

## 今、なぜイソシアネートなのか？

### ボード材質と接着剤

ここ数年における内外の研究をながめてみると、フェノール樹脂接着剤に代わって、イソシアネート系の接着剤を用いたボードの性能評価にかかわるものが非常に目立っている。そこで、今、なぜイソシアネートなのか？その特徴を探ってみた。

#### はじめに

最新の文献によると、9.5mm厚のウェハボードを日産250トン（比重0.67、300日稼働として75,000トン規模）生産するとして、价格的にフェノール樹脂接着剤よりも1.6倍高いイソシアネートを用いても、トータルの製造コストを9%低減することができるといわれている。イソシアネートがボード材質をフェノール樹脂接着剤に比べて1.5倍アップさせ、更にプレス時間を20%短縮するという基礎データの集積の結果いえることであろう。9%という数値については大きいと考える人もあるだろうし、あるいは小さいと考える人もいるだろう。いうまでもないことではあるが、ボードに限らず製品のコストダウンというものは、たとえ個々の工程では1%に満たないコストダウンにすぎなくとも、それらの集積により、より大きなものになるのではなかろうか。したがって、接着剤をフェノール樹脂からイソシアネートに代えることにより達成される強度向上と、かつ9%のコストダウンがはかれるというのは、やはり注目に値すると思われる。

#### ボード工業における接着剤の動向

1938年、スイスのブレーメン・ヘメリンゲンにあるトロフィット工場で、のこくずを原料としてボードを作ったのが、パーティクルボードの工業化の初めであるといわれている<sup>1)</sup>。以来、工業的な生産技術をバックアップするための研究が積極的

に行われ、1978年時点における全世界のパーティクルボード生産量は3,850万 $m^3$ （比重0.65として2,500万トン）と報告されている<sup>2)</sup>。1970年代のパーティクルボード生産の年成長率は9.2%であり、ここ2、3年そのペースはやや落ちてきているというものの、現在では既に4,000万 $m^3$ は超えているであろう。

ところで、パーティクルボードというものは、一定の温度と圧力の下で、合成樹脂接着剤などを用いて木質小片同志を接着成形した板状材料である。工業的に製造されているパーティクルボード用の原料小片は、大きさ、形ともに非常に変化に富んでいる。そしてこの小片の大きさや形状は、それを原料として得られるパーティクルボードの材質に大きな影響を及ぼし、ひいてはこのことがボードの最終用途さえも決定してしまうことがある。

ボードの用途を決定づけるもう一つの重要な因子として、接着剤のボード材質への影響を見逃すわけにはいかない。確かに尿素樹脂接着剤は、常態強度においてはフェノール樹脂接着剤と比較しても、何ら劣るところはないといわれている（図7参照）。しかし、パーティクルボードが家具用から建築用へとその用途を拡大している現在、要求される性能により必然的に用いられている接着剤の種類も、尿素樹脂接着剤単独のものから、尿素・メラミン共縮合タイプ、更にはフェノール樹脂接着剤へと、代えられてくるのは当然といえよ

う。

更に最近では、フェノール樹脂接着剤からイソシアネート系接着剤へと移行する傾向にある。この傾向について最近発表された文献を中心に話を進める。

### イソシアネート系接着剤の特徴

フェノール樹脂接着剤を用いたパーティクルボードの研究は、1930年にアメリカにおいて最初に始められたというから、その歴史は半世紀にもなる。一方、イソシアネート系の接着剤を用いたものについては、それよりも30年以上も経過した1960年代の後半にヨーロッパにおいて始められたという。したがってその研究の歴史はまだ20年にも満たないといえるであろう。しかし、最近の研究の密度からいえば、たとえ20年の歴史しかなくとも、あるいは50年の歴史に匹敵するだけの成果があがっているかもしれない。

イソシアネート系接着剤の化学構造式や反応のメカニズムについては他誌<sup>3)4)5)</sup>にゆずるとして、まずその長所と短所について述べることにする。

〔長所〕

1. イソシアネートは、木材中の水酸基(OH)を有する化学成分(セルロースやリグニンなど)及び木材中に含まれる水分(これも水酸基OHを含んでいる)と化学的な結合をする。一方、尿素やフェノール樹脂接着剤の結合は、機械的な結合(接着剤が木材の道管やその他の孔に入り木材相互を結合する)又はファンデルワールスの力と呼ばれる分子間引力等により結合力が発揮されるといわれている。化学的結合の方が機械的結合や分子間引力の結合よりも強いためイソシアネート系接着剤は、他の接着剤を用いた時に比べて高い結合力が発揮され、強度的性質の優れた製品が得られる。
2. イソシアネートは尿素あるいはフェノール樹脂接着剤のような水溶性接着剤と容易に混用できる。
3. イソシアネートは尿素あるいはフェノール樹脂接着剤と異なり、樹脂率100%の状態でも液体である。更に水を混合して毎分1,000~2,000回程度の回転数で攪拌することにより、これを希望とする濃度のエマルジョンにすることができる。
4. 広い範囲の硬化温度で反応させることができる。すなわち200前後の高温から、パーティクルボードの製造においては低温領域と思われる120前後の間はもちろん、アミノ系の触媒を用いると室温でも十分硬化するという。
5. 比較的高い含水率を有する木材に対しても適用できる。すなわち、イソシアネートは水や木材中の水酸基と反応してその結合力を発揮するので、ものによっては20%程度の含水率を有する木質原料とでも、接着強度の低下を極力抑えながら結合することができる。なお、ボード製造時の20%という含水率は極めて高く、これまでの接着剤ではボードを製造することが極めて困難であった。
6. 他の接着剤、特に尿素樹脂接着剤を用いた時に問題となるホルマリンの放散の心配がない。  
〔短所〕
1. 結合力と反応性が高いという長所がそのまま短所に結びつくこともある。すなわちコル板やプレス熱盤の金属とも結合するので、離型が他の接着剤以上に問題となる。また接着剤が皮膚に付着しやすく取り扱う人間の健康上の問題が他の接着剤以上に大きい。ボード用原料チップに接着剤を塗布する場合、噴霧するので細かいミストが皮膚に付着したりあるいは呼吸により体内に取り込まれるので換気に十分注意するとともに手袋、マスクの着用などの防護処置が必要となる。
2. 価格が高い。このことは工業用原料としては致命的な欠点ではあるが、反応性と結合力が高いという長所のため、ボード製造においてはプレス時間の短縮と、低い接着剤添加率でも良いという点から相殺されるであろう。ちなみに、アメリカにおける種々の接着剤の固型分1kg当たりの価格を示す。なお、1ドル250円として換算した(1980年9月の時点の価格)<sup>6)</sup>。

尿素樹脂接着剤	72円
フェノール樹脂接着剤	193円
粉末フェノール樹脂接着剤	330円
イソシアネート接着剤	688円
ポリマータイプの イソシアネート接着剤	468円
エマルジョンタイプの イソシアネート接着剤	512円

アメリカにおいては、イソシアネートはフェノール樹脂接着剤の1.6倍ともいわれているので193円というのは安すぎるようだ。フェノール樹脂接着剤については275円(1979年4月)<sup>7)</sup>という報告もある。日本ではフェノール樹脂接着剤は450~500円、エマルジョンタイプのイソシアネートは600~700円でその差は更に小さくなっている。尿素樹脂接着剤はアメリカの約2倍、粉末フェノール樹脂は550円前後といわれている。

3. 耐久性があまり高くない。湿潤時のイソシアネート結合パーティクルボードの強度は、これよりも価格の低いフェノール樹脂接着剤結合のボードと大差がない。
4. 他の接着剤にも共通する事ではあるが、その保存については反応性が高いので特に留意し、室温以下の湿気の少ない暗所に貯蔵しておく必要がある。

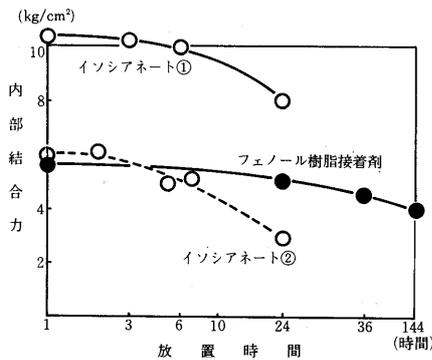


図1 接着剤塗布後の原料小片放置時間と内部結合力の関係

### 特徴を裏付けるデータ

エマルジョンタイプのイソシアネートは、たとえばN社製のものでは100%の樹脂率の状態では、その時の粘度は1.5~3.5ポイズ(25℃)で外観は暗褐色の液体である。この粘度はボード用原料小片にスプレー塗布するにはやや高いが、水とは任意の割合でエマルジョン化できる上、そうすることにより粘度は十分小さくなる<sup>8)</sup>

配合割合 (%)		粘度 (ポイズ)
イソシアネート	水	
50	50	0.10
40	60	0.05
30	70	0.03
20	80	0.02
10	90	0.01

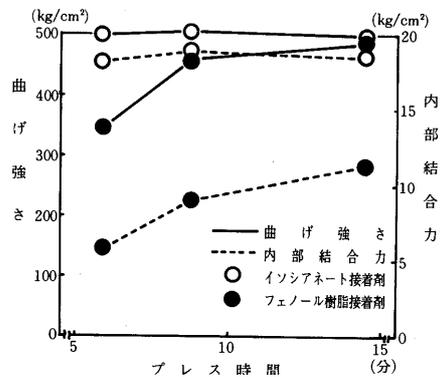


図2 プレス時間とボード材質の関係 (プレス温度: 176℃, ボード比重: 0.74)

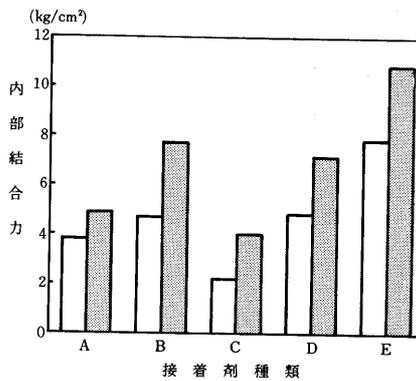


図3 接着剤種類と内部結合力の関係 (左側3%, 右側6%の添加率, ボード比重: 0.60)

問題はこのエマルジョンの安定性についてであるが、乳化後、塗布までの放置時間とボード材質との関係は、おおよそ次のとおりである。なお、単位はkg/cm<sup>2</sup>である。

放置時間	0	1	2	3 (時間)
曲げ強さ	180	169	178	171(kg/cm <sup>2</sup> )
内部結合力	7.3	5.6	6.5	5.2(kg/cm <sup>2</sup> )

次に接着剤塗布後の放置時間とボード材質との関係について図1に示した。イソシアネートについては文献9、イソシアネートについては文献10、フェノール樹脂接着剤については我々の未発表データによるものである。絶対値はともかく、イソシアネートの方が塗布後の原料小片の放置時間の影響は大きいようである。しかし、実作業の場合、短時間に原料がプレスされるので問題はないであろう。

イソシアネートの反応性の速さは図2からも明らかであろう<sup>4)</sup>。このような傾向は他の文献にもみられ<sup>7)</sup>、これによりプレス時間が短縮されれば、即生産性向上に寄与し、接着剤自身のもつ価格が高いという欠点も相殺されよう。

イソシアネートについては他の接着剤に比較して高い接着力(内部結合力)を示し、曲げ性能についてもこれまでで用いられていたフェノール樹脂接着剤をしのぐという結果が得られている。図3は5種類の接着剤の内部結合力を比較したものであ

る<sup>11)</sup>。接着剤Aはレゾルシノール変性のフェノール樹脂で、我々が通常パーティクルボードを製造する際に用いているものである。Bは同じくフェノール系、C、Dはアルキルレゾール系、Eがエマルジョンタイプのイソシアネートである。図3からも、明らかなように、接着剤Eは3%の添加率でも他の接着剤6%添加の値を上回る結果を与えた。パーティクルボードの最大の欠点ともいわれている、吸水による厚さの膨張に対しても同じような良い効果を示している(図4<sup>11)</sup>)。この図の中で示した値は、いわゆる耐水剤などを一切加えることなしに得られたものである。つまりイソシアネート自身は他の接着剤に比べて高い耐水性をもっている。さらにイソシアネートの耐水性を裏付ける例<sup>3)</sup>として次のようなデータがある。

イソシアネート添加率	24時間の吸水厚さ膨張	
	耐水剤有	耐水剤無
2.5	14.0	16.5
5.0	12.1	14.0
7.5	11.2	12.5
10.0	9.0	10.2
15.0	7.3	7.5
20.0	5.1	5.3

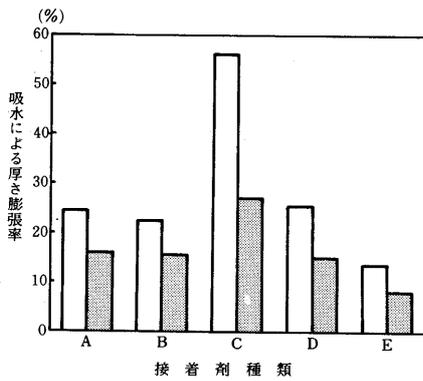


図4 接着剤種類と吸水による厚さ膨張率の関係 (左側3%、右側6%の添加率、ボード比重0.60)

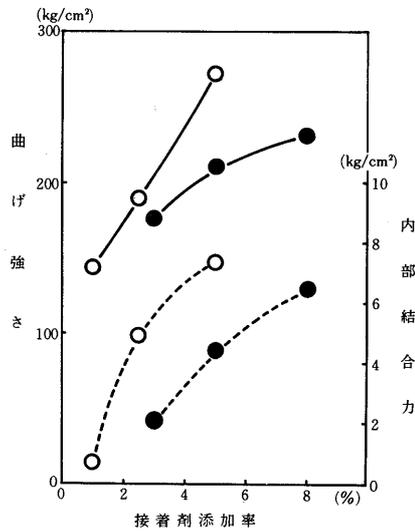


図5 接着剤添加率とボードの強度との関係 (記号は第2図と同じ)

これは耐水剤の効果を調べた例であるが、その効果はほとんど認められない。

このようなデータは数多くみられるが、イソシアネートの添加率をもう少し低い方のレベルに合わせた報告もある(図5)<sup>3)</sup>。いずれにしても、フェノール樹脂接着剤などと比較して少ない接着剤量でもかなり良い材質のボードが得られるので、コストダウンという面からみれば大きな長所になる。

長所の中でも述べたが、イソシアネートは水とも反応するので、原料小片中の含水率が多少高くても問題となるようなことはない。フェノール樹脂接着剤の場合、これとは逆にその硬化過程で縮合反応生成物として水を発生するので、その水を外部から熱を加えて蒸発させるなどの方法によりマット内部から除去しなければ、その縮合反応は進まないことになる。したがって、原料小片中にあらかじめ多くの水分が含まれていれば、縮合反応のさまたげになり、そのため接着剤の硬化に支障をきたし、このことがプレス時間の長くなる原因ともなる(図2)。これに関しては研究者によって多少異なる結果を示しているが、大筋で差はないものと考えられる。まず、次のデータは原料小片含水率が高くなるにしたがって、内部結合力はわずかではあるが低下する傾向を示している<sup>3)</sup>。

原料小片含水率 (%)	内部結合力 (kg/m <sup>2</sup> )
5	7.2 ± 1.9
10	6.8 ± 1.7
20	6.4 ± 2.1

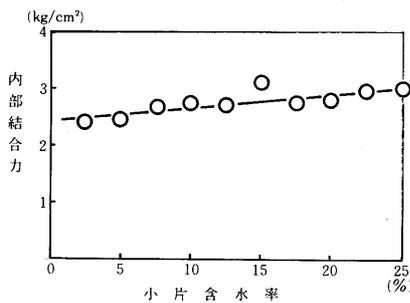


図6 小片含水率と内部結合力の関係 (ボード比重0.63, イソシアネート6%添加)

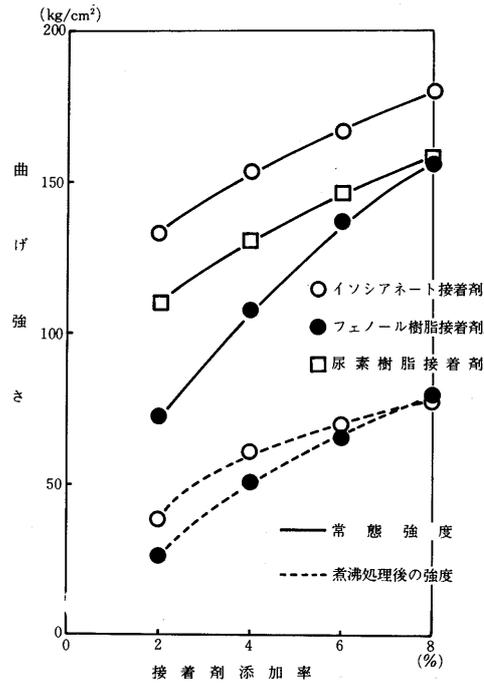


図7 接着剤種類及び添加率と曲げ強さの関係

しかし、バラツキを考慮すれば含水率 5~20%の範囲内で内部結合力に差はないとみるのが妥当であろう。このデータはフェイスに7%、コアに5%のイソシアネートを添加した例である。一方含水率が高くなるにしたがって、前述のデータとは逆にわずかに内部結合力が高くなる傾向を示している例(図6)<sup>9)</sup>もあるが、いずれにしても小片含水率5~25%の広い範囲にわたって使用可能な接着剤であるということができよう。なお、高含水率小片を用いて一番効果の上った材質は、吸水による厚さ膨張である。

小片含水率 (%)	10	20
曲げ強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	373	405
曲げ弾性係数 (10 <sup>3</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	50	52
内部結合力 (kg/cm <sup>2</sup> )	20	15
吸水厚さ膨張率 (%)	17	9

この例はボード比重が0.72, 接着剤添加率5%, 163 で5分間プレスしたものである<sup>4)</sup>。このようなことは、フェノール樹脂接着剤ではちょっとま

ねのできない芸当であろう。

ところで、耐久性があまり高くないというデータも示されており、その一部を図7に示す<sup>12)</sup>。これは2時間煮沸処理後の曲げ強さで、高くはないといっても絶対値ではむしろフェノール樹脂接着剤を用いたものより優れている。これは、もとの常態強度がイソシアネートの方がかなり高いため、いわゆる煮沸処理後の曲げ強さ保持率が計算上低くなり、耐久性評価の一つの目安（例えば日本繊維板工業会規格、下地用パーティクルボード）である保持率50%を維持できないため、このようにいわれているのではなかろうか。この規格の中では、例えば常態強度 200kg / cm<sup>2</sup> のものは湿潤時には 100kg / cm<sup>2</sup> 以上なければならぬと規定しているが、これを絶対値ではなく、比率（50%）で評価する人もいるので混乱してくるのでなかろうか。

これまではイソシアネートの長所を裏付けるデータについて述べてきた。それでは短所を補うためにどのような方法がとられているのかについて述べることにしよう。

一番大きな欠点は、その結合力の強さのために起きるコーン板との離型の問題であろう。これを解決する方法としては、接着剤自体の性質を考えると、金属と接する面にはイソシアネート接着剤を用いないこと、離型性の良い離型剤を用いることの3点に集約される。接着剤自体に離型性を付与したイソシアネートが開発されており、これを使用して見たところかなり離型性が良くなっていることが認められた。また、現在のパーティクルボードの種類として単層、多層、3層などという分類の方法があるが、この3層パーティクルボードを製造する原理により、フェイスには離型性に問題のないフェノール樹脂接着剤を使用し、コアにイソシアネート接着剤を用いる方法もある。これと類似する方法ではあるが、単板をマットの上下に挿入しワンショットでボードを製造する方法も考えられている。後者については既に工場規模で操業されており、ELCOBOARDの商品名で販売されている。この商品はコアにのこくず、樹

皮、その他の工場廃材などを用いたパーティクルボードコア合板であるが、その材質は極めて高い値を示している。これは実際にイソシアネートを用いている数少ない例である<sup>13)</sup>。離型剤の開発についても精力的に努力されており、2, 3のものについて文献などに紹介されている<sup>5)9)</sup>。

（林産試験場 松本章）