

共同納入のための混用生コンに関する基礎研究

○ 河野秀和*1 栗田英明*1 森康一*1 大塚三喜夫*1 横山嵐*1

要旨：本研究では製造工場の異なる生コンクリートを混用する際に与える影響をブリーディング性状、凝結性状、長さ変化、異なる生コンクリートが接する界面の強度及び色の違いの各視点から検討した。その結果、ブリーディング性状、凝結性状、長さ変化においては混用前の生コンクリートの中間的な性状となり、界面の強度については混合、上下、左右の状態によって強度値が異なることが明らかになった。また、色の違いについては定量した色差と目視観察を比較し、その閾値を決定した。

キーワード：混用、ブリーディング性状、凝結性状、長さ変化、圧縮強度、引張強度、色

1. はじめに

同一工区への生コンクリートの打ち込みにおいて、製造工場の異なる複数の生コンクリートを用いることは、責任の所在が明確でなくなる等の理由により望ましくない。しかしながら、プラントの故障や災害により製造が困難な場合や大量打設時に供給能力が乏しい場合、やむを得ず複数の生コン工場から出荷するケースが考えられる。混用された生コンクリートに関する研究¹⁾²⁾は1980年代になって複数の検討が報告されており、概ね問題ないとされているが、ここ数十年で大きく変化したセメントや骨材、混和剤に対する知見は少ない。また、2種類の生コンクリートに強度差がある場合や施工した躯体から採取したコアについての報告が無く、影響を及ぼす可能性が考えられる。更にセメント等の原材料の影響によりコンクリートの色彩が変化することが既往の研究³⁾で明らかになっており、混用で色調の変化が懸念される。こうした色の違いは構造体の直接的な品質を損なうものではないものの、視覚的な要因が第三者に与える影響は大きい。しかしながら定量した色差と実際に目で見た知覚についての報告がきわめて少ないのが現状である。以上を背景として本研究では混用の際の硬化前の性状やコンクリート境界部の強度特性、色の違いを検討した。

2. 色差について

色彩を定量するにあたり $L^*a^*b^*$ 表色系を用いた。これは観測した色を L^* 、 a^* 、 b^* の3つの刺激値で数値化し、それぞれの値からなる3次元空間座標上の点として表すことができる。ある2色間の色の違いを色差 ΔE といひ、空間座標上の2点の直線距離によって表すことができる。図-1 に色差の概念図を示した。従って図-1 における2色間の色差 ΔE は次の式によって求めることができる。

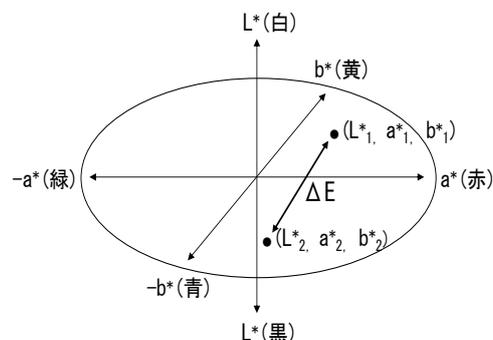


図-1 $L^*a^*b^*$ 表色空間の色差 ΔE

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2} \quad (1)$$

コンクリートの色調に関する既往の研究で ΔE がしばしば用いられており、色差の定量にあたり、式(1)を採用した。本研究でのコンクリートの色とはそのコンクリートが本来発する色彩と定義し、色むらやコールドジョイント等による部分的な色の違いについては考慮しない。また、色の違いの表現について定量・数値化したものを「 ΔE 」といい、目視で知覚されるものを「色の違い」と論述する。

3. 実験概要

3. 1 配合と試料調整

混用する生コンクリートの選定にあたり、品質に影響が大きいと考えられる原材料の違いを考慮し、3工場を選定した。各工場の配合は33-21-20N(配合-1)及び27-12-20BB(配合-2)とし、使用される材料を表-1に示す。各工場で製造したものをそれぞれアジテータ車に積載し、練り始めからそれぞれ30分、60分、90分経過時に試料を採取した。採取する際、1工場から採取した試料を単体試料(A, B, C)とした。また、2工場の生コンクリートから同程度の量を採取し、それらを練り舟に移し、シャベルで練り混ぜたものを混合試料(AB, BC, CA)とした。単体試料及び混合試料を用いて配合毎で比較した。

表-1 使用材料

配合	工場	セメント	細骨材1	細骨材2	細骨材3	粗骨材1	粗骨材2	混和剤(製造メーカー・種類)
配合-1 (33-21-20N)	A	D社	砕砂(硬質砂岩)	高炉スラグ	石灰砕砂	砕石1505(硬質砂岩)	砕石2010(硬質砂岩)	G社・高性能AE減水剤
	B	E社	砕砂(流紋岩)	高炉スラグ	石灰砕砂	砕石1505(流紋岩)	砕石2010(流紋岩)	H社・高性能AE減水剤
	C	F社	砕砂(粘板岩)	石灰砕砂	-	砕石2005(粘板岩)	砕石2005(流紋岩)	H社・高性能AE減水剤
配合-2 (27-12-20BB)	A	D社	砕砂(硬質砂岩)	高炉スラグ	石灰砕砂	砕石1505(硬質砂岩)	砕石2010(硬質砂岩)	G社・AE減水剤
	B	E社	砕砂(流紋岩)	高炉スラグ	石灰砕砂	砕石1505(流紋岩)	砕石2010(流紋岩)	H社・AE減水剤
	C	F社	砕砂(粘板岩)	石灰砕砂	-	砕石2005(粘板岩)	砕石2005(流紋岩)	H社・AE減水剤

3. 2 ブリーディング性状

JIS A 1123 によるブリーディング試験方法で実施した。但し、試料は練り始めから30分経過後に採取した。練り始めを測定開始時刻とし時間当たりのブリーディング量の比較を行った。

3. 3 凝結性状

JIS A 1147 による凝結時間試験方法で実施した。但し、試料は練り始めから30分経過後に採取し、練り始めを測定開始時刻とし時間当たりの貫入抵抗値の比較を行った。また、終点は全ての試料の貫入抵抗値が1.0 N/mm²を越えるまでとした。

3. 4 長さ変化

練り始めから60分経過後に採取した試料を用いてJIS A 1129-3のダイヤルゲージ方法にて26週までの長さ変化率を測定した。

3. 5 型枠供試体による強度試験

供試体は直径100mm、高さが200mmの円柱の型枠を用いて作製した。A, B, Cの単体試料で作製したものを「単体」、混合試料より採取したものを「混合」とした。また、2つの単体試料をそれぞれ容積比1:1で下層と上層に分けたものを「上下」、左右に分けたものを「左右」とした。図-2にAとBを用いた場合の供試体の作製例を示す。

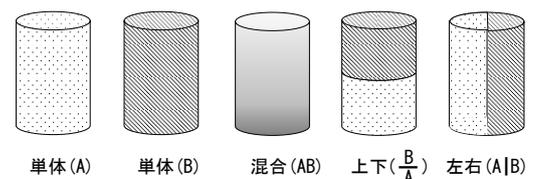


図-2 型枠供試体の作製例

の作製例を示す。圧縮強度試験は左右を除く供試体で実施した。また、割裂引張強度試験は上下を除く供試体で実施した。左右の作製にあたって境界部を明確にするために中央にセル板の仕切を入

れて2層打込み後にセル板を引き抜いた。割裂用の供試体は全て左右と同様に作製し、いずれも境界部に対して応力をかけた。これらの供試体は練り始めから30分及び90分経過時に採取した。硬化後にキャッピングを行い、材齢2日で脱型した後、標準水中養生とした。材齢28日にて各種強度試験を実施した。

3.6 コア供試体による強度試験

コア供試体を採取するにあたり模擬体を作製した。模擬体は一辺が1000mmの立方体で、その中に8等分となる立方体単位で各工場の生コンクリートを打込んだ。各工場の模擬体への打込み箇所を図-3に示す。また、模擬体の下層部は練り始めから30分経過後、上層部は90分経過後に打ち込んだ。打込み部位の境界を明確にするため仕切り板で内部を区切り、打込み後に引き抜いた。その後、境界部と壁面付近に鉛直方向からバイブレーターを掛け、均一化した。コアは単体、上下、左右の供試体の様相となるよう模擬体の上部から採取した。図-4に模擬体側面から見たコアの採取位置を示す。模擬体は配合-1及び配合-2はそれぞれ5日後と7日後に脱枠し、21日後にコアを採取した。採取後のコアは現場封緘養生し、材齢28日で圧縮強度試験を行った。

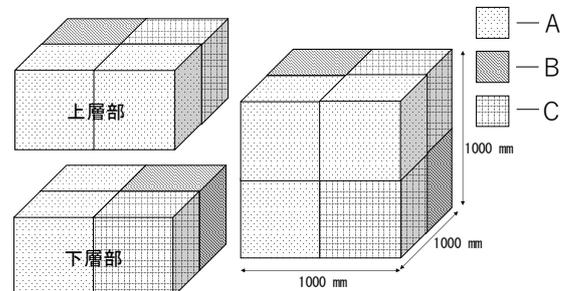


図-3 模擬体打込み箇所

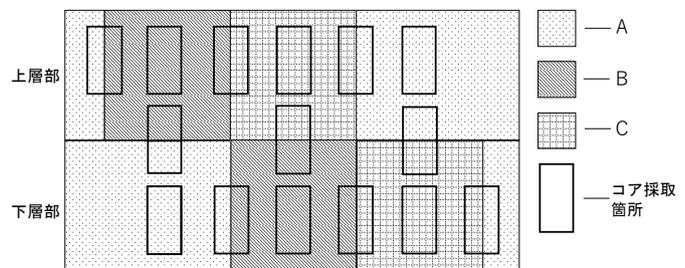


図-4 コア採取位置

3.7 色差の定量

模擬体のA, B, Cの上層部, 下層部のそれぞれ2つの組合せから ΔE を定量した。測定器具はコニカミノルタ株式会社製色差計:CR-410を使用し、測色条件は測定径50mm, 光源D₆₅とした。測定時期は脱枠直後と材齢91日とした。汚れ等の影響を抑えるため屋外の雨掛りのない場所に模擬体を静置し、測定箇所は豆板や色むらが少なく、代表的な色調と思われる部分として3回の平均値を測定値とした。得られたL*, a*, b*値から式(1)を用いて ΔE を求めた。

3.8 目視観察による色の違い

目視で知覚される色の違いは観察者へのアンケートにより評価した。観察箇所は模擬体の色むらや気泡が少ない単体表面とした。観察の方法は模擬体の壁面から約1m離れた場所から写真を撮影し、画像認識ソフトを用いてディスプレイ画面内で2組の単体表面を比較した。標本は3.7で定量した ΔE が0.50から8.77までの適当な間隔を組合せとし、標本数を12とした。ばらつきはあるものの各標本に対するアンケートの回答数は30~50とした。色の違いの評価は「コンクリートの色の違いをどの程度感じるか」という質問に対して「1.ほとんど感じない」、「2.わずかに感じる」、「3.少し感じる」、「4.感じる」、「5.かなり感じる」の5段階評価で回答した。

4. 4. 2 圧縮強度の解析

表-4 より混合の場合は単体(H)と混ざることによって、圧縮強度が増加した。一方で上下では単体(L)と同等の強度となった。表-5 の重回帰分析の結果より、混用の際の強度は混合・上下のいずれも強度の低い方のコンクリートにより決定される傾向であった。

4. 4. 3 引張強度の解析

表-4 より単体との強度差は圧縮強度と異なり混合・左右ともに単体(H)と混ざることによって強度が増加した。表-5 の重回帰分析の結果より、混用の際の強度は混合・上下のいずれも強度の高い方のコンクリートにより決定される傾向であった。

4. 4. 4 コア強度の解析

表-4 より左右パターンの供試体についてこれまでの研究⁴⁾では単体の平均値と左右の強度比は 0.99 程度と平均値に近くなると報告があったが、今回の実験で強度差がある場合はやや単体(L)に寄る傾向が見られた。上下の重回帰分析の結果は型枠の圧縮の場合と異なり、単体(H)で有意となった。型枠供試体の上下では見られなかった強度の増加が認められたことからバイブレーター等により界面付近で混合の様態となったと推察される。

4. 5. 1 目視観察

アンケート結果から回答の平均値とばらつき(分散)について階層クラスター分析(ユークリッド距離・ward法)を用いた。図-8 にクラスタリングで解析した結果を示す。結果から色の感じ方を3つの群に分類した。cluster 1 は回答の平均及び分散がともに低く、同じ躯体部の標本が含まれており、感じる色の違いは同じコンクリートを見比べた際と同等の水準と推察される。cluster 2 は回答の分散が最も大きくなったことから観察者によって色の違いの感じ方が異なることが判明した。cluster 3 は cluster 2 よりやや分散が低くなり、回答の平均が大きいことから多くの観察者が色の違いを大いに感じるという。よってこれらの結果から色差は cluster 1 が望ましく cluster 2 に至るまでが許容できる色差の範囲と予想された。

表-3 コア供試体強度

	圧縮強度(N/mm ²)				
	配合-1		配合-2		
	30分	90分	30分	90分	
単体	A	41.6	39.9	33.7	30.2
	B	47.2	41.9	37.4	32.9
	C	47.0	39.4	39.1	33.2
左右	A/B	40.1	37.5	35.6	28.4
	B/C	46.2	40.3	36.8	32.2
	C/A	40.3	39.6	34.7	36.8
上下	B/A	40.5	34.8		
	C/B	45.8	36.8		
	A/C	45.2	34.7		

表-4 単体と混用の強度差

供試体	下限 95%	上限 95%	P-値		
型枠	圧縮	混合	2.421	4.764	P<0.001 ***
		上下	-0.885	1.952	
	引張	混合	0.221	0.568	P<0.001 ***
		左右	0.070	0.528	
コア	圧縮	左右	-1.395	1.658	0.853
		上下	0.615	6.262	0.026 *

表-5 重回帰分析の結果

供試体	変数項目	係数	P-値	補正 R2	
型枠	圧縮	単体(H)	-0.11	0.734	0.873
		単体(L)	1.19	0.007 **	
		配合	-0.14	0.906	
		採取時間	0.01	0.502	
	上下	単体(H)	0.17	0.574	0.873
		単体(L)	0.77	0.044 *	
		配合	1.88	0.133	
		採取時間	0.02	0.297	
	引張	単体(H)	0.57	0.050 *	0.869
		単体(L)	0.49	0.121	
		配合	0.23	0.121	
		採取時間	0.00	0.385	
左右	単体(H)	0.90	0.005 **	0.869	
	単体(L)	0.07	0.797		
	配合	-0.36	0.022 *		
	採取時間	0.00	0.294		
コア	左右	単体(H)	0.16	0.687	0.871
		単体(L)	0.79	0.106	
		配合	1.44	0.338	
	圧縮	採取時間	0.01	0.585	0.665
		単体(H)	0.65	0.042 *	
		単体(L)	0.36	0.187	
	配合	0.11	0.932		

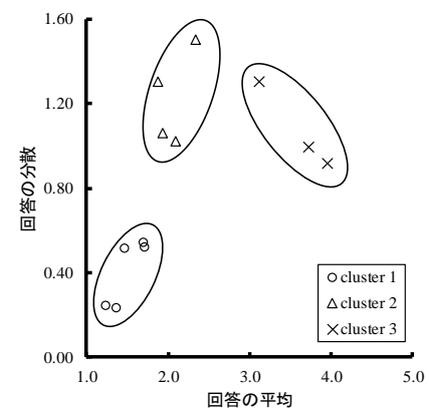


図-8 クラスタリング結果

4. 5. 2 閾値 ΔE の推定

cluster 1 から cluster 2 までの回答の分散と ΔE の関係より各群の境界にあたる ΔE の推定を行った。推定は 1 標本 t 検定(片側, 有意水準 $\alpha=0.05$)を行い, cluster 1 に分類される上限値と cluster 2 に分類される下限値をそれぞれ閾値 ΔE とし検定した。結果を図-9 に示す。結果から概ね ΔE が 1.9 より低い値であれば cluster 1 に分類され, 2.8 より高い値で cluster 2 に分類された。

4. 5. 3 コンクリートの色差評価

模擬体の全ての観測点から定量した ΔE と閾値 ΔE を図-10 に示す。脱枠時に配合-1 は ΔE が 2.8 を大いに超えたものもあったが, 両配合とも 91 日の ΔE は減少傾向を示し, 全ての測定箇所が 2.8 以下であった。 ΔE が 1.9 以上, 2.8 以下の間で観察者が感じる色の違いはアンケート結果より「2.わずかに感じる」を下回ると予想された。従って 91 日以降において色の違いが問題になる可能性は少ないと推察される。しかし, 初期の材齢では製造工場や配合の組合せによっては色の違いが生じることを留意する必要がある。

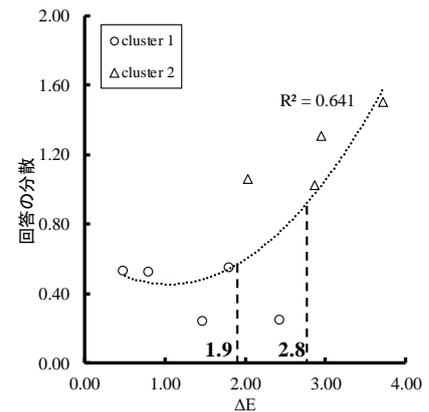


図-9 クラスタ一間の閾値 ΔE

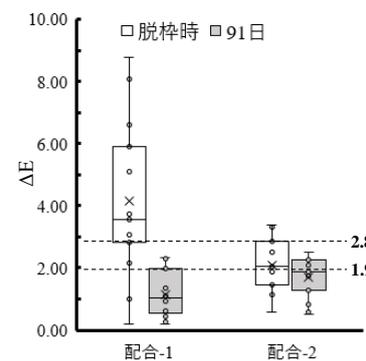


図-10 模擬体の ΔE と閾値

5. まとめ

本研究で 2 種類の生コンクリートを混用打設するにあたり以下の知見が得られた。

- (1) プリーディング性状, 凝結性状, 長さ変化は概ね用いた両方の試料の中間的な性状を示した。
- (2) 圧縮強度は単体(L)による影響が大きく, 混合で単体(H)と混ざることによって強度が増加し, 上下では単体(L)と同等の強度となった。
- (3) 引張強度は単体(H)による影響が大きく, 左右, 混合ともに強度が増加した。
- (4) 模擬体では異なるコンクリートで隣り合う界面部では単体(L)と同等の強度を示した。一方で上下の界面部は単体(L)より強度が増加した。
- (5) ΔE が 2.8 未満であれば, 色の違いの感じ方は「ほとんど感じない」～「わずかに感じる」範囲と推察される。また, ΔE が 1.9 未満であれば色の違いは同一コンクリートの水準であった。材齢 91 日で模擬体の全観測点は ΔE が 2.8 未満であり, 長期的な色の違いによる問題は少ない。しかしながら, 初期の材齢では配合の組合せによっては色の違いが生じる場合がある。

参考文献

- 1) 小木曾春男: 生産工場の異なる生コンクリートの同時納入に関する品質的諸問題, 生コン技術大会研究発表論文集, Vol.2, No.12, pp.73-78, 1983.3
- 2) 佐藤次郎ほか: 異種(他社)生コンを混用した場合のコンクリートの物性, 生コン技術大会研究発表論文集, Vol.2, No.13, pp.79-84, 1983.3
- 3) 劉霊芝ほか: 打放しコンクリートの色彩に及ぼすセメントおよび細骨材の色彩の影響, 日本建築学会構造系論文集, Vol.72, No.612, pp.17-22, 2007.2
- 4) 山口和宏ほか: 製造工場の異なる生コンクリートを混用した場合の硬化特性, 生コン技術大会研究発表論文集, Vol.20, No.8, pp.39-44, 2019.3