

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

愛知工業大学 正会員 博(工) ○呉 承寧
オリエンタル白石(株) 正会員 工修 俵 道和
オリエンタル白石(株) 小林俊秋
太平洋マテリアル(株) 正会員 博(工) 郭 度連

Abstract : In order to improve the durability of concrete structure, the cases which applied curing agent or surface modification agent on the concrete surface after demolding has increased. In this research, the curing effect and the durability improvement effect were investigated in experiments about the commercial surface curing agent, water absorption inhibitor, the surface modification agent, and the durability improvement curing agent that has the newly developed and has curing effect and the durability improvement effect. According to the results of the experiments, it is clearly that the durability improvement curing agent has the curing effect such as holding moisture and increasing strength, and durability improvement effect such as reducing the drying shrinkage of concrete, waterproofness, neutralization resistance, and chloride ion permeation resistance. According to these effects, it is possible to improve the durability of concrete structure.

Key words : Apply, Concrete, Curing agent, Durability improvement,

1. はじめに

近年、塩害、凍害、中性化、およびアルカリ骨材反応などに起因するコンクリート構造物早期劣化の問題は大きな社会的な問題となっている。その理由は、①劣化による構造物の安全性と使用性が著しく低下すること、②コンクリート構造物の修復が非常に難しく、再劣化しやすいこと、③供用中のコンクリート構造物を補修する時、構造物の使用が制限され、社会への影響が大きいこと、④コンクリート構造物の補修に巨額な費用がかかることなどが挙げられる。

この問題を解決するために、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ことは極めて重要である。コンクリート構造物の耐久性を向上するために、良質な材料の使用や、コンクリートの緻密化および鉄筋かぶりを厚くするなどの方法があるが、近年、鉄筋を保護するかぶりコンクリートの緻密化または表層部コンクリートの撥水化によって、外部からの有害物質の浸透を抑制し、鉄筋を保護する技術が注目されている。

鉄筋を保護するかぶりコンクリートは、養生条件によってその緻密性が大きく異なり、有害物質の浸透に対する抵抗性が変わり、耐久性に大きな影響を及ぼすことになる。しかし、施工現場で脱型後のコンクリート底面や鉛直面および内面に対する湿潤養生は、従来の散水養生方法が水の自重の関係で適用されにくい。この問題を解決するために、脱型後のコンクリート表面に水分逸散抑制機能を持つ被膜養生剤が開発され、コンクリート表面に被膜養生剤の塗布によって湿潤養生に近い養生効果が得られた^{1)~2)}。

一方、コンクリートの表面に撥水機能を有するシラン系吸水防止剤または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の塗布によって、コンクリート表面の吸水が抑制され、外部からコンクリート内部に塩化物イオンや、アルカリイオン、および水分などの物質の浸透が抑えられ、コ

ンクリートのアルカリ骨材反応や、凍害、および鉄筋の腐食を抑制する効果も確認された³⁾。

しかし、被膜養生剤、吸水防止剤、および表面改質剤は、それぞれの目的で開発されたものであり、一度の塗布作業で養生効果と吸水防止効果を得ることはできない。さらに、被膜養生剤が塗布されたコンクリートの表面は吸水防止剤または表面改質剤の含浸ができない可能性もある。

筆者らは、特殊乳化技術で水分逸散抑制機能を有する高分子と撥水機能を有する高分子を均一に乳化し、養生効果と吸水防止効果を兼備する被膜養生剤を開発し、コンクリート表面に一度だけの塗布によって、かぶりコンクリートの緻密化と吸水防止化が実現し、塩化物イオンや、アルカリイオン、酸素ガス、炭酸ガス、および水分などの物質の侵入を抑制し、コンクリート構造物の耐久性向上を図る。

本研究は、この開発した被膜養生剤（耐久性向上養生剤と略称）の養生効果および耐久性向上効果を確認するために、市販されている被膜養生剤（表面養生剤と略称）、シラン系吸水防止剤（吸水防止剤と略称）およびケイ酸塩系表面改質剤（表面改質剤と略称）と比較しながら、各種の実験を行った。本文はこれらの実験結果を紹介するものである。

2. 実験の概要

2.1 コンクリートの使用材料および配合

本試験で用いたコンクリートの示方配合を表-1に示す。セメントCは普通ポルトランドセメント（密度=3.16g/cm³）、細骨材Sは栃木県下野市鬼怒川流域の砂（密度=2.60g/cm³）、粗骨材Gは栃木県下野市鬼怒川流域の砂利（粗骨材最大寸法25mm、密度=2.62g/cm³）を用いた。目標スランプは8±2.5cm、目標空気量は4.5±1.5%とした。

2.2 塗布剤の種類

各塗布剤の種類、メーカー推奨の標準塗布量および主成分を表-2に示す。塗布剤の種類は表面養生剤、吸水防止剤、表面改質剤および開発した耐久性向上養生剤の4種類とした。比較試験は、無塗布のものを含めて5種類の試験体について行った。また、塗布試験体に対してすべての表面を刷毛で塗布した。

2.3 試験項目

表-1 コンクリートの示方配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)			
		W	C	S	G
48.0	43.6	157	327	788	1027

表-2 塗布剤種類

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

表-3 評価項目および試験概要

性能評価	評価項目	試験概要
養生効果	水分保持性	10×10×40 cmの角柱試験体の 20°C, 60%RH 環境下の質量変化率
	圧縮強度	φ10×20 cm円柱供試体に塗布し、材齢 7, 28, 91 日の圧縮強度
耐久性向上効果	乾燥収縮	20°C, 60%RH 環境下, JIS A 1129-3 に準拠し、長さ変化率を測定
	防水性	JIS A 6916 に準拠した簡易透水試験
	中性化	JIS A 1153 に準拠し、促進 1, 3 ヶ月で測定
	塩分浸透性	JSCE-G572-2007 に準拠し、塩水中 1, 2, 3 ヶ月間の浸漬後塩分浸透深さを測定 24 時間 40°C5%NaCl 溶液を噴霧し、60 時間 40°C, 50%RH で乾燥を繰り返し行う。1, 2, 3 ヶ月間の浸透深さを測定
塗布剤の耐久性	塗布剤の含浸性	JSCE-K571-2004 に準拠し、コンクリート打設 3 日後に脱枠、塗布剤を塗布し、1 週間後に割裂し、含浸深さを測定
	熱冷繰返した後の防水性	日本建築仕上学会規格 M-101 に準拠し、試験前後簡易透水試験

塗布剤の養生効果と耐久性向上効果を確認するために、表-3に示す試験を行った。この表に示すように、塗布剤の養生効果においては、試験体の水分保持性能および圧縮強度で評価した。耐久性向上効果においては、透水試験、乾燥収縮、促進中性化試験、塩水浸漬試験、乾湿繰り返し塩水噴霧試験、含浸深さ試験、および熱冷繰り返し抵抗性試験を行った。

各試験体は材齢3日で脱枠し、各塗布剤を脱枠直後に塗布した。促進中性化試験、塩水浸漬試験、乾湿繰り返し塩水噴霧試験の3種類の試験については、塗布剤の耐久性および養生による表面改質効果を評価するために、塗布3ヶ月後から試験を開始した。

本研究の試験には基本的に3本の試験体を用いて測定を行ったが、防水性を測定する簡易透水試験に2本の試験体を用いて測定した。

3. 試験結果

3.1 養生効果について

本研究では、コンクリートに対する塗布剤の養生効果は、コンクリート試験体に対する水分保持性能および圧縮強度増進によって評価した。

(1) 水分保持性

温度 20℃ 相対湿度 60%の標準室内で各試験体の質量変化率の結果を図-1に示す。この図より、試験体の質量変化率は、 $N > PF > NS > SS > CB$ となり、すなわち、水分保持性能において、耐久性向上養生剤 $CB >$ 吸水防止剤 $SS >$ 表面改質剤 $NS >$ 表面養生剤 $PF >$ 無塗布 N の順序である。耐久性向上養生剤 CB は優れた水分保持性を有し、さらに、この水分保持性は材齢91日以上にわたって持続していったことが確認された。

(2) 圧縮強度

圧縮強度の試験結果を図-2に示す。材齢7日および材齢28日において、塗布剤の種類にかかわらず、塗布剤を塗布した試験体は無塗布の試験体とほぼ同等の圧縮強度となった。一方、材齢91日において、塗布剤を塗布した、すべての試験体は無塗布の試験体 N より圧縮強度が大きくなり、とくに、耐久性向上養生剤 CB を塗布した試験体の圧縮強度が一番大きかった。これは耐久性向上養生剤 CB の高い水分保持効果によりコンクリートが長期にわたって保湿され、セメントの水和反応が続けられ、圧縮強度の増進に寄与したと考えられる。

以上の結果から、耐久性向上養生剤 CB は表面被膜養生剤として必要な養生効果があることが確認された。

3.2 耐久性向上効果について

本研究では、コンクリート構造物の耐久性向上に対する塗布剤の効果は、収縮ひび割れの発生に関連する乾燥収縮、侵食物質の浸透に関連する防水性、鉄筋腐食に関連する中性化速度と塩分浸透性によって評価した。

(1) 乾燥収縮

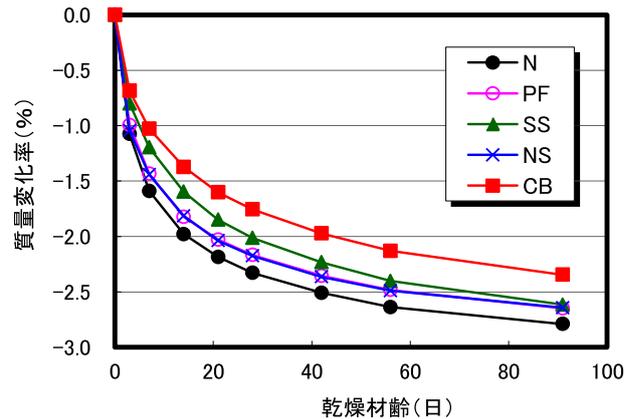


図-1 水分保持性

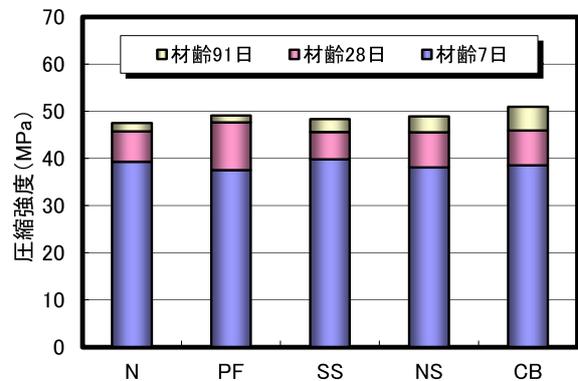


図-2 圧縮強度の増進

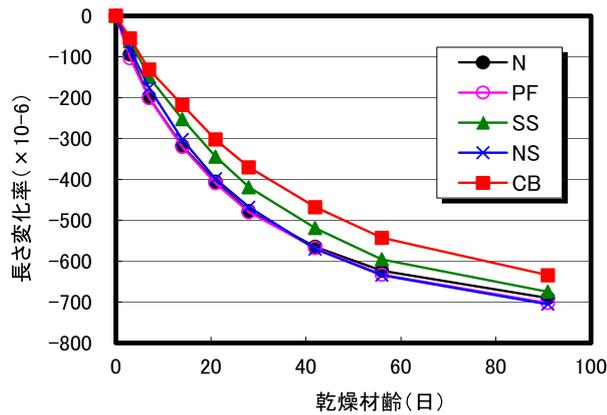


図-3 乾燥収縮の低減

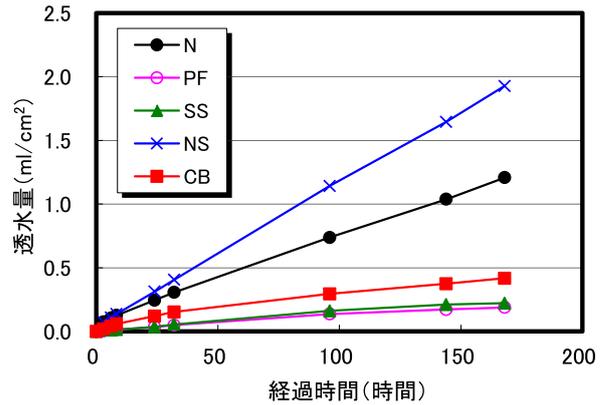


図-4 防水性

各種コンクリート試験体を材齢3日に脱型し、塗布剤を塗布した後に基長を測定した。その後の乾燥による長さ変化率を図-3に示す。この図より、耐久性向上養生剤CBを塗布した試験体は、無塗布の試験体に比べ、乾燥収縮が小さくなった。また、耐久性向上養生剤CBは、他の塗布剤に比べ、乾燥収縮低減効果が顕著であり、これは耐久性向上養生剤CBの高い水分保持性との関係があると考えられる。

耐久性向上養生剤CBは、コンクリートの乾燥収縮を低減することにより、コンクリート構造物に収縮ひび割れの発生率を低減し、構造物の耐久性を向上することができると推察される。

(2) 防水性

コンクリート構造物は、外部からの水分、塩化物イオンなどの侵食物質の侵入が抑制されればその耐久性を向上することができる。本研究では、コンクリートの防水性に対する塗布剤の効果について簡易透水試験で評価を行った。その結果を図-4に示す。この図より、吸水防止剤SS、表面養生剤PFおよび耐久性向上養生剤CBをそれぞれ塗布した試験体は、無塗布の試験体に比べ、透水量が著しく少なくなり、高い防水性を示した。耐久性向上養生剤CBは、吸水防止剤SSと表面養生剤PFに比べ、防水効果が若干低いものの、無塗布の場合に比べ、その防水効果は極めて大きいことが確認された。耐久性向上養生剤のこの防水効果により、コンクリート構造物への侵食物質の浸透を抑制することができ、構造物の耐久性を向上することが期待できる。一方、NS表面改質剤は無塗布の場合に比べ、透水量が大きくなり、表面改質による防水性の向上が確認されなかった。

(3) 中性化抵抗性

各種試験体の中性化促進試験の結果を図-5に示す。この図より、耐久性向上養生剤CBを塗布した試験体の中性化深さは最も小さかったことが確認された。

耐久性向上養生剤CBを塗布した試験体の高い中性化抵抗性は、塗布したCBの高い保水効果およびそれによる養生効果で表層部コンクリートの緻密化と関係がある。保水効果はコンクリート中の水の逸散を抑制し、コンクリート内部に高い相対湿度を保ち続け、表層部コンクリートの緻密化は外部から炭酸ガスの侵入を防ぎ、この両方からの作用でコンクリートが中性化しにくくなり、中性化抵抗性を向上することができた。

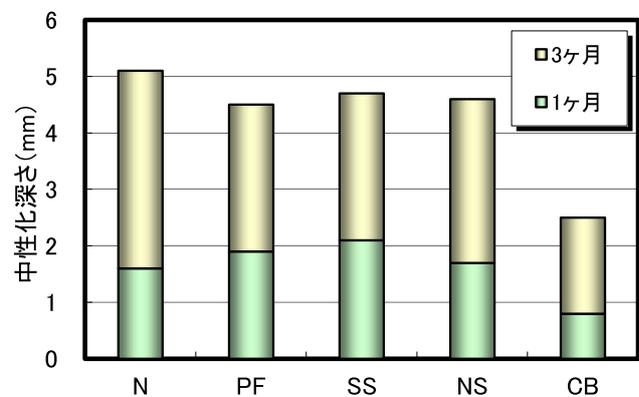


図-5 中性化抵抗性

耐久性向上養生剤CBを塗布した試験体の高い中性化抵抗性は、塗布したCBの高い保水効果およびそれによる養生効果で表層部コンクリートの緻密化と関係がある。保水効果はコンクリート中の水の逸散を抑制し、コンクリート内部に高い相対湿度を保ち続け、表層部コンクリートの緻密化は外部から炭酸ガスの侵入を防ぎ、この両方からの作用でコンクリートが中性化しにくくなり、中性化抵抗性を向上することができた。

一方、吸水防止剤SSは、コンクリート外部からの水の浸透を防ぐが、外部からの炭酸ガスの侵入と内部の水の蒸発を抑制できないため、コンクリートの中性化の抑制効果は少なかったと考えられる。

(4) 塩化物イオン浸透抵抗性

本研究は、塩化物イオンの浸透機構として塩水浸漬と飛来塩分の2種類を模擬した試験を実施し、コンクリート構造物の耐久性向上に及ぼす塗布剤の効果を確認した。

塩水浸漬試験は、試験体を20°C、10%NaCl溶液に浸漬した。浸漬1、2、3ヶ月に硝酸銀噴霧法により塩分浸透深さを測定した。その結果を図-6に示す。耐久性向上養生剤CBを塗布した試験体の塩化物イオン浸透深さは、吸水防止剤SSを塗布した試験体と同程度であり、無塗布試験体の約半分以下であった。これは耐久性向上養生剤CBの高い防水効果と養生効果による表層部コンクリートの緻密化に起因しているものと考えられる。また、塩分浸透深さの試験に、耐久性向上養生剤CBを塗布した試験体の2ヶ月目の浸透深さが1ヶ月目の浸透深さに比べ大きくなったことは、耐久性向上養生剤の防水効果の経時変化や、測定誤差などによるものと推測される。

一方、飛来塩分を模擬した乾湿繰り返し塩水噴霧試験は、24時間40°C5%NaCl溶液を噴霧し、60時間40°C、相対湿度50%で乾燥を繰り返し、1、2、3ヶ月に硝酸銀噴霧法により塩分浸透深さを測定した。その結果を図-7に示す。塩水浸漬試験の結果と同様に、耐久性向上養生剤CBを塗布した試験体の塩化物イオン浸透深さは吸水防止剤SSを塗布した試験体と同程度であり、無塗布試験体の約40%であった。

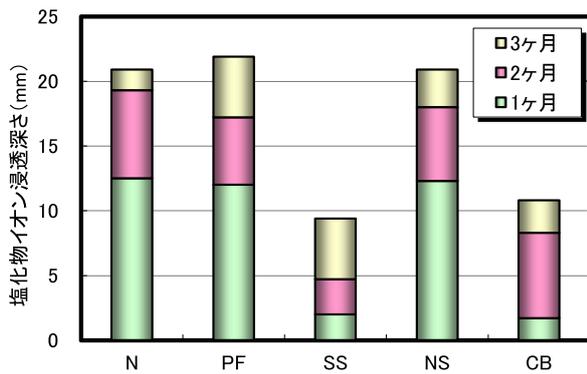


図-6 塩水浸漬の塩化物イオン浸透抵抗性

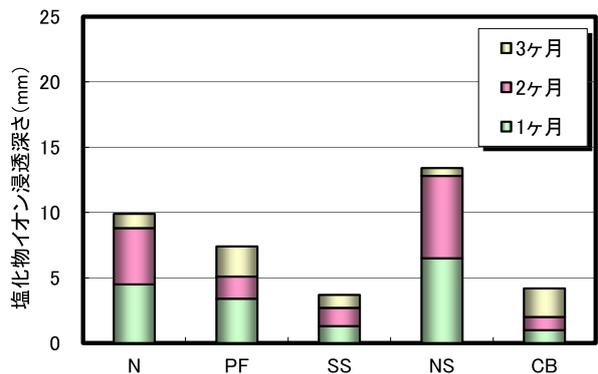


図-7 塩水噴霧の塩化物イオン浸透抵抗性

3.3 塗布剤の耐久性

前述の試験でCBの養生効果と耐久性向上効果が確認されたが、これらの効果はとくに耐久性向上効果が長期にわたって続くかについて確認する必要がある。そのため、本研究は塗布剤の含浸深さ試験と熱冷繰り返し抵抗性試験で間接的に確認を行った。

(1) 塗布剤の含浸深さ

塗布剤のその耐久性向上効果はコンクリートに塗布剤の含浸深さとの関係があると考えられる。塗布剤の含浸深さが深いほど、日光からの紫外線が遮断され、紫外線に起因する塗布剤自身の劣化を防ぎ、その耐久性向上効果を維持することができる。

本研究では、土木学会の「表面含浸材の試験方

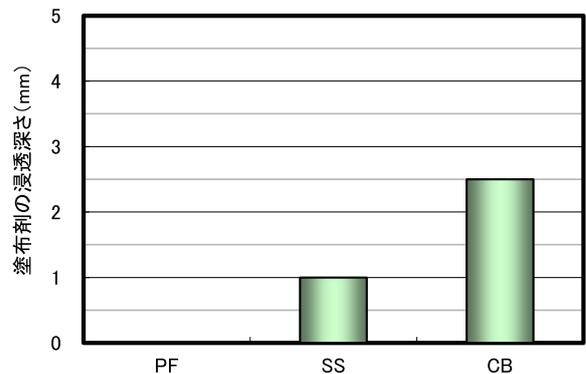


図-8 塗布剤の含浸深さ

法(案)」(JSCE-K571-2004)に準拠し、表面養生剤PF, 吸水防止剤SS, および耐久性向上養生剤CBの含浸深さ試験を行った。この試験では、コンクリート打設3日後に脱枠、塗布剤を塗布し、1週間後に割裂し、含浸深さを測定した。

試験の結果を図-8に示す。この図より、耐久性向上養生剤CBは、他の塗布剤に比べ深く含浸し、2.5mmに達した。これは、水との親和性のある耐久性向上養生剤CBが脱型直後のコンクリートの表層部にある水を介してコンクリートの内部に浸透しやすいことと考えられる。

この結果は耐久性向上養生剤CBはコンクリートに深く含浸することによってその耐久性向上効果が長期間にわたって維持できる可能性を示唆している。

(2) 塗布剤の熱冷繰返し抵抗性

塗布剤の耐候性を評価する項目として熱、水、紫外線が考えられる。本研究は試験体に塗布剤を塗布し、70℃赤外線105分、20℃水散水15分を300サイクル繰返し、試験前後簡易透水試験を行った。その結果を図-9に示す。試験の結果から、耐久性向上養生剤CBと吸水防止剤SS両者ともに、熱冷繰返し試験終了後も吸水防止効果は十分発揮されていることが分かる。これは両者とも、ある程度コンクリート内部に浸透し、その効果を発揮する機構に起因しているものと考えられる。

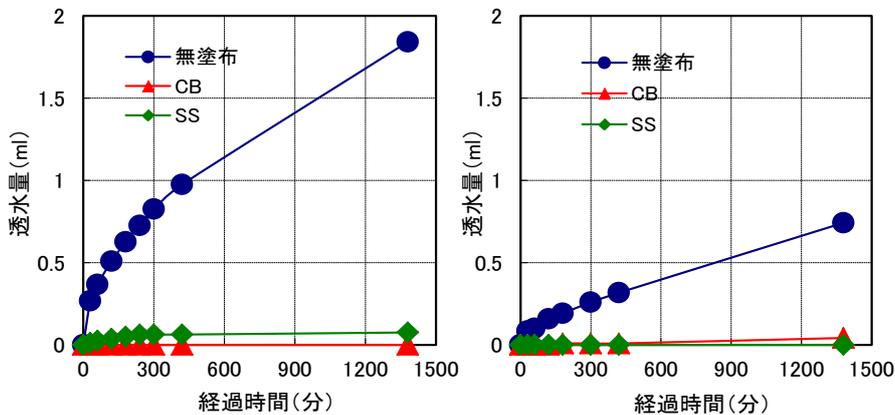


図-9 熱冷繰返し試験前後の防水性

4. まとめ

本研究の実験から以下の知見が得られた。

- (1) 耐久性向上養生剤CBは、水分保持性と強度増進の養生効果があった。
- (2) 耐久性向上養生剤CBの塗布によって、コンクリートの乾燥収縮の減少による乾燥ひび割れの低減、防水性、中性化抵抗性、および塩化物イオン浸透抵抗性の向上効果が確認され、これらの効果によって、コンクリート構造物の耐久性を向上することが考えられる。
- (3) 耐久性向上養生剤CBは、コンクリートに深く含浸することにより、高い耐候性があり、コンクリート構造物に対する耐久性向上効果が長期間にわたって維持できると考えられる。

参考文献

- 1) 上村克郎, 橘高義典, 小西敏正, 膜養生剤によるコンクリート表層強度の向上に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.11, No.1, pp.183-186, 1999
- 2) 榊原泰造, 近松竜一, 十河茂幸, コンクリートの乾燥防止用各種養生剤の適用効果, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.27, No.1, pp.817-822, 2005
- 3) 遠藤裕丈, 田口史雄, 小野俊博, 登靖博, シラン系含浸材で保護されたコンクリートの塩化物イオン浸透予測-暴露試験2年目の評価-, 寒地土木研究所月報 No662, pp.2-10, 2008