

高炉セメント中のスラグ置換率推定に関する簡易測定手法の基礎的研究

芝浦工業大学大学院 ○学生会員 佐々木英人
 芝浦工業大学 正会員 勝木 太
 新日鐵高炉セメント（株） 正会員 伊代田岳史
 芝浦工業大学 正会員 矢島 哲司

1. 背景と目的

京都議定書の発行や環境面への配慮から、高炉セメントの需要が全国的に増加している¹⁾。しかし、高炉セメント中のスラグ置換率がフレッシュ性状や硬化後のコンクリートの強度や耐久性に大きな影響を及ぼすことや、所定の置換率を下回るとアルカリ骨材反応抑制効果が発現しにくいことなどが広く知られているにも関わらず、JISにはA種(5を超え30%以下)、B種(30を超え60%以下)、C種(60を超え70%以下)としか規定されていない。今後、高炉セメントの更なる需要増加に伴い置換率等の品質を管理する手法が必要になると考えられる。

そこで本研究ではスラグ置換率変化に伴う色彩の変化に着目し、本研究室の既往の研究で用いられている輝度及び色差の研究成果²⁾を応用して、()セメント粉体、()フレッシュコンクリート、()硬化後の3状態におけるスラグ置換率の簡単な測定を試みたものである。

2. 実験概要

今回使用した各材料の物性値を表1に示す。

置換率推定は、粉末・フレッシュ（コンクリート中からスクリーニングしたモルタル〔以下WSモルタル〕）・硬化後の3状態において置換率と輝度との関係を検討した。

()粉末状態；ビニール袋に所定量のセメント並びに高炉スラグ微粉末を混入・攪拌し、輝度と置換率との関係を検討した。

()フレッシュ状態；表2にフレッシュ状態を検討した配合を示す。フレッシュ状態では、水分量が多いため鏡面反射が発生し輝度にばらつきが生じてしまう。そこで既往の研究²⁾で用いられた輝度と含水率との関係を利用し、モルタル中の水分を所定量の粉末で吸水させ、含水率の状態にして()と同様の手法で測定した。なお試料採取方法は粉末・フレッシュ状態共に所定の容器に3つ採取し、試料表面に簡単な成型を施した。

()硬化後；10×10×20cmの円柱供試体を28日水中養生後、カッターで3つの試料に切断してその断面を輝度計および色差計によって測定した。

測定値は3状態いずれも1つの試料に対して5点、計15点の平均とした。測定環境は輝度計の場合、外部からの光を遮断するためダンボールで簡単な暗室(高さ150cm、幅50cm、奥行き50cm)を造り、天井部に100Wの電球を取り付け上部から測定した。なお、測定は試料表面を対象とし、測定毎に白色校正を行った。色差計の場合は対象試験体表面に色差計を接触させて測定を行った。

3. 実験結果と考察

()粉末状態；図1に実験によって求められた粉末状態における置換率と輝度との関係を示す。粉末度が大きくなると輝度が高くなる傾向にあることがわかる。また、高置換率において輝度が急激に上昇したため0～

表1 使用材料物性値

細骨材 (S)	鬼怒川水系産陸砂 (吸水率:2.45%,FM:2.53,表乾密度:2.57g/cm ³)
	鬼怒川水系産陸砂 (吸水率:2.64%,FM:2.34,表乾密度:2.59g/cm ³)
粗骨材 (G)	美祿産砕石 (吸水率:0.74%,FM:6.56,表乾密度:2.76g/cm ³)
セメント (C)	普通ポルトランドセメント(比表面積:3290cm ² /g,密度:3.16g/cm ³)
高炉スラグ(BF)	高炉スラグ微粉末4000 (石膏無し)(比表面積:4240cm ² /g,密度:2.91g/cm ³)
	高炉スラグ微粉末6000 (石膏無し)(比表面積:5900cm ² /g,密度:2.91g/cm ³)
	高炉スラグ微粉末8000 (石膏無し)(比表面積:7890cm ² /g,密度:2.91g/cm ³)
混和剤	アルキルアリルスルホン酸化合物系陰イオン界面活性剤(AE) ポリカルボン酸系高性能AE減水剤
混入粉体	高炉スラグ微粉末4000 (石膏無し)(比表面積:4240cm ² /g,密度:2.91g/cm ³)

表2 基準となる配合

配合 番号	水結合材比 W/(C+BF) (%)	置換率 BF/(C+BF) (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)					混和剤
				水 W	セメント C	高炉スラグ BF	細骨材 S	粗骨材 G	
	55	45	42.3	168	167	137	741	1085	AE=(C+BF)×0.006%
	26	45	42.3	164	347	284	632	919	SP=(C+BF)×0.8%

キーワード 輝度計、色差計、高炉セメント、高炉スラグ置換率

連絡先 〒108-8584 東京都港区芝浦 3-9-14 芝浦工業大学土木工学科 TEL (03)-5476-3054

100%全ての置換率では直線関係が得られず、指数曲線的な近似を示すことがわかった。しかし、グラフから各粉末度とも最も需要が高いB種近傍（25～65%）で直線関係が得られ、相関係数 0.992 以上と高い値を示した。そこで、以降はこの範囲内を対象とした。図には示さないが置換率推定（3回）を行ったところ、検量線からの最大推定誤差が置換率で 1.04%と精度の高い結果が得られた。

（ ）フレッシュ状態；図2にフレッシュ状態（配合 ）における置換率と輝度の関係を示す。フレッシュ状態においても置換率と輝度の関係は相関係数 0.960 と高い値が示された。図には示さないが、高流動コンクリートを想定した配合 の場合も相関係数 0.986 と高い値が得られた。

上記同様、置換率を知らされていないコンクリートにおいて、図2の結果を利用し置換率推定を3回行ったところ、推定誤差が置換率で 3.5%、3.1%、-2.4%となり、粉末状態に比べ若干精度は落ちるものの、B種近傍での置換率を推定できる可能性が示された。

（ ）硬化後；図3に硬化後状態（配合 、材齢 28 日 + 気中 1 日）における置換率と輝度の関係を示す。輝度計を用いて測定を行った結果、粉末・フレッシュ状態のような直線関係が見られず、置換率推定は困難であった。原因として粗骨材断面の影響等が考えられる。そこで高炉セメントが硬化すると青錆色に近い色彩を示すこと、また置換率が高いとその濃度が高くなることを勘案して、色の变化を測定できる色差計を用いた。その結果の一例を図4に示す。置換率との関係は L^* (明度) $R^2 = 0.939$ 、 $-b^*$ (青方向) $R^2 = 0.649$ 、 $-a^*$ (緑方向) $R^2 = 0.986$ となり、置換率と $-a^*$ (緑方向)の関係が最も高い相関を示した。なお、 $-a^*$ とは 0 から離れるほど濃い緑を現す指標で、目視との相関も認められた。

4.まとめ

本研究の範囲内で以下のことが明らかとなった。

- ・ 粉末・フレッシュ状態で置換率と輝度の関係に高い相関性が示された。
- ・ 材齢 28 日の硬化後状態において置換率と色彩の変化(緑方向)の関係に高い相関性が得られた。

なお、本研究は限られた条件の範囲内で行ったものであり、材料の品質、配合条件、材齢や養生条件により異なった性状を示す可能性がある。これらについては今後更に検討する必要がある。

参考文献

- 1) 鉄鋼スラグ協会：鉄鋼スラグの高炉セメントへの利用 平成 16 年度版
- 2) たとえば、佐々木 英人、矢島 哲司、勝木 太：フレッシュコンクリート中の水分量推定に関する簡易測定手法に関する基礎的研究 土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集 V-441, 2005, 9

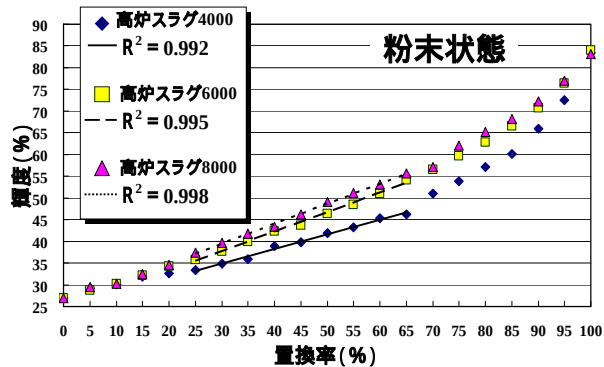


図1 粉末状態における置換率と輝度の関係

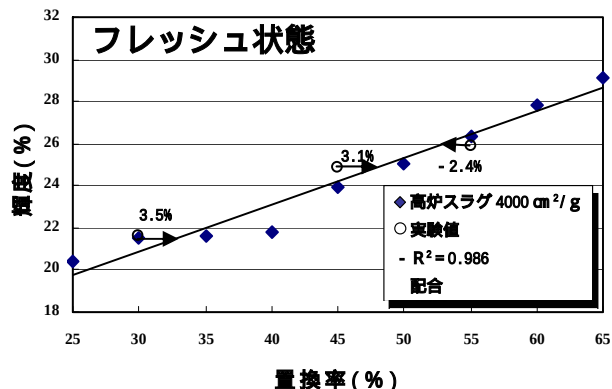


図2 フレッシュ状態における置換率と輝度の関係

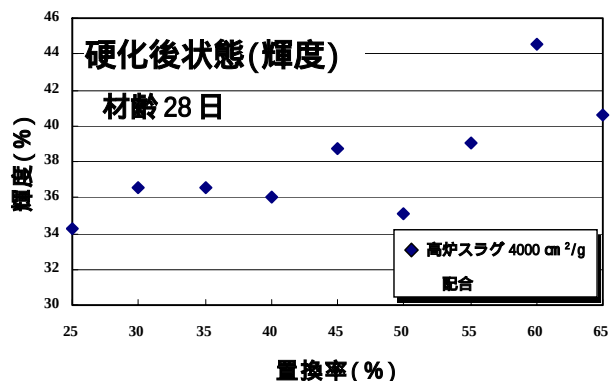


図3 硬化後状態における置換率と輝度の関係

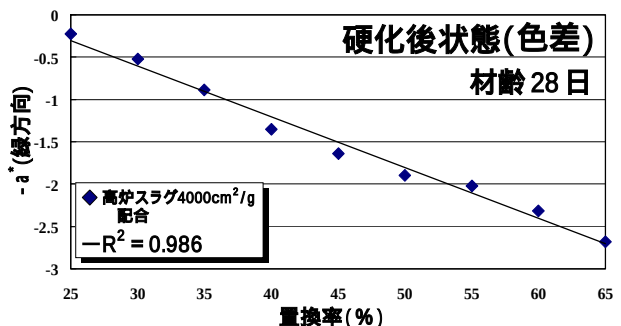


図4 硬化後状態における置換率と $-a^*$ の関係