外壁塗装仕上げの素地による影響に関する研究
－素地水分やシーリング材による塗膜への影響について－

起橋孝徳*

１．はじめに

塗装仕上げは、素地の状態や材質による影響を受けることで、耐久性が低下したり外観の美観を損ねるなどの障害を生じる場合がある。本研究では、塗装が素地の水分やシーリング材によってどのような影響を受けているか確認することを目的とした。

２．半乾燥状態の素地に施工した塗料についての実験

2.1 実験概要

コンクリートやモルタル素地に各種塗装仕上げを行う際には、表面含水率が 10%以下になっていることが建築工事標準仕様書[1)]や塗料メーカーのカタログなどに記載されている。ここでは、下地の乾燥度が塗装仕上げにどのような悪影響を及ぼすのかを調査するために、半乾燥状態の素地に施工した薄膜塗料と仕上塗料の付着強度試験や曝露試験を行い、半乾燥状態の素地に施工した場合の塗膜性能の劣化度合いを試験した。また、素地の乾燥度合いの管理値は高周波容量式の水分計によるが、その測定値が、絶乾法による重量含水率とどのような関係にあるかを実験で確認した。

2.2 薄膜塗料の付着性能試験

ａ．試験方法

試験項目は、付着力試験、耐水性試験、温冷繰り返し試験とした。付着力試験は仕上げ施工から 28 日以上養生した後、耐水性試験は仕上げ施工 10 日後から７日間浸水させた後、また、温冷繰り返し試験は仕上げ施工 10 日後から浸水～-20℃～50℃の温冷繰返し 10 サイクルに掛けた後、それぞれ養生室で乾燥させて塗膜のふくれなどの異常の有無を観察して建研式付着力試験器によって付着強度を測定した。下塗材には、通常よく用いられるものと、湿潤状態の下地にも適用できるものについて、水系と溶剤系のものを用意した。上塗材には、水系と溶剤系のものについて、それぞれ艶のあるものと無いものを用意した。塗料種類、およびその組み合わせを表－１、２に示す。素地には、当初は左官工事に通常使用する調合のモルタルを用いたが、付着力試験ではほとんどのものがモルタル基盤で破断する結果となり、塗膜の付着強度が素地の引張強度を上回ることは確認できたものの、塗膜が素地の水分によって受ける影響による差はみられなかったため、表－２の２重丸のものについて、素地に高強度コンクリートを用いて再度試験を行った。コンクリートの調合を表－３に示す。

表－１　試験に用いた塗料種類

塗料種類		記号
下塗材	水系クリヤーシーラー	ES
	溶剤系クリヤーシーラー	SS
	水系耐水性下塗材	EF
	溶剤系湿潤面用下塗材	SF
	塗床用下地急速処理材	SQ
上塗材	水系アクリル樹脂エナメル（艶有）	EG
	水系アクリル樹脂仕上塗材（艶無）	EM
	溶剤系アクリル樹脂エナメル（艶有）	SG
	溶剤系２液形ウレタン樹脂エナメル（艶有）	UG
	弱溶剤系アクリル樹脂塗料（艶無）	SM

表－２　塗料実験時組合せ

上塗材 ＼ 下塗材	水系		溶剤系		
	EG	EM	SG	UG	SM
水系クリヤーシーラー	◎	◎	－	－	－
溶剤系クリヤーシーラー	◎	◎	◎	○	◎
水系耐水性下塗材	◎	◎	◎	－	◎
溶剤系湿潤面用下塗材	◎	◎	◎	○	◎
塗床用下地急速処理材Ⅰ	－	－	○	－	○
塗床用下地急速処理材Ⅱ	－	－	○	－	○

表－３　試験体素地コンクリート調合

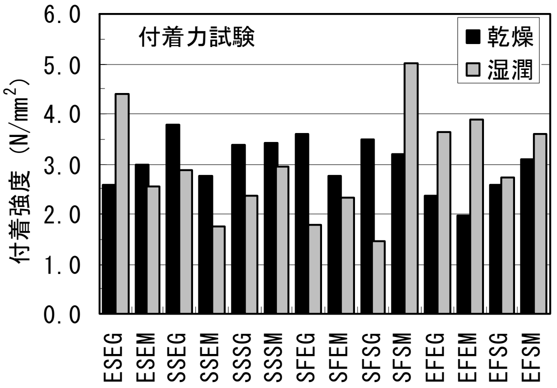
W/C(%)	単位量 (kg/m³)			
	W	C	S	G
35.0	１７５	５００	８３３	８５３

*技術研究所

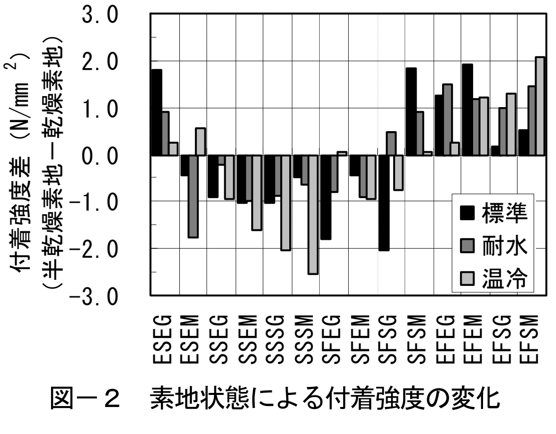
試験体形状は、厚さ 150 mm 程度の壁を模擬することを意図して厚さ 70 mm で作成し、浸水させるもの以外は型枠を取り外さないか、もしくは塗装面以外をエポキシ樹脂でシールした。塗装施工時の素地の状態は湿潤状態と乾燥状態の２水準に設定し、湿潤状態のものはコンクリート打設の翌日に、乾燥状態のものはコンクリート打設７日後にそれぞれ施工した。型枠の脱型はいずれもコンクリート打設の翌日とした。翌日施工のものは脱型直後から水中に浸漬して仕上げ施工直前に表面をウェスで拭う程度の十分な湿潤状態に置いて施工し、７日後施工のものについては乾燥状態をより確実にするため、材齢５、６日の２日間は乾燥炉に入れて乾燥させた後に常温に戻して施工した。

ｂ．試験結果

付着力試験、耐水性試験、温冷繰り返し試験の各試験の結果、付着強度は半乾燥の素地に施工した場合であっても、いずれも JIS A 6909-2000 に規定されている値「標準状態で 0.5 N/mm^2 以上」を大きく上回る結果が得られた。付着強度試験結果を**図－１、２**に示す。



図－１　付着力試験結果



図－２　素地状態による付着強度の変化

各種試験結果から以下のことがわかった。

・上塗材が水系である場合と溶剤系である場合に違いは無い

・上塗材の艶の有無は、素地の水分による影響の現れ方との関係は無い

・下塗材として溶剤系クリヤーシーラーを半乾燥の素地に用いた場合は、乾燥状態の素地に施工した場合と比較して一様に付着強度が小さくなる

・下塗材として水系耐水性下塗材を半乾燥の素地に用いた場合は、乾燥状態の素地に施工した場合よりも一様に付着強度が大きくなる

・耐水性試験、温冷繰り返し試験の各試験体の表面観察の結果では、溶剤系クリヤーシーラーを施工した場合のみひび割れが発生し、この下塗材は半乾燥状態の素地に対しては適していない

乾燥状態の素地に施工したものの多くは素地が破断したのに対して、湿潤状態の素地に施工したものの多くは下塗材の界面で破断していた。このことからは塗膜が素地水分によって劣化したことが連想されるが、湿潤状態の素地に施工したもので下塗り位置が破断している場合でも、乾燥状態の素地に施工したもので素地が破断した場合よりも高い強度を示している場合があった。この破断位置の違いについては、塗膜がコンクリート表面を湿潤状態に養生することで、素地自体が強度増進したためと考えられる。

2.3 仕上塗材の耐候性能試験

ａ．試験方法

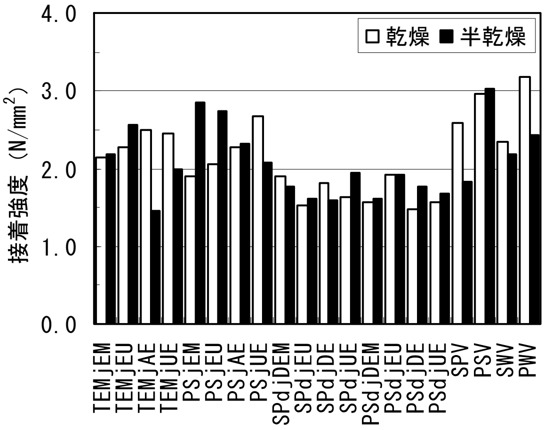
屋外曝露試験に用いる塗料種類は JIS A 6909 建築用仕上塗材の分類に基づき、それぞれ下塗材と仕上塗材を組み替えて**表－４、５**の様に設定した。試験体の曝露方法は、JIS K 5400 に準拠して行うこととし、曝露期間は１年半とした。

表－４　塗料一覧（JIS区分）

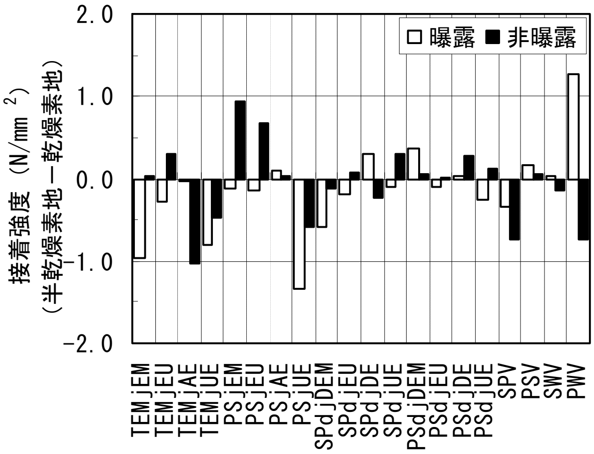
JIS分類	下塗り		中塗り	仕上げ塗り	
複層塗材E	TEM		j	EM	AE
	PS			EU	UE
防水形複層塗材E	SP		dj	DEM	DE
	PS			EU	UE
防水形外装薄塗材E	SP	SW	―	V	
	PS	PW			
外装薄塗材E	NS		―	L	
	TEM				
外装厚塗材E	TEM		―	S	

ｂ．試験結果

曝露後の表面観察結果を表－６に示す。曝露した試験体の内、湿潤状態で施工した塗材の一部では、曝露初期から顕著なふくれや泡が塗膜に観察され、材料による差が見られた。一方、曝露しないものについては塗膜の劣化は観察されなかった。下地の水分による影響が顕著になるのは、日射などによって塗膜裏面の水蒸気圧が高くなる場合に限られると考えられる。色差や光沢の測定結果では、下地の乾湿による差は見られなかった。付着試験結果を図－３、４に示す。付着力試験の結果は、乾燥湿潤の何れの素地に施工した場合でも JIS の規定値の２倍以上の値が得られ、素地の水分の有無と付着強度の間に、関係は見られなかった。しかし、破断面の観察で乾燥素地に施工した場合には主材層や素地での破断が多く、湿潤素地に施工した場合には主材と下塗材の界面での破断が多くなっている。このことから、素地の水分によって主に、主材と下塗材の界面の強度が低下すると推測される。



図－３　付着力試験結果（曝露試験体）



図－４　素地状態による付着強度の変化

表－５　塗料一覧（塗料種類）

塗料種類		記号
下塗材	下塗り無し	NS
	水系クリヤーシーラー	TEM
	水系クリヤーシーラー	SP
	水系白色シーラー	SW
	溶剤系クリヤーシーラー	PS
	溶剤系白色シーラー	PW
中塗材	水系硬質タイル	j
	水系弾性タイル	dj
仕上げ塗材	水系アクリル樹脂エナメル	EM
	溶剤系アクリル樹脂エナメル	AE
	水系弾性ウレタン樹脂エナメル	EU
	溶剤系弾性２液形ウレタン樹脂エナメル	UE
	水系弾性アクリル樹脂エナメル	DEM
	溶剤系弾性アクリル樹脂エナメル	DE
	単層弾性仕上塗材	V
	水系アクリルリシン	L
	水系アクリルスタッコ	S

表－６　曝露後表面観察結果

JIS分類	試験体記号	半乾燥素地施工	
		白色	黒色
複層塗材E	TEMjEM	×－ふくれ	○
	TEMjEU	×－ふくれ	○
	TEMjAE	○	△－ひび割
	TEMjUE	○	○
	PSjEM	○	○
	PSjEU	△－ふくれ	○
	PSjAE	○	△－ひび割
	PSjUE	○	○
防水形複層塗材E	SPdjDEM	○	○
	SPdjEU	○	○
	SPdjDE	×－発泡	○
	SPdjUE	○	○
	PSdjDEM	×－ふくれ	×－ふくれ
	PSdjEU	×－ふくれ	○
	PSdjDE	×－発泡	XX－発泡
	PSdjUE	○	×－発泡
防水形外装薄塗材E	SPV	○	△－ふくれ
	PSV	□－起伏	□－起伏
	SWV	－	×－ふくれ
	PWV	－	□－起伏
外装薄塗材E	NSL	○	○
	TEML	○	○
外装厚塗材E	TEMS	△－ひび割	△－ひび割

評価：XX＜×＜△＜□＜○(Good)

2.4 素地の含水率測定に関する実験

表面含水率の管理値[1]（10%）は、市販の高周波容量式水分計（以下、K 水分計と称す）の計測値を採用することが一般に認められている。しかし、単位水量が 175 kg/m^3 で密度が 2.3 t/m^3 のコンクリートの重量

含水率は、骨材の含水を考慮しても混練した時点で９%弱であるが、K水分計では12%以上の値を示す。

K 水分計の表示値が、乾燥炉で乾燥させる前後の重量差から算出した含水率（以下、重量含水率と称す）とどのような関係にあるかを確認するとともに、モルタルやコンクリートの乾燥の進行状況を観察した。

a．K水分計による計測値の検証

試験体は水セメント比 55.4%のモルタルで、側面および底面をアルミ粘着テープで封緘して上面以外からの水分蒸発を防いだ寸法 10cm の直方体とした。養生は、気温 20℃、湿度 60%の環境に置いた標準養生と、表面をアイランプで連続照射して乾燥を促進させた促進養生の２通りとした。重量含水率とK水分計によるモルタル含水率を比較したものを**図－５**に示す。この実験結果から以下のことが分かった。

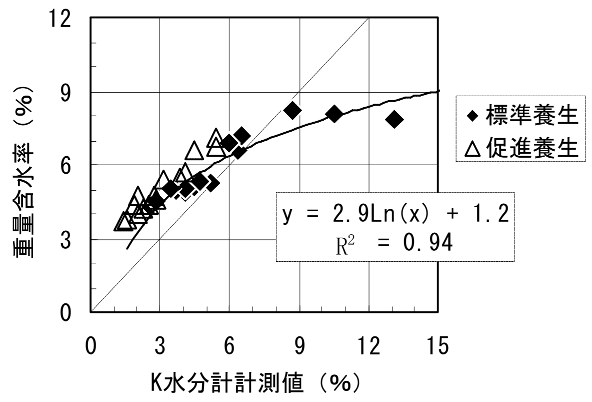
- 水セメント比55.4%のモルタルにおいては、K水分計による測定値が 10%を越える場合でも、重量含水率に置き換えると８%程度である
- K 水分計によるモルタル含水率は、重量含水率が５～７%の範囲ではほぼ同じ傾向の値を示すが、重量含水率が５%以下の場合には実際よりもやや小さめの値となり、重量含水率が８%以上の場合には過大な値を示す
- 調合や実際の重量含水率が同じであっても、養生方法によって内部の水分分布傾向が異なる場合には、K水分計による計測値は異なる値を示す

b．素地表面の乾燥進行傾向

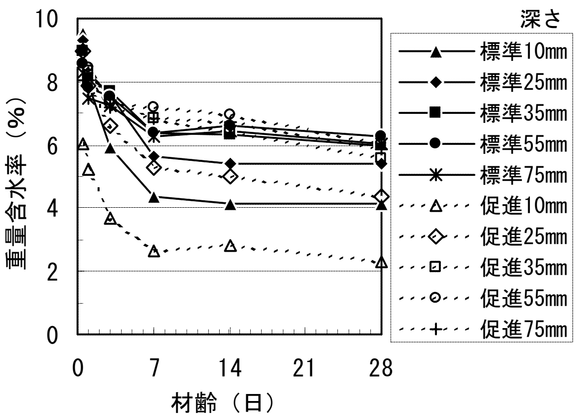
上記モルタル試験体の重量含水率分布の経時変化の測定結果を**図－６**に示す。重量含水率は、材齢７日までの間に特に表層部で大きく低下するが、８日以降の低下量は小さい。促進養生では表面から深さ２cm 程度までは乾燥が促進されるが、それよりも深い位置では乾燥促進の効果は見られない。

現場で打設した高強度コンクリートの表面含水率をK 水分計で計測した結果を**図－７**に示す。ここから、以下のことがわかった。

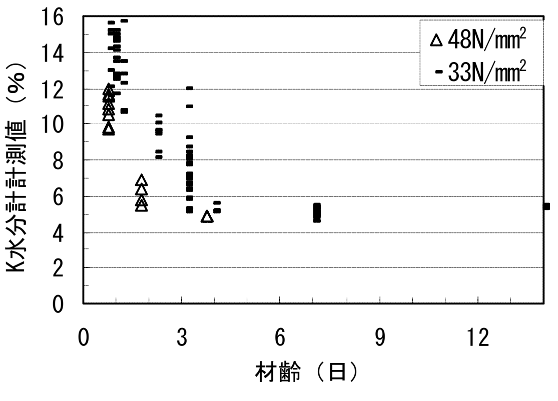
- 表面の乾燥は、コンクリート強度によって進行の速さが異なり、呼び強度が高いコンクリートほど早く乾燥する傾向がある
- 高強度コンクリートにおける表面含水率は、K 水分計による測定値では、打設翌日の 10～12%から２日目には５～７%と急激に減少する



図－５　K水分計計測値と重量含水率の比較



図－６　モルタル重量含水率の経時変化



図－７　高強度ｺﾝｸﾘｰﾄ表面含水率の経時変化

3．シーリング材と塗料の組み合わせについての実験

3.1 実験目的

外壁コンクリートの目地やクラック補修部分では、シーリング材とその上に施工した塗料との間に生じる化学反応によって、当該部分で色むらや汚れが目立ち

クレームになることがある。この対策として、シーリング材メーカーからは「ノンブリードタイプ」のシーリング材が、塗料メーカーからは「バリアプライマー」がそれぞれ市販されている。しかし、塗料と組み合わせた際の個別の性能差はわからない。このため、シーリング材を施した上に塗装する際に、美観を損なわないような材料の組み合わせを把握するために、各種材料を組み合わせて施工したものの曝露試験を行って確認した。

3.2 実験計画

各水準のシーリング材を施工し、その１週間後に各種塗料をこの上に施工した。塗装施工後は２週間の養生期間をおいてシーリング材の初期の肉痩せ状態を観察し、その後４ヶ月の曝露試験を行った。基板には厚さ９mm のスレート板を用い、基板１枚に８本の目地を設けた。１本の目地に１種類のシーリング材を施工することとし、２枚の基板で１セット 16 種類のシーリング材を施工した。この試験体を目地と直交方向に３つの領域に分け、バリアプライマー２種類と塗装前処理なしの３通りに塗り分けた。塗料は 18 種類とし、各塗料の種類毎に試験体１セットを用いた。試験対象とした塗料を表－７、８に、試験対象としたシーリング材料を表－９に、試験体形状を図－８に示す。

表－７　塗料一覧

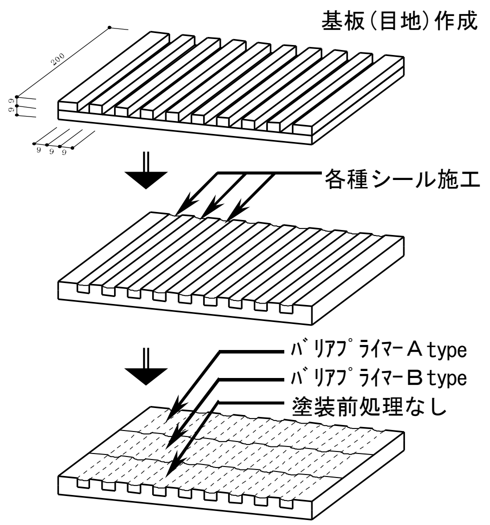
類型		記号
バリアプライマー	Ａ　ｔｙｐｅ	ＰＡ
	Ｂ　ｔｙｐｅ	ＰＢ
下塗材	水系クリヤーシーラー	ＥＳ
	水系白色シーラー	ＥＷ
	水系微弾性フィラー	ＥＦ
	溶剤系クリヤーシーラー	ＳＳ
	溶剤系白色シーラー	ＳＷ
上塗材	水系ウレタン樹脂エナメル	ＥＵ
	弱溶剤系２液形ウレタン樹脂エナメル	ＷＵ
	防水形外装薄塗材Ｅ（単層弾性仕上塗材）	Ｖ
	複層塗材Ｅ（上塗り：ＥＵ）	ＪＵ
	可とう形外装薄塗材Ｅ	Ｌ

表－８　塗料組合せ

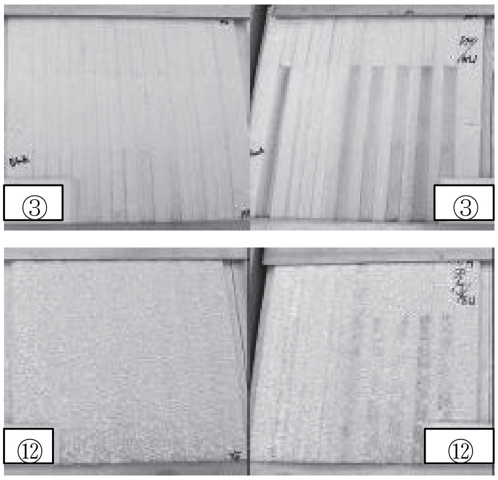
下塗材＼上塗材	ＥＵ	ＷＵ	Ｖ	ＪＵ	Ｌ
ＥＳ	①				⑭
ＥＷ	②		⑨	⑫	⑮
ＥＦ	③	⑥	⑩		⑯
ＳＳ	④	⑦			⑰
ＳＷ	⑤	⑧	⑪	⑬	⑱

表－９　シーリング材タイプ一覧

No.	タイプ	
１	ポリウレタン系　２成分形	ノンブリードタイプ
２		
３		
４		
５		
６	アクリルウレタン系　２成分形	
７		
８	ポリイソブチレン系　２成分形	
９	ポリウレタン系　１成分形	
１０		
１１	アクリルウレタン系　１成分形	
１２	ポリサルファイド系　１成分形	通常タイプ
１３	ポリサルファイド系　２成分形	
１４		
１５		
１６		



図－８　試験体作成手順



写真－１　曝露後試験体状況（例）

3.3 実験結果

曝露した試験体の例を**写真－1**に、シーリング材の肉痩せの観察結果と、バリアプライマーを用いない場合の曝露試験結果を**表－10** に示す。また、バリアプライマーを用いることによる汚染防止の効果について**表－11** に示す。ここから、以下のことがわかった。

- ノンブリードタイプの１成分形のシーリング材No.10、11 は肉痩せが著しいため、一般の目地には使用可能だが、ひび割れ部分補修には適していない
- 低汚染型と称するシーリング材であっても、水系や弱溶剤系の塗料との組合せによって表面の汚染が進むものや、例えばシーリング材 No.９の様に通常のポリサルファイド系のものと変わらない製品がある
- バリアプライマーＡtype を使用した場合は、一定の汚れ防止効果が見られるが、水系仕上塗材や弱溶剤系仕上塗材との組合せによっては汚染が観察されるため、組合せには注意を要する
- バリアプライマーＡtype を使用した場合にはシーリング材と基板の境界面に幅の狭い汚れが認められるものがあり、下地の肉痩せなどによる変形が大きい場合には、バリアプライマー層がひび割れ、そこから可塑剤が漏出することが考えられる
- バリアプライマーＢtype は、もともと軽微な汚染が生じる組み合わせの場合しか効果が得られないため、ポリサルファイド系シーリング材の汚れ対策としての使用は不適当である

表－10　肉痩せ及び曝露試験後の観察結果

塗料種類	ノンブリードタイプ											通常タイプ				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
									痩	痩	痩					
①			△		△	△			×		△	△	×	×	×	×
②									×			×	×	×	×	×
③					△	△			×		△	△	×	×	×	×
④				△	△	△			×			△	×	×	×	×
⑤					△				×			△	×	×	×	×
⑥					△	△			×			×	×	×	×	×
⑦									×			×	×	×	×	×
⑧									×			×	×	×	×	×
⑨									△			×	△	△	×	×
⑩												×	△	△	△	△
⑪												×			×	△
⑫									△			△	△	△	×	△
⑬									△			△	△	△	×	×
⑭															△	△
⑮															△	△
⑯															△	
⑰															△	△
⑱															△	

無印：汚染の無いもの
△：軽微な汚染が生じるもの
×：著しい汚染が生じるもの

表－11　バリアプライマーによる改善効果のあるもの

塗料種類	ノンブリードタイプ											通常タイプ				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
①			○		○	○			A		○	×	A	A	a	A
②									A			a	a	a	a	a
③					○	○			A		○	×	A	A	a	A
④				○	A	○			A			×	A	A	a	A
⑤					○				A			×	a	a	a	a
⑥					○	○			A			A	A	A	a	A
⑦									A			×	A	A	a	A
⑧									A			A	A	A	a	A
⑨									○			A	○	○	A	A
⑩												A	○	○	A	○
⑪												A			○	○
⑫									A			A	A	A	A	A
⑬									A			A	A	A	A	A
⑭															A	○
⑮															A	○
⑯															A	
⑰															A	○
⑱															A	

無印：ﾊﾞﾘｱﾌﾟﾗｲﾏｰが無くても汚染の無いもの
○：何れのﾊﾞﾘｱﾌﾟﾗｲﾏｰでも汚染を止められるもの
Ａ：Ａtype のみ汚染を止められるもの
ａ：Ａtype のみ汚染を低減できるもの
×：何れのﾊﾞﾘｱﾌﾟﾗｲﾏｰでも汚染を低減できないもの

４．まとめ

塗装仕上げが下地から受ける影響について、素地の水分による影響と、シーリング材による影響についてそれぞれ実験を行い、障害の発生しない材料や、材料の組み合わせについて確認し、素地状態の管理方法についての知見が得られた。

５．おわりに

今回の実験に用いた試料は、数多い塗料の中では一部の限られた材料ではあるが、実務に役立つ資料としていきたい。なお、実験にあたって御協力いただいたスズカファイン株式会社の関係各位に感謝の意を表する。

【参考文献】

1) 日本建築学会、「建築工事標準仕様書･同解説」「JASS18 塗装工事」、「JASS23 吹付け工事」