

接着剤は古来より用いられている結合・接合技術の一つであるが、発展目覚ましい近年の材料開発に呼応し、接着技術や接着工法、また接着剤の製造技術も発展しつつきている。現在、接着剤の種類は多岐に渡り、その利用用途や利用範囲、またその機能も幅広く、逆に材料の分野からも最新の接着技術に熱視線が送られている。そのため、近年は接着だけに特化したEXPOも開催されており、その注目度が窺える。

そこで、本特集においては現代の最先端接着技術に焦点をあて、近年の接着技術動向を伺う。ただし、接着の種類や分類、製造方法や工法に関する分類は多岐に渡り、網羅的に接着剤及び接着技術を取り上げることは不可能であることから、本特集では使用されている部材を切り口とし、最新の接着技術や分析技術をピックアップする。

接着剤に使用される材料や接着材製造技術の点で化学工学と密接に関連しており、また装置作製の点においても化学工学を専門とする読者の一助となると考えている。読者には最新の接着技術に触れることで、接着を利用した応用技術などの新たなアイデア創出につながることを期待している。

(編集担当：小林信介)†

ハネムーン型接着剤による 木質接着複合パネルの短時間接着技術

関口 洋嗣

1. はじめに

住宅には接着接合を積極的に利用した部材が使用されている。とりわけ木質系の住宅には、接着接合を利用した合板、集成材、単板積層材 (LVL)、木質接着成形軸材料、木質断熱パネル、木質接着複合パネル等が住宅の構造用部材として多用されている。これらの構造部材を生産するために使用されている接着剤には、レゾルシノール-ホルムアルデヒド系接着剤 (RF)、フェノール-ホルムアルデヒド系接着剤 (PF)、メラミン-ホルムアルデヒド系接着剤 (MF)、メラミン-ユリア-ホルムアルデヒド系接着剤 (MUF) といった熱硬化性のホルムアルデヒド系樹脂接着剤や、ポリビニルアルコール (PVA)、樹脂エマルジョン、充填剤から成る

主剤にイソシアネート化合物を分散させて使用する水性高分子-イソシアネート系接着剤 (WPI) が使用されている。なお、この WPI は開発当初においては水性ビニルウレタン (API) と呼ばれ、今でもこの名称で呼ばれることも多い。ホルムアルデヒド系樹脂接着剤は高い耐水性、耐熱性を持っていることが長所であるが、化学反応 (縮合反応) で硬化することで接着力が発現するため、温度にもよるが、常温では数時間から数十時間の圧縮作業が必要となる。一方の WPI は PVA と樹脂エマルジョンを使用していることから、被着材への水分揮散により初期の接着力が得られ、比較的短い数十分の圧縮で接着可能であることが最大の長所である。一方、熱可塑性の樹脂エマルジョンを含有していることから、ホルムアルデヒド系樹脂接着剤に比べ、耐熱性に劣るとされている。いずれにしても、一般的な木材用の接着剤では圧縮に最低でも常温で数十分を要することから、同じものを大量生産する場合に使用されている。

当社では図 1 に示す木質接着複合パネル (以下パネル) という枠組材の両面に構造用合板を接着接合した部材を住宅の構造材として使用している。住宅は施主の要望に基づき設計されるため、住宅ごとに様々な形状、大きさのパネルが必要となり、その数は数万種類にも及ぶ。従って従前の接



Fast-Setting-Adhesion for Wooden Adhesive Composite Panels using Honeymoon-Type Adhesives

Hirotugu SEKIGUCHI

2016年 岩手大学大学院工学研究科フロンティア物質機能工学専攻博士課程修了

現在 (株)ミサワホーム総合研究所 材料・耐久研究室 主幹研究員

連絡先：〒168-0071 東京都杉並区高井戸西 1-1-19

E-mail Hirotugu_Sekiguchi@home.misawa.co.jp

2018年5月18日受理

† 平成29、30年度化工誌編集委員(9号特集主査)
岐阜大学大学院工学研究科環境エネルギーシステム専攻

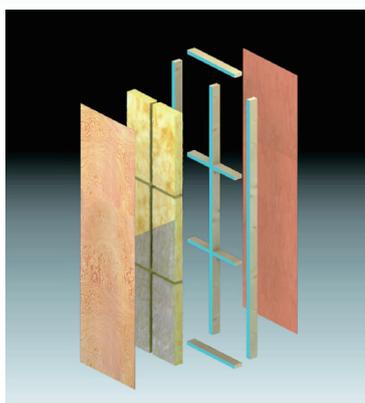


図1 木質接着複合パネルの構成

着剤を用いて大量生産した場合、すぐには必要のないパネルも同時に生産されてしまうため、膨大な在庫を抱えることとなると同時にこれらの在庫の中から必要なパネルをピックアップする労力も極めて大きくなる。またパネルを1枚ずつ生産した場合には数十分に1枚のパネルしか生産できず、生産性が非常に低くなる。これらの問題はパネルの種類を削減することで改善されるが、今度は住宅設計の自由度が低下し、施主の要望に応えられなくなってしまう。高度成長時のように同仕様の住宅を大量に供給する時代であればともかく、現在の環境ではこのような解決方法は選択しにくい。

そこで当社ではパネル1枚を短時間で接着する技術としてハネムーン型接着剤を用い、最短で数十秒で接着可能な生産方式を用いることで上述した問題の解決を図った。この内容については既に報告されているが¹⁻⁴⁾、本稿は、その内容について取り纏め、加筆したものである。

2. ハネムーン型接着剤とは

ハネムーン型接着剤は接触反応型接着剤とも呼ばれ、2液の接着剤同士が接触することで反応が開始し、硬化する接着剤である。一般的な使い方としてはA剤とB剤を別々な面あるいは片面に重ねて塗布し、圧縮時に両接着剤がラフではあるがミキシングされて反応が始まり、短時間で硬化させて使用する。通常、第2世代アクリル系接着剤に代表されるようなアクリル系樹脂が使用される。しかしながら、接着時間は数分までしか短縮できず、またパネルのよ

うな大きな部材接着に利用するには価格が高すぎる。そこで当社では表1に示す2系統の3液の水性ハネムーン型の接着剤を採用している。このハネムーン型接着剤は主剤と硬化剤を事前に混合した接着剤と硬化促進剤が接触することで、接触界面から硬化促進剤が接着剤中に拡散し硬化(ゲル化)が開始する。 α -オレフィン無水マレイン酸系ではイミド化オレフィンマレイン酸樹脂とグリオキザール、水性高分子-イソシアネート系ではアセトアセチル化PVAとヒドラジド化合物が急速な反応を起こしゲル化する。そのゲル化反応および木材への水分移動による接着剤凝集力アップにより短時間接着に必要な初期接着力(圧縮解除しても不具合の起きない接着力)が発現する。その後接着剤中の水分がさらに抜けることと、硬化剤が主剤と架橋反応することで最終強度に達する。

3. ハネムーン型接着剤用いたパネル生産ライン

ハネムーン型接着剤を用いた木質パネル(壁パネル)の生産ラインと従前に実施していたWPI接着剤を用いた製造ラインの概要を図2に示す。ハネムーン型接着剤を用いた製造では自動車の製造ラインのように一本のラインとなっており壁パネルの場合は各工程を最速で40秒程度のサイクルタイムで移動していく設計となっている。すなわち40秒で1枚のパネルが生産できることとなる。生産工程を説明すると、枠組材加工工程で4面プレーナーにて(4面カンナ掛け)、寸法精度を確保するとともに接着面を平滑にし、必要に応じて欠き込み等の加工をおこなう。硬化促進剤塗布工程では接着する面に硬化促進剤を含ませたフェルトロールを押さえつけることにより塗布する。枠組工程では、生産するパネルの種類、大きさ、枠組材構成の指示書に従い、釘やステーブルを用いて枠組する。このとき、枠組材と枠組材の交点に大きな段差が生じると接着不良が発生するため注意が必要である。枠組材加工時における枠組材の断面寸法精度を確保するとともに、枠組材の交点部を定番等で押さえつけて枠組すれば問題は発生しにくい。接着剤塗布工程では硬化剤を事前に混合した主剤を溝付きロールコーターを用いて枠組材に線状に塗布する。枠組材に塗布してある硬化促進剤の乾燥が不十分であると、ロー

表1 使用したハネムーン型接着剤の構成

| 系統 | α -オレフィン無水マレイン酸樹脂系 | 水性高分子-イソシアネート系 |
|-------------|--|---|
| 主剤 | ・イミド化変性オレフィン無水マレイン酸樹脂 ・SBR ・充填剤 ・その他添加剤 | ・アセトアセチル化PVA ・アクリル系エマルジョン ・充填剤 ・その他添加剤 |
| 硬化剤(架橋剤) | ・エポキシ樹脂 | ・イソシアネート |
| 硬化促進剤(ゲル化剤) | ・グリオキザール | ・2官能性ヒドラジド化合物 |
| 主剤/硬化剤(重量比) | 100/2.5 ~ 100/4.5 | 100/15 ~ 100/18 |

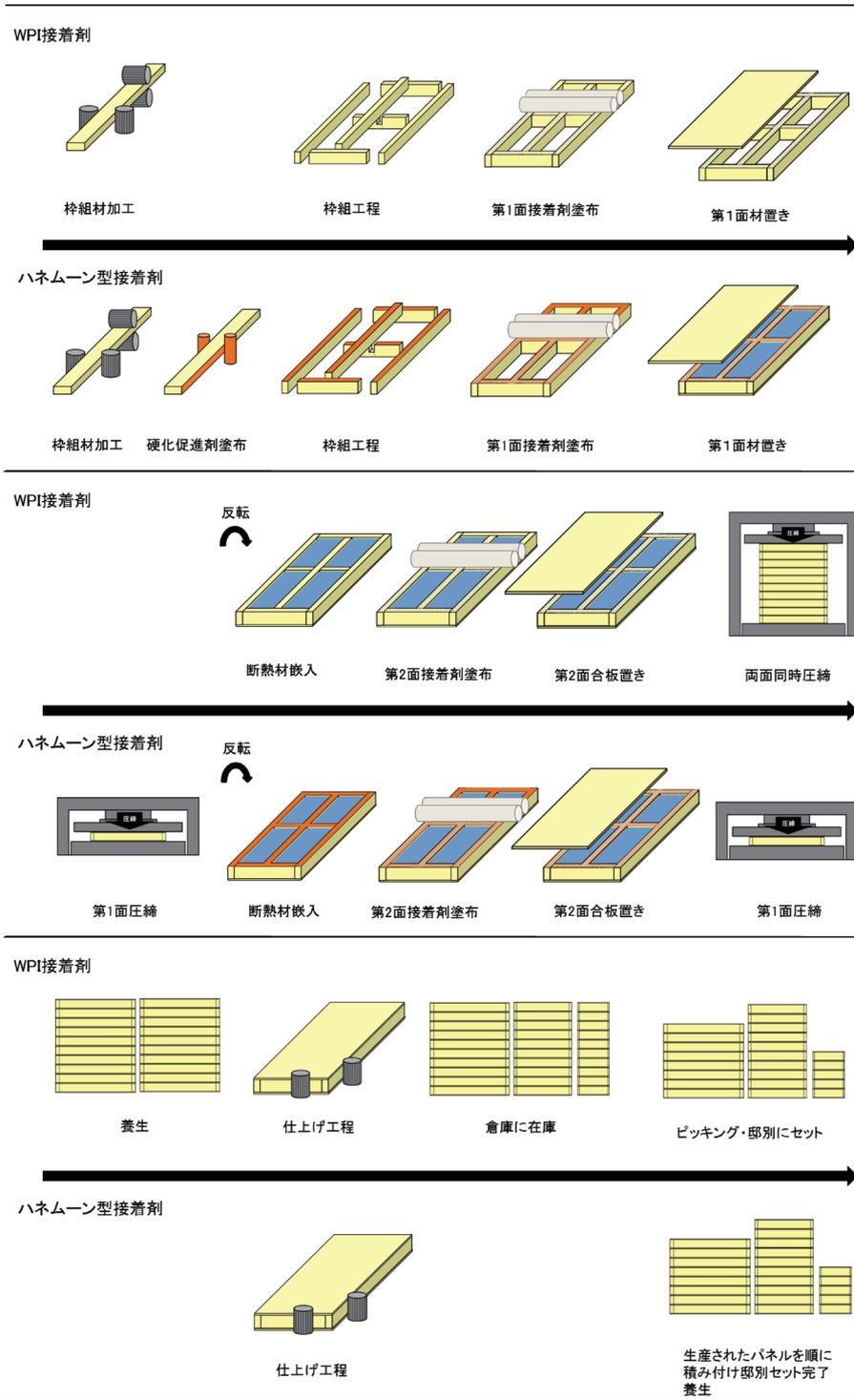


図2 ハネムーン型接着剤とWPI接着剤によるパネル生産ライン概要⁴⁾

ルコーター上の接着剤に転写してしまい主剤が増粘し、塗布量が変わってしまうため乾燥状態には注意する必要がある。主剤塗布後は決められた時間内に面材を貼り合わせる必要がある。貼り合わせ位置を修正する等の目的で、一度置いた面材をはがしたり、大きくずらしたりすると、主剤と硬化促進剤の混合を促進し、かつ、堆積時間（接着剤塗布から圧縮までの時間）も長くなることから、ゲル化反応が進み過ぎた状態で貼り合わせてしまい接着不良となる場合があるので注意が必要である。位置合わせを正確におこなうた

めの、治具や自動面貼機を用いて貼り合わせる方が望ましい。圧縮は圧縮圧力0.5～1.0 MPa、圧縮時間は壁パネルの場合30秒～45秒とすることができ、プレス機への搬送、搬出時間を含め1分以内で次工程に移ることができる。圧縮工程から搬出されたパネルは反転され、枠組材間に断熱材を隙間なく嵌入し、第1面側と同様に接着剤塗布、面材貼り付け、圧縮される。仕上げ工程（サイザー工程）では寸法を整え、これと同時にパネル側面にはみ出した接着剤はきれいに除去される。最後に製品検査をおこない、パネルを生産され

た順に積み付け出荷時の荷姿となる。この荷姿のまま養生され、養生完了後出荷となる。WPI接着剤を用いた製造ラインと比較して硬化促進剤塗布工程が増えることはデメリットであるが、圧縮直後の養生が不要となり、養生に必要な広大なスペースが不要となることや、必要なパネルのピッキングにかかる労力が不要となることがデメリットを相殺してあり余るメリットとなっている。

4. パネル用ハネムーン型接着剤への要求性能

4.1 最終強度

平12建告1446には、木質接着複合パネルに使用する接着剤の基準として「JIS K-6806に規定する1種1号に適合する接着剤と同等以上に接着の性能を維持させることができるもの」と示されている。従って、JIS K-6806に示されているカバ材を用いた圧縮せん断試験をおこない、常態圧縮せん断強さ981 N/cm²、煮沸繰り返し圧縮せん断強さ588 N/cm²以上であることを確認している。

4.2 初期接着力

ハネムーン型接着剤を導入する以前は、図2に示したWPIを用いたパネル生産（ロット生産）方式により、パネル10枚を重ねて、10分の圧縮時間で生産していた。パネルの生産性を向上させるためにはパネル1枚当たり1分以内で生産する必要がある。このため接着時間（圧縮時間）は通常1分以内（目標としては30秒）としている。この接着時間で良好な接着性を得るためには、必要な初期接着力を把握し、その初期接着力を得るための接着条件を決める必要がある。初期接着力に影響を及ぼす因子としては接着剤そのものの性能の他に、接着剤の塗布量、接着剤の塗布方法、被着材の材質、被着材の含水率、被着材の寸法（特に厚み）、硬化促進剤塗布後の放置時間、堆積時間、圧縮圧力と時間、温度（被着材、接着剤、雰囲気）等がある。また良好な接着品質（80%以上の高い木部破断率）を得るためには、割裂強度として80 N/40 mm以上の初期接着力が必要であることを実験にて確認している。この必要な初期接着力は被着材の種類、寸法形状等によって異なるため、事前に検討しておくことを忘れてはならない。なお初期接着力の試験法はJIS K-6853を参考に、ハネムーン接着剤の評価に適するように改良をおこなったオリジナルの手法である。詳細は文献⁴⁾を参照されたい。

5. ハネムーン型接着剤の塗布方法

ハネムーン型接着剤は主剤と硬化促進剤の接触後、速やかにゲル化反応が起こるため、堆積時間に大きな制約を受ける。生産ラインでの不測のトラブルに対処する時間を確保するためにも、接着可能な堆積時間の範囲を広げること

は、不良パネルの発生を抑えることにつながり、コストメリットが大きい。このため、主剤と硬化促進剤は別々の面に塗布し、主剤と硬化促進剤を接触までの時間を確保しやすい分別塗布方式をとるのが一般的である。木質パネルを分別塗布方式で接着する場合、枠組材と面材のそれぞれに主剤もしくは硬化促進剤の一方を塗布することになるが、様々なパターンを有する枠組材の接触する部分の面材のみに選択的に接着剤を塗布することは、技術的には可能であるが、サイクルタイム内で塗布できる高速な設備は現在のところ見つかっていないため、接着剤は面材全体に塗布することになる。分別塗布の場合、コストの観点から、塗布面積の大きい面材側にコストの安い硬化促進剤が塗布されることとなるが、枠組材と接触しない面材部分には反応の高い硬化促進剤が未反応のまま残ってしまうため、長期的に見てその他の材料に悪影響を与えないか注意する必要がある。

一方、分別塗布方式に比べて制約が多いものの、主剤と硬化促進剤の両方を同一面に塗布する重ね塗布方式がある。この方式は枠組材へ硬化促進剤を塗布し、乾燥後その上に主剤を塗布して直ちに面材を置き圧縮する方式である。分別塗布方式と比べ、開放堆積時間の制限がより厳しくなること、硬化促進剤の乾燥が不十分であると、ロールコーター上の主剤に転写してゲル化すること、堆積時間を延ばすために塗布量を多くしなければならないこと等の欠点がある。しかしながら、必要な部分にのみ接着剤が塗布できること、未反応の硬化促進剤による悪影響を考慮する必要がないこと等のメリットがあり、分別塗布方式と重ね塗布方式の特性を把握した上で使い分けるとよい。パネル生産では重ね塗布方式を採用していることを付け加えておく。

6. おわりに

本稿ではハネムーン型接着剤を用いて木質接着複合パネルを最短で数十秒の接着時間で製造する事例を述べた。この接着方法は必要なものを必要な分だけ生産することが可能であり、少量多品種生産型のラインには好適である。ただし工程管理（特に堆積時間管理）が難しくなることは避けられない。現在では機械化による自動制御技術も昔に比べ格段に進歩していることから、工程管理の難しさは緩和され、この接着方法は適用しやすくなっていると感じている。少品種大量生産ラインにはコストパフォーマンスの高い汎用の接着剤を用いた場合の方が有利な面もあるが、新規の生産ラインを構築する場合には、ハネムーン型接着剤の適用についても検討の一つに加えて頂ければ幸いである。

文献

- 1) 池上則明：接着の技術、12(3)、23-28(1992)
- 2) 関口洋嗣、原田彩加：接着剤便覧、新樹社、p.21(2015)
- 3) 関口洋嗣、池上則明：第54回日本接着学会年次大会予稿集、p.89(2016)
- 4) 関口洋嗣：木材工業、72(2)、44-49(2017)