電磁誘導加熱装置を用いた接着工法に関する研究

STUDY OF BONDING METHOD USED INDUCTION-HEATING-DEVICE

見村博明 — *1 富田英雄 — *2
須藤高志 — *3 戸松孝博 — *3

Hiroaki MIMURA — *1 Hideo TOMITA — *2
Takashi SUDO — *3 Takahiro TOMATSU — *3

キーワード:

誘導加熱, 接着剤, 接着強度, 木材, 合板, 軽量形鋼

Keywords:

Induction heating, Adhesive, Adhesive strength, Wood, Plywood, Light gauge steel

A new type of induction heating device is now under way to develop. It is becoming a useful tool to fix interior or exterior finishing materials to structural frames and parts of other object firmly with glue. It is quite light and to prevent construction noises and machine throbs. The purposes of the experiment were to evaluate structure materials bonded together firmly with this device and to know possibility of applying new bonding method with the device to forming on earthquake-resistant walls.

The experimental results showed as follows: (1) Compared to the strength of plywood itself, beyond which the destruction must be caused, the bonding strength produced by fixing plywood on plywood firmly with the induction heating device increased, exposing itself to the temperature and humidity in the bathroom for one year. (2) The time needed to separate bonded structure materials was 1.5 to 2.0 times as much as one needed to bond structure material together. (3) The time needed to bond structural steel to plywood with the induction heating device required 40 to 50 seconds, because structural steel has a large amount of absorption of heat.

1. はじめに

建築施工において内装材や外装材を接着剤を用いて瞬時に取り付ける工法が開発されつつある。接着用の専用機は電磁誘導の原理に基づく加熱装置である。接着には内・外装材の裏面にテープ状の接着剤を用い、これに誘導加熱の熱で接着剤を溶かして接合するものである。本工法の特徴は、

- 騒音や振動のない施工が可能のため作業環境を改善できる。
- 釘やビスを使わないため仕上げ材表面に傷がつかず、壁紙を貼った壁材やタイル等の貼り付けが可能である。
- 使用する接着剤が常温で固形であり、溶剤を用いないのでシックハウス等の問題を解決した環境対応型の新工法である。
- 再加熱で解体、再利用が可能である。熱可塑性の接着剤を使用することで再度の加熱により再び溶融した状態に戻すことができ、簡単に剥がすことができる。これは本接着工法の最大の特徴である。特に4つ目に挙げた特徴は平成14年度から施行されたリサイクル法や環境問題に伴う省資源化を考慮した場合、建材の再利用、或いは再資源化を行う上でも有力な工法となり得る。

一方、環境を考慮した建物では高耐久性も求められている。これは建物が長持ちすれば、それだけ省資源に繋がるとの考えによる。本工法により施工された建材の接着強度は現行の建築基準を満足するものであるが²⁾、これは接着直後の強度であり経時変化の影響は考慮されていない。

本報告は電磁誘導加熱装置によって接着された木材-合板の接合について、浴室環境での使用を想定した経時変化が引張り接着強

度に与える影響と経時変化後の解体特性を調べたもの、及び構造用合板と軽量形鋼との接着せん断強度を調べたものである。

2. 電磁誘導加熱装置の概要その施工法

誘導加熱は電磁誘導の原理に基づくものである。発熱の仕方は交番する磁界中に導電性物体が存在すると電磁誘導作用によって物体内に起電力が生じ、その結果、物体内に誘導電流が流れジュール熱が発生することによる。誘導加熱装置は電源から供給された電力が磁界のエネルギーに変換され誘導電流が流れジュール熱が吸収され、熱エネルギーとなり温度の上昇を引き起こす装置である。図1にその誘導加熱装置一式を示す。①で示す加熱装置本体のサイズは85×160×230mmで、重量は約1Kgである。②で示す部分が加熱コイルで、その径は85mmである。③は電源部で100Vを使用する。

図2は誘導加熱装置による接着法の例である。同図(a)は下地材が木材の場合のように木材と石膏ボード、あるいは木材と木材のような非伝導材同士を接着する場合で、この場合は被加熱物である金属箔(金属板、アルミ箔)を挟み込み金属箔の両側に接着剤を配し、この接着剤を溶融して接着する。同図(b)は下地材が鉄骨のような導電材に木材等の非電導材を接着する場合の構成である。この場合には鉄骨と木材の間に接着剤を配置するだけでよい。ここでは、接着剤にはポリアミド系のホットメルト(300μm厚)、被加熱材としての金属箔には20μmのアルミ箔を用いている。

図3に誘導加熱装置を用いた接着、及び解体方法を示す。本例は下地材に木材を用い仕上げ材に石膏ボードを用いたものであり、図2(a)に対応する。接着方法では、まず①下地材に接着テープを仮

本報告は既発表論文²⁾, ³⁾の内容に加味したものである。

*1 東京電機大学理工学部建設環境工学科 教授・工博
(〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

*2 東京電機大学理工学部電子情報工学科 教授・工博

*3 東京電機大学大学院理工学研究科建設工学専攻 大学院生

*1 Prof., Tokyo Denki Univ., Dr. Eng.

*2 Prof., Tokyo Denki Univ., Dr. Eng.

*3 Graduate Student, Tokyo Denki Univ.

止めし、②下地材に合わせて石膏ボードをセットし適切な通電時間を設定し加熱する。数秒で 200℃程度に達し接着剤は熔融する。③冷却後接着は完了するので次の接着箇所に移る。また、解体方法は接着の場合とまったく逆に行う。④接着された箇所を再加熱する。⑤数秒で接着剤は溶けるので加熱しながら剥がす。⑥取外しを行う。この場合、仕上げ材は無傷の状態で見出しが可能である。

図1 電磁誘導加熱装置 ①加熱装置本体②加熱コイル③電源部

(a) 木材-石膏ボードの接着

(b) 鋼材-石膏ボードの接着

図2 電磁誘導加熱装置による接着方法

接着方法 ①テープ仮止め ②誘導加熱 ③冷却後接着完了

解体方法 ④誘導過熱 ⑤剥離 ⑥取りはずし

図3 誘導加熱接着工法による施工方法

3. 浴室環境負荷後における接着強度に関する実験

3-1. 実験概要

本実験は誘導過熱装置を用いて接合された材料について浴室を模擬した環境下での暴露試験により経時変化が接着強度に与える影響、及び経時変化後の解体性状を調べたものである。用いた試験片は図4に示すように下地材、及び仕上げ材とも合板(900×100×11)を用い、同じ寸法の板を2枚用意しその間に専用の接着剤(ポリアミド系ホットメルト 300μ厚)を挟み込み、両材を接合して作成したものである。図中に示す「4cm×4cm」は引張り接着強度を建研式引張り試験機を用いて調べるため、その引張り治具に合わせ引張り試験直前に下地材と仕上げ材を切り離すために入れた切込み線を意味する。試験片作成時の本装置による加熱時間は3秒とした。加熱時間の設定には同一材料を用い加熱時間を3秒と4秒とした予備実験を行い接着強度、及び熔融状態等が最良で、かつ加熱時間が最小のものとして3秒を選定した。そのときの引張りによる接着強度は約0.93N/mm²であった。

図4 試験片形状

上述の方法で接合された試験片を浴室を想定した環境下で暴露し、接着強度に与える経時変化の影響を調べた。浴室の環境は人工環境促進装置を用い、夏季、及び冬季の浴室環境を図5に示す温度・湿度条件を設定した。即ち、夏季の浴室環境は使用時は温度 35℃、湿度 100%、非使用時は温度 25℃、湿度 40%とした。また、冬季の環境条件は使用時は温度 18℃、湿度 100%、非使用時は温度 5℃、湿度 40%とした。浴室の使用時間は夏季、冬季とも 30 分とし非使用条件から使用条件までの環境設定時間、及び使用条件から非使用条件までの設定時間をそれぞれ 30 分とした。従って、使用環境、及び非使用環境の1サイクルは2時間となり、本環境促進装置を1日運転することにより12サイクル、即ち24時間で12日分の環境負荷となる。環境負荷は夏季環境を4ヶ月間経験後、冬季環境を4ヶ月間経験させる場合と、この場合の逆として、冬季環境4ヶ月間経験後、夏季環境4ヶ月間経験させる場合の2ケースとした。

接着強度の経時変化による影響は各ケースとも2ヶ月間経過毎に建研式引張り試験装置を用いて調べた。また、環境負荷後の解体性状は各ケースとも4ヶ月、及び8ヶ月の環境負荷後に完全剥離に要する再加熱時間と剥離状態の観察を行い検討した。

図5 人工環境装置における温度・湿度サイクル

3-2. 実験結果と考察

表1に実験結果の一覧を示す。表の上2段は最適な加熱時間を求めるための予備試験結果（接着後大中気放置24時間強度）で、加熱時間3秒と4秒の結果である。試験片No.は図4の1から5に対応する。また、表中の「-」印は引張り試験に使用した鋼製治具と試験片との接着に用いた接着剤が剥離したものである。

図6に夏から冬を経験するケース、及び冬から夏を経験するケースの浴室環境における経時変化と引張り強度の関係を示す。図中の破線は予備試験結果、即ち、無負荷環境下の引張り強度である。夏から冬を経験する場合は時間経過とともに接着強度が上昇する結果となった。一方、冬から夏を経験する場合は冬環境負荷4ヶ月後に強度の上昇が見られるが、その後夏環境負荷において強度が低下する傾向を示した。この原因は不明であるが、両ケースの接着強度とも無負荷環境下の引張り強度と同程度であった。

図7及び表2は合板同士の接着での同一接着面における引張り試験後の破断面の状態を示したものである。タイプA, Bは接着剤の十分な浸透により仕上げ材、或いは下地材が材料破壊し、深い破壊痕を示したものである。タイプC, Dは接着剤の浸透が十分ではないため仕上げ材、或いは下地材の材料破壊が軽微なものである。また、タイプEは材料破壊のない状態で接着剤のみが剥がれたものである。このように同一接着面での剥離状態は材料破壊の強弱と接着剤の剥がれが混在し、接着面が均一でないとと言える。表3に各試験片における各タイプが占める面積比率を示した。

表3から分かるように剥離状態はいくつかのタイプが複合した状態で起こる。その関係を図示したのが図8である。例えばACE(21)は50個のサンプル中、21個がACEの組合せで破壊したことを意味する。ACEの組合せが最も多く、次いでCE, BCE, ACの組合せの破壊であった。

表4に環境負荷後の解体に要した加熱時間を示す。当初の接着時間3秒に対して夏から冬の環境負荷を経験した場合は負荷時間（4及び8ヶ月）によらず3秒から6秒であり、冬から夏の環境負荷の場合も負荷時間によらず3秒から7秒であった。

表1 接着強度の実験結果 (N/mm²)

試験片No.	1	2	3	4	5	強度 平均値
予備試験(3秒)	0.72	1.02	1.05	-	-	0.93
予備試験(4秒)	1.03	1.40	0.68	1.07	0.91	1.02
夏2ヶ月	1.14	0.44	1.33	0.62	1.12	0.93
夏4ヶ月	0.99	0.87	1.00	-	1.15	1.00
夏6ヶ月	1.21	1.02	0.89	-	1.13	1.06
夏8ヶ月	0.96	1.03	1.33	1.18	-	1.13
冬2ヶ月	1.09	0.94	0.63	1.07	0.57	0.86
冬4ヶ月	-	0.86	1.18	-	1.39	1.15
冬6ヶ月	0.70	0.94	0.70	1.05	0.93	0.87
冬8ヶ月	0.73	0.64	0.65	0.75	0.86	0.73

表2 破壊タイプの分類

Type A	下地材が接着テープの表面に材料繊維を深く残して破壊した形態
Type B	仕上げ材が接着テープの表面に材料繊維を深く残して破壊した形態
Type C	下地材が接着テープの表面に材料繊維を薄く残して剥離した形態
Type D	仕上げ材が接着テープの表面に材料繊維を薄く残して剥離した状態
Type E	接着テープに材料が付着していない形態(テープの中心部でよく見られた)

図6 経時変化と接着強度の関係

図7 破壊タイプの分類

表3 破壊タイプと接着面積

試験片No.	1	2	3	4	5
予備試験(3秒)	B(20%) C(30%) E(50%)	B(50%) D(50%)	B(30%) D(50%) E(20%)	-	-
予備試験(4秒)	C(75%) E(25%)	C(80%) E(20%)	C(50%) E(50%)	B(100%)	A(100%)
夏2ヶ月	A(80%) C(20%)	A(20%) C(50%) E(30%)	A(15%) C(55%) E(30%)	A(20%) C(60%) E(20%)	A(60%) C(20%) E(20%)
夏4ヶ月	D(80%) E(20%)	B(20%) D(40%) E(40%)	B(50%) D(30%) E(20%)	-	B(20%) D(50%) E(30%)
夏6ヶ月	A(30%) C(40%) E(30%)	A(75%) C(25%)	A(20%) C(30%) E(50%)	-	C(50%) E(50%)
夏8ヶ月	C(70%) E(30%)	-	A(100%)	C(55%) E(45%)	-
冬2ヶ月	A(30%) C(50%) E(20%)	C(70%) E(30%)	A(20%) C(30%) E(50%)	A(15%) C(35%) E(50%)	C(60%) E(40%)
冬4ヶ月	-	A(20%) C(10%) E(70%)	A(60%) C(10%) E(30%)	-	A(50%) B(50%)
冬6ヶ月	A(50%) C(10%) E(40%)	A(10%) C(20%) E(70%)	A(20%) C(10%) E(70%)	A(70%) C(20%) E(10%)	A(15%) C(30%) E(55%)
冬8ヶ月	A(60%) C(10%) E(30%)	A(20%) C(10%) E(70%)	A(20%) C(10%) E(70%)	A(25%) C(10%) E(65%)	A(30%) C(25%) E(45%)

図8 破壊タイプと接着面積の関係

表4 浴室環境負荷後の解体に要した時間

試験体No.	1	2	3	4	5
夏4ヶ月	-	6秒	6秒	3秒	6秒
夏8ヶ月	3秒	3秒	5秒	5秒	3秒
冬4ヶ月	3秒	5秒	3秒	3秒	5秒
冬8ヶ月	6秒	7秒	3秒	6秒	6秒

4. 構造用合板と軽量形鋼との接着せん断強度に関する実験

木造住宅やスチールハウスの耐震要素として構造用合板を用いる場合、本接着工法がその取り付け工法として可能かどうかを調べるため、接着部のせん断強度を調べる実験を行った。試験体は図9に示す様に構造用合板(9mm厚)を表面処理軽量形鋼(C-104×50×

図9 試験体形状

(a) 加熱時間 40 秒

(b) 加熱時間 50 秒

図10 荷重とせん断変形関係

1) に本接着工法により接着したものである。この時の加熱時間は30秒から50秒とし、それぞれの加熱時間に対する試験体数を3体とした。このような加熱時間を要するのは軽量形鋼の熱容量が大きいためであるが、より短時間での接着を可能とする装置の改良が必要である。

図10に加熱時間40秒と50秒の場合の荷重(P)－せん断変形(δ)の関係を示す。せん断変形は軽量形鋼と合板のずれ量である。荷重－せん断変形関係は最大荷重時まではほぼ直線関係であり、最大荷重で接着剤が剥がれ荷重は低下する。最大荷重後、やや耐力を保持した状況を呈するが、これは部分的にまだ接着剤が付いていることを意味する。各加熱時間に対する接着せん断強度は30秒で0.12N/mm²、40秒で0.21N/mm²、50秒で0.25N/mm²であった。

5. まとめ

誘導加熱装置を用いて接着された合板同士の接着強度について浴室を想定した環境負荷における経時変化、及び鋼と合板の接着強度を調べ、以下のことが明らかになった。

- (1) 夏から冬の環境負荷を経験する場合は時間経過とともに引張り強度は上昇した。一方、冬から夏の環境負荷を経験する場合は冬環境負荷4ヶ月後強度上昇があったが、その後、夏環境負荷において強度は低下した。しかし、両環境負荷時における引張り強度は無負荷環境下の引張り強度と同程度であった。
 - (2) 同一接着面の破断面の状態は材料破断の強弱や接着剤の剥がれが混在し、接着面は均一とは見せない。
 - (3) 環境負荷後の解体に要する時間は接着時間の1.5倍から2.0倍で、容易に解体できる。
 - (4) 構造用合板と軽量形鋼との接合では、鋼材の熱容量が大きいため加熱時間を要する。本装置では40秒から50秒であった。
- 今後の課題として、①本実験は夏季、及び冬季をそれぞれ1回経験する設定であったが、より長期間における経時変化を明らかにする、②鋼のような熱容量の大きい材との接合に対してもより短い加熱時間とする装置を開発する、③出隅、入隅のような細部の接着を可能にする、④材質に関わらず均一な接着面にできる機器の改良、等が挙げられる。

本研究は東京電機大学総合研究所の援助を得て行われたものです。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 新井健市, 三田裕市, 富田英雄, 須田智: 建築内装工法における誘導過熱接着装置, 電気学会全国大会梗概集, 1999
- [2] 青池利恵, 見村博明, 富田英雄, 村瀬則郎: 誘導加熱装置を用いた背着工法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集B, pp997-998, 1999
- [3] 大門高之, 見村博明: 解体性接着工法による建築材料の耐久性評価に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集A1, pp147-148, 2004
- [4] JIS A5538: 壁用ボード接着剤, 1984
- [5] JIS A1413: 壁用ボード類接着剤の接着強さ及びその接着強さ試験, 1984

[2005年10月20日原稿受理 2006年2月20日採用決定]