

常圧蒸気養生した高炉スラグ微粉末混入コンクリートの圧縮強度とひび割れ特性

東海大学大学院 学生員 ○高山 章大
 石川島建材工業(株) 正会員 伊達 重之
 東海大学工学部 正会員 笠井 哲郎

1. はじめに

近年、公共工事においてグリーン調達法の普及やコンクリート構造物の耐久性向上等の見地から、高炉スラグ微粉末を材料として使用する事例が増加し、コンクリート二次製品に対しても同様の要求がある。一般に、高炉スラグ微粉末混入コンクリートは、初期の強度発現が遅いものの、長期強度が高く、コンクリートの水密性及びアルカリ骨材反応抵抗性等の耐久性が向上することが特徴である。しかし、促進養生され早期に所要の強度発現を要求されるコンクリート二次製品において、高炉スラグ混入コンクリートの初期強度発現が遅い特徴は、その製造工程上、考慮すべき重要な問題となる。このためコンクリート二次製品に高炉スラグ微粉末を用いる場合、通常の場合より水結合材比を小さく、もしくは蒸気養生温度を高くする場合が多い。しかし、これらは自己収縮によるひび割れ発生が懸念され、耐久性が低下する可能性もある。

そこで本研究では、常圧蒸気養生される高炉スラグ微粉末混入コンクリートの品質向上を目的とし、当該コンクリート製品における蒸気養生後の水中養生による強度増進効果及びひび割れ性状に及ぼす配合および混和材の影響について実験的検討を行った。

2. 実験概要

コンクリートの使用材料及び配合・養生条件を表-1, 2に示す。高炉スラグ微粉末は粉末度 $4610\text{cm}^2/\text{g}$ のものを用い、その置換率は0,30,60%の3水準とし、水結合材比は47%一定とした。型枠は乾燥収縮試験用型枠(100×100×400mm)、一軸拘束ひび割れ試験用型(940×170×100mm)を使用した。コンクリートの練混ぜは100lの2軸強制練りミキサを使用し、90秒間練混ぜを行った。練混ぜ終了後ただちにコンクリートを打設、その後最高温度を45℃と55℃の2水準で6.5時間の蒸気養生を行った。蒸気養生終了後に脱型(一軸拘束ひび割れ試験用供試体は拘束板以外)し、その後20℃で表-2に示す4水準(0,1,3,6日)の期間、水中養生し、その後試験材齢まで20℃-65%RHの気中養生を行った。

圧縮強度(供試体寸法 $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$)の試験材齢は6.5時間(脱型時)および28日とした。収縮試験は「コンクリートの長さ試験方法」(JIS A 1129-3)のダイヤルゲージ方法に準拠し、一軸拘束ひび割れ試験は、「拘束されたコンクリートの乾燥収縮ひび割れ試験方法」(JIS A 1151)に準拠し行った。この際、拘束板の中央部両側面にひずみゲージを設置し、供試体の拘束ひずみ及びひび割れ発生材齢を計測した。測定方法は、コンクリートを打込み後から供試体にひび割れが発生するまで、拘束板の圧縮ひずみ量をデータロガーにて測定した。なお、拘束ひび割れ試験供試体のひび割れ発生材齢の判定は、拘束板の圧縮ひずみが急激に減少する時期とした。

3. 結果および考察

図-1は各種配合について、6.5時間および28日材齢における圧縮強度を示したものである。図中の凡例において、

キーワード: 高炉スラグ微粉末、高炉スラグ置換率、蒸気養生、水中養生、圧縮強度、自己収縮ひび割れ

連絡先: 〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-12-1 TEL 03-5221-7237 FAX 03-5221-7298

表-1 使用材料

材料	材料名	備考
セメント	早強ポルトランドセメント	密度 $3.14\text{g}/\text{cm}^3$
混和材	高炉スラグ微粉末	粉末度 $4610\text{cm}^2/\text{g}$ 密度 $2.89\text{g}/\text{cm}^3$
細骨材	砕砂	密度 $2.62\text{g}/\text{cm}^3$
粗骨材	砕石	密度 $2.65\text{g}/\text{cm}^3$
混和剤	高性能減水剤	ポリカルボン酸系

表-2 コンクリートの配合・養生条件

	W/P (%)	置換率 (%)	昇温速度 (°C/h)	最高温度 (°C)	水中養生日数 (日)
①	47	0	20	45	0
②	47	30	20	45	0
③	47	60	20	45	0
④	47	0	20	45	1
⑤	47	0	20	45	3
⑥	47	0	20	45	6
⑦	47	60	20	45	6
⑧	47	0	20	55	0
⑨	47	60	20	55	0

“W” は脱型後 6 日材齢まで水中養生し, “D” は脱型後の水中養生を経ず、気中養生したものを示す。図より、高炉スラグ置換率が大きいほど強度は低下している。しかし、脱型後に水中養生したものは気中養生のものに比べ、置換率に関わらず圧縮強度は増加した。ここで、脱型後の試験材齢までの水中養生の影響を評価するため、脱型後 6 日材齢まで水中養生したものとしないものの材齢 28 日におけるコンクリートの圧縮強度の比はスラグ置換率 0%で 1.3 に対し、60%では 1.6 となり、高炉スラグ微粉末を混入したものの方が水中養生による強度増進効果が大きく現れた。

図-3 は一軸拘束ひび割れ試験における高炉スラグ置換率 0, 30, 60% の場合の収縮ひずみ量の経時変化を示したものである。脱型後試験供試体は両側面の拘束部位により拘束されるため、供試体内部に引張応力が発生し、ある収縮量を越えるとひび割れが発生する。置換率 0%は 106 日、30%は 52 日、60%は 16 日目にひび割れが生じた。

図-4 は図-3 と同一配合のものに関し、材齢と乾燥収縮ひずみ量の関係を示したものである。図よりスラグ置換率 60%のものは、初期材齢から大きな乾燥収縮ひずみ量を示した。また、同一養生条件では、スラグ置換率が高いものほど、乾燥収縮ひずみ量が多い。置換率 60%のものに関して、蒸気養生温度について比較すると、55℃の方が 45℃の場合より 3%ほど大きい乾燥収縮ひずみを示し、養生温度が高いほど、乾燥収縮ひずみ量が若干大きくなる結果となった。

また、置換率 60% で、水中養生した場合、初期材齢段階で大きい乾燥収縮ひずみ量を示すが、早期に乾燥収縮が収束し、111 日目には、気中養生のものより、乾燥収縮ひずみ量が 7%ほど減少し、長期材齢では水中養生により、乾燥収縮ひずみが低減する結果となった。

図-5 は図-3 のひび割れ発生材齢における図-4 の収縮ひずみの値から求めた各配合におけるひび割れ発生時の自由収縮ひずみ量を示したものである。図よりスラグ置換率が大きいほど、ひび割れ発生時の自由収縮ひずみ量は減少し、耐ひび割れ抵抗性が低下している。また、置換率 60%の場合、蒸気養生温度 55℃のものは僅かにひび割れ発生時の自由収縮ひずみ量が減少している。一方、蒸気養生終了後に水中養生をしたものは、ひび割れ発生時の自由収縮ひずみ量は増加し、耐ひび割れ抵抗性が向上する結果となった。

4. まとめ

- 1) 蒸気養生を施した高炉スラグ微粉末混入コンクリートにおいて、スラグ置換率が大きいほど、また蒸気養生温度が高くなるほど、ひび割れ時の自由収縮ひずみ量は小さくなり、耐ひび割れ抵抗性が低下する。
- 2) 蒸気養生終了後の水中養生は常圧蒸気養生した高炉スラグ混入コンクリートの圧縮強度と耐ひび割れ抵抗性を向上させる効果があり、スラグ置換率が大きいほど、その効果は大きい。

参考文献

1) 小山広光ほか：常圧蒸気養生した高炉スラグ微粉末混入コンクリートの圧縮強度、第 61 回土木学会年次学術講演会講演概要集、pp.357-358, 2006.

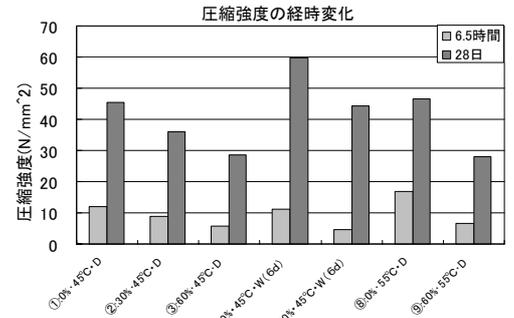


図-1 圧縮強度の経時変化

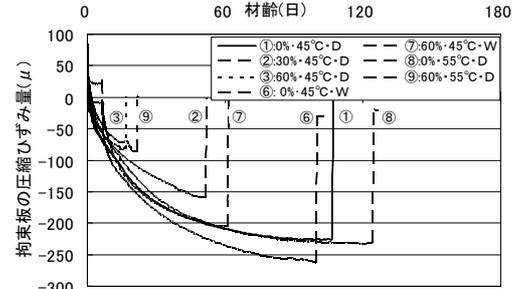


図-2 一軸拘束ひび割れ試験ひずみ量

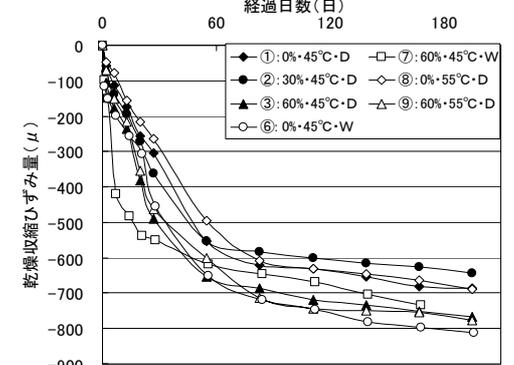


図-3 乾燥収縮ひずみ量
高炉スラグ置換率

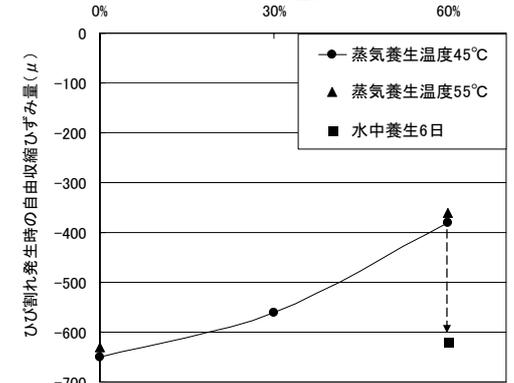


図-5 ひび割れ発生時の自由収縮ひずみ量