

高炉セメントにメタカオリン含有人工ポゾランを混合した コンクリートの海洋環境下での耐久性に関する基礎的検討

鹿児島大学大学院 学生会員 ○里山永光, 畠中優成
鹿児島大学大学院 正会員 武若耕司, 山口明伸, 審良善和

1. はじめ

近年高炉スラグやフライアッシュなどの産業副産物を活用した環境負荷低減型コンクリートが広く利用されている。これらの混合セメントを用いたコンクリートは、長期強度、塩化物イオン等の劣化因子の浸透抑制効果の向上等の長所が存在する反面、初期強度の低下や乾燥収縮ひずみの増大等の問題が存在する。一方、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り、既往の研究結果から、高炉セメントやフライアッシュセメントに MKP を混合することで、これらの混合セメントを使用したコンクリートの長所である耐久性向上効果を損なわずに、高炉セメントに混合した場合にはその初期強度を改善させ、フライアッシュセメントへの混合では、収縮抵抗性や化学的侵食抵抗性の向上を図れることが明らかとなり、これらの混合セメントの品質改善に MKP が有効であることが確認されている¹⁾。しかし、これらの研究結果は実験室で行なわれた試験によって得られた結果であるため、実環境において長期的な挙動を確認する必要があると示唆された。そこで本研究では、高炉セメントに MKP を混合した三成分系コンクリートを作製し、海洋環境（干満帯）に暴露を行なうことで、MKP コンクリートの海洋環境における耐久性評価を試みた。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は、W/B50%, s/a45%, 単位水量 175kg/m³で一定として表-1 に示す配合で作製したコンクリート供試体である。本検討では、主として結合材に高炉セメント使用の場合における MKP の効果を確認することを目的とし、普通セメントの 50%を高炉スラグ微粉末 (B) で置換した高炉セメント B 種相当の配合 (BB) に対して、MKP を内割りで 10, 20 および 30%混入した配合 (C45:B45:M10, C40:B40:M20, C35:B35:M30) で、それぞれコンクリートを作製した。さらに、これらの配合では、MKP に対して内割りで 5%の石膏 (g) を添加している。また、比較用として、普通セメント (C) のみを用いたコンクリート (OPC) を作成した。なお、いずれのコンクリートにおいても高性能 AE 減水剤を使用して、目標スランプ値：9±2cm, 目標空気量 2±0.5%を満足するよう調整した。供試体形状は図-1 に示すような 10×10×40cm の角柱コンクリートにとし、かぶり 2cm および 3cm 位置に鉄筋を 2 本ずつ埋設するものとした。また同時に、圧縮強度試験用円柱供試体 (φ10×20cm) も作製した。供試体は何れも、打設 2 日後に脱枠して 20℃ の水中で 28 日間養生し、その後、角柱供試体については供試体の両端から 5cm 区間と鉄筋の露出部分をエポキシ樹脂にて被覆し、暴露試験に供した。

各供試体は、所定の暴露期間が経過した時点で供試体を解体し、圧縮強度、中性化深さ、全塩化物イオン量、ならびに鉄筋腐食面積率等の測定を行なった。今回は、暴露期間 3 年経過時に行なった調査結果を中心として、これまでに得られた結果を報告する。

表-1 供試体配合

供試体名	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						
			W	C	GGBS	MKP	g	S	G
OPC	50	45	175	350	0	0	0	818	1000
C50:B50(BB)				175	175	0	0	810	993
C45:B45:M10				158	158	33	2	808	991
C40:B40:M20				140	140	67	4	806	989
C35:B35:M30				123	123	100	5	805	987

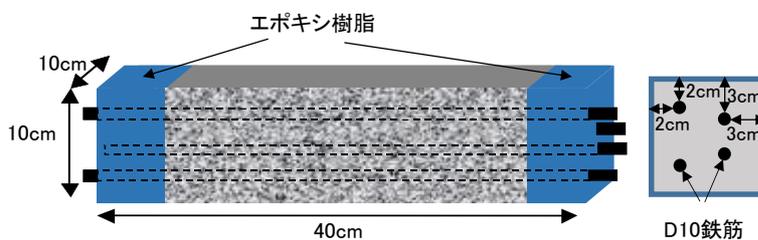


図-1 供試体形状

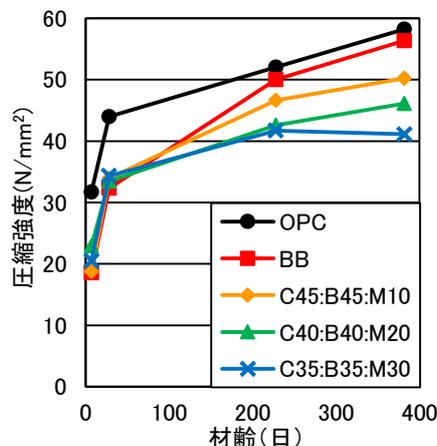


図-2 圧縮強度試験

3. 試験結果および考察

まず、暴露1年目までの圧縮強度試験の試験結果を図-2に示す。この結果から、BBにMKPを置換することで、材齢7、28日の初期の材齢においてコンクリートの強度が改善していることが確認できる。ただし、長期材齢においては、MKPを置換することでの強度の増進は見られず、かえって、MKPの置換率の増加にしたがって強度が低下する傾向が得られた。

次に、暴露環境(干満帯)下で耐久性上問題となることが予想される中性化と塩害に対する検討として、暴露3年が経過した供試体から中性化深さおよび全塩化物イオン量の測定を行った。図-3に中性化深さの試験結果を示す。混和材を使用した供試体はいずれもOPCより大きく、C35:B35:M30の中性化深さが全供試体の中で最も大きい値となった。これは、MKPを置換することで相対的にセメント量が不足し、また、ポズ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たことで、中性化が進行したと考えられた。しかし、いずれの供試体においても中性化深さは1mm以下と僅かな値であり、現状では、大きな差は認められなかった。

図-4に供試体表面からの深さ方向の全塩化物イオン量分布を示す。いずれの深さにおいてもOPCの全塩化物イオン量が最も高く混和材を混合した供試体は遮塩性が高いことが確認された。さらに、深さ1cm,2cm位置での全塩化物イオン量はBBよりBBにMKPを置換したものがより低い値となった。また、鉄筋位置の全塩化物イオン量は、2cm位置ではOPCとBB、3cm位置ではOPCでそれぞれ塩化物イオンの浸透が確認された。

図-5には、図-4の結果をもとに算出した見掛けの塩化物イオン拡散係数を示す。混和材で置換したものでは何れも、OPCと比較して拡散係数が1/3以下となっており、またBBよりMKPを使用した供試体の拡散係数が小さいことからMKPを使用することで遮塩性の向上を図れることが確認された。これは、MKPを置換することによってコンクリートの細孔構造が緻密化したことで、塩化物イオン浸透抵抗性が向上したと考えられる。

図-6に供試体に埋設していた鉄筋の腐食量を面積率で示す。かぶり3cm位置においてはOPCにのみ、鉄筋の腐食が確認された。また、かぶり2cm位置ではOPCだけでなくBBにおいても鉄筋の腐食が確認された。しかし、MKPを使用したものでは、C40:B40:M20供試体でかぶり2cmの鉄筋に僅かな腐食が見られるものの、BBに比べ腐食は小さく、3cm位置では腐食はほとんどなく、塩害に対して高い抵抗性を有していることが確認された。

4.まとめ

高炉セメントにMKPを置換したコンクリートは、海洋環境下に長期暴露を行った場合においてもMKPが急速にポズラン反応を生じBBの初期強度を改善しさらに、コンクリートの内部を緻密化することにより塩化物イオンの浸透を抑制することが確認された。またMKPを置換することで中性化抵抗性は僅かに低下するものの3年間の暴露期間において中性化深さは1mm以下と非常に小さいものであった。これらのことから、高炉セメントにMKPを置換することで塩害と中性化の複合的影響が懸念される環境下においてもコンクリートの耐久性を向上することが、確認された。

謝辞：本研究は、「メタカオリン含有人工ポズラン実用化研究会」の中で実施した研究の一部である。関係各位に心より感謝する次第である。

参考文献：1) 江口康平：メタカオリン含有人工ポズ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

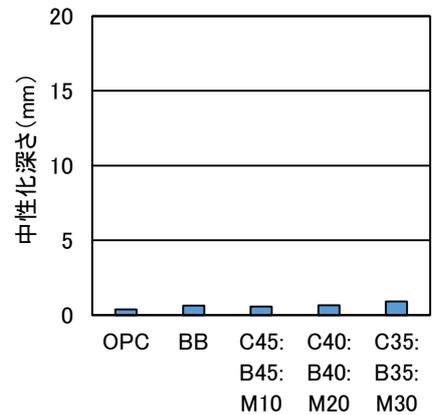


図-3 中性化深さ

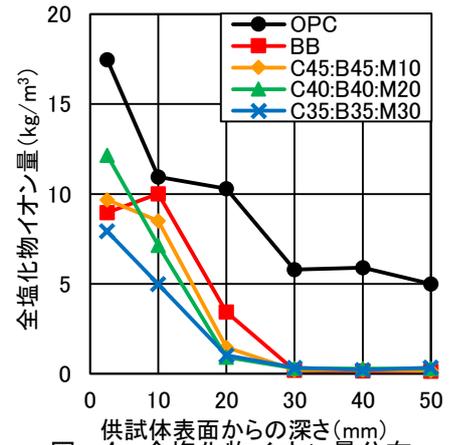


図-4 全塩化物イオン量分布

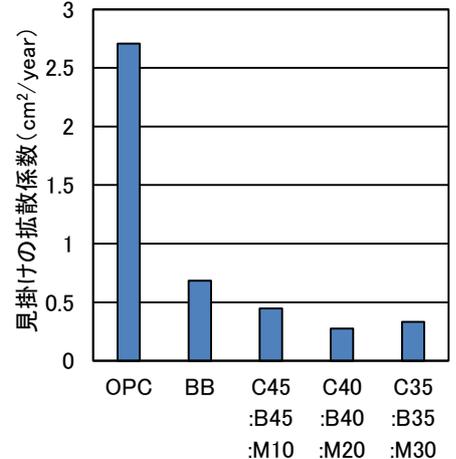


図-5 見掛けの拡散係数

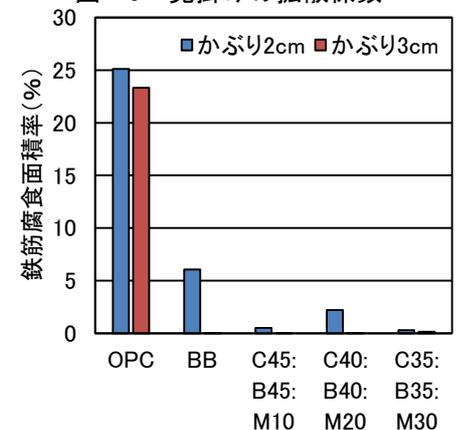


図-6 鉄筋腐食状況