

## シリカフェームの分散とモルタルの諸特性

Dispersibility of Silica Fume in Mortar and Its Effect on Properties of Mortar

大 賀 宏 行\*・魚 本 健 人\*

Hiroyuki OHGA and Taketo UOMOTO

## 1. ま え が き

コンクリートを高強度化, 高耐久性化する方法としては, 高性能減水剤を用いて水セメント比を低減する方法が一般的であるが, 急冷高炉スラグを微粉碎したものやシリカフェーム等の微粉末をコンクリート用混和材として用いることにより, さらに高強度, 高耐久性を有するコンクリートの製造が可能であることも明らかとなっている<sup>1)~3)</sup>. 特に, シリカフェームは少量で高強度化, 高耐久性化が可能であることから, 最近注目されている材料である. しかし, シリカフェームは粒径がセメント粒子の約百分の一程度の超微粒子であり, さらにはその使用量も少量であることから, シリカフェームのコンクリートにおける分散は練混ぜ方法に大きく影響を受け, コンクリートの諸特性も変化する可能性があると考えられる. 従来, シリカフェームを用いた場合でも無混和の場合と同じミキサを用い, 同じ混練方法によりコンクリートを練り混ぜている場合が多く<sup>4)</sup>, たとえ練混ぜ時間を増加させてコンクリートを作製する場合でも, 必ずしもコンクリートの物性との関連から練混ぜ時間を決定しているとは限らず, 経験に頼っている場合が多いのが現状である. そこで, 本研究では, シリカフェームの分散がコンクリートの諸特性におよぼす影響について基礎的に検討を加えるため, 形態の異なるシリカフェームを用い, モルタルの圧縮強度と中性化深さに及ぼすシリカフェームの分散の影響をミキサの練混ぜ時間と関連させ検討を加えた.

## 2. 実 験 概 要

フライアッシュ, 高炉スラグ微粉末等の鉱物質微粉末を含まない普通ポルトランドセメントと非造粒型および造粒型 (以下U及びDと略記) のシリカフェームを用いた. セメントおよびシリカフェームの化学成分を表-1に示す. 骨材は相馬標準砂 (特4号) を, 混和剤は高性能減水剤を用いた. 水結合剤比を35%, シリカフェームの置換率を0, 5, 10%, 砂結合材比を2.0とし, 高性能減水剤を結合材に対して1.0%添加した配合を基本とした. なお, 高性能減水剤を用いず上記の配合と同一のフローを示すように, 水結合材比を増大させた配合の場合についても実験を行った. ホバート型モルタルミキサ (容量: 30ℓ) を用い, から練り60秒の後注水し, 30~5700秒練り混ぜ, フローを測定した. また, φ5×10 cmの円柱供試体を用い, 圧縮強度, 中性化深さを測定した. 圧縮強度は水中養生材令7, 28, 91日において行い, 中性化深さは, 暴露材令1, 4, 9, 16週において測定した. 中性化深さ測定用供試体は, 初期に7日間水中養生を行った後, 促進中性化試験環境下に暴露した. 促進中性化試験は, 温度50℃, 相対湿度60%, 二酸化炭素濃度5%の環境下で行った. 所定材令において供試体を割裂しフェノールフタレイン溶液による呈色反応により中性化深さを求めた.

## 3. 実 験 結 果 お よ び 考 察

モルタルのフローと注水後の練混ぜ時間との関係を図

表-1 セメントとシリカフェームの化学成分 (%)

	IgLoss	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
セメント	0.63	21.54	5.27	2.95	64.83	1.49	1.92	0.26	0.55
造粒型シリカフェーム	3.92	89.77	0.69	0.96	0.35	2.21	0.07	0.38	1.27
非造粒型シリカフェーム	1.75	94.91	0.55	0.57	0.23	0.38	0.05	0.23	0.70

\*東京大学生産技術研究所 第5部

研 究 速 報

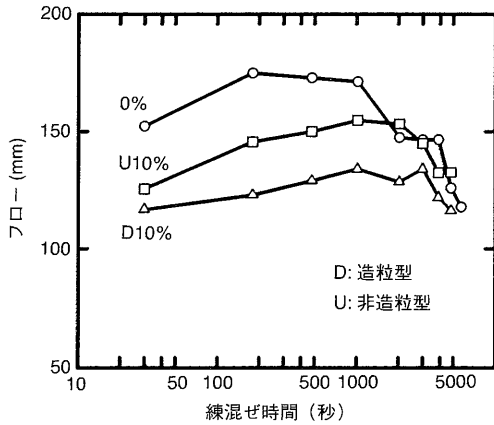


図-1 練混ぜ時間とモルタルのフロー

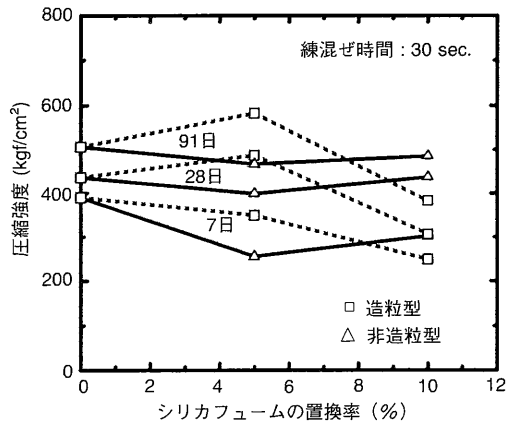


図-2 モルタルの圧縮強度におよぼすシリカフェームの置換率の影響(練混ぜ時間: 30秒)

ー1に示す。シリカフェーム無混和の場合、フローは練混ぜ時間180秒で最大値となり、1000秒程度までほぼ同じ値を示し、その後減少した。それに対し、シリカフェームを混和したモルタルのフローは、シリカフェームの種類にかかわらず1000秒程度で最大値を示し、その後減少する傾向を示した。流動性の観点からは、シリカフェーム無混和の場合には180秒程度の練混ぜ時間が最適となったが、シリカフェームを混和すると最適練混ぜ時間が増大し、1000秒程度の練混ぜが必要となった。なお、同一水結合材比で高性能減水剤の添加量も同じであることから、フローの最大値はシリカフェームの混和により低下したと考えられる。以下の実験では、シリカフェームを混和したモルタルのフローが最大となった1020秒まで練り混ぜたモルタルの圧縮強度と中性化深さについて検討を加える。

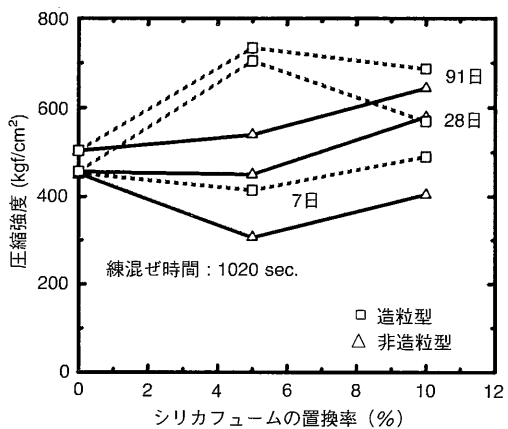


図-3 モルタルの圧縮強度におよぼすシリカフェームの置換率の影響(練混ぜ時間: 1020秒)

図-2および図-3にモルタルの圧縮強度とシリカフェームの置換率との関係を示す。練混ぜ時間が30秒の場合、造粒型シリカフェームを用いると置換率5%で最小圧縮強度を示すが、材令とともに置換率の影響は小さくなることが認められた。非造粒型シリカフェームでは材令28日以降置換率5%で最大圧縮強度を示したが、10%において無混和の場合に比べ圧縮強度は低下した。一方、1020秒練り混ぜた場合、造粒型シリカフェームを用いると、材令28日以降置換率の増加とともに圧縮強度は増大した。また非造粒型シリカフェームでは、シリカフェームの置換により圧縮強度は著しく増大し、置換率5%で最大圧縮強度を示した。このようにシリカフェームを混和したモルタルの圧縮強度発現性状は、シリカフェームの置換率や形態だけでなく練混ぜ時間によっても異なることが明らかとなった。

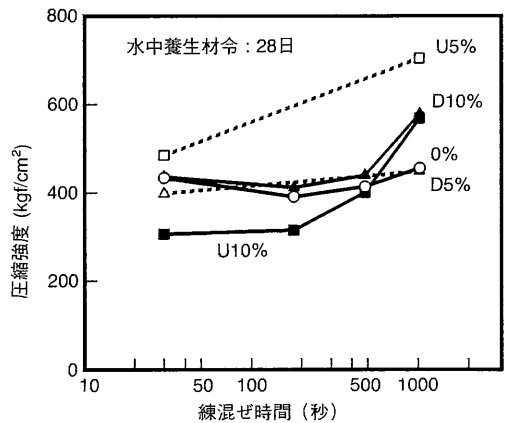


図-4 モルタルの圧縮強度におよぼす練混ぜ時間の影響

図-4にミキサの練混ぜ時間と水中養生材令28日にお

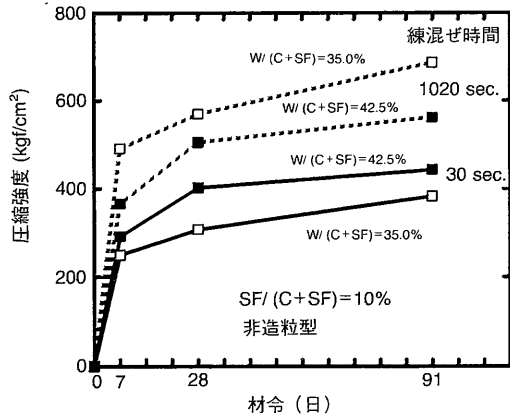


図-5 高性能減水剤の影響

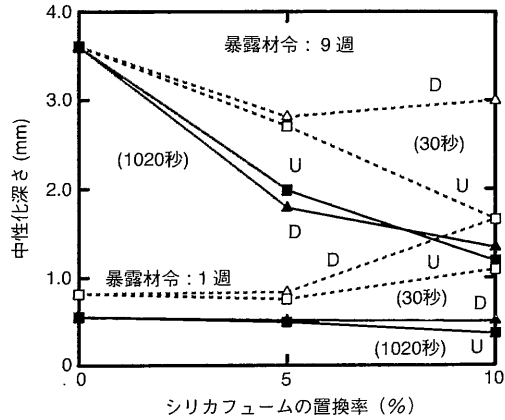


図-6 シリカフェームの置換率とモルタルの中性化深さ

けるモルタルの圧縮強度との関係を示す。シリカフェーム無混和の場合には、練混ぜ時間と無関係に圧縮強度はほぼ同一の値を示した。それに対し、シリカフェームを10%混和したモルタルの圧縮強度は、180秒までは造粒、非造粒とも練混ぜ時間の影響をほとんど受けず、無混和の場合と同等またはより低い強度となった。しかし、それ以後練混ぜ時間とともに圧縮強度は増大し、練混ぜ時間480秒で無混和とほぼ同程度の圧縮強度を示し、1020秒では無混和に比べ150 kgf/cm<sup>2</sup>程度大きな圧縮強度を示した。特に、非造粒のシリカフェームを用いた場合には、180秒程度の練混ぜでは無混和に比べ100 kgf/cm<sup>2</sup>程度圧縮強度が低いが、その後練混ぜ時間の増大とともに圧縮強度は増大し、1020秒においてはほとんどシリカフェームの形態による差は無くなった。このように1020秒と練混ぜ時間を十分にとり、シリカフェームの分散をよくすることにより、形態の影響も無くなり圧縮強度の増大が図られたものと考えられる。

図-5に非造粒型シリカフェームを混和し高性能減水剤を用いず、水結合材比35%の場合と同一のフローを示すように水結合材比を増大させたモルタルの圧縮強度を示す。シリカフェームを混和した場合でも、1020秒間練り混ぜた場合には、30秒の場合に比べ初期の材令から圧縮強度は増大し、水結合材比の低減とともに圧縮強度は増大した。しかし、練混ぜ時間が30秒の場合には、水結合材比を低減しても圧縮強度が低下する結果となった。この場合、高性能減水剤使用の有無、水量の多少により、シリカフェームの分散性は影響を受け、圧縮強度におよぼす練混ぜ時間の影響も異なったものと考えられる。

中性化深さにおよぼすシリカフェームの置換率の影響を図-6に示す。練混ぜ時間が1020秒の場合、中性化深さにおよぼすシリカフェームの形態の違いの影響はほと

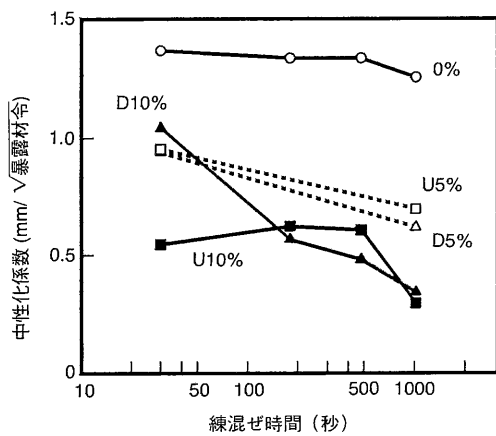


図-7 モルタルの中性化係数に及ぼす練混ぜ時間の影響

んど無く、置換率の増加とともに中性化深さは減少した。特に、暴露材令9週においてはシリカフェームの置換により中性化深さは著しく低減することが認められた。しかし、練混ぜ時間が30秒と短い場合にはシリカフェームの混和による中性化抑制効果は小さく、シリカフェームの形態の差による影響も認められた。暴露材令1週では置換率10%において中性化深さが無混和に比べ増大する結果となった。

図-7に中性化係数(中性化深さ/暴露材令の平方根)とミキサの練混ぜ時間との関係を示す。シリカフェーム無混和のモルタルの中性化係数は練混ぜ時間の影響をほとんど受けないが、シリカフェームを混和した場合には、練混ぜ時間の増加とともに減少しており、練混ぜ時間1020秒においてはシリカフェームを10%混和することにより中性化係数を無混和の25%程度に抑制できた。また、造粒型シリカフェームでは最初の180秒までの中性化係

## 研 究 速 報

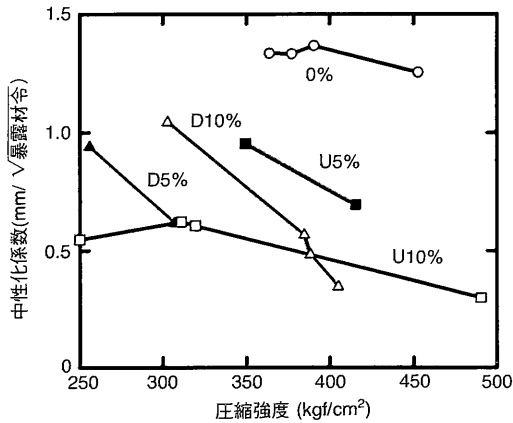


図-8 モルタルの圧縮強度と中性化係数の関係

数の低減は著しく、その後はシリカフェームの形態の違いはほとんど認められなくなった。

促進中性化試験開始材令である水中養生材令7日における圧縮強度と中性化係数の関係を図-8に示す。フライアッシュや、高炉スラグ微粉末を用いた場合には、混和材の有無によらず圧縮強度を用いて中性化深さを評価することが可能であることが明らかとなっている（ただし高炉スラグ微粉末で著しく粉末度が大きい場合や置換率が大きい場合を除く）<sup>5)~7)</sup>しかし、図-8に示すように練混ぜ時間により圧縮強度を変化させたモルタルの中性化深さは、圧縮強度だけでは説明することが出来ず、特にシリカフェームを混和した場合の中性化深さは圧縮強度に代表される組織の緻密さだけでなく、シリカフェームの反応性を含む化学的な影響も大きいものと考えられる。

## ま と め

従来、シリカフェームを混和しても強度、耐久性等のコンクリートの特性が改善できないとの報告があるが、練混ぜが不十分でシリカフェームの分散が良くない状態で実験を行っているため、シリカフェームの特性を十分に利用していない可能性もあると考えられる。従って、コンクリート用混和材としてシリカフェームを用いる場合、シリカフェームの反応性ととも練混ぜの影響を考慮したコンクリートの製造方法を確立する必要があると考えられる。

(1992年5月29日受理)

## 参 考 文 献

- 1) Nakamura, N., Sakai, M., Koibuchi, K. and Iijima, Y.: Properties of High-Strength Concrete Incorporating Very Finely Ground Granulated Blast Furnace Slag, ACI SP-91, Vol. 2, pp. 1361-1380, 1986
- 2) Regourd, M.: Microstructure of High Strength Cement Paste Systems, Materials Research Society Symposia Proceedings on Very High Strength Cement-Based Materials, pp. 3-17, 1985
- 3) Khayat, K.H. and Aitcin, P.C.: Silica Fume in Concrete- An Overview, ACI SP-132, Vol.2, pp.835-872, 1992
- 4) たとえば、長滝、大即、久田、松浦：シリカフェームを混和したコンクリートの耐海水性に関する基礎的研究、セメント技術大会講演集、Vol.46, pp.252-257, 1992
- 5) 大賀、長滝：促進試験によるコンクリートの中性化深さの予測と評価、土木学会論文集、第390号/V-8, pp. 225-233, 1988
- 6) Ho, D.W.S. and Lewis, R.K.: Carbonation of Concrete and Its Prediction, Cement and Concrete Research, Vol. 17, pp. 489-504, 1987
- 7) 長滝、大賀、荒井：高炉スラグ微粉末を混和したコンクリートの中性化、高炉スラグ微粉末のコンクリートへの適用に関するシンポジウム論文集、pp. 143-150, 1987