

論文 塗布後養生の違いが各種表面含浸材の効果に与える影響に関する研究

中村 慎^{*1}・武若 耕司^{*2}・山口 明伸^{*3}・坂元 貴之^{*4}

要旨：塗布後の養生方法の違いが各種表面含浸材の効果に与える影響を確認するために、けい酸塩系 7 種類とシラン系 1 種類、疎水性を持つけい酸塩系 1 種類、の計 9 種類の表面含浸材を対象とし、各表面含浸材を塗布したモルタル供試体に対して、塗布後に 4 種類の塗布後養生を施し、透水量試験、塩水浸せき試験、中性化促進試験を行った。その結果、中性化、塩害あるいは透水に対し、けい酸塩系表面含浸材塗布後に散水養生することで、明確な抑制効果の向上が認められた。一方、疎水性を持つけい酸塩系表面含浸材とシラン系表面含浸材は、塗布後に散水することで、かえって抑制効果が低下する場合のあることが明らかとなった。

キーワード：けい酸塩系表面含浸材、シラン系表面含浸材、塗布後養生、透水抑制効果、塩分抑制効果

1. はじめに

近年の我が国における建設投資額の減少に加え、高度経済成長期に建設された多くの構造物が建設後 50 年を迎えることから、維持管理や更新の重要性は益々高まっており、それに伴って既存の構造物の長寿命化を図るための安価かつ容易な工法が求められている。その中で近年注目されている工法の一つに表面保護工法がある。この工法は、土木学会編表面保護工法設計施工指針(案)¹⁾には「所定の効果を発揮する材料をコンクリート表面から含浸させ、コンクリート表層部の組織を改質して、コンクリート表層部への特殊機能の付与を実現させる工法」と定義されており、施工が容易で経済的、しかも施工後すぐにその効果が期待できることなどから、近年では実構造物への適用事例も増加している。

この工法に用いられる主な材料は、けい酸塩系表面含浸材とシラン系表面含浸材の 2 種類に大別される。シラン系表面含浸材の場合は、コンクリート表層部に含浸させることにより撥水層(吸水防止層)を形成させ、外部からの水や塩化物イオンの浸透を抑制するものとされ、すでに既往の研究や施工実績も多く、塩化物イオンの浸透抑制効果やアルカリ骨材反応抑制効果が得られることなどが報告されている^{2)~4)}。

一方、けい酸塩系表面含浸材の場合は、コンクリート内部に浸透し、細孔空隙中にその固化物を形成させたり、コンクリート中に存在する Ca^{2+} および水と反応して C-S-H 結晶を生成することでコンクリート表層部を緻密化し、コンクリートの品質を改善するものであり、その改質機構はシラン系と異なる。これまでの著者らの検討により、塗布するコンクリートの品質、すなわち含水率、水セメ

表 - 1 使用した表面含浸材の種類

主な成分	表面含浸材種類
けい酸ナトリウム	A, C, F
けい酸ナトリウム カリウム	B, D
けい酸リチウム	G, H
けい酸塩+シラン系	E
シラン系	S

ント比、あるいは中性化の進行程度などによって、その品質改善効果が大きく異なるものの、適切に施工を行えば塩分浸透抑制や中性化抑制、さらにはひび割れ補修機能などの品質改善効果が得られることを確認している^{5)~7)}。ただし、現在実用化されている表面含浸材は多種多様であり、特にけい酸塩系表面含浸材の場合、その主成分や配合割合はもちろん、塗布工法や塗布時期、塗布後の処置等によって、得られる効果やその程度に相応の影響が生じると予想される。これまでに、塗布工法や塗布時期に関しては実験的に検討し、その影響の程度を確認している例はあるが、塗布後の養生方法が及ぼす影響については検討された事例がほとんどない。そこで本研究では、施工実績のある表面含浸材のうち、けい酸塩系表面含浸材 7 種類と、シラン系表面含浸材 1 種類、疎水性を併せ持つけい酸塩系表面含浸材 1 種類を取り上げ、それぞれを塗布したモルタルを用いて、塗布後に異なる 4 種類の養生を行った後、透水量試験、塩水浸せき試験および中性化促進試験を実施し、各種表面含浸材の透水、塩分浸透および中性化に対する抑制効果の違いについて実験的検討を行った。

*1 鹿児島大学大学院理工学研究科海洋土木工学専攻 (正会員)

*2 鹿児島大学大学院理工学研究科海洋土木工学専攻 教授 工博 (正会員)

*3 鹿児島大学大学院理工学研究科海洋土木工学専攻 准教授 博(工) (正会員)

*4 鹿児島大学大学院理工学研究科海洋土木工学専攻 (正会員)

表 - 2 各種表面含浸材の塗布量および塗布方法

含浸材	塗布工程								
A	水噴霧	乾燥 (30分)	含浸材 (150g/m ²)	乾燥 (30分)	水噴霧	乾燥 (30分)	含浸材 (50g/m ²)	乾燥 (30分)	水噴霧
B	下地処理	水噴霧	乾燥 (30分)	含浸材 (120g/m ²)	水噴霧	乾燥 (6時間)	含浸材 (120g/m ²)	水噴霧	
C	水噴霧	乾燥 (60分)	含浸材 (250g/m ²)	乾燥 (30~60)	水噴霧 (1日目)	乾燥 (60分)	水噴霧 (2日目)	乾燥 (60分)	水噴霧 (3日目)
D	下地処理	水噴霧	乾燥 (30分)	含浸材 (100g/m ²)	乾燥 (30分)	水噴霧	乾燥 (30分)	含浸材 (50g/m ²)	乾燥 (30分)
					水噴霧 (30分)	乾燥 (30分)	含浸材 (50g/m ²)	乾燥 (30分)	水噴霧
F	下地処理	水噴霧	乾燥 (15分)	含浸材 (0.2L/m ²)	乾燥 (10分)	含浸材 (0.1L/m ²)	乾燥 (15分)	水噴霧	
G	下地処理	含浸材 (200g/m ²)	乾燥 (50分)	含浸材 (200g/m ²)	乾燥				
H	下地処理	含浸材 (200g/m ²)	乾燥 (50分)	含浸材 (200g/m ²)	乾燥				
S	下地処理	含浸材 (200g/m ²)	乾燥 (6時間)						
E	下地処理	含浸材 (200g/m ²)	乾燥 (24時間)						

表 - 3 実験に用いたモルタル配合

水セメント比 W/C(%)	単位量(Kg/m ³)			
	水 W	セメント C	細骨材 S	高性能 AE減水剤
50	258	516	1548	5.16

表 - 4 供試体寸法および塗布面

試験項目	供試体寸法(cm)	含浸面
透水量試験 塩水浸せき試験 中性化促進試験	10×10×10	打設側面 (1面)

2. 実験概要

2.1 表面含浸材の種類

本実験で用いた表面含浸材は、表 - 1 に示す 9 種類であり、けい酸塩系表面含浸材に分類される、けい酸ナトリウムを主成分とした A, C, F, けい酸ナトリウム・カリウムを主成分とした B, D, けい酸リチウムを主成分とした G, H の 7 種類、疎水性を併せ持つけい酸塩系表面含浸材の E の 1 種類および、比較用として、シラン系表面含浸材に分類される S の 1 種類である。ここで、疎水性を併せ持つけい酸塩系表面含浸材の E は、シラン系の特徴である撥水効果とけい酸塩系の特徴であるコンクリート表層の緻密化の両方の効果を狙ったものである。なお、塗布量および塗布方法は、表 - 2 に示すように、各材料で標準と規定されている方法に従った。

2.2 供試体概要

本実験で使用した供試体には、セメントに普通ポルトランドセメント(密度 3.15g/cm³)、細骨材に鹿児島県肝属郡南大隈町原沖産の海砂(表乾密度 2.68g/cm³)を使用して作製したモルタルを用いた。配合を表 - 3 に示す。供試体寸法および表面含浸材の塗布面を表 - 4 に、供試体概要を図 - 1 にそれぞれ示す。今回の検討要因となる表面含浸材塗布後の養生方法は、気中養生 14 日間、散水養生 7 日間+気中養生 7 日間、散水養生 14 日間、気中

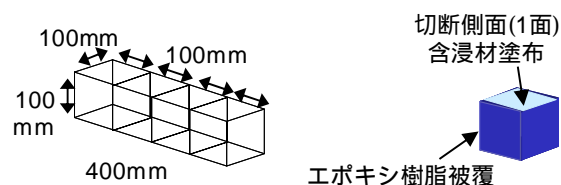


図 - 1 供試体概要

養生 28 日間、の 4 種類とした。試験項目としては、透水量試験、塩水浸せき試験、中性化促進試験を実施した。透水量試験、塩水浸漬試験、中性化促進試験には、ベースとなる 10×10×40cm の角柱供試体を 10cm 間隔でカットして 10×10×10cm の立方体とし、供試体切断側面(1面)に表面含浸材を塗布し、その後含浸材塗布面と対になっている面(無塗布面)以外の 4 面をエポキシ樹脂で被覆したものを用いた。メーカーの推奨する標準的な塗布時期は、表面含浸材種類によって異なっているが、本実験では、塗布開始時を材齢 28 日で統一している。試験開始までの具体的な養生方法や塗布期間、塗布後の養生等を図 - 2 に示す。なお、試験体数は各条件につき 3 体とし、その平均値により評価した。

2.3 試験方法

各試験方法の概要と測定項目および評価方法を以下に示す。

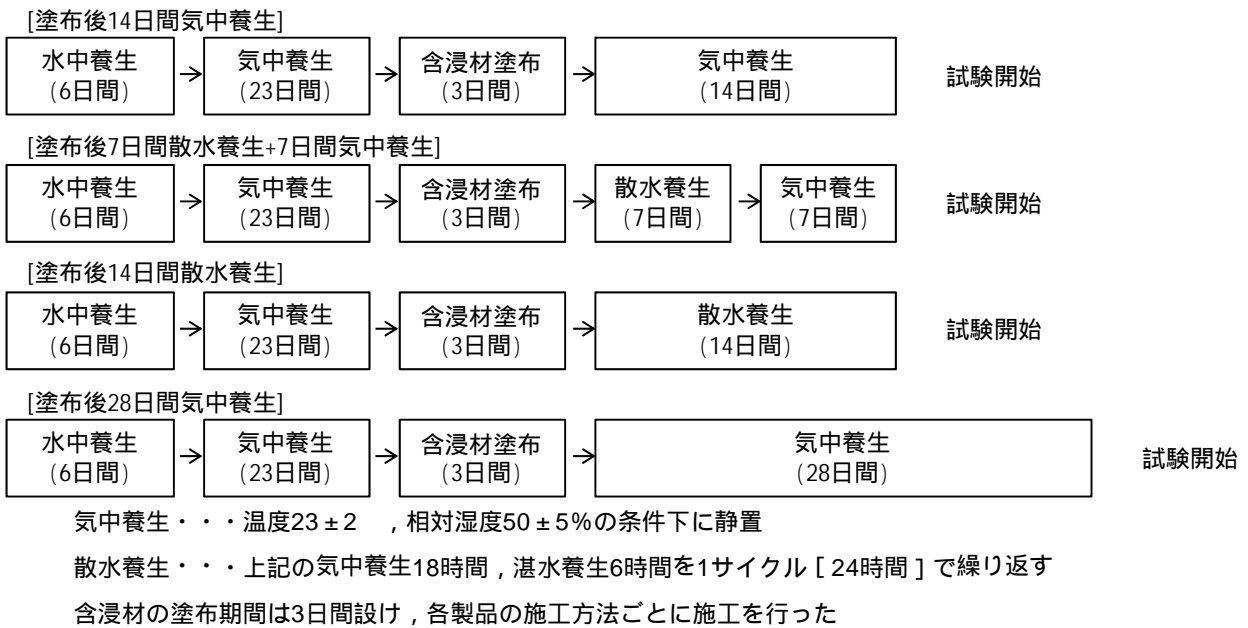


図 - 2 試験開始までの塗布時期及び塗布後養生から試験開始までの工程

(1) 透水量試験

図 - 3 に示すように, 試験体の含浸面に透水試験器具を止め付けて, 透水量試験を実施した。試験にあたっては, メスピペット中の試験水が蒸発しないように水頭上部にパラフィンをつらし, 試験開始から 3, 7, 14, 28, 56 日後の水頭の高さ (Wpi) を読み取り, 試験開始時の高さ (Wpo) との差から透水量 (Wp) を算出した。なお, 透水量は 3 個の試験体の平均値で評価することとした。また, 図 - 3 中の (1) 式に示すように, 試験体および比較用となる含浸材無塗布の試験体 (以下, 原状試験体と称す) の透水量の結果から, 透水比を算出した。

(2) 塩水浸せき試験

$3 \pm 0.3\%$ の塩化ナトリウム水溶液を用いて, 試験体の上面が水面 20mm 程度になるようにし, 図 - 4 に示す方法で浸せき試験を実施した。なお, 試験期間中は溶液濃度が変化しないように試験容器を密封するとともに, 30 日に一度溶液を交換した。試験開始から, 63 日, 126 日, 189 日で供試体を割裂し, 割裂断面にフルオレセインナトリウム水溶液および硝酸銀溶液を噴霧して, 蛍光を発する部分を塩化物イオン浸透領域とし, 塩化物イオン浸透深さを測定した。なお, 塩化物イオン浸透深さは, 3 個の試験体の平均値で評価するものとした。また, 試験体および比較用の原状試験体の塩化物イオン浸透深さ結果から, 塩化物イオン浸透深さ比を算出した。

(3) 中性化促進試験

CO₂ 濃度 5%, 温度 20 度, 湿度 60% 以上の中性化促進環境下に試験体の含浸材塗布面が側面になるようにして静置し, 中性化促進試験を行った。促進試験開始 28,

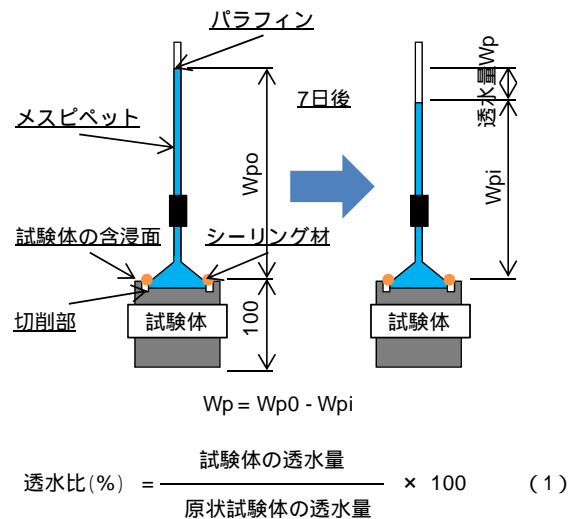


図 - 3 透水量試験概要

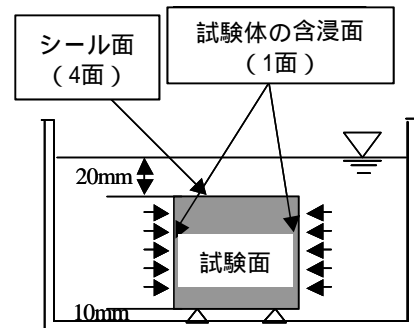


図 - 4 塩水浸せき試験概要

56, 112 日後に試験体を解体し, フェノールフタレイン法にて中性化深さを測定した。中性化深さは 3 個の試験体の平均値で評価し, また, 試験体および比較用の原状試験体の中性化深さ結果から中性化深さ比を算出した。

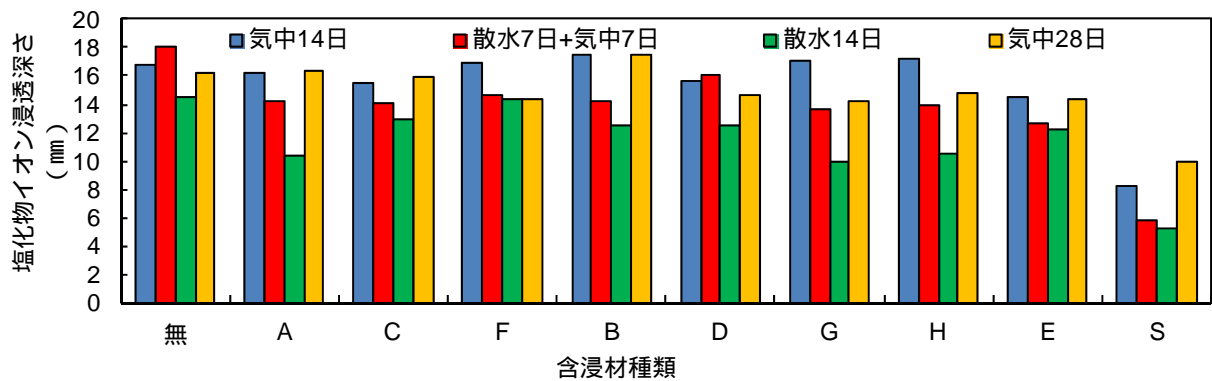


図 - 7 各種表面含浸材の塗布後養生の違いによる塩化物イオン浸透深さ (試験開始 126 日)

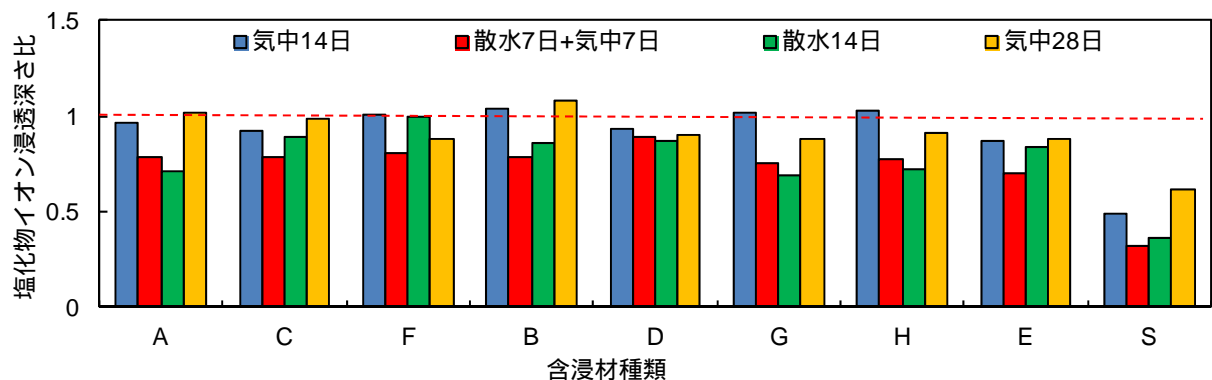


図 - 8 各種表面含浸材の塗布後養生の違いによる塩化物イオン浸透深さ比 (試験開始 126 日)

3. 結果および考察

3.1 透水量試験

図 - 5 および 6 に、試験開始 56 日目の各種表面含浸材の塗布後の養生方法の違いによる透水量及び無塗布試験体に対する透水比を示す。まず図 - 5 より、各種表面含浸材と無塗布試験体の透水量を比較すると、すべての表面含浸材が塗布後の養生方法によらず水分の浸透を抑制している結果が得られた。特に、シラン系表面含浸材である S は高い透水抑制効果があることが確認できた。なお、塗布後養生の違いで比較すると散水した場合に透水量が少なくなっている傾向が認められるが、効果の基準となるべき原状試験体の透水量も同様の傾向で変化しているため、透水量を直接比較することによって塗布後養生の影響を把握することはできない。そこで図 - 6 に示す透水比によって、塗布後の養生方法の違いが各種表面含浸材の効果に与える影響を比較することとした。

この透水比で比較した場合、塗布後養生方法の影響はそれ程小さくなく、いずれの養生方法においても、主成分がけい酸塩ナトリウムまたは、けい酸ナトリウム + けい酸カリウムの場合で 60 ~ 70% 程度、けい酸リチウムでは 70 ~ 90% 程度、シラン系では 30% 程度まで透水量を低減していることが分かる。ただし、疎水性を持つけい酸塩系表面含浸材 E については、養生方法による影響が認められ、散水 7 日間気中 7 日間養生を行った場合に最も透水抑制効果を発揮し、散水 14 日養生を行った場合

に、透水量が大きくなる結果となった。この原因については、今後、改質機構も踏まえた検討が必要と思われる。

3.2 塩水浸せき試験

図 - 7 および 8 に、試験開始 126 日目の各種表面含浸材の塗布後の養生方法の違いによる塩化物イオン浸透深さおよび無塗布試験体に対する塩化物イオン浸透深さ比を示す。まず、図-7 の結果から、シラン系が顕著な塩分浸透抑制効果を示していることが分かる。また、何れの表面含浸材においても塗布後養生条件の違いによって塩化物イオン浸透深さが異なっており、表面含浸材の塩分浸透抑制効果に養生条件が影響していることが分かる。

一方、前節同様それぞれ同様の養生方法を施した原状試験体と比較し、塩化物イオン浸透深さ比として評価した結果が図 - 8 である。塩化物イオン浸透深さ比によって塗布後の養生方法の違いが各種表面含浸材の効果に与える影響をみると、図 - 6 の透水比の場合と異なり、いずれの表面含浸材においても、塗布後に散水養生を施すことによって、塩化物イオン浸透抑制効果が高くなる傾向が明確に認められた。特にけい酸塩系表面含浸材の場合、塗布後に気中養生のみを施した場合では抑制の効果がほとんど認められないのに対し、散水養生を施すことによって初めて抑制効果が得られているケースが多く、塗布後の養生条件が材料の性能を発揮するための重要な要因であることを示唆している。

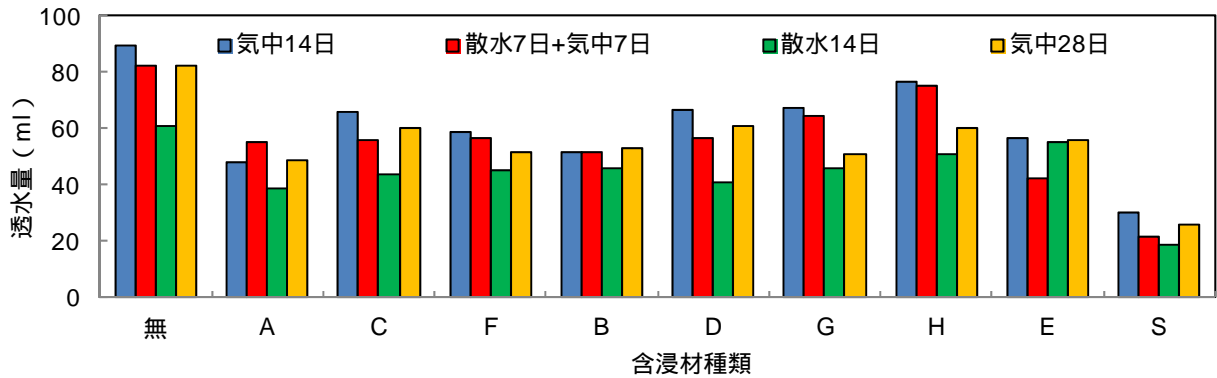


図 - 5 各種表面含浸材の塗布後養生の違いによる透水量（試験開始 56 日）

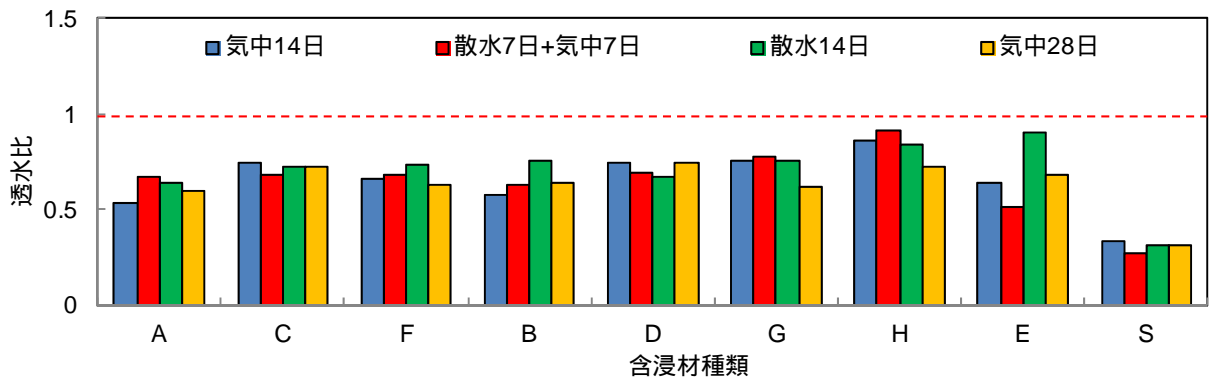


図 - 6 各種表面含浸材の塗布後養生の違いによる透水量比（試験開始 56 日）

3.3 中性化深さ試験

図 - 9 および 10 に、試験開始 112 日目の各種表面含浸材の塗布後の養生方法の違いによる中性化深さおよび無塗布試験体に対する中性化深さ比を示す。図 - 9 より、けい酸塩系、シラン系によらず、中性化進行に対する抑制効果が認められる。また、けい酸塩系の場合は養生条件によって中性化深さが異なっているが、その傾向は原状試験体とほぼ同様であることから、基盤コンクリートの特性に大きく依存していることが分かる。なお、含浸材 A の塗布後気中 14 日および気中 28 日養生の結果が、他に比べて極端に高い抑制効果を示したが、これは試験体表面に生じた水ガラスの影響であることを試験後の外観観察により確認した。したがって、雨水等により水ガラスが溶解してしまうような実環境では、このような水ガラスの効果は、必ずしも期待できないと考えられる。

次に、図 - 10 の中性化深さ比の観点から、塗布後の養生方法の違いが表面含浸材の効果に与える影響をみると、けい酸塩系表面含浸材 C、F の場合に、塗布後に散水養生を 14 日間施すことにより、他の塗布後養生方法に比べて中性化の抑制効果が高まる結果となった。特に、散水による効果が認められた含浸材にはけい酸ナトリウムを主成分に含むものが多く、それ以外の場合は散水養生の影響が明確には認められなかった。これは、けい酸ナトリウムのようにコンクリート中のカルシウムイオンと徐々に反応し、空隙中に C-S-H ゲルを生成する反

応型けい酸塩系含浸材と、けい酸リチウムのように、それ自身が水と反応し比較的早く固化する固化型けい酸塩系含浸材とで、改質機構の違いによって考えられるが、その詳細については、更なる検討が必要である。なお、疎水性を持つけい酸塩系表面含浸材 E とシラン系表面含浸材 S は、塗布後に散水養生を施すと、中性化を抑制する効果が低くなる結果が得られた。

4. まとめ

塗布後の養生条件が表面含浸材の効果に及ぼす影響を把握するために、施工実績のあるけい酸塩系表面含浸材 7 種類とシラン系表面含浸材 1 種類、疎水性を持つけい酸塩系表面含浸材 1 種類を加えた計 9 種類を用いて、塗布後に異なる 4 種類の養生方法を行った後に、透水量試験、塩水浸せき試験、中性化促進試験を実施し、検討を行った。以下に、得られた知見を取りまとめて示す。

- (1) けい酸塩系表面含浸材、疎水性を持つけい酸塩系表面含浸材、およびシラン系表面含浸材の水分浸透抑制効果は、今回行った塗布後の養生方法の如何に関わらず全てで確認された。また、けい酸塩系表面含浸材とシラン系表面含浸材においては塗布後養生の違いによる効果の違いもほとんど認められなかった。ただし、疎水性を持つけい酸塩系表面含浸材の場合には、他の含浸材と傾向が異なり、散水期間が長くなるほど水分浸透抑制効果が低くなる結果が得られ

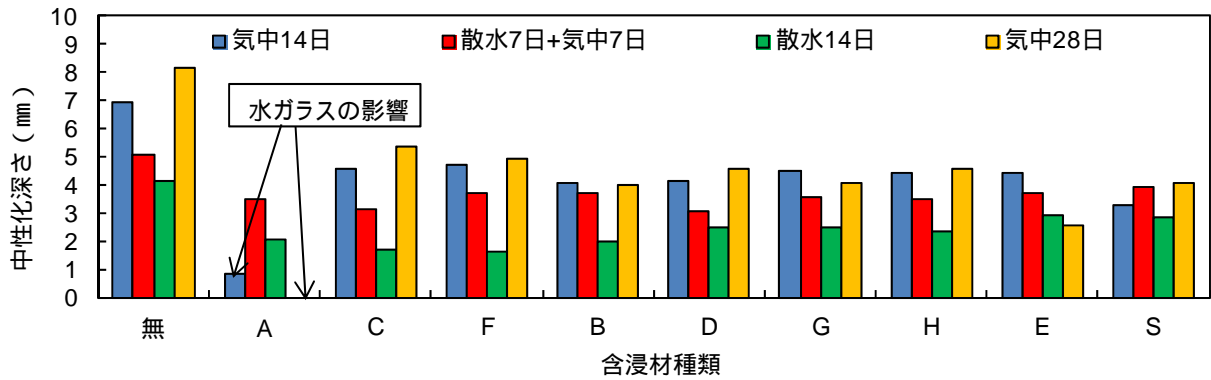


図 - 9 各種表面含浸材の塗布後養生の違いによる中性化深さ(試験開始 112 日)

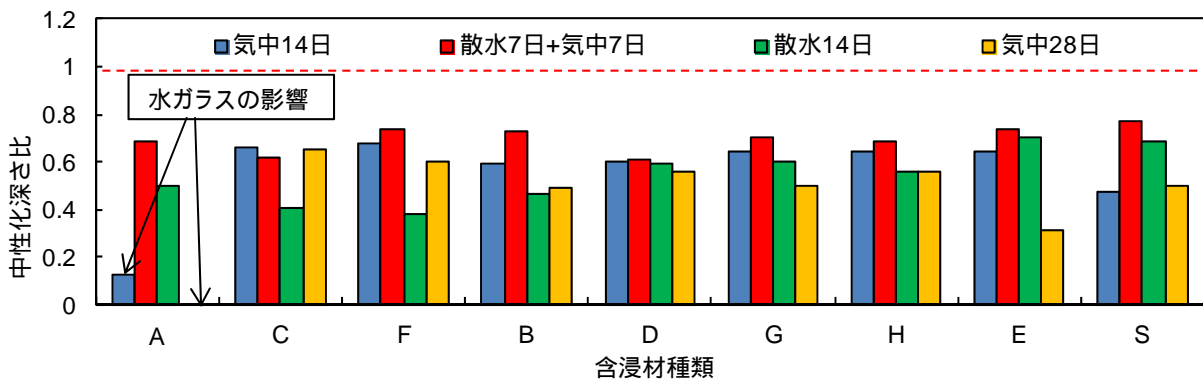


図 - 10 各種表面含浸材の塗布後養生の違いによる中性化深さ比(試験開始 112 日)

た。これについては今後、改質機構を踏まえた検討が必要と考えられる。

- (2) けい酸塩系表面含浸材によるコンクリート中への塩分浸透抑制効果は、塗布後に散水養生をすることで発揮されることが明確となった。また、疎水性を持つけい酸塩系表面含浸材はいずれの養生方法でもある程度の効果が得られたが、特に、散水養生 7 日間の場合に最も効果が発揮された。シラン系表面含浸材の場合は、塗布後の養生方法によらず高い遮塩性があることが確認された。
- (3) 中性化抑制効果については、けい酸塩系表面含浸材の場合には、塗布後養生方法によらず認められ、散水養生を施すことで効果が高まることが確認された。ただし、その傾向は主成分となるけい酸塩の種類にも依存していることが示唆された。一方、疎水性を持つけい酸塩系表面含浸材とシラン系表面含浸材においても、すべての塗布後養生方法で中性化抑制効果が認められたが、塗布後散水養生を施すことで中性化抑制効果が低くなることが確認された。

謝辞：本研究は、けい酸塩系浸透性コンクリート保護材研究会との研究成果の一部を報告したものである。関係者各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 土木学会：表面保護工法 設計施工指針(案)
- 2) 土木学会：コンクリート技術シリーズ 68, コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告, 2006.4
- 3) 久保善司, 服部篤史, 栗原慎介, 宮川豊章：ASR より劣化したコンクリート構造物のシラン系表面処理による補修効果の検討, 土木学会論文集, No.690/V-53, pp.95-107, 2001. 11
- 4) 櫛原 弘貴, 武若 耕司, 山口 明伸, 白澤 直：けい酸塩系表面含浸材の浸透特性および保護性能に関する基礎的研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, 第 8 巻, pp.77 - 84, 2008
- 5) 櫛原 弘貴, 武若 耕司, 山口 明伸, 白澤 直：けい酸塩系表面含浸材を用いたひび割れ補修による止水効果に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1933 - 1938, 2009
- 6) 櫛原 弘貴, 武若 耕司, 山口 明伸, 白澤 直：各種表面含浸材の性能把握と効果の違いに関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, pp.1619 - 1624, 2010
- 7) 坂元貴之, 武若 耕司, 山口 明伸, 櫛原 弘貴：各種表面含浸材の塩分浸透と中性化に対する抑制効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.33, No.1, pp.1625 - 1630, 2011