

首都圏で実施工された建築構造用コンクリートの色彩特性分析と原材料物性因子との相関分析

1. 材料施工－2. モルタル・コンクリートの物性
色彩特性、明度、力学特性、非破壊試験

正会員 ○ 田中良拓*1 正会員 田村雅紀*2

1. はじめに

コンクリート構造物の表層劣化は、ユーザーの印象に悪影響をあたえるだけでなく、人間の体という皮膚が痛む状況と重ねられることから、体の肉となるコンクリート部分の特徴を、色彩非破壊で分析し、その関係性を導き出す研究といえ、今後のコンクリート製造・施工で新たに考慮する物性的因子を抽出する。

又、現在、スラグ系混和材、混合セメント (FB, BB など)、骨材多様化などにより、コア抜き取り時などの構え造体コンクリートの評価に、非破壊試験などによる「迅速性」、「新たな評価手法」が必要とされている。また、ひび割れ周辺の Ca 溶出を伴うような表層劣化の判断基準に、色彩特性による評価が適用できる可能性がある。

本研究では藤森らのコンクリートの色彩特性の分析方法を参考¹⁾に、首都圏で実施工された建築構造用コンクリートの色彩特性分析を行い、現在あるコンクリートの色彩特性をプロファイリングする。その後原材料物性因子との相関分析を行い、原材料の色彩特性がコンクリート表面色差へ、どのように影響を与えるかをみる。

2. 研究概要

2.1 首都圏で実施工された建築構造用コンクリートの色彩特性分析 (研究1)

(1) 使用材料と実験概要

東京都防災建築まちづくりセンターに集まる建築構造用コンクリートの供試体 (詳細は表2に示す) を用い、色彩特性といくつかの評価要因 (評価要因と水準は表1に示す) をプロファイリングする。その後各評価要因を用いた重回帰分析により、力学特性の評価式を導きだす。

表1 実施工コンクリートの評価要因と水準

評価要因	水準
コンクリート種類	普通ポルトランドセメント (N) 中庸熱ポルトランドセメント (M) 高炉セメント B 種 (BB)
強度と個数	上記それぞれ目標個数 普通強度 50 個程度 高強度 50 個程度
表面状態	乾燥状態 (15℃標準室内で保管) 湿潤状態 (表面含水後ふきとり処理) また 1 個につき 3 データとる
材料物性	測定前に次の項目を確認する ・セメント種類 ・設計基準強度 ・実圧縮強度 ・化学混和剤 ・細骨材の種類及び産地 ・粗骨材の種類及び産地

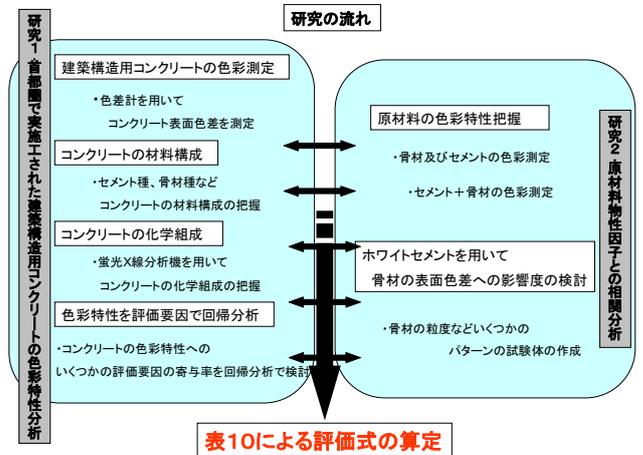


図1 研究の流れ

表2 実施工コンクリートの概要

項目	内容
調査対象	関東一区 (埼玉・千葉・東京・神奈川) で実施工された SRC / RC 造の建築構造用コンクリートに関して、下記に示す関係規則による第三者試験検査機関 (財団法人東京都防災・建築まちづくりセンター、以下同センター) において平成 20 年 9 月～平成 21 年 3 月に作成されたコンクリートの圧縮強度試験供試体のうち、主なセメント種、N、M、BB を使用した。
実施工された建築構造用コンクリート試験体	
関係規則	東京都・建築物の工事における試験及び検査に関する東京都取扱要綱では、一定規模上の建築物 (地上 3 階建以上かつ延床面積 500m ² 以上など) は、知事登録試験検査機関において構造体コンクリート試験用供試体の圧縮強度の評価を受けなければならない。なお、東京都内で工事を実施する工事施工者は、「建築工事施工計画等の報告と建築材料試験の実務手引 (同センター)」に従い、一定条件のもと、年間で実施するコンクリートの圧縮強度試験の 15% 以上を同センターで試験を実施しなければならない。

(2) 色彩の評価方法

物理的な視覚への刺激を測定器で読み取り、そのデータを以下図2の換算式を用いて定量化する。それらを L*a*b* 表色系のパラメータを算定して、コンクリート表面色差の評価値とする。

(3) 色彩特製と各評価要因との比較

以下グラフと表に示す。普通ポルトランドセメントについては、普通強度より高強度のほうが、ばらつきが少ない傾向がある。高強度のほうが、セメント量が多いためと考えることができる。また高強度のシリーズのほうの L*値が全体的に、暗い値を示しているのは、明度の低いシリカヒュームを用いる傾向が多いためと考えられる。

(4) 化学組成の検討結果

表1に示した使用材料から、コンクリート表面のかけらを採取し、表面側の化学組成を蛍光 X 線分析機を用いて分析した。表面の測定のため、CaO の含有率がどのセメント種も多くみられた。セメント種ごとの違いもあまりみられなかった。後の重回帰分析にこの結果を用いる。

物体色の三刺激値

JIS-Z-8701の方法に従い、D65光源に対するスペクトル三刺激値をミノルタで内部的に読み取ります。
下記の内部換算式を用い、刺激地X、Y、Zを特定する。

$$X = K \int_{380}^{780} S(\lambda) x(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Y = K \int_{380}^{780} S(\lambda) y(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$Z = K \int_{380}^{780} S(\lambda) z(\lambda) R(\lambda) d\lambda$$

$$K = 100 / \int_{380}^{780} S(\lambda) y(\lambda) d\lambda$$

$S(\lambda)$: 色の表示に用いる標準の光の分光分布

$x(\lambda), y(\lambda), z(\lambda)$: XYZ 表色系における等色関数

$R(\lambda)$: 分光立体角反射率

明度: L=0が最暗(黒色) L=100が最明(白色)

a*b*: $\tan \theta$ (a*/b*) が色相 (hue) で +- あり。

原点 0 に垂直方向に L 軸が立っており、

ある L 値で縦軸と横軸に a と b が直行している状態。

a が + ならば赤、- ならば補色の緑

b が + ならば黄色、- ならば補色の青

刺激地 X、Y、Z から L*a*b* への変換式は

以下に示します。

$$L^* = 116 (Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500 [(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200 [(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}]$$

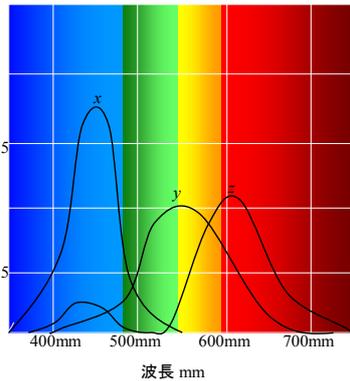


図2 コンクリート表面色の測定原則

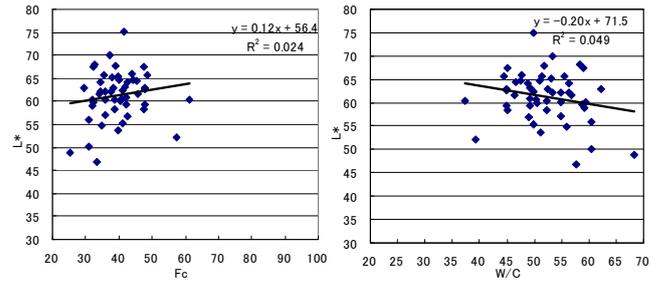


図3 強度と水セメント比の明度との関係 (N 普通強度)

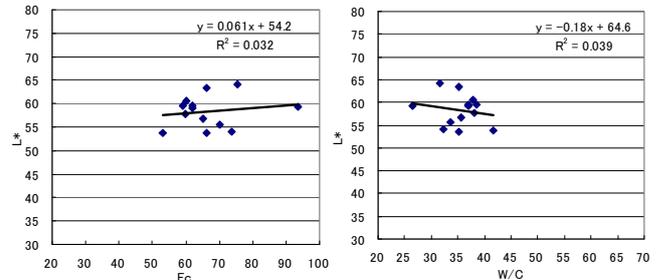


図4 強度と水セメント比の明度との関係 (N 高強度)

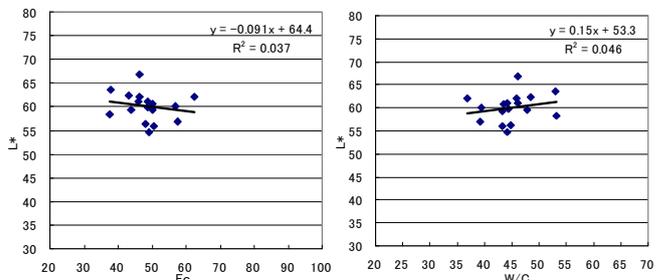


図5 強度と水セメント比の明度との関係 (M 普通強度)

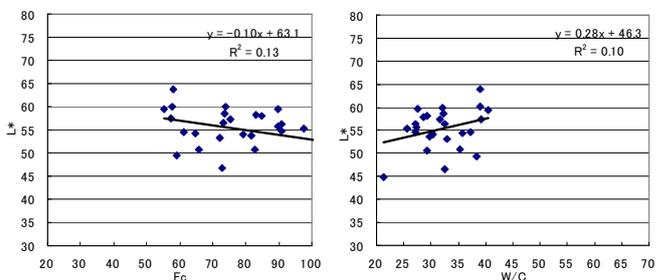


図6 強度と水セメント比の明度との関係 (M 高強度)

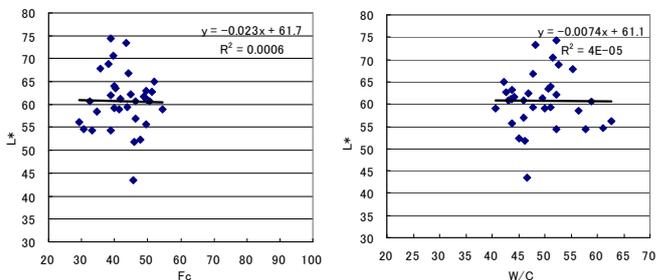


図7 強度と水セメント比の明度との関係 (BB 普通強度)

表3 L*値の平均値と標準偏差

L*値	セメント種	普通強度	高強度
平均値/ 標準偏差	普通ポルトランドセメント	61.2/ 5.4	58.2/ 3.4
平均値/ 標準偏差	中庸熱ポルトランドセメント	60.2/ 3.0	55.3/ 4.4
平均値/ 標準偏差	高炉セメント B 種	60.5/ 6.3	

(5) 各評価要因を用いた重回帰分析

これまでに得られた各評価要因を用いて、力学特性の評価式を導きだした。以下に結果を表4、5、6に示す。様々な評価要因を用いて評価式を算定することができた。各評価要因の寄与率をみると、色彩特性L*値においては低い。また係数はどの評価式でも負の値を示しており、L*値が暗くなると、Fcが高くなることが言える。

(6) 研究1まとめ

研究1では実施されている建築構造用コンクリートの色彩特性に着目し、各評価要因との比較検討をした。力学特性との関係性が少なからずあることがわかった。評価式を導きだすことができた。ここで導きだした評価式は、施工後でも十分に評価できる要因を用いて評価式を導きだした。

2-2 研究2：原材料物性因子との相関分析

(1) 使用材料と実験概要

コンクリートの表面色差は、骨材の影響を受けていると考えられる。しかし、骨材の色がそのまま表面色差に表れるわけではない。そこで、どのように骨材がコンクリートの表面色差に影響を与えているかを、ホワイトセメントを用いて検討する。

まず原材料そのものの色彩特性を把握した後に、ホワイトセメントを用いて、供試体24パターン(水準は以下表7に示す)を作成する。力学特性を評価し、色彩特性と各評価要因との関係性を導きだす。

(2) 使用材料の色彩特性

使用材料の色彩特性L*値を比較したものを以下グラフに示す。どのシリーズをみてもセメントの色彩特性の影響が大きく出ていることがわかった。これは粒子の細かいセメントの影響が大きいためと考えられる。また骨材の粒度ごとに比較すると、粒度の細かいもののシリーズのほうが、表面色差に与える影響は大きい。

表7 使用材料の色彩特性

材料	L*	a*	b*
ホワイトセメント	93.0	-2.7	2.9
上野原 M	45.5	3.4	14.4
大井川 M	41.2	-0.3	2.5
上野原 S	45.9	3.3	13.8
大井川 S	43.0	-0.2	3.2
上野原 L	40.2	0.3	9.7
大井川 L	38.3	-0.7	1.3

表4 評価式 (目的値 ; Fc、因子 ; wc)

セメント種	評価式
N (普通強度)	$Fc=98.5-1.13WC$
N (高強度)	$Fc=160.4-2.65WC$
M (普通強度)	$Fc=114.7-1.48WC$
M (高強度)	$Fc=174.2-3.05WC$
B B (普通強度)	$Fc=100.1-1.16WC$

表5 評価式 (目的値 ; Fc、因子 ; wc、L*)

セメント種	評価式
N (普通強度)	$Fc=104.5-0.08L^*-1.15WC$
N (高強度)	$Fc=163.7-0.05L^*-2.66WC$
M (普通強度)	$Fc=112.5-0.04L^*-1.48WC$
M (高強度)	$Fc=182.3-0.18L^*-3.00WC$
B B (普通強度)	$Fc=102.1-0.03L^*-1.16WC$

表6 評価式 (目的値 ; Fc、因子 ; wc、L*、CaO)

セメント種	評価式
N (普通強度)	$Fc=102.5-0.08L^*-1.15WC+0.02CaO$
N (高強度)	$Fc=167.2-0.05L^*-2.66WC+0.04CaO$
M (普通強度)	$Fc=121.9-0.01L^*-1.45WC+0.10CaO$
M (高強度)	$Fc=194.4-0.19L^*-2.98WC+0.13CaO$
B B (普通強度)	$Fc=100.4-0.03L^*-1.16WC+0.02CaO$

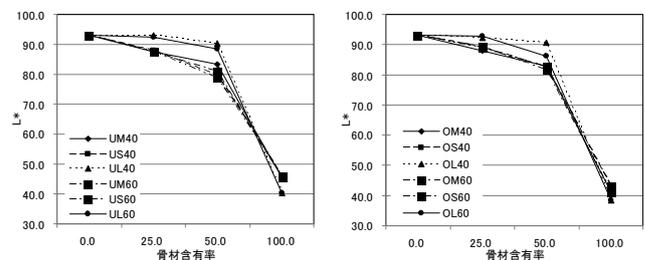


図8 骨材の色彩特性の変化

表8 粒度ごとの写真

骨材粒度	上野原産	大井川産
小 ($\geq 1.2mm$)		
大 ($\leq 1.2mm$)		
混 (粒度で分け ない)		

表9 使用材料

セメント種類	ホワイトセメント
骨材種類	大井川産、上野原産
W/C	40、60
骨材粒度	小、大、混
骨材含有率	25%、50%、

(3) モルタル試験体の色彩特性の比較

各評価要因の変化に伴い、色彩特性がどのように変化していくかを、以下グラフに示す。骨材含有率については、粒子の細かいセメントの影響が大きいことがわかる。水セメント比 W/C については、W/C が大きいと明るい値を示している。骨材粒度については、粒度の大きいものについては、骨材の影響があまり出ていないことから、粒子の細かいものが、表面色差に大きく影響を与えることがわかる。

(4) 力学特性の評価

円柱供試体の 28 日強度で圧縮強度を比較した。結果は以下グラフに示す。

(5) 各評価要因を用いた重回帰分析

原材料物性因子に着目し、研究 1 で行った重回帰分析を実施した。以下表に結果を示す。ここでは目的値をモルタル試験体の色彩特性 L*値と、力学特性 Fc についての 2 つのパターンで行っている。

以下の表に示した図の流れをたどることで、評価式を選び簡易的な力学特性を即時に判断できることとした。

(6) 研究 2 まとめ

研究 2 ではコンクリート表面色差への骨材の影響度をみる事ができた。粒子の細かいものから、表面の色差への影響度が高いことがわかった。そのため、セメントの色彩特性の影響が大きく出ることがわかった。

また様々なパターンの評価式を導き出すことができた。研究 1 では評価することが難しかった因子も併せて、評価することができた。

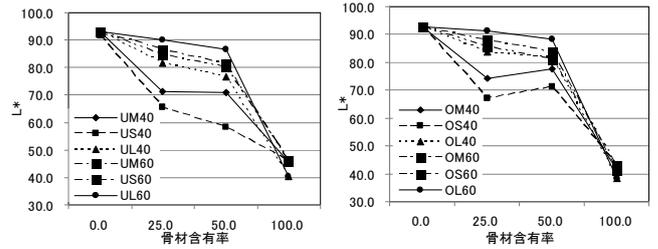


図 9 骨材含有率についての比較

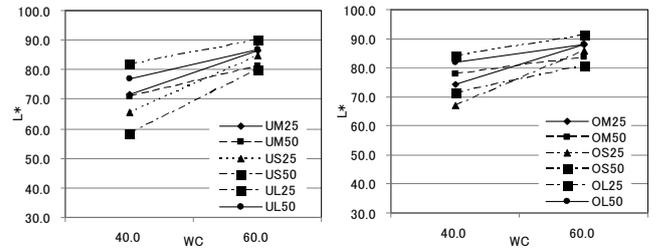


図 10 水セメント比についての比較

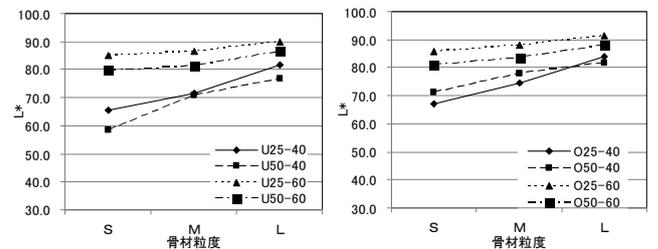


図 11 骨材粒度についての比較

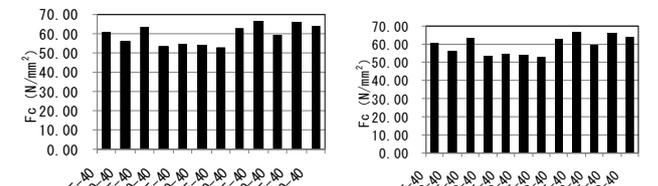
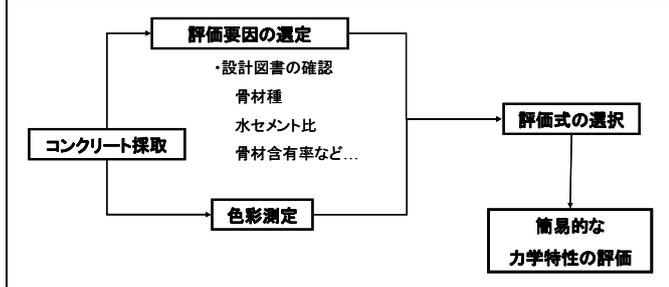


図 12 骨材粒度についての比較

表 10 即時評価に用いる評価式

目的値	評価式
試験体 L*	試験体 L* = 116.7 + 0.61wc - 1.59 細骨材 L*
	試験体 L* = 120.9 + 0.61wc - 0.11 骨材含有率 - 1.59 細骨材 L*
	試験体 L* = -36.2 + 0.65wc + 0.96 混物 L*
	試験体 L* = -80.3 + 0.67wc + 0.20 骨材含有率 + 1.37 混物 L*
Fc	Fc = 101.5 - 1.31wc + 0.14 試験体 L*
	Fc = 113.9 - 1.2wc - 0.13 細骨材 L*
	Fc = 108.7 - 1.27wc - 0.11 骨材含有率 + 0.08 試験体 L*
	Fc = 109.9 - 1.22wc - 0.11 骨材含有率 + 0.03 混物 L*
	Fc = 118.4 - 1.22wc - 0.12 骨材含有率 - 0.13 細骨材 L*
	Fc = 141.6 - 1.3wc - 0.17 骨材含有率 + 0.11 試験体 L* - 0.27 混物 L* - 0.19 細骨材 L*



3. まとめ

研究 1 では施工後でも十分に評価できる要因を用いた評価式を算定することができた。この式を用いてある程度の力学特性の把握をすることが可能となった。研究 2 では様々なパターンに対応した評価式を算定することができた。また現場での即時評価に対応する評価式の選定方法を提案できた。

参考文献

1) 藤森, 谷川ほか, モルタルの色彩値と力学特性の関係に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 505 号, 2002.5

*1 工学院大学建築学科 4 年

*2 工学院大学工学部建築都市デザイン学科准教授・博士 (工学)