

論文 撥水・浸透系防水材料の暴露試験による耐久性の評価について

佐々木 崇人*1・松田 芳範*2

要旨: コンクリート構造物の耐久性向上を目的として、撥水性や母材への浸透性能を向上させたシラン系や珪酸系を主成分とした防水材料が多く開発、市販されている。2001年に、9種類の材料を実構造物に施工して暴露試験を行っており、その効果を検証してきた¹⁾。その後も新規の材料や改良した材料について追加施工を行い、最終的には31種類の材料が施工された。本稿では、暴露中のすべての試験体の調査を行い、その耐久性について評価を行い、経年10年以上でもコンクリート表面の水の浸透を抑制する機能を保持している工法・材料があることを確認した。

キーワード: 含浸材, シラン, 撥水材, 浸透系防水塗膜材, 耐久性, 暴露試験

1. はじめに

コンクリート構造物の耐久性を向上させるためには、コンクリート内部への水の浸透を抑制することが有力な方法となる²⁾。近年、主にシラン系や珪酸系を中心とした、撥水性や浸透抑制性能の向上を目的とした防水材料が多く開発されている。様々な工法や材料が混在する中、その効果は勿論のこと、施工が容易で経済的、かつ耐久性に優れた材料が求められている。そこで、各種の材料について実構造物を用いて暴露試験を行った。シラン系の材料はコンクリート表層部に撥水層を形成することにより撥水性状を得るものであり、珪酸系の材料はコンクリート中に含浸して水酸化カルシウムと化学的に結合し、細孔内部をゲル状またはガラス状の結晶で充填することにより透水抑制効果が得られる。これらの様な材料の耐久性について評価を行った。

2. 調査概要

供用中のRC単純桁高架橋区間の防音壁壁面において9種類の防水材料を施工し、施工性の確認と撥水性、材料の浸透性、経時に伴う性状変化について追跡調査を行い材料の耐久性について検証している¹⁾。その後、追加施工を重ねて、最終的には31種類の材料を施工しており、追跡調査を行ってきた。本稿では、31種類すべての工法・材料の調査を行い、耐久性の評価結果から得られた知見をまとめた。

2.1 暴露試験概要

試験場所は、降雪地帯に位置する、1979年に建設されたRC高架橋区間である。試験箇所は、高架橋の内側で線路側に面した場所打ちRCの防音壁とした。当該箇所は、寒冷降雪地帯であることから、冬季には気温が氷点下となることもあり、線路内を消雪するため散水が行わ

れている。散水量は時雨量40mmにも相当することから、降雨以上の水の影響があると考えられる。また、夏季は、内陸部の盆地気候であることから気温が高くなることが多いため、低温域から比較的高温域に達する環境条件となる。さらに、暴露試験面は直射日光にさらされる場所である。材料は撥水性および浸透性を有するとされるものを使用した。表示名・商品名、主成分、期待耐用期間、遮水性、通気性、濡れ色等については、各社からの報告であるが一部カタログおよび技術資料等から抜粋したのもも示している。図-1に施工位置、表-1に各材料のブロック割および試験材料の一覧を、表-2に当該区間の防音壁のコンクリート示方配合を示す。

2.2 調査方法

31種類もの試験体の耐久性の評価を短期間でを行い、かつ、メンテナンスを考慮し、現地で簡単に点検できるように調査方法は簡便な方法を採用した。

一つは外観調査と称し、コンクリート表面に散水を行い、表面の撥水性について観察するものである。しかし、ある程度の経年になるとコンクリートの表面に埃や汚れが付着する。また、シラン系の材料は有機物であることから紫外線による劣化が進み、表層部の撥水性状が消失してしまう。これらのことから、散水後のコンクリート

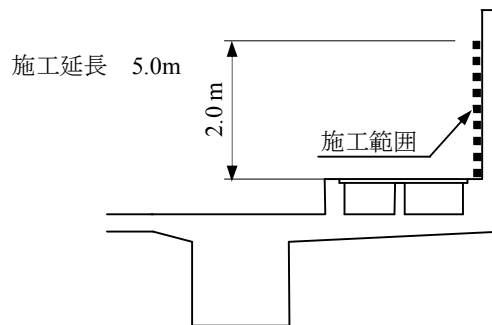


図-1 施工位置

*1 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター (正会員)

*2 東日本旅客鉄道株式会社 構造技術センター 工博 (正会員)

表-1 施工区間ブロック割および試験材料一覧

記号	施工年	会社名	表示名, 商品名	主成分	期待耐用年数	遮水性	通気性	濡れ色	備考
MA	2001	A	無機質浸透性吸水・劣化防止材	アルカリ金属珪酸化合物+特殊触媒	10年	○	○	変色なし	アルカリ性付与
ME			無機質浸透性吸水・劣化防止材	アルカリ金属珪酸化合物+特殊触媒(エマルジョンタイプ)	10年	○	○	変色なし	アルカリ性付与
BC		D	撥水性塗膜	—	—	—	—	—	洗浄システム
MR		K	浸透性吸水防止材	シラン・シロキサン系	10年以上	○	○	変色なし	
ES		P	水性シラン系浸透性吸水防止材	水性シラン系	10年	○	○	変色なし	
TS		SM	コンクリート水性型浸透性吸水防止材	水性シラン系	10年	—	—	変色なし	
HS		R	無機質水系浸透性劣化吸水防止材	珪酸系	—	—	—	—	
AS		SS	浸透性吸水防止材	シラン・シロキサン系化合物	25年	○	○	若干白色	乾燥後淡黄色の樹脂膜残存
AT		→DT	コンクリート保護材	シラン・シロキサン系化合物およびシラン・フッ素化合物	15年	○	○	変色なし	
ATH		SK	浸透性吸水防止材	シラン系(アルキルアルコキシシラン)	10年以上	○	○	変色なし	
ASI4	SS	シラン系浸透性吸水防止材	シラン・シロキサン系化合物	25年	○	○	変色なし		
ASI4C	→DT	シラン系浸透性吸水防止材	シラン・シロキサン系化合物	25年	○	○	変色なし		
RAD	KB	無機質コンクリート改質材	珪酸ナトリウム系	—	—	—	—		
OT		無機質コンクリート改質材	珪酸ナトリウム系	—	—	—	—		
C2	2004	AS	珪酸質系表面含浸改質材	珪酸ナトリウム系	10年以上	—	—	初期濡れ色あり、徐々に収束	
C2CX			珪酸質系表面含浸改質材+高濃度アルカリ金属水溶液	珪酸ナトリウム+マグネシウム・カルシウム塩	10年以上	—	—	初期濡れ色あり、徐々に収束	
AEX	MT	高分子系浸透性防水材	(防水塗膜成分) 特殊水性アクリルウレタン樹脂(浸透成分) コロイダルシリカ(撥水成分) フッ化ビリニデン	10年	○	△	変色なし	塗膜が形成	
AEX1		高分子系浸透性防水材	(防水塗膜成分) 特殊水性アクリルウレタン樹脂(浸透成分) コロイダルシリカ(撥水成分) フッ化ビリニデン	10年	○	△	変色なし	塗膜が形成	
L1	2005	BB	無機質高浸透性劣化防止剤	アルカリ金属シリケート(珪酸質系)	10年以上	—	—	初期濡れ色あり、徐々に収束	
L2			無機質高浸透性劣化防止剤	アルカリ金属シリケート(珪酸質系)	10年以上	—	—	初期濡れ色あり、徐々に収束	
AEX2		MT	高分子系浸透性防水材	(防水塗膜成分) 特殊水性アクリルウレタン樹脂(浸透成分) コロイダルシリカ(撥水成分) フッ化ビリニデン	10年	○	△	変色なし	塗膜が形成
MW			高分子系浸透性防水材	(防水塗膜成分) 特殊水性アクリルウレタン樹脂(浸透成分) コロイダルシリカ(撥水成分) フッ化ビリニデン	—	—	—	—	
H1	2007	IK	シラン系表面含浸材	アルキルアルコキシシラン	15年	○	○	変色なし	
H2			シラン系表面含浸材	アルキルアルコキシシラン	15年	○	○	変色なし	
PC7	2008	YK	撥水材	シリコーン混和物	10年	○	○	変色の場合あり	
PC3			撥水材	シリコーン混和物	10年	○	○	変色の場合あり	
SS36	2009	SO	コンクリート浸透性改質材	アルコキシシラン化合物	10年以上	○	△	薄い濡れ色	
SS30			コンクリート浸透性改質材	アルコキシシラン化合物	10年以上	○	△	薄いグレー	
EP		EP	珪酸塩系含浸コンクリート保護材	ナトリウムシリケート、カリウムシリケート及びリチウムシリケートからなるアルカリ混合効果を利用した混合溶液	15年以上	○	○	変色なし	
IGP		IG	浸透含浸型無機質塗料	シラン・シロキサン系化合物	30年	○	○	変色なし	
IGAP	IG	(下) 浸透含浸型無機質塗料 (上) 浸透含浸半膜型無機質塗料	(下) シラン・シロキサン系化合物 (上) ポリアルキルアルコキシシロキサン化合物	(下) 30年 (上) 50年	○	○	変色なし	(下)→下塗り (上)→上塗り	

表-2 防音壁の示方配合

設計基準強度(N/mm ²)	セメントの種類	粗骨材の最大寸法(mm)	スランブの範囲(cm)	空気量の範囲(%)	耐久性から定まるW/C(%)
24	普通ポルトランドセメント	25	12±2.5	4±1	53

表面では、水が保持され、濡れ色になることが考えられ、水が浸透している状態と判断してしまい、正当な評価とならない可能性が高い。表面の撥水性が消失しているような状態でも、紫外線の影響を受けない深層部において、撥水性が存在していればコンクリート内部への水の浸透を抑制できると考え、表面から1mm程度内部の状態を観察することとした。コンクリート表面の埃や汚れを除去した状態と、コンクリート表面を1mm程度削り取った状態で散水し、撥水性について観察する。これを表面削り調査と称している。

3. 試験体の施工

それぞれの工法・材料の施工要領に沿って行うこととし、共通の仕様は定めていない。ほとんどの工法・材料では下地処理としてコンクリート表面の洗浄を行った後、乾燥状況となるのを待った上で塗布している。下地処理については、各工法・材料の仕様で施工されることとしており、高圧洗浄機を使用したり、サンドペーパーにより表面を研磨したり、軽く表面を清掃する程度等、各施工者が各材料に最適とする下地処理を行っている。

4. 調査結果

表-3 に、外観調査および表面削り調査の結果の一覧を示す。

4.1 外観調査

表-3 に示す評価凡例は、以下の通りとしている。

○：撥水性良好。

△：撥水性はあるが表面に水を保持し薄い濡れ色になる。

×：撥水性は見られず、濃い濡れ色になる。

写真-1 にそれぞれの状態の例と無処理の部分の状況を示す。

(1) 2001年施工分

施工1ヵ月後は、MA, ME, MR, TSの撥水性が良好であり、まったく水の浸透が見られない。BCは、撥水しているところもあるが、水が浸透している部分が多くみられる。ESは撥水しているがムラがあり、水が浸透しているところもある。HSは散水した部分に、すべてといってよいほど水が浸透して濃い濡れ色となり、撥水しているところは見られない。ASは表面に水が保持されるが浸透は見られない。ATは良好な状態であるが、一部水が浸透するところが見られる。

施工1年後、MA, MEには撥水性の低下が見られ、表

面に水を保持して若干濡れ色を呈するところが見られた。BC, ESについては、撥水性はほとんど見られず、コンクリートに水が浸透し、濃い濡れ色となった。AS, ATは、施工1ヵ月後と比較して大きな差は見られなかった。MRは、良好な撥水性を保持していた。

施工3年後は、AS, ATの撥水性が失われ、散水により表面に水が保持されて濃い濡れ色となった。MA, MEは1年後の調査時に見られた状態と同様であった。MRは1年後に比べてわずかに水を保持する箇所も見られるが、ほとんど濡れ色になっていない。

施工5年後は、各材料とも施工3年後の評価と変わらない状態であった。

施工8年後は、すべての材料が散水によりコンクリート表面に水が浸透する状態となり、9年後、13年後も同様の結果が見られた。

(2) 2004年施工分

施工1年後、ATH, AS14, AS14Cの撥水効果は良好であり、水滴は水玉状となり水の浸透は全く見られない。RAD, OT, C2, C2CXは、散水により全体的に水の浸透が見られ、その撥水性は見られなかった。

表-3 外観調査および表面削り調査結果

施工年	記号	主成分系統	外観調査結果											表面削り調査結果					
			経年[M:月, Y:年]											2004年調査		2014年調査			
			IM	1Y	2Y	3Y	5Y	6Y	7Y	8Y	9Y	10Y	13Y	経年[年]	撥水領域の割合[%]	経年[年]	撥水領域の割合[%]		
													表面	1mm	表面	1mm			
2001	MA	珪酸系	○	△	—	△	△	—	—	×	×	—	×	3	70	40	13	0	0
	ME	珪酸系	○	△	—	△	△	—	—	×	×	—	×		80	0		0	0
	BC	—	△	×	—	×	×	—	—	×	×	—	×		60	0		0	0
	MR	シラン系	○	○	—	○	○	—	—	×	×	—	×		90	60		30	50
	ES	シラン系	△	×	—	×	×	—	—	×	×	—	×		50	30		10	10
	TS	シラン系	○	×	—	×	×	—	—	×	×	—	×		90	50		100	20
	HS	珪酸系	×	×	—	×	×	—	—	×	×	—	×		0	0		0	0
	AS	シラン系	△	△	—	×	×	—	—	×	×	—	×		100	50		50	30
AT	シラン系	△	△	—	×	×	—	—	×	×	—	×	0	0	0	0			
2004	ATH	シラン系	—	○	×	—	×	×	—	—	—	×	—	—	—	—	10	50	70
	AS14	シラン系	—	○	○	—	○	○	—	—	—	△	—		—	—		40	100
	AS14C	シラン系	—	○	○	—	○	○	—	—	—	△	—		—	—		50	80
	RAD	珪酸系	—	×	×	—	×	×	—	—	—	×	—		—	—		0	0
	OT	珪酸系	—	×	×	—	×	×	—	—	—	×	—		—	—		0	0
	C2	珪酸系	—	×	×	—	×	×	—	—	—	×	—		—	—		0	0
	C2CX	珪酸系	—	×	×	—	×	×	—	—	—	×	—		—	—		0	0
	AEX	ウレタン系	—	△	△	—	×	×	—	—	—	×	—		—	—		0	0
AEX1	ウレタン系	—	△	△	—	×	×	—	—	—	×	—	—	—	0	0			
2005	L1	珪酸系	—	×	—	—	×	—	—	—	×	—	—	—	—	—	9	0	0
	L2	珪酸系	—	×	—	—	×	—	—	—	×	—	—		—	—		0	0
	AEX2	ウレタン系	—	—	—	—	×	—	—	—	×	—	—		—	—		0	0
	MW	ウレタン系	—	—	—	—	○	—	—	—	×	—	—		—	—		0	0
2007	H1	シラン系	—	—	—	×	—	—	×	—	—	—	—	—	—	—	7	0	0
	H2	シラン系	—	—	—	×	—	—	×	—	—	—	—		—	—		80	80
2008	PC7	シリコーン系	—	○	○	—	—	△	—	—	—	—	—	—	—	—	6	60	20
	PC3	シリコーン系	—	○	○	—	—	×	—	—	—	—	—		—	—		60	10
2009	SS36	シラン系	—	○	—	—	△	—	—	—	—	—	—	—	—	—	5	0	20
	SS30	シラン系	—	○	—	—	○	—	—	—	—	—	—		—	—		80	20
	EP	混合溶液	—	×	—	—	×	—	—	—	—	—	—		—	—		0	0
	IGP	シラン系	—	○	—	—	○	—	—	—	—	—	—		—	—		80	10
	IGAP	シラン系	—	○	—	—	○	—	—	—	—	—	—		—	—		70	10



(a) ○の例：IGAP（経年 5 年）



(b) △の例：AS14（経年 10 年）



(c) ×の例：MA（経年 13 年）



参考：無処理

写真-1 外観調査の判定例

施工 2 年後，ATH は散水により表面に水は保持されるが水の浸透は見られない。撥水しない状況であるが表面を研磨すると撥水することから，埃状の残存物により水が保持されたものと思われる。AS14，AS14C は 1 年後と同等の状態であり撥水性は良好であった。その他の材料は 1 年後と同様，撥水性状は失われたままとなっている。

5 年後，6 年後の外観調査でも AS14，AS14C はその撥水性状を保持していたが，10 年後の調査では，コンクリート表面に撥水性状は見られず，表面に水を保持するものの，濡れ色は薄いものであり，内部に水が浸透していない状況であった。

AEX と AEX1 は，表面に塗膜が形成される材料であるため参考であるが，表面に形成された塗膜にはふくれが見られ，散水により塗膜のふくれ箇所には水が保持され，斑点状の痕跡が見られた。ふくれ以外の箇所は塗膜性状ではなく，塗膜表面に水滴が形成されている。ふくれ箇所の塗膜を剥がして散水を行うと無処理の箇所と同じように水が保持され濃い濡れ色を呈した。

(3) 2005 年施工分

L1，L2 は，施工後 1 ヶ月から 9 年後まで調査を行ったが表面での撥水性状は見られなかった。AEX2 は AEX，AEX1 と同じ塗膜材であるため参考とするが，5 年後，9 年後ともに散水による撥水性は見られず，表面には水が浸透し濃い濡れ色となった。MW は，施工 5 年後，撥水状況は良好であったが，9 年後は撥水性が見られなかつ

た。

(4) 2007 年施工分

2007 年に施工した H1，H2 は 3 年後，7 年後の調査において，表面の撥水性状は見られず，表面に水が保持され濡れ色を呈した。

(5) 2008 年施工

PC7，PC3 は施工 1，2 年後は良好な撥水性状を示したが，6 年後，PC7 は撥水こそしないものの，濡れ色は薄く水の浸透は見られない状態となった。PC3 は撥水性状が消失して表面に水が浸透，濡れ色を呈した。

(6) 2009 年施工

施工 1 年後，EP に撥水性は見られず，コンクリート表面には水が浸透し，濡れ色を呈した。しかし，SS36，SS30，IGP，IGAP は良好な撥水性を保持していた。5 年後，SS36 は撥水こそしないものの，表面の濡れ色は薄く，防水性状は保持する状態となった。その他の SS30，IGP，IGAP は依然として，良好な撥水性を保持していた。

4.2 表面削り調査

表面削り調査は，暴露試験体表面をディスクグラインダーにより切削し，切削表面への散水後，表面の撥水領域を目視により確認した。表-3 に表面削り調査の一覧を示す。2001 年に施工した試験体は，2004 年に同様な調査を行っており¹⁾，併せて表中に示す。表中の「表面」はコンクリート表面を軽く削り，表面の汚れや埃を除去する程度で平滑にしたものを示し，「1mm」は，細骨材の

表面が現れる深さ 1 mm 程度まで切削したものを表す。また、表中に示す数字は、切削面における撥水領域の割合を示したものである。「0%」は撥水領域が全く残っていないことを示し、「100%」は撥水領域がほとんど残っていることを表す。撥水領域の割合は目視により判断したものである。写真-2 に代表的な材料の状況を示す。左から「1mm」「表面」「無処理」を示しており、「無処理」は切削を行わない状態である。

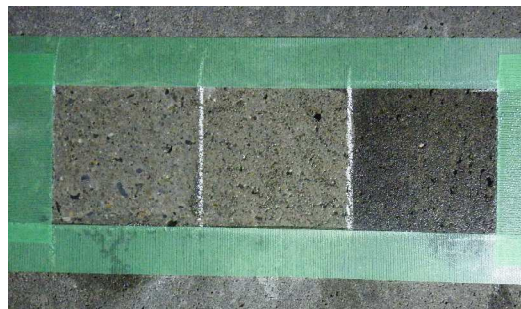
2001 年施工の材料は、2004 年の調査で撥水性が存在していた MA, ME, BC の撥水性はほとんど失われていた(写真-2 (a) MA)。ES は表面の気泡に沿ってわずかに撥水領域が残る程度であり、ほとんど消失している状態である。MR においては、「表面」よりも「1 mm」の方が撥水領域の割合が多くなっている(写真-2 (b))。TS については、表面の埃状の残存物を除去するとほとんど撥水領域が存在しているおり、「1 mm」でも 2 割程度であった。HS, AT は、2004 年の調査時と変わらず「表面」、「1 mm」ともに撥水領域は全く見られなかった。

2004 年以降に施工した材料では、ATH, AS14, AS14C, H2, PC7, PC3, SS36, SS30, IGP, IGAP では撥水域の存在が確認された(写真-2 (c) AS14)。RAD, OT, C2, C2CX, AEX, AEX1, L1, L2, AEX2, MW, H1, EP では、「表面」、「1 mm」とも、水が浸透して濡れ色を呈しており撥水域は全く確認できなかった。

5. 考察

外観調査の結果、2001 年に施工した材料では撥水性を確認できるものはなかった。施工 10 年後である 2004 年施工の材料でも、撥水性を確認できるものはほとんどなかったが、AS14, AS14C は撥水こそしないものの、コンクリート表面の濡れ色は薄いものであり、内部には水が浸透していない状況であった。経年 5 年の 2009 年施工の材料は、比較的表面の汚れや埃の付着の影響が少ないと考えられ、SS30, IGP, IGAP は良好な撥水性状を確認することができた。SS36 は撥水こそしないものの、表面への水の浸透は見られなかった。

経年 10 年程度の材料で、コンクリート表面に埃や汚れが比較的多く付着し、見かけ上撥水性を失ったような状態でも、埃や汚れを除去することで、コンクリート内部への水の浸透が抑制されているもの(表-3, 表面削り調査(2014 年)「表面」の撥水領域の割合が 0 以外のもの)が 13 種類確認された。また、表面から 1 mm 程度内部で撥水領域が存在している材料(表-3, 表面削り調査(2014 年)「1mm」の撥水領域の割合が 0 以外のもの)が 14 種類あった。内 12 種類がシラン系の材料である。シランは紫外線により劣化し、表層部の撥水性状が消失するが、紫外線の影響を受けにくいとされている表層よ



(a) MA



(b) MR



(c) AS14

写真-2 表面削り調査結果
(左から「1 mm」「表面」「無処理」)

り 1mm 程度内部では、撥水領域が存在している材料が多かった。その中でも、撥水領域の割合が 50%以上であったのは 5 種類であった。

古谷らの研究によると、シラン系の材料は経年 3 年程度では紫外線劣化の影響は受けず、おおむね良好な吸水防止効果を示す³⁾とされているが、経年 5 年程度でも紫外線の影響により、撥水性の消失までは至らない材料(表-3, 外観調査, 5Y, ×以外)が 10 種類あった。さらに、経年 10 年以上で撥水領域の割合が 50%以上であった材料(表-3, 表面削り調査(2014 年)「表面」の経年 10 年以上, 50%以上)は 4 種類であった。コンクリート表面への散水により撥水性や、表面からの水の浸透状況を目視により確認できる材料は、シラン系の材料であり、中でもシラン・シロキサン系の材料は、比較的内部まで浸透してその機能が保持されているものが多かった。

図-2 は、外観調査および表面削り調査結果をまとめたものである。縦軸を表面削り調査結果の撥水領域の割合、横軸を外観調査結果としており、それぞれの調査結果をプロットしたものである。シラン系およびシリコー

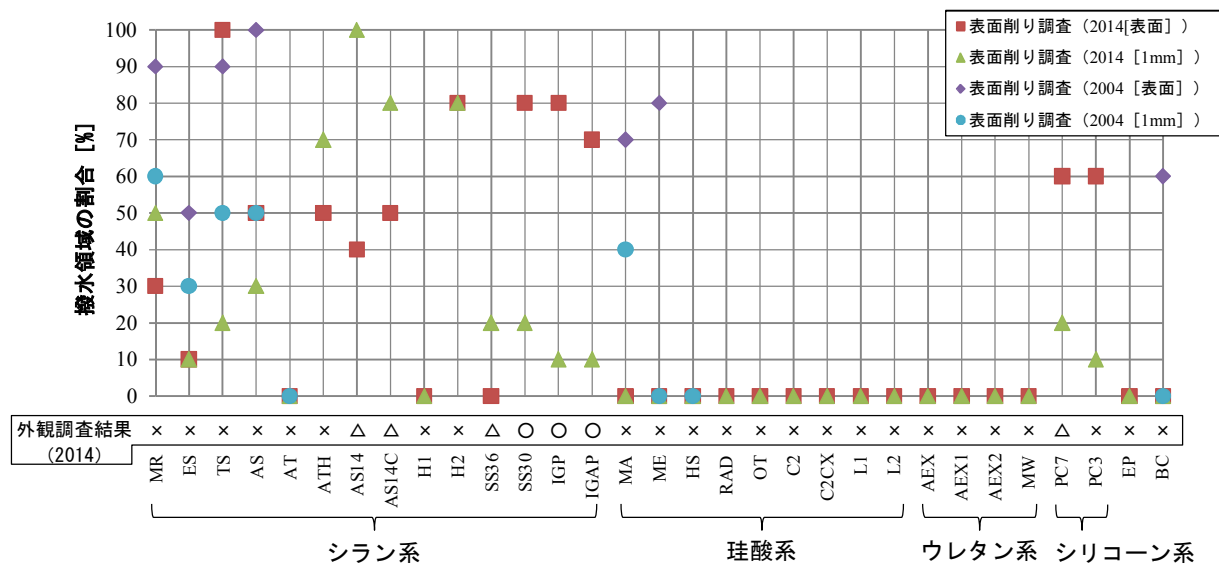


図-2 外観調査および表面削り調査結果

ン系の材料は、外観調査による評価が「×」であっても、表面削り調査結果では、ほとんどの材料で撥水領域が存在している。一方、珪酸系とウレタン系の材料は、外観調査、表面削り調査の双方で撥水領域が確認されない傾向となっている。2004年の調査結果と2014年の調査結果とを比較すると、珪酸系の材料は撥水性が完全に消失しているが、シラン系の材料は、調査位置の違いによる差はあるものの、大きな違いは見られない。2004年にも表面削り調査を行っているが、MA、MEには撥水領域が存在する結果となっている。MA、ME、HSは珪酸系と分類しているが、シラン系の成分も含まれているためである。HSは、施工直後には撥水性が見られたが、2004年の調査では撥水領域が確認できなかった。

珪酸系の材料は、目視によるコンクリート表面への浸透抑制効果を確認することが困難であるため、表面吸水試験等による評価が必要である。

シリコーン系の材料でも経年6年で、外観調査による撥水性能の消失が確認されたが、表面削り調査では撥水領域が存在していることが確認できた。「1mm」においても撥水領域が見られることから、コンクリート内部に材料が浸透していることが確認された。

今回は、各材料の性能を最大限発揮させた状態での耐久性を評価することを目的としていたため、下地処理の差による結果への影響には着目していない。参考までに、表面を清掃する程度等の比較的簡易な処理のみの工法は、良い結果とはならない傾向があった。

6. まとめ

市販されている撥水・浸透系防水材を、実構造物に施工して暴露試験を行い、その耐久性について得られた知

見を以下に示す。

- 1) シラン系の材料 14 種類の内、撥水領域が完全に消失してしまった材料がある。
- 2) シラン系の材料で、経年 10 年以上でもコンクリート表面の撥水領域が存在している材料がある。
- 3) シラン系の材料で、経年10年以上でも表面から1mm程度内部では撥水領域が存在している材料がある。
- 4) シラン系の材料は、経年5年程度では、表面の清掃や切削等を行わなくとも、表面に散水して撥水状況や水の浸透状況を確認することで、機能の維持を確認することができる。
- 5) シリコーン系の材料にも、シラン系と同等な表面撥水性能と含浸性能を有するものが存在し、シラン系と同様な評価方法を適用できる材料がある。
- 6) 珪酸系等の材料の浸透抑制性能を確認する場合は、表面吸水試験等による評価が必要である。

参考文献

- 1) 網嶋和彦, 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書, pp.225-236, 2006.4
- 2) 石橋忠良, 古谷時春, 浜崎直行, 鈴木博人: 高架橋等からのコンクリート片剥落に関する調査研究, 土木学会論文集, No.711/V-56, pp.125-134, 2002.8
- 3) 古谷英彦, 細田暁, 鈴木雄大, 松田芳範: シラン系表面含浸の紫外線劣化の吸水試験による評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp1945-1950, 2009