

メタカオリン含有人工ポゾランと普通セメントおよび各種混和材料を混合した 三成分系セメントペーストの強度特性

東京理科大学 正会員 ○江口 康平 鹿児島大学 正会員 武若 耕司
鹿児島大学 正会員 山口 明伸 鹿児島大学 学生会員 畠中 優成

1. はじめに

近年、環境負荷低減の観点から、建設産業の分野では高炉スラグ微粉末(GGBS)やフライアッシュ(FA)等の産業副産物の有効利用が推奨されている。これらの材料をコンクリート混和材として使用した場合、高い耐久性が得られる反面、初期強度が低下するといった短所があり改善が求められている。一方、現在、炭鉱ボタや石炭灰、高炉スラグ微粉末等の産業副産物を利用した、メタカオリン含有人工ポゾラン(MKP)と呼ばれるポゾラン材料の開発が行われている。この材料は、セメントに混合することで急速なポゾラン反応を生じることが明らかとなっており、セメントの強度改善効果が期待されるものである。ただし、MKPはその反応に多量の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を必要とするため、最適な混合割合が存在することが予想される。そこで、本研究では、MKPの初期強度改善効果に期待し、結合材中の普通ポルトランドセメント(OPC)、MKP、GGBSあるいはFAの割合を変化させた供試体を作製し、圧縮強度の観点からそれらの最適な配合バランスについて検討を行った。

2. MKPの物性および化学組成

本検討で使用した材料の物性および化学組成を表-1に示す。結果を見ると、本研究で使用したMKPはGGBSやFAに比べて、比表面積が2倍以上と非常に細かく、メタカオリンの主成分である SiO_2 や Al_2O_3 に加えて、CaOもFAに比べると多く含む特徴がある。

表-1 使用材料の物性および化学組成

	密度 (g/cm^3)	ブレン値 (cm^2/g)	SiO_2	CaO	Al_2O_3	SO_3	Fe_2O_3	MgO
MKP	2.62	9630	42.4	29.5	14.6	6.7	2.6	1.1
OPC	3.15	3370	18.0	66.9	4.5	3.5	4.3	1.6
GGBS	2.90	4189	30.7	44.1	14.1	1.7	0.4	7.4
FA	2.25	4113	66.9	3.6	19.6	0.7	5.5	0.8

3. 実験概要

本検討に使用した供試体は $\phi 5 \times 10 \text{cm}$ の円柱セメントペーストとし、W/Cを40%一定とした。図-1には作製した供試体の結合材混合割合を三成分系図で示す。結合材混合割合については、OPC(以下、C)は50~100%の範囲で混合し、MKP、GGBS、FA(以下、M、B、Fと表記)については、それぞれ0~50%の範囲で混合する計36配合で検討を行った。なお、各結合材の名称については、例えば、結合材混合割合がOPC50%、GGBS30%、MKP20%の配合はC50:B30:M20と表記する。作製した供試体は、脱型後、標準水中養生を施し、所定の材齢(7, 28, 66日)を経過した時点で圧縮強度試験を実施する。

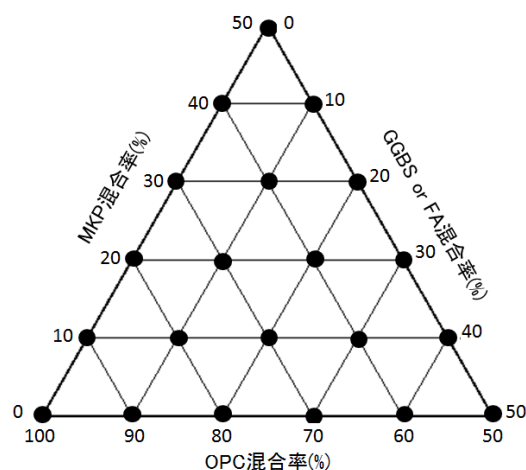


図-1 供試体配合の三成分系図

4. 試験結果および考察

図-2には、OPC、MKP、GGBSを混合した三成分系供試体、図-3にはOPC、MKP、FAの三成分系供試体の圧縮強度をマッピングしてそれぞれ示す。まず、OPC:GGBS:MKPの三成分系供試体について材齢7日時の強度をみると、三角形の底辺に位置するOPCとGGBSの二成分系では、GGBSの置換率が増加するほど、強度は低下している。一方で、左辺に位置するOPCとMKP二成分系についてみると、GGBSの様な置換率増加に伴う強度低下は生じず、C80:M20およびC60:M40供試体はC100供試体と同程度の強度を有していた。次にOPCを50%で固定し、残りをMKPとGGBSとした三成分系の配合を見ると、GGBSをMKPで置き換えることでC50:B50供試体より強

キーワード：メタカオリン含有人工ポゾラン、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ、圧縮強度、三成分
連絡先：〒278-0022 千葉県野田市山崎 2641 5 号館コンクリート研究室 TEL:04-7124-1501(内線:4054)

度が高くなっていた。これは、MKP が初期に急速なポズラン反応を生じたためだと考えられる。

材齢が 28 日となった場合、殆どの供試体で C100 供試体と同等以上の強度となり、特に C50:B10:M40, C50:B20:M30 供試体では C100 および C50:B50 供試体よりも強度が高い。また、

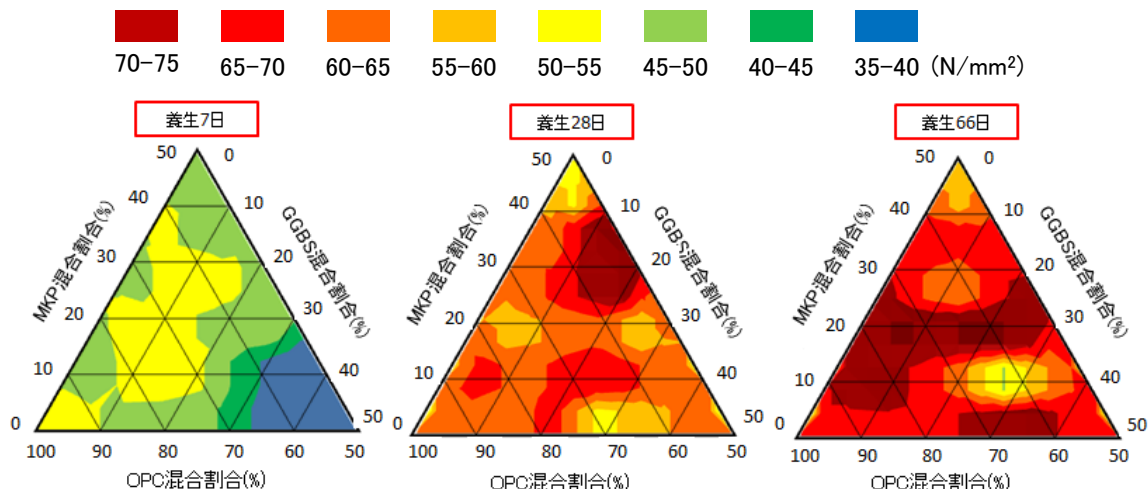


図-2 OPC:GGBS:MKP の三成分系セメントペースト供試体における圧縮強度のマッピング

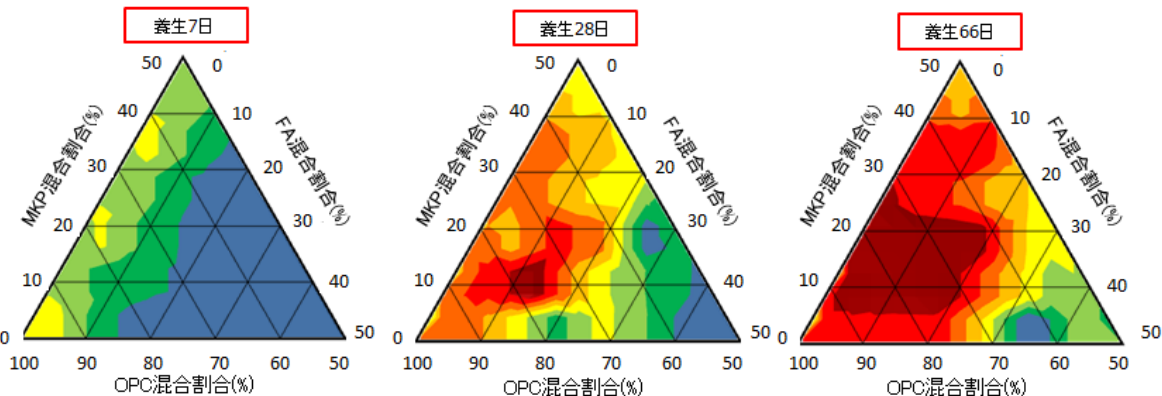


図-3 OPC:FA:MKP の三成分系セメントペースト供試体における圧縮強度のマッピング

材齢が 66 日と長期となった場合、ほぼ全ての供試体で C100 供試体と同等以上の強度になっており、MKP を 20% とし、残りを OPC および GGBS とした供試体では、特に高い強度が得られた。

次に、図-3 に示す OPC:FA:MKP の三成分系図の、材齢 7 日における OPC と FA の二成分系配合をみると、20% 以上 FA を置換した配合は大きく強度が低下している。また、MKP を混合した三成分系の配合についてみても、OPC を上回る強度は得られていない。ただし、OPC 割合を一定とし、FA と MKP のバランスを変化させた配合に着目すると、FA を MKP で置き換えるほど、強度が向上する傾向がみられる。材齢が 28 日となった場合も同様に、OPC 割合を一定とした場合、FA の一部を MKP で置き換えていくことで圧縮強度は増加する傾向があり、特にフライアッシュセメント B 種に相当する C80:F20 供試体に対し、FA を MKP で 10% 置き換えた C80:F10:M10 供試体において、最も高い強度が得られた。次に、材齢 66 日の結果について OPC 割合を 50% とした配合を見ると、FA 割合が高いものほど強度が低い。これは、材齢初期に MKP が水酸化カルシウム(CH)を消費したため、FA の長期的なポズラン反応に必要な CH が不足したことが考えられる。一方、結合材中の OPC 割合を 70% 以上確保した三成分系供試体は長期にわたってポズラン反応が生じ高い強度となっている。これらの配合は、材齢 28 日における強度も C100 供試体と同等以上であり、このことから、材齢初期においては MKP の急速なポズラン反応によって強度が増加し、材齢が長期となると、FA のポズラン反応が主となって長期強度が増進したと考えられる。

5. まとめ

今回の検討により、高炉セメントなど、高炉水砕スラグが混合されたセメントの一部を MKP で置換して使用することで、水結合材比が同じでも強度特性を向上できることが明らかとなった。一方、フライアッシュセメントに対して MKP を適用する場合、結合材中の全ポズラン材料の割合が 30% 程度を超えない範囲では、材齢初期においては MKP の急速なポズラン反応により、また、長期的には FA のポズラン反応が主体となり、結果として良好な強度が得られると考えられた。なお、本研究は、「メタカオリン含有人工ポズラン実用化委員会」の中で実施した研究成果を取りまとめたものである。関係各位に心より感謝する。