

シランの分子構造や分子量が表面含浸材の性能に及ぼす影響に関する基礎的研究

関西大学 生田 達史

関西大学 上田 尚史

東レ・ダウコーニング 森 秀之

1. はじめに

シラン系表面含浸工法は、コンクリートの劣化進行を抑制する手法の一つであり、その劣化抑制効果はこれまで数多く検討されている。しかし、シランの種類や成分に着目した研究はわずかであり^{1, 2)}、含浸材としての効果的なシラン種類に関しては必ずしも明らかではない。そこで本研究では、シランの加水分解性基（アルコキシ基）や官能基の種類および分子量の違いが含浸材の含浸深さや吸水抑制効果に及ぼす影響について実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 使用したシラン系表面含浸材

表 1 に使用したシラン系表面含浸材の概要を示す。本研究では、分子量 170.3～276.5 のアルキルアルコシキシランのうち、加水分解性基がエトキシとメトキシのシランを対象として検討した。また、官能基にアミノ基を有したシランも使用した。アミノ基は加水分解性基の活性を高める効果があり、一般的には既設構造物に使用するシラン系表面含浸材に含まれる場合が多い。

表 1 シラン系表面含浸材

略称	化学式	官能基	加水分解性基	分子量
MTES	$\text{CH}_3\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$	メチル	エトキシ	178.3
HTMS	$\text{C}_6\text{H}_{13}\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$	ヘキシル	メトキシ	206.4
HTES	$\text{C}_6\text{H}_{13}\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$	ヘキシル	エトキシ	248.4
DTMS	$\text{C}_{10}\text{H}_{21}\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$	デシル	メトキシ	262.5
OTES	$\text{C}_8\text{H}_{17}\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$	オクチル	エトキシ	276.5
APTMS	$\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$	アミノ	メトキシ	179
AEAPTMS	$\text{H}_2\text{NC}_6\text{H}_4\text{NHC}_6\text{H}_4\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$	アミノ	メトキシ	222.4

表 2 配合表

W/C(%)	空気量(%)	単位量(kg/m ³)		
		W	C	S
40	1.0	305	762	1143

2.2 供試体概要および試験概要

表 2 に使用したモルタル基盤の配合を示す。本研究では、モルタル基盤に対する含浸深さと吸水抑制効果について検討した。モルタル基盤は寸法 75×75×50mm とし、配合は表 2 に示すように W/C を 0.40、S/C を 1.5 とした。モルタル基盤は、打設翌日に脱型し、温度 20℃、湿度 60%の恒温恒湿室で 13 日間水中養生した後に、材齢 28 日まで同恒温恒湿室で気中養生した。含浸材は材齢 28 日目に塗布した。なお、含浸材の塗布面は、切断面とした。含浸材の塗布量は 200g/m² とし、1 回塗りとした。含浸材塗布後は、上記恒温恒湿室内にて 3 日間養生した後、表面含浸材の試験方法(案)(JSCE-K571-2005)に準じて、含浸深さ試験と吸水率試験を行った。また、既設構造物を模擬するために、気中養生期間中(材齢 14～28 日)に中性化促進装置内(CO₂ 濃度 5.0%、湿度 60%)にて静置したモルタル基盤に対しても同様の試験を行った。

3. 試験結果および考察

3.1 シランの加水分解性基の種類および分子量の影響

図 1 に分子量と含浸深さの関係を示す。図より、加水分解性基がエトキシである MTES、HTES と OTES は分子量が大きくなると含浸深さは大きくなった。一般に、シランの分子量が大きくなるほど加水分解性基の反応性が低下するため、モルタル表面で反応する確率が低下し、より深く含浸した部分での反応確率が高くなることから、含浸深さが大きくなったものと考えられる。一方、DTMS は HTES より分子量は大きいシランであるが含浸深さは小さくなった。シランの加水分解性基がメトキシ基の場合は、エトキシ基に比べ反応性(加水分解速度)が高いため、メトキシ基を有する DTMS の方がモルタルの浅部における反応性が高くなったものとする。この傾向は、既往の研究^{1, 2)}においても報告されており、本研究でも同様の結果が得られたものといえる。また、アミノ基を含む APTMS と AEAPTMS に関しては、今回の検討では含浸深さが得られなかった。前述のように、アミノ基はシランの反応を活性させる効果があるため、塗布表面での反応性が

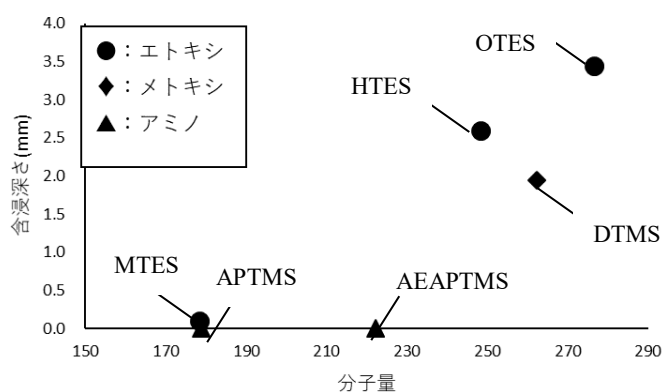


図1 分子量と含浸深さの関係

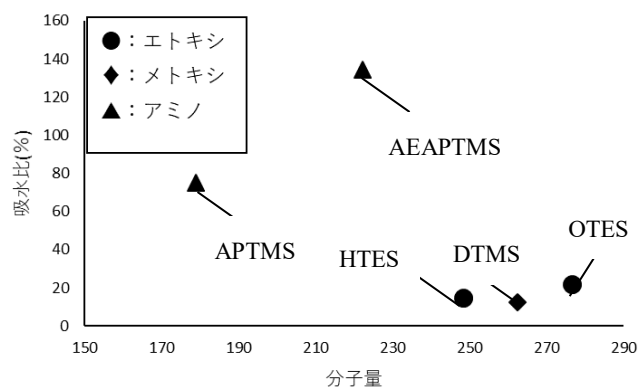


図2 分子量と吸水比の関係

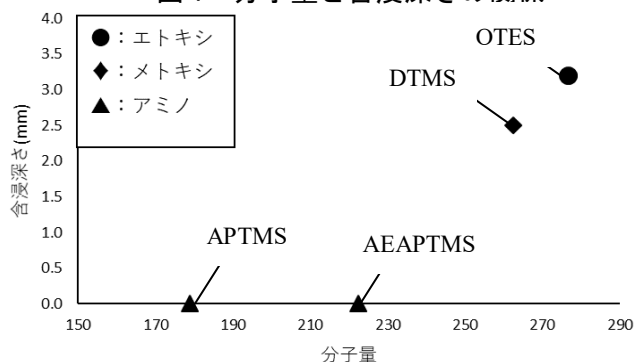


図3 分子量と含浸深さの関係(中酸化)

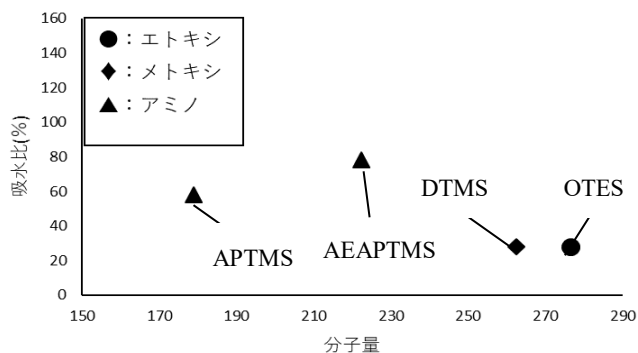


図4 分子量と吸水比の関係(中酸化)

高くなりモルタルへ含浸しなかった可能性がある。

図2に分子量と吸水比の関係を示す。ここで、吸水比とは含浸材を塗布した供試体の吸水量を塗布しない供試体（現状供試体）の吸水量で除したものであり、吸水比が低いほど吸水抑制効果が高いことになる。図より、分子量が250以上のシランにおいては、分子量の違いにより吸水比に有意な差は見られなかった。また、アミノ基を含むシランは、吸水比が大きく供試体によっては100%を超えるものもあり、吸水抑制効果はほとんど見られなかった。

3.2 中性化したモルタルに対するシラン系表面含浸材の効果

図3に分子量と中性化したモルタル基盤を用いた試験体から得られた含浸深さの関係を示す。図より、モルタル基盤に中性化が生じた場合であっても、分子量が大きい方が含浸深さは大きくなる結果となった。しかし、加水分解性基がエトキシの場合は、中性化により含浸深さが小さくなるのに対して、メトキシの場合には含浸深さは大きくなった。また、アミノ基を含むシランは中性化により含浸深さが大きくなることが予想されたが、本実験においては気中養生と同様に含浸深さが得られなかった。これら結果については、さらなる検討が必要である。図4に分子量と中性化したモルタル基盤を用いた試験体から得られた吸水比の関係を示す。図2と比較すると、吸水抑制効果は中性化したモルタルに対しては低下する傾向が得られた。また、アミノ基を含むシランは、中性化したモルタルでは吸水比は小さくなったが、3.1と同様に吸水抑制効果はほとんど見られなかった。これらの結果については、今後より詳細な検討が必要であると考えられる。

4. まとめ

本研究では、シランの加水分解性基や官能基の種類および分子量の違いが含浸材の含浸深さや吸水抑制効果に及ぼす影響について検討した。限られた検討の範囲内ではあるものの、シランの種類により表面含浸材としての性能が異なることが明らかになった。今後は、より系統的な検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 田中ら：シラン含浸コンクリートの撥水性の評価，材料， Vol.47, No.7, pp.699-705, 1998.
- 2) 久保ら：100%シランがコンクリートの撥水性に与える影響，材料， Vol.49, No.7, pp.799-805, 2000.