

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 6 月 16 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04550

研究課題名(和文)多機能型けい酸塩系表面含浸工法の開発と定量的照査が可能な設計・施工法の確立

研究課題名(英文) Development of multifunctional silicate surface impregnation method and establishment of design and construction method capable of quantitative verification

研究代表者

小林 孝一 (Kobayashi, Koichi)

岐阜大学・工学部・教授

研究者番号：20283624

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：コンクリート構造物の補修工法の一つである、けい酸塩系表面含浸材のさらなる効果向上を目指して、検討を実施した。その結果、CNF(セルロースナノファイバー)を混合したけい酸塩は高粘度の液体となり、幅0.2から0.6mmのクラックでは、CNF液を混合したけい酸塩の塗布を繰り返すことで閉塞がみられた。シラン系撥水剤を混和したけい酸塩系表面含浸材は、けい酸塩による改質層が形成されるまでの間、撥水作用により表層を保護する。撥水型けい酸塩の方が、4ヶ月半経過後に表層部にアルカリ金属イオンが多く残っている傾向がみられた。また、無色透明のけい酸塩系表面含浸材の施工管理に有効な塗布量確認シールを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

けい酸塩系表面含浸材に、添加剤や反応補助剤としてさまざまな材料を混和することによって、機能や性能の向上を達成することができた。特に、実構造物への施工や曝露試験も実施することによって、求める機能を明らかにした上で、適切なけい酸塩系表面含浸材を選択することを可能とし、さらにその効果を実証することができた。

研究成果の概要(英文)：This research was conducted to obtain further effectiveness of silicate surface impregnation material which is one of the repair methods of concrete structures. As the result, the silicate mixed with CNF (cellulose nanofiber) became the liquid of high viscosity, and it could fill the crack of 0.2 - 0.6 mm width. Silicate surface impregnation material mixed with silane-based repellent protects the surface layer by the water repellent action until the modified layer by silicate is formed. With this material, alkali metal ion tended to remain more in the surface layer after 4 and a half months. And, a seal to be used in the quality control in the application of the surface impregnation material that is colorless and transparent.

研究分野：コンクリート工学

キーワード：補修 コンクリート けい酸塩 表面含浸材 ひび割れ

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

けい酸塩系表面含浸材は、コンクリート表面に塗布されるとその表層に浸透し、セメント硬化体中の水酸化カルシウム ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) と反応することにより、セメント水和物の主成分と同様の C-S-H を析出する。その析出物によって微細空隙を充填してセメント硬化体組織を緻密化するため、コンクリートの物質侵入抵抗性が向上し、高耐久とする。土木学会指針が制定されたこともあり、急速に実施工の例も増加し、注目を浴びている補修材である。

けい酸塩系表面含浸材については、以下のようなことが明らかになっていた。

- 土木学会指針にしたがって試験すると、含浸材の含浸深さ、改質深さはわずか数 mm。
- 物質侵入抵抗性は、表面被覆には遠く及ばず、中性化や塩害に対して、構造物の寿命を劇的に長期化することは出来ない。
- 風化や溶脱により $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の減少した長期材齢のコンクリート構造物に適用した場合に、効果が得られるのか否かが不明。

2. 研究の目的

本研究では、けい酸塩系表面含浸材に対して、その機能を向上させる添加剤を併用したり、けい酸塩系表面含浸材の反応を高めるための反応補助材についても従来から研究者たちが用いてきた亜硝酸カルシウムに加え、別の材も用いることにより、効果の向上を図った。

けい酸塩の耐凍害性の向上に加え、実構造物に対する試験施工や暴露試験も含んだ検討によって、けい酸塩系表面含浸材の昨日、性能向上についての検討を行うこととした。

3. 研究の方法

(1) けい酸塩系表面含浸材を実構造物に塗布し、雨掛かりが含浸深さに与える影響を調査した。完成から 50 年近くが経過した実構造物に対してこの工法を適用し、表面含浸材を、雨が掛からない側面の内側、雨が掛かる側面外側、および雨が掛かる天井面、の 3 箇所に刷毛にて塗布した。

施工 1 ヶ月後および施工半年後に試料を採取し、土木学会規準「けい酸塩系表面含浸材の試験方法 (案) (JSCE-K572-2012)」に従って表面含浸材の含浸深さを分析した。表面含浸材に含まれるナトリウム (Na)、カリウム (K)、リチウム (Li) のコンクリート中での分布を試験することによって、けい酸塩から生成した C-S-H の分布を推定することとした。なお、含浸材の無塗布箇所については施工 1 ヶ月後のみに試料採取と分析を行なった。

(2) 上記 (1) の結果を踏まえ、特に施工初期に屋外で、降雨で洗い流されることを防ぐために、撥水材をけい酸塩系表面含浸材を混入することを試みた。ここでは、けい酸塩系表面含浸材に撥水材を混入することが、中性化や塩分浸透に対する抵抗性の向上効果を阻害しないかを調査することとした。さらに、実構造物に適用し、数ヶ月間の経時変化を調査した。

(3) けい酸塩系表面含浸材は、一般的に幅の小さなマイクロクラックの閉塞に強みを持ち、 0.2mm 程度のひび割れ閉塞に効果を発揮するものの、これより大きなひび割れ補修に対するニーズも根強くある。そのため、けい酸塩系表面含浸材の粘性を向上させるために、カーボンナノファイバー (CNF) を添加し、そのひび割れ閉塞効果をはじめとする各種性能の検討を行った。

(4) けい酸塩は市販品の多くが無色透明の液体であるため施工現場において塗布量確認を行うことが難しいという課題があったため、コンクリート表面に貼り付けて、含浸材が規定塗布量以上に塗布されているかを確認するために用いる塗布量確認シールを開発し、その効果について実証を行なった。防水性シール、リトマス試験紙、吸水性シール材を重ね合わせた構成である。

4. 研究成果

(1) 雨掛かり条件の異なる側面内側、側面外側、天井面にけい酸塩系表面含浸材を塗布し、アルカリ金属イオンの含浸深さを調査したところ、雨掛かりのある天井面については施工後 1 ヶ月から半年の間に含浸深さが大きくなった。一方、雨掛かりのある垂直面ではアルカリ金属イオンが減少しており、降雨によって外部に流出した可能性がある。雨が掛かる天井面といった水平面では、表面含浸材はコンクリート内部に浸透でき、より深い位置までコンクリートを改質できている可能性があったが、雨が掛かる側面といった垂直面では、副生したアルカリ塩が下側に溶出してしまっている可能性があることが分かった。

(2) けい酸塩系表面含浸材に撥水材を添加することで、少ない添加量でも透水抑制効果の改善が図れることが確認された。けい酸塩系表面含浸材の中性化抑制効果は、撥水材を添加しても、それほど変わらなかった。また、けい酸塩系表面含浸材に撥水材を添加することで、少ない添加量でも、塩化物イオンの浸透に対する抵抗性を向上させることができた。また暴露試験の結果、

撥水型けい酸塩の撥水効果は2~3ヶ月間持続した。けい酸塩による改質層が形成されるまでの間、撥水作用により表層を保護することができた。さらに、撥水型けい酸塩の方が、4ヶ月半経過後に表層部にアルカリ金属イオンが多く残っている傾向がみられた。

(3) CNF を混合したけい酸塩は高粘度の液体となり、ひび割れなどへの付着性向上が期待される。また、CNF を混合したけい酸塩にカルシウム補助剤を併用することで、スケーリングに対する抵抗性が向上した。さらに、幅 0.2~0.6mm のクラックでは、CNF 液を混合したけい酸塩の塗布を繰り返すことで閉塞がみられた。

(4) 塗布量確認シールは簡易な構成であり、コンクリート構造物に貼り付けるだけで、含浸材が規定塗布量以上に塗布されていることを確認できた。適用可能な含浸材は pH が 10~13、粘度が 100mPas 以下であれば、けい酸系、シラン系を問わない。橋梁補修や堤防新設工事の実施工において使用をし、塗布量管理の有効性を確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 大野公輔, 小林孝一, 馬居武志, 浅野達夫	4. 巻 41
2. 論文標題 けい酸塩系表面含浸材の含浸深さへの雨掛かりの影響の検証および撥水材の添加による改良品の開発	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1697-1702
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小林孝一
2. 発表標題 けい酸塩系表面含浸材に対するセルロースナノファイバーの併用に関する検討
3. 学会等名 令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小林孝一
2. 発表標題 撥水作用を付与したけい酸塩系表面含浸材による性能向上の検討
3. 学会等名 令和3年度土木学会第76回年次学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小林孝一
2. 発表標題 けい酸塩系表面含浸材のスケーリング抵抗性の検証と幅0.3mmのひび割れへ適用の検討
3. 学会等名 令和4年度土木学会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 浅野達夫
2. 発表標題 塗布量確認シールによる表面含浸工の施工管理方法の提案
3. 学会等名 令和4年度土木学会第77回年次学術講演会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 コンクリートの補修方法およびコンクリートの補修剤	発明者 小林孝一，馬居武志，浅野達夫	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、願2020-079123	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 塗布量確認シール及びコンクリート表面含浸剤施工確認方法	発明者 小林孝一，馬居武志，浅野達夫	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、願2021-034882	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	浅野 達夫 (ASANO TATSUO)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------