

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2. 曲げ強度試験の結果)

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

3. 実験結果および考察

3.1 密度試験および含水率試験

曲げ強度試験終了後の供試体を用いて密度および含水率を測定したが、その一覧を表-1 に示す。

図-1 は繊維長および養生条件ごとに密度と竹繊維混入率の関係を示したものである。図より密度は繊維の長さおよび養生条件の違いによらず、木炭混入率が増加するとともに低い値を示すようになることがわかる。

図-2 は繊維長および養生条件ごとに含水率と竹繊維混入率の関係を示したものである。若干ばらつきはあるものの、含水率は繊維の長さおよび養生条件の違いによらず木炭混入率が増加するほど大きな値を示している。また木炭混入率 0% において、水中養生の含水率は気中養生の含水率の 1.1 倍程度であるのに対して木炭混入率が 40,60,80%と増えていくにつれてそれぞれ気中養生の含水率の 1.8,2.0,4.9 倍となっている。このことから木炭を混入することによってボードの吸水および保水性が高くなることがわかる。

表-1 密度・含水率の測定結果

木炭	竹繊維 (3.5cm)	養生方法	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	木炭	竹繊維 (2.0cm)	養生方法	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)		
										調合	調合
0%	0%	気中	2.18	13.64	0%	0%	気中	2.18	13.64		
		水中	2.17	14.47			水中	2.17	14.47		
	2%	気中	2.10	12.60		2%	気中	2.05	13.53		
		水中	2.13	14.41			水中	2.09	14.68		
	4%	気中	2.07	12.18		4%	気中	2.02	13.63		
		水中	2.19	13.73			水中	2.26	15.09		
	6%	気中	2.14	12.57		6%	気中	2.05	13.85		
		水中	2.14	14.65			水中	2.09	15.62		
	40%	0%	気中	1.53		17.51	40%	0%	気中	1.53	17.51
			水中	1.81		29.24			水中	1.81	29.24
		2%	気中	1.61		14.59		2%	気中	1.62	20.05
			水中	1.85		26.32			水中	1.74	33.22
4%		気中	1.61	14.92	4%	気中		1.60	19.25		
		水中	1.76	30.66		水中		1.75	32.95		
6%		気中	1.56	15.70	6%	気中		1.58	19.39		
		水中	1.78	30.06		水中		1.72	33.34		
60%		0%	気中	1.26	21.29	60%		0%	気中	1.26	21.29
			水中	1.61	49.24				水中	1.61	49.24
		2%	気中	1.19	20.26			2%	気中	1.26	29.33
			水中	1.49	61.86				水中	1.51	56.51
	4%	気中	1.14	20.34	4%		気中	1.21	30.29		
		水中	1.44	61.26			水中	1.49	55.32		
	6%	気中	1.04	19.59	6%		気中	1.20	27.50		
		水中	1.48	60.88			水中	1.47	59.73		
	80%	0%	気中	0.83	21.45		80%	0%	気中	0.83	21.45
			水中	1.34	95.88				水中	1.34	95.88
		2%	気中	0.73	21.94			2%	気中	0.71	18.98
			水中	1.13	92.85				水中	1.11	97.82
4%		気中	0.58	21.75	4%	気中		0.68	22.99		
		水中	1.01	93.16		水中		1.31	99.32		
6%		気中	0.52	21.59	6%	気中		0.63	21.26		
		水中	0.95	115.85		水中		0.99	113.12		

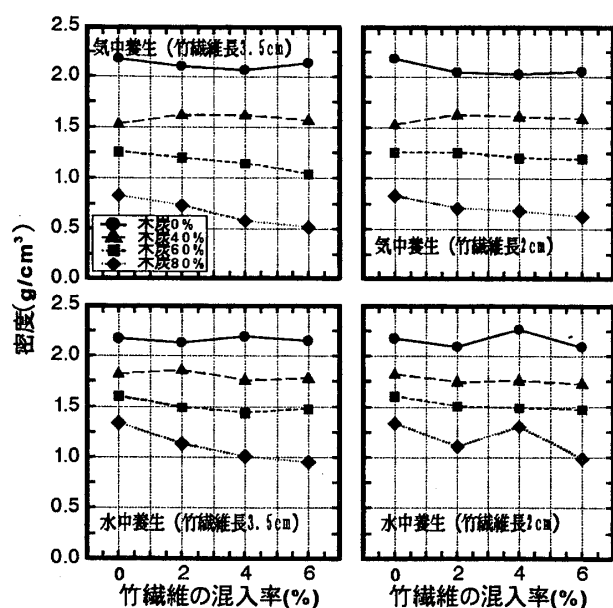


図-1 密度の測定結果

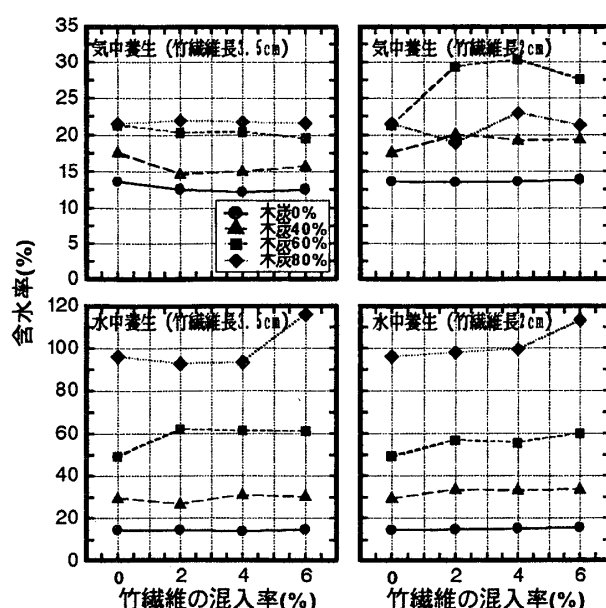


図-2 含水率の測定結果

*1 大分大学・学生, *2 同・教授・工博, *3 同・助手・工修

3.2 曲げ強度および曲げヤング係数

表-2に曲げ強度試験結果の一覧を示す。

図-3は繊維長および養生条件ごとに曲げ強度と竹繊維混入率の関係を示している。繊維の長さおよび養生条件に関わらず、曲げ強度は木炭混入率が増加するとともに低い値を示している。さらに、ばらつきはあるが竹繊維混入率の増加とともに、曲げ強度も増加する傾向が見られる。しかし、木炭混入率80%については、曲げ強度が竹繊維混入率の増加とともに、低下する傾向が見られる。これは、セメントペースト量が少ないため、型枠への充填が十分ではなかったことによる影響が考えられる。また、気中養生における曲げ強度は、木炭混入率0%のものは、水中養生の6~7割程度しか強度が得られなかったのに対して、木炭混入率40,60,80%においては9割程度の強度が得られた。このことから、木炭の保水性機能により乾燥による強度低下が抑制されたものと思われる。木炭を利用したコンクリートの自己養生機能に関しては、大谷ら³⁾の論文においても報告されている。

図-4に繊維長および養生条件ごとに曲げヤング係数と竹繊維混入率の関係を示す。曲げヤング

係数は最大曲げ荷重および最大曲げ荷重時の変位より式(1)を用いて算出した値である。なお、本報告における変位とは試験機の圧板間の変位を意味する。

$$E = \frac{Pl^3}{48\delta I} \quad (1)$$

P: 荷重(kN) l : スパン(mm)

δ : たわみ(mm) I: 断面2次モーメント(mm²)

図より繊維の長さおよび養生条件に関わらず、曲げヤング係数は木炭混入率および竹繊維混入率が増加するとともに低い値を示している。曲げ供試体の破壊状況を図-5に示す。竹繊維が混入しているものは破断しなかった。また、破断面より木炭のみ混入しているものは、打設面に木炭が偏っていたが、竹繊維を混入することにより木炭が浮き上がるのを阻止し、分散していることが分かった。

表-2 曲げ強度試験結果

調合		養生方法	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (N-mm)	調合		養生方法	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げタフネス (N-mm)
木炭	竹繊維 (3.5cm)				木炭	竹繊維 (2.0cm)			
0%	0%	気中	5.21	15.05	0%	気中	5.21	15.05	
			7.27	24.88			7.27	24.88	
		水中	5.50	231.13	2%	気中	4.09	142.85	
			6.10	174.46			6.20	42.58	
		4%	4.38	144.05	4%	水中	4.63	282.10	
			6.19	99.30			6.67	250.13	
	6%	4.77	311.11	6%	気中	4.41	349.43		
		6.07	310.43			6.13	319.57		
	40%	0%	気中	2.63	10.22	0%	気中	2.63	10.22
				4.78	15.54			4.78	15.54
			2%	3.44	104.83	2%	水中	3.97	140.50
				3.92	92.18			4.60	156.03
4%			3.44	176.68	4%	気中	4.05	204.90	
			4.42	200.35			4.95	217.28	
6%		4.63	281.25	6%	水中	4.95	316.86		
		5.17	269.31			5.39	256.98		
60%		0%	気中	1.90	11.99	0%	気中	1.90	11.99
				3.66	15.96			3.66	15.96
			2%	2.77	144.90	2%	水中	2.60	104.32
				2.66	113.38			2.97	119.01
	4%		2.76	281.57	4%	気中	3.70	189.66	
			3.22	165.83			3.65	150.73	
	6%	3.09	313.07	6%	水中	3.84	218.92		
		2.95	239.52			3.33	225.64		
	80%	0%	気中	1.60	18.87	0%	気中	1.60	18.87
				2.00	15.85			2.00	15.85
			2%	1.20	49.74	2%	水中	1.56	81.85
				1.27	45.95			1.33	57.83
4%			1.07	77.67	4%	気中	1.38	111.34	
			1.87	69.03			1.38	77.80	
6%		0.63	66.02	6%	水中	1.35	112.71		
		0.93	67.18			0.97	51.94		

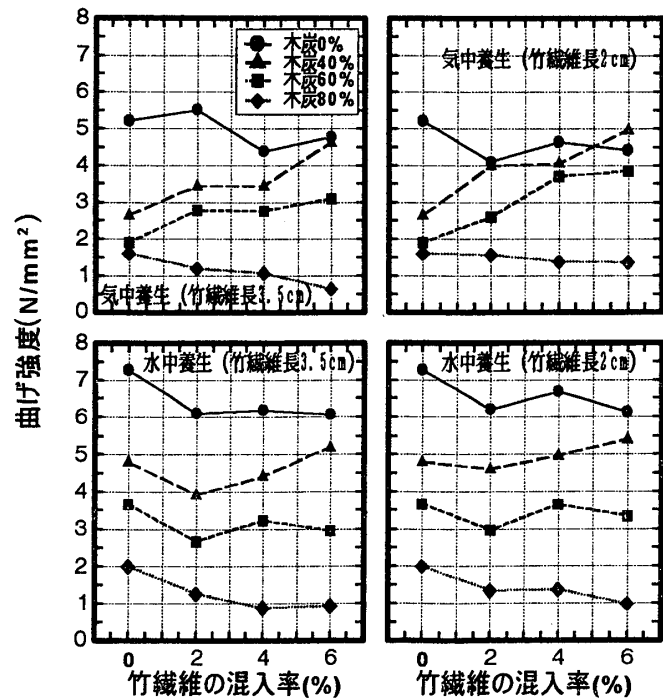


図-3 曲げ強度と木炭および竹繊維混入率の関係

3.3 曲げタフネスおよび換算曲げ強度

図-6 に曲げ荷重—変位曲線の一例を示す。竹繊維無混入の場合は最大荷重に達した後破断に至っているが、竹繊維が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ている。これより竹繊維を混入しているものには靱性があることが確認できた。

図-7 に繊維長および養生条件ごとに曲げタフネスと竹繊維混入率の関係を示す。曲げタフネスの算出においては、曲げタフネスに及ぼす繊維の混入率の影響が明確に現れ、かつたわみの測定に問題が生じないことを考慮し、変位がスパン(l)の $1/50 (=3\text{cm})$ となるまでの曲げ荷重—変位曲線下の面積より求めた。また所定の変位に達する以前に供試体が破壊した場合には、破壊直前までの面積を求めた。図より若干ばらつきはあるが、繊維の長さおよび養生条件に関わらず、曲げタフネスは木炭混入率が増加するとともに低い値を示している。竹繊維混入率が大きくなるにつれて曲げタフネスの値も大きくなっていることがわかる。図-8 に換算曲げ強度と竹繊維混入率の関係について示している。換算曲げ強度とは、曲げタフネスの供試体寸法の影響を取り除いた指標であり、ここでは変位がスパン(l)の $1/50$ となるまでの曲げタフネスを変位量(3cm)で除した平均荷重から求めた値である。したがって換算曲げ強度の算出式は式(2)となる。

$$\bar{\sigma} = \frac{T_b}{\delta tb} \cdot \frac{3l}{2bt^2} \quad (2)$$

T_b : 曲げタフネス(N・mm)

δtb : 限界点のたわみ(3cm)

b : 破断面の幅(mm)

t : 破断面の厚さ(mm)

図より若干ばらつきはあるものの、繊維の長さおよび養生条件に関わらず、換算曲げ強度は木炭混入率が増加するとともに低い値を示している。さらに、竹繊維混入率の増加とともに、換算曲げ強度も増加する傾向が見られる。これらの図より、竹繊維を混入することによって靱性が向上することが確認できた。また本実験では竹繊維長さが短い 2cm の方が曲げ

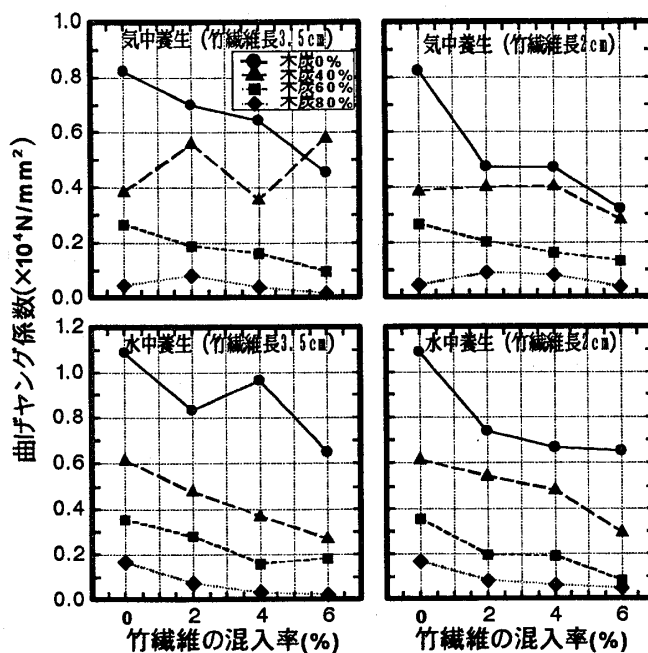


図-4 曲げヤング係数と木炭および竹繊維混入率

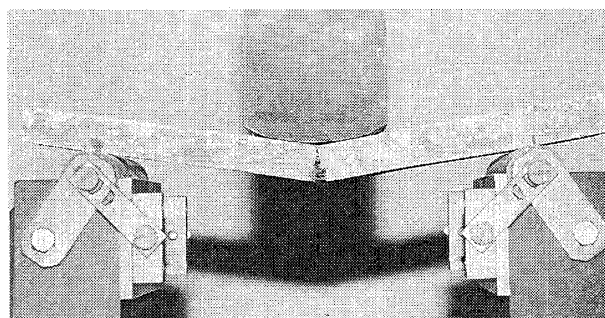


図-5 破壊状況

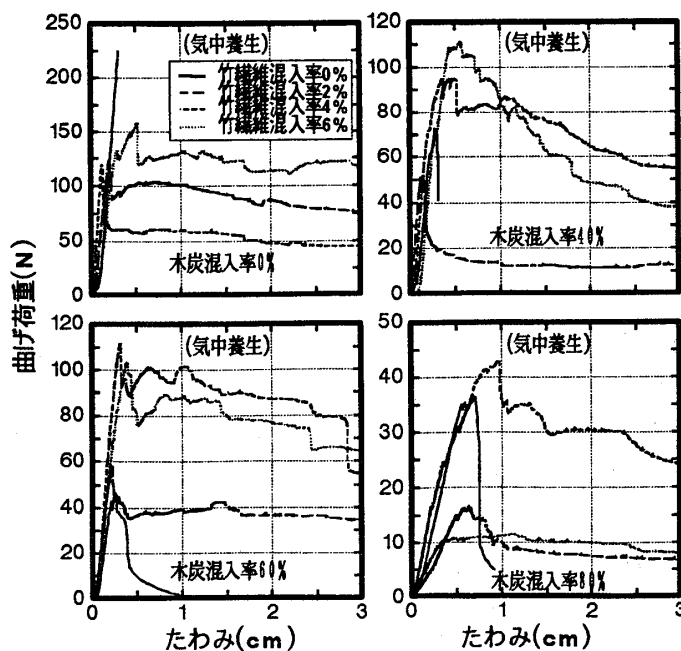


図-6 曲げ荷重—たわみ曲線

また本実験では竹繊維長さが短い 2cm の方が曲げタフネスの値が大きくなる結果となった。これは繊維長さが 2cm の方が型枠へ打ち込みやすく、3.5cm の供試体より竹繊維が分散されたことによるものと考えられる。今後は、型枠や打設方法についても検討していく必要があるものと思われる。

4. まとめ

木炭と竹繊維の自然素材を利用したセメント系ボードの開発を目標として、本報告では、試作したボードの曲げ強度試験について検討を行った。その結果、木炭の保水性の機能より木炭を混入することによって乾燥による強度低下を抑制することが分かった。また、竹繊維を混入することにより靱性が向上することが分かった。今後も引き続き供試体の作製方法や木炭の調湿性などについて検討していく予定である。

【謝辞】

本研究は、大分県産業科学技術センター(材料開発部・大内成司氏)および(株)ハマミ(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、日田市森林組合事業部炭化事業所(所長・園田宗一)より提供して頂いた。また、竹繊維の糖分の測定に関しては、大分県産業科学技術センター・別府産業工芸試験所・二宮信治氏に協力して頂いた。実験およびデータの整理については本学技官・遠矢義秋氏に協力して頂いた。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)馬, 黒木, D.A.Eusebio 他:竹質セメントボードの製造(第 1 報)竹材混合セメントペーストの水和特性, 木材学会誌, vol.42, No.1, pp.34-42, 1996
- 2)佐藤, 川上他: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 1), (その 2)日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1 材料施工, pp.253-256, 1999
- 3)大谷, 村上他:木炭を利用した多機能コンクリートの研究開発, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 36 号 pp.57-60, 1997

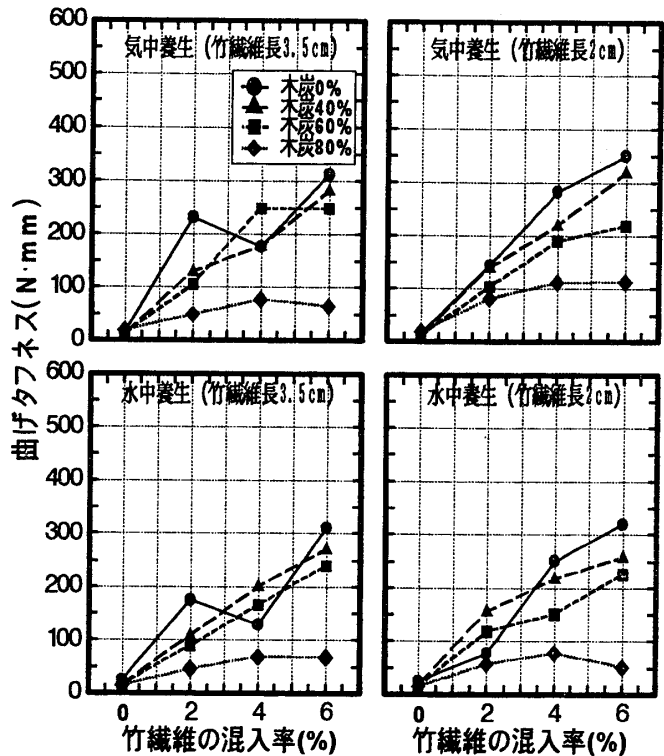


図7 曲げタフネスと木炭および竹繊維混率の関係

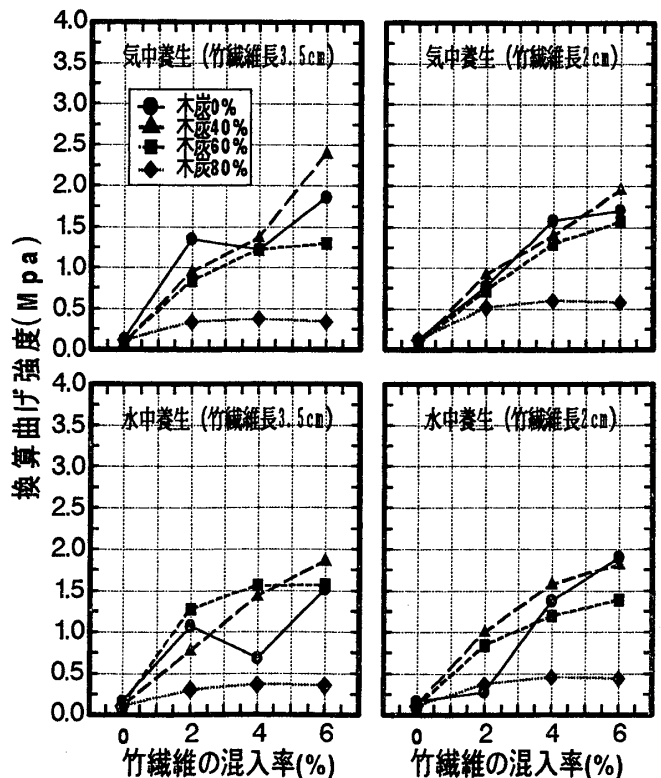


図8 換算曲げ強度と木炭および竹繊維混入率の関係