

論文 震災廃木材を利用した木片コンクリートの基礎的物性

田村 雅紀*¹・荒川 京平*²

要旨：建設活動における平常時の環境配慮が一般化しつつある状況下で、東日本大震災を契機に、災害時におけるがれき等を含めた資源環境の保全性を確保する必要性が問われつつある。本研究では、東日本大震災の際に大量に発生したがれき廃木材を含む各種の未利用木材を粒状体に再資源化し、木片セメント板等への使用を想定した各種の木片コンクリートを製造し、その基礎的物性を評価した。その上で、災害時対応を含めた今後の資源循環の確保に資するコンクリート材料の発展的利用のあり方を考察した。

キーワード：震災廃棄物、廃木材、木片コンクリート、力学特性

1. はじめに

東日本大震災では、震災後の復旧活動を通じ、がれき等に含まれたコンクリート塊や、廃木材などが大量に集積した。広域連携等を活用した処理が積極的に実施され、無機系の災害がれきは、コンクリート原材料に再生され、土地の嵩上げ用の埋込材等に積極活用され、最終処分量の縮減などにも寄与し、資源循環と土地利用の改善に資する環境インパクトの軽減に貢献できたと考えられる。

なお、将来の発生が想定されている首都直下大震災では、耐震性が乏しい建物の損壊によるコンクリート塊、木造密集地で生じる廃木材など膨大な震災がれきが生じるとされている。阪神淡路大震災では、1500万トンの震災廃棄物が発生し、最終処分までに3年以上の月日と約3200億円の費用を要した。東日本大震災では、災害廃棄物は2000万トン程度、津波堆積物は1100万トン程度と、阪神淡路大震災を大幅に上回る廃棄物が発生し、原状回復までに4年の月日を要した¹⁾。これに対し、首都直下大震災では、9600万トンの膨大な被災建設廃棄物が発生し、阪神淡路大震災の6.4倍程度の甚大な被害量となることが想定されている¹⁾。つまり、災害発生後はコンクリート塊に加え、廃木材等の有機系の災害がれきも迅速な適正処理が求められ、その対応の程度が、後の復旧活動をはじめ、都市全体の復興・再建に大きく影響を及ぼす。

一方、平常時では、国土の70%を占める森林の未利用木材活用の課題が山積する²⁾。未利用木材は大きく間伐材、建設発生木材、製材工場等残材等に分類でき、現状では後者2つは発生量の90~95%が木質材料やバイオマス燃料として再利用されているが、未だ製品用途は限定的である。更に、2017年に施行されたグリーンウッド法では、合法木材に限定した流通の拡大と、地球規模での森林管理を推進し、法制度の着実な整備が進んでいる²⁾。

東日本大震災では、廃木材処理の課題が顕在化した。平常・災害時の双方の資源環境保全に資する技術的手法を、コンクリート分野で提示できれば、木材が絡んだ災害後の

対策にも貢献できる可能性³⁾を示すことができよう。

本研究はこの解決手法として、東日本大震災で生じたがれき廃木材を含む未利用木材を粒状に加工し、低圧縮木片コンクリートを製造し、その基礎物性を評価した。現状は同様の製品に、建築用下地材の木片・木毛セメント板があり、国内でも継続的に使用されている⁴⁾。また海外では低圧縮型木片コンクリートをブロック外装材として積極利用する例がある。これらは、軽量化に伴う施工性や断熱性の改善など、炭素固定を実現する木チップ含有の製品として有効活用が検討されているため、当該製品の一部も比較対象として位置づけ、実験的評価を行った。その上で、災害時を含む地域的な環境保全性の確保に資するためのコンクリート材料の発展的利用のあり方を、東日本大震災時のヒアリング結果を含めて考察した。

2. 研究概要

2.1 災害がれきに関するヒアリング調査

表-1に災害がれき処理のヒアリング調査結果を、写真-1に災害がれき（廃木材）の発生・処理状況を示す。

2011年3月11日、宮城県沖を震源地としたM9.0の東日本大震災が発生後、被災地域では津波や液状化などによる土地損壊が多数生じた。この復旧に向け、廃木材などの災害がれきの処理・撤去が優先的に取り組まれ、関東地方よりの被災地の茨城県北部地域では比較的早くから対応が実施された。2011年6月に現地ヒアリングを開始し、2012年6月に広域処理搬送されたがれき廃木材処理を実施した関東の木質材料製品工場におけるヒアリング調査を行った。この結果、コンクリート系材料による無機系のがれきより、廃木材を含む有機系の災害がれきの方が、輸送・処理・用途面で幾つかの特定の問題が生じていた。また、広域処理を含めた合理的な再資源化処理は部分利用に留まり、多くは民間・自治体の焼却施設によるサーマルリサイクルで減容が進められ、首都直下震災対策においても同様な課題が生じると考えられる。

*1 工学院大学 建築学部建築学科教授 博士(工学) (正会員)

*2 住友林業ホームテック (元工学院大学学部生) (非会員)

表-1 災害がれき処理に関するヒアリング調査結果

場所・日時	主な内容
茨城県内自治体生活環境部環境衛生課ごみ対策推進(茨城) 2011年6月	茨城県北部の災害廃棄物処理は、自治体内処理の方針が早期に示され、発災後からがれき廃木材は、10tトラックを使用して市内4カ所に設けられた臨時収容所に集められた。廃木材断面が60×150mm以上の棒状態は市内清掃センターの焼却処理(1サイクル/1時間のロット処理)困難となる事態が生じたため、マテリアルリサイクルにより木片チップ化処理を行った。市内清掃センターでの一般ゴミ処理条件(100トン/月)によると、廃木材は40トン程度しか処理できないため、全ての廃木材処理に2~3年を要することが予想できた。 コンクリート系の硬質がれきも同様に、10tトラックを中心に臨時収容所に集められた。移動式粗破砕器(100t/時)より粗破砕し、埋戻し工事を行う公共工事廃棄物処分場に運送された。破砕時間は6時間程度/日で実施し、10日間を要し処理が完了した。がれき破砕材は、大谷石、ブロック、瓦などは分別されずに砕かれたため、再生材の粒子強度が不均一となり、用途限定使用された。10tトラックで仮置き場を含む中間処理場等まで運搬を行う際、がれき廃木材はかさ密度が低下した結果、1トン程度(平均700~800kg)しか運べない状況が続き、硬質がれきは7~8トンは運送可能であった。
木質材料製品製造工場(東京) 2012年6月	福島・宮城・岩手の各県に集積したがれき廃木材は、サーマル・マテリアルリサイクルによる処理が一時的に滞り、津波による海水塩分浸漬の影響や、小規模で限られた場所に長期存置されたため、有害物質漏洩、火災危険性等の問題が生じた(写真-1a)b)。結果、各種の再資源化を想定し、全国の民間・自治体の焼却処理施設を用いた広域焼却処理が推奨され、災害地域の空地における集積状態の減容化・解消が図られた。なお、その周辺地域でのマテリアルリサイクルも部分的に実施された(写真-1c)d)。ヒアリング調査を行った東京地区の当該工場では、トラック運送されたがれき廃木材を受入れ、放射線濃度測定後、管理基準値を満足したものを対象に、木質材料製品(ストランドボード、パーティクルボード、ハードボード、木片セメント板等)の原材料の一部となるように処理を施し、マテリアルリサイクルを実現した。その一部を譲り受け、本研究の木片コンクリートの材料として実際に使用した。



a) 防波堤周囲の廃木材 b) 二次集積所の廃木材 c) 廃木材の再資源化工場 d) 廃木材チップ

写真-1 災害がれき(廃木材)の発生・処理状況(2011年6月宮城~2012年6月東京)

2.2 未利用木材を用いたコンクリート製品のヒアリング

表-2に未利用木材用いた木片コンクリートの課題を示す。製造・設計者等の専門家に、震災廃木材を含む未利用木材の建材利用の拡大に関して、粒状化した木片コンクリート(海外輸入ブロック、実験用木片コンクリート)に関するヒアリング調査を行い、課題を整理した。

海外輸入ブロックは、北米が主たる市場で、製品仕様は最大30mm程度の木片ストランドをセメントスラリーで混和し、ブロック状成形型枠に入れ低圧縮下で凝集成形後、加温養生して空泡型コンクリート製品として成型する。木片ストランド固化体は、ペースト層間の十分な付着性とストランドの立体噛み合わせ効果により、一定の耐力と耐候性を有し、屋外使用も可能である。外装ブロックとして利用する場合、中空部分にウレタン断熱材を部分挿入させ、断熱効果を得ることができる。構造体として、一定の耐火基準を満たしつつ、強度の要求水準が高くない、耐震設計の必要がない環境下で使用される場合や、炭素固定された木チップ含有製品として環境配慮に関わる長所を活用する場合等での適用事例が多い。

一方、国内では、コンクリートブロックの品質基準として、日本工業規格上は無機系骨材の使用が標準で、圧縮強度の要求水準が高く設定されている。同条件を満足しない場合、耐火試験が行えず、構造材料としての使用が原則困難となる。コンクリートブロックやメーソソリ製品を構造体に使用した場合、国土交通大臣認定を取得し個別物件に使用した方法があるが、製品への木片骨材の利用は制限されている。しかし、低圧縮型の木片コンクリートとして構造体や内外装材として使用する用途は海外輸入ブロックのように残されている。

以上より、本研究では低圧縮型木片コンクリートを国内各種基準の強度水準を満足させる製造方法を適用し、建築外装材としての使用可能性を検討することとした。

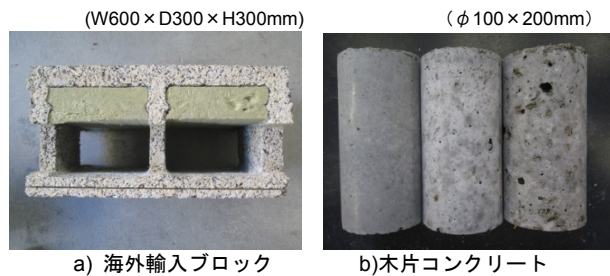
2.3 未利用木材を利用したコンクリートの基礎的物性

2.3.1 実験概要

表-3に未利用木材コンクリートの使用材料を示す。未利用木材コンクリートを製造するため、各種の未利用木材チップを収集・製造した。カラ松(KS)、赤松(AS)のチップは、現在でも木質セメント板の製造で使用されており、

表-2 未利用木材を利用した木片コンクリートの課題

項目	対象
調査対象	製造者・設計者・構造設計者・性能評価者
長所	ヒアリング結果
資源循環	間伐材に加え、災害がれきや林地残材等の未利用木材をチップ化して有効利用することが可能
施工性	ブロックは軽量で切断容易のため加工性に優れる。組積造の乾式施工と代替型枠化による工期短縮可能
用途性	従来の木質材料製品は主に屋内利用に制限されているが、木質材表面のペースト化により屋外使用が可能であり、断熱材付与による断熱化も可能。
課題	ヒアリング結果
力学特性	コンクリートブロックは、国交省告示第463号及びJIS A 5406 規定の20N/mm ² 未満の条件に対し、海外輸入ブロックは約2 N/mm ² と低水準で使用
耐火特性	木材ストランドをペースト固化させているが耐火性に懸念がある。海外はISO1182・BS476 準拠の耐火試験が対応するがJIS 準拠の試験法はない。
法規等	建築基準法施行令第51-62条 組積造, 第62条 補強コンクリートブロック造, 国交省告示第463号鉄筋コンクリート組積造, JIS A 5406 建築用コンクリートブロックの基準類に対応する必要がある



カラ松材はセメントの硬化不良を起こしやすい⁵⁾。災害廃木材チップ（以下、リサイクル材）は、震災がれき廃木材が広域回収で都内のリサイクルチップ製造工場に移送されたものを使用し、放射線量濃度基準値以下の原料を平均最大粒径3水準に区分し破砕した。これらの木片チップを用い、木片の含水状態の差異による付着ペーストの強度低下を防ぐため、室温20℃、湿度60%の材料保管室で1ヶ月以上保管したものを使用した。

表-4に実験要因と水準を、表-5に実験項目と方法を、表-6に木片コンクリートの計画調合を示す。比較用海外輸入ブロックの基礎物性は、ブロックの切り取り試料で曲げ強さを、円柱供試体で圧縮強度を評価した。ブロック高さ方向の影響を上部(H)、中部(M)、下部(L)で評価し、製造時の材料分離の影響を評価した。また、屋外での使用を想定し、標準(N)に対し、吸水(W)と乾燥(D)の試料を準備し、ブロックの吸水状態が力学特性に及ぼす影響を評価した。木片コンクリートは、木片チップ5水準、水セメント比および木チップセメント比を3水準とし、20℃・60%RHの環境で円柱供試体を製造し、力学特性を評価した。

2.3.2 海外輸入ブロックの基礎物性

(1) 木片チップの粒度分布

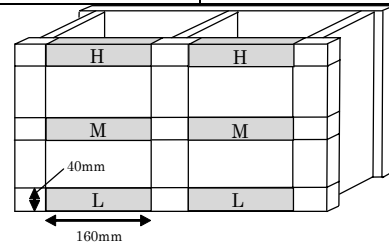
海外輸入ブロックは、構造体寸法に併せた切断加工が容

表-3 未利用木材コンクリート使用材料

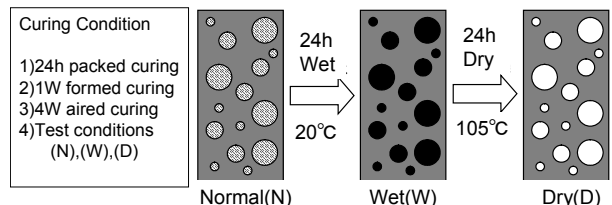
項目	記号	種類	最大粒子寸法 (mm)
木片チップ (P)	RS	災害廃木材チップ (小)	3mm 以下
	RM	災害廃木材チップ (中)	12.0
	RL	災害廃木材チップ (大)	40.0
	KS	カラ松材 (小)	3mm 以下
	AS	赤松材 (小)	3mm 以下
セメント	C	普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm ³)	
AE 減水剤	Ad	リグニンスルホン酸化合物とポリオール複合体	
増粘剤	M	メチルセルロースをエーテル化した水溶性MCE系混和剤	
外観写真			
小 (~3mm)		中 (~12mm)	大 (~40mm)

表-4 実験要因と水準

対象	要因	水準
海外ブロック	圧縮強さ	標準 (N), 吸水 (W), 乾燥 (D)
	曲げ強さ	標準(N) 試験体高さ 上部(H), 中部(M), 下部(L)
木片コンクリート	W/C (%)	40, 50, 60
	木片チップ(P)	RS, RM, RL, KS, AS
	P/C (%)	10, 15, 20
	AE 減水剤 Ad	C×0.25%一定
	増粘剤 M	W×0.1%一定
	養生条件	標準 (N), 吸水 (W), 乾燥 (D)
	圧縮強度	標準 (N), 吸水 (W), 乾燥 (D)
曲げ強度	標準 (N), W/C 50%, P/C 15%	



a) 海外輸入ブロックのフェイスシェル切断試験片の位置



b) 木片コンクリートの載荷前養生状態の水準

易であり、多種の製品寸法を備えている。この側面部分を切り取り、圧縮力により粉砕後、木片チップに付着したセメント成分を1mol/L濃度の塩酸で溶解し、粒度分布を測定した。結果、海外輸入ブロックは、木片のストランドを機械的な立体障害効果を発揮させるために、小粒径から大粒径までを最密充填となるように配合した製品であることが確認された。

(2) ブロックのかさ密度及び空隙率

図-1a)にブロックのかさ密度と空隙率を示す。海外輸入ブロックの高さ方向の充填度の違いは、目視では明確に確認できないが、JIS A 5406 に準じ、ブロックのフェイスシェル部分より 40×40×160mm 寸法に部材切断し、質量測定の上、かさ密度を上部(H)、中部(M)、下部(L)で評価した結果、下部ほどかさ密度が増加し、空隙率が減少した。木片チップをペースト被覆した粒状体によるポーラスブロックでも、木片とペーストとの密度差による材料分離は生じ、下部はセメント成分が多い構成となりやすいことがわかった。

(3) ブロックの密度と吸水時質量比

図-1b)にブロックの密度と質量比を示す。標準(N)を基準に、表-4に示す吸水(W)・乾燥(D)処理をし、密度及び質量比を評価したところ、24時間吸水した時の質量は15~20%程度増加したものの、乾燥後は元の状態に戻り状態変化は無かった。木片粒子の機械的なかみ合わせが、力学特性と関係して安定的に保持されれば、外装利用した際の降雨や温湿度の影響も生じにくいと考えられる。

(4) ブロックの力学特性

図-1c)に圧縮強度と静弾性係数の変化を示す。標準(N)をもとに吸水(W)・乾燥(D)処理をした結果、圧縮強度は3N/mm²程度、静弾性係数は300N/mm²の低い力学的性質であったものが、吸水後に更に低下し、乾燥後も回復しなかった。外装材利用した場合の湿気の影響と荷重条件により、構造安全性に影響がでる可能性があり、使用部位により大幅な性能改善が必要となる。

図-1d)に曲げ強度の結果を示す。吸水による性能変化が確認されたため、ブロックの上部(H)、中部(M)、下部(L)の切り取り試験片による曲げ強度を評価したところ、上部から下部にかけて強度が増加した。ブロック単身でも強度が不均一でばらつきが生じることが確認され、製品物性として改善の余地があることが確認できた。

2.3.3 木片コンクリートの基礎物性

(1) 木チップの粒度分布

海外輸入ブロックの物性評価により、木片コンクリー

トの品質改善課題がいくつか生じた。その改善を図る検討も含め、木片コンクリートを製造し、その基礎物性を評価した。全5種類の木片チップについて粒度特性を評価した結果、災害廃木材チップ RM の粒度分布は、AS と KS と同様に最密充填となるような粒度を有している。一方で、RL は中粒度以下が少なく、RS はチップに微粒分が多く含まれるものであった。

(2)かさ密度と含水率

図-2a)に使用状態における木片チップのかさ密度及び含水率を示す。かさ密度はφ100×200mm 型枠に、木片チップが圧壊しない 50N/回程度の押込圧で3層に詰め質量計測し求めた。全体で 0.2kg/L 程度で、廃木材チップは、RL から RS に移るに従い密度が最大となった。

表-5 実験項目と方法

種類	項目	方法
海外輸入 ブロック ・ 供試体	粒度分布	木片を塩酸水に浸し、附着セメント成分を取り除き平均粒径により測定
	かさ密度	ブロック木片(40×40×160mm)のN, W, Dの平衡質量により測定
	圧縮試験	円柱供試体(φ150×300mm)をJIS A 1108により測定
	曲げ特性	JIS R 5201より3線式中央1点荷重で曲げ強さとたわみ量測定(40×40×160mm)
木チップ ・ 木片 コンクリート 供試体	空隙率	ポーラスコンクリート空隙率試験方法を参照し測定(40×40×70mm)
	粒度分布	平均粒径による粒度分布を測定
	密度	JIS A 1109により表乾・絶乾密度測定
	吸水率	JIS A 1109 準拠
	実積率	JIS A 1104 準拠
	密度	養生条件 N, W, D の密度・質量変化率を測定(φ100×200mm)
	圧縮・静弾性係数	JIS A 1108, 1149 参照 φ100×200mm
	曲げ特性	JIS A 1106, 三等分点荷重法により曲げ強さとたわみ量測定(100×100×400mm)
空隙率	ポーラスコンクリート空隙率試験方法を参照し測定(φ50×100mm)	

表-6 木片コンクリートの計画割合(kg/m³)

記号	W/C (%)	P/C (%)	C	W	P	Ad (%)	増粘剤 (%)
*40	40	10	1274	510	127	C× 0.25	W× 0.1
*50	50	15	1146	573	172		
*60	60	20	1019	611	204		

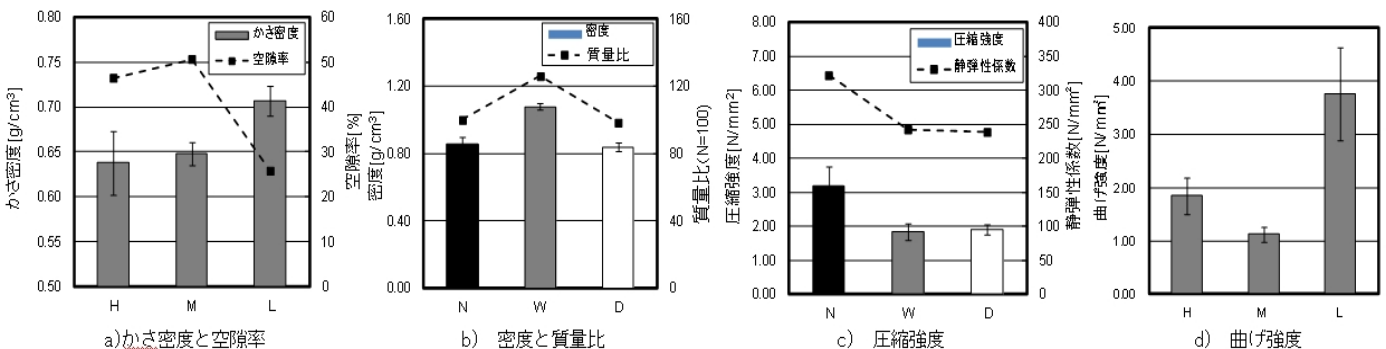


図-1 海外輸入ブロックおよび供試体の基礎物性

RLは、脆弱化した木片などの含有量のばらつきが大きく、コンクリート材料として使用に影響が生じる可能性が考えられた。セメント硬化体との硬化不良改善の課題があるカラ松材の密度は赤松材と比べると1.5倍程度大きく、粒状体成分や含水分などの影響が生じる可能性がある。

(3)木片チップの密度及び吸水率

図-2b)~d)に木片チップ単体を用いた表乾・絶乾密度、吸水率を示す。表乾密度はかさ密度と同様の傾向であった。吸水率は非常に大きく、木片が乾燥している場合、水の接触により吸水が生じ、コンクリート製造上の障害となる可能性が考えられた。チップ使用時に十分な湿潤状態とする必要があり、その密度を表乾密度とし、十分に乾燥させたものを絶乾密度とした。質量比は吸水率と関係があり、小サイズのRSは粒状体に多く含水させることで表乾密度と吸水率が最大となり、絶乾密度は最小となった。大サイズのRLは逆の傾向を示し、表乾密度が最小となった。カラ松材の密度は赤松材と比べ大きな違いはないが、若干吸水率が大きく、粒状体中の成分や含水分など品質の違いが生じることが確認できた。

(4)木片コンクリートの作製と基礎物性

海外輸入ブロックの物性で課題が見出されたように、災害時の課題も踏まえ、国内で木片コンクリートの使用条件を示すためには、法規制上の用途制限の緩和以外に、力学特性および吸水後の耐久性の課題がある。全5種類の木片チップを粒状骨材とし、混和量を大きく下げることなく木片コンクリートを製造し、構造用コンクリートに使用可能な力学特性が保持されるか検討を行った。

表-6の計画調査による3水準の水セメント比でコンクリートを製造した。水セメント比が小さくなり粉体量が増加するとフレッシュ状態が大きく低下し均質さが損なわれるため、木片量は逆に減らす調合とした。その上で、ペーストと木片チップが均質に練混ぜられた硬化体となるよう締め固めを増大させた。また廃木材チップを使用したRM, RLは、粒状体であるチップとセメントペーストの材料分離低減のため増粘剤(W×0.1%)を添加した。

図-3に木片コンクリートの吸水・乾燥時の密度と質量比を示す。海外ブロックと木片チップは吸水・乾燥により通常のコンクリートと相違する物性を示した。特に吸水により質量変化が増大後に、24時間105℃の再乾燥の結果、木片の種類に違いがない形で質量が大幅に減少し、密度も大幅に低下する現象は留意が必要となる。

(5)木片コンクリートの力学特性・変形抵抗性

図-4に木片コンクリートの圧縮強度・静弾性係数を示す。木片チップの種類を問わず、含水により強度低下し、乾燥処理後も強度低下の影響を受けることが確認された。また、その傾向は高水セメント比の場合の静弾性係数に顕著となった。また、廃木材チップを用いた場合、粒径が大きいRLのみが強度低下が顕著となり、カラ松KSも大幅な強度低下が生じることはなかった。

図-5a)に日本建築学会RC規準式との関係性を評価するため、平均密度値をALCパネルと同等の密度0.5g/cm³、軽量コンクリート同等の密度1.0~1.5g/cm³を併せて比較したところ、密度 $\gamma=0.5\text{g/cm}^3$ とした場合の圧縮強度と静弾性係数の推定式で力学特性が評価できた。また、木

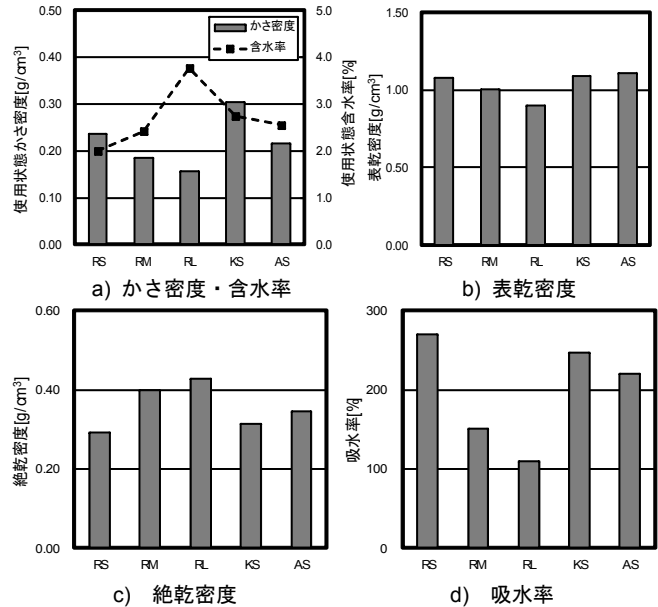


図-2 各種木片チップの基礎物性

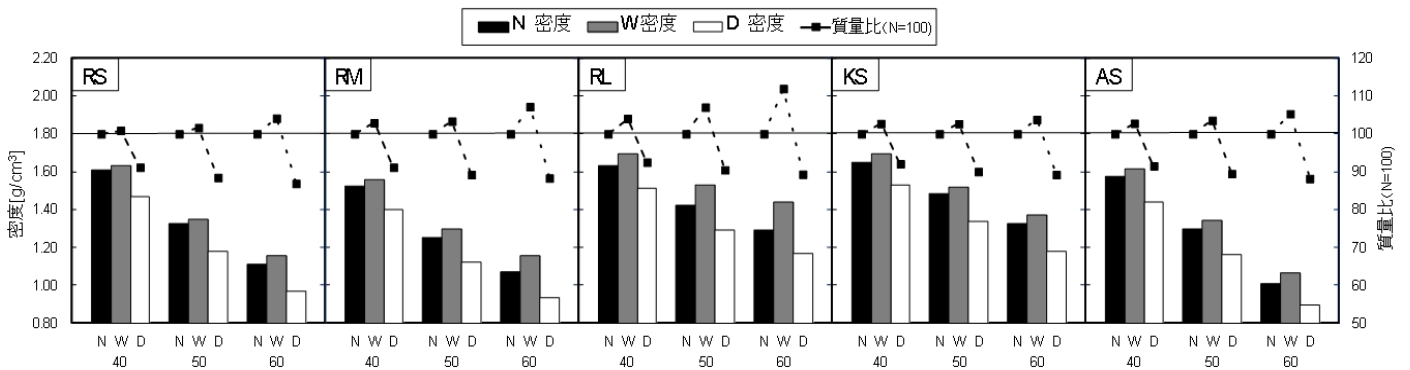


図-3 木片コンクリートの吸水・乾燥による密度と質量比

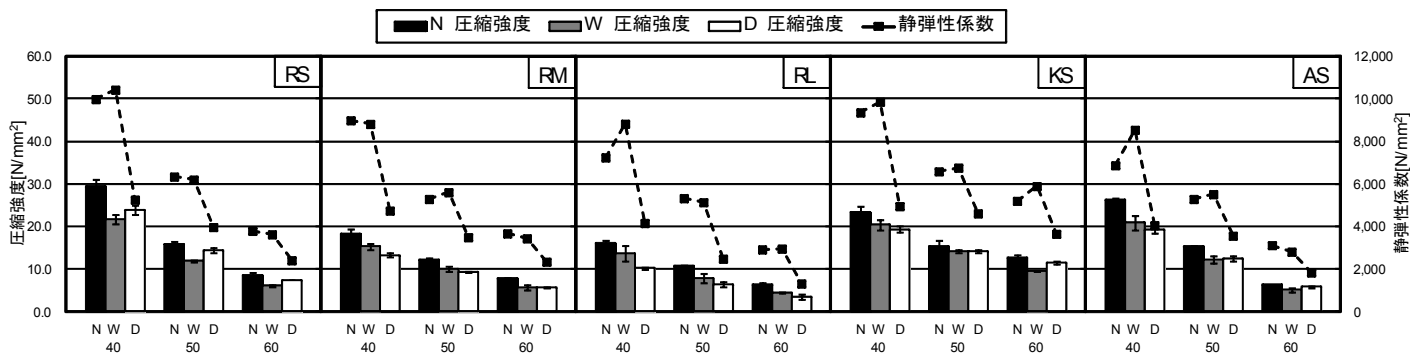
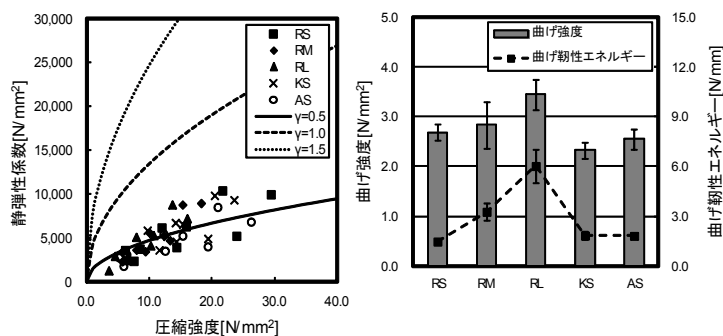


図-4 木片コンクリートの吸水・乾燥による圧縮強度と静弾性係数の変化



a) 圧縮強度—静弾性係数 b) 曲げ強度と曲げ靱性エネルギー

図-5 木片コンクリートの剛性・変形抵抗性

片種類に関わりなく最大 30N/mm²程度まで強度改善を図ることができ、海外輸入ブロックの 10 倍以上の圧縮強度を確保することができた。

図-5b)では木質セメント板としての使用を想定し、曲げ破壊特性を評価した。曲げ抵抗性は、曲げ区間に対する 1.0%変形量を限界状態とし、曲げたわみ曲線におけるたわみ量 3mm までを曲げ靱性エネルギーとして評価した結果、一般的なコンクリートと同様に曲げ強度が圧縮強度の 1/5 程度を有し、曲げ靱性エネルギーも曲げ強度と同等の性能を有することが確認できた。なお、圧縮強度とは逆の傾向として、粒径が大きい方が曲げ強度と曲げ破壊エネルギーが大幅に増大した。災害廃木材チップ RL の木片ストランドとしての寸法的特性が発現し、コンクリートの曲げ抵抗性に寄与したと考えられる。

3.まとめ

本研究により、以下の知見が得られた。

- 1) 海外輸入ブロックは、強度・耐火性に関わる法規制の観点から、日本国内での構造材料としての使用が現状では困難であり、屋外での使用を想定した含水時および乾燥後の力学特性に関して改善が必要な点を有していた。
- 2) 木片コンクリートに硬化不良の影響が想定されたカ

ラ松材を混和しても大きな強度低下はなく、セメント量の増加に伴い十分に改善したため、廃木材や硬化不良種の未利用木材でも木材チップの処理方法により十分に使用可能となる。

- 3) 木片コンクリートは、吸水・乾燥による圧縮強度の低下が木片サイズに応じて増大した。屋外使用を目的とする場合、木片チップが小さいほうが有利であり、曲げ強度については木片自身の引張・曲げ強さの影響により、木片サイズが大きい方が有利となる特性が確認され、廃木材からの粒状体製造方法に考慮可能である。
- 4) 木片コンクリートは、海外輸入ブロックと比べて約 2～10 倍程度の圧縮強度が得られ、一部の水準で 20N/mm²以上が確保できたが、密度が約 1.3～2 倍程度増加し、容易な切断加工が可能な性質は失われた。全体として骨材の不燃化や耐摩耗性能向上、長期使用における耐久性の検討等が次の課題となる

参考文献

- 1) 首都直下地震の被害想定と対策，中央防災会議，2013
- 2) 全国木材連合会，木材が広げる新たな価値，2016. 8
- 3) 田村雅紀ほか：副産微粉を同種材料に混和したコンクリートの耐久性状，JCI 年次大会論文集，Vol. 37，No. 1，pp.1879-1884，2015. 7
- 4) 笠井芳夫ほか：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 473号，pp. 1-10，1995. 7
- 5) 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，pp. 1-48，1985. 3

謝辞

本研究の実施にあたり、木チップの提供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・試料提供に際し、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助力を賜りました。なお本研究の一部は、H29 年度工学院大学私立大学ブランディング事業による。