

論文 材料・養生方法がコンクリートの色調に与える影響

小林俊秋^{*1}

要旨:本研究は、工場のコンクリート製品の色調検討として、材料、配合および養生の違いがコンクリートの色調に及ぼす影響について検討した。その結果、フレッシュコンクリート中の材料に拘束されない自由水量と養生方法および混和剤の種類とコンクリートの色調に関連性があることがわかった。

キーワード:L*a*b*表色系, 明度指数(L), 混和剤

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の美観という観点からコンクリートの色調はコンクリート構造物にとって重要な要因となっている。特に同じ形状で並ぶコンクリート製品では若干の色調の違いが問題となる傾向が強い。各工場において同じ規格で製造した製品であっても色差があり、そのことが製品の評価の対象となる場合がある。工場の材料、配合および養生の違いがコンクリート表面の色調に影響を与えていると考えられるが、現状においては、それらの要因とコンクリート表面の色調との間の関連性は明確になっていない。そこで本研究は、①製品工場の材料、配合および養生の違いがコンクリートの色調に与える影響、②色差の発生原因およびその対策について検討する。

2. 実験概要

2.1 使用材料

コンクリート供試体の使用材料を以下に示す。2工場で主に使用されている材料を用いた。セメントの試験成績表を表-1、細骨材および粗骨材の物理試験結果を表-2、混和剤の種類を表-3に示す。

表-1 セメントの試験成績表

No	セメントの種類	密度(g/cm ³)	比表面積(cm ² /g)
H	早強ポルトランド	3.14	4510
N	普通ポルトランド	3.16	3290

表-2 細骨材および粗骨材の物理試験結果

No	骨材種類	表乾比重	粗粒率	吸水率(%)	色系
ST	鶴巣産山砂	2.57	2.79	2.44	黄色系
SI	岩瀬産砕砂	2.61	2.72	0.83	黒色系
GH	花川産碎石	2.69	6.78	2.65	黄色系
GI	岩瀬産碎石	2.63	6.77	0.86	黒色系

表-3 混和剤の種類

No	混和剤種類
SP1	ナフタリン系高性能減水剤
SP2	ポリカルボン酸系高性能AE減水剤

2.2 実験の要因と水準

実験の水準は、供試体に与えた材料、配合及び養生の諸条件とコンクリート表面の色差との関係を調べるために、表-4のように選定した。

表-4 実験の要因と水準

要因	水準	
材料	セメント	N, H
	細骨材	ST, SI
	粗骨材	GH, GI
	混和剤	SP1, SP2
配合	水セメント比	W/C=30,35,40%
	単位セメント量	C=350,429,500kg/m ³
	細骨材率	s/a=35,40,45%
	SPの添加率	SP/C=0.7,1.0,1.5%
養生	蒸気 気中	

*1 オリエンタル建設(株) 本社技術研究所研究員

表-5 コンクリートの配合

No	記号	Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	SP/C (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
						水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤
1	HII2	20	35	40	1.0	150	429	713	1078	4.29
2	HII2wc30	20	30	40	0.86	150	500	690	1043	4.29
3	HII2wc40	20	40	40	1.14	150	375	731	1105	4.29
4	HII2sa35	20	35	35	1.0	150	429	624	1168	4.29
5	HII2sa45	20	35	45	1.0	150	429	803	989	4.29
6	HII2sp0.7	20	35	40	0.7	150	429	713	1103	3.00
7	HII2sp1.5	20	35	40	1.5	150	429	713	1103	6.44
8	HII2c350	20	35	40	1.2	123	350	768	1161	4.29
9	HII2c500	20	35	40	0.86	175	500	664	1003	4.29

成形した供試体は、蒸気養生及び気中養生とし、蒸気養生は、前養生20℃(3hr)+15℃/h(2hr)+最高温度50℃(5hr)+徐冷10℃/hとし工場のコンクリート製品と同一とした。脱型は、コンクリート打ち込み後16hr後に行った。脱型後は、屋外暴露とした。

2.3 コンクリートの配合

コンクリートの配合は、表-4で選定した水準を組み合わせた種類で表-5に示す。配合および材料の要因を調べることに重点を置いたので、フレッシュコンクリートの規定はしなかった。

2.4 コンクリート供試体の種類

供試体は、10×10×40cmの角柱供試体とし表-6に示す種類とする。供試体No.1~5は、材料がコンクリートの色彩に及ぼす影響を検討するための供試体であり、供試体No.6~17は、混和剤の種類および配合を変化させた供試体である。供試体型枠は、鋼製型枠とし油性剥離剤を用いた。

2.5 養生方法

2.6 測定方法および色彩の表示方法

コンクリート供試体表面の色彩測定は、材齢1, 3, 7日で行う。そこで測定箇所は、1供試体の側面部および底面部の2面について行い、1面につき4(目視で白い部分、面の色を代表すると感じられる部分を2箇所、黒い部分)箇所とする。また物体表面の色彩を定量的に評価するためには、色彩を数値で表す必要がある。

表-6 コンクリート供試体の一覧

供試体		種類				配合					本数		
No	記号	C	S	G	SP	W/C	s/a	SP/C	W	C	蒸気 Z	気中 H	計
1	HII2	H	SI	GI	SP2	35	40	1.0	150	429	1	1	2
2	HII1	H	SI	GI	SP1	35	40	1.0	150	429	1	1	2
3	NII2	N	SI	GI	SP2	35	40	1.0	150	429	1	1	2
4	HTI2	H	ST	GI	SP2	35	40	1.0	150	429	1	1	2
5	HIH2	H	SI	GH	SP2	35	40	1.0	150	429	1	1	2
6	HII2wc30	H	SI	GI	SP2	30	40	0.86	150	500	1	1	2
7	HII2wc40	H	SI	GI	SP2	40	40	1.14	150	375	1	1	2
8	HII1wc30	H	SI	GI	SP1	30	40	0.86	150	500	1	1	2
9	HII1wc40	H	SI	GI	SP1	30	40	1.14	150	375	1	1	2
10	HII2c350	H	SI	GI	SP2	35	40	1.23	123	350	1	1	2
11	HII2c500	H	SI	GI	SP2	35	40	0.86	175	500	1	1	2
12	HII2sa35	H	SI	GI	SP2	35	35	1.0	150	429	1	1	2
13	HII2sa45	H	SI	GI	SP2	35	45	1.0	150	429	1	1	2
14	HII1sp0.7	H	SI	GI	SP1	35	40	0.7	150	429	1	1	2
15	HII1sp1.5	H	SI	GI	SP1	35	40	1.5	150	429	1	1	2
16	HII2sp0.7	H	SI	GI	SP2	35	40	0.7	150	429	1	1	2
17	HII2sp1.5	H	SI	GI	SP2	35	40	1.5	150	429	1	1	2

本研究では、コンクリートの表面色の表示方法としてJIS Z 8729「L*a*b*表色系及びL*u*v*表色系による物体色の表示方法」のL*a*b*表色系を用いた。すなわち物体色を表示するには、明度指数L*およびクロマティクネス指数a*, b*による。また2つ以上の物体色の色差を表示する方法としてJIS Z 8730「色差表示方法」を用いた。色差の計算方法は、次の式(1)によって計算する。

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad (1)$$

ここに、 ΔE^*_{ab} : L*a*b*表色系による色差
 ΔL^* , Δa^* , Δb^* : JIS Z 8729に規定するL*a*b*表色系における二つの物体色のCIE1976明度L*の差及び色座標a*, b*の差
 また色差の程度の評価を表-7に示す。

表-7 色差の程度の評価と ΔE^*_{ab} の関係

色差の程度の評価	ΔE^*_{ab}
きわめてわずかに異なる (trace)	0~0.5
わずかに異なる (slight)	0.5~1.5
感知し得るほどに異なる (noticeable)	1.5~3.0
著しく異なる (appreciable)	3.0~6.0
きわめて著しく異なる (much)	6.0~12.0
別の色系統になる (very much)	12.0以上

実験に用いた色彩色差計は、MINOLTA CR-300で照明方式は、D-0法(拡散照明垂直受光方式)(JIS Z 8722)、測定径-8mmである。

3. 実験の結果および考察

3.1 色調に及ぼす材料、養生およびスランプ値の影響

図-1および図-2は、表-4の条件で制作した供試体の色彩を材齢7日において測定し、材料および養生方法の異なったコンクリート供試体の側面および底面の明度指数L値とスランプ値の関係を示す。図-1より蒸気養生の場合、供試体の側面では、スランプ値の増加に伴いL値が増加する(明るくなる)が、供試体の底面については、逆にL値が低減する(暗くなる)ことがわかる。明度指数以外の指数については大幅な違いはみられない。図-2より気中養生の場合、蒸気養生した供試体の側面のような、スランプ値と明度指数の関係はみられないが、蒸気養生した供試体に比較して、側面に

ついては明度指数は低く、逆に底面については、高い傾向がみられる。コンクリートの明度指数について他の研究によれば、コンクリート表面にポーラスな炭酸カルシウムの結晶が生成すると白く見え、緻密な炭酸カルシウムの結晶群が生成すると黒く見えると考えられる。¹⁾同じ配合でも、使用材料の種類が違くと、粒度や粒形および表面積の違いなどでスランプ値が違ふ。蒸気養生した場合のスランプ値と明度指数の相関の理由としては、フレッシュコンクリートのスランプ値が大きいと、コンクリート中の材料に拘束されない水量が締め固めの振動により、型枠側面に多く移動するため供試体表面のコンクリートの水セメント比を増加させることによる影響。そして蒸気養生により比較的セメントの水和が早く進行することによる影響。そのため側面では、スランプ値の増加に伴い、ポーラスな炭酸カルシウムの結晶が生成して明度指数が向上すると考えられる。また供試体底面では、材料分離によりセメント粒子が沈降してコンクリートの水セメント比を低下させることによる影響。そして蒸気養生による影響、そのため底面では、緻密な炭酸カルシウムの結晶が生成して明度指数が低下すると考えられる。一方気中養生の場合は、比較的セメントの水和が緩やかに進行することにより、フレッシュコンクリートの性状の影響は少ない。したがって供試体の側面と底面に生成する炭酸カルシウムの結晶に大幅な違いがなく蒸気養生した供試体にみられる大幅な明度指数の違いはないと考えられる

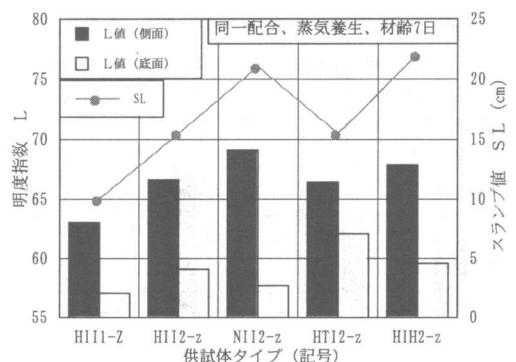


図-1 材料の種類の違いと明度指数L値およびスランプ値の関係(蒸気養生)

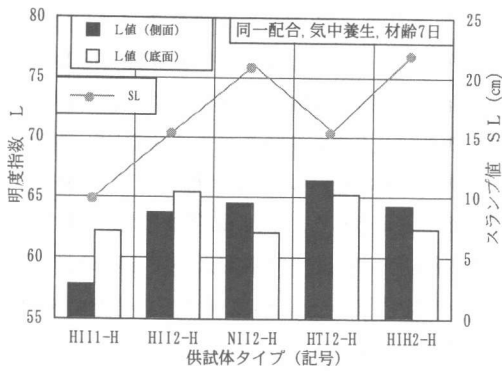


図-2 材料の種類の違いと明度指数L値およびスランプ値の関係(気中養生)

3.2 色調に及ぼす配合、養生およびスランプの影響

3.2.1 水セメント比の影響

材齢7日における水セメント比の違いが明度指数およびスランプ値に与える影響を混和剤の種類および養生方法を変えて図-3、図-4に示す。図-3よりSP1を用いたコンクリートは、蒸気養生の場合、供試体の側面では、水セメント比の増加に伴いL値が増加する(明るくなる)が、供試体の底面については、逆にL値が低減する(暗くなる)ことがわかる。気中養生の場合、供試体の側面では、水セメント比の増加に伴いL値が増加する(明るくなる)が、供試体の底面については、水セメント比と明度指数の関係はみられない。図-4よりSP2を用いたコンクリートは、供試体の側面では、蒸気養生および気中養生のどちらも水セメント比の増減にL値がほとんど影響せず、スランプ値の増

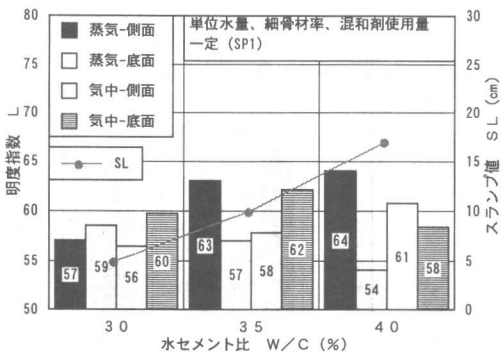


図-3 水セメント比と明度指数L値およびスランプ値の関係(SP1)

減に伴いL値が増減することがわかった。供試体の底面については、蒸気養生の場合、水セメント比の増加に伴いL値が減少し、気中養生の場合、逆に増加している。また水セメント比W/C=30%で蒸気養生した場合に、SP2はSP1に比較してL値が12高く混和剤の種類の違いがL値に大きな影響を与えていることがわかる。

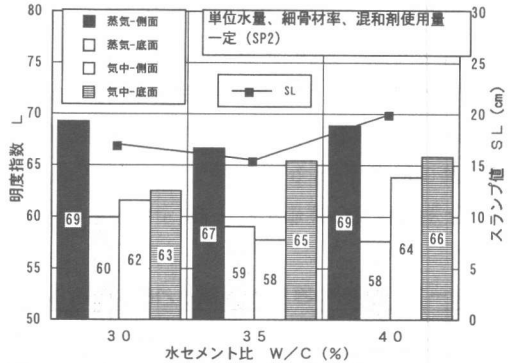


図-4 水セメント比と明度指数L値およびスランプ値の関係(SP2)

3.2.2 単位セメント量の影響

材齢7日における単位セメント量の違いが明度指数およびスランプ値に与える影響を養生方法別に供試体の側面および底面で測定した結果を図-5に示す。単位セメント量が500kg/m³の蒸気養生した供試体の側面だけがその他の測定箇所比べてL値が大幅に高い。これは、配合要因を単

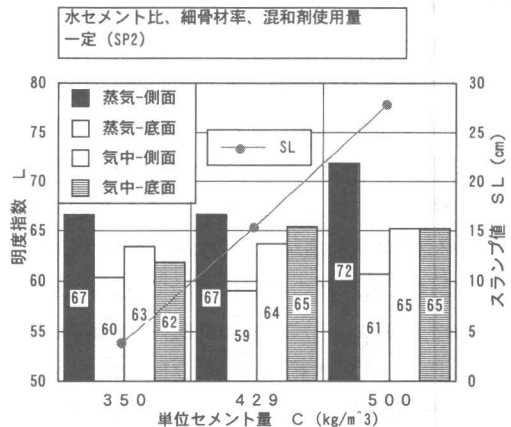


図-5 単位セメント量とL値およびスランプ値の関係

位セメント量の増減だけとして水セメント比、細骨材率および混和剤の使用量を一定としたため単位セメント量の増加に伴い単位水量が大幅に増加してフレッシュコンクリートの性状がスランプフロー値で550mmになったためと考えられる。

3.2.3 細骨材率の影響

材齢7日における細骨材率違いが明度指数およびスランプ値に与える影響を養生方法および測定箇所を変えて図-6に示す。供試体は、蒸気養生および気中養生のどちらも細骨材率の増減にL値がほとんど影響しないことがわかった。蒸気養生の場合、供試体の側面では、スランプ値の増減に伴いL値が増減することがわかった。

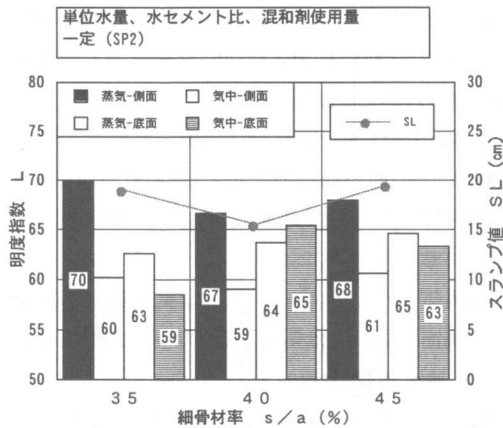


図-6 細骨材率とL値およびスランプ値の関係

3.2.4 混和剤の添加率の影響

材齢7日における混和剤の添加率の違いが明度指数およびスランプ値に与える影響を養生方法および測定箇所を変えてSP1を図-7にSP2を図-8に示す。混和剤の種類の違いにかかわらず蒸気養生の場合、コンクリート供試体の側面では、混和剤の添加率の増減にL値がほとんど影響しない。スランプ値も増加しているがL値に変化がない。この理由としては、単位水量の増加ではなく、混和剤の使用量の増加によってフレッシュコンクリートのスランプ値は増加している。したがってコンク

リート中の材料に拘束されない水量は増加していないと考えられる。そのため供試体表面のコンクリートの水セメント比は増加しないために炭酸カルシウムの生成状況に変化がなくスランプ値が増加しているがL値に変化がないと考えられる。底面では、混和剤の添加率の増加に伴いL値が減少する傾向が認められる。特にSP2を用いた供試体の底面においてはその傾向が強い。これは混和剤は、セメント粒子を分散させるために、材料分離によるセメント粒子の沈降が増加して供試体底面の水セメント比が低下するためと考えられる。高性能AE減水剤は、セメント粒子の分散効果が高いためによりL値が減少したと思われる。このことは工場の土木製品がコンクリート打ち込みの時は底面となる面が、施工された後人目にふれやすくなり構造物の景観を乱しやすいため注意を要する。一方気中養生の場合、SP1を用いた供試体の側面および底面は、混和剤の添加率の増減にL値がほとんど影響しないが、SP2を用いた供試体の側面および底面は、混和剤の添加率の増加にL値が増減している。またSP2の添加率が1.5%の供試体の側面および底面には色むらがあり側面は、下の方に向かって黒くなる色むらがあり底面の色調につながる傾向にあった。

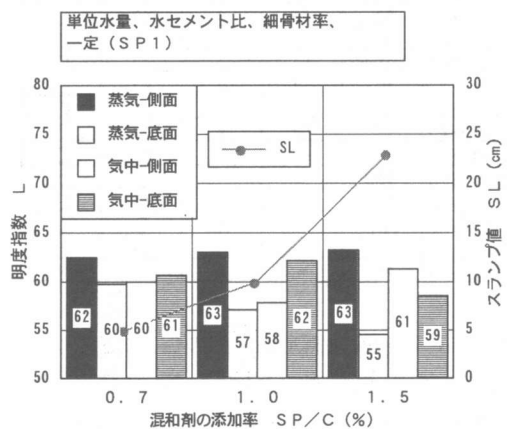


図-7 混和剤(SP1)の添加率とL値およびスランプ値の関係

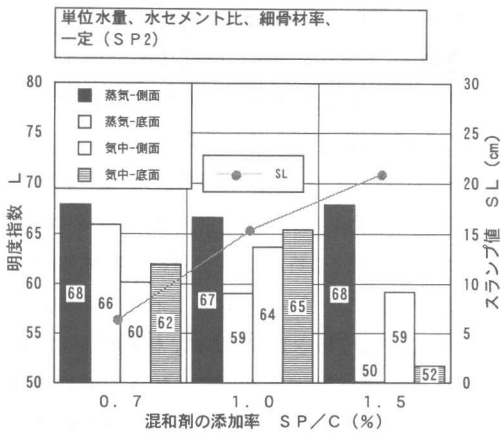


図-8 混和剤(SP2)の添加率とL値およびスランプ値との関係

3.3 色むらに及ぼす配合、養生およびスランプ値の影響

表-8は、表-4の条件で制作した供試体を材齢7日において目視観察して色むらの程度により○、△、×の3段階評価とした。

表-8 色むらの目視評価

No.	Slump cm	蒸気		標準	
		側面	底面	側面	底面
NIJ2	21	○	△	△	△
HIJ2	15.5	○	△	△	△
HTI2	15.5	◎	△	○	△
HIH2	22	○	△	△	△
HIJ2wc30	17	○	△	○	○
HIJ2wc40	20	○	×	○	○
HIJ2c350	4	△	×	○	○
HIJ2c500	550*550	○	△	○	○
HIJ1	10	◎	△	○	○
HIJ1wc30	5	△	△	○	○
HIJ1wc40	17	○	×	○	○
HIJ1sp0.7	5	○	○	○	○
HIJ1sp1.5	23	△	×	○	△
HIJ2sa35	19	△	×	○	○
HIJ2sa45	19.5	△	△	○	○
HIJ2sp0.7	6.5	△	△	○	○
HIJ2sp1.5	21	×	×	△	×

図-9に同一面の測定箇所間の色差とスランプの関係を示す。同図に示すようにスランプ値が大きくても小さくても色むらは、発生している。SL=10~15cmが最も色むらが発生しにくいスランプ値であると言える。

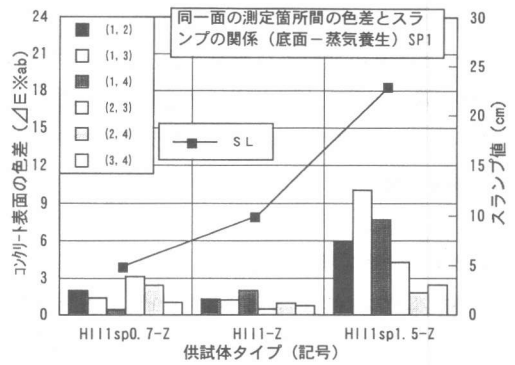


図-9 同一面の測定箇所間の色差とスランプの関係(蒸気養生-底面)(SP1)

4. まとめ

実験によって得られた成果を下記に示す。

- (1)コンクリートの色調に対しては、フレッシュコンクリートの材料に拘束されない自由水量と養生方法により大きな影響を及ぼす。
- (2)コンクリートの色調に対しては、セメント粒子の分散効果の高い混和剤が効果(側面に対しては明度指数を増加させて底面に対しては、明度指数を減少させる)がある。
- (3)蒸気養生したコンクリートは、気中養生に比較して側面においては明度指数が高く、底面においては、明度指数が低い。
- (4)実験に用いた配合(単位水量 $W=150\text{kg/m}^3$ 、 $W/C=30\sim40\%$)においては混和剤の調整でスランプ値が $SL=10\sim15\text{cm}$ 程度が最も色むらの発生しにくいコンクリートである。

参考文献

- 1) 飯島、小俣:内装タイル目地の色むらその原因と対策、建築仕上技術1985、10、Vol. 11、No123
- 2) 川上元郎:色の常識、(財)日本規格協会1997