

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

BASIC RESEARCH ON MORTAR MIXED WITH SILANE-BASED SURFACE IMPREGNATION MATERIAL

本田 亮^{*1}, 守屋 健一^{*2}, 田中 徹^{*3}
Ryo HONDA, Kenichi MORIYA and Tooru TANAKA

In this paper, we evaluated the fresh properties and compressive strength when silane-based surface impregnating materials are mixed into mortar, with the aim of expanding the use of those materials. Fresh properties were evaluated by varying the addition rate of two types of surface impregnating material. Compressive strength was evaluated by changing curing conditions. As a result, the fresh properties showed different behavior depending on the type of surface impregnation material. Moreover, the compressive strength showed a tendency to decrease as the addition rate increased. Furthermore, we conducted various tests using JSCE-K571. As a result, it was confirmed that the mortar into which the surface impregnating material was kneaded had a water permeation suppressing effect, a water absorption suppressing effect, and moisture permeability.

Keywords: Silane surface impregnation material, Fluidity, Compressive strength, Water permeability

シラン系表面含浸材, 流動性, 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、コンクリートの中性化や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、鉄筋の劣化因子の浸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り、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浸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、劣化因子の浸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込む方法を検討した。

本稿では、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モルタルとシラン系表面含浸材を練り込んだモルタルの性能を比較した。また、シラン系表面含浸材を練り込んだモルタルにおいて、フレッシュ性状および圧縮強度への影響を確認した。

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、表面含浸材を塗布し含浸させた（以下、含浸）モルタルを比較対象として表面含浸材を練り込んだ（以下、内添）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。

シリーズⅡは、表面含浸材を内添した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。

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量および使用量を示す。表

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

*1 戸田建設(株)技術研究所

*2 戸田建設(株)技術研究所 修士(工学)

*3 戸田建設(株)技術研究所 工学修士

Technology Research Institute, TODA CORPORATION

Technology Research Institute, TODA CORPORATION, M.Eng.

Technology Research Institute, TODA CORPORATION, M.Eng.

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. 実験方法

3.1 シリーズ I

(1) 試験体作製方法

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、それぞれ試験体 A および B と呼ぶ。

試験体 A の作製方法を以下に示す。JSCE-K571 に準拠し、モルタルを寸法 $100\times 100\times 400\text{mm}$ で成形する。温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 80% 以上の状態で24時間静置した後脱型し、その後 6 日間、 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ の水中で養生する。試験の種類に応じた寸法に切断し、温度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm 5\%$ で28日間養生し、モルタル基板とする。表面含浸材を塗布し含浸させるものは、温度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ の条件下でモルタル基板に表面含浸材を含浸し、温度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm 5\%$ で14日間養生し試験体とする。表面含浸材を含浸させないものおよび内添させるものは、温度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm 5\%$ の条件下で14日間静置し試験体とする。試験体の材齢はいずれも49日とする。

試験体 B の作製方法を以下に示す。木製型枠を用いて、モルタルを寸法 $100\times 100\times 100\text{mm}$ および寸法 $100\times 100\times 20\text{mm}$ で成形する。温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 80% 以上の状態で24時間静置した後脱型し、その後13日間、温度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm 5\%$ で養生しモルタル基板とする。表面含浸材を含浸させるものは、温度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ の条件下でモルタル基板に表面含浸材を含浸し、温度 $23\pm$

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%

表 3 表面含浸材の使用方法および使用量

No.	表面含浸材の種類	使用方法	使用量
1	なし	—	—
2	IM1	含浸	$0.2\text{L}/\text{m}^2$
3		内添	$2560\text{g}/\text{m}^3$ (0.5%/C)
4			$5120\text{g}/\text{m}^3$ (1.0%/C)
5			$10240\text{g}/\text{m}^3$ (2.0%/C)
6	IM2	内添	$2560\text{g}/\text{m}^3$ (0.5%/C)
7			$5120\text{g}/\text{m}^3$ (1.0%/C)
8			$10240\text{g}/\text{m}^3$ (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 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$)
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

2°C 、相対湿度 $50\pm 5\%$ で 7 日間養生し試験体とする。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 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm 5\%$ の条件下で 7 日間静置し試験体とする。試験体の材齢はいずれも21日とする。

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、表面含水率を測定する。

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。

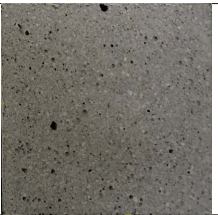
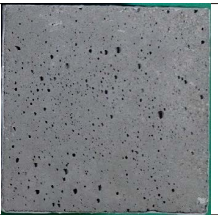
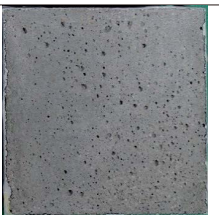
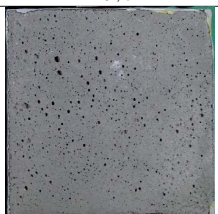
(5) 透湿度試験

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 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $50\pm 5\%$ 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

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

表6 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					

験開始時の質量との差から透湿量を算出する。

3.2 シリーズⅡ

(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。

4. 実験結果

4.1 シリーズⅠ

(1) 外観観察試験

表6に試験体の外観を示す。いずれの条件においても

表7 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

外観に大きな変化は認められず、表面含浸材を塗布し含浸させたものおよび内添したもの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7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1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 $0.2\text{mL}/\text{m}^2$ 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 $0.2\text{mL}/\text{m}^2$ 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

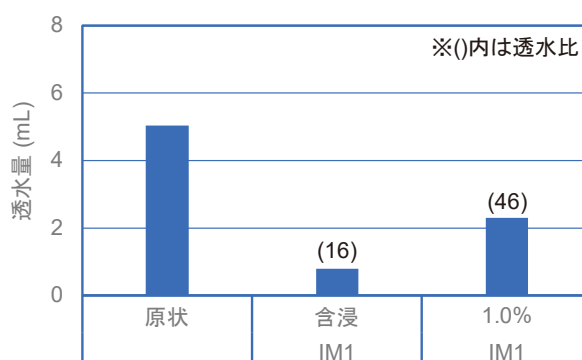
写真 2 に吸水率試験状況を、図 2 に吸水率試験結果を示す。結果としては、概ね透水量試験と同様の傾向を示した。表面含浸材を内添させた場合、添加率の増加に伴い吸水比は低下した。IM1 と IM2 では同一添加率においては同等の吸水比であった。IM1 を $0.2\text{mL}/\text{m}^2$ 含浸した試験体に対して、IM1 および IM2 のいずれも $2.0\%/C$ 内添させることで同等の吸水抑制効果が得られると考えられる。

(5) 透湿度試験

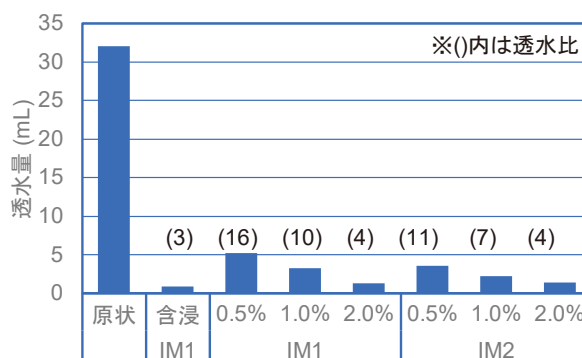
写真 3 に透湿度試験状況を、図 3 に透湿度試験結果を示す。JSCE-K571 に準じた作製方法 A において、透湿度比が IM1 を $0.2\text{mL}/\text{m}^2$ 含浸した試験体は 95%，IM1 を $1.0\%/C$ 内添した試験体は 54% であり、いずれも現状試験体よりも透湿度比は低下する結果であったが、透湿度性を有することが確認できた。1.0%/C 内添した試験体より含浸した試験体の方が透湿度比は高かった。作製方法 B において、IM1 を含浸した試験体、IM1 を内添した試験体および IM2 を内添した試験体のいずれも透湿度性を有することが確認できた。表面含浸材を内添させた場合、添加率が $0.5\%/C$ より $1.0\%/C$ の方が透湿度比は低くなったが、 $2.0\%/C$ 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度比であった。含浸と内添で比較すると、IM1 を $0.2\text{mL}/\text{m}^2$ 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度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



写真 1 透水量試験状況



a) 作製方法 A



b) 作製方法 B

図 1 各作製方法による透水量試験結果

試験体、IM1 を含浸および内添させたもののいずれの透湿度も作製方法 B の方が小さい結果となった。

4.2 シリーズ II

(1) フレッシュ性状

表 8 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若干増加する傾向を示した。空気量は IM1 を $0.5\%/C$ 添加することで減少したが、添加率を 1.0, $2.0\%/C$ と増加させると増加し、 $2.0\%/C$ で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

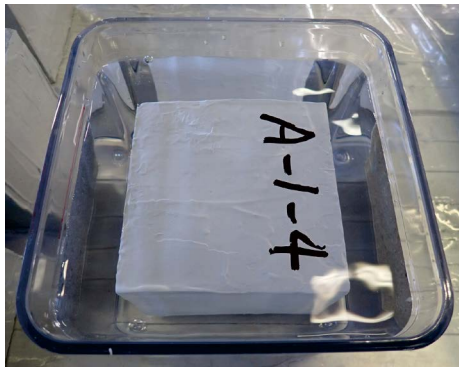
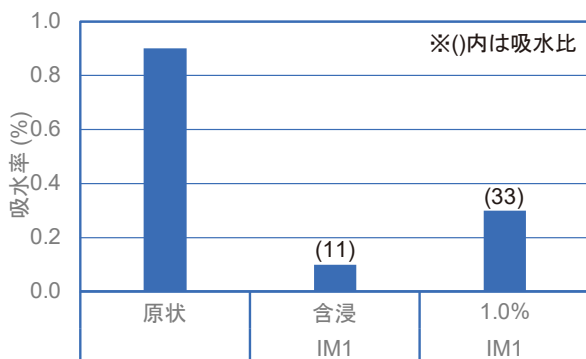


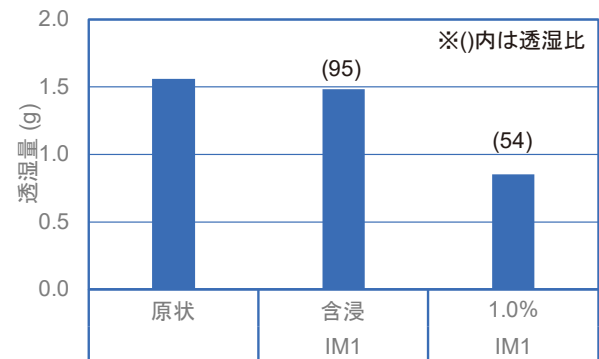
写真 2 吸水率試験状況



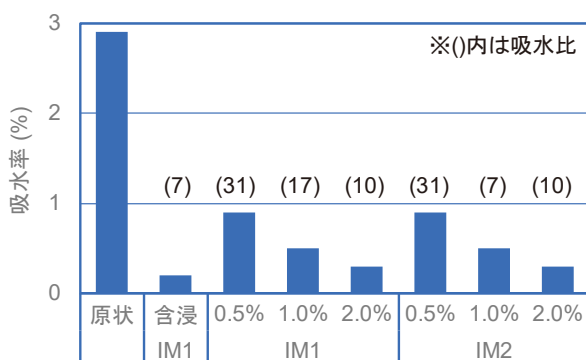
写真 3 透湿度試験状況



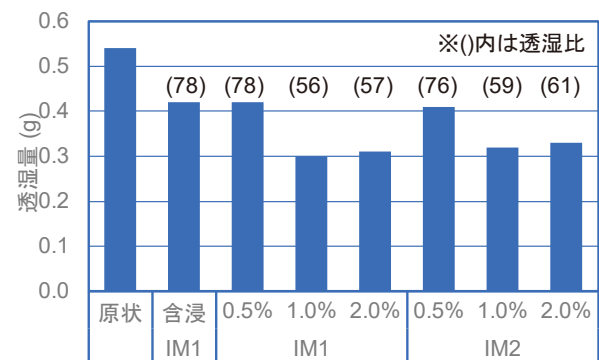
a) 作製方法A



a) 作製方法A



b) 作製方法B



b) 作製方法B

図 2 各作製方法による吸水率試験結果

図 3 各作製方法による透湿度試験結果

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。

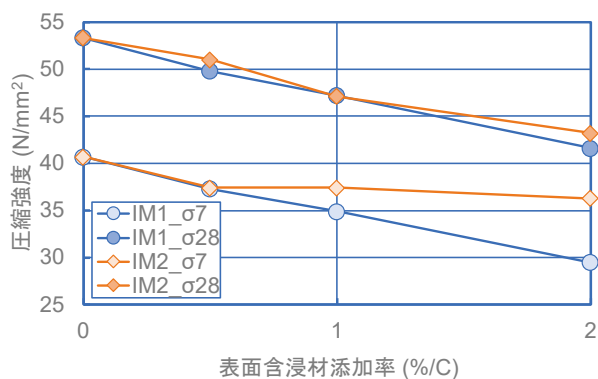
(2) 圧縮強度試験

図 4 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メントの水和反応を阻害していることが考えられる。

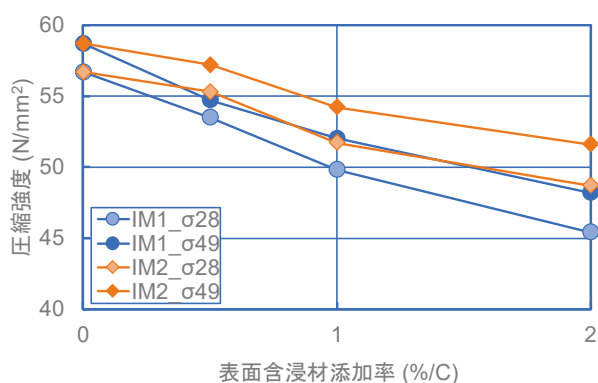
表 8 モルタルのフレッシュ試験結果

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

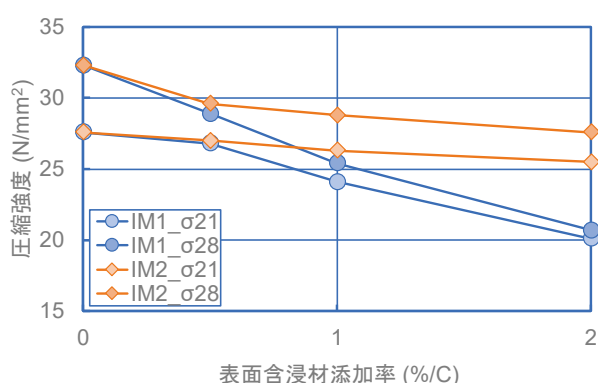
また、強度低下の傾向は、IM2より IM1の方が顕著であり、アルキルアルコキシシランの濃度が高いほどセメン



a) 養生条件a



b) 養生条件b



c) 養生条件c

図4 各養生条件による圧縮強度

トの水和反応への影響が大きいと考えられる。このことから、表面含浸材を内添して用いる場合は水セメント比を小さくする等の対策が必要である。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6日間水中養生しその後気中養生とした養生条件bの方が圧縮強度は高くなる傾向を示した。

5. まとめ

2種類のシラン系表面含浸材について、モルタルに内添させた際の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、また、フレッシュ性状および圧縮強度を評価し、以下の知見を得た。

- (1) 表面含浸材を内添させたモルタルは、含浸させたモルタルと同様に外観に変化は見られず、内添されていることを目視で判断することは難しいと考えられた。
- (2) 表面含浸材を内添させたモルタルは、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/m^2 含浸したモルタルに対し、表面含浸材の種類によらず $2.0\%/C$ 内添することで同等の性能が得られた。
- (3) 表面含浸材を内添させたモルタルは、含浸させたモルタルと同様に透湿性を有し、 0.2mL/m^2 含浸したモルタルに対し、表面含浸材の種類によらず $0.5\%/C$ 内添させることで同等の性能が得られた。
- (4) 表面含浸材を内添させる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。
- (5) 表面含浸材を内添させる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。

これらの結果より、表面含浸材を内添させることで撥水層の形成を効率的に実現でき、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と考えられる。さらに、フレッシュ性状や圧縮強度については、今後も検討を継続していく予定である。

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) 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