

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 複合劣化に対する耐久性に関する実験的検討

鹿児島大学 学生会員 島中優成 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 江口康平

1. はじめに

コンクリートに生じる劣化には「塩害」や「中性化」が知られているが、実環境下においてはそれらが複合して作用する場合も多く存在し、そのような複合劣化に対しても耐久性検討する必要がある。一方、新たに開発されたメタカオリン含有人工ポゾラン（以下、MKP）は、炭鉱ボタや炭質頁岩、石炭灰等の産業副産物を炭酸カルシウムと混合、焼成した後に石膏等を加えて製造された混和材であり、建設材料としての利用が期待されている。MKP は水和初期に急速なポゾラン反応が生じるためコンクリートの緻密化が期待される反面、ポゾラン反応によって大量の水酸化カルシウムが消費されるため、中性化抵抗性は低下すると予想される。

本研究では高炉セメント、フライアッシュセメントに MKP を混合した三成分系コンクリートを作製し、塩害、中性化が複合作用する環境を想定した複合劣化促進試験における塩分浸透特性、中性化特性および防食効果について実験的検討を行った。また、その際のパラメーターとして結合材の配合バランスや初期養生期間を変化させその影響について確認する。

2. 実験概要

塩害と中性化の複合劣化試験に使用した供試体配合を表-1 に示す。結合材混合割合に関しては、OPC 供試体は普通ポルトランドセメントのみを使用した。BB 供試体は普通セメントの 50%を高炉スラグ微粉末で置換し、高炉セメント B 種相当としたもの、BB のセメントと高炉スラグ微粉末の割合を変えずに MKP を内割り 10~30%混合した(C45:B45:M10、

C40:B40:M20、C35:B35:M30)、FB 供試体は普通セメントの 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 のセメントとフライアッシュの割合を変えずに MKP を内割り 10~30%混合した(C72:F18:M10、C64:F16:M20、C56:F14:M30)合計 9 配合とした。

W/B、s/a および単位水量をそれぞれ、50%、45%、175kg/m³で一定とし、スランプは 8.0±2.0cm、air1.0±1.0%を満足するように高性能 AE 減水剤を用いて流動性を調整した。

供試体の形状を図-1 に示す。鉄筋は試験面からかぶり 3cm となるように D10 鉄筋を配筋する。作製にあたっては、φ10×20cm の型枠へ打設し、脱型後、初期水中養生を行い、打設方向の影響をなくす為、両側から 10cm 位置となる供試体中央が試験面となるように切断した後、試験面を除く側面および底面をエポキシ樹脂にて被覆する。なお、初期水中養生については水温 20℃の恒温水槽で行い、初期水中養生の違いによるコンクリートの耐久性の相違も検討するため、初期養生期間 7、28、91 日の 3 種類について試験を行った。

3. 促進試験方法

促進試験方法を表-2 に示す。試験室内は 30±2℃、乾燥時の湿度を 70±5%する。複合劣化促進試験方法としては、初期養生が終了した供試体を塩水（NaCl 濃度 5%）に 3.5 日間浸せきした後に、CO₂ 濃度 5%の環境で 7 日間乾燥による中性化促進を行うことで、塩害—中性化乾湿繰り返し環境とした。本検討では浸せき 3.5 日、乾燥 7 日、計 10.5 日間を 1 サイクルとし、最大 40 サイクルまで行うものとする。今回は 20 サイクル終了後の、初期養生 28 日供試体の結果を中心に報告する。

表-1 複合劣化試験供試体配合

結合材混合割合 C:BB:MKP	W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)							
			W	C	GGBS	FA	MKP	S	G	sp(%)
OPC	50	45	175	350	—	—	—	824	996	0.18
BB				175	175	—	—	818	989	0.18
C45:B45:M10				158	158	—	33	808	991	0.63
C40:B40:M20				140	140	—	67	806	989	0.70
C35:B35:M30				123	123	—	100	805	987	0.70
FB				280	—	70	—	808	987	0.20
C72:F18:M10				252	—	63	35	813	983	0.26
C64:F16:M20				224	—	56	70	812	981	0.25
C56:F14:M30				196	—	49	105	811	980	0.24

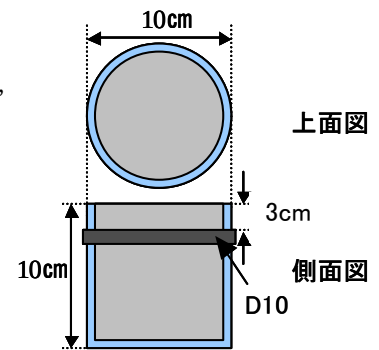


図-1 供試体形状

表-2 促進試験方法

1サイクル	浸せき時間	3.5日/サイクル
	乾燥時間	7.0日/サイクル
初期水中養生期間		7,28,91日
試験環境	温度30℃,湿度70~100%	
	塩水浸せき	NaCl濃度5%
	促進中性化	CO ₂ 濃度5%

4. 試験結果および考察

まず、初期養生 28 日試験 20 サイクル終了時までの中性化深さの経時変化を図-2 に示す。結果をみると、OPC に比べ混和材を混合した供試体はいずれも中性化深さが大きくなることが確認できる。また、BB、FB よりもそれぞれに MKP を混合した供試体はさらに中性化が進行しており、MKP 置換率が増加するにつれその傾向が大きくなることも確認できる。これは、MKP を混合することで相対的にセメント量が低下することや、ポゾラン反応によって内部の水酸化カルシウムが消費されてしまうため中性化の影響を受けやすいことが考えられる。特に BB に MKP を 30% 混合した供試体はセメント量が 35% しかないことから中性化の影響を大きく受けていた。

次に、一例として初期水中養生 28 日試験 20 サイクル終了時における供試体内部の全塩化物イオン量分布を図-3 に示す。結果をみると、いずれの混合セメントに MKP を混合した場合も鉄筋位置である 3cm 位置での塩化物イオン量は、腐食発生限界値である 1.2kg/m^3 を下回っていた。また、BB、FB 単体よりも MKP を混合した供試体は表面において塩化物イオンが少ないことから MKP を混合することにより緻密になり塩化物イオンの浸透を抑制していると考えられる。また、BB、FB、MKP を混合した供試体はいずれも供試体表面ではなく深さ 1cm 付近に塩化物イオン量のピークが見られる。これは、供試体表面に固定化された塩分が中性化によって遊離し、表面での自由塩分量が増加した事による濃度差で内部へ拡散したと考えられる。

図-4 に初期養生 7、28、91 日時点での塩化物イオン浸透状況を基に算出した見掛けの塩化物イオン拡散係数を示す。結果をみると、BB に MKP を混合した場合、養生 28 日以下の場合、MKP が多くなるほど拡散係数も大きくなっていった。ただし、養生 91 日供試体においては MKP を混合量が増加するに従って拡散係数は小さくなっていった。次にフライアッシュ系についてみると、養生 28、91 日では MKP を 30% 混合するよりも 20% 程度とした供試体の方が拡散係数は小さくなっていった。これは C56 : F14 : M30 供試体は中性化の影響を強く受けており、遮塩性の面から見ても MKP を混合する場合、その混合量は 20% 以下とすることが適切であるといえる。

最後に初期養生 28 日試験 20 サイクル終了時における鉄筋腐食面積率を図-5 に示す。OPC、BB 供試体で明らかな腐食が確認された。MKP を混合した供試体は塩分の浸透が確認されなかった C35:B35:M30、C64:F14:M20、C56:F14:M30 供試体で腐食が生じていた。これは、MKP を混合した供試体はセメント量が少なくなるため、供試体内部の pH が低下し、僅かな塩化物イオン量の侵入で不動態被膜が破壊され、腐食が生じたと考えられる。

5. まとめ

本研究ではメタカオリン含有人工ポゾランを高炉セメント、フライアッシュセメントに混合した三成分コンクリートの複合劣化促進試験を行うことで以下の結果が得られた。

1)MKP を混合することで相対的にセメント量が減少することや、ポゾラン反応により水酸化カルシウムが消費されるため中性化抵抗性は幾分低下する。

2)MKP を混合したコンクリートは適切な養生を行うことで遮塩性を向上できるが FB に混合する場合は置換率を 20% 以下とすることが望ましい。

謝辞：本研究で得られた成果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。

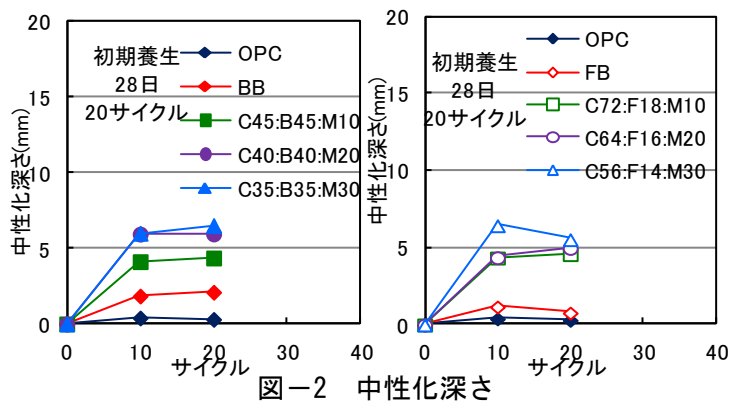


図-2 中性化深さ

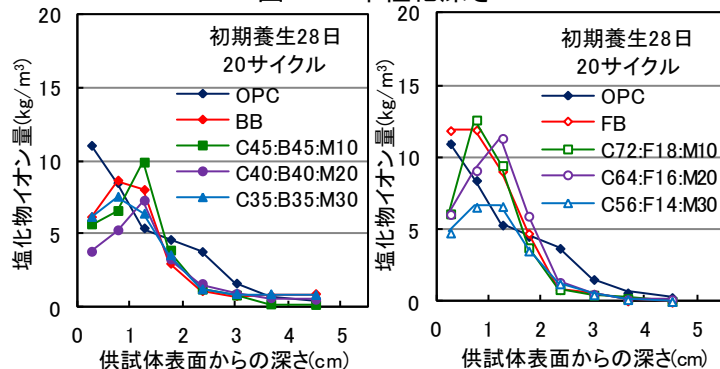


図-3 全塩化物イオン量分布

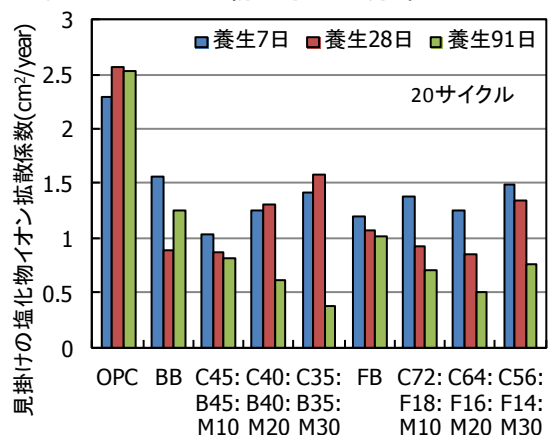


図-4 見掛けの塩化物イオン拡散係数

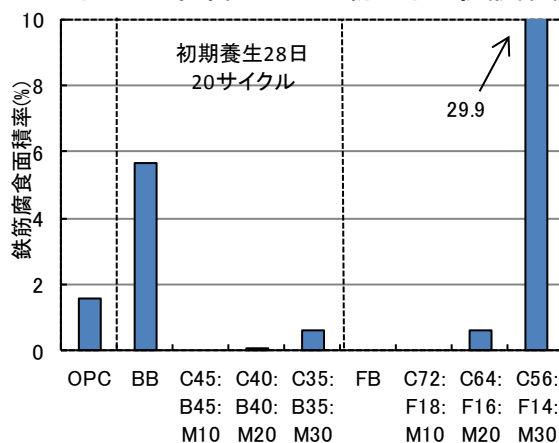


図-5 鉄筋腐食面積率