

早強材を添加した環境負荷低減型コンクリートの 収縮特性および耐久性

技術本部 技術研究所 椎野碧
技術本部 技術研究所 中瀬博一

1. はじめに

高炉スラグ微粉末(以降、BFS と称す)やフライアッシュ(以降、FA と称す)を用いた環境負荷低減型コンクリート(以降、混和材コンクリートと称す)は耐久性向上などの優位性がある一方、初期の強度発現が遅延する傾向にある。そのため、場所打ちとなるプレキャスト PC 床版間詰め部などに適用した場合、生産性の低下が懸念される。こうした背景から、筆者らは、早強材を用いることにより初期の強度発現性を確保し、かつ、流動保持剤により施工性を確保した混和材コンクリート(以降、早強型混和材コンクリート)を開発した。ここで、構造物に適用するうえで収縮特性や耐久性を明らかにする必要がある。そこで、本稿では収縮特性および耐久性の基礎データの蓄積を目的に実施した各種試験の結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 早強型混和材コンクリートの仕様

早強型混和材コンクリートの仕様を表-1 に示す。プレキャスト PC 床版間詰め部への場所打ち施工を想定しているため、運搬時間を考慮し、スランプフローおよび空気量は練上りから 90 分後の試験値で管理することとした。

2.2 使用材料および配合

使用材料を表-2 に示す。使用した早強材 AC の作用機構はポルトランドセメントの水和促進作用によってエトリンサイトおよびカルシウムシリケート水和物を多量に生成して強度を発現するものである。配合を表-3 に示す。早強型混和材コンクリートは BFS を用いた配合(以降、早強型 BFS と称す)と、FA を用いた配合(以降、早強型 FA と称す)の 2 種類であり、それぞれの単位結合材量に対する質量置換率は BFS が 50%、FA が 15%である。

3. 試験結果

3.1 乾燥収縮

乾燥期間と乾燥収縮ひずみの関係を図-1 に示す。また、図-1 には比較として、水セメント比 W/C が 37%、単位水量が 170kg/m³、設計基準強度(σ₇)が 50N/mm²の早強セメント単味の配合(以降、H 単味と称す)の結果も併せて示す。乾燥期間が 365 日の乾燥収縮ひずみはそれぞれ、早強型 BFS が-356 μ、早強型 FA が-635 μ、H 単味が-597 μであり、H 単味と比較して早強型 BFS は 4 割程度小さく、早強型 FA は僅かに大きくなった。早強型 FA が H 単味より僅かに大きくなった

表-1 早強型混和材コンクリートの仕様

項目	目標値	備考
設計基準強度(σ ₃)	50N/mm ²	・配合強度 58N/mm ²
スランプフロー	60±10cm	・練上りから 90 分後
空気量	4.5±1.0%	
膨張率	200±50 μ	・材齢 7 日

表-2 使用材料

材料	記号	仕様
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 3.14g/cm ³
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末 6000、密度 2.91g/cm ³ 、SO ₃ 2.89%
	FA	フライアッシュ II 種、密度 2.36g/cm ³
膨張材	EX	主成分はカルシウムサルフォアルミネート、粉体、密度 2.95g/cm ³
早強材	AC	粉体、密度 2.91g/cm ³
細骨材	S1	陸砂、表乾密度 2.58g/cm ³ 、吸水率 2.58%、F.M.2.59
	S2	砕砂、表乾密度 2.62g/cm ³ 、吸水率 1.14%、F.M.2.98
粗骨材	G	碎石 2005、表乾密度 2.64g/cm ³ 、吸水率 0.64%
	SP	高性能 AE 減水剤、標準形
	AE	AE 剤
	R	流動保持剤、液体

表-3 配合

配合	W/B (%)	単位量(kg/m ³)									添加率 (B×%)		
		W	B			EX	AC	S		G	SP	AE	R
			C	BFS	FA			S1	S2				
早強型 BFS	31.0	170	274	274	—	25	40	269	273	985	1.2	0.03	1.0
早強型 FA	31.0	170	466	—	82	23	40	268	272	985	2.3	0.04	1.0

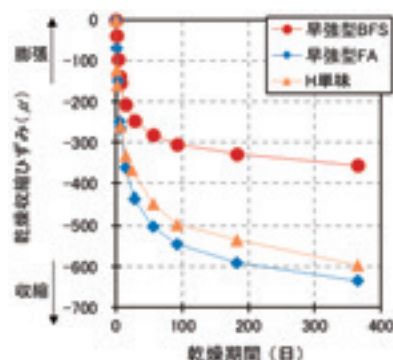


図-1 乾燥期間と乾燥収縮ひずみの関係

一因として、FA の置換率が BFS と比較して 15%と小さいために H 単味と同様の挙動を示したことと次節の自己収縮の影響もあると考えられる。

3.2 自己収縮

材齢と自己収縮ひずみの関係を図-2に示す。また、図-2には比較としてH単味の結果も併せて示す。材齢365日の自己収縮ひずみはそれぞれ、早強型BFSが -118μ 、早強型FAが -214μ 、H単味が -169μ であり、早強型BFSはH単味と比較して、初期材齢での変動は大きいものの、その後の収縮は徐々に緩やかとなり、材齢365日ではH単味より小さくなった。早強型FAの収縮量はH単味と比較して、材齢28日では同程度であったが、それ以降、僅かに大きくなった。

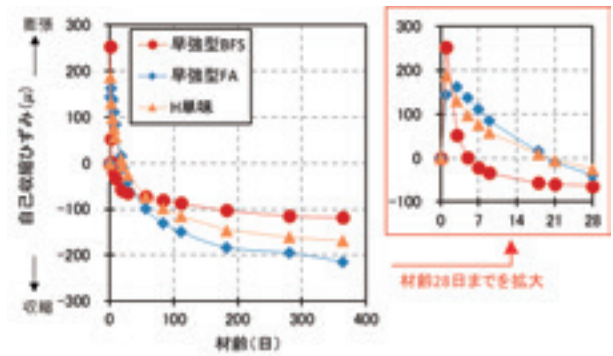


図-2 材齢と自己収縮ひずみの関係

3.3 自己収縮応力

材齢と自己収縮応力の関係を図-3に示す。材齢364日の自己収縮応力はそれぞれ、早強型BFSは 0.77N/mm^2 、早強型FAは 0.87N/mm^2 であった。「コンクリート標準示方書【設計編】」に記載されている算定式を用いて算出した早強型混和材コンクリートの引張強度の推定値は 3.12N/mm^2 であり、発生応力が引張強度の推定値を下回っている。以上の結果から、早強型BFSおよび早強型FAはいずれも十分なひび割れ抵抗性を有していると考えられる。

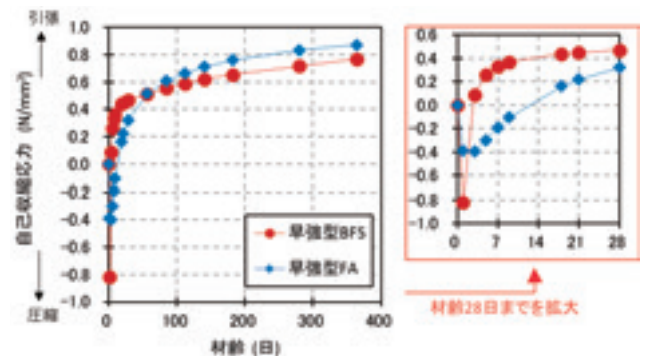


図-3 材齢と自己収縮応力の関係

3.4 塩害に対する耐久性

濃度が10%の塩水に1年間浸漬した供試体を用いてEPMAによる面分析を実施した。その結果から算出した見掛けの拡散係数は早強型BFSが $0.116\text{cm}^2/\text{年}$ 、早強型FAが $0.215\text{cm}^2/\text{年}$ であった。見掛けの拡散係数から算出した耐用年数を表-4に示す。飛沫帯において、早強型BFSの場合、普通鉄筋ではかぶりを70mm以上、エポキシ樹脂塗装鉄筋では35mm以上とすることで対応年数100年を確保でき、早強型FAの場合、普通鉄筋では対応年数100年を確保することは困難であるが、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することで対応年数100年を確保できる結果となった。

表-4 各塩害環境下における耐用年数

配合	見掛けの拡散係数 (cm ² /年)	かぶり (mm)	鉄筋種類	耐用年数 環境条件		
				飛沫帯	江線付近	海岸から0.1km
早強型BFS	0.116	35	普通	26	36	98
			エポ	169	—	—
		70	普通	107	—	—
早強型FA	0.215	35	普通	14	19	53
			エポ	135	—	—
		70	普通	57	79	212

3.5 凍害に対する耐久性

凍害に対する耐久性を評価するため、凍結融解試験(A法)およびスケーリング試験を実施した。凍結融解サイクル数と相対動弾性係数の関係を図-4に、サイクル数と累積スケーリング量の関係を図-5に示す。また、図-4には比較としてH単味の結果も併せて示す。300サイクル時の相対動弾性係数はそれぞれ、早強型BFSが100%、早強型FAが102%、H単味が92%であり、早強型混和材コンクリートとH単味は同程度となった。50サイクル時の累積スケーリング量はそれぞれ、早強型BFSが 0.0537kg/m^2 、早強型FAが 0.3881kg/m^2 となった。300サイクル終了時の相対動弾性係数が90%を上回っていることと50サイクル終了時の累積スケーリング量が 0.5kg/m^2 以下であることから、凍害に対して十分な耐久性を有していることが確認された。

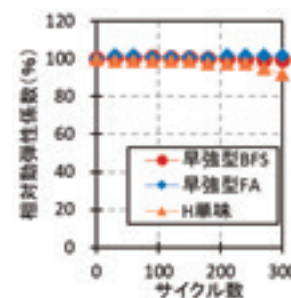


図-4 サイクル数と相対動弾性係数の関係

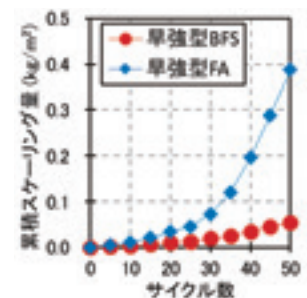
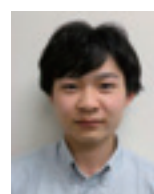


図-5 サイクル数と累積スケーリング量の関係

4. まとめ

各種試験の実施により、場所打ち間詰め部用に開発した早強型混和材コンクリートは、収縮ひび割れ、塩害および凍害に対して十分な抵抗性および耐久性を有していることが確認された。

Key Words : 混和材コンクリート, 初期強度発現性, 間詰め, 収縮特性, 耐久性



椎野 碧



中瀬 博一