

## 環境配慮型水系塗装材料

奥田 章子 堀 長生  
水上 卓也 小川 晴果

### Environment-Conscious Type Water-Based Coating Materials

Akiko Okuda Nagao Hori  
Takuya Mizukami Haruka Ogawa

#### Abstract

Precast concrete curtain walls tend to be large in size and light-weight, cracks of 0.1mm width have been found on the original concrete, despite the flat coating texture in the design. As light-weight precast concrete used lightweight aggregate, a new problem is that the water content percentage does not decrease quickly. Recently, regulations have required water-based coating materials to exhaust non-volatile organic compounds to be environmentally. We noted that polyethylene emulsion has high adhesion strength to concrete with a high percentage of water content and applied it to the development of a water-based primer and undercoat. The developed water-based primer and undercoat can adhere to concrete with less than 11% water content and prevent blister. Results verified that the developed water-based undercoat can move on cracks, by controlling the thickness of the coating.

#### 概要

プレキャストコンクリート板(以下、PCa板)においては、より大型化、軽量化するとともに、硬質のふっ素樹脂塗装などの鏡面仕上げが意匠的に好まれる傾向にある。しかし、最近、コンクリート素地面に実測で0.1mm以下の微細なひび割れが発生するという問題が顕在化してきた。また、特定の人工軽量骨材を使用した軽量コンクリート製PCa板において、含水率がなかなか下がらないという新たな問題が発生した。そのため、工期を考慮して高含水率でも塗装可能な塗装材料が強く望まれていた。一方で、近年の塗装工事では、環境に配慮する目的で、VOC(揮発性有機化合物)の発生しない水系の塗装材料の採用が望まれている。そこで、高含水率下地にも高付着力を有するポリエチレン樹脂系エマルジョンに着目し、これを応用して水系のプライマーおよび下塗り材を開発した。これらの水系塗装材料は、11%程度の高含水率下地にも高付着力を示し、膨れ発生を抑制することを確認した。また、下塗り材の塗膜厚さを制御することにより、追従するひび割れ幅を制御可能なことを示した。

#### 1. はじめに

コンクリート下地の塗装仕上げにおいて、例えばプレキャストコンクリート板(以下、PCa板)では、金属カーテンウォール(以下、CW)に似せたメタル調鏡面仕上げが好まれたり、現場打設コンクリートにおいても平滑な塗装仕様が望まれるなど、高度な意匠性が要求されるようになってきている。しかし、PCa板が軽量コンクリートで製造されるようになってから、素地に微細なひび割れが発生するようになった。そのため、従来適用されてきた硬質の塗装仕様では、塗膜が微細なひび割れに追従できずに割れるため、塗膜のひび割れが目立つようになった。さらに、ある特殊な人工軽量骨材を用いた軽量コンクリートにおいては、通常の養生期間では含水率が下がりにくく、高含水率では塗膜付着力が確保しにくいいため、膨れが発生し易いという問題が顕在化した。

並行して、環境に配慮するために、水系の塗装仕様の採用が望まれ、塗装工事から発生する揮発性有機化合物

(VOC)を極力ゼロに近づけることが東京都環境局や(社)日本塗装工業会、(社)日本塗装協会等から推奨されている。特に改修塗装工事においては、周辺環境への臭いの問題があるため、水系で対応することが強く求められる。しかし、現状ではこれらの問題点を克服でき、かつ全工程が水系である塗装仕様が世の中に存在せず、プライマーだけは溶剤系のものが適用されてきた。

以上のような背景のもと、塗装工事の品質を確保するために、高含水率の下地にも塗装可能で、かつ高付着力を有して膨れ発生を抑制し、ひび割れに追従でき、鏡面仕上げが可能な、プライマーも水系としたオール水系塗装仕様が強く望まれている。

そこで、湿潤下地にも高付着力を有し、伸び弾性を有する、耐酸性、耐アルカリ性、耐油性、耐水性に優れたポリエチレン樹脂系エマルジョンに着目した。このポリエチレン樹脂系エマルジョンの特徴を活かすことによって、高含水率下地にも塗装可能で、その高い付着力とエマルジョン特有の乾燥硬化機構によって膨れを抑制し、

かつ伸び弾性によるひび割れ追従性を発揮する新しい水系塗装材料が開発できると考えた。

本報告では、ポリエチレン樹脂系エマルジョンを適用して開発した水系プライマー、水系下塗り材、およびそれらを組み入れた、低汚染性ふっ素樹脂塗装仕上げの性能について報告する。

## 2. 塗装仕上げにおける課題と開発目標性能

### 2.1 PCa板の塗装仕上げの変遷

現場打設コンクリートと比較して、最適な製造・養生条件を選定できるPCa板は1960年代から採用されはじめ、タイルや石張り仕上げとともに、塗装仕上げが適用されてきた。特に、現場打設コンクリートと比較してひび割れの発生が少ないため、塗装仕上げの下地として最適な材料と認識され、意匠的に鏡面仕上げが要求されるようになった。鏡面塗装仕上げは、PCa板を金属製CWへ擬似させることが可能で、金属CWから意匠性を落とさずに、コストダウンを図ることが可能となる。しかし、近年では、構造上の観点から、PCa板を普通コンクリートではなく、軽量コンクリートで製造することで、より一層の軽量化、大型化が図られるようになった。同時に、PCa板表面に従来発生しなかった微細なひび割れが亀甲状に発生するという問題も顕在化してきた。この現象に対しては、微細なひび割れに追従する鏡面仕上げ可能な低汚染性ふっ素樹脂塗装仕様を開発し、既に報告した<sup>1) 2)</sup>。しかし、軽量コンクリートに使用される人工軽量骨材の種類によっては、コンクリートの乾燥が遅れるという新たな問題が顕在化し、ひび割れに追従する塗装仕様では、塗装後に膨れが発生するという問題が発生した。そこで、微細なひび割れに追従し、かつ高含水率下地でも塗装可能で膨れが発生しない塗装仕様の開発が急務となった。

### 2.2 塗装仕上げにおける研究課題と目標性能

**2.2.1 微細なひび割れへの塗膜追従性** 塗装仕上げを施すPCa板の軽量化に伴い、コンクリート素地面に0.1mm以下の微細なひび割れが発生するようになった。そのため、素地に発生する微細なひび割れに塗膜が追従できず、Photo 1に示すような0.1mm以下の微細なひび割れが塗膜に発生するようになった。そこで、仕上がりに変えずに、塗膜が微細なひび割れに追従することが求められるようになった。なお、現場打設コンクリートや躯体PCaにおいてもふっ素樹脂塗装平滑仕上げが求められているが、これらの素地には0.2mm程度のひび割れの発生が懸念されている。そのため、塗膜が追従するひび割れ幅は0.2mm程度とした。

**2.2.2 耐膨れ性** 特定の地域で、ある特殊な人工軽量骨材を使用した軽量コンクリート製PCa板の含水率が下がらないという問題がある。含水率が下がらないのでやむを得ず含水率10%以上で塗装すると、膨れが発生する。軽量コンクリート製PCa板のふっ素樹脂塗装の膨れの発



Photo 1 塗膜表面の微細なひび割れ  
Minute Crack at the Coating



Photo 2 膨れの発生状況  
Blister at the Coating

生状況をPhoto 2に示す。したがって、10%を超える高含水率下地でも塗装可能で、かつ膨れ発生を抑制するプライマーや下塗り材が求められていた。なお、本研究において、含水率とは、高周波容量式コンクリート・モルタル水分計(ケツト科学研究所製HI520、以下コンクリート・モルタル水分計と略す)を用いて、人工軽量骨材コンクリートモードにて測定した値とする。

**2.2.3 VOC排出量の削減** VOCは、環境に有害な光化学オキシダント(スモッグ)を生成するだけでなく、大気中で粒子化して浮遊粒子状物質(SPM)に変化する。また、人体に有害な物質を含むため、VOCの排出量削減が推奨されている。そのため、環境に配慮した塗装仕上げとして、VOCを全く排出しない、全て水系の塗装材料を用いたオール水系塗装仕様の採用が求められている。東京都環境局においても「東京都VOC対策ガイド」を発行して、低VOC塗装を推奨している。また、改修塗装工事においては、周辺環境への影響を考慮し、臭いのない塗装材料を適用する必要がある。しかし、膨れ発生の抑制や塗膜付着性の確保の目的で、プライマーのみ、VOCや強い臭いを発生する溶剤系を採用せざるを得ないのが現状である。これは、現行の水系プライマーの塗膜付着性、膨れ発生抑制効果、耐アルカリ性等の性能が不十分なためである。したがって、溶剤系と同等以上の性能を有する、高性能で、臭いのない水系プライマーの開発が望まれていた。

2.2.4 目標性能の設定 2.2.1～2.2.3項に記載した研究課題を全て満足する水系塗装材料を開発すべく、目標性能をTable 1のとおり、設定した。なお、いずれの開発材料も、高度な意匠性に対応するために艶の調整や鏡面仕上げが可能で、汚れ防止効果の高い硬質の低汚染性ふっ素樹脂塗装仕様に適用することを前提とした。

(1) 水系プライマー プライマーは、コンクリート下地とその上に塗り重ねる塗料との付着を強固にするための材料である。水系プライマーの目標性能としては、コンクリート・モルタル水分計で測定した含水率が11%でも塗装可能で、コンクリート下地と高付着力を有し、膨れ発生を抑制する性能を有することとする。

(2) 水系下塗り材 コンクリート下地を平滑にするためには下地調整材が、ひび割れに追従させるためには下塗り材が必要であるが、水系下塗り材は両方の機能を有する材料である。水系下塗り材の目標性能としては、下地を平滑化し、ひび割れに追従することとする。また、コンクリート・モルタル水分計による含水率が11%でも塗装可能とし、膨れ発生を抑制することとする。

### 3. 水系プライマーおよび下塗り材の概要

#### 3.1 水系塗装材料の主成分

##### (ポリエチレン樹脂系エマルジョン)の特性

現在では、ひび割れに追従させる微弾性層として、弾性エポキシ樹脂やアクリル樹脂系エマルジョンが適用されている。しかし、膨れ発生抑制効果が不十分である。そこで、本開発では、ポリビニールアルコールを分散剤としてポリエチレン樹脂を乳化したポリエチレン樹脂系エマルジョンを応用し、Table 1の目標性能を満足する水系プライマーおよび水系下塗り材を開発した。適用したポリエチレン樹脂系エマルジョンの特性をTable 2に示す。このポリエチレン樹脂系エマルジョンは、石油樹脂を添加することによって安定化する。また、アクリル樹脂系エマルジョンを添加することによって、耐水性が向上する。さらに、無機鉱物の微粉末を混合することで、平滑施工を可能とし、耐摩耗性が向上する。このようにポリエチレン樹脂系エマルジョンは、湿潤コンクリートにも高付着力を有し、耐水性、耐油性、耐アルカリ性、耐酸性、耐薬品性に優れ、かつ伸び弾性を有し、各種の添加剤の配合によって造膜性能に優れる特性を有する。粘性調整や安定性向上を行って塗料化することによって、ひび割れ追従性を有し、高含水率下地へ塗装可能で高付着力を発揮し、膨れ発生を抑制する新しい水系の塗装材料の開発を実現した。

#### 3.2 水系プライマーおよび水系下塗り材の概要

開発を進めたのは2種類の水系塗装材料であり、その塗装材料と適用するコンクリート下地の種類の組み合わせをTable 3に示す。開発水系塗装材料は、Table 2のポリエチレン樹脂系エマルジョンを応用した、Table 1の目標性能

Table 1 目標性能  
The Objective Performance of Development Coating Materials

塗膜性能	開発目標性能
ひび割れ追従性	軽量PCa板の場合;0.1mm以下
	躯体PCa、場所打ちコンクリートの場合;0.2mm以下
膨れ発生防止性(高含水率への塗装性)	11%以下で塗装可能 膨れを発生させない
鏡面仕上げ	可能
VOC発生量	ゼロ

Table 2 ポリエチレン樹脂系エマルジョンの特性  
Characteristics of Polyethylene Emulsion

性能	試験結果	備考
乾燥したコンクリート下地への接着性	2.27N/mm <sup>2</sup>	
湿潤したコンクリート下地への接着性	2.22N/mm <sup>2</sup>	
鋼下地への接着性	5.04N/mm <sup>2</sup>	
透水性	0.0367g	JIS A 1404
耐アルカリ性	異状無し	水酸化カルシウム飽和水溶液 60日浸漬
耐酸性	異状無し	pH1 硫酸水溶液30日浸漬
温水浸漬後の接着性	2.29N/mm <sup>2</sup>	水中(20℃)24時間、 温水(60℃)24時間を1サイクル 10サイクル実施
温冷繰返し後の接着性	2.16N/mm <sup>2</sup>	恒温槽内-20℃3時間 恒温槽内50℃3時間を1サイクル 10サイクル実施

を満足する水系プライマー「ガードプライマーPCW」(以下、ガードプライマーとする)および水系下塗り材「アンダーコートPCW」(以下、アンダーコートとする)である。ガードプライマーは、オール水系塗装仕様において、膨れ発生を抑制し、高含水率下地と高い付着力を発揮する水系プライマーである。アンダーコートは、11%以下の高含水率でも塗装可能で、膨れ発生を抑制し、塗布量と塗膜厚さを制御することで、追従するひび割れ幅を制御することが可能である。いずれの開発材料も、オール水系塗装仕様を組むことが可能であるだけでなく、弱溶剤系、強溶剤系のいずれの塗装仕様に対しても適用することが可能である。

### 4. 性能検証試験

#### 4.1 試験概要

ポリエチレン樹脂系エマルジョンを応用したガードプライマーおよびアンダーコートについて、高含水率下地に対する塗膜付着性、膨れ発生抑制効果、付着耐久性、耐候性について、検証した。また、アンダーコートについては、ひび割れ追従性を確認した。試験項目と試験体

Table 3 水系塗装材料と下地種類の組み合わせ  
Water-based Coating Materials and the Kinds of Base

コンクリート下地(素地)の種類	プレキャストコンクリート製カーテンウォール (PCaCW)		躯体PCa	場所打ちコンクリート
	普通コンクリート	軽量コンクリート	高強度コンクリート	普通/高強度コンクリート
塗膜に追従させるひび割れ幅	-	0.1mm以下	0.2mm以下	0.2mm以下
適用する水系塗装材料	ガードプライマー	アンダーコート(薄塗り)	アンダーコート(厚塗り)	
水系塗装材料の性状	<ul style="list-style-type: none"> <li>骨材含有量低い</li> <li>粘性が低い</li> <li>固形分量が少ない</li> <li>厚塗り不可</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>骨材含有量高い</li> <li>粘性が高い</li> <li>固形分量が多い</li> <li>厚塗り可能</li> </ul>	
鏡面仕上げ	可能	こて塗りにより平滑仕上げ可能 / 研磨工程併用により鏡面仕上げ可能		

の種類を組み合わせをTable 4に示す。

Table 4 試験項目と試験体の種類  
Kinds of Test and Base of the Specimens

	ガードプライマー		アンダーコート	
	コンクリート歩道板	スレート板	1ヶ月水浸漬したコンクリート歩道板	スレート板
塗膜付着性試験	○			
温冷繰返し試験	○		○	
促進耐候性試験		○		
ひび割れ追従性試験				○

## 4.2 試験方法と試験体

4.2.1 塗膜付着性試験 ガードプライマーおよびアンダーコートの初期塗膜付着性について検証した。これらの水系材料を組み入れた塗装仕様を塗装したコンクリート歩道板について、室内養生7日後、膨れの発生の有無等の仕上がり性を評価した。次いで、それぞれの試験体につき40mm角のアタッチメントを3個ずつ接着し(n=3)、アタッチメント周囲へ素地に達する切り込みを入れ、初期塗膜付着強さをJIS A 6909「建築用仕上塗材」に準じた建研式引張試験にて測定した。

各種水系プライマーの試験体をTable 5に示す。ガードプライマーおよび2種類の水系プライマー既製品をそれぞれ適用したオール水系の塗装仕様4種類と、溶剤系ふっ素樹脂塗装仕様を開発品1を適用した塗装仕様1種類の計5種類とした。水系プライマー既製品を適用したオール水系塗装仕様No.1-2については、通常組み合わせるフィラーを入れた4工程とした。なお、No.1-1およびNo.1-2に適用する各種水系プライマーは砂骨ローラーで、No.1-3～No.1-5に適用する各種水系プライマーはウールローラーで施工した。

各種下塗り材の試験体をTable 6に示す。アンダーコートを組み入れた水系塗装仕様および溶剤系塗装仕様と、下塗り材既製品のセメント系下塗り材を適用した比較用のオール水系塗装仕様との3種類とした。アンダーコートを組み入れた塗装仕様は、鏡面仕上げをするために必要な下塗りとプライマーの役割をアンダーコートが兼用できるため、既成のオール水系塗装仕様のNo.2-3よりも1工程削減することができる。なお、塗装下地としたコンクリート歩道板は、1ヶ月間水中へ全浸漬後、含水率を測定してから、Table 6の塗装仕様で塗装した。

4.2.2 温冷繰返し試験 ガードプライマーおよびアンダーコートについて、付着耐久性および耐膨れ性につ

Table 5 試験体の塗装仕様(プライマー)  
Coating Systems of the Specimens

試験体No.	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5
プライマー	ガードプライマー	水系プライマー1既製品 アクリルエマルジョン系	ガードプライマー	水系プライマー2既製品 アクリルシリコン樹脂系	ガードプライマー
	砂骨ローラー		ウールローラー		
下塗り	-	フィラー 微弾性アクリル系	-		
中塗り	水系ふっ素樹脂塗料用中塗り アクリル樹脂エマルジョン系				溶剤系ふっ素樹脂塗料用中塗り ウレタン樹脂系
上塗り	水系ふっ素樹脂塗料 ふっ素樹脂エマルジョン系				溶剤系 ふっ素樹脂塗料

Table 6 試験体の塗装仕様(下塗り材)  
Coating Systems of the Specimens

試験体No.	2-1	2-2	2-3
含水率*	10.1%	9.6%	9.6%
下塗り	アンダーコート		セメント系下塗り材
プライマー	-	-	水系プライマー既製品 水系アクリルシリコン樹脂系
中塗り	水系ふっ素樹脂塗料中塗り アクリル樹脂エマルジョン系	溶剤系ふっ素樹脂塗料中塗り	水系ふっ素樹脂塗料中塗り アクリル樹脂エマルジョン系
上塗り	低汚染性水系ふっ素樹脂塗料 ふっ素樹脂エマルジョン系	低汚染性溶剤系 ふっ素樹脂塗料	低汚染性水系ふっ素樹脂塗料 ふっ素樹脂エマルジョン系

\*:1ヶ月間水中に浸漬したコンクリート歩道板について、塗装前にコンクリート・モルタル水分計で測定

いて検証する目的で温冷繰返し試験を実施した。Table 5の試験体No.1-1～No.1-4およびTable 6の試験体について、塗装後、室内で14日間養生し、20℃の水へ18時間浸漬後、-20℃で3時間保持し、50℃で3時間保持するサイクルを1サイクルとして10サイクル繰り返し、外観を目視観察後、

4.2.1 塗膜付着性試験と同様の手順で、塗膜付着強さを建研式引張試験にて測定した(n=3)。  
 4.2.3 促進耐候性試験 ガードプライマーを組み入れたふっ素樹脂塗装仕様において、ガードプライマーが上塗りのふっ素樹脂塗料の耐候性に影響を与えないことを確認する目的で、旧JIS K 5400「塗料」に準じたサンシャイン式促進耐候性試験を実施した。Table 5の試験体No.1-1, No.1-5および比較用のNo.1-4を塗装したスレート板について、養生14日後にサンシャイン式促進耐候性試験を4263時間実施し、経時的に測色および60度鏡面光沢度測定を実施して、色差 $\Delta E$ および光沢保持率(%)を算出して耐候性を評価した。

4.2.4 ひび割れ追従性試験 アンダーコートの塗膜厚さを変えて、ひび割れ追従性能を検証した。Table 6に示すNo.2-2の塗装仕様を基本として、ひび割れ追従層となるアンダーコートをローラー3回塗り(試験体A-1～A-5)、塗付け量を少なめにしたローラー3回塗り(試験体B-1～B-5)およびローラー2回塗り(試験体C-1～C-3)とし、各試験体毎に塗付け量を変え、追従させるひび割れ幅を制御する可能性を検討した。中塗り、上塗りは、溶剤系ふっ素樹脂塗装仕様とした。試験体の種類およびアンダーコートの合計塗付け量をTable 7に示す。試験体は、裏面中央にV状の切り込みが入った75×180×厚さ6mmのスレート板中央部に幅50mmで塗装して作製し、以下に示すひび割れ追従性試験を実施した。試験体の形状をFig. 1に示す。

(1) ひび割れ追従性試験 JIS A 6021「建築用塗膜防水材料」6.12 耐疲労性能試験に準じて、塗装後14日間室内養生した試験板中央に切り込みを入れてスレート板のみに亀裂を入れ、万能試験機により5mm/minの等速度で両端を引張った。塗膜が破断するまでの伸び量を測定し、塗膜の伸び量とした。伸び量の測定は、試験機のクロスヘッドの移動量とし、塗膜の破断は目視およびビデオマイクロスコープで判定した。

(2) 疲労試験(ひび割れ追従性耐久性試験) 0.2mm幅をのぼして戻す操作を1サイクルとした。1サイクルを12秒間かけて実施し(5回/min)、500サイクル実施した。500サイクル実施後、塗膜が破断するまででひび割れ追従性試験を引張り速度5mm/minで実施し、破断時の伸び量を測定し、繰返し引張り後のひび割れ追従性を確認した。Photo 3に試験体をセットした様子を示す。

4.3 性能検証試験結果と考察

4.3.1 塗膜付着性試験結果 ガードプライマーの初期塗膜付着性試験結果をTable 8に示す。これより、試験体No.1-1および試験体No.1-3は、既成の塗装仕様と同程

Table 7 ひび割れ追従性試験の試験体(下塗り材) Coating System of the Specimens for the Crack Bridging Elongation Test

試験体記号	塗装工程、使用材料および塗付け量			溶剤系ふっ素樹脂塗料用中塗り (100g/m <sup>2</sup> )	溶剤系ふっ素樹脂塗料上塗り (100g/m <sup>2</sup> )	アンダーコート合計塗付け量 (g/m <sup>2</sup> )
	下塗り					
A-1						605
A-2	アンダーコート	アンダーコート	アンダーコート			606
A-3	1回目	2回目	3回目			589
A-4	(200g/m <sup>2</sup> )	(200g/m <sup>2</sup> )	(200g/m <sup>2</sup> )			602
A-5						600
B-1	アンダーコート	アンダーコート	アンダーコート			499
B-2	1回目	2回目	3回目			491
B-3	(200g/m <sup>2</sup> )	(150g/m <sup>2</sup> )	(150g/m <sup>2</sup> )			519
B-4						485
B-5						477
C-1	アンダーコート	アンダーコート				345
C-2	1回目	2回目				382
C-3	(200g/m <sup>2</sup> )	(150g/m <sup>2</sup> )				360

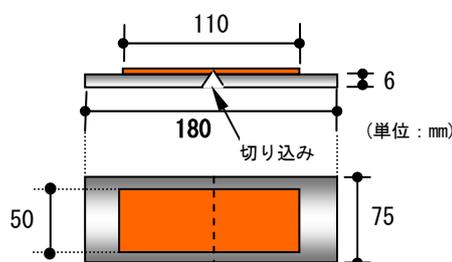


Fig. 1 ひび割れ追従性試験における試験体の形状 Shape of the Specimens



Photo 3 ひび割れ追従性試験の様子 Condition of Crack Bridging Elongation Test

Table 8 塗膜付着強さ試験結果(プライマー) Results of Adhesive Strength Test

試験体No.	(N/mm <sup>2</sup> )			
	1-1	1-2	1-3	1-4
①	3.94	3.63	2.79	4.23
②	3.36	4.28	3.52	4.43
③	2.96	3.18	3.77	4.99
平均	3.42	3.70	3.36	4.55
主要な破壊形状	下地とプライマーとの界面	下地とプライマーとの界面	下地の凝集破壊	下地とプライマーとの界面

度の塗膜付着性を有することを確認した。また、既成の塗装仕様No.1-2およびNo.1-4は、コンクリート下地と水系プライマー既製品との界面で剥離したが、ウールローラーで施工したアンダーコート試験体No.1-3では、下地の凝集破壊を起こし、付着性が良好であることがわかった。1回塗りで膜厚が厚くとれる砂骨ローラーよりもウールローラーによる施工の方が下地との密着性が上がると考えられる。

#### 4.3.2 温冷繰返し試験結果

(1) ガードプライマー Table 5の試験体の温冷繰返し試験結果をTable 9に示す。また、養生7日後の初期の塗膜付着力と温冷繰返し試験後の塗膜付着力とを比較した結果をFig. 2に示す。これより、温冷繰返し試験後、いずれの試験体も塗膜表面に異状は認められなかった。また、ガードプライマーを適用したオール水系塗装仕様No.1-1およびNo.1-3、フィラーを併用した既成水系塗装仕様の試験体No.1-2については、温冷繰返し試験後も塗膜付着力の低下は認められなかったが、既成のオール水系塗装仕様の試験体No.1-4において、著しい付着力の低下が認められた。

(2) アンダーコート Table 6の試験体の温冷繰返し試験結果をTable 10に示す。これより、温冷繰返し試験後もアンダーコートを適用したオール水系塗装仕様の試験体No.2-1および溶剤系中塗り、上塗りと組み合わせた試験体No.2-2の塗膜には、目視観察の結果、外観上の異状が認められなかった。一方、比較用の既成オール水系塗装仕様No.2-3には、Photo 4に示すように、φ3cmの大きな膨れが3個発生した。また、温冷繰返し試験後の塗膜付着強さがNo.2-1およびNo.2-2と比較して平均0.79N/mm<sup>2</sup>と著しく低かった。アンダーコートを適用した塗装仕様とすることで、1工程削減および膨れ発生の抑制が可能であることがわかった。

#### 4.3.3 促進耐候性試験結果

ガードプライマーを適用した試験体についてサンシャイン式促進耐候性試験を4263時間実施し、測定・算定した色差ΔEおよび光沢保持率の経時変化をFig. 3およびFig. 4に示す。これより、ガードプライマーを適用したオール水系塗装仕様の試験体No.1-1および溶剤系の中塗り、上塗りと組み合わせた試験体No.1-5は、いずれも色差ΔEが1以下を示し、良好な耐候性を示した。また、光沢保持率が80%を下回ると塗膜が劣化したと判断するが、ガードプライマーを適用した試験体No.1-1および試験体No.1-5は、いずれも光沢保持率80%以上を示し、良好な耐候性が認められた。さらに、これらの試験体は、既成オール水系塗装仕様の試験体No.1-4よりも光沢保持率が高い結果となった。このことから、ガードプライマーが上塗りの耐候性へ影響を与えないことが確認された。

#### 4.3.4 ひび割れ追従性試験結果

(1) 塗膜厚さ 各試験体についてアンダーコートの塗膜厚さを測定した結果をTable 11に示す。また、アンダーコートの合計塗付け量とその塗膜厚さとの関係を

Table 9 温冷繰返し試験結果(プライマー)  
Results of Heat Cycle Test

試験体No.	(N/mm <sup>2</sup> )			
	1-1	1-2	1-3	1-4
外観	異状無し	異状無し	異状無し	異状無し
①	3.94	4.12	4.92	4.04
②	4.55	5.11	3.49	0.43
③	4.65	3.71	5.16	0.00
平均	4.38	4.31	4.52	1.49
主要な破壊形状	下地の凝集破壊	下地の凝集破壊	下地の凝集破壊	下地の凝集破壊

Table 10 温冷繰返し試験結果(下塗り材)  
Results of Heat Cycle Test

試験体No.	(N/mm <sup>2</sup> )		
	2-1	2-2	2-3
外観	異状無し	異状無し	膨れ発生 φ3cm×3個
①	2.26	2.59	0.51
②	2.30	1.49	0.56
③	1.72	1.99	1.30
平均	2.09	2.02	0.79
主要な破壊形状	下地の凝集破壊	下地と下塗り材との 界面はく離	下地と下塗り材との 界面はく離

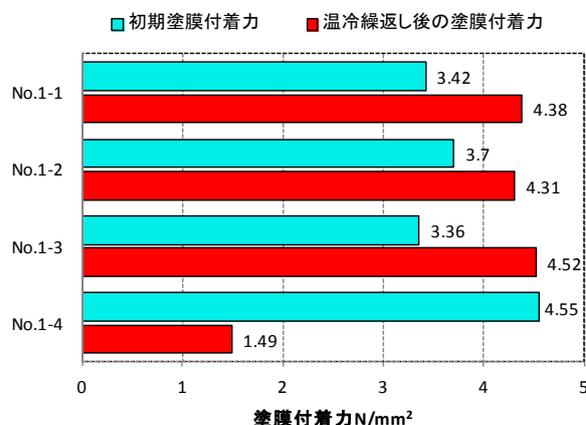


Fig. 2 塗膜付着強さの比較(プライマー)  
Adhesive Strength of the Coating

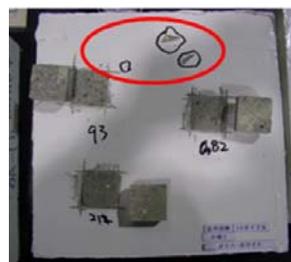


Photo 4 温冷繰返し試験後の膨れ(試験体No.2-3)  
Blister of Specimen No.2-3 after Heat Cycle Test

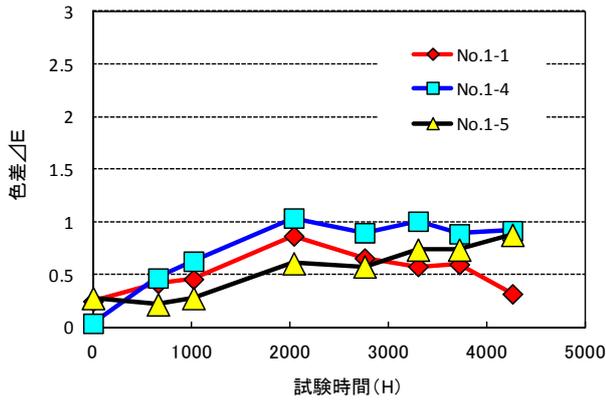


Fig. 3 サンシャイン式促進耐候性試験結果 (色差 $\Delta E$ ) (プライマー)  
Results of Accelerated Weathering Test (Colour Difference  $\Delta E$ )

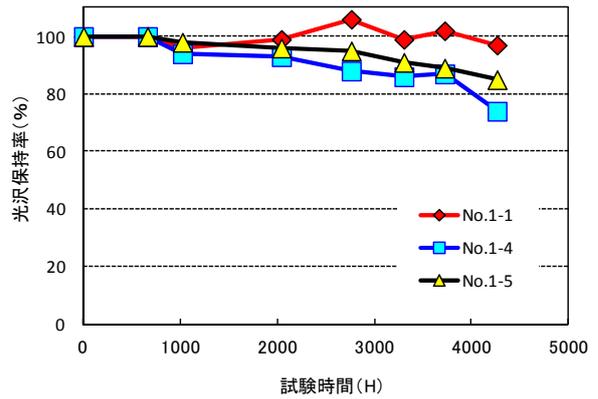


Fig. 4 サンシャイン式促進耐候性試験結果 (光沢保持率)(プライマー)  
Results of Accelerated Weathering Test (Gloss Retention)

Table 11 合計塗付け量と塗膜厚さ(下塗り材)  
Thickness of the Coating and Amount of Total Application

試験体記号	アンダーコート合計塗付け量 (g/m <sup>2</sup> )	アンダーコート塗膜厚さ (μm)	塗膜の伸び量 (mm)	
			初期	耐久性試験後
A-1	3回塗り	605	358	0.54
A-2		606	361	0.68
A-3		589	376	0.67
A-4		602	398	0.41
A-5		600	395	0.87
B-1	3回塗り (少なめ)	491	339	0.56
B-2		485	359	0.5
B-3		477	326	0.53
B-4		499	352	0.58
B-5		519	339	0.52
C-1	2回塗り	382	277	0.42
C-2		360	302	0.57
C-3		345	287	0.29

とその塗膜厚さとは、ほぼ相関関係にあることが確認できる。

(2) ひび割れ追従性試験結果 初期の塗膜のひび割れ追従性試験結果をTable 11に示し、アンダーコートの合計塗付け量と伸び量との関係をFig. 6に示す。これより、いずれの試験体もTable 1に示すPCa板に対する目標追従ひび割れ幅0.1mm、現場打ちコンクリートに対する目標追従ひび割れ幅0.2mmを大きく上回る結果となった。また、アンダーコートの合計塗付け量と伸び量との間にはほぼ相関関係が認められ、合計塗付け量が多くなると、

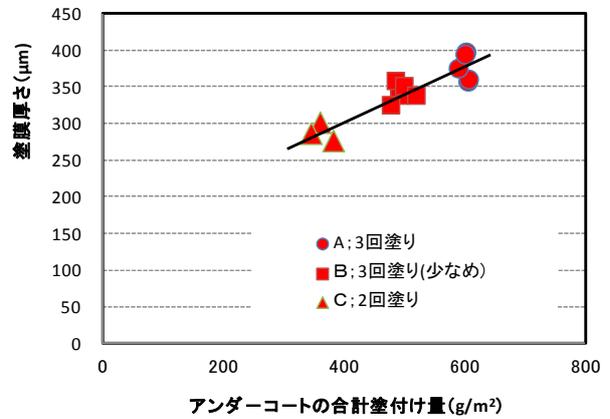


Fig. 5 合計塗付け量と塗膜厚さとの関係 (下塗り材)

Relationship between Amount of Total Application and Total Thickness of Coating

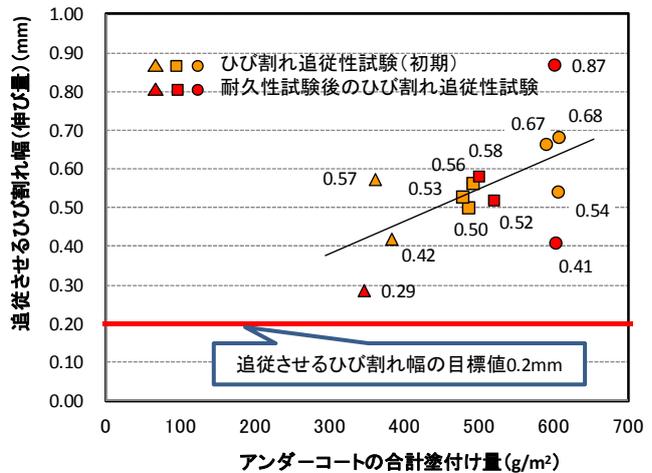


Fig. 6 合計塗付け量と追従するひび割れ幅(伸び量)との関係(下塗り材)

Relationship between Amount of Total Application and Amount of Expansion

伸び量が大きくなる傾向が明確に認められた。このことから、アンダーコートに塗付け量に応じて塗膜厚さを制御することが可能で、追従させるひび割れ幅を設計できることが示唆された。

(3) ひび割れ追従性の耐久性試験結果 0.2mm幅で疲労試験を500サイクル繰返し実施してひび割れ追従性の耐久性を評価した後、ひび割れ追従性試験による伸び量を測定した結果をTable 11およびFig. 6に示す。これより、耐久性試験を実施した3回塗りの試験体A、Bおよび2回塗りの試験体は、いずれも500サイクルを満足した。また、耐久性試験後のひび割れ追従性試験を実施した結果、いずれの試験体についても0.1mmおよび0.2mmの目標ひび割れ幅を上回る伸び量を示した。

#### 4.4 性能検証試験結果のまとめ

ポリエチレン樹脂系エマルジョンを応用して開発した水系プライマーおよび水系下塗り材の性能を検証した結果、高含水率下地への良好な塗膜付着性、膨れ発生抑制効果を確認した。また、水系下塗り材については、下塗り材の合計塗付け量を調整することによって、追従させるひび割れ幅を制御できることを確認した。

### 5. 実物件への適用

青山大林ビル新築工事において、開発したガードプライマーおよびアンダーコートを適用した。ひび割れの発生がないと考えられる普通コンクリート製PCaCWの仕上げには、ガードプライマーを適用した低汚染性溶剤系ふっ素樹脂塗装仕様を適用した。また、0.2mm未満のひび割れの発生が懸念される普通コンクリート製躯体PCaの仕上げには、0.2mm以下のひび割れに追従可能なようにアンダーコートを組み合わせた低汚染性溶剤系ふっ素樹脂塗装仕様を適用した。青山大林ビルの竣工予想図をPhoto 5に示す。今後、新築のみならず、周辺環境への配慮が必須となるために水系塗装仕様の採用が望まれる改修塗装工事においても、水系プライマーおよび水系下塗り材を適用し、意匠性の高い平滑仕上げを展開できると考える。

### 6. まとめ

ポリエチレン樹脂系エマルジョンを応用して塗料化し、水系のプライマーおよび下塗り材を開発した。これらの水系塗装材料の性能を検証し、実物件へ適用した。結果を次にまとめる。

- 1) ガードプライマーおよびアンダーコートは、含水率が11%以下の高含水状態でも塗装可能で、下地と



Photo 5 実適用例(物件名；仮称青山大林ビル)  
Example of Application

高い付着力を発揮し、膨れ発生を抑制することを確認した。

- 2) ガードプライマーを適用したふっ素樹脂塗装仕様について、促進耐候性試験を実施した結果、変色や膨れの発生は認められず、光沢保持率も80%以上を満足した。このことから、ガードプライマーが上塗りの耐候性に影響を与えず、高耐候性であることを確認した。
- 3) アンダーコートは、その塗付け量を調整することで、0.2mmのひび割れに追従することを確認した。

以上の結果から、予測される発生ひび割れ幅等のコンクリート下地の特性や要求される仕上がり性に対して、開発した水系塗装材料を用いることで、高品質の塗装仕上げを提供できる。

### 謝辞

ポリエチレン樹脂系エマルジョンの改良等、多大なご協力を頂いた成瀬化学(株)殿、ならびに、試験体の作製や試験の実施に際し、多大なご協力を頂いたAGCコーテック(株)殿に深謝致します。

### 参考文献

- 1) 奥田章子,他：微細ひび割れ追従型高耐久性低汚染ふっ素樹脂塗装仕様の開発,日本建築仕上学会大会学術講演会研究発表論文集,pp.267-270,(2005)
- 2) 奥田章子,他：PCa板用ひび割れ追従型ふっ素樹脂塗装仕上げ工法の開発,大林組技術研究所報No.73,(2009)