

金属と木材の接着性

金属-木材接着におけるエポキシ樹脂の接着性と物性*¹

佐野敦子*², 吉田弥明*², 滝 欽二*², 山田千香子*^{2,3}

Bondability of Metal to Wood Joint

Bond quality of epoxy resin wood-adhesives in metal-wood joints for structural use

Atsuko SANO*², Hiroaki YOSHIDA*², Kinji TAKI*² and Chikako YAMADA*^{2,3}

To make clear the bond quality of epoxy resin adhesives for structural use in metal-wood joints, metal-metal and metal-wood single lap shear specimens were bonded after the application of different surface treatments to metals. Bond quality tests were made on them, and visco-elastic properties of cured resin films of these adhesives were measured.

In the case of metal-metal bonding, chemical degreasing remarkably improved both bond quality in dry and wet uses, except metal processed specially with zinc, whose wet strength deteriorated owing to easy penetration of water into the glueline because of the coarse surface.

In the case of the metal-wood bonding, wet strength was reduced considerably by the water-soaking treatment, and the glueline was delaminated completely in 24 hours. Peak temperatures of the loss modulus of the cured films soaked in water were shifted to the lower temperature region, but recovered by a drying treatment, and the bond strength also recovered. It strongly suggests that water penetration into the glueline remarkably reduces the bond quality in wet uses.

Keywords : bondability, epoxy resin, visco-elastic property, surface treatment, metal-wood joint.

木質構造用エポキシ樹脂接着剤を用いて、金属と金属、金属と木材の接着を行い、金属の表面処理と接着性、耐久性について試験を行った。これと同時に、接着剤硬化フィルムの動的粘弾性を測定し、その接着性、耐久性との関連について検討した。

金属と金属の接着では、溶剤による金属表面処理により、接着性が大きく向上した。金属と金属の接着においてエポキシ樹脂は良い接着性能を示したが、Z-S処理鋼材はZ-S処理によって接着界面となる表層へ水が浸入しやすい構造になっていると推測され、耐水接着強さは大きく低下した。

一方、金属と木材の接着は水分の影響を大きく受け、水浸せき時間の増加に伴って接着強さは徐々に低下し、24時間で完全に剝離した。接着剤フィルムでは、24時間の水浸せきによって損失弾性率のピーク温度の低下が認められ、硬化エポキシ樹脂自体の強度性能も水分の影響を大きく受けることが明らかとなった。

1. 緒 言

我が国における大規模木構造の普及は目覚しく、問題点とされている接合部の改善のために様々な試みがなされている。このような状況の中で、従来の鋼板、ボルト等による機械的接合に、接着剤を併用した構(工)法¹⁾が注目されており、金属と木材の接着に関する報告^{2,3)}は散見されるが、まだ十分なデータが蓄積されているとは言い難い。

*¹ Received September 22, 1997; accepted December 25, 1997. 本研究の一部は第47回日本木材学会大会(1997年4月, 高知)で発表した。

*² 静岡大学農学部 Faculty of Agriculture, Shizuoka University, Shizuoka 422-8529

*³ Present address: 株式会社キベ Kibe Co. Ltd., Nagoya 454-0012

エポキシ樹脂は揮発分を多く含まないため、硬化に伴う体積収縮がほとんどなく、いわゆる空隙充填性のある接着剤として知られている。したがって、このような構造部材間の接合部には、エポキシ樹脂接着剤が多用されている。しかしながら、構造用としてのエポキシ樹脂を考えると、その耐久性を明らかにしておく必要がある。

そこで本研究では、構造用接着剤として最も一般的に使用されている常温硬化タイプのエポキシ樹脂接着剤を用いて金属と金属、金属と木材、木材と木材の接着を行い、金属の表面処理と接着性、耐久性について検討した。さらに、接着剤の物性と接着性との関連を調べることを目的として、接着剤硬化フィルムの動的粘弾性の測定を行った。

2. 実験方法

2.1 供試接着剤

接着剤は、Table 1 に示す2種類の常温硬化タイプのエポキシ樹脂を使用した。レジジンAは粘度が低く、集成材ボルト接合部への充填に用いられ、レジジンBは一般的に使用されているエポキシ樹脂接着剤である。

2.2 接着性能試験

金属-木材接着と比較のために金属-金属接着、木材-木材接着について接着試験を行った。80×25×5 mmのマカバ(気乾比重0.67含水率9.7%)と同じ形状の金属(普通鋼材, ステンレス鋼, アルミニウム)を用い、接着面積25×10 mmのシングルラップの引張せん断試験片を作成した。木材の接着面はまき目

Table 2. Metal plates and their surface treatments for tests.

Codes	Materials and surface treatments.
PS/S	Plain steel with sanding
PS	Plain steel with chemical degreasing after sanding
ZS	Z-S treated steel with chemical degreasing
ZS/P	Z-S treated plated steel with chemical degreasing
SS	Stainless steel with chemical degreasing after sanding
Al	Aluminum with chemical degreasing after sanding

面とし、鉋削仕上げを行った。金属は接着の直前に#150のサンドペーパーで研磨し、①洗剤による洗浄②溶剤(トリクロロエチレン)で洗浄後洗剤による洗浄③Z-S処理などの表面処理を行った(Table 2)。Z-S処理は金属表面の接着性を高めるための下地処理であり、詳細は後述する。接着剤の塗布量は220 g/m²とし、金属-金属接着では接着剤を一方の試片の片面に塗布後約3 kgf/cm²で圧縮し、金属-木材接着は木材面に片面塗布、木材-木材接着は被着面の両面に塗布後約10 kgf/cm²で圧縮した。1日圧縮後解圧し、20°Cの恒温室で1週間養生した。

接着試験は、常態および室温水浸せき繰り返し処理(室温水浸せき24 h→乾燥70°C±3°C24 hの2, 5回繰り返し)、室温水浸せき処理後行った。試験機には容量500 kgfの引張試験機(島津オートグラフS-500)を用い、クロスヘッドスピード10 mm/minで行った。

2.3 動的粘弾性の測定

接着剤を硬化後のフィルム厚が0.2~0.5 mmになるようにテフロン板上にのばし、20°Cの恒温室で1日硬化させた。このフィルムをさらに-20°C, 20°C, 60°Cで1週間養生した。また、フィルムへの水分の影響を調べるため、各フィルムを室温水に24時間または1週間浸せきした。

作成したフィルムを約8×12 mmにカットした後、水分の影響を調べるための試料以外は測定における水分の影響を避けるために、減圧乾燥機で3日間乾燥させた。この乾燥したフィルムをレオログラフソリッド(東洋精機製作所)を用いて、測定周波数10 Hz, 平均昇温速度2°C/min, 静的引張力180 gfを加えて動的粘弾性を測定した。

3. 結果と考察

3.1 金属の表面処理と接着性

Fig. 1に金属の表面処理と接着強さの関係を示した。溶剤による処理の効果は顕著であり、洗剤による洗浄のみ行った場合の80 kgf/cm²(平均値)から140 kgf/cm²(平均値)まで大きく向上した。さらに、溶剤による処理を行うことにより、接着強さの向上だけでなくばらつき幅の低減がみられた。溶剤を用いた洗浄では、金属表面の油膜をはじめとする表面

Table 1. Adhesives for tests.

	Base resins	Curing agents	Mixing ratios*	Viscosities	Typical uses
Resin A	Epoxy	Polyamide amine	40 phr	10 poise	Joints in wood structures
Resin B	Modified epoxy	Modified polyamide amine	100 phr	600 poise	Bonding metals and woods

* This is the ratio of curing agent to base resin.

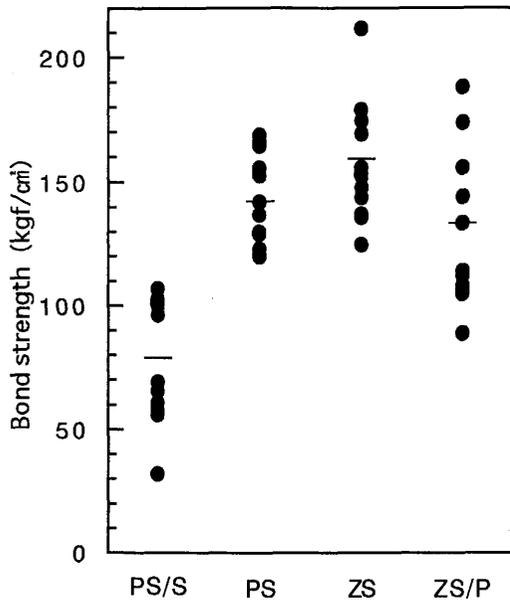


Fig. 1. Improvement effect of different surface treatments on dry bond strength in metal-metal joints (resin A).

Note: (—) shows the average values.

Codes: PS/S: Plain steel with sanding treatment. PS: Plain steel with chemical degreasing after sanding. ZS: Z-S treated steel with chemical degreasing. ZS/P: Z-S treated plated steel with chemical degreasing.

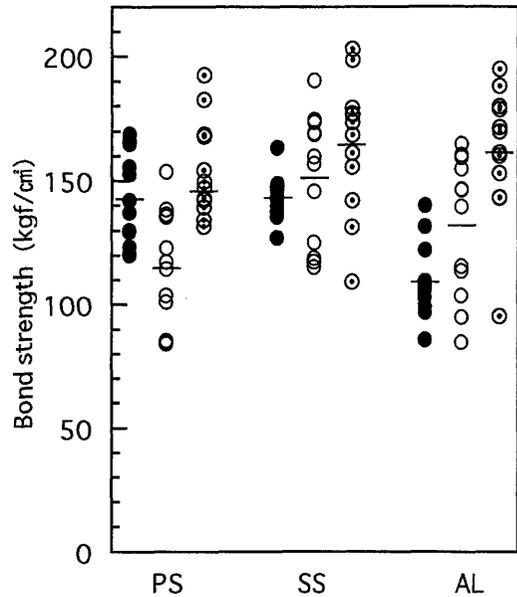


Fig. 2. Bond strength in metal-metal joints after cyclic water-soaking test (resin A).

Legend: ●: Control, ○: After 2 cycles of water-soaking treatments, ⊙: After 5 cycles of water-soaking treatments.

Note: (—) shows the average values.

Codes: PS: Plain steel with chemical degreasing after sanding. SS: Stainless steel with chemical degreasing after sanding. AL: Aluminum with chemical degreasing after sanding.

汚染物質がほぼ完全に除去されていると思われる⁴⁾。

Z-S 処理鋼材 (ZS) は金属表面の接着性の向上を期待して、亜鉛-鉄合金被覆粒を金属表面に機械投射して得られる亜鉛-鉄合金皮膜に特殊クロメート処理を施したものである。Z-S 処理鋼材メッキ (ZS/P) は、Z-S 処理鋼材 (ZS) の Z-S 皮膜と基材の間に亜鉛メッキ層を形成させた構成である⁵⁾。これらの Z-S 処理鋼材には接着する前に溶剤による処理を施した。本実験においても、Z-S 処理鋼材 (ZS) は普通鋼材 (PS) に比べて高い接着強さを示したが、メッキを施した鋼材 (ZS/P) では接着強さがやや低下し、ばらつきも増大した。メッキ処理による表面が均一でないため、一様な接着層が形成されていないことが観察された。このことが接着強さを低下させた原因と考えられる。

3.2 金属-金属接着の接着性能

Fig. 2 に金属-金属接着の室温水浸せき繰り返し処理による接着強さの変化を示した。処理回数の増加に伴って接着強さは増大した。これは木材同士の

接着の場合と異なり、金属と金属の接着では接着層への水の進入が少なく、乾燥時の加温効果によると考えられる。

硬化温度を変化させたフィルムの動的粘弾性を測定したところ損失弾性率のピーク温度は、20°C 硬化では60°C 付近に存在したが60°C 硬化では90°C 付近に移動した。これは硬化温度が高温になると T_g は高くなり、架橋密度も高くなることを示している (Fig. 3)。以上のことから、室温水浸せき繰り返し処理後の乾燥時の加温により硬化が進んで接着強さが大きくなったものと考えられる。

Z-S 処理鋼材による金属-金属接着に室温水浸せき繰り返し処理を行った結果、前述の普通鋼材 (PS)、ステンレス鋼 (SS)、アルミニウム (AL) の場合と異なり、接着強さは大きく低下した (Fig. 4)。Z-S 処理鋼材 (ZS) の表面粗度は $R_{max} 20 \mu m^5)$ であり、常態においてはこの表面粗さが接着に有効であったが、水に浸せきした場合は水の浸入しやすい構造であり、マイナス効果となっていると思われる。

3.3 金属-木材接着の接着性能

Fig. 5 に普通鋼材 (PS)-木材接着の室温水浸せき処理による接着強さの変化を示した。接着強さ、木破率ともに浸せき時間の増加に伴って徐々に低下

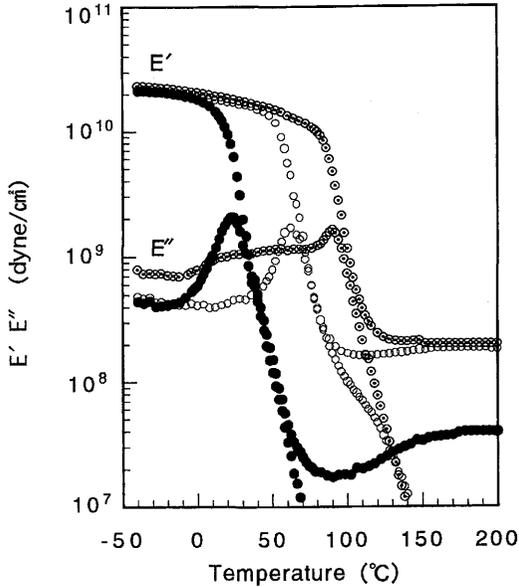
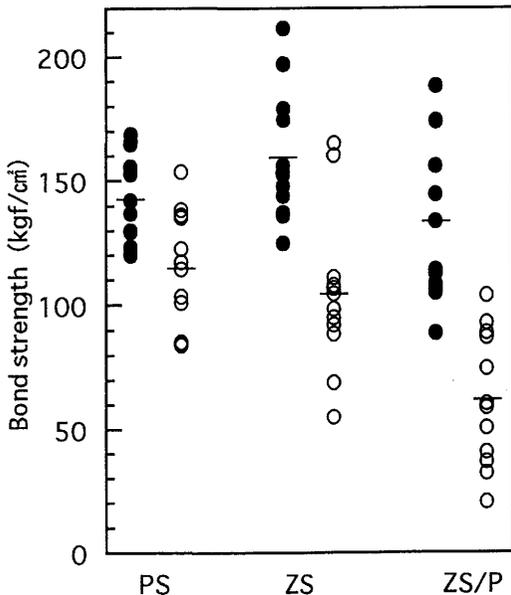


Fig. 3. Dynamic visco-elastic properties of cured resin A films by various curing temperatures.
 Legend: ●: -20°C cure, ○: 20°C cure, ⊙: 60°C cure.
 Notes: E': storage modulus, E'': loss modulus.



し、浸せき後24時間で完全に剝離した。破壊面を見ると金属側についた接着層の割合は、浸せき後0~3時間の間ではほとんどが金属側に付着していたが、6時間を過ぎたあたりで木材側への付着が多くなり始め、24時間後では接着層の80%以上が木材側に付着していた (Fig. 6)。このことから金属-木材接着では、室温水浸せき時間の増加とともにまず木材へ、次に接着層へと水が進入し、はじめは木材と接着層の接着が緩み、続いて接着層と金属間の接着が緩むと考えられる。木材は多孔質であるためにアンカー効果で接着性がある程度保持されるが、金属で

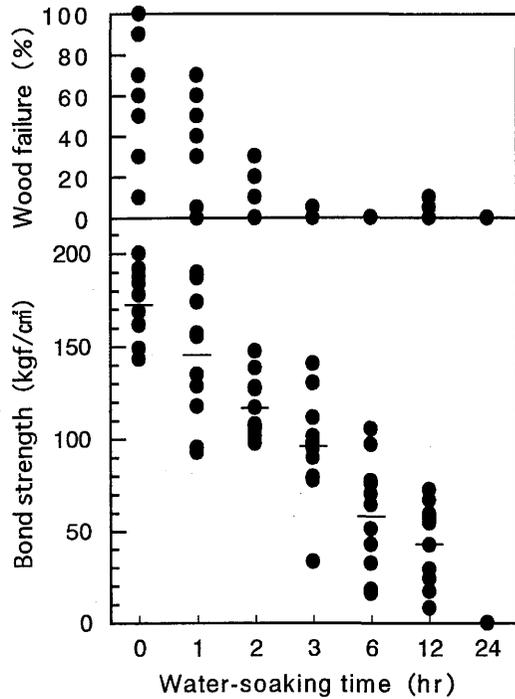


Fig. 5. Bond strength of plain steel-wood joints after continuous water-soaking (resin B).
 Note: (—) shows the average values.

Fig. 4. Bond strength of Z-S treated metal-metal joints after cyclic water soaking test (resin A).
 Legend: ●: Control, ○: After 2 cycles of water soaking treatment.
 Note: (—) shows the average values.
 Codes: PS: Plain steel with chemical degreasing after sanding. ZS: Z-S treated steel with chemical degreasing. ZS/P: Z-S treated plating steel with chemical degreasing.

はそのような効果がなく、最終的に接着剤層の付着が木材側に傾いたものと考えられる。

しかしながら、木材同士の接着の場合でも、24時間の浸せきではアンカー部に水が浸透し、そのアンカー効果が薄れて接着強さが低下したものと思われる

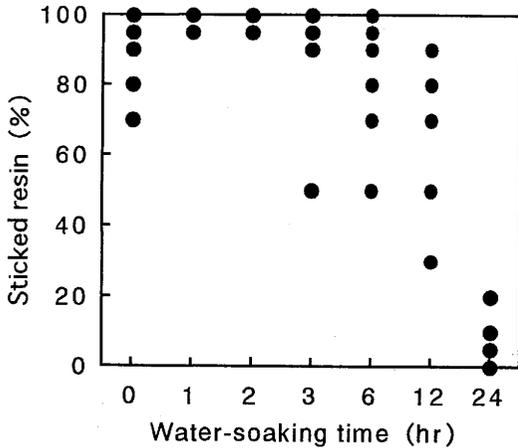


Fig. 6. Adhered resin on the fractured surface of metals in plain steel-wood joints after continuous water-soaking (resin B).

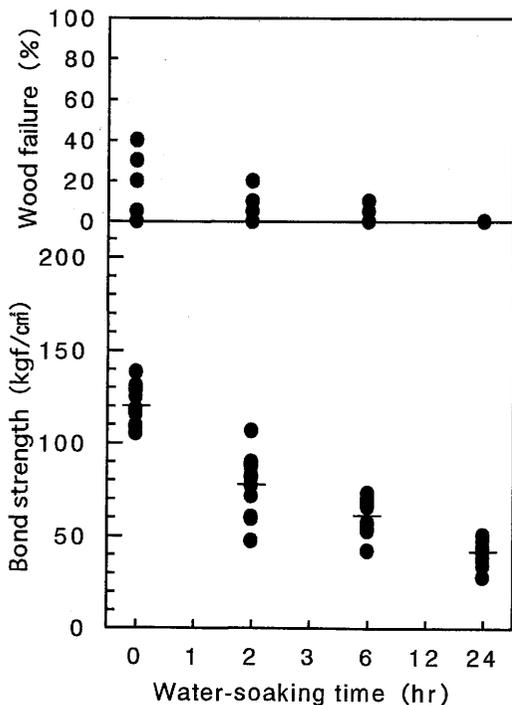


Fig. 7. Bond strength of wood-wood joint after continuous water-soaking (resin B).

Note: (—) shows the average values.

る (Fig. 7)。

金属と木材の接着において室温水浸せき処理によって接着強さが大きく低下した理由として、水浸せきによって金属は寸度変化しないが、木材は膨潤するために接着層に応力がかかったことも原因の一つと考えられる。しかし両方が膨潤する木材-木材接着の場合でも接着強さが大きく低下していることから、接着層自体にも変化が起こっていると考えられる。

そこで、フィルムに室温水浸せき処理をして動的粘弾性を測定した結果、損失弾性率のピーク温度は常態の50°Cから40°Cに低下した、貯蔵弾性率も浸せき時間の増加によりやや低下した (Fig. 8)。エポキシ樹脂は架橋構造が網目構造のため、吸水率の小さな接着剤であるが、吸水により接着層が吸水膨潤し、接着層にひずみを発生させ、結果として接着強さを低減させる⁶⁾。エポキシ樹脂の吸水は、樹脂に配合されたアミン系硬化剤のアミンが水と置換し、その水分子を樹脂中に取り込むためである⁷⁾。したがって、室温水浸せき処理によって接着剤は可塑性されて柔らかくなり、接着剤層の強さを低下させていると思われる。

即ち、金属と木材の接着では室温水浸せき処理に

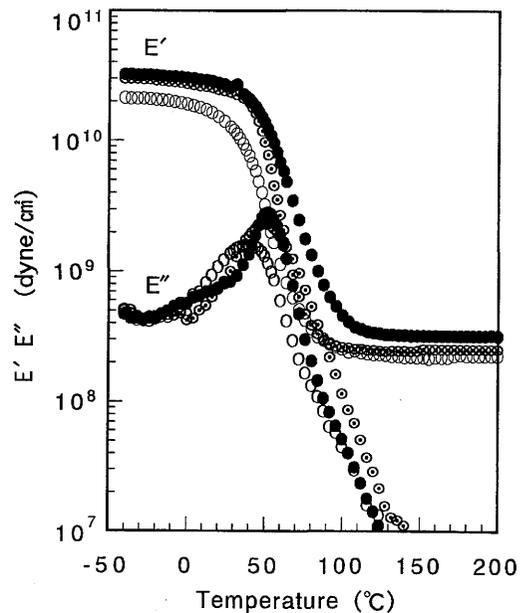


Fig. 8. Dynamic visco-elastic properties of cured resin B films with various water-soaking treatments.

Legend: ●: Control, ○: Water-soaking, ◐: Dry after water-soaking.

Notes: E': storage modulus, E'': loss modulus.

より、木材の膨潤に伴って接着層に応力が生じるとともに、接着層自体も可塑化されて柔らかくなるため、金属と接着層間の接着が弱まって、接着強さが低下したと考えられる。

以上のことより、エポキシ樹脂の接着性能には水分が大きく影響していることが明らかになったため、室温水浸せき後乾燥して接着性能の挙動を調べた。その結果、Fig. 9 に示すように室温水浸せき処理によって大きく低下した接着強さは、乾燥によりある程度回復した。3時間の室温水浸せきで5%以下となっていた木破率は、乾燥により常態のときとほぼ同等となった。また、6時間の浸せきではすべての試験片で木破率は0となったが、乾燥により50%を示すものも現れた。このことは、以下に述べる固化した接着剤自体の粘弾性挙動から判断して、乾燥過程における接着性能の回復が関係していると思われる。

すなわち、室温水浸せき処理後、乾燥処理を施した接着剤フィルムの損失弾性率のピーク温度が60°C

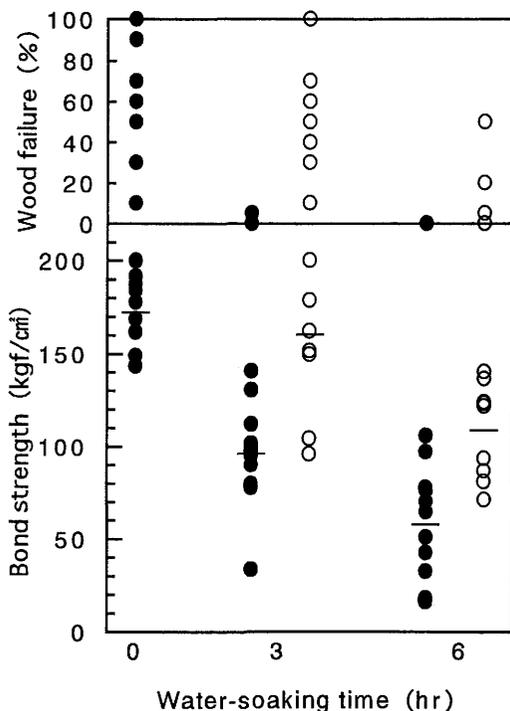


Fig. 9. Bond strength recovery by drying treatment of plain steel-wood joint after water-soaking treatment. (resin B)

Legend: ●: After water-soaking treatment, ○: After additional drying treatment.

Note: (—) shows the average values.

にもどったこと (Fig. 8) は、乾燥によりフィルム内の水分が取り除かれ、本来のピーク温度が得られたものと思われる。このように、可塑化されて柔らかくなっていた接着剤は乾燥して硬さを取り戻し、アンカー効果も本来の役割を果たすことが可能になり、高い木破率を示すようになったと思われる。

4. 結 論

エポキシ樹脂を用いて金属と金属、金属と木材の接着を行い、その接着性、耐久性について試験し、また、接着剤硬化フィルムの動的粘弾性を測定して、次の結論を得た。

1) 金属の表面処理はサンディング後洗剤による洗浄のみより、溶剤による処理を加えた方が高い接着強さを示した。適当な表面処理を行うことで、接着強さが向上しただけでなく、ばらつき幅も小さくなった。

2) 常態においてZ-S処理鋼材(ZS)は、普通鋼材(PS)より優れた接着性を示したが、Z-S処理鋼材メッキ(ZS/P)はZ-S処理鋼材(ZS)に比べて20%程度の接着強さの低下が認められた。

3) 普通鋼材(PS)、ステンレス鋼(SS)、アルミニウム(AL)による金属と金属の接着では、接着層への水の浸入が少なく、接着強さは水分の影響を受けないため、室温水浸せき繰り返し処理による加温効果によって向上した。しかしながら、Z-S処理鋼材による金属と金属の接着では、処理面の粗さにより水が進入しやすい構造になっていると推察され、接着強さが低下した。

4) 金属と木材の接着では、水浸せき時間の増加に伴って接着強さは徐々に低下し、浸せき後24時間で完全に剝離した。しかし、水浸せきによって低下した接着強さは乾燥によりある程度回復することが確認された。

5) 動的粘弾性の測定結果では、損失弾性率のピーク温度は水浸せきによって低温側に移行した。エポキシ樹脂が水の影響で可塑化されたことが原因の一つと考えられる。また、水浸せき後のフィルムを再度乾燥させることによりフィルム内の水分が取り除かれ、本来のピーク温度に回復することが認められた。

以上のことから、金属と木材の接着におけるエポキシ樹脂接着剤の使用には、耐水性に関して何らかの対策をとる必要があると思われる。

謝 辞

本研究の遂行に当たり、接着剤を提供していただ

いた大鹿振興(株), コニシ(株)及び試料鋼材を提供して
いただいた住金鋼材(株)に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 手塚 升, 山田伸典: 木材工業 49(6), 269-273 (1994).
- 2) 和田 博ほか 4 名: 木材学会誌 41(2), 151-158 (1995).
- 3) 和田 博ほか 4 名: 木材学会誌 42(4), 369-375 (1995).
- 4) 柳原栄一: 接着の技術 13(1), 8-15 (1993).
- 5) 住金鋼材(株): “装飾建材 (アダンテル)” 資料.
- 6) 元起 巖: 接着の技術 14(3), 25-29 (1994).
- 7) 益田 豊: 接着の技術 14(3), 34-40 (1994).