

## シリカフューム混入コンクリートの特性

### I. 混和剤としてAE剤を使用した場合

服部九二雄\*・森井俊廣\*

平成4年6月30日受付

## Properties of Concrete Made with Silica Fume

### I. The Use of the Air Entraining Agent as Chemical Admixture

Kunio HATTORI\* and Toshihiro MORII\*

Silica fume is one of the by-products from the industrial activity. It has the micro-filler effect and pozzolanic reaction as the admixture in concrete or mortar. As a result of these properties, the use of silica fume makes the concrete or mortar denser, stronger and more impermeable.

We have studied the use of "Masa-do" as a fine aggregate in concrete since 1981. "Masa-do" is classified as the fine aggregate with the lower quality for concrete. The term "Masa-do" is applied to the residual soil derived from the weathered granite in Japan. We have a plan which investigates the possibility to use the silica fume for the concrete made with "Masa-do". To complete this plan, in 1990 and 1991, we carried out the fundamental experiments to investigate the factors influencing the density and strength of mortar mixed with silica fume. In these experiments, we tried to throw light on the following points:

- ① the influence of silica fume content to the consistency and strength of mortar
- ② the influence of the air entraining agent to the properties of mortar with silica fume

From these experiments, we may conclude that the air entraining agent did not make the mortar mixed with silica fume denser and stronger.

#### ま え が き

コンクリートは廉価で安定した耐久性のある建設材料として広く使用されてきており、今後ともその状況はさ

ほど変化なく続いていくと考えられる。複合材料としてのコンクリートは、セメント、骨材、水、混和材料および空気から構成されるものである。セメントは、品質改善を重ねることによってバラツキの少ないものが安定供

\*鳥取大学農学部農林総合科学科生産環境工学講座

\*Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University

給されてきているが、近年大量採取によるその原料である石灰石の枯渇も懸念されだしてきている。また、良質の河川産骨材の枯渇が叫ばれて久しい。このように最も耐久性があるコンクリートもいろいろな不安材料を抱かえているわけで、それらを取り除くには、産業副産物などを混和材として使用し、単位セメント量を減じ、低品質骨材でも使用できる道を開けば、経済的かつ各種資源の有効利用へとつながることになる。

筆者らは、中国地方に多く分布するマサ土のコンクリート用細骨材としての利用の可能性に関する研究を重ねてきているが<sup>3,4,5,6,7)</sup>、さらにセメントの混和材としてのシリカフェームの利用も検討することにした。

産業副産物としてのシリカフェームは、シリコン、フェロシリコン、シリコン合金などを製造する際に生じる廃ガス中に含まれるシリカ (SiO<sub>2</sub>) を集塵機で集めて得られる超微粒子である。

シリカフェームのコンクリートへの利用は、1950年ノルウェー工業技術研究所で研究が開始され、2年後にオスロ市のトンネルコンクリートにセメント量の15%混入されたのが始まりである。良質なシリカフェームを用い、適切な配合、打設、養生を行えば、シリカフェームのポゾラン反応およびマイクロファイラー効果(空隙充填効果)によりコンクリートの種々の物理的・化学的性質が改善されるといわれている<sup>2)</sup>。

このような特徴を持つシリカフェームを将来的には低品質な骨材を用いたコンクリートにも使用する予定であるが、そこで、シリカフェームをコンクリートに使用した場合の特性を把握するため、基礎的な実験を次のような点について検討を加えてみた。

- ① シリカフェーム混入率とコンシステンシーとの関係
- ② シリカフェーム混入率と諸強度との関係

- ③ 混和剤としてAE剤を使用した場合の諸性状の変化
- 実験は、1990と1991年に行ったもので、それぞれシリーズ1と2と呼ぶことにする。またシリーズ1では、前記実験目的の内①と②を、シリーズ2では③について主に実施した。

なお、本実験では、シリカフェームの基本的な特性を検討するため、コンクリート供試体ではなく4×4×16 cmの角柱形モルタル供試体を使用して実験を行った。

#### 使用材料・実験方法

実験に使用した材料は、市販の比重3.16の普通ポルトランドセメント、比重約2.2のシリカフェーム(宇部市・小野田セメント製：以下、SFと略して表す)および標準砂である。

第1表には、シリーズ1のモルタル供試体の配合を、第2表および第3表には、シリーズ2の配合およびAE剤混入率とAE剤混入量を示す。シリーズ1では、SF混入率を変化させ、それに伴う諸性状の変化を追跡した。シリーズ2では、実用的・経済的な見地から、SF混入率20%と30%が適切な混入率と考え、この混入率中心にAE剤添加に伴う諸性状の変化を追跡した。モルタル供試体の作製手順は、「セメントの物理試験方法」(JIS R 5201)<sup>1)</sup>に従った。また、測定項目を下記に示す。

- ① 供試体の空中・水中重量および密度
- ② 超音波伝播時間および超音波伝播速度
- ③ 曲げ・圧縮強度

①は、粗骨材比重測定装置を用いて各材令3本の供試体を1単位として測定をした。②は、ウルトラソニックテスター(KKマルイ製)を使用して測定を行った。③は、「セメントの物理試験方法」に従って行ったが、曲げ強度試験は、油圧式試験機で実施した。

第1表 実験に使用したモルタル供試体の配合(シリーズ1)

シリカフェーム 混入率 S <sub>w</sub>	水セメント比 W/C (%)	セメント量 C (g)	シリカフェーム 量 S (g)	水 W (g)	標準砂 H (g)	総量 T (g)
0%	55	1,800	0	990	3,600	6,390
5%	55	1,710	90	990	3,600	6,390
10%	55	1,620	180	990	3,600	6,390
15%	55	1,530	270	990	3,600	6,390
20%	55	1,440	360	990	3,600	6,390
30%	55	1,260	540	990	3,600	6,390
40%	55	1,080	720	990	3,600	6,390
50%	55	900	900	990	3,600	6,390

$$S_w = S / (C + S) \times 100$$

$$W/C = W / (C + S)$$

$$C + S = 1,800 \text{ (g)}$$

第2表 実験に使用したモルタル供試体の配合 (シリーズ2)

シリカフェーム混入率 $S_w$	水セメント比 W/C (%)	セメント量 C (g)	シリカフェーム量 S (g)	水 W (g)	標準砂 H (g)	総量 T (g)
20%	55	1,440	360	990	3,600	6,390
30%	55	1,260	540	990	3,600	6,390

$S_w = S / (C + S) \times 100$        $W/C = W / (C + S)$        $C + S = 1,800$  (g)

第3表 AE剤混入率とAE剤混入量 (シリーズ2)

AE剤混入率 (%)	0.06	0.12	0.24	0.48	0.96	1.92
AE剤混入量 (g)	1.08	2.16	4.32	8.64	17.28	34.56

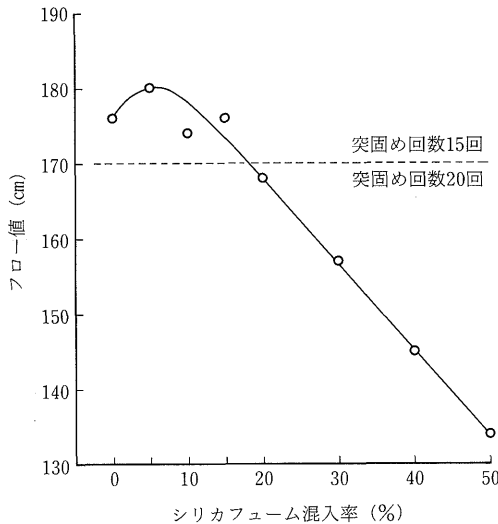
結果と考察

第1図には、SF混入率とフロー値 (施工軟度) との関係を示す。この図より、SF混入率5%でフロー値は最大値に達し、それ以上SF混入率を増加させると急激にフロー値が低下し、モルタルの練混ぜおよび締固めが困難になることがわかる。

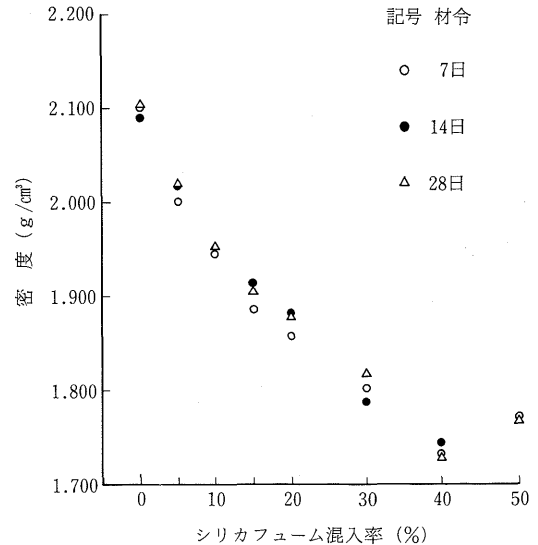
第2図、第3図および第4図には、SF混入率に伴う密度、超音波伝播速度および曲げ・圧縮強度の変化を示す。基準となる材令28日の値を中心に考察を加えてみる。これらの図より、密度は、SF混入率が増加するに伴い急激

に低下し、SF混入率40%を越えると一定化の傾向を示すことが分かる。一方、超音波伝播速度と曲げ・圧縮強度は、SF混入率5%で、長期材令における材令28日でピーク値になり、それ以上のSF混入率では低下していき、SF混入率40%以上ではやはり一定化傾向を示す。従って、混和剤を使用しない場合には、練混ぜ易さ (施工軟度=フロー値) とか強度面から考えた場合、SF混入率は5%が限度であるといえる。

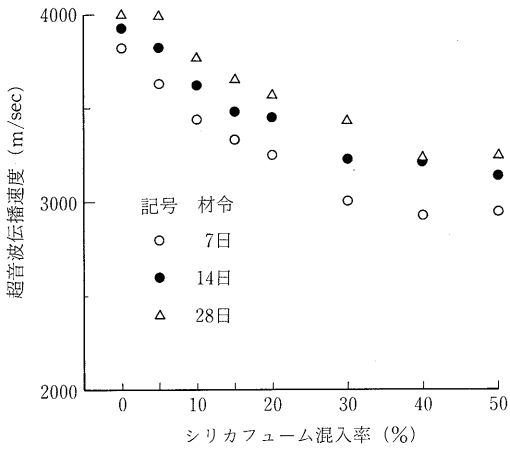
SF混入率5%は、セメント置換率からいってもセメント量の節減にはならず、SF混入率20~30%が実用的といえる。そこで、入手が容易で廉価な混和剤であるAE剤で、



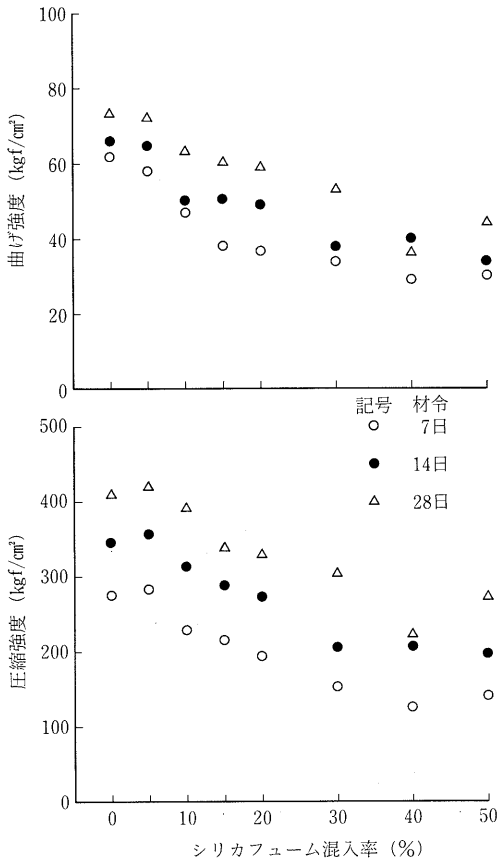
第1図 シリカフェーム混入率とフロー値の関係 (シリーズ1)



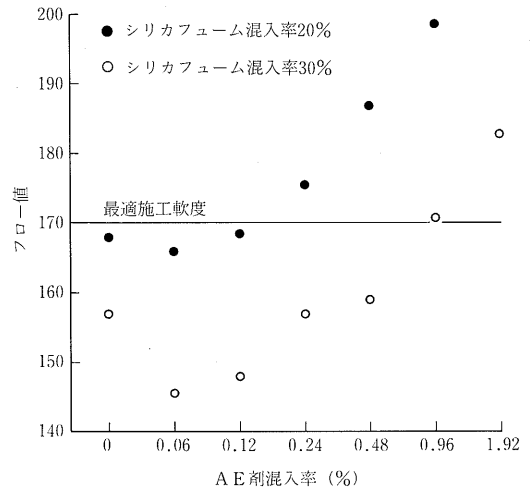
第2図 シリカフェーム混入率に伴う密度の変化 (シリーズ1)



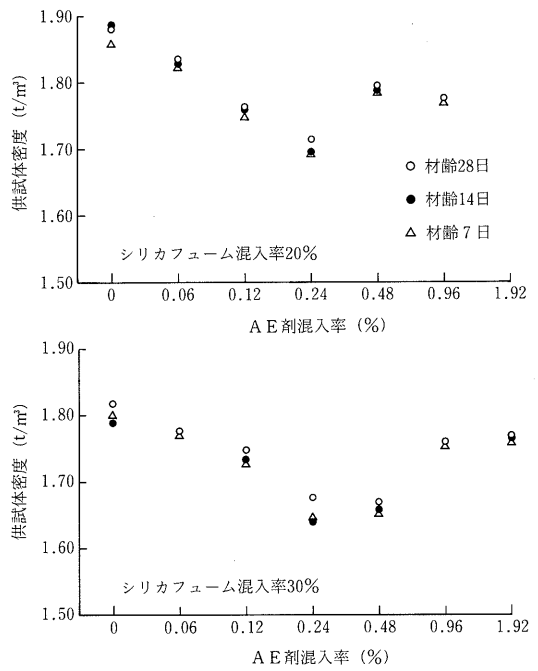
第3図 シリカフェーム混入率に伴う超音波伝播速度の変化 (シリーズ1)



第4図 シリカフェーム混入率に伴う曲げ・圧縮強度の変化 (シリーズ1)



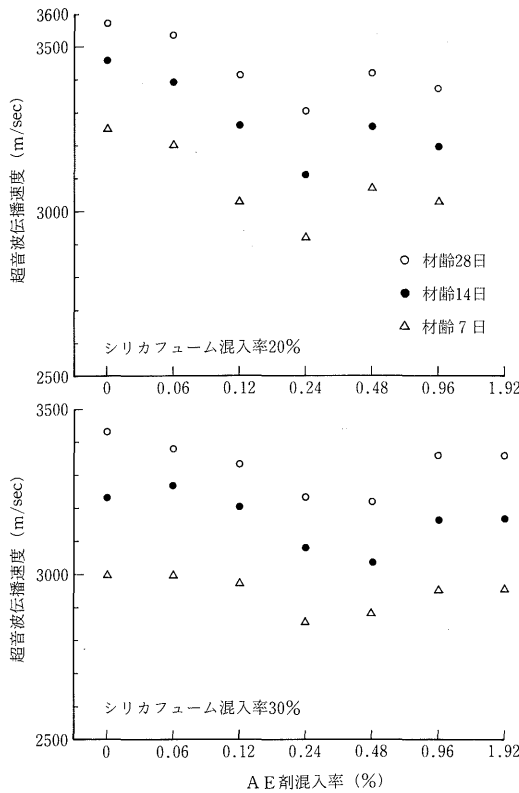
第5図 AE剤混入率とフロー値の関係 (シリーズ2)



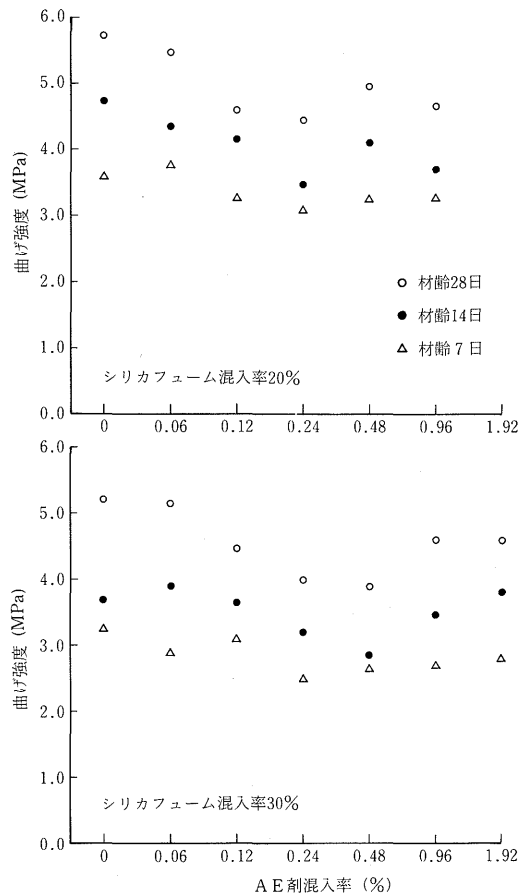
第6図 AE剤混入率に伴う密度の変化 (シリーズ2)

このSF混入率を高めることができれば経済的と考え、SF混入率20%と30%について、AE剤添加量を変え諸性状の変化を追跡した。

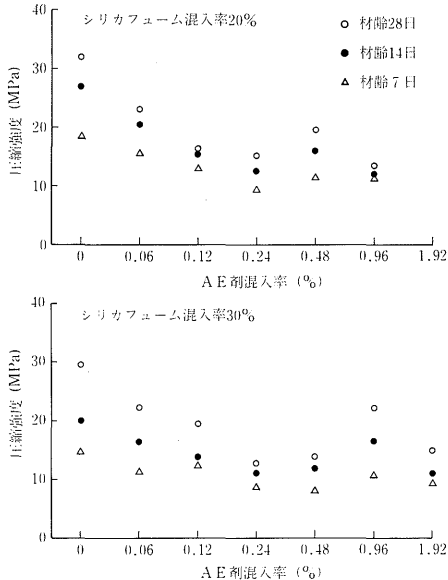
第5図には、AE剤混入率の増加に伴うフロー値の変化を示す。この図より、フロー値を最適施工軟度(フロー



第7図 AE剤混入率に伴う超音波伝播速度の変化(シリーズ2)



第8図 AE剤混入率に伴う曲げ強度の変化(シリーズ2)



第9図 AE剤混入率に伴う圧縮強度の変化(シリーズ2)

値=170)以上にするには、SF混入率20%では0.24%以上、SF混入率30%では0.96%以上AE剤を添加する必要があることが分かる。第6図には、AE剤混入率に伴う密度の変化を示す。SF混入率20%と30%ともAE剤混入率0.24%で最小値を示し、それ以上の添加によって密度が回復することが分かる。

第7図、第8図、第9図には、AE剤混入率に伴う超音波伝播速度、曲げ強度、圧縮強度の変化を示す。これらの図でも、AE剤混入率0.24%または0.48%で最小値を示し、それ以上のAE剤添加では速度および強度が回復していることが分かる。

このように、密度、速度および強度が、AE剤混入率0.24%または0.48%を境にそれぞれの値が回復するのは、このAE剤混入率までは、AE剤の表面活性作用による起泡効果がセメント粒子およびSF粒子の分散効果

を相殺して空気量が増していくが、混入率0.24%または0.48%を越えると、空気量の増加はピークに達し、これ以上の空気量の増加は止まり、AE剤の分散効果が勝り、SF粒子がセメント粒子の間隙内に入り込む、いわゆるマイクロファイラー効果（空隙充填効果）が発揮されだし、緻密な構造となりモルタル硬化体の密度を増加させるものと考えられる。

しかし、AE剤の本来の機能である起泡効果による連行空気量の増加は、空気量1%の増加が圧縮強度を約5%低下させるという著しい影響を招く。例えば、第4表に示すように、AE剤無添加でSF混入率0%の場合、いわゆるブレンモルタルの材令28日における圧縮強度と比較してみると、AE剤を添加してフロー値を大きくしかつ強度の回復が得られたとしても、この程度の強度回復では実用的にみても満足のものとはいえない。

そこで、AE剤よりも起泡効果も小さくかつ連行空気量も少なく、流動化剤としての機能を持つ高性能減水剤の使用が推奨される。第5表には、AE剤と高性能減水剤との機能の比較を示す。このように高性能減水剤は、連行

第4表 AE剤混入率 $S_{AE}$ と圧縮強度(材齢28日)の関係

圧 縮 強 度 (MPa)			
AE剤混入率	シリカフェーム混入率 $S_w$ (%)		
$S_{AE}$ (%)	0%	20%	30%
0.00	40.2	32.4	29.8
0.48	-----	19.4	14.1
0.96	-----	13.4	22.4

第5表 AE剤と高性能減水剤の比較

	AE剤	高性能減水剤
界面活性作用	起泡効果	分散効果
連行空気量	3～6%	1～2%
減水効果	8～15%	約30%

空気量が1～2%で界面活性作用による分散効果が高くかつ減水効果が格段に高いもので、高強度コンクリートを作る混和剤としても最近頻繁に使用されてきている。

## 総 括

以上示してきたように、セメント粒子よりも細かいSFをセメントの混和材として使用するには、AE剤ではなく高性能減水剤の使用が必要不可欠であることが分かった。今後、高性能減水剤を使用した場合のモルタル供試体による諸性状の変化を追跡し、さらにはコンクリート供試体、低品質骨材を混入したコンクリートの性質改善へと適用範囲を広げていく予定である。最後に、本実験を遂行するに当たり、平成2年度と3年度における当研究室専攻生の多大なる助力に感謝の意を表す。

## 《引用文献》

- 1) 土木学会コンクリート委員会：土木学会規準（昭和61年版）．土木学会，東京（1986）pp. 8-22
- 2) 笠井芳夫・小林正凡：セメント・コンクリート用混和材料，技術書院，東京（1986）pp. 101-102
- 3) 服部九二雄・柘植巳一：マサ土を細骨材として利用したコンクリートの特徴—低品質骨材の有効利用に関する研究（I）—．農土論集，144 25-32（1989）
- 4) 服部九二雄・柘植巳一：低品質骨材を用いたコンクリートの特徴 III．コンクリートの耐凍結融解性．鳥大農研報，43 65-71（1990）
- 5) 服部九二雄・柘植巳一：マサ土を細骨材として利用したコンクリートの耐凍結融解性—低品質骨材の有効利用に関する研究（II）—．農土論集，160 19-26（1992）
- 6) 柘植巳一・服部九二雄：低品質骨材を用いたコンクリートの特徴 I．マサを細骨材として利用した場合．鳥大農研報，37 102-110（1985）
- 7) 柘植巳一・服部九二雄：低品質骨材を用いたコンクリートの特徴 II．AE剤混入の効果．鳥大農研報，39 85-91（1986）