

ダブルミキシングがシリカフュームを混入したモルタルの乾燥収縮に及ぼす影響

広島大学 正 員 田澤栄一
 広島大学 正 員 米倉亜州夫
 呉高専 正 員 竹村和夫
 広島大学 学生員 ○田中敏嗣

1. まえがき

シリカフューム (Si) は非晶質 SiO_2 を主成分とする球状の超微粒子で、高いボゾラン反応や充填効果 (マイクロフィラー効果 (MF 効果)) などの性質を持っている。このシリカフュームを用いたセメントペーストをダブルミキシング (DM) で製造することにより水とセメント粒子およびシリカフューム粒子との結合状況を変化させた場合、シングルミキシング (SM) で製造した場合と比較してフレッシュ時および硬化後のセメントペーストの性状が変化することが考えられる。

本研究は水和反応速度や細孔構造に大きな影響を及ぼすと考えられるシリカフュームを用い DM で製造したシリカフューム混入モルタルの乾燥収縮特性について、DM 効果、細孔径分布、水和反応速度、圧縮強度などに関連づけて、SM で製造した場合と比較検討を行なったものである。

2. 実験概要

セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は標準砂、シリカフュームは E 社製のものを用いた。シリカフュームの品質を表-1 に示す。混和剤はナフタリンスルホン酸塩系の高性能減水剤を用い、結合材量の 2% を添加した。モルタルの配合を表-2 に示す。R はシリカフューム置換率 ($\text{Si} / (\text{C} + \text{Si})$) を示す。配合の共通条件として、単位ペースト量 (m^3 / m^3) を 0.6 とした。DM する場合の共通条件として 1 次水結合材比 ($W_1 / (\text{C} + \text{Si})$) は 18% とした。練り混ぜは図-1 に示す方法で行なった。練り混ぜにはホバート型モルタルミキサーを用いた。その性能は低速 (L) で回転数 100rpm 公転数 28.5rpm 高速 (H) で回転数 200rpm 公転数 57.1rpm である。供試体寸法は $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}$ である。供試体は材令 1 日で脱型し、表面の油分を除去した後 20°C の水中にて材令 3, 7, 28 日まで養生した。所定の養生の後、基長および重量を測定し、温度 20°C 湿度 50% R.H の恒温恒湿室内に静置した。乾燥は全面乾燥 (6 面乾燥) とした。長さ変化にはダイヤルージを用い、その際重量変化も測定した。細孔径分布の測定は水銀圧入法により行なった。

表-1 シリカフュームの品質

H ₂ O	0.4
化学	
SiO ₂	97.0
成分	
CaO	0.11
Na ₂ O	0.11
K ₂ O	0.31
(%) P ₂ O ₅	0.05
ig loss	1.2
PH	4.7
かさ重量 (kg/m^3)	300
比重	2.19
比表面積 (cm^2/g)	$20 \sim 2.6 \times 10^5$
平均粒径 (μm)	0.142

表-2 モルタルの配合 (kg/m^3)

置換率	W/(C+Si)	W	C	Si	S
R0	18	218	1211	0	1056
	30	292	973	0	1056
	50	368	670	66	1056
R9	18	218	1102	109	1056
	30	292	885	88	1056
	50	368	670	66	1056
R20	18	218	969	242	1056
	30	292	778	195	1056

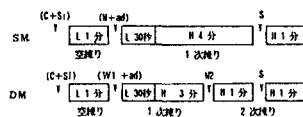


図-1 練り混ぜ方法

3. 実験結果および考察

図-2 は標準養生期間が 3 日、水結合材比 30% の場合の細孔直径と細孔容積との関係 (細孔径分布) を示したものである。この図から R9-30-DM の曲線の細孔容積の増加量が $200 \sim 100 \text{ \AA}$ の範囲において他の配合の場合よりも大きいことがわかる。

図-3 は図-2 の曲線を直径で微分したものである。縦軸は曲線の傾きを示す。この図から上述のことは一層明らかであり R9-30-DM の場合すなわちシリカフュームを用い DM した場合が特に高い山になっており、このことは他の配合の場合より $200 \sim 100 \text{ \AA}$ の微細孔量の増加の割合が高いことを示している。

図-4 は標準養生期間が 3 日の場合の重量変化率 ($\Delta W/W$) と乾燥

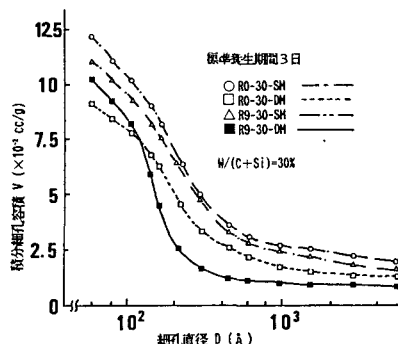


図-2 細孔径分布図 (積分曲線)

収縮 (ϵ_s) との関係を示したものである。シリカフェーム無混入の場合 SM, DM による曲線の相違はほとんど見られない。シリカフェーム混入の場合は DM の曲線は SM の曲線を左にシフトした形になっている。両者の曲線の直線部分の重量変化の差は、同一養生期間内に化学的にまたは物理的に結合材と結合した水の量を示すと考えられるから¹⁾、SM の場合より DM の場合のほうが水和反応速度が早いと言える。このようにシリカフェームを用い DM した場合、SM の場合よりも若材令時から緻密な組織になったり水和反応速度が早くなるのは、DM によりボゾラン反応が一層高められるためと考えられる。標準養生期間が 28 日の場合は、3 日の場合のように大きな差は見られなかった。

図-5 は標準養生期間が 3 日の場合で置換率 9%，水結合材比 1.8，3.0 および 5.0 の場合の $\Delta W/W$ と ϵ_s との関係を示したものである。いずれも 1 次水結合材比は 1.8% とした。水結合材比が 1.8% と極めて小さい R9-1.8 の曲線の傾きは最初から急で直線的である。水結合材比が 5.0% の場合、SM, DM の曲線の形の相違は図中に示す水結合材比 3.0% の場合のように大きな差は見られなかった。

図-6, 7 はそれぞれ水結合材比 3.0%，標準養生期間 3 日、および 28 日の場合のシリカフェーム置換率と乾燥日数 50 日の乾燥収縮歪 (ϵ_{s50}) との関係を示したものである。いずれの場合も図に示すように ϵ_{s50} はシリカフェームを用い置換率 9% かつ DM の場合が最小となっている。すなわちシリカフェームを混入したモルタルの乾燥収縮はシリカフェーム置換率 1.0% 程度で DM で製造すれば、通常の方法 (SM) で製造した場合より同一長期乾燥日数において小さくなる。

図-8 は材令 28 日の圧縮強度と標準養生期間 28 日の場合の乾燥日数 50 日の乾燥収縮歪 (ϵ_s) との関係を示したものである。乾燥収縮歪は SM, DM に関係なく圧縮強度が高いほど小さくなる傾向がある。一般に DM した場合水和反応が SM に比べて早く進む傾向があるが、水和反応速度が早くなれば同一材令においてそれだけ組織が緻密になり大きな毛細管張力が生じ乾燥収縮歪は大きくなるはずである。しかし一方では組織が緻密になるほど骨格の強度が高くなり変形が生じにくくなる効果もあり、乾燥収縮は毛細管張力の大きさと骨格構造の強さとの兼ね合いによって決まるものと思われる。

文献) 1) E. Tazawa, Influence of Curing Time on Shrinkage and Weightloss of Hydrating Portland Cement, Proc of JSCE No.159, 1969-6

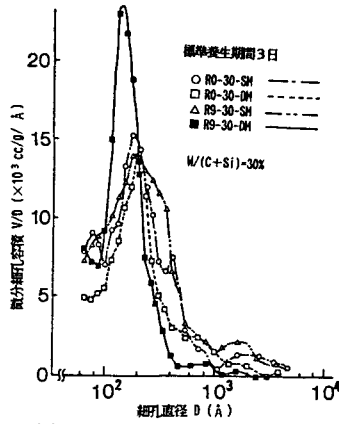


図-3 細孔径分布図(微分曲線)

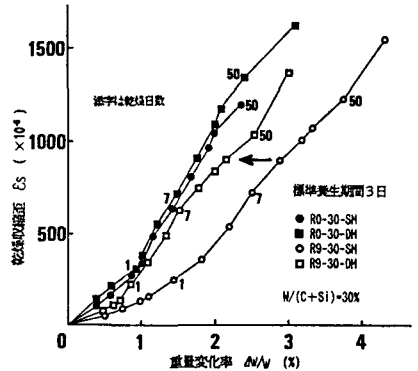


図-4 乾燥収縮歪と重量変化率との関係

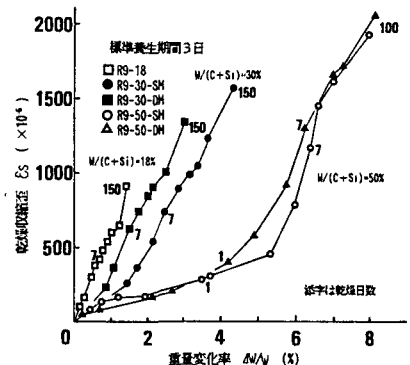


図-5 乾燥収縮歪と重量変化率との関係

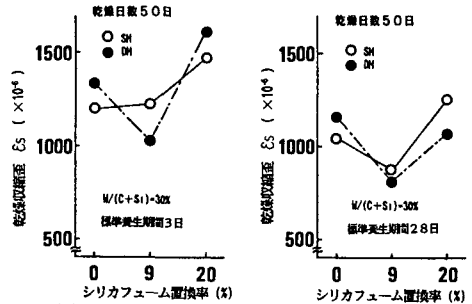


図-6 乾燥収縮歪と置換率との関係

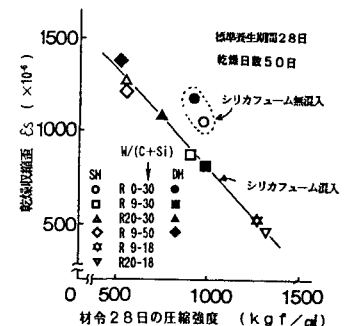


図-7

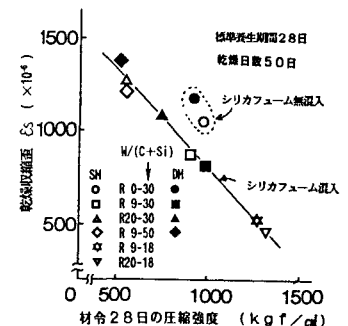


図-8 乾燥収縮歪と圧縮強度との関係