

論文 細片化した木材を混合したコンクリートの基礎的性状

新藤 健太^{*1}・平松 靖^{*2}・宮武 敦^{*3}

要旨：木材とセメントを混練する場合、木材の樹種や部位によってはセメントの硬化を阻害することが知られている。本研究では、細片化した木材＝スギ心材をコンクリート（本研究ではモルタル）に混合した時の混練性状や強度性状を調べるため、木材細片の形状や前処理方法などを変動要因として検討を行った。その結果、木材細片にあらかじめ適切な処理を施すことによって、セメントの硬化阻害を抑制できることがわかった。

キーワード：木材細片, 繊維補強モルタル, 硬化阻害, 前処理

1. はじめに

林地残材や間伐材, 建築廃材の有効利用が求められる中, 近年では木材加工技術の進歩により, 様々な形状の細片や繊維の製造が可能になっている。筆者らは, これまで木材を細片化する技術として, ロールプレススプリッターによる割裂細片化技術や圧密装置による爆裂細片化技術^{1), 2)}を開発し, 特許等を取得してきた。また, 近年では様々な用途に応じた木材細片に加工するための機械も開発されている。

一方, 木材には樹種によっていくつかの, セメントの硬化を阻害する成分が含まれていることが知られており, 木材-セメント複合材料を製造する場合の多くは, これらの成分を含まない樹種を限定して使用する対策が取られている。建築廃材や林地残材を木材-セメント複合材料に利用する場合, 最も一般的な樹種はスギであるが, その心材部分にはセメントの硬化阻害成分が含まれており, 原材料には不適とされている。

本研究では, 木材細片として一般的なパーティクルをコンクリート（本研究ではモルタル）に混合した時のセメント硬化阻害成分が強度に与える影響や, フレッシュ性状などを調べるため, 細片の形状や前処理の方法などを変動させ

て検討を行った。

2. 木材エレメント

2.1 木材エレメントの種類

木材を切削や粉碎等によって小片化したものは木材エレメントと呼ばれ, 主として木質系ボード類の原料として用いられることが多い。木材エレメントは, その形状や粒状性によって, それぞれ名称が異なる。表-1に主なものを示す。

本研究では, 大量生産技術が確立されていること, 練混ぜの容易さなどを考慮して, 木材小片のうちパーティクルを混和材として用いることにした。なお, パーティクルと木材繊維(ファイバー)は木材業界では分類が異なるものの, コンクリートにおいては繊維補強という名称が一

表-1 木材エレメントの種類

形状	種類	主な製品
ストランド	木毛 割裂ストランド	木毛セメント板
木材小片	チップ パーティクル	パーティクルボード OSBボード 硬質木片セメント板
木材繊維	ファイバー	ファイバーボード インシュレーション ボード

*1 (独)森林総合研究所 複合材料研究領域積層接着研究室主任研究員 博(工) (正会員)

*2 (独)森林総合研究所 複合材料研究領域積層接着研究室主任研究員 博(農)

*3 (独)森林総合研究所 複合材料研究領域 チーム長

一般的であるため、以下本研究で用いるパーティクルを木材繊維と呼ぶ。

2.2 木材繊維の製造

本研究に用いる樹種は、建築廃材・林地残材の多くを占めるスギとし、加工時に粉体の発生が少ないことから生材を用いた。後述するが、スギ材は特に心材部分にセメントの硬化阻害成分が含まれるため、主として心材部分を用いた。目視による区分で、約8割程度が心材であった。

材料は棒状の角材を、木材チップパーと呼ばれる切削機械(写真-1)で20×20×10(mm)程度のチップに加工した。その後ハンマーミル(写真-2)を用いて、木材繊維を製造した。機械に設置されるメッシュを2種類用い、粒度の異なる繊維を3種類製造した。

2.3 木材繊維の形状

3種類の木材繊維の形状を写真-3~5にそれぞれ示す。繊維1は、ハンマーミルのメッシュを7×30(mm)にセットしてチップを破碎したのち、さらにそれを3×20(mm)のメッシュで再破碎して製造した。繊維2は、ハンマーミルのメッシュを7×30(mm)にセットしてチップを破碎したのみで、粒状性がやや大きい。繊維3は、チップを直接3×20(mm)のメッシュで粉碎したもので、形状は繊維1とほぼ同等であるが、粉碎に負荷が大きい分、短繊維や粉末が多く発生した。

3. 木材繊維補強モルタルの混練

3.1 木材のセメント硬化阻害成分

前述の通り、スギ材の特に心材部分には、セメントの硬化阻害成分が含まれており、安田らの研究³⁾によれば、ノルリグナンのセキリンCや



写真-1 木材チップパー



写真-2 ハンマーミル



写真-3 木材繊維の形状(繊維1)



写真-4 木材繊維の形状(繊維2)



写真-5 木材繊維の形状(繊維3)

糖アルコールのピニトールが挙げられている。それらの化学構造を図-1に示す。同文献では、硬化促進剤として塩化マグネシウムを用いると効果的であるとされているが、本研究においては構造部材(二次部材)の製造を念頭においているため、鉄筋等との併用を考慮して塩化物系の硬化促進剤は用いずに、木材の前処理によってセメントの硬化阻害成分の低減を図ることとした。また、試験条件をより危険側で行う目的から、本研究で用いた木材繊維は、主に硬化阻害成分が多く含まれる心材部分を用いて製造した。

3.2 木材繊維の前処理

高野らの研究⁴⁾では、木材の前処理方法として、浸水処理80°C-180分(カラマツ木毛)が挙げられ、小谷らの研究⁵⁾では、竹材の脱脂処理方法としてNaOH0.02%溶液で20分煮沸がそれぞれ示されている。

本研究では、量産することを念頭に、水による処理、水セメント比300%相当のアルカリ水処理、比較の対象としてエタノール処理をそれぞれ行った。処理方法を表-2に示す。

3.3 木材繊維の密度と表乾密度と表面水率

本研究に用いた木材繊維の原料であるスギ材の絶乾密度を JIS Z 2101 に定める密度測定法により測定した結果、0.31(g/cm³)だった。細胞の内こうや細胞壁中の空げきを除いた木材の真比重は1.5である⁶⁾ことが知られているので、木材繊維の空げき率は79.4%になる。これより、本研究で用いた木材繊維の表面乾燥飽水状態における表乾密度1.10(g/cm³)、含水率256%をそれぞれ算定した。

練混ぜに際しては、各方法で前処理を施した木材繊維の含水率を JIS Z 2101 に定める含水率測定法によって測定し、表面水率に換算して補正した。

3.4 使用材料および配合

使用材料を表-3に、モルタルの配合を表-4にそれぞれ示す。調合は、水セメント比を50%とし、セメントー細骨材比を1:3とした。

混入させる木材繊維は、セメント容積比で0%

10%、20%、30%とし、それぞれ細骨材から体積比で置換した。前述の前処理を行い、硬化促進剤は使用しなかった。

また前出の研究⁹⁾から、速硬セメントを用いることで硬化阻害成分が溶出し始める前に拡散を抑制させる効果があることが示されているためここでは早強ポルトランドセメントを用いた。

細骨材は主として天然骨材である川砂を用い、比較のために人工軽量骨材も一部使用した。

混練にあたっては、木材繊維の形状から空気

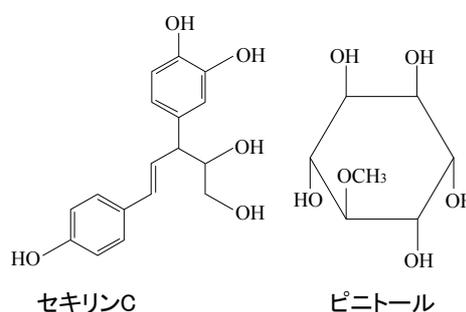


図-1 セキリンCおよびピニトールの化学構造³⁾

表-2 木材繊維の前処理

処理No.	種類	処理方法
処理1	水	浸漬 20°C-180分
処理2		80°C-180分
処理3		煮沸 100°C-20分
処理4	セメント水	浸漬 80°C-180分
処理5	エタノール	20°C-65時間

表-3 使用材料

使用材料	種類および性質
セメント (C)	早強ポルトランドセメント 密度: 3.13(g/cm ³)
水 (W)	水道水
細骨材1 (S1)	大井川産川砂 表乾密度: 2.58(g/cm ³), 吸水率: 2.19(%)
細骨材2 (S2)	人工軽量骨材 (メサライト) 表乾密度: 2.00(g/cm ³)
木材繊維 (WP)	パーティクルに加工後前処理 樹種: スギ(心材率約8割) 表乾密度: 1.10(g/cm ³) 絶乾密度: 0.31(g/cm ³)
高性能AE減水剤 (Ad)	ポリカルボン酸エーテル系化合物 (レオビルドSP8N-X2)
消泡剤 (Ma)	ポリアルキレングリコール誘導體 (マイクロエア404)

表-4 モルタル配合表

No.	木材繊維の種類と前処理方法	木材繊維置換率(%) ^{*1}	水セメント比(%)	単位量(kg/m ³)					備考		
				W	C	S1(S2)	WP	Ad ^{*2}		Ma	
1	—	0	50	252.2	504.5	1513.4	—	4.6	木材繊維なし 水20℃180分 水80℃180分 水100℃20分 エタノール 人工軽量骨材 セメント水 80℃180分 水80℃180分 No.10+消泡剤 No.11+消泡剤		
2	繊維1+処理1	10		249.9	499.8	1482.0	17.6	4.5			
3	繊維1+処理2										
4	繊維1+処理3										
5	繊維1+処理5										
6	—	0		252.2	504.5	(1172.9)	—	4.6			
7	繊維1+処理4	10		249.9	499.8	1482.0	17.6	4.5			
8	繊維2+処理4										
9	繊維3+処理4										
10	繊維1+処理2	20		247.7	495.4	1451.3	34.8	4.5		水80℃180分	
11		30		245.4	490.9	1420.9	51.7	4.4		水80℃180分	
12		20		247.7	495.4	1451.3	34.8	4.5		3.96 ^{*3}	No.10+消泡剤
13		30		245.4	490.9	1420.9	51.7	4.4		7.85 ^{*4}	No.11+消泡剤

*1 セメント容積比(10~30%)相当分を細骨材(S1)と置換,

*2 C×0.9%添加

*3 1%水溶液による量を表記. C×0.008%添加,

*4 1%水溶液による量を表記. C×0.016%添加

量の増加が予想されたため、混和剤として低空気連行型の高性能AE減水剤を用い、一部の試験体ではさらに消泡剤を使用した。

3.5 混練方法

モルタルの混練には、JIS R 5201 に準拠した容量5Lのホバート型ミキサーを使用し、1バッチの練り量は約1.5Lとした。時間は、セメント+水+混和剤を低速で30秒空練り後、細骨材+木材繊維を投入し高速30秒混練し、かき落とし静止1分30秒後、高速で1分混練して排出した。

3.6 試験項目

練上がり直後のモルタルのフレッシュ性状として、JIS R 5201によるフロー試験、JIS A 1116による空気量試験および練上がり温度をそれぞれ行った。強度性状については、JIS R 5201で定める方法に準拠して、40×40×160(mm)の3連型枠を用いて供試体を成型し、曲げ強度および圧縮強度をそれぞれ調べた。養生は標準(水中)養生とした。時間的な制約と早強ポルトランドセメントを使用していることもあって、ここでは材齢7日で強度試験を実施した。

4. 実験結果

4.1 木材繊維補強モルタルのフレッシュ性状

木材繊維モルタルのフレッシュ性状一覧を表-5に、木材繊維混入率とフロー値・空気量との関係を図-2にそれぞれ示す。フロー値は、人工軽量骨材を用いた試験体を除き180~190台で、分離やファイバーボールの発生もなく、適切な施工性状を示した。木材繊維の混入(置換)率が高くなるに従って空気量は上昇するが、消泡剤を添加することによって空気量を抑制できることがわかった。その際、消泡剤を添加してもフロ

表-5 フレッシュ性状

No.	木材繊維置換率(%)	練上がり温度(℃)	フロー値	空気量(%)	備考
1	—	21.0	183	5.6	木材繊維なし
2	10	21.0	191	10.3	水20℃180分
3		21.0	190	10.7	水80℃180分
4		21.0	189	8.6	水100℃20分
5		21.5	186	7.9	エタノール
6	—	21.0	225	13.1	人工軽量骨材
7	10	20.0	194	11.2	セメント水 80℃180分
8		20.0	188	8.2	
9		20.0	190	9.8	
10	20	20.0	195	12.6	水80℃180分
11	30	20.0	193	14.5	水80℃180分
12	20	21.0	189	10.2	No.10+消泡剤
13	30	20.0	183	9.4	No.11+消泡剤

一値は190前後にとどまった。

4.2 木材繊維補強モルタルの強度性状

材齢7日時における密度と、曲げおよび圧縮強度試験の結果を表-6に示す。結果、木材繊維の前処理の違い(No.2~5,7)による曲げ・圧縮強度性能を比較すると、木材を100℃の水で20分間煮沸処理した試験体No.4が、エタノールを用いて硬化阻害成分を除去した試験体No.5と同等かそれ以上の強度性能を示した。また水セメント比300%相当のセメント水で浸漬処理した試験体No.7は、水80℃180分で処理した試験体No.3と同等の強度性状を示し、アルカリ水による効果は認められなかった。

木材繊維の粒状による違い(No.7~9)を比較すると、比較的粒度の大きい繊維2を用いた試験体No.8が、粒度の小さい繊維1を用いた試験体No.7ならびに繊維3を用いた試験体No.9より強度性能が高かった。これは繊維の粒度が大きいことによって混練時に巻き込む空気量が抑えられたことによるものと考えられる。

木材繊維混入率の違い(No.3,10,11)で比較すると、10%置換した試験体No.3から、20%置換した試験体No.10、30%置換した試験体No.11の順で、強度性状は低下していた。逆に空気量は、30%置換した試験体No.11が最も高くなっており、混練時に巻き込まれる空気が強度性状に影響していることがわかった。

また消泡剤の添加の有無(No.12と10)(No.13と11)で比較すると、消泡剤を添加した試験体No.12(木材繊維20%)およびNo.13(木材繊維30%)は、消泡剤を添加しなかった試験体No.10(木材繊維20%)およびNo.11(木材繊維30%)に比して、強度性状がかなり改善される結果になった。

木材繊維混入率30%試験体の、曲げ試験後の性状を写真-6に示す。曲げひび割れを横断する木材繊維が目視にて多数観測された。既往の研究成果²⁾も踏まえ、靱性能の向上が示唆される。

また、フレッシュ時の空気量と曲げ強さ(材齢7日)の関係を図-3に、同様に空気量と圧縮強さ(材齢7日)の関係を図-4にそれぞれ示す。曲げ強さ、

圧縮強さとも、強度と空気量の関係はほぼ線形関係にあり、木材繊維の混入率が高くなるほど強度も低下する傾向が見られた。しかしながら消泡剤を添加することによって、おおむね線形関係を維持しつつ強度性状の改善が認められ、

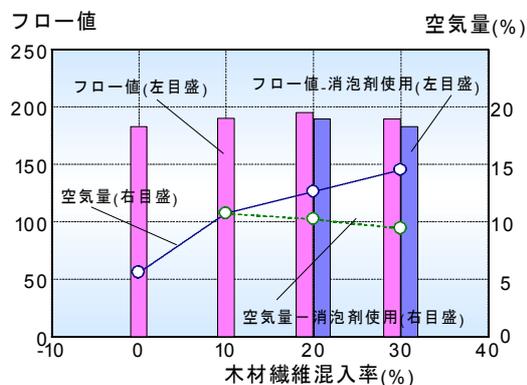


図-2 木材繊維混入率とフロー値・空気量の関係

表-6 強度性状

No.	木材繊維置換率(%)	密度(g/cm ³)	曲げ強さ(N/mm ²)	No.1との比	圧縮強さ(N/mm ²)	No.1との比
1	—	2.22	8.17	(1.00)	49.0	(1.00)
2	10	2.11	7.07	0.87	39.5	0.81
3		2.09	6.99	0.85	36.4	0.74
4		2.14	7.63	0.93	41.7	0.85
5		2.16	6.87	0.84	43.3	0.88
6		—	1.77	6.13	0.75	35.8
7	10	2.09	6.79	0.83	38.3	0.78
8		2.13	7.17	0.88	40.3	0.82
9		2.12	7.11	0.87	39.2	0.80
10	20	2.05	6.54	0.80	31.8	0.65
11	30	1.99	5.97	0.73	27.7	0.56
12	20	2.09	6.65	0.81	35.0	0.71
13	30	2.09	6.58	0.80	34.2	0.70



写真-6 曲げ試験後の試験体の破壊性状 (No. 11—木材繊維30%混入)

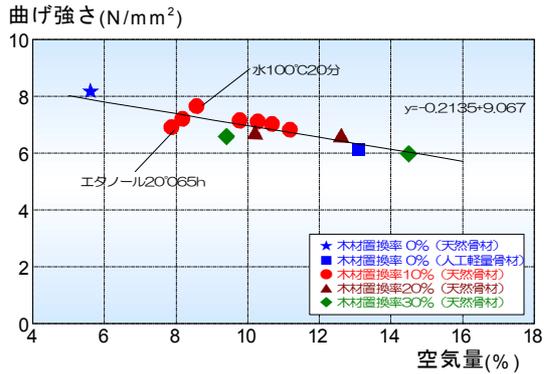


図-3 空気量と曲げ強度の関係(材齢7日)

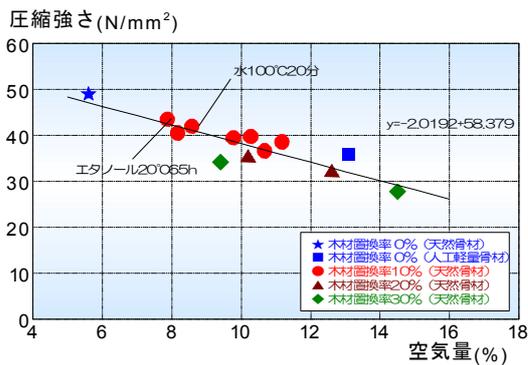


図-4 空気量と圧縮強度の関係(材齢7日)

繊維が巻き込む空気(気泡)に対しても、消泡剤が有効であることが確認された。

本試験から、スギ小片(パーティクル)を適切に前処理することによって、少なくとも木材繊維混入率がセメント容積比30%以下であれば、スギ心材に多く含まれるセメント硬化阻害成分の強度性状に与える影響は顕在化しないものと推測された。

5. まとめ

木材繊維(パーティクル)を混入させた繊維補強モルタルの混練を行い、強度試験を実施した結果、下記の知見を得た。

1. フロー値は、人工軽量骨材を用いた試験体を除き180~190台で、分離やファイバボールの発生もなく、適切な施工性状を示した。
2. 曲げ強さ・圧縮強さと空気量は、おおむね線形関係にあり、木材繊維混入率が増加すれば強度は低下する傾向が見られた。また消泡剤を添加することによって、曲げ・圧縮強さと

も改善が図られ、練混ぜ時に巻き込まれた気泡に対しても消泡剤が有効であることが確認された。

3. スギ心材を用いた木材繊維の前処理方法は、100°Cの水で20分間煮沸することによって、エタノールで硬化阻害成分を除去した時と同等の強度性能を確保できることがわかった。少なくとも木材繊維混入率がセメント容積比30%以下であれば、スギ心材に含まれるセメント硬化阻害成分が強度性状に与える影響は顕在化しないものと推察された。

参考文献

- 1) 平松 靖, 新藤健太, 宮武 敦: 割裂および熱圧爆裂細片化による木材のリサイクル技術—その1. 割裂および爆裂細片の製造, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, 材料施工, pp.731-732, 2006.9
- 2) 新藤健太, 平松 靖, 宮武 敦: 割裂および熱圧爆裂細片化による木材のリサイクル技術—その2. 割裂ストランドを用いた繊維補強モルタルの混練, 日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, 材料施工, pp.733-734, 2006.9
- 3) 安田征市, 松下泰幸: 木材のセメント硬化阻害成分とその対応策, 木材工業, Vol.58, No.6, pp.252-257, 2003.6
- 4) 高野了一, ほか: 木材と技術, 6号, 5, 1971.5
- 5) 小谷公人, 古曳博也, 二宮信治, 鈴木憲太郎: 竹材における各種防腐条件と薬剤注入量との関係, 木材保存, Vol.24-1, pp.16-24, 1998.1
- 6) 伏谷賢美ほか: 木材の物理, 文永堂出版, pp.12, 1985.9

謝辞: 本研究は、農林水産技術会議プロジェクト「農林水産バイオリサイクル研究」のうち「林産業に係わるエコシステム創出に関する技術開発」の一環として行われた。

試験の実施に当たっては(株)八洋コンサルタントの金谷氏, 片桐氏に貴重な助言をいただいた。記して謝意を表する次第である。