# メタカオリンモルタルおよびコンクリートの水和メカニズム

#### 東京大学大学院 学生会員 安 台浩

1. はじめに

近年,建築物の大型化及び高層化が進むことにより,超高層ビルなど多くの建設現場で流動性が良く,かつ 圧縮強度の高い高性能コンクリートの需要が増加している。このようなコンクリートを製造する方法は多種 にわたるが、作業性などを考慮するとシリカフューム、フライアッシュ、スラグおよびメタカオリンのような 無機物混和材料と高性能減水剤などを使って作業性が良いコンクリートが提案されている。最近ではこのよ うな材料の中でメタカオリンのポゾラン反応性を利用し、高性能混和材料を併用することでの応用性を高め る研究が進められている。本研究ではメタカオリンの応用性を高めるために高性能減水剤を利用してメタカ オリンのポゾラン反応性を促進させる研究を行った。

#### 2. 実験概要

(1) 使用材料

実験に使用したセメントは普通ポルトランドセメントを使った、表-1に実験で使用したセメントとメタカ オリンの物性を示す。メタカオリンの場合,組成の 56%が SiO<sub>2</sub>,37%が Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>で構成されているため,これはポ ゾラン材料に類似した組成であると言える。またメタカオリンの流動性および水和促進を増進するために、3 種類の高性能減水剤を使用して実験を行った<sup>1)</sup>。使用した減水剤の化学構造を図-1に示す。



図-1 高性能減水剤の化学構造

表-1 セメントとメタカオリンの化学組成

## (2) 実験方法

3.実験結果および考察

表-2 にモルタルの配合を示す。高性能減水剤の種類によるメタ カオリンモルタルの水和過程を観察するために水和時の XRD およ び SEM (EDS)分析を行った。Water/Binder は 40%で一定とし、 Sand/Binder は 2.14 として実験を行った。

Water/Binder	Binder (B)	Sand (S)	Water(W)	Admixture
40 %	900 g	1926 g	360 g	1.25-2.50 %

メタカオリンの置換はセメントに対してそれぞれ質量比で 10%ずつ置換し, 混和剤添加量は初期モルタルフ ローの値(180mm)を得るために1.25-2.5%まで添加した。図-2と表-3に材令によるセメントペーストの主要水 和物の XRD 分析結果を示す。XRD 分析結果では、OPC に PNS のみを添加したセメント水和物とメタカオリンを 置き換え添加した試料に混和剤の種類による水和反応物の相異を確認することができた。メタカオリンを置換 添加した後,単独で PNS を添加した場合,材令 3 日に Type I C-A-H(3CaO·AI,0,·6H,0) 及び Type II C-A-S-H(2CaO·AI<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>(AI·SiO<sub>2</sub>)·XH<sub>2</sub>O)水和物の生成を確認することができた。さらに材令7日と28日まで Type II C-A-S-H系水和物が生成して空隙が緻密化していることが確認できた。またメタカオリンセメントペ ーストに PNS+AD の混和剤を添加した場合,材令 1 日から Type I C-A-H 及び Type II の C-A-H (Ca<sub>6</sub>·AI<sub>2</sub>O<sub>6</sub>(OH)·2H<sub>2</sub>O) 相の生成が確認でき,3日では Type I C-A-H, Type I C-A-S-H, Type II C-A-S-H 相の生 成が確認することができた。特に材令3日と7日の場合、メタカオリンに PNS を単独添加した場合と比べて

キーワード : メタカオリン, 高性能減水剤, ポゾラン反応 : 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 TEL 03-5452-6098(内 58090) 連絡先 -355-

OPC (%) MK (%) Content

	· · · · ·	· · · ·
SiO <sub>2</sub>	21.0	56
$Al_2O_3$	5.4	37
$Fe_2O_3$	3.13	2.4
MgO	3.06	0.3
CaO	62.11	2.4
$TiO_2$	-	0.2
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3,386	12,000
Specific Gravity	3.16	2.6
Appearance	Gray	Light Pink



Type I C-A-S-H (Ca0·AI<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub>·XH<sub>2</sub>O)水和物が生成することが確認できた。7日以後からにはType I C-A-S-H 系水和物にSiO<sub>2</sub> 成分が追加されたType III C-A-S-H 系水和物の生成が確認することができた。これはPNS を 単独添加した場合より C-A-S-H 系水和物を多く生成してより一層空隙を緻密化して圧縮強度を増進させるこ とが予測される。また PC を添加した場合には凝結遅延による7日以後からの C-A-S-H 系水和物の生成を確認 することができた。したがって PNS 及び PNS+AD を添加した場合より水和初期圧縮強度が減少することが予測 される。メタカオリンモルタルで PNS+AD を添加した場合,AD は初期 90 分までセメント粒子の分散効果が作 用した後,メタカオリン成分の中アルミナおよびシルリケイトのイオン化速度を促進させることで推察でき る(図-3)。写真-1 は目標フロー値を 180mm にして PNS+AD の混和剤を添加したメタカオリンモルタルの 3 日目 における SEM 写真である。Line EDX 分析結果を見ればメタカオリン粒子とセメントペースト間の界面で AI お よび Si イオンが拡散されて C-A-S-H 系水和物の生成が確認することができた。



写真-1 メタカオリンモルタルの SEM 像(材令 3 日)



Activation point of metakaolin
days
7 days

3 days

28 days

図-3 メタカオリンモルタルの水和メカニズム

4.まとめ

1) メタカオリンモルタルで PNS+AD を添加した場合,メタカオリン成分中の AI および Si イオン化速度に影響を及すことが分かった。

2) メタカオリンモルタルの水和メカニズムを確認することができた。

[謝辞] 本研究を行うにあたり、KG 化学工業株式会社研究開発センターに感謝の意を表します。

### 参考文献

[1] B.G. Kim, T.H.Ahn, B.G.Kang and Y.T.Kim : Effect of Superplasticizer Type on the Properties of High Performance Concrete Incorporating Metakaolin, Seventh CANMET/ACI International Conference on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, Berlin, Germany, pp83-97, Oct., 2003