

環境負荷低減を目指した セラミック炭混入気泡モルタルの性能評価

西澤 卓史***, 小野 博宣*, 長尾 拓樹**

Performance Evaluation of Aerated Mortar Mixed with Ceramic Charcoal and the Environmental Load on Earth

Takushi NISHIZAWA, Hironobu ONO* and Hiroki NAGAO**

(Received June 16, 2003)

This experiment investigated the performance of the earth aerated mortar with ceramic charcoal concerning its thermal conductivity, moist absorption or desorption, and absorbent capacity of the volatile organic compounds.

From the test result the aerated mortar mixed with ceramic charcoal shows the best performance when the substitution rate is 80%. The use of eco-cement will reduce architectural waste, improve recycling method, and lessen environmental load on Earth

Keywords: ceramic charcoal air mortar, replacement ratio, Environmental application performance

1. はじめに

近年、全産業に対するゼロ・エミッション化、地球環境問題などの社会的関心が高まり、リサイクルや環境負荷低減の技術開発が進められている。一方、住宅産業においては室内環境の高気密化が進んでおり、それに伴う結露やカビ、建材などから発生しているVOC・(Volatile Organic Compounds: 揮発性有機化合物: ホルムアルデヒド、パラジクロロベンゼン、トルエン、キシレンなど)が人体に悪影響を及ぼすシックハウス症候群を起こすため大きな社会問題となっている。

一方、建設産業においては廃棄物問題、資源問題などに関係が深く早急な対策が求められている。平成3年度から「再生資源の利用の促進に関する法律(リサイクル法)」が施行された。国土交通省によるリサイクルの実態調査結果から2000年度(H12)の建設廃棄物のリサイクル率は、5年前に比べ27ポイント上昇し85%となり、埋め立て処分する最終処分量は69%減少した。公共工事でのリサイクル品の使用が広まったため、リサイクル率は、道路工事から出るアスファルトが17ポイント増え98%、ビルの建て替えなどから出るコンクリート塊が31ポイント増え96%と高くなった。木材

はリサイクル性の高い材料であり、環境負荷低減に対応しやすいと考えられるものの、木造住宅の建て替えなどから出る木材はリサイクル率30%と10ポイント低下している。

しかしながら木材のリサイクル率を上げることは可能であり、新たな利用方法を模索検討する必要がある。現在、木質系建築廃材・間伐材の端材などの有効利用を目的として炭化加工した様々な用途開発が進められている。

最近、「セラミック」をバインダーとし、木材の廃材や、植林間伐材などの有効利用として開発された「セラミック炭」と呼ばれる炭化物がある。「セラミック炭」とは、炭とセラミックの複合体で、超軽量(密度0.15程度)多孔質である。性質としては、各種ガス、臭いの吸着に優れており、湿気を吸排出し、調湿材、また断熱材として最適で、セラミックコーティングされており、超難燃性で建材用途にも最適である。また、シリカ、アルミナを大量に含み、土壌改良資材として優れている。

本研究では、気泡モルタルを細骨材として使用し、また都市ゴミ焼却灰を主な原料としたセメントとして注目されているエコセメントをマトリックスとして使用することによって、建築等廃材の減量化、リサイクル率の向上、環境負荷低減をするための実験的考察を行うことにした。

また、セラミック炭を気泡モルタルに混入することでセラミック炭の持つ優れた性能である超軽量、吸湿・吸水・保水

*建築学科 (Department of Architecture)

**シロヤマ建設株式会社 (Shiroyama Constructional Company)

***建設工学専攻大学院生 (Graduate Student, Constructional Engineering)

性、断熱・難燃性、揮発性有機化合物吸着性などを生かすことができる。またエコセメントとセラミック炭の複合材は資源の有効利用の点から優れており、建築材・内装材としての適用を材質強度（曲げ、圧縮）・吸放湿性・断熱性・揮発性有機化合物吸着性などの性能評価試験を行い、その有効性を検討した。その複合材を建築用内装材として有効利用することを検討することで建物の省エネルギー化と快適居住環境の創成に寄与できるものとする。

2. 実験概要

2.1 使用材料およびモルタル配合

本試験では普通型エコセメント、細骨材に木曽川産川砂・セラミック炭、高性能AE減水剤、起泡剤を使用した。セラミック炭気泡モルタルの調合は、水セメント比 35、40、45、50、（%）の4水準、細骨材：セメント（質量比）＝2：1とし、また細骨材（木曽川産川砂）をセラミック炭（体積比）で60、80、100（%）の3種類置換した。表1に使用材料、表2に配合、表3にその他の配合を示す。

2.2 実験項目および方法

(1) 曲げ・圧縮強度試験

セラミック炭を用いた気泡モルタルの品質を調査するために、4×4×16の供試体を3体ずつ作成し、JIS R 5201に準拠し強度試験（圧縮・曲げ強度）を行った。

(2) 吸放湿試験

吸湿・放湿試験については15×15×3の供試体を3体ずつ作成し、温度20℃一定とし、相対湿度を変化させる環境を作るため、恒温恒湿槽（ESPEC シリーズ）を使用して制御し、各条件下での重量変化を測定した。セラミック炭気泡モルタル供試体では、吸湿・放湿ともにRH=50%で行った。供試体は絶乾状態を試験開始の基準とし、測定間隔は測定開始より12時間は1時間ピッチ、その後12時間後に1回、24時間毎に6回、合計19回の測定を行った。尚、試験前に絶乾状態とするため、100℃で2日間強制乾燥を行った。

(3) 熱伝導率試験

熱伝導試験はJIS A 1412に準拠し、30×40×2cmの供試体を作成し、測定を行った。尚、試験前に絶乾状態とするため、100℃で2日間強制乾燥を行った。

(4) 衝撃吸収試験

30×40×2cmの供試体を使用し、JIS A 1408に準拠し、衝撃試験（重錘落下法）による測定を行う。

(5) 揮発性有機化合物試験

15×15×3の供試体を使用し、温度20℃一定で、真空デシケーターを使用し、その容器内のホルムアルデヒド濃度が0.5ppmとなるようホルムアルデヒド注入量を計算する。その計算されたホルムアルデヒドをマイクロシリンジを使用し容器に注入し、その時供試体も一緒に入れる。その後、数分間ホルムアルデヒドを揮発

表1 使用材料

材料	記号	種類	物性
セメント	C	普通型エコセメント	密度 3.17g/cm ³
細骨材	S	木曽川産川砂	表乾密度 2.56g/cm ²
	CC	セラミック炭	密度 0.15g/cm ³
高性能AE減水剤	Ad1	マレイン酸誘導体共重合系	密度 1.05g/cm ³
起泡剤	Ad2	芳香族誘導体スルホン酸塩系	密度 1.03g/cm ³

表2 セラミック炭気泡モルタル配合表

W/C (%)	置換率 (%)	Weight (kg/m ³)					
		C	W	S	CC	Ad1	Ad2
35	60	314	107	580	38	0.9	1.6
	80	200	69	329	57	0.6	1.0
	100	52	18	-	82	0.2	0.3
40	60	308	121	568	37	0.9	1.5
	80	198	78	324	56	0.6	1.0
	100	52	20	-	82	0.2	0.3
45	60	302	133	557	36	0.9	1.5
	80	195	86	320	55	0.6	1.0
	100	52	23	-	81	0.2	0.3
50	60	296	146	547	35	0.9	1.5
	80	193	95	316	55	0.6	1.0
	100	51	25	-	81	0.2	0.3

表3 その他の配合

W/C (%)	シリーズ	Weight (kg/m ³)					
		C	W	S	CC	Ad1	Ad2
50	100CS-I1	97	48	-	77	0.3	0.5
	100NA	64	222	-	100	0.2	0
	NCCA	485	239	971	0	1.5	2.4
	NCCNA	601	239	1203	0	1.8	0

させる。濃度測定は、ポータブル型ホルムアルデヒド検知器を使用する。測定間隔は、測定開始から 30 分後、1 時間後から 5 時間後までは 1 時間ごとに、その後は 12 時間ごとに 24 時間後まで合計 10 回測定することにした。なお、試験前に絶乾状態とするため、100℃で 2 日間強制乾燥を行う。

(6) 総合性能評価

各試験において、シリーズ別に表を作成し、基準となる建材との性能を比較し、◎、○、△、×の 4 段階にわけ評価する。基準建材の性能を 100%として、実験で得た値を比率で比較する。また、◎は 7 点、○は 5 点、△は 3 点、×を 1 点とし、全項目における総合点と、各試験で性能のばらつきを考慮し評価する。

3. 実験結果と考察

3.1 曲げ・圧縮強度試験

図 1、2 に $W/C=50\%$ における曲げ・圧縮強度と密度の関係を示す。グラフの凡例内または文章内の NCCA は普通気泡モルタル、NCC NA は普通モルタル、NA は起泡剤を使用していない場合、 $C:S=1:1$ はセメントと細骨材を質量比で 1:1 の配合での場合を示す。図 1 より、一般的にコンクリートやモルタルは水セメント比を低く設定するにつれ強度が増加するといわれている。本試験においても、セラミック炭置換率 60、80%においては曲げ強度の増加の傾向がみられた。しかし、セラミック炭置換率 100%においては、水セメント比による強度変化はみられなかった。セラミック炭置換率 100%の NA や $C:S=1:1$ ではセラミック炭置換率 100%と比べると約 3~5 倍の強度を示したがセラミック炭置換率 80%の場合の 1/2 以下の強度を示した。またセラミック炭置換率 60%の場合、NCC NA (普通モルタル) の 1/2 程度の強度であった。図 2 より、 $W/C=50\%$ において密度と圧縮強度に相関関係がみられた。セラミック炭置換率 100%の NA や $C:S=1:1$ ではセラミック炭置換率 100%と比べると約 2~3 倍の強度を示したがセラミック炭置換率 80%の場合の 1/2 程度の強度にとどまった。またセラミック炭置換率 60%の場合、NCC NA (普通モルタル) の 1/4 程度の強度であった。

一般的な建築材、例えば ALC の必要とされている曲げ強度は 1N/mm^2 以上、圧縮強度は 4N/mm^2 以上である。セラミック炭置換率 100%の気泡モルタル以外はその強度を満たしており建築材・内装材として適用が可能であると考えられる。

3.2 吸放湿試験

図 3、4 に相対湿度 50%における吸湿量と時間の関係、放湿量と時間の関係を示す。図 3 より 168 時間後においては、セラミック炭置換率 60%は NCC NA や NCCA より少し低い値を示した。168 時間後でセラミック炭置換率 80%は 48 時間後に比べるとセラミック炭置換率 100%の値に近い吸湿量を示した。図 4 より $W/C=50\%$ においては、168 時間後においては、セラミック炭置換率 100%は NA より少し高い

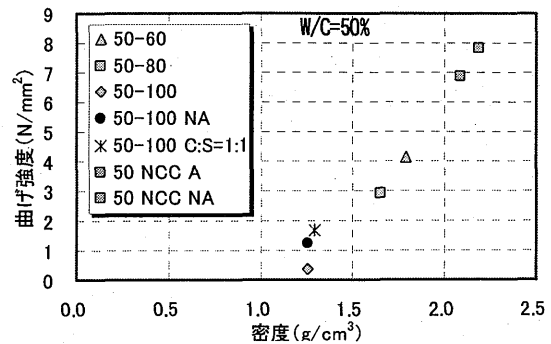


図 1 供試体密度と曲げ強度

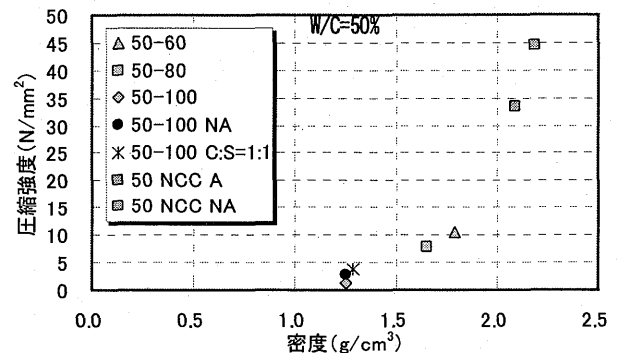


図 2 供試体密度と圧縮強度

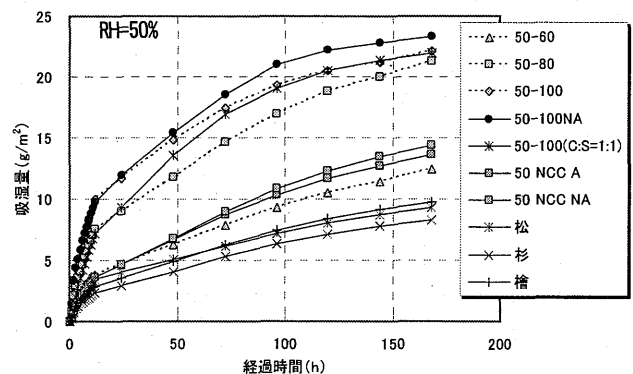


図 3 吸湿量と時間の関係

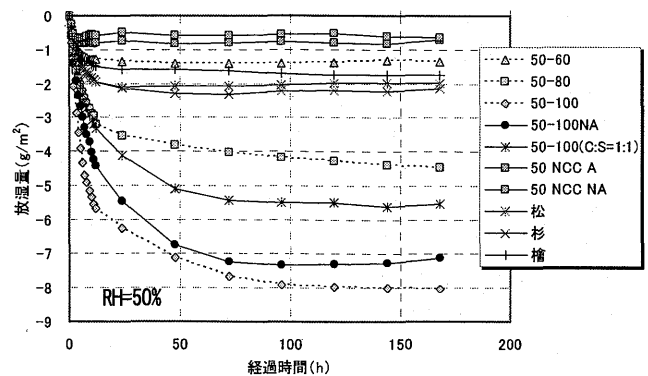


図 4 放湿量と時間の関係

相対衝撃エネルギー $1.90[\text{J}/(\text{g}/\text{cm}^3)]$ とほぼ同値であった。また、NCCAの相対衝撃エネルギーが一番高い $1.98[\text{J}/(\text{g}/\text{cm}^3)]$ を示したことは、NCCNAより気泡が多いため、その気泡が衝撃の吸収材となったと考えられる。しかし、セラミック炭気泡モルタルでは、セラミック炭自身が脆く軽量であるため混入するほど相対衝撃エネルギーが低下し衝撃吸収材として期待できないと考えられる。

3.5 揮発性有機化合物吸着性試験

図 11、12 に濃度と時間の関係を示す。図 11 よりセラミック炭置換率 100%の場合はホルムアルデヒドの最高濃度が 1.45 (ppm) を示し、セラミック炭置換率 100%の場合は、セラミック炭置換率 60、80%や NCCNA の約 1/2 以上の濃度を示したことより 2 倍以上の高いホルムアルデヒド吸着性があることを示した。図 12 より最終測定値はセラミック炭置換率 80%は 0.09 (ppm)、セラミック炭置換率 100%が 0.01 (ppm) と置換率 80%の場合の方が 9 倍多い濃度であった。最終測定値から全体的にみるとセラミック炭が混入されている、または置換率が高い方がホルムアルデヒドを多く吸着する能力がある傾向を示した。

3.6 総合性能評価

セラミック炭混入気泡モルタルの性能を行なった試験より、他の内装材などと性能を比較し簡易的な性能評価を行なった。結果の一例を表 4 に示す。基準建材の性能を 100%として、実験で得た値を比率で比較し、◎、○、△、×で評価し、またそれを◎:7点、○:5点、△:3点、×:1点として、総合点を計算すると一番点数が高く平均的に性能が良いと考えられるのがセラミック炭置換率 80%である結果を示した。

4 まとめ

- 1) 材質強度試験よりセラミック炭置換率 60、80%の場合は、建材「ALC の性能」曲げ強度の $1\text{N}/\text{mm}^2$ 以上を十分満たしている。
- 2) 吸放湿試験より、セラミック炭置換率 100%は NCCNA (普通モルタル) の約 1.8 倍の吸湿能力を示し、放湿については約 13 倍と非常に高い放湿能力を示した。
- 3) 断熱性試験について、セラミック炭置換率 100%は熱伝導率が $0.134 (\text{W}/\text{m} \cdot \text{K})$ を示し、ALC の熱伝導率は $0.15 (\text{W}/\text{m} \cdot \text{K})$ より優れた断熱性を期待できると考えられる。
- 4) 衝撃吸収性試験について、セラミック炭自身が脆く軽量であるため混入するほど相対衝撃エネルギーが低下し、衝撃吸収性能として期待できないと考えられる。
- 5) 揮発性有機化合物吸着性試験について、セラミック炭置換率 100%は最終測定値が 0.01 (ppm) となり高いホルムアルデヒド吸着性を示した。セラミック炭を混入することによりホルムアルデヒド吸着能力が増加すると考えられる。

以上 5 項目について総合的に性能評価を行なうと、セラミック炭置換率 80%が建築内装材として優れた性能を有することが明らかになった。

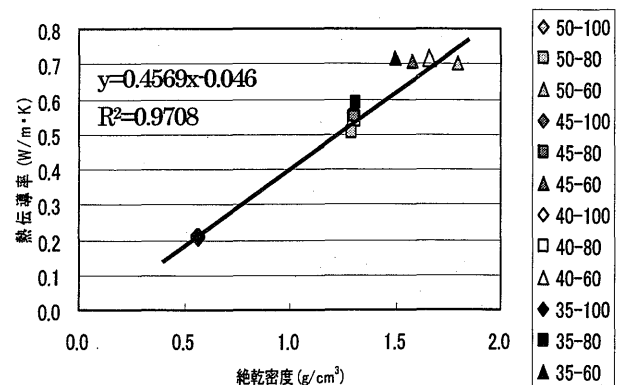


図 8 熱伝導率と密度の関係

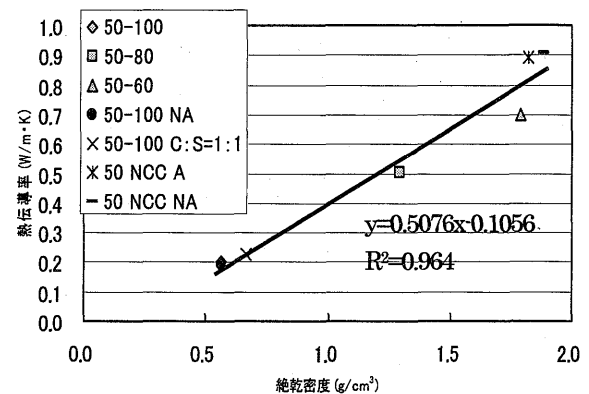


図 9 W/C50%における熱伝導率と密度の関係

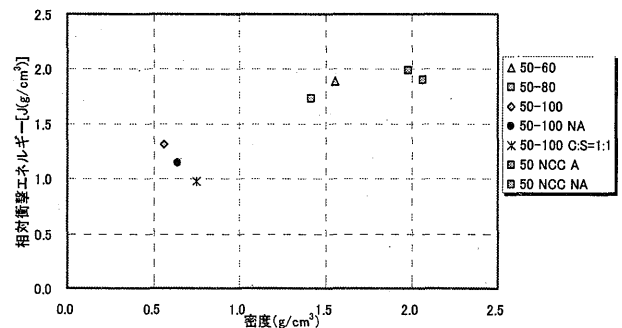


図 10 相対衝撃エネルギーと密度の関係

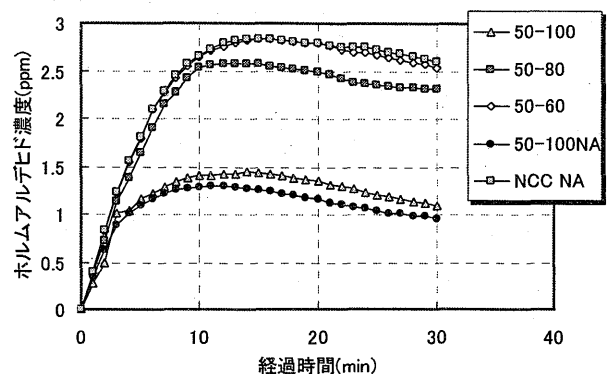


図 11 濃度と時間の関係 (30min)

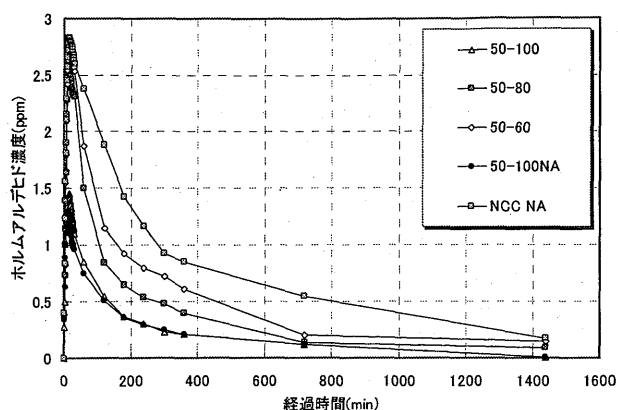


図12 濃度と時間の関係 (1440min)

表4 総合性能評価表

置換率 シリーズ	材質強度 試験	吸放湿特 性試験	断熱性 試験	衝撃吸収 性試験	揮発性有機化合 物吸着性試験	総合点
60%	◎	○	×	○	○	23
80%	◎	◎	△	△	○	25
100%	×	◎	○	△	◎	23
NCC NA	◎	○	×	△	○	21
基準建材	ALC	NCC NA	ALC	NCC NA	NCC NA	

謝 辞

本研究にあたり、中部大学総合工学研究所研究費によった。太平洋セメント株式会社・ゼロエミッション事業部、協同組合カーボテック飛騨・セラミック炭販売事業部に多大な御協力をいただいた。また、中部大学4年生政井信樹さん、松田崇さんの助力を得た、記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 平沼、小野、金子、山本：瓦廃材を用いた気泡モルタルの断熱性と衝撃特性、日本建築学会 2001 年度大会（関東）、学術講演梗概集、pp.679～680
- 2) 平沼、小野、金子、山本：数種の廃棄物を用いた気泡モルタルの吸放湿特性と施工性、日本建築学会東海支部研究報告集 2002 年 p.121～124
- 3) 中部セメントコンクリート研究会材料部会研究報告書：環境とコンクリートの新技術 pp.1～8、2000
- 4) セメント・コンクリート研究会水委員会：セメント・コンクリート中の水の挙動、1993
- 5) 長尾、小野、山本：数種の産業廃棄物を用いた気泡モルタルの断熱性と吸放湿特性、日本建築学会 2002 年度大会（北陸）学術講演梗概集 pp.297～298