

報告 実構造物に塗布した浸透性吸水防止材の長期耐久性および現位置吸水試験方法

芦澤 良一^{*1}・松田 芳範^{*2}・林 大介^{*3}・坂田 昇^{*4}

要旨: シラン・シロキサン系の浸透性吸水防止材を塗布してから5年が経過した鉄道高架橋の防音壁（供用23年後に塗布）、および塗布後4年が経過した壁高欄（新設時に塗布）について、浸透性吸水防止材の耐久性に関する調査を実施した。その結果、表面の撥水効果は、ほぼ消失しているものの、吸水防止効果は保持していることが確認された。また、同調査では、浸透性吸水防止材の吸水防止効果を、現位置にて簡易に評価するための方法についても検討し、従来の試験方法に新たな提案を加えた。

キーワード: 浸透性吸水防止材, 耐久性, 現位置試験

1. はじめに

コンクリート構造物の塩害や凍害などに対する劣化抑制手法の一つとして、外部からの水の浸入を抑制する浸透性吸水防止材の適用が挙げられる。一般に、浸透性吸水防止材は、表面被覆材に比べて少ない工程で短期間に施工することが可能であり、比較的安価であるなどの利点がある。また、浸透性吸水防止材は、コンクリートの表層部に浸透して、吸水防止層を形成するため、表面被覆材に生じやすい膨れや剥がれなどがなく、より長期的な効果の持続が期待される。ただし、浸透性吸水防止材の種類によっては、紫外線やコンクリート中のアルカリに起因した加水分解により、表面撥水性や吸水防止効果を失ってしまうことが懸念される¹⁾。

筆者らは、これまでにシラン・シロキサン系の浸透性吸水防止材について種々の検討を行っており^{2) 3)}、その一環として、実構造物や暴露供試体による、表面撥水性や吸水防止効果の持続性についても検討している。

本報では、シラン・シロキサン系の浸透性吸水防止材を塗布してから5年が経過した鉄道高架橋の場所打ちコンクリート製防音壁、ならびに4年が経過したプレキャストコンクリート製壁高欄について、浸透性吸水防止材の耐久性に関する調査を行った結果を報告する。

また、実構造物に塗布された浸透性吸水防止材の効果を確認する方法として、コンクリート表面に水を噴霧して表面状況を観察する方法や、現位置において吸水性試験を行う方法などが挙げられる。しかし、いずれの方法においても、課題が残されているのが現状である。本調査では、従来の試験方法に加えて、課題を解決するための新たな方法について

検討したので、併せて報告を行う。

2. 浸透性吸水防止材の効果

2.1 場所打ちコンクリート製防音壁の調査

(1) 対象構造物の概要

対象構造物は、1979年に建設され、供用28年が経過した鉄道高架橋における高さ2.0mの場所打ち鉄筋コンクリート製の防音壁である。防音壁の外観を写真-1に示す。

防音壁に使用されたコンクリートの配合条件を表-1に示す。コンクリートは、普通ポルトランドセメントを用い、設計基準強度が24N/mm²、耐久性から定まる水セメント比が53.0%のものである。

また、当該構造物は豪雪地域に位置し、冬期には線路内の積雪の除去を目的とした散水が行われるため、防音壁の表面には直接水が作用する環境にある。



写真-1 場所打ちコンクリート製防音壁の外観

表-1 コンクリートの配合条件

設計基準強度	セメント種類	粗骨材最大寸法	目標スランブ	目標空気量	耐久性から定まるW/C
24N/mm ²	普通	25mm	12±2.5cm	4.0±1.0%	53.0%

*1 鹿島建設（株） 技術研究所 土木構造・材料グループ 研究員 工修（正会員）

*2 東日本旅客鉄道（株） 建設工事部構造技術センター コンクリート構造グループ 副課長（正会員）

*3 鹿島建設（株） 技術研究所 土木構造・材料グループ 主任研究員（正会員）

*4 鹿島建設（株） 技術研究所 土木構造・材料グループ チーフ兼上席研究員 博士（工学）（正会員）

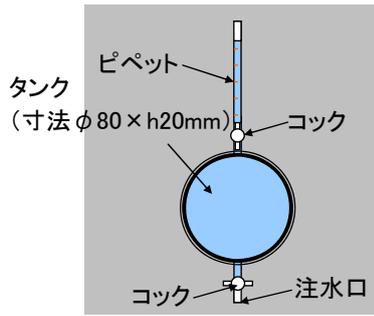


図-1 現位置における吸水性試験器の概要図

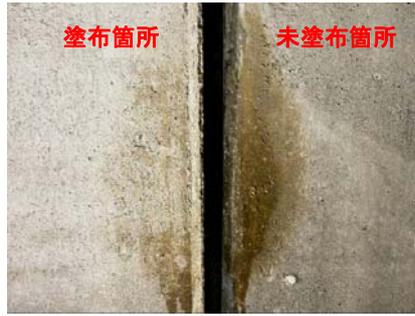


写真-2 水の噴霧による吸水防止状況



写真-3 表面撥水状況

(2) 浸透性吸水防止材の塗布方法

防音壁の線路側に面した高さ 2.0m×幅 5.0m程度の範囲に、供用 23 年が経過した時点において、エアレススプレーを用いて浸透性吸水防止材を塗布した。なお、塗布に際しては、コンクリート表面を硬質スポンジで洗浄後、高周波容量式モルタル・コンクリート水分計 (20MHz) によりコンクリートの表面水分率が 5%以下であることを確認した。浸透性吸水防止材には、シラン・シロキサン系の材料^{2) 3)} (密度; 0.90g/cm³) を用い、塗布量は同材料の標準塗布量である 200g/m²とした。

(3) 調査方法

本調査では、浸透性吸水防止材を塗布してから 5 年経過時に、外観状況の観察および現位置における吸水性試験を実施した。なお、本調査は、綱嶋ら⁴⁾ が浸透性吸水防止材の塗布後、1 ヶ月、1 年および 3 年経過した時点で実施した調査の追跡調査として行った。

外観状況の観察では、コンクリート表面を硬質のスポンジで洗浄してから水を噴霧し、撥水状態や表面の色調の変化を観察した。

現位置における吸水性試験では、図-1 に示すような、内径 80mm×厚さ 20mmの円形の吸水性試験器具を用いた⁵⁾。この試験器具をコンクリート表面に設置し、試験器内を水で満たした後、1 時間が経過するまで、5 分間隔で試験器に付属しているピペットの目盛りを測定してコンクリートへの吸水量を求めた。

これらの試験は、浸透性吸水防止材の塗布箇所、および比較として未塗布箇所に対して実施した。

(4) 調査結果

①水の噴霧による外観状況の観察結果

浸透性吸水防止材の塗布、および未塗布箇所に水を噴霧した状況を写真-2 に示す。未塗布箇所では、水が浸透し、コンクリート表面が濡れ色を呈した。これに対して、塗布箇所では、噴霧した水は浸透しにくく、下方に流れ落ち、濡れ色とならないことが観察された。

なお、塗布箇所の一部であるが、写真-3 に示すように、表面が撥水する箇所も観察された。

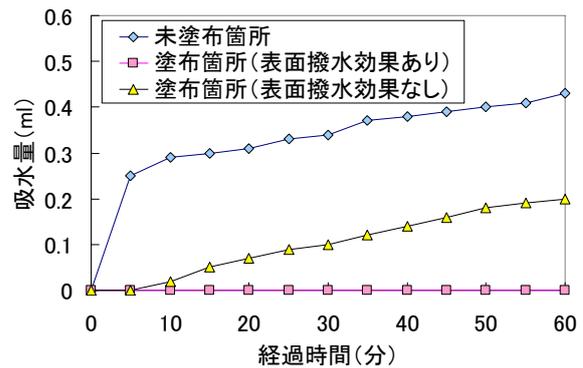


図-2 現位置における吸水性試験の結果

綱嶋らの調査によれば、塗布後 1 年までは水を水滴状にはじき、良好な表面撥水効果が確認されるが、塗布後 3 年の時点では今回の外観状況と同様の状況であることが示されている。

これらのことより、当該構造物における表面撥水効果は、塗布後 1 年程度の間にはほぼ失われたと考えられる。これは、紫外線の影響や散水によるコンクリート表面の溶出に伴って、ごく表面の吸水防止層が消失したためと考えられる。

②現位置における吸水性試験結果

浸透性吸水防止材の塗布箇所における吸水性試験は、外観観察で確認された表面撥水効果を保持している箇所、および表面撥水効果が消失した箇所について実施した。

図-2 に、試験開始からの経過時間と吸水量の関係を示す。浸透性吸水防止材の未塗布箇所では、試験開始後 5 分程度の中に急激に吸水し、その後、吸水量は漸増して 60 分後には 0.45ml 程度となった。一方で、塗布箇所のうち、明確な表面撥水効果を示した箇所では試験開始から 60 分経過しても吸水しない結果であり、高い吸水防止効果を保持していることが確認された。また、表面撥水効果が消失した箇所では、試験開始後 10 分程度までは吸水しなかったが、その後、吸水量は漸増して 60 分後には 0.2ml 程度となった。同箇所でも、表面撥水効果を示した箇所よりも吸水した理由として、吸水防止層が

消失した表層部が吸水経路となって水が平面的に拡散したことが考えられる。したがって、表面撥水効果が消失した箇所におけるコンクリート内部への水の浸透は、実際には試験結果よりも少ない可能性がある。

2.2 プレキャストコンクリート製壁高欄の調査

(1) 対象構造物およびコンクリート供試体の概要

対象構造物は、2003年7月に施工され、供用4年が経過した鉄道高架橋におけるプレキャスト製の壁高欄であり、1枚あたりの寸法は、高さ2.0m×幅1.0mである。壁高欄の外観を写真-4に示す。

コンクリートの使用材料および配合を、それぞれ表-2および表-3に示す。コンクリートは、普通ポルトランドセメントを用い、水セメント比が38.8%のものであり、蒸気養生を行っている。蒸気養生は、コンクリートの打込みから2時間前置きし、その後2時間かけて50℃まで温度を上昇させ、4時間温度を保持させた。

また、本調査では、浸透性吸水防止材の浸透深さなどを経年的に確認するため、壁高欄と同一の配合条件、養生条件で作製し、浸透性吸水防止材を全面に塗布したコンクリート供試体(φ100×200mm)を、実構造物付近に建設と同時期から暴露した。

なお、当該構造物は関東平野の中ほどに位置し、比較的温暖な環境にある。

(2) 浸透性吸水防止材の塗布方法

蒸気養生後、7日間気中に静置してから、壁高欄の線路外側の面に浸透性吸水防止材を塗布した。浸透性吸水防止材には、シラン・シロキサン系の浸透性吸水防止材の標準タイプ、および高浸透タイプの二種類を用いた。ここで、標準タイプとは、前述した防音壁に用いたものと同じものである。また、高浸透タイプとは、水セメント比が小さく、緻密な組織を形成するプレキャスト製品用として開発したものであり、標準タイプからシラン分子およびシロキサン分子のバランスなどを改良し、より高い浸透性の付与を図ったものである。塗布量は、各タイプの浸透性吸水防止材について、それぞれ100g/m²および200g/m²とした。試験ケースを表-4に示す。

(3) 調査方法

本調査では、暴露開始から2年9ヵ月、および4年経過時において、表-5に示す試験を実施した。

壁高欄については、表面を硬質のスポンジで洗浄した後、水を噴霧して外観状況の観察を行った。

また、コンクリート供試体については、浸透深さ、中性化深さ、および吸水率を測定した。浸透深さは、供試体を割裂し割裂面に水を噴霧して、供試体の表面から濡れ色にならない範囲までの深さを測定した。中性化深さは、供試体の割裂面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、着色しない範囲までの深さを測定した。吸水率は、



写真-4 プレキャストコンクリート製壁高欄の外観

表-2 使用材料

材料	記号	摘要
水	W	上水道水
セメント	C	普通ポルトランドセメント 密度; 3.16g/cm ³
細骨材	S	砕砂, 密度; 2.62g/cm ³
粗骨材	G	砕石, Gmax; 15mm, 密度; 2.62g/cm ³
混和剤	Ad1	高性能減水剤
	Ad2	AE剤
浸透性吸水防止材	—	シラン・シロキサン系 (標準タイプ)
	—	シラン・シロキサン系 (高浸透タイプ)

表-3 配合

W/C (%)	s/a (%)	単用量(kg/m ³)				混和剤 (C×%)	
		W	C	S	G	Ad1	Ad2
38.8	48.0	170	425	817	895	1.0	0.05

表-4 試験ケース

No.	浸透性吸水防止材の種類	塗布量 (g/m ²)	対象
1	未塗布	—	壁高欄・供試体
2	標準タイプ	200	壁高欄・供試体
3		100	
4	高浸透タイプ	200	壁高欄・供試体
5		100	

表-5 試験項目の一覧

試験項目	試験方法	対象
外観状況	水の噴霧による目視観察	壁高欄
浸透深さ	割裂面に水を噴霧し、表面から濡れ色にならない範囲までの深さを測定	供試体
中性化深さ	JIS A 1152に準拠	供試体
吸水率	72時間吸水後の表乾質量、炉乾燥後の絶乾質量を測定	供試体

水中に72時間浸漬して吸水させた後の表面乾燥状態における質量、および質量変化がなくなるまで炉乾燥させ

た後の絶対乾燥状態の質量を測定して求めた。

(4) 調査結果

①壁高欄の調査結果

暴露開始から2年9ヵ月、および4年が経過した時点において、浸透性吸水防止材の未塗布箇所では、噴霧した水がコンクリートに浸透して濡れ色を呈した。これに対して、塗布箇所では、浸透性吸水防止材の種類や塗布量によらず、部分的に濡れ色になる箇所があるものの、噴霧した水が下方に流れ落ち、水が浸透しにくいことが観察された。このことから、塗布後4年経過した時点においても、吸水防止効果を保持していると考えられる。水を噴霧した状況の一例を写真-5に示す。

表面撥水効果については、暴露開始から2年9ヵ月が経過した時点で、いずれのケースでも確認されなかった。

以上の結果は、前述した防音壁の外観状況と同様の傾向を示すことから、当該構造物においても、塗布後1年程度の期間で表面撥水効果を失った可能性があると考えられる。

②コンクリート供試体の調査結果

供試体の仕上げ面と側面における浸透深さの平均値を、図-3に示す。標準タイプの浸透性吸水防止材を200g/m²塗布した場合の浸透深さは、2.5~3.4mmの範囲であるのに対して、高浸透タイプを200g/m²塗布した場合は3.1~4.7mmと、標準タイプに比べて浸透深さが大きい結果であった。この結果より、高浸透タイプのシラン分子とシロキサン分子のバランスが、本供試体のような緻密な組織を有するコンクリートに対して、適切であったことが確認された。

また、塗布量の違いについては、標準タイプおよび高浸透タイプの両者において、塗布量を100g/m²とした場合よりも200g/m²とした場合の方が、浸透深さは大きくなる傾向にあることが確認された。

さらに、各ケースの浸透深さの経年変化に着目すると、供試体間の測定結果にばらつきがあるものの、いずれのケースについても、経年に伴う吸水防止層の消失や、浸透深さが減少するような傾向は認められなかった。

中性化の進行は、暴露開始から2年9ヵ月が経過した時点では、浸透性吸水防止材の有無や種類によらず、いずれの供試体についても認められなかった。これは、本供試体の水セメント比が38.8%と小さく、かつ蒸気養生によって緻密な組織が形成されているためと考えられる。暴露開始から4年が経過した時点では、供試体の仕上げ面のみで中性化の進行が認められた。仕上げ面の中性化深さを、図-4に示す。標準タイプを塗布した供試体では、塗布量によらず4.2~4.5mm程度の中性化深さを示し、未塗布の2.2mmに比べて進行している結果となった。一方で、高浸透タイプを塗布した供試体では、塗



(a) 塗布箇所 (b) 未塗布箇所
写真-5 水の噴霧による吸水防止状況

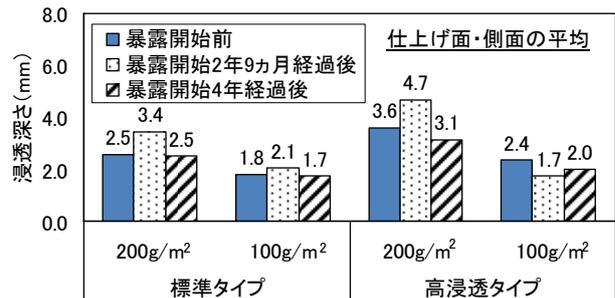


図-3 浸透性吸水防止材の浸透深さの測定結果

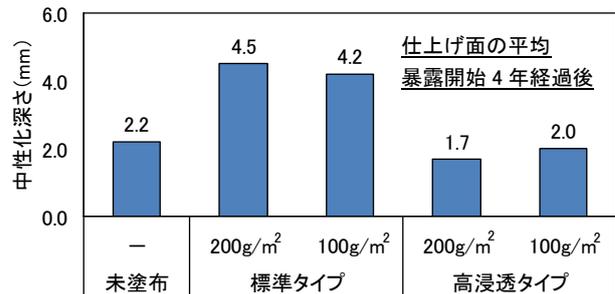


図-4 中性化深さの測定結果

布量によらず1.7~2.0mm程度であり、未塗布と同程度であった。

既往の研究⁶⁾では、浸透性吸水防止材を塗布することで、コンクリート外部からの水の浸透を抑制するとともに、内部の水分を水蒸気として放出するため、コンクリートの含水状態が中性化の進行しやすい状態になる可能性があり、未塗布のコンクリートに比べて中性化の進行が早くなる傾向にあることが示されている。本調査においては、高浸透タイプを塗布した供試体で従来の知見と異なる傾向を示したが、いずれのケースについても仕上げ面のみで中性化の進行が認められることから、供試体作製時に生じたブリーディングや仕上げ状態などにより生じた供試体間のばらつきの影響も含まれるものと思われる。今後、データを蓄積して検討を行うことが必要と考えられる。

暴露開始から2年9ヵ月が経過した時点で回収した供

試体の吸水率の測定結果を、**図-5** に示す。浸透性吸水防止材を未塗布の供試体は、吸水率が 3.8%であった。これに対して、浸透性吸水防止材を塗布した供試体の吸水率は、浸透性吸水防止材の種類や塗布量によらず 2.3～2.6%の範囲にあり、コンクリート内部の吸水防止層によって、水の浸入を抑制しているものと考えられる。

3. 現位置における浸透性吸水防止材の効果確認方法

3.1 水の噴霧による方法

コンクリート表面への水の噴霧によって、浸透性吸水防止材の撥水および吸水防止効果を確認する方法は、簡易かつ迅速な方法であり、広く適用されている。しかし、本方法は、浸透性吸水防止材の効果を定性的に評価するに留まっている。ここでは、水の噴霧による方法について、定量的な評価方法の検討を行った。

具体的には、コンクリート表面に水を噴霧した際に、水滴が下方に流れる距離に着目した。

前述した防音壁の調査において、コンクリート表面から 3cm 程度離れた位置で、霧吹きにより水を 5 回噴霧 (4.5ml 程度) し、水滴が下方に流れ落ちる距離を測定した。

試験状況の一例を、**写真-6** に示す。噴霧した水が流れ落ちる距離は、水の噴霧により濡れ色を呈した未塗布箇所では 10cm 程度であった。これに対して、水を噴霧しても濡れ色とならず吸水防止効果が確認された塗布箇所の距離は 40～120cm 程度であり、未塗布箇所の 4～12 倍となった。

今後、データを蓄積して検討することが必要であるが、従来の水の噴霧によるコンクリート表面の色調の変化に加えて、本方法の結果を総合的に評価することで、吸水防止効果の定量的な評価が可能になるものと考えられる。

3.2 現位置における吸水性試験方法

防音壁の調査において、現位置の吸水性試験によって比較的短時間で浸透性吸水防止材の吸水防止効果を評価できることが考えられた。ただし、同試験方法は、接着面からの漏水により、試験中に試験器具が外れる場合があることが問題点とされている⁵⁾。

このことを踏まえて、防音壁の調査では、試験器具にシリコン系接着剤を適量塗布し、コンクリート表面に接着した後、**写真-7** に示すように試験終了時まで試験器具が剥落しない程度に補助的に手で押さえておくものとした。

本方法によって、試験中に試験器具が剥落することなく、試験終了時まで吸水量の計測が可能であった。しかしながら、試験中に試験器具のピペットの目盛りが急激に低下する場合が生じた。同現象を観察したところ、接

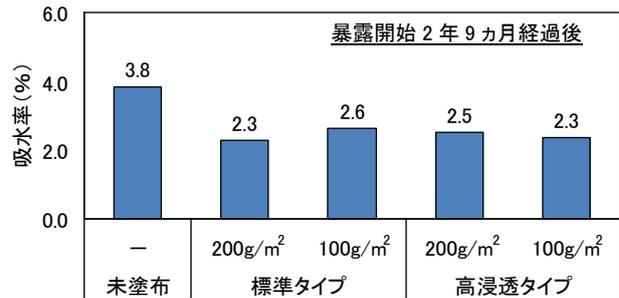
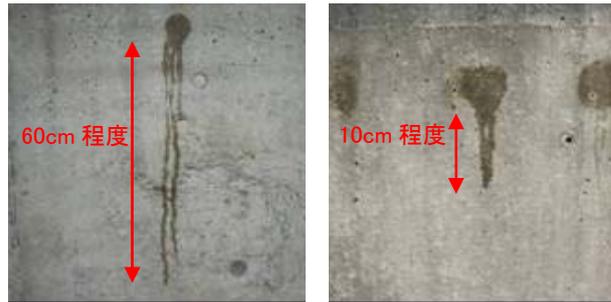


図-5 吸水率の測定結果



(a) 塗布箇所 (b) 未塗布箇所
写真-6 噴霧した水の流れ落ちる距離の状況



写真-7 現位置における吸水性試験器具の設置状況

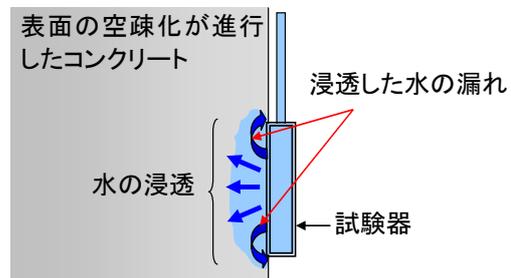


図-6 試験器周辺における漏水の概念図

着面の漏水ではなく、試験器具の設置箇所周辺のコンクリート自体から漏水していることが確認された。これは、**図-6** に示すように、表面の空疎化が進行したコンクリートや、吸水防止効果のないコンクリートでは吸水量が多くなり、浸透した水がコンクリートを通じて試験器具の外側に漏水したものと考えられる。従来の試験方法に

おける問題点は、接着面からの漏水ではなく、上述した現象によって生じていた可能性があり、このようなコンクリートは吸水量が大きく、吸水防止効果がないコンクリートと判定されるものと考えられる。

4. まとめ

本報では、浸透性吸水防止材を塗布した実構造物、およびコンクリート供試体について、浸透性吸水防止材の耐久性に関する調査を行った。また、現位置にて吸水防止効果を確認する方法について、従来の方法に新たな提案を加えた。その結果、以下に示す知見を得た。

- (1) 場所打ちコンクリート製防音壁、およびプレキャストコンクリート製壁高欄の調査では、4～5年経過時点においても吸水防止効果は保持していることが確認された。また、表面撥水効果は、塗布後1年程度の間にはほぼ消失していることが考えられた。
- (2) 壁高欄と同一の条件で作製・暴露したコンクリート供試体の分析より、暴露開始から4年経過した時点においても暴露開始前と同程度の深さの吸水防止層を保持していた。
- (3) 水の噴霧による色調の変化に加えて、水の流れ落ちる距離を測定することで、より定量的に吸水防止効果を評価できることが考えられた。
- (4) 現位置における吸水性試験では、試験器具を外側から押さえておくことで、試験器具の剥落を防止でき、吸水性の高いコンクリートに対しても評価できることが考えられた。

参考文献

- 1) 土木学会編：コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告，コンクリート技術シリーズ 68，p.154，2006
- 2) 林大介，坂田昇，三村俊幸，神沢弘：シラン・シロキサン系撥水材の開発，コンクリート工学年次論文集，vol.22，No.1，pp.301-306，2000.7
- 3) 林大介，坂田昇，横関康祐，芦澤良一：シラン・シロキサン系浸透性吸水防止材を用いたコンクリート構造物の高耐久化技術の開発，鹿島技術研究所年報，第52号，pp.113-118，2004.9
- 4) 綱嶋和彦，松田芳範，津吉毅，石橋忠良：撥水・浸透系防水塗膜材の暴露試験3年目の評価について，コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告，コンクリート技術シリーズ 68，pp.225-236，2006
- 5) 叶健児，石川一郎，守屋進：浸透性コンクリート保護材の性能評価に関する検討，コンクリートの表面被覆および表面改質技術研究小委員会報告，コンクリート技術シリーズ 68，pp.255-264，2006
- 6) 芦澤良一，林大介，坂田昇，田口史雄，遠藤裕丈：塩害および凍害環境下における浸透性吸水防止材を塗布したコンクリートの暴露試験，土木学会第62回年次学術講演会講演概要集，第V部門，pp.151-152，2007.9