

フライアッシュセメントにメタカオリン含有人工ポゾランを混合したセメントペースト供試体の乾燥収縮特性に関する実験的検討

鹿児島大学大学院 学生会員 ○江口 康平 鹿児島大学大学院 正会員 武若 耕司
 鹿児島大学大学院 学生会員 久徳 貢大 鹿児島大学大学院 正会員 山口 明伸

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性を低下させる要因として乾燥による収縮ひび割れがあり、コンクリート構造物を長期的に使用する場合、その対策が非常に重要である。一方で、中国では、炭鉱ボタや石炭灰等の産業副産物を主原料として製造されるメタカオリンを含むポゾラン材料が開発されている。この材料は急速なポゾラン反応を生じることが確認されており、既往の研究¹⁾によって、高炉セメントに混合することで、高炉セメントコンクリートの初期強度や乾燥収縮抵抗性を向上出来ることが明らかとなっている。そこで本研究では、乾燥収縮に対する抵抗性の高いフライアッシュセメントの更なる高品質化を目指して、メタカオリン含有人工ポゾランをフライアッシュセメントに混合し、三成分としたセメントペースト供試体の乾燥収縮特性について実験的検討を行った。

2. メタカオリン含有人工ポゾランの材料特性

本実験に使用するメタカオリン含有人工ポゾラン(以下、メタカオリン)の物性および化学組成を表-1に示す。メタカオリンはフライアッシュよりも密度は大きい、比表面積は8504cm²/gと

表-1 メタカオリン含有人工ポゾランの物性・化学組成

	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)	化学組成(mass%)				
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
メタカオリン含有人工ポゾラン	2.70	8504	36.60	14.70	31.00	8.73	4.75
普通ポルトランドセメント	3.15	3370	18.00	4.53	66.90	1.56	3.49
フライアッシュ	2.25	4113	66.90	19.60	3.56	0.83	0.69

普通セメントやフライアッシュの2倍以上ある。また、化学成分をフライアッシュと比較すると、SiO₂は少なくCaOを多く含んでいる。

3. 実験概要

供試体概要を表-2に示す。実験に使用した供試体は、水結合材比(以下、W/B)を30、40、50、60%の4水準としたセメントペースト供試体である。結合材混合割合としては、普通ポルトランドセメントのみを使用したOPC、普通セメントの20%をフライアッシュ種で置換したFB、FBに用いた結合材の10、20、30%をさらにメタカオリンで置換し三成分系セメントとしたメタカオリン供試体(FB+M10%、FB+M20%、FB+M30%)の計5種類とした。なお、メタカオリンを使用した供試体は既往の研究を基に、メタカオリンの内割りで5%の石こうを添加している。供試体形状は図-1に示すような、端部にゲージプラグを埋設した4×4×16cmの角柱供試体である。初期水中養生7日終了後、温度20±2℃、相対湿度60±5%の環境に静置した後、所定の試験期間ごとにダイヤルゲージを用いて収縮ひびきを測定した。なお、強度試験用供試体(4×4×16cm)も併せて作製し、所定の期間(7、14、35、98日)水中養生を行った後、圧縮強度試験を行った。今回は、W/B50%、60%の結果について報告する。

表-2 供試体概要

要因	水準
W/B(%)	30,40,50,60
セメント種類	OPC FB FB+M10% FB+M20% FB+M30%
初期養生	水中7日
試験環境	温度20±2℃ 湿度60±5%

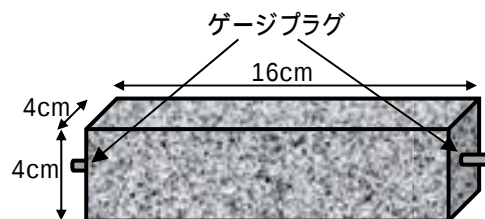


図-1 供試体形状

4. 試験結果

一例として、W/B50%供試体における圧縮強度試験結果を図-2に示す。メタカオリンを混合した供試体は、いずれの配合でもFBよりも初期強度は低下しており、今回の検討ではメタカオリンを混合することによる初期強度改善効果が見られなかったが、材齢が98日と長期となった場合、FB+M10%、FB+M20%供試体でOPCと同程度以上の強度が得られた。また、W/B60%とした供試体でも同様な傾向であった。

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、三成分系混合セメント、乾燥収縮

連絡先：〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学大学院理工学研究科海洋土木工学専攻 TEL099-285-8480

図-3には、一例として W/B50, 60% 供試体における乾燥収縮ひずみの経時変化を示す。まず、W/B50% 供試体についてみると、FB 供試体は OPC 供試体よりも収縮ひずみが大きくなっており、試験開始から約 120 日経過時点の収縮量は -2500 μ 程度となっていた。フライアッシュにメタカオリンを混合した供試体は、いずれの配合でも FB より収縮ひずみを低減しており、FB+M30% 供試体は約 120 日経過後の収縮量は約 -2000 μ と FB よりも 500 μ 程度小さくなっていた。次に、W/B60% とした場合についてみると、W/B50% 供試体よりも収縮量は大きくなっているが、メタカオリンを混合した供試体は全ての配合で顕著に収縮ひずみを抑制しており、OPC よりも収縮ひずみが小さくなる結果となった。図-4には、試験期間中の質量変化率の経時変化を示す。W/B50% あるいは 60% としていずれの供試体でも、OPC 供試体が最も質量変化が小さくなる結果となったが、FB にメタカオリンを混合した場合、その混合率に応じて FB よりも質量変化率は小さくなった。このことから、FB にメタカオリンを混合した場合、充填効果やボゾラン反応によって内部が緻密化し、内部水の散逸を抑制することで収縮ひずみを低減すると考えられる。W/B50% 供試体の初期養生 7 日終了後の細孔構造について水銀圧入式ポロシメーターを用いて調査した結果を図-5に示す。メタカオリンを混合した供試体は混合率が増加するに伴い、細孔径のピークは小さな径に推移し、総細孔量も減少している。ただし、OPC 供試体は総細孔量も少なく、質量変化率が最も小さかったにも拘わらず収縮を生じており、内部水の発散量だけでなく、乾燥収縮に特に作用する細孔径が存在することや、セメントペーストの剛性なども収縮ひずみに影響を与えていることが示唆された。

5. まとめ

セメントペーストを用いて検討を行った結果、フライアッシュセメントにメタカオリンを混合した場合、FB に比べて強度は若干低下するものの、内部をより緻密にすることで FB の乾燥収縮に対する抵抗性を向上させることが可能であることが明らかとなった。

謝辞：本研究は、メタカオリン含有ボゾラン実用化委員会での共同研究により実施した研究の一部である。関係者各位に心より感謝する次第である。

参考文献：1) 江口康平ほか：高炉セメントコンクリートの高耐久化を目指した人工ボゾランの品質改善効果，コンクリート工学年次論文集，Vol.33，No.1，pp761-766,2011

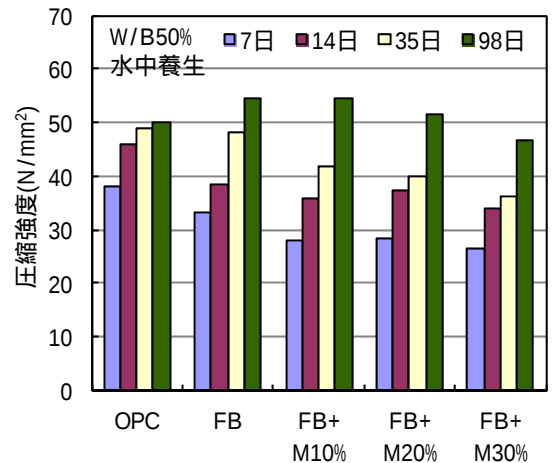


図-2 圧縮強度

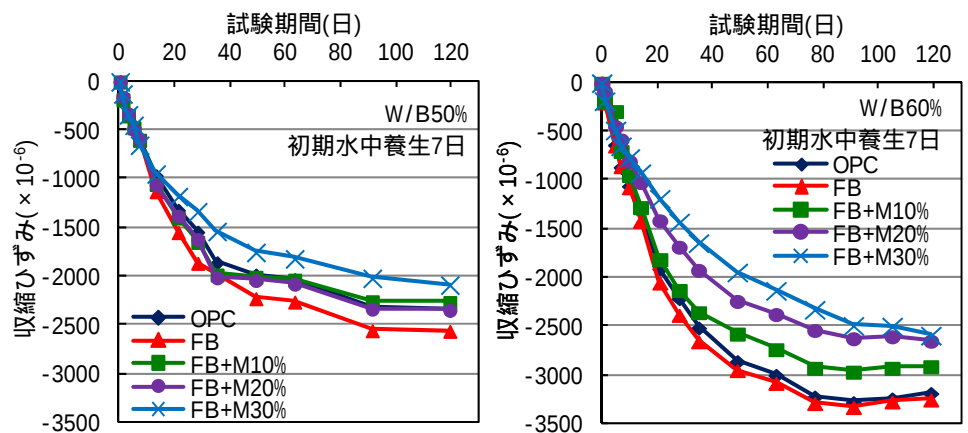


図-3 W/B50, 60% 供試体における乾燥収縮ひずみの経時変化

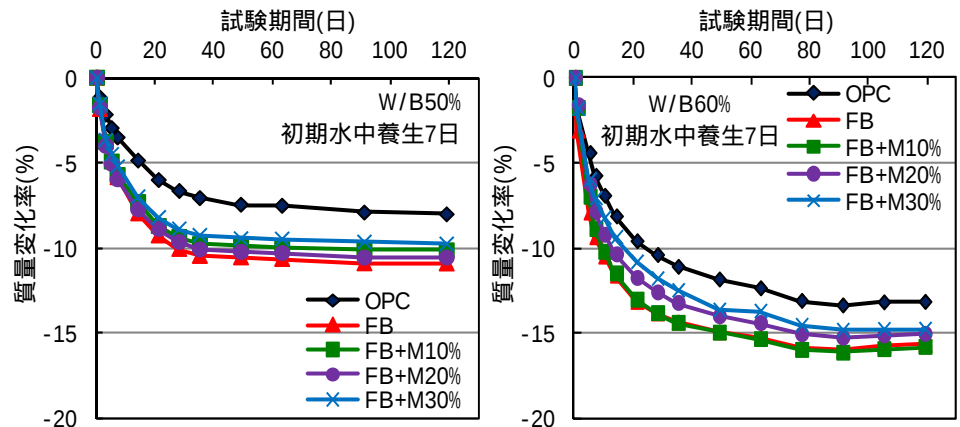


図-4 W/B50, 60% 供試体における質量変化率の経時変化

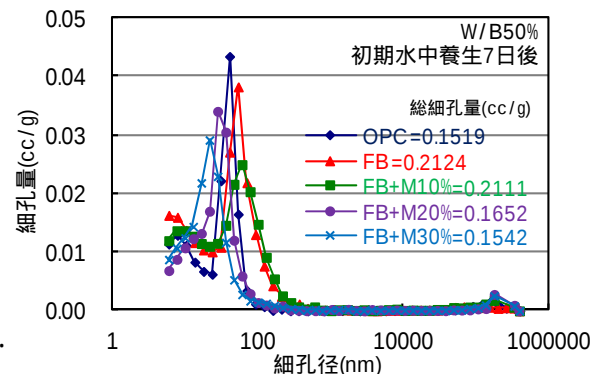


図-5 細孔径分布