

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 9 日現在

機関番号：33903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25420466

研究課題名(和文) 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の開発

研究課題名(英文) Development of hybrid curing agent with curing function and durability improvement function

研究代表者

呉 承寧 (Wu, Chengning)

愛知工業大学・工学部・教授

研究者番号：90609405

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリート構造物の耐久性を向上するために、本研究は既往に開発された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の性能、特に撥水性をさらに向上することを目的とし、ハイブリッド養生剤の養生効果および耐久性向上効果に各種の化学成分との関係を調べ、養生効果および耐久性向上効果が最大限に得られる各化学成分の組合せを決めた。さらに、これらの化学成分の組合せによって製造されたハイブリッド被膜養生剤に対してその養生効果および耐久性向上効果を実験で確認した。

研究成果の概要(英文)：In order to improve the durability of reinforced concrete structures, a hybrid curing agent which has both curing function and durability improvement function was developed. However, the functions, especially water-repellant function of the hybrid curing agent were not good enough. To improve the functions of the hybrid curing agent, the relationship between functions and chemical compositions of the hybrid curing agent was investigated in this research. According to results of experiments, it was found that water-repellant function of the hybrid curing agent can be improved by mixed with alkyl tri-alkoxy silane or fluorinated polymer. The curing function and durability improvement function of the improved hybrid curing agents were examined by the experiments, such as evaporation test, water adsorption test, accelerated alkali aggregate reaction test, accelerated carbonation test, and etc., on concrete specimens applied by the improved hybrid curing agents.

研究分野：工学

キーワード：コンクリート ハイブリッド被膜養生剤 養生機能 耐久性向上機能 化学組成 水分逸散抑制 はっ水性

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年、コンクリート構造物早期劣化は、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のことから大きな社会問題となっている。

(2) コンクリート構造物の耐久性を向上するために、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、例えば、被膜養生剤の塗布、およびケイ酸塩系またはシラン系含浸剤の含浸などの技術が実用されている。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および耐久性向上効果の両方を得ることはできない。

(3) 従来技術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（以下は CB 養生剤と略称）を開発し、コンクリートの表面に CB 養生剤を塗布することによって、コンクリートに対する初期の養生効果と長期の耐久性向上効果を同時に得ることを考案した。しかし、CB 養生剤は、水分逸散の抑制、強度増進、乾燥収縮低減、中性化抵抗性の向上、塩化物イオン浸透抵抗性の向上、およびアルカリシリカ反応（以下は A S R と略称）の抑制に優れた効果を示したが、A S R 抑制において、シラン系含浸剤に比べ、若干劣っている。

2. 研究の目的

本研究は、CB 養生剤の実用化のために、まだ解明されていない養生効果および耐久性向上効果と各成分との関係を調べた上で、養生効果および耐久性向上効果が最大限に得られる各成分の最適な組合せを決め、さらに、最適化した CB 養生剤の養生効果および耐久性向上効果を実証し、実用化に必要な基礎データを収集した。

3. 研究の方法

(1) 試験用被膜剤

本研究に使用した CB 養生剤、CB 養生剤を改良するための各化学成分の被膜剤、および比較するための市販の被膜養生剤と吸水防止含浸剤の化学主成分を表-1 に示す。

(2) 供試体の製作

① 塗布用供試体の製作

普通ポルトランドセメン、石灰石砕石、石灰石砕砂または ASR 反応性安山岩砕石を用いて表-2 に示す配合でモルタルまたはコンクリートを製造し、各種試験用の供試体を製作した。

② 供試体への被膜剤塗布

供試体を温度 20℃の室内で封緘養生し、材齢 5 日に脱型を行った。供試体を脱型した直後に、写真-1 に示すように、供試体の全表面

に刷毛で被膜剤を塗布した。被膜剤の塗布量は 150g/m²とした。

表-1 各被膜剤の化学主成分

供試体記号	塗布する被膜剤の化学主成分
N	無塗布
CB	アルケニルエステルとシラン系 CB 養生剤
PF	市販のパラフィン系被膜養生剤
SS	市販のシラン・シロキサン系含浸材
AS	アルキルトリアルコキシシラン化合物
PU	ポリウレタン化合物
PU-Si	ポリウレタンとシランの混合化合物
AA	アルキレンオキシド化合物
F4, F5, F6, F8	フッ素化合物
CB+SS	Mix of CB and SS
CB+AS	Mix of CB and AS
AA+AS	Mix of AS and AA
CB+F4	Mix of CB and F4
CB+F5	Mix of CB and F5
CB+F6	Mix of CB and F6
CB+F8	Mix of CB and F8

表-2 モルタルとコンクリート配合

供試体の種類	水セメント比 W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					
		水 W	セメント C	砕砂 S	砕石 G	反応性砕石	減水剤
モルタル	50	253	506	1518	0	0	0
普通コンクリート		165	330	800	1030	0	0.99
ASRコンクリート		165	330	800	308	718	0.99



写真-1 供試体への被膜剤の塗布

(3) 試験項目

試験方法を表-3に示す。被膜剤の養生効果はモルタルまたはコンクリート供試体の水分蒸発率試験、被膜剤の耐久性向上効果は吸水率試験、乾燥収縮率、塩化物イオン浸透抵抗性、中性化抵抗性、およびアルカリシリカ反応抵抗性などの試験項目によって評価した。

なお、被膜剤の塗布による供試体の水分蒸発抑制効果は、写真-2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、水分蒸発率で評価した。一方、被膜剤の塗布による吸水防止効果は、温度20℃、相対湿度60%の気中で4週間乾燥した供試体を写真-3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、吸水率で評価した。

表-3 試験項目及び試験方法

項目	試験方法	関連規格
養生効果	水分蒸発率	---
	吸水率	---
耐久性	乾燥収縮	JIS A 1129-3
	塩化物イオン浸透抵抗性	JSCE-G 571
向上効果	中性化抵抗性	JIS A 1153
	ASR 抵抗性	デンマーク法

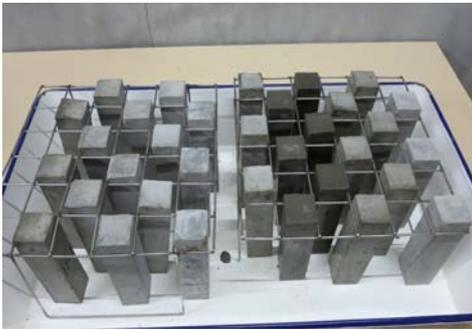


写真-2 水分蒸発率試験

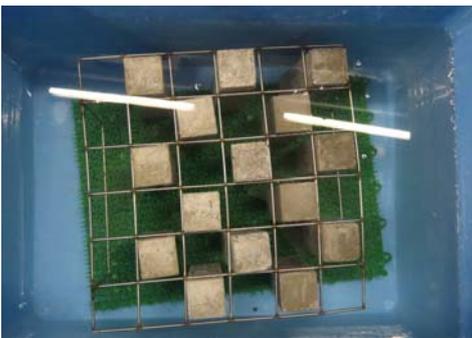


写真-3 吸水率試験

4. 研究成果

(1) 被膜剤の水分蒸発率に及ぼす化学主成分の影響

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に示す。この図より、アルケニル系エステルとシランを主成分としたCB被膜剤を塗布した供試体CBとアルキレンオキシド化合物を主成分としたAA被膜剤を塗布した供試体AAの水分蒸発率が一番低く、乾燥28日間後の水分蒸発率は無塗布供試体Nの約半分程度であった。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、シラン化合物を主成分とした被膜剤を塗布した供試体SS、および供試体SAは、無塗布供試体Nに比べ、水分蒸発率が約3割程度減少した。フッ素化合物を主成分とした被膜剤を塗布した供試体F5と供試体F8は、無塗布供試体Nに比べ、水分蒸発率が約1割程度減少した。

また、ポリウレタン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。

シラン系とフッ素系被膜剤の水分逸散抑制効果を改善するために、これらの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。その結果、CB被膜剤と混合した被膜剤を塗布した供試体CB+SS、CB+AS、CB+F5、およびCB+F8は無塗布供試体Nに比べ、水分蒸発率が約4割低減した。これらの混合被膜が養生剤として使用できることを確認された。

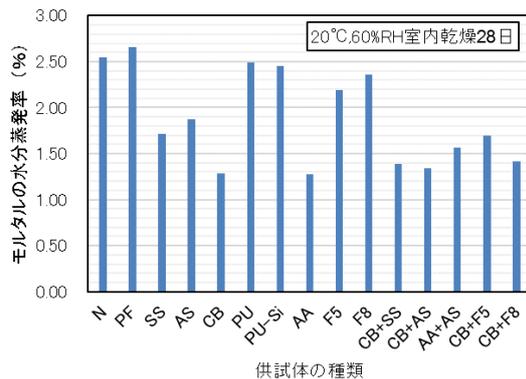


図-1 各被膜剤を塗布したモルタル供試体の水分蒸発率

(2) 被膜剤の吸水率に及ぼす化学主成分の影響

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に示す。この図より、アルケニル系エステルとシラン系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 AS 被膜剤を塗布した供試体 AS、フッ素系被膜剤 F4 および F6 を塗布した供試体 F4 と供試体 F6 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 4～7 割であった。一方、ポリウレタン系被膜剤を塗布した供試体 WPU と供試体 WPU-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 および供試体 CB+AS、フッ素系被膜剤と CB 被膜剤の混合被膜剤を塗布した供試体 CB+F4 および CB+F6 の吸水率は無塗布供試体 N の約 3 割程度、CB 被膜剤を塗布した供試体 CB の約 7～8 割であった。CB 被膜剤のはっ水性は、シラン系被膜剤またはフッ素系被膜剤の混合によって改善された。これらの混合被膜剤は改良 CB 被膜剤として使用可能である。

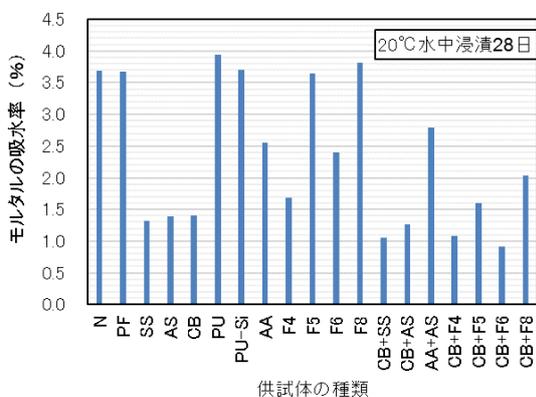


図-2 各被膜剤を塗布したモルタル供試体の吸水率

(3) 改良 CB 被膜剤の養生効果

各種塗膜剤を塗布したコンクリートの水分蒸発率を図-3に示す。この図より、改良 CB 養生剤を塗布した供試体 CB+AS、供試体 CB+F4 および供試体 CB+F6 は、無塗布供試体 N に比べ、水分蒸発率が約 4 割程度減少した。この結果から改良 CB 被膜剤は高い養生効果があることが分かった。

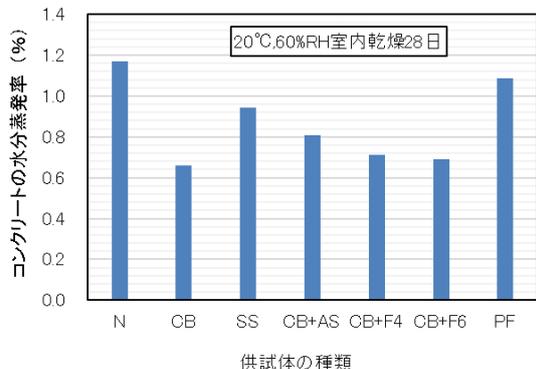


図-3 各種被膜剤を塗布したコンクリート供試体の養生効果

(4) 改良 CB 被膜剤の耐久性向上効果

① 吸水防止効果

各種塗膜剤を塗布したコンクリートの吸水率を図-4に示す。この図より、改良 CB 養生剤を塗布した供試体 CB、供試体 CB+AS、供試体 CB+F4 および供試体 CB+F6 は、無塗布供試体 N に比べ、吸水率が約 6 割程度減少した。特に、CB 被膜剤にシラン系被膜剤またはフッ素系被膜剤の混合によって、塗布したコンクリートの吸水率が低くなり、写真-4に示すように、CB 被膜剤のはっ水性が改善された。

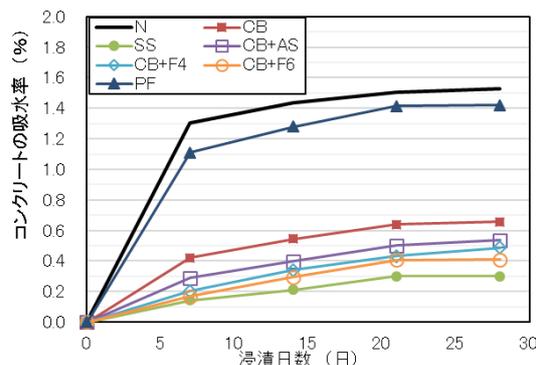


図-4 各種被膜剤を塗布したコンクリート供試体のはっ水性

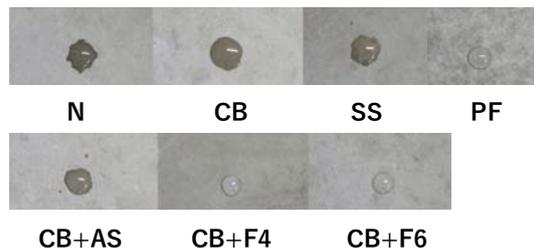


写真-4 各種被膜剤を塗布したコンクリート供試体のはっ水状況

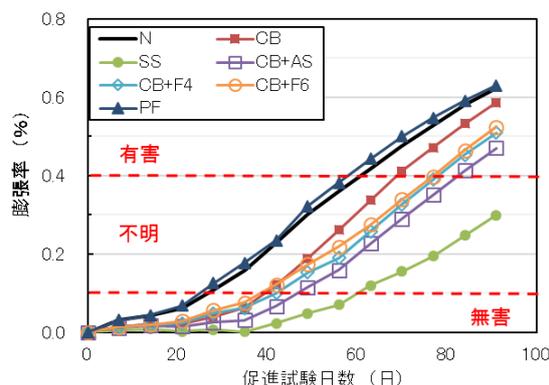


図-5 各種被膜剤を塗布したコンクリート供試体の ASR 抑制効果

② アルカリシリカ反応の抑制効果

各種塗膜剤を塗布したコンクリートのアルカリシリカ反応による膨張率を図-5に示す。この図より、供試体 SS、供試体 CB+AS、供試体 CB+F4 および供試体 CB+F6 は、無塗布

供試体および供試体 CB に比べ、アルカリシリカ反応による膨張が遅延された。これはCB被膜剤にシラン系被膜剤またはフッ素系被膜剤の混合によって、はっ水性が向上され、コンクリートにアルカリイオンと水の浸透が抑制され、アルカリシリカ反応が抑制された。

③ 中性化抵抗性の向上効果

各種塗膜剤を塗布したコンクリートの中性化深さを図-6に示す。この図より、供試体CBの中性化深さは一番低く、無塗布供試体に比べ約6割減少した。また、供試体CB+AS、供試体CB+F4および供試体CB+F6は、無塗布供試体Nに比べ、中性化深さが約3～4割程度減少し、シラン系被膜剤を塗布した供試体SSに比べても中性化抵抗性がかなり向上された。

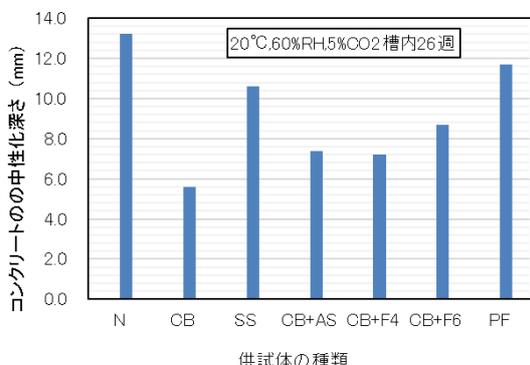


図-6 各種被膜剤を塗布したコンクリート供試体の中性化抵抗性

④ 乾燥収縮の低減効果

各種塗膜剤を塗布したコンクリートの乾燥収縮ひずみを図-7に示す。この図より、供試体CBの乾燥収縮ひずみは一番低く、無塗布供試体に比べ約2割減少した。また、供試体CB+AS、供試体CB+F4および供試体CB+F6は、無塗布供試体Nに比べ、乾燥収縮ひずみが約1割程度減少し、シラン系被膜剤またはフッ素系被膜剤を塗布した供試体に比べ、乾燥収縮ひずみが小さくなること分かった。

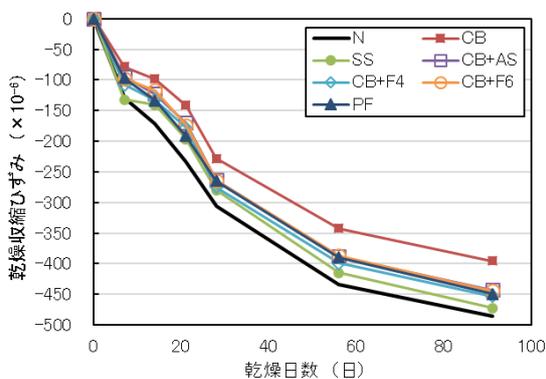


図-7 各種被膜剤を塗布したコンクリート供試体の乾燥収縮

⑤ 塩化物イオン浸透抵抗性の向上効果
各種塗膜剤を塗布したコンクリートに塩化物イオン浸透深さを図-8に示す。この図より、供試体CB、供試体CB+AS、および供試体CB+F6の塩化物イオン浸透深さが低く、無塗布供試体の約2割程度であった。

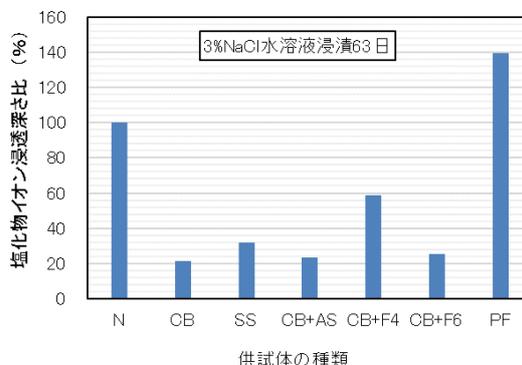


図-8 各種被膜剤を塗布したコンクリート供試体の塩化物イオン浸透抵抗性

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計3件)

- ① 呉 承寧、山田英介、各種被膜剤の水分逸散抑制性と撥水性に関する基礎実験、平成25年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集、pp. 393-394
- ② 呉 承寧、山田英介、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、プレストレストコンクリート工学会 第23回シンポジウム論文集、pp. 617-622、2014
- ③ Chengning Wu, Eisuke Yamada, and Shigeyoshi Nagataki, The Effect of Chemical Composition of Coating Agents on Moisture Transport in Mortar, Proceedings of the Fifth International Conference on Construction Materials, No. 203, Whistler, BC, Canada, 2105

6. 研究組織

(1) 研究代表者

呉 承寧 (WU Chengning)
愛知工業大学・工学部・教授
研究者番号：90609405

(2) 研究分担者

岩月栄治 (IWATSUKI EIJI)
愛知工業大学・工学部・教授
研究者番号：10278228