

コンクリート表面に発生する色むらの定量評価に向けた実験的検討

Experimental Study Toward Quantitative Evaluation of Color Variation Occurring on Concrete Surfaces

中 島 隆^{※1}

Ryu Nakajima

金 子 泰 明^{※1}

Yasuaki Kaneko

【要旨】

コンクリート表面の色むらは、材料、施工、環境等の要因によって発生する。国土交通省東北地方整備局では、トンネルの覆工コンクリートにおいて、品質を評価するために表層目視評価シートを活用し、色むらを含む7項目に対して1点から4点までの4段階で点数付けすることで不具合の状態を評価している。ここで、色むらについては、評価者の経験等によって判断が異なり、評価に影響する可能性があるため、評価者の経験に依存しない定量的な評価方法が必要と考えた。本論では、色むらを定量的に評価するために、明度（L*値）を用いてモルタル試験体表面の色の違いを評価する方法を検討し、モルタルの配合および、砂の種類がL*値に与える影響について実験的に検討した。その結果、L*値を用いてモルタル表面の色の差を定量的に評価できる可能性を示し、水分がL*値に大きく影響していることが示唆された。

【キーワード】 コンクリート構造物の色むら 明度 画像解析

1. はじめに

コンクリート表面の色むらは、材料、施工、環境等の様々な要因によって発生する¹⁾²⁾。覆工コンクリートの場合、狭隘な空間にコンクリートを打込むため、パイプレータの先端を視認することが困難な場合がある。そのため、締固めが不均一となり、表面に色むらが発生する場合がある³⁾。

国土交通省東北地方整備局は、コンクリート構造物の品質確保のために、橋脚、橋台、函渠、擁壁、トンネルを対象として、表層目視評価シートを用いた管理を行っている³⁾⁴⁾。覆工コンクリートの表層目視評価シートは、型枠の取外し後に目視で(1)表面はく離、(2)気泡、(3)水はしり・砂すじ、(4)色むら、(5)うち重ね線、(6)施工目地不良、(7)ヒンジ・検査窓枠・箱抜き型枠のノロ漏れの7項目を1点から4点までの4段階で点数付けし、不具合の状態を評価している。この中で、色むらは覆工コンクリートのみで用いられる項目である。ここで、色むらについては、評価者の経験等によって判断が異なり、評価に影響する可能性がある。そのため、評価者の経験等に依存しない、定量的な評価方法が必要と考えられる。

覆工コンクリートに生じた色むらを写真-1に示す。色むらは、コンクリート表面の色が部分的に不均質な状態を表すが、覆工コンクリート構造物の色むらを定量評価するために、まず色の違いを定量化する必要がある。

本検討では、色むらの定量化方法として温品ら⁵⁾によ



写真-1 覆工コンクリートの色むら

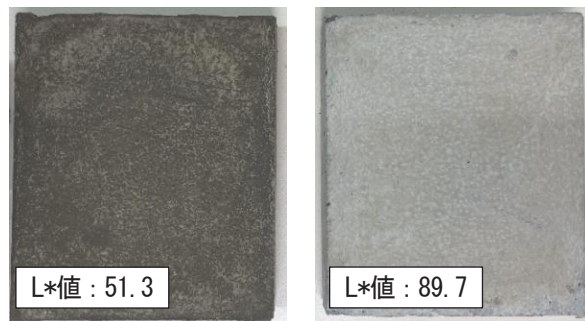


写真-2 色の異なるモルタル試験体

って検討されている明度を利用した方法を採用した。評価にはモルタル試験体を用い、細骨材、水セメント比を変えたモルタルの経時的な明度の変化、試験体の含水状

態，砂セメント比の違いが明度に与える影響を検討した結果を報告する。

2. 色の違いと明度

色むらの定量評価における前段階として，色の違いを定量化する必要がある．既往の研究¹⁾では明度の測定方法として分光測色計を用いている．分光測色計は測定点での計測であるが，本研究では面的に評価するために，オープンソースのコンピュータビジョンライブラリであり，関数を用いることで数多くの画像処理が可能なOpenCV（Open Source Computer Vision Library）によって，デジタル画像を解析することで明度 L^* 値を算出し，試験体表面の色の違いを数値化できるか試みた．なお， L^* 値とは国際照明委員会が策定したLab色空間の一つであり，0に近いと黒く，100に近いと白を示す．

色の異なるモルタル試験体の写真を，画像解析によって L^* 値を算出し，色の違いを定量化した結果を写真－2に示す．左の L^* 値が51.3，右の L^* 値が89.7となり，視覚的な違いが明度によって表現できることを確認した．

上記の方法を用いて，モルタルの配合条件（細骨材の種類，水セメント比，砂セメント比）が L^* 値に与える影響を実験的に検討した．

3. 水セメント比・砂の種類・砂セメント比がモルタルの明度に与える影響

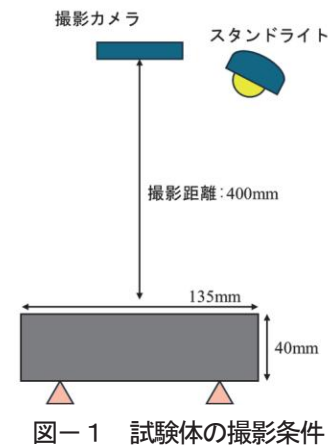
3.1 実験概要

試験体の撮影条件を図－1に示す．撮影の環境を一定にするため，カメラとスタンドライト（1855lm）を試験体から400mm離れた直上に固定した．撮影にはスマートフォンカメラ（解像度4032×3024ピクセル）を使用し，30分間隔で型枠取外し後72時間まで撮影し，画像解析により試験体表面の平均 L^* 値を算出した．

使用した細骨材を写真－3に，モルタル配合を表－1に示す．細骨材は石灰石砕砂（密度2.72g/cm³，産地：栃木県佐野市）と陸砂（密度2.58g/cm³，産地：千葉県君津市小櫃）を使用し，水セメント比は45%，55%，65%の3水準とした．砂セメント比は3，2，1，0.5の4水準とし，陸砂を用いたモルタルで検討した．なお，砂セメント比の検討では3日後の L^* 値を比較した．試験体の寸法は135mm×160mm×40mmとし，材齢1日で型枠取外し後，気温20℃相対湿度60%の環境で，135mm×160mmの型枠面に接する試験体底面の撮影を開始した．また，2カ月静置した試験体を30分間水に浸し（以降，この状態を「浸せき後」とする），表面の水分を拭き取った後の L^* 値を算出することで，水分が L^* 値に与える影響を検討した．

3.2 実験結果

石灰石砕砂を用いたモルタルの明度を図－2に，陸砂



図－1 試験体の撮影条件



a) 石灰石砕砂

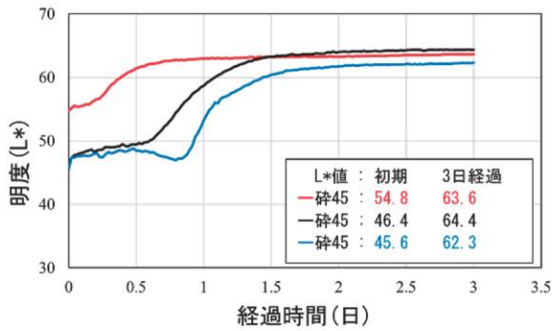
b) 陸砂

写真－3 使用した細骨材

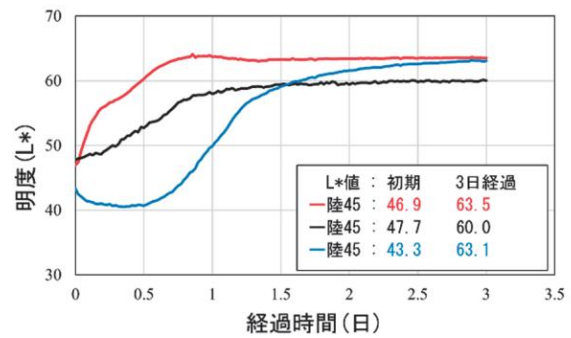
表－1 モルタル配合

配合名称	W/C (%)	S/C	単位量 (kg/m ³)			
			W	C	S1	S2
砕45	45	3	241	535	1605	—
砕55	55		279	508	1523	—
砕65	65		314	483	1450	—
陸45	45		233	518	—	1555
陸55	55		271	493	—	1478
陸65	65		305	470	—	1409
55-2	55	2	335	609		1218
55-1		1	438	797		797
55-0.5		0.5	519	943		472

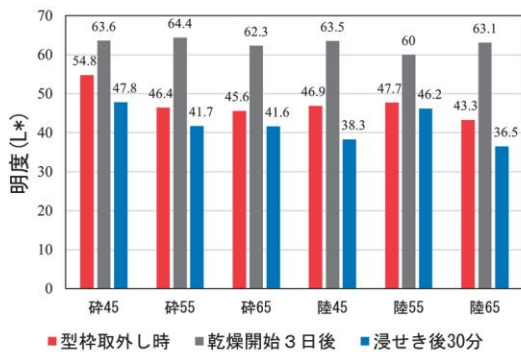
を用いたモルタルの明度を図－3に示す．石灰石砕砂を用いたモルタルの型枠取外し時の L^* 値は，水セメント比45%，55%，65%において，それぞれ54.8，46.4，45.6となった．陸砂を用いたモルタルの型枠取外し時の L^* 値は，水セメント比45%，55%，65%において，それぞれ46.9，47.7，43.3となった．本検討では，型枠取外し時の L^* 値と，



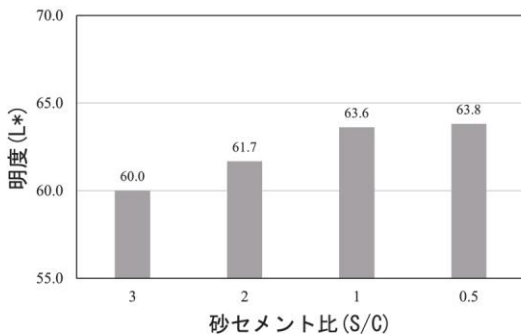
図ー2 石灰石砕砂を用いたモルタルの明度



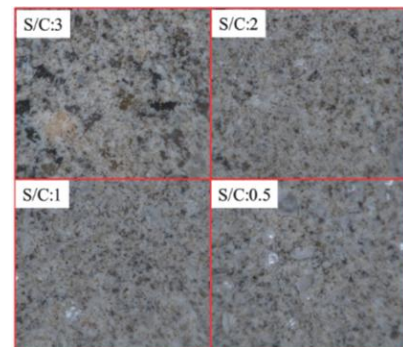
図ー3 陸砂を用いたモルタルの明度



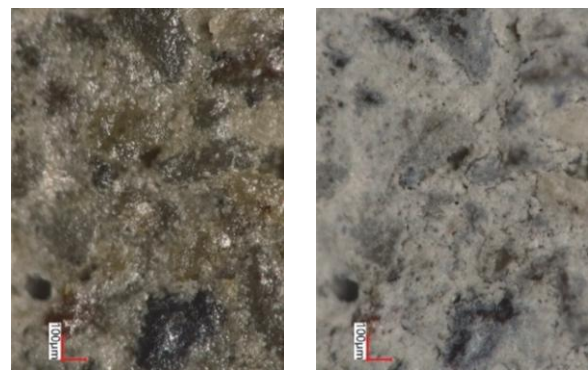
図ー4 各明度のまとめ



図ー5 砂セメント比を変えたモルタルの明度



写真ー4 各モルタルのマイクロスコープ画像



写真ー5 型枠取外し後のマイクロスコープ画像

水セメント比及び細骨材種類に明確な関係性は確認されなかった。

型枠取外し後、時間の経過に伴い L^* 値は増加し、石灰石砕砂を用いたモルタルの型枠取外し後3日の L^* 値は、水セメント比45%、55%、65%において、それぞれ63.6、64.4、62.3となった。陸砂を用いたモルタルの型枠取外し後3日の L^* 値は、水セメント比45%、55%、65%において、それぞれ63.5、60.0、63.1となった。水セメント比が小さいほど L^* 値が収束するまでの期間が短く、3日後の L^* 値は60.0から64.4の比較的小さい範囲で、全ての条件で一定の値に収束した。

型枠取外し時、乾燥開始3日後、浸せき後30分の L^* 値を

図ー4に示す。試験体を水に浸すことで L^* 値は低下し、全ての試験体で型枠取外し時の L^* 値を下回る結果となった。

型枠取外し後3日の砂セメント比を変えた陸砂を使用したモルタルの L^* 値を図ー5に示す。砂セメント比3, 2, 1, 0.5で L^* 値は60.0、61.7、63.6、63.8となった。砂セメント比を変えたモルタルのマイクロスコープ画像(倍率: 200)を写真ー4に示す。黒色の色合いは細骨材の粒子の一部とみられ、細骨材の割合が高く、砂セメント比が高いモルタルの L^* 値が低下したと考えられる。

型枠取外し後3日の L^* 値は、最大値と最小値の差が4.4、型枠取外し後3日と浸せき後の L^* 値の差を平均すると

20.8, 砂セメント比を3から0.5に変えた場合, L^* 値の差が3.8であり, 本検討の範囲内では, 水分が最も L^* 値に影響している. 一例として, 陸砂を用いたモルタルの型枠取外し時及び, 型枠取外し後3日の撮影面のマイクロスコープ画像(倍率:200)を写真-5に示す. 型枠取外し時と比較して3日後の骨材表面及びその周辺が白色に変化している. 型枠取外し時は, 3日後と比較して多く水を保有していることから L^* 値が低く, 水分逸散が進行した3日後の L^* 値は増加すると考えられる. また, セメント水和物の生成によって L^* 値の増加に影響した可能性があるが, 定量的な確認ができていないため, 今後検討していく.

5. まとめ

本論のまとめを以下に示す.

1. L^* 値を用いることで, モルタル試験体の色の違いを, 明度を用いて比較した.
2. 型枠取外し時と乾燥過程で水セメント比と L^* 値には違いがみられたが, 乾燥が進むことで L^* 値は60.0から64.4の比較的差異が小さい範囲で, 全ての条件で一定の値に収束した.
3. 本件の範囲内では, モルタル表面の L^* 値に最も影響した条件は水分であった.

4. 砂セメント比の増加に伴い細骨材と思われる黒色部分が多くなり, L^* 値は低下した.
5. モルタル表面の色の違いを, 画像解析を用いることで定量評価できる可能性が示唆された.

今後は型枠取外し後のコンクリートの明度と湿潤状態を精査することで, 色むらの定量化方法を確立し, 最終的に覆工コンクリートを含めたすべてのコンクリート構造物の表層評価に活用していきたい.

【参考文献】

- 1) 温品達也, 渡邊賢三, 坂田昇, 柳井修司: コンクリート表面の色むら発生に及ぼす要因に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.1, pp.679-684, 2013.
- 2) コンクリート表面における色むらに関する研究, 土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, Vol.54, VI-27, 2017.
- 3) コンクリート構造物の品質確保の手引き(案)(橋脚, 橋台, 函渠, 擁壁編), 2023年改訂版, 2023.
- 4) コンクリート構造物の品質確保の手引き(案)(トンネル覆工コンクリート編), 2023年改訂版, 2023.

Summary Concrete surfaces often exhibit uneven coloration due to such factors as the materials used, the concrete placement method used, and the surrounding environment. The MLIT Tohoku Regional Development Bureau utilizes a surface-layer visual inspection sheet to evaluate the quality of tunnel-lining concrete. This sheet assigns scores on a 1-4 point scale for seven evaluation parameters, including uneven coloration, to determine the severity of nonconformities. However, the judgment on uneven coloration may vary depending on such factors as the inspector's experience, which could affect the inspection results. Hence, we were convinced of the necessity of a quantitative evaluation method that was not affected by the inspector's experience. For the quantitative evaluation of uneven coloration, we considered a method that utilized lightness (L^* value) to assess color differences on the surface of mortar specimens. We experimentally studied the effects of mortar mix design and sand type on the L^* value. The results suggest that the L^* value may serve as a quantitative evaluation method for mortar surface color differences. The results also indicated that moisture has a significant impact on the L^* value.

Key Words : Color variation in concrete structures luminance image analysis