

未燃カーボン除去のフライアッシュを使用したジオポリマーモルタルの材料特性

九州工業大学大学院
九州工業大学大学院
西松建設株式会社

学生会員
正会員
正会員

○五島敬太
合田寛基 日比野誠
原田耕司

1.はじめに

フライアッシュ(以下、FA)を主たる活性フィラーとするジオポリマー(以下、GP)は、大量に埋立て処分が行われている石炭灰の有効利用に大きく貢献できるため、次世代のコンクリートバインダーとなりうる可能性を有している。一方、FAについては、発電施設の飛灰集塵性能により、多様なFAが集塵され、その品質についても様々である。近年、FAの有効利用が注目され、未燃カーボンを除去する改質技術が開発運用されつつある。同技術による改質FAは、GPの材料特性の向上が期待されるものの、検討事例はない。

そこで本研究では、FA中の未燃カーボンを分離できる浮遊選鉱法に着目し、未燃カーボンを除去して得られる改質FA(以下、改質灰)を使用したGPモルタルの流動性、強度特性について未燃カーボン除去前のFA(以下、原灰)を使用したGPモルタルと比較するとともに、GP製造時のCO₂排出量について未燃カーボン除去による影響の評価を行った。

2.実験概要

2.1 使用材料と配合

活性フィラーは、産出元の異なる2種類のFA(FA-A、FA-B)を用いた。GPは、全粉体をFAとした配合が望ましいが、強度が非常に低く、評価が困難であったため、評価可能な強度が得られるよう、高炉スラグ微粉末(以下、BFS)をFAの質量比で10%置換した。また、ペーストの物性を比較することから、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。養生条件は最高温度80℃、同保持時間を24時間とした。使用材料の物性および配合を表1、表2に示す。表2中の1と2は同一フロー値、1と3は同一GPW/Pが得られた配合をFA種別に示した。

2.2 検討内容

本研究では、ペーストの容積一定のまま、GPW/P(FA+BFS)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、モルタルフロー試験(JISR 5201)、圧縮強度試験(JISA 1108)を実施した。モルタルフロー試験、圧縮強度試験

キーワード ジオポリマー、フライアッシュ、未燃カーボン、流動性、圧縮強度

連絡先 〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学 建設社会工学科 TEL 093-884-3122

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	-
FA-A	原灰	2.12	8.41
	改質灰	2.17	0.79
FA-B	原灰	2.14	10.08
	改質灰	2.17	0.84
高炉スラグ微粉末(BFS)		2.90	-
海砂(S)		2.56	-

表2 GPモルタルの配合例

FA種別			GPW/P	GPW	FA	BFS	S
			kg/m ³				
1	A	原灰 GP	85	391	414	46	1254
2		改質灰	65	349	483	54	
3		GP	85	394	418	46	
1	B	原灰 GP	95	411	389	43	
2		改質灰	75	373	448	50	
3		GP	95	413	391	43	

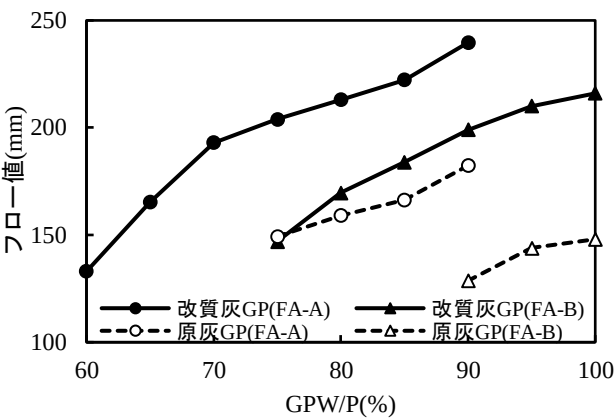


図1 GPW/Pとフロー値の関係

の結果をもとにFAの改質によるGPモルタルの材料特性への影響を評価した。また、李らの研究¹⁾の環境負荷原単位をもとにCO₂排出量を算出した。

3. 実験結果および考察

図1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 種別により同一 GPW/P でのフロー値に相違があるものの、いずれも改質灰 GP のフロー値は原灰 GP のそれと比較して約 125%~140%を示した。原灰では、球体である FA の表面に粘着質で複雑な形の未燃カーボンが付着し、複数の FA 粒子が結合することで、転がり抵抗が大きくなっている。改質によって FA 中から未燃カーボンが除去されたことにより、FA の転がり抵抗が小さくなり、GP モルタルの流動性が向上したものと考えられる。

次に、圧縮強度において改質による影響を確認するため、フロー値が一定の配合と GPW/P が一定の配合で比較した。図2に FA 別の圧縮強度と GPW/P の関係を示す。GPW/P が一定の配合で比較した場合、FA の種類に関わらず、FA 改質前後の GP ではほぼ同じ強度を示した。これにより、同一 GPW/P の条件下では、圧縮強度は概ね同一である傾向が示された。

一方、フロー値が一定の配合については、フロー値が 150mm 程度のものを採用した。図3に、同条件における GPW/P と圧縮強度の関係を示す。同図より、同流動性を有する場合、改質灰 GP の圧縮強度は、原灰 GP の約 170%~200%を示した。この要因として、改質灰 GP では、原灰 GP と同一フローを得るための単位 GPW 量が減少したことで、GPW/P が相対的に低下し、改質灰 GP の圧縮強度が大きくなったものと考えられる。

環境評価に関して、図5に式(1)を用いた同一フロー値の原灰 GP と改質灰 GP を比較した場合の CO₂ 排出量を示す。

$$EII = M_m \times I_{pm} \quad (1)$$

EII：製造段階の環境影響指標

M_m ：1m³のコンクリートの製造に消費される原材料 m の量(kg)

I_{pm} ：原材料 m の製造による環境影響原単位(円/kg)

環境負荷低減評価のため、改質灰と同程度の強度を有する OPC モルタル(同一ペースト量)での CO₂ 排出量とも比較した。同図より、GP は OPC よりも CO₂ 排出量が明らかに少ない。また、未燃カーボンを除去することによって改質灰 GP は流動性が増加するため、一定の流動性を確保するための GPW 量を減少させることが可能となる。その結果、原灰 GP よりもさらに CO₂ 排出量の削減が可能であることが示された。

4. まとめ

本実験環境下で得られた知見を以下に示す。

- (1) 強熱減量の高い FA から未燃カーボンを除去することで FA が改質され、原灰 GP と比べて改質灰 GP のフロー値が約 125%~140%に増加した。

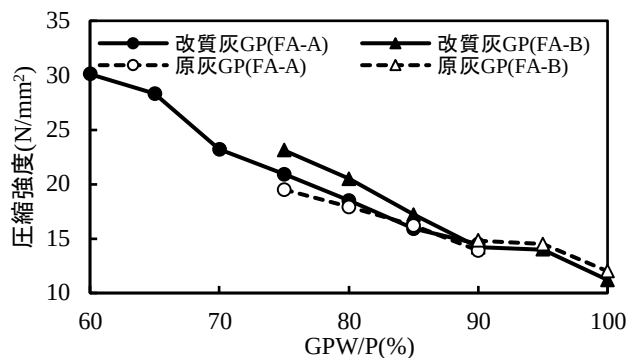


図2 GPW/P と圧縮強度の関係

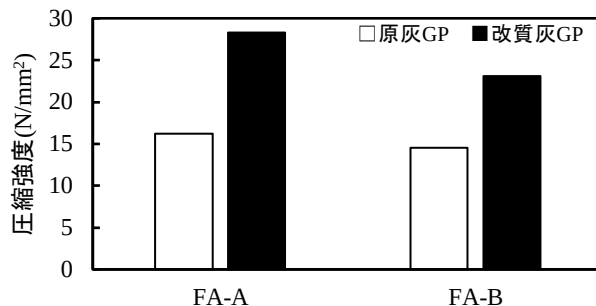


図3 同一フロー値を有する場合の圧縮強度

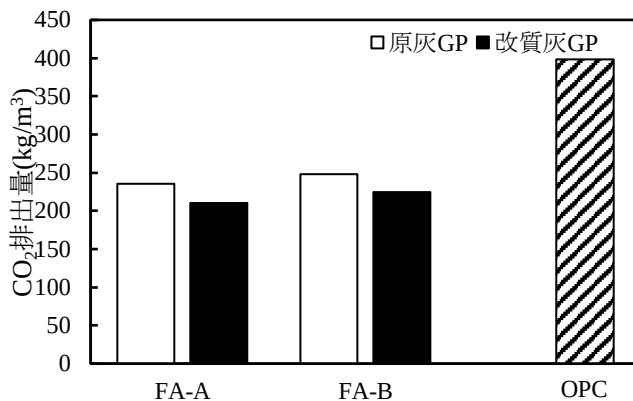


図4 CO₂ 排出量の比較

- (2) 流動性の向上によって、改質灰 GP では原灰 GP と同一フローが得られるまでの単位 GPW 量を削減できるため、GPW/P が相対的に低下し、改質灰 GP の圧縮強度が約 170%~200%に増加した。

- (3) 改質によって GP 材料の主な CO₂ 排出元である GP 溶液量を削減できるため、OPC と比較して約 30%、原灰 GP と比較して約 10%、CO₂ 排出量を削減することが可能である。

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) 李柱国, 大久保孝昭: コンクリートの環境影響の評価方法に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 81 巻, 第 720 号, p199-209, 2016 年