

フライアッシュを使用した締固めを必要とする高流動コンクリートの基礎的研究

千葉工業大学 学生会員 ○市川晃 学生会員 渡邊大河 学生会員 石川椋太 正会員 橋本紳一郎
電力中央研究所 正会員 山本武志 佐藤工業 正会員 小山広光 正会員 藤原正佑

1. はじめに

近年、国土交通省が掲げる生産性向上の観点から、JIS A 5308 の普通強度領域に、スランプフローで管理するコンクリートが追加された。土木学会では、これらを締固めを必要とする高流動コンクリートと定義付け、配合設計や施工技術に関して、さまざまな検討や報告を行っている¹⁾。このコンクリートは、流動性が高く、粘性が低いため、材料分離を生じやすいことが懸念される。また、材料分離抵抗性を確保するため、一定量以上のセメント量を確保する必要がある。そのため、普通コンクリートで認証されている強度領域の 24N/mm² 以下については JIS に認証されていない。そこで、フライアッシュ(以降、FA)の使用により、流動性や材料分離抵抗性の確保、さらには低強度領域の品質確保に寄与すると考えられるが、FA を使用した締固めを必要とする高流動コンクリートに関する報告例は少ない。したがって、本研究では、締固めを必要とする高流動コンクリートを一般構造物に適用することを目的に、セメントに対して FA を置換した際のフレッシュ性状及び強度特性について評価・検討を行った。

2. 実験概要

使用材料は、普通ポルトランドセメント(密度：3.16g/cm³, C)、砕砂(表乾密度：2.62g/cm³, 実積率：55.8%, S)、砂岩碎石 2005(表乾密度：2.66g/cm³, 実積率：59.8%, G)、フライアッシュⅡ種(密度：2.23g/cm³, 強熱減量：2.3%, 比表面積：3600cm²/g, 活性度指数(材齢 28 日)：92%, FA)、高性能 AE 減水剤(SP)、AE 減水剤(AE)で検討を行った。

表-1 にコンクリートの配合を示す。配合要因は、「締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工指針(案)」²⁾(以降、指針)より、一般的な施工性能の確保に必要と想定される単位セメント量の下限值を目安とした。これに対し No.5, 6 では単位セメント量に対して FA を 10, 20%置換(以降、FA 置換)した検討、配合 No.1~3, 7~9 は単位結合材量の違いによる検討、さらに、配合 No.10~12 は目標 SLF の違いによる検討をした。

フレッシュ性状試験はスランプ試験、スランプフロー試験、空気量試験を JIS に準拠して行った。目標 SLF はケース 1 では 450±50mm、ケース 2 では 550±50mm とし、目標 Air はどちらのケースも 4.5±1.5%とした。

図-1 に材料分離抵抗性評価における試験の概要を示す。本試験では、加振ボックス充填試験及び沈下量試験

表-1 コンクリートの配合

ケース	配合 No.	FA/B (%)	W/C (%)	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
						B		W	S	G	SP	AE
						C	FA					
1	1	0	54.1	54.1	50.0	320	0	175	889	903	4.32	1.60
	2	10	40.8			288	32		884	897	3.92	2.24
	3	20	68.4			256	64		878	891	3.68	2.88
	4	0	50.0	50.0		350	-		877	890	4.20	1.40
	5	10	55.6			315	35		871	884	4.03	2.10
	6	20	62.5			280	70		865	878	3.85	2.45
	7	0	46.1	46.1		380	-		861	877	5.13	1.71
	8	10	51.2			342	38		858	871	4.37	2.66
	9	20	57.6			304	76		851	864	4.28	3.8
2	10	0	42.7	42.7	50.0	410	-	175	852	865	5.74	2.26
	11	10	47.4			369	41		845	858	5.33	3.90
	12	20	53.4			328	82		838	850	4.72	4.10

※B：結合材

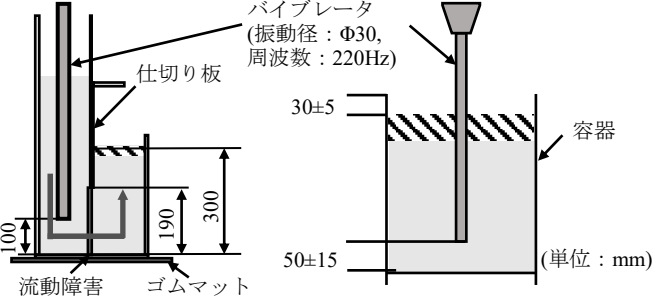


図-1 材料分離抵抗性評価における試験の概要
(左：加振ボックス充填試験，右：沈下量試験)

を材料分離抵抗性評価の指標とし、FA 置換による充填性及び骨材沈下の変化を確認した。加振ボックス充填試験は JSCE-F701-2018、沈下量試験は JSCE-F-702-2022 に準拠して行った。ベーンせん断試験は、既往の研究³⁾を参考とし、計測結果から最大せん断応力を算出した。

圧縮強度試験は、FA 置換による強度変化を確認し、低強度領域のコンクリートの製造が可能であるか検討した。試験方法は JIS A 1102 に準拠して行った。

3. 実験結果・考察

図-2 に加振ボックス充填試験の結果を示す。ケースによらず、FA 置換により、間隙通過速度と粗骨材量比率が改善される傾向が見られた。一方、一般的な施工性能の確保に必要と想定される単位セメント量の下限值を目安とした配合 No.4 では、FA 置換率が 10%で間隙通過速度は向上したが、置換率が 20%で低下した。また、さらに単位結合材量を減少させた配合 No.1 は配合 No.4 と比較して、充填性が低い、FA 置換率が 20%で改善が見られた。以上より、FA 置換によって充填性が

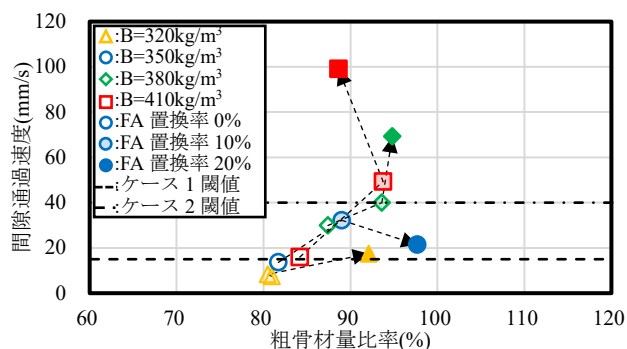


図-2 加振ボックス充填試験結果

改善されるが、単位結合材(セメント)量によって影響を受ける。つまり、一般的な施工性能の確保に必要と想定される単位セメント量の下限值以上の単位結合材量を確保することが FA を置換したコンクリートの充填性に対して有効である。

図-3 に沈下量試験の結果を示す。粗骨材量比率は、FA 置換率が 10%では低下し、FA 置換率が 20%では 0%と同程度の値となった。また、図-4 に一部を除く沈下量試験とベーンせん断試験の関係を示す。この結果から、配合 No.1~3 を除き、粗骨材量比率と最大せん断応力に相関性がみられた。したがって、一般的な施工性能の確保に必要と想定される単位セメント量の下限値を満たしている場合、FA 置換率が概ね 20%程度からせん断応力が増大することにより、骨材の沈下が低減できることが示唆された。

図-5 に材料分離抵抗性評価における試験の結果を示す。材料分離抵抗性評価における試験結果の閾値は、指針より、間隙通過速度はケース 1 で 15mm/s、ケース 2 で 40mm/s、粗骨材量比率(沈下量)はどちらのケースも 40%を目安とした。この結果から、本研究で使用した材料で、セメントに対して FA を置換することにより、間隙通過速度と粗骨材量比率(沈下量)の閾値を満足し、充填性の改善や材料分離抵抗性の確保に有効であることが示唆された。

図-6 に圧縮強度試験の結果を示す。圧縮強度は、配合 No.3 では呼び強度 24 N/mm²に、配合 No.12 では呼び強度 30N/mm²に相当する結果となった。このことから、FA 置換率の上昇に伴い、単位セメント量を減少し、充填性や材料分離抵抗性を確保しつつ、JIS に認証されていない呼び強度の領域にも達することが確認された。表-2 に今回の研究で FA の使用により製造可能であると示唆された呼び強度を示す。

4. まとめ

本研究では、締固めを必要とする高流動コンクリートにおいて、本研究で使用した材料では、セメントに対して FA を置換することで、充填性の向上や材料分離抵抗性の確保に有効であり、JIS で認証されていない低強度領域も製造することが可能であることが示唆された。

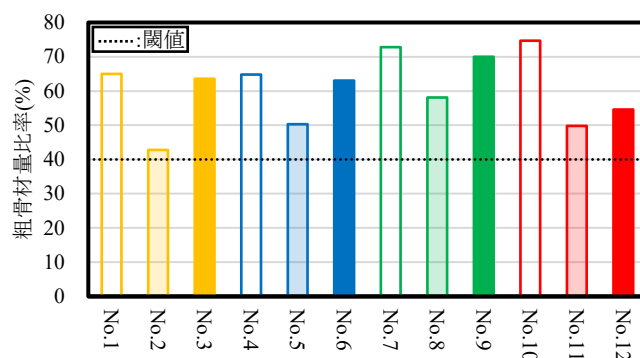


図-3 沈下量試験結果

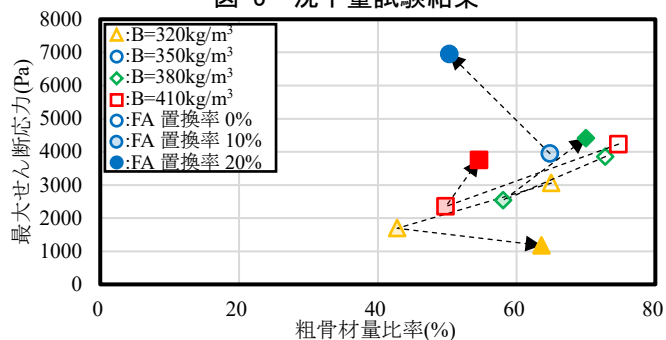


図-4 沈下量試験とベーンせん断試験結果

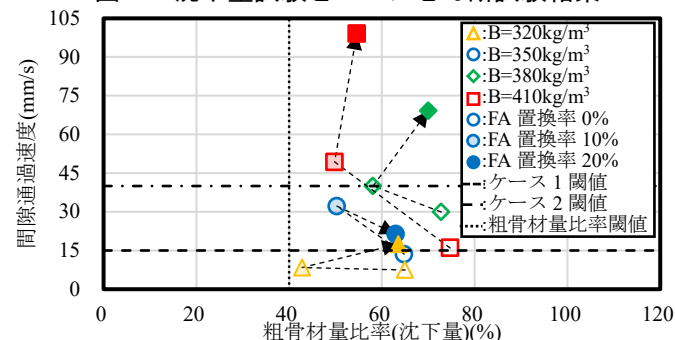


図-5 材料分離抵抗性評価における試験の結果

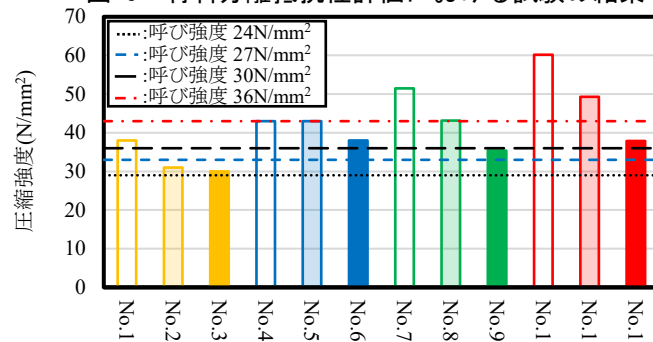


図-6 圧縮強度試験結果

表-2 JIS に認証されている呼び強度

コンクリートの種類	Gmax (mm)	スランブフロー (mm)	呼び強度(N/mm ²)											
			18	21	24	27	30	33	36	40	42	45	50	60
普通	20,25	45	-	-	☆	○	○	○	○	○	○	○	-	-
		55	-	-	-	☆	☆	○	○	○	○	○	-	-

※☆：今回製造可能であると示唆された呼び強度

参考文献

- 1) 土木学会：締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工技術研究小委員会 (358 委員会) 委員会報告書、コンクリート技術シリーズ No.123, 2020.5
- 2) 土木学会：締固めを必要とする高流動コンクリートの配合設計・施工指針(案)、コンクリートライブラリーNo.161, 2022.2
- 3) 平野修也, 西祐宜：ベーンせん断試験によるフレッシュコンクリートのハンドリング評価に関する実験的検討、コンクリート工学年次論文集, Vol.40, No.1, 2018