

論文 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

大塚秀三^{*1}・中田善久^{*2}・藤井和俊^{*3}・毛見虎雄^{*4}

要旨：本研究は、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について、市販のデジタルカメラを用いた撮影画像の画像解析により検討したものである。その結果、水セメント比および単位水量の違いによる影響は、材齢の経過に伴う変化が異なるが、粗骨材かさ容積の違いは、明確な傾向は示さず、バイブレータの加振による影響は、水セメント比25%においては小さいものの、50%および75%では色むらが少なくなる。一方、型枠表面の状態による影響では、散水および油性剥離剤に比べ水性剥離剤の方が色むらが少なくなり、かつバイブレータの加振を加えた方が効果的であることを明らかとした。

キーワード：調合要因、施工要因、色むら、画像解析

1. はじめに

コンクリート表面の色むらの種類は、コールドジョイントに沿った色むら、打継ぎ時間間隔が長すぎたために発生する色むらおよび型枠の継目からのセメントペースト分の流出による色むらなどがあり、これらは原因を特定できる代表的な例であるが、一般的な調合のコンクリートを用いて通常の施工をした場合においても斑状などの色むらが発生することがある。また、JASS 5では、コンクリート表面の仕上がり状態に関する記述¹⁾はあるものの、色むらについては定性的な表現に留まっており、定量的な評価方法ならびに評価尺度は示されていない。

そこで、本研究では、既報²⁾において示した画像解析による色むらの評価方法を用いて、調合要因および施工要因の違いがコンクリート表面の色むらへ及ぼす影響について、実験的に検討したものである。

ここでは、調合要因として水セメント比、単位水量および粗骨材かさ容積の違いによる影響について、施工要因としてバイブレータの加振および型枠表面の状態の違いによる影響について

検討した結果を述べる。

2. 画像解析による色むらの評価方法の概略²⁾

本評価方法は、北垣ら³⁾の方法を参考として、市販のデジタルカメラにより撮影したコンクリート表面の画像における全画素の明度を抽出し、その標準偏差の大小により色むら进行评估する方法であり、簡便かつ、即時的に定量的な判断が可能なものである。

撮影した画像の一例を写真-1に示す。撮影対象としたコンクリートは、塗装型枠を使用した打放しコンクリートの小試験体(W300×H300×D200 mm)である。一般的なデジタルカメラでは、内蔵するホワイトバランス機能により自動的に白色調整するため、画像ごとに明度の差が生じる可能性がある。また、ホワイトバランス機能を使用しない場合であっても撮影環境により同様に明度差が生じる。そこで、これらの影響を排除するため、小試験体のほかに白色および黒色の色サンプルを写し込み、明度レベル調整のための基準とし、異なる撮影環境においても対応できるものとした。また、解析対象とした画像

*1 ものつくり大学 技能工芸学部建設技能工芸学科助教 修士(工学) (正会員)

*2 日本大学 理工学部建築学科准教授 博士(工学) (正会員)

*3 (株)ピーエス三菱 技術研究所 博士(工学) (正会員)

*4 (前)足利工業大学 工学部建築学科教授 工博 (名誉会員)

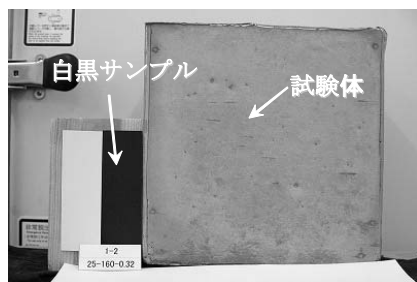


写真-1 小試験体の画像の一例

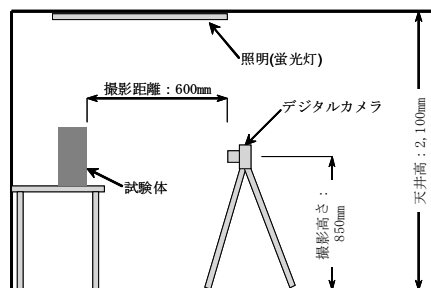


図-1 小試験体の撮影条件

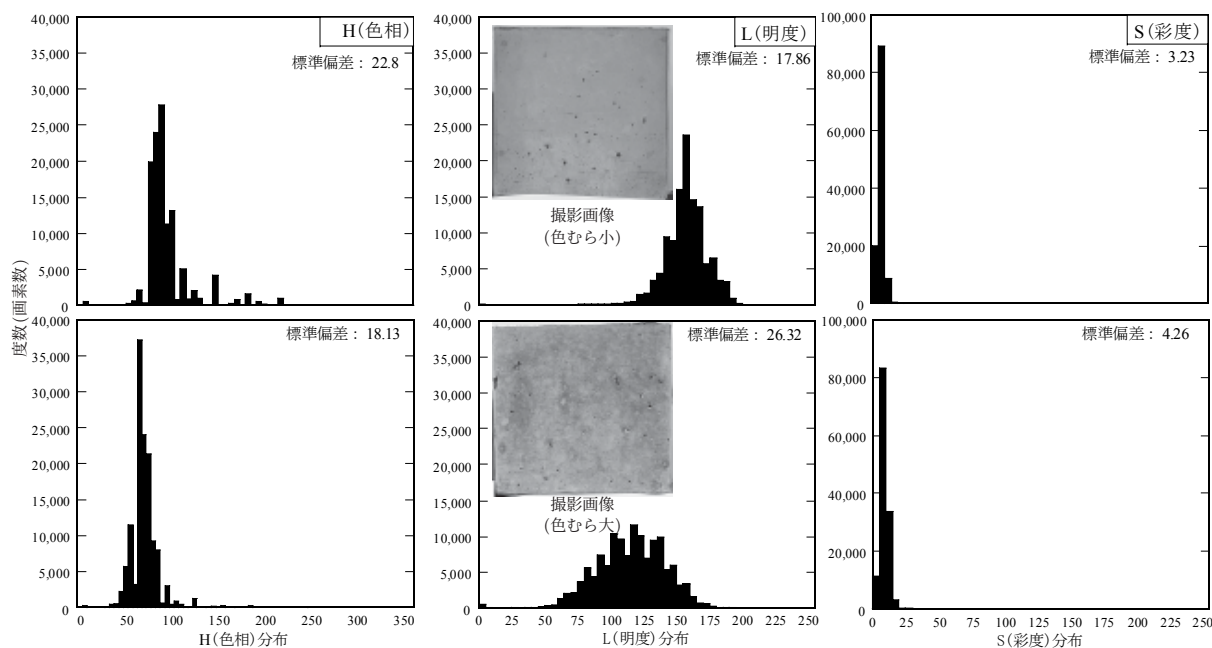


図-2 HLS色空間によるヒストグラム

の解像度は、72dpi とした。

作成した画像解析プログラムの明度の標準偏差を用いた評価の妥当性を検証するために、目視により色むらの程度に大きく差のある小試験体を選択し、画像解析により得られたH(色相, 359階調), L(明度, 255階調)およびS(彩度, 255階調)の分布傾向について比較した。撮影環境の違いによる影響を排除するため、撮影位置および光源配置を図-1に示すように一定の条件とした。HLS色空間によるヒストグラムを図-2に示す。H(色相)の分布は、目視による色むらの程度と相反する傾向を示し、S(彩度)の分布は、いずれの画像とも極小の階調範囲に集約され、標準偏差にもほとんど差異が見られない。一方、L(明度)の分布は、ほぼ正規分布しており、標準偏差の大小が色むらの程度に合致しており、目視による認識に近い傾向にあるといえる。

以上のことから、色むらの程度を明度の標準

偏差の大小(大:色むら大, 小:色むら小)で評価するものとした。以下、明度の標準偏差を色むらと言い換える。

3. 実験概要

前項で述べた画像解析による色むらの評価方法により、調合要因および施工要因の違いが色むらの発生に及ぼす影響について、塗装型枠を使用した打放しコンクリートの小試験体(W300×H300×D200 mm)を用いて実験的に検討した。実験の変化要因と水準を表-1、コンクリートの使用材料を表-2、調合を表-3に示す。

調合要因の影響に関する検討では、水セメント比、単位水量および粗骨材かさ容積を変化要因として、小試験体を合計30体作成した。施工要因の影響に関する検討では、バイブレータの加振および型枠表面の状態による影響について、前者ではバイブレータの加振時間および挿入す

表-1 実験の変化要因と水準

検討項目	変化要因		水準
調査要因の影響	水セメント比(%)		25, 35, 45
	撮影材齢(日)		2, 7, 14, 21, 28
	単位水量(kg/m ³)		160, 165, 170
	粗骨材かさ容積(m ³ /m ³)		W/C25% : 0.320, 0.420, 0.520, 0.620, 0.720 W/C35% : 0.340, 0.440, 0.540, 0.640, 0.740 W/C45% : 0.360, 0.460, 0.560, 0.660, 0.760
施工要因の影響	水セメント比(%)		25, 50, 75
	撮影材齢(日)		2, 7, 14, 21, 28
	バイブレータの加振による影響	バイブレータ加振時間(s)	0, 30, 60
		バイブレータ加振距離(mm)	50, 100, 150
	型枠表面の状態による影響	型枠への散水	なし, あり
		型枠剥離剤塗布	なし, 水性, 油性

表-2 コンクリートの使用材料

材料	種類	品質・性状・主成分
セメント	普通ポルトランドセメント(N)	密度: 3.16g/cm ³ , 比表面積: 3,290cm ² /g
水	上水道水	-
粗骨材	栃木県安蘇郡葛生町産: 砕石2005	表乾密度: 2.70g/cm ³ , 粗粒率: 6.65, 実積率: 60.0%, 吸水率: 0.59%
細骨材	栃木県栃木市尻内町産: 陸砂	表乾密度: 2.61g/cm ³ , 粗粒率: 2.75, 吸水率: 2.30%
化学混和剤	W/C : 25.0 ~ 50.0 %	高性能 AE減水剤
	W/C : 75.0 %	AE減水剤
		ポリカルボン酸系特殊高分子 リグニンスルホン酸塩・特殊界面活性剤

表-3 コンクリートの調査

検討項目	W/C (%)	粗骨材 かさ容積 (m³/m³)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				Ad (C×%)	フレッシュコンクリートの目標値	
				W	C	S	G		スランプフロー, スランプ (cm)	空気量 (%)
調査要因 の影響	25.0	0.320～0.720	67.6～27.0	160	640	1044～418	518 ～1166	2.50～1.40	60±10	4.5±1.5
			67.0～25.6	165	660	1015～389		1.80～1.20		
			66.3～24.2	170	680	987～360		1.70～1.10		
	35.0	0.340～0.740	68.6～31.7	160	457	1164～538	551 ～1199	1.20～0.40	50±7.5	
			68.2～30.7	165	471	1141～514		0.70～0.50		
			67.7～29.6	170	486	1114～488		0.80～0.50		
	45.0	0.360～0.760	68.3～33.1	160	356	1216～590	583 ～1231	1.80～0.60	18±2.5	
			68.0～32.3	165	367	1195～569		1.20～0.20		
			67.5～31.4	170	378	1172～545		0.50～0.30		
施工要因 の影響	25.0	0.545	42.6	170	680	634	883	1.50	60±10	
	50.0		51.7		340	914		0.80	50±7.5	
	75.0		54.1		227	1007		1.50	18±2.5	

表-4 施工要因による影響に関する実験の組み合わせ

バイブレータの加振による影響						型枠表面の状態による影響			
加振時間(s)		加振距離(mm)				型枠への散水		型枠剥離剤の塗布	
0	30	60	50	100	150	なし	あり	なし	水性 油性
○						○		○	
	○		○		○				
			○		○	○		○	
		○		○					
				○					
○	○				○		○	○	
		○							
○	○				○				○
		○				○			
○	○				○				
		○							○

※網掛け部分は、ベースを示す

る位置の型枠表面からの距離(以下, 加振距離と称する), 後者では型枠への散水および剥離剤の塗布による影響に加えてバイブレータの加振時間による影響を表-4に示す組み合わせで, 小試験体を合計16体作成して検討した。

小試験体の型枠は, モルタル分や余剰水の流失を防止する目的で入隅部分に変成シリコン系シーリングを充填した。また, コンクリートの打込み方法は, 一層一体打ちとし, バイブレータで加振する場合には, 中心部1箇所の所定の位置へ30φの高周波バイブレータ(振動数: 12,000~15,000Hz)を200mmの深さに所定の時間挿入した。さらに, 型枠の脱型は, 小試験体の打込み直後に上面をポリエチレンフィルムにて覆うことにより封かんし, 2日間静置した後とし, 脱型後

は全て室内に静置した。なお, いずれの検討項目

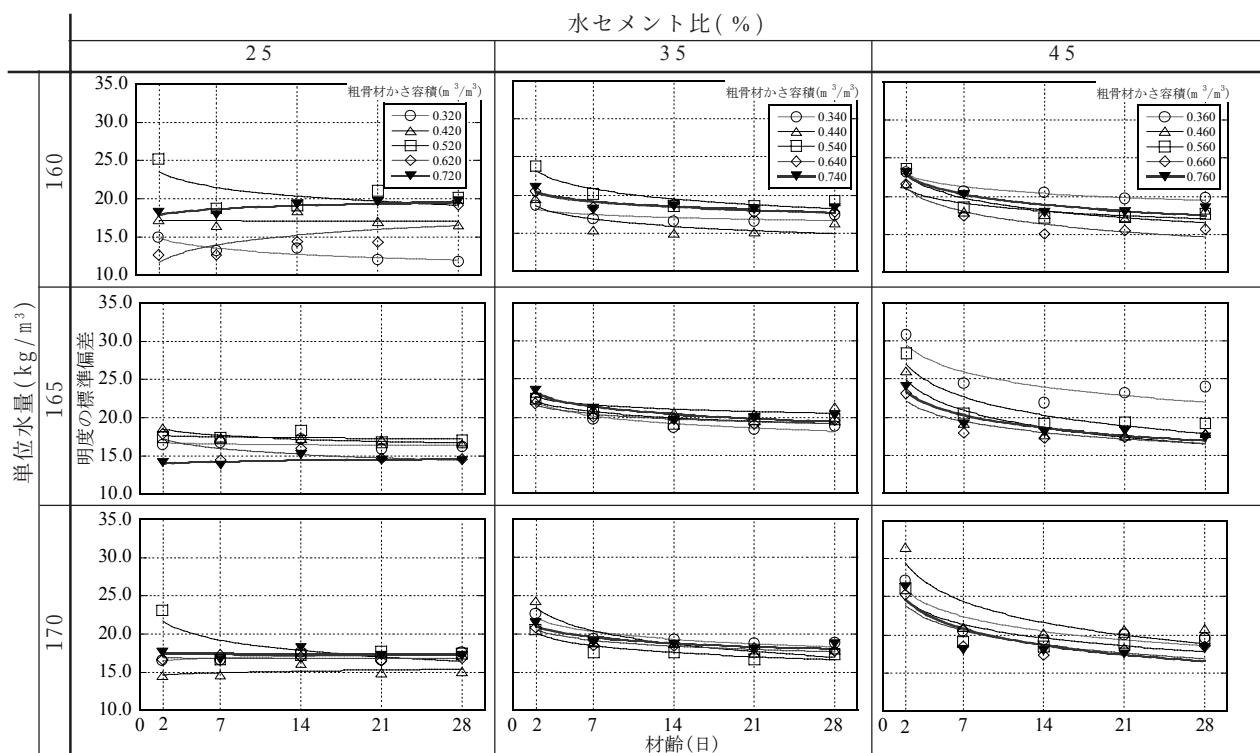


図-3 調合要因の影響に関する材齢と明度の標準偏差の関係

ともフレッシュコンクリートの性状は、高性能 AE 減水剤の添加量を調整することにより表-3 に示す目標値を満足した。

試験体の撮影は、図-1に示す撮影条件により材齢2,7,14,21および28日の5材齢において行い、調合要因の影響に関する検討では小試験体の両面を対象に撮影し、色むらの評価には、その平均値を用いた。なお、色むらには模様のパターンがあり⁴⁾、その形状や大きさが局在化する場合と分散化する場合に標準偏差が同一の値を示す可能性のあること、表面気泡の発生が著しい場合に評価結果に影響する可能性のあることの2点について今後検討する必要があると思われる。しかし、本報告ではいずれの試験体においても色むらの形状が斑状であり表面全体に分散するとともに、表面気泡の発生が少ない傾向が一致していたため、前項で示した方法で検討した。

4. 結果および考察

4.1 調合要因の違いが色むらに及ぼす影響

調合要因の影響に関する材齢と明度の標準偏差の関係を図-3に示す。色むらの材齢経過に

伴った変化は、水セメント比25%では少なく、水セメント比が大きくなるにつれて材齢2日から7日に掛けて変化が大きくなり、かつ色むらも概ね大きくなる傾向となった。これは、既往の研究⁵⁾によるスランプ管理の普通コンクリートの方が高流動コンクリートより色むらが大きくなる傾向とも一致している。

単位水量の違いによる色むらは、水セメント比25%では少なかったが、水セメント比が大きくなるにつれて、単位水量を増した方が初期材齢における色むらが大きくなる傾向となった。一方、粗骨材かさ容積の違いによる色むらは、一定の傾向は示さなかったものの、単位水量160kg/m³においては、粗骨材かさ容積の違いにより材齢ごとに色むらの程度が広がる傾向となった。これは、単位水量を減じることによって、相対的に細骨材率が増大し表層部のモルタル相における細骨材の占める割合が大きくなることで材料の構成割合が変化し、炭酸カルシウム層の粗密の差異が生じ可視光の透過過程や反射の程度が異なる⁶⁾ためと考えられる。

色むらは、前述したように材齢の経過に伴っ

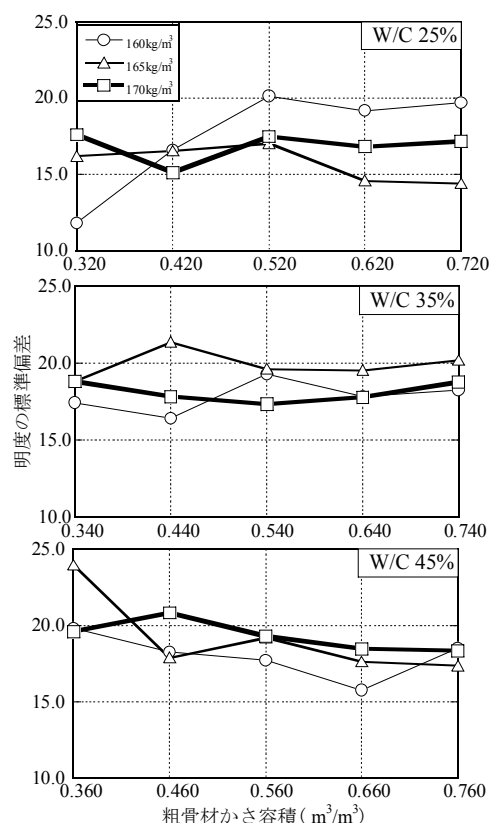


図-4 調査要因の影響に関する材齢28日における明度の標準偏差

て材齢7日から28日に掛けての変化が少ないことから、図-4に示すように材齢28日において比較することとした。材齢28日における色むらは、水セメント比25%および35%では、一部の突出した値を除いて粗骨材かさ容積の違いによる差異は少ない傾向となった。一方、水セメント比45%では、粗骨材かさ容積が大きくなるにつれて若干ではあるものの色むらが小さくなる傾向となった。

4.2 施工要因の違いが色むらに及ぼす影響

本項では、前項と同様に材齢28日の結果を比較検討した。

(1) バイブレータの加振による影響

バイブレータの加振時間・加振距離と明度の標準偏差の関係を図-5に示す。色むらは、水セメント比25%では、バイブレータの加振時間の違いによる差異は少ないが、50%および75%では加振時間が長くなるにつれて、明確に小さくなる傾向であった。特に、水セメント比50%において顕著であり、ベースに比べて半減する傾

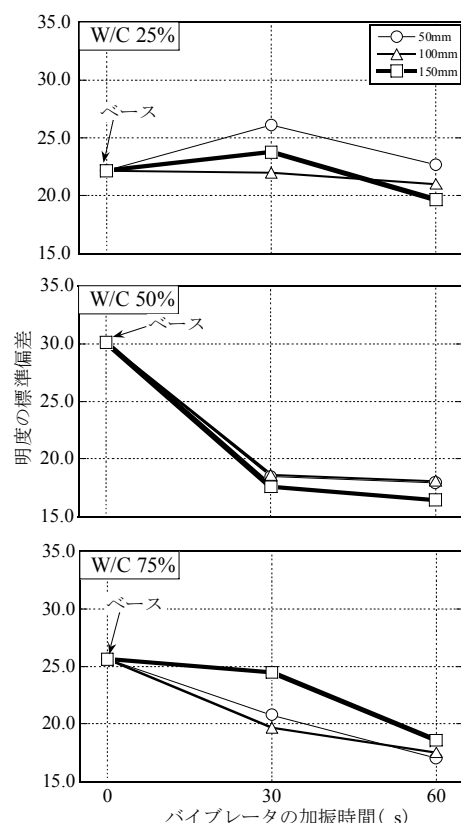


図-5 バイブレータの加振時間・加振距離と明度の標準偏差の関係

向となった。この原因は定かではないが、加振時間が60(s)において目視でコンクリートが分離しており、一概にバイブレータの加振時間を長くすることが色むら低減に効果的であるとはいえない。また、いずれの小試験体ともバイブレータの加振距離の大小による一定の傾向は見られない。これは、小試験体の寸法に比べてバイブレータの径および振動数がオーバースペックであり、加振距離の影響を排除した可能性があるため、今後の課題とする。

(2) 型枠表面の状態による影響

型枠表面の状態の違いによるバイブレータの加振時間と明度の標準偏差の関係を図-6に示す。なお、バイブレータの加振距離は、いずれも型枠表面から150mm一定とした。色むらは、バイブレータの加振がない場合、水セメント比75%では、型枠表面の状態によらずほぼ同等であったが、25%および50%では、ベース>散水および油性剥離剤>水性剥離剤の順となった。また、バイブレータの加振がある場合、前項と同様に、水

セメント比 25%を除いて、加振時間が長くなるにつれて色むらが低減する傾向にあり、水セメント比 75% の加振時間が 60(s)において異なるものの、概ね散水および油性剥離剤に比べて水性剥離剤を塗布した方が色むらが低減される。これは、一般的に散水によって型枠表面に付着する水が、塗装型枠表面の撥水効果によって均一に分散せず水滴状に不均一に付着することから、型枠に接する表層部のモルタル相における水セメント比が不均一となり、水和の進行過程に差異が生じたためと考えられる。同様の観点から、水性剥離剤では親水性があるため色むらが低減されたと考えられる。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

- (1)調査要因の違いによる影響は、水セメント比および単位水量の違いによって、材齢の経過に伴う変化が異なるが、粗骨材かさ容積の違いは、明確な傾向は示さない。
- (2)パイプレータの加振による影響は、水セメント比 25%では小さいが、50%および75%では色むらが少なくなる。
- (3)型枠表面の状態による影響は、散水および油性剥離剤に比べ水性剥離剤の方が色むらが少なくなり、かつパイプレータの加振を加えた方が効果的である。

今後、観察者の感覚尺度と明度の標準偏差との関係について検討していく予定である。

謝辞

本研究の実施に際して、茨城工業高等専門学校電子制御工学科・岡本修 博士ならびに(株)宇部三菱セメント研究所・穴沢雅明研究員より貴重なご助言を賜りました。さらに、実験では、ものづくり大学の卒業研究生から尽力を得ました。ここに付記して深謝いたします。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事，pp.144-145，

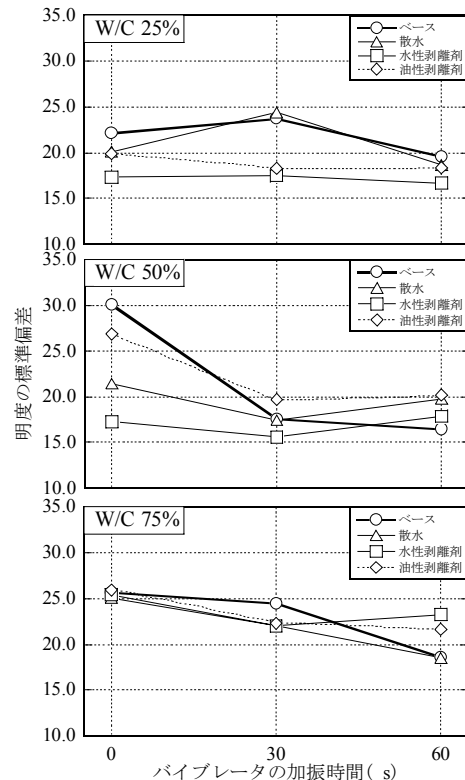


図-6 型枠表面の状態の違いによるパイプレータの加振時間と明度の標準偏差の関係

2003

- 2) 岡本修, 大塚秀三ほか：画像解析手法による打放しコンクリートの色むらの評価 その1-2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1 分冊, pp.189-192, 2006.9
- 3) 北垣亮馬ほか：2次元フーリエ変換による打放しコンクリート視覚情報の定量化に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.597, pp.33-38, 2005.11
- 4) 中田善久, 大塚秀三：仕上げを考える, 打放しコンクリートの色むらについて, 日本建築仕上学会FINEX, Vol.18, No.105, pp.28-30, 2006.3-4
- 5) 一宮一夫ほか：透水型枠工法適用時の表面美観に及ぼすコンクリートのフレッシュ性状の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.26, No.1, pp.1353-1358, 2004
- 6) 木谷理志ほか：シールド工事用セグメント表面の微細構造に関する調査(1)-セグメント表面の美観について-, 土木学会第57回年次学術講演会講演概要集, VI-076, pp.151-152, 2002.9