

論文 金属石けんを混入したモルタルの吸水特性の評価

武田 宇浦*1・前田 昌大*2・澁谷 卓*3

要旨: コンクリート自体が撥水性を有し、内部への水分の浸透を抑制することにより、構造物の維持管理は容易になると期待できる。本研究では、撥水性をもつ金属石けんがセメントモルタル中で発揮する機能について、吸水試験、吸湿試験、透水試験、撥水試験により評価した。その結果、金属石けんの混入による圧縮強さの低下は確認されず、モルタルの表面および内部に撥水性を付与でき、水分の浸透抑制が可能となること、混入率が高くなるほどその機能が増加し、材齢が進行してもその機能は低下しないことが明らかとなった。また、金属石けんの種類による効果の違いは確認されなかった。

キーワード: 金属石けん, ステアリン酸, 圧縮強さ, 吸水性, 撥水性

1. はじめに

1.1 研究背景と目的

コンクリート構造物の劣化は、降雨などの影響によりコンクリート内部に水分が浸透することが密に関係している。こうした劣化の抑制を目的に、表面含浸材を用いて撥水性をコンクリート表層に付与する工法などが施工されている。しかし、曲げひび割れや乾燥収縮ひび割れなどコンクリート表面にひび割れが生じ、表層の撥水層より深くにひび割れが進行すると、ひび割れを通じて水分がコンクリート内部に浸透してしまう。したがって表層の撥水性のみでは十分な水分浸透の抑制が出来ないといえる。また、2017年制定のコンクリート標準示方書（土木学会）では、水分浸透に着目した鋼材腐食照査が導入され、コンクリート構造物への水の浸透についての対策が重要視されている。このような背景から、表層だけでなく、コンクリート内部も撥水性を有することで、ひび割れが発生した際にも水分の浸透を抑制し、構造物の維持管理に効果的なコンクリートとすることが期待できる。

本研究では、コンクリート自体が撥水性を有し、内部への水分の浸透を抑制することにより、構造物の維持管理が容易になるコンクリートの開発を目指し、金属石けんを撥水材として混入したセメントモルタルの強度特性ならびに吸水特性を評価する。また、金属石けんの種類や混入率、試験材齢の違いによる影響も同時に評価する。

1.2 金属石けんについて

金属石けんは、石けんに金属物質が化合したものであり、通常の石けんとは異なり洗浄能力がなく水に不溶であり油に溶ける物質である。ステアリン酸系、ラウリン酸系、リシノール酸系などの金属石けんが、撥水性、潤滑性、分散性など、その機能的特性から広い分野で使用

されている。

金属石けんの撥水性は、炭化水素基の持つ疎水性および炭化水素基と金属との間の極性-無極性バランスに基づく界面活性によってもたらされる。この撥水性は、一般の有機化合物の中では最も大きな部類とされている。混合方法には、あらかじめ原料配合時に均一に混ぜ合わせた後硬化させる混和工法と、硬化後得られた製品の表面に塗布する塗膜工法がある。建設分野では、コンクリート用分散剤、セメント用粉砕助剤としても用いられている材料である²⁾。

2. 実験概要

2.1 供試体条件

(1) 使用材料

本研究で用いた材料を表-1に示す。セメントには、普通ポルトランドセメント、細骨材には海砂をそれぞれ用いた。金属石けんには、工業分野で広く用いられており、建設分野でも利用実績のある³⁾2種類のステアリン

表-1 使用材料

材料	物性
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	海砂、密度: 2.59g/cm ³ 、粗粒率: 2.53 吸水率: 1.84%
金属石けん	St.AI30: ステアリン酸アルミニウム#30 密度: 1.00g/cm ³
	St.AI50: ステアリン酸アルミニウム#50 密度: 1.00g/cm ³
	St.Zn: ステアリン酸亜鉛 密度: 1.00g/cm ³
	St.Ca: ステアリン酸カルシウム 密度: 1.00g/cm ³

*1 明石工業高等専門学校 都市システム工学科准教授 博士(工学) (正会員)

*2 明石工業高等専門学校 都市システム工学科

*3 川村化成工業株式会社 代表取締役社長

酸アルミニウム (St.Al30, St.Al50), ステアリン酸亜鉛 (St.Zn), ステアリン酸カルシウム (St.Ca) の合計 4 種類のステアリン酸系金属石けんを用いた。撥水性は、一般に、固体表面と液体の接触角により評価されている。本研究で用いる金属石けん自体の接触角は、ステアリン酸カルシウム, ステアリン酸アルミニウム, ステアリン酸亜鉛の順で大きくなる。金属石けんそのものが持つ撥水性が、セメントモルタル中でどのように機能するか、吸水試験, 吸湿試験, 透水試験, 撥水試験により評価する。

(2) 配合

表-2 にモルタルの配合を示す。配合条件は、セメントの強さ試験に準拠し、水セメント比 50%, セメント細骨材比 1:3 とした。金属石けん混入率は、セメント質量に対して、0, 1, 2% とした。

(3) 供試体作製

モルタルミキサを使用し、機械練りによって練混ぜを実施した。まず、セメント, 細骨材, 金属石けんをモルタルミキサ容器 (容量 20L) に入れ、30 秒間、低速で空練りする。低速のまま、さらに 30 秒かけて水を投入した後、ミキサを 30 秒間停止させ、その間にさじでかき混ぜる。高速に切り替え、60 秒間練混ぜを行う。練混ぜ終了後、容器を機械から取り外し、さじで数回かき混ぜる。金属石けん混入による流動性への影響を評価するため、フロー試験を実施した。

圧縮強さ試験, 曲げ強さ試験, 吸水・吸湿試験用供試体は、JIS R 5201 に規定されている 40×40×160mm の角柱供試体とした。供試体は、2 層詰めで作製し、各層はテーブルバイブレータにより締固めた。打設表面成型後、20℃の恒温室内で養生し、材齢 1 日で脱型後、20℃の恒温水槽内で所定材齢まで水中養生した。透水試験用供試体は、φ100×200mm の円柱供試体用型枠を用い、角柱供試体と同様の方法で打込み、養生を行った。

2.2 試験方法

(1) 強さ試験

JIS R 5201 に準拠し、圧縮強さ, 曲げ強さ試験を材齢 28 日および 91 日で実施した。

(2) 吸水試験および吸湿試験

試験材齢 (28 日, 91 日) まで養生した供試体を 3 体ずつ用い、JIS A 1404 に準拠し吸水試験および吸湿試験を

実施した。

吸水試験の試験手順は、以下の通りである。

- 1) 水中養生後の供試体を約 80℃で一定の質量になるまで 24 時間以上乾燥させ、その質量を乾燥時の質量 (W_d) とする。
- 2) 乾燥した供試体の打設面を上部とし、かつ下部 2cm を常に浸水させながら、20±3℃, 湿度 60%以上の恒温室内に静置する。
- 3) 1 時間, 5 時間, 24 時間を経過するごとに供試体を取り出し、手早く浸水部分の水分を拭き取り、ただちに秤量した時の質量を吸水時の質量 (W_a) とする。
- 4) 吸水率を式(1)によって算出する。

$$\text{吸水率 (\%)} = W / W_d \times 100 \quad (1)$$

ここに、 W : 吸水量(g) = $W_a - W_d$

W_a : 吸水時の質量 (g)

W_d : 乾燥時の質量 (g)

吸湿試験では、吸水試験の手順 1)と同様の方法で乾燥した供試体を、打設面を上部とし、20±3℃, 湿度 60%以上の恒温室内に静置し、1 時間, 5 時間, 24 時間を経過するごとに質量を測定した。各測定時間での質量 (W_b) より、式(2)を用いて吸湿率を算出した。

$$\text{吸湿率 (\%)} = W / W_d \times 100 \quad (2)$$

ここに、 W : 吸湿量(g) = $W_b - W_d$

W_b : 吸湿時の質量 (g)

W_d : 乾燥時の質量 (g)

(3) 透水試験

材齢 28 日以上経過した φ100×200mm の円柱供試体を、打設面および底面に近い部分を避け、供試体上部・中部・下部となるように、高さ 40mm に切断した。各配合につき 3 体ずつ供試体を取り出し、材齢 91 日まで水中養生後、110℃の乾燥炉内で約 24 時間以上、質量が一定になるまで乾燥させる。その後、透水透気試験機を用いて 1.5MPa の圧力でアウトプット法による透水試験を行い、24 時間の透水量を測定した。各配合 3 体の供試体の透水量から、単位時間・単位面積当たりの透水量 w (g/cm²・s)を算出した。

(4) 撥水試験

撥水性は、接触角を用いて評価されるのが一般的である⁴⁾。接触角とは、図-1 に示すように、固体表面上に液体が接している点 P において、液体の縁の表面に引いた

表-2 モルタルの配合

配合名	W/C (%)	C : S	金属石けん混入率 (%)	単位量 (kg/m ³)			
				水	セメント	細骨材	金属石けん
N	50	3	0	253	506	1519	0
St.*-1	50	3	1	252	504	1512	5
St.*-2	50	3	2	251	501	1504	10

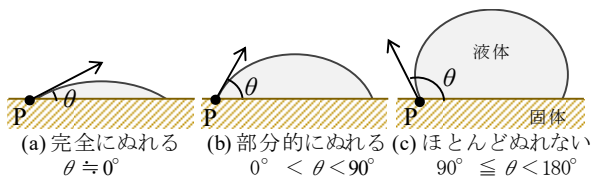


図-1 固体表面上の液滴のぬれと接触角の関係

接線と固体表面との成す角度をいう。液滴の接触角が90°未満を親水性とし、90°以上の場合を疎水性あるいは撥水性と呼ぶ。また、液滴が表面に付着しなくなる接触角150°以上（液体と固体の組み合わせで多少変わる）は超撥水性と呼ばれている。

供試体は、吸湿試験終了後の40×40×160mmの角柱供試体と透水試験用のφ100×40mmの供試体を使用し、角柱供試体では供試体表面、円柱供試体については供試体切断面の撥水角を測定する。撥水角の測定の際には、供試体を一定質量になるまで炉乾燥し、供試体表面の空隙がないきれいな面にスポットで水滴を垂らし、真横から水滴の状況がわかるように写真を撮影する。試験は角柱供試体の40×160mmの4面、円柱供試体の切断面2面について行い、撮影した写真から接触角を測定した。本試験は、材齢91日、147日の供試体について実施した。なお、測定面については特別な表面処理は施さずに実施した。

3. 試験結果および考察

3.1 強さ試験結果

図-2に圧縮強さ試験結果を示す。金属石けんを混入していない普通モルタル(N)と比較すると、混入率1%および2%の場合ともに、概ね同程度の強さとなった。材齢28日においては、同程度の圧縮強さが得られた。金属石けんの種類による、圧縮強さ発現に対する影響の傾向は、本試験結果からは確認されなかった。図-3に、材齢の進行に伴う圧縮強さの増加率を示す。ステアリン酸系金属石けんを混入した全ての供試体において、材齢の進行に伴い強さが増加する傾向にあり、最大23%の強さ増加が確認された。また、金属石けん混入率1%の場合の圧縮強さの増加率の方が混入率2%の場合よりも大きくなる傾向が確認できた。なお、普通モルタルの圧縮強さ増加率は-4%となったが、JISセメントの強度規格値を満足しているため、品質への影響はないと考える。

図-4に曲げ強さ試験結果を示す。普通モルタルと比較して、曲げ強さは低下する傾向が確認された。材齢91日においては、金属石けんを混入したモルタルの曲げ強さは、全ての配合で普通モルタルを下回った。また、材齢の進行に伴う曲げ強さへ影響は確認されなかった。

以上のことより、金属石けんの混入率による圧縮強さ

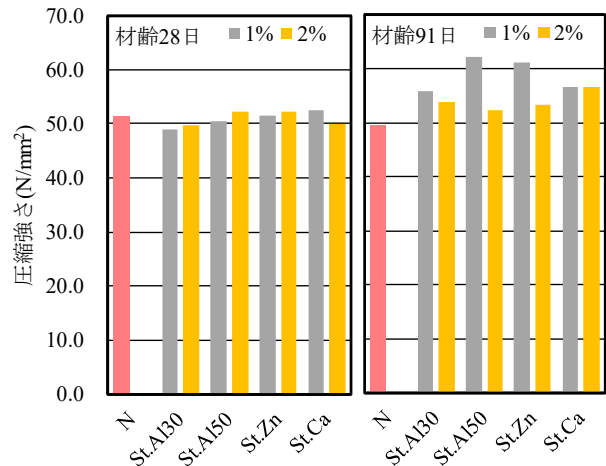


図-2 圧縮強さ試験結果

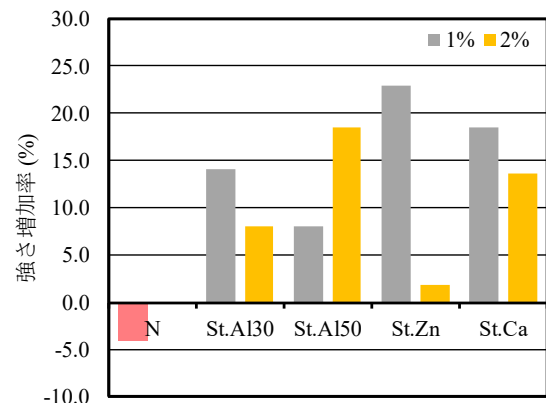


図-3 材齢の進行に伴う強さ増加率

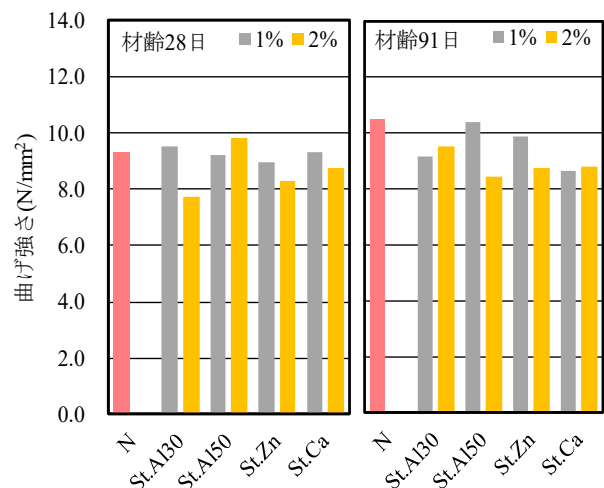


図-4 曲げ強さ試験結果

の低下は見られないが、曲げ強さは低下する傾向が確認された。今後、より高い吸水抑制効果を得るために、金属石けんの混入量を増加させる可能性がある。このため、混入率を3%以上としたモルタルの強さ試験も実施していく必要がある。なお、本試験の範囲では、金属石けん

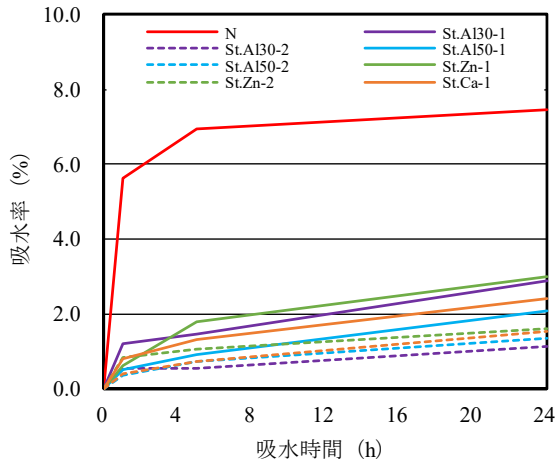


図-5 吸水試験結果 (材齢 28 日)

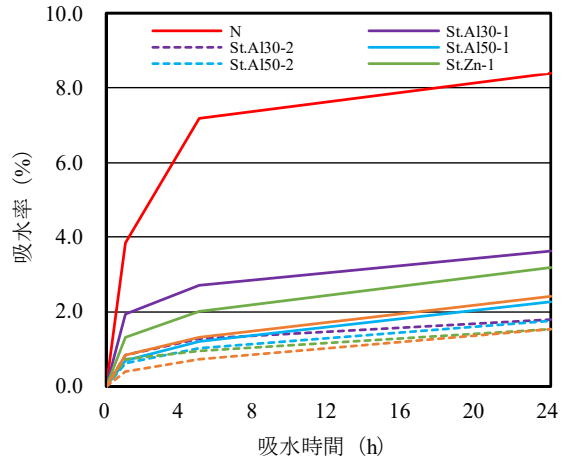


図-6 吸水試験結果 (材齢 91 日)

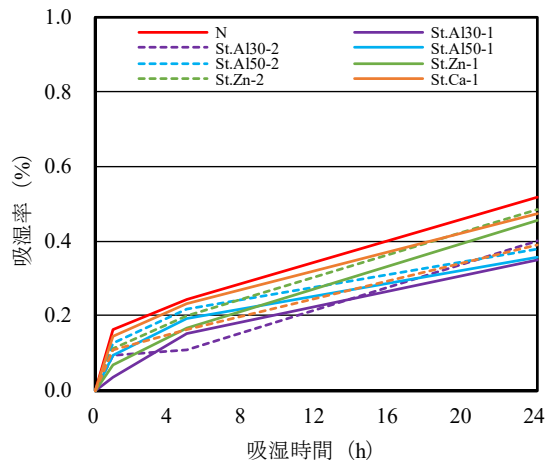


図-7 吸湿試験結果 (材齢 91 日)

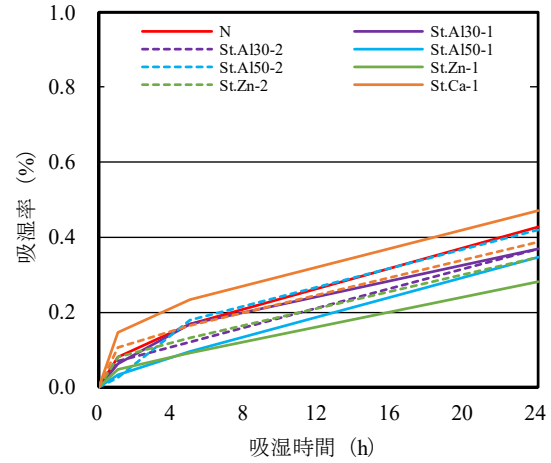


図-8 吸湿試験結果 (材齢 91 日)

の混入に伴う、フレッシュモルタルのフローの低下は確認されなかった。

3.2 吸水試験および吸湿試験結果

(1) 吸水試験

図-5 および図-6 に、吸水試験結果を示す。金属石けんを混入したモルタルの吸水率は、材齢 28 日、91 日ともに普通モルタル (N) と比較して吸水時間 24 時間で 1/2~1/7 程度まで低下した。また、全種類において混入率 2%の方が 1%よりも吸水率が低下した。材齢の進行に伴う吸水率に有意な差は確認されなかった。

以上より、金属石けんを混入したモルタルは、普通モルタルと比較して吸水率が低下することが分かった。また、混入率が高くなると吸水率は低下し、材齢が進行しても同程度の吸水性を保持することも確認できた。

(2) 吸湿試験

吸湿試験の結果を図-7 および図-8 に示す。普通モルタル (N) と比較すると、材齢 28 日、91 日ともに全配合において、同程度の吸湿率であった。また、混入率の

違いや材齢の進行による吸湿率への影響は少なかった。

以上の吸湿試験結果と前述の吸水試験の結果より、金属石けんを混入したモルタルは、水と接触している場合は、水分の浸透を抑制する撥水性を有するが、大気中の水分の吸収を抑制する機能は持たないといえる。

3.3 撥水試験結果

撥水試験の結果を図-9 に示す。また、撥水試験の様子を写真-1 および写真-2 に示す。図-9(a)より、普通モルタルの接触角は、すべての測定面において 45° 以下となった。実際の構造物の場合、本結果でいう側面(1)および(2)が構造物の表面となり、この面での撥水性が耐久性に大きく影響すると考えられる。金属石けんを混入したモルタルの場合、側面における接触角が 90° を上回ったものがあった。また、金属石けん混入率が 2%の配合の方が、1%の供試体の接触角と比較して増加することが確認できた。同図(c)より、円柱供試体の切断面の撥水性を観察すると、測定面に関係なく金属石けんを混入することで撥水性が確認できた。

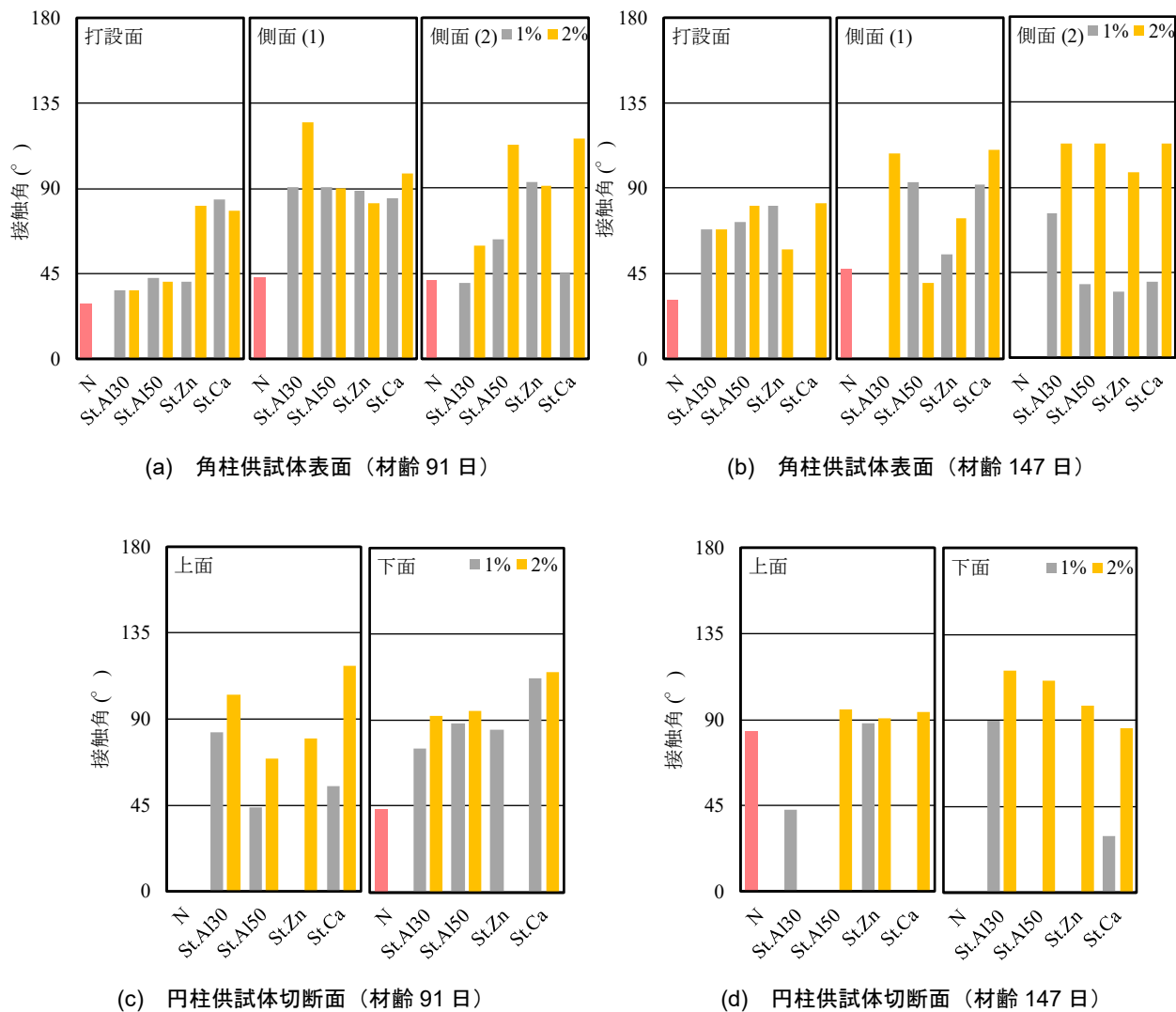


図-9 撥水試験結果

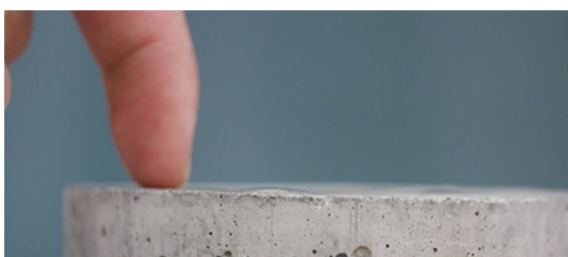


写真-1 接触角の測定 (N=0°)

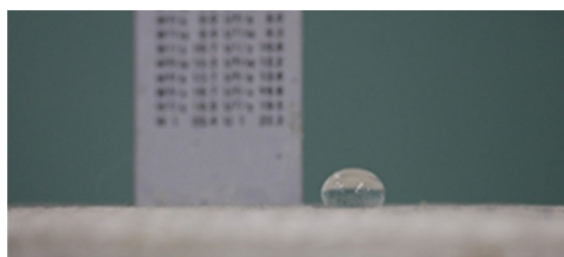


写真-2 接触角の測定 (St.Al30-2=125°)

2.1 節(1)で示したように、金属石けん自体の接触角は、ステアリン酸カルシウム、ステアリン酸アルミニウム、ステアリン酸亜鉛の順で大きくなるが、本試験結果には、この影響は確認されなかった。

以上より、供試体表面だけでなく、供試体の切断面においても、同程度の接触角が観測されたことから、モルタル内部にも表面と同様に撥水性が付与されることもわかった。なお、材齢にかかわらず同程度の接触角を示し

ため、材齢が進行しても撥水性は低下しないといえる。

接触角は、表面処理や表面形状によっても大きく変化する。本実験では、特別な表面処理を行わず、撥水試験を実施した。このため、供試体成型時に型枠に剥離剤として塗布した油や養生中に表面に生成された炭酸カルシウムなどの析出物による撥水角への影響が推察される。今後、実構造物に近い手法での剥離剤の塗布や表面処理の実施、金属石けんの撥水性を発揮させるために有効な

表面処理工法の提案などについても検討する必要がある。

3.4 透水試験結果

透水試験の結果を図-10に示す。図より、金属石けんを混入したモルタルは、普通モルタルと比較して透水量が大きく減少した。また、全配合において混入率の増加に伴い、透水量が減少した。

図-11には透水量と材齢91日の円柱供試体切断面の接触角との関係を示す。ここでは、接触角の測定を行った供試体固有の透水量と共に示す。また、図-8(c)で示した測定面の上面から下面に向けて透水試験を実施したため、上面での接触角を示している。図より、接触角が小さいと透水量が大きくなる傾向が見られた。このため、金属石けんを混入することによって得られる撥水性は、表面における撥水性に寄与すると共に、吸水性を低下させる効果により内部における水分浸透性を抑制する効果も期待できると示唆された。

4. 結論

本研究では、撥水性をもつ金属石けんを混入したモルタルの強度特性ならびに吸水特性を評価した。その結果、次のことを確認した。

- (1) 金属石けんを混入したモルタルの強さは、全配合において、通常セメントモルタルと比較して、圧縮強さは増加し曲げ強さは減少した。材齢の進行に伴う、圧縮強さの増加も確認された。金属石けんの種類の違いおよび混入率の増加による強度特性への影響は小さい。
- (2) 金属石けんを混入することで、通常セメントモルタルと比較して、1/2～1/7程度まで吸水率が低下した。金属石けんの種類による吸水率の差はほとんどないことや混入率が高いほど吸水率は低下すること、材齢の進行による吸水抑制力の低下がないことも明らかになった。
- (3) 通常セメントモルタルに対して吸湿率の低下はなく、金属石けんの混入による気中の水分の吸収を抑制する効果は確認できなかった。
- (4) 金属石けん混入したモルタルは、撥水性を有することが確認できた。また、モルタル内部はモルタル表面と同程度の撥水性を有することが明らかになった。なお、材齢の進行による撥水性の低下は見られなかった。
- (5) 金属石けんを混入していない普通モルタルと比較して、金属石けんを混入したモルタルは透水性が減少する。また、混入率が高くなると透水性が低くなることが確認された。

以上より、金属石けんを混入することで、モルタルの表面および内部に撥水性を付与でき、水分の浸透抑制が可能となる。また、混入率が高くなるほど、水分の浸透を抑制する機能が増加し、材齢が進行してもその機能は低下しない。また、金属石けんの種類による効果の違い

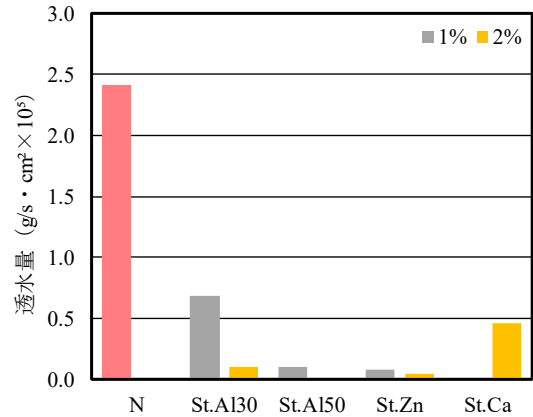


図-10 透水試験結果

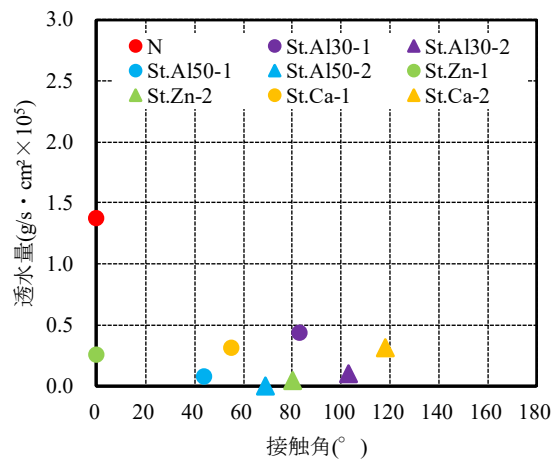


図-11 透水量と接触角の関係

は確認されなかった。

強度特性については、混入率が高くなると、強度が低下する傾向も見られたため、今後、より高い吸水抑制効果を得るために、金属石けんの混入量を増加させる場合は強度に及ぼす影響も確認する必要がある。また、金属石けんの混入率の増加に伴いフローの低下が予想されるため、減水効果が確保できる混和剤主成分の影響も確認する必要がある。

参考文献

- 1) 浅本 晋吾, 古田 悠佳, 薬 堯, 米田 大樹: 撥水材を混入したセメント系材料の内部撥水性と材料特性の検討, コンクリート工学論文集, 第29巻, pp.11-19, 2018
- 2) 吉田時行他著: 金属せっけんの性質と応用, 幸書房, pp.220-222, 2013
- 3) 吉田時行他著: 金属せっけんの性質と応用, 幸書房, pp.216-220, 2013
- 4) 吉田時行他著: 金属せっけんの性質と応用, 幸書房, pp.83, 2013