

廃陶器粉末により着色したセメント系材料の物性と色彩

立命館大学理工学部 正会員 ○井上 真澄

立命館大学理工学部 平尾 和洋

立命館大学理工学部 正会員 岡本 享久

立命館大学理工学部 正会員 児島 孝之

1. はじめに

意匠性と構造性能を両立する構造材料の開発を目的として、産地や色彩の異なる廃陶器粉末を着色材として使用した場合のモルタルおよびコンクリートの基本物性および色彩について検討を行った。

2. 実験概要

廃陶器には、産地と色彩の異なる6種類を使用した。表1に使用材料を、図1に微粉碎した廃陶器の粒度曲線を示す。セメントには、普通ポルトランドセメントとホワイトセメントの2種類を使用した。

まず、陶器の種類と置換率、セメントの種類が着色したモルタルの強度と色彩に及ぼす影響を把握するため、微粉碎した廃陶器を細骨材置換したモルタル供試体を作製し、圧縮強度および色彩の測定を行った。モルタルの配合は、水セメント比は75%、細骨材セメント比は4とした。全粉体質量[C+P]に占める廃陶器粉末質量[P]の割合(以下、廃陶器置換率 $[P/(C+P)]$)が0~50%となるように、細骨材の内割置換率 $[P/(S+P)]$ を決定した。目標フローは $180 \pm 20 \text{ mm}$ 、目標空気量は $4 \pm 1\%$ とし、混和剤(Ad₁, Ad₂)を用いて調整した。供試体は $\phi 5 \times 10 \text{ cm}$ の円柱供試体とし、標準水中養生($20 \pm 1^\circ \text{C}$)の後、材齢28日で圧縮試験を実施した。

次にモルタル実験の結果を考慮して廃陶器粉末を1種類選定し、着色したコンクリートの各種物性試験と色彩測定を行った。表2にコンクリートの示方配合を示す。水セメント比は60%、廃陶器置換率は0~40%となるように配合を決定した。目標スランプは $8 \pm 2 \text{ cm}$ 、目標空気量は $4 \pm 1\%$ とし、細骨材率と混和剤(Ad₃, Ad₄)により調整した。コンクリート供試体は、所定の試験材齢まで標準水中養生を行い、各種物性試験を実施した。

色彩は、脱型後養生室($20 \pm 1^\circ \text{C}$, $60 \pm 5\% \text{ RH}$)内で材齢28日まで保管したモルタル($\phi 5 \times 10 \text{ cm}$)とコンクリート供試体($\phi 10 \times 20 \text{ cm}$)の型枠面に対して、分光色差計を用いて $L^*a^*b^*$ 表色系で測色した。コンクリート供試体は、屋外と屋内($20 \pm 1^\circ \text{C}$, $60 \pm 5\% \text{ RH}$)に暴露し、色彩の経時計測も行った。

3. 実験結果および考察

モルタル実験 図2に圧縮強度と廃陶器置換率の関係を示す。セメントの種類に関わらず、幾分変動はあるものの置換率の増加に伴い、圧縮強度が増加する傾向にある。これは、本実験においては水セメント比を一定として廃陶器粉末を細骨材置換したため、粉末が練混ぜ水を吸水し見かけの水セメント比が低下したこと、また粉末の置換によりモルタル硬化体の組織が緻密化したことに起因するものと考えられる。廃陶器粉末の種類に着目すると、セメントの種類に関わらずPE以外はほぼ同程度の圧縮強度を示した。廃陶器粉末は、その産地

表1 使用材料

材料	主な性質
セメント	C 普通ポルトランドセメント (密度 3.16 g/cm^3 , 比表面積 $3300 \text{ cm}^2/\text{g}$)
	ホワイトセメント (密度 3.05 g/cm^3 , 比表面積 $3660 \text{ cm}^2/\text{g}$)
廃陶器粉末	PA 萬古焼, 密度 2.51 g/cm^3 , 粉体色
	PB 萬古焼, 密度 2.57 g/cm^3 , 粉体色
	PC 萬古焼, 密度 2.48 g/cm^3 , 粉体色
	PD 丹波焼, 密度 2.41 g/cm^3 , 粉体色
	PE 丹波焼, 密度 2.47 g/cm^3 , 粉体色
	PF 信楽焼, 密度 2.40 g/cm^3 , 粉体色
細骨材	S 野洲川産川砂 (表乾密度 2.61 g/cm^3 , F.M.2.88, 吸水率 1.42%)
粗骨材	G 高槻産硬質砂岩碎石 (表乾密度 2.70 g/cm^3 , F.M.6.84, 吸水率 0.67% , 最大骨材寸法: 20 mm)
混和剤	Ad ₁ 高性能 AE 減水剤(主成分: ポリカルボン酸系特殊高分子界面活性剤)
	Ad ₂ AE 助剤(主成分: ポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸ナトリウム塩)
	Ad ₃ AE 減水剤(主成分: リグニンスルホン酸塩とポリオール複合体)
	Ad ₄ AE 助剤(主成分: アルキルアリルスルホン酸塩)

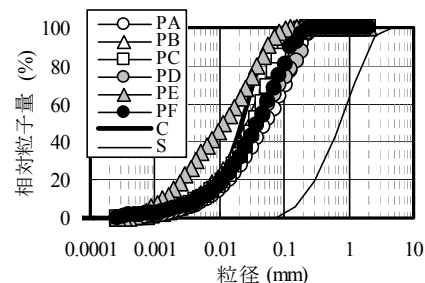


図1 廃陶器粉末の粒度曲線

表2 コンクリートの示方配合

P (C+P) (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤		スランプ (cm)	空気量 (%)
			W	C	P	S	G	Ad ₃	Ad ₄		
0	60	48	174	290	0	880	974	580	870	6.0	3.6
20		46			72	753	1012	1088	1451	6.0	3.7
30		44			125	666	1050	1443	2071	8.0	4.7
40		42			194	562	1088	1934	2901	7.0	2.1

キーワード 廃陶器粉末, 着色, 強度, 色彩, 耐候性

連絡先 滋賀県草津市野路東 1-1-1 立命館大学理工学部 TEL 077-561-3345

や種類により密度の差はあるものの、同程度の粒度であれば、モルタルに細骨材置換した場合の強度発現に及ぼす影響は小さいと考えられる。一方、PEは他の廃陶器よりも強度が大きく、置換率の増加に伴う強度増加傾向も顕著になっている。これは図1の粒度曲線に示すように、PEは他の廃陶器よりも粒径が小さく、粉末が吸水しやすい状態であったことに起因すると推察される。また、練混ぜ時には他陶器に比べて極端にフロー値が低下した。

図3には色合いと彩度を示す a^* 値と廃陶器置換率の関係を示す。 a^* 値は、各陶器とも置換率の増加に伴い赤側(+側)に増加する傾向にある。特に粉体自体の色彩が鮮やかなPEとPFを使用した場合に、その増加が顕著である。青から黄を示す b^* 値も、PEとPFでは置換率の増加に伴い、黄側(+側)に増加する傾向を示した。また、 a^* と b^* ともにホワイトセメントを使用の方が大きい値を示す傾向にあり、廃陶器粉末による着色には、ホワイトセメントが有効であると考えられる。

コンクリート実験 モルタルの実験結果より、着色効果と練混ぜ時のフレッシュ性状を考慮して、PFを選定した。これをコンクリートに細骨材置換して着色した場合の各種物性について検討を行った。

図4に着色したコンクリートの各種強度および静弾性係数を示す。圧縮強度は、モルタルと同様に廃陶器置換率の増加に伴い明確に大きくなる傾向にある。引張強度、曲げ強度および静弾性係数は、置換率により傾向に変動はあるが、全体としては置換率の増加に伴い、大きくなる傾向を示した。また、図3に示すように着色したコンクリートの色彩値は、同廃陶器により着色したモルタルと同程度であり、廃陶器置換率の増加に伴って同様の着色効果が得られることを確認できた。

図5にコンクリート供試体の色彩経時変化の一例として、廃陶器置換率40%のデータを示す。色の明るさを示す L^* は、置換率に関わらず暴露開始1~2ヶ月において変化が大きい。これは、供試体が乾燥環境下では供試体表面の水分逸散し、それに伴って色彩が淡白色になるためであると考えられる。一方、 a^* と b^* については、暴露初期において幾分変化はあるものの、それ以後は屋外と屋内の経時変化を比較しても差異は小さい。目視においてもコンクリートに色あせや変色などは観察されておらず、色彩値の経時変化はほぼ一定を推移している。従って、暴露1年が経過した現時点では色彩の耐候性を有していると判断できる。

4. まとめ

- (1)水セメント比を一定として廃陶器粉末を細骨材置換した場合、置換率の増加に伴い、モルタルとコンクリートの圧縮強度は増加する傾向にある。
- (2)廃陶器粉末は、産地や種類により密度の差はあるものの、同程度の粒度であれば、モルタルに細骨材置換した場合の強度発現に及ぼす影響は小さい。
- (3)黄から赤の色彩を有する廃陶器粉末は、粉末自体が色鮮やかなものが着色に有効である。
- (4)廃陶器粉末によるモルタルの着色には、ホワイトセメントの使用は有効である。
- (5)暴露1年が経過した現時点においては、着色したコンクリートの色彩に色あせや変色などの変化は観察されなかった。

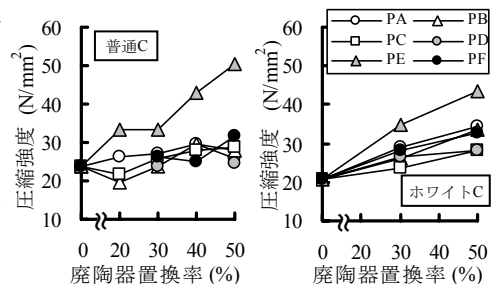


図2 モルタル圧縮強度と廃陶器置換率の関係

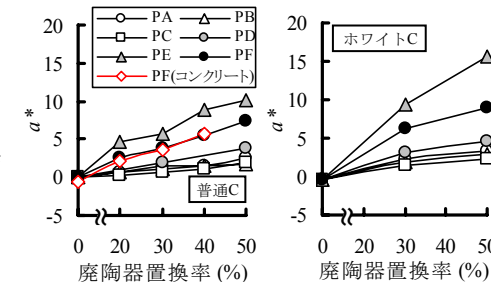


図3 a^* 値と廃陶器置換率の関係

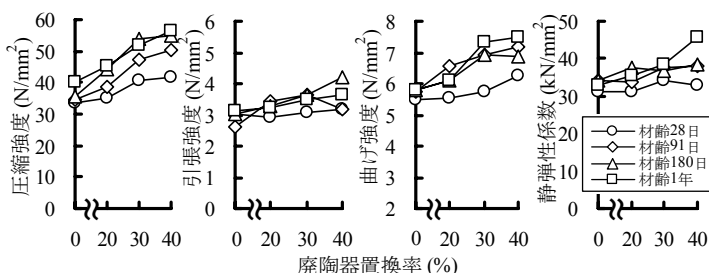


図4 着色したコンクリートの各種強度および静弾性係数

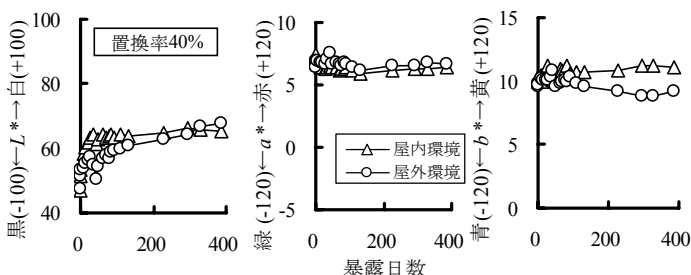


図5 着色したコンクリートの色彩経時変化(置換率40%)