

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4 ボード型供試体の曲げ強度試験結果)

準会員 ○荒川 聖太郎*1 正会員 佐藤 嘉昭*2 同 大谷 俊浩*3
同 清原 千鶴 *3 同 永松 静也*2 同 平居 孝之*4

1. はじめに

その3で報告した糖分分析試験および硬化障害試験に引き続き、本報では、木炭と竹繊維の混入量を段階的に変化させたボード型供試体を作製し、それに対して行った曲げ強度試験結果について報告する。

2. 試験方法

実験に使用した材料を表1に示す。セメントは、早強ポルトランドセメント、混和剤は、高性能AE減水剤（ポリカルボン酸エーテル系）を用いた。混和材の木炭は、市販されている日田産スギ低温炭の粒径が約8mmのもの、竹繊維は、その3で述べた扇子工場から発生する廃棄物である、繊維径が約600 μ mの繊維状の孟宗竹を用いた。図1に使用した木炭の写真を示す。

調合の一覧およびフロー値を表2に示す。結合材であるセメントペーストは、柔らかすぎると密度が小さい木炭が上部に移動してしまい、混和材の均一な分散が得られない¹⁾。そのため、セメントペーストは水セメント比(W/C)を30%で一定とし、フロー値を混和剤によって200mmに調整した粘性の高いものとした。混和材の混入率は、木炭および竹繊維の最大混入可能量、木炭および竹繊維の混入率の影響をみるために、木炭の混入率を0, 40, 50, 60, 70, 80vol%, 竹繊維の混入率を0, 2, 4, 6, 10, 20vol%とした組み合わせ

表1 使用材料

セメント	早強ポルトランドセメント 密度: 3.14g/cm ³
混和材	木炭(スギ低温炭3号) 粒径: 8mm 絶乾密度: 0.22g/cm ³ 吸水率: 342.5% 実績率: 55.8%
	竹(孟宗竹) 繊維長: 20mm 繊維径: 約600 μ m 絶乾密度: 0.91g/cm ³ 吸水率: 44.5%
混和剤	高性能AE減水剤 ポリカルボン酸エーテル系

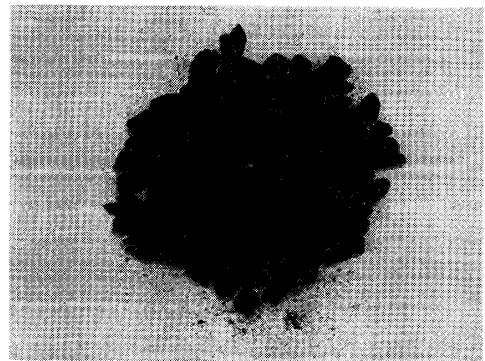


図1 木炭

表2 調合およびフロー値

調合番号	W/C (%)	木炭混入率 (vol%)	竹繊維混入率 (vol%)	単位質量(kg/m ³)				フロー (mm)
				C	W	Ch	Bf	
No.1	30	0	0	1616.9	485.1	0	0	196
No.2			2	1584.6	475.4	0	17.4	193
No.3			4	1552.2	465.7	0	34.8	195
No.4			6	1519.9	456.0	0	52.2	193
No.5			10	1455.2	436.6	0	87.0	189
No.6			20	1293.5	388.1	0	174.0	190
No.7		40	0	970.1	291.0	88	0	178
No.8			2	937.8	281.3	88	17.4	184
No.9			4	905.5	271.6	88	34.8	187
No.10			6	873.1	261.9	88	52.2	184
No.11		60	0	646.8	194.0	132	0	186
No.12			2	614.4	184.3	132	17.4	187
No.13			4	582.1	174.6	132	34.8	199
No.14			6	549.7	164.9	132	52.2	180
No.15		70	0	485.1	145.5	154	0	191
No.16			2	452.7	135.8	154	17.4	183
No.17			4	420.4	126.1	154	34.8	187
No.18			6	388.1	116.4	154	52.2	187
No.19		50	0	808.4	242.5	110	0	199
No.20		80	0	323.4	97.0	176	0	206

注1) C: セメント, W: 水(混和剤を含む), Ch: 木炭, Bf: 竹繊維

注2) 高性能AE減水剤は対セメント質量比0.7%混入

*1 大分大学・学部学生 *2 大分大学・教授・工博 *3 大分大学・助手・工修 *4 日本文理大学・教授・工博

せとし、調合は全部で20調合とした。なお、調合は容積調合とし、混入する混和材の容積率分のセメントペーストを木炭または竹繊維あるいは両方と置換する方法をとった。

混練の前準備として、木炭は混練前日に絶乾状態で計量を行い、表乾吸水率分の水と一緒にビニール袋で密封し、20℃の恒温室内に24時間静置させ、表乾状態になるように飽水させた。竹繊維は繊維長20mmに切断し、60分間煮沸処理を行い、絶乾状態で計量したものを混練24時間前より20℃水中に浸漬し、混練直前に表面の余分な水分を拭き取り表乾状態にした。

混練方法は、まずモルタルミキサー（容量5l）でセメントを30秒間空練りし、水と混和剤を投入し60秒間練り混ぜ、セメントの掻き落とし作業を行った後、さらに90秒間練り混ぜた。作製したセメントペーストに木炭、竹繊維の順に混入し、それぞれ均一に分散するまで手で練り混ぜた。

打設方法は、成型寸法500×500×10mmの鋼製型枠を用い、木炭および竹繊維を混入したセメントペーストを型枠のふちレベルまで（成型量の1.5倍の量）投入後、加圧機でフタが側板に当たる（厚さ10mm）まで加圧し、その状態のままシャコ万で固定した。型枠の断面図を図2、加圧機および加圧成型の様子を図3、シャコ万による固定状況を図4にそれぞれ示す。供試体は実験室内にて2日間湿布養生を行い脱型した。その後、材齢28日まで20℃水中養生を行い、ボードを曲げ強度試験用供試体（200×40×10mm）15枚と調湿性試験用供試体（250×250×10mm）1枚に切断した。切断した供試体は再び20℃水中養生を行い、曲げ強度試験用供試体は材齢56日に強度試験に供した。

木炭の実績率は55.8%であり、理論上それ以上の混入率は不可能であるが、木炭混入率70%までの練り上がり量（かさ容積）はほぼ計算通りであることから、この量までは打設成型可能であると考えられた。なお、木炭混入率80%のものは3割程度のあまりが生じた。そのため、他の調合と条件が異なる木炭混入率80%の結果は参考として記す。

曲げ強度試験は、表面の余分な水分を拭き取り、表乾状態とした供試体に対し、容量250kNのオートグラフを用いて、変位制御方式で行った。供試体数は曲げ強度試験用供試体15体のうち任意の5体とした。荷重方法はスパン100mm中央荷荷の3点曲げとし、荷重速度は0.3mm/minとした。曲げ強度試験状況を図5に示す。

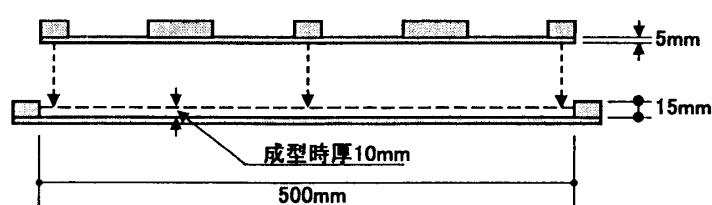


図2 型枠断面図

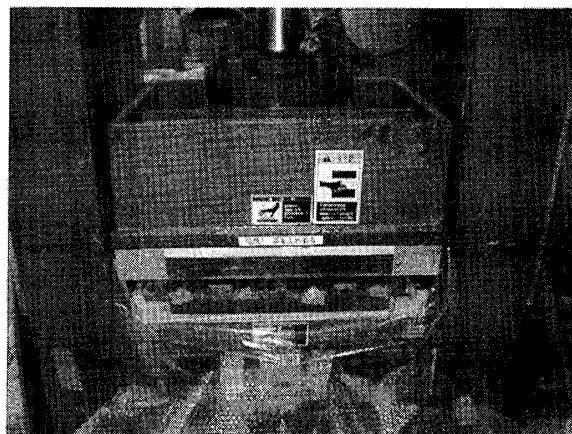


図3 加圧機および加圧成型状況

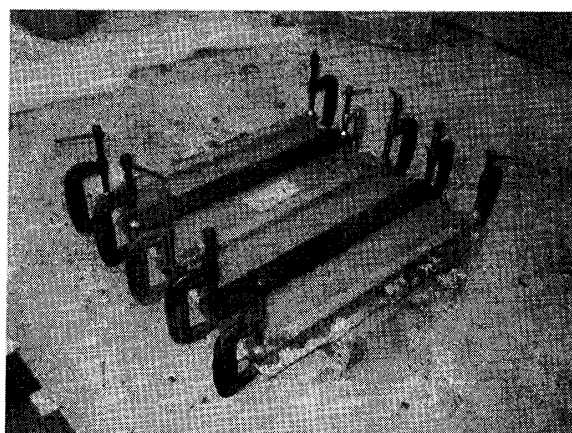


図4 シャコ万による固定状況

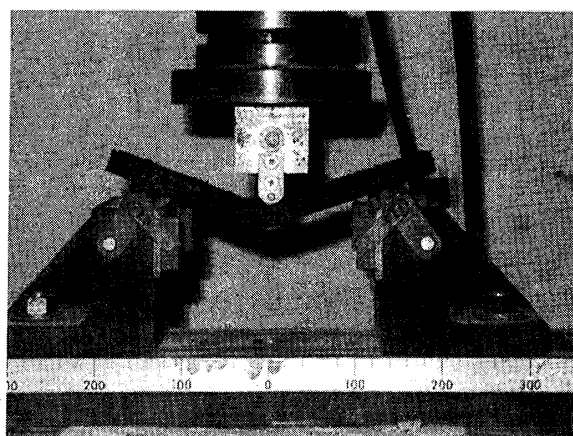


図5 曲げ試験状況

3. 試験結果および考察

図6に、木炭混入率0%である調合No.1~6の曲げ荷重-圧盤間変位曲線を示す。図より、竹繊維無混入の場合は最大荷重に達すると同時に破断に至っているが、竹繊維を混入しているものは最大荷重に達した後変形が進むにつれて荷重が緩やかに下降し、靱性があることが確認できる。

気乾密度と竹繊維混入率の関係を木炭混入率ごとに図7に示す。気乾密度は、2. 試験方法で示したボード型供試体から切断した調湿性試験用供試体を使用して測定を行った。図より、木炭混入率の増加にともない気乾密度は低下する傾向にあり、木炭混入率が60%を超えると気乾密度は木炭無混入の約半分である 1g/cm^3 を下回ることがわかる。また、竹繊維を20%混入したものは竹繊維無混入のものに比べて、気乾密度が約2割程度低下することがわかった。

曲げ強度と竹繊維混入率の関係を木炭混入率ごとに図8に示す。図より、木炭混入率40%は無混入のものと比較して約4割程度低下している。その後、木炭混入率が10%増加するごとにおおむね7%程度低下していることがわかる。また、竹繊維混入率が2%または4%のものまで曲げ強度が増加しており、竹繊維の補強効果がみられる。容積調合で行っているため木炭混入率が一定の場合、竹繊維混入率の増加にともない結合材であるセメントペースト量は減少する。結合材の量が減少すれば曲げ強度は低下するが、その低下量以上の曲げ強度を混入した竹繊維が補っているものと考えられる。これは既報²⁾でも同様の結果が示されている。しかし、それ以上に竹繊維の混入率を増加させた場合、混入率が増えるにつれて曲げ強度は低下しており、多量の竹繊維の混入は逆に強度低下を生じることがわかった。参考として図中にシージング石膏ボードの湿潤時の曲げ強度の基準値(3.7N/mm^2)を破線で示すが、木炭混入率40%、竹繊維混入率2~6%でその値を上回っていることがわかる。

曲げタフネスと竹繊維混入率の関係を木炭混入率ごとに図9に示す。曲げタフネスは載荷点変位がスパンの1/10(15mm)までの変位で求めた。なお、それ以前に破壊した場合は破壊点までの変位で求めた。図より、曲げタフネスは曲げ強度と同様の結果を示しているが、その程度は曲げ強度より顕著である。また、木炭混入率の増加にともなって曲げタフネスのピークの位置が竹繊維混入率の少量側へ移行している。その原因として、木炭混入率が増加するにつれセメントペースト量が減少し、竹繊維との十分な付着が得られなかったこと、竹繊維の分散が十分に得られなかったことによる影響などが考えられる。

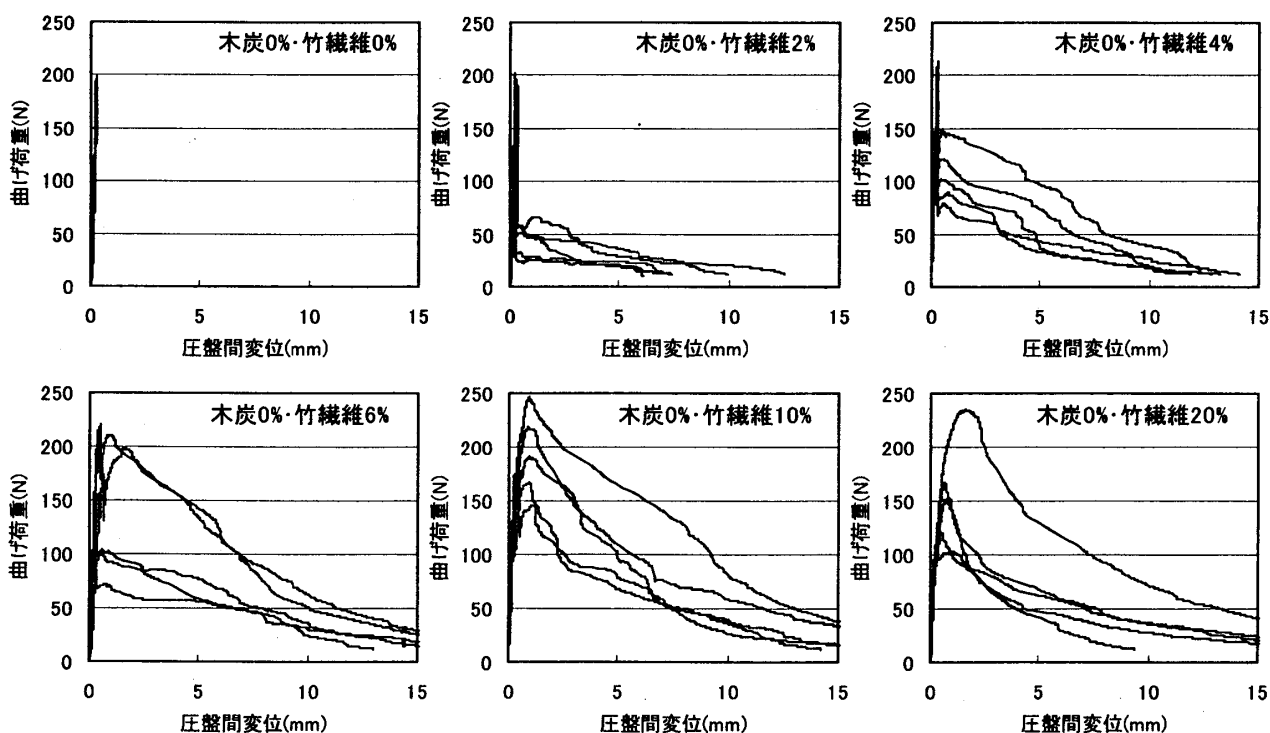


図6 曲げ強度試験結果 曲げ荷重-圧盤間変位曲線

4. まとめ

本研究では木炭と竹繊維の2つの自然素材が有する機能特性を活用した建築ボードの開発を目標としてボード型供試体を作製し、それから切り出した供試体について曲げ強度試験を行った。本実験の範囲で得られた結果をまとめると以下のものである。

- (1) 理論上、木炭の実績率までしか木炭を混入することはできないが打設を行った結果、木炭混入率70%まで打設成型可能と考えられた。
- (2) 木炭混入率の増加にともない気乾密度および曲げ強度は低下する傾向にある。また、木炭を60%以上混入することで、気乾密度 1g/cm^3 を下回ることが可能である。
- (3) 木炭混入率に関係なく、曲げ強度および曲げタフネスともに竹繊維混入率の増加にともない上に凸となり、かつそのピークの位置が木炭混入率（結合材量）によって変化することがわかった。これは、結合材量によって竹繊維混入率に最適な値が存在することを意味し、その混入率まで曲げ強度は若干の増加を示し、曲げタフネスは大幅な増加を示すことがわかった。
- (4) 今回のボード型供試体作製方法によって、木炭混入率40%、竹繊維混入率2~6%の割合でシージング石膏ボードと同等の曲げ強度を示すことがわかった。

今後、調湿性についての実験を行い、密度および強度特性に調湿性を加え総合的な評価を行う予定である。また、材齢6ヶ月および1年に曲げ強度試験を行い耐久性についても検討を行う予定である。

【謝辞】

本研究は、大分県産業科学技術センター（別府産業工芸試験所・大内成司氏）ならびに（株）ハヤミ（開発部長・柴田和己氏）との共同研究として実施したものである。木炭は、（株）ハヤミより提供して頂いた。また、竹繊維については、滋賀県・竹伸会より提供して頂いた。実験については、本学技官・遠矢義秋氏ならびに材料研究室の大鍛台洋介、田口宏道の両君に協力していただいた。以上、実験に参加して頂いた方々に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 川上慶子他：木炭（粉炭）と竹繊維を使用したセメント系複合材料の開発に関する研究（その2. 予備実験の結果），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.255-256，1999
- 2) 大谷俊浩他：木炭と竹繊維を使用したセメント系複合材料の開発に関する研究（その4. 曲げ強度試験および調湿性試験の結果），日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.1027 - 1028，2000

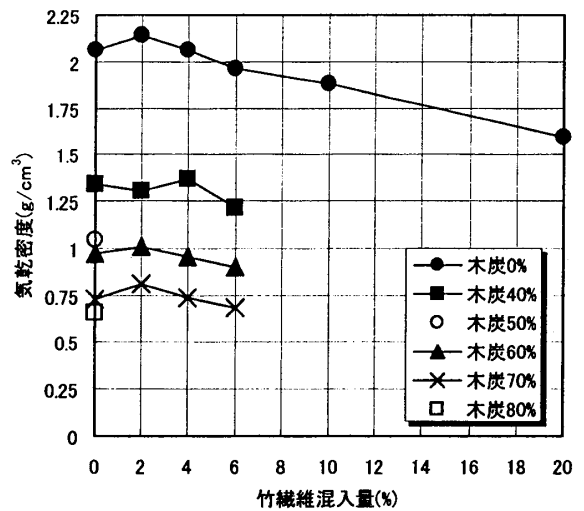


図7 気乾密度と竹繊維混入率の関係

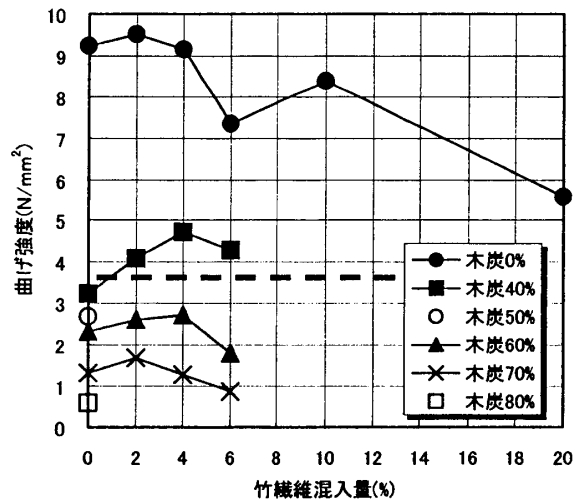


図8 曲げ強度と竹繊維混入率の関係

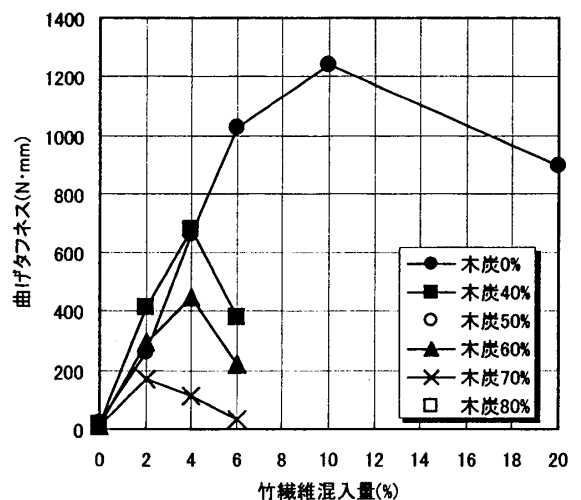


図9 曲げタフネスと竹繊維混入率の関係