

廃陶器粉末により着色したコンクリートの物性と色彩評価

Mechanical Properties and Color of Colored Concrete by Using Waste Earthenware Powder

平尾 和洋
Kazuhiro HIRAO

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ますます高まっている。その一方で、木造建築から鉄筋コンクリート構造や鉄骨構造の建築への建て替えに代表される、建築・都市の不燃化・近代化による都市景観の悪化が著しい。現状では耐震・耐火性を持つ構造材料として、鉄筋コンクリートが挙げられているのみであり、今後は構造材料としてだけでなく景観素材としてもコンクリート材料の役割は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やすい。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いため、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、近年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されている。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。

本研究では、陶器が有する色彩と素材感に注目し、廃陶器を有効利用してセメント系材料と混和することにより、日本の伝統的景観素材である土塀・土壁のような色やテクスチャーといった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。廃陶器によるコンクリートの着色に着目し、廃陶器を粉砕してコンクリートに混和した場合の力学的な物性および着色効果について、2006年に作成した供試体を用いて継続観測を行った。また着色コンクリートでは、構造物が供用される自然環境下において、色落ちや変色などによってコンクリート表面の印象が変化する可能性が危惧される。そこで、各種環境下に暴露して長期的にコンクリート面での色彩評価も行った。また、色彩については、京都東山山麓の建築外装材を対象とした視感測色による色彩調査から評価指標を設定し、比較検討を行った。

2. 実験概要

図-1 に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。一般に着色材の粒子径は $0.1\sim 10\mu\text{m}$ 程度であり、着色力の大きさは粒子径が小さいほど大きい。しかし、陶器廃材の粉砕過程において、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砕を行った。

セメントには普通ポルトランドセメント(密度:3.16g/cm³)を使用した。細骨材には野洲川産川砂(密度:2.60g/cm³、F.M.:2.73、吸水率:1.56%)、粗骨材には高槻産硬質砂岩碎石(密度:2.70g/cm³、F.M.:6.80、吸水率:0.70%、最大寸法 20mm)を使用した。混和剤には、AE 減水剤(リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体)および AE 助剤(アルキルアリルスルホン酸化合物系陰イオン界面活性剤)を使用した。採取した陶器は、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順に微粉碎した。

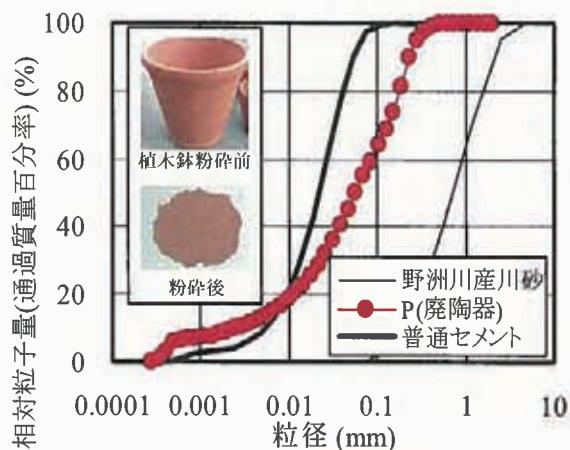


図-1 廃陶器粉末の粒度分布

表-1 に実験要因を示す。配合は、水セメント比[W/C]が 60%、陶器置換率[P/(C+P)]が 0~40%として決定した。目標スランプは 8±2cm、目標空気量は 4±1%とし、細骨材率と混和剤量で配合調整した。各種強度試験用供試体は材齢 1 日で脱型後、試験材齢(28、91、180、360 日)まで標準水中養生(20±1°C)を行った。

廃陶器粉末を混和したコンクリートの諸特性を明らかにするため、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、静弾性係数の測定を行った。

一方、廃陶器粉末により着色したコンクリートの色彩は、供試体型枠面において接触型分光色差計を用いて L*a*b*表色系およびマンセル表色系(H V/C)で測定した。コンクリート用着色材として要求される性能の中で耐候性は重要な検討項目である。そこで暴

表-1 実験要因

要因		仕様
陶器		廃植木鉢
配合	水セメント比	60%
	陶器置換率	0%、20%、30%、40%
物性試験項目		圧縮強度、曲げ強度、割裂引張強度、静弾性係数
色彩表色系		L*a*b*値、マンセル値
暴露条件(色彩評価用)		屋外、屋内

露条件・日数が着色したコンクリートの色彩に及ぼす影響について検討を行った。暴露条件は、屋外、屋内(20±1°C、60±5%RH)の 2 水準とした。打設後 28 日間水中養生した供試体を各環境に暴露し、色彩の経時計測を行った。また、色彩指標として、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を用い、着色したコンクリートとの比較検討も行った。

3. 実験結果および考察

a) 物性試験結果

図-2 に各種強度、静弾性係数と陶器置換率の関係を示す。圧縮強度は、材齢に関わらず置換率の増加に伴って強度も増加する傾向にある。材齢 1 年の置換率 40%では、無置換の場合と

比較すると約 40%の強度増加を示した。これは、廃陶器粉末量が増加するほど硬化体組織が緻密化すること、廃陶器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が原因と考えられる。一方、引張および曲げ強度については、置換による影響が明確ではないが、一部を除けば無置換の場合と同等以上の値を示した。静弾性係数は、圧縮強度と同様置換率の増加に伴い大きくなる傾向にあった。

b) 色彩評価

図-3 に暴露 28 日と 360 日の時点における $L^*a^*b^*$ 値と陶器置換率の関係を示す。暴露環境や暴露日数に関わらず置換率の増加に伴い、 L^* 値は小さくなる傾向に、また a^* 値と b^* 値は大きくなる傾向にある。廃陶器粉末のみの色彩値は $L^*=52.5$ 、 $a^*=23.5$ 、 $b^*=25.0$ であり、置換率の増加によりコンクリートの色彩値が廃陶器粉末の色に近づく傾向にあることが確認できた。また、置換率 40% までの範囲では、各値は置換率の増加に伴いほぼ線形的に変化しており、さらに置換率を増加することで高い着色効果が得られるものと推察される。

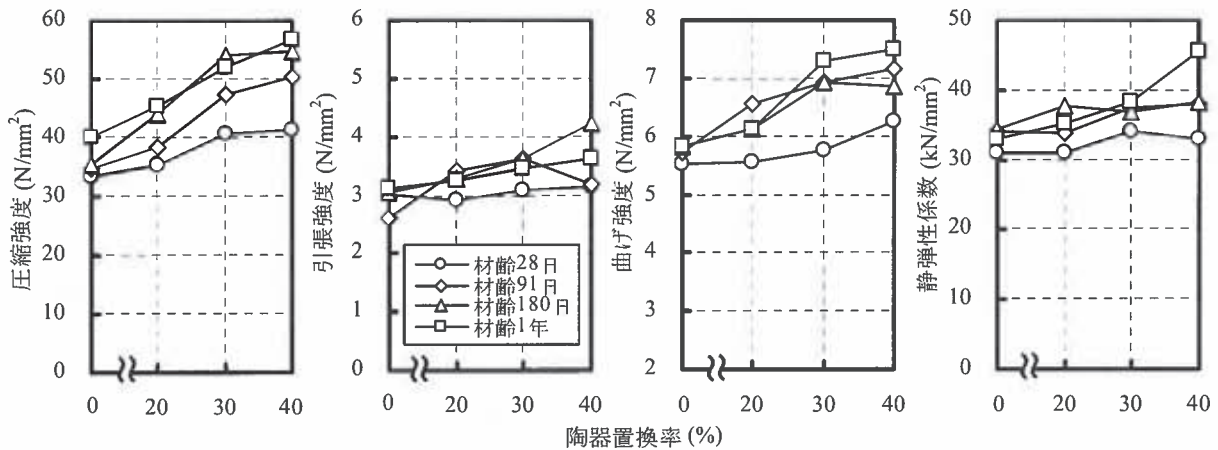


図-2 各種強度、静弾性係数と陶器置換率の関係

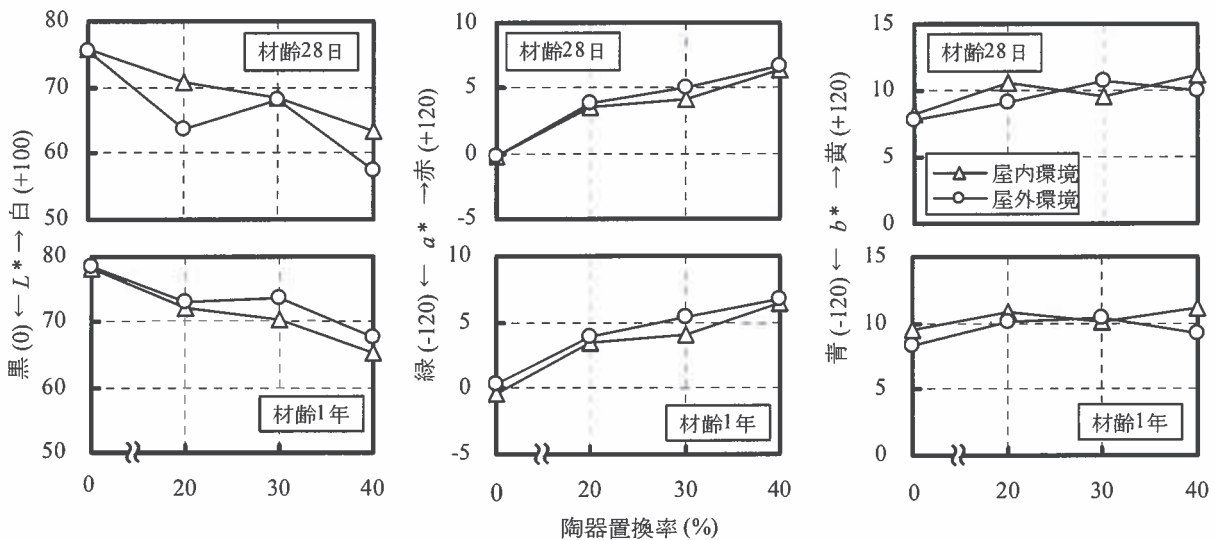


図-3 $L^*a^*b^*$ 値と陶器置換率の関係

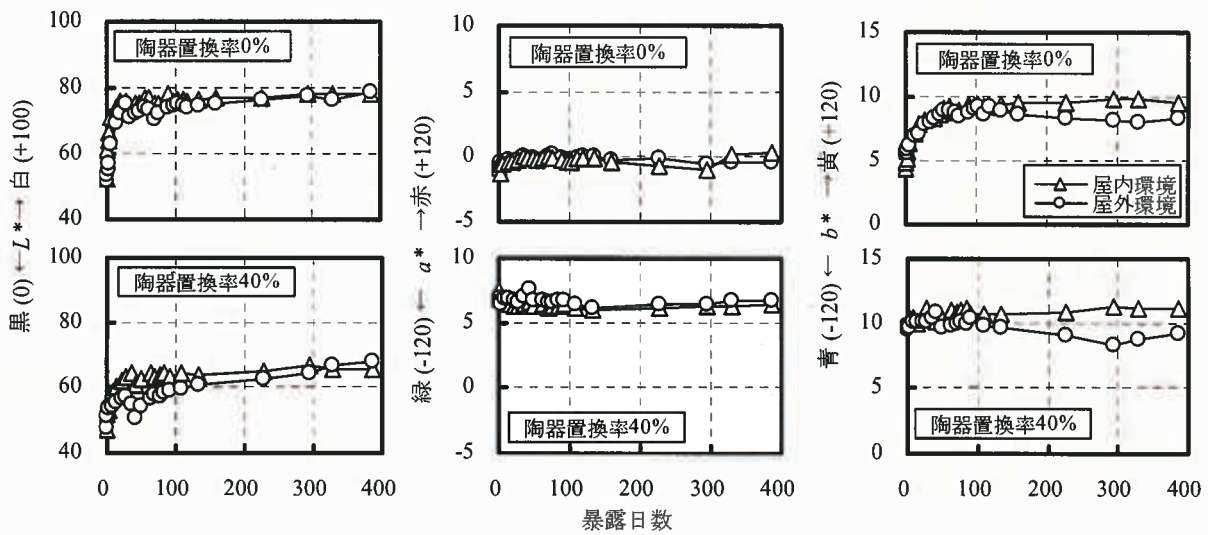


図-4 色彩(L*a*b*値)の経時変化

図-4に置換率0%と40%の色彩(L*a*b*値)の経時変化を示す。色の明るさを示すL*値は、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におかれることで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。特に屋外暴露した供試体では、測定日前の天候状態、特に降雨の影響で供試体の含水状態が変化するためL*値の経時変化も変動が大きくなった。一方、a*値とb*値については、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く、ほぼ一定で推移している。従って、暴露を開始して約1年が経過した現時点においては、陶器によって着色したコンクリートは耐候性を有していると判断できる。

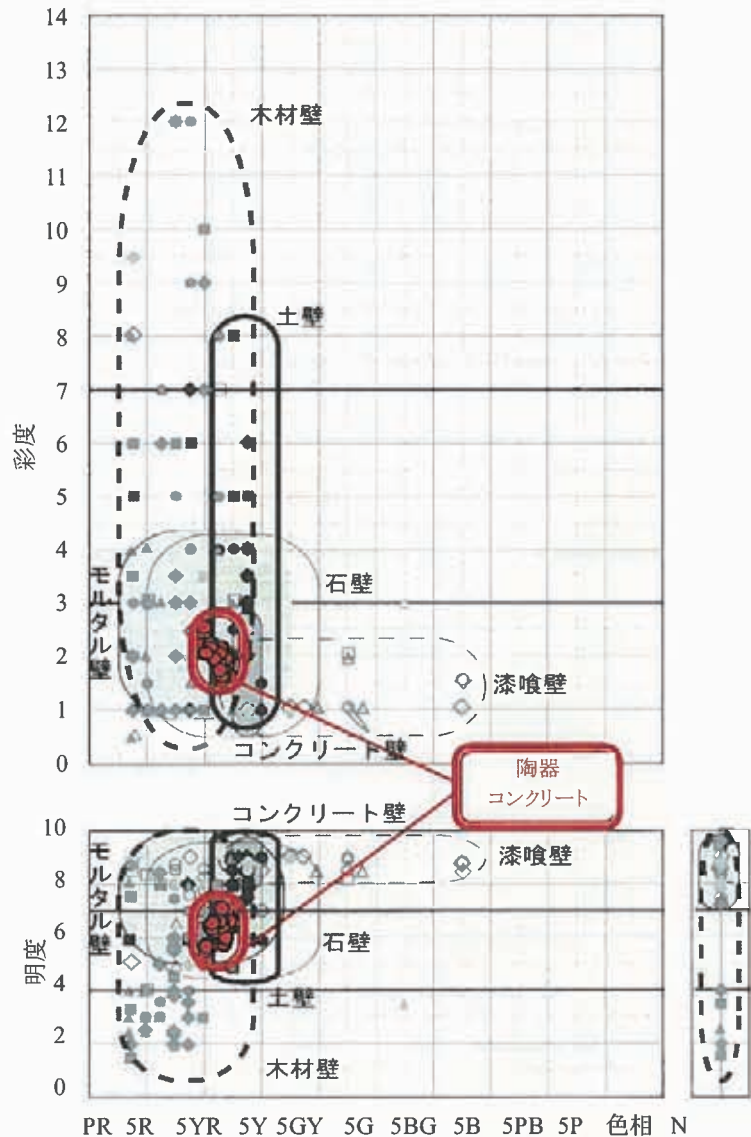


図-5 マンセル色度図

図-5に京都東山山麓地区の色彩調査結果をプロットしたマンセル色度図を、図-6にはそのカラーチャートを示す。廃陶器粉末で着色したコンクリートは、マンセル表色系で色相が 5YR から 10YR、明度が 5 から 7、彩度が 1 から 2 の範囲に分布した(図中の 2 重線枠内)。この範囲は、景観色彩調査結果のプロット点が比較的集中している範囲内に位置しており、廃陶器粉末で着色したコンクリートは京都東山山麓地区の色彩に適合する景観素材として適用の可能性があると考えられる。

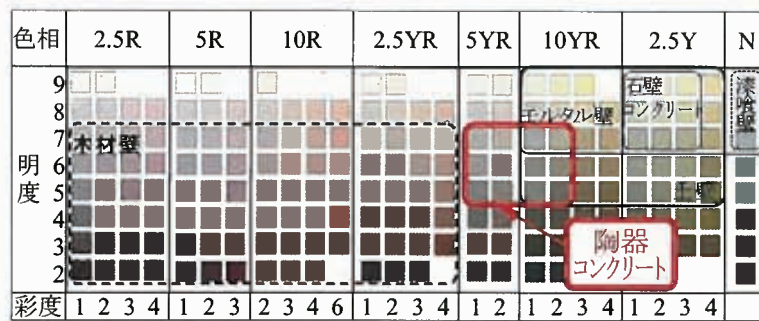


図-6 カラーチャート(素材別)

4. まとめ

本研究では、廃陶器粉末により着色したコンクリートの各種物性および色彩に関する実験的検討を行った。本研究の範囲内で得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 圧縮強度は、陶器置換率の増加に伴い、大きくなる傾向が観察された。
- 2) 陶器置換率の増加により高い着色効果が確認され、その色彩は廃陶器粉末の色に近づく傾向にあった。
- 3) 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変化は観察されなかった。
- 4) 廃陶器により着色したコンクリートの色彩は、京都東山山麓地区の景観色彩調査結果を満足した。

今後、本研究の最終目標である意匠と構造性能を両立する材料として実構造部材やコンクリート製品への適用を想定し、さらに長期的な強度、耐候性、耐火性の検討および鉄筋コンクリート構造への適用性の検討が課題である。