

ステアリン酸の特性に着目した塗布型撥水材のコンクリート構造物への適用性に関する研究

原野綾子¹、添田政司²、櫛原弘貴³

三愛テック¹、福岡大学大学院工学研究科²、福岡大学工学部³

概要：本研究では、湿潤状態のコンクリートにも適用できる新たな材料としてステアリン酸を用いた撥水材の開発を目的として、高含水率のコンクリートに対して、各種性能試験により検討を行った。その結果、ステアリン酸と脂肪酸の最適な構成割合は、20：80であることが分かった。また、湿潤状態のコンクリートに対しても撥水性を付与できることが分かった。

1. はじめに

既設構造物の維持管理や予防保全を目的としてシラン系表面含浸材の利用が増加している。この材料は、コンクリートやモルタルに塗布することにより、コンクリート表面に撥水性及び吸水抑制機能を持つ含浸層を形成する。この機能により、水分や塩化物イオンの浸透に対して抵抗し、コンクリートの劣化進行を抑制する効果が認められている¹⁾。ただし、湿潤状態のコンクリートに塗布した場合には、十分に撥水機能を持つ含浸層を形成できないことが確認されている²⁾。そのため、湿潤状態のコンクリートに対しても、撥水機能が付与可能な新たな材料の開発が望まれている。

一方で、ステアリン酸は、縦長の疎水基を持っていることで水への不溶性があり、撥水性が高いことが分かっている。そのため、この材料は、コンクリートの劣化因子である水分や塩化物イオンの侵入抑制効果が高いと考えられる。また、疎水基だけでなく、親水基を併せ持っていることから、湿潤状態のコンクリートに塗布した場合においても、撥水機能を付与できることが期待される。

そこで、本研究では、ステアリン酸を用いた撥水材の開発を目的として、まず、撥水状況、含浸深さ試験、吸水率試験により、最適成分比の検討を行った。次に、吸水率試験、塩水浸漬試験、中性化促進試験により、塗布条件と養生環境の違いによる撥水性への影響について検討を行った。

2. 構成成分比の違いが撥水性能に及ぼす影響

2.1 実験概要

2.1.1 検討溶液および供試体概要

検討した撥水材は、写真－1 のように黄土

色の溶液であり、ステアリン酸を主成分としたもので、ステアリン酸と脂肪酸の混合割合を変化させ、添加剤としてメチルヘキサン(略号：M)、ノーマルヘキサン(略号：N)を用いた計6種類を試作した。表－1には、試作した溶液の脂肪酸の割合と添加剤の種類を示す。

供試体は、表－2に示す配合により作製した。セメントは、普通ポルトランドセメント、水セメント比55%、s/c 3.0の100×100×400mm



写真－1 試作した検討溶液

表－1 成分比と添加材の種類

記号	脂肪酸の割合(%)	ヘキサン種類
M-0	0	メチル
M-60	60	
M-80	80	
MN-0	0	メチル+ノーマル
MN-60	60	
MN-80	80	

表－2 モルタルの配合

W/C (%)	S/C (%)	単位量(kg/m ³)		
		W	C	S
55	3.0	271	493	1478

の角柱モルタルを作製した。養生は、28 日間の水中共養生を行った。養生終了後、供試体は、コンクリートカッターで 100mm 間隔にカットして、80×100mm にしたものを実験供試体とした。実験供試体は、いずれもカット面及び打設時上下面をエポキシ樹脂で被覆を行い、それ以外の 2 面に研磨を行った。研磨した面を試験面として撥水材の塗布を行った。

撥水材の塗布方法は、養生終了後、供試体の試験面の表面水率を $5.0 \pm 2\%$ に調整し、刷毛を用いて 0.025 ml/cm^2 塗布した。塗布後 3 日間静置し、以下の 3 つの試験を行った。なお、塗布時および塗布後養生は、温度 20°C 湿度 60% の環境下で行った。

2.1.2 各種試験方法

(1) 撥水状況

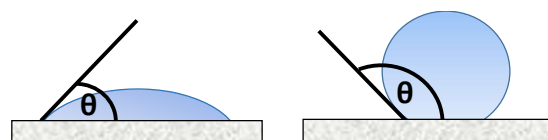
撥水性の確認方法は、水掛試験による外観観察が一般的である。しかし、この方法では、客観的な評価は難しく、撥水材同士の詳細な比較が難しいと考えられる。そこで、撥水角による撥水状況の評価を行った。塗布面に水を一滴垂らし、マイクロスコープにより水滴を撮影した。その後、接地角度を画像処理により撥水角 θ を測定した。図-1 に撥水角の評価の指標を示す。

(2) 含浸深さ試験

JSCE-K 571「表面含浸材の試験方法（案）」に準拠し、試験体の含浸面を 2 分割するように割裂した。その後、割裂した供試体を 1 分間水に浸漬して取り出し、割裂した面の撥水している部分の範囲を含浸深さとして、ノギスで測定した。

(3) 吸水率試験

JSCE-K 571「表面含浸材の試験方法（案）」に準拠して行った。供試体の初期重量の測定後、水中浸漬を行った。浸漬は、図-2 に示すように、試験体の含浸面および無塗布の供試体の試験面が側面になるようにして、供試体の上面が水面下 20mm になるように、温度 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ の水中に浸漬した。その際、供試体の下面が試験用溶液底面から 10mm 程度になるようにスペーサーを設置し、隣接供試体との間隔は 30mm 以上となるように浸漬した。なお、塗布した供試体と無塗布供試体は別の試験容器で浸漬を行った。所定の試験材齢で供試体を取り出し、重量測定を行った。その後、初期重量と所定の材齢での重量の増加量によって吸水率を算出した。なお、重量測定は、1、



1) 濡れやすい固体 2) 濡れにくい固体

図-1 撥水角の評価

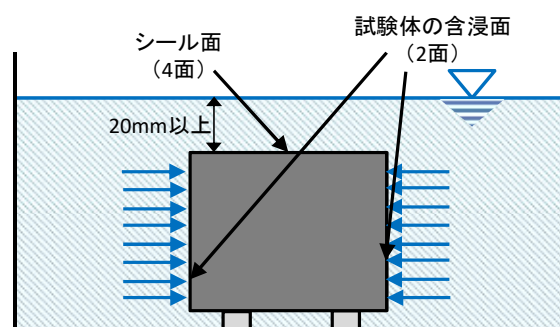
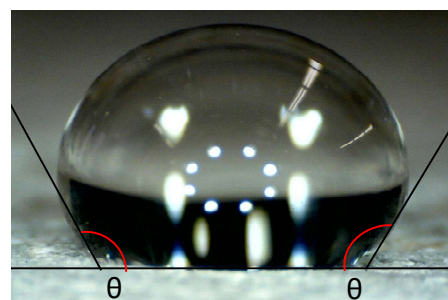


図-2 供試体の浸漬状況



(1) 検討溶液塗布



(2) 無塗布

写真-2 測定した液体の状況の一例

2, 3, 5, 7, 14, 28 日に行った。

2.2 実験結果および考察

写真-2 に検討溶液を塗布した供試体の一例と無塗布供試体の測定状況を示す。この写

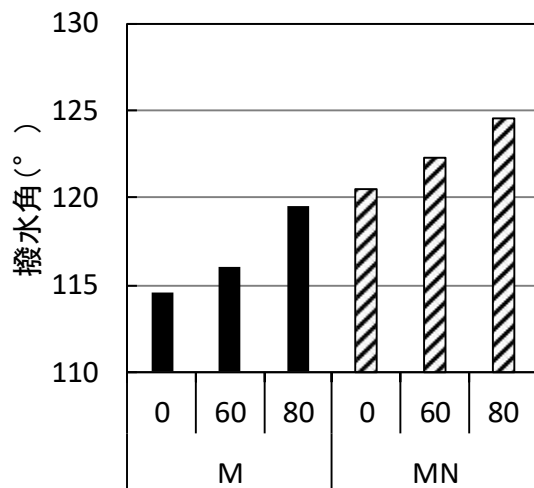


図-3 撥水角

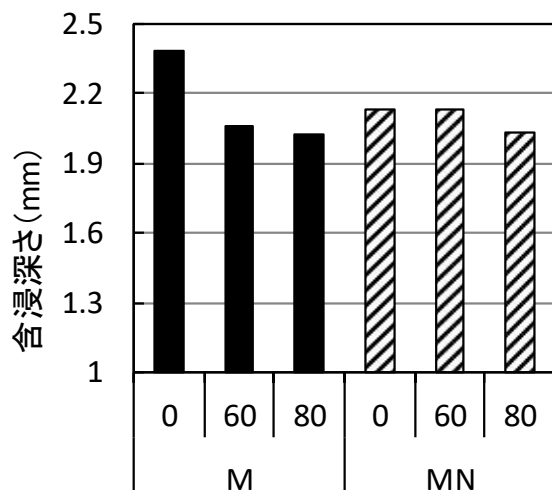


図-4 含浸深さ

真を用いて撥水角の測定を行った。なお、無塗布は、同様の方法で試験を行ったが、写真-2(2)のように水を一滴垂らすと、即座に供試体内に浸透してしまったため、撥水角を確認できなかった。そのため、無塗布の撥水角は 0° としている。図-3 には、各種検討溶液における撥水角の測定結果を示す。撥水角はいずれも 110° 以上となり撥水性が確認された。また、既往の研究より、市販のシラン系表面含浸材を塗布した際の撥水角は、 $100^{\circ} \sim 120^{\circ}$ であったことから³⁾、今回の検討溶液は、シラン系表面含浸材と同等の撥水性を有することが確認できた。ヘキサン種類の違いで比較すると、いずれの脂肪酸の混和率においても、MN シリーズの撥水角は、M シリーズよりも大きくなる結果を示した。また、いずれのシ

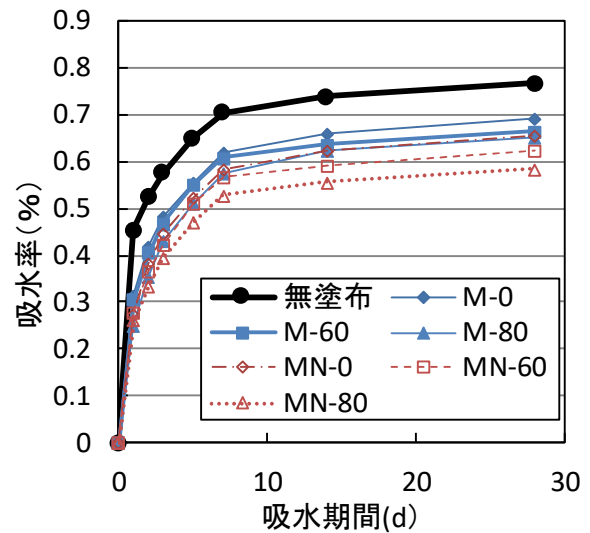


図-5 吸水率の経時変化

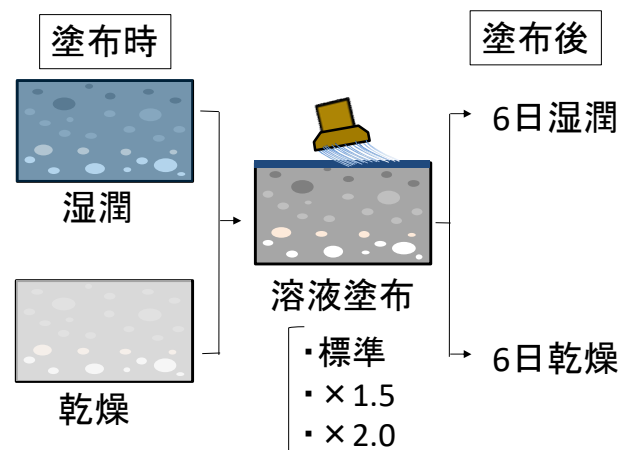


図-6 塗布条件および養生環境

表-3 各種塗布工程

記号	塗布工程
湿・6乾	湿润→溶液塗布→6日乾燥
湿・6湿	湿润→溶液塗布→6日湿润
乾・6乾	乾燥→溶液塗布→6日乾燥
乾・6湿	乾燥→溶液塗布→6日湿润

の試験結果」によると、シラン系表面含浸材の含浸深さは、 $2.5\text{mm} \sim 3.0\text{mm}$ であることかリーズにおいても、脂肪酸の混和率が高くなるに従って、撥水角は大きくなる傾向も示した。

図-4 には、含浸深さの測定結果を示す。「表面保護工法設計施工指針(案)、付属資料ら¹⁾、今回の検討溶液の含浸深さは、シラン系表面

含浸材のものより若干小さいが、同等であると考えられる。含浸深さは、いずれの添加剤を加えた溶液においても、脂肪酸の混和率が高くなるに従って低下した。また、脂肪酸の混和率が0%の場合には、Mシリーズの方がMNシリーズよりも含浸深さが大きくなる結果を示した。それに対し、脂肪酸の混和率が60%、80%の場合には、シリーズの違いによる明確な差は確認できなかった。

図-5には、吸水率の経時変化を示す。吸水率は、7日までに急激に増加し、それ以降は、増加が緩慢になる傾向であった。検討溶液を塗布した供試体の吸水率は、いずれも無塗布と比べて低下する結果を示した。脂肪酸の混和率による違いを見ると、脂肪酸の混和率の増加に伴って、吸水率は低下する傾向を示した。また、シリーズの違いで見ると、脂肪酸の混和率の違いに関わらず、MNシリーズの方がMシリーズよりも吸水率が低下する結果を示した。

以上の試験結果から、撥水状況・含浸深さ試験・吸水率試験の結果を総合的に評価すると、MN-80が最も撥水性能が高いと考えられる。そのため、以降の試験においては、脂肪酸の混和率が80%でメチル+ノーマルヘキサンを添加剤としたMN-80を用いて検討を行った。

3. 塗布条件および養生環境の違いが撥水材の抑制効果に及ぼす影響

3.1 実験概要

試験には、2.1の結果で最も撥水性能が高

いとされたMN-80を用いた。供試体は、2.1と同様の配合・形状のものを作製した。

図-6に撥水材の塗布条件および養生環境の違いを表した図を示す。塗布条件は、塗布時の含水状態および塗布量を変化させた。塗布時の供試体の含水状態は、湿潤状態（表面水率：5～7%）、乾燥状態（表面水率：3～4%）に調整した。また、塗布量は、標準の塗布量（0.025ml/cm²）に加えて、1.5倍（0.038ml/cm²）、2倍（0.05ml/cm²）の3つを準備した。塗布後の養生環境は、6日間の乾燥あるいは湿潤状態とした。乾燥養生は、温度20℃湿度60%の環境下に静置し、湿潤状態は、湿布養生により調整を行った。表-3に塗布時の含水状態と塗布後養生環境を区別するための記号をまとめたものを示す。養生終了後、以下の3つの試験を行った。

(1) 吸水率試験：

2.1.2(3)で上述したものと同様の方法で行った。

(2) 塩水浸漬試験

JSCE-G 572「浸せきによるコンクリートの塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法（案）」に準拠し、10%NaCl水溶液に28日間浸漬した。浸漬終了後は、1cmごとにモルタルの粉体を採取して、JIS-A 1154「硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法」に準拠し、電位差滴定装置により、全塩化物イオン量を測定した。その後、見かけの塩化物イオン拡散係数を算出した。

(3) 中性化促進試験

JIS-A 1153「コンクリートの促進中性化試験

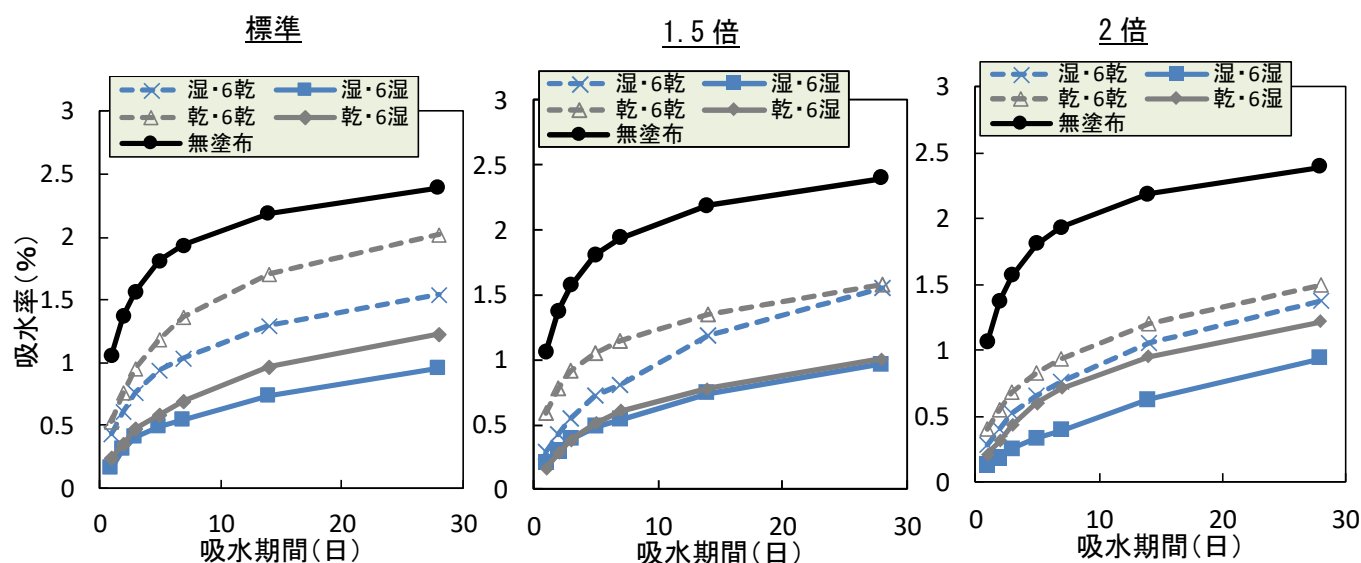


図-7 吸水率の経時変化

方法」に準拠し、湿度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相対湿度 $60\pm 5\%$ 、 CO_2 濃度 $5\pm 0.2\%$ の条件下で 28 日間の中性化促進を行った。万能試験機により供試体を割裂し、フェノールフタレイン溶液を散布して、呈色しなかった範囲を中性化域とした。ノギスにて等間隔で 5 点測定した値を平均したものを中性化深さとした。

3.2 実験結果および考察

図-7 に吸水率の経時変化を塗布量ごとに示す。いずれの塗布条件および養生環境においても、吸水率は、無塗布と比べて低下する結果を示した。標準の塗布量において見ると、塗布時のモルタルの状態に関わらず、塗布後湿潤養生を行ったものが、乾燥養生を行ったものよりも吸水率が低下する結果を示した。また、塗布後の養生環境に関わらず、湿潤状態で塗布したものが、乾燥状態で塗布したものよりも吸水率が低下する結果を示した。の結果は、塗布量を 1.5 倍、2 倍に増やした場合においても同様の傾向を示した。塗布量の違いで比較すると、標準の塗布量を塗布したものは、塗布条件および養生環境の影響により、吸水率は、無塗布の 40%~80%と差が大きかった。それに対し、塗布量を増加させた場合、1.5 倍、2 倍に増加するに従って、吸水率は低下し、いずれの条件でも無塗布の 50%以下となった。これは、塗布量を増やすことで撥水層の厚さが増加したためであると考えられる。

図-8 には、各種塗布条件および養生環境における見かけの塩化物イオン拡散係数を示す。無塗布と比較すると、いずれの塗布方法においても、見かけの拡散係数は低下する結果を示した。また、湿潤状態の供試体に塗布し、塗布後も湿潤状態を保持したものが無塗布の 45%程度となり、最も低下する結果を示した。ただし、塗布量を増加しても、それに伴う塩化物イオンに対する抵抗性の向上は確認されなかった。以上のことから、対象とした撥水材は、湿潤状態のコンクリート構造物に対しても撥水機能を付与できると考えられた。

図-9 には、各種塗布条件および養生環境における中性化促進 28 日を行った際の中性化深さを示す。いずれの塗布条件および養生環境においても、中性化深さは、無塗布の 50%以下となる結果を示した。塗布後の養生環境に関わらず、塗布時湿潤させた場合の中性化深さは、塗布量が増加するに従って、低下す

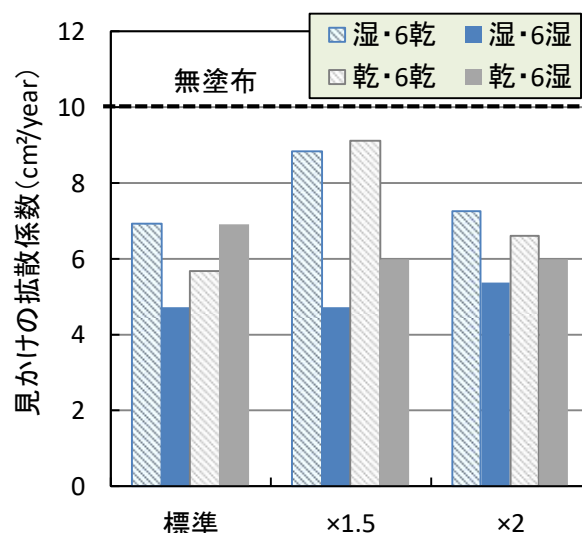


図-8 見かけの塩化物イオン拡散係数

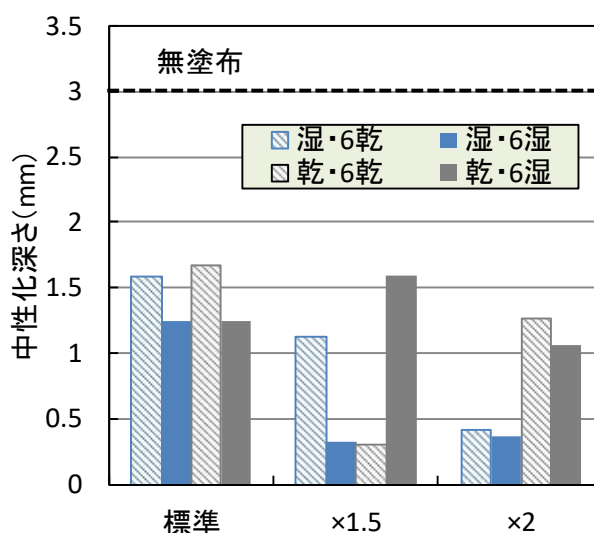


図-9 中性化深さ

る結果を示した。ただし、塗布時・塗布後両方で湿潤させたものは、1.5 倍と 2 倍で大差ない結果となった。それに対し、塗布時乾燥させた場合の中性化深さは、塗布量を増加させたとしても、明確な違いが確認できなかった。以上の結果より、撥水性以外にも中性化に対する抵抗性の向上も確認された。

4. まとめ

ステアリン酸を用いた塗布型撥水材の開発およびコンクリート構造物への適用性の検討を目的として、構成成分比の検討および塗布条件と養生環境の違いが抑制効果に及ぼす影響について検討を行った結果、以下の知見が得られた。

- 1) ステアリン酸を用いることで、湿潤状態のコンクリートに対しても撥水性を付与できることが分かった。
- 2) 撥水性能は、成分比によって性能が異なり、ステアリン酸と脂肪酸の構成割合が 20 : 80 で吸水性及び撥水角が最も優れる結果を示した。
- 3) 湿潤状態のコンクリートにおいて、塩化物イオンに対する抑制効果の向上が確認できた。
- 4) 水や塩化物イオンに対する抑制効果以外にも、中性化に対する抵抗性も確認できた。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリートライブラリー119
「表面保護工法・設計施工指針（案）」
2005.4
- 2) 今野拓也ら：コンクリートの養生条件・材齢が表面含浸材の吸水抑止効果に及ぼす影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.29, No.2, pp.541-546, 2007
- 3) 渡邊晋也ら：塗布量が異なる各種シラン系表面含浸材の初期性能とコンクリート表面の性状に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.33, No.1, pp.1619-1624, 2011

謝辞：本研究は，一般社団法人九州建設技術管理協会「平成 29 年度建設技術研究開発助成」により実施したものである。ここに，厚くお礼申し上げます。

