

フライアッシュを使用したコンクリートの現場施工への適用検討

技術本部 技術研究所 中瀬博一
技術本部 技術研究所 椎野 碧

概要：橋梁における床版の耐久性向上および環境負荷低減を目的として、フライアッシュを使用したコンクリートの PC 床版の間詰め部への適用性検討を行った。検討項目としては強度発現、収縮特性および耐久性に関する基礎物性の確認の後、実大のプレキャスト PC 床版の間詰め部への施工実験を実施した。その結果、間詰め部へのフライアッシュコンクリートの適用に問題はなく、高品質で環境負荷低減にも寄与する部材の構築が可能であることを確認した。

Key Words：フライアッシュ、間詰めコンクリート、現場施工

1. はじめに

フライアッシュコンクリート（以降、FA コンクリート）をプレキャスト PC 床版（以降、PCaPC 床版）へ適用することは、耐久性向上、環境負荷低減および生産性向上に有効と考えられ、筆者らはプレキャスト部材の製造技術について既報¹⁾にて報告している。一方、場所打ちとなる間詰め部にも FA コンクリートを使用する場合、諸物性を確認しておく必要がある。このため、PCaPC 床版の間詰め部への適用を対象とし、FA コンクリートのフレッシュ性状、強度発現、収縮特性、耐久性などの基礎物性に加え、施工実験によりポンプ圧送性や充填性など場所打ち施工への適用性を検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表-1に示す。配合検討では、FA コンクリートおよび比較用の早強セメント (HC) 単味配合の水結合材比 (W/B) を 3~4 水準、膨張材量を一定とし、W/B と標準養生供試体の材齢 7 日における圧縮強度の関係などから表-2 に示す床版間詰めコンクリートの仕様を満足する配合を決定した。また、決定した配合を用いて耐久性に関する諸物性の確認および施工実験の実施により、間詰めコンクリートとしての適用性を検討した。

表-1 実験の要因と水準

試験内容	配合* (結合材)	水準		検討項目
		水結合材比 W/B (%)	膨張材量 EX (kg/m ³)*	
配合決定	FA	30, 35, 40, 45	20	W/B 検討
	HC	35, 40, 45	20	
	FA	32.1	20, 25	EX 使用量検討
	HC	37.2	20, 25	
耐久性 試験	FA	32.1	25	乾燥収縮、凍結融解、 塩分浸透
	HC	37.2	25	
施工実験	FA	32.1	25	床版間詰め 施工性確認

※配合(結合材)欄において、FA : HC+FA(15%)、HC : HC 単味

2.2 使用材料および配合

使用材料を表-3に示す。セメントは早強ポルトランドセメントを用い、FAはJIS A 6201のⅡ種に適合するよう分級したものを使用した。FA配合における単位結合材量に対するFAの質量置換率は15%とし、膨張材

表-2 コンクリートの仕様

項目	目標値	備考
設計基準強度 (材齢 7 日)	50N/mm ²	配合強度 57.6N/mm ² (変動係数 : 8%と仮定)
スランプ	18±2.5cm	練上り直後
空気量	4.5±1.5%	練上り直後
拘束膨張率	150~250μ	収縮補償

表-3 使用材料

材料	記号	仕様
セメント	HC	早強セメント
フライアッシュ	FA	密度：2.33g/cm ³ ，比表面積 4810cm ² /g
細骨材	S1	陸砂（表乾密度：2.58g/cm ³ ）
	S2	砕砂（表乾密度：2.62g/cm ³ ）
粗骨材	G	砕石（表乾密度：2.64g/cm ³ ）
混和剤	SP	高性能 AE 減水剤
膨張材	EX	石灰系，低添加型

表-4 試験方法

種別	試験項目	試験方法
配合決定	圧縮強度	JIS A1108
	拘束膨張	JIS A6202
耐久性	乾燥収縮	JIS A1129
	凍結融解	JIS A1148
	促進中性化	JIS A1153
	塩分浸透	JSCE-G572

(EX)はセメントに質量置換して使用した。また，単位水量はFA配合および比較用のHC単味配合（HC）ともに170kg/m³とした。

2.3 試験方法

各種試験方法を表-4に示す。各種試験は関連するJISに準拠し，塩化物イオン拡散係数試験はJSCE-G572に準拠して行った。

2.4 施工実験概要

FAコンクリートを用いてプレキャストPC床版の間詰め部への打設実験を行った。打設実験の概要を図-1に示す。試験体の間詰め部は，ループ筋（D19@125mm）を配したアゴ付き形状とし，幅330mm，長さ5500mmとした。FAコンクリートは実機プラントで練り混ぜ，プラントからの運搬はアジテータトラックおよびポンプ圧送車を用いた。ポンプによる圧送距離は約65m（水平換算距離：95m）とした。

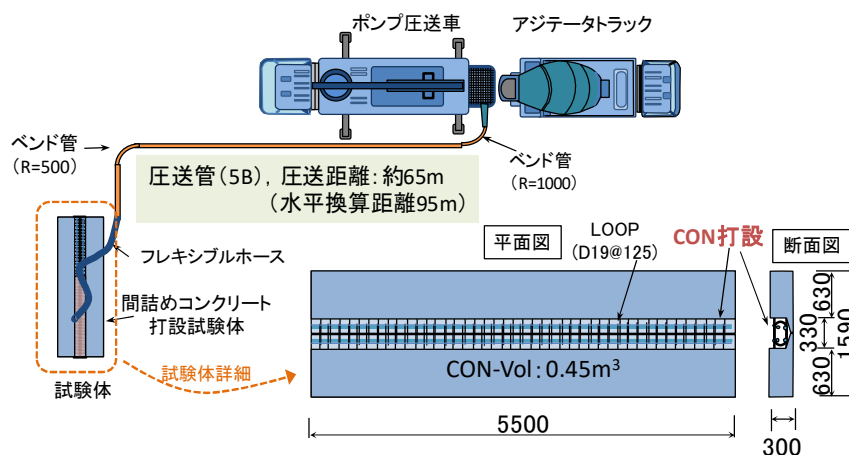


図-1 間詰めコンクリート打設実験概要

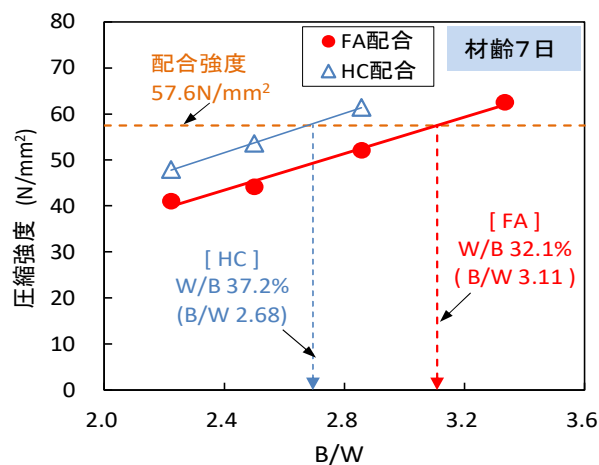


図-2 B/W と圧縮強度の関係

3. 実験結果（配合決定，耐久性試験）

3.1 フレッシュ性状

試験練りの結果，高性能 AE 減水剤および AE 剤の添加量の調整により，すべての配合において目標とするフレッシュ性状が得られた。

3.2 圧縮強度および拘束膨張

材齢7日におけるB/Wと圧縮強度の関係を図-2に示す。FAコンクリートは早強セメント単味のHCに比べ材齢7日における圧縮強度発現は小さかった。また，これより配合強度を満足するW/Bを算出した結果，FAは32.1%となり，HCは37.2%となった。以降，拘束膨張試験，各種耐久性試験および施工実験はこのW/B値を用いたコンクリートで検討を行った。（表-1参照）

拘束膨張試験結果を図-3に示す。材齢7日の

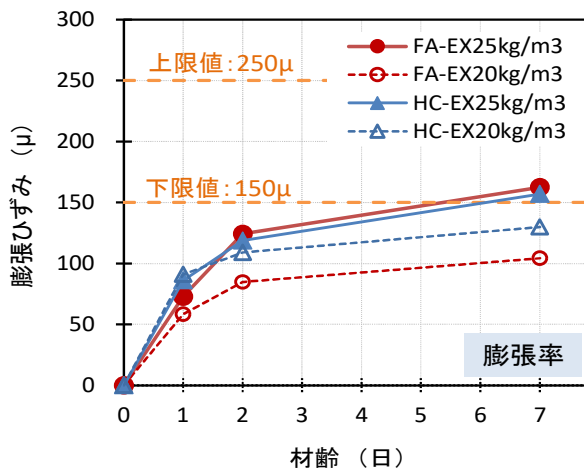


図-3 拘束膨張試験結果

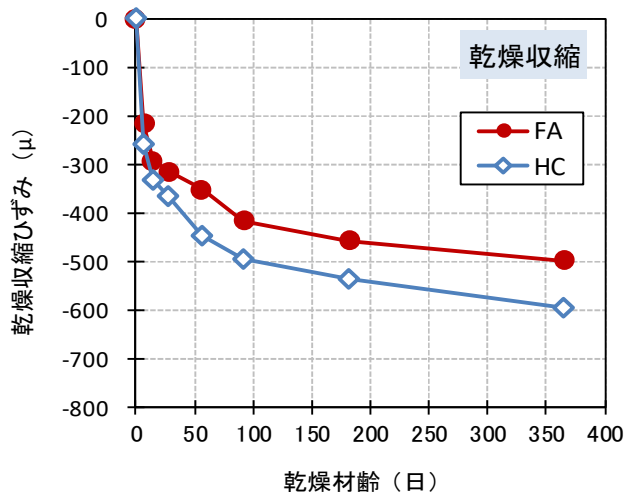


図-4 乾燥収縮試験結果

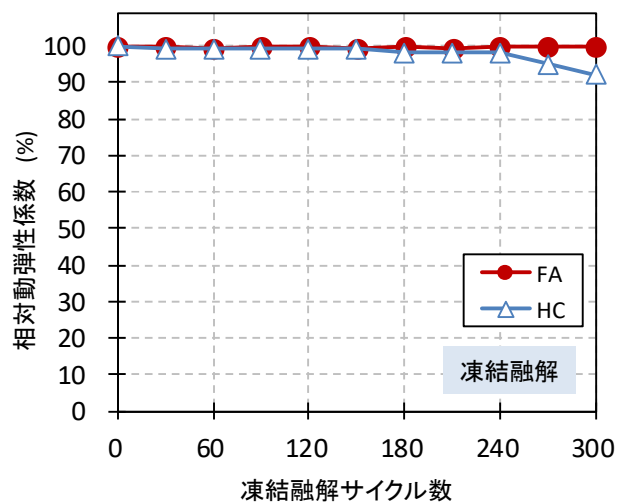


図-5 凍結融解試験結果

膨張ひずみはFAおよびHCともに膨張材量が 20kg/m^3 の場合は目標値(150~250 μ)を下回ったが、膨張材量を 25kg/m^3 とした場合は目標値を満足した。このため、FAおよびHCともに膨張材量を 25kg/m^3 とし、耐久性試験および施工性試験を実施した。

3.3 耐久性

(1) 乾燥収縮

FAおよびHCの乾燥収縮試験結果を図-4に示す。FAおよびHCいずれの配合でも乾燥材齢1年においても乾燥収縮ひずみは 600μ 以下であり、乾燥収縮によるひび割れ発生に対し十分な抵抗性を有しているものと考えられる。FAがHCに対して収縮ひずみが若干小さな値を示したのは、FAはHCよりW/Bが小さいことが一因と考えられる。

(2) 凍結融解

凍結融解試験結果を図-5に示す。FAおよびHCいずれの配合でも凍結融解300サイクル終了時における相対動弾性係数は90%以上であり、凍結融解に対する十分な抵抗性を有しているものと考えられる。

(3) 塩分浸透

表-5にFAコンクリートの塩化物イオン拡散係数試験結果を示す。FAコンクリートの見掛けの拡散係数は $0.104\text{cm}^2/\text{年}$ であり、この値を用い、「コンクリート標準示方書[設計編:標準](2017年), 3.1.4塩害環境下における鋼材腐食に対する照査」に準じて耐用年数を算出した。算出の際には、鉄筋かぶりを35mm, 45mm, 70mmの3水準、エポキシ樹脂塗装鉄筋使用および飛沫帯環境を算出条件とした。

塩害環境下における鋼材位置の塩分濃度を図-6に示す。これより、FAコンクリートは、供用100年後の鋼材位置における塩化物イオン濃度が35~70mmいずれのかぶりにおいても鉄筋腐食発生限界濃度である 2.27kg/m^3 以下となっており、100年以上の耐用年数を有することが確認された。なお、鉄筋の腐食発生限界濃度は前述の標準示方書に準拠し 2.27kg/m^3 とした。

表-5 塩化物イオン拡散係数試験結果

浸漬開始(日)	浸漬期間(日)	見掛けの拡散係数($\text{cm}^2/\text{年}$)	塩化物イオン濃度(kg/m^3)	
			表面 C_0	初期 C_i
28	365	0.104	47.789	0.103

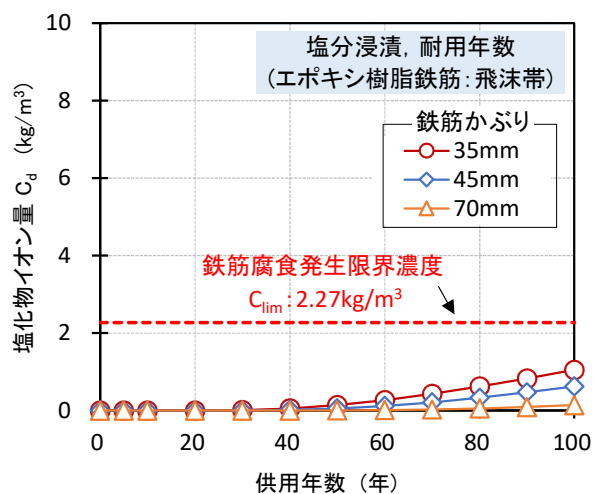


図-6 塩害環境下における鋼材位置の塩分濃度

4. 実験結果 (間詰めコンクリート施工実験)

4.1 フレッシュ性状

間詰めコンクリートの施工実験における、スランプおよび空気量の経時変化を事前に実施した実機ミキサによる試し練り実験結果と併せて図-7および図-8に示す。スランプはアジテータトラックにて保管した場合も静置した場合も経時変化に大きな差異はなく、スランプロスは60分で8cm程度と大きな値を示した。一方、60分後までの空気量の低下は、静置した場合は3%程度であったのに対し、アジテートした場合は1.5%程度にとどまった。アジテートした場合でもスランプの経時変化が大きかったため、練上りから90分後に計画していたポンプ圧送による打設は困難であると判断し、60分後に打設を行った。

ポンプ圧送前後のスランプおよび空気量の変化は、スランプは3cm小さくなり、空気量は大きな変化は認められなかった。これより、FAコンクリートの場所打ち施工に関して、本実験の範囲内ではスランプロスによる施工性への影響が大きく、スランプ管理について課題が明らかとなった。

4.2 圧縮強度

FAコンクリートは実機ミキサで製造し、ポンプ圧送にて施工した場合でも、室内試験練りと同様の強度発現を示し、所要の性能を満足した。

4.3 施工性

PC床版の間詰め部を模擬した実大試験体へのFAコンクリート打設実験状況を写真-1に、端枠脱枠後状況を写真-2に示す。FAコンクリートは一般的な施工方法で施工可能であり、ひび割れや充填不良などの不具合は認められなかった。

4.4 経時変化低減の検討

施工性試験の結果より、FAコンクリートのスランプロスの課題が明らかとなったため、施工性試験後に市販化された粘性低減型の高性能AE減水剤を用いて経時変化の低減を試みた。粘性低減型高性能

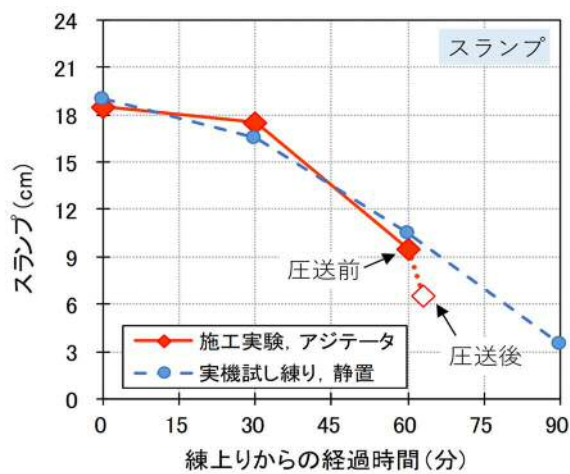


図-7 スランプの経時変化

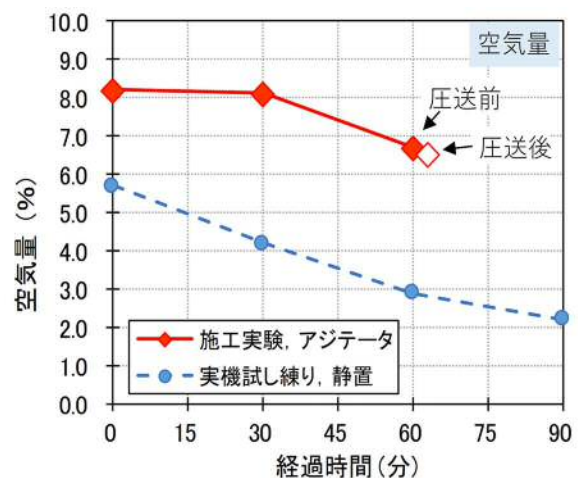


図-8 空気量の経時変化



写真-1 FAコンクリート打設状況



写真-2 端枠脱枠後状況

AE 減水剤を用いた場合のスランプおよび空気量の経時変化を図-9に示す。これより、スランプおよび空気量とも経時変化はごく僅かとなり、粘性低減型混和剤を用いた場合、練上りから90分後においても施工可能なフレッシュ性状の保持が可能であることが明らかとなった。なお、圧縮強度発現についても、従来型の混和剤を用いた場合と同等であった。

これより、FA コンクリートの場所打ち施工に関し、適切な混和剤を選定することで、経時変化は抑制可能であり、十分な施工可能時間が確保できることが明らかとなった。

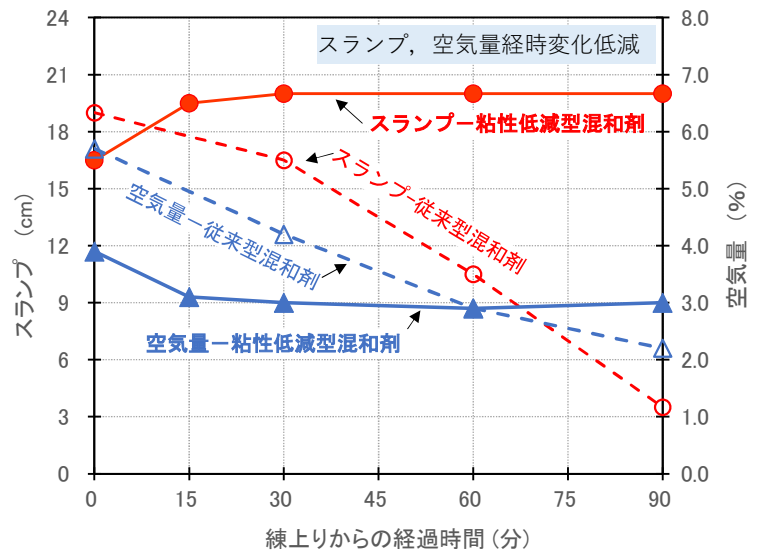


図-9 粘性低減型混和剤による経時変化低減

5. まとめ

フライアッシュコンクリートは所要の強度発現、耐久性および施工性を有しており、実際の施工条件などを検討して適切な混和剤を選定することなどにより、場所打ちの床版間詰め施工に十分に適用可能であり、所要の性能を有する構造体が構築可能であることが確認された。

参考文献

- 1) 中瀬博一, 椎野碧, 鈴木雅博, 小島利広: フライアッシュを使用したコンクリートのPCaPC床版への適用検討, (株)ピーエス三菱 技報, 第17号, 2019.