

論文

[1091] アクリルゴム系弾性防水材料による鉄筋コンクリート造の塩害防止に関する効果の評価

正会員 梶田佳寛 (建設省建築研究所)
 正会員 安田正雪 (建設省建築研究所)
 正会員 ○谷川 伸 (東亜合成化学工業製品研究所)
 正会員 武田晋治 (東亜合成化学工業製品研究所)

1. まえがき

塩害による鉄筋コンクリート構造物の早期劣化の対策として、鉄筋の腐食要因である塩分、水分、酸素の外部からの浸透を阻止する目的で、コンクリート表面を防水材料で塗装被覆する方法がある。コンクリート中に既に各レベルの外観的な損傷状況に加えて鉄筋腐食に対する塩害劣化要因を内在した場合、3種のアクリルゴム系弾性防水材料による塩害防止効果を促進試験で進めてきたが、試験期間がまだ短いという点で評価には不十分であった[1]。

そこで本研究は、鉄筋腐食に対する劣化要因を内在している場合、塗膜の塩害防止効果についてさらに長期の促進試験を継続し、実暴露試験を加えて評価したものである。

2. 実験要因及び実験方法

補修対象の鉄筋コンクリート構造物を想定して表-1に示す。塩害要因に分類しそれぞれを代表するコンクリート供試体水準に割り当てた。実験Ⅰは外観的な損傷は無いが、鉄筋腐食要因(塩分、水分、中性化)を内在している場合、実験Ⅱは断面修復材と旧コンクリー

表-1 供試体の構成

実験	Ⅰ 鉄筋腐食要因の内在	Ⅱ マクロセルの形成	Ⅲ ひびわれの発生																											
コンクリート供試体																														
かぶり厚さ	a, c: 30 × 15mm b, d: 40 × 40mm	a, c: 30 × 15mm b, d: 40 × 40mm	a, b, c, d: 20 × 20mm																											
塩分量	0.3, 0.6, 1.0 %	0 / 0.3, 0 / 0.6 %	0.1, 0.3 %																											
含水状態	絶乾, 気乾, 湿潤	気乾	気乾																											
中性化深さ	15 ~ 25mm	15 ~ 25mm	5 ~ 15mm																											
コンクリート配合	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">最大骨材 寸法 (mm)</th> <th rowspan="2">水セメント 比 (%)</th> <th rowspan="2">細骨材率 (%)</th> <th rowspan="2">空気量 (%)</th> <th rowspan="2">スランプ (cm)</th> <th colspan="4">単位量 (kg/m³)</th> </tr> <tr> <th>水</th> <th>セメント</th> <th>細骨材</th> <th>粗骨材</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25</td> <td>65</td> <td>47</td> <td>4</td> <td>18</td> <td>185</td> <td>285</td> <td>847</td> <td>958</td> </tr> </tbody> </table>								最大骨材 寸法 (mm)	水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	スランプ (cm)	単位量 (kg/m ³)				水	セメント	細骨材	粗骨材	25	65	47	4	18	185	285	847	958
最大骨材 寸法 (mm)	水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	空気量 (%)	スランプ (cm)	単位量 (kg/m ³)																									
					水	セメント	細骨材	粗骨材																						
25	65	47	4	18	185	285	847	958																						
アクリルゴム系 防水材料 伸び率、強さ 樹脂量を表示	防水材料 A 330%, 25kgf/cm ² (樹脂量54%)	防水材料 A 330%, 25kgf/cm ² (樹脂量54%)	A 330%, 25kgf/cm ² (樹脂量54%) B 810%, 27kgf/cm ² (樹脂量54%) C 175%, 28kgf/cm ² (樹脂量34%)																											

ト界面に塩分濃度の濃淡が生じる場合(マクロセルの形成)、実験Ⅲはひびわれが鉄筋にまで到達している場合である。防水材料として高弾性型アクリルゴム系防水材料(以下防水材料Aと略す)、高弾性高張力型アクリルゴム系防水材料(以下防水材料Bと略す)、低弾性型アクリルゴム系防水材料(以下防水材料Cと略す)の3種類を用いた。尚、実験Ⅰ,Ⅱは防水材料Aのみで試験し、実験Ⅲでは防水材料A, B, Cの鉄筋腐食防止に対する性能比較を実施した。各実験における要因と水準を表-1に示す。

(1)コンクリート

供試体の作製

試験に用いたコンクリート供試体の配合及び形状を表-1に示す。実験Ⅲは、ポリエチレン製のスペーサー(厚さ0.3mm)を予め取り付けられた型枠を使用し、4箇所鉄筋の裏側の深さまで疑似ひびわれを挿入した。

(2)中性化促進劣化処理

中性化促進試験機を用い二酸化炭素濃度5%(温度20℃,湿度60%RH)の条件で実験Ⅰ,Ⅱでは214日、実験Ⅲでは30日間処理し、実験Ⅰ,Ⅱで15~25mm、実験Ⅲで5~15mmの中性化深さとした。

(3)供試体の含水率調製

防水材料塗装の前に、水中浸漬(湿潤水準)、20℃・60%RH(気乾水準)、60℃乾燥(絶乾水準)の各々の雰囲気中に14日間放置した。

(4)防水材料の施工

防水材料は下塗材(合成樹脂系、塗布量0.3kg/m²)、中塗材(アクリルゴム系水系、塗布量1.7kg/m²)、トップコート(防水材料A, Bはアクリルウレタン系、防水材料Cはアクリル樹脂系、塗布量0.3kg/m²)の3層から形成される。防水主材塗膜のJIS A 6021「屋根用防水塗膜材」準拠した引張り物性及び主材塗膜中の樹脂量を表-1に示す。防水材料は供試体の全面に塗布した。実験Ⅲのひびわれ部は、防水主材を施す前にひびわれ処理用塗膜[2](伸び800%、引張り強さ3kgf/cm²の低モジュラス品)を、塗布量は0.5kg/m²でひびわれに沿って10cmの幅で塗布した。尚、非塗装試験体は、実験Ⅰについては文献[3]で類似の試験体を用いて既に示されているので文献値により防水材料被覆品との比較を行った。

表-2 劣化試験法

実験	劣化試験法		期間
I, II	高温高湿劣化試験 (3日/1サイクル)	60℃, 95~100%RH×2日(高湿) ⇔60℃, 40~50%RH×1日(低湿)	3, 9, 18ヶ月
III	促進試験 塩水シャワー/乾燥試験 (3日/1サイクル)	3%塩水シャワー(液温50℃)×2日 ⇔50℃強制乾燥×1日	3ヶ月
	塩水浸漬/乾燥試験 (4日/1サイクル)	3%塩水浸漬(液温50℃)×2日 ⇔50℃強制乾燥×2日	3ヶ月
	実暴露試験	沖縄県備瀬崎(海岸から3m) 北海道紋別市(海岸から500m)	12ヶ月

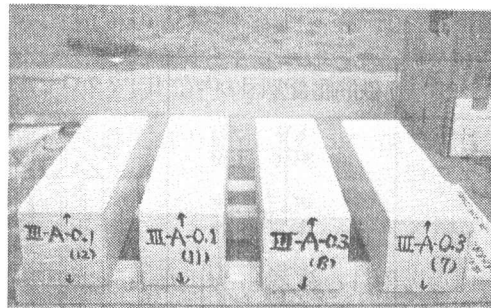


写真-1 実暴露試験（沖縄県）

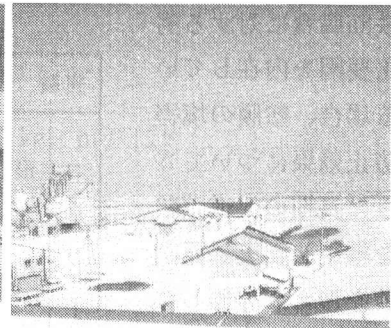


写真-2 実暴露試験（北海道）

(5)劣化試験

実験Ⅰ,Ⅱ,Ⅲに対する劣化試験法を表-2に示す。又、沖縄県及び北海道における実暴露状況を写真-1,2に各々示す。

(6)測定項目と測定方法

①外観試験：コンクリート表面のひびわれ発生の有無、塗膜のふくれ等の異常を目視判定。②塗膜の付着力強さ：JIS A 6910「複層仕上塗材」に準拠し建研式接着力試験機を用いて測定。③中性化深さ：供試体切断面にフェノールフタレイン1%溶液を塗布し非着色部の深さを測定。④腐食面積率：トレース用紙に腐食部を写し取って、面積を算出。⑤腐食減量率：10%クエン酸二アンモニウム溶液に鉄筋を浸漬して腐食生成物を除去し、重量変化率を算出。

3. 結果と考察

3.1 実験Ⅰ

(防水材A, 高温高湿劣化処理 3,9,18ヶ月)

(1)外観変化

18ヶ月劣化処理品には防水塗膜の膨れ、剥がれ、割れ等の異常はなく、防水膜をカッターナイフで剥ぎ取りコンクリート表面を観察した結果、鉄筋腐食に起因するひびわれは何れの供試体にも認められなかった。

(2)塗膜の付着力強さ、及びコンクリート水分の経時変化

塗膜の付着力強さの経時変化を図

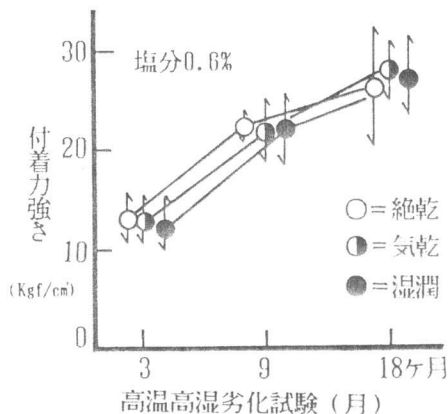


図-1 防水材の付着力強さ

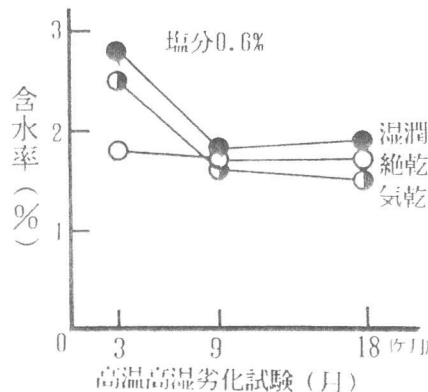


図-2 コンクリート水分の経時変化

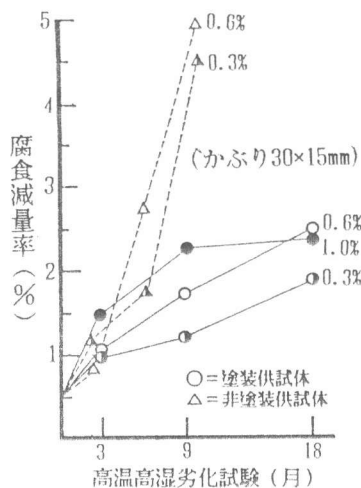


図-3 腐食減量率の経時変化

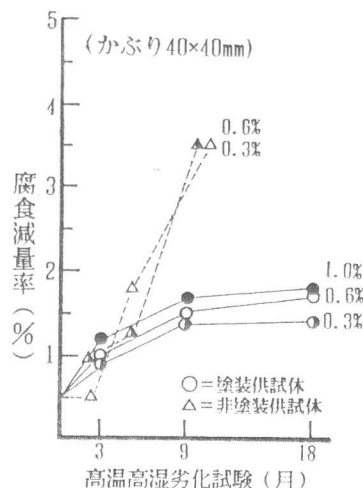


図-4 腐食減量率の経時変化

-1に示す。防水材Aの付着力は、供試体の初期含水状態に関係なく 10kg/cm² 以上であり、劣化試験進行に伴い経時的に上昇している。付着力増加の理由の一つは、図-2に示すように防水材Aに外部からの水の浸入を防止するだけでなく、供試体中の過剰水分を外部に放出する機能が認められ、供試体中の含水率が平衡状態に保たれることが挙げられる。

(3)腐食面積率及び腐食減量率

気乾水準で防水材Aを施工した場合の塩分量と腐食減量率の関係を図-3,4に示す。全般に、塩

分量が増加すると腐食量が増大する傾向にある。又、劣化試験が進行するに従い、腐食速度の鈍化傾向が認められる。尚、図-3,4には比較のため本試験と類似の条件、即ち60℃、95%RH以上2~3日、気乾放置(常温)2~3日の繰り返しサイクルで処理した非塗装試験体の腐食減量率を示した[2]。本試験との比較は、この高温高湿・乾燥1サイクルを本試験と同様の3日と仮定して行った。腐食減量率0.5%は黒皮部によるものとして除いて考えると[3]、促進試験9ヶ月に於て、塩分0.3、0.6%の水準で防水材Aを塗装した供試体のかぶり30X15mmの鉄筋は、非塗装供試体のかぶり40X40mmの鉄筋の各々1/4、1/2程度の腐食減量率を示している。腐食の進行は鉄筋に対する最小かぶりにより支配されるものと仮定すると防水材A塗装供試体と非塗装供試体の有効かぶり差は25mmであり、防水材Aによる塗装は有効かぶりを15mmから40mmに増加させた場合の1/2、1/4に腐食減量率を抑えていることから、防水材Aはコンクリートかぶり50~100mmに相当することが推定される。

3.2 実験II

(防水材A, 高温高湿劣化処理
3,9,18ヶ月)

(1) 外観変化

何れの供試体にも塗膜外観の異常、及びコンクリート表面のひびわれは認められなかった。

(2) 塗膜の付着力強さ

防水材の付着力強さは全ての供試体で10kg/cm²以上であり、劣化処理による低下は認められない。

(3) 腐食面積率及び腐食減量率

塩分濃淡分布界面の腐食面積率を鉄筋を1cm刻みに区分して測定した結果を図-5,6に示す。促進3ヶ月では塩分濃淡分布界面での腐食面積率が大きくなっているが、促進9、18ヶ月になると塩分0.3、0.6%部の腐食面積率が徐々に大きくなっており、塩分濃淡分布界面のマクロセルの形成により発生した錆が塩分含有部へと進行し、平均化したものと推定される。

3.3 実験III

(防水材A, B, C: 塩水シャワー/乾燥処理3,9ヶ月、塩水浸漬/乾燥処理3ヶ月、
防水材A: 沖縄、北海道実暴露12ヶ月)

(1) 外観変化

何れの供試体にも塗膜外観の異常、コンクリート表面の新たなひびわれ、及び初期ひびわれ挿入部からの錆汁の溶出は認められなかった。

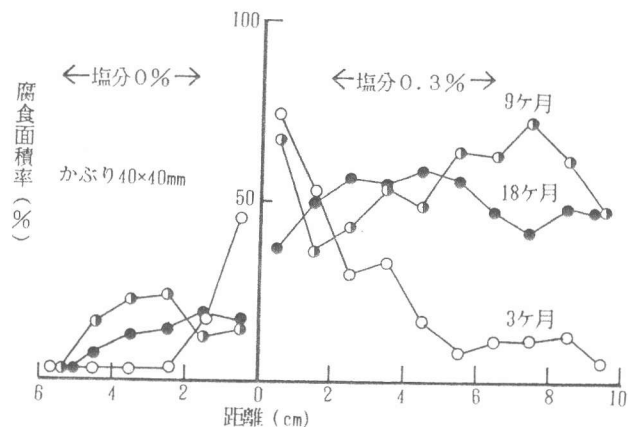


図-5 塩分濃淡分布界面の腐食面積率 (塩分量: 0%~0.3%)

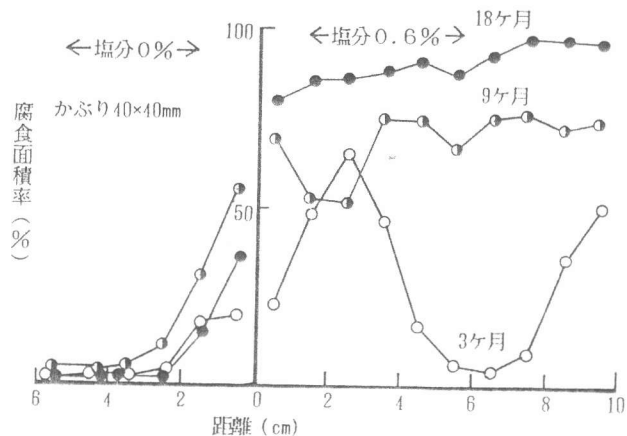


図-6 塩分濃淡分布界面の腐食面積率 (塩分量: 0%~0.6%)

(2)塗膜の付着力強さ

防水材の付着力強さは全ての供試体で10kg/cm²以上であり、劣化処理による低下傾向は認められない。

(3)腐食面積率及び腐食減量率

塩水シャワー／乾燥処理3、9ヶ月での腐食面積率及び腐食減量率を図-7,8,9,10に、鉄筋表面の発生状態を図-11に示す。これより、塩分0.1%水準では防水材A、Bを塗装したものは促進9ヶ月までほとんど腐食していないことが認められる。これに対し、塩分0.3%水準では、防水材A、Bと比較して防水材C（低弾性アクリルゴム系）の腐食度合がかなり大きい。又、防水材A、Bの鉄筋腐食はひびわれ挿入部付近に集中しているのに対し、防水材Cでは全面的に広がっている。これは、図-12に示すように防水材A、Bは促進3~9ヶ月で中性化深さを逆に低下

させるのが認められるが、防水材Cはこれを進行させていることから、防水材Cの塗膜中に占める樹脂量が少なく、緻密な膜でないため、中性化の要因である炭酸ガスと鉄筋の腐食要因である

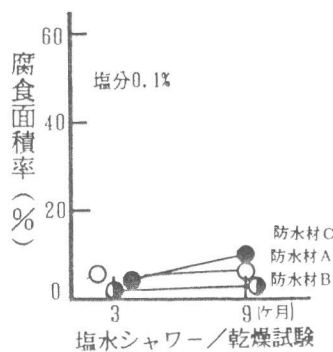


図-7 腐食面積率の経時変化

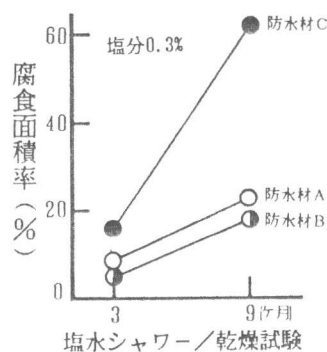


図-8 腐食面積率の経時変化

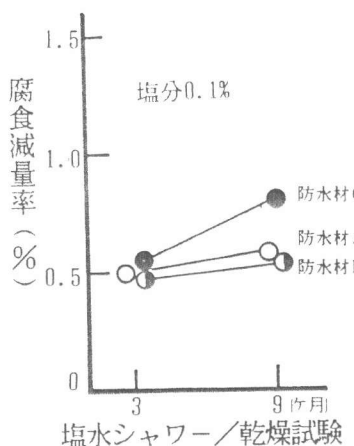


図-9 腐食減量率の経時変化

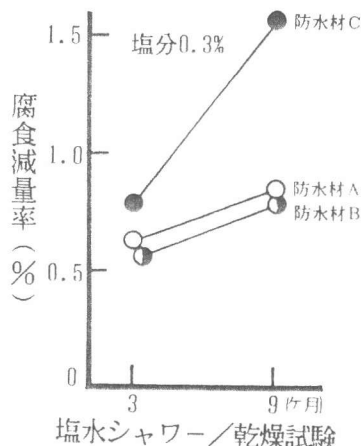


図-10 腐食減量率の経時変化

図-11 ひび割れ部での鉄筋腐食状態（実験III：促進劣化試験）

試験材料	鉄筋の腐食状態*1) (图中 -- は幅0.3mmのひびわれ挿入部)	
	塩水シャワー／乾燥試験：3ヶ月	9ヶ月
防水材A		
防水材B		
防水材C		

*1) □ : 腐食なし □ (dotted) : 表面的腐食 ■ : 断面欠損の明らかな著しい腐食
*2) 塩分量はすべて0.3%。

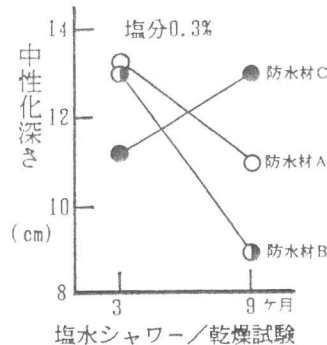


図-12 中性化深さの経時変化

酸素、水分、塩素イオンを通し易くなっているためと考えられる。

次に、防水材Aを塗装した供試体の塩害促進処理、実暴露処理後の腐食面積率、腐食減量率を図-13, 14に示す。塩害促進処理では塩分0.3%水準の腐食量が0.1%水準に比較してかなり大きい。これに対し、実暴露処理では塩分0.1%と0.3%水準間で同等の腐食量を示す。塩分0.3%水準でこの両処理を比較すると、腐食量は塩害促進処理3,9ヶ月>実暴露12ヶ月の傾向を示しており、本試験での塩害促進試験は海岸付近での実暴露試験に比較して厳しい条件であることが示された。又、塩害促進3ヶ月では、塩水浸漬/乾燥処理は塩水シャワー/乾燥処理に比較して腐食面積率では同等だが、腐食減量率では3倍以上であり、深さ方向にかなり腐食が進行しているものと推察される。

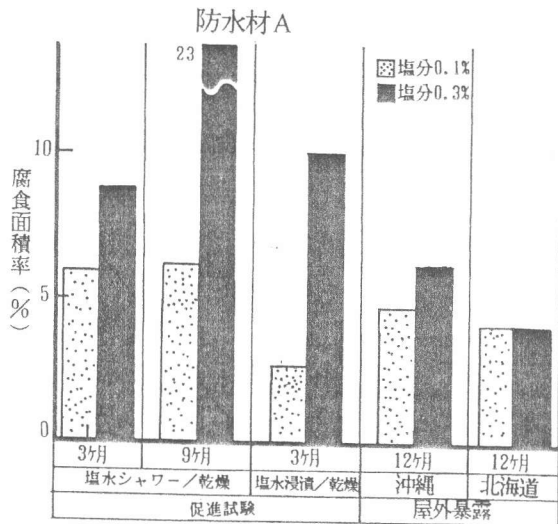


図-13 劣化処理後の面積率

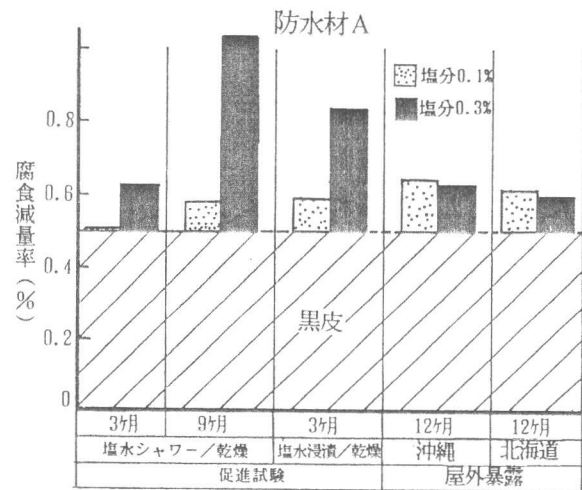


図-14 劣化処理後の減量率

4. まとめ

本実験で得られた結論をまとめて次に示す。

- (1)本試験では、全ての供試体でアクリルゴム系弾性防水材の付着力強さはコンクリート下地に対して 10kg/cm² 以上であり、塩害促進処理、実暴露処理により低下しないことが認められた。
- (2)塩分 0.6%までの供試体で、アクリルゴム系防水材はコンクリートのかぶり厚さを 50~100mm 増加させたと同じ塩害防止効果があることが認められた。
- (3)コンクリート中に塩分濃度の濃淡分布が存在する場合、鉄筋腐食は濃淡分布界面で起こり易く、発錆後は徐々に濃塩分部へ進行し、平均化することがわかった。
- (4)3種類のアクリルゴム系防水材を比較すると、樹脂量の大きい中塗材を使用した防水材が塩害防止効果に優れており、ひびわれ挿入部も含めて鉄筋腐食を抑制することがわかった。

尚、本実験の長期促進試験及び屋外暴露試験の結果から得られた上述の結論は、既発表[1]の短期促進試験で得られた結論と同様の傾向であり、矛盾する点は認められなかった。

参考文献

- 1) 梶田佳寛ほか：アクリルゴム系弾性防水材による鉄筋コンクリート造の塩害防止効果に関する実験、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12、No.1、pp.495-500、1990
- 2) 谷川 伸・永井健太郎：緩衝塗材による外壁塗膜防水材のひび割れ処理に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、日本建築学会、pp.689-690、1987.10
- 3) 友澤史紀ほか：表面被覆材及び吸水防止材による鉄筋コンクリート造の塩害劣化抑制効果に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、日本建築学会、pp.651-654、1989.10