

C-S-H 系硬化促進剤を使用したスラグ高含有コンクリートの基礎性状 その2

ポゾリス ソリューションズ 正会員 ○井元 晴丈
ポゾリス ソリューションズ 正会員 Chandra Kiran Vinukonda
ポゾリス ソリューションズ 正会員 小泉 信一
ポゾリス ソリューションズ 正会員 三森 耀介

1. はじめに

コンクリートの CO₂ 排出量削減対策として、セメントクリンカー使用量の削減につながる高炉水砕スラグ微粉末（スラグ）などの混合材・混和材をセメント置換して使用することは有効である。ここでは、スラグ高含有コンクリートとしてプレキャストコンクリートで検討・使用されている事例の多い、早強ポルトランドセメントを用いた系にて、スラグ置換率を 70%とした場合の C-S-H 系硬化促進剤が強度発現性に及ぼす影響について検討した。

2. 試験概要

使用材料の種類および物理的性質を表 1 に示す。セメントは早強ポルトランドセメント（早強セメント）、スラグは比表面積 4,350 cm²/g のものを用いた。硬化促進剤は、C-S-H 系硬化促進剤（AC）を用いた。表 2 に使用したコンクリート配合と練混ぜ後のフレッシュコンクリート性状を示す。試験環境温度は 20℃、コンクリートの水結合材比を 35.0%、スラグ置換率を 70.0%として、二軸強制練りミキサ（容量 55L）を用いてフレッシュコンクリートを練り混ぜた。なお、AC は、単位水量の一部として質量置換で添加し、スランプおよび空気量がそれぞれ 18±2.5cm および 2.0%以下になるように、高性能減水剤（SP）使用量を調整した。フレッシュコンクリートの練混ぜ後、圧縮強度試験用の供試体を JIS A 1132 に準じて作製した。供試体は、表 3 に示す養生条件にて所定材齢まで養生後、JIS A 1108 に準じて圧縮強度を測定した。

表 1 使用材料

材料	記号	種類および物理的性質
水	W	上水道水
セメント	C	早強ポルトランドセメント 密度: 3.14 g/cm ³ , 比表面積 4,570 cm ² /g
混和材	GBFS	高炉水砕スラグ微粉末 密度: 2.89 g/cm ³ , 比表面積: 4,350 cm ² /g
細骨材	S	大井川水系陸砂 表乾密度 2.59 g/cm ³ , 粗粒率: 2.57
粗骨材	G	青梅産硬質砂岩砕石 表乾密度: 2.67 g/cm ³ , 最大寸法: 20 mm.
化学 混和剤	SP	高性能減水剤 ポリカルボン酸エーテル化合物系
	AC	C-S-H 系硬化促進剤

表 2 コンクリート配合とフレッシュコンクリート性状

記号	スラグ 置換率 (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					SP (B×%)	AC (B×%)	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温度 (℃)
				W	C	GBFS	S	G					
H35-70-0	70.0	35.0	40.0	165	141	330	679	1,043	0.6	0.0	18.0	1.3	20
H35-70-2									0.6	2.0	17.5	1.2	20
H35-70-4									0.6	4.0	19.0	1.3	20

表 3 養生条件

記号	養生条件	前置き	昇温	最高温度(保持時間)	降温	降温後
標準	標準養生	20℃ 24 時間で脱型後水中養生				
蒸 40	蒸気養生 (40℃)	20℃ 2 時間	40℃まで 10℃/h (2 時間)	40℃ (3 時間保持)	20℃まで-10℃/h (2 時間)	20℃で保持、材齢 16 時間で 脱型後水中養生
蒸 60	蒸気養生 (60℃)	20℃ 2 時間	60℃まで 10℃/h (2 時間)	60℃ (3 時間保持)	20℃まで-20℃/h (2 時間)	20℃で保持、材齢 16 時間で 脱型後水中養生

キーワード 高炉スラグ、C-S-H 系硬化促進剤、蒸気養生、強度発現性、積算温度
連絡先 〒253-0073 神奈川県茅ヶ崎市萩園 2722
ポゾリス ソリューションズ（株）TEL 0467-84-9640

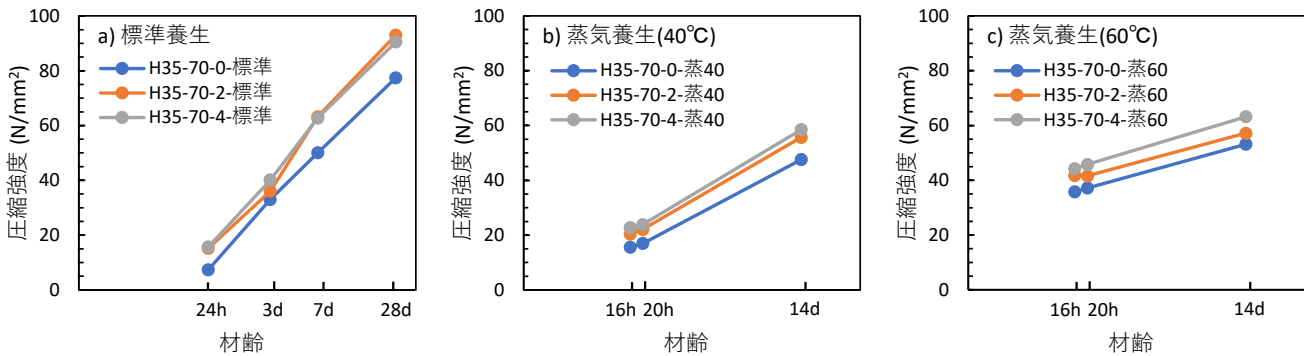


図 1 圧縮強度測定結果

3. 結果と考察

図 1 に圧縮強度測定結果を示す. いずれの養生条件および材齢においても, AC の添加により強度増進が得られることを確認した. なお, 20 °C の標準養生において, AC を 2.0 % 添加すると材齢 24 時間で 15 N/mm² 以上得られている. 詳細については条件の精査が必要ではあるが, 脱型強度を 12 N/mm² と想定した場合, 標準期や夏期においては, AC の使用により蒸気養生を施さなくても製造効率を保ったまま, PCa 部材の製造ができる可能性を示している.

スラグ高含有コンクリートの強度発現性について, 積算温度で整理した. 積算温度(M)は, -10 °C を基準温度として次式により求めた.

$$M = \sum(\theta + 10)\Delta t$$

(Δt : 時間(hr), θ :コンクリート温度(°C))

図 2 に積算温度と圧縮強度の関係を示す. また, 積算温度と圧縮強度の関係を以下の関数に近似した場合の近似定数を表 3 に示す.

$$S(M) = a \log M + b \quad (a, b: \text{定数})$$

スラグ高含有コンクリートでは, AC の添加の有無や, 養生条件によって異なる定数を持つ曲線に近似された. 図 2 より積算温度 1,000 °C・hr 以下の初期材齢では, 養生温度の上昇とともに強度発現曲線が上側にシフトしていることが確認できる. これは, スラグの反応の温度依存性が高いことに起因していると思われる. 以上のように, スラグ高含有コンクリートの強度発現性は, 養生条件が異なると同一曲線で近似できないため, 材料設計を行うためにはそのことを考慮に入れた検討が必要である. AC の添加の有無が近似曲線に及ぼす影響としては, 養生条件が同一の場合, AC の添加により定数 a の値が高くなっている. 定数 a は強度増進に関連する定数と推察されることから, AC の添加は, 少なくとも長期的な強度発現性に悪影響を及ぼしていないと言える.

3. まとめ

早強セメントを使用してスラグを 70%置換したスラグ高含有コンクリートに AC を添加するといずれの養生条件においても強度増進が得られることを確認した. スラグ高含有コンクリートの場合, 養生条件が異なると積算温度と圧縮強度の関係で同一の曲線で整理できず, 材料設計を行うためには温度依存性を考慮に入れた検討が必要である. また, AC を添加しても長期的な強度増進に影響を及ぼさないことが, 積算温度と強度発現性の関係から推察された.

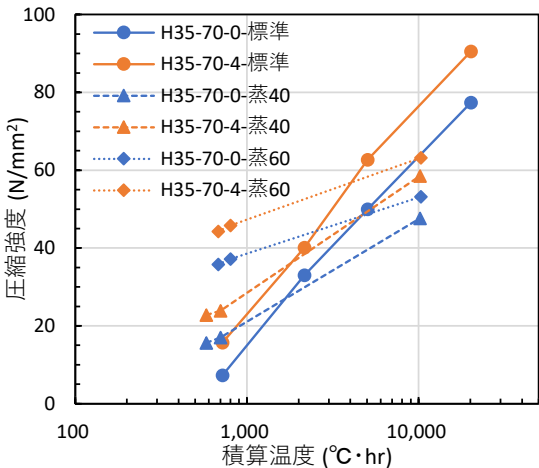


図 2 積算温度と圧縮強度の関係

表 3 近似定数

記号	a	b	相関係数
H35-70-0-標準	20.9	-129.1	0.9981
H35-70-4-標準	22.7	-133.0	0.9972
H35-70-0-蒸 40	11.3	-56.6	0.9996
H35-70-4-蒸 40	12.7	-58.4	0.9990
H35-70-0-蒸 60	6.35	-5.41	0.9996
H35-70-4-蒸 60	6.90	-0.49	0.9997