

未利用木材を有効利用した低圧縮型木片コンクリートの基礎物性評価

1.材料施工 - 2.モルタル・コンクリートの物性, 7.有機系材料, 15.地球環境・資源

未利用木材, セメント, 複合体
 標準強度, 吸水強度, 乾燥強度

準会員 ○ 荒川京平^{*1} 正会員 田村雅紀^{*2}

1. はじめに

現在, 日本では未利用木材の有効利用が求められている。未利用木材は大きく建設発生木材, 製材工場等残材, 間伐木材等の3つに分類することができる。現状において上記2つは90~95%利用されているが, 3つ目の間伐材等はほとんど利用されていない¹⁾。また震災廃棄物を含む木質系チップ全体としての利用方法及び既往の研究²⁾³⁾における木片コンクリートの使用用途として見ても主に内装材料に限られている。そこで, 未利用木材の使用用途を広げることで利用率を高め, CO₂の固定化にも貢献できる建築材料を製造することができれば地球環境の保全及び震災復興に役立つものと考えられる。

この問題を解決できる一つの方法が低圧縮型木片コンクリートブロックの利用である。現在海外で使用されている低圧縮型木片コンクリートブロック(以下海外輸入ブロックとする)は炭素を固定化したまま木チップを利用でき, さらに構造用材料として外装使用できる等, 多くのメリットがある。本研究では研究1で日本での使用についてヒアリング調査を行い, 研究2及び研究3で海外輸入ブロック及び作製した低圧縮型木片コンクリートの基礎物性評価を行い比較した。

2. 海外輸入ブロックを日本で使用するための調査(研究1)

表1に既製のブロックを使用する利点と問題点を示す。ヒアリング調査を行い, 法律上の問題点を明らかにした。調査の結果, 海外輸入ブロックは海外の耐火基準は満たしているが, 日本では法律で定められた圧縮強度を満たしていないため耐火試験も実施できず, 日本で構造用材料としての使用は不可能という結果になった。そこで現在は大臣認定を取得する方向で進んでいる。しかし低圧縮型木片コンクリートには構造用材料として使用する以外にも多くのメリットがある。このことから, 本研究では低圧縮型木片コンクリートを日本の法律で制定されている強度以上の強度向上を図り, 構造材の性能を踏まえた外装材としての性能を評価することを目的とした。また強度向上をすることで, 将来的には国土交通省告示やJISの強度以外の性能を満たすことにより日本で構造用材料としての使用を可能にすることも視野に入れた。(図1)

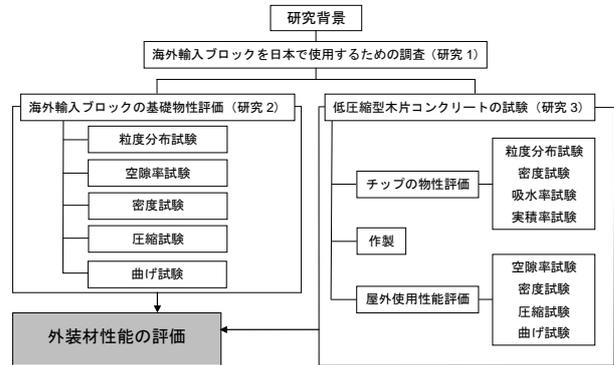


図1 研究の流れ

表1 海外輸入ブロックを使用する利点と問題点(研究1)

ヒアリング	生産者・意匠設計者・構造設計者, 性能評価者, 法律作成者に対するもの。	
利点(海外使用)	説明	
未利用木材の有効利用	木材をチップ化して使用。間伐材等も利用するため林地残材の有効利用が可能。	
施工速さの向上	乾式の組積造のため, 工期短縮可能。ブロックは軽量でノコギリでも切断可能なため加工性に優れる。	
代替型枠化	ブロックが型枠の性能を有している。型枠工事不要	
外装利用可能	破碎木材は現在 PB, OSB, など主に屋内使用に限定されているが, 本製品は屋外での使用が可能である。	
問題点(日本使用)	説明	現状
耐火	木材を骨材に木材を使用しているため, 耐火性能に懸念がある。	ISO1182及びBS476に準拠した耐火試験は達成しているが JIS に準拠した試験は行われていない。
圧縮強度	国土交通省告示第463号及びJISA5406に規定されている20N/mm ² 未満	海外輸入ブロックの圧縮強度は約2N/mm ²
関連法規	名称	材料性能の規定
建築基準法施工令	第51~62条 組積造	JIS A 5406 建築用コンクリートブロック
	第62条の2-8 補強コンクリートブロック造	
国土交通省告示	第463号 鉄筋コンクリート組積造	告示で規定

表2 使用材料(研究3)

項目	記号	種類	平均最大寸法(mm)
木チップ	RS	リサイクル材(小)	-(微粉末)
	RM	リサイクル材(中)	11.7
	RL	リサイクル材(大)	39.3
	KS	カラ松材(小)	(3mmメッシュを通過)
	AS	赤松材(小)	(3mmメッシュを通過)
セメント	N	普通ポルトランドセメント(密度: 3.16g/cm ³)	
AE減水剤	Ad	リグニル硫酸化合物とポリオール複合体	
増粘剤	M	メチルセルロースをエチル化した水溶性MCE系混和剤	
チップサイズの基準	小	パーティクルボード表面材サイズ	
	中	パーティクルボードコア材サイズ	
	大	解体木材を一次破碎工程でできるサイズ	
写真			
小サイズ(微粉末)	中サイズ(≒11.7mm)	大サイズ(≒39.3mm)	

3. 実験概要

3.1 使用材料及び要因と水準、実験項目と調査

表 2 に研究 3 の使用材料を示す。リサイクルチップはパーティクルボード製造業者が震災廃棄物（工場で定められた放射線量濃度基準値以下のもの）を含む廃木材を加工したものである。比較対象としてセメントの硬化不良を起こすと言われているカラ松材と硬化不良を起こさないと言われている赤松材を選定した⁴⁾。チップの使用状態は含水による強度低下を防止するために表乾状態とはせず、室温約 20℃湿度約 60%に保たれた部屋で 1 週間以上養生したものを使用した。

表 3 に要因と水準、表 4 に実験項目と方法、表 5 に調査を示す。研究 2 で海外輸入ブロックの基礎物性を調べ、研究 3 では低圧縮型木片コンクリートを作成し同様に試験した。圧縮試験は屋外での使用を想定し、標準状態、吸水状態、吸水→乾燥状態の 3 水準で試験を行った。(図 2)

3.2 海外輸入ブロックの基礎物性試験（研究 2）

3.2.1 海外輸入ブロックのかさ密度及び空隙率試験

図 3-a にかさ密度及び空隙率を示す。海外輸入ブロックの上部と下部ではセメントが占める割合が異なることが目視で確認できた。そのため、上部 (H)、中部 (M)、下部 (L) から試験体を切断し試験した。かさ密度は下部に行くにつれ上昇、空隙率はおおむね下降した。このことから下部にセメント成分多いことが分かった。

3.2.2 海外輸入ブロック使用チップの粒度分布試験

海外輸入ブロックを圧縮により崩してからチップに附着しているセメント成分を塩酸水溶液で溶かし、粒度分布試験を行った。粒度は小粒度から大粒度まで満遍なく分布し最密充填であった。

3.2.3 海外輸入ブロックの圧縮試験

図 3-b に密度と質量変化率、図 3-c に圧縮強度と静弾性係数の変化を示す。吸水乾燥後の密度及び質量は吸水乾燥前とほぼ変化はなかった。圧縮強度は吸水後低下し、乾燥後も回復しなかった。静弾性係数は強度に従い推移した。

3.2.4 海外輸入ブロックの曲げ試験

図 3-d に部位の違いによる曲げ強度の変化を示す。密度差より下部から上部にかけての強度低下を推測できたが、結果は、L→H→Mの順に低下した。海外輸入ブロックは部材が不均質で、バラつきも大きいという問題があった。

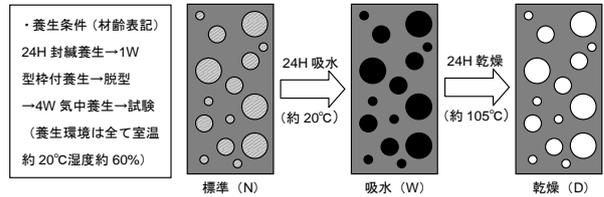


図 2 養生条件と圧縮試験体における試験水準（研究 3）

表 3 要因と水準

	要因	水準
研究 2	圧縮試験条件	標準 (N), 吸水 (W), 乾燥 (D)
	曲げ試験条件	標準: H, M, L
研究 3	水・セメント比 W/C (%)	40, 50, 60
	チップ・セメント比 P/C (%)	10, 15, 20
	木チップ	RS, RM, RL, KS, AS (表 2)
	AE 減水剤	セメント比 0.25% 使用
	増粘剤	水比 0.1% 使用
	養生条件	図 2 参照
	圧縮試験条件	標準 (N), 吸水 (W), 乾燥 (D)
	曲げ試験条件	標準, W/C 50%, P/C 15%

表 4 実験項目と方法

	状態	実験項目	方法 (試験体寸法 mm)
研究 2	木チップ	粒度分布試験	ブロックを塩酸水溶液に浸し、附着しているセメント成分を取り除き測定
		密度試験	ブロックを切断した試験体のかさ密度を測定 (40×40×160)。N, W, D の密度・質量変化率を測定 (φ150×300)
	試験体	圧縮試験	JIS A 1108, 1149 参照 (φ150×300)
		曲げ試験	JIS R 5201 参照。3 線式中央 1 点载荷により、曲げ強さとたわみ量測定 (40×40×160)
		空隙率試験	ポーラスコンクリートの空隙率試験方法 ⁵⁾ を参照し測定 (40×40×70)
研究 3	木チップ	粒度分布試験	使用状態における粒度分布を測定
		密度試験	JIS A 1109 参照。表乾・絶乾密度測定
		吸水率試験	JIS A 1109 参照。吸水率を測定
		実積率試験	JIS A 1104 参照。実積率を測定
	試験体	密度試験	N, W, D の密度・質量変化率を測定。(φ100×200)
		圧縮試験	JIS A 1108, 1149 参照 (φ100×200)
		曲げ試験	JIS A 1106 参照。三等分点载荷法により、曲げ強さとたわみ量測定 (100×100×400)
	空隙率試験	研究 2 と同様に試験 (φ50×100)	

表 5 調査

項目	記号	W/C (%)	P/C (%)	セメント	水	チップ	Ad	M
単位量 [kg/m ³]	40	40	10	1274	510	127	C × 0.25%	W × 0.1%
	50	50	15	1146	573	172		
	60	60	20	1019	611	204		



a) 海外輸入ブロック (研究 2) b) RS 円柱供試体 (研究 3)
写真 1 低圧縮型木片コンクリート

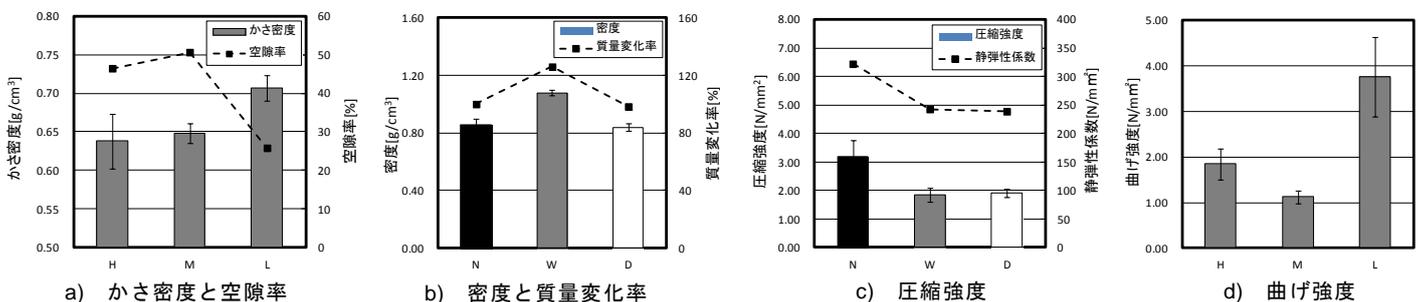


図 3 海外輸入の低圧縮型木片コンクリートブロックの基礎物性（研究 2）

3.3 使用する木チップの基礎物性試験（研究3）

3.3.1 木チップの粒度分布及びかさ密度と含水率

RM の粒度分布は既製の製品と同じく最密充填。RL は中粒度が少なかった。小サイズのチップは微粉末なので計測不能であり平均最大寸法及び粒度分布は省略する。

図 4-a に木チップの使用状態のかさ密度及び含水率を示す。かさ密度は小サイズが最大となった。また、カラ松材の密度は赤松材と比べると大きかった。含水率は大サイズが最大となった。

3.3.2 木チップの密度及び吸水率

図 4-b~d に木チップの表乾密度及び絶乾密度，吸水率を示す。表乾密度は使用状態のかさ密度と同様に小サイズが最大となった。絶乾密度は大サイズが最大となった。このことは吸水率の違いによるものだと考えられる。またカラ松材の表乾及び絶乾密度は赤松材と比べ小さかった。吸水率は小サイズが最大となった。これはチップの表面積の違いによる変化だと考えられる。また、大サイズには塗料などが付着しているチップも混在しているので、このことも吸水率が低い原因の一つだと考えられた。カラ松材は赤松材と比べ多く吸水した。

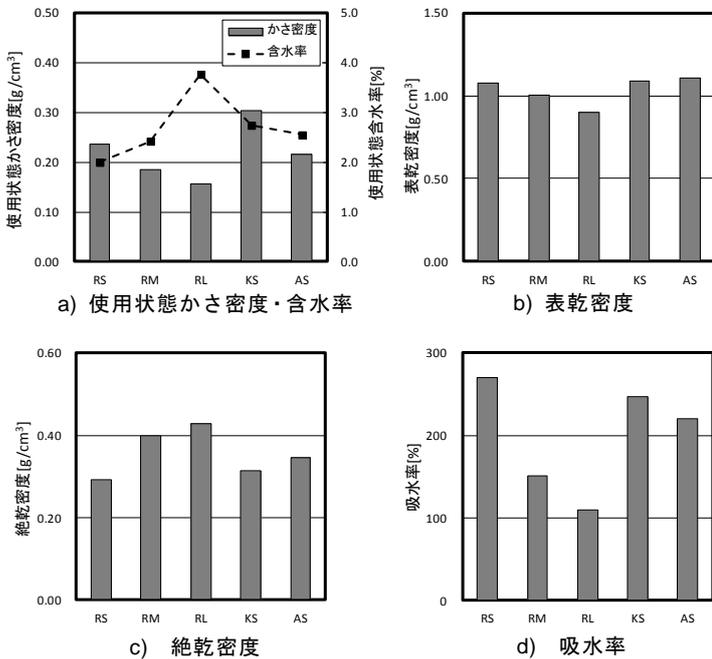


図4 使用する木チップの基礎物性（研究3）

3.4 低圧縮型木片コンクリートの作製及び試験

3.4.1 低圧縮型木片コンクリートの試験体作製

試験体の作製方法は JIS A 1132 : コンクリートの強度試験用供試体の作り方を参考にして行った。木片コンクリートは粘性が高いのでセメント成分とチップを均一にするため突く層の数を多くした。また RM, RL についてはチップとセメントペーストの分離防止のため増粘剤を添加した。

3.4.2 低圧縮型木片コンクリートの空隙率試験

図 5 に空隙率を示す。チップの含有量が少ないほど空隙率は少なかった。図 7 に空隙率の違いによる圧縮強度・静弾性係数の変化を示す。圧縮強度との関係は普通コンクリートの空隙率が約 1%増加すると圧縮強度は約 5%減少するという性質におおよそ従い推移した。

3.4.3 低圧縮型木片コンクリートの圧縮試験

図 8 に試験体の密度と重量変化率，図 9 に圧縮強度と静弾性係数を示す。縦ひずみをコンプレッソメーターで測定し，静弾性係数を求めた。供試体端面の平滑度向上のために上端面にはアンボンドキャッピング又は石膏キャッピング及びアンボンドキャッピングを施し試験した。

密度変化と重量変化率の変化量はチップが大きくなるほど，またチップの含有量が多くなるにつれ増加した。逆に圧縮強度はチップが大きくなるほど，また含有量が多くなるにつれ減少した。吸水・乾燥させると強度は低下したが，チップが小さいものは乾燥により強度が回復した。

図 6 に日本建築学会式との比較を示す。図中の密度 γ は ALC パネルの密度 0.5g/cm^3 ，軽量コンクリート骨材の密度 $1.0\sim 1.5\text{g/cm}^3$ を参考とし比較した。全ての試験体は学会式に従い推移した。

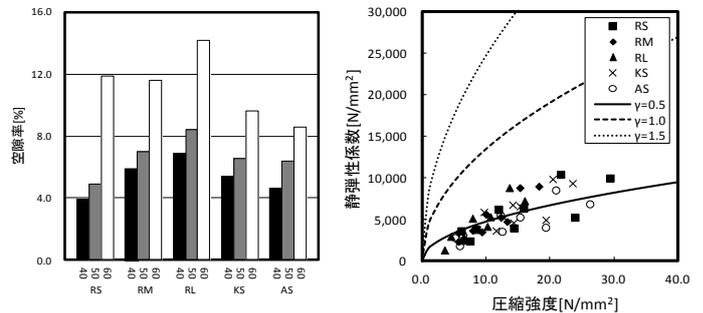


図5 供試体の空隙率（研究3） 図6 学会式との比較（研究3）

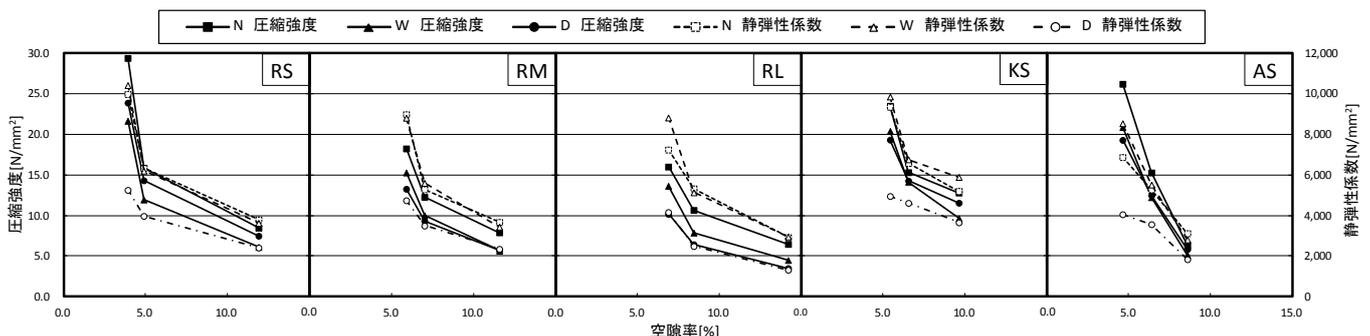


図7 低圧縮型木片コンクリートの空隙率の違いによる圧縮強度と静弾性係数の変化（研究3）

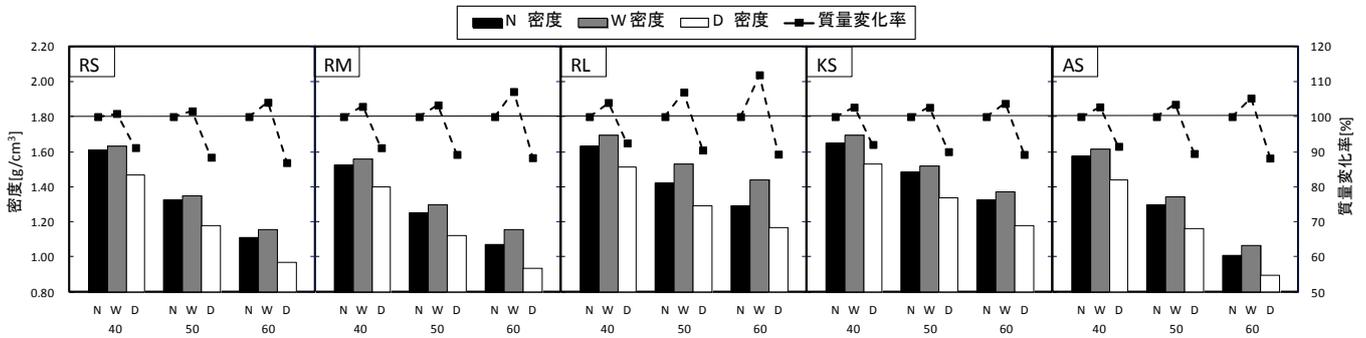


図8 低圧縮型木片コンクリートの吸水・乾燥による密度と質量変化率の推移（研究3）

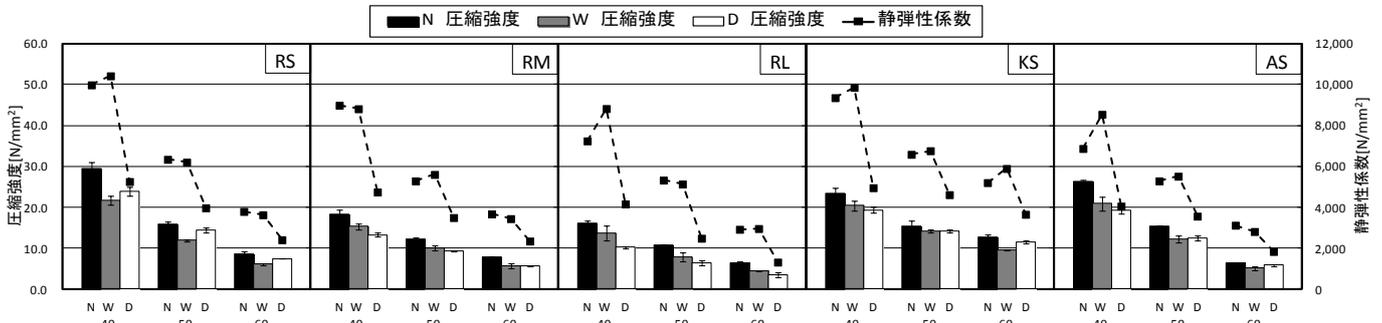


図9 低圧縮型木片コンクリートの吸水・乾燥による圧縮強度と静弾性係数の変化（研究3）

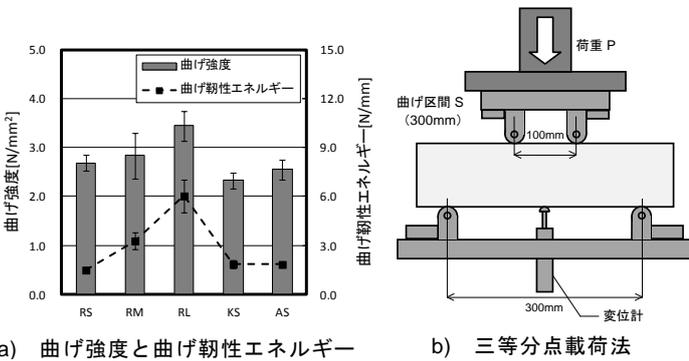


図10 低圧縮型木片コンクリートの曲げ試験（研究3）

3.4.4 低圧縮型木片コンクリートの曲げ試験

図10に曲げ強度と曲げ靱性エネルギーを示す。曲げ強度は大サイズが最大となった。チップが大きくなると木材の曲げ強度>圧縮強度という特徴が顕著に表れた。

曲げ区間に対する1%の変形を限界状態とし、曲げたわみ曲線における3mmまでのたわみに囲まれた面積を曲げ靱性エネルギーとし評価した。曲げ靱性エネルギーは曲げ強度と等しく変化した。

4. 海外輸入ブロックとの比較

海外輸入ブロックと比べ圧縮強度は約2~15倍の強度向上が図れ、目標としていた20N/mm²以上が達成できた。曲げ強度も同等の強度を保つことができた。またバラつきも少なく抑えることができた。しかし、密度は約1.3~2倍程度増加し、空隙率は約45~92%減少してしまった。これではのこぎりで切断できるというメリットが無くなってしまった。今後は強度を落とさず、チップの含有量を増やし、セメント量を減らすことが課題となる。

5. まとめ

- 1) 海外輸入ブロックは強度・耐火性能等の懸念から日本での使用は現状不可能であった。
- 2) 吸水・乾燥による強度低下量はサイズが大きくなるほど大きくなる。また圧縮強度の面から見ても、屋外使用を目的とするチップは小さいほうが有利である。
- 3) カラ松材による硬化不良の影響は特に見られず、セメント使用量の増加に伴い改善したと考えられた。リサイクル材や硬化不良樹種でも十分使用可能である。
- 4) 目標である圧縮強度20N/mm²以上を一部の水準で達成でき、構造材料として使用を可能にする第一歩となった。今後は骨材の不燃化や耐摩耗性能向上等が課題となる。

参考文献

- 1) 農林水産省、バイオマス活用基本計画、2010
- 2) 織裳信明、川村政史、笠井芳夫：木片コンクリートの製造及び強度・密度に関する実験研究（その2）、日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）P.P.681~682、2001.9
- 3) 笠井芳夫、川村政史、周建東：解体木材を用いた木片コンクリートの製造及び曲げ・圧縮強度、日本建築学会構造系論文集 第473号 P.P.1~10、1995.7
- 4) 山岸宏一：硬化不良樹種による木質セメント板の製造に関する研究、林産試験場研究報告 74号 P.P.1~48 1985.3
- 5) 社団法人日本コンクリート工学会、ポーラスコンクリートの設計・施工法の確立に関する研究委員会委員会報告書、2003.5

謝辞

本研究の実施にあたり、木チップの提供や加工等で東京ボード工業、双日与志本林業、小出チップ工業、氏家製作所の関係各位に、ヒアリング調査等にデュリソルジャパン、木毛セメント板工業組合、積水ボードの関係各位より多くの助力を賜り感謝致します。なお本研究の一部は、工学院大学UDM・PJ研究、H24年度科研費(若手A:23680681 田村雅紀)による。

*1 工学院大学工学部建築学科4年

*2 工学院大学建築学部建築学科 准教授 博士(工学)