

シリカフュームモルタルの細孔径分布と塩化物イオン透過性

金沢大学工学部 学生員○三原 守弘

金沢大学工学部 正会員 鳥居 和之

金沢大学工学部 正会員 川村 満紀

1. まえがき シリカフュームを使用したコンクリートでは、塩化物イオンの浸透性が大きく低減されることが知られている。この理由としては、シリカフュームのポゾラン反応の過程で水酸化カルシウムの大きな結晶が消費されることにより、細孔構造が微細で、かつ不連続なものに変化することを挙げることができる。本研究は、シリカフュームを使用したセメントモルタルの塩化物イオン浸透性を急速試験法(AASHTO T-277)により測定するとともに、それらのセメントモルタルの細孔径分布および細孔溶液の組成との関係により塩化物イオンの浸透性に及ぼすシリカフューム混入の効果について2、3の検討を行ったものである。

2. 実験概要 セメントおよびシリカフュームは、それぞれ普通ポルトランドセメント(比重:3.16, ブレーン値:3300cm²/g)および粉体状の市販品(SiO₂含有量:90.9%, 比重:2.33, BET比表面積:24.2m²/g)である。使用骨材は、最大粒径2.5mmの川砂(比重:2.61, 吸水率:1.3%)を使用した。セメントモルタルの配合は、水:セメント:砂=0.55:1:2(重量比)である。シリカフュームの重量置換率(SF/(C+SF))は、5%、10%および15%(SF5, SF10 および SF15)とし、無混入のもの(PL)と比較した。セメントモルタルは、所定のフロー値(160~180mm)が得られるように高性能AE減水剤(K社製, アニオン型特殊高分子活性剤)の添加量を決定した。シリカフュームを使用したセメントモルタルの配合を表1に示す。セメントモルタル供試体は、所定の材令(1、3、7、14、28、90日)まで水中養生(温度20°C)を行った後に、各種試験に供した。測定項目は、塩化物イオン透過量(急速塩化物イオン透過性試験¹⁾(AASHTO T-277)、拡散セル中において60Vの定電圧下で6時間に流れる電流量(クーロン)により塩化物イオン透過量を判定する方法)、細孔径分布(水銀圧入式ポロシメータ、凍結乾燥を行った5mm角程度のモルタル試料)、急速試験終了後の塩化物イオンの浸透状況(JCI-SC5硬化コンクリート中に含まれる全塩分の簡易分析法(案))および細孔溶液の組成(高圧装置によりφ5×10cmの円柱供試体から抽出した細孔溶液中のOH⁻、Na⁺、K⁺およびCa²⁺の各イオン濃度の測定)である。

3. 実験結果および考察 3.1 塩化物イオン透過量および急速試験終了後の塩化物イオンの浸透状況

急速試験法により測定された塩化物イオン透過量(クーロン)の経時変化を図1に示す。図1に示すように、シリカフューム混入モルタルでは、1日材令から既にシリカフュームの置換率に比例して塩化物イオン透過量(クーロン)が低下しており、28日材令以後になるとシリカフューム置換率10%以上のものは、1000クーロン以下の非常に小さな塩化物イオン透過量(クーロン)を示す。急速試験終了後の塩化物イオンの浸透状況を図2に示す。シリカフューム無混入モルタル(PL)では、厚さ5cmの供試体中の塩化物イオン濃度がほぼ一定であり、6時間の測定中に塩化物イオンの浸透がほぼ定常に達していることがわかる。しかし、シリカフューム混入モルタルでは、浸透面付近の塩化物イオン濃度は大きい、それより内部になると塩化物イオンの浸透が大きく抑制されており、急速試験により測定された塩化物イオン透過量(クーロン)は、実際の塩分浸透状況とよく対応していることがわかる。

表1 セメントモルタルの配合

略号	SF 置換率 (%)	水結合 材比 (%)	単位量(kg/m ³)				
			W	C	SF	S	S.P.*
PL	0	55	337	613	-	1225	-
SF5	5	55	331	580	31	1222	4.9
SF10	10	55	327	548	61	1219	7.9
SF15	15	55	323	516	91	1215	11.5

* S.P.:高性能AE減水剤

3.2 細孔径分布および細孔溶液中の水酸化物イオン濃度の経時変化 全細孔量および0.1μm以上の細孔量の経時変化を図3および4に示す。シリカフューム混入の有無に関係なく、いずれのセメントモルタルも材令にともなう全細孔量および0.1μm以上の細孔量の急激な低下が認められる。セメントモルタルの細孔構造に及ぼすシリカフューム混入の影響は、図3と4との比較より明らかなように全細孔量よりも0.1μm以上の細孔量により明確に反映されており、シリカフュームの混入は特に0.1μm以上の細孔量を低減させるのに有効であることがわかる。塩化物イオン透過量(クーロン)と0.1μm以上の細孔量との関係を図5に示す。両者の関係はシリカフュームの置換率によりそれぞれ相違したものになっているが、塩化物イオン透過量は材令の経過にともなう0.1μm以上の細孔量の減少にほぼ比例して低下している。このことは、塩化物イオンのセメントモルタル中への浸透は0.1μm以上の細孔と密接に関係していることを示唆している。一方、シリカフュームを使用したコンクリートでは、細孔溶液中のOH⁻イオン濃度の低下により塩化物イオン透過量(クーロン)が大きく低下するとの指摘²⁾もある。図6は細孔溶液中のOH⁻イオン濃度の経時変化を示したものであるが、シリカフューム混入モルタルの細孔溶液中のOH⁻イオン濃度は、シリカフュームのポゾラン反応が活発に進

行する3日から7日にかけて大きく低下しており、7日材令以降のシリカフューム混入モルタルの塩化物イオン透過量(クーロン)が大きく低下する理由として細孔溶液中の OH^- イオン濃度の低下も関与していることがわかる。

4 結論 シリカフューム混入モルタルでは、細孔構造の変化および細孔溶液中の OH^- イオン濃度の減少により材令の経過とともに塩化物イオン透過量(クーロン)が大きく低下することが明らかになった。

<参考文献> 1)Whiting,D.; Rapid Determination of the Chloride Permeability of Concrete,FHWA/RD-81/119. 2)Cabrera,J.G. et al.; Measurement of Chloride Penetration into Silica Fume Concrete,Cement and Composite,1990.

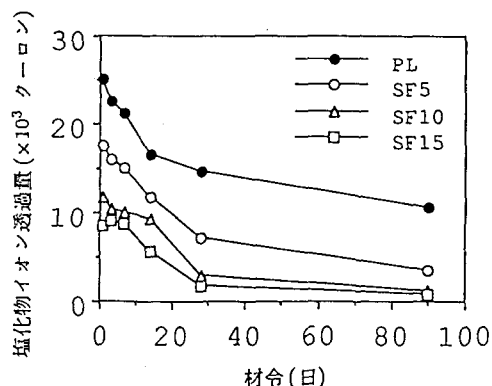


図1 塩化物イオン透過量の経時変化

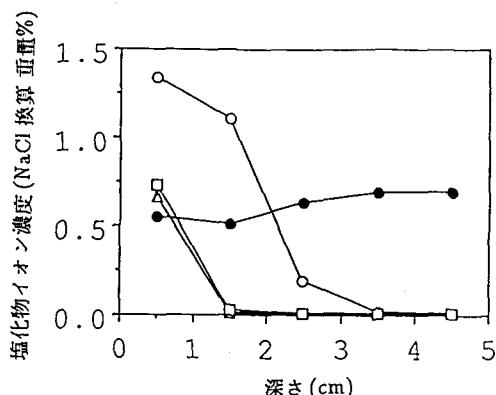


図2 塩化物イオンの浸透状況

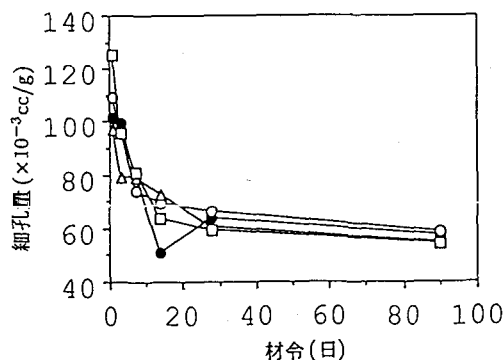


図3 全細孔量の経時変化

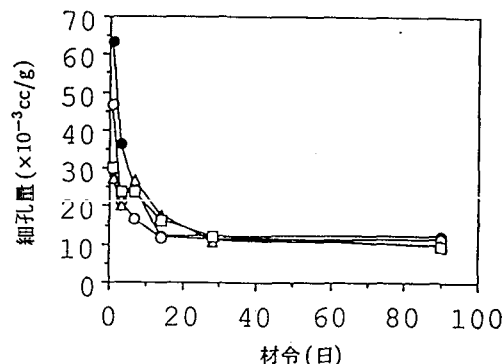


図4 0.1μm以上の細孔量の経時変化

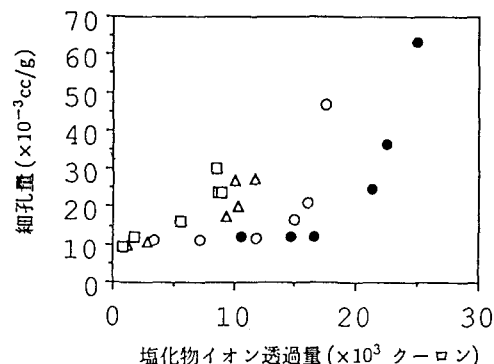


図5 塩化物イオン透過量(クーロン)と0.1μm以上の細孔量との関係

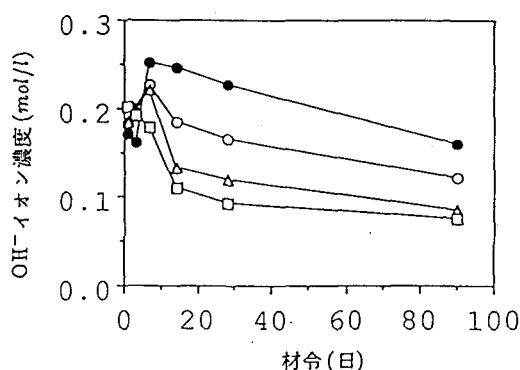


図6 OH^- イオン濃度の経時変化