

フライアッシュ中の未燃カーボンに注目したジオポリマーモルタルのフレッシュ性状

九州工業大学大学院	学生会員	○五島敬太
九州工業大学大学院	正会員	合田寛基 日比野誠
西松建設株式会社	正会員	原田耕司
北九州市立大学	非会員	高巢幸二

表 1 使用材料

材料	密度(g/cm ³)	強熱減量(%)
アルカリシリカ溶液(GPW)	1.40	-
フライアッシュ (FA)	FA-13	2.09
	FA-1.1	2.18
高炉スラグ微粉末(BFS)	2.90	-
海砂(S)	2.55	-

1. はじめに

フライアッシュ(以下, FA), 高炉スラグ微粉末(以下, BFS), シリカフュームなどの活性フィラーとケイ酸ナトリウムなどを主材料とするジオポリマー(以下, GP)は, セメントクリンカーを使用しないため, セメントクリンカーを使用した場合より, 80%程度二酸化炭素を削減できると試算されている。これまでに, GP の基礎物性, 構造利用や耐久性などの研究がなされている。また, 近年, 未燃カーボンを除去して得られる FA の有効活用も期待されているが, GP での検討事例で BFS 置換率と材料特性に言及した事例はない。

そこで本研究では, 未燃カーボンを除去することで得られる FA(以下, FA-1.1)と未燃カーボンを除去する前の FA(以下, FA-13)に BFS を併用して作製した GP モルタルのフレッシュ性状に関する評価を行うことを目的とした。なお, 未燃カーボンの除去方法としては浮遊選鉱法¹⁾を採用した。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

活性フィラーは, FA として FA-13, FA-1.1 を用いた。また, 粉体は FA の他に高炉スラグ微粉末(以下, BFS)を用いた。細骨材はモルタル中の含水量に影響を与えないように, 絶乾状態の海砂を使用した。配合に関して, ペーストが流動性に寄与するため本実験では, ペーストと細骨材の割合を体積比で 1:1 とし, 細骨材量が一定のモルタル配合とした。使用材料の物性を表 1 に示す。

未燃カーボン量が多い FA を使用した GP では, 流動性が著しく悪化することが懸念されることから, 配合選定のため予備実験を行った。予備実験は BFS を全粉体の体積比で置換した割合(以下, BFS/P)が 10%において, GP 溶液と粉体の比(GPW/P) をパラメータとして, フロー試験を実施した。なお, 各 FA を用いた GP モルタルの目標フロー値は 170mm±10mm とした。その後, 決定した BFS/P=10%の配合を基本配合とし, GPW を一定にしたまま BFS/P=30%, 50%の配合を決定した。GP モルタルの配合を表 2 に示す。

表 2 GP モルタルの配合

FA 種別	BFS/P	GPW	FA	BFS	S
	%	kg/m ³			
FA-13	10	417	361	56	1250
FA-1.1		351	470	69	
FA-13	30	417	281	167	
FA-1.1		351	365	208	
FA-13	50	417	201	278	
FA-1.1		351	261	347	

2.2 実験方法

本実験では, ペースト容積一定の条件の下で, BFS/P をパラメータとして前節の配合に基づき作製した GP モルタルを対象に, モルタルフローの広がり測定する試験(以下, フロー速度試験), モルタルフロー試験(JIS R 5201), モルタルフロー可使時間の測定を実施した。フロー速度試験の実験方法については, 透明なアクリルテーブル上でフロー試験を行い, その様子を下からデジタルカメラで動画撮影を行った。フローコーンを上げた瞬間を 0 秒とし, その後 2 秒ごとのフロー値をフローの広がり収束するまで計測した。フロー速度については以下の式(1)に従い算出した。

$$U = \frac{L_{n+1} - L_n}{T_{n+1} - T_n} \cdots (1)$$

U : フロー速度(mm/s)

L : フロー値(mm)

T : 測定時間(s)

フロー試験ではフローコーンを引き上げ、フローの広がり方が収束した時点でのフロー値を0打フロー値とし、その後フローテーブルによって15回の打撃を与えたものを15打フロー値とした。可使時間の測定は0打フロー値が練り上がり直後からのフロー値から100mmに達するまでの時間を10分おきに計測した。

3. 実験結果および考察

図1に基本配合(BFS/P=10%)におけるフロー速度試験の結果を示す。FA-1.1GP、FA-13GPともに30秒経過したあたりからはフローが収束し始め、ほとんどフロー速度に差異は見られないが、最初の20秒程度、特に0秒から10秒あたりではFA-1.1GPの方がFA-13GPよりもフロー速度が大きくなった。FA-1.1を用いたGPモルタルでは未燃カーボンが少なくFAの球形が多いため転がり抵抗が小さいが、一方で、FA-13を用いたGPモルタルはFA-1.1GPに比べて未燃カーボンが多く形状が複雑なFAが多いため、抵抗が大きくなるので、FA-1.1GPの方がFA-13GPに比べてフローの広がり方が速くなったと考えられる。

図2に、本研究で得られたフロー試験の結果を示す。同図より、FA-1.1を使用したGPモルタルではBFS/Pの増加に伴い、フロー値は小さくなった。しかし一方で、FA-13GPでは、BFS/Pとフロー値に関係性が見られなかった。このことから、FA-1.1GPと異なり、強熱減量の高いFA-13GPではBFS/PとGPモルタルのフロー値に関係性がないことが示された。

図3にBFS/P毎のフロー値の経時変化を示す。BFS/Pが大きくなるに伴い、FA-13GP、FA-1.1GPともに、可使時間が減少していることがわかる。特に、BFS/Pの増加に伴って、FA-1.1GPでは可使時間が短くなる傾向がみられる。この要因としてFA-1.1GPでは、モルタル中のBFSとGPWの接触面積が増加し、BFSによる硬化反応が急速に進んだためと考えられる。

4. まとめ

本実験環境下で得られた知見を以下に示す。

- (1) FA-1.1GPではBFS/Pの増加に伴いフロー値が低下したが、FA-13GPではフロー値とBFS/Pの関係性が確認できなかった。
- (2) BFS/Pの増加に伴い、使用するFAに関わらず可使時間は短くなるが、未燃カーボンの多いFA-13GPではFA-1.1GPよりも可使時間が長くなる傾向を示した。
- (3) 初期のフロー速度は転がり抵抗の小さいFA-1.1GPがFA-13GPよりも速くなるため、同一フロー値が得られても、広がり方に差異があることが確認された。

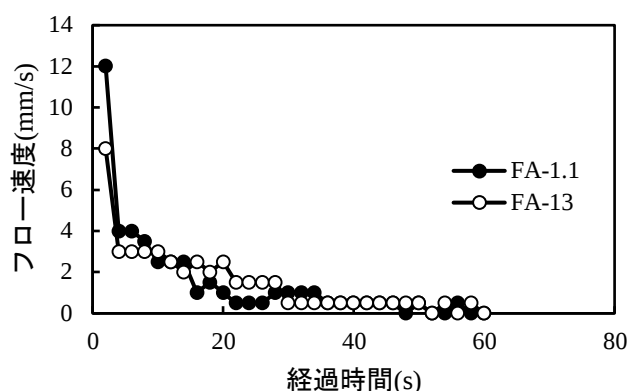


図1 フロー速度と経過時間の関係

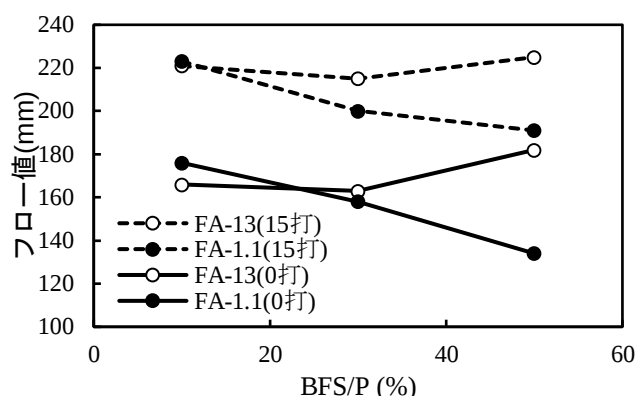


図2 フロー値とBFS/Pの関係

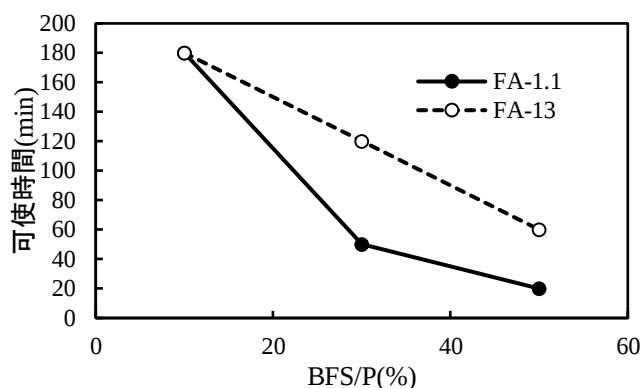


図3 フロー値の経時変化

謝辞

本研究は、環境研究総合推進費【3-1703】の助成を受けて実施した。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 森山伸智、高巢幸二、松藤泰典、三浦和侑：浮遊選鉱法によるフライアッシュ中の未燃カーボン除去に関する実験的研究 その1 中型未燃カーボン除去装置の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸)、2010年9月