

# 論文 検査条件の相違がコンクリート表面の色むらの官能評価に及ぼす影響に関する研究

荒巻 卓見\*1・大塚 秀三\*2・高橋 宏樹\*3・中田 善久\*4

**要旨:** 本研究は、コンクリート表面の仕上がり状態における色むらに着目し、検査条件の相違が観察者の色むらに対する認識に及ぼす影響について検討を行った。また、官能検査によって構成した心理学的尺度と物理量の対応を試みた。その結果、本検討の範囲で色むらの認識は、検査環境における光源の色温度の相違による影響を受けず、視角が狭くなると認識し難くなることが明らかになった。また、色むらの程度に関する認識を表す心理学的尺度は、重回帰分析によって算定した物理量と概ね対応関係にあることを示した。

**キーワード:** 色むら, 官能評価, 明度の標準偏差, 物理量, 心理学的尺度

## 1. はじめに

コンクリート打放し平滑仕上げでは、仕上げ面としてコンクリートの素地をそのまま用いるため、視覚的な仕上がり状態が重要な要素であることは論を待たない。コンクリート表面の視覚的な仕上がり状態とは、図-1に示すような色調、色むらおよびテクスチャなどのことである。この中でも色むらは、プレキャストコンクリート製品に対するクレームの最上位を占めることが既往の調査<sup>1)</sup>によって明らかにされていることから、重要な要素であると言える。しかしながら、現状では、コンクリート表面の視覚的な仕上がり状態に関する定量的な評価指標および評価方法は体系化されておらず、その良否の判断が観察者の主観に委ねられている。

例えば、JASS 5<sup>2)</sup>では、仕上がり状態を規定する要素について記述されているが、平坦さの基準を除いて定量的な判断基準は示されていない。また、坂田<sup>3)</sup>は、コンクリートの表層品質に関する項目に対して、サンプル画像のレイティングスケールを用いた目視による表層品質評価手法を提案している。他方、既往の研究<sup>4,5)</sup>において、コンクリート素地仕上げや建築仕上げ材料を対象に心理学的観点から印象評価を試みた例は多いものの、いずれも定性的な表現に留まっており、視覚的な要素の定量的な評価に及んでいない。そのため、ユーザや施工管理者などの立場によって、仕上がり状態に関する認識に相違を生じさせる可能性がある。

そこで本研究は、コンクリート表面の視覚的な仕上がり状態を規定する要素の一つである色むらに着目し、定量的な評価指標および評価方法の構築を最終目的とする。その端緒として、色むらの程度を明度の標準偏差で表現し、明度の統計値が既知の試料を用いて官能検査を行っ

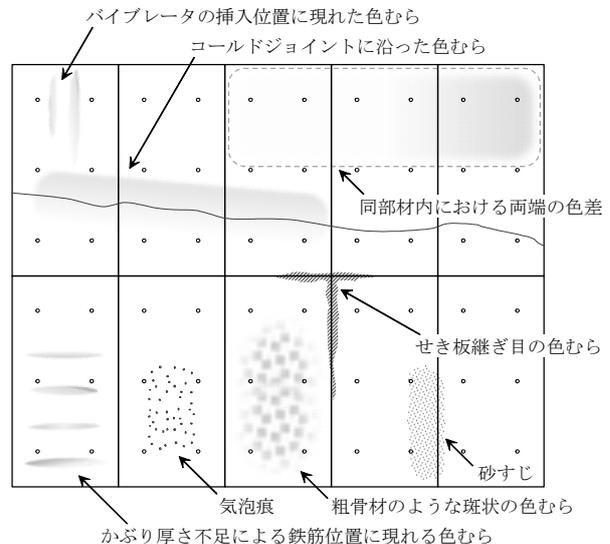


図-1 コンクリート表面の視覚的な仕上がり状態

た。ここでは、検査条件の相違が観察者の色むらに対する認識に及ぼす影響を検討した結果を報告する。また、官能検査により構成した心理学的尺度(以降、色むら認識尺度とする)と物理量の対応を試みた。



写真-1 本研究で対象とした斑状の色むら

## 2. 本研究で対象とした色むら

コンクリート表面の色むらは、濃淡の差が識別できる状態で不規則に分散しているため、濃淡の分布によって観察者の認識が異なることが考えられる。例えば、コールドジョイントに沿った色むらやせき板継ぎ目に現れた色むらなどの局所的な色むらについては観察者の誰しもが

\*1 日本大学大学院 理工学研究科建築学専攻 (学生会員)

\*2 ものつくり大学 技能工芸学部建設学科准教授 博士(工学) (正会員)

\*3 ものつくり大学 技能工芸学部建設学科教授 博士(工学)

\*4 日本大学 理工学部建築学科教授 博士(工学) (正会員)

一見して認識できる。これに対し、写真-1に示すような斑状に濃淡が分布した色むらは、観察者によって良否の判断に差異が生じる可能性、すなわち色むらの有無またはその程度についての評価が曖昧になることが考えられる。よって、本研究で対象とする色むらは、写真-1に示すような斑状に濃淡が分布したものとした。

### 3. 官能検査の概要

官能検査の概要を表-1に示す。官能検査は、検査A、検査Bおよび検査Cの3項目とし、各検査項目の検査水準は表-2に示すとおりである。

#### 3.1 検査要因と水準

##### (1) 色むらの認識に及ぼす視角の影響(検査A)

検査Aでは、距離によって対象の視覚心理学的な印象が異なることが考えられるため、図-2に示すように試料サイズおよび距離によって定まる視角を変化要因とし、2.85°、5.70°および11.40°の3水準とした。これにより定まる観察距離は、表-3に示すとおりである。

##### (2) 色むらの認識に及ぼす光源の色温度の影響(検査B)

検査Bでは、日中の太陽高度の相違による一般的な色温度<sup>9)</sup>の条件を包含するように光源の色温度を変化要因とし、3000K、5000Kおよび6500Kの蛍光灯3水準とした。

##### (3) 色むらの認識に及ぼす平均明度の影響(検査C)

検査Cでは、概ね無彩色で構成されるコンクリート表面の色調の相違によって心理学的な印象が異なることが考えられるため、明度の平均値(以降、平均明度とする)を変化要因とし、110、130、150、170および190の5水準とした。

#### 3.2 構成する尺度および検査手法

構成する尺度は、コンクリート表面の色むらの程度に関する認識を表す“色むら認識尺度”とした。検査手法は、評価尺度の範ちゅう幅が求まる系列範ちゅう法<sup>7)</sup>と

表-1 官能検査の概要

	検査A	検査B	検査C
構成する尺度	色むら認識尺度		
検査手法	系列範ちゅう法		
判断範ちゅう	“提示された試料の色むらが” ①全くない ②ほとんどない ③ややある ④かなりある ⑤非常にある		
検査時期・検査員	2013.9~2013.11 成人男女15名(20~58歳) 男性12名(平均27.3歳)、女性3名(平均37.7歳) 視力(0.7:1名, 1.0:10名, 1.5:4名)		
検査環境・検査条件	図-3に示す暗室		
視角[°]	2.85	○	
	5.70	○	
	11.40	○	○
			○
光源の色温度[K]	3000	○	
	5000	○	
		○	○
	6500	○	○
試料	図-5に示すコンクリート表面の印刷画像28種		
サイズ[mm]	150×150, 250×250, 350×350	250×250	
明度の標準偏差	10.0, 12.5, 15.0, 20.0		
平均明度	110		○
	130		○
	150	○	○
	170		○
	190		○

し、5段階の判断範ちゅうによる絶対判断とした。

#### 3.3 検査員

検査員は、一般的な成人男女15名とし、裸眼および眼鏡での視力が0.7~1.5の方を対象とした。なお、検査員の年齢および性別に偏りがあるが、本報告では考慮しないこととした。

#### 3.4 検査環境

検査環境を図-3に示す。官能検査は、光環境や気象環境などの不確定要素を極力排除するために、屋内に設置した暗室で実施した。なお、いずれの光環境においても暗室内全体および試料面の照度が概ね400lxとなるように光源を設置した。

表-2 検査員に提示した検査水準

検査A					検査B					検査C				
No.	S <sup>#1</sup>	Av <sup>#2</sup>	SD <sup>#3</sup>	T <sup>#5</sup>	No.	S <sup>#1</sup>	Av <sup>#2</sup>	SD <sup>#3</sup>	T <sup>#5</sup>	No.	S <sup>#1</sup>	Av <sup>#2</sup>	SD <sup>#3</sup>	T <sup>#5</sup>
1		10.0			37		10.0			73		10.0		
2		12.5			38		12.5			74		12.5		
3		15.0	2.85		39		15.0		3000	75	110	15.0		
4		20.0			40		20.0			76		20.0		
5	150	10.0			41	150	10.0			77		10.0		
6	×	12.5			42	×	12.5			78	130	12.5		
7	150	15.0	5.70		43	150	15.0			79		15.0		
8		20.0			44		20.0			80		20.0		
9		10.0			45		10.0			81	250	10.0		
10		12.5			46		12.5			82	×	12.5	11.40	6500
11		15.0	11.40		47		15.0			83	×	15.0		
12		20.0			48		20.0			84	250	20.0		
13		10.0			49		10.0			85		10.0		
14		12.5			50		12.5			86		12.5		
15		15.0	2.85		51		15.0		3000	87	170	15.0		
16		20.0			52		20.0			88		20.0		
17		10.0			53		10.0			89		10.0		
18	250	10.0			54	250	10.0			90		10.0		
19	×	12.5	5.70	6500	55	×	12.5	11.40	5000	91	190	12.5		
20	250	15.0			56	250	15.0			92		15.0		
21		20.0			57		20.0					20.0		
22		10.0			58		10.0					10.0		
23		12.5			59		12.5					12.5		
24		15.0	11.40		60		15.0					15.0		
25		20.0			61		20.0					20.0		
26		10.0			62		10.0					10.0		
27		12.5	2.85		63		12.5		3000			12.5		
28		15.0			64		15.0					15.0		
29		20.0			65		20.0					20.0		
30	350	10.0			66	350	10.0					10.0		
31	×	12.5	5.70		67	×	12.5					12.5		
32	350	15.0			68	350	15.0					15.0		
33		20.0			69		20.0					20.0		
34		10.0			70		10.0					10.0		
35		12.5	11.40		71		12.5		6500			12.5		
36		15.0			72		15.0					15.0		
		20.0					20.0					20.0		

表-3 官能検査における観察距離

試料サイズ[mm]	視角[°]		
	2.85	5.70	11.40
350×350	7.00m	3.50m	1.75m
250×250	5.00m	2.50m	1.25m
150×150	3.00m	1.50m	0.75m

図-2 試料サイズおよび距離と視角の関係

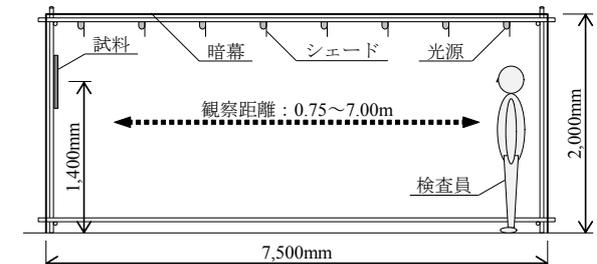


図-3 検査環境

### 3.5 官能検査に用いた試料

実施工においてコンクリート表面の色調や色むらの程度を任意に変化させることは極めて困難である。他方、既往の研究<sup>8,9)</sup>において実物のコンクリート表面と撮像した印刷画像の印象評価には高い相関があり、印刷画像は実物の代替として有効であることが報告されている。また、筆者らは既報<sup>10)</sup>において検討水準は少ないものの、図-4に示すように、実物のコンクリート供試体と撮像した印刷画像の官能評価には、差異が少ないことを明らかにしている。以上を鑑みて、本検討では、コンクリート表面を撮像し、A社製画像編集ソフトによって微調整を施した印刷画像を試料として用いることとした。なお、明度の標準偏差および平均明度は、画像解析ソフトを用いた撮像データにおける全画素の明度の統計値である。

試料とした印刷画像の概要を図-5に示す。試料は、表-1に示す試料サイズ3水準、明度の標準偏差4水準および平均明度5水準で組み合わせられる計28種とし、各試料の詳細な物理量は図中に付記したとおりである。

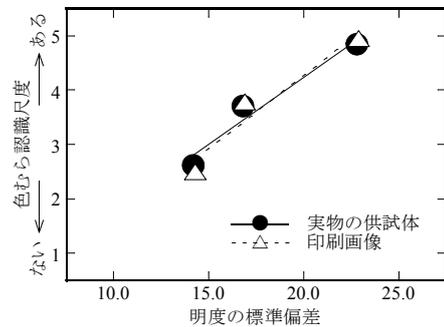


図-4 検査試料の相違による明度の標準偏差と色むら認識尺度の関係<sup>10)</sup>

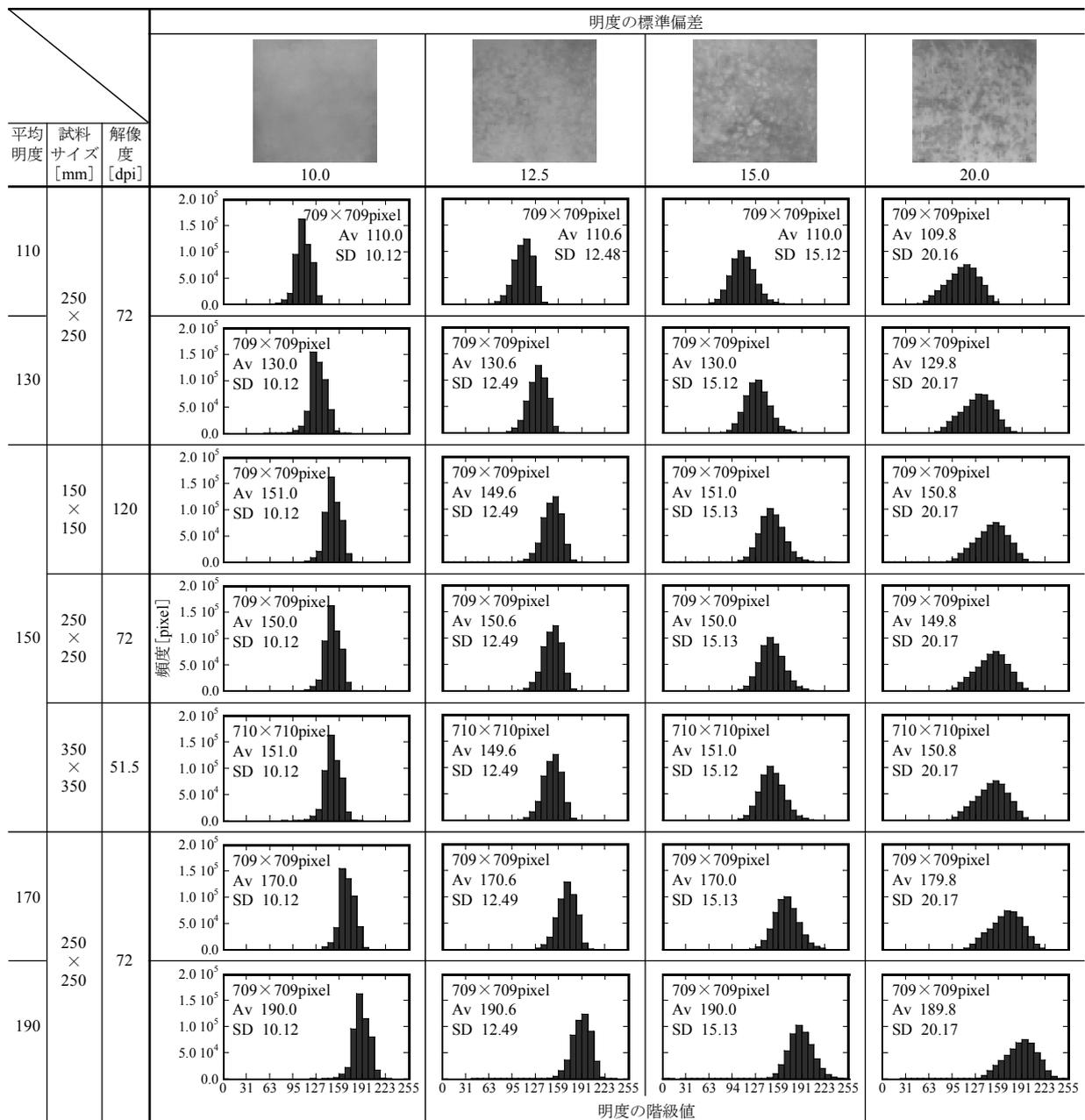


図-5 試料とした印刷画像の概要

### 3.6 検査方法

検査は、色むらに関する評価以外は判断に入れないこと、疲れたら休憩をとるので申し出ることを検査員に教示したうえで実施した。また、検査水準の提示順序は、各検査項目内でランダムとした。検査員が1つの検査水準に対する判断に要した時間は、5～15s程度であった。なお、全ての検査水準の判断は、同日内に行っていないため、検査員の生理的要因および心理的要因などが内包されているが、本報告では考慮しないこととした。

## 4. 結果および考察

### 4.1 分散分析および評価尺度の構成

官能検査の分散分析結果を表-4に示す。判断対象による差を表す主効果の分散比は、危険率1%で高度に有意なことから、検査および構成する尺度は有効であることがわかる。一方、個人差の分散比も有意であるが、個人差の寄与率と比して主効果の寄与率が明らかに大きい場合には、検査員間に内在している個人差が内包されるものの、試料間に明確な差があると言える。また、この種の検査では個人差が頻出するものであることから、大きな問題とはならないと考える。

以上より、尺度構成理論<sup>7)</sup>に従い、色むら認識尺度の構成および検査水準の尺度値を算出した。

表-4 官能検査の分散分析結果

	分散比	寄与率[%]
主効果	71.83**	79.09
個人差	24.23**	3.99

\*\*：危険率1%で有意

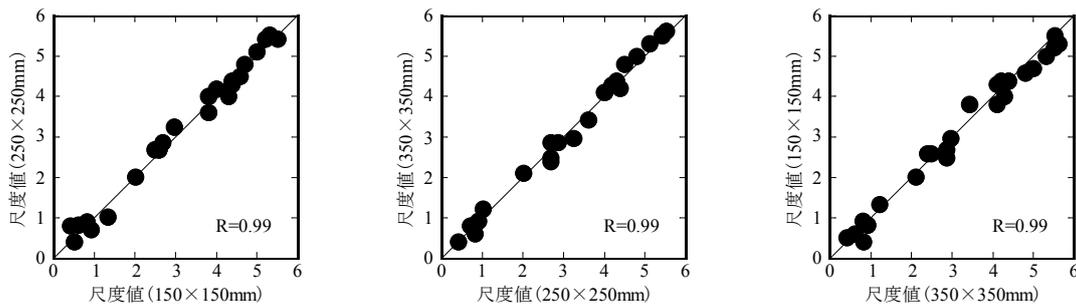


図-6 尺度値の試料サイズ間の関係

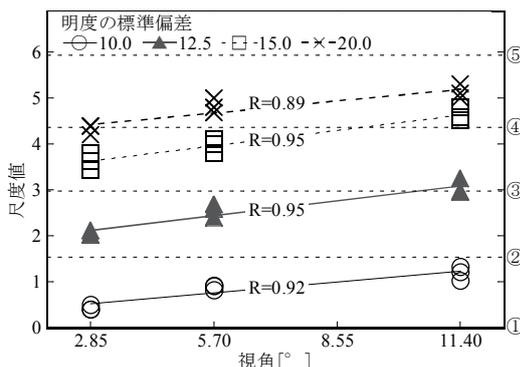


図-7 視角と尺度値の関係

### 4.2 色むらの認識に及ぼす試料サイズの影響(検査A・B)

尺度値の試料サイズ間の関係を図-6に示す。ここでは、表-2に示す検査Aおよび検査Bにおける明度の標準偏差4水準、視角3水準、色温度3水準の計24水準の試料サイズ間の関係を図示した。検査水準の尺度値は、試料サイズ間での差異が極めて小さく、高い相関を示した。このことから、本検査で用いた試料サイズ間では、色むらに対する認識に影響を及ぼさないことが分かった。すなわち、対象に対して同一の視角となるように観察することで、試料サイズの相違による影響を排除できる可能性が示唆された。

### 4.3 色むらの認識に及ぼす視角の影響(検査A)

視角と尺度値の関係を図-7に示す。ここでは、上述のことから試料サイズを区別することなく明度の標準偏差ごとに回帰直線を付記した。視角と尺度値の関係は、明度の標準偏差ごとで高い相関があり、視角が狭くなると色むらと認識し難くなる傾向を示した。これは、視角が狭くなる、すなわち対象からの距離が遠くなることで肉眼での分解能が低下し、細部の色彩の相違を平均化して認識したためと考えられる。しかしながら、尺度値の低下度合は、1.0未満とわずかな差であったことから、ある程度の視角の範囲では、色むらの認識に大きな影響を及ぼさないことが示唆された。他方、岡島ら<sup>14)</sup>は、距離の変化によるコンクリート素地仕上げに対するイメージの形容語対を用いた心理量について検討しており、平滑な仕上げのものは印象に変化がないことを示している。このことから、距離によってコンクリートに対する心理

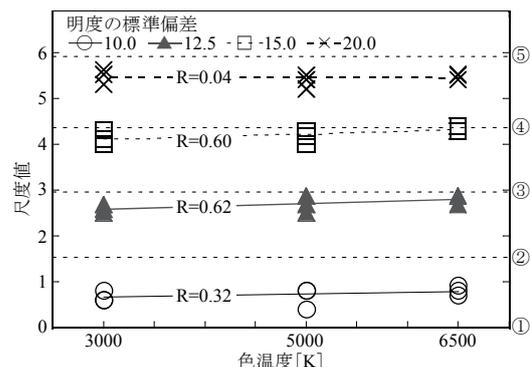


図-8 光源の色温度と尺度値の関係

学的な印象が変化しないのに対して、色むらの認識は距離によって変化することが予見された。

#### 4.4 色むらの認識に及ぼす光源の色温度の影響(検査B)

光源の色温度と尺度値の関係を図-8に示す。ここでは、前節と同様に、試料サイズを区別することなく明度の標準偏差ごとに回帰直線を付記した。光源の色温度と尺度値の関係は、いずれの明度の標準偏差においても、色温度の相違による色むらの認識に差異が少なかった。これは、光源の色温度の相違によって試料の色調が変化しているものの、コンクリートは概ね無彩色で構成されており、分光反射率が概ね一定であるため、色むらの程度を規定する明度の分散状態の見え方へ影響を及ぼさなかったためと考えられる。このことから、屋外における太陽光の日間変化による色温度の相違が、色むらの認識に影響を及ぼさないことが予見された。

#### 4.5 色むらの認識に及ぼす平均明度の影響(検査C)

平均明度と尺度値の関係を図-9に示す。平均明度と尺度値の関係は、明度の標準偏差ごとに高い相関を示し、平均明度が高くなると色むらと認識し難くなる傾向を示した。これは、大塚ら<sup>12)</sup>の既往の研究におけるプレキャストコンクリート製品の美観性に関するアンケート調査において、明度の標準偏差を一定とした場合に、平均明度が低いほど補修の必要な色むらと認識が高まる傾向と概ね同義であるものと考えられる。また、岡島ら<sup>11)</sup>は、コンクリート素地仕上げに対する“快-不快感”には明度が大きく影響を及ぼし、明度が低いと不快と感じる傾向があることを示していることから、本検査の傾向と概ね一致をみるものと考えられる。

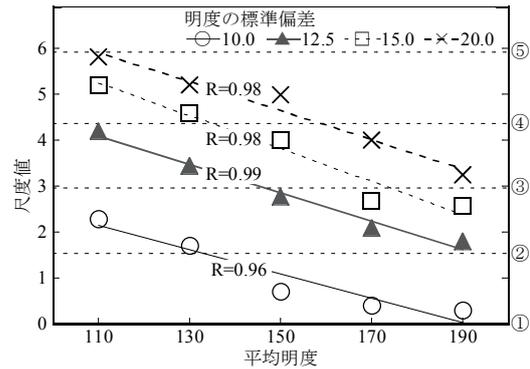


図-9 平均明度と尺度値の関係

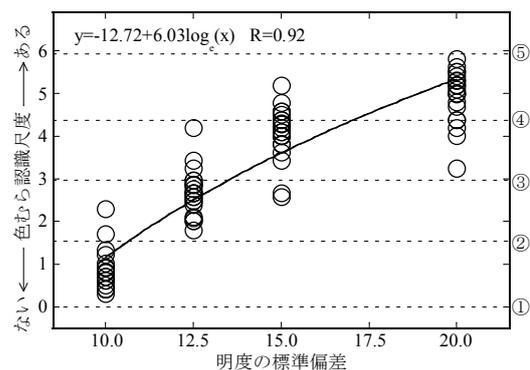


図-10 明度の標準偏差と色むら認識尺度の関係

表-5 重回帰分析結果

説明変数	偏回帰係数	t値	決定係数	F値
明度の標準偏差[a]	-0.835	-10.69**	0.97	699.69**
$\log_e(a)$	18.124	15.93**		
視角[b]	0.065	6.76**		
平均明度[c]	-0.031	-13.30**		
定数項	-28.511	-14.87**		

\*\* : 危険率1%で有意

### 5. 色むら認識尺度と物理量の対応関係

以降から、検査A、検査Bおよび検査Cにおける全検査水準をとりまとめて考察する。

#### 5.1 明度の標準偏差と色むら認識尺度の関係

ここでは、既往の研究<sup>13-15)</sup>において、色むらの程度を定量的に評価する指標として明度の標準偏差が有効であることに基づいて、色むら認識尺度に対応する物理量としての有効性を確認した。明度の標準偏差と色むら認識尺度の関係を図-10に示す。物理量である明度の標準偏差と色むら認識尺度の関係は、高い相関を示し、明度の標準偏差が大きくなると対数曲線的に色むら認識尺度が大きくなる傾向を示した。しかしながら、色むら認識尺度は、2範ちゅう程度の範囲に集約する傾向にあり、明度の標準偏差との明確な対応が見られない。これは、前述した検査条件における視角および光源の色温度や試料としたコンクリート表面の平均明度の影響が内在しているためである。よって、色むら認識尺度に対応する物理量として明度の標準偏差に加え、視角、色温度および平

均明度を考慮した物理量を設定する必要がある。

#### 5.2 重回帰分析による物理量の設定

色むら認識尺度と対応する物理量は、色むら認識尺度値を目的変数とし、明度の標準偏差、視角、光源の色温度および平均明度を説明変数とする重回帰分析を行い設定することとした。ここでは、変数増減法によって寄与率の低い光源の色温度を除いた有効な説明変数を設定した。

以上より、重回帰分析結果を表-5、色むら認識尺度に対応する物理量Yの算定式を(1)式に示す。

$$Y = -28.51 - 0.84 \times a + 18.12 \log_e a + 0.07 \times b - 0.03 \times c \quad (1)$$

a : 明度の標準偏差, b : 視角[°], c : 平均明度

物理量Yと色むら認識尺度の関係を図-11に示す。物理量Yと色むら認識尺度の対応には、若干の幅があるものの、高い相関関係にあり、かつ表-5に示すように決

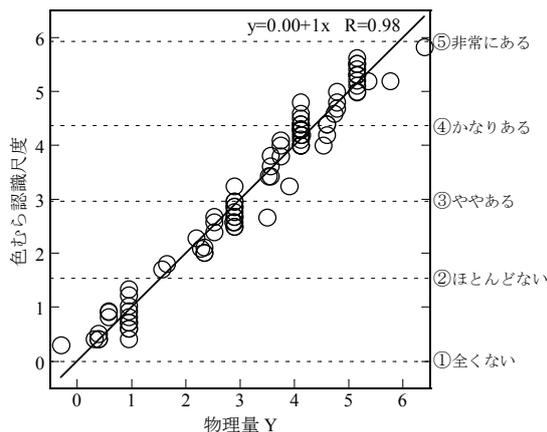


図-11 物理量 Y と色むら認識尺度の関係

定係数が高度に有意であることから、色むらの認識を(1)式によって算定した物理量 Y から推定できるものと考えられる。しかしながら、本研究では、検査を分割して実施しており、検査水準の提示の順序効果や検査員の生理的および心理的要因などが考慮されていないことを付記する。

## 6. まとめ

本研究は、コンクリート表面の色むらの認識について官能検査を実施した。以下に、得られた知見を示す。

- (1) 本研究の試料サイズ間において、視角を一定とした観察距離から得られる色むらの官能評価には差異が少なかった。すなわち、対象に対して視角を一定とした場合、色むらの認識に及ぼす対象とする面積の相違による影響を排除できることが示唆された。
- (2) 視角の相違が色むらの認識に及ぼす影響は、視角が狭くなると周囲の色彩を平均化して認識するため、色むらと認識し難くなる傾向を示した。
- (3) 光源の色温度の相違が色むらの認識に及ぼす影響は、本研究で用いた蛍光灯の色温度間での差異が少なかった。すなわち、屋外および屋内における光源の色温度の相違が、色むらの認識に影響を及ぼさないことが予見された。
- (4) コンクリート表面の平均明度の相違が色むらの認識に及ぼす影響は、平均明度が高い、すなわち白色に近づくほど色むらと認識し難くなる傾向を示した。
- (5) 重回帰分析によって設定した物理量 Y の算定式は、不確定要素を内包するものの、概ね色むら認識尺度と対応しており、色むらに対する認識を推定できることが示唆された。

## 謝辞

本研究は、平成24年度公益財団法人 LIXIL 住生活財団研究助成金(研究代表者:高橋宏樹, 共同研究者:大塚秀三, 三井実)により実施した。研究に際して、ものづくり

大学技能工芸学部製造学科三井実講師および建設学科の学生より助力を得た。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 日本コンクリート工学協会:プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会報告書, pp.113-114, 2009.8
- 2) 日本建築学会:建築工事標準仕様書・同解説, JASS 5 鉄筋コンクリート工事, pp.160-167, 2006.9
- 3) 坂田昇, 渡邊賢三, 細田暁:コンクリート構造物の品質向上と表層品質評価手法, コンクリート工学, Vol.50, No.7, pp.601-606, 2012.7
- 4) 土屋潤, 橋高義典, 田村雅紀:建築石材仕上げの視覚的評価に及ぼす表面性状の影響に関する研究 その1 石材の印象評価に関する基礎的検討, 日本建築学会構造系論文集, 第575号, pp.43-47, 2004.1
- 5) 岡島達雄, 河辺伸二ほか:視覚, 触覚および視触覚によるコンクリート素地仕上げの総合的評価, コンクリート工学論文集, Vol.8, No.2, pp.81-89, 1997.7
- 6) 日本色彩学会編:色彩化学ハンドブック, pp.1379-1385, 1998
- 7) J.P.Guilford著, 秋重義治訳:精神測定法, 培風館, 1959
- 8) 岡島達雄, 河辺伸二ほか:コンクリート素地仕上げの視覚心理学的評価に及ぼす面積の影響, コンクリート工学論文集, Vol.7, No.2, pp.157-165, 1996.7
- 9) 橋高義典, 上村克郎, 仕入豊和:画像解析手法によるコンクリート壁面の汚染度測定方法, セメント・コンクリート論文集, No.44, pp.702-707, 1990.3
- 10) 中田善久, 大塚秀三:コンクリート表面の色むらの評価方法と今後の展望, セメント・コンクリート, No.736, pp.17-23, 2008.6
- 11) 岡島達雄, 河辺伸二ほか:コンクリート素地仕上げの距離による「見えの変化」と心理効果, コンクリート工学論文集, Vol.6, No.2, pp.99-106, 1995.7
- 12) 大塚秀三, 中田善久, 藤井和俊, 西本好克:プレキャストコンクリート製品における表面仕上がり状態の美観性に対する意識調査, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1693-1698, 2009.7
- 13) 大塚秀三ほか:調合および施工要因の違いがコンクリート表面の色むらに及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.29, No.2, pp.271-276, 2007.7
- 14) 近藤嘉広, 小谷一三, 今立文雄:コンクリート表面色の定量的な評価方法, 土木学会第49回年次学術講演会講演梗概集, VI-113, pp.222-223, 1994.9
- 15) 渡邊賢三, 坂田昇ほか: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, 2013.7