

## 自然素材を活用した建築ボードの開発 —木炭と竹繊維の有効利用—

## (その1. 研究目的および実験計画)

正会員 ○ 佐藤 嘉昭\*1 準会員 小野 篤徳\*2 正会員 清原 千鶴\*3  
同 大谷 俊浩\*3 同 永松 静也\*1 同 平居 孝之\*1

## 1. はじめに

日本では古くから左官塗り材料として調湿機能を備えた漆喰が多用されてきたが、これを乾式パネル建材(化粧漆喰)として製品化するなど、自然素材の特徴を生かした建築材料の開発がここ数年、活発に行われるようになってきた。

その理由は、今までは顕在化することがなかった住宅用建材からの揮発性有機化合物の有毒性が問題となり、人体の安全に関する問題として大きく取り上げられるようになったからである。本研究で開発予定の建材は木炭の持つ調湿性、有害物質の吸着作用に着目したもので、木炭を大量に使用した場合、建材としての十分な強度が得られないことが予想され、それを補うために竹の繊維で補強することを試みた木質系複合材料である。

杉材の産地として全国的に有名な大分県日田市では、間伐材や製材時に発生する端材を有効に活用するため、これを原料にした木炭(粉炭)を製造するために日田市森林組合炭化事業所を設立し、その製品化ならびに販売事業を開始しているが、土壌改良用資材として使用されている場合がほとんどで、生産量に匹敵するような用途開発は行われていないのが実状である。大分県別府市には竹が多く育成し、竹工芸製品の産地として全国的に有名であるが、竹材を竹工芸品として消費できる量は少なく、他分野での用途を模索している。

木炭の特性としては、軽量であり、吸湿性、吸水性、保水性、断熱性、吸音性に優れていることが明らかになっている。竹材は生長が早く再生能力が高いこと、比較的長い繊維長を持つこと、力学的特性に優れていることなどが特徴としてあげられる。木炭(粉炭)の粒子を結合するものがセメントペーストあるいは石膏ペーストで、その強度補強の役目を果たすのが竹繊維である。多孔質材料である木炭を大量に使用することで吸放湿性能が付加され、有害物質の除去など空気浄化作用が期待できる。また、保湿度、吸音性も従来の建材ボードに比較して高めることが可能になる。木炭および竹繊維という自然素材を活用してセメント系や石膏系ボードを製造するのは今回が初めてで、図-1に示すように環境問題に配慮した取り組みでもあるが、その前段階として、ボードを試作し、木炭および竹繊維の素材としての可能性を検討することにした。以下はその報告である。

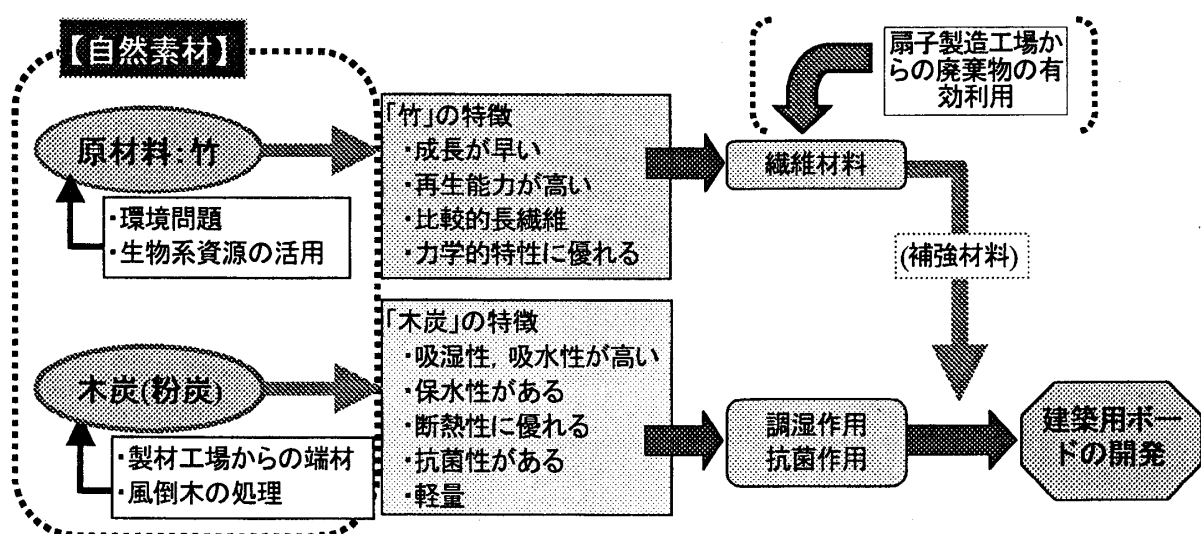


図-1 研究目的および範囲

\*1 大分大学教授・工博, \*2 同・学生, \*3 同・助手・工修

## 2. 実験

### 2.1 実験計画

本実験では木炭(粉炭)および竹繊維を混入したセメント系建築用ボードを試作し、①木炭(粉炭)の混入率(0,40,60,80vol%),②竹繊維の混入率(0,2,4,6vol%),③竹繊維の繊維長(3.5,2cm),④養生方法の4つの要因における力学特性を確認するために、曲げ強度試験を行った。

### 2.2 使用材料

結合材であるセメントペーストは水セメント比(W/C)35%で、混和剤を用いてフロー値を200mm程度とした。使用したセメントは早強ポルトランドセメント(比重3.14)、混和剤には高性能AE減水剤(ポリカルボン酸エーテル系)を用いた。粉炭は既に製品化されているもの(粒径8mm)を用いた。竹繊維を作製した竹材は大分県別府市の竹林で採取した胸高直径約70~80mmの真竹を用いた。使用した材料の特性を表-1に示す。

(1)木炭:混練に使用した木炭の含水率および吸水率を表-2に示す。含水率および吸水率は式(2)で算出した値としている。これによると打設日時によって値に若干ばらつきが見られるが、使用した粉炭の含水率および吸水率はそれぞれ51%,285%程度であった。混練時にはあらかじめ絶乾状態とした粉炭を静水中に48時間浸漬し、十分に吸水させた状態で用いた。

$$\text{含水率 (\%)} = \frac{W_{20} - W_{105}}{W_{105}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{吸水率 (\%)} = \frac{W_w - W_{105}}{W_{105}} \times 100 \quad (2)$$

ここに、 $W_{20}$ : 試料の質量(気乾)

$W_{105}$ : 絶乾状態の試料の質量

$W_w$ : 飽和状態の試料の質量

(2)竹繊維:竹繊維については竹材から解繊材料として竹の繊維を切断することなく製造できる方法があれば、最も良い製造方法と考えられるが、ここでは図-2に示すようなフローチャートにそって竹繊維を手作業で作製した。混練時には木炭と同様な処理をし、十分に吸水させた状態で用いた。使用した竹繊維の含水率および吸水率はそれぞれ16%,137%であった。

竹は糖分を多く含んでおり、これがセメントの硬化を妨げることからこれまでセメント系の材料の補強材としては不適當であるとされてきた。そこで、本実験で行った煮沸処理(60分)による糖分除去の効果について調べるため、竹繊維の糖分について分析を行った。糖分の分析は、実際に混練するのと同じ手順で竹繊維を作製し、①煮沸処理時間(0,30,60分)、②抽出処理(熱水、冷水、アルカリ)の2つの要因について行った。また比較のために生

表-1 使用材料の特性

材料	種類	性質
セメント	早強ポルトランドセメント	比重:3.14 粉末度:4450cm <sup>2</sup> /g
木炭	粉炭(低温炭)	日田杉 粒径:8mm 比重:0.15
竹繊維	乾燥材	真竹 比重:0.55

表-2 打設時の含水率および吸水率一覧

打設 No.	含水率 (%)	吸水率 (%)	打設 No.	含水率 (%)	吸水率 (%)
①	45.7	338.8	⑤	67.3	356.8
②	56.1	243.7	⑥	59.5	390.1
③	39.3	382.5	⑦	64.9	291.7
④	76.6	280.7			

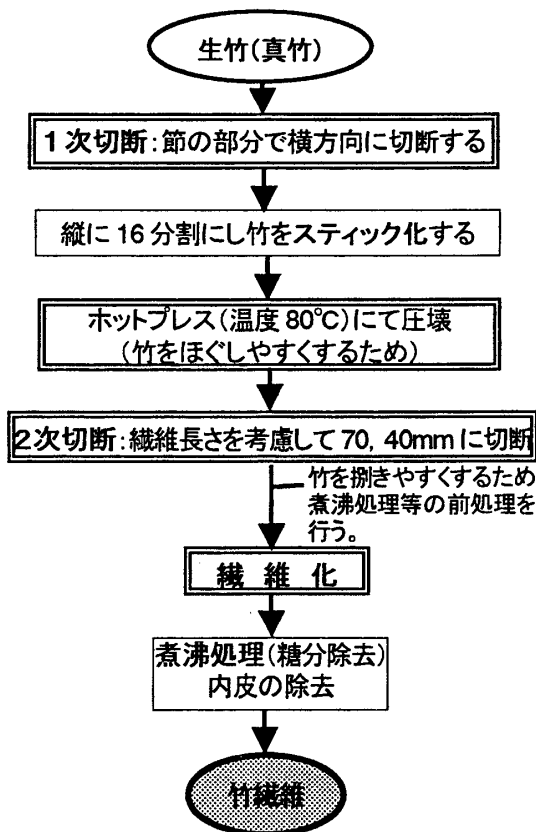


図-2 竹繊維化のフローチャート

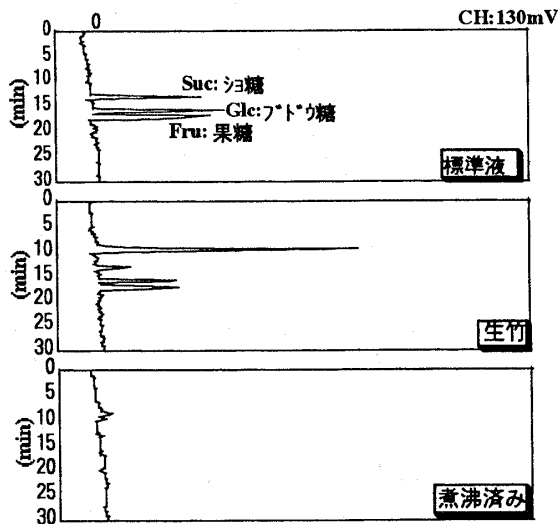


図-3 糖分分析結果

竹（真竹）および未処理の竹繊維の糖分分析も行った。なお、本実験における未処理の状態とは図-2のフローチャートに沿って繊維化した状態（煮沸前）のことである。分析の方法は試料を 105°C で 24 時間絶乾状態にした後、濾過し、残渣（抽出物）を用いて遊離糖分を高速液体クロマトグラフィーで分析した。測定結果の一例を図-3 に示す。表-3に糖分分析結果を示している。これによると、生竹の糖分は 9.28%と非常に高い値を示しているが、いずれの抽出方法においても煮沸時間0分においてすでに糖分は検出されない結果となった。これは、混練に使用するまでの工程において、煮沸や吸水といった処理が多く含まれており、その過程で糖分が除去されていったことによるものと考えられる。以上の分析結果より、本実験で使用した竹繊維には糖分が含まれていないことが分かった。

2.3 調合

既報<sup>1)</sup>における予備実験では結合材となるセメントペーストを極端に軟らかい状態で練ったため、木炭や竹繊維の十分な分散が得られず、強度の低下やばらつきが多く見られた。そこで本実験では水セメント比を 30%とし、高性能 AE 減水剤を使用した粘性の高いセメントペーストをマトリックスとして木炭および竹繊維を混入することとした。調合の一覧を表-4に示す。基本となるプレーンセメントペーストのフレッシュ性状について表-5に示す。本実験における調合の基本的な考え方について図-4に示す。本実験では水セメント比 30%のセメントペースト供試体を基準とし全体の容積

表-3 糖分分析結果

測定項目	糖分検出濃度(%)				
	ショ糖	ブドウ糖	果糖	TOTAL	
生竹	0.67	4.72	3.90	9.28	
熱水抽出	未処理	0.37	0.59	0.00	0.97
	煮沸0分	0.00	0.00	0.00	0.00
	煮沸30分	0.00	0.00	0.00	0.00
冷水抽出	未処理	0.37	0.70	0.56	1.63
	煮沸0分	0.00	0.00	0.00	0.00
	煮沸30分	0.00	0.00	0.00	0.00
アルカリ抽出	未処理	0.28	0.57	0.26	1.11
	煮沸0分	0.00	0.00	0.00	0.00
	煮沸30分	0.00	0.00	0.00	0.00

表-4 調合一覧

実験	調合 No.	セメントペースト	木炭混入率			竹繊維混入率							
			40%	60%	80%	3.5cm			2cm				
						2%	4%	6%	2%	4%	6%		
無混入	①	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	②	○	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	③	○	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	④	○	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—	—
竹繊維のみ	⑤	○	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—	—
	⑥	○	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—	—
	⑦	○	—	—	—	—	—	○	—	—	—	—	—
	⑧	○	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—	—
木炭 40%	⑨	○	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—	—
	⑩	○	—	—	—	—	—	—	—	—	—	○	—
	⑪	○	○	—	—	○	—	—	○	—	—	—	—
	⑫	○	○	—	—	—	○	—	—	○	—	—	—
木炭 60%	⑬	○	○	—	—	—	—	○	—	—	○	—	—
	⑭	○	—	○	—	○	—	—	○	—	—	○	—
	⑮	○	—	○	—	—	○	—	—	○	—	—	○
	⑯	○	—	○	—	—	—	○	—	—	○	—	—
木炭 80%	⑰	○	—	—	○	○	—	—	○	—	—	—	—
	⑱	○	—	—	○	—	○	—	—	—	○	—	—
	⑲	○	—	—	○	—	—	○	—	—	—	○	—

表-5 プレーンセメントペーストのフレッシュ性状

W/C (%)	混和剤添加量 (C x %)	フロー値 (mm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/l)
30	0.5	205 x 207	4.0	2.06

に対して体積%で竹繊維を 2,4,6%および木炭を 40,60,80%混入した。なお、混練は全て恒温恒湿室内にて行った。

### 2.4 混練、打設および養生方法

セメントペーストの混練にはモルタルミキサー(容量5ℓ)を用いて行った。セメントペーストを作製した後、木炭、竹繊維の順に混入し、それぞれ手動で十分に攪拌を行った。混練状況を図-5に示す。作製するボードの寸法は500×500×10mmとし、図-6に示すような形状の型枠を用いた。打設方法については思考錯誤した結果、実際に作製するボードの容積(2.5ℓ)の1.6倍に当たる4ℓの木炭および竹繊維混入セメントペーストを型枠に打ち込み、隙間がなくなり厚さが10mmになるように、過大な圧力を加えないように注意しながら万力でプレスした。打設後、供試体は実験室内にて水分を含んだ布を被せ、シートで覆い材齢2日で脱型した。脱型後、材齢28日まで恒温恒湿室内において水中養生し、材齢28日においてボードを曲げ強度試験用供試体寸法(200×50×10mm)に18枚切断し、9枚は引き続き28日間水中養生を行い、残りの9枚は恒温恒湿室内にて28日間気中養生とした。

### 2.5 実験方法

曲げ強度試験 JISA5908 に準じて行った。実験に使用した供試体の寸法は2.4より、作製したボード(500×500×10mm)から切断された200×50×10mmである。実際に曲げ強度試験に使用する供試体数はボードから切断された曲げ強度試験用供試体18枚から打設状態のよい気中養生5枚、水中養生5枚を選び出した合計10枚である。曲げ強度試験を行う前に供試体の質量、寸法(長さ、幅、厚さ)を測定した。曲げ強度試験の載荷速度(ストローク速度)は供試体に衝撃を与えずに一樣に荷重を加える必要がある。荷重がかかりはじめるとは1mm/minの速度で、その後0.1mm/minの速度になるように設定した。実験は後半の曲げタフネスを算出するために供試体が破断するまで続けた。破断後の供試体の状態を観察するために写真撮影し、破断した供試体の片方の質量と寸法(破断面の厚さ、長さ、幅)を測定し乾燥機に入れ105℃で24h乾燥させ、105℃後の質量を測定し、含水率を測定した。

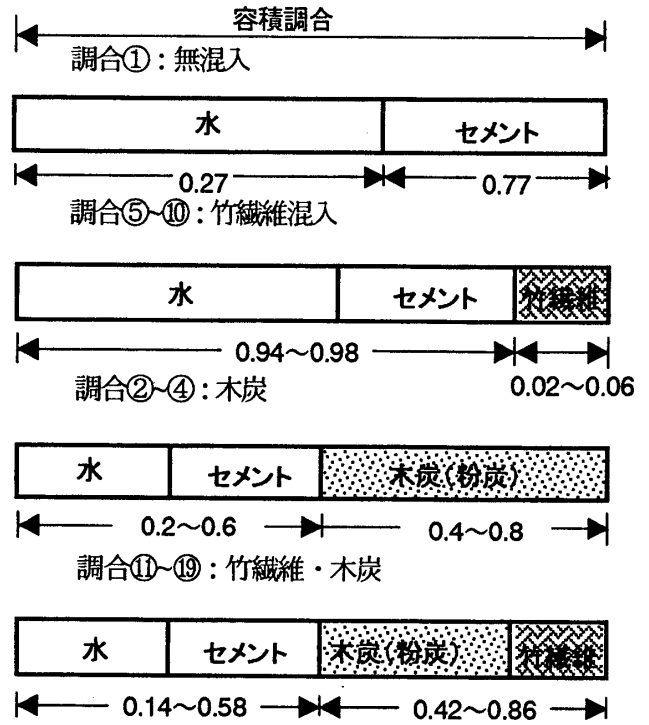


図-4 調合の基本的な考え方

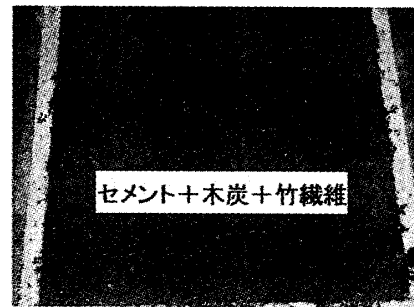
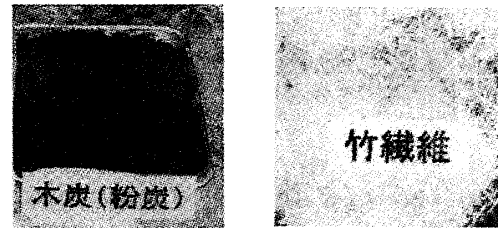


図-5 混練状況

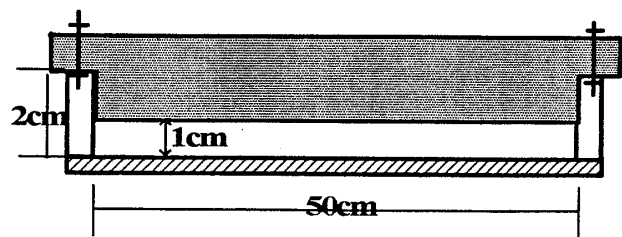


図-6 型枠断面図