

パームヤシ殻燃焼灰を混合したジオポリマーモルタルの物理的特性

鹿児島工業高等専門学校 (学) ○山ノ内 諒, (正) 安井 賢太郎, (正) 山内 正仁
鹿児島大学 (学) 出口 青空

1. はじめに

パーム油の生産が盛んな東南アジア諸国で副産物として大量に発生したパームヤシ殻 (PKS) は, 日本に輸入され, バイオマス発電に利用されている. その一方で, 発電後の焼却残渣である PKS 燃焼灰 (PKSA) は, 一部が肥料として利用されている以外は埋め立てられている¹⁾ことから有効利用が求められている.

近年, セメントと比較して製造に伴う CO₂ 排出量を削減できる材料としてジオポリマー (GP) が注目されているが, その流動性が悪いことや, 活性フィラーであるフライアッシュ (FA) が石炭火力発電の縮小に伴って供給不安定になることが課題である. 既往の研究では, GP 材料の水ガラスを構成するケイ酸ナトリウムの一部をケイ酸カリウムに置換することで流動性が向上する²⁾ことが報告されており, カリウムを豊富に含む PKSA を活性フィラーとして利用することで GP の流動性向上が期待できる.

本研究では, PKSA の有効利用方法の確立, 及び GP の流動性向上を目的に, FA を PKSA に置換した GP モルタルの物理的特性について検討した.

2. 実験概要

2.1 使用材料及び配合

表-1 に使用材料を示す. アルカリシリカ溶液 (GP 溶液: GPW) は, 5.0 mol/L の NaOH 水溶液と水ガラス 3 号を容積比 1:1 の割合で混合したものをを用いた. PKSA は, 0.3 mm 以下に粉砕したものをを用い, 活性フィラーは, フライアッシュ I 種 (FA), 及び高炉スラグ微粉末 (BS) をを用いた. 表-2 にこれらの成分組成を示す. また, 表-3 に GP モルタルの配合を示す. PKSA 及び BS の置換率が GP の物性値に及ぼす影響を検討するために, 全粉体容積に対して PKSA を 0~50%, BS を 0, 5%に置換する配合とした. また, 表-4 に硫酸浸漬試験における比較用として作製したセメントモルタルの配合を示す.

2.2 供試体作製方法, 養生方法及び試験項目

供試体の作製では, 容量 2 L のモルタルミキサに標準砂と活性フィラーを入れて空練り 2 分間, そこに GPW

表-1 使用材料

記号	材 料	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)
GPW	GP 溶液	1.30	—
FA	フライアッシュ I 種	2.36	5650
PKSA	PKS 燃焼灰	2.83	9873
BS	高炉スラグ微粉末	2.91	4160
S	細骨材 (標準砂)	2.64	—
W	蒸留水	1.00	—
C	普通ポルトランドセメント	3.16	3260

表-2 活性フィラーの成分組成

成分 (%)	PKSA	FA	BS
SiO ₂	19.2	52.3	30.5
Al ₂ O ₃	—	32.3	13.6
K ₂ O	56.0	1.00	0.40
CaO	7.65	2.53	45.9
Cl	5.49	—	—
MgO	5.16	1.51	6.37
P ₂ O ₅	3.54	0.67	—
SO ₃	1.56	0.76	2.01
Fe ₂ O ₃	0.68	7.37	0.25
Others	0.72	1.56	0.97

表-3 GP モルタルの配合

記号	混合率 (vol. %)		単 位 量 (kg/m ³)				
	BS/P	PKSA/P	GPW	FA	PKSA	BS	S
P0	0	0	309.3	618.5	0.0	0.0	1320
P10		10		556.7	74.2		
P20		20		494.8	148.3		
P50		50		309.3	370.9		
P0'		0		587.6	0.0		
P10'	5	10	309.3	525.8	74.2	38.1	1320
P20'		20		463.9	148.3		
P50'		50		278.3	370.9		

表-4 セメントモルタルの配合 (kg/m³)

記号	W	C	S
OPC	306.2	612.4	1320

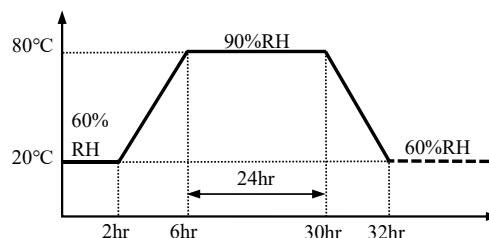


図-1 養生における温度, 湿度, 及び時間

を入れて練り混ぜ 1 分間, 掻き落とし 30 秒間, 二次練り混ぜ 90 秒間を経て材料を均質に混合した. 次に材料を φ50×H100 mm の円柱モールドに打設し, 振動締固めを行った後, 図-1 に示す温度と湿度を設定したプログラム式恒温恒湿装置の中で蒸気養生を行った. 材料混合直後の GP 流動性, 及び可使時間を測定するため,

フロー試験 (JIS R 5201) と可使時間を簡易的に測定できるスプーン法³⁾を実施した。また、圧縮強度試験を蒸気養生終了後に速やかに実施した。加えて、GP は耐酸性に優れた材料であることから、PKSA 混合率が GP の耐酸性に及ぼす影響を検討するため、5%硫酸水溶液 (pH=0.57) を用いた硫酸浸漬試験を行った。なお、水溶液は供試体 1 本に対して 2L を容器に入れ、1 週間に 1 回の頻度で交換した。

3. 試験結果及び考察

図-2 にフロー値、可使時間と PKSA 置換率の関係を示す。ここで、スプーン法による可使時間の判定には個人差があると考えたため参考値とする。FA の 10~20% を PKSA に置換することで、フロー値、可使時間共に増加し、流動性の向上が認められた。また、FA の 5% を BS に置換した場合においてもフロー値は約 200 mm を示した。しかし、PKSA 置換率が 20% を超えると BS の有無に関わらずフロー値、可使時間共に減少した。

図-3 に圧縮強度と PKSA 置換率の関係を示す。FA の 10~20% を PKSA に置換することで圧縮強度が増加し、20% を超えると圧縮強度が低下することが確認された。これらは、PKSA 置換により、PKSA に含まれるカリウムが、GP 溶液のナトリウムと置換して流動性が上昇し、その後の縮合力が向上したものと考えられる。その一方、シリカやアルミナの少ない PKSA の置換率を大きくすると、活性フィラーから溶出する金属量が相対的に減少したことで強度低下が起こったものと考えられる。図-2, 3 より、フロー値、圧縮強度がともに増加する最適な PKSA 置換率は約 20% であった。

図-4 に硫酸浸漬試験における質量減少率の時間変化を示す。PKSA に置換した GP は組織崩壊により FA100% の GP と比較して質量減少が認められ、置換率の増大に伴い顕著であった。これは、PKSA 置換によって GP に占めるカルシウムの割合が多くなったためと考えられる。但し、OPC と比較すると、質量減少量は低かった。

4. まとめ

本研究では、FA を PKSA に置換した GP の物理的特性を検討し、以下の知見が得られた。

- 1) PKSA を 20% 置換した GP に、流動性向上と圧縮強度の増加が認められた。
- 2) FA 容積の 5% を BS に置換することで GP の強度増加が認められ、さらに PKSA を置換することで、フロ

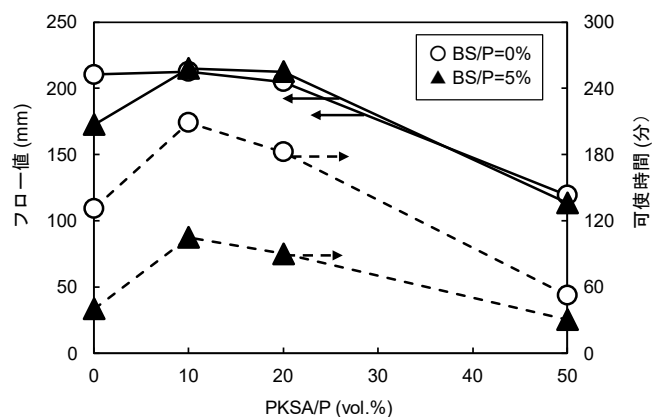


図-2 GPの流動性

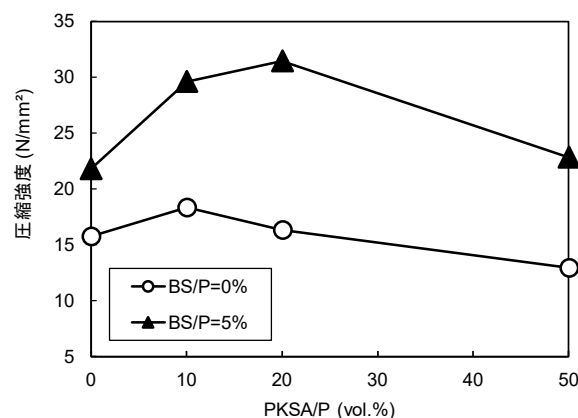


図-3 GPの圧縮強度

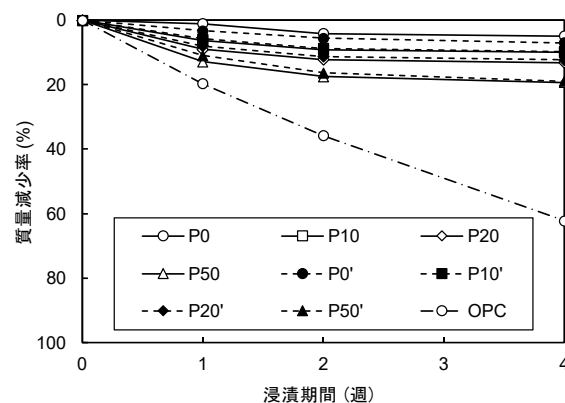


図-4 GP質量減少率の時間変化

一値 200 mm の良好な流動性を示す GP が得られた。

- 3) PKSA 置換率の増加に伴い GP の耐酸性が低下したが、OPC と比較すると優れていた。

以上のことから、PKSA を GP の活性フィラーとして利用できることが示唆された。

参考文献：

- 1) P.P. Ikubanni, M. Oki, A.A. Adeleke, A.A. Adediran, O.S. Adesina: Influence of temperature on the chemical compositions and microstructural changes of ash formed from palm kernel shell, *RINENG*, Vol. 8, 100173, 2020
- 2) 一宮一夫, 津郷俊二, 原田耕司, 池田攻: フライアッシュベースのジオポリマーの配合ならびに高温抵抗性, *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 36, No. 1, pp. 2230-2235, 2014
- 3) 原田耕司, 一宮一夫, 津郷俊二, 池田攻: ジオポリマーの諸特性に関する一考察, *コンクリート工学年次論文集*, Vol. 34, No. 1, 2012