

## 改良されたメタ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

鹿児島大学大学院 学生会員 ○畠中優成 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 東京理科大学 正会員 江口康平

### 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り、既往の検討結果から、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った<sup>1)</sup>。また、最近、従来の MKP（以下、従来 MKP）のポゾラン反応性をより高めた新たな MKP（以下、改良 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。

本研究ではこの改良 MKP に着目し、特に、その反応特性を明らかにすることを目的として、セメントペースト中でのポゾラン材料の水酸化カルシウム（以下、CH）消費量に着目した検討を行うとともに、さらに、この材料の反応に伴って生じる細孔構造の変化や強度発現性を実験的に確認した。

### 2. 試験概要

一連の試験に使用するセメントペーストの示方配合を表-1に示す。いずれのペーストにおいても W/B40% で一定とした。また、結合材の混合割合については、普通ポルトランドセメント（以下、普通セメント）のみを使用した配合（以下、C100）を基準とし、これに普通セメントの10~50%を改良または従来 MKP で内割り置換した、それぞれ 5 水準の配合（C90:改 M10~C50:改 M50，C90:従 M10~C50:従 M50）、さらには、結合材中に占めるセメント割合を 70% で固定し、残りを改良 MKP と高炉スラグ微粉末（B）あるいはフライアッシュ（F）を混合使用した配合（以下、C70:B30，C70:B20:改 M10，C70:B10:改 M20，C70:F30，C70:F20:改 M10，C70:F10:改 M20）を設定し、それぞれの配合について、φ5×10cm セメントペースト円柱供試体を作製した。

作製された供試体はいずれも、所定の材齢まで標準水中養生を施した後に圧縮強度試験を行った。また、強度試験後は、その試験片を用いて、セメントペースト中の CH 量を測定した。なお、この測定にあたっては、まず、供試体の中央付近からペースト試験片を採取し、アセトンに浸せきして水和反応を停止させた後、炉乾燥(105±5°C)にて絶乾状態としたうえで 100μm 篩を全量通過するまで粉碎した。その後、この粉末試料を示差熱重量分析装置(TG-DTA)にて 1000°C まで加熱し、CH が分解されて、H<sub>2</sub>O が放出される温度領域(450~500°C 付近)での質量減量を測定することでペースト中の CH 量を求めた。得られた CH 量から混和材 1g が消費した CH 量を式(1)より算出した。

$$A = \frac{CH_{C100} \cdot (1-r) - CH_r}{r} \quad (1)$$

ここに、 A : 混和材料 1g が消費する CH 量(mg), CH<sub>C100</sub> : C100 ペースト 1g が生成する CH 量(mg), r : 混和材料置換率, CH<sub>r</sub> : 置換率 r 時のペースト 1g 中の CH 量(mg)

また、細孔構造の測定に関しては、強度試験後の供試体を 5mm 角程度にカットし、得られた試験片をアセトンに浸せきすることで水和反応を停止させた後、脱気処理を施し、水銀圧入式ポロシメータを用いて細孔構造を調査した。本研究では、以上の検討を材齢 66 日までのペーストについて行った。

表-1 示方配合

| 結合材混合割合<br>C:M:B:F |          | W/B<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |      |     |     |     |
|--------------------|----------|------------|-------------------------|------|-----|-----|-----|
|                    |          |            | W                       | C    | M   | B   | F   |
| C100               |          | 40         | 558                     | 1394 | —   | —   | —   |
| 改良<br>MKP          | C90:改M10 |            | 553                     | 1243 | 138 | —   | —   |
|                    | C80:改M20 |            | 548                     | 1095 | 274 | —   | —   |
|                    | C70:改M30 |            | 543                     | 950  | 407 | —   | —   |
|                    | C60:改M40 |            | 538                     | 807  | 538 | —   | —   |
|                    | C50:改M50 |            | 534                     | 667  | 667 | —   | —   |
| 従来<br>MKP          | C90:従M10 |            | 553                     | 1245 | 138 | —   | —   |
|                    | C80:従M20 |            | 549                     | 1099 | 275 | —   | —   |
|                    | C70:従M30 |            | 545                     | 955  | 409 | —   | —   |
|                    | C60:従M40 |            | 542                     | 812  | 542 | —   | —   |
|                    | C50:従M50 |            | 538                     | 672  | 672 | —   | —   |
| C70:B30            |          |            | 551                     | 965  | —   | 413 | —   |
| C70:B20:改M10       |          |            | 548                     | 960  | 137 | 274 | —   |
| C70:B10:改M20       |          |            | 546                     | 955  | 273 | 136 | —   |
| C70:F30            |          |            | 529                     | 926  | —   | —   | 397 |
| C70:F20:改M10       |          |            | 534                     | 934  | 133 | —   | 267 |
| C70:F10:改M20       |          | 538        | 942                     | 269  | —   | 135 |     |

キーワード メタカオリン含有人工ポゾラン, セメントペースト, ポゾラン反応, 細孔構造, 圧縮強度  
 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

(1)水酸化カルシウム消費量

図-1に、一例として普通セメントの30%を各種混和材料で置換した供試体中の混和材料1g当たりが消費したCH量の経時変化を示す。この結果、MKPは同じくポズラン材料であるフライアッシュと比較し、材齢7日以降におけるCH消費量が大きい。また、従来MKPは材齢3日からCHの消費を開始しているのに対し、改良MKPは材齢1日からCHを消費していた。さらに、改良MKPはその後のいずれの材齢でも、従来MKPよりCH消費量が大きい。これらの結果から、MKPはフライアッシュよりもポズラン反応性が高く、改良MKPは従来MKPよりもより早期から、急速なポズラン反応が生じると考えられた。

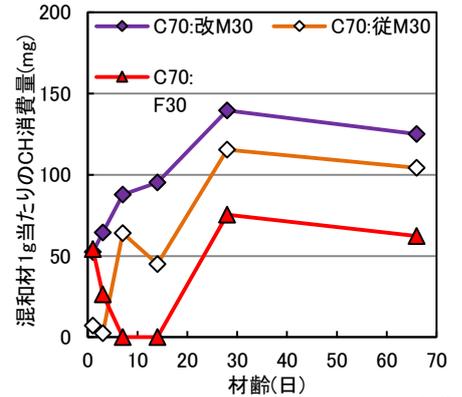


図-1 混和材1g当たりのCH消費量

(2)細孔構造

図-2は、一例として、普通セメントの30%を各種混和材料で置換したペーストにおいて、材齢3日および66日時点でその内部に存在する細孔量を、細孔径ごとに区分して示したものである。材齢3日経過時点では、高炉スラグを置換した供試体(C70:B30)が総細孔量ならびに100nm以上の細孔量ともに改良MKPを置換した供試体(C70:改M30)よりも少ない。また、材齢66日経過時点でも、C70:B30供試体の総細孔量は、依然としてC70:改M30供試体よりも少ない。しかし、材齢66日経過時点でC70:改M30供試体中の細孔の多くは50nm以下微細な細孔であり、100nm以上の粗大な細孔はほとんど存在しない。これらの結果から、改良MKPで置換したセメントペーストではMKPの反応生成物が50nm以上の粗大な細孔を充填して緻密化すると考えられる。

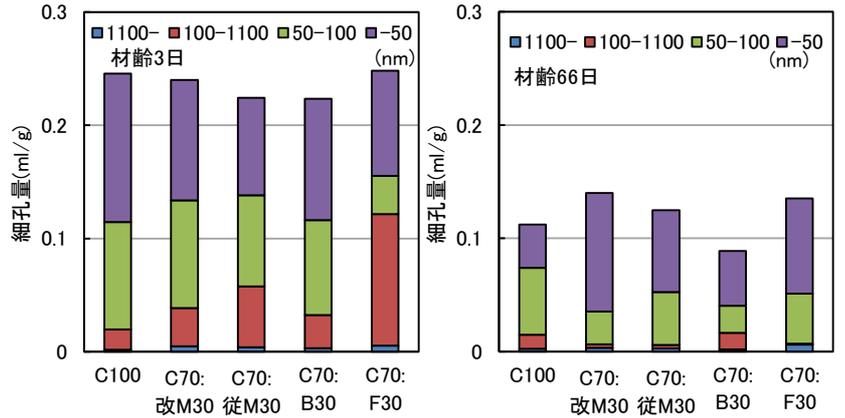


図-2 細孔構造(細孔径区分)

(3)強度特性

一例として、高炉スラグ、フライアッシュにそれぞれ改良MKPを併用した三成分系ペーストの材齢7日の圧縮強度試験結果を図-3に示す。この結果、高炉スラグやフライアッシュの一部を改良MKPで置換させたいずれの三成分系ペーストにおいても、その圧縮強度は、それぞれを単体で用いる場合よりも高く、フライアッシュセメントや高炉セメントの初期強度の増進に改良MKPが有効であることが確認された。

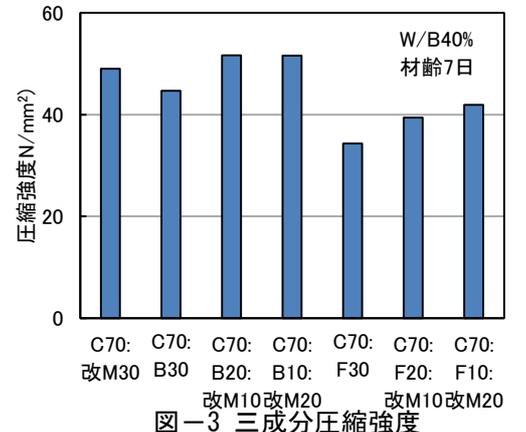


図-3 三成分圧縮強度

4. まとめ

改良MKPの反応性に関する検討から、この材料が材齢1日から急速なポズラン反応を生じ、従来MKPと比べて反応性が優れるとともに、緻密化効果も高いことが確認された。また、圧縮強度試験の結果から、改良MKPは高炉スラグ、フライアッシュよりも材齢7日における強度発現性が高く、高炉スラグセメントまたはフライアッシュセメントの初期強度の増進に改良MKPが有効であることが確認された。ただし、今回はセメントペーストで検討を行ったため、実用化を図るために、今後はコンクリート供試体でも検討を行う必要がある。

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」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)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