

# 表面色を指標としたコンクリート中の含水率測定方法に関する検討

長岡技術科学大学大学院 建設工学専攻 横沢 篤  
指導教官 下村 匠

## 1. はじめに

コンクリート構造物に起こる様々な劣化現象は、その多くが内部の水分により進行する。そのため劣化の進行を判定し管理するためにコンクリートの含水率を評価する技術が必要とされている。コンクリートの含水率評価にあたっては、既往の研究から電気抵抗法を利用した測定方法などが提案されているが、測定方法が必ずしも簡便ではないことから実用上のレベルには至っていない。このような背景から、コンクリートの含水率を簡単に評価できる方法が求められている。そこで本研究では、多くの材料の表面色が含水状態により変化する経験的事象から着想を得て、コンクリートの含水率を表面色により簡単に評価できるか実験的な検討を行った。はじめに、表面色の微妙な変化を数値で確認できるよう、デジタルカメラによる表面色定量化手法を開発した。次に、コンクリートの乾燥・吸湿・吸水の水分移動過程において表面色の変化を観察し、各過程におけるコンクリートの相対含水率と表面色の関係を検討した。そして、コンクリート内部の水分分布を考慮し、乾燥・吸湿・吸水過程に共通したコンクリートの相対含水率と表面色の一般化関係について考察した。

## 2. 表面色定量化手法の検討

コンクリート表面色の変化を定量的に評価するため、デジタルカメラによる表面色定量化手法を検討した。はじめに、コンクリート表面色の再現性のある撮影環境をつくるため、図 - 1 に示す照明装置を作製した。照



図 - 1 照明装置



図 - 2 撮影風景

明装置は、外部からの光を遮断するために箱形とし、照明の種類には、コンクリートの表面に陰をつくらず、まんべんなく照らすことのできる蛍光灯を採用して、装置上部に蛍光灯を3本等間隔に設置した。また、一般的にコンクリート構造物は、自然光の下にあるため、蛍光灯は自然光の光源分布を近似した色比較・検査用 D65 蛍光ランプを使用した。撮影機材には、一眼レフデジタルカメラや手振れなどの影響を排除するための三脚やリモートスイッチを使用した。撮影はノンフラッシュのオートフォーカスで行い、被写体からレンズ先端までの距離は約1.2m程度とした。また撮影時は、室内は暗室とし、照明装置のみを使用した。図 - 2 に撮影風景を示す。

## 2.1 画像処理による表面色の定量化

コンクリート表面のデジタル画像を画像処理することで表面色を定量化した。図 - 3 に供試体表面を示す。画像処理の作業手順は、はじめに、撮影した画像を画像編集ソフトで開き、あらかじめ開放面に記した領域を切り出した。次に、切り出した画像を1ピクセル/インチ程度の解像度に下げ、ピクセルの明度  $L^*$  値、彩度  $a^*$  値、 $b^*$  値を記録した。

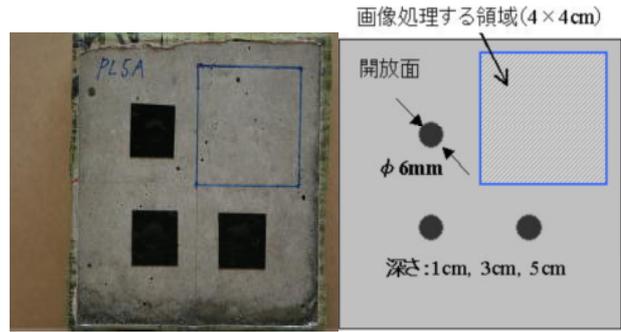


図 - 3 供試体表面

## 2.2 表面色の指標について

画像処理によりコンクリート表面色は  $L^*a^*b^*$  値として定量化された。図 - 4 に  $L^*a^*b^*$  表色系色空間を示す。 $L^*a^*b^*$  表色系は、明度を  $L^*$  値、色相と彩度を示す色度を  $a^*$ 、 $b^*$  値で表したもので、 $L^*$  値は、色の明暗を、 $a^*$ 、 $b^*$  値は、色の方向を示しており、 $a^*$  は赤方向、 $-a^*$  は緑方向、そして  $b^*$  は黄方向、 $-b^*$  は青方向を示している。各々の値範囲は、 $L^*$  値が 0 (黒) から 100 (白)、 $a^*$  値は -60 (緑) から 60 (赤)、 $b^*$  値は -60 (青) から 60 (黄) であり、 $a^*$ 、 $b^*$  値は数値が大きくなるに従い、色あざやかになり、中心になるに従ってくすんだ色になる。本研究では、これら  $L^*a^*b^*$  値を使用して算出される、色差を表面色評価の指標とした。色差は、色と色の微妙な違いを数値で表現したものであり、例として図 - 4 にある 1 と 2 の色の色差は式 (1) で示される。

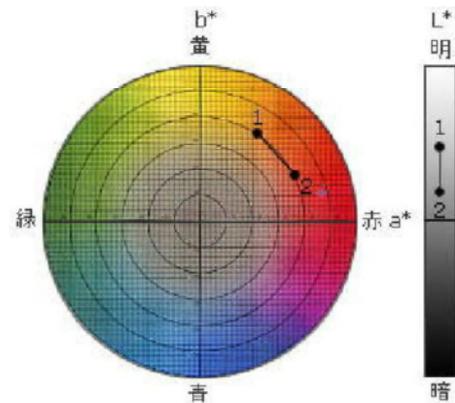


図 - 4  $L^*a^*b^*$  表色系色空間



図 - 5 マンセルバリュー色票

$$\Delta E = \sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$$

$$\Delta L = L_1 - L_2 \quad \dots \dots (1)$$

$$\Delta a = a_1 - a_2$$

$$\Delta b = b_1 - b_2$$

ここに、 $\Delta E$  : 色差

## 2.3 表面色定量化手法の検証

図 - 5 に示した白から黒までの無彩色を段階的に示したマンセルバリュー色票を用

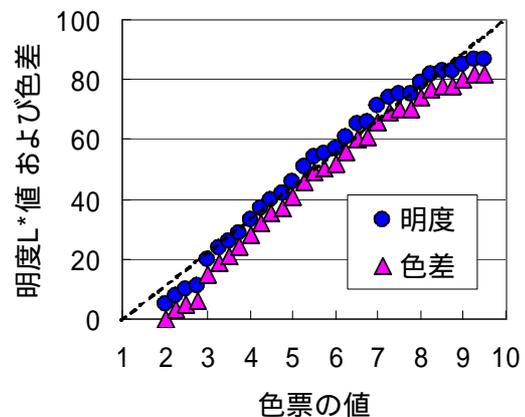


図 - 6 明度および色差と色票の値の関係

いて、デジタルカメラによる表面色定量化手法を検証した。色票の値範囲は、0から10まであり、0が明度の0(黒)、10が明度の100(白)に対応している。なお明度0や100を色票にすることができないため、実際の色票の値範囲は、2から9.5になっている。図-6に明度および色差と色票の値の関係を示す。図中の破線は、明度と色票の定められた関係を示している。定量化した表面色の明度は、その線にほとんどがのる結果となり、表面色を適切に評価できることを確認した。また、色差においても明度と同様に直線的な傾向を示していることから色差を指標とすることに問題がないことを確認した。

### 3.実験概要

コンクリートの乾燥・吸湿・吸水の水分移動過程において表面色の変化を観察し、各過程におけるコンクリートの相対含水率と表面色の関係を検討した。

#### 3.1 供試体

本実験では、水セメント比55%の普通コンクリートを対象とした。コンクリートの配合を表-1に示す。コンクリート打設後1日目に脱型した後、14日間封緘養生を施した。供試体は、図-7に示すように5面をエポキシ樹脂で密封し、水分移動が1次元的となるよう開放面は1面とした。供試体の寸法は、開放面を10×10cmとし、長さを5cm、10cm、20cmに変えた3種類とした。また開放面には、コンクリート内部の相対湿度を測定するため、内径6mm、深さ1cm、3cm、5cmの孔を設けた。

#### 3.2 試験方法

コンクリートの乾燥試験、吸湿試験、吸水試験を以下に述べる方法により実施した。各試験中においては、定期的に供試体の質量を測定し、供試体表面を撮影した。また、開放面からの深さ1cm、3cm、5cmにおける相対湿度を湿度プローブを使用し

表-1 コンクリートの配合表

水セメント比	細骨材率	単用量(kg/m <sup>3</sup> )				AE減水剤
		水	セメント	細骨材	粗骨材	
W/C	s/a	W	C	S	G	(C×%)
%	%					
55.0	45.7	165	301	820	1015	1.00

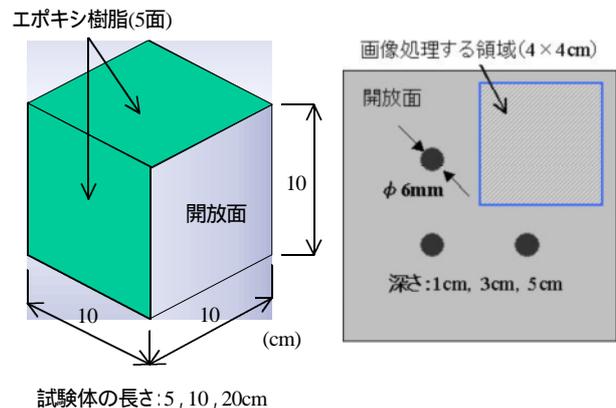


図-7 供試体の形状・寸法および開放面

て測定した。相対湿度の測定は、供試体にあらかじめ設けた相対湿度測定用の孔に湿度プローブを挿入し、相対湿度が平衡した値を測定値とした。

乾燥試験：コンクリート供試体の養生後を開始とした乾燥試験を100時間をめどに実施した。乾燥試験の環境条件は温度20℃、相対湿度30%とし、恒温恒湿器内で供試体を一面乾燥させた。

吸湿試験：乾燥試験終了後、同じ供試体において吸湿を300時間実施した。吸湿試験の環境条件は温度20℃、相対湿度約95%とし、デシケータ内で供試体を一面吸湿させた。

吸水試験：コンクリート供試体の養生後を開始とした、1サイクルが乾燥24時間、吸水6時間の乾燥吸水試験を実施した。乾燥環境は、乾燥試験と同じ環境とし、吸水環境は、水圧の影響を考慮して吸水時は水面から開放面までの距離を約5mm程度になるように液状水に浸した。

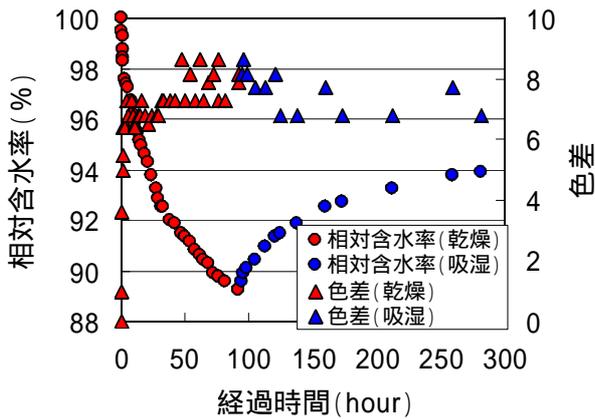


図 - 8 相対含水率および色差の経時変化

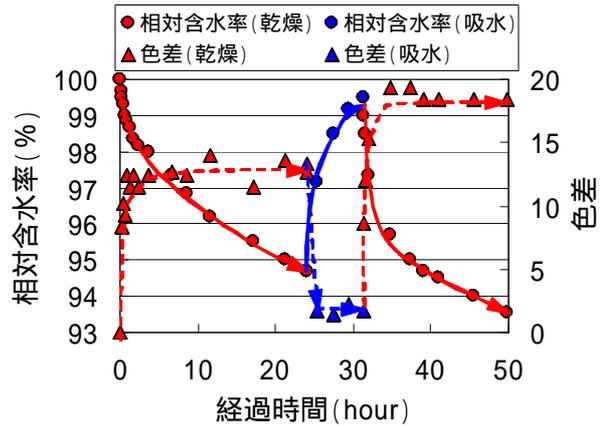


図 - 10 相対含水率および色差の経時変化

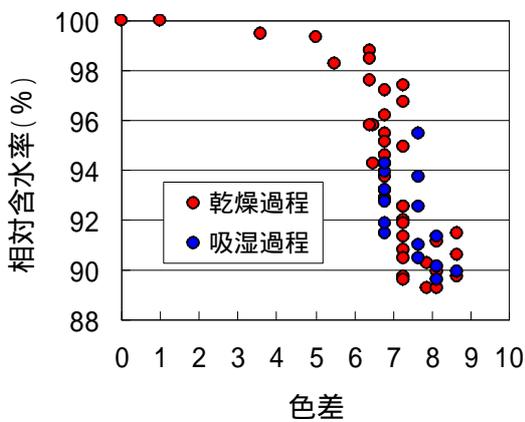


図 - 9 相対含水率と色差の関係

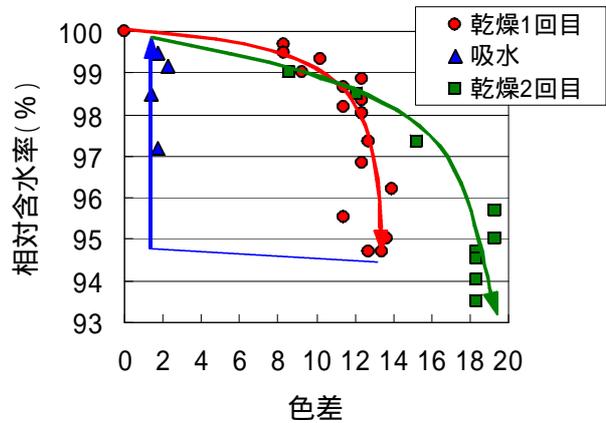


図 - 11 相対含水率と色差の関係

#### 4. 実験結果

##### 4.1 乾燥試験の結果

図 - 8 に相対含水率および色差の経時変化，図 - 9 に相対含水率と色差の関係を示す．なお，図 - 8，図 - 9 において色差の基準色は試験開始時の表面色としている．図 - 7 より供試体の表面色は相対含水率の低下とともに変化し，その傾向は実験開始から約 10 時間程度の乾燥初期において顕著に見られた．また表面色は大きく変化した後，一定の値に近づく傾向を示し，図 - 8 の相対含水率と色差の関係では，表面色はカーブを描くように推移する傾向があることが示された．

##### 4.2 吸湿試験の結果

図 - 8，図 - 9 より吸湿過程では，吸湿による表面色の変化は見受けられず，ほぼ一定の値で色差は推移した．吸湿過程では，

表面近傍の相対含水率が高くなるため，吸湿に伴う表面色の変化が予想されたが，乾燥過程における関係との明瞭な違いはなく，乾燥過程の経路履歴を戻るように推移する傾向があることが示された．

##### 4.3 吸水試験の結果

図 - 10 に相対含水率および色差の経時変化，図 - 11 に相対含水率と色差の関係を示す．図 - 10，図 - 11 より，吸水過程では水分浸透により瞬時に色差が大きく低下し，以降は相対含水率が速やかに上昇するだけで，色差はほぼ同程度で推移した．続いて乾燥させると，色差は大きく変化し，カーブを描くように推移する傾向を示した．吸水過程における相対含水率と色差の関係は，乾燥過程における関係と一意的ではないことが確認された．

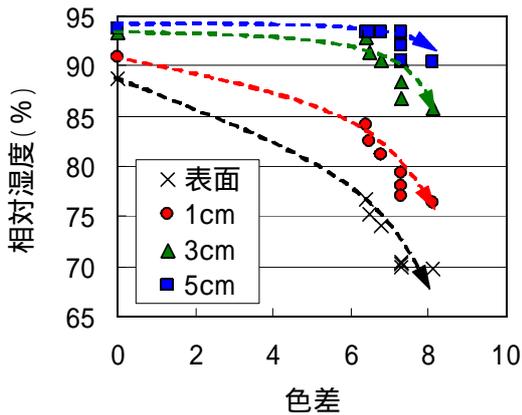


図 - 12 相対湿度と色差の関係

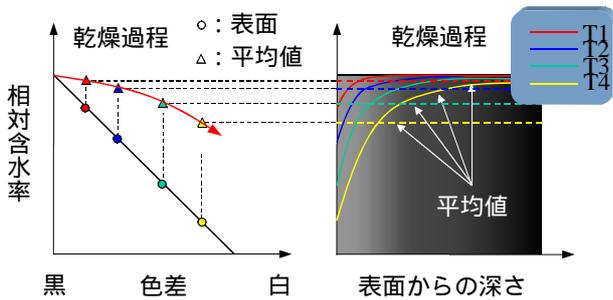


図 - 13 相対含水率と色差の関係 (乾燥)

5. 相対湿度分布による表面色と相対含水率の一般化された関係についての検討

5.1 各深さ位置での相対湿度と色差の関係

図 - 12 に乾燥試験における各深さ位置での相対湿度と色差の関係を示す。図中の破線は相対湿度と色差の関係を表し、矢印方向に乾燥過程が進行している。図 - 12 より、表面に近づくにつれて相対湿度と表面色の相対関係は強くなる傾向を示し、表面においてはその関係がほぼ線形関係になることが示唆された。

5.2 表面色と相対含水率の一般化された関係についての検討

表面色と表面の相対湿度の関係は、相対関係が強くほぼ線形関係にあることが示唆された。そこで、表面色と表面の相対含水率の関係においても同様の関係が成り立つとし、線形関係であると仮定した。この仮定と乾燥・吸湿・吸水過程での相対含水率分布により、表面色と相対含水率の一般化

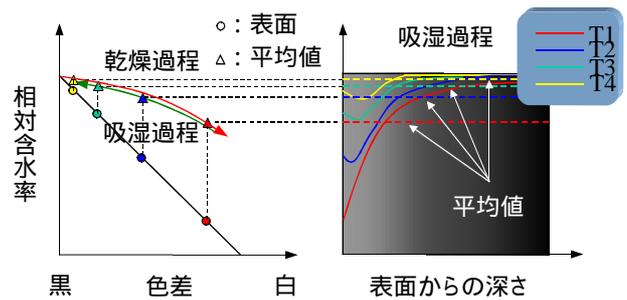


図 - 14 相対含水率と色差の関係 (吸湿)

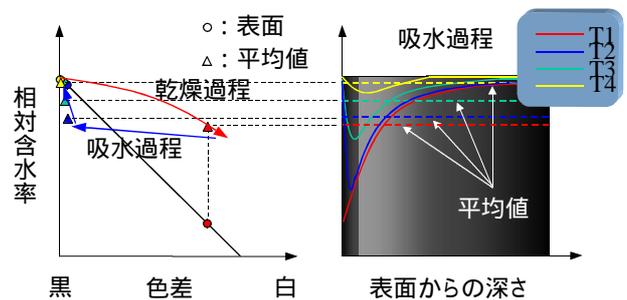


図 - 15 相対含水率と色差の関係 (吸水)

された関係について検討した。

5.2.1 乾燥過程

図 - 13 に乾燥過程における相対含水率と色差の関係を示す。乾燥過程での相対含水率分布の経時変化は、定性的に図 - 13 (右図) のように推移する傾向がある。相対含水率の平均値を図 - 13 (左図) にあてはめると、乾燥試験で観察されたような、右にカーブを描く傾向を示した。乾燥が進むにつれて、表面の含水状態は徐々に減少するが、内部の相対含水率分布は大きく変わらないため、相対含水率の平均値に大きな変化のないまま、表面色は変化する。そのため、緩やかに右にカーブを描く傾向が示されたと説明できる。表面色と表面の含水状態が線形関係であると仮定することにより、図 - 16 相対含水率の平均値と色差の一般化関係に示すような、乾燥過程におけるコンクリートの相対含水率と表面色の関係を説明することができた。

### 5.2.2 吸湿過程

図 - 14 に吸湿過程における相対含水率と色差の関係を示す。吸湿過程での相対含水率分布の経時変化は、定性的に図 - 14 (右図) のように推移する傾向がある。

相対含水率の平均値を図 - 14 (左図) にあてはめると、吸湿試験で観察されたような、乾燥試験の経路を戻るように推移する傾向を示した。吸湿が進むにつれて、表面の含水状態は徐々に増加するが、内部の相対含水率分布は大きく変わらないため、相対含水率の平均値に大きな変化のないまま、表面色は変化する。そのため、緩やかにカーブを描く傾向が示されていると説明できる。コンクリートの表面色と表面の含水状態が線形関係であると仮定することにより、図 - 16 に示すように吸湿過程におけるコンクリートの相対含水率と表面色の関係を説明することができた。

### 5.2.3 吸水過程

図 - 15 に吸水過程における相対含水率と色差の関係を示す。吸水過程での相対含水率分布の経時変化は、定性的に図 - 15 (右図) のように推移する傾向がある。

相対含水率の平均値を図 - 15 (左図) にあてはめると、吸水試験で観察されたような、吸水と同時に表面色が大きく変化し、吸水中は表面色が一定のもと相対含水率が速やかに上昇する傾向を示した。吸水中の表面は飽水状態になるが、内部の相対含水率分布は大きく変わらないため、相対含水率の平均値に大きな変化のないまま、表面色は大きく変化する。そして、吸水中は表面色が一定であるため、相対含水率の平均値が上昇する傾向を示したものと説明できる。コンクリートの表面色と表面の含水状態が線形関係であると仮定することにより、図 - 16 に示すように吸水過程におけるコンクリートの相対含水率と表面色の関係を説明することができた。

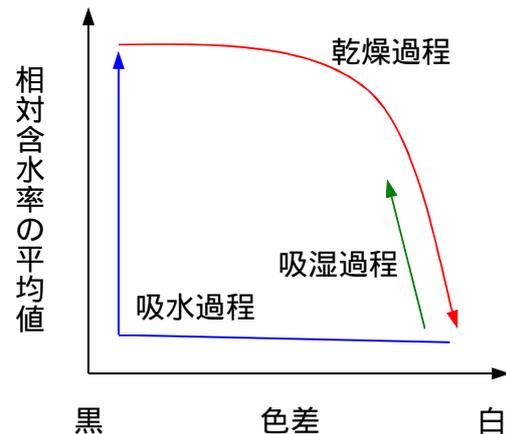


図 - 16 相対含水率の平均値と色差の一般化関係

## 6. 結論

- (1) コンクリート表面色の定量化手法を開発した。
- (2) 乾燥過程では、乾燥初期に表面色の変化が顕著に現れ、以降ほぼ一定の表面色で推移する傾向がある。
- (3) 各深さ位置での相対湿度と表面色の関係は、表面に近づくにつれて、相関関係が強くなる傾向がある。
- (4) コンクリートの表面色と表面の相対含水率が線形関係であると仮定することにより、乾燥・吸湿・吸水過程における相対含水率の平均値と表面色の一般化された関係を説明することができる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、長岡技術科学大学環境・建設系下村匠助教授には多大なるご指導をいただきました。また、本学田中助手をはじめコンクリート研究室の皆様には、研究に関する貴重なアドバイスをいただくなど大変お世話になりました。ここに皆様に対しての深い感謝の意を表します。