都市固形廃棄物からの回収パルプを強化繊維 とするパルプセメント板の製造 (第1報)

バッチ式抄造試験

松尾隆吉¹⁾, 小林良生¹⁾, 北村孝雄¹⁾
加藤俊作¹⁾, 平島正男²⁾, 古賀瑞敏²⁾

Research on Manufacture of Pulp Cement Board Using Recovered Pulp from Municipal Solid Waste for Reinforcement (Part I) Batchwise Formation of Pulp Cement Board

Ryukichi Matsuo¹⁾, Yoshinari Kobayashi¹⁾, Takao Kitamura¹⁾,
Shunsaku Kato¹⁾, Masao Hirajima²⁾ and Mizutoshi Koga²⁾

Industrial manufacturing possibility of pulp cement board (PC board) was studied using various grade pulps recovered from municipal solid waste with intention of simplifying purification processes as well as opening the way for production of such composites as construction materials from the waste. Although roughly purified pulp abbreviated as Sample A was found to have some obstruction to cement curing, this defect was obviated by lowering stock consistency and prolonged agitation. Treatment of Sample A with NaOH solution and limited amount of alkaline NaOCl solution improved the curing to give PC board with higher bending strength. The curing improvement by these factors was assumedly ascribed to removal of obstructing increments for the curing and lowering ζ potential of the pulps. Under improved conditions, the roughly refined pulp was found to be rather superior reinforcing fibers except for containing fine foreign matters which could be compensated by covering decoration. The most suitable pulp content was 13 wt%. The PC board produced from Sample A satisfied both JIS and fire-preventing specifications.

1. はじめに

都市固形廃棄物（以下都市ごみと略称）は生活水準の向上、多様化に伴い増大の一途をたどり、その処理技術の開発は生活環境の保護のみならず、資源の再利用の上からも重要である。この観点から、通商産業省工業技術院（以下工業技術院と略称）では、産業技術

政策の一端として「都市ごみの資源再生利用技術システム」の研究開発を昭和48～54年度に行った。本研究はその一環として100t/日の物質回収型パイロットプラント（スターダスト'80）から得られる分別パルプを、通常の紙製品とするのではなく、複合材料として建材への利用を研究したものである。

都市ごみ中の紙類の占める割合は極めて高く、国内

1) 工業技術院四国工業技術試験所

Government Industrial Research Institute, Shikoku

2) 福岡県福岡工業試験場

Hukushima Industrial Research Institute, Fukuoka Prefecture

Fig. 1 Refining flow for classified pulp component from municipal solid waste and diversified grade samples taken

外で20~30%程度の値が提示されている^{1)~3)}。都市ごみの分別法には乾式粉砕法^{4)~6)}、湿式法^{7)~9)}、半湿式法¹⁾⁷⁾等が提案されている。工業技術院では多くの実験の後、半湿式法を最適として採用している。これらの諸法で分別された紙主体の成分は、古紙の精製に採用されている諸工程、すなわち、パルプ化、抽出、分離、スクリーニング、遠心分離などを組合せ⁷⁾¹⁰⁾¹¹⁾、さらに空気分級器³⁾⁴⁾などを加えて精製して、トイレットロール紙級のパルプ¹²⁾¹³⁾を得ている。しかしこの場合、パルプ中に共存する微細な異物を完全に除去することは極めて困難であり、古紙級の品質を得るのにも前述したように多数の分離精製手段を組合せなければならない。

ところで、この分別パルプを紙製品製造の原料として使用するのではなく、パルプを素材とする複合材料の原料として使用する場合には、紙製品に要求される

純度より低純度で利用できる用途があると考えられる。

このような観点から本研究では、各種複合材のうち、パルプを強化繊維とするセメント板、すなわちパルプセメント板（以下PC板と略称）への応用の可能性を検討した。本研究の主眼は(1)JIS規格に適合するPC板を調整することが可能か否か、また、(2)可能であれば、工業技術院で開発している上記資源再利用技術システムの精選工程⁷⁾¹⁴⁾の各種精製段階から得られるパルプの品質、つまり、異物混在の差異に応じてPC板の特性がどのように変化し、どの程度まで精選工程を簡略化できるかということにある。

2. 試料及び実験方法

2.1 都市ごみ分別パルプ

都市ごみ分別パルプは、上記「都市ごみの資源再利用技術システム」の第2期計画として設置された物

買回収型プロセスシステムの精製パルプ化工程から採取した。同精製パルプ化工程は図1に示すように、大別して離解工程、粗選別工程、殺菌漂白工程及び精選別工程から構成されている。試料は図中に示した箇所から採取した。すなわち、試料Aは粗選別工程終了の試料であり、比較的大きな異物のみを除去したものである。試料B～Dはそれぞれ殺菌漂白工程において試料の均一化处理、薬品処理及び洗浄処理を行ったものである。試料Eは精選別工程において異物として系外排出されたパルプで微細な異物を多量に含んでいる。試料Fは製紙用パルプとして得られた精製パルプである。

試料の採取は原料品質の季節的変動をみるために3回行った。これらの試料のフリーネスはいずれも290～250 ml C.S.Fであった。試料はすべて水分約70%まで脱水し、冷蔵庫に保管した。

2.2 無機質混合材

アスベストはクリソタイル系のもので、USSR M-6-40である。蛇紋岩は(有)坂田粉碎工業所製で、その粒度分布は次のようなものである。80メッシュ以上の大きいものが2.5%、80～100メッシュ7%、100～150メッシュ22%、150メッシュ以下のものが68.5%のものである。セメントは小野田セメント(株)製普通ポルトランドセメントを使用した。

2.3 製造条件

配合割合は、特に定めない限り、JIS A 5414に従い、分別パルプ13%、アスベスト5%、粉末蛇紋岩30%、ポルトランドセメント52%とした。これに水を加えて固形分濃度20%とし、20分間離解機で撹拌した。さらに一部の試験では、固形分濃度8%にまで希釈し、試料が沈降しない程度にゆるやかな撹拌を一定時間行った。同混合撹拌試料は、試料室内容積20 lの吸引装置付角型フォーミングマシン(抄紙部の大きさ25 cm×25 cm、ワイヤー80メッシュ)でワイヤー上に汙紙を置き吸引成形した(研究の一部の実験では、ブフナー汙斗を使用した)。成形物は、製品の密度が1.0以上になるように、油圧手動プレスで加圧製板した。ここで得られた湿潤製板はポリエチレン製の袋に封入し、25°Cで所定期間(1～4週間)養生を行った。所定の養生期間後、試料はまず60±3°Cで2時間乾燥後、100±3°Cで22時間熱風乾燥して測定に供した。

2.4 試料の分析及び測定

2.4.1 都市ごみ精製パルプの分析

各種精製グレードの回収パルプの灰分及び繊維長分布を、それぞれJIS P 8128及びJIS P 8207のBauer Mcnett 繊維長分級器を用いて精製グレードの異なる

Fig. 2 Comparison of fiber length distributions in differently refined grade pulps with that of newsprint waste paper

パルプの各メッシュふるいの残存あるいは通過量で測定した。さらに STFI Shives Analyzer 3000 L¹⁵⁾ を用いて全結束繊維数に対する相対比率としても検討した。

パルプ中の異物は、TAPPI 標準法に従い坪量約50 g/m²に抄造後、肉眼で判別できる程度の大きさを有する着色異物の占める面積率を、東洋インキ・日本レギュレータ製ルーゼックス500を用いて画像解析的に定量した。

2.4.2 製品の品質試験

PC板の性能はJIS A 5414において、厚さ、かさ比重、曲げ強度、含水率、吸水率、耐衝撃性、難燃性が規定されている。本研究では、このJISに準じてかさ比重、含水率、吸水率及び曲げ強度を測定した。曲げ強度の測定には東洋ボールドウィン(株)製テンシロン圧縮型抗折治具を用い、試験片の幅は約50 mm、支点間距離は100 mmで行った。また難燃性試験は、建設省告示第1828号及び1231号に規定する防火性能試験に準じた(なお、今回は耐衝撃性試験を行わなかった)。

3. 実験結果及び考察

3.1 都市ごみ分別パルプの品質

PC板への応用という見地から分割パルプの評価基準を考察すれば、まず、強化繊維としては、セメントに対する親和性を有し、硬化阻害を起さず、且つ繊維ができるだけ長い方が好ましい。また、製品の商品価値から見れば、異物の含有量が少ない方が好ましい。このような観点で、分別パルプの品質を検討した。

まず、繊維長分布の測定結果を図2に示す。このうち、試料Eはリジェクトであり、精製フローの流れからはずれるので、最後に示した。各精製操作によって

Table 1 Identified microorganisms contaminating roughly refined pulp (Sample A)

Mold	Bacteria
<i>Trichoderma</i>	<i>Bacillus</i>
<i>Paecilomyces</i>	<i>Flavobacterium</i>
<i>Aspergillus</i>	<i>Pseudomonas</i>
<i>Cephalosporium</i>	
<i>Alternaria</i>	

Table 2 Ash content in different refining grade pulps

Sample	Ash (%)
A	7.7
C	3.8
E	5.3
F	2.9

微細繊維成分は失なわれ、長繊維成分が多くなっている。これを通常 PC 板の工業的生産に用いられている新聞古紙と対比してみると、製紙用の精製グレードまで精製した試料 F では新聞古紙に比べ短繊維成分(150 メッシュパス)が 2/3 程度になっている。離解工程だけを経た試料 A では、短繊維成分が多く、長繊維成分は少ない。しかし、スクリーニング等の工程を経ることにより短繊維成分が除去されている。特に漂白工程を経ると長繊維成分が著しく多くなっている。

Shives Analyzer でさらに詳しく繊維の分布を調べると、試料 A では、長さ 0.3~1.5 mm で幅 75~150 μm のものが 75% で最も多く、ついでその繊維長で幅 150~300 μm のものが 9.4% であった。長繊維部分は繊維長 1.5~3.0 mm で幅 75~150 μm のものが 2.2%, 150~300 μm のものが 3.8%, 全体では約 6% となっている。試料 C では、繊維長 0.3~1.5 mm, 幅 75~150 μm のものが 90% を占め、長さ 1.5~3.0 mm のものは 4% 程度である。

試料 A に付着している微生物の帰属を調べた結果を表 1 に示す。*Trichoderma*, *Aspergillus* などセルラーゼ生産性の高い糸状菌等が見出された。このことから試料 A で短繊維成分が多い原因の一つとして、ちゅうかい類などと共存したことによる微生物分解が関与

Fig. 3 Dependence of bending strength on solid consistency as a function of curing time

- Sample A mixing at consistency of 20%
- ▲ Sample A mixing at consistency of 8%
- Sample C mixing at consistency of 20%
- △ Sample C mixing at consistency of 8%

しているものと思われる。PC 板は製造過程の乾燥工程等で熱処理を受けるので、殺菌はされるが、試料 A の形で使用することは工程の微生物汚染につながるので好ましいこととはいえない。

次に、異物の混在挙動の一つとして、灰分量を調べた。表 2 に示すように、試料 A は製紙用グレードまで精製した試料 F と比較して 3 倍強高い。NaClO で処理すると、試料 A 中の灰分は 1/2 に低減する。試料 E はリジェクトであるため灰分は多い。

実際に異物として問題になるのは、パルプ中に共存する有色異物、特に褐色から黒色にわたる微細な異物を定量した結果、試料 A 及び C ではそれぞれ 1.6% 及び 0.5% であり、このうち直径 2 mm 以上のものはそのなかの 12~16% であった。有色斑点の面積率は試料 A : C では 3 : 1 であり、灰分より大きな差異が認められた。試料 A からでもシートは形成されるが異物が多過ぎて商品となり得るようなパルプ品質ではない。

3.2 回収パルプの品質と製板条件

3.2.1 製板条件と強度

粗選別パルプである試料 A について、強度の大きい PC 板を調製する条件を検討した。この場合、固形分濃度 20% 20 分攪拌の条件では、図 3 のように PC 板の強度の発現が悪い。しかし、固形分濃度を 20% から 8% に希釈すると、1 週、2 週強度が明確に増大し

Fig. 4 Dependence of bending strength on mixing time in the case of Sample A.

- Mixing time 20 min.
- △ Mixing time 30 min.
- Mixing time 50 min.

Fig. 5 Dependence of bending strength (two-week curing) on NaOH treatment in the case of Sample A

- ▲ Solid consistency of 8%
- Solid consistency of 20%

た。この場合、図4に示すように攪拌時間を少なくとも30分以上、望むべくは50分程度攪拌することによってほぼJISに定める曲げ強度に達する。以上のことから試料Aではセメントの硬化阻害があるが、これは希釈と攪拌時間の延長により取除けることがわかった。また、精製グレードをやや上げた試料Cでは1週強度に差があるだけで、2週強度になると差が認められなかった。

試料Aについての上記の希釈効果は、セメントのアルカリによる硬化阻害物質の除去と、表面電位の変化によりパルプとセメントの親和性が増大するためではないかと考えられる。そこで、試料Aをあらかじめアルカリで処理することによる、強度の増大について検討した。すなわち、試料AにNaOHをパルプ重量基

Fig. 6 Effect of NaOCl treatment on bending strength cured for one week.

- ▲ Solid consistency of 8%
- Solid consistency of 20%

準で0.1~5%までの範囲で添加し、パルプ濃度3%、常温で30分ゆるやかに攪拌後浚別し、浚液のpHが8.0になるまで水洗した。この試料は水分約70%まで脱水して供試した。このNaOH処理試料Aを用いたPC板の2週強度を図5に示す。NaOHの添加量が増大するに従って、PC板の曲げ強度は漸増した。固形分濃度を20%から8%に低減しても強度は誤差範囲である。これは、NaOH処理により、試料C程度の精製グレードに匹敵するものとなり、図3で見るような2週強度での希釈効果がなくなったものと考えられる。

次に殺菌作用も考えて、NaClOを対パルプ有効塩素量で0.5~5%添加して前記NaOH処理と同様処理した。但しこの場合、処理後の水洗は行わなかった。このNaClO処理試料Aを用いたPC板の1週強度を図6に示す。1.0%まではNaOHの場合と同じく添加量が増加するにつれてPC板の強度は増加し、1週強度でJIS規格の曲げ強度（曲げ破壊荷重6.3mmの厚さで25kgf以上となっており、曲げ強度に換算すると93.75kg/cm²となる）を越える。これは一つには $\text{NaClO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{NaOH} + \text{HClO}$ で生ずるNaOHの効果であると考えられる。しかし、5%となるとPC板の曲げ強度は低下した。これはHClOの有する酸化作用のために、パルプ自身の単繊維強度が低下することから、補強繊維としての作用が損われるためであると思われる。

次にアルカリ洗浄における強度増加の効果と関連していると考えられる、パルプとセメントの親和性を調べた。実験はパルプ及びセメントの一定量を1lの水に入れ、固形分濃度3%で一定時間攪拌懸濁させ、これのフリーネスと通過液中の固形分濃度を測定した。

Fig. 7 Dependence of retention of solid constituents on purification grade of pulps

○ Sample A □ Sample C
△ Sample E ▲ Sample F

結果を図7に示す。パルプ精製グレードの向上とともに、通過固形分は減少する。このことは、用いたパルプがほぼ同一のフリーネスに保持されていることから考え合わせると、パルプとセメントの親和性が精製グレードの向上と共に良くなることを示している。

このように凝集性で表わされる親和性はパルプの表面電位の影響を受けると考えられる。そこで表面電位として ζ 電位を測定し結果を表3に示す。対照として新聞用紙の主構成パルプであるアカマツのサーモメカニカルパルプ(TMP)を示した。分別パルプは、TMPと比較して、電位は高い。試料Eはリジェクトで異物が多いので、これは例外として、 ζ 電位は試料F<C<Aと精製グレードの向上とともに低くなっている。しかし、最終製品のグレードである試料でもTMPと比較すると ζ 電位はかなり高く、セメントとの間の静電引力が小さいと考えられる。 ζ 電位が最も高い試料Aでは接触攪拌時間を長くしないとPC板の強度が発現しないのは、セメントとの親和に時間を要することが一因と考えられる。

3.2.2 回収パルプの品質と製品強度の関係

分別パルプの精製の程度によってPC板の強度がどのように変化するかを調査した。試料としては粗選別工程を受けた試料A、さらに殺菌漂白工程を経た試料C及び同工程でリジェクトとして排棄される試料Eである。各試料を使用してPC板を調整し、2週間養生を行ったものの曲げ強度を測定した。なお、PC板の調整は、離解機で固形分20%で20分攪拌したものをさらに8%まで希釈し、ブフナー漏斗で吸引して製板に供した。対照として、通常市販のPC板が使用している新聞古紙を使用した場合について検討した。結果

Table 3 ζ -Potentials of recovered pulps from municipal solid waste

Sample A	-4.9 mV
Sample C	-8.7
Sample E	-23.0
Sample F	-12.0
TMP (pine)	-21.1
Cement powder	+1.1

Fig. 8 Dependence of bending strength cured for two weeks on purification grade of pulps

A : Sample A C : Sample C
E : Sample E W : Newsprint waste

を図8に示す。粗選別工程の試料Aでは、新聞古紙と比較して、若干強度は低いですが、殺菌漂白工程を経ることによって、新聞古紙同等以上になる。最終の精選工程のリジェクトでも、新聞古紙並みの強度が認められた。都市ごみ中の紙類の構成をみると、例えばGP 41%, SCP 20%, L・KP 20%, N・KP 19%などの分析データが報告されている⁷⁾。このことは、都市ごみからのパルプは微細な異物の混入という欠点を除けば、メカニカルパルプ以外にかなりのケミカルパルプが混入するため、補強繊維としては新聞古紙よりもむしろ勝れた単繊維強度を有し、従って、高い強度特性を与えるものと考えられる。

3.3 製板条件と製品品質の関係

3.3.1 かさ比重

JIS規格¹⁶⁾では、PC板のかさ比重は1.0以上とな

Fig. 9 Dependence of bending strength cured for one week on bulk density when prepared from Sample A

っている。かさ比重は製板時のプレス圧によって影響を受ける。かさ比重が変化すれば、他の諸特性も大幅に影響を受ける、特に強度特性に及ぼす影響が大きい。図9は、試料Aを使用したときのかさ比重と、1週間養生後のPC板の曲げ強度との関係である。1週間養生であるため、まだ充分強度発現までには至っていないが、かさ比重増大とともに漸増し1.1以上ではJIS規格に合格している。市販のPC板のかさ比重も大体1.1程度のものである。

3.3.2 パルプの含有量

PC板の標準パルプ配合量は、JIS規格¹⁶⁾で13%（絶乾）と定められている。パルプ配合量は、PC板の強度のみならず、耐火性、吸水性等にも関係している。このなかで、最も影響の大きいのが強度であるといわれている。そこで、試料Aの配合量をパラメータにして、強度の変化を検討した。結果を関数として図10に示す。試料Aが10%で石綿5%一定とした場合強度はかなり高いが、試料Aが13%を越えると漸減する。このことからみて、都市ごみ分別パルプの場合にも、JIS規格の13%配合は適当であると考えられる。

3.3.3 吸水率と含水率

市販PC板の場合、JIS規格¹⁶⁾では養生後8%以下の含水率になるまで乾燥することを求めている。また、同時に吸水率は50%以下と規定されている。本実験では精製グレードが吸水率及び含水率にどのような影響を及ぼすかを検討した結果を図11に示す。試料AでもNaOHやNaClO処理をすると、PC板の吸水率や含水率は上昇する。また、試料Aと試料Cとを比較すると、後者の方が両性質がともにかなり高い。これは薬品による化学処理や精製時の機械処理によって、セルロースの結晶化度の低下や、フィブリル化等が起こるため、吸水及び含水特性が上昇したものと思われる。

Fig. 10 Influence of blending ratio of Sample A on bending strength of one week curing

Fig. 11 Dependence of aqueous absorbency and moisture content on chemical and mechanical purification

▨ Aqueous absorbency

⋯ Moisture content

A : Sample A

A₁ : 1% NaOH-treated Sample A

A₂ : 5% NaOH-treated Sample A

A₃ : 1% NaOCl-treated Sample A

3.3.4 防火性能

PC板は、建設省告示第1828号（昭和45年）及び第1231号（昭和51年）に規定する準不燃材料の試験に合格しなければならない。それは、表面試験及びガス有毒性試験よりなるが、後者は回収パルプであり、特に有毒性があるとは考えられないので前者のみについて検討した。表面試験は、加熱時間10分で、試験体は3個について行った。試料A及び試料Cについての結果を表4に示す。これらの結果は防火試験の規格にすべて合格しており、また、防火上有害な変形もなかった。

4. 結 論

都市ごみから分別して得られる回収パルプの紙製品以外の新しい用途開発として、同パルプを素材とする複合材料の可能性に注目した。その一環として、同パ

Table 4 Fire-proof test of pulp cement board prepared from Samples A and C.

Reinforced fiber	Sample A			Sample C			Ministry of Construction Notification No. 1231
	1	2	3	1	2	3	
Temperature time area ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}$)	0	0	0	0	0	0	100>
Fuming coefficient (CA)	12	11	12	4	8	2	60>
Lintering fire time (sec)	0	0	0	0	0	0	30>
Length or width of melts & cracks (mm)	N	N	N	N	N	N	Less than 1/10 of width
Heating loss (%)	9.9	9.8	9.4	11.5	10.5	10.9	—
Back side temperature ($^{\circ}\text{C}$)	280	265	304	266	290	264	—

N : none

ルプを補強繊維とする PC 板の製造を検討した。

都市ごみから半湿式法で分別された紙主体の原料は、離開、粗選別、殺菌漂白及び精選工程を経て紙製品に使用できるパルプ品質になるが、PC 板に使用した場合には、少なくとも粗選別工程までの精製工程で、JIS 規格及び建設省告示第 1231 号及び第 1828 号に規定する防火性試験に合格する製品が得られることを明かにした。これにより回収パルプの精製工程を大幅に簡略化し得る指針が得られた。

謝 辞

本研究は資源再生再生利用技術システムの精製パルプ化装置の運転を担当された、大昭和エンジニアリング㈱と密接な連携のもとに行われたものである。試料の送付、研究推進上有益なご助言を頂いた同社中央研究所〔現大昭和製紙㈱中央研究所〕依田 孝氏に心衷から感謝致します。また、都市ごみの微生物の帰属をして頂いた㈱片山化学工業研究所にも感謝致します。

文 献

- 高松英昭, 工業技術, **20** (8), 52 (1979)
- 御田昭雄, 町田 収, 加来武彦, 紙パ技協誌, **32** (2), 308 (1978)
- J. T. Fitton and G. J. Williamson : Paper Technol. Ind., **19**(6), 180 (1978)
- A. R. Nollert, E. T. Sherwin and A. R. Baldwin : TAPPI Pulping Conf. Proc., **1979**, 259~274 (1979)
- 茂呂端生, 坂本 宏, 工業技術, **20**(8), 56(1979)
- 渡辺敏郎, 特開 昭 53-12166
- 咲山忠男, 西崎寛樹, 紙パ技術タイムス, **22**(8), 23 (1979)
- 工業技術院長, 特開 昭 53-28970
- 川崎重工業, 特開 昭 53-73876.
- M. L. Renard : TAPPI Pulping Conf. Proc., 1979, 247~258 (1979)
- R. B. Nelson and L. C. Aldrich : TAPPI, **62** (9), 55 (1979)
- 荏原製作所, 特開 昭 50-136402
- 高松英昭, 工業技術 **21** (3), 75 (1980)
- 工業技術院長 特開 昭 54-131006
- H. Hoglund and E. Johnsson : Svensk Pappers-fidn., **79**(13), 411~417(1976)
- JIS A-5414

(受理 56.12.9)