

論文 廃陶器粉末により着色したモルタルおよびコンクリートの物性と色彩

井上 真澄^{*1}・平尾 和洋^{*2}・岡本 享久^{*3}・児島 孝之^{*4}

要旨: 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。その結果、廃陶器粉末を細骨材置換した場合の圧縮強度は、陶器の種類に関わらず置換率の増加に伴い増加傾向を示した。着色したモルタルの色彩は、黄から赤の廃陶器粉末では粉末自体の色彩が鮮やかな陶器が着色に有効であり、置換率の増加により高い着色効果が確認された。また、着色したコンクリートでもモルタルと同様の着色効果が得られ、屋外暴露して1年を経過した現時点では色あせや変色などは観察されなかった。

キーワード: 廃陶器粉末, 着色, 強度, 色彩, モルタル, コンクリート

1. はじめに

近年、日本各地における大規模地震発生の危険性が高まるなど、都市防災対策の必要性が高まっている。その一方で、木造建築から鉄筋コンクリート造や鉄骨造の建築への建て替えに代表される、建築・都市の耐震不燃化・近代化による都市景観の悪化が著しい。従って、耐震・耐火性に優れた鉄筋コンクリートには、構造材料としての機能だけでなく、景観素材としての役割が一層重要になるものと考えられる。

一般にコンクリートは、構造材料として優れた性能を有する反面、木材や石のような天然の素材に比べて無彩色で単調なため、見る人に人工的な印象を与えている¹⁾。また、コンクリート構造物とした場合には、表面が平滑で断面が大きいと、自然環境や都市空間の中では圧迫感を与えやすく、その色が周囲と大きく異なるため目立ってしまうことから、景観に対して悪いイメージがつきまとう。これに対して、コンクリート構造物の周辺環境に合わせて顔料により着色をするカラーコンクリートやコンクリートの洗い出しおよび研磨などの表面処理、化粧型枠によって様々な凹凸をつけてテクスチャーを表現するなどの工夫がなされている²⁾。コンクリートは、色彩とテクスチャーを付与することにより、景観素材としての表現の幅を広げ、従来のコンクリートがもつ冷たさや無表情さ、圧迫感などを緩和することができると考えられる。

一方、我が国におけるセメント系材料の着色は、主にドイツで開発された顔料や着色技術に大きく依存しているのが現状である。しかし、日本の伝統的な建造物や都市景観、自然環境を保全し後世に継承していくためには、日本独自の発想に基づいた着色技術も必要と考えら

れる。例えば、歴史的建造物や町並み等の伝統的、個性的な特色のある景観を形成している地域においては、地域性のある素材・材料の活用に努めることは有効である。その一つとして、我が国の伝統工芸である陶器の活用が挙げられる。陶器は、地場の粘土を原料としており、各地域特有の製造方法により様々な色彩を発現し、独特な素材感を有する。これをコンクリートの一部に混和して着色できれば高耐久な伝統的素材としての適用が期待される。陶器には製造過程において発生する不良品(以下、廃陶器と称す)を再利用することで、自然環境保全やリサイクル再資源化の観点からも有益になるものと考えられる。

そこで著者らは、日本の伝統的景観素材である土壁・土塀のような意匠性を持ちながら強度と耐久性にも優れた意匠材料の開発を目的として、陶器が有する色彩と素材感に注目し、廃陶器粉末の置換により着色したモルタルおよびコンクリートに関する強度特性および色彩について実験検討を行った。

2. 廃陶器粉末および使用材料

2.1 廃陶器の種類

廃陶器は、三重県四日市市(萬古焼)、兵庫県丹波市(丹波焼)、滋賀県甲賀市(信楽焼)より色彩の異なる廃陶器を計6種類採取した。本研究では、土壁や土塀などの景観素材への適用を想定した意匠材料の開発を目的としている。そこで歴史的保存地区の地域色の一つである東山麓麓街路沿いの外壁(土壁, モルタル壁, 木材壁, コンクリート壁など景観素材)を対象とした色彩調査結果³⁾を参考にして、黄から赤の色彩を有する廃陶器を選定した。

*1 立命館大学 理工学部建築都市デザイン学科助教 工博 (正会員)

*2 立命館大学 理工学部建築都市デザイン学科准教授 工博

*3 立命館大学 理工学部環境システム工学科教授 工博 (正会員)

*4 立命館大学 理工学部建築都市デザイン学科教授 工博 (正会員)

表-1 廃陶器粉末

廃陶器	産地	絶乾密度 (g/cm ³)	L*a*b*表色系			マンセル表色系			粉末色彩
			L*	a*	b*	H	V	C	
PA	萬古	2.51	45.8	8.3	11.8	5.0YR	4.5	2.5	茶色
PB		2.57	45.3	5.5	10.6	7.7YR	4.5	1.9	
PC		2.48	54.3	6.3	14.6	8.3YR	5.4	2.6	
PD	丹波	2.41	45.6	10.9	16.1	5.2YR	4.5	3.3	茶色
PE		2.47	61.7	15.5	28.9	6.4YR	6.2	5.6	
PF	信楽	2.40	55.0	23.4	25.6	1.9YR	5.5	6.5	茶色

注) PDのみ釉薬含有

表-2 使用材料

材料	主な性質
セメント	普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm ³ , 比表面積 3300cm ² /g)
	ホワイトセメント (密度 3.05g/cm ³ , 比表面積 3660cm ² /g)
細骨材	野洲川産川砂(表乾密度 2.61g/cm ³ , F.M.2.88, 吸水率 1.42%)
粗骨材	高槻産硬質砂岩砕石 (表乾密度 2.70g/cm ³ , F.M.6.84, 吸水率 0.67%, 最大骨材寸法: 20mm)
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: アルキルアシルスルホン酸塩)

2.2 廃陶器粉末の物性

採取した廃陶器は、ジョークラッシュャ、ロールクラッシュャ、ボールミルを用いて微粉碎した。表-1に廃陶器粉末の物性を示す。廃陶器粉末の絶乾密度は、JIS A 1202(土粒子密度試験)に準じて測定した。

一般の着色材は、粒子径が小さいほど着色力が大きい⁴⁾といわれる。廃陶器の粉碎過程において、セメントの粒度より細かくした場合、乱反射の影響により粉体の色彩が薄れる傾向にあったため、セメントの粒径を目安として粉碎を行った。図-1に各廃陶器粉末の粒度曲線を示す。粒度は、レーザ回折式粒度分布測定装置を用いて測定した。

2.3 モルタルの使用材料

表-2には陶器以外の使用材料の物性を示す。セメントには、普通ポルトランドセメントと一般に着色コンクリートに使用されているホワイトセメントの2種類を使用した。

3. 実験概要

3.1 実験要因

本実験では、陶器の種類、陶器置換率、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

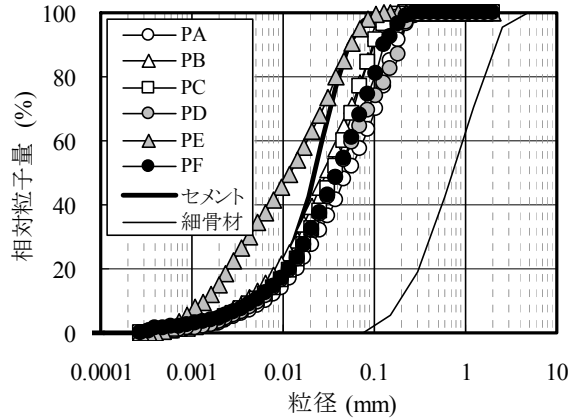


図-1 廃陶器粉末の粒度曲線

表-3 コンクリートの示方配合およびフレッシュ試験結果

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

供試体を作製し、圧縮強度試験および色彩測定を行った。次に着色したコンクリートの物性と色彩を把握することを目的として、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、各種物性試験と色彩測定を行った。また、着色した場合は色あせや変色などに対する抵抗性が要求されることから、色彩の経時変化についても実験検討を行った。

3.2 モルタルおよびコンクリートの配合

モルタルの配合は、水セメント比[W/C]、細骨材セメント比[(S+P)/C]を一定として、廃陶器粉末の置換率を変化させた場合に、目標フローと目標空気量に調整可能な配合を試験練りにより選定した。その結果、モルタルの水セメント比は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±20mm、目標空気量は4±1%とし、混和剤(Ad₁, Ad₂)を用いて調整した。

表-3にコンクリートの示方配合を示す。普通ポルトランドセメントを用いた普通強度のコンクリートを対象として、水セメント比[W/C]は60%、廃陶器置換率[P/(C+P)]は0~40%となるように配合を決定した。目標スランプは8±2cm、目標空気量は4±1%とし、細骨材率と混和剤(Ad₃, Ad₄)により調整した。

3.3 供試体の作製方法および測定項目

モルタル供試体は、φ5×10cmの円柱供試体とし、打設後型枠上面をガラス板で覆い、2日間恒温恒湿室(20±

1°C, RH90±5%)中に静置した。その後脱型し、材齢28日まで標準水中養生(20±1°C)を行った。圧縮強度は、JSCE-G 506 1999「円柱供試体を用いたモルタルまたはセメントペーストの圧縮強度試験方法」に準じて材齢28日で試験を行った。

コンクリート供試体は、材齢1日で脱型後、所定の試験材齢(28日, 91日, 180日, 1年)まで標準水中養生(20±1°C)を行った。試験は、JISによる試験方法に準拠し、スランプ、空気量、圧縮強度、曲げ強度、割裂引張強度、静弾性係数、乾燥収縮ひずみの測定を行った。乾燥収縮試験は、供試体(100×100×400mm)を材齢7日まで標準水中養生した後、20±1°C, RH60±5%の環境下で実施した。乾燥収縮ひずみの測定は、コンタクトゲージ法で行った。

色彩は、脱型後恒温恒湿室(20±1°C, RH60±5%)内で材齢28日まで養生したモルタルおよびコンクリート供試体の型枠面に対して分光色差計により測色した。また、打設後28日間水中養生したコンクリート供試体(φ10×20cm)を各種環境条件に暴露し、供試体型枠面にて色彩の経時計測を行った。暴露条件は、屋外環境、屋内環境(20±1°C, 60±5%RH)の2水準とした。

3.4 色彩の評価方法

廃陶器粉末により着色したモルタルおよびコンクリートの色彩は、接触型分光色差計を用いてL*a*b*表色系、マンセル表色系(H V/C)で表した。照明、受光方式はJIS Z 8722の条件bに準拠し、測定波長範囲は400~700nm、測定波長間隔は20nm、反射率測定範囲は0~150%、分解能は0.01%、測色条件は光源D65、視野角条件10°、測定径8mmである。供試体表面には若干の色むらが観察されたため、各供試体の型枠面に対してランダムに選定した20点で測定を行い、その平均を色彩値とした。

L*a*b*表色系は、CIE(国際照明委員会)で規格化されており、日本ではJIS Z 8729に規定されている。L*は明度指数といい、100から0までの範囲の値で明るさを示し、この値が高くなるほど白、低い場合は黒となる。a*とb*はクロマティックネス指数(色質指数)といい、-120から120の値を示す。a*がプラスの場合は赤色、マイナスの場合は緑色に近くなる。一方、b*がプラスの場合は黄色、マイナスの場合は青色に近い色となる。a*とb*の組み合わせによって色相(色合い)と彩度(鮮やかさの度合い)の関係を表す⁵⁾。数値(絶対値)が大きくなるに伴い色鮮やかになり、小さくなるに伴いくすんだ色になる。以下に、L*a*b*表色系の表記例を示す。

表記例) L*=36.9, a*=21.7, b*=24.2 [茶 ■■■■]

マンセル表色系は、「三属性による色の表示方法」としてJIS Z 8721で採用されており、色相(色合い)をH、明度(明るさ)をV、彩度(鮮やかさ)をCで表す。色相は1~10の数字と記号(赤はR, 黄赤はYR, 黄はYなど)で、明度を

0(完全暗黒)から10(完全純白)の数字で、最後に彩度を0(無彩色)から始まる数字で表す⁶⁾。

表記例) 5R 4/14 [鮮やかな赤 ■■■■]

3.5 色彩指標

本研究では、土塀・土壁のような意匠性を持ちながら強度と耐久性にも優れる意匠材料の開発を目的としている。そこで色彩指標として、京都東山山麓街路沿いの外壁(土壁、モルタル壁、木材壁、コンクリート壁など景観素材)を対象としたJIS標準色票(JIS Z 8721準拠、光沢版)による色彩調査結果(マンセル表色系)³⁾を採用した。

4. 実験結果および考察

4.1 モルタル

(1) 圧縮強度と廃陶器置換率の関係

図-2に圧縮強度と廃陶器置換率の関係を示す。普通ポルトランドセメントおよびホワイトセメントを使用したモルタルともに、幾分変動はあるものの廃陶器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廃陶器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、廃陶器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、練混ぜ時には他の陶器に比べて極端にフロー値が小さくなる傾向にあり、混和剤によるフロー調整が必要となった。

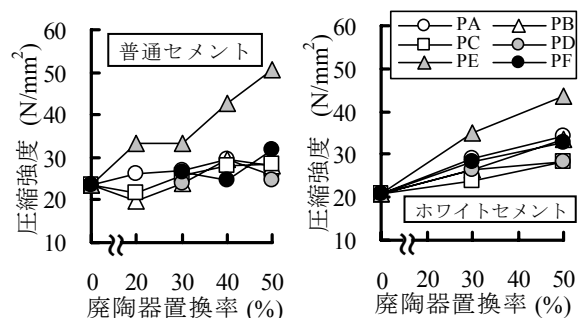


図-2 圧縮強度と廃陶器置換率の関係

(2) L*a*b*値と廃陶器置換率の関係

表-4に全供試体の色彩測定結果を、図-3に明度L*と

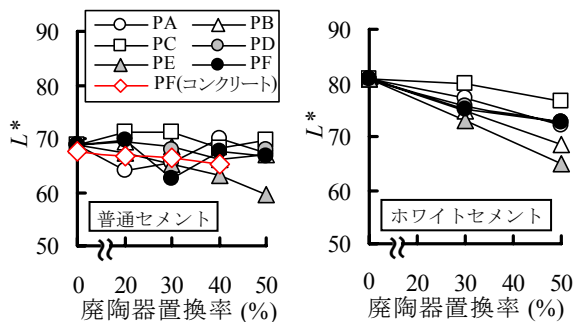


図-3 明度 L^* と廃陶器置換率の関係

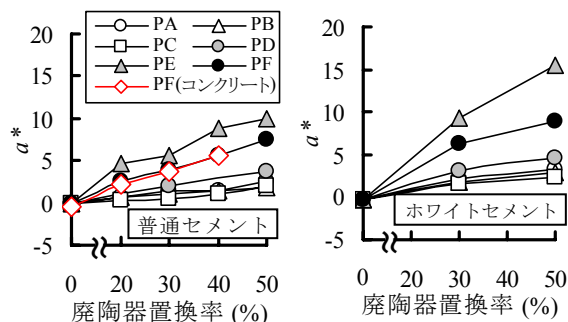


図-4 a^* と廃陶器置換率の関係

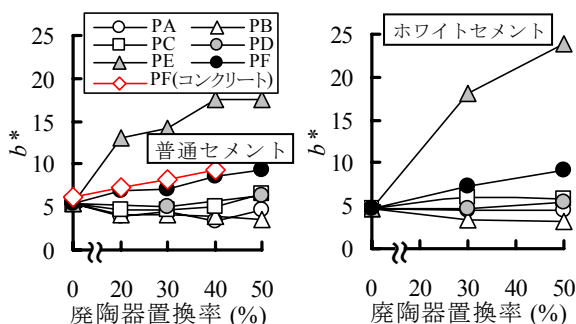


図-5 b^* と廃陶器置換率の関係

廃陶器置換率の関係を示す。 L^* は、廃陶器の種類によって若干の変動はあるが、セメントの種類に関わらず廃陶器置換率の増加に伴い、数値が小さくなる傾向にあった。また、ホワイトセメントの場合は、供試体表面が淡白になる傾向にあり、普通ポルトランドセメントを使用した場合よりも明度を示す L^* は全体的に大きな値を示した。

図-4と図-5に色合いと彩度を示す a^* および b^* と廃陶器置換率の関係を示す。緑から赤を示す a^* は、各陶器とも廃陶器置換率の増加に伴い、赤側(+側)に増加する傾向にある。特に廃陶器PEおよびPFを使用した場合に、その増加傾向が顕著である。青から黄を示す b^* についても、PEとPFでは廃陶器置換率の増加に伴って、黄側(+側)に増加する傾向を示した。また、 a^* および b^* ともにホワイトセメントを使用した場合の方が大きな値を示す傾向にあり、廃陶器粉末による着色には、ホワイトセメントの使用が有効であると考えられる。

表-4 色彩測定結果

セメント	廃陶器置換率	$L^*a^*b^*$ 表色系			マンセル表色系			色彩	
		L^*	a^*	b^*	H	V	C		
普通ポルトランドセメント	N	68.9	-0.03	5.36	4.9Y	6.8	0.7		
	PA	20	64.1	0.69	3.98	2.1YR	6.3	0.6	
		30	65.5	1.49	4.43	9.6YR	6.5	0.7	
		40	69.9	1.42	3.27	8.3YR	6.9	0.6	
		50	67.3	2.51	4.62	6.8YR	6.7	0.9	
	PB	20	69.5	0.63	4.02	2.0YR	6.9	0.6	
		30	68.4	1.07	4.09	0.6Y	6.8	0.6	
		40	66.1	1.48	3.87	8.9YR	6.7	0.7	
		50	67.1	1.77	3.58	7.5YR	6.6	0.7	
	PC	20	71.1	0.35	4.64	3.4Y	7.1	0.7	
		30	71.2	0.58	4.61	2.4Y	7.1	0.7	
		40	68.1	1.12	5.11	1.2Y	6.7	0.8	
		50	69.6	1.97	6.54	9.8YR	6.9	1.1	
	PD	30	68.0	1.92	5.11	9.1YR	6.7	0.9	
		50	68.0	3.80	6.33	6.0YR	6.7	1.3	
	PE	20	67.4	4.73	13.1	9.1YR	6.7	2.2	
		30	65.3	5.68	14.2	8.7YR	6.5	2.5	
		40	63.2	8.89	17.5	7.4YR	6.3	3.3	
		50	59.6	10.0	17.6	6.6YR	5.9	3.5	
	PF	20	69.8	2.51	6.87	9.0YR	6.9	1.2	
30		62.6	3.92	7.01	7.1YR	6.2	1.3		
40		67.5	5.57	8.5	5.2YR	6.7	1.8		
50		66.7	7.49	9.4	3.5YR	6.6	2.2		
N**	67.6	-0.55	6.09	7.4Y	6.6	0.8			
PF**	20	66.7	2.25	7.28	0.1Y	6.6	1.2		
	30	66.5	3.71	8.18	8.1YR	6.6	1.5		
	40	65.1	5.67	9.25	6.0YR	6.5	1.9		
ホワイトセメント	N	80.6	-0.34	4.64	6.2Y	8.0	0.6		
	PA	30	77.2	2.20	4.48	6.7YR	7.7	0.9	
		50	72.1	3.24	4.48	4.2YR	7.2	1.0	
	PB	30	74.8	1.80	3.36	6.7YR	7.4	0.7	
		50	68.6	2.89	3.25	3.0YR	6.8	0.8	
	PC	30	79.8	1.50	5.97	0.1Y	8.0	0.9	
		50	76.6	2.33	5.80	8.1YR	7.6	1.0	
	PD	30	75.8	3.06	4.62	4.8YR	7.5	1.0	
		50	72.7	4.65	5.50	3.0YR	7.2	1.4	
	PE	30	72.9	9.36	18.2	6.7YR	7.3	3.5	
		50	64.9	15.5	24.0	4.9YR	6.5	5.0	
	PF	30	75.0	6.30	7.22	2.5YR	7.5	2.0	
50		72.7	8.92	9.15	1.5YR	7.2	2.6		

注)Nは廃陶器無置換供試体。**印はコンクリート供試体。

廃陶器PEおよびPFにより着色したモルタルの色彩値は、表-1に示す廃陶器粉末自体の色彩値に近づく傾向にあり、廃陶器粉末の置換によるモルタルへの着色効果が得られたと考えられる。しかし、PEおよびPF以外の廃陶器については、置換率の増加に伴う a^* および b^* の変化が小さい。目視観察においても、廃陶器無置換モルタルと比較して、明確な色彩の差異は観察されなかった。

以上より、モルタルの色彩は、水セメント比や細骨材セメント比といった配合要因にも影響を受けると考えられるが、本実験の範囲ではPEやPFのように a^* および b^* が大きく、鮮やかな色彩を有する廃陶器粉末による着色が有効と考えられる。

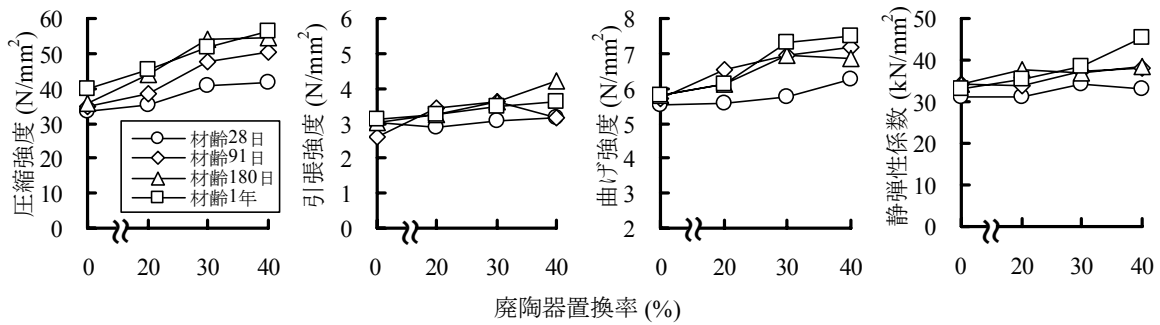


図-6 着色したコンクリートの各種強度および静弾性係数

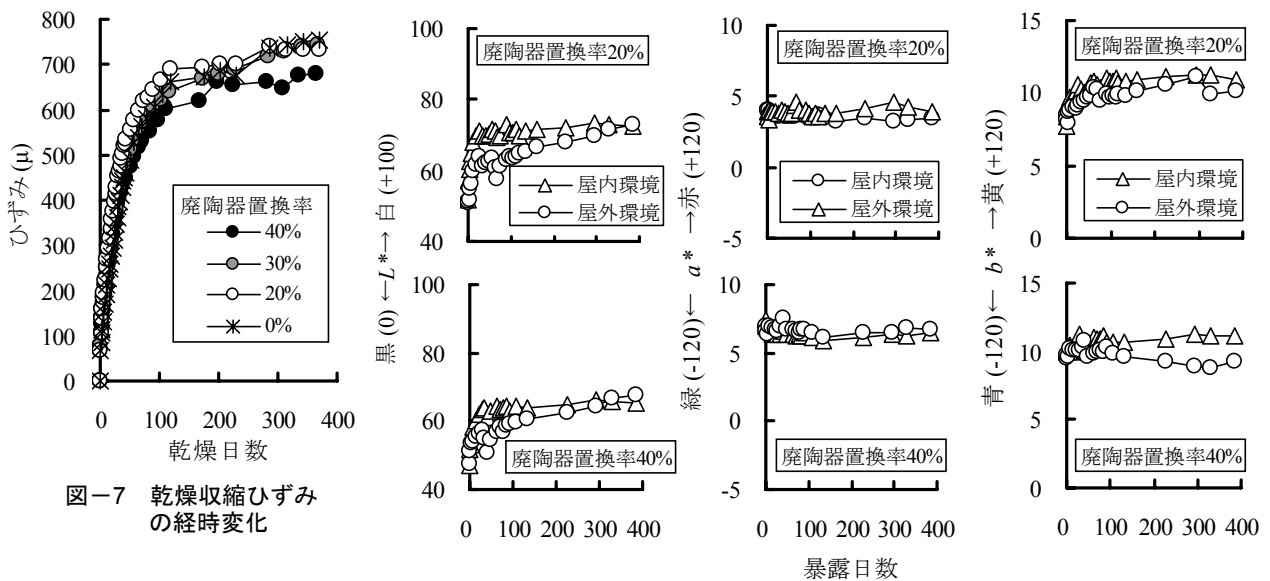


図-7 乾燥収縮ひずみの経時変化

図-8 着色したコンクリートの色彩経時変化

4.2 コンクリート

(1) 各種強度試験結果

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、廃陶器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-6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、モルタルによる実験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。材齢1年における置換率40%のコンクリート供試体では、無置換に比べて約4割の強度増加が確認された。一方、引張強度、曲げ強度および静弾性係数については、置換率によって傾向にばらつきはあるものの、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。

図-7には、乾燥収縮ひずみの経時変化を示す。廃陶器微粉末を細骨材置換した場合、置換率の変化に伴う乾燥収縮の明確な傾向はなく、無置換の普通コンクリートと大きな差異は観察されなかった。

(2) 色彩測定結果

図-3から図-5には着色したコンクリートの $L^*a^*b^*$ 値もプロットした。廃陶器PFにより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ほぼ

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-8に各種環境に暴露したコンクリート供試体の色彩経時変化として、廃陶器置換率20%と40%のデータを示す。 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。

4.3 色彩指標との比較

図-9に景観素材の色彩調査結果³⁾と廃陶器PFおよびPFにより着色したモルタルの色彩値をマンセル色度図にプロットしたものを示す。指標とした景観素材の色彩は素材により傾向は異なるが、全体として色相はR(赤)からY(黄)、明度は6~8の高明度、彩度は1~3の低彩度に

分布している。これに対して、PEにより着色したモルタルは色相が4.9YR~9.1YR、明度が5.9~7.3、彩度が2.2~5.0を、PFでは色相が1.5YR~9.0YR、明度が6.2~7.5、彩度が1.2~2.6を示した。また、これらの色彩値をマンセル色度図上にプロットした結果、廃陶器粉末により着色したモルタルの色彩は、歴史的な町並みにおける景観素材が多く集中する色彩域に分布した。また、伝統的景観素材である土壁の色彩にも概ね適合している。したがって、廃陶器粉末の種類と置換率を適切に選定して着色することにより、景観素材としての適用の可能性を有すると考えられる。

5. まとめ

本研究では、意匠性と強度、耐久性にも優れる意匠材料の開発を目的として、廃陶器粉末により着色したモルタルおよびコンクリートに関する物性および色彩について実験検討を行った。以下に、本研究の範囲内で得られた結果をまとめる。

- (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、モルタルおよび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、その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。この場合、置換率の増加により高い着色効果が得られ、その色彩は粉末の色に近づく傾向にあった。
- (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) 廃陶器置換率が着色したコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響は小さい。
- (6) 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。
- (7) 廃陶器粉末により着色したモルタルは、歴史的な町並みにおける既存の景観素材に近い色彩域にあることが確認された。

謝辞

本研究の遂行にあたり、三重県科学技術振興センター工業研究部窯業研究室と滋賀県工業技術開発センター信楽窯業技術試験場のご協力を頂きました。ここに記して、厚く感謝の意を表します。

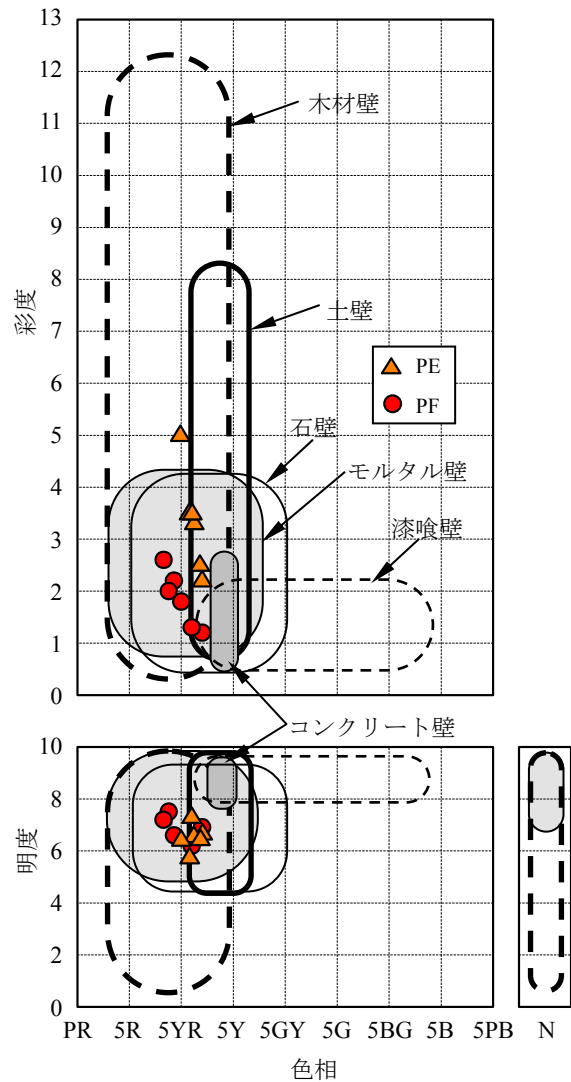


図-9 マンセル色度図

参考文献

- 1) 近藤高規：カラーコンクリートの着色技術の現状と課題，コンクリート工学，Vol.32，No.8，pp.24-29，1994.8
- 2) 坂田昇：コンクリートの表面仕上げ・表面保護 6.各種仕上げの特長 打放し系，コンクリート工学，Vol.41，No.9，pp.113-118，2003.9
- 3) 川崎敏弘，加藤光彦，平尾和洋，山本直彦：京都東山山麓伝統的街区における地域色と直立壁面材料の視覚的テクスチャーの定量化，日本建築学会近畿支部研究報告集，第44号・計画系，pp.461-464，2004
- 4) (社)日本材料学会編：コンクリート混和材料ハンドブック，エヌ・ティー・エス，2004
- 5) (財)日本色彩研究所：色彩管理と色差計の活用，日本電色工業，2001
- 6) 日本建築学会編：建築の色彩設計法，丸善株式会社，2005.4