

劣化因子侵入阻止性に与えるけい酸塩系表面含浸材の使用量に関する検討

高知工業高等専門学校		○高橋 由菜
高知工業高等専門学校	正会員	近藤 拓也
金沢工業大学	正会員	宮里 心一
富士化学(株)		西野 英哉

Abstract : The silicate type surface penetrant agent reacts with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ present in concrete when it is impregnated. The formation of C-S-H gel densifies the concrete and prevents the penetration of deterioration factors. As a method of measuring the penetration depth of the silicate type surface penetrant, there is a Vickers hardness test. Previous studies have shown that this method can express the degradation factor infiltration resistance of the silicate surface penetrants method. This is a calculation of the area (hereinafter referred to as "area") surrounded by the hardness difference between the penetration parts and the non-penetration part and the penetration depth. Therefore, in this study, we examined the relationship between the area and the degradation factor infiltration prevention when the penetration amount was varied.

Key words : Silicate type surface penetrant , Vickers hardness test, Penetration depth, Water absorption deterrent, Chloride ion penetration depth

1. はじめに

表面含浸工法の一つであるけい酸塩系表面含浸工法は、けい酸塩系表面含浸材（以下「含浸材」と示す）をコンクリート中に含浸させることでコンクリート中に存在する $\text{Ca}(\text{OH})_2$ と反応し、C-S-H ゲルを生成することでコンクリートを緻密化させ劣化因子の侵入を阻止するものである。近年、含浸材の改質深さを特定する技術として、ビッカース硬さ試験を用いる方法が提案されている¹⁾²⁾³⁾。この方法を利用して求めた、図-1 に示す改質部分と非改質部分の硬度増分と改質深さで囲まれる面積（以下「面積」と示す）が、含浸材の劣化因子侵入阻止性を示す可能性があると考えられる³⁾。

過去の先行研究より、けい酸塩系表面含浸工法の効果と面積の関係についてはある程度の傾向を確認することができた⁴⁾。しかし、含浸材の施工の使用量と劣化因子侵入阻止の関係については、明らかとなっていない。そのため本研究では、使用量を変化させた場合における、改質深さと硬度増分で囲まれた面積と、劣化因子侵入阻止性の関係性について検討を行った。

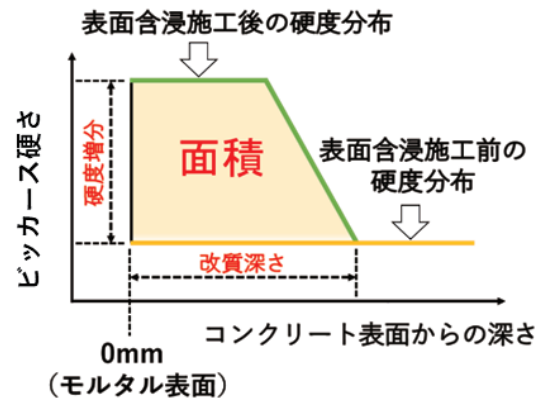


図-1 けい酸塩系表面含浸工前後のビッカース硬さ分布の模式図

表-1 試験パラメータ

項目	水準
塗り重ね回数	1層, 2層, 4層
W/C	40%, 55%, 70%

2. 試験方法

2. 1 試験パラメータ

試験パラメータを表-1に示す。含浸材の種類については、一般的に用いられるカリウム系を用いた。W/Cについては、含浸材の効果に与える影響を検証するために、3種類の水準とした。

2. 2 供試体概要

本研究で用いた基板材料はモルタルとした。使用した材料を表-2に示す。また、本試験で用いたモルタル供試体の配合を表-3に示す。モルタル供試体は、40mm×40mm×160mm角柱供試体とした。配合はセメントと細骨材を質量比で1:3の割合とした。混和剤は無塩化タイプのAE剤および高性能AE減水剤を使用し、スランプおよび空気量を調整した。モルタルは打ち込み後1日で脱型し、材齢7日まで20°C室内で水中養生を行った。後述するビッカース硬さ試験供試体と塩化物イオン浸透試験供試体については打ち込み面および切断面を含む5面に、吸水率試験供試体については打ち込み面および切断面を含む4面にエポキシ樹脂被覆を行った。

2. 3 表面含浸材の施工

使用した含浸材の概要を表-4に示す。含浸材は、密度1.2g/cm³になるように乾燥固形分率を調整した。

含浸材施工時には、高周波容量式コンクリート・モルタル水分計を使用しながら、施工前のモルタル表面の含水率を7%程度に保つように散水処理を行った。使用量は1層あたり0.2L/m²とし、施工面に塗りむらが発生しないよう配慮した。なお、塗り重ね間隔については、各種仕様書を参考に、1時間とした。その後、さらに28日間室内環境下に供試体を存置した。

2. 4 試験方法

各試験で用いた供試体の採取位置を図-2に示す。中央から120mmの区間のモルタルを3つに切断し、吸水率試験および塩化物イオン浸透試験の供試体とした。また、両端の厚さ20mm供試体をビッカース硬さ試験で用いた。これは、含浸材の施工による反応効果を確認するため、実施した。ここで切断は、塩分移動を防ぐため、乾式カッターを用いて行った。なお、測定にあたっては、目視により切断の影響で測定面にひび割れが生じていないことを確認した。ビッカース硬さ試験は、JIS Z 2244に準拠して実施した。測定は試験力を0.09807N、試験力の保持時間を30秒とした。測定はコンクリート表面から深さ最大15mmまで、1mm間隔で実施し、1測

表-2 モルタルの使用材料

項目	内訳
セメント	普通ポルトランドセメント (密度3.16g/cm ³)
細骨材	砂岩系砕砂 (密度2.58g/cm ³)

表-3 モルタル供試体の配合

W/C	単位量(kg/m ³)			混和剤(cc/m ³)	
	W	C	S	高性能AE減水剤	AE助剤
40%	220	520	1540	1500	
55%	270	480	1430		500
70%	320	450	1330		500

表-4 使用した表面含浸材

使用量(L/m ²)	全乾燥固形分率(%)
0.2	23.58

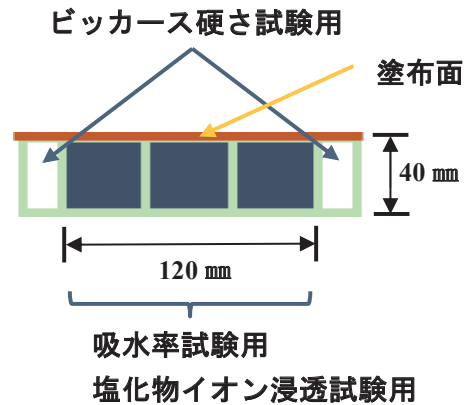


図-2 供試体切断の概要

定深さにつき5点測定を行い、平均値で評価を行った。また、表面硬度計に備え付けの光学顕微鏡を用いて、明らかに骨材と分かる箇所についてはその箇所を避けながら、打撃箇所の選定を行った。測定は、各要因1体とした。

劣化因子侵入阻止性を評価するため、吸水率試験と塩化物イオン浸透試験を行った。吸水率試験は、所定の養生期間終了後、角柱供試体を40mm×40mm×40mmに切断した。切断面にエポキシ樹脂被覆を行った後に、JSCE-K 572-2012「18. けい酸塩系表面含浸材の試験方法(案)」の吸水率試験に従い試験を行った。試験体数は、各要因3体とした。質量測定は試験開始から24時間毎に測定を行い、7日間実施した。供試体質量から試験開始時の供試体質量を差し引いた値を試験開始時の供試体質量で割った百分率を吸水率とした。

塩化物イオン浸透試験は、質量濃度 3%の塩水に28日浸透後、供試体を取り出した。その後、供試体切断面に 0.1mol/L 硝酸銀溶液を噴霧し、コンクリート表面から呈色域までの距離を測定した。供試体数は、各要因3体とした。

3. 試験結果

3. 1 ビッカース硬さ測定結果

(1) 改質深さ

ビッカース硬さ試験の測定結果を図-3 から図-5 に示す。なお、ブランク供試体のビッカース硬さは深さ方向の全測定値が平均値から±1Hvの範囲内であった。そのため、過去の研究事例²⁾を参考に全測定の平均値を採用することとした。また、本試験で得られた改質深さ一覧を図-6 に示す。なお、改質深さはブランク供試体の硬さの平均値と交差している箇所、もしくは、奥行き方向で平衡状態になっている箇所とした。

いずれの W/C においても、使用量を大きくすることにより、改質深さが増加する傾向を示した。また、W/C が大きくなるほど、使用量の増加による効果が大きくなる傾向を示した。渡辺らは、けい酸塩系表面含浸工による改質効果を示す空隙は、ゲル空隙程度であることを示しており、それより大きい空隙については改質効果を示しにくいことを示している²⁾。そのため、W/C の高い供試体では、含浸材の使用量の増加により、モルタル中の大きな空隙を伝い、モルタル中に深く含浸し、その部分におけるゲル空隙部で含浸材による反応が生じたものと考えられる。しかし、硬度増分については、W/C により大きな変化が見られなかった。これは、単位セメント量が W/C=40%と70%では12%しか変わらない。そのため、けい酸塩系と反応する Ca(OH)₂

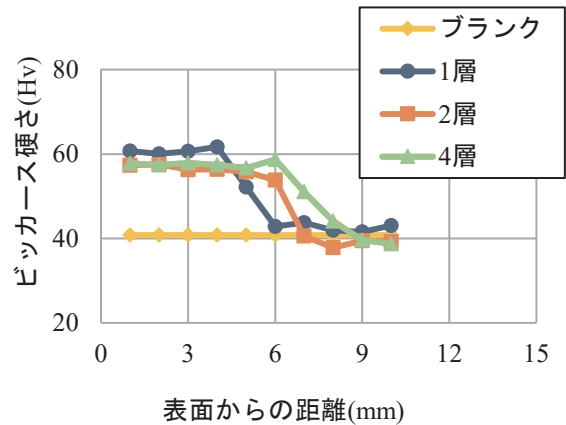


図-3 硬さの深さ方向分布 (W/C=40%)

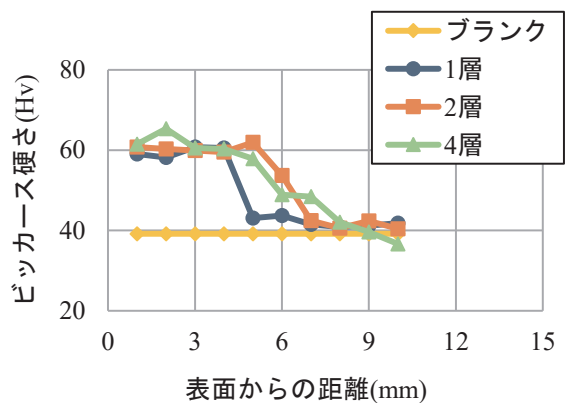


図-4 硬さの深さ方向分布 (W/C=55%)

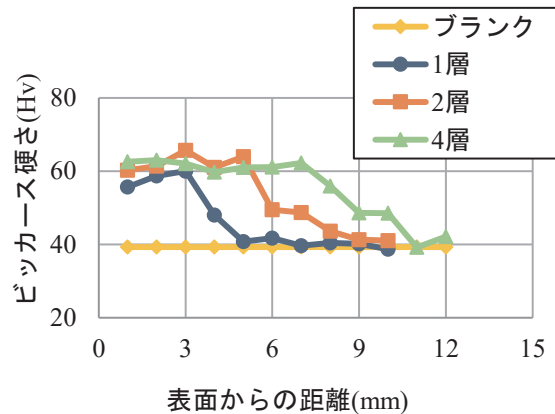


図-5 硬さの深さ方向分布 (W/C=70%)

に大きな変化がないことから、硬さの変化が小さくなったと考えられる。以上のことから、今後はCa(OH)₂量に明らかな変化をもたらすことによる硬度増分の推移を確認するために、混和材を混入したモルタルに対する効果を検討する必要があると考える。

(2) 硬度増分と改質深さに囲まれた面積

面積は、図-1で示すように含浸材施工による硬度増分と、改質深さの積から算定した。面積(硬度増分×改質深さ)について比較したものを図-7に示す。

近藤ら⁴⁾⁶⁾が行った過去の研究では、1層塗布の供試体の面積がW/C=40%よりW/C=55%で大きい傾向にあった。そのため、Ca(OH)₂量と緻密度のバランスが面積と密接な関係を持っていると述べている。今回の1層塗布に着目すると、面積がW/C=40%>W/C=70%と明確に示された。これは、無塗布供試体から最初の1層を塗布する際は、W/Cが小さい供試体ほどCa(OH)₂が多くなるため、反応量が大きくなることが考えられる。1層の面積は、40%>55%>70%であった。しかし、塗重ね回数を多くした供試体の面積を見ると、W/C=70%の面積増加が著しい結果となった。中でもカリウム系の4層における面積は40%<55%<70%であることが示されている。そのため、塗布量増加に伴い、面積が増えることが示された。これは、空隙が多いW/C=70%では、含浸材が奥まで浸透するため改質深さが増加し、面積増加に影響を与えていると考えられる。以上のことから、塗布した回数の増加に伴い面積も増加することが明らかとなった。含浸材の使用量と比例関係ではなかったが、各W/Cで特徴が表れたと考えられる。

3. 2 吸水率との相関

ビッカース硬さ試験により得られた面積と吸水率試験より得られた吸水率比の関係を図-8に示す。ここで、吸水率比とは、含浸材を2層および4層塗布した供試体での吸水1日における吸水率を、それぞれに対応する1層塗りの供試体の吸水1日における吸水率で除したものの百分率とした。

面積比は、含浸材を2層および4層塗布した供試体から得られる面積を、1層塗りの供試体の面積で除したものの百分率とした。

図-8より、面積比の増加とともに吸水率比が低下している傾向が確認できた。しかし、W/C=40%と

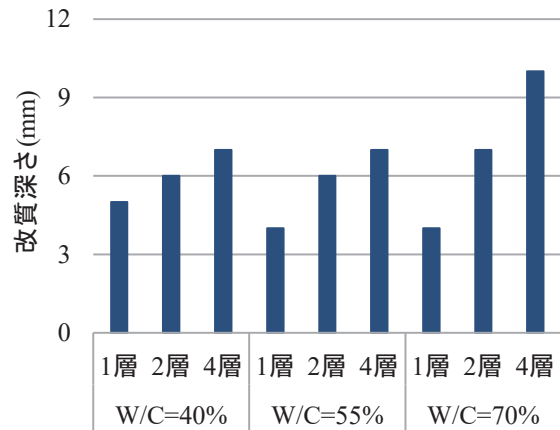


図-6 改質深さの比較

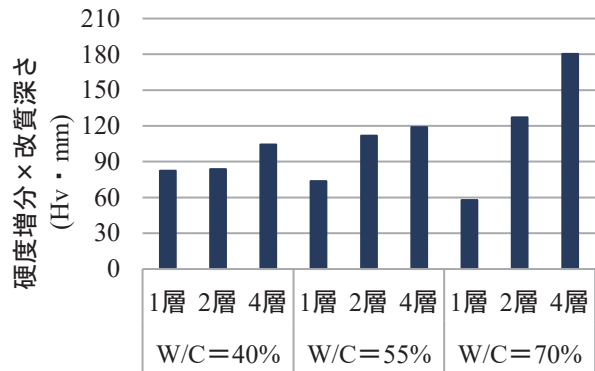


図-7 面積の比較

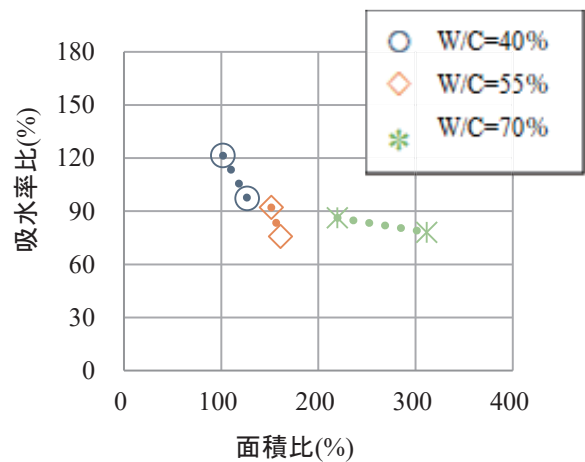


図-8 面積比と吸水率比の関係

70%を比較すると、傾きがW/C=40%で大きく、W/C=70%で小さくなる傾向を示した。これは、W/Cの増加とともに改質深さが大きくなったが、劣化因子侵入阻止効果がそれに比例していないためと考えられる。W/Cが増加すると、含浸材により改質を行っても、含浸材による改質効果が得られにくい。これは、供試体中の毛細管空隙やそれ以上の径を有する空隙量が多いことが考えられる²⁾。そのため、使用量を変化させた場合に面積比増加量が大きくてもこれに比例した吸水阻止性効果が必ずしも得られないことが示された。

3. 3 塩分浸透試験との相関

塩化物イオン浸透試験で得られた塩化物イオン浸透深さとビッカース硬さ試験により得られた改質深さを比較したものを図-9に示す。また、塩化物イオン浸透試験で得られた塩化物イオン浸透深さ比と、ビッカース硬さ試験により得られた面積との関係を図-10に示す。

ここで、塩化物イオン浸透深さ比とは含浸材を2層および4層塗布した供試体での塩化物イオン浸透深さを、それぞれに対応する1層塗りの供試体での塩化物イオン浸透深さで除したものの百分率である。

今回の塩化物イオン浸透深さは、ほぼすべて改質深さ内であった。そのため、面積比が増加しても塩化物イオン浸透深さ比は大きな変化を示さなかった。これにより、改質深さ全体を使用した面積での評価は、今回のような場合難しいと考えられる。

4. おわりに

本論文では、劣化因子侵入阻止性指標に与える含浸材の使用量に関する検討を行うために、ビッカース硬さ試験で得られた硬度増分と改質深さの積で算定される面積に着目した。面積と吸水阻止性そして塩化物イオン侵入阻止性の関係性について検討を行った。得られた結果を下記に示す。

- (1) いずれのW/Cにおいても、使用量を大きくすることにより、改質深さが増加する傾向を示した。また、W/Cが高くなるほど、使用量を大きくしたことによる効果が大きくなる傾向を示した。硬度増分については、いずれのW/Cにおいても、大きな変化が見られなかった。
- (2) 吸水率比と指標面積比の関係について、面積比の増加とともに吸水変化が低下している傾向が確認できた。W/C=40%と70%を比較すると、傾きがW/C=40%で大きく、W/C=70%で小さくなる傾向を示した。
- (3) 塩化物イオン浸透深さ比と面積の関係については、両者の関係に明確な差は見られなかった。

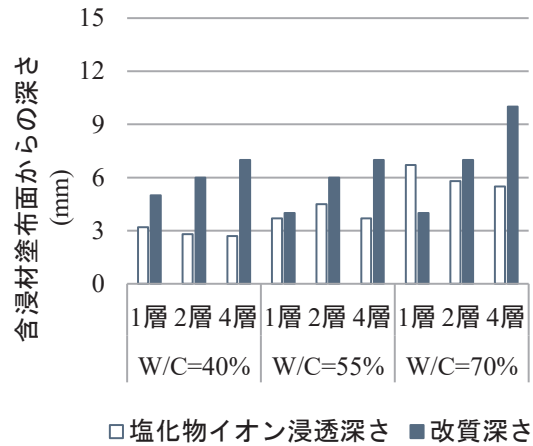


図-9 改質深さと塩化物イオン浸透深さ

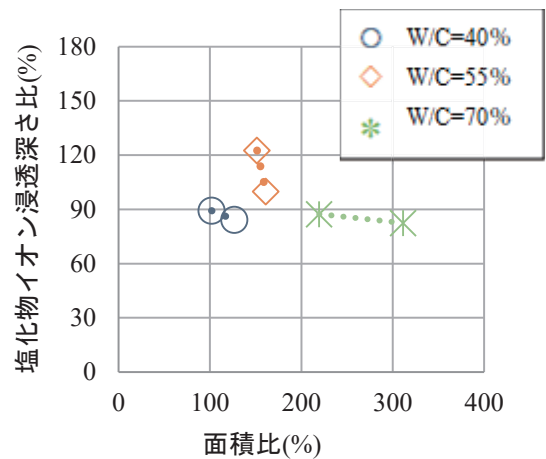


図-10 面積比と塩化物イオン浸透深さ比の関係

参考文献

- 1)黒岩大地, 宮里心一: けい酸塩系表面含浸材の改質部における見かけの拡散係数の推定方法の提案と発錆遅延期間の試算, 土木学会論文集 E2 (材料・コンクリート構造), Vol.71, No.2, pp.124-134, 2015
- 2)渡辺晋吾, 五十嵐心一: けい酸塩系表面含浸材によるセメントペーストの微視的構造の変化, コンクリート工学年次論文集, Vo.34, No.1, pp.1606-1611, 2012.7
- 3)宮島英樹, 近藤拓也, 佃洋一, 宮里心一: 13年暴露したけい酸塩系表面含浸材の性能に関する一考察, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.15, pp.7-12, 2015.10
- 4)近藤拓也, 樋口和朗, 宮里心一, 横井克則, 山田悠二: けい酸塩系表面含浸工法の塩分浸透阻止指標に関する定量的評価, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.17, pp.137-142, 2017.10
- 5)樋口和朗, 近藤拓也, 宮里心一, 横井克則: けい酸塩系表面含浸材施工後のビッカース硬度分布に関する一考察, 第71回セメント技術大会講演要旨, Vol.71, pp.140-141, 2017.5
- 6)近藤拓也, 樋口和朗, 宮里心一, 横井克則: けい酸塩系表面含浸材の Cl^- 侵入阻止を示す指標に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.39, No.1, pp.1645-1650, 2017.7