

高炉セメントに早強剤を添加したコンクリートの硬化物性に関する検討

鹿島建設(株) 正会員 ○山川 剛 取達 剛 中嶋翔平 山野泰明 関 健吾 渡邊賢三 坂井吾郎
住友大阪セメント(株) 正会員 小田部裕一 本和也

1. はじめに

コンクリートの初期強度発現は温度依存性が高く、特に冬期は型枠の取外しまでに日数を要し、工程が遅延するリスクがある。昨今、環境負荷低減の観点から混合セメントの普及拡大が望まれているものの、初期強度発現が遅い混合セメントを用いる場合には、この課題は特に重要となる。これまでに筆者らは、低温環境下におけるフライアッシュコンクリートの材齢初期の強度発現を改善するため、早強ポルトランドセメントにフライアッシュおよびアルカリ金属塩を主成分とする早強剤を組み合わせたコンクリートについて検討を行い、低温環境下におけるフライアッシュコンクリートの初期強度発現の改善、終局断熱温度上昇量の低減、初期の膨張によるひび割れ抑制効果を確認した¹⁾。本検討では、高炉セメントB種を対象に、早強剤の添加がコンクリートの強度発現、断熱温度上昇特性および自己収縮ひずみに及ぼす影響を評価した結果について報告する。

2. 検討の概要

2.1 使用材料およびコンクリート配合

コンクリートの使用材料を表-1に、配合を表-2に示す。コンクリートの配合は、検証対象である高炉セメントB種を用いた配合(以下、BB配合)、および同配合に早強剤(単位結合材量×2.0%)を外割添加したもの(以下、BBA配合)の2ケースとした。なお、いずれの配合においても、目標スランプ $12\pm 2.5\text{cm}$ 、目標空気量 $4.5\pm 1.5\%$ とした。スランプはBB配合で13.0cm、BBA配合で13.5cm、空気量はBB配合で4.5%、BBA配合で4.8%であった。

2.2 試験項目

早強剤の圧縮強度への影響を評価するために、 10°C 環境にて養生し、材齢1, 2, 3, 7, 14日にてJIS A 1108に従って圧縮強度を測定した。また、早強剤の添加が断熱温度上昇特性に及ぼす影響を評価するために、コンクリートの打込み温度を10, 20, 30°C に変化させて、容量60リットルの空冷式断熱温度上昇試験機を用いて断熱温度上昇試験を行った。さらに、 $10\times 10\times 40\text{cm}$ の供試体を作製し、埋設型ひずみ計にて 20°C 環境における自己収縮ひずみを測定した。

3. 試験結果

養生温度 10°C 環境下での圧縮強度試験結果を図-1に示す。早強剤を添加したBBA配合は、早強剤を添加しないBB配合に比べて材齢2日以降に圧縮強度が $2\sim 3\text{N/mm}^2$ 程度増加した。同図より、早強剤の添加によって、コンクリート標準示方書【施工編】にてスラブの支保工を取り外してよい時期の圧縮強度の参考値として示されている 14N/mm^2 に達するまでの日数を、約2日短縮できることが分かった。

表-1 使用材料

項目	記号	摘要
水	W	水道水
セメント	C	高炉セメントB種、密度 $=3.04\text{g/cm}^3$
細骨材	S	山砂、表乾密度 $=2.57\text{g/cm}^3$
粗骨材	G	碎石、表乾密度 $=2.65\text{g/cm}^3$
混和剤	AD	リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体
	AC	早強剤(アルカリ金属塩)

表-2 検討配合

配合名	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)					AC kg/m^3
			W	C	S	G	AD	
BB	50	45	170	340	779	981	1.02	—
BBA								6.8

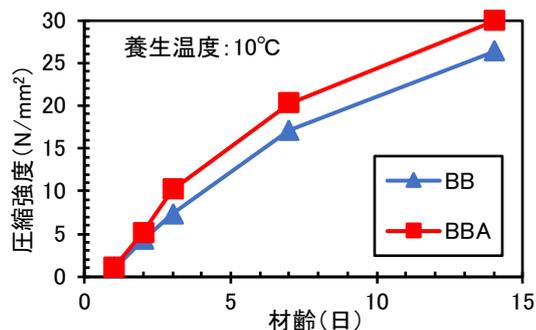


図-1 圧縮強度試験結果

キーワード 高炉セメントB種、早強剤、断熱温度上昇特性、自己収縮

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-8030

表-3 断熱温度上昇試験特性

配合	AC量 (kg/m ³)	打込み温度 (°C)	Q _∞	α	γ
BB	0	10	52.2	0.355	1.298
		20	51.8	0.752	1.216
		30	51.2	1.360	1.172
BBA	6.8	10	49.3	0.486	1.533
		20	48.9	1.098	1.442
		30	48.6	3.207	1.700

次に、打込み温度 10°Cにおける断熱温度上昇試験結果を図-2に示す。高炉セメント B 種に早強剤を添加することで、材齢 1 日以降の発熱速度が増大した。この傾向はフライアッシュセメントに早強剤を添加したときの傾向¹⁾と同様であった。また、終局断熱温度上昇量は約 3°C低下することが確認された。ここで、打込み温度を変化させたときのコンクリートの断熱温度上昇試験結果をもとに、(日本コンクリート工学会【マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016】に記載された以下の断熱温度上昇特性式に整合するように、最小二乗法にて求めた Q_∞、αおよび γ を表-3 に示す。

$$Q(t) = Q_{\infty} \{ 1 - \exp(-\alpha t) \}^{\gamma}$$

Q_∞ : 終局断熱温度上昇量 (°C), α, γ : 温度上昇速度に関する係数, t : 材齢 (日)

同表をもとに、打込み温度と終局断熱温度上昇量との関係を図-3に、温度上昇速度係数 α との関係を図-4に示す。打込み温度によらず、早強剤の添加によって終局断熱温度上昇量は 3°C程度低下する結果となった。一方で、早強剤の添加によって、水和初期の温度上昇速度を表す α が大きくなり、打込み温度が高いほどその傾向は顕著となった。発熱速度の上昇は温度応力の発生を助長する方向となることから、打込み温度が高くなる場合には早強剤の適用に留意が必要と考えられる。

自己収縮ひずみを図-5に示す。BBA 配合は、材齢初期に約 30μ の膨張挙動を示した。この特性は早強剤によるものであり、フライアッシュを用いた過去の検討¹⁾と同様の傾向である。また BBA 配合における材齢 91 日の自己収縮ひずみは、BB 配合に比べて約 20μ 小さくなった。初期材齢時に膨張性を付与することにより、温度ひび割れの低減に繋がるものと考えられる。

4. おわりに

高炉セメント B 種にアルカリ金属塩を主成分とする早強剤を添加したコンクリートは、冬期における早期強度発現性に優れ、若材齢時には発熱しやすい一方で、終局断熱温度上昇量が低下することが明らかになった。また、早強剤の効果で初期に膨張することが確認された。今後、温度応力解析および現場適用によってその効果を検証していく。

参考文献

1) 関ほか：早期脱型と温度ひび割れの抑制を両立させたコンクリート，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.1381-1386，2017

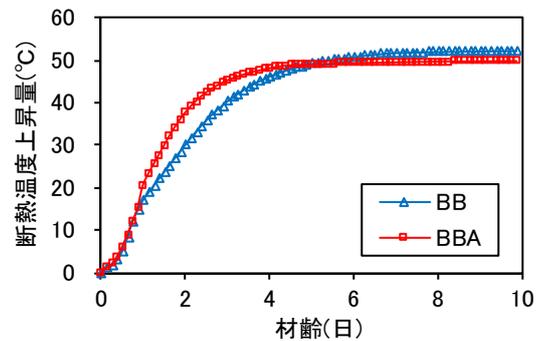


図-2 断熱温度上昇試験結果 (10°C)

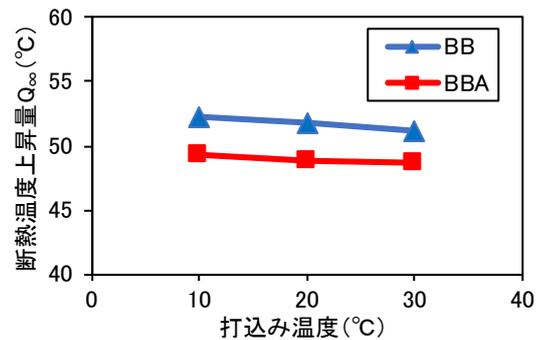


図-3 打込み温度と終局断熱温度上昇量

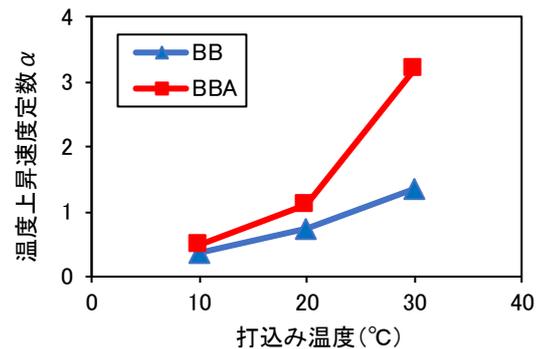


図-4 打込み温度と温度上昇速度定数 α

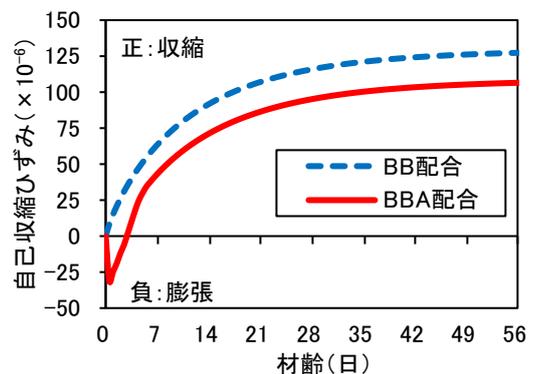


図-5 自己収縮ひずみ