

論文 表面含浸材の塗布方法が劣化コンクリートの表面硬度に与える影響に関する研究

菅沼 美紀*1・吉田 亮*2・北村 真也*3・石田 敦則*4

要旨：模擬酸性雨により表面を劣化させた供試体，ならびに実構造物に対して，けい酸塩系表面含浸材の適用について検討するため，含浸材成分の混合，塗布時の散水の有無，含浸材の濃度など，表面含浸材の塗布方法の違いによる表面硬度の変化を測定した。また，実現場にも適用し評価試験を行った。その結果，含浸材の各成分を別々に塗布すること，溶液の濃度を小さくすることでより大きな硬度が得られる傾向が認められた。また，塗布時に散水を行うこと，コロイダルシリカに対して十分な水酸化カルシウムが存在することで，硬度をより高めることが分かった。

キーワード：けい酸塩系表面含浸材，ビッカース硬さ，実構造物，コロイダルシリカ

1. はじめに

今後，高度成長期に建設された多くの構造物が寿命を迎えるとされ，コンクリート構造物の維持管理の重要性が高まっている。これら大量のコンクリート構造物の維持管理が急務となり，構造物の補修・補強方法に加え，より耐用年数を長くする予防保全的な方法に注目が集まっている。予防保全を含む維持管理上の有効な補修・補強対策の一つに，表面含浸工法がある。表面含浸工法は，作業性や経済性に優れ，表面含浸材を塗布するだけで，劣化因子の侵入を抑制し，構造物の耐久性を向上させることができる。このため，近年では，その施工事例が増加している¹⁾。使用される表面含浸材は，シラン系とけい酸塩系に大別され，シラン系はコンクリート表層部には水層を形成することで，けい酸塩系は表層組織を緻密化することで表面硬度が上昇する等の効果を発揮する。

さらに，けい酸塩系表面含浸材は，改質機構の違いにより，反応型と固化型に分類される。なかでも，反応型けい酸塩系表面含浸材は，コンクリート表面から含浸材を浸透させ，その成分とコンクリート中の水酸化カルシウムが反応して生成した水和物によって空げきが充てんされることで，その効果を発現する。このため，空げきの水和物による充てん方法が異なれば，その効果にも差異が現れると考えられる。この空げきの充てん方法を変化させる要因として，施工方法が挙げられる。現在，

施工方法の違いによる表面含浸材の効果は，塗布後の養生方法についての研究^{2) 3) 4)}はなされているが，塗布方法についての研究は十分になされていない。さらに，シラン系・けい酸塩系とも既設構造物への適用の効果は十分に明らかになっていないのが現状である⁵⁾。

そこで，本研究では，カルシウム分の溶脱された既設構造物への適用を想定し，けい酸塩系表面含浸材（コロイダルシリカを主成分とする水溶液と水酸化カルシウム水溶液）を用い，含浸材溶液の混合や塗布時の散水の有無，溶液の濃度に着目し，塗布方法の違いが含浸材の表面硬度に与える影響を検討した。また，実構造物への適用性について検討するため，塗布量の増減，シラン系含浸材との組合せなども検討を行った。

2. 実験概要

2.1 塗布方法の違いによる表面硬度の変化の測定

(1) 使用材料および劣化モルタル供試体の作製

コンクリートの表面硬度は，表面の緻密さの影響を受ける。この緻密さはモルタル部分によって評価できると

表-1 モルタルの配合

水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)			
	水	セメント	細骨材	AE 剤
55	175	318	824	0.002

表-2 劣化サイクルの流れ

1 サイクルの流れ	模擬酸性雨 浸せき 24時間	8時間	乾燥 24時間	70°C	模擬酸性雨 浸せき 24時間	6時間	乾燥 24時間	70°C	部屋に静置 48時間	20°C, 60%RH
A	pH 4.8	水道水で洗浄 (流水)			pH 4.8	水道水で洗浄 (流水)				
B	pH 3.5				pH 3.5	模擬酸性雨 (pH 3.5) 浸せき				

*1 名古屋工業大学 工学部都市社会工学科 (学生会員)

*2 名古屋工業大学大学院 社会工学専攻准教授 博士 (工学) (正会員)

*3 日研 (株) 代表取締役社長

*4 三信建材工業 (株) 代表取締役社長

考え、実験にはモルタル角柱供試体（40×40×160 mm）を使用した。結合材に普通ポルトランドセメント（密度 3.16 g/cm³）、細骨材に瀬戸産山砂（表乾密度 2.67 g/cm³，F.M. 2.72）を用い、表-1 に示す配合で作製した。なお、配合はスランプ 8±2.5 cm，空気量 4.5±1.5 % のコンクリートの配合を参考に決定した。さらに、既設構造物の劣化を想定し、作製した供試体に硫酸と硝酸を脱イオン水により pH を調整した模擬酸性雨への浸せき（図-1 左）と乾燥の繰り返しを施した。表-2 に示すように 1～10 サイクル目は A，11～20 サイクル目は B の順に計 20 サイクルを行い、表面を劣化させた。その結果、1～2 mm の劣化深さ（図-1 右）が得られた。その後、角柱供試体を 20×20×40 mm に切断し、劣化面（20×40 mm）に含浸材を塗布した。含浸材は、コロイダルシリカ（CS：表-3）を主成分とする水溶液（以下、改質材）と水酸化カルシウム（Ca(OH)₂）水溶液（以下、改質水）を塗布するものを使用した。

(2) 塗布方法の種類

塗布方法について、変化させる条件を含浸材成分の混合、非混合（塗布方法 A・B，C），塗布時の散水の有無（A，B），含浸材成分の濃度の大小（C）とした。表-4 に含浸材成分の濃度，表-5 に塗布方法の概要を示す。A・B は改質材と改質水を混合して塗布（混合塗り），C は別々に重ねて塗布（別塗り）したものである。D は一般的なけい酸塩系表面含浸材の効果の比較対象として、



図-1 供試体の模擬酸性雨への浸せきの様子（左）と劣化サイクル実施後の劣化深さ（右）

表-3 改質材中のコロイダルシリカの物性値

pH	粒径 (nm)	含有量 (%)
11.5	10～15	25 (質量比)

二液（薬剤 1・2）型の市販品（けい酸塩系含浸材）を塗布した。また、塗布量については、膜厚が等しくなるよう 100 g/m² を基本として、2 回ずつ含浸材を重ねて塗布、散水および改質水については表面が濡れる程度に噴霧するものとした。

(3) ビッカース硬さ試験

表面含浸材の効果は、コンクリート表面の硬度の変化によって評価するものとした。表面硬度は、JIS Z 2244 に準じ、ビッカース硬さ試験によって測定した。ビッカース硬さ試験とは、等しい载荷条件で供試体の表面にビッカース圧子を押し込み、その圧こんの対角線の長さを測定することで、硬度を評価するものである。実験では、塗布後 14 日・41 日の表面硬度について、試験力 5 N，载荷時間 15 秒として各供試体につき 10 点測定した。ビッカース硬さ HV は、次式(1)によって算出した。

$$HV = 0.102 \times \frac{F}{d^2} = 0.1891 \times \frac{F}{d^2 \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)} \quad (1)$$

ここに、0.102：単位変換のための係数，d：圧こんの対角線長さの平均値 (mm)，θ：正四角すい圧子の対面角 (136°)

また、測定の際ばらつきを考慮するため、測定値は測定値全データの四分位範囲を算出した後、その四分位範囲に近いものから抽出し、それらの平均値とした。

表-4 塗布方法の種類：含浸材の濃度

塗布方法	含浸材成分の濃度 (%) (質量比)	
	CS	Ca(OH) ₂
N		
A-a	25	0.17
A-b	38	0.17
A-c	13	0.17
B-a	25	0.17
B-b	38	0.17
B-c	13	0.17
C-1	25	0.17
C-2	13	0.085
C-3	13	0.17
D		

表-5 塗布方法の種類：含浸材の混合，散水の有無

塗布方法	1 日目	2 日目	3 日目
N：無塗布	無塗布		
A：混合塗り	混合材（改質材＋改質水）	混合材	
B：混合塗り	混合材	散水 → 混合材	散水
C：別塗り	改質材	改質水→改質材	改質水
D：市販品	薬剤 1	薬剤 2	

※複数作業日の「→」前後の塗布間隔は、6 時間とした。

表-6 現場試験における塗布の種類と概要

塗布の種類	1日目	2日目	3日目
N : 無塗布	無塗布		
1-A : 改質材(塗布量小)→改質水	改質材 110 g/m ²	改質水噴霧→改質材 147 g/m ²	改質水噴霧
1-B : 改質材(塗布量大)→改質水	改質材 210 g/m ²	改質水噴霧→改質材 208 g/m ²	改質水噴霧
2-A : 1-A →はっ水材(塗布量小)	改質材 110 g/m ²	改質水噴霧→改質材 158 g/m ²	改質水噴霧→はっ水材 114 g/m ²
2-B : 1-B →はっ水材(塗布量小)	改質材 218 g/m ²	改質水噴霧→改質材 198 g/m ²	改質水噴霧→はっ水材 108 g/m ²
3-A : はっ水材(塗布量小)→(小)	はっ水材 104 g/m ² → 96 g/m ²		
3-C : はっ水材(塗布量小)→(最大)	はっ水材 96 g/m ² → 195 g/m ²		
4 : 改質水→改質材 (塗布量大), 1日間	改質水噴霧→改質材 187 g/m ²		
5 : 改質水→改質材 (塗布量大), 2日間	改質水噴霧	改質材 288 g/m ²	
6 : 市販品	薬剤 1	薬剤 2	

※複数作業日の「→」前後の塗布は、指触乾燥の確認後（約 15 分）とした。

2.2 実構造物への適用

使用した含浸材（改質材，改質水）について，実現場での適用を検討するため，改質材の塗布量，シラン系含浸材（以下，はっ水材）との組合せの可否，改質材・改質水の塗布順序，その塗布の時間間隔を変化させた。

(1) 対象構造物

対象とする構造物は，建設後 30 年が経過した建築物の東側に位置するコンクリート壁とした。雨が掛かる部位であるため，コンクリートの表面はセメントペーストが洗い流され，細骨材や巻き込み空気泡が露出している状態であった。また，実際の施工を考慮し，塗布開始日の前日に高圧水洗浄機（ケルヒージャパン株式会社製品）を用いて洗浄圧力 16 MPa で，表面の汚れを取り除き，素地の調整を行った。洗浄前後のコンクリート表面の様子を図-2 に示す。

(2) 塗布の種類

各塗布面における塗布の種類を表-6 に示す。塗布の種類を検討においては，2.1 塗布方法の違いによる表面硬度の変化の測定において，塗布後 14 日の時点で最も表面硬度の上昇がみられた塗布方法を基本（塗布の種類 1）として考えた。1 では，塗布量を検証するために塗布量の大小（A，B）を設定し，2 では，はっ水材との組合せを検討するために塗り重ねを行い，3 では，そのはっ水材のみの効果をみるためにはっ水材のみの塗布を行った。また，4・5 では，含浸材溶液の塗布順序，時間間隔を検討するため，6 では，一般的なけい酸塩系含浸材（2.1 同様の市販品）での効果と比較するための塗布を行った。なお，塗布量大は 300g/m²，小は 100g/m² を目安として塗布したが，コンクリート塗布面の吸収程度により差異が生じたため，表-6 には実際の塗着量を示す。

(3) 評価試験

塗布開始日から 29 日後に評価試験を行った。評価試験は，表面水分率試験，表面吸水試験，表面反発度試験，

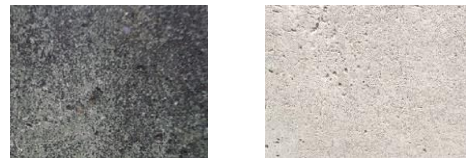


図-2 洗浄前後（左右）の塗布表面

表面硬度試験の 4 種類を行った。

表面水分率試験は，コンクリート・モルタル水分計 HI-520（株式会社ケツト科学研究所製品）を用いて，コンクリート表層の水分率を測定した。表面吸水試験は，コンクリート表面に設置したφ20 mm の円形断面の吸水カップを設置し，時間経過に伴う水の減少量により，コンクリート表面からの吸水量を測定した。表面反発度試験では，一般的なテストハンマーによる強度試験である，シュミットハンマーN(NR)型を用いて，表面反発度を測定した。表面硬度試験は，リバウンド式硬さ計 LM-100（株式会社佐藤商事製品）を用いて，コンクリート表面のビッカース硬度を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 塗布方法の違いによる表面硬度の変化

ビッカース硬さ試験の結果より，図-3 に各塗布方法について，塗布後 14 日，41 日における無塗布（塗布方法 N）に対する硬度の増加率を示す。ここで，無塗布（N）の場合における 14 日から 41 日の硬度の上昇は 4%程度であったことから，本試験における誤差の範囲は±4%程度である。また，測定値のばらつきについて，標準偏差の最大値，最小値が，14 日では 1.28，27.93μm，41 日では 7.25，22.36μm であった。

塗布後の供試体の外観について，各供試体に大きな差異はみられず，コンクリート素地に近いものであった。また，硬度の変化率は概ね 10%以下であり，市販品も 3%程度とほとんど変化のないことから，硬度の発現は，7 日

目時点の早い段階に得られる⁶⁾と考えられる。

(1) 含浸材の混合

塗布後 41 日において、混合塗り・散水無しの場合 (A) では無塗布 (N) の場合よりも硬度が減少した。これは、含浸材を混合した後に塗布することで、水和物が生成し始め、空げき内部に浸透しづらく、塗布表面の付近で薄膜が生成したことに起因する。

また、混合塗り (A, B) よりも、別塗り (C) の方がいずれの硬度も大きいことから、含浸材は混合状態よりも別々に塗布、浸透させることでより硬度が増加する傾向がある。これは、含浸材を個々に塗布することで、各成分が浸透しやすく、塗布面の内部においてけい酸塩系水和物が生成したことに起因する。

(2) 塗布時の散水の有無

塗布方法 A と B はともに混合塗りであるが、塗布後 41 日においては、いずれも散水有りの場合 (B) の硬度が散水無しの場合 (A) よりも増加したり。これは、散水によって水が供給され、より空げきの内部に浸透しやすくなり、含浸材の成分粒子が空げきの奥まで運ばれたためと考えられる。加えて、反応場所となる液状水が十分にあることで空げきの内部で含浸材の未反応成分が反応し、徐々に硬度が増加したと考えられる。

また、混合塗りにおける硬度の増加率は、いずれも CS 成分減量の場合 (A-c, B-c) が大きく、特に散水有りの場合 (B-c) が最大となった。これらの結果より、含浸材の効果を最大限に発揮させるためには、十分な水と水酸化カルシウムが必要である⁸⁾という傾向が認められた。

(3) 含浸材の濃度

別塗りの場合 (C) では、塗布後 14 日において、いずれの濃度においても 20% 以上の硬度の増加がみられた。

特に、改質材・改質水の濃度がともに原液 (C-1) の場合は初期に大きく硬度が増加した。しかし、塗布後 41 日には無塗布と比較して硬度は増加したものの、初期の硬度よりも減少した。これは、濃度が大きい場合、反応が速く進み、早期に硬度が得られたと考えられる。一方で、反応が速いために、水和物の粒子が小さく、空げき内部に浸透する前に塗布表面近くの浅い位置にのみ生成し、硬度が減少したことが考えられる。また、改質材・改質水ともに濃度を小さくした場合 (C-2) についても同様に、塗布後 14 日において無塗布よりも硬度は増加したものの、初期の硬度に比べて減少した。これは、改質材・改質水ともに原液、または濃度が小さい場合は、CS 成分と水酸化カルシウム成分の比率は等しく、どちらの場合も CS 成分に対して、水酸化カルシウム量が不足したため、硬度が十分に得られなかったことが考えられる。

一方で、改質材のみ濃度を小さくした場合 (C-3) は、初期の硬度はやや小さくなったが、塗布後 41 日では、初

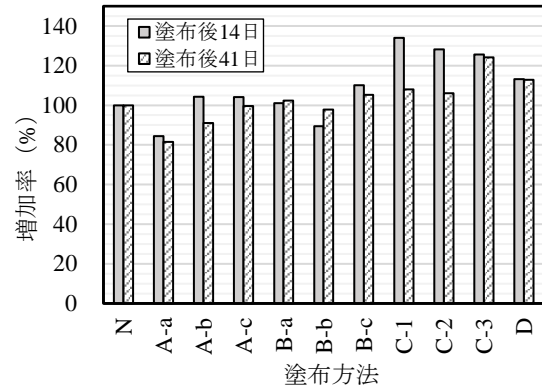


図-3 ビッカース硬さの増加率

期の硬度よりも微増し、各塗布方法のうちで最大の硬度が得られた。これは、改質水の濃度が大きいことにより、改質材の反応に十分な水酸化カルシウム量が与えられたこと、そして改質材の濃度が小さいことにより、反応は徐々に進行し続けたことが考えられる。このため、空げきのより奥まで、また微細な空げきに浸透しやすくなり、その内部において水和物が密に生成されたことで硬度が上昇したと考えられる。

3.2 実構造物への適用

含浸材の塗布時の様子について、改質材成分の多い塗布の種類 1-A, 1-B, 2-A, 2-B において、塗布表面でシリカ系の結晶が生成した。このため、これらを適宜取り除き、塗布を行った。その後、塗布開始日から 29 日後に含浸材の効果を評価する現場試験を実施した。試験時当日は、晴天、気温 25.0°C、湿度 54.0% であった。各種試験結果を図-4 (表面水分率試験)、図-5 (表面吸水率試験)、図-6 (表面反発度試験)、図-7 (表面硬度試験) に示す。

(1) 塗布開始から 29 日後の外観の様子

評価試験を実施する前 (塗布開始から 29 日後) の外観の様子について、改質材を先に塗布する場合 (1) ・市販品 (6) は無塗布 (N) と比較して白みがかっていた。また、含浸材の塗布後にはつ水材を重ねた場合 (2) と改質水を先に塗布する場合 (4, 5) は N に比べて暗く、はつ水材のみ塗布の場合 (3) は他の塗布面に比べて N に近かった。その他、1-B, 4, 5 の場合は、筋状の塗布材が流れた跡が見られ、1-B, 2-B はやや光沢があるように感じられた。これらは、改質材の塗布量が多いことから、CS の余剰分が流れたものと考えられる。

(2) 塗布の種類と表面水分率の関係

表面水分率は、はつ水材のみ塗布の場合 (3) と乾燥時間の短い場合 (4) は無塗布と同程度となったが、他の種類は市販品 D (6) と近く、やや水分量が多くなった。これは、含浸材が十分に反応し、コンクリート表面が改質することにより水分が保持しやすくなったと考えられる。また、シラン系含浸材であるはつ水材は水蒸気の移動は

阻害しないため、透湿性と吸水抑制効果の相互作用を受け、含水量が低い状態⁸⁾となったと考えられる。また、含浸材にはっ水材を重ねた場合(2)の方が含浸材のみの場合(1)よりも大きくなった。これは、改質後にはっ水材を塗布することでより水分保持の効果が高まったことが考えられる。1と2のいずれの場合も、改質材成分の多いBの場合が大きいため、改質材成分によって空げきが埋められていることが推察される。5と1-Bの値は近く、表面水分率は含浸材溶液の塗布順序によっての大きな差異は生じない結果となった。

(3) 塗布の種類と表面吸水率の関係

図-5では、すべての塗布面において、無塗布の吸水率よりも減少したが、はっ水材を塗布した場合(2, 3)を除き、市販品(6)と比較しても、大きな値となった。特に、1・5は大きく、4はやや小さい値となった。カルシウム分の豊富な状態における、けい酸塩系含浸材の改質機構に関する既往の研究⁹⁾では、含浸材による空げきの充てんについて、粗大毛細管空げきをある程度残したまま微細な空げきの充てんが進行し、この範囲の空げき量が減少して不連続な空げき径分布を形成するとの報告がある。これらを考慮すると、乾燥時間の長い1・5は、含浸材溶液が毛細管空げきのような粗大な空げきから乾燥し、空げきの壁面に沿って水和物の膜が形成されたものと考えられる。このため、1では塗布量による大きな差異はみられなかったと考えられる。一方で、乾燥時間の短い4は、改質水が微細な空げき内に浸透するよりも先に改質材が混合されることで、空げきに充てんした状態で反応し、空げき内部を閉塞したことが考えられる。

はっ水材を塗布した場合(2, 3)について着目すると、含浸材塗布後にはっ水材を重ねた場合(2)にも、はっ水材の効果は発揮されており、含浸材のみ塗布の場合(1)よりも吸水率が大きく減少した。また、塗布量が最大の場合(3-C)は、塗布量が小さい場合(3-A)よりも吸水率が増加した。このため、吸水率は塗布量によって変化し、最適な量が存在することが考えられる。

次に、塗着量の近い1-Aと5を比較すると、二回塗りかつ改質材を先に塗布する1-Aの吸水率の方が小さい値であることから、二回塗り、あるいは、改質材を先に塗布することが吸水率を抑制する可能性がある。

(4) 塗布の種類と表面反発度の関係

図-6では、すべての塗布面において、無塗布の表面反発度を上回るものはなかった。ただし、表面反発度の誤差の範囲は10%程度であり、いずれも誤差の範囲に含まれる。このため、表面反発度試験は表面含浸材の効果を評価するには適していないと言える。

(5) 塗布の種類と表面硬度の関係

はっ水材のみを塗布した場合(3)を除き、無塗布の表

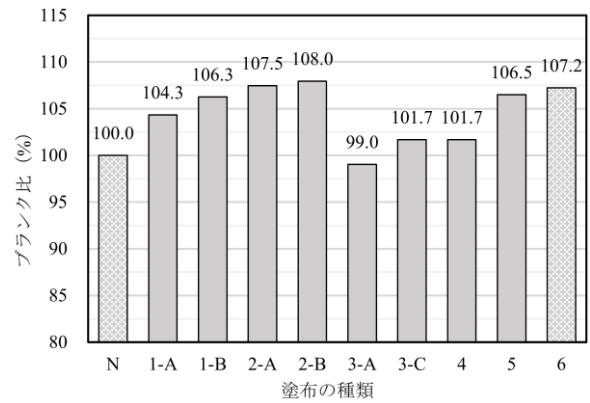


図-4 表面水分率試験結果

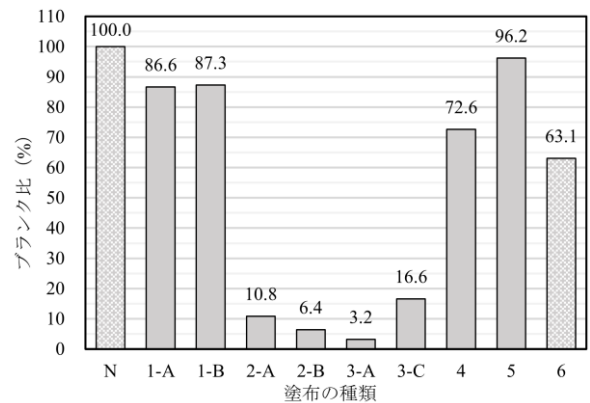


図-5 表面吸水率試験結果

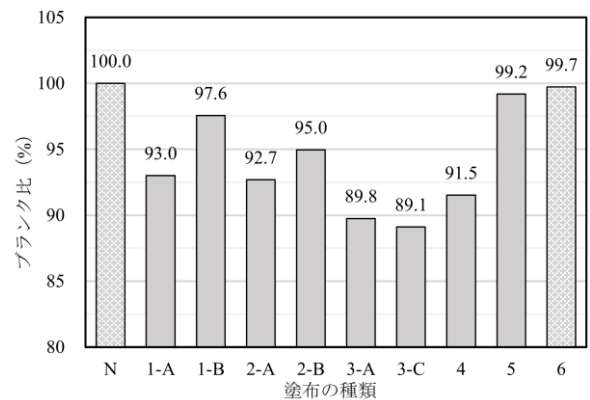


図-6 表面反発度試験結果

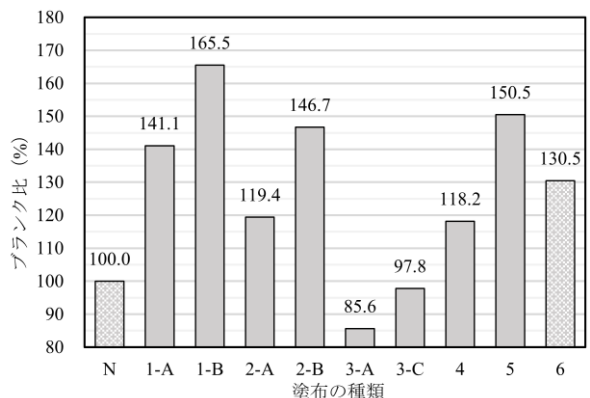


図-7 表面硬度試験結果

面硬度を上回った。特に、塗着量の多い 1-B・5 は大きく上昇しており、改質材成分の塗布量が多いためと考えられる。5 より 1-B の硬度が大きくなった要因として、改質材の塗着量が多いことの他に、二回塗りであるために含浸深さがより大きくなったことが考えられる。また、表面反発度は市販品より小さい値となったが、表面硬度は市販品を 20%以上上回ったことから、使用含浸材は市販品よりも表層付近に水和物が生成し、改質深さが小さくなっている可能性が考えられる。これは、2.1 の結果を考慮すると、濃度が大きいことが一因として考えられる。

はっ水材を重ねて塗布した場合 (2) について、1 よりも低下していることから、はっ水材の膜が生成された分、やや硬度が低下したと考えられる。しかし、含浸材のみ塗布の 1-A よりも、はっ水材を重ねて塗布した 2-B の表面硬度の方が大きくなった。このため、けい酸塩系含浸材によりコンクリート表面を改質後にはっ水材を塗り重ねる場合にも、改質材を適量塗布することができれば、両者の効果をともに発揮させられると考えられる。

はっ水材を塗布しない場合 (1・4・5) で比較すると、4 が 20%以上の差で最小値となった。これは、改質材の塗着量が少ないことの他に、含浸材溶液の塗布間隔 (乾燥時間) が短いことが影響したと考えられる。すなわち、微細な空げきに、含浸材各溶液が浸透する前にコンクリート表層付近で水和物が生成し、硬度が比較的小さくなったことが考えられる。このため、適切な乾燥時間を設けることでより硬度が得られると考えられる。

4. まとめ

本研究は、既設構造物を模擬した供試体ならびに既設構造物について、けい酸塩系含浸材 (改質材: コロイダルシリカを主成分とする水溶液、改質水: 水酸化ナトリウム水溶液) の塗布方法の違いによる表面硬度の変化に関して検討した。得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 改質材と改質水を別々に塗布する、改質材の濃度を小さくすることにより、より大きな表面硬度を得られる傾向がみられた。
- 2) 塗布時に十分な散水があること、また、コロイダルシリカに対して十分な水酸化カルシウムが存在することによって、含浸材の効果をより高められた。
- 3) 改質材と改質水の塗布をする順序の違いは、含浸材の硬度として大きな差異はみられなかった。
- 4) 含浸材を二回塗りする、各薬剤の塗布間隔 (乾燥時間) を十分に設けることで、表面硬度をより高められる可能性がある。
- 5) はっ水材 (シラン系表面含浸材) は最大量を塗布するよりも少量を塗布した場合に、より吸水量が抑制

される傾向がみられ、最適な塗布量が存在すると考えられる。

- 6) けい酸塩系含浸材を塗布することで、コンクリート表面を改質後にはっ水材を塗り重ねた場合にも、改質材を適量塗布することができれば、両者の効果をともに発揮させられる可能性がある。

謝辞

本研究は、豊橋市イノベーション創出等支援事業の助成を受けて実施しました。また、三信建材工業株式会社 石田 晃啓氏、石田 策哉氏、株式会社サイエンス・クリエイト 伊村 智史氏、中和化学薬品株式会社 安西 利明氏に多くのご協力をいただきました。ここに深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会: けい酸塩系表面含浸工法設計指針(案), コンクリートライブラリー137, 2012.7
- 2) 山邊勝, 井ノ口公寛, 伊代田岳史: 表面含浸材の施工の違いがコンクリートの耐久性に与える影響, 第39回土木学会関東支部技術研究発表会, V-35, 2011
- 3) 染谷望, 加藤佳孝: 塗布後の養生方法が表面含浸材の改質効果に及ぼす影響の検討, コンクリート工学, Vol.35, No.1, pp.1687-1692, 2013
- 4) 中村慎, 武若耕司, 山口明伸, 坂元貴之: 塗布後養生の違いが各種表面含浸材の効果に与える影響に関する研究, コンクリート工学, Vol.34, No.1, pp.1630-1635, 2012
- 5) 遠藤裕丈: 表面含浸工法による劣化抑制対策の現状と課題, コンクリート工学, Vol.48, No.5, pp.97-100, 2010.5
- 6) 櫛原弘貴, 武若耕司, 松元淳一, 前田聡: ケイ酸塩系表面含浸材の浸透深さと浸透域でのコンクリート品質改善に関する基礎的研究, コンクリート工学, Vol.29, No.2, pp.547-552, 2007
- 7) 染谷望, 加藤佳孝: けい酸塩系表面含浸材の浸透機構および改質効果に関する基礎的検討, コンクリート工学, 第25巻, pp.181-189, 2014
- 8) 本馬幸治, Thynn T. HTUT, 下村匠: 乾湿を受ける実環境下におけるコンクリート中の水分量に及ぼす表面含浸材の効果とそのモデル化, コンクリート工学, Vol.33, No.1, pp.1631-1636, 2011
- 9) 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, Vol.34, No.1, pp.1606-1611, 2012