

# 高炉スラグ微粉末を利用した長寿命コンクリートの製造

ゼニス羽田(株) ○ 石田孝太郎  
ゼニス羽田(株) 村瀬 優  
前橋工科大学 辻 幸和  
NPO 法人持続可能な社会基盤研究会 横沢和夫

## 1. はじめに

「環境保全と経済活動や豊かな生活が両立する持続可能な社会」の実現をめざす我が国にとってインフラ施設の長寿命化は、重要な課題である。コンクリート構造物も同様で、近年、耐久性の高いコンクリートの製造が、特に使用材料と配合の選定を考慮する観点から種々に報告されている。なかでも、セメントの代替として高炉スラグ微粉末の利用は、CO<sub>2</sub>の削減と耐久性を両立できる材料として期待されている。しかし、セメントに対する置換率が高くなると著しく強度発現が遅くなることから、これまで低い置換率にとどまってきた。

本研究は、高炉スラグ微粉末をコンクリート製品に使用することで耐塩害性と耐硫酸性を高めることを目標にした、長寿命コンクリートの製造について報告する。長寿命コンクリートは、高炉スラグ微粉末のセメントに対する置換率を75%まで高めたこと、細骨材に高炉スラグ細骨材を混合したことが大きな特徴である。また、コンクリート構造物の耐久性に大きな影響を及ぼすひび割れを制御するために、膨張材を用いている。

## 2. 実験概要

### 2.1 配合

実験に用いたコンクリートの配合を表1に示す。配合1は、振動成形および遠心成形のコンクリート製品に適用されているものであり、配合2は、配合1に膨張材を混入したものである。両配合とも長寿命コンクリートと

比較することを目的としたものである。

配合3～6は、高炉スラグ微粉末の置換率を75%まで高めたものである。配合3および4は、水粉体比を34.4%、細骨材に天然砂と高炉スラグを混合したものをを用いており、両者は膨張材の有無が異なっている。本配合は、耐塩害性に優れたコンクリート製品への適用を目的としている。また、配合5および6は、水粉体比を25%、細骨材すべてに高炉スラグを用いており、この両者も膨張材の有無が異なっている。本配合は、耐硫酸性に優れたコンクリート製品への適用を目的としている。

セメントは普通ポルトランドセメントを、高炉スラグ微粉末はJIS A 6206に規定の高炉スラグ微粉末4000を、膨張材はJIS A 6202に規定のエトリンサイト系を、細骨材には陸砂と高炉スラグ細骨材を、粗骨材には砕石2005を、そして化学混和剤にはJIS A 6204に規定の高性能減水剤を、それぞれ用いた。そして、膨張材を、膨張コンクリートの所定の膨張性能を付与するとともに、高い高炉スラグ微粉末置換率に対処して、強度や他の所定の性能を確保するために用いた。

### 2.2 練混ぜおよび養生

練混ぜには容量が600ℓのパン型試験練りミキサーを用い、練混ぜ量は20～30ℓとした。その手順は、セメント+高炉スラグ微粉末+膨張材+細骨材をまず30秒混合し、水と高性能減水剤を加えて60秒練り混ぜ、最後に粗骨材を加えて60秒練り混ぜた。

表1 コンクリートの配合

配合No	WP (%)	s/a (%)	スラグ置換率 (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )								備考
					水	セメント	高炉スラグ微粉末	膨張材	細骨材		粗骨材	混和剤 (%)	
									天然砂	スラグ			
1	40.3	39.0	0.0	2	157	390	0	0	715	0	1144	0.70	コンクリート製品 (比較用)
2	40.3	39.0	0.0	2	157	350	0	40	714	0	1142	0.70	
3	34.4	39.0	75.0	2	134	97.5	292.5	0	365	376	1167	0.35	耐塩害性 コンクリート
4	34.4	39.0	75.0	2	134	57.5	292.5	40	365	376	1166	0.45	
5	25.0	39.0	75.0	2	140	140	420	0	0	685	1036	0.45	耐硫酸性 コンクリート
6	25.0	39.0	75.0	2	140	90	420	50	0	685	1061	0.55	

養生は、前置き時間を4時間以上とり、昇温が15°C/hで50°Cの温度で蒸気養生を6時間行い、その後は蒸気を切って自然放冷し、材齢1日で脱型後、常温で気中養生を行った。なお、脱型後の気中温度が10°C程度以下となる場合は、簡易の20°C恒温箱を使用した。

脱型後の養生は、気中養生を14日間行った後、水中養生を14日間行った。

### 2.3 試験方法

コンクリートの圧縮試験は、直径100mmで高さ200mmの円柱供試体を用い、JIS A 1108に従った。膨張量試験は、100×100×400mmの角柱供試体を用い、JIS A 6202 附属書2（膨張コンクリートの拘束膨張および収縮試験方法）のA法に準拠した。各配合2体とし、その平均値を用いた。

耐酸性試験には、7mmふるいで、ウェットスクリーニングしたものを、直径75mm、高さ150mmの円柱供試体に作製して用いた。脱型後14日水中養生を行い、供試体1本当たり4.4ℓの5%硫酸溶液に浸漬した。溶液は、1週間毎に全量を取り替え56日間浸漬し、この間、溶液取替え時に、重量変化測定と外面写真撮影を、そして浸漬終了後の供試体を中央部で切断して、断面観察と測定を行った。

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 膨張収縮性状

図1に気中養生とその後水中養生した試験体の一軸拘束下における膨張収縮性状の測定結果を示す。高炉スラグ微粉末の置換率を75%に高めても、比較用の試験体配合2とはほぼ同じ膨張量を示している。また、気中養生を14日した後に水中養生すると、膨張量は増加することも確認された。而し塩害性や耐硫酸性を高めるためには、ひび割れを制御することが求められる。その対策として膨張材の適用が想定される。本実験結果は、高炉スラグ微粉末の置換率を75%に高めても所定の膨張量が得られることを示している。

### 3.2 圧縮強度

圧縮強度の結果を表2に示す。水粉体比が34.4%で、図1に示したように一軸拘束膨張ひずみで $150 \times 10^{-6}$ 程度膨張しても、強度低下はほとんど生じていない。

また水粉体比が25%の配合では、エトリンライト系膨張材を50k/m<sup>3</sup>置換してもほとんど強度低下が生じず、材齢14日で65N/mm<sup>2</sup>クラスの圧縮強度が得られた。膨張材を多量に使用すると強度の低下が懸念されるが、本実験の配合では、十分な強度発現が確認できた。

### 3.3 耐硫酸性

5%硫酸溶液に28日および56日浸漬した場合の、断面厚さ方向における侵食深さを図2に示す。配合5および6の侵食深さは、配合1の50%以下である。本実験結果から、高炉スラグ微粉末の置換率を75%に高めると、耐硫酸性を大幅に改善できることが確認できた。

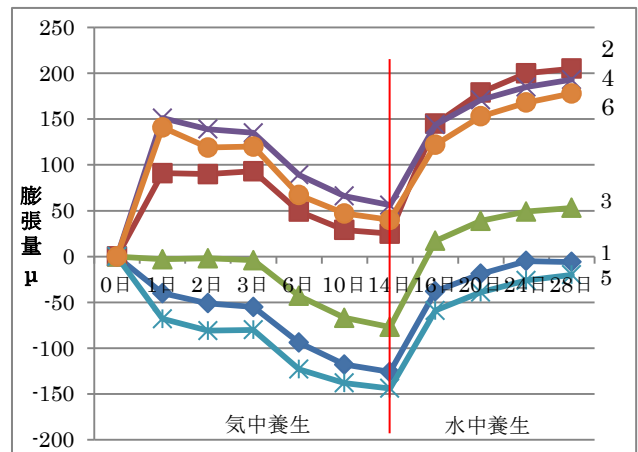


図1 膨張収縮性状（一軸拘束）

表2 圧縮強度

配合	特徴	材齢1日	材齢14日
1	セメントコンクリート W/P=40.3%	28.3	47.6
2	セメントコンクリート エトリン系膨張材添加	32.9	49.9
3	高炉スラグ微粉末置換率75% W/P=34.4%	36.0	43.4
4	高炉スラグ微粉末置換率75% エトリン系膨張材添加	38.7	47.2
5	高炉スラグ微粉末置換率75% W/P=25.0%	55.0	61.9
6	高炉スラグ微粉末置換率75% エトリン系膨張材添加	55.5	68.2

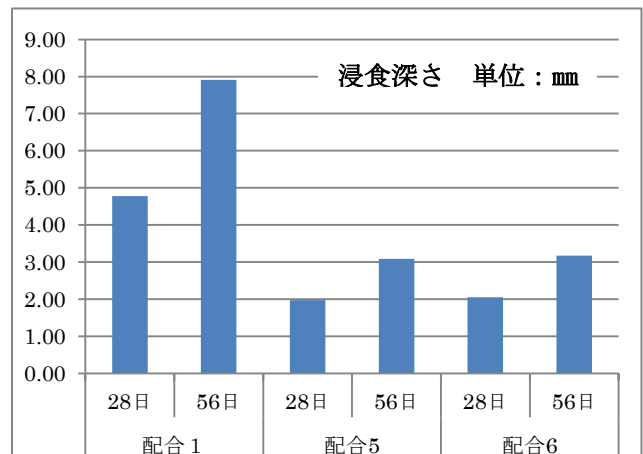


図2 硫酸による侵食深さ（浸漬期間28日、56日）

## 4. まとめ

高炉スラグ微粉末の置換率を75%に高めることで、耐硫酸性に優れた長寿命コンクリートを製造できることが確認できた。さらに、長寿命コンクリートの耐塩害性の確認と鉄筋コンクリートはりの曲げ試験を行い、ひび割れの発生状況およびひび割れ幅などについて検討していく予定である。