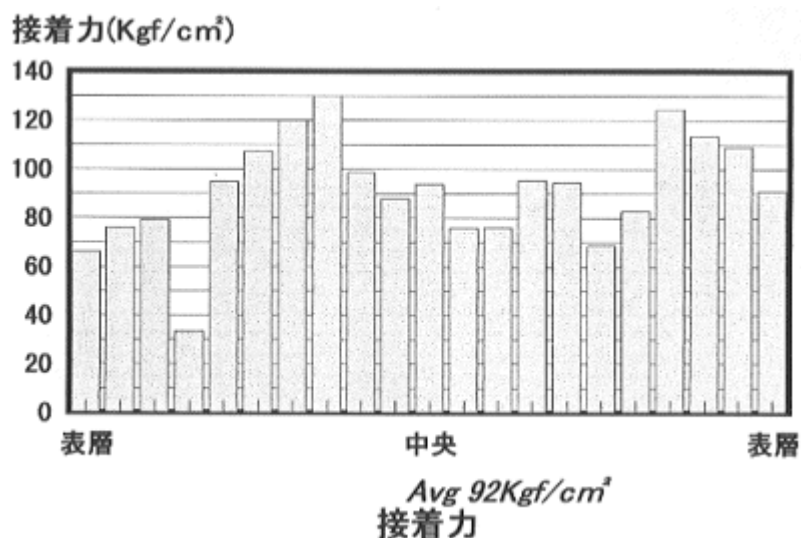


図 1 1 ラミナ層の接着力（集成材の表層～内層～表層）

図 1 2 ラミナ層の木破率（集成材の表層～内層～表層）

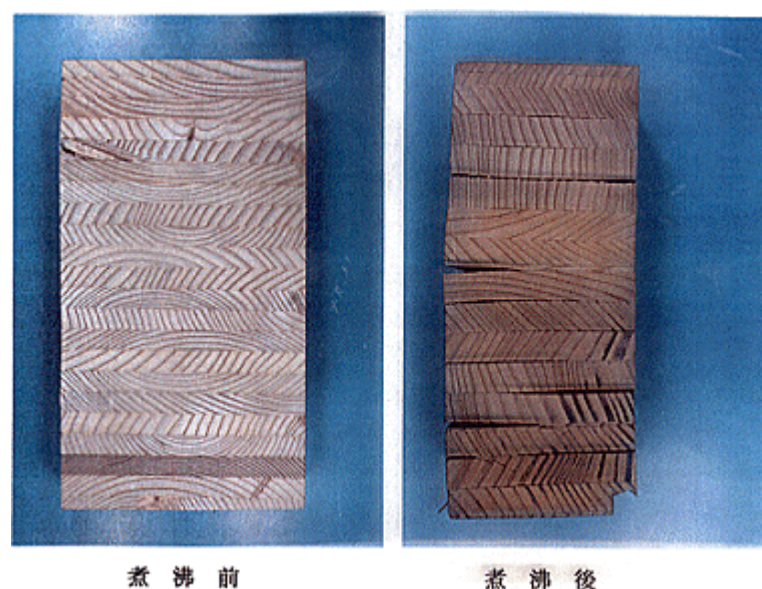


図 1 3 集成材の煮沸剥離試験前と試験後

当然のことながら集成材の煮沸試験を行うと、ユリア樹脂は耐水性に劣ることから、図13に示すように接着層の剥離が著しい。

しかし、集成材の接着力はほとんど低下していなかったことから、構造用材であっても室内で使用するについては、接着に過酷な煮沸試験が必要かどうか検討の余地がある。

3. 4 接合部のせん断強さとCT及び目視観察

添え板鋼板が取り付けられていた部分の材について、端部からせん断強さを連続して測定した結果を図14に示す。図14において、1(木口)～6(木口から繊維方向に約30cm離れている位置)は繊維方向の位置を表し、Aアー1～Bイー1は集成材の横方向の試験片の違いを表す。ここにおいて、接合部の材質の劣化が激しいことが示された。

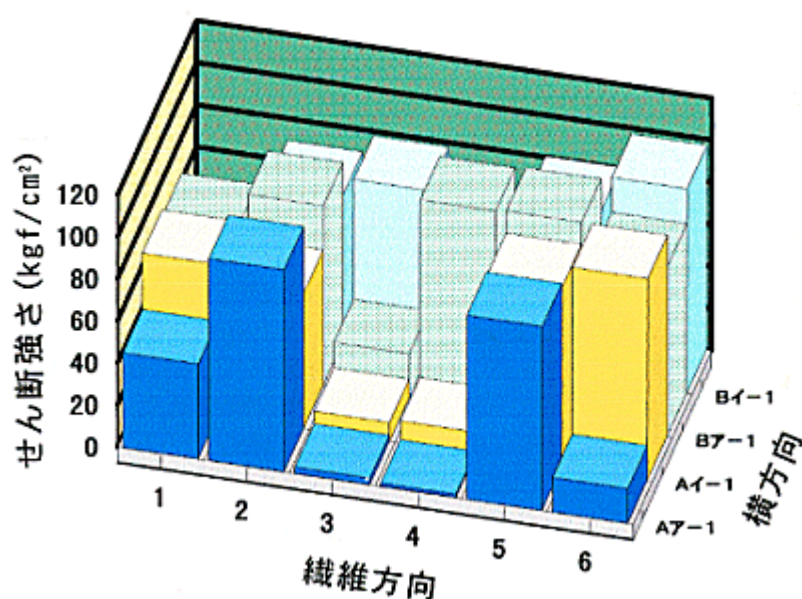


図 1 4 接合部におけるせん断強さ

さらにX線によるCT画像で、健全な材部と劣化した接合部を観察した結果を図15と図16に示す。図15の健全材部では接着層の剥離、材の溶脱はなく密度の大きい年輪が明らかであるが、図16における接合部

は接着層の剥離、材の割れや溶脱とみられる空間がみられ、劣化の様子が明瞭に捉えられた。

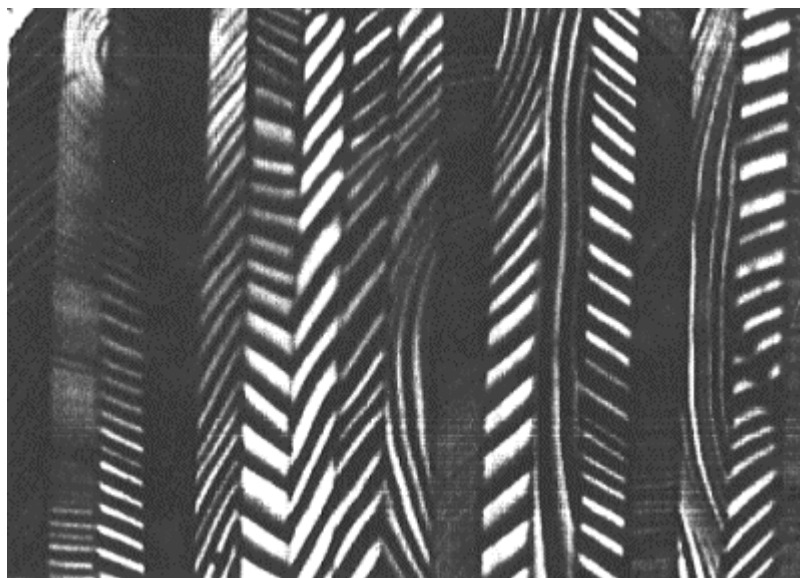


図 1 5 C T 画像（健全材部）

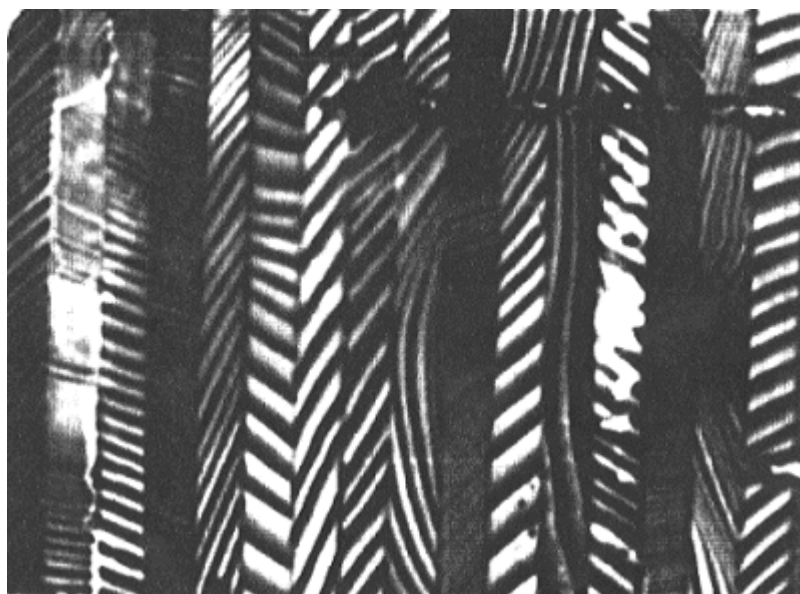


図 1 6 C T 画像（接合部）

接合部は金具の上から全面塗装されていたが、図17に示すように、鋼板が取り付けられている材端部分は木材の劣化、接着層の剥離及びボルトの金属錆による材劣化が多くみられた。劣化の甚だしい材では材質がもろくなっていた。



図 17 接合部鋼板が取り付けられていた箇所

湾曲部の肩で、材劣化した箇所と鋼板添え板されていた棟部分の材端部の劣化状況を図18に示す。劣化の原因として、木口からの水分の進入、鋼板やボルト箇所の寒熱繰り返しによる材の劣化及び金属の結露に起因する材の劣化が考えられる。水の関与によって接着層の剥離、材の崩壊、腐れが生じたものである。



図 18 湾曲部の肩で鋼板が取り付けられていた箇所

図19は柱脚部における鋼板添え板とボルトによる材劣化を示す。金物と接する材部は結露と金属の錆が生じ、これが水分を引き寄せ、木材に劣化を生じさせることとなる。

図20は雨樋の金具が取り付けられた部分とボルトに接した木部の劣化状態を示す。金物による錆とその付近の材の劣化が著しい。接合部は接合金具による劣化が生じている。



図 19 柱脚部の鋼板とボルトが取り付けられていた箇所



図 20 雨樋が取り付けられていた箇所

従って接合部の劣化や金具取り付け部分の木材の劣化を防ぐには、木口からの水の進入を遮断することと金具と木材との間に塗料を介在させて金具に起因する寒熱繰り返しの影響をできるだけ避けることが望ましい。

この対策として、木口を塗料かコーキング材で隠し、水の進入を遮断すること、鋼板を取り付けてから塗装するのではなく、予め木部を塗装しておき、鋼板や金具を取り付けた後更に上から塗装する方法はいあかがであらうか。できるだけ結露と金具に錆を生じさせないことが肝要と考えられる。接合部は金具の上から全面塗装されていた。このため、金具の錆、鋼板に接する木部の劣化、木口付近の水による腐れ等が生じていても外部からは見えないので、接合部は頻繁煮チェックすることが必要である。たとえば超音波診断器を用いて現場で超音波の伝搬速度を利用する劣化診断が考えられる。

3.5 湾曲大断面集成材の再利用

接合部分を除く材部分はほとんど劣化を受けていなかったもので、展示場の構造材として再利用した。建物は木製クラフト製品を主に展示するホールである。1階部分はRC構造で、集成材は2階部分の屋根を支える構造材として用いている。図21は1階から見た展示場の内部を、図22は2階部分を示している。なお、建

物の片側はガラス貼りで、道路から建物の2階部分の湾曲大断面集成材が見えるようになっていて、集成材のPRに一役買っている。



図 2 1 展示場の内部（1階から見た集成材）

図 2 2 展示場の内部（2階から見た集成材）

4. 結 言

26年間駅舎の構造材として使用されてきたツガ大断面集成材の劣化を調べた。

- (1) 接合部分以外の材は、接着剤にユリア樹脂接着剤が使用されていたが、接着の強さの低下及び材質の劣化がほとんど認められなかった。屋内で使用される場合ユリア樹脂接着剤は耐久性が高いことが明らかとなった。
- (2) 接合部分の材は、材端部において着層の剥離及びボルトの金属錆による材劣化が多くの材でみられた。劣化の甚だしい材は、材質がもろく一部炭化した状態に類似していた。
- (3) 接合部を除く材部分は健全材とほとんど同等の性能を有していたので、展示場の構造材として再利用された。
26年前に南九州で品質の優れた湾曲大断面集成材が作られていたこと、それが人の集まる駅舎の建物として利用され、駅の方々によって十分な管理が施され、その性能を持続していたこと、そして建物の役目を終えて解体された後、さらに再利用されたことは、一事例ではあるが、今後の木材の利用のあり様についての方向を示唆しているものといえよう。これに携わった関係者の方々の努力に敬意を表したい。