報告　コンクリートの養生効果および耐久性向上効果を有する表面塗布剤に関する実験的検討

高橋　洋朗[*1]・俵　道和[*2]・呉　承寧[*3]・郭　度連[*4]

要旨：養生効果と劣化因子の浸入抑制効果を併せ持つコンクリート耐久性向上養生剤について，その効果を市販されている塗布剤と比較検討した。本養生剤を使用したコンクリートは乾燥環境下での質量減少が抑制され，圧縮強度が増進した。また，中性化促進試験ならびに塩水浸透試験において中性化や塩害に対する抵抗性の向上が確認された。これらのことから，本養生剤はコンクリートに養生効果と耐久性向上効果を付与することが示された。また，熱冷繰り返し抵抗試験，耐候性試験後においても水分浸透抑制性を保持することが確認され，材料の長期耐久性が示唆された。

キーワード：表面塗布剤，養生効果，耐久性向上，水分保持

1. はじめに

コンクリート構造物の塩害，凍害，中性化，アルカリ骨材反応等の耐久性が原因となる早期劣化は，大きな社会的問題になっており，新規に建設されるコンクリート構造物に対して，如何に高い耐久性を確保するかが極めて重要視されている。

コンクリートの品質は初期材齢の養生良否によって大きく変動し，コンクリートの持つ材料的なポテンシャルを最大限発揮させるために，養生は何よりも重要であるといえる。湿潤養生が困難な実際の構造物では，養生剤の使用は有効な養生効果が得られる方法であるが[1), 2)]求められる性能は，初期材齢の養生に限られている。

一方，外部からの有害物質の浸透抑制のため，コンクリートの表面に撥水性能を付与するシラン系吸水防止剤やコンクリートの表層部を緻密化させるケイ酸塩系表面改質剤が塗布され，その効果が認められている[3), 4)]。しかし，このような吸水防止性能や表面改質効果は表面保護・補修の一環として考えられており[5)]，新規構造物の養生効果までを担保するものではない。

施工面からは，被膜養生剤塗布と表面改質剤を併用する場合，工程が増えるため，作業効率の低下が懸念される。また，養生剤の影響により改質剤がコンクリート中へ浸透しないなどの弊害が生じることも考えられる。一度の塗布作業で養生効果と耐久性向上効果が得られる塗布剤があれば，非常に有用で実用的であると考えられる。筆者らは脱型直後塗布することで初期材齢における養生効果と長期材齢における表面保護，劣化因子の浸透抑制効果を保持し続けることが可能な塗布剤，すなわち，表面改質効果と養生効果を有する「耐久性向上養生剤」を検討している[6)]。

提案の養生剤は，アルケニル系エステル化合物と界面活性性を有する特殊シラン系化合物が一液化されたものである。特殊シランの界面活性効果により，疎水性化合物であるアルケニル系エステル化合物と硬化体中の水との間の反発が緩和され，両者がコンクリート表面に留まると考えられる。これにより，アルケニル系エステル化合物が硬化体の表面部の細孔に緻密に充填されることで外部からの水の浸入を防ぎ，優れた水分浸透抑制効果が得られるものと考えられる[7)]。

本報告はこの開発した耐久性向上養生剤の養生効果と耐久性向上効果を確認するとともに，材料そのものの耐久性を検討したものであり，市販されている代表的なパラフィン系の膜養生剤，シランシロキサン系吸水防止剤，ケイ酸塩系表面改質剤と比較し，性能評価試験結果を報告するものである。

2. 実験概要

2.1 コンクリートの使用材料および配合

本試験で使用した材料を**表－1**，配合を**表－2** に示す。また，コンクリートのフレッシュ性状を**表－3** に示す。

2.2 表面塗布剤の種類

本研究で使用した表面塗布剤を**表－4** に示す。新規塗布剤はアルケニル系エステルと特殊シラン系界面活性剤を合わせた有機無機ハイブリッド材料(CB)である。比較に使用した市販の塗布剤はパラフィン系(PF)，シランシロキサン系(SS)，ケイ酸ナトリウム系(NS)とそれぞれ

*1 太平洋マテリアル(株) 開発研究所 工修（正会員）
*2 オリエンタル白石(株) 技術研究所 工修（正会員）
*3 愛知工業大学 工学部都市環境学科 教授 博士(工学)（正会員）
*4 太平洋マテリアル(株) 開発研究所 博士(工学)（正会員）

表－1　使用材料

記号	種類	品質等	産地
C	普通ポルトランドセメント	密度=3.16g/cm^3	—
S	細骨材	川砂 密度=2.60g/cm^3	栃木県
G	粗骨材	川砂利 最大寸法=25mm 密度=2.62g/cm^3	栃木県
AE	AE減水剤	ポリカルボン酸系	—

表－2　コンクリート配合（30-8-25N）

W/C（%）	s/a（%）	単位量（kg/m^3）				
		水	セメント	細骨材	粗骨材	減水剤
		W	C	S	G	AE
48	43.6	157	327	788	1027	3.27

表－3　コンクリートのフレッシュ性状

フレッシュ性状		
スランプ（cm）	空気量（%）	コンクリート温度（℃）
7.0	4.4	22.5

主成分の異なる塗布剤を選定した。塗布量は各メーカー推奨の塗布量に基づいた。

2.3 試験項目

本研究で実施した試験項目を**表－5** に示す。養生効果，コンクリートの耐久性向上，材料の耐久性について性能評価を行った。養生効果は，20℃，60%RH 環境下で保存した試験体の質量変化，圧縮強度により評価した。耐久性の向上を中性化および塩害に対する抵抗性，水分浸透抑制性について試験することで確認した。材料の耐久性は曝露試験，熱冷繰り返し試験，耐候性試験前後に透水量を測定することで評価した。塗布剤の塗布は材齢 3 日にて脱型後すぐはけおよびローラーを用いて行った。

表－4　表面塗布剤の種類

記号	種類	主成分	推奨塗布量（g/m^2）
N	無塗布	—	—
PF	表面養生剤	パラフィン系	150
SS	浸透性吸水防止剤	シラン・シロキサン系	200
NS	表面改質剤	ケイ酸ナトリウム系	200
CB	耐久性向上養生剤	アルケニル系エステル化合物 特殊シラン系活性剤	150

3. 試験結果

3.1 養生効果

塗布剤が与える養生効果について検討を行った。乾燥状態での質量変化率から塗布剤によるコンクリート中の水分保持性を評価した。また，圧縮強度を測定することにより，養生効果による強度増進の傾向を比較した。

(1) 水分保持性能

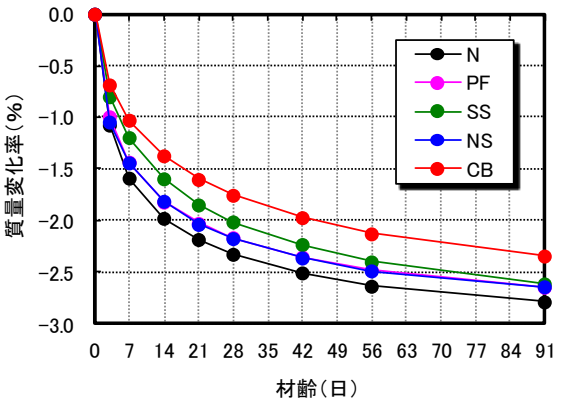
湿度 60 %，温度 20 ℃の恒温恒湿室内にて保存した試験体の質量変化率を測定した結果を**図－1** に示す。CB を塗布した試験体は，無塗布の試験体と比べ材齢 91 日において水分の蒸発による質量減少が 15 %程度抑制されたことから，CB により養生効果が得られたと考えられる。一方 PF，SS，NS を塗布した試験体は無塗布の試験体に比べ質量変化量の抑制は 5 %程度であるため，PF，SS，NS による養生効果は低いと考えられる。

(2) 圧縮強度の増進

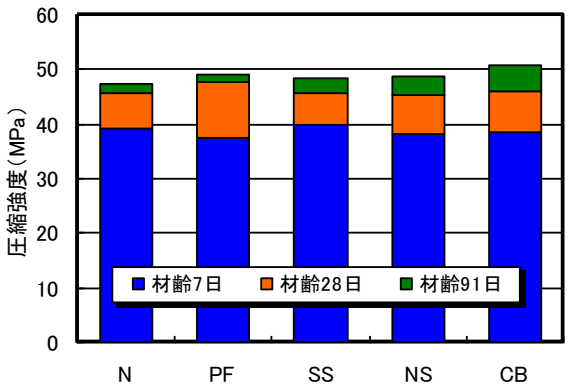
材齢 3 日にて脱型直後 φ 10 × 20 cm 試験体の全面に塗布しその圧縮強度を測定することで塗布剤の養生効果を

表－5　試験項目

性能評価	評価項目		試験概要
養生効果	水分保持性能		10×10×40cmの角柱試験体の20℃，60%R.H.環境下での質量変化率測定
	圧縮強度		φ 10×20cm円柱試験体に塗布し，材齢7，28，91日で試験
耐久性向上	促進中性化試験		JIS A 1153に準拠し，促進1，3，6ヶ月で測定
	塩化物イオン浸透試験		24時間40℃，5%NaCl溶液を噴霧，60時間40℃，50%R.H.乾燥を繰り返し行い，1，2，3，6ヶ月で硝酸銀噴霧法で塩分浸透深さを測定
			JSCE-G572-2007に準拠し，浸漬1，2，3，6ヶ月で硝酸銀噴霧法で測定 浸漬材齢6ヶ月終了後，一部の試験体をEPMA面分析
	水分浸透抑制		10×10×40cmの角柱試験体の暴露環境下での質量変化率測定
材料の耐久性	曝露試験	劣化因子浸透抑制（簡易透水試験）	1.0×1.0×0.1mの試験体を作製し，外気環境で暴露試験 JIS A 6916に準じ，暴露試験体を用いて材齢1，3，6，12か月で簡易透水試験
	熱冷繰返し抵抗性試験		日本建築仕上学会規格M-101に準拠し，試験前後に簡易透水試験
	耐候性試験		JIS K 5600-7-7に準じ，キセノンランプ2000時間照射 照射前後に簡易透水試験



図－1　水分保持性



図－2　圧縮強度

検討した。測定は材齢 7 日，28 日，91 日にて実施した。結果を**図－2** に示す。CB を塗布した試験体は，材齢 91 日の圧縮強度が無塗布の試験体や PF，SS，NS を塗布した試験体よりも大きくなり，CB に養生効果があることが圧縮強度試験からも示された。また，材齢 28 日から 91 日にかけての強度増進が 5 N/mm^2 と無塗布の試験体や他の塗布剤を塗布した試験体に比べ大きかった。これらの結果から CB を塗布した試験体は水分が保持されたことにより，水和が継続的により進行していることが示唆された。

3.2 耐久性向上効果

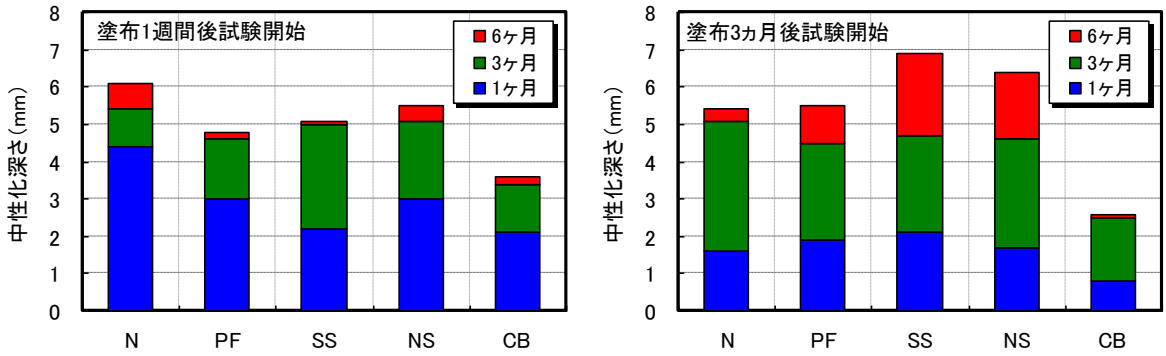
外部からの因子が原因となるコンクリートの劣化には中性化や塩害などがある。炭酸ガスによる中性化の抑制効果については，促進中性化試験にて検討した。外部からの劣化因子の浸透抑制にはコンクリートへの水の浸透を防ぐことが効果的な手段の一つであるため，塗布剤による水分浸透の抑制効果の向上について検討した。塩化物イオン浸透の抑制効果について，塩水浸漬法，塩水噴霧法の 2 方法を用い，環境の異なる 2 条件下での検討を行った。

(1) 中性化進行の抑制

促進中性化試験の結果を**図－3** に示す。塗布剤を塗布 1 週間後に促進試験を開始した水準において，CB を塗布した試験体は無塗布の試験体と比べ中性化深さが 6 割程度であったことから，CB を塗布することで中性化に対する抵抗性が向上したことが示された。一方 PF，SS，NS を塗布した試験体は無塗布の試験体と同等の中性化深さであったことから，これらの塗布剤による中性化の抑制効果は低いと考えられる。また，塗布 3 ヶ月後に開始した中性化促進試験の結果と比較すると，CB を塗布した試験体は塗布 1 週間後に試験を開始した試験体での結果と比較して中性化深さが 7 割程度と中性化に対する抵抗性が向上する結果が得られた。CB の養生効果により，コンクリート表面がより緻密化されたためであると考えられる。CB がコンクリートの養生剤として有効であることが本結果からも示された。

(2) 水分浸透抑制効果

10 × 10 × 40 cm の試験体を屋外曝露し，試験体の質量変化を測定した結果を**図－4** に示す。無塗布の試験体，PF，NS を塗布した試験体は質量の減少，増加が共に確認された。質量が減少した原因は乾燥による水分の蒸発が考えられ，増加した原因は雨による水の吸収が考えられる。一方，SS，CB を塗布した試験体は，室内試験で



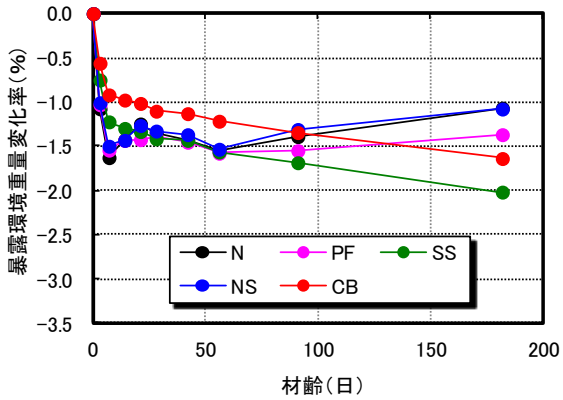
図－3　促進中性化試験

の結果と同様に，材齢と共に質量が減少した。すなわち，水分浸透の抑制効果が優れている SS，CB は雨水の吸収がほとんど認められないことが分かった。このことから，SS，CB を塗布することで高い水分浸透の抑制効果が得られることが考えられる。また，質量減少率は SS を塗布した試験体より CB を塗布したものの方が少なく，前述のように水分保持性が高いことが改めて確認できた。PF も SS，CB ほどではないが，ある程度の水分浸透抑制効果を向上させることが出来ると考えられる。

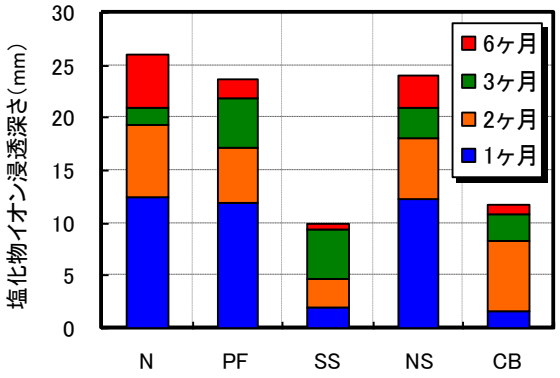
(3) 塩化物イオン浸透の抑制

前項では，PF，SS，CB は効果に差はあるもののコンクリートの水分浸透抑制効果を向上させる性能があることを確認した。本項では劣化因子の一つである塩化物イオンの浸透試験を実施し，塗布剤による劣化因子の浸透抑制効果を検討した結果について考察した。塩水浸漬試験の結果を**図－5** に示す。試験は塗布後 3 ヶ月の試験体を用いて実施した。6 ヵ月浸漬後の結果において，SS を塗布した試験体は塩化物イオン浸透の深さが無塗布の 4 割程度，CB を塗布した試験体は半分程度であり，塩化物イオンの浸透が抑制されたことが示された。PF，NS を塗布した試験体は無塗布の試験体と同程度の浸透深さであり，塗布剤による塩化物イオン浸透の抑制効果は少ないいという結果であった。また，**図－6** に示した塩水噴霧の結果からも材齢 6 ヵ月後において SS，CB を塗布した試験体は無塗布の試験体と比べ，塩化物イオンの浸透深さが浅くなり，SS，CB は乾湿が繰り返される環境下においても塩化物イオン浸透の抑制効果を向上させる結果とあった。

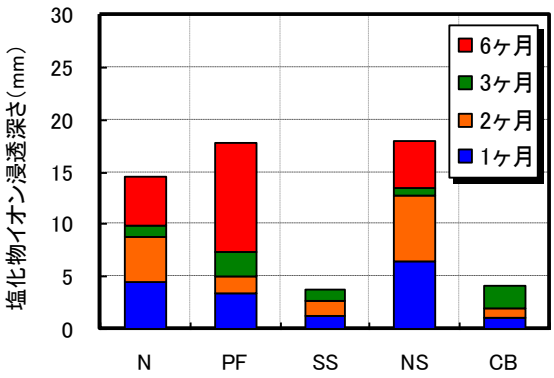
6 ヶ月塩水に浸漬させた無塗布の試験体と CB を塗布した試験体を用いて EPMA により塩化物イオンの浸透



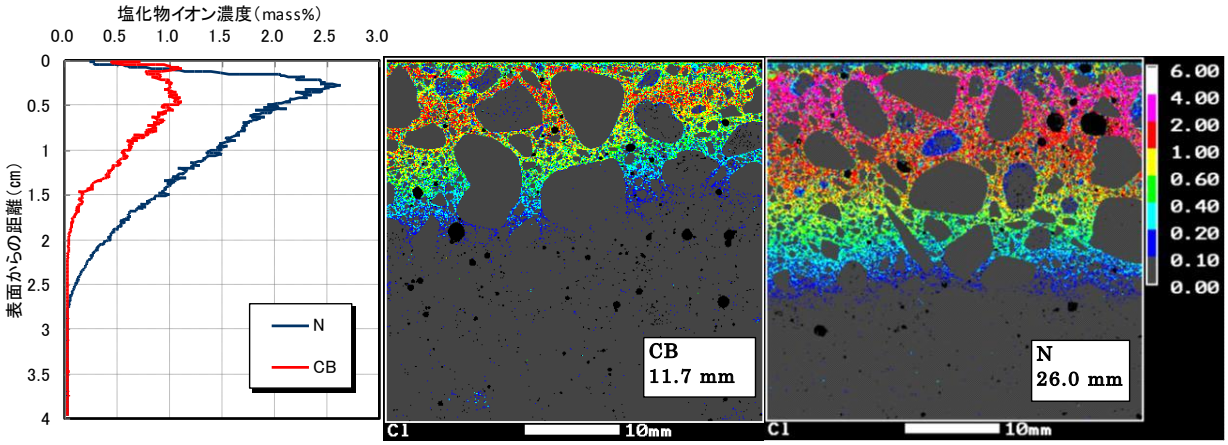
図－4　曝露環境下の質量変化試験



図－5　塩水浸漬試験



図－6　塩水噴霧試験



図－7　EPMA 測定

状態を測定した。結果を**図－7** に示す。EPMA より求めた塩化物イオンの見かけの拡散係数は CB を塗布した試験体では 2.17 cm^2/y であり，見かけの拡散係数が 3.55 cm^2/y であった無塗布の試験体よりも低くなったことから，CB による塩化物イオンの抑制効果が EPMA による測定からも確認された。

無塗布の試験体と SS，NS，CB を塗布した試験体では水分浸透の抑制性の高い試験体が，塩化物イオンの浸透抑制性も高いことが示された。しかし，PF を塗布した試験体は水分浸透抑制性を有しているにもかかわらず，塩化物イオンの浸透が抑制されなかった。この原因は，水によりパラフィン膜が劣化したためであると考えている。このことは，塩水噴霧試験において材齢 3 か月までは無塗布の試験体と比べ塩化物イオンの浸透深さが浅いが，材齢 3 ヶ月から 6 ヶ月の間に浸透が進行していることからも推測できた。これらのことから，水の浸透性が劣化因子浸透性の指標一つとなることを改めて確認することができた。

3.3 材料の耐久性

コンクリートの耐久性向上効果が長く持続するためには，塗布剤による効果の保持が不可欠である。塗布剤の耐久性を評価するため，曝露環境下において塗布剤の性能について検討した。また，特に水分浸透抑制性の高い SS，CB について塗布剤の劣化因子と考えられる熱，紫外線に対する耐性を熱冷繰り返し試験および耐候性試験にて検討した。

(1) 曝露試験

各塗布剤を塗布した試験体について曝露試験を行い，透水量の変化により塗布剤の劣化を検討した。曝露試験体は 1.0× 1.0 × 0.1m の平板とし，全面に塗布剤を塗布した。曝露状況を**図－8** に示す。透水量の測定は**図－9** に示したように 1.0 × 1.0 m の面にて実施した。曝露開始後 1 ヶ月後と 1 年後に測定した透水試験の結果を**図－10** に示す。塗布後 1 ヶ月において水分浸透抑制性が確認できた PF，SS，CB を塗布した試験体すべてにおいて，曝露 1 年後にも水分浸透抑制性が保持され，耐久性の大幅な劣化は見られなかった。曝露試験体による材料の耐久性検討については今後も継続的に行う予定である。

図－8　曝露状況

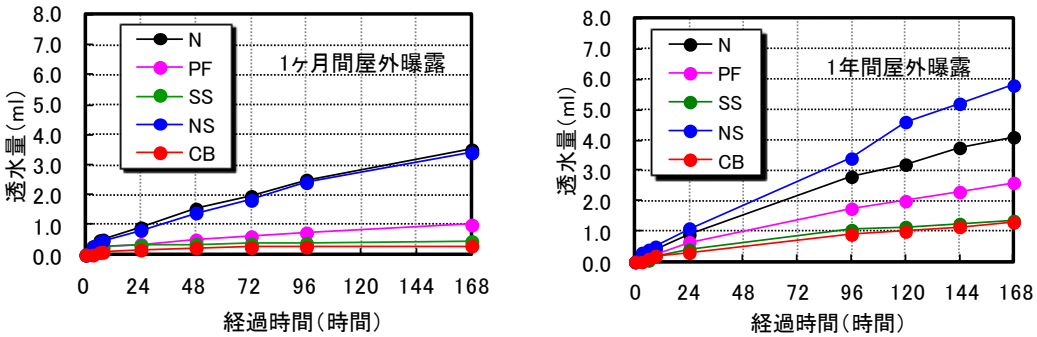
図－9　透水試験状況

(2) 熱冷繰り返し試験

SS, CB を塗布した試験体を 70 ℃赤外線 105 分, 20 ℃水散水 15 分を 300 サイクル繰り返し，熱による塗布剤の劣化を検討した。試験前後に簡易透水試験を行い比較した結果を**図－11** に示す。SS，CB を塗布した試験体は熱冷繰り返し試験後も水分浸透抑制性を保持していることから，熱に対する耐久性があると考えられる。

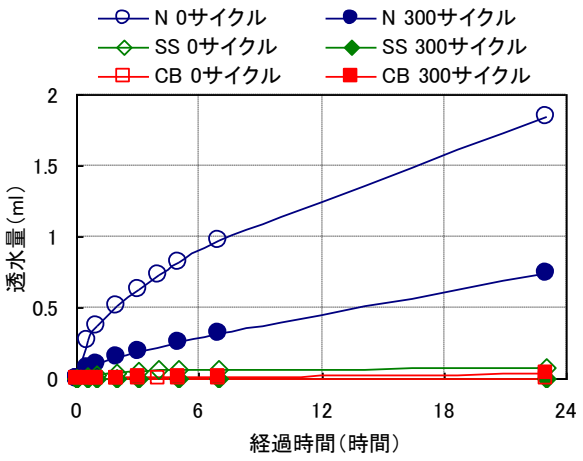
(3) 耐候性試験

紫外線による劣化を検討するため，キセノンランプを 2000 時間照射後に透水試験を実施した。キセノンランプやサンシャインカーボンアーク灯を用いた促進耐候性試験は，実際の環境と促進倍率の関係がはっきりされてはいないが，奥野らが四国地方にて行った研究 [8]では日当たりの良い面の約 3 年がキセノンランプ式促進耐候性試験 1500 時間に相当すると考察している。本検討で行った照射 2000 時間は，実際環境の曝露約 4 年の紫外線劣化に相当するものと考えられる。照射前後に行った透水試験の結果を**図－12** に示す。SS，CB ともに 2000 時間照射後も若干の性能低下は認められるが，十分な水分浸透抑制性を保持していることが分かった。このことから，本実験の範囲内では SS，CB 共に紫外線による劣化は少ないということが考えられる。今後劣化が認められた試

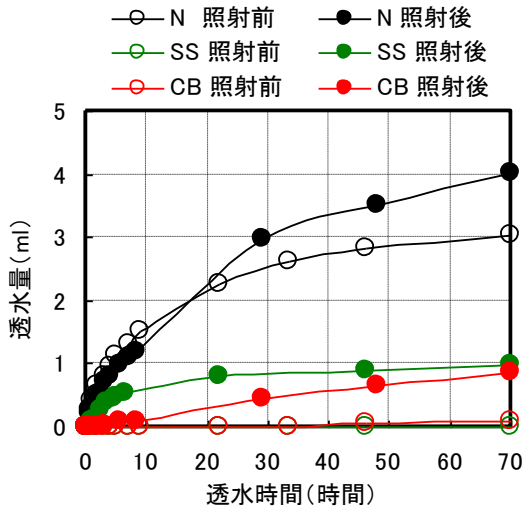


図－10　曝露試験体透水試験

験体については，引き続き塩水浸漬試験等を行うことで，紫外線劣化が生じた場合の性能評価を実施する予定である。



図－11　熱冷繰り返し試験



図－12　耐候性試験

4. まとめ

本報告では，養生効果と耐久性向上効果を兼備する耐久性向上養生剤について実験的に検討を行った。本報告の範囲内で得られた知見を以下に示す。

(1) CB を塗布した試験体の乾燥条件下での質量減少が無塗布の試験体と比べ抑制されていること，圧縮強度が無塗布の試験体よりも増進していることから，養生効果を有していることが示された。

(2) CB を塗布した試験体は促進中性化試験により，中性化深さが無塗布の試験体と比べ浅くなったことから，CB を塗布することで中性化に対する抵抗性が向上することが示された。

(3) CB，SS は塗布した試験体は塩化物イオン浸透試験により，塩化物イオンの浸透深さが無塗布の試験体と比べ浅くなったことから，SS，CB の塗布により塩害に対する抵抗性が向上することが示された。

(4) 水分浸透抑制性の高い試験体ほど塩化物イオンの浸透抑制性も高いことから，水の浸透性が劣化因子浸透性の指標一つとなることを改めて確認した。

(5) CB，SS を塗布した試験体について，曝露試験，熱冷繰り返し試験，耐候性試験を行った後も水分浸透抑制効果を保持していることから，塗布剤の耐久性が示された。

今後は曝露試験，耐候性試験について試験を継続し，塗布剤のさらなる耐久性を検証するとともに，本研究では，脱型直後に塗布した試験体に対して効果を確認したが，既設コンクリートに対する効果についても検討を行っていく予定である。

参考文献

1）日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説JASS 5 鉄筋コンクリート工事2009，pp.270-280，2009

2）土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書【施工編】，pp.126-129，2008

3）土木学会：コンクリートライブラリー119　表面保護工法　設計施工指針（案），2005.4

4）土木学会：コンクリートライブラリー137　けい酸塩系表面含浸工法の設計施工指針（案），2012.7

5）日本建築仕上げ材工業会：建築仕上げ材ガイドブック，pp.100-122，2006

6）呉承寧，俵道和，小林俊秋，郭度連：コンクリート表面品質の向上に及ぼす養生剤と表面改質剤の影響に関する研究，プレストレスコンクリート工学会第 21 回シンポジウム論文集，pp.573-578，2012.10

7）菅彰，橋爪進，小林智史，郭度連：表面改質効果と養生効果を有する耐久性向上養生剤（その１：作用機構に関する一考察），日本建築学会大会学術講演梗概集（東海），pp-477-478，2012.9

8）奥野倫太郎，森充広，渡嘉敷勝，石黒覚：コンクリート補修材料の促進耐候性試験結果と実現場での調査結果の比較，コンクリート工学年次論文集，Vol.34，No.1，pp.640-645，2012