メタカオリン含有人工ポゾランを使用したコンクリートの中性化抵抗性に関する基礎的研究

鹿児島大学大学院　学生会員　○畠中　優成　　鹿児島大学大学院　学生会員　ブイキャンハオ
鹿児島大学大学院　　正会員　　武若　耕司　　鹿児島大学大学院　　正会員　　山口　明伸

1. はじめに

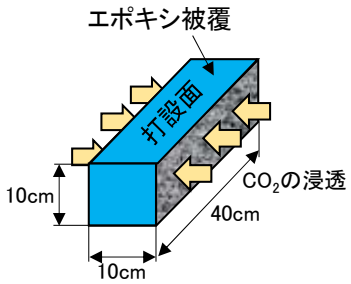
メタカオリン含有人工ポゾラン（以下，MKP）は，炭鉱ボタや石炭灰などの産業廃棄物を利用して製造されたポゾラン材料である．最近，従来の MKP のポゾラン反応性をより高めた新たな MKP も開発され，コンクリート用混和材としての実用化に関する検討が進められている[1)]．既往の研究より，普通ポルトランドセメント（以下，普通セメント），フライアッシュセメントや高炉セメント等の混合セメントに MKP を混合することで様々な利点が得られることが明らかとなっているが[2)]，その反面，MKP のポゾラン反応によりコンクリート中の水酸化カルシウムが消費されるため，中性化抵抗性が低下することが懸念される．そこで本研究では，普通セメント，普通セメントに MKP，フライアッシュまたは高炉スラグ微粉末を混合したコンクリート供試体を作製し，JIS A 1153 に準拠した促進中性化試験を行なうことで，MKP 混合コンクリートの中性化特性に関する検討を行った．

2. 試験概要

検討対象としたコンクリートの示方配合を**表－1** に示す．いずれの配合においても W/B50%，s/a47%，単位水量 175kg/m^3 で一定とした．また，検討対象の MKP については，これまでの検討で使用してきた従来の MKP[例えば,2)](以下，従 MKP）のほか，新たに，主原料である炭鉱ボタの産地を変更, 粒度調整を行なうことでより反応性を高めるなどの改良を行ない製造された MKP（以下，新 MKP）についても検討を行うこととした．すなわち，検討対象の結合材は，普通セメントに MKP を混合したものでは，普通セメントの 10，20，30%を新 MKP で内割り置換したもの（C90:新 M10，C80:新 M20，C70:新 M30），同様に普通セメントの 10，20，30%を従 MKP で内割り置換したもの（C90:従 M10，C80:従 M20，C70:従 M30）とした．また，比較用として，普通セメント（OPC）の他，普通セメントの 20%をフライアッシュで置換しフライアッシュセメント B 種相当としたもの（FB），普通セメントの 50%を高炉スラグ微粉末（GGBS）で置換し高炉セメント B 種相当としたもの（BB）も検討対象とした，なお，GGBS については，無水石膏（g）も内割りで 2%添加した．なお，コンクリートの配合選定では，高性能 AE 減水剤を用いスランプ 8±2.5cm，空気量 4±1.5%を満足するように調整した．

表－1　示方配合

供試体名	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m^3)							
			W	C	FA	GGBS	MKP	g	S	G
OPC	50	47	175	350	－	－	－	－	861	949
C90:新M10				315	－	－	35	－	858	946
C80:新M20				280	－	－	70	－	855	943
C70:新M30				245	－	－	105	－	853	940
C90:従M10				315	－	－	35	－	859	946
C80:従M20				280	－	－	70	－	856	944
C70:従M30				245	－	－	105	－	854	941
FB(C80:F20)				280	70	－	－	－	850	937
BB(C50:B50)				175	－	172	－	4	855	942



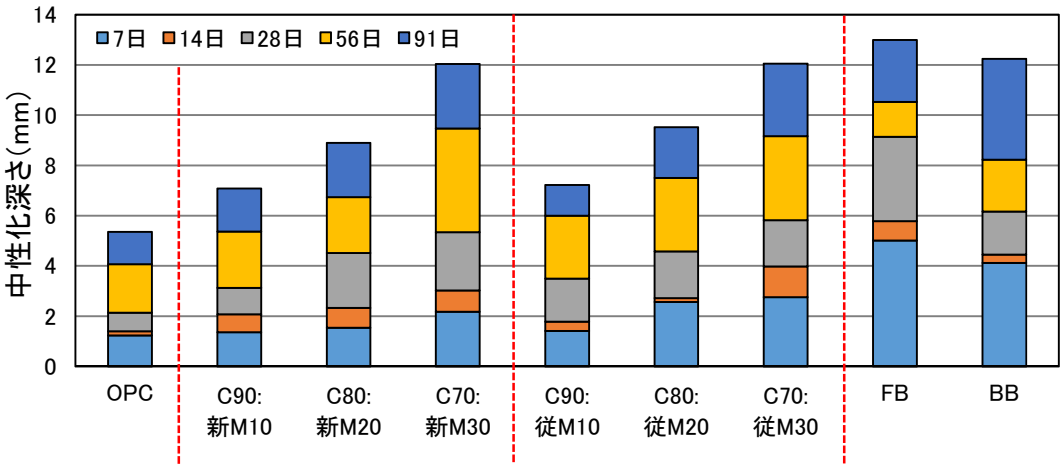
図－1　試験状況

試験に用いた供試体は，**図－1** に示す 10×10×40cm の角柱供試体であり，供試体を作製した翌日に脱型した後，材齢 28 日まで標準水中養生を行ない，その後，材齢 56 日まで温度 20℃の気中環境に静置した．また，養生中の材齢 49～55 日の間に，試験面となる打設時の 2 側面（**図－1** 参照）を除く全ての面をエポキシ樹脂で被覆し，試験に供した．促進中性化試験は，JIS A 1153「コンクリートの促進中性化方法」に準拠し，CO_2 濃度 5%，温度 20℃，湿度 60% とした試験装置内で試験を行なった．試験中は，試験開始から 7，14，28，56，91，および 182 日をそれぞれ経過した時点で供試体を割裂し，フェノールフタレイン法により中性化深さを測定した．

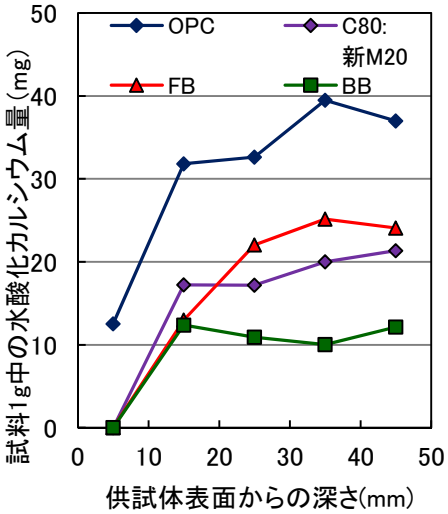
キーワード　メタカオリン含有人工ポゾラン，フライアッシュ，高炉スラグ微粉末，中性化，ポゾラン反応，示差熱重量分析
連絡先　　〒890-0065　鹿児島県鹿児島市郡元 1-21-40（鹿児島大学工学部）　TEL 099-285-8480

3. 試験結果

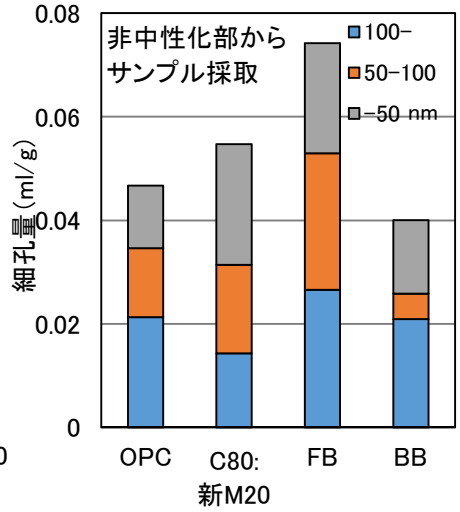
一例として，試験期間 7，14，28，56，91 日における中性化深さの測定結果を**図－2** に示す． MKP を混合したコンクリートではいずれも，中性化深さは OPC 単独使用の場合に対し大きくなっており，これについては，MKP の混合により，相対的にセメント量が減少し，さらにポゾラン反応により水酸化カルシウムが消費されたためだと考えられた．一方，普通セメントに新 MKP あるいは従 MKP をそれぞれ混合した配合を比較すると，いずれの MKP 置換率の場合も，中性化深さは MKP の種類の違いによらず同程度であり，現在検討を行なっている新 MKP を使用した場合でも，コンクリートの中性化抵抗性は，従 MKP を使用した場合と同様であると考えられた．ただし，MKP で普通セメントの 20%を置換したものと FB あるいは BB の中性化深さを比較すると，試験期間 91 日時点では，新旧いずれの MKP を使用した場合も，FB や BB に比べ中性化深さは小さくなった．また，**図－3** には，示差熱重量分析により，中性化試験 91 日後のコンクリート中の水酸化カルシウム量分布を求めた結果を示す．これより，中性化の影響を少なからず受けている深さ 15mm 位置の水酸化カルシウム量は，MKP20%使用の場合，BB と同程度である FB よりも多く，MKP 使用による中性化抑制効果がこの結果からも確認された．



図－2 中性化深さ



図－3 水酸化カルシウム量



図－4 区分細孔径分布

図－4 は，試験期間 91 日経過後の供試体の非中性化部よりモルタルを採取し，水銀圧入試験により細孔径分布を測定した結果を示した．MKP20%混入の場合の総細孔量は FB よりも少なく，また 50nm 以上の大きな空隙も少ない状況が確認され，MKP を使用したコンクリートはフライアッシュを使用したコンクリートよりも内部が緻密化し，結果として外部からの炭酸ガスの侵入を防ぎ，中性化の進行が遅れたものと考えられた．

4. まとめ

本研究では，ポゾラン反応性が異なる新旧 2 つのタイプの MKP を用い，それぞれ，普通セメントの 10～30%を置換して用いたコンクリートの中性化について，フライアッシュあるいは高炉スラグ微粉末を用いた場合と比較して検討を行った．その結果，いずれの MKP を使用した場合も，中性化の進行程度は普通セメントよりも早いものの，同じポゾラン材料であるフライアッシュを用いる場合よりも中性化抵抗性は高く，これは MKP を混合することでコンクリート組織がより緻密になったためであると考えられた．

謝辞：本研究は，「メタカオリン含有人工ポゾラン実用化研究会」で実施した検討の一部である．関係各位に心より感謝する次第である．

参考文献： 1)畠中優成：改良されたメタカカオリン含有人工ポゾランの反応性に関する基礎的研究 土木学会第 69 回年次学術講演会 V-206，2014.9
2)江口康平：メタカオリン含有人工ポゾランを利用したコンクリートの品質改善に関する基礎的研究 鹿児島大学博士論文