

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

Basic study of mechanically-compacting flowable concrete using fly ash

キーワード

高流動コンクリート, フライアッシュ,
材料分離抵抗性, 間隙通過性, 粗骨材量比率

小山 広光*, 藤原 正佑*, 橋本 紳一郎**,
市川 晃**, 山本 武志***

研究概要

「締固めを必要とする高流動コンクリート」は、圧送性の向上や、打込み間隔およびパイプレータ挿入間隔の拡大など、各施工プロセスの作業効率を高めることが可能となる。必要となる流動性、材料分離抵抗性および間隙通過性を確保するには、一般のコンクリートに比べ多くの結合材（セメント）が必要となり、JIS A 5308 においては 24N/mm^2 以下の呼び強度領域では配合が設定されていない。本研究では、セメントの一部をフライアッシュに置換した締固めを必要とする高流動コンクリートにおいて、各性能におよぼす影響を評価し、低強度領域のコンクリート配合への適用可能性を確認した。

ABSTRACT

“Mechanically-Compacting Flowable Concrete” can improve the work efficiency of each construction process by improvement of pumping performance and expansion of placing and vibrator insertion intervals. In order to require liquidity, material separation resistance, and gap passability, it is required a larger amount of binder(cement) compared to ordinary concrete, and no formulation is set for nominal strength range below 24N/mm^2 in JIS A 5308. In this study, the effects of fly ash replaced a part of cement on each performance of mechanically-compacting flowable concrete were evaluated, and the application possibility of concrete mix designs in the low-strength range was confirmed.

1 はじめに

近年、増粘剤一液型の高性能 AE 減水剤を使用したコンクリートが普及しつつある状況から、コンクリート工事の生産性向上を目的に、2019年の JIS A 5308の改正により、普通コンクリート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が行われている。締固めを必要とする高流動コンクリートは、施工品質の低下を抑制して高品質なコンクリート構造物の構築に寄与するとともに、施工の合理化および省力化に貢献することが期待される。コンクリート打込み時の軽微な締固めによって、狭隙部などにおける未充填箇所の発生を防止することが可能となるが、材料の変動や施工方法などによりコンクリートの均質性が低下することが懸念される。そのため、締固めを必要とする高流動コンクリートに求められる流動性、材料分離抵抗性および間隙通過性を確保するには、一般のコンクリートに比べ多くの結合材が必要とされる。

JIS A 5308において、締固めを必要とする高流動コンクリートに相当するスランプフロー45cm のコンクリートは、呼び強度 27N/mm^2 以上にのみ設定されており、 24N/mm^2 以下の区分については設定されていない。

一方で、高流動コンクリートにフライアッシュを使用することにより、流動性、材料分離抵抗性および間隙通過性の向上を図ることが可能となる。また、フライアッシュはセメントや高炉スラグに比べ強度発現性が低い特徴を有しており、締固めを必要とする高流動コンクリートにおいては低強度領域の配合へ適用できる可能性が考えられる。

本研究は、締固めを必要とする高流動コンクリートの一般構造物への適用拡大を目的に、セメントの一部をフライアッシュに置換した場合のフレッシュ性状および強度特性について評価検討を行った。

2 実験概要

2.1 使用材料およびコンクリート配合

表-1にコンクリートの配合を示す。材料は、普通ポルト

* 技術センター 土木研究部, ** 千葉工業大学, *** 電力中央研究所

表-1 コンクリートの配合

配合 No.	スランプフロー (mm)	空気量 (%)	W/B (%)	W/C (%)	FA/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
							W	B (結合材)		S	G	SP	AE
								C	FA				
1	450 ±50	4.5 ±1.5	54.1	54.1	0	50.0	175	320	-	889	903	4.32	0.0160
2				40.8	10			288	32	884	897	3.92	0.0224
3				68.4	20			256	64	878	891	3.68	0.0288
4			50.0	50.0	0			350	-	877	890	4.20	0.0140
5				55.6	10			315	35	871	884	4.03	0.0210
6				62.5	20			280	70	865	878	3.85	0.0245
7			46.1	46.1	0			380	-	861	877	5.13	0.0171
8				51.2	10			342	38	858	871	4.37	0.0266
9				57.6	20			304	76	851	864	4.28	0.0380
10	550 ±50	4.5 ±1.5	42.7	42.7	0	50.0	175	410	-	852	865	5.74	0.0226
11				47.4	10			369	41	845	858	5.33	0.0390
12				53.4	20			328	82	838	850	4.72	0.0410

ランドセメント (C, 密度: 3.16g/cm³), 砕砂 (S, 表乾密度: 2.62g/cm³, 実積率: 55.8%), 砂岩砕石 2005 (G, 表乾密度: 2.66g/cm³, 実積率: 59.8%), フライアッシュ II 種 (FA, 密度: 2.23g/cm³, 強熱減量: 2.3%, 比表面積: 3600cm²/g, 材齢28日活性度指数: 92%), 高性能 AE 減水剤 (SP), AE 減水剤 (AE) を用いた。「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⁾ (以下, 指針と称す) 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値 (350kg/m³) を基準配合とし (配合 No.4), 配合 No.5, 6はセメントの10%および20%をフライアッシュに置換, 配合 No.1~3および7~9は単位結合材量を-30kg/m³および+30kg/m³, 配合 No.10~12は目標スランプフローを550mm と設定した配合とした。

2.2 試験方法

コンクリートのフレッシュ性状は, スランプフロー試験および空気量試験によって確認し, 目標スランプフローは配合 No.1~9は450±50mm, 配合 No.10~12は550±50mm とし, 目標空気量は4.5±1.5%とした。

図-1に間隙通過性評価試験および材料分離抵抗性評価試験の概要を示す。加振ボックス充填試験 (JSCE-F701-2018に準拠) から算出される間隙通過速度および粗骨材量比率によって間隙通過性を, 沈下量試験 (JSCE-F702-2022に準拠) から算出される粗骨材量比率によって材料分離抵抗性を評価し, フライアッシュへの置換によるそれぞれの性状の変化を確認した。

圧縮強度試験は JIS A 1108に準拠して行った。

3 実験結果および考察

3.1 間隙通過性

図-2および図-3に加振ボックス試験によって算出された, それぞれの単位結合材量における間隙通過速度および粗骨材量比率を示す。一部の場合を除き, 間隙通過速度および粗骨材量比率は, フライアッシュ置換率が増加するほど大きくなる傾向にあった。また, 単位結合材量

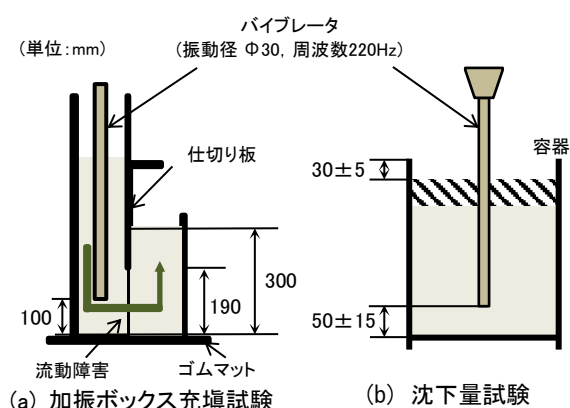


図-1 間隙通過性評価試験および材料分離抵抗性評価試験

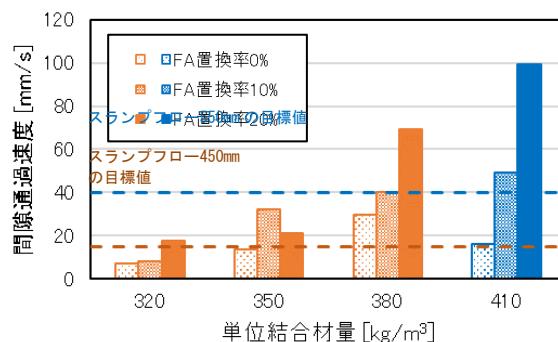


図-2 各単位結合材量における間隙通過速度

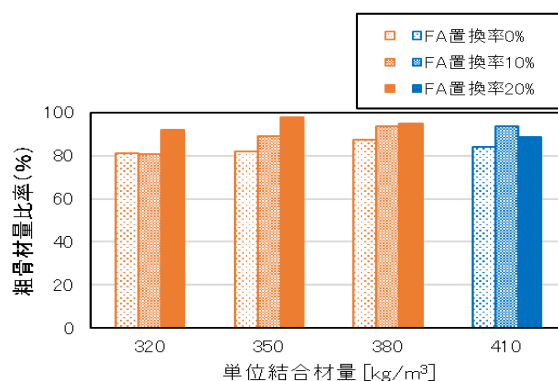


図-3 各単位結合材量における粗骨材量比率 (加振ボックス試験)

380kg/m³の配合を除き、セメント単味の場合は指針で示されている間隙通過速度の目標値(スランプフロー450mmの場合は15mm/s以上、スランプフロー550mmの場合は40mm/s以上)を下回っていたが、フライアッシュの置換により目標値を満足することが確認された。以上の結果から、セメントの一部をフライアッシュに置換することにより振動締固めを行った際の間隙通過性が向上し、置換率が大きいほど間隙通過性は高いと考えられる。

3.2 材料分離抵抗性

図-4に沈下量試験から算出された粗骨材量比率を示す。いずれの場合においても、指針で示されている材料分離抵抗性の目標値(粗骨材量比率40%以上)を上回る結果となった。フライアッシュ置換率が10%の場合はセメント単味よりも粗骨材量比率は低下し、フライアッシュ置換率が20%の場合はセメント単味とおおむね同程度の値となった。この原因としては、フライアッシュの置換率によってモルタルの粘性が変化することが考えられた。そこで、ベーンせん断試験によってモルタルの粘性を確認し、材料分離抵抗性との関係を確認した。

ベーンせん断試験においては既往の研究³⁾を参考とし、計測結果から最大せん断応力を算出した。図-5に各单位結合材量における最大せん断応力を示す。単位結合材量350kg/m³の場合はフライアッシュ置換率が増加するにつれ最大せん断応力が大きくなる傾向となった。単位結合材量380kg/m³および410kg/m³ではフライアッシュ置換率10%の場合が最も小さく、セメント単味とフライアッシュ置換率20%の場合は同程度の値であり、単位結合材量によってフライアッシュ増加率と最大せん断応力の関係が異なることが確認された。

図-6に最大せん断応力と沈下量試験から算出された粗骨材量比率の関係を示す。セメント単味およびフライアッシュ置換率10%の場合は最大せん断応力が増加するにつれ粗骨材量比率が大きくなる傾向であった。フライアッシュ置換率20%の場合はいずれの最大せん断応力においても粗骨材量比率は60%程度で一定の値となり、フライアッシュ置換率を大きくすることにより、安定した材料分離抵抗性を確保できる可能性があると考えられた。

3.3 圧縮強度

図-7に材齢28日の圧縮強度試験結果を示す。いずれの単位結合材量においても、フライアッシュ置換率が大きくなるにつれ圧縮強度は小さくなる傾向となった。また、配合No.3は30N/mm²、配合No.12は38N/mm²であったことから、(1)式からNo.3は呼び強度24N/mm²に、配合No.12は呼び強度30N/mm²に相当する圧縮強度であるといえる。

$$m = S_L + 2.5\sigma \quad (1)$$

ここに、 m : 配合強度 (N/mm²)
 S_L : 呼び強度 (N/mm²)

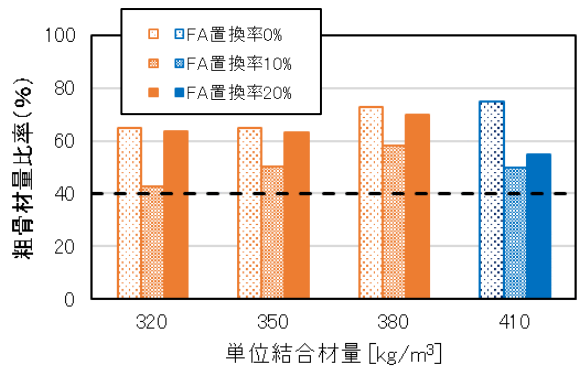


図-4 各单位結合材量における粗骨材量比率(沈下量試験)

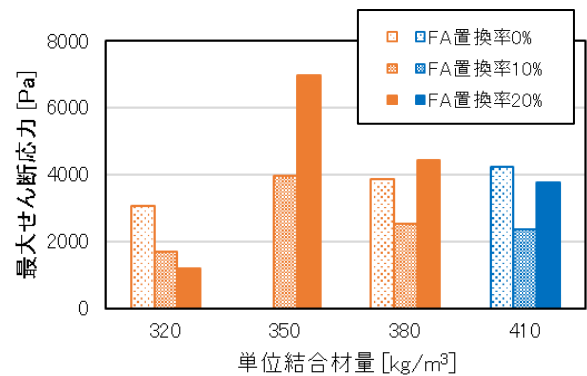


図-5 各单位結合材量における最大せん断応力

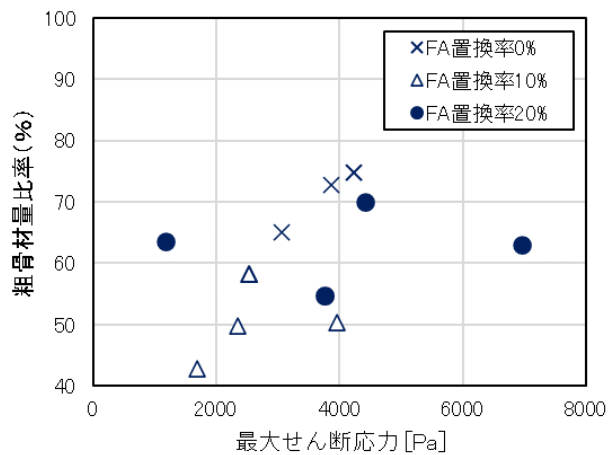


図-6 最大せん断応力と粗骨材量比率の関係(沈下量試験)

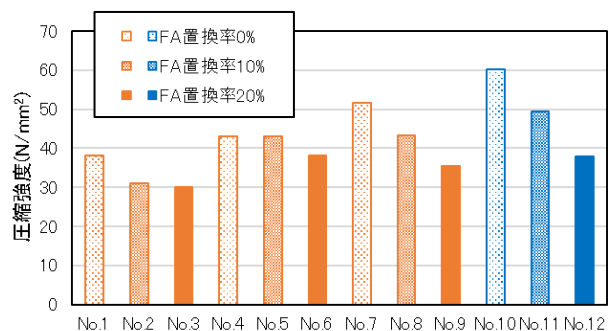


図-7 圧縮強度試験結果(材齢28日)

σ : 標準偏差 (N/mm², 2.5とする)

したがって、フライアッシュ置換率を増やして呼び強度を低く設定することで、低強度領域においても高流動コンクリートの製造が可能であることが考えられる。

4 おわりに

締固めを必要とする高流動コンクリートにおいて、セメントの一部をフライアッシュに置換することにより、間隙通過性および材料分離抵抗性が向上することが確認された。フライアッシュの使用は、セメント量の削減および高流動コンクリートの適用範囲拡大が可能となるため、CO₂排出量削減や生産性向上において有効であるといえる。

今後は、締固めを必要としない高流動コンクリート（自

己充填コンクリート）においても、セメントの一部をフライアッシュに置換した場合の影響を確認する予定である。

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, pp.1107-1112, 2018