

## 2-2 防災物品のリサイクル・リユース技術に関する実験

### 2-2-1 はじめに

市場性の高いコンクリート型枠を主要なリサイクル製品と定め、必要な実証試験等を行なった。

現在、市場のほとんどを占めるコンクリート型枠は、南洋ラワン材を原料としたものである。コンクリート型枠に求められる性能項目は多岐にわたるが、直接商品価値に結びつく項目は嵩比重と強度と考えられている。

コンクリート型枠は、建物を建設する際に人力で運ぶことが多く、人が運べる軽さが要求され、嵩比重 0.8 以下が商品価値を決めるポイントとなっている。嵩比重を低下させると、強度の低下率が大きくなる傾向があり、基礎検討では、嵩比重と強度の物性を評価しながら廃棄物の配合の検討を進めた。

ラワン材は嵩比重が 0.6 と非常に軽く、かつ、かなりの強度を保っている。再生製品のコンクリート型枠の嵩比重に関しては 0.6 に限りなく近づける検討をしながら、当面の繊維種の検討を嵩比重 0.8 とする基本配合で検討し、曲強度 150kgf/cm<sup>2</sup> を評価の基準とした。この場合の素材の配合は、次のとおりである。

廃繊維	40	重量部
ポリプロピレン	40	重量部
木屑	20	重量部

なお、繊維をリサイクルしたコンクリート型枠について、「エコボード」と称することとする。

### 2-2-2 ラボスケールによる配合試験

#### (1) 嵩比重と曲げ強度

嵩比重はプレス金型への原料充填量を調節することによって容易に制御できる。嵩比重と強度の関係は表 2.2.2.1 に示すとおりである。

嵩比重は重要な物性であり、より低比重のものが望まれる。低比重化方策としていくつか方法はあるが、まだ再現性のある技術とはなっていない。今回の実験は、嵩比重 0.8 の条件に統一して行った。

**表 2.2.2.1 嵩比重と強度**

嵩比重	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
0.6	89.9
0.7	121.4
0.8	147.3

**(2) 木屑量と強度**

木屑を使用しない場合、切削・釘打ち性能が低下するため、コンクリート型枠として使用できない。一方で、防災物品のリサイクルの観点から、廃繊維をできる限り多量に使用するためには、木屑は最小限の使用が望ましい。木屑配合量と強度の関係をまとめた表 2.2.2.2 においては、木屑が 20%の曲げ強度が最小となっているが、理由については明らかになっていない点もある。

**表 2.2.2.2 木屑配合量と強度**

木屑 (%)	ポリプロピレン (%)	ポリエステル (%)	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
0	40	60	180.3
20	40	40	147.3
40	40	20	169.4

**(3) ポリプロピレン量と曲げ強度**

ポリプロピレンは、廃繊維と木屑の融着剤であり、使用が多いほど曲げ強度が高まる。しかし、ポリプロピレンの多量な使用は、コンクリート型枠製造のコスト上昇要因となるため、40%程度に留めることが望ましい。

**表 2.2.2.3 ポリプロピレン量と曲げ強度**

ポリプロピレン (%)	ポリエステル (%)	木屑 (%)	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
50	30	20	151.8
40	40	20	147.3
30	50	20	129.5

#### (4) ウール配合と曲げ強度

ふとんには、ウールふとんがあり、使用が可能かどうか試験を行った。ウールを廃繊維に50%使用すると曲げ強度は低下する。

このため、データで見る限りウールを極度に多く使用することは困難である。これはウールの炭化温度が低いため劣化が起きるためと考えられる。

表 2.2.2.4 ウール配合と曲げ強度

ウール (%)	ポリエステル (%)	ポリプロピレン (%)	木屑 (%)	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
20	20	40	20	106.3
0	40	40	20	147.3

#### (5) ロールカーペットの配合と曲げ強度

ロールカーペットは最上層部に繊維でできたパイルがあり、その下に基布(ジュート、ポリプロピレンあるいはポリエステルの太い糸でできた布)がある。そして基布とパイルを固定する接着剤からなる。

接着剤は、SBR(合成ゴムラテックス)と炭酸カルシウムの微粉を混合して乾燥したものから構成されている。基布及びバックング材が型枠の物性に悪影響を及ぼすか調べた。

実験の結果、基布及び接着剤がコンクリート型枠の曲げ強度に悪影響を及ぼすという傾向は見られなかった。従って、ロールカーペットはパイル、基布、接着剤を分離することなく、一括粉砕で使用できるとみなしてよいと考えられる。

#### (6) タイルカーペットパイルの配合と曲げ強度

タイルカーペットは、表面の繊維からなるパイル部分と塩ビコンパウンドを多量に含有するバックング層からなる。

塩ビコンパウンドは分離し、タイルカーペットのバックング材として再利用する。この塩ビコンパウンドとパイル部分を分離する方法に、2つの方法がある(詳細は平成13年度調査)。

- (1) タイルカーペットを細かく粉砕し、空気輸送中に比重の重い塩ビコンパウンドと繊維を分離する方法
- (2) カッターによって、パイル部分と塩ビコンパウンドを切り取り分離する方法いずれの方法も、パイル部分の繊維は短くなるため、曲げ強度に対する影響を調べた。

**表 2.2.2.5 タイルカーペット配合と曲げ強度**

	カーペットパイル (%)	ポリエステル (%)	ポリプロピレン (%)	木屑 (%)	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
(1) の方法による分離	0	40	40	20	147.3
	10	30	40	20	137.6
	20	20	40	20	111.0
(2) の方法による分離	30	0	50	20	192.2
	40	0	40	20	177.7
	50	0	30	20	156.4

表 2.2.2.5 の結果は、(1) の分離方法によるものと (2) の分離方法によるものとカーペットパイル量が異なっている。これは分離されたパイルの形状が (1) の場合、微粉で強度に悪影響を及ぼすであろうということが予測されたためである。

実験結果は、予測どおり (1) の分離法によるパイルは、曲げ強度を低下させ、1割以下の使用が限度と思われる。一方、(2) の分離法によるパイルは、繊維部分全部に使用可能である。

#### (7) コンクリート型枠の再リサイクルと曲げ強度

使用済みコンクリート型枠を再度リサイクルして使用できるか試験を行った。

今回の実験は一度目の再使用の実験であるが、4割程度まで再使用可能である。

**表 2.2.2.6 再リサイクル量と曲げ強度**

型枠再生品 (%)	ポリプロピレン (%)	ポリエステル (%)	木屑 (%)	曲げ強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )
0	40	40	20	147.3
20	32	32	16	146.4
40	24	24	12	158.5

\*) ポリエステル、ポリプロピレン及び木屑の量は一定になるよう調整している。

以上、ラボスケールの実験(型枠の寸法：250×350×12mm)により、廃繊維を用いて所期目標値(嵩比重 0.8, 曲げ強度 150kgf/m<sup>2</sup>)を達成する見込みを得たことから、実大寸法ボードの試作を行うこととした。

市販のコンクリート型枠は、大きさが1800×600×12mm(いわゆる2×6板)であり、この規模で試作できるか試験を行うこととした。標準は以下の配合である。

廃繊維(ポリエステルふとん綿)	40%
ポリプロピレン	40%
木屑	20%

試験結果： ① 嵩比重 0.8      ② 曲げ強度 123.1kgf/cm<sup>2</sup>

嵩比重は目標どおりとなったが、曲げ強度はラボスケールと比べて20%程度の低下となった。

理由として、ラボスケールの場合、プレス工程が加熱プレスと冷却プレスを使い分けるのに対して、実大規模では同じプレス機で加熱し、続いて冷却工程に入るため、除冷工程が間に入るためと考えられる。

このことから、実用化に向けては、プレス工程の温度管理を十分検討しておく必要がある。

なお、曲げ強度は目標に達していないが、他の実用的な性質を評価するため、この型枠板を施工実験に供することとした。

## 2-2-3 型枠施工実験

### (1) 試験内容

エコボードのコンクリート用型枠材(せき板)として要求される性能評価を考慮し、試験項目は以下のとおりとした。

- ①エコボードの加工性
- ②エコボード型枠の脱型容易性
- ③エコボード型枠脱型後のコンクリート表面及びせき板の状況評価
- ④エコボード型枠の転用回数評価
- ⑤エコボードの耐アルカリ性能

## (2) 試験結果及び考察

### (ア) エコボードの加工性

#### ① 加工性

エコボードの加工時における型枠大工へのアンケート及び加工・組み立て時における目視観察の結果、エコボードはオーバーレイ合板に比べ、加工・組み立てについては作業性に差異がなく、むしろ切削時に粉塵の発生がないため、作業環境の面では良好といえる。

表 2.2.3.1 アンケート結果(オーバーレイ合板との比較)

項目	アンケート結果
・エコボード搬入時の状況	・良好： 面の平滑さに違いがある
・場内運搬のし易さ	・やや運搬しにくい： 表面にキズをつけないように気使いする
・墨出し易さ	・同等： 墨出し後直ぐに触ると滲む
・切削性	・やや良い： 鋸目を入れても折れずに柔軟性がある、切り粉が発生しないのでほこりっぽくない
・削孔性	・良い： 特に問題ない
・くぎ打ち性	・良い： 特に問題ない
・組み立て性	・同等： 特に問題ない

エコボードのせき板ユニット加工、及び組み立て完了後の実大試験体の状況を図 2.2.3.1、図 2.2.3.2 に示す。また、せき板には剥離剤を塗布した。



図 2.2.3.1 エコボードのせき板ユニット加工



図 2.2.3.2 実大試験体型枠組み立て完了状況

## ② くぎの引き抜き抵抗性

エコボードに打ち込んだ釘の引き抜き抵抗は、オーバーレイ合板の場合よりも多少大となり(エコボード：188N/本、オーバーレイ合板：173N/本、 $n=6$ )、オーバーレイ合板と同等以上といえる。

### (イ) コンクリートの打込み・締固め・養生

実大試験体へのコンクリート打込には、レディーミクストコンクリートを用い、コンクリート型枠へのコンクリート投入後、棒状バイブレーター及びたたきによって締固めた。

小型壁状試験体へのコンクリート打込には、レディーミクストコンクリート及び1001強制練りミキサーにより製造したコンクリートを用い、締固めは実大試験体と同様とした。なお、フレッシュコンクリートの性状はいずれの場合ともほぼ所定の品質が得られ、特に問題はなかった。

コンクリート打込終了後は養生シートにて覆い、養生温度が低下しないように投光器による初期養生を行い、コンクリート温度の測定による養生管理を行った。

### (ウ) エコボード型枠の脱型容易性

コンクリート打込後、現場気中養生供試体( $\phi 100 \times 200\text{mm}$ )の圧縮強度が JASS 5 に規定されている、脱型時強度  $5 \text{ N/mm}^2$  以上であることを確認後、脱型作業を行った。脱型作業及び脱型直後の試験体の様子を図 2.2.3.3、図 2.2.3.4 に示す。

エコボードせき板の脱型容易性は、型枠大工へのアンケートによるとオーバーレイ合板に比べて離型性がやや悪く、剥がれにくいとの所見であった。これはエコボード表面から繊毛状の突起があり、コンクリートとの付着がオーバーレイ合板よりも大きいことによると考えられる。



図 2.2.3.3 脱型作業の様子



図 2.2.3.4 脱型直後の状況

## (エ) エコボード型枠脱型後のコンクリート表面及びせき板の状況評価

### ① 脱型後のコンクリート表面状態

#### ・表面の仕上がり状況

脱型後のコンクリート表面にはエコボード面、オーバーレイ合板面とも豆板、ジャンカ等の欠陥は認められなかった。表面のテクスチャーはエコボード面がオーバーレイ合板面に比べ黒暗色の色合いを呈し(図 2.2.3.5)、ざらつきが認められた。また、エコボード面には部分的にエコボードの付着が確認された。(図 2.2.3.6)



図 2.2.3.5 脱型直後の柱表面  
(左：オーバーレイ合板、右：エコボード)



図 2.2.3.6 コンクリート表面への  
エコボードの部分的な付着状況(梁)

### ② 脱型後のせき板の状態

#### ・表面状態

脱型後のせき板の状況を図 2.2.3.7、図 2.2.3.8 に示す。各部材ともオーバーレイ合板面には局部的なセメントペーストの付着が認められるにとどまっているが、エコボード面にはほぼ全域にセメントペーストが付着している。これはエコボード表面の繊維の突起及び吸水性が影響していると考えられる。



図 2.2.3.7 脱型後の柱せき板  
(左：オーバーレイ合板、右：エコボード)

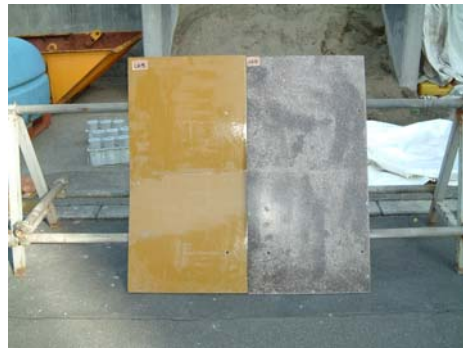


図 2.2.3.8 脱型後の壁せき板  
(左：オーバーレイ合板、右：エコボード)



### ③ エコボード型枠の転用回数評価

壁状小型試験体によるコンクリート打込回数3回までのエコボードの状況は、オーバーレイ合板に比べ、打込回数が増大する毎に剥離剤を塗布してもセメントペーストの付着が顕著となり、また表面からの吸水により変形し易くなる傾向が認められることから、現状のエコボードのせき板としての転用回数は2～3回程度が限度と考えられる。

## 2-2-4 型枠施工実験のまとめ

エコボードの施工性確認試験の結果をまとめると以下のとおりとなる。

### (ア) 加工性：

型枠加工、組み立て時における作業性はオーバーレイ合板と同等と判断される。

### (イ) 脱型容易性：

コンクリートとの付着性が大きいため、オーバーレイ合板のせき板より脱型容易性は劣る。

### (ウ) コンクリートの仕上がり性：

エコボードをせき板に用いたコンクリート表面の色合いは暗黒色を呈し、表面の平坦さはオーバーレイ合板に比べ、やや劣ると判断される。また、エコボードの表層部がコンクリート表面に付着する場合があります。エコボード表面の繊維の突起及び吸水性が影響していると考えられる。

### (エ) コンクリート表面の脆弱化の有無：

エコボードをせき板に用いたコンクリート表面硬度はオーバーレイ合板の場合よりも大きく、エコボードがコンクリート表面の硬化などに悪影響を与えることはない判断される。

### (オ) せき板の転用回数：

転用回数が増す毎にエコボード表面へのセメントペーストの付着度合いが顕著となる傾向があること、またボードが変形し易くなる傾向が認められることから転用回数は2～3回が限度と考えられる。

## **(カ) 耐アルカリ性能：**

JAS規格には適合せず、日本合板工業連合会の規定では耐アルカリ性が認められる判定となった。JAS規格は吸水性も同時に評価されるため、吸水性の面で適合せずとなったと考えられる。

これらの課題を改良するには、エコボード表面に、ボードの加工性を損なわない止水処理を施す必要があると考える。

## **2-2-5 型枠製造技術のリファイン**

平成14年度調査において、大手ゼネコンの研究所に依頼し、コンクリート型枠の施工実験を実施した結果、コンクリート型枠の加工性は良いと評価された。しかしながら、いくつかの評価項目においてオーバーレイ合板より劣るものもあると評価された。

### **① 脱型容易性：**

型枠とコンクリートの剥がれ易さ

### **② コンクリートの仕上がり性：**

型枠表層部がコンクリートに付着する

### **③ 転用回数：**

何回コンクリートを流し込めるか

### **④ 耐アルカリ性：**

JAS規格に適合しない

上記のような指摘について、各評価項目を改良するコンクリート型枠を作成し、ゼネコンの研究所において評価を実施した。

廃繊維の中で羊毛のみが、現在の型枠製造標準条件で劣化を生ずることがわかったため、羊毛の劣化しない製造条件を探索することとした。

なお、今までに測定していなかったコンクリート型枠の重要な物性である「線膨張率」と「曲げ弾性率の温度依存性」に関し測定を実施した。

## **(1) 型枠の表面性の改良**

4つの評価項目における課題について考察し、原因を推定すると表2.2.5.1のとおりとなる。

4つの評価項目の課題は、型枠の表面性一つにたどり着く。型枠原料のPP(ポリプロピレン)はコンクリートと接着性はほとんどなく、また水を透過しない。従って型枠表面にPPのスキン層を形成すれば、課題は解決できると推定される。このため、今回、PPのスキン層を形成する方法として2つの試作を試みた。

表 2.2.5.1 評価項目と原因の推定

評価項目	原因の推定
①脱型容易性	コンクリートと型枠の接着が課題である。 型枠原料の繊維、木材、PPのうち、コンクリートと親和性があるのは繊維、木材であり、PPはコンクリートとの親和性はない。
②コンクリートの仕上がり性	型枠表面の繊維がコンクリートに付着するものであり、PPのスキン層を作れば付着は生じないと考えられる。
③転用回数	コンクリートの付着と吸水による変形である。付着は①②と同じ原因。吸水は木材、繊維を通し水分が浸透する。
④耐アルカリ性	アルカリ溶液によって変色、劣化は生じていない。吸水することが課題。

#### A PPフィルムのラミネート

コンクリート型枠にPPフィルムをラミネートすれば表面に、確実にPPのスキン層を形成することができる。

試作機が小型のバッチ式であるため、ラミネーターは使用できなかったため、PPフィルムの上に標準配合の型枠原料を載せ、その上にPPフィルムを重ね、プレス成型した。

- ・配合 廃繊維(ポリエステル) 40 重量部
- ポリプロピレン 40
- 木屑 20
- ・PPフィルム 0.2mm のフィルム
- ・成型条件 200℃ 10 分間 5 Mpa

#### B 三層のサンドイッチ構造

両外層にPPが多い配合で型枠を作る。

中心部分は、PP40 重量部、繊維 60、両サイドはPP50 重量部、木屑 50 の配合とする。プレス後、両サイドの厚みは2mm、中心部は8mm となるよう、原料の計量を行った。

A、Bの型枠を試作し、ゼネコン研究所において施工実験を実施した。

## (2) 表面性改良の評価

エコボードのコンクリート型枠材として要求される性能を考慮し、次の5項目を評価項目とする。

- ① エコボードの加工性評価
- ② 脱型容易性の確認
- ③ 脱型後のコンクリート表面及びせき板表面の評価
- ④ せき板転用回数の評価
- ⑤ エコボードの耐アルカリ性能評価

## (3) 試験項目及び評価方法

### ① 加工性(施工性)

試験体の加工時において、通常用いられるオーバーレイ合板との加工性の比較を行う。

[方法] 型枠大工のアンケートによる。

### ② 脱型容易性

せき板の存置期間は、JASS 5に準拠し、脱型の容易性をオーバーレイ合板と比較する。

[方法] 目視観察及び型枠大工のアンケートによる。

### ③ 脱型後のコンクリート表面及びせき板表面の評価

エコボードとオーバーレイ合板との比較を行う。試験項目は次のとおりとする。

イ) せき板取り外し時(脱型時)の型枠材についてモルタル付着の有無

[方法] 型枠材毎の目視及び付着面積率の測定。

ロ) せき板取り外し時のコンクリート表面について型枠材付着の有無

[方法] イ)と同じ。

ハ) モルタル漏出の有無

[方法] 目視観察による。

ニ) 仕上がりの平坦さ…コンクリート仕上がり表面の凹凸の差

[方法] JASS 5 T-604(コンクリートの仕上がりの平坦さの試験方法)に準拠する。

ホ) 脱型後表面テクスチャ…表面の色合い、豆板の発生頻度

[方法] 目視観察による。

ヘ) 脱型後充填度…ジャンカの有無

[方法] 目視観察による。

ト) コンクリート表面硬度…コンクリート表面の脆弱化の有無

[方法] コンクリートが十分に硬化した時点で、シュミットハンマーにより表面硬度を測定する。

#### ④ せき板転用回数

コンクリート打ち込み・脱型の繰り返し毎に(2)、(3)の試験を行う。繰り返し回数は最大7回とする。

#### ⑤ エコボードの耐アルカリ性能

[方法] 日本農林規格の「コンクリート型枠用合板」に規定される耐アルカリ試験、及び日本合板工業組合連合会で定める「コンクリート型枠用合板の耐アルカリ性能の規制について(製造基準)」を参考とする。

#### ⑥ その他試験項目及び方法

イ) コンクリートのフレッシュ性状試験

コンクリート打ち込み毎にスランプ、空気量、単位容積質量、コンクリート温度を測定する。

[方法] J I S A 1101, 1116, 1128 による。

ロ) 脱型時のコンクリート強度試験

コンクリート打ち込み毎に脱型時強度を確認する。

[方法] J I S A 1108, 1132 による。

ハ) 打設後のコンクリート温度測定

[方法] 任意の打設時に、C C 熱電対により小型壁状試験体内部温度を測定する。

### (4) 評価結果

#### ① 加工性(施工性)

オーバーレイ合板とほぼ同等の加工性を有する。

#### ② 脱型容易性

オーバーレイ合板よりコンクリートの付着性が高く、離型性はオーバーレイ合板よりやや劣り、十分な剥離剤の塗布が必要と考えられる。

#### ③ コンクリート表面の仕上がり状態

- ・オーバーレイ合板に比べ、セメントペーストの付着が多く、コンクリート表面の仕上がり状態は、オーバーレイ合板に比べ、ざらつきが認められる。
- ・コンクリート表面の気泡の発生頻度がオーバーレイ合板に比べ高い傾向にある。
- ・コンクリート面の不陸は、オーバーレイ合板とほぼ同等と判断される。

- ・コンクリート表面硬度は、オーバーレイ合板とほぼ同等であり、エコボードがコンクリート表面の脆弱化等の不具合を発生させることはないと判断される。
- ・エコボードがコンクリート表面に残存するなどの不具合は認められなかった。
- ・転用回数7回までの範囲では、前記①～⑤の傾向と転用回数との間に明確な相関は認められない。

#### ④ 転用回数とエコボードの状態

転用回数7回までの範囲では、エコボード表面の剥離などの損傷は、エコボードA、B共に認められなかった。

#### ⑤ 耐アルカリ性能

- ・エコボードA、Bの表裏面とも、JAS協会及び日本合板工業組合連合会で規定するコンクリート型枠合板としての耐アルカリ性能の規定において、耐アルカリ性能を有すると判断された。
- ・JAS規定のアルカリ性能試験では、エコボードAの方がBより耐アルカリ性能に優れていると判断された。

以上の結果から、改良エコボードA、Bは、コンクリート用型枠としての基本的性能を有しているものと考えられ、転用回数の可能性もオーバーレイ合板とほぼ同等と判断される。

なお、コンクリート表面の仕上がり状態は、オーバーレイ合板に比べて、平坦さに差は認められない。表面にざらつきや気泡の発生頻度が高いなどの平滑性に劣る面はあるが大きな問題点とはならないと考えられる。

より完璧性を持たせるための改善については、今後の検討課題とする。

### (5) 羊毛使用の条件

#### ① 羊毛の使用量

平成14年度調査において、羊毛が廃繊維の50%を占めた場合、曲げ強度が約3割低下した。これは羊毛の分解温度が135℃であり、型枠試作条件が200℃、10分間の加熱であるため、羊毛が劣化し強度が低下したと考えられる。なお、ふとんに使用される羊毛は、純羊毛が1.8%、羊毛混紡品が2.4%で、合計でも4.2%に過ぎない。日本国内でどの程度の羊毛が使用されているかを表2.2.5.2に示した。

**表 2.2.5.2 新毛国内需要量(最終製品段階) (単位：千トン)**

	全世界合計	日本		全世界合計	日本
1988年	1,905	199	1995年	1,557	159
1989年	1,858	205	1996年	1,474	152
1990年	1,622	178	1997年	1,473	158
1991年	1,793	199	1998年	1,390	120
1992年	1,761	200	1999年	1,386	118
1993年	1,654	170	2000年	1,480	114
1994年	1,705	208			

(出典) ザ・ウールマーク・カンパニー、各国公式統計を基に推定

羊毛が日本で使用される繊維製品の何割を占めるかは、繊維製品の使用量の統計が無いため、各製品ごとの調査をもとに推計した「平成13年度繊維産業活性化対策調査」(経済産業省委託事業)の推定値を用いると、1999年は約230万トンであるため、羊毛の占める割合は5%と推定される。羊毛の使用割合は、ふとんの場合も、繊維全体の場合も少なく、1割を超えることは無いと考えられる。

## ② 型枠曲げ強度の改良

曲げ強度は型枠の重要な特性であるが、嵩比重を下げると曲げ強度が低下する。また、コンクリート型枠を固めているポリプロピレンを減少し、廃繊維を多量に使用した場合にも曲げ強度は低下する。

従って、ラワン材に嵩比重をより近づける、あるいは廃繊維をより多く使用するためには、曲げ強度を高めることが重要な改良点となる。

繊維を微細繊維に切断する工程で小さな毛玉状のものが観察された。毛玉状態ができると廃繊維、ポリプロピレン、木屑を均等に混合することが困難となる。

この状態を避けるため、切断機の固定歯と回転歯のクリアランスを狭める試みを実施した。クリアランスを以前の1/10程度に狭めた裁断機を用いたところ、毛玉は観察されなかった。この切断機を使用して、原料を配合し、型枠の強度を調べた。表2.2.5.3のとおり、改良切断機を用いた場合、曲げ強度は2割強の改善となった。

**表 2.2.5.3 切断機の改良効果**

切断機	ポリプロピレン (%)	ポリエステル綿 (%)	木屑 (%)	曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
従来の設備	40	40	20	147.3
改良設備	40	40	20	181.6

### ③ 羊毛への応用

上記の改良設備を利用して、ふとん綿として使用されるポリエステル、羊毛、綿について実験を行った。結果は表 2.2.5.4 のとおりである。

表 2.2.5.4 ふとん綿を使用した型枠の曲げ強度

ポリプロピレン (%)	木屑 (%)	ふとん綿	曲げ強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
40	20	ポリエステル40%	180.3
40	20	羊毛40%	175.2
40	20	綿40%	233.7

成型条件：200℃ 10min

切断機の改良は、全てのふとん綿の曲げ強度の向上に効果がある。相対的に羊毛の値が低い、目標の 150kg/cm<sup>2</sup> の値を十分クリアしており、問題ない強度である。

平成 14 年度調査の羊毛を使用した値 106.3kg/cm<sup>2</sup> (羊毛の使用量は今回の 1/2) を 60%以上改良する結果となっている。

平成 14 年度調査において、羊毛を使用した場合、曲げ強度が低下したことについては、熱劣化と考えられたが、今回の実験により 200℃の成型条件でも問題なく使用できることが判明した。

従って、強度低下の原因は、熱劣化より繊維のほぐれ方の影響が大きいと判断される。

### (6) 線膨張率

このプロジェクトが想定しているリサイクル製品、コンクリート型枠は、廃繊維と廃木材をポリプロピレンで固めたものであり、構造的にはポリプロピレンの海に木粉と繊維が浮いている海・島構造となっている。従って、線膨張率や融点のような熱的性質は、海であるポリプロピレンの性質の影響を強く受ける。ポリプロピレンの線膨張率は大きく、一般に型物に使用するときはフィラーを加え、線膨張率と弾性率の向上を図る。

コンクリート型枠は、両サイドを栈木で固定して使用される。線膨張率が高い場合、波打ち現象が現れる可能性がある。コンクリート型枠は、重量で 60%のフィラー(廃繊維と木粉)が混入されているため、線膨張率はかなり低下していることが予想されるが、オーバーレイ合板との差について調査した。結果を表 2.2.5.5 に線膨張率を示す。



表 2.2.5.5 コンクリート型枠の線膨張率 (単位: 1/°C)

測定試料	測定温度範囲		
	50~70°C	70~90°C	90~110°C
① オーバーレイ合板 タテ		-7.255E-5 -6.175E-5	
② オーバーレイ合板 ヨコ		-1.353E-5 -8.877E-5	
③ エコボード タテ		-7.053E-5 -2.113E-5	
④ エコボード ヨコ		-6.705E-5 -3.888E-5	
⑤ 市販品(P P 製)* <sup>1)</sup> タテ	8.890E-5 10.230E-5	25.720E-5 27.790E-5	41.690E-5 61.830E-5
⑥ 市販品(P P 製)* <sup>1)</sup> ヨコ	15.160E-5 16.390E-5	34.940E-5 33.630E-5	39.870E-5 67.490E-5

\*<sup>1)</sup>膨張率は直線近似するが、試料⑤⑥は 80°C付近に変曲点があり、直線で近似できるのは 50~70°Cと 90~110°C付近である。他の試料と比較するため、あえて 70~90°Cの線膨張率を推定した。

エコボードとオーバーレイ合板は共に負の線膨張率であり、ほぼ同じ値を示す。市販品は予想通り大きな線膨張率を示した。図 2.2.5.1~図 2.2.5.6 に線膨張率のチャートを示す。

図 2.2.5.1 と図 2.2.5.2 は、オーバーレイ合板で単調な負の勾配である。図 2.2.5.3 と図 2.2.5.4 はエコボードの曲線で、ポリプロピレンの結晶化温度 120°C付近で変曲点がある。常温付近の膨張率の変化は非常に少なく、安定しているため使用時に寸法の問題は少ないと推定される。

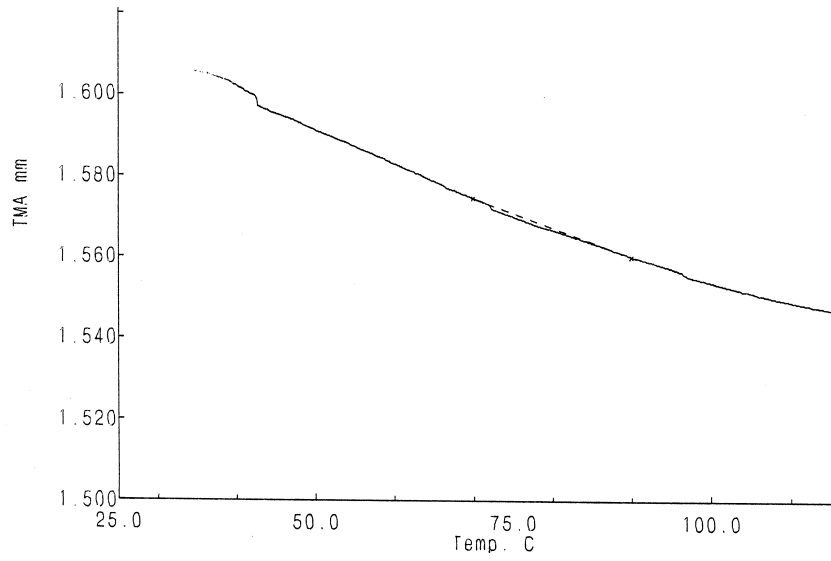


図 2.2.5.1 オーバーレイ合板の線膨張率 タテ

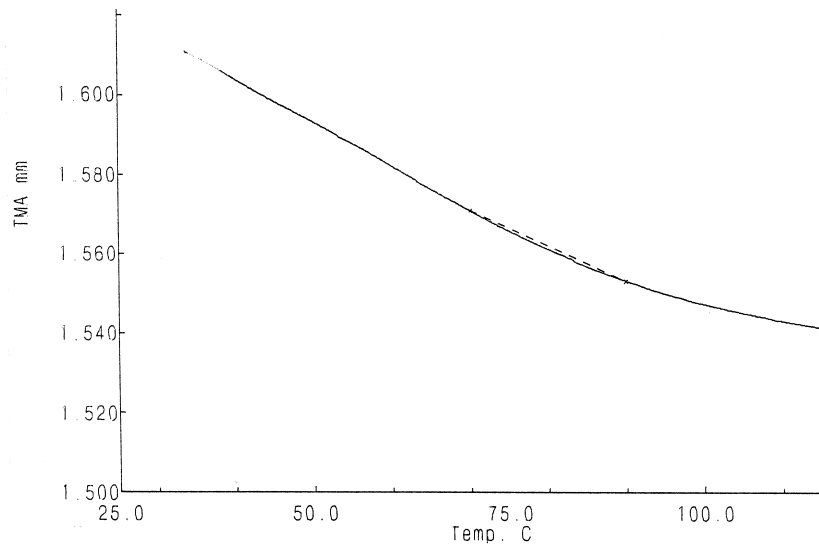


図 2.2.5.2 オーバーレイ合板の線膨張率 ヨコ

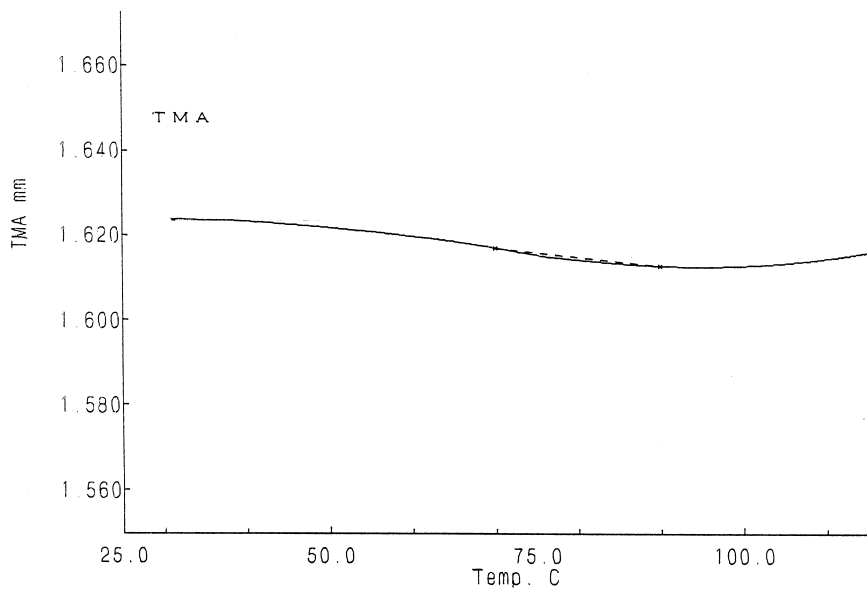


図 2.2.5.3 エコボードの線膨張率 タテ

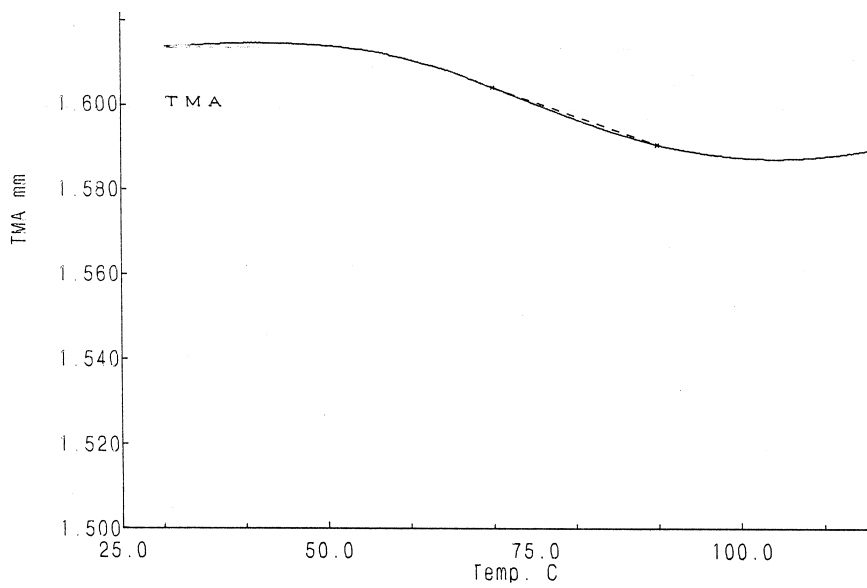


図 2.2.5.4 エコボードの線膨張率 ヨコ

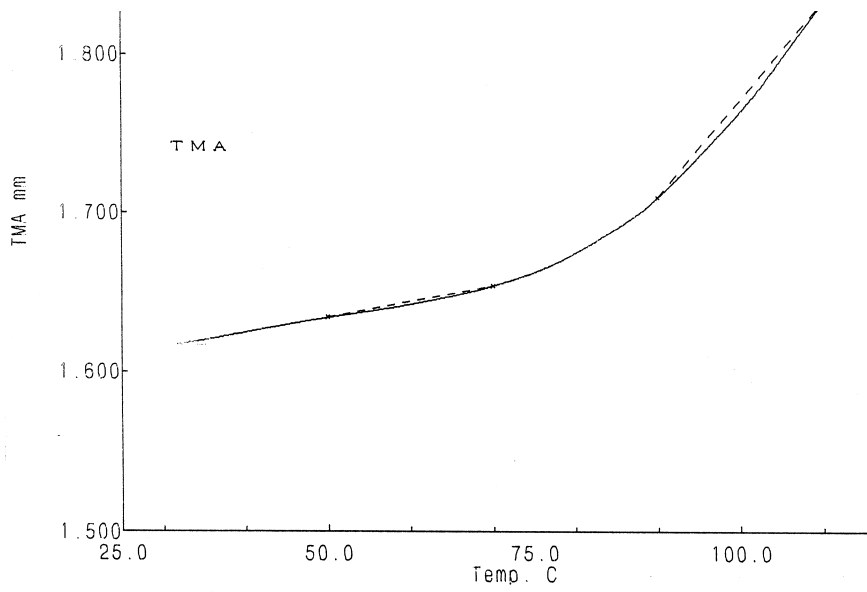


図 2.2.5.5 市販品(PP製)の線膨張率 タテ

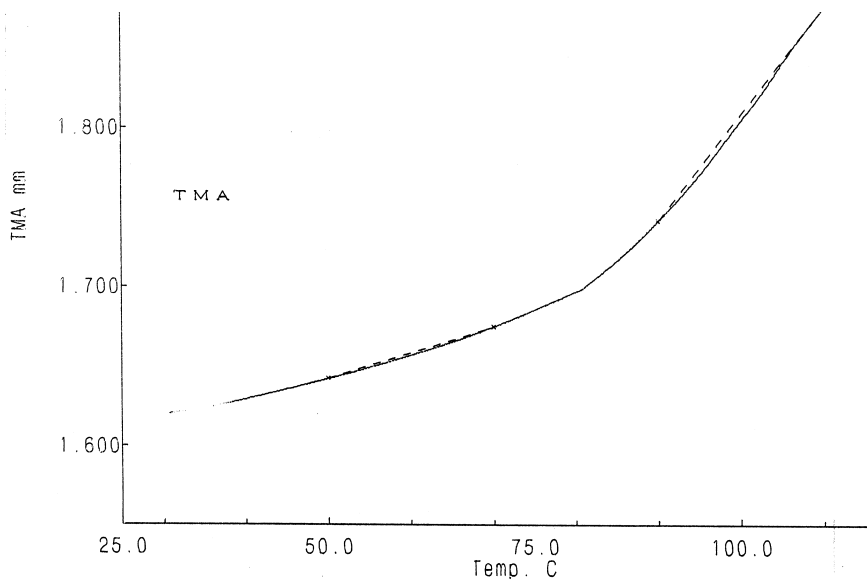


図 2.2.5.6 市販品(PP製)の線膨張率 ヨコ

### (7) コンクリート型枠の曲げ弾性率

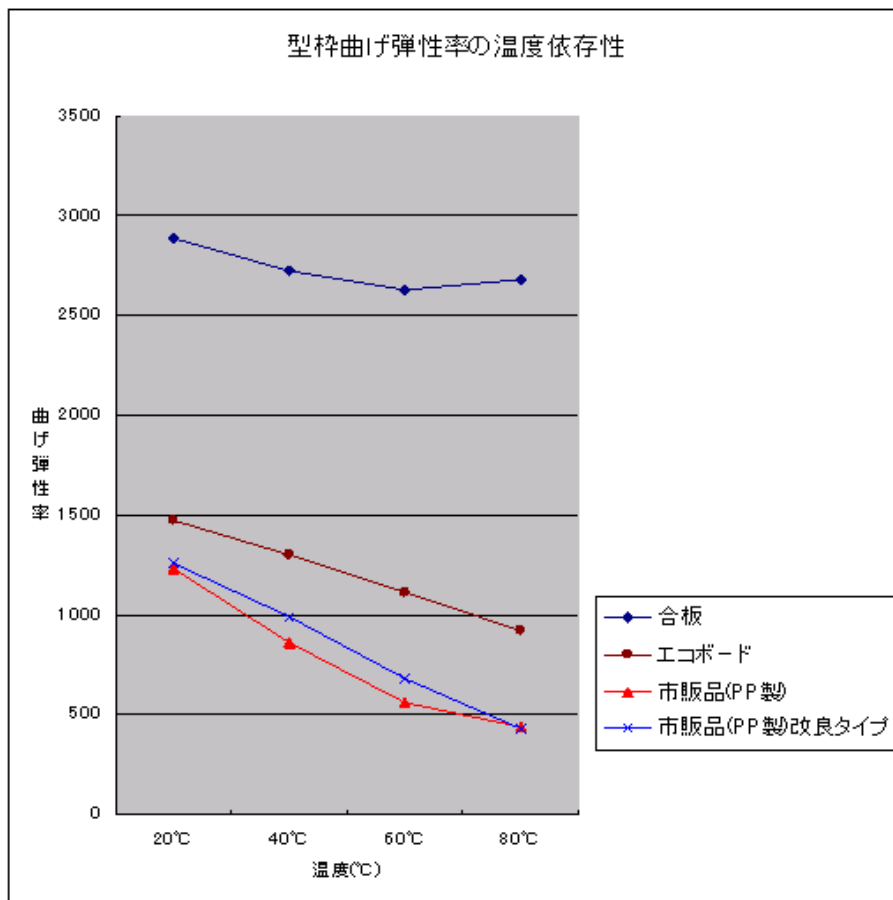
エコボード、オーバーレイ合板と廃容器のポリオレフィンを使用した市販の型枠を入手し、曲げ弾性率の温度依存性について測定した。測定値は表 2.2.5.6 に示すとおりである。

エコボードはオーバーレイ合板に比較して曲げ弾性率は 1/2 程度である。大まかに栈木は合板の 2～3 割余分に必要となると考えられる。この点については、転用回数で埋め合わせをすることになる。

一方で、市販のプラスチック 100%のコンクリート型枠に比較するとエコボードは、十分競争力がある。

**表 2.2.5.6 型枠曲げ弾性率 (単位 : Mpa)**

	20℃	40℃	60℃	80℃
オーバーレイ合板	2890	2720	2630	2680
エコボード	1470	1300	1110	919
市販品(P P 製)	1230	860	564	443
市販品(P P 製)改良タイプ	1260	992	685	431



**図 2.2.5.7 型枠曲げ弾性率の温度依存性**