

化学主成分の異なる被膜剤の水分逸散抑制効果とはっ水効果に関する基礎研究

愛知工業大学 正会員 博(工) ○呉 承寧
愛知工業大学 工博 山田 英介

Abstract : In order to develop the hybrid coating agent which has curing function by keeping moisture of concrete and durability improvement function by making the surface zone become water-repellent, some coating agents with different chemical compositions were experimented. The experiments were on the abilities of the coating materials in keeping moisture of the coated mortar specimens, making surface zone of the mortar specimens become water-repellent and impregnating in the mortar specimens. The results of the experiments showed that coating agent mixed by the coating agent composed of alkenyl ester and speciality silane and the coating agent composed of silane was better than the other tested coating agents to be the hybrid coating agent.

Key words : Chemical composition, Curing, Durability, Hybrid coating agent, Properties

1. はじめに

コンクリート構造物の早期劣化は、構造物の安全性、修復困難、構造物の使用制限、および巨額な補修費用などから大きな社会問題となっている。コンクリート構造物の耐久性を向上する対策としては、鉄筋を保護するかぶりコンクリートの緻密化または表層部コンクリートのはっ水化によって、外部からの有害物質の浸透を抑制し、鉄筋を保護する技術が考えられる。かぶりコンクリートの緻密化には、湿潤養生が困難なコンクリートの表面に水分逸散抑制機能を持つ被膜養生剤の塗布によって湿潤養生と同程度の養生効果でかぶりコンクリートを養生して緻密化させる技術¹⁾とケイ酸塩系含浸材の塗布によるコンクリート表層部を緻密化させる技術がある。一方、コンクリート表面にはっ水機能を与えるシラン系含浸材などの塗布によって、外部からの侵食物質の浸透を抑制する技術もある。しかし、これらの技術はそれぞれの目的で開発されたものであるため、一度の塗布作業で養生効果と耐久性向上効果の両方を得ることはできず、さらに、被膜養生剤が塗布されたコンクリートの表面に含浸材が含浸しにくいなどの問題がある。

これらの問題を解決するために、筆者らは養生機能と耐久性向上機能を兼備するハイブリッド被膜養生剤を開発し、その養生効果と中性化抵抗性の向上効果を実験で確認した²⁾。しかし、ASRに対するハイブリッド被膜養生剤の抑制効果はシラン系含浸材に比べ劣っている³⁾。その原因としてハイブリッド被膜養生剤のはっ水効果は比較的低いことがある。

本研究は、ハイブリッド被膜養生剤の性能、とくにはっ水効果をさらに向上するために、異なる化学主成分を有する各種被膜剤において、養生機能に関する水分逸散抑制効果および耐久性向上機能に関連するはっ水効果を試験によって調べ、ハイブリッド被膜養生剤に最適な被膜剤を選定した。

2. 試験の概要

2.1 試験用被膜剤

本試験に7種類の被膜剤および2種類の混合被膜剤を使用した。各種の被膜剤の化学主成分を表-1に、外観を写真-1に示す。各種の被膜剤を塗布した供試体の種類は、表-1に示すように、比較するための被膜剤無塗布供試体を含め、計10種類とした。

同じ種類の供試体の数は3本とし、試験結果は3本の測定結果の算術平均値とした。なお、本試験の全ての測定結果は平均値の±10%以内に収まった。

表-1 供試体の種類と塗布用被膜剤

供試体の記号	塗布用被膜剤	化学主成分
N	なし	
WBPU	WBPU	ポリウレタン系化合物
WBPU-Si	WBPU-Si	ポリウレタン系化合物とシラン系化合物
CB	CB	アルケニル系エステル化合物とシラン系化合物
SS	SS	シラン系化合物
SA	SA	シラン系化合物
SB	SB	シラン系化合物
PF	PF	パラフィン系化合物
CB+SS	50%CBと50%SSの混合物	
CB+SB	50%CBと50%SBの混合物	

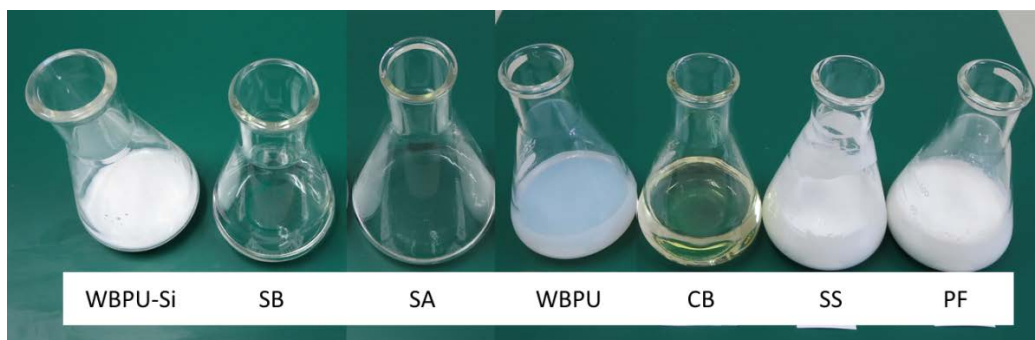


写真-1 試験用被膜剤の外観

2.2 供試体の製作

(1) 塗布用モルタル基板の製作

普通ポルトランドセメントと石灰石砕砂を用いて、水とセメントの重量比を50%、砂とセメントの重量比を3としたモルタルを製造し、40mm×40mm×160mmの角柱鋼製型枠に打ち込み、温度20℃の室内で封緘養生し、材齢5日に脱型を行った。

(2) モルタル基板への塗布

写真-2に示すように、脱枠直後のモルタル基板の全表面に刷毛で被膜剤を塗布した。モルタル基板への塗布量は150g/m²とした。

2.3 測定項目

(1) 水分蒸発率

被膜剤の水分逸散抑制効果は、写真-3に示すように、温度20℃、相対湿度60%の気中で保管された供試体の質量の経時変化を測定し、式(1)によって算出した水分蒸発率で評価した。

$$V_i = \frac{(W_o - W_i)}{W_o} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 V_i は乾燥日数*i*日間の水分蒸発率 (%)， W_0 は脱型直後の供試体の質量(g)， W_i は乾燥日数*i*日間後の供試体の質量 (g)

(2) 吸水率

被膜剤のはっ水効果は、温度20℃、相対湿度60%の空气中で4週間乾燥した供試体を写真-4に示すように20℃の水中で浸漬し、供試体の質量の経時変化を測定し、式(2)によって算出した吸水率で評価した。

$$A_i = \frac{(W_{Ti} - W_{T0})}{W_{T0}} \times 100 \quad (2)$$

ここに、 A_i は水に浸漬した*i*日間の吸水率 (%)， W_{T0} は4週間乾燥した供試体の質量(g)， W_{Ti} は水に浸漬した*i*日間後の供試体の質量 (g)



写真-2 供試体へ被膜剤の塗布



写真-3 供試体の空中乾燥

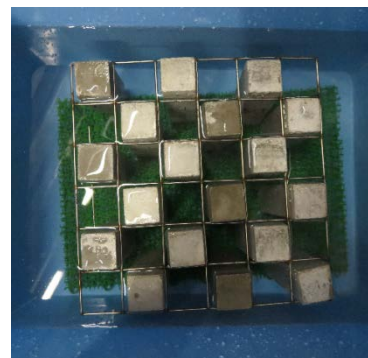


写真-4 供試体の水中浸漬

(3) 曲げ強度と圧縮強度の測定

吸水率試験終了後、供試体を温度20℃、相対湿度60%の空气中で28日間乾燥した後、JIS R 5214に準拠し、曲げ強度と圧縮強度を測定した。

(4) 含浸透深さの測定

曲げ強度を測定した供試体の断面に水噴霧し、表層部に水が含浸していない白い部分を被膜剤の含浸部分とし、含浸深さを測定した。

3. 試験の結果

3.1 被膜剤の水分逸散抑制効果

本研究は、各種の被膜剤の水分逸散抑制効果を確認するために、各種の被膜剤を塗布した供試体の水分蒸発率を測定した。試験の結果を図-1(a)に示す。この図より、アルケニル系エステル化合物とシラン系化合物を主成分としたCB被膜剤を塗布した供試体CBの水分蒸発率が一番低く、乾燥1週間後の水分蒸発率は無塗布供試体Nに比べ約4割減少した。すなわち、CB被膜剤は比較的高い水分逸散抑制効果があり、養生剤に必要な性能があった。

一方、シラン系化合物を主成分とした被膜剤を塗布した供試体SS、供試体SAおよび供試体SBは、無塗布供試体Nとほぼ同程度の水分蒸発率があった。この結果から、シラン系被膜剤が水分逸散抑制効果がほとんどなく、そのまま養生剤として利用できないことが分った。

シラン系被膜剤を塗布した供試体と同じく、ポリウレタン系化合物を主成分としたWBPUとWBPU-Si

被膜剤を塗布した供試体 WBPU と供試体 WBPU-Si, およびパラフィン系化合物を主成分とした PF 被膜剤を塗布した供試体 PF は, 無塗布供試体 N とほぼ同程度の水分蒸発率があった。これより, ポリウレタン系被膜剤およびパラフィン系被膜剤は水分逸散抑制効果はなかったことが確認された。

本研究は, シラン系被膜剤の水分逸散抑制効果を改善する方法を検討するために, シラン系被膜剤と水分逸散抑制効果の高い CB 被膜剤を混合し, それを塗布した供試体の水分蒸発率を測定した。試験の結果を図-1 (b) に示す。この図より, 水分逸散抑制効果のない SS 被膜剤, および SB 被膜剤は, CB 被膜剤と 1 対 1 混合すると, 水分逸散抑制効果が現れた。CB 被膜剤と SS 被膜剤の混合被膜剤を塗布した供試体 CB+SS, および CB 被膜剤と SB 被膜剤の混合被膜剤を塗布した供試体 CB+SB は無塗布供試体 N に比べ, 乾燥 4 週間の水分蒸発率が約半分程度低減した。この結果は水分逸散抑制効果のないシラン系被膜剤を CB 被膜剤と混合することによって, 水分逸散抑制効果が現れ, 被膜養生剤として使用できることを示唆する。

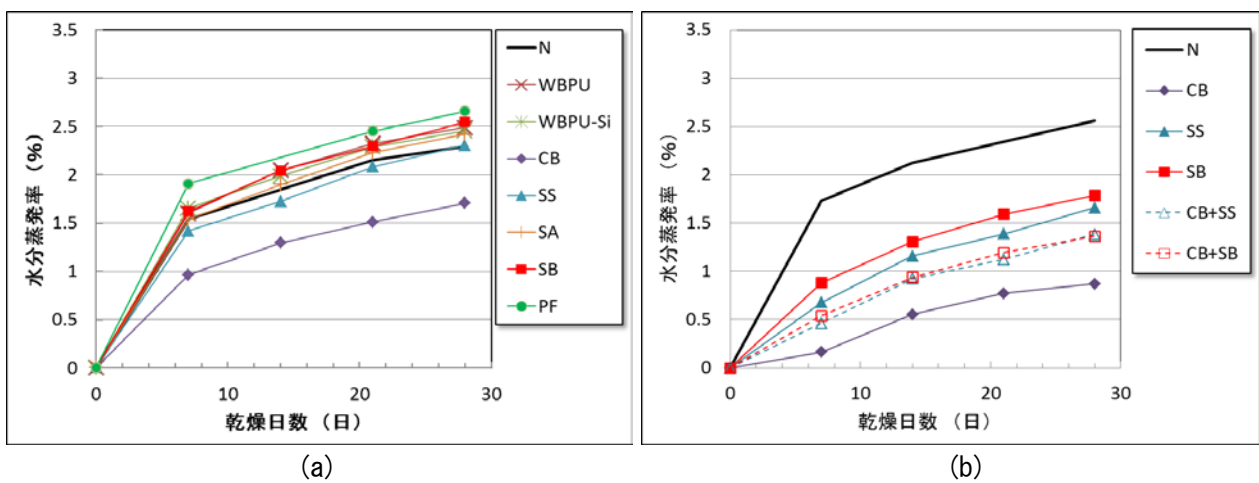


図-1 被膜剤の水分逸散抑制効果

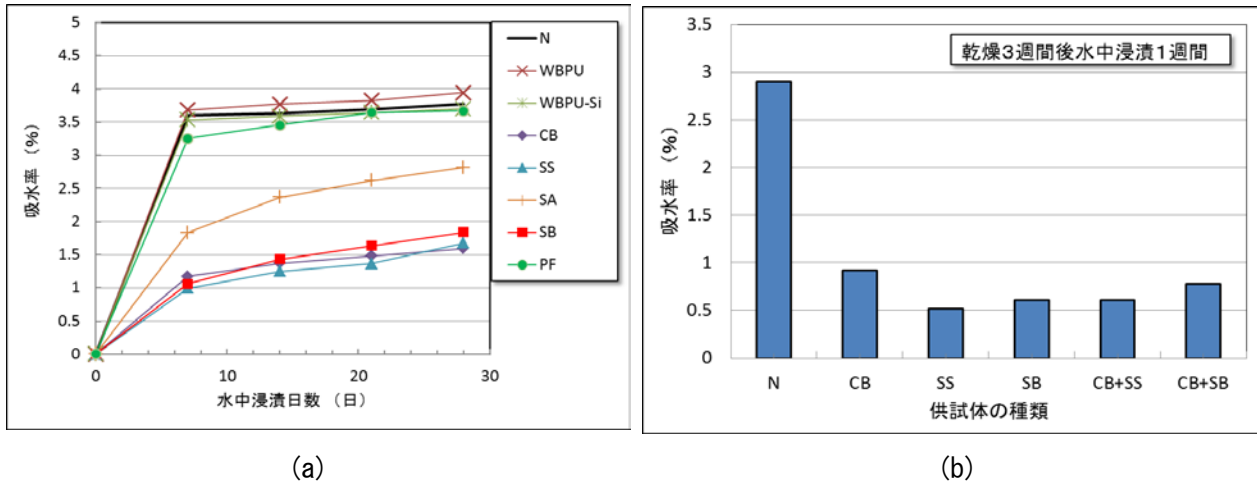
3.2 被膜剤のはっ水効果

各種の被膜剤のはっ水効果を確認するために, 各種の被膜剤を塗布した供試体の吸水率を測定した結果を図-2 (a) に示す。この図より, アルケニル系エステル化合物とシラン系化合物を主成分とした CB 被膜剤を塗布した供試体 CB, シラン系 SS 被膜剤を塗布した供試体 SS, およびシラン系 SB 被膜剤を塗布した供試体 SB は, 無塗布供試体 N に比べ吸水率が低く, 水中浸漬 28 日間の吸水率は約半分程度であった。この結果から, CB 被膜剤, シラン系 SS 被膜剤, およびシラン系 SB 被膜剤は高いはっ水効果があることが分る。

しかし, 同じシラン系化合物を主成分とした SA 被膜剤を塗布した供試体 SA は, 無塗布供試体 N に比べ, 水中浸漬 28 日間の吸水率が低減したものの, シラン系 SS 被膜剤またはシラン系 SB を塗布した供試体に比べ, 吸水率が高かった。

一方, ポリウレタン系被膜剤を塗布した供試体 WBPU と供試体 WBPU-Si, およびパラフィン系被膜剤を塗布した供試体 PF は, 無塗布供試体 N とほぼ同程度の吸水率があり, ポリウレタン系被膜剤およびパラフィン系被膜剤のはっ水効果は確認できなかった。

シラン系被膜剤と CB 被膜剤の混合被膜剤を塗布した供試体 CB+SS または供試体 CB+SB の吸水率が図-2 (b) に示すように, 無塗布供試体 N の約 3 割程度, CB 被膜剤を塗布した供試体 CB の約 8 割であったため, 被膜剤 CB+SS または CB+SB は高いはっ水性を示した。言い換えれば, CB 被膜剤のはっ水性は, シラン系 SS 被膜剤またはシラン系 SB 被膜剤の混合によって改善された。

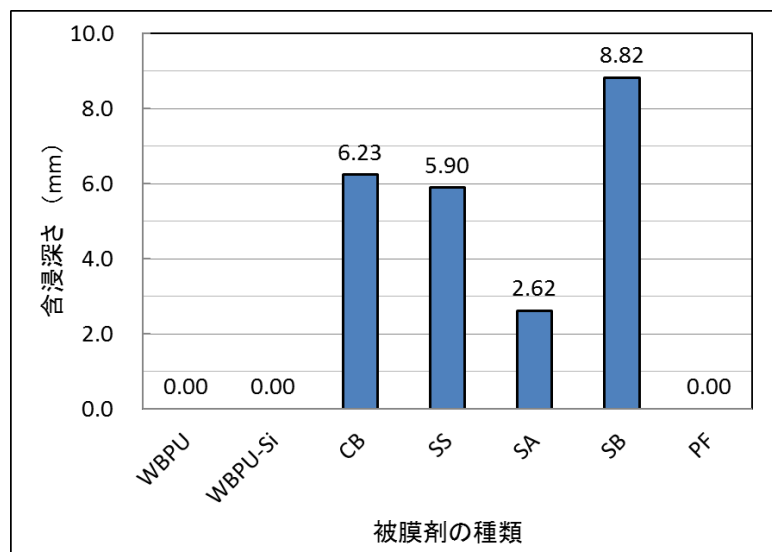


図－2 被膜剤のはっ水効果

3.3 被膜剤の含浸性

被膜剤のはっ水効果によって、コンクリートに有害物質が浸透しにくくなり、コンクリート構造物の耐久性を向上することが期待できるが、その前提としては被膜剤のはっ水効果が長期にわたって保持し続けることである。被膜剤のはっ水効果を長期に保つために、被膜剤がコンクリートに深く含浸することは重要だと考えられる⁴⁾。本研究では、各種の被膜剤の含浸深さを測定した。その結果を図－3に示す。この図より、モルタル供試体へのシラン系 SB 被膜剤の含浸深さは最も深く、ポリウレタン系被膜剤 WBPU と WBPU-Si、およびパラフィン系 PF 被膜剤の含浸深さはほぼゼロであった。アルケニル系エステル化合物とシラン系 CB 被膜剤、シラン系 SS 被膜剤、およびシラン系 SA 被膜剤はある程度の含浸深さがあった。

耐久性向上機能を有するハイブリッド被膜養生剤として、含浸性の高い被膜剤の使用は望ましいことから、ハイブリッド被膜養生剤の候補として SB 被膜剤をはじめ、CB 被膜剤、および SS 被膜剤が適すると思われる。



図－3 被膜剤の含浸性

3.4 強度に及ぼす被膜剤の影響

モルタル供試体に被膜剤の塗布によって、その強度に及ぼす影響を調べるために、20℃空气中で保管した無塗布供試体および各種の被膜剤を塗布した供試体の圧縮強度と曲げ強度を測定した。その結果を図-4に示す。この図より、SB被膜剤を塗布した供試体を除き、被膜剤を塗布した供試体は、無塗布供試体の同等以上の強度があった。しかし、圧縮強度に比べ、曲げ強度に及ぼす被膜剤の影響が少なかった。これについては、被膜剤が供試体表層部を緻密させて圧縮強度を増加するが、引張強度にこのような効果が少ないと推測される。

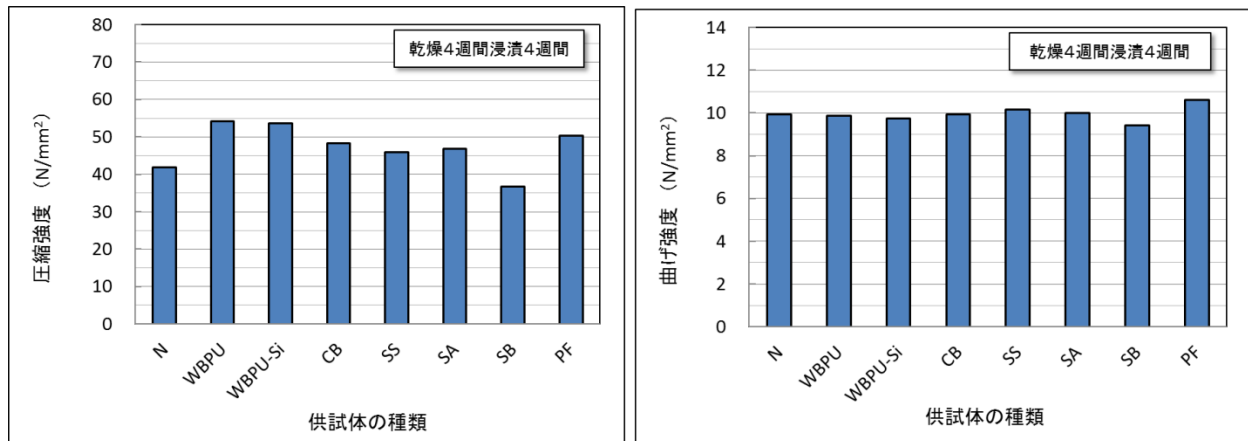


図-4 強度に及ぼす被膜剤の影響

4. まとめ

本研究の試験範囲内で以下の知見が得られた。

- (1) アルケニル系エステル化合物とシラン系化合物系CB被膜剤は高い水分逸散抑制効果がある。
- (2) CB被膜剤のはっ水効果はシラン系SS被膜剤またはシラン系SB被膜剤の混合によって改善することができる。
- (3) シラン系SS被膜剤とシラン系SB被膜剤は、単独で水分逸散抑制効果はないが、CB被膜剤と混合すると水分逸散抑制効果を得ることができる。
- (4) シラン系SB被膜剤とCB被膜剤の混合被膜剤は、高い水分逸散抑制効果とはっ水効果がある

謝辞

本研究は JSPS 科研費 25420466 の補助を受けたものです。

参考文献

- 1) 上村克郎, 橘高義典, 小西敏正, 膜養生剤によるコンクリート表層強度の向上に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.11, No.1, pp.183-186, 1999
- 2) 呉承寧, 俵道和, 小林俊秋, 郭連度, コンクリート表面品質の向上に及ぼす養生剤と表面改質剤の影響に関する研究, プレストレストコンクリート工学会 第21回シンポジウム論文集, pp. 573-578, 2012
- 3) 呉承寧, 郭連度, 俵道和, 浜中昭徳, アルカリ骨材反応に対する各種塗布剤の抑制効果に関する研究, プレストレストコンクリート工学会 第22回シンポジウム論文集, pp.223-228, 2013
- 4) 兼子 弘, 細田暁, 小林薫, 松田芳範, 低水セメント比のコンクリートにおけるシラン系表面含浸材の含浸深さと吸水抑止効果, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, pp.643-648, 2008