

論文 解体木材を用いた木片コンクリートの曲げ・圧縮変形状

周 建東*¹ 川村政史*² 笠井芳夫*³

要旨：副産木材を有効に再利用するため、木片を型枠に詰め、圧密した後、その隙間にセメントペーストを注入して硬化させ、木片コンクリートを製造する方法を開発した。この材料はプレキャスト部材として間柱、間仕切り壁および床板など屋内へ使用できる。試験の結果、木片コンクリートの性質は水セメント比および木片の充填率と密接な関係があった。圧縮強度および曲げ強度については既に報告した [1]。ここでは、木片コンクリートの曲げ・圧縮変形状について報告する。曲げ靱性は水セメント比および木片充填率が大きくなるほど大きくなる。曲げヤング係数及び圧縮ヤング係数は水セメント比および木片充填率が小さくなるほど大きくなる。

キーワード：解体木材の再利用、木片コンクリート、曲げ変形、圧縮変形、応力-歪み曲線

1 はじめに

建造物の解体及び新築によって発生する建設副産木材は、全国では年間約 1500 万 m^3 に達するものと推定されている [2]。建設副産木材とは主に解体材、その他新築の際の余り材、切端材なども含んでいる。これまで副産木材の主用途であった燃料用チップの需要が減少しており、新規利用の開発が急務である。筆者らは副産木材を有効に再利用するため、木片充填体の空隙にセメントペーストを注入することにより木片コンクリートを製造する方法を新たに開発した [1]。従来の木片コンクリートの木片充填率は 10 ~ 40 % の範囲で、製品の密度は 1200 ~ 2000 kg/m^3 で、圧縮強度は 5.0 ~ 15.0 MPa で、曲げ強度は 2.0 ~ 6.3 MPa である [3,4]。本研究では、木片の充填率は 60 % まで可能であり、製品の密度は 920 ~ 1250 kg/m^3 である。木片の充填率を増やすことにより、製品の密度を小さくすることができ、木片を多量に再利用することができる。本報告は木片コンクリートの曲げ、圧縮変形状に及ぼす木片充填率およびセメントペーストの水セメント比の影響についての実験結果である。

この材料はプレキャスト部材として間柱、間仕切り壁および床板など屋内への使用が期待できる。なお、製造設備としては木片の粒度分布の調整、型枠への圧密充填、ペーストの注入設備など比較的単純な設備で済むものと考えている。

2. 実験概要

2.1 使用材料

(1) **木片** 木片は「木くずチップ工場」で回転衝撃ハンマークラッシャーを用いて製造したもので、樹種は松、杉、桧等針葉樹が混合されたものである。木片の長さは 5 ~ 70 mm 、幅は 2 ~ 20 mm で、アスペクト比は 5 ~ 25 である [5]。

(2) **セメント** 普通ポルトランドセメント（比重：3.16、比表面積：3270 cm^2/g ）

(3) **混和剤** フローイングコンクリート用特殊混和剤（主成分：ナフタレン系高性能減水剤

*1 日本大学大学院 生産工学研究科建築工学専攻、工修（正会員）

*2 日本大学専任講師 生産工学部建築工学科、工修（正会員）

*3 日本大学教授 生産工学部建築工学科、工博（正会員）

と分離防止と粘性賦与のための特殊水溶性高分子から成る1液型混和剤)

2.2 試験方法及び測定項目

2.2.1 曲げ試験： 三等分点荷重法 (JIS A 1106) に準じて行った。ダイヤルゲージを用いて供試体中央のたわみ、ストレンゲージを用いて供試体の圧縮側と引張側のひずみを測定した。

曲げタフネスはJSCE - G552の試験方法を参考し、特定たわみを2mmとして求めた。

2.2.2 圧縮試験： (a) 部分圧縮：JIS A 1114により曲げ試験を行った供試体の折片を用いて圧縮試験を行った (図-1 (a) 参照)。

(b) 縦方向全面圧縮：100 × 100 × 200mmの供試体を縦にして圧縮試験を行った (図-1 (b) 参照)。圧縮変形の測定は、差動トランス型ひずみ計を用い、供試体中央部100mm範囲の圧縮ひずみを測定した。

2.2.3 供試体の寸法

曲げ強度用試験体の寸法は100 × 100 × 400mmで、供試体の数は各3個とした。圧縮強度用試験体は曲げ試験の折片を用い、上下に100 × 100 × 20mmの耐圧板を置いて圧縮試験を行った。圧縮変形試験用供試体の寸法は100 × 100 × 200mmとした。上記2試験は供試体の数を各3～6個とした。

2.3 木片コンクリート供試体の作り方

2.3.1 木片コンクリートの調査

本研究に用いた木片コンクリートの調査を表-1に示す。木片の充填率は30～60%、セメントペーストの水セメント比は35～60%、特殊混和剤添加量はセメント質量の1.0～1.5%とした。

2.3.2 注入セメントペーストの練り混ぜ方法

セメントペーストは流し込み注入するため流動性と分離抵抗性が要求される。それらを確保する為、セメントペーストの練り混ぜにはダブルミキシング [6] を採用した。これは練り混ぜ水の一部 (予備試験結果により、この一次水添加量を23%とした) に特殊混和剤を全量加え、全量のセメントと一緒にモルタルミキサーに投入し、2分間高速で練り混ぜた後、水の残部を加えて更に2分間低速で練り混ぜた。

セメントペーストの流動性はJA ロート流下時間により評価し、ブリージング率は土木学会規準「プレパックドコンクリートの注入モルタルのブリージング率及び膨張率試験方法 (JSCE - F522-1986)」により測定した。

2.3.3 供試体の作製

木片の絶乾密度 (420～430kg/m³ [5]) を規準とし、使用時木片の含水率を考慮して、各木片充填率に対応させ、100 × 100 × 400mmの型枠に充填するために必要な木片の質量をはかりとった。この木片を水道水に30分間浸し、遠心機を用いて1分間脱水した。次に上部に補助枠を付けた型

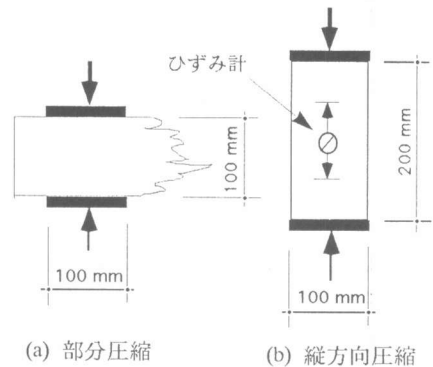


図-1 圧縮試験方法

表-1 木片コンクリートの調査及び試験項目

V _w W/C	30%	40%	50%	60%	試験項目
35%	○	--	○	○	各○を付けた所は 1.曲げ試験 2.部分圧縮試験 3.全断面圧縮試験 を行った。
40%	--	○	○	--	
50%	○	○	○	○	
60%	○	--	○	--	

V_w:木片の体積充填率 W/C:セメントペーストの水セメント比

枠に木片を入れ、おとしぶたを用いて圧密充填した。落としぶたを型枠の中に10mm位入るまで押しつけるために必要な圧密応力は0.5～0.9MPaであった。補助枠及び落としぶたをとり、圧密応力を解除し、木片の圧密変形が回復する前に素早く型枠上面を覆う蓋を置き、万力を用いて蓋と型枠とを固定した。そのまま型枠を長辺方向に約15度傾け、水頭差約2mの位置に設置した容器より内径15mmのホースを用いて型枠の低い方の端の底面から、木片の隙間にセメントペーストを注入した。注入所要時間は木片充填率が大きいほど速かったが、ほぼ20～35秒の範囲で、平均約30秒程度であった。型枠を傾けておくことにより空気は型枠上端部に設けた小孔から放出され、注入をスムーズに行うことができた。

2.3.4 供試体の養生

養生は、7日まで温度20℃・封緘養生とし、7日以後温度20℃・相対湿度60%の空气中養生とした。試験時供試体の材齢は28日であった。

3 試験結果及び考察

3.1 強度試験結果

木片コンクリートの曲げ強度および圧縮強度試験結果を表-2に示す。木片充填率を一定とした場合、曲げ強度と圧縮強度はいずれもセメントペーストの水セメント比が小さくなるほど強度が大きくなる傾向が見られた。一方、水セメント比を50%とした場合、木片の充填率が大きくなるほど曲げ強度は大きくなるが、圧縮強度は小さくなった。全般的に見ると、圧縮強度の変動係数は曲げ強度の変動係数より小さかった。縦方向全面圧縮強度と部分圧縮強度の比は平均で0.95程度であった。

表-2 木片コンクリートの強度試験結果(材齢28日)

木片充 填率 W/C	30%		40%		50%		60%	
	曲げ強度	圧縮強度	曲げ強度	圧縮強度	曲げ強度	圧縮強度	曲げ強度	圧縮強度
35%	5.3	8.3(0.08)	5.6*	7.8*	6.3(0.10)	7.2(0.03)	5.8	6.8(0.06)
40%	5.0*	8.1*	5.3	7.5(0.06)	6.0(0.06)	6.9(0.05)	5.8*	6.5*
50%	4.1(0.10)	7.7(0.05)	4.4(0.11)	7.2(0.06)	4.7(0.08)	6.5(0.06)	4.8(0.08)	5.9(0.05)
60%	3.7	6.7(0.08)	3.8*	6.4*	4.4(0.06)	5.7(0.06)	4.3*	5.3*

注：強度は平均値(MPa)、圧縮強度は部分圧縮試験結果、()内は変動係数、*付き数字は木片の充填率及び水セメント比を変数として求めた強度の重回帰式に基づく計算値

3.2 木片コンクリートの曲げ特性 に関する試験結果

3.2.1 曲げ荷重-変形特性

木片コンクリートの代表的な曲げ荷重と供試体中央点たわみとの関係を図-2～図-3に示す。曲げ荷重-たわみ曲線は、木片充填率及び水セメント比によらず、最大荷重の約90%までほぼ直線になったが、その後上に凸の曲線を書いて最大荷重に達し、次いでたわみが大きく

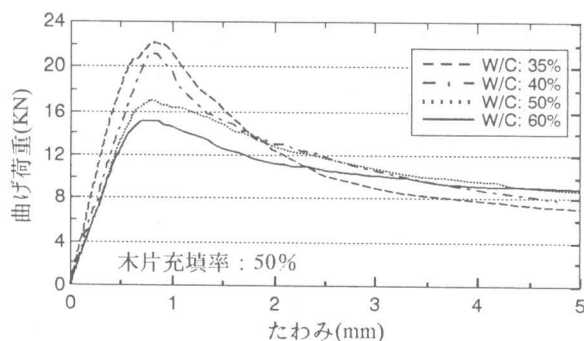


図-2 木片コンクリートの曲げ荷重-たわみ曲線
(水セメント比を変えた場合)

なるに従って荷重は減少した。最大荷重を超えた後、荷重下降域の降下勾配は水セメント比が小さいほど（図－2）、木片充填率が小さいほど（図－3）大きかった。

3.2.2 曲げたわみ

木片コンクリートの曲げ特性値を表－3(a)～(b)に示す。木片充填率を一定とした場合、水セメント比が小さくなるほど最大荷重時の中央点たわみは僅かに大きくなった。水セメント比を

一定とした場合、木片充填率が大きくなるほど最大荷重時のたわみは大きくなることが分かった。

3.2.3 曲げタフネス

木片コンクリートの曲げ靱性を検討するため、特定たわみ 2mm までの曲げ全タフネス及びタフネス比を求めた。タフネス比^{注1)}は最大荷重を超えた後の荷重減少程度を示すもので、大きくなるほど曲げ靱性が大きくなることを示す。平均曲げ耐力^{注2)}はたわみ 0 から特定たわみ 2mm までの平均耐力を示すものである。計算結果を表－3に示す。

表－3 木片コンクリートの曲げ特性値

(a). 木片充填率を 50 % として、水セメント比を変えた場合

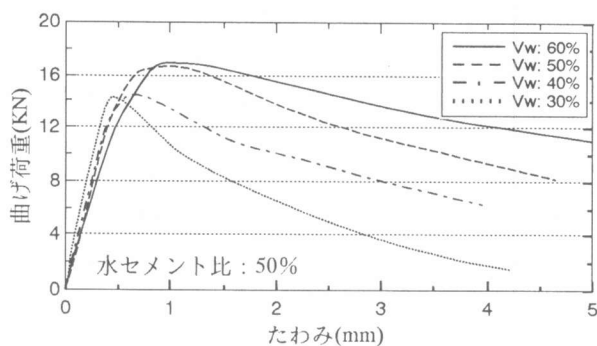
水セメント比	項目	曲げ耐力 Pmax (KN)	撓み (Pmax時) (mm)	全タフネス (KN・mm)	タフネス比	平均曲げ 耐力 (KN)	曲げ ヤング係数 (10 ³ MPa)
35%	平均値 (変動係数)	22.2 (0.09)	0.837 (0.21)	30.7 (0.11)	0.691 (0.06)	15.4 (0.11)	2.6 (0.08)
40%	平均値 (変動係数)	21.1 (0.06)	0.824 (0.13)	29.1 (0.07)	0.689 (0.04)	14.6 (0.07)	2.0 (0.08)
50%	平均値 (変動係数)	17.1 (0.07)	0.809 (0.15)	26.2 (0.08)	0.766 (0.04)	13.1 (0.08)	1.9 (0.07)
60%	平均値 (変動係数)	15.2 (0.10)	0.742 (0.17)	23.6 (0.08)	0.776 (0.05)	11.8 (0.08)	1.6 (0.10)

(b). 水セメント比を 50 % として、木片充填率を変えた場合

木片 充填率	項目	曲げ耐力 Pmax (KN)	撓み (Pmax時) (mm)	全タフネス (KN・mm)	タフネス比	平均曲げ 耐力 (KN)	曲げ ヤング係数 (10 ³ MPa)
30%	平均値 (変動係数)	14.3 (0.10)	0.400 (0.20)	18.3 (0.12)	0.643 (0.06)	9.2 (0.12)	2.8 (0.11)
40%	平均値 (変動係数)	14.9 (0.11)	0.649 (0.17)	22.7 (0.09)	0.762 (0.04)	11.4 (0.09)	2.2 (0.09)
50%	平均値 (変動係数)	16.5 (0.07)	0.856 (0.15)	25.9 (0.10)	0.784 (0.05)	13.0 (0.10)	1.9 (0.07)
60%	平均値 (変動係数)	16.8 (0.07)	0.936 (0.16)	27.2 (0.08)	0.810 (0.04)	13.6 (0.08)	1.7 (0.08)

注1) タフネス比＝全タフネス／（最大荷重 Pmax × 特定たわみ δ）

注2) 平均曲げ耐力＝全タフネス／特定たわみ δ



図－3 木片コンクリートの曲げ荷重－たわみ曲線
（木片充填率を変えた場合）

木片の充填率を 50 %とした場合、水セメント比が大きくなるほど全タフネスおよび平均曲げ耐力が小さくなったが、タフネス比は大きくなった。水セメント比を 50 %とした場合、木片充填率が大きくなるほど全タフネス、平均曲げ耐力およびタフネス比が大きくなった。

水セメント比および木片充填率の両者が大きくなるほど木片コンクリートの曲げ靱性が大きくなることが分かった。

3.2.4 曲げヤング係数

曲げ荷重－たわみ曲線に基づき JIS Z 2113（木材の曲げ試験方法）により曲げヤング係数を求めた（表－3）。水セメント比が小さくなるほど曲げヤング係数が大きくなり、木片充填率が小さくなるほど曲げヤング係数が大きくなることが分かった。

3.3 木片コンクリートの圧縮特性に関する試験結果

3.3.1 圧縮応力－変形特性

圧縮試験は図－1(b)に示す方法により行った。供試体中央部 100mm 範囲の圧縮ひずみを測定した。代表的な圧縮応力－ひずみ曲線を図－4～図－5に示す。応力－ひずみ曲線の形状は、木片コンクリートの強度により相違する。図に見られるように、いずれの木片コンクリートも、圧縮強度の大きいもののほど、応力上昇域の勾配は大きくなり、圧縮強度（最大圧縮応力度）時のひずみは小さくなった。すなわち水セメント比が大きくなるほど、木片充填率が大きくなるほど、強度における圧縮ひずみが大きくなった。全般的に見ると、最大応力後の応力下降域における応力低下率は小さく、その割合は最大応力度の 15 %以内であった。崩壊までの変形がかなり大きかった。木片コンクリートの応力下降域の下り勾配は普通コンクリートの値より小さいことが分かった。これは木片とセメントペーストの複合体として圧縮性状が現れるためである。ひび割れが進展した後、荷重は主として木片のかみ合わせ作用や、ひび割れ面における摩擦によって負担されているものと考えられる。

試験結果より、木片コンクリートの圧縮応力上昇域の応力－ひずみ曲線を式（1）により表すことができる。

$$\sigma / f_c = 1 - (1 - \varepsilon / \varepsilon_0)^{2.5} \quad (1)$$

ここに、

σ : 圧縮応力(MPa)、

f_c : 圧縮強度(MPa)、

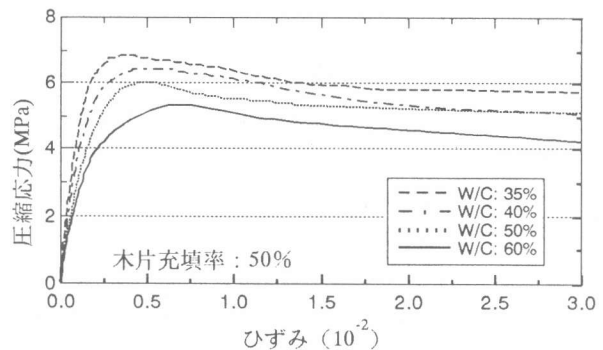
ε : 圧縮ひずみ(10^{-2})、

ε_0 : 圧縮強度時ひずみ(10^{-2})

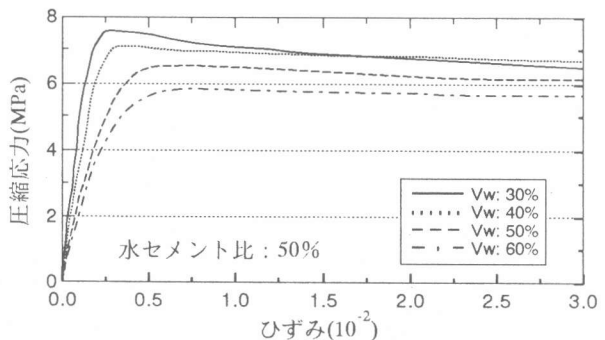
木片コンクリートの圧縮強度時のひずみは式（2）で表示される。

$$\varepsilon_0 = 1.77 - 0.20f_c \quad (2)$$

相関係数： $r = 0.97$



図－4 木片コンクリートの圧縮応力－ひずみ曲線
（水セメント比を変えた場合）



図－5 木片コンクリートの圧縮応力－ひずみ曲線
（木片充填率を変えた場合）

3.3.2 圧縮ヤング係数

木片コンクリートの圧縮応力－ひずみ関係より、圧縮強度の三分の一点の応力とひずみを用いて圧縮ヤング係数を求めた。結果を表－4に示す。水セメント比が小さくなるほどヤング係数が大きくなり、木片充填率が小さくなるほどヤング係数が大きくなった。重回帰分析により、水セメント比と木片充填率から圧縮ヤング係数を推定する式を求めると、次式で表される。

$$E_c = 9.71 - 0.087(W/C) - 0.055V_w \quad (3)$$

重回帰係数：R = 0.97

ここに、 E_c ：木片コンクリートの圧縮ヤング係数（ 10^3MPa ）、 W/C ：水セメント比（％）、 V_w ：木片の充填率（％）

表－4 木片コンクリートのヤング係数(10^3MPa)

水セメント比	木片充填率	30%	40%	50%	60%
	平均値 (変動係数)				
35%	平均値 (変動係数)	5.1 (0.07)	4.7*	4.0 (0.07)	3.6 (0.16)
40%	平均値 (変動係数)	4.6*	3.8 (0.06)	3.5 (0.09)	2.9*
50%	平均値 (変動係数)	3.6 (0.09)	2.8 (0.07)	2.4 (0.08)	2.1 (0.07)
60%	平均値 (変動係数)	3.3 (0.12)	2.3*	1.7 (0.07)	1.2*

*数字は式(3)による計算値

4 まとめ

建設副産木材を更に有効に再利用するため、木片コンクリートの製造方法を新たに開発した。ここでは主として曲げ・圧縮変形性状について実験した。得られた結果をまとめると以下のようである。

- 1) 木片コンクリートの強度については、水セメント比が小さくなるほど曲げおよび圧縮強度は大きくなり、木片充填率が大きくなるほど曲げ強度が大きくなり、圧縮強度は小さくなる。
- 2) 曲げ靱性は、水セメント比が大きくなるほど、木片充填率が大きくなるほど大きくなる。
- 3) 曲げヤング係数は、水セメント比および木片充填率が小さくなるほど、大きくなる。
- 4) 圧縮応力－ひずみ曲線の性状については、最大荷重を超えた後、最大荷重の約15％以内を保持して、ひずみが進行し、崩壊までの変形が大きい。
- 5) 圧縮ヤング係数については、水セメント比が小さくなるほど大きくなり、木片充填率が大きくなるほど小さくなる。

謝 辞

本研究は平成6年度「公益信託岸谷国際建築材料防火技術研究基金」より援助を受けました。ここに、記して謝意を表します。

参考文献

- 1 周 建東、川村政史、笠井芳夫 副産木材を用いた木片コンクリートに関する研究 日本建築学会大会学術講演梗概集A、pp.379～380 1994.9
- 2 建設省 建設副産物実態調査報告書 1990
- 3 (財)建築業協会 建設廃棄物処理再利用委員会 解体木材の有効利用について(その1) 木材工業 Vol.36-7、pp.15～22 1981；同(その2) Vol.36-8 pp.10～15 1981；同(その3) Vol.36-9 pp.7～13 1981；同(その4) Vol.37-2、pp.10～13 1982
- 4 Sarja A: Structural Wood-Fiber Concrete *Concrete International* pp.45～49 1989.7
- 5 笠井芳夫、川村政史、周 建東 解体木材チップの物理的性質に関する調査 日本大学生産工学部学術講演梗概集、pp.45～48 1993.12
- 6 田澤栄一、笠井哲郎 フレッシュセメントペーストのダブルミキシング効果 土木学会論文集 No.396/V-9、pp.135～142 1988.8
- 7 魚本健人、西村次男 鋼繊維補強コンクリートのタフネス評価方法 セメント技術年報、No.36、pp.408-411 1982