

コンクリート型枠用古紙再生ボード「エコロジーボード」の開発

Development of Concrete Forms“ECOLOGY BOARD”, using Recycled Paper Resources

和田 高清*
Takakiyo Wada

高田 渉太郎**
Shotaro Takata

秋山 演亮***
Hiroaki Akiyama

石川 雄一****
Yuichi Ishikawa

要 約

近年、地球規模での環境破壊が問題視されるようになり、熱帯雨林の乱伐に関連してコンクリート型枠用合板の使用削減が求められている。本報告は、古紙を主原料に再生利用した「エコロジーボード」を型枠材へ適用した研究成果に関するものである。

研究内容は、初期段階として古紙再生ボードの製造技術の研究を行い、実用段階として型枠利用に適した物性把握および施工実験等を行った。その結果、開発されたエコロジーボードは、作業性、転回回数およびコンクリートの仕上がり等において、在来のラワン合板に比べて遜色ない性能を持ち、十分実用可能であることが明らかとなった。

今後の課題としては、ボード成形に使用する樹脂量の低減と型枠使用後の再利用方法の開発があげられる。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. エコロジーボードの概要
- § 3. 物性実験
- § 4. 施工実験
- § 5. まとめ

ワン合板の代替品として、古紙再生型枠材「エコロジーボード」を開発した。この研究は、農林水産省森林総合研究所との官民交流研究として、ご指導頂きながら取り組んできたものである。

地球全体の森林面積は、過去25年の間に約3%減少しているが、特に熱帯地域では6.3%と急速な減少傾向にある。熱帯地域での減少要因は、燃料利用や焼畑耕作にあるが、外貨獲得のための木材輸出も一因とされている。我が国は世界最大の熱帯木材輸入国であるが、その多くを短期的仮設材である型枠に利用していることが諸外国から問題視された。そのため建設業界もこれを受けて南洋材合板型枠の転換を図りつつある。このような動きの中、我が社では図-1に示す型枠材の転換を進めてきている。

§ 1. はじめに

建設現場において型枠材として大量消費されているラ

* 技術研究所建築技術課

** 技術研究所地質研究課

*** 技術研究所先端技術研究課

**** 技術研究所技術部

§ 2. エコロジーボードの概要

2-1 エコロジーボードの製造工程

図-2にエコロジーボードの製造工程を示す。古紙を粗裁断した上に、乾式解繊機（FSミル）により綿状にパルプ化したものをオゾン酸化によって接着特性を向上させる。次に熱硬化性樹脂を添加混合し、熱圧成形しボード化する流れである。

2-2 製造上の特徴

(1) FSミルによる乾式解繊

一般に古紙を再生利用する場合、湿式法により繊維状にパルプ化するが、このとき大量の汚水発生を伴うため、適切な汚水処理が必要となる。エコロジーボードでは古紙を乾式でパルプ化するため、汚水処理が不要である。その上、湿式法よりも動力源単価（1kgのパルプを生成するために必要な電力）も安くなる。また、通常乾式法に用いる機械的な破碎機等ではパルプ繊維が切断されて、再生しても所要の強度が得られない欠点がある。我々が開発したFSミルでは、空気の流れ振動作用で繊維間の結合を解き放す方法をとっているため、繊維の切断が少なく比較的長繊維にパルプ化できる。したがって、再生しても比較的高い強度が得られる。

(2) オゾン酸化による化学修飾

エコロジーボードの古紙原料は、新聞や雑誌等が適している。紙の原料である木材は、主にセルロースとリグ

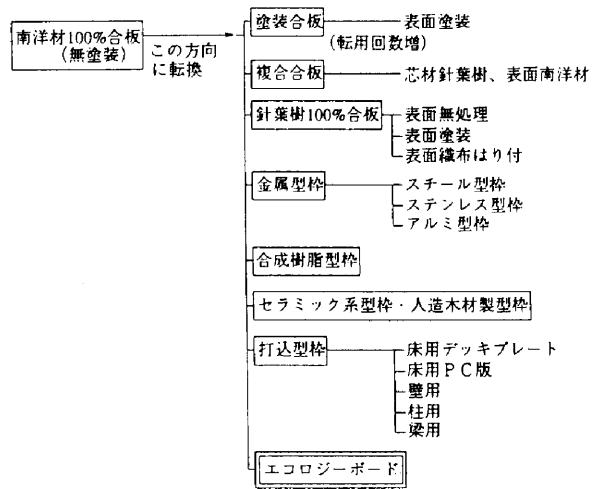


図-1 代替型枠材の概要

ニンから構成され、セルロースが繊維質であるのに対してリグニンが接着剤的な性質を持つ。OA紙のような上質紙の製造過程では、パルプ中のリグニンは処理されてほとんどなくなるが、新聞紙、雑誌等の低級紙は製造時の処理が少なくリグニンを多く含有している。

古紙繊維中に含まれるリグニンを適量のオゾンで酸化することにより、リグニンが活性化されて接着性を高める効果がある。古紙繊維重量比で0.5%のオゾン添加した条件で最も高い強度を示すことを確認し、ボード製造技術に応用した。

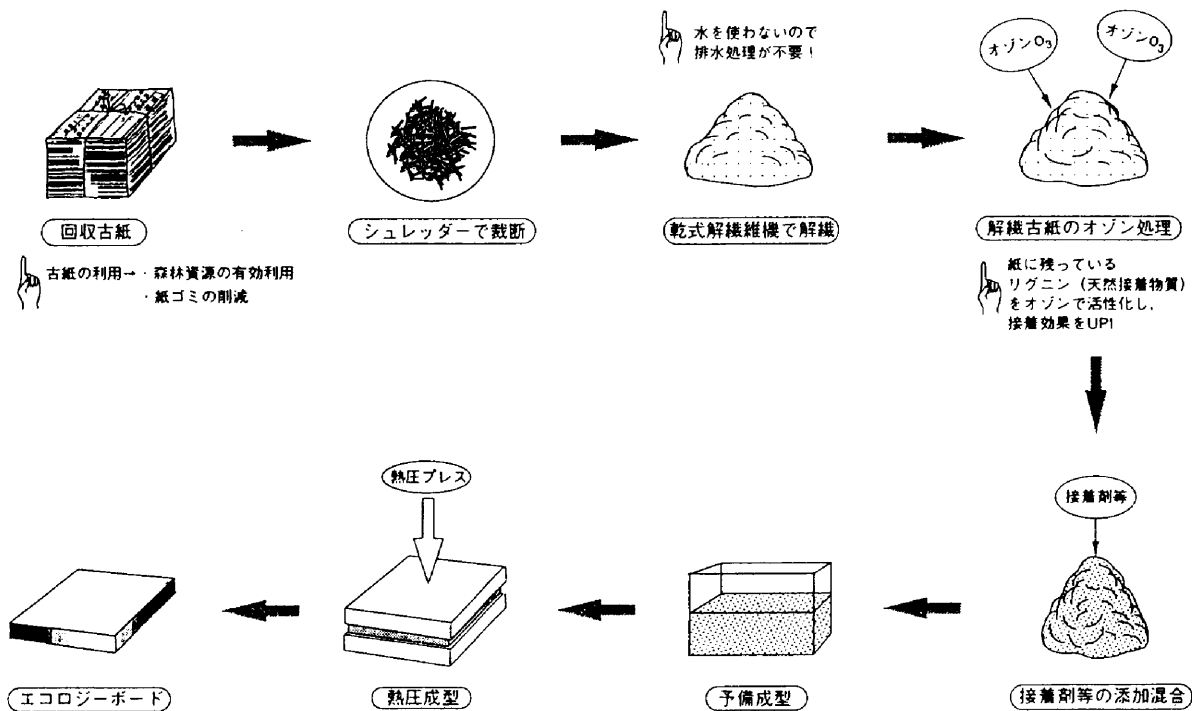


図-2 エコロジーボードの製造工程

§ 3. 物性実験

3-1 型枠に要求される性能

型枠の要求性能には、以下の①～⑤等があげられる。

- ①強度・剛性
- ②寸法精度・形状の保持性
- ③コンクリートの仕上がり性、表面強度の確保
- ④作業性（切断、釘打ち、脱型、運搬等）
- ⑤転用性

3-2 要求性能に関する検討

(1) 強度・剛性

型枠材に加わる外力は曲げが主であり、型枠施工上の仮設計算も曲げに関して実施するのが一般的である。そこで曲げ強度および曲げヤング率に関して検討した。

日本建築学会「型枠の設計・施工指針案」によれば、ラワン合板の曲げ強度は、実験値から厚さ12mmの場合で420kgf/cm² (41.2N/mm²) としている。仮設構造計算に用いる許容曲げ応力度は、安全率を2とした上で、ラワン合板のばらつきを考慮してその2/3の値とし140kgf/cm² (13.7N/mm²) と設定している。これに対してエコロジーボードは、微細なパルプファイバーの結合体であるので、強度・剛性のばらつきは小さいと考え、曲げ強度を300kgf/cm² (29.4N/mm²) と設定した（許容曲げ応力度140kgf/cm² (13.7N/mm²) に安全率2以上とした）。

図-3に比重と曲げ強度の関係を示す。ボード類は通常、比重と曲げ強度が比例関係にあり、エコロジーボードも同様である。曲げ強度を300kgf/cm² (29.4N/mm²) にするには、比重を最低でも0.65以上にする必要がある。

ただし、より高い強度・剛性が求められる条件では、作業性を考慮した範囲で比重を高めることにより強度・剛性を高めることができる。

(2) 転用実験

1) 使用材料および実験方法

図-4に示す転用実験を行った。試験体は、エコロジーボードおよびラワン合板（500mm×500mm×12mm）を両側面のせき板に使用し、厚さ150mmの箱型の型枠で実験を行った。転用回数は4回とし、側圧がかからない状況での転用による要求性能への影響を検討した。

なお、エコロジーボードのコンクリート打設面にはアクリル系塗料を塗布したものとし、ないものの2種類を用い、ラワン合板は塗装合板を使用した。

2) 実験結果

①作業性（切断、釘打ちおよび脱型の容易さ）

型枠組立て作業時に、比重0.7から1.0のエコロジーボードについて、切断、釘打ちの容易さを確認した。その

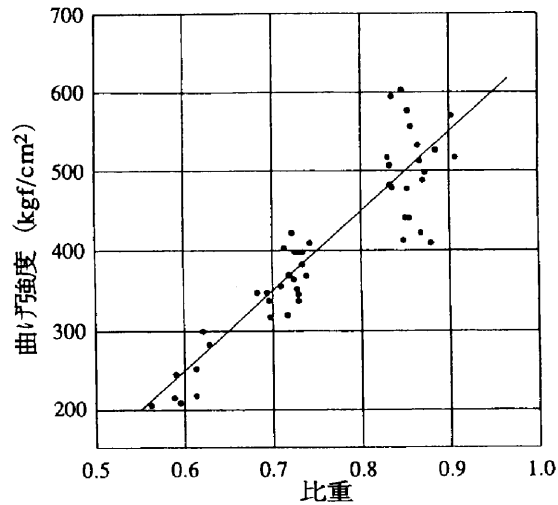


図-3 比重と曲げ強度の関係

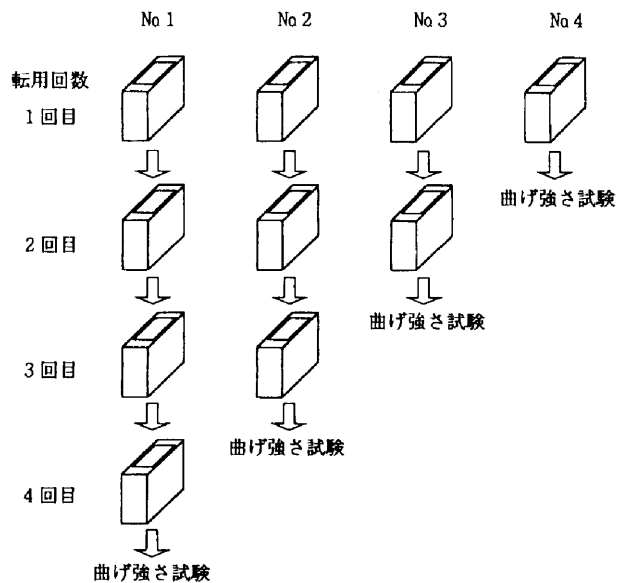


図-4 転用実験の概要

結果、比重が0.8を超えると、切断および釘打ちが困難になることが分かった。

脱型作業において、塗装エコロジーボードは塗装ラワン合板と同様に容易に脱型できたが、未塗装エコロジーボードでは脱型が困難であった。型枠へ適用するには、塗装等の表面処理を行う必要があると判断された。

②寸法精度・形状

コンクリート打設時の吸水等によるエコロジーボードの厚さおよび変形等の有無を、打設前および型枠脱型時の測定により確認した。塗装エコロジーボードでは、エコロジーボード外周の端部で1mm程度吸水膨張した試験

体も認められたが、脱型後の乾燥によりほぼ初期の厚さに戻る傾向を確認した。また、湿潤・乾燥の繰返しによる変形は認められなかった。

③仕上り性および表面硬度

4回転用後の試験体を写真-1に示す。塗装エコロジーボードでは、塗装ラワン合板と同程度の平坦さが得られ、転用4回後でも同様の平坦さであることを確認した。

また、コンクリート表面の硬化不良はなく、エコロジーボード面でのシュミットハンマーによる反発硬度の値も塗装ラワン合板面と同等であった(写真-2参照)。

④強度・剛性の変化

曲げ強さ試験はJIS A 5906-83「中質繊維板」に準拠して、各転用時で5個の試験片を採取して実施した。図-5に転用回数と曲げ強度の関係を、図-6に転用回数と曲げヤング率の関係を示す。

エコロジーボードの曲げ強度は、転用により低下しているが、試験片毎のばらつきは少なく、均質な材質であると判断された。ラワン合板も初期値に対して、転用により曲げ強度がやや低下傾向にあるが、これは低下というより試験片間のばらつきと考えられた。

曲げ強度の平均値で比較すると、エコロジーボードの方が低強度であるが、ラワン合板のばらつきを考慮してほぼ同程度と判断された。

転用による曲げヤング率の変化は、曲げ強度の結果と同様な傾向にあったが、曲げヤング率の値はラワン合板の方が大きい値を示した。これは、積層された合板と単層であるエコロジーボードとの違いや、木材と繊維板との性質差によるものと考えられた。

3-3 型枠用エコロジーボードの仕様設定

物性実験による検討結果から、型枠用エコロジーボードの仕様を以下のように設定した。

- ①曲げ強度 300kgf/cm² (29.4N/mm²) 以上

- ②曲げヤング率 30,000kgf/cm² (2,940N/mm²) 以上
- ③比重 0.65~0.8
- ④表面処理 アクリル樹脂塗料又は同等品

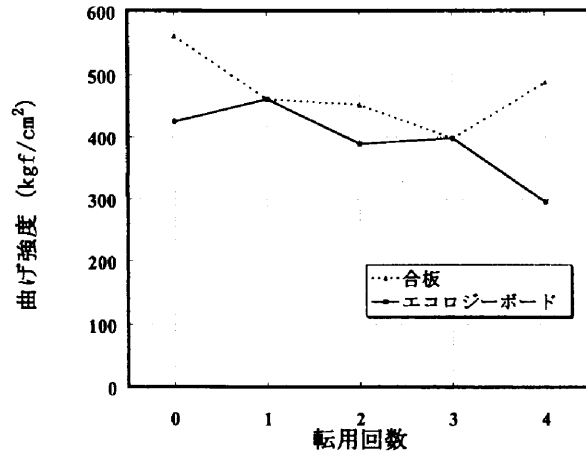


図-5 転用回数と曲げ強度の関係

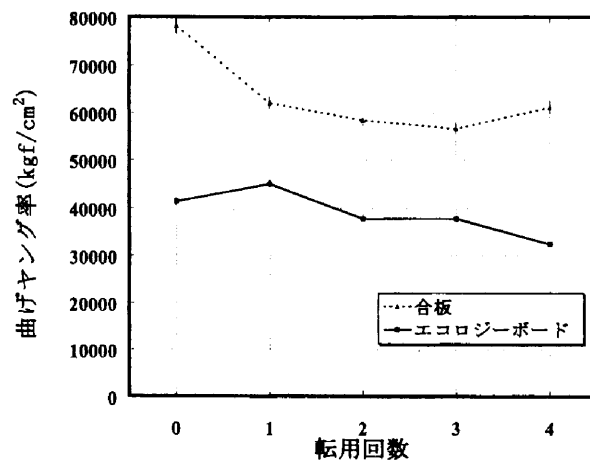


図-6 転用回数と曲げヤング率の関係

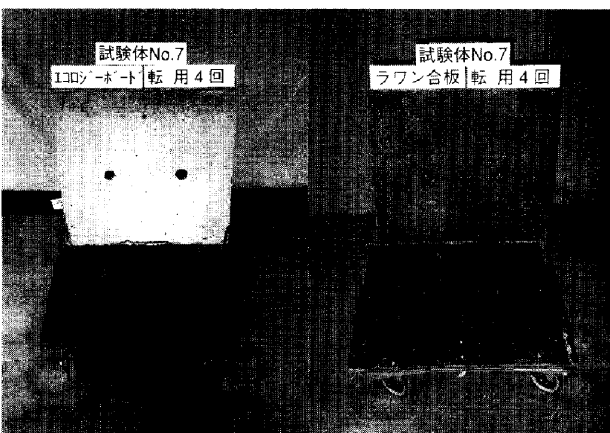


写真-1 転用4回後の試験体外観

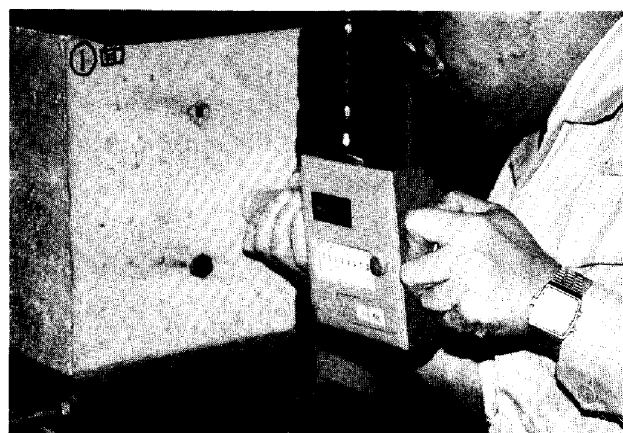


写真-2 シュミットハンマーによる反発硬度測定状況

§ 4. 施工実験

4-1 工事概要

新築工事2現場において、エコロジーボードを試験施工し、実用性、可能転用回数および問題点等を検討した。工事概要を以下に示す。

(1) 適用例1

- ①工 事 名 亀戸・大島・小松川地区市街地再開発事業施設建築物 (E-9) 建築工事
- ②発 注 者 東京都建設局
- ③設計監理 東京都建設局、株式会社日本設計
- ④構 造 SRC造、一部RC造
- ⑤工 期 平成6年3月～平成8年8月
- ⑥規 模 地上13階、ペントハウス1階
- ⑦用 途 集合住宅 (117戸)、店舗等 (6戸)
- ⑧適用部位 外壁面、内壁面および小梁側面

(2) 適用例2

- ①工 事 名 東京都清掃局中防合同庁舎 (仮称) 建設工事
- ②発 注 者 東京都清掃局
- ③設計監理 東京都清掃局、株式会社構造計画研究所
- ④構 造 高層棟：柱SRC造、梁S造
低層棟：RC造
- ⑤工 期 平成6年12月～平成8年7月
- ⑥規 模 高層棟：地下1階、地上10階、塔屋1階
低層棟：地下1階、地上3階、塔屋1階
- ⑦用 途 庁舎
- ⑧適用部位 独立柱、外壁面

4-2 施工部位および範囲

(1) 適用例1

エコロジーボードの使用部位は、柱、壁および小梁で、

図-7の平面図に示す1住戸の内外部とした。

住戸部分は3階から11階までがほぼ同一の平面で構成されていたため、9回まで転用可能な条件であった。

適用部位は内外壁面と小梁側面で、各階当りの施工面積は約85m²である。

(2) 適用例2

エコロジーボードの使用部位は、図-8に示す高層棟の独立柱と低層棟⑫通りの外壁とした。

高層棟の独立柱では、柱の向かい合う2面をエコロジーボードとし、もう一方の向かい合う2面はラワン合板として比較した。工程上、コンクリートの打設間隔が1週間程度と短いため、奇数階と偶数階で型枠を使い分けた。高層棟は10階建であるため転用できる回数は最大5回となり、低層棟は3階建のため3回となる。各階施工面積は高層棟独立柱で約150m²、低層棟外壁で約90m²である。

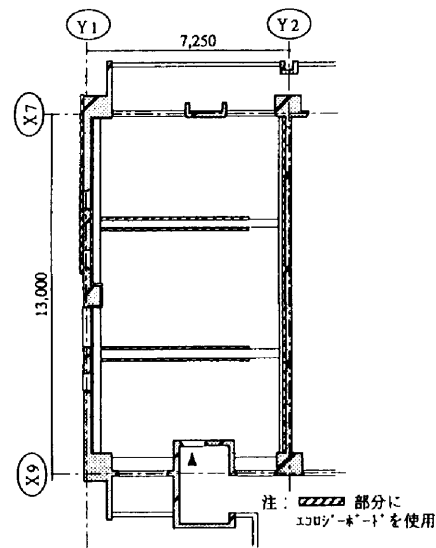


図-7 適用例1でのエコロジーボード適用範囲

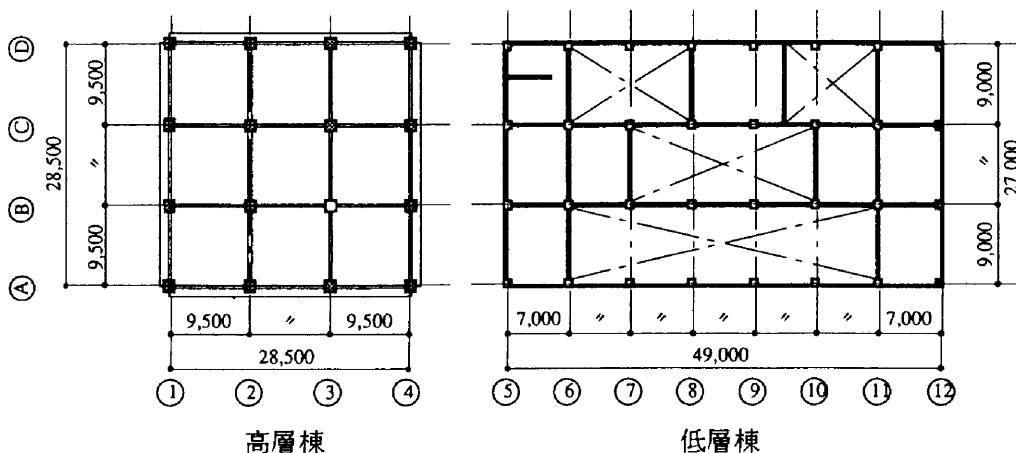


図-8 適用例2でのエコロジーボード適用範囲 (高層棟の独立柱、低層棟の、通り外壁面に適用)

4-3 適用箇所の仕上仕様および型枠工法

(1) 仕上仕様

1) 適用例 1

外壁面：コンクリート打放しの上に仕上塗材仕上げ
 内壁面：コンクリート打放しの上に断熱材裏打ち石膏ボード張りの上にビニル壁紙張り
 間仕切壁：コンクリート打放しの上にビニル壁紙張り

2) 適用例 2

独立柱：軽量鉄骨下地の上、石膏ボード張りの上にビニル壁紙張り

外壁面：1, 2階；石張り、3階；磁器質タイル張り

(2) 型枠構法

1) 適用例 1

使用した型枠パネルの形状等は他の一般部分と同様とし、**図-9**に示す型枠パネルと締付け金物類とした。

なお、コンクリートの打設高さは約3mである。

2) 適用例 2

使用した型枠パネルの形状等は、独立柱では**図-10**に示す型枠パネルおよび締付け金具類とし、外壁部では**図-9**に示す型枠パネルおよび締付け金具類とした。

なお、コンクリートの打設高さは約5mである。

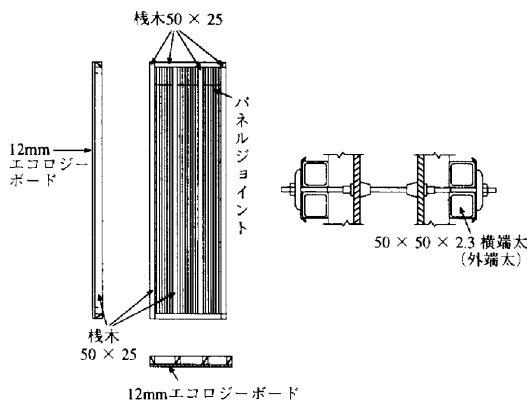


図-9 内外壁の型枠パネル、締付け金具類 (適用例1,2)

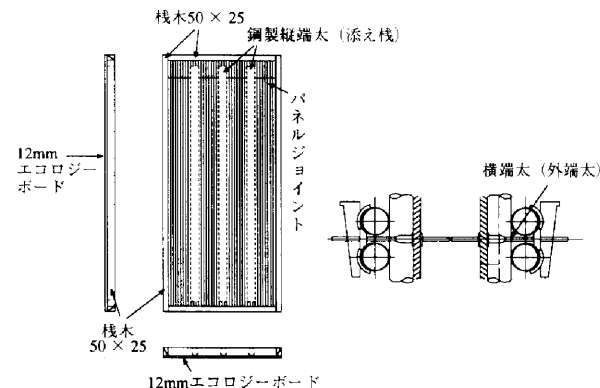


図-10 独立柱の型枠パネル、締付け金具類 (適用例2)

4-4 エコロジーボードの仕様

施工実験に使用したエコロジーボードの仕様を表-1に示す。

表-1 エコロジーボードの仕様

項目	内容
原料・比率	新聞古紙80%, メラミン樹脂20% (重量比)
形状・寸法	600×1800×12mm
比重	適用例1: 比重0.7, 適用例2: 0.75
曲げ強度	適用例1: 300kgf/cm ² , 適用例2: 350kgf/cm ²
曲げヤング率	適用例1: 30000kgf/cm ² , 適用例2: 35000kgf/cm ²
表面処理	アクリルウレタン系塗料

4-5 確認内容

確認内容は以下のとおりである。

(1) コンクリート表面の仕上がり (平坦さ, 色合い等)
 目視によりコンクリートの平坦さや色合いをラワン合板の使用箇所と比較した。

(2) エコロジーボードの破損の有無

コンクリート打設時および型枠脱型時におけるエコロジーボードの破損程度をラワン合板使用箇所と比較した。

(3) 作業性 (切断, 釘打ち, 建込みおよび脱型作業等)

型枠パネル製作時のエコロジーボードの切断, 釘打ち, 型枠パネルの建込みおよび脱型時の作業性をラワン合板の場合と比較した。

(4) 曲げ強度, 曲げヤング率の変化

転用使用および経時により, エコロジーボードの強度・剛性の変化の有無を確認する目的で, 各転用後に試験片を採取して曲げ強さ試験を行った。

4-6 実験結果

写真-3~写真-8に施工実験の状況を示すとともに, 実験結果を以下に示す。

(1) コンクリート表面の仕上がり

①エコロジーボード表面にはラワン合板と同様の塗装を施したため, 適用例1, 2で共に, コンクリート表面の色合いはラワン合板使用箇所とほぼ同等であった。

②コンクリート表面の平坦さは, 適用例1ではラワン合板使用箇所とほぼ同等であった。適用例2では, 外壁部はラワン合板と同様であったが, 独立柱では階高が5m近くあったことにより多大な側圧がかかった結果, セパレータ廻りでの膨らみが認められた。この傾向はラワン合板適用箇所でも同様に認められたが, 膨らみの度合いはエコロジーボードの方が顕著であった。独立柱のセパレータの留付け部は打放し用プラスチックコーンではなく鋼製座金を使用した。鋼製座金の方がエコロジーボードに局部荷重が加わりやすい状況に

なるため、このことも影響したものと考えられた。ただし、膨らみを生じた箇所でも、仕上げには影響しない範囲に納まっていた。

(2) エコロジーボードの破損等の有無

- ①壁面のエコロジーボードの破損は、コンクリート打設時ではなく、脱型時に認められたが、続けて転用可能な程度の破損であった。
- ②柱・壁・梁・壁および壁・床の取合いとなる入隅部や開口部廻り等のせり合って脱型しにくい箇所では、エコロジーボードが破損しやすい傾向にあった。
- ③適用例2の独立柱では、コンクリート打設時の側圧により、セパレータ廻りでエコロジーボードに割れが生じた。壁部分には打放し用プラスチックコーンを使用したのに対し、独立柱は鋼製座金を使用しており、局部的に多大な側圧がかかったためと考えられた。
- ④エコロジーボードの木口部からコンクリートの余剰水が吸水されて、エコロジーボードが膨張する傾向を示した。エコロジーボードの厚さは、当初12mmであったが、脱型後は12~14mm程度の範囲になった。

(3) 作業性

- ①適用例1、2共に、切断や釘打ちについては、ラワン合板と同等で、問題なく作業できた。
- ②切断時にはボード類特有の非常に細かい鋸屑が飛散するため、作業者はマスク等を着用した。
- ③使用したエコロジーボードは、通常のラワン合板よりも比重が2割程度大きいため、運搬作業を行う上でやや支障があるとの指摘を作業員から受けた。比重低減は今後の課題点と考えている。

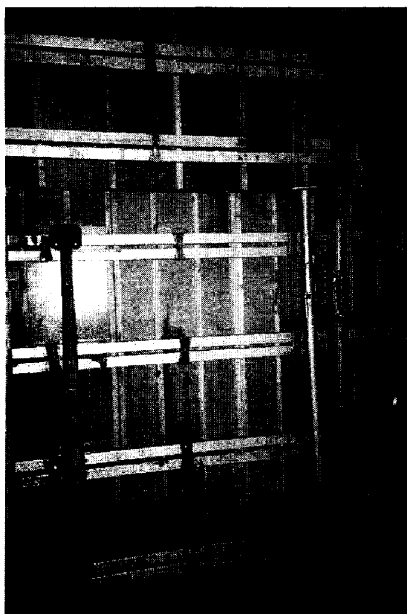


写真-3 壁面のエコロジーボード建込み状況

(4) 曲げ強度、曲げヤング率の変化

図-11に適用例1での曲げ強さ試験結果を、図-12に適用例2での曲げ強さ試験結果を示す。

1) 適用例1

- ①曲げ強さ試験は、使用前、転用1回後、3回後および6回後に行った。図-11に示すとおり、転用により曲げ強度、曲げヤング率は共にやや低下する傾向は認められるものの、その程度は僅かであった。
- ②転用1回後の曲げ強度および曲げヤング率が低い値を示したが、これは降雨により試験片が湿潤な状況になり、試験時も湿潤な状況にあったことが影響したと考えられた。このため、転用3回後および6回後では乾燥養生を行ってから曲げ強さ試験を行った。
- ③転用6回後であっても、初期値と同等以上の曲げ強度および曲げヤング率を示す試験片があり、適用例1と同等の条件であれば、6回以上の転用に十分に耐え得る強度・剛性を保持していると判断した。なお、最終的には、9回までの転用が可能であった。

2) 適用例2

- ①曲げ強さ試験は、独立柱部分について、使用前、転用

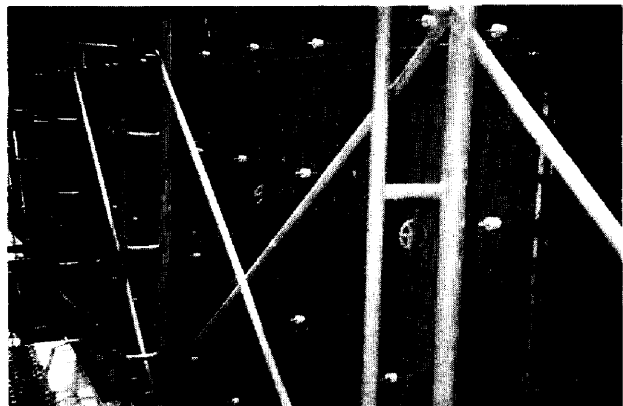


写真-4 外壁部の型枠建込み状況

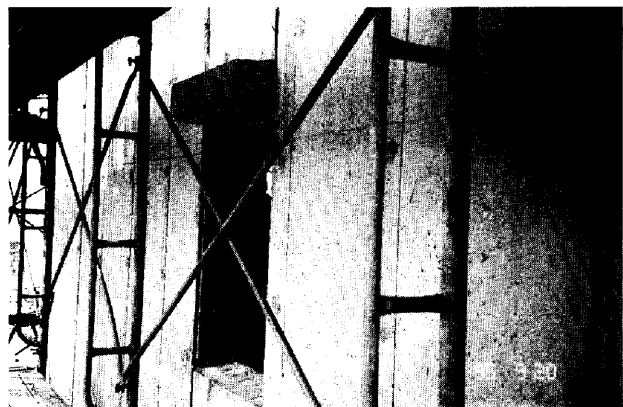


写真-5 脱型後のコンクリート面の外観

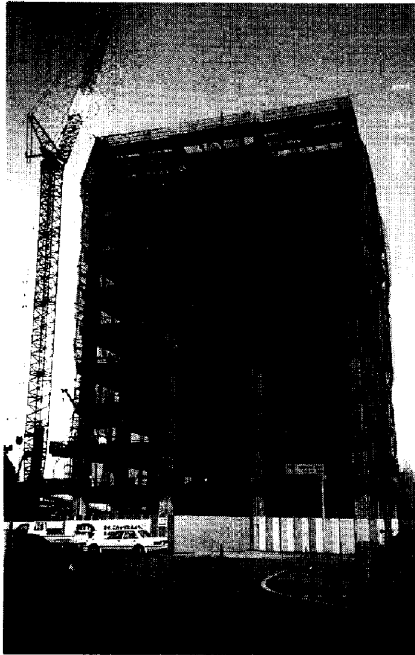


写真-6 適用例2の外観

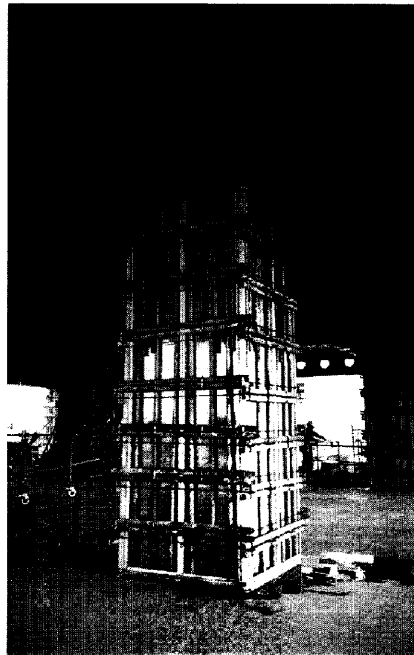


写真-7 エコロジーボード建込み状況

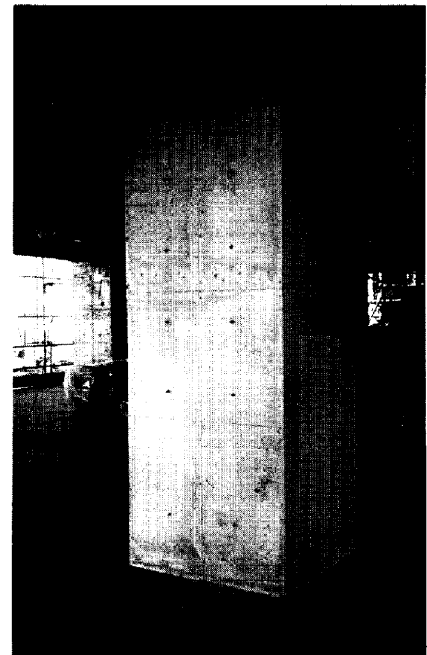


写真-8 脱型後の外観

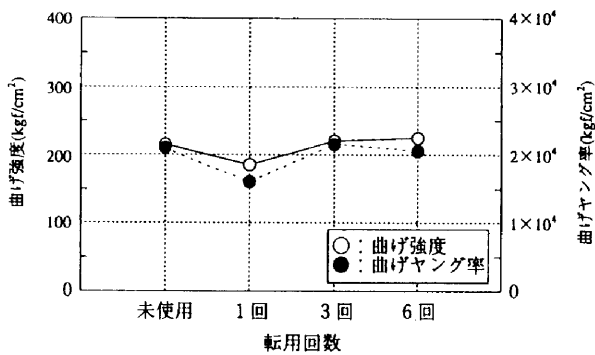


図-11 曲げ強度および曲げヤング率の変化 (適用例1)

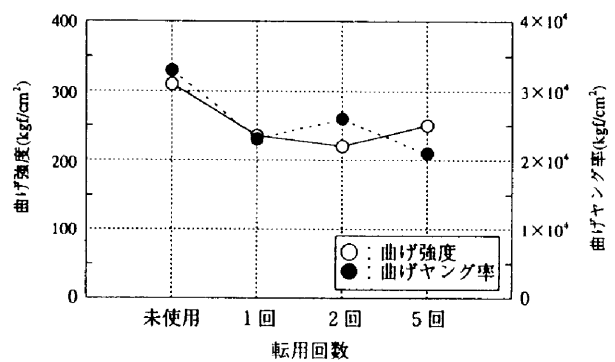


図-12 曲げ強度および曲げヤング率の変化 (適用例2)

1回後、2回後および5回後に行った。転用により曲げ強度および曲げヤング率が低下する傾向が認められ、適用例1での壁での結果よりも、転用による低下傾向が顕著であった。

②独立柱は、壁面に比べてコンクリートの側圧が大きくなることや、5m近い打設高さが影響したものと考えられた。また、エコロジーボードの限界を把握する主旨で、独立柱へのコンクリート打設は、各柱毎に一度に打ち上げる方法を採用した。この打設方法により、かなり多大な側圧が型枠で加わったと考えられる。

§ 5. まとめ

エコロジーボード型枠は、現場での施工実験において

も在来のラワン合板と同等の性能を保持していることが確認できた。

今後の課題としては、コスト低減・環境問題と関連した熱硬化性樹脂量の低減、比重の低減および型枠使用後の再生利用技術の開発があげられる。これらについては現在も農林水産省森林総合研究所のご指導の下に研究を継続中である。

最後に本研究開発において、ご指導を頂いた農林水産省森林総合研究所木材化学研究室細谷修二室長、富村洋一主任研究官をはじめ、施工実験に御協力頂いた東京都清掃局、東京都建設局、株式会社日本設計の御担当者、エコロジーボードの製造に御協力頂いた株式会社神戸製鋼所の関係各位に厚く謝意を表します。