

論文 シラン系表面含浸材を練り込んだモルタルの基礎的研究

本田 亮*1・守屋 健一*2・田中 徹*3

要旨: 本報では、シラン系表面含浸材の用途拡大を目的として、モルタルに練り込んだ際のフレッシュ性状および圧縮強度について評価した。フレッシュ性状については2種類の表面含浸材の添加率を変化させて評価し、圧縮強度については養生条件を変化させて評価した。その結果、フレッシュ性状は表面含浸材の種類によって異なる挙動を示し、圧縮強度は添加率の増加に伴って低下する傾向を示した。さらに、JSCE-K571による各種試験を実施し、表面含浸材を練り込んだモルタルにおいて透水抑制効果、吸水抑制効果および透湿性を有することが確認できた。

キーワード: シラン系表面含浸材, 圧縮強度, 透水量

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性を向上させるためには、劣化の原因の一つである内部鉄筋の腐食を抑制することが有効である。コンクリート中の鉄筋は、コンクリートの中酸化やある程度以上の塩化物イオン含有の条件下で酸素と水分が供給された場合に腐食を生じる。そのため、鉄筋の劣化因子の侵入を抑制する技術として各種の表面保護工法がある。その中でもシラン系表面含浸材を用いた工法は、施工が簡便であり、比較的安価で、施工後の外観を変化させないため点検に支障をきたさないという利点がある。近年施工件数が増加している¹⁾。シラン系表面含浸材は、コンクリート表面に塗布することで表層部に含浸し、撥水層を形成する。この撥水層が水を移動媒体とする塩化物イオン等の劣化因子の侵入を遮断することで内部鉄筋を保護する。しかし、シラン系表面含浸材は、①含浸させるためにコンクリート表面が一定以上乾燥している必要があり、コンクリート打設直後や雨天時に塗布することができない、②施工後の外観が変化しないことから、作業員の技量により塗りムラが生じたり、塗布量が不足したりする危険性がある、③含浸深さは10数mm程度²⁾のため、それ以上のひび割れが生じた場合、劣化因子の侵入を遮断することが困難となる、などの課題がある。

そこで、これらの課題を解決するために、シラン系表面含浸材をコンクリートに練り混ぜる方法を検討した。

本稿では、シラン系表面含浸材を練り混ぜたモルタルにおいて、フレッシュ性状および圧縮強度への影響を確認した。また、JSCE-K571(表面含浸材の試験方法(案))において、シラン系表面含浸材を塗布したものととの性能を比較した。

2. 実験概要

本検討は、シリーズIおよびシリーズIIから構成する。

シリーズIは、表面含浸材を練混ぜ時に内添させた(以下、内添)ときのモルタルのフレッシュ性状(モルタルフロー、空気量)および圧縮強度について評価した。

シリーズIIは、表面含浸材を含浸させた(以下、含浸)モルタルを対比に表面含浸材を内添させたモルタルを用いて、JSCE-K571に示される試験において、外観観察試験、含浸深さ試験、透水量試験、吸水率試験および透湿度試験について評価した。また、JSCE-K571に準拠した試験体の作製方法では試験体作製から試験開始まで49日を要することから、試験開始材齢の短縮を検討するために試験体作製から試験開始まで21日とした作製方法についても評価した。

表-1にモルタルの配合を示す。モルタルは、JSCE-F505(試験室におけるモルタルの作り方(案))に準拠し、水セメント比50.0%、砂セメント比3.0で練り混ぜた。

表-2に表面含浸材の種類を示す。表面含浸材1は、近年普及しているアルキルアルコキシシランの成分濃度

表-1 モルタルの配合

W/C (%)	S/C	単位量 (kg/m ³)		
		W	C	S
50.0	3.0	256	512	1536

表-2 表面含浸材の種類

種類	記号	主成分	主成分濃度
表面含浸材1	IM1	アルキルアルコキシシラン	98~100%
表面含浸材2	IM2	アルキルアルコキシシラン	40%

*1 戸田建設(株) 技術研究所 社会基盤再生部 (正会員)

*2 戸田建設(株) 技術研究所 社会基盤再生部 修士(工学) (正会員)

*3 戸田建設(株) 技術研究所 工学修士 (正会員)

の高い製品、表面含浸材 2 は、モルタルとの練混ぜ性能を向上させることを目的にアルキルアルコキシシランに可溶化剤を混入した製品を用いた。

表-3 に表面含浸材の使用法および使用量を示す。表面含浸材を内添させる場合、練り上がったモルタルに表面含浸材を外割で添加し、再度練混ぜを行った。

表-4 に使用材料を示す。

3. 試験方法

3.1 シリーズ I

(1) モルタルフロー試験

モルタルフロー試験は、JIS R 5201 に準拠した。

(2) 空気量の測定

空気量の測定は、ASTM-C185(Standard Test Method for Air Content of Hydraulic Cement Mortar)に準拠した。

(3) 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、JIS A 1108(コンクリートの圧縮強度試験方法)に準拠した。供試体の養生は、以下の 3 種類の方法とした。

- a: 翌日脱型後、材齢まで水中養生
- b: 翌日脱型後、6 日間水中養生、その後気中養生
- c: 翌日脱型後、材齢まで気中養生

なお、養生方法 b はシリーズ II の試験体作製方法 A と、養生方法 c は作製方法 B と同様となるように設定した。

3.2 シリーズ II

モルタル基板および試験体の作製は、以下の 2 種類の方法とした。

A: JSCE-K571 に準拠し、寸法 100×100×400mm で成形した。温度 20±2℃、相対湿度 80%以上の状態に 24 時間静置した後脱型し、その後 6 日間、20±2℃の水中で養生した。試験の種類に応じた寸法に切断し、温度 23±2℃、相対湿度 50±5%で 28 日間養生し、モルタル基板とした。表面含浸材を含浸させるものは、温度 23±2℃の条件下でモルタル基板に表面含浸材を含浸し、温度 23±2℃、相対湿度 50±5%で 14 日間養生し試験体とした。表面含浸材を含浸させないものおよび内添させたものは、温度 23±2℃、相対湿度 50±5%の条件下で 14 日間静置し試験体とした。試験体の材齢はいずれも 49 日とした。

B: 木製型枠を用いて、寸法 100×100×100mm および寸法 100×100×20mm で成形した。温度 20±2℃、相対湿度 80%以上の状態に 24 時間静置した後脱型し、その後 13 日間、温度 23±2℃、相対湿度 50±5%で養生しモルタル基板とした。表面含浸材を含浸させるものは、温度 23±2℃の条件下でモルタル基

表-3 表面含浸材の使用法および使用量

No.	表面含浸材の種類	使用方法	使用量
1	なし	-	-
2	IM1	含浸	0.2L/m ²
3		内添	2560g/m ³ (0.5%/C)
4			5120g/m ³ (1.0%/C)
5			10240g/m ³ (2.0%/C)
6	IM2	内添	2560g/m ³ (0.5%/C)
7			5120g/m ³ (1.0%/C)
8			10240g/m ³ (2.0%/C)

表-4 使用材料

材料	種類および物理的性質
セメント	普通ポルトランドセメント (密度 3.16g/cm ³)
細骨材	JIS R 5201(セメントの物理試験方法) 10.2 に規定された標準砂
表面含浸材	IM1, IM2

表-5 試験体作製方法の水準

No.	表面含浸材の種類	使用方法	試料名	作製方法
1	なし	-	原状	A,B
2	IM1	含浸	IM1 含浸	A,B
3		内添	IM1 0.5%	B
4			IM1 1.0%	A,B
5			IM1 2.0%	B
6	IM2	内添	IM2 0.5%	B
7			IM2 1.0%	B
8			IM2 2.0%	B

板に表面含浸材を含浸し、温度 23±2℃、相対湿度 50±5%で 7 日間養生し試験体とした。表面含浸材を含浸させないものおよび内添させたものは、温度 23±2℃、相対湿度 50±5%の条件下で 7 日間静置し試験体とした。試験体の材齢はいずれも 21 日とした。

なお、表面含浸材を含浸または内添させない試験体を原状試験体と呼ぶ。

また、表面含浸材を含浸させる前に、コンクリート・モルタル水分計 HI-520(ケット化学研究所社)を用いて、表面含水率を測定した。

表-5 に試験体作製方法の水準を示す。

(1) 外観観察試験

拡散日光のもとで試験体の含浸面と原状試験体の試験面を比較しながら表面含浸材の含浸による色などの外観変化の有無を目視観察する。

(2) 含浸深さ試験

JSCE-K571 に準じて、試験体の含浸面を 2 分割するように試験体を割裂して、1 分間水に浸漬、取り出した後、表面含浸材の含浸深さを求める。

(3) 透水量試験

JIS A 6909 7.13 (透水試験 B 法)に準じて、試験体の含浸面および原状試験体の試験面に透水試験器具を止め付けて、透水量試験を行う。試験開始時から7日後の水頭の高さを読み取り、試験開始時の高さとの差から透水量を算出する。

(4) 吸水率試験

JSCE-K571 に準じて、試験体の含浸面および原状試験体の試験面が側面になるようにして水中に浸漬する。試験開始から7日後に試験体を取り出し、湿布を用いて表面の水分を除去した後、質量を測定して試験開始時の質量との差から吸水率を算出する。

(5) 透湿度試験

JSCE-K571 に準じて、試験体の含浸面および原状試験体の試験面が水面より 10mm 程度高くなるように水中に浸漬し、試験体の含浸面および原状試験体の試験面に対向する面(吸水面)から 72 時間吸水させる。吸水後、直ちに試験体を取り出して、試験体表面の水を乾いた布でふき取り、吸水面を浸透性のない粘着テープで包み込むようにしてシールし、温度 23±2℃、相対湿度 50±5%の高温恒湿層に試験体の含浸面を上にして透湿度試験を行う。試験開始時から7日後の試験体の質量を測定し、試験開始時の質量との差から透湿度を算出する。

4. 実験結果

4.1 シリーズ I

(1) フレッシュ性状

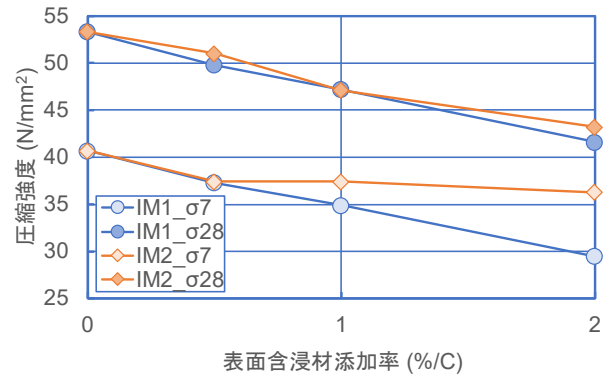
表-6 にモルタルのフレッシュ試験結果を示す。IM1 内添の場合、添加率の増加に伴いモルタルフローはやや増加した。IM1 を添加すると空気量は減少したが、添加率を 2.0%/C まで増加させると表面含浸材なしと同等となった。一方で、IM2 内添の場合、添加率の増加に伴いモルタルフローおよび空気量ともに増加する傾向を示した。ここで、空気量を表面含浸材なしと同等以下に調整するために、ポリアルキレングリコール誘導体を主成分とする消泡剤を 0.2%/C、IM2 と同時に添加した。IM2 内添の場合に空気量が増加した要因として、IM2 に可溶化剤が配合されていることから、空気連行性が付与されたと考えられる。しかし、これらの挙動は、既往の研究⁴⁾で報告されている結果とは異なるため、引き続き検証する必要がある。

(2) 圧縮強度試験

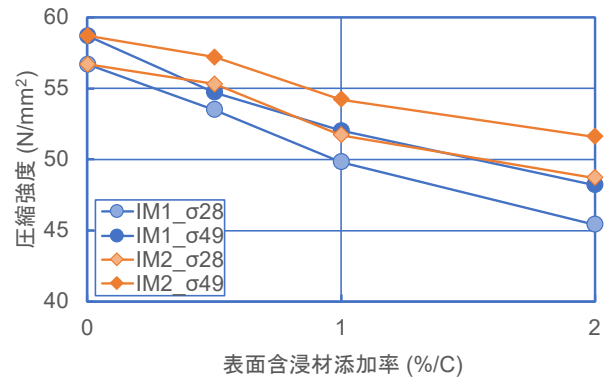
図-1 に各養生条件による圧縮強度試験結果を示す。いずれの条件においても表面含浸材を内添することで圧縮強度は低下し、表面含浸材の添加率が多くなるのに伴い低下率は大きくなる傾向を示した。このことから、表面含浸材の主成分であるアルキルアルコキシシランがセ

表-6 モルタルのフレッシュ試験結果

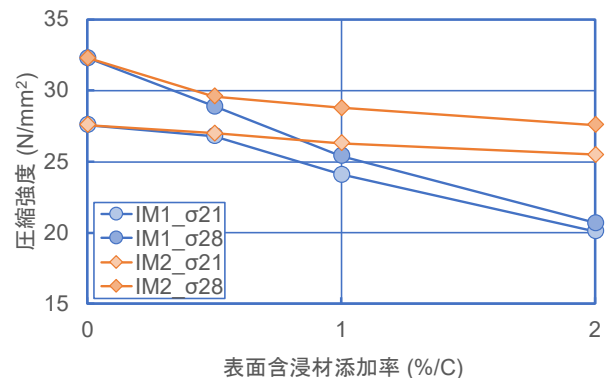
No.	消泡剤 (%/C)	モルタルフロー (mm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	モルタル温度 (°C)
1	-	196	7.2	2138	20
3	-	196	5.5	2178	21
4	-	198	6.3	2158	21
5	-	201	7.0	2143	21
6	0.2	201	4.8	2193	21
7	0.2	205	5.7	2173	21
8	0.2	210	8.1	2118	21



a) 養生条件 a



b) 養生条件 b


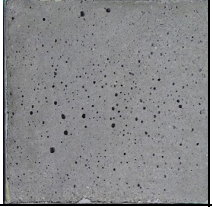

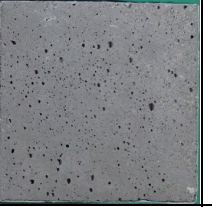


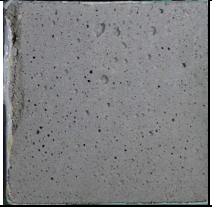

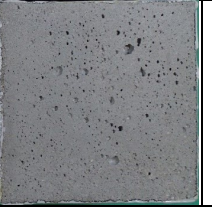
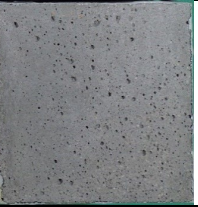
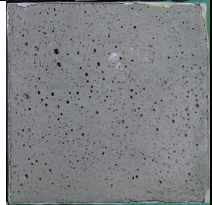

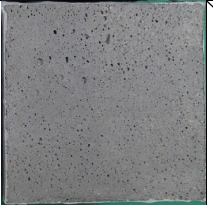


c) 養生条件 c

図-1 各養生条件による圧縮強度

メントの水和反応を阻害していることが考えられる。また、強度低下の傾向は、IM2 より IM1 の方が顕著であ

表-7 供試体の外観

No.	1	1	2	2	3
作製方法	A	B	A	B	B
含浸材種類	原状	原状	IM1(含浸)	IM1(含浸)	IM1
添加率	0	0	0.2L/m ²	0.2L/m ²	0.5%
外観					
No.	4	4	4	5	6
作製方法	A	B	C	B	B
含浸材種類	IM1	IM1	IM1	IM 1	IM 2
添加率	1.0%	1.0%	1.0%	2.0%	0.5%
外観					
No.	7	7	8		
作製方法	B	C	B		
含浸材種類	IM 2	IM 2	IM 2		
添加率	1.0%	1.0%	2.0%		
外観					

り、アルキルアルコキシシランの濃度が高いことが要因と考えられる。また、養生方法の違いで比較すると、標準養生である養生条件 a より養生条件 b の方が圧縮強度は高くなる傾向を示した。

4.2 シリーズII

(1) 外観観察試験

表-7 に試験体の外観を示す。いずれの条件においても外観に大きな変化は認められず、表面含浸材の含浸および内添を目視で判断することは難しいと考えられる。

(2) 含浸深さ試験

表-8 に IM1 を含浸させた際の含浸深さ試験結果および表面含水率を示す。含浸深さは作製方法 B の方が大きかった。既往の研究³⁾より、試験体の表面含水率が小さいほど、含浸深さは大きくなるとされるが、本検討ではその傾向は見られなかった。ここで、表面含浸材を塗布するまでの養生方法は、作製方法 A は脱型後水中養生 6 日間、気中養生 28 日間であるのに対し、作製方法

表-8 含浸深さ試験結果および表面含水率

作製方法	含浸深さ (mm)	表面含水率 (%)
A	4.8	4.2
B	5.9	5.3

B は脱型後気中養生 13 日間であり、気中養生期間の長さより水中養生期間の長さの方が含浸深さに影響を与えることが示唆された。

(3) 透水量試験

写真-1 に透水量試験状況を、図-2 に透水量試験結果を示す。JSCE-K571 に準じた作製方法 A において、透水比は IM1 を 0.2mL/m² 含浸した試験体が 16%、IM1 を 1.0%/C 内添した試験体が 46%であり、いずれも透水抑制効果が認められた。1.0%内添した試験体より含浸した試験体の方が透水抑制効果は高かった。作製方法 B において、IM1 を含浸した試験体、IM1 を内添した試験体および IM2 を内添した試験体のいずれも透水抑制効

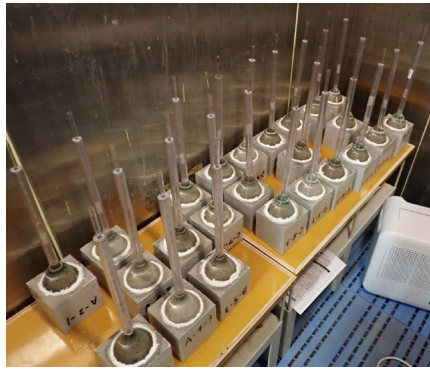


写真-1 透水量試験状況

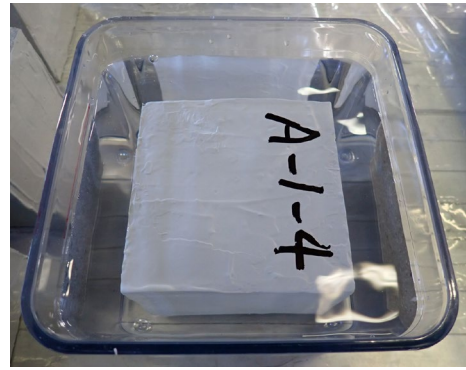
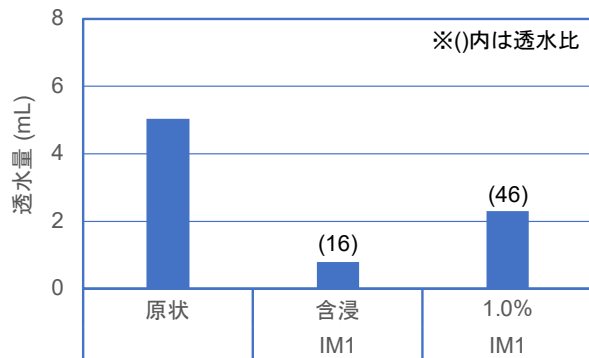
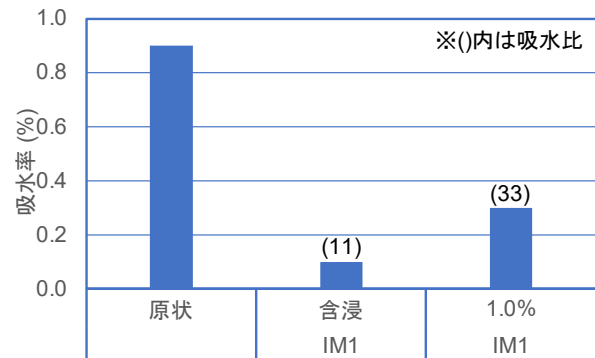


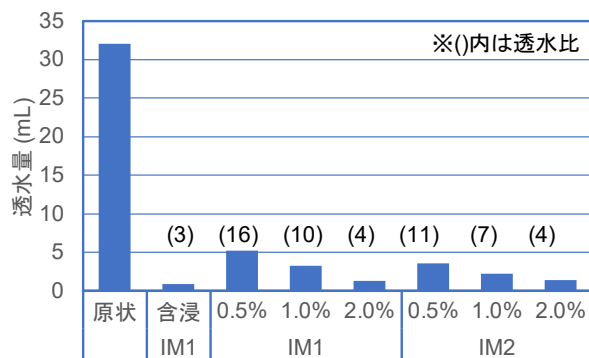
写真-2 吸水率試験状況



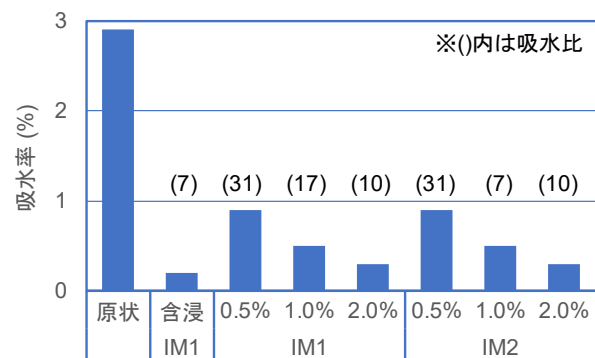
a) 作製方法 A



a) 作製方法 A



b) 作製方法 B



b) 作製方法 B

図-2 各作製方法による透水量試験結果

図-3 各作製方法による吸水率試験結果

果が認められた。表面含浸材を内添させた場合、添加率が多くなるのに伴い透水比は小さくなる傾向を示した。IM1 と IM2 を比較すると、同一添加率では同等の透水比であった。前述のとおり IM1 の方が IM2 より主成分の濃度が高いにもかかわらず透水比が同等であることから、IM2 の方が効率よく透水抑制効果を付与できると考えられる。ただし、その理由については本検討では十分な評価ができていないため、今後検討する必要があると考えられる。含浸と内添で比較すると、IM1 を 0.2mL/m² 含浸した試験体に対して、IM1 および IM2 のいずれも 2.0%/C 内添させることで同等の透水抑制効果が得られると考えられる。作製方法の違いで比較すると、現状試験体の透水量が作製方法 B の方が著しく多くなる結果となったが、IM1 を含浸および内添させたものは

同程度の透水量を示したことから、作製方法 B でも十分に評価できることが期待できる。

(4) 吸水率試験

写真-2 に吸水率試験状況を、図-3 に吸水率試験結果を示す。結果としては、概ね透水量試験と同様の傾向を示した。表面含浸材を内添させた場合、添加率の増加に伴い吸水比は低下した。IM1 と IM2 では同一添加率においては同等の吸水比であった。IM1 を 0.2mL/m² 含浸した試験体に対して、IM1 および IM2 のいずれも 2.0%/C 内添させることで同等の吸水抑制効果が得られると考えられる。

(5) 透湿度試験

写真-3 に透湿度試験状況を、図-4 に透湿度試験結果を示す。JSCE-K571 に準じた作製方法 A において、

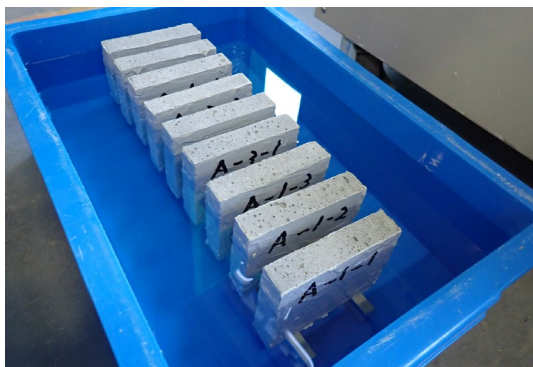


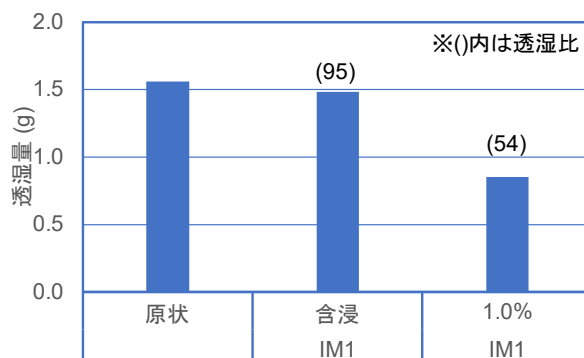
写真-3 透湿度試験状況

透湿比が IM1 を 0.2mL/m² 含浸した試験体は 95%，IM1 を 1.0%/C 内添した試験体は 54%であり，いずれも現状試験体よりも透湿比は低下する結果であったが，透湿性を有することが確認できた。1.0%/C 内添した試験体より含浸した試験体の方が透湿比は高かった。作製方法 B において，IM1 を含浸した試験体，IM1 を内添した試験体および IM2 を内添した試験体のいずれも透湿性を有することが確認できた。表面含浸材を内添させた場合，添加率が 0.5%/C より 1.0%/C の方が透湿比は低くなったが，2.0%/C では 1.0%/C と同等であることから，55%前後に収束することが示唆された。IM1 と IM2 を比較すると，同一添加率では同等の透湿比であった。含浸と内添で比較すると，IM1 を 0.2mL/m² 含浸した試験体に対して，IM1 および IM2 のいずれも 0.5%/C 内添させることで同等の透湿比が得られると考えられる。作製方法の違いで比較すると，現状試験体，IM1 を含浸および内添させたもののいずれの透湿量も作製方法 B の方が小さい結果となった。

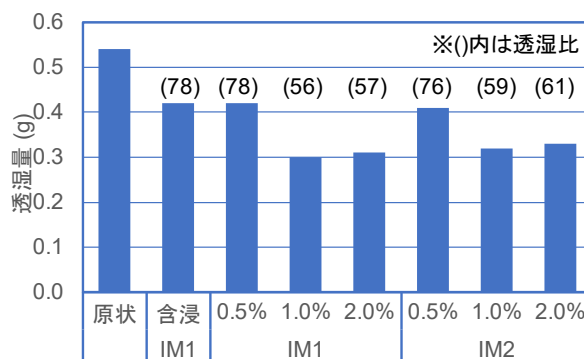
5. まとめ

2 種類のシラン系表面含浸材について，モルタルに練り込んだ際のフレッシュ性状および圧縮強度を評価し，JSCE-K571 による外観観察試験，透水量試験，吸水率試験および透湿度試験を実施し，以下の知見を得た。

- (1) 表面含浸材を練り込むことでモルタルフローは増加し，空気量は表面含浸材の種類や添加率によって異なる挙動を示した。
- (2) 表面含浸材を練り込むことで圧縮強度は低下する傾向を示し，表面含浸材の種類や添加率によって異なる挙動を示した。
- (3) 表面含浸材を練り込んだモルタルは，含浸させたモルタルと同様に外観に変化は見られず，目視での判断は難しいと考えられた。
- (4) 表面含浸材を練り込んだモルタルは，含浸させたモルタルと同様に透水抑制効果および吸水抑制効果を有し，0.2mL/m² 含浸したモルタルに対し，種類によ



a) 作製方法 A



b) 作製方法 B

図-4 各作製方法による透湿度試験結果

- らず 2.0%/C 内添することで同等の性能が得られた。
- (5) 表面含浸材を練り込んだモルタルは，含浸させたモルタルと同様に透湿性を有し，0.2mL/m² 含浸したモルタルに対し，種類によらず 0.5%/C 内添することで同等の性能が得られた。

これらの結果より，表面含浸材を練り込むことでフレッシュ性状や圧縮強度への影響が懸念されるが，本来の目的である撥水層の形成を効率的に実現できると考えられる。また，含浸させる従来の方法と異なり内部まで撥水層を形成させることにより，鉄筋の腐食をより効果的に抑制できることと考えられる。

参考文献

- 1) 石川健児ら：コンクリート用表面含浸材の防水性および防食性に関する暴露試験，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，No.1，pp.1009-1014，2017
- 2) 森井直治ら：シラン系表面含浸材の性能評価に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.32，No.1，pp.1625-1630，2010
- 3) 小松桃子ら：シラン系表面含浸材の施工材齢が水セメント比を変化させたモルタルの性能へ与える影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.40，No.1，pp.1569-1574，2018
- 4) 齊藤亮介ら：新設コンクリート構造物への防錆混和剤の局所適用方法に関する検討，土木学会第 78 回年次学術講演会，V-642，2023