

ロータス効果による湿潤コンクリートへの撥水性付与技術の開発

Development of water repellent performance imparting technology to wet concrete by lotus effect

福岡大学 助教 樋原弘貴

■研究の目的および概要

本研究は、湿潤状態のコンクリートにも撥水性能を付与できる新たな表面含浸材を開発し、その適用性を示すことを目的とした。研究の特色としては、細長の親水基（COOH）と疎水基（ $C_{17}H_{35}$ ）の両者を持つ特異な材料であるステアリン酸（ $C_{18}H_{36}O_2$ ）に着目したことにある。親水基により湿潤コンクリートにも適応可能であることや、疎水基により撥水性の付与も期待できる。ただし、疎水性は、現状の表面含浸材よりも劣ると予想されたことから、さらに蓮の葉に見られるロータス効果をコンクリート表面に形成することに注目した¹⁾。ステアリン酸の分子構造の間に、脂肪酸を乳化させた微細構造を形成させることで、湿潤コンクリートへの撥水機能の付与効果について実験的な検討を行った。

本実験で作製したステアリン酸をベースとした表面含浸材を表-1に示す。表面含浸材の構成は、ステアリン酸、脂肪酸、メチルヘキサン、ノルマルヘキサンとした。写真-1、2には、作製した表面含浸材の外観とコンクリート供試体への塗布後の撥水状況を示す。

表-1 使用した表面含浸材の構成

Stearic acid	Fatty acid	Methyl hexane	Normal hexane
140	560	150	150



写真-1 表面含浸材の外観

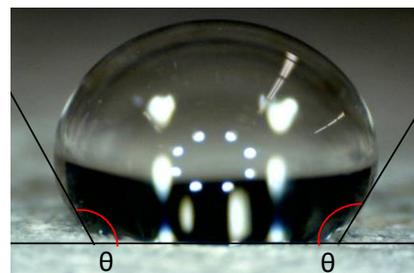


写真-2 撥水状況（124°）

供試体は、普通ポルトランドセメントを用いて水セメント比 55%の 10cm×10cm×40cm のコンクリートとした。28 日間の水中養生後は、コンクリートカッターで 10cm×10cm×8cm にカットし、カット面を含浸材塗布面とした。含浸材塗布面以外は、アルミテープで被覆し、乾燥環境および高湿度環境に 7 日間静置して、塗布時の表面水率が 4%～11%になるように調整した。その後は、表面含浸材の塗布を行い、塗布後の環境を温度 20℃、湿度 60%および温度 20℃、湿度 90%の環境に 6 日間静置して各種試験を行った。表-2 には、塗布前後における供試体の環境状態について示す。塗布量は、0.025g/cm²を標準量とし、その 1.5 倍、2 倍量も水準として設けた。塗布方法は、いずれも刷毛を用いて行った。

表-2 塗布前後における供試体の状態および環境

Condition	Surface water ratio of concrete during coating	Coating amount (g/cm ²)	Condition after coating (for 6 days)
Wet-Wet	10~11% (wet condition)	0.025 0.038 0.05	Temperature 20°C Humidity 90% (wet condition)
Dry-Wet	4~6% (dry condition)		
Wet-Dry	10~11% (wet condition)		Temperature 20°C Humidity 60% (dry condition)

表面含浸材の効果は、吸水率試験、塩水浸漬試験、中性化促進試験、ひび割れ閉塞性にて評価を行った。吸水率試験は、JSCE-K 571「表面含浸材の試験方法（案） 6.4 吸水率試験」に準拠して行った。吸水期間は、70 日間とし、その後は、温度 20°C湿度 60%環境に静置して乾燥における内部の含水状態の変化についても検討を行った。塩水浸漬試験は、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 91 日間浸漬した。中性化促進試験は、JIS A 1153「コンクリートの促進中性化試験方法」に準拠して行った。促進期間は、28 日間とし供試体を割裂後にフェノールフタレイン溶液を散布し、非呈色域の測定を行った。ひび割れの閉塞性については、JSCE-K 572「けい酸塩系表面含浸材の試験方法」に準拠して、ひび割れ 0.2mm を供試体中央部に導入し、表面含浸材を塗布してひび割れの閉塞性について検討を行った。

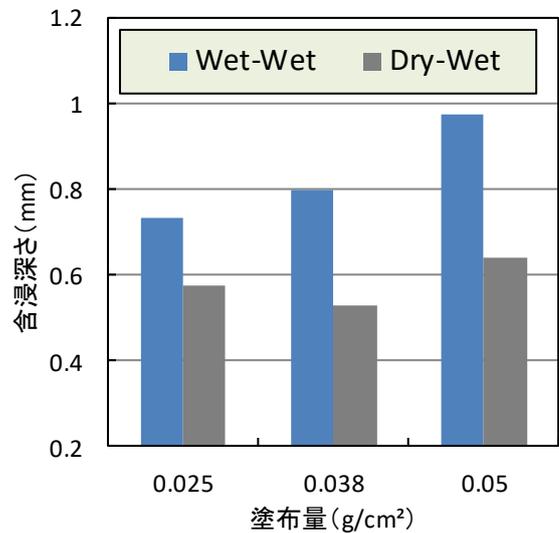


図-1 含浸深さの違い

（実験調査によって得られた新しい知見）

図-1には、含水状態が異なる供試体への含浸深さの測定結果を示す。下地が湿潤状態にあるコンクリート中への含浸深さは、乾燥状態よりも大きくなっている。また、乾燥状態では、塗布量の増加に伴う含浸深さの増加は確認されなかったのに対し、湿潤状態になると、塗布

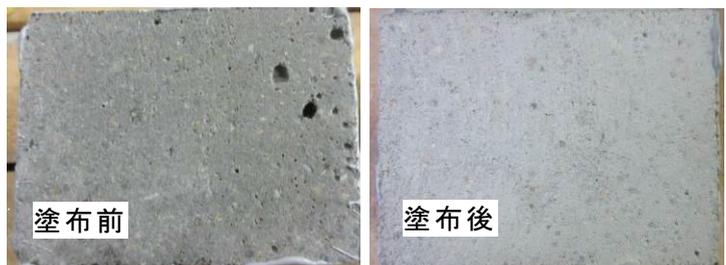


写真-3 塗布前後の外観の違い

量の増加に伴って含浸深さも大きくなっている。これは、塗布時のコンクリートが湿潤である方がステアリン酸の親水基によりコンクリートとの結合が高まったものと考えられる。この傾向は、従来のシラン系表面含浸材の浸透特性とは大きく異なっている²⁾。本研究で開発された材料は、湿潤状態にあるコンクリートに対してもステアリン酸の機構を利用することで撥水性能を付与しつつ、ある程度の含浸性が確保されていると考えられる。写真-3には、塗布前後の供試体の外観変化を示しているが、いずれの場合も白色化する結果となった。この白色化は、脂肪酸が酸化されたことによるものと思われるが、現時点では詳細分析までには至っていない。また、手で擦る程度では、コンクリート表面に生成されている白色物質を除去することはできないものであった。

図-2には、水中浸漬および乾燥過程における吸水率の経時変化を示す。いずれの塗布条件および養生環境下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。最も吸水率が抑制された供試体は、Wet-Wet環境のものであったが、塗布量の増加による更なる吸水抑制効果は期待できなかった。また、Wet-DryとDry-Wetを比較すると、Dry-Wetの吸水率は、Wet-Dryよりも小さい傾向にあることから、塗布時の含水状態よりも塗布後の養生環境の影響が大きいことが分かる。さらに、水中浸漬後から乾燥環境に静置した場合には、いずれも吸水率が低下を示していることから、既に内部に浸入している水を外部へ透過する機能も有していることも確認できた。

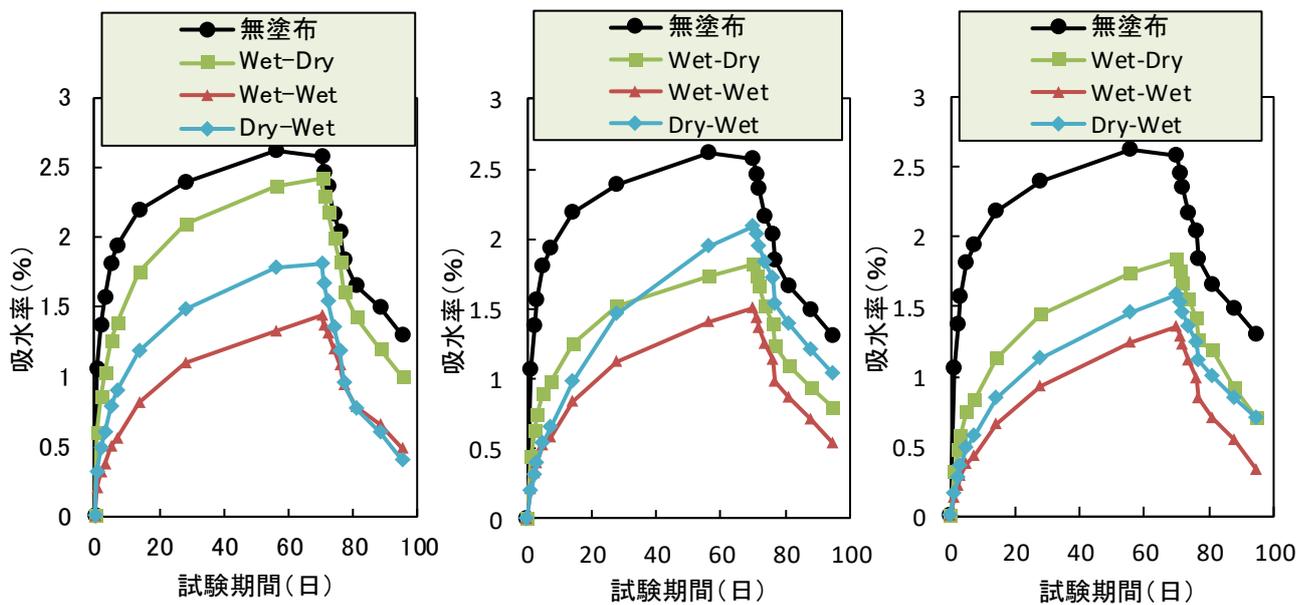


図-2 吸水率の経時変化

図-3には、見かけの塩化物イオン拡散係数の違いについて示す。撥水性を示すことから、表面塩化物イオン濃度 C_0 が低いため、見かけの塩化物イオン拡散係数で評価するのは、難しい状況にあるが、それでも無塗布供試体の拡散係数は、 $10\text{cm}^2/\text{year}$ であったのに対して表面含浸材を塗布したものは、いずれも低下する結果が得られている。シラン系表面含浸材の場合には、無塗布に対する見かけの塩化物イオン拡散係数は、10%程度の報告がなされているが³⁾、今回検討した表面含浸材では、Wet-Wetの環境で45%程度となっている。シラン系表面含浸材の撥水性能までは、達しないまでも湿潤状態のコンクリートに塗布できる利点を考えると十分に実用性は期待できると考えられる。

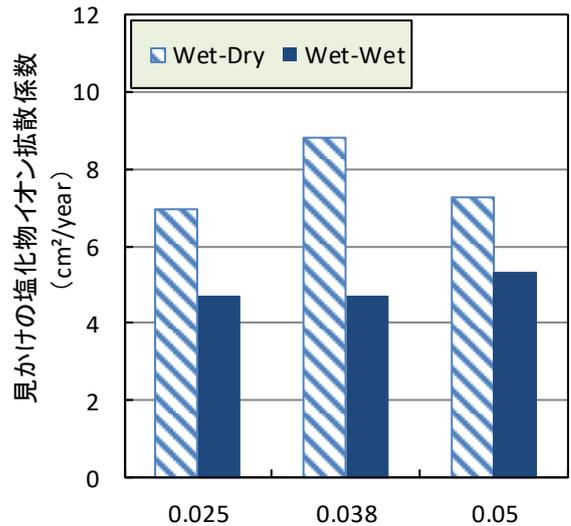


図-3 拡散係数の違い

図-4には、中性化深さの違いについて示す。いずれも条件においても中性化抑制が確認された。塗布量が $0.038\text{g}/\text{cm}^2$ を超えると中性化深さに違いがないことから、最大の効果が得られていると思われる。無塗布に対する中性化深さは、10%程度であり、シラン系表面含浸材の70%程度と比較すると⁴⁾高い抑制効果が得られているのが分かる。

写真-4には、ひび割れの閉塞状況を示している。ひび割れ箇所水を散水し、その後表面含浸材を塗布し、7日間静置させた際の状況である。この結果から、白色の生成物によりひび割れが閉塞されており、ひび割れに対する閉塞効果も期待できる結果が得られた。

以上のことから、これまでシラン系表面含浸材による撥水性の付与や被覆材の適用が難しかった湿潤状態にあるコンクリートに対しても新たな機構により、撥水性を付与できることが分かった。今後は、表面やひび割れに生成されている白色物の分析およびコンクリート表面をSEM分析を行い、ロータス効果がどの様に発揮されているのか等について詳細に検討していく予定である。

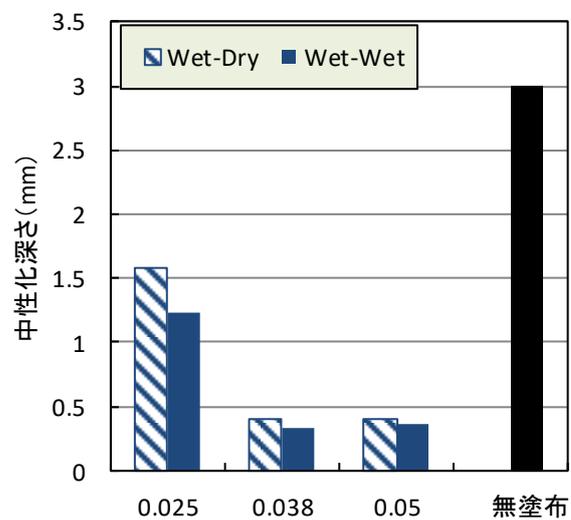


図-4 中性化深さ



写真-4 中性化深さ

参考文献

- 1) 山田博嗣, 佐藤悠士朗ら: 湿潤状態コンクリートにも塗布可能な撥水材の開発に関する基礎的研究, 土木学会年次学術講演会, pp.531-532,2018
- 2) 荒巻卓見, 大塚秀三ら: シラン系表面含浸材の表面保護効果に及ぼす温湿度の影響に関する基礎的研究, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol.35, pp.1645-1650,2013
- 3) 坂元貴之, 武若耕司ら: 各種表面含浸材の塩分浸透および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
- 4) 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