

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：31103

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04647

研究課題名(和文) コンクリートの表層品質及び劣化程度に応じた表面含浸材の適用とその効果

研究課題名(英文) Effect of Surface Penetrant on Concrete Different in Surface Quality and Degree of Deterioration

研究代表者

迫井 裕樹 (SAKOI, Yuki)

八戸工業大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：30453294

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：近年、コンクリートの耐久性向上を目的として、表層品質を改質するための表面含浸材の検討が行われている。本検討では、養生の違いによる表層品質が異なるコンクリートまたは、含浸材施工前に劣化作用を受けたコンクリートを対象として、含浸材種類およびその施工量がその後の耐久性に及ぼす影響について検討を行った。さらに、実環境において20年を経過した構造物を対象として、現地調査および採取コアを用いた残存性能および含浸材再施工の影響について検討を行った。本検討の結果、含浸材を施工する際の表層品質により、含浸材種類、塗布量およびその施工時期が及ぼす効果が異なることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

コンクリートに表面含浸材を用いる際、一般的には、施工箇所の品質を問わず、各々の標準使用量で用いられるが、含浸材施工箇所の表層品質(劣化を含む)や要求性能に応じて、その種類・塗布量を変化させることが必要であると考えられる。また、その効果は永続的なものではないため、将来の維持管理において、劣化作用を受けた後の含浸材施工(再施工を含む)がその後の耐久性に及ぼす影響を検討することが重要であると考えられる。本研究の成果は、新設・既設構造物を問わず、含浸材を用いたコンクリートの耐久性予測につながるものであり、今後将来重要となる適切かつ効率的な構造物の維持管理において非常に有意義なものであると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In recent year, many investigations of the surface penetrant have done as the objective an improving of concrete durability. In this study, the influence of the kind of surface penetrants and of the amount of it on concrete durability was examined for concrete different in surface quality and for deteriorated concrete. In addition, for the actual concrete structure in cold region passed 20 years, the deterioration survey in actual environment, and the residual performance for the scaling and the influence of re-painting of surface penetrant on its durability using core specimens taken from the structure were examined. Form results of this study, it was found that the effect of the surface penetrant on durability of concrete different in surface quality (including deteriorated concrete) was varied due to type, painting amount and painting timing of surface penetrant.

研究分野：コンクリート材料

キーワード：コンクリート 耐久性 表面含浸材 スケーリング

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

コンクリート構造物は、その置かれた環境条件により、種々の劣化作用を受け、経年とともに劣化・性能低下が生じる。コンクリートの劣化要因の多くは、周辺外部環境より作用するものが多く、耐久性を向上させるためには、外部からの劣化因子の浸入抑制、つまり、コンクリートのかぶり部など表層品質の確保・向上が重要となる。

コンクリートの表層品質の確保・向上のための一手法として、近年、表面含浸材による表層品質の改質・耐久性向上が挙げられ、各種表面含浸材の開発・検討および実構造物への適用が関係各所で鋭意進められている。しかしながら、表面含浸材の種類・効果・改質メカニズムは様々であり、耐久性に及ぼす効果とその持続性については、まだ不明な部分が多いのが現状である。さらに、現在一般的に用いられている含浸材の多くは、その塗布量が各メーカーにより定められているが、含浸材を施工する対象面の品質または要求される耐久性により、塗布量を変化させることも必要であると考えられる。

また含浸材を施工したコンクリートは、一般的に耐久性向上を図ることが可能となるが、その効果は永続的なものではなく、経年とともに劣化が進行するため、構造物の維持管理にあたり、適切な時期に含浸材を再施工することが必要になるとともに、その後の耐久性についても検討を行うことが必要不可欠であると考えられる。このことは、既設構造物を対象とした場合も同様であり、経年により(劣化の顕在化の有無によらず)劣化が進行したコンクリートへの含浸材の適用とその後の耐久性について検討を行うことが必要不可欠であると考えられる。

前者のように、含浸材施工箇所の品質や要求性能に応じて含浸材塗布量を変化させることは、施工の簡易化やコスト削減または、要求性能の確実な確保につながるものと考えられる。一方、後者については、今後ますます増加することが予想される既存構造物の維持管理・長寿化において、適切な維持管理計画の立案に寄与することが期待される。

2. 研究の目的

上述の背景を踏まえ、本研究では、以下の事項を目的として実験的検討を行った。

(1) 表層品質の異なるコンクリートに対する含浸材種類・塗布量が耐久性に及ぼす影響：

コンクリート表層部の改質を目的として各種含浸材が用いられるが、その多くは標準使用量に基づき用いられる。一方、コンクリートの表層品質は、養生方法・期間等により異なることが知られている。養生方法の相違により、含浸材施工前の表層品質が異なる場合、含浸材塗布量を同一とすると、改質効果が異なることが想定される。本検討では、養生方法により含浸材施工前の品質に差異を設け、含浸材塗布量を変化させた際に、含浸材施工前後での改質効果を非破壊試験により評価可能か検討することを目的とした。さらに、含浸材種類と塗布量の違いがコンクリートのスケーリング抵抗性に及ぼす影響を検討することを目的とした。

(2) 事前劣化を生じたコンクリートの耐久性に及ぼす含浸材再施工の影響：

含浸材に関するこれまでの検討の多くは、新規コンクリートを対象としたものが多いのが現状である。実構造物への施工を想定した際、経年に伴い種々の劣化作用を受け、劣化損傷あるいは品質変化を生じていることが想定される。そのような事前劣化を受けたコンクリートへの含浸材の適用とその効果について検討を行うことを目的とした。特に、凍結融解環境下においてスケーリング劣化を生じたコンクリートを対象として、含浸材の種類の違いがその後のスケーリング劣化進行に及ぼす影響について検討を行った。

(3) 含浸材を施工した実構造物を対象とした含浸材の残存性能と含浸材再施工後の耐久性：

上記(1)および(2)は、室内試験に基づく検討であり、実環境下では劣化外力が異なることとなる。現在、実構造物への含浸材適用は各所で進められているが、今後それらの維持管理が増加することが容易に想定される。その際、実環境における含浸材の残存性能の把握および、含浸材を再施工する際のタイミング等が重要になるものと考えられる。本検討では、20年前に建設・含浸材を施工した構造物を対象として、現地調査およびコア供試体を用いた残存性能の把握を目的とした。さらに、採取したコア供試体を用いて、含浸材再施工による耐久性向上効果の再付与の可否について検討するとともに、これまでに実施した同様の検討結果と併せて、含浸材再施工のタイミングがその後の耐久性に及ぼす影響について検討を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 表層品質の異なるコンクリートに対する含浸材種類・塗布量が耐久性に及ぼす影響

本検討で用いるコンクリートは、普通ポルトランドセメントまたは高炉セメントB種、山砂と石灰岩砕砂の混合砂、石灰岩砕石、混和剤(AE剤)を用いて作製した。コンクリートの水セメント比(W/C)は60%として、目標スランプおよび目標空気量はそれぞれ、 $12.0 \pm 1.0\text{cm}$ 、 $5.0 \pm 1.0\%$

とした。また硬化したコンクリートに施工する含浸材は、けい酸リチウムを主成分とする固化型L、けい酸ナトリウムを主成分とする反応型Aおよび、反応型Aとシラン系を混合使用する混合型A+Bの3種類を用いた。

供試体は、150×150×530mmの角柱供試体とし、打設後24時間で脱型の後、材齢28日まで所定の養生(水中養生または、封緘養生)を行った。養生期間終了後、供試体の両端40mmを除く、中央450mmより幅150mmで切断を行った150×150×150mmを試験体として用いた。養生・試験体の整形後、恒温室内に28日間静置した後、各含浸材の施工を行った。含浸材の施工は、各メーカー推奨の施工法に準拠し、その塗布量は推奨塗布量に対して、0(無塗布)、0.5、1.0(推奨量)、2.0倍とした。

含浸材施工前後の表層品質を把握することを目的として、含浸材施工前後に表層透気係数および表面吸水速度の測定を行い、その後、JSC K-572に準拠し、スケーリング試験を行った。

(2) 事前劣化を生じたコンクリートの耐久性に及ぼす含浸材再施工の影響

本検討で用いたコンクリート、含浸材種類は、上記(1)と同様とし、凍結融解作用によるスケーリング劣化に対して、含浸材初期施工の有無および、ある一定期間の凍結融解作用後の含浸材再施工がその後のスケーリング劣化進行に及ぼす影響について検討を行った。ただし、本検討で用いた試験体は、100×100×400mmの角柱供試体の両端50mmを除く中央300mmより切出した100×100×100mmの試験体を用いた。

スケーリング試験は、JSC K-572に準拠し、凍結融解120サイクル終了まで実施した。実験要因として、検討に用いる含浸材を3種類とし、凍結融解曝露開始時に含浸材を施工せず、凍結融解60サイクル終了時に各含浸材を施工するもの(以下、初期施工なし)と、凍結融解曝露開始時に含浸材を施工し、かつ、凍結融解60サイクル終了時に含浸材を再施工したもの(以下、再施工)とした。なお、含浸材の塗布量は、いずれも、メーカー指定の標準塗布量とした。

(3) 実環境下における含浸材の残存性能および含浸材再施工がその後の耐久性に及ぼす影響

本検討では、約20年前に建設され、建設当初含浸材(混合型A+B)が施工された実構造物を対象として、実環境下での経年に伴う含浸材効果の持続性を検討した。併せて、当該構造物より採取したコア供試体を用いて、室内試験によりスケーリングに対する残存性能および含浸材再施工がその後の耐久性に及ぼす影響について検討を行った。本検討で対象とする構造物は、積雪寒冷地域の海岸部に位置し、約20年前に建設され、その壁面に混合型A+Bを施工したものである。含浸材を施工した面に隣接する面には、含浸材を施工していない箇所を設けている。現地にて、目視による表層の変状調査および水かけ試験を実施した後、対象面より100×約100mmのコア供試体を採取した。採取したコア供試体は、建設当初の含浸材施工の有無それぞれを2グループに分け、一方は採取した状態のまま、他方は混合型A+Bを再施工し、JSC K-572に準じてスケーリング試験を実施した。

4. 研究成果

(1) 表層品質の異なるコンクリートに対する含浸材種類・塗布量が耐久性に及ぼす影響

図-1および図-2に、普通ポルトランドセメントを用いた場合の含浸材施工前後における表層透気係数および表面吸水速度を示す。これらの結果より、表層透気係数については、養生方法・含浸材種類・含浸材塗布量の違いによらず、含浸材施工前後で表層透気係数は同程度の値を示すことが確認された。一方、表面吸水速度については、含浸材を施工することにより、施工前と比較して表面吸水速度が低い値を示すことが確認された。これより、表面吸水速度により、含浸材

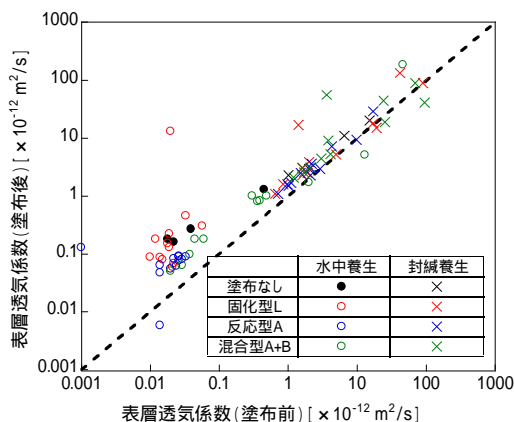


図-1 含浸材施工前後の表層透気係数

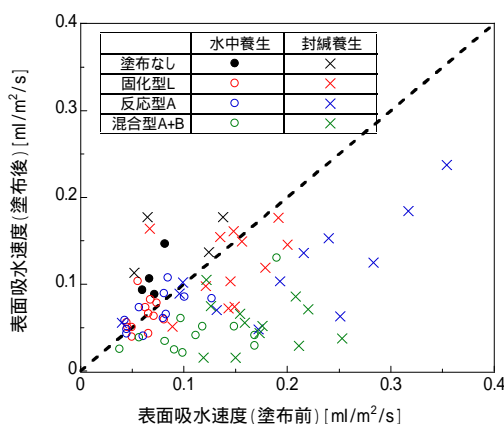


図-2 含浸材施工前後の表面吸水速度

施工に伴う表層改質効果を評価することが可能であることが示唆された。

養生条件の異なるコンクリートに対して、含浸材塗布量の違いがスケーリング量に及ぼす影響の一例として、普通ポルトランドセメントを用いた場合の両者の関係を図-3に示す。これより、養生条件の違いによらず、含浸材塗布量が多くなるほどスケーリング量が少なくなる傾向が確認された。特に、水中養生を行ったものに対して、反応型Aまたは混合型A+Bを用いた際に、スケーリング抵抗性の向上効果が大きいことが確認されたが、塗布量の違いが及ぼす影響は少ないことが確認された。また、水中養生を行ったものに対して、固化型Lを用いた際には、推奨量よりも多く施工することにより、スケーリング抵抗性が向上することが把握された。一方、封緘養生を行ったものについては、水中養生を行った場合よりも、含浸材塗布量によるスケーリング抵抗性の向上効果が少ないものの、塗布量の増加に伴い、スケーリング量が少なくなる傾向が確認された。

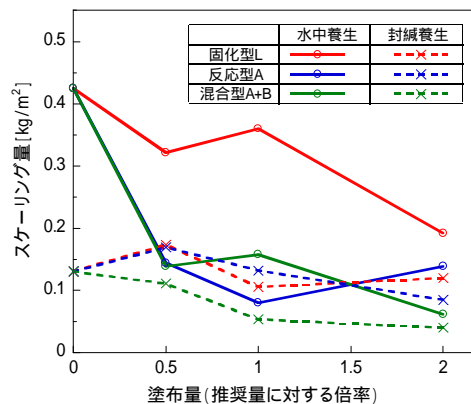


図-3 含浸材塗布量とスケーリング量

(2) 事前劣化を生じたコンクリートの耐久性に及ぼす含浸材再施工の影響

図-4には、各条件における凍結融解120サイクル終了までのスケーリング量を示す。図は、含浸材を再施工する時期(凍結融解60サイクル終了時)を基準として、凍結融解開始後60サイクル終了(含浸材の再施工)までのスケーリング量を縦軸下向きに、含浸材再施工後の凍結融解60サイクル(61~120サイクルまで)を縦軸上向きに示している。固化型Lについては、初期施工の有無によらず、60サイクル終了までのスケーリング量は、含浸材を用いない場合と同程度となるが、60サイクル終了時に施工した場合、再施工によりその後のスケーリング量を抑制することが可能であることが確認された。反応型Aについて、初期施工の有無により凍結融解開始後60サイクルまでのスケーリング量が大きく異なることが把握された。また、再施工するものについて、再施工後の凍結融解60サイクル(61~120サイクル)で発生するスケーリング量は、再施工前のそれよりも多くなることが把握された。混合型A+Bについては、初期施工の有無および凍結融解60サイクル終了後の再施工の有無によらず、全凍結融解期間を通じて、他の条件よりもスケーリング量が抑えられることが把握された。これらの結果より、凍結融解作用を受けることが懸念される環境において含浸材を用いる際、その施工のタイミングによって、適切な含浸材種類を選定することが重要となることが把握された。

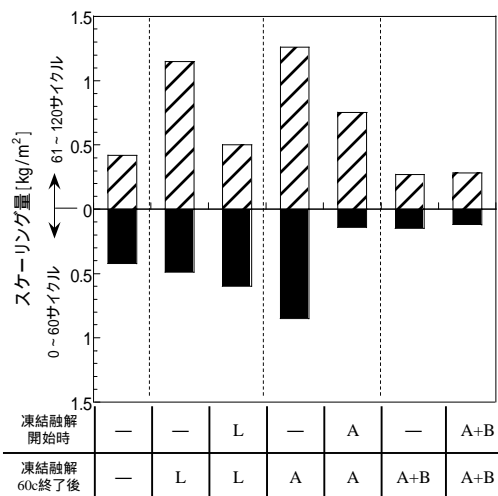


図-4 事前劣化を受けたコンクリートにおける含浸材再施工前後のスケーリング量

(3) 実環境下における含浸材の残存性能および含浸材再施工がその後の耐久性に及ぼす影響

現場での目視評価より、当初含浸材を施工していない箇所においては、対象面全体においてスケーリングが生じている一方で、当初含浸材を施工した箇所はスケーリングやひび割れなど顕著な損傷は認められないことが確認された(図-5)。

採取したコア供試体を用いたスケーリング試験結果を図-6に示す。ここでは、対象構造物に対して、建設後約3年経過時に同様に実施したスケーリング試験の結果(図-6(a))も併せて示す。これより、建設当初の含浸材施工の有無によらず、ある一定期間経過後であっても含浸材を施工(再施工含む)することにより、その効果を再付与することが可能であることが確認された。ただし、含浸材の施工(再施工を含む)時期の違いに着目すると、含浸材施工までの経過期間によってスケーリングに対する効果が異なることが把握された。つまり、実環境で20年経過後は、当初含浸材を施工したもの、20年後に含浸材を再施工したもの、いずれも、凍結融解期間途中より、著しくスケーリングが増加することが把握された。なお、建設後12年目においても同様の検討を行っており、20年経過時と同様の傾向が確認されている。

これは、本検討調査時(コア供試体採取時)において、実環境での経年に伴う表層部の変状の

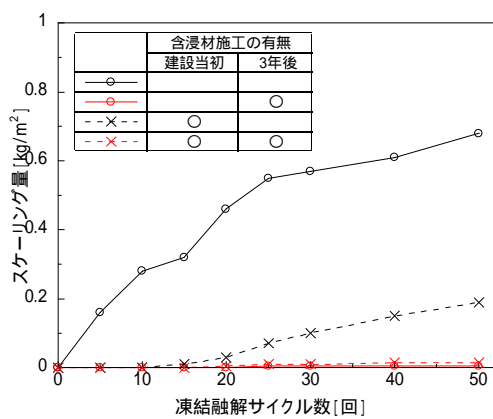


(a) 建設当初 含浸材 未施工

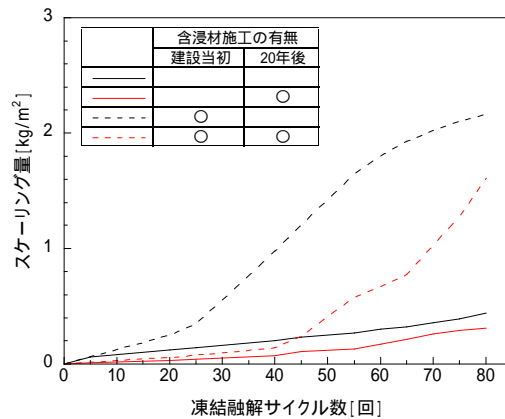


(b) 建設当初 含浸材 施工箇所

図 - 5 実構造物における含浸材施工 / 未施工箇所の表面状況



(a) 3年経過時



(b) 20年経過時

図 - 6 建設から数年経過した構造物のスケールングに対する残存性能および含浸材再施工によるその後のスケールング抵抗性

際に起因するものと推察される。つまり、図 - 5 に示すように、建設当初の含浸材施工の有無により、表層部の状態が大きく異なる。含浸材を施工していない箇所においては、経年に伴いスケールングが生じ、コア採取時には既に表層の脆弱層が失われていることが推察される。一方、含浸材処理部は、長期間に渡る実環境下での劣化外力を受け、見掛け上、表層部には顕著なスケールング等の損傷を生じていないものの、内部において損傷が進行している可能性が考えられ、継続した凍結融解作用により、一度スケールングを生じると、内部損傷部と併せて、急激な劣化進行が進むものと推察される。またそのような個所に含浸材を再施工したとしても、見掛け上、表層部には、当初施工した含浸材による改質部が残存することにより、新たな含浸材が硬化体内部まで浸透せず、十分な改質効果を再付与することが困難となったものと考えられる。

ただし、これらの検討結果は本検討の範囲内であり、他の構造物・他の地域においては、それぞれ劣化外力も異なることから、今後実環境・実構造物におけるデータの蓄積・整理がますます重要になるものと考えられる。

以上、本研究の結果より、寒冷地域におけるコンクリート構造物に対して含浸材を用いた表層品質の向上・耐久性向上を図るにあたり、施工時の表層品質に応じた適切な含浸材種類およびその塗布量の選定が重要であることおよび、事前劣化を生じたコンクリートに対して含浸材を施工する際、含浸材施工時に硬化体に生じている損傷の程度(含浸材施工のタイミング)によって含浸材の効果が異なることが明らかとなり、既存構造物への含浸材適用においては、その施工時期および種類の選定に留意が必要であることが把握された。

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 Kuang Yanhua, Takashima Naoto, Sakoi Yuki, Zhang Meng, Zyutani Seiji, Aba Minoru, Tsukinaga Yoichi	4. 巻 297
2. 論文標題 Salt scaling resistance and microstructure analysis of fly-ash cement-based concrete treated with different surface penetrants	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials Letters	6. 最初と最後の頁 129999 ~ 129999
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.matlet.2021.129999	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1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Y. H. KUANG, Y. SAKOI, M. ABA, Y. TSUKINAG, S. JUTANI, M. ZHANG and N. TAKASHIMA
2. 発表標題 INFLUENCE OF PENETRANT PAINTING AMOUNT AND CURING METHOD ON THE COCRETE SURFACE QURITY
3. 学会等名 Sixth International Conference on Construction Materials: Performance, Innovations, and Structural Implications (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
研究分担者	阿波 稔 (ABA Minoru) (10295959)	八戸工業大学・大学院工学研究科・教授 (31103)	
研究分担者	月永 洋一 (TSUKINAGA Yoichi) (60124898)	八戸工業大学・大学院工学研究科・教授 (31103)	

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
---------	---------