

土木研究所資料

環境にやさしい塗料に関する試験調査報告書

—コンクリート用水系被覆材料の性能試験—

平成10年1月

建設省土木研究所
材料施工部化学研究室

Copyright © (1998) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。



土木研究所資料
第3544号1998年1月

環境にやさしい塗料に関する試験調査報告書

—コンクリート用水系被覆材料の性能試験—

土木研究所材料施工部

化学研究室 室 長 明嵐 政司

主任研究員 守屋 進

要 旨

近年、建設事業にも環境保全が求められるようになってきた。塗料中に含まれている揮発性有機溶剤は光化学スモッグなどの大気汚染物質のひとつであるため、揮発性有機溶剤を削減した環境にやさしい塗料を実用化する必要がある。

本報告書は、揮発性有機溶剤を含まない水系の環境にやさしい塗料について、その景観性能と被膜性能について行った試験結果をとりまとめたものである。

キーワード：環境にやさしい塗料、光化学スモッグ、揮発性有機溶剤、景観性能、被膜性能

はじめに

塗料中に含まれている揮発性有機溶剤は、自動車の排気ガスとともに光化学スモッグをはじめとする大気汚染の原因物質の一つである。わが国において人間活動によって、大気中に放出される炭化水素量の約60%が固定発生源から放出されている。そのうち最も大きな割合を占めているのが、塗料用有機溶剤であり固定発生源の約54%を占めている¹⁾。

現在、わが国では塗料用有機溶剤は年間約95万t使用されており、そのうち約50%が建設分野で使用されている²⁾。自動車や家具などの塗料は、有機溶剤の回収が可能な工場塗装であるが、土木構造物の塗装はそのほとんどが現場塗装であるため塗料中の有機溶剤はそのまま大気中に放出される。

このため、土木構造物に適用される塗料中に含まれる有機溶剤量を削減することが極めて重要であり、揮発性有機溶剤を削減した環境にやさしい被覆材料の開発が望まれている。

また、コンクリート構造物も塩害対策やアルカリ骨材反応対策以外に近年景観対策として汚れにくい被覆が行われるようになってきた。

本報告書は、揮発性有機溶剤を含まない環境にやさしい水系でかつ汚れにくい景観対策のためのコンクリート用被覆材料について、その性能および機能を明らかにするために実施した施工性試験、屋外暴露試験および各種物性試験結果をとりまとめたものである。

1) 国立公害研究所報告書第102号

2) (社)日本塗料工業会：塗料産業におけるVOCの現状と将来像〔報告書〕；平成5年4月

目 次

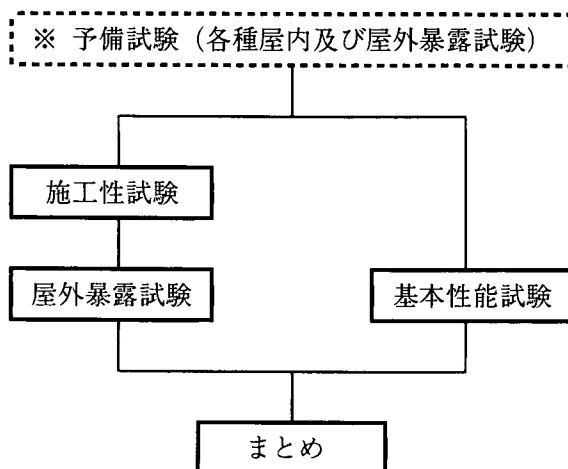
1. 研究目的	1
2. コンクリート用被覆材料	2
2.1 被覆構成	2
2.2 水系被覆材料の分類	3
2.3 各樹脂の特徴	4
3. 研究内容	7
3.1 研究経緯	7
3.2 研究項目	7
3.3 被覆仕様	8
4. 施工性試験	12
4.1 試験目的	12
4.2 試験方法	12
4.3 評価項目	14
4.4 試験結果	15
5. 屋外暴露試験	16
5.1 試験目的	16
5.2 試験方法	16
5.3 試験結果	16
6. 基本性能試験	22
6.1 耐アルカリ性試験	23
6.2 促進耐候性試験	26
6.3 付着性試験	29
6.4 ひび割れ追従性試験	34
6.5 遮塩性試験	37
6.6 透水性試験	39
7. まとめ	42
8. 今後の課題	46
付属資料	47
1. 施工性試験写真	49
2. 屋外暴露試験評価写真	51
3. 屋外暴露試験データ（明度差）	53

1. 研究目的

コンクリート構造物の保護と景観対策を目的とする被覆材料は、施工性、耐久性、美観性、防汚性、汚染除去性など様々な性能が要求される。こうした中で現在では、土木分野におけるコンクリート構造物の被覆は溶剤系材料が主であるが、環境問題および作業の安全性の観点から水系被覆材料の開発が望まれている。

本研究は、前処理から上塗りまでの全てに水系材料を用いた被覆仕様について各種試験を行ない、コンクリート構造物の景観用水系被覆材料の性能を明らかにすることを目的とする。

研究は、市販および開発中の各種水系被覆仕様について、以下のフローで実施した。



※ 予備試験は、平成5年の第20回日本道路会議で「景観用被覆材料における水系被覆材料のシステム化とその評価」で報告済みである。

2. コンクリート用被覆材料

2.1 被覆構成

コンクリート用被覆材料は、劣化した脆弱な部分をサンダーなどで除去し、ひび割れには注入したり、不陸を断面修復など行った後、外部からの劣化因子の浸透を妨げたり、景観性を向上させるために被覆を行う材料である。一般に、プライマー、パテ、下塗り、中塗りおよび上塗りで構成されている。

(1) プライマー

プライマーは上に塗布する材料をコンクリートに強固に付着させるために塗布するもので、以下の性能が要求される。

- ①コンクリートに対する付着性が良いこと。
- ②上に塗布するパテ、中塗り、上塗りとの付着性が良いこと。
- ③耐水性、耐アルカリ性が良いこと。

(2) パテ

下地コンクリートのくぼみ、割れ、ジャンカ等の不陸を修正して塗膜の平坦さを向上させ、塗膜の欠陥を抑えるために用いる肉盛り用の材料で、固形分を多く含み、一般にペーストあるいはモルタル状である。

(3) フィラー

水系被覆材料のシステムでは、フィラーを使用する場合がある。フィラーにはコンクリートの劣化因子（塩分、酸性物質、水分、酸素、二酸化炭素等）の遮断性能が要求される。下塗りまたは下地調整材ともいう。

(4) 中塗り

水系塗料を用いる場合、遮断性能を確保するために中塗りを使用する場合がある。プライマーあるいは下塗りと上塗りの中間にあるもので、被膜全体の補強効果や、外部からの塩分等の浸透を遮断する性能を有する。厚膜形や柔軟形などのコンクリート保護システムでは、中塗りはシステムの要であるといえる。エポキシ樹脂、ポリウレタン樹脂等の合成樹脂系やセメントペースト系、結合材にセメントと有機系ポリマーとを用いたポリマーセメント系等が劣化要因、被覆目的に応じて用いられる。

(5) 上塗り

上塗りは被覆の最終仕上げに用いられるもので水分、塩分等の遮断性能に加え、美観性、防汚性および耐候性に優れている必要があり、特に防汚性では付着した汚れを雨水などによって自然に洗い流せるように被膜表面に親水性を付与することが行われている。

2.2 水系被覆材料の分類

現在市販されている被覆材料の中で水系化されている材料（ポリマーセメントモルタルを含む）の分類を図2-1に示す。系の分類を大分類に、それに用いられている樹脂（結合材）を中分類に示す。さらに重合、変性されるものは代表例を小分類に示す。本報告書において供試した上塗りには下線を付した。

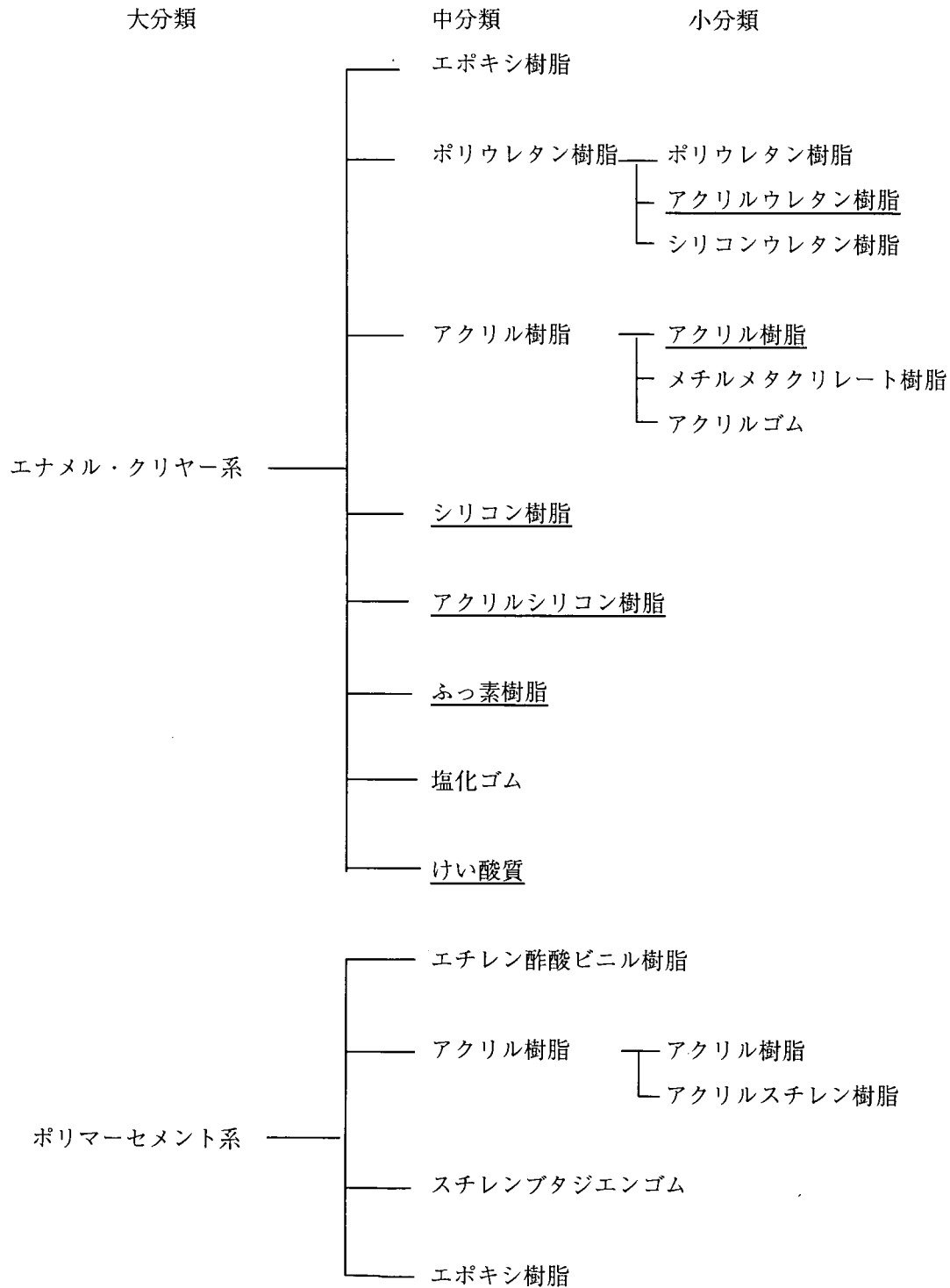


図2-1 水系被覆材料の分類

2.3 各樹脂の特徴

図2-1に示した中分類の樹脂（結合材）について、概要、特徴および用途を以下に示す。

2.3.1 エナメル・クリヤー系

(1) エポキシ樹脂

■概要

エポキシ樹脂に硬化剤としてポリアミドアミンや変性ポリアミン等を使用した二液反応形、あるいは一液形エマルションがある。硬質タイプと軟質タイプがある。

■特徴

付着性、耐水性、耐アルカリ性、耐酸性に優れる。

■用途

下塗り、中塗り

(2) ポリウレタン樹脂

■概要

イソシアネート化合物(-NCO基を有する)とポリオール化合物(-OH基を有する)の反応生成物であるウレタン結合を持つ樹脂をいい、この樹脂を展色剤として用いたものをポリウレタン樹脂塗料という。また、さらに別の特性を付与するために他の樹脂をブレンド（変性）したり、重合したりして使用されることがある。この場合、第2成分がアクリルやシリコンであれば、おのこのアクリルウレタン樹脂、シリコンウレタン樹脂と呼ばれる。硬質タイプと軟質タイプがあるが、硬質タイプが一般的である。

■特徴

耐水性、耐アルカリ性、耐酸性に優れ、特に耐候性に優れる。

■用途

下塗り、中塗り、上塗り

(3) アクリル樹脂

■概要

アクリル酸、メタアクリル酸の誘導体を主成分とする重合樹脂をいい、この樹脂を展色剤として用いたものをアクリル樹脂塗料という。エマルションには架橋タイプと非架橋タイプがある。

■特徴

一般には架橋タイプのほうが性能は優れ、耐水性、耐アルカリ性、耐酸性に優れる。

■用途

下塗り、中塗り、上塗り

(4) シリコン樹脂

■概要

樹脂の主鎖がシロキサン結合(-Si-O-)からなり、このSiにアルキル基(-R)が側鎖として結合した樹脂をいい、この樹脂を展色剤として用いたものをシリコン樹脂塗料という。また、さらに別の特性を付与するために、他の樹脂をブレンド（変性）して使用されることもある。

■特徴

耐水性，耐アルカリ性，耐酸性に優れ、特に耐候性に優れる。

■用途

上塗り

(5) アクリルシリコン樹脂

■概要

二液硬化形の塗料で、主剤はアクリルシリコン樹脂（アルコキシシリル基含有アクリル樹脂）、硬化剤はアルコキシシリル基に対する硬化触媒を主成分とする。アルコキシシリル基の架橋反応により、シロキサン結合を生成する樹脂をいう。

■特徴

耐候性に優れる。

■用途

上塗り

(6) ふっ素樹脂

■概要

樹脂組成中にふっ素(-F-)を含むものをふっ素樹脂といい、この樹脂を展色剤として用いたものをふっ素樹脂塗料という。

■特徴

耐水性，耐アルカリ性に優れ、特に耐候性に優れる。

■用途

中塗り，上塗り

(7) 塩化ゴム

■概要

塩素化オレフィン系のエマルジョンが一般的である。

■特徴

耐水性，耐アルカリ性，耐酸性に優れる。

■用途

下塗り

(8) けい酸質

■概要

シリカゾルや水溶性シリケートなどのいわゆるけい酸質を結合材とし、それに補助的に合成樹脂エマルジョンを配合し塗料化したものをけい酸質系塗料という。

■特徴

塗膜硬度が高く、不燃性，耐汚染性，透湿性等の無機質特有の特徴を示す。

■用途

下塗り，中塗り，上塗り

2.3.2 ポリマーセメント系

ポリマーセメント系材料には、ポリマーセメントモルタルとポリマーセメントペーストがある。

(1) エチレン酢酸ビニル樹脂

■概要

エチレンと酢酸ビニルとの共重合体。

■特徴

保水性に優れる。耐水性，耐アルカリ性が比較的劣る。

■用途

下塗り，中塗り

(2) アクリル樹脂

■概要

アクリル酸エステルを主成分とする重合体。

■特徴

耐候性，耐酸性，保水性に優れる。耐アルカリ性が比較的劣る。

■用途

下塗り，中塗り

(3) スチレンブタジエンゴム

■概要

スチレンとブタジエンとの共重合体。

■特徴

耐水性，耐アルカリ性，耐酸性，保水性に優れる。光黄変性がある。

■用途

下塗り，中塗り

(4) エポキシ樹脂

■概要

エポキシ樹脂を主成分とする重合体。

■特徴

耐水性，耐アルカリ性，耐薬品性に優れる。光黄変性がある。

■用途

下塗り，中塗り

3. 研究内容

3.1 研究経緯

コンクリート用水系被覆材料は、これまで土木構造物用としてほとんど使用されていなかった材料である。

そこで、特に「水系」であること、「コンクリート用」であることの2点に着目し、これまでに30数種の水系被覆材料について施工性試験、屋外暴露試験（防汚性）を行った。

近年、特に注目されている防汚性において比較的良好な結果を得た14種類のものについて基本性能試験を実施した。

なお、評価は溶剤系の従来品と比較することとし、従来品には道路橋の塩害対策指針（案）のA種およびB種（エポキシ～ポリウレタンシステム）を用いた。

3.2 研究項目

3.2.1 施工性試験

被覆材料は温度、希釈率の違いで、粘度や可使時間が変化して施工性に影響を及ぼす。また、構造物の形状や施工面の状態によっても施工性は異なる。これらの点を把握するため、今回供試した各被覆材料についてそれぞれ夏（8月）と冬（2月）の2回ずつ施工性試験を行った。

現場での施工性を的確に評価するため、凹凸面、上向き面、下向き面、垂直面のある実構造物に近い形状のL型歩道床版を試験体として用いた。

3.2.2 屋外暴露試験（防汚性）

一般に上塗り被覆材料の重要な機能として耐候性と防汚性があるが、この中で防汚性は近年特に注目されている機能であることから、暴露試験では防汚性を重点的に評価した。

試験体は施工性試験を行ったものをそのまま暴露に供した。上向き面、下向き面、垂直面のそれぞれ内側（屋根あり）と外側（屋根なし）について部位別に評価した。

3.2.3 基本性能試験

被覆材料としての基本的な性能を評価した。試験項目は、一般に水系被覆材の弱点とされている機能に重点を置いて、既存のコンクリート用被覆材料の規格試験方法の中から耐アルカリ性、促進耐候性、付着性、ひび割れ追従性、遮塩性試験を選定した。

3.3 被覆仕様

供試した被覆材料の仕様を表3-1から表3-7に、比較用の溶剤系の仕様を表3-8に示す。

表3-1 一液形水系ふっ素樹脂上塗材の被覆仕様

記号	工 程		材料分類（一般名）	標準塗付量 (kg/m ² /回)	塗 回 数	塗装間隔	代表的な 塗装方法
1 F	1	プライマー	水系アクリル樹脂プライマー	0.10～0.15	1	2時間以上	ローラー
	2	パテ	水系エポキシ樹脂パテ	0.50～0.80	1	16時間以上	コテ
	3	プライマー	水系アクリル樹脂プライマー	0.10～0.15	1	2時間以上	ローラー
	4	上塗1	一液形水系ふっ素樹脂上塗材	0.12～0.15	1	4時間以上	ローラー
	5	上塗2	一液形水系ふっ素樹脂上塗材	0.12～0.15	1	—	ローラー
4 F	1	パテ	ポリマーセメント系パテ	2mm/回以下	1	16時間～10日	コテ
	2	フィラー	ポリマーセメント系フィラー	1.00～1.50	1	16時間～10日	ローラー
	3	プライマー	水系アクリル樹脂プライマー	0.10～0.15	1	4時間～10日	ローラー
	4	上塗1	一液形水系ふっ素樹脂系上塗材	0.15～0.20	1	4時間～10日	ローラー
	5	上塗2	一液形水系ふっ素樹脂系上塗材	0.15～0.20	1	—	ローラー
7 F ₂	1	パテ	水系エポキシ樹脂パテ	1.30	1	18時間～14日	コテ
	2	プライマー	水系塩化ゴムプライマー	0.13	1	2時間～10日	ローラー
	3	中塗	一液形水系ウレタン樹脂上塗材	0.15	1	3時間～10日	ローラー
	4	上塗	一液形水系ふっ素樹脂上塗材	0.15	1	—	ローラー

表 3-2 一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤーの被覆仕様

記号	工 程		材料分類 (一般名)	標準塗付量 (kg/m ² /回)	塗 回 数	塗装間隔	代表的な 塗装方法
1 F ₂	1	プライマー	水系アクリル樹脂プライマー	0.10~0.15	1	2時間以上	ローラー
	2	パテ	水系エポキシ樹脂パテ	0.50~0.80	1	16時間以上	コテ
	3	プライマー	水系アクリル樹脂プライマー	0.10~0.15	1	2時間以上	ローラー
	4	上塗1	一液形水系ふっ素樹脂上塗材	0.12~0.15	1	4時間以上	ローラー
	5	上塗2	一液形水系ふっ素樹脂上塗材	0.12~0.15	1	16時間以上	ローラー
	6	上塗3	一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤー	0.01~0.03	1	—	ローラー
5 F ₂	1	プライマー	水系スチレン・ブタジエン・ゴム系プライマー	0.027	1	2時間~10日	ローラー
	2	パテ	ポリマーセメント系パテ	1.50	1	16時間~10日	コテ
	3	上塗1	一液形水系ふっ素樹脂上塗材	0.15	1	2時間~7日	ローラー
	4	上塗2	一液形水系ふっ素樹脂上塗材	0.15	1	2時間~7日	ローラー
	5	上塗3	一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤー	0.10	1	—	ローラー
6 F ₂	1	プライマー	塩素化ポリオレフィン系プライマー	0.12	1	2時間以上	ローラー
	2	中塗	伸長形ポリマーセメント系中塗材	1.2	1	16時間以上	コテ
	3	上塗1	一液形水系ふっ素樹脂上塗材	0.12	1	5時間以上	ローラー
	4	上塗2	一液形水系ふっ素樹脂上塗材	0.12	1	5時間以上	ローラー
	5	上塗3	一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤー	0.04~0.1	1	—	ローラー

表 3-3 一液形水系シリコン樹脂上塗材の被覆仕様

記号	工 程		材料分類 (一般名)	標準塗付量 (kg/m ² /回)	塗 回 数	塗装間隔	代表的な 塗装方法
2 S	1	パテ	柔軟形ポリマーセメント系パテ	1.1	1	2時間以上	ローラー
	2	フィラー	柔軟形ポリマーセメント系フィラー	1.0	1	4時間以上	ローラー
	3	上塗1	一液形水系シリコン樹脂上塗材	0.20	1	2時間以上	ローラー
	4	上塗2	一液形水系シリコン樹脂上塗材	0.20	1	—	ローラー
7 AS ₃	1	パテ	水系エポキシ樹脂パテ	1.30	1	18時間~14日	コテ
	2	プライマー	水系塩化ゴムプライマー	0.13	1	2時間~10日	ローラー
	3	上塗1	一液形水系シリコン樹脂上塗材	0.15	1	3時間~10日	ローラー
	4	上塗2	一液形水系シリコン樹脂上塗材	0.15	1	—	ローラー

表3-4 二液形水系シリコン樹脂上塗材の被覆仕様

記号	工 程		材料分類（一般名）	標準塗付量 (kg/m ² /回)	塗 回 数	塗装間隔	代表的な 塗装方法
8 AS	1	パテ	ポリマーセメント系パテ	2.0	1	16時間以上	コテ
	2	プライマー	水系エポキシ樹脂プライマー	0.2	1	16時間以上	ローラー
	3	上塗1	二液形水系シリコン樹脂上塗材	0.15	1	2時間以上	ローラー
	4	上塗2	二液形水系シリコン樹脂上塗材	0.15	1	—	ローラー

表3-5 一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材の被覆仕様

記号	工 程		材料分類（一般名）	標準塗付量 (kg/m ² /回)	塗 回 数	塗装間隔	代表的な 塗装方法
3 AU	1	プライマー	水系アクリル樹脂プライマー	0.07	1	2時間以上	ローラー
	2	フィラー	水系アクリル樹脂フィラー	0.60	1	8時間以上	コテ併用
	3	上塗1	一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材	0.13	1	2時間以上	ローラー
	4	上塗2	一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材	0.13	1	—	ローラー
4 AU ₂	1	パテ	柔軟形ポリマーセメント系パテ	1mm/回以下	1	1時間～10日	コテ
	2	フィラー	柔軟形ポリマーセメント系フィラー	0.60～1.00	1	16時間～10日	ローラー
	3	プライマー	水系アクリル樹脂プライマー	0.10～0.15	1	4時間～10日	ローラー
	4	上塗1	一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材	0.15～0.20	1	4時間～10日	ローラー
	5	上塗2	一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材	0.15～0.20	1	—	ローラー
5 AU	1	プライマー	水系スチレン・ブタジエン・ゴム系プライマー	0.027	1	2時間～10日	ローラー
	2	パテ	ポリマーセメント系パテ	1.50	1	16時間～10日	コテ
	3	上塗1	一液 水系アクリルウレタン樹脂上塗材	0.15	1	2時間～ 7日	ローラー
	4	上塗2	一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材	0.15	1	—	ローラー

表 3-6 一液形水系アクリル樹脂上塗材の被覆仕様

記号	工 程		材料分類 (一般名)	標準塗付量 (kg/m ² /回)	塗 回 数	塗装間隔	代表的な 塗装方法
2 Ac ₃	1	パテ	柔軟形ポリマーセメント系パテ	1.1	1	2時間以上	ローラー
	2	フィラー	柔軟形ポリマーセメント系フィラー	1.0	1	4時間以上	ローラー
	3	上塗1	一液形水系アクリル樹脂上塗材	0.20	1	2時間以上	ローラー
	4	上塗2	一液形水系アクリル樹脂上塗材	0.20	1	—	ローラー

表 3-7 水系シリカ上塗材の被覆仕様

記号	工 程		材料分類 (一般名)	標準塗付量 (kg/m ² /回)	塗 回 数	塗装間隔	代表的な 塗装方法
3 Si	1	フィラー	ポリマーセメント系フィラー	1.00	1	1日～7日	コテ
	2	上塗1	水系シリカ上塗材	0.20	1	2時間～7日	ローラー
	3	上塗2	水系シリカ上塗材	0.20	1	—	ローラー

表 3-8 比較用の溶剤系ポリウレタンの被覆仕様

記号	工 程		材料分類 (一般名)	標準塗付量 (kg/m ² /回)	塗 回 数	塗装間隔	代表的な 塗装方法
PU 1 硬質形	1	プライマー	溶剤系エポキシ樹脂プライマー	0.10	1	1日～7日	ローラー
	2	パテ	溶剤系エポキシ樹脂パテ	0.30	1	1日～7日	コテ併用
	3	中塗	溶剤系エポキシ樹脂中塗材	0.32	1	1日～10日	ローラー
	4	上塗	溶剤系硬質形ポリウレタン樹脂上塗材	0.15	1	—	ローラー
PU 2 柔軟形	1	プライマー	溶剤系エポキシ樹脂プライマー	0.10	1	1日～10日	ローラー
	2	パテ	溶剤系エポキシ樹脂パテ	0.30	1	1日～10日	コテ
	3	中塗	溶剤系柔軟形エポキシ樹脂中塗材	0.26	1	1日～10日	ローラー
	4	上塗	溶剤系柔軟形ポリウレタン樹脂上塗材	0.12	1	—	ローラー

4. 施工性試験

4.1 試験目的

コンクリート用被覆材料の施工性に影響を及ぼす高温時（夏期），低温時（冬期）において、実構造物で見られる形状に近い試験体に施工し、施工時間，塗付量，仕上がり状態を評価する。なお比較には、「道路橋の塩害対策指針（案）」A種（溶剤系硬質形ポリウレタン樹脂上塗材の被覆仕様）を用いた。

4.2 試験方法

- (1) 実施場所 土木研究所建設材料研究施設（茨城県つくば市）
- (2) 試験体 張出歩道床版ロードエル（プレパクトコンクリート）
- (3) 試験体の形状 図4-1に示す。なお、試験体および仕上がり状態の写真を附属資料の写真1～4に示す。

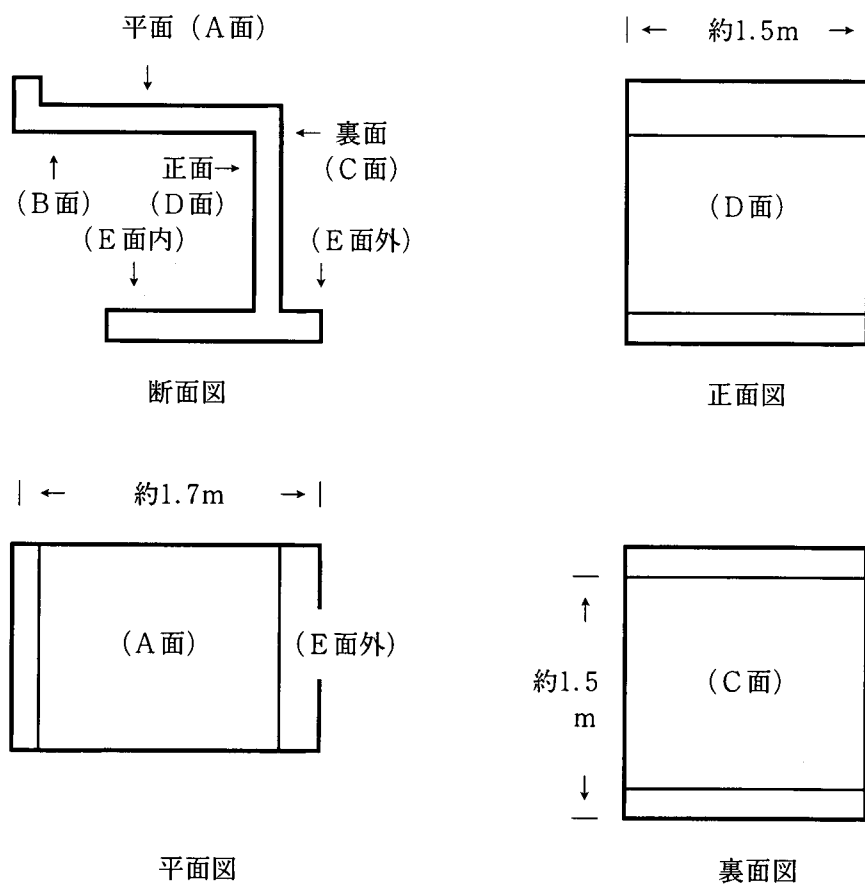


図4-1 試験体の形状

(4) 施工面積

対 象 面	A 面	B 面	C 面	D 面	E 面	合 計
施工面積	2.6 m ²	2.9 m ²	2.2 m ²	3.3 m ²	2.4 m ²	13.4 m ²

(5) 試験体の配置 裏面（C面）を南向きに配置

(6) 施工時期 1年間で気候が厳しい冬期は2～3月に、夏期は7～8月に行なった。

(7) 施工条件

① 気 象 …… 降雨，降雪がなく，気温5℃以上，湿度85%以下，風速5m/s以下とした。

② 下 地 …… エフロレッセンスなどの付着物は取り除き，含水率10%以下とした。

(8) 被覆材料 3. 3被覆仕様に従って実施した。ただし，記号 PU2 溶剤系柔軟形ポリウレタン樹脂上塗材の被覆仕様は実施しなかった。

(9) 塗装方法 吹付を除く，ヘラ，コテ，ローラー，はけを用いた。

(10) 施工記録 施工記録は，「施工性試験記録表」に記載した。

No. 1/

施工性試験記録表（表紙）

記号		開始日	平成 年 月 日			
1. 上塗材名称						
工 程	材 料 名	荷 姿	保管方法、注意点			
第1工程材						
第2 〃						
第3 〃						
第4 〃						
第5 〃						
2. 気 候	天候 ， 気温 ℃， 湿度 %， 風速 m/s					
3. 下地の状態						
項目	A 面	B 面	C 面	D 面	E 面内	E 面外
温 度	℃	℃	℃	℃	℃	℃
含水率	%	%	%	%	%	%
4. 塗装以外の下地処理（実施項目を記入）						

No /

施工性試験記録表

記号			塗装日	平成	年	月	日
1. 上塗材名称			2. 実施材料名称				
3. 気候	天候 , 気温 ℃, 湿度 %, 風速 m/s						
4. 混合量 A kg, B kg, C kg 水希釈率 %, 材料の温度 ℃							
5. 可使時間			6. 分塗装道具				
7. 塗装							
項目	A 面	B 面	C 面	D 面	E 面内	E 面外	
塗装時間							
塗付量							
単位塗付量 (kg/m ²)							
仕上がり状態 (ダレ、発泡など異常を記入)							

4.3 評価項目

施工性試験は、同一の水系被覆仕様で1～2回施工時期を変えて行われた。

評価項目	評価内容
1. 工 程 数	塗装を行った工数
2. 施 工 時 間	システムでの単位面積当たりの施工時間
3. 規定量に対する塗付量の増減	各工程材の標準塗付量に対する塗付量の増減
4. 仕上がり状態	ダレ、発泡などの異常の有無、仕上がり形状

4.4 試験結果

施工性試験結果を表4-1に示す。

施工時期を変えて夏、冬に実施したものの中には施工時間に差を生じたものもあるが、すべての水系被覆仕様で各面とも良好に仕上がっている。しかし、溶剤系硬質形ポリウレタン樹脂上塗材の被覆仕様に比べると、一部を除き工程数と塗付量が多いことから施工時間が1.5～2倍程度を要している。また規定量に対する塗付量の増減では、溶剤系ポリウレタンがすべての工程で標準塗付量を上回っているのに対して、水系被覆仕様では規定内から規定以下のものが多くなっている。

表4-1 施工性試験結果

被覆仕様	記号	施工 時期	工程 数	施工時間 (/m ²)	数量に対する塗付量の増減		仕上がり状態	
					増	減	異常の有無	形状
一液形水系 ふっ素樹脂 上塗材	1 F	H.5.夏	5	18分	1,3工程	なし	良好	ほぼ平滑
	4 F	H.7.夏	5	21分	なし	なし	良好	ゆず肌状
	7 F ₂	H.7.夏	4	30分	2工程	1,3,4工程	良好	ほぼ平滑
一液形水系 ふっ素樹脂 上塗クリヤー	1 F ₂	H.6.冬	6	26分	1工程	4,5工程	良好	ほぼ平滑
	1 F ₂	H.6.夏	6	34分	なし	4,5工程	良好	ほぼ平滑
	5 F ₂	H.7.冬	5	51分	なし	1工程	良好	ほぼ平滑
	6 F ₂	H.6.冬	5	33分	なし	なし	良好	ほぼ平滑
	6 F ₂	H.6.夏	5	55分	なし	なし	良好	ほぼ平滑
一液形水系 シリコン樹脂上塗材	2 S	H.9.冬	4	36分	なし	1工程	良好	ゆず肌状
	7 AS ₃	H.6.夏	4	30分	なし	1,2工程	良好	ほぼ平滑
二液形水系 シリコン樹脂上塗材	8 AS	H.6.夏	4	26分	2工程	1,3工程	良好	ほぼ平滑
一液形水系 アクリルウレタン 樹脂上塗材	3 AU	H.5.夏	4	26分	なし	なし	良好	ほぼ平滑
	3 AU	H.6.冬	4	28分	2工程	なし	良好	ほぼ平滑
	4 AU ₂	H.6.冬	5	32分	なし	なし	良好	ゆず肌状
	4 AU ₂	H.6.夏	5	32分	なし	なし	良好	ゆず肌状
	5 AU	H.6.冬	4	36分	なし	2,4工程	良好	ほぼ平滑
	5 AU	H.6.夏	4	38分	なし	2工程	良好	ほぼ平滑
一液形水系 アクリル樹脂上塗材	2 Ac ₃	H.6.夏	4	27分	なし	1工程	良好	ゆず肌状
水系シリカ上塗材	3 Si	H.5.夏	3	27分	なし	なし	良好	ほぼ平滑
	3 Si	H.6.冬	3	27分	なし	なし	良好	ほぼ平滑
溶剤系硬質形 ポリウレタン樹脂上塗材	PU1	H.5.夏	4	21分	1,2,3,4 工程	なし	良好	ほぼ平滑

5. 屋外暴露試験（防汚性）

5.1 試験目的

一般に上塗り被覆材料に重要な性能として、耐候性と防汚性があげられる。この中で近年特に注目されているのが防汚性である。今回試験されたものはほとんどが高耐候性の被覆材料であることから、屋外暴露試験では防汚性に重点をおき、汚れ状態は1年後に評価を行った。

5.2 試験方法

- (1) 試験場所 土木研究所建設材料研究施設（茨城県つくば市）
- (2) 試験体 張出歩道床版ロードエル（プレパクトコンクリート、図5-1に示す）に下地処理を行った後、各々の仕様に従って被覆を実施した。
- (3) 測定 外観変化の有無の他、明度（L値）、色差、光沢の変化についても初期、3ヶ月後、6ヶ月後、12ヶ月後に測定を実施した。試験体の測定部位を図5-1に示す。上向き面、下向き面、垂直面のそれぞれ内側（屋根あり）と外側（屋根なし）について部位別に評価した。経時測定時に初期の測定部位と場所が変化することを避けるために測定部位にマジックで印を記し測定を実施した。
- (4) 評価方法 表5-1に新たに作成した防汚性能の評価基準を示す。これにより点数付けを行った。防汚性能の評価には水平面（A面）に堆積した汚れの影響が最も現れやすい垂直面（C面）の測定値を用いた。

5.3 試験結果

測定結果を表5-2に示した。この測定結果を表5-1の防汚性能評価基準に基づき点数付けをした結果を表5-3に示す。なお、外観変化である雨筋汚れは写真撮影で評価した。これらの結果をグラフ化したものを図5-2と図5-3に示す。

防汚性能が全般的に良好であったのは、1F₂の冬施工品を除く一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤーであり、雨筋汚れ、汚れ性、汚れ除去性の何れにおいても評価基準の最高ランクの性能を示した。一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤーにおいて1F₂の冬施工品だけの性能が低下した原因は施工2時間後の降雨のためである。

雨筋汚れに関しては一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤーに次いで、一液形水系ふっ素樹脂上塗材の4F夏施工品および一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材の4AU₂冬施工品が良好な結果を示した他は全て不十分な結果であった。

汚れ性、汚れ除去性に関しては、一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤーに次いで、溶剤系硬質形ポリウレタン上塗材のPU1が最高ランクの結果を示した他、一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材の3AU夏施工品、水系シリカ上塗材の3Si夏施工品が両項目で良好な結果であった。しかし、これらの何れのものも雨筋汚れは不良であった。

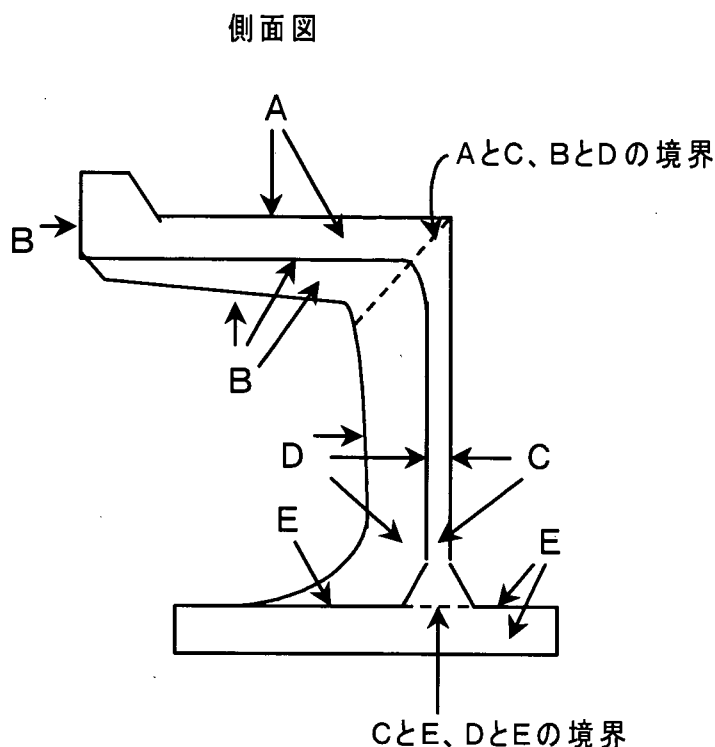
施工時期の影響については、一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤーの1F₂、一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材の3AU、水系シリカ上塗材の3Siにおいて夏施工品が冬施工品に比べて良好な結果を示した。これは、温度の高い夏の方が造膜性が良好であり、より緻密な塗膜が形成されるためと推定される。

が、一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材の4AU₂では逆の結果もでており、結論づけるまで至らなかった。

また、硬質形溶剤系ポリウレタン樹脂上塗材のPU1では汚れ性、汚れ除去性が最高ランクでも雨筋汚れが最低ランクであり、雨筋汚れについては測定が難しく、目視観察が重要であることを示している。

なお、付属資料の写真5～8に代表的な雨筋汚れを示す。

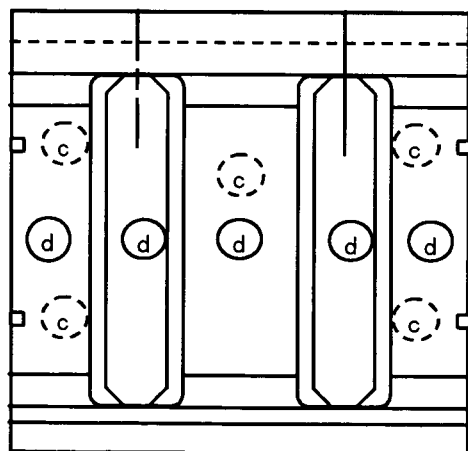
施工部位の記号



光沢および色差測定箇所

A面…記号a、 B面…記号b、 C面…記号c、 D面…記号d、 E面……記号e

正面図



平面図

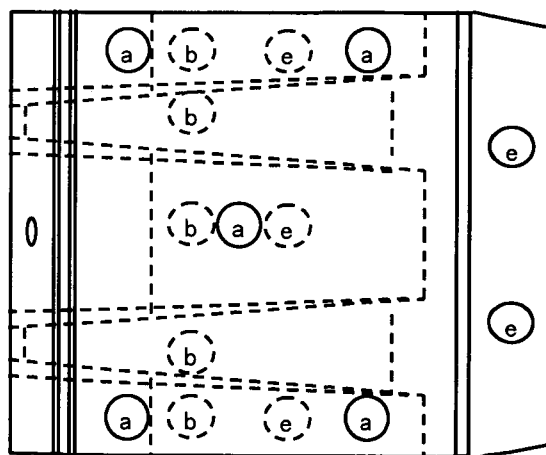


図5-1 暴露試験体と測定部位

表 5 - 1 防汚性能の評価基準

項目	評価方法	評価基準				
		5 点	4 点	3 点	2 点	1 点
雨筋汚れ	L型歩道床版、垂直南向き面の1年経過後の雨筋汚れを目視判定	雨筋が認められない	—	雨筋がぼやけて認められる	—	雨筋がはっきりと認められる
汚 れ 性	L型歩道床版、垂直南向き面の1年経過後の ΔL^* 値の絶対値	0 ～ 2 未満	2 ～ 4 未満	4 ～ 6 未満	6 ～ 8 未満	8 以上
汚れ除去性	L型歩道床版、垂直南向き面の1年経過の水拭き後の ΔL^* 値の絶対値	1 未満	1 ～ 3 未満	3 ～ 5 未満	5 ～ 7 未満	7 以上

(土木研究所建設材料研究施設＜茨城県つくば市＞に於ける試験)

表5-2 防汚性能の測定結果

被覆仕様	記号	施工 時期	汚れ性 (1年後 ΔL^*)	汚れ除去性 (1年後洗浄 ΔL^*)
一液形水系ふっ素樹脂上塗材	1 F	夏	-4.34	-0.89
	4 F	夏	-5.81	-3.58
	7 F ₂	夏	-4.50	-1.80
一液形水系ふっ素樹脂 上塗クリヤー	6 F ₂	夏	-1.46	-0.30
		冬	-1.10	-0.42
	1 F ₂	夏	-0.94	-0.21
		冬	-5.64	-2.09
	5 F ₂	冬	-1.59	-0.95
一液形水系シリコン樹脂 上塗材	2 S	冬	—	—
	7 A S ₃	夏	-6.20	-3.60
二液形水系シリコン樹脂上塗材	8 A S	夏	-5.92	-2.40
一液形水系アクリルウレタン 樹脂上塗材	3 A U	夏	-3.34	-1.91
		冬	-8.72	-4.80
	4 A U ₂	夏	-4.94	-1.28
		冬	-4.50	-1.84
	5 A U	夏	-4.62	-0.44
		冬	-4.45	-0.98
一液形水系アクリル樹脂上塗材	2 A c ₃	夏	-6.21	-2.22
水系シリカ上塗材	3 S i	夏	-2.23	-1.39
		冬	-6.22	-5.64
溶剤系硬質形ポリウレタン 樹脂上塗材	P U 1	夏	-1.88	0.01

表5-3 防汚性能の評価結果

被覆仕様	記号	施工 時期	雨筋汚れ (1年後 目視)	汚れ性 (1年後 ΔL^*)	汚れ除去性 (1年後洗浄 ΔL^*)
一液形水系ふっ素樹脂 上塗材	1 F	夏	1	3	5
	4 F	夏	3	3	3
	7 F ₂	夏	1	3	4
一液形水系ふっ素樹脂 上塗クリヤー	6 F ₂	夏	5	5	5
		冬	5	5	5
	1 F ₂	夏	5	5	5
		冬	1	3	4
	5 F ₂	冬	5	5	5
一液形水系シリコン樹脂 上塗材	2 S	冬	—	—	—
	7 A S ₃	夏	1	2	3
二液形水系シリコン樹脂 上塗材	8 A S	夏	1	3	4
一液形水系アクリルウレタン 樹脂上塗材	3 A U	夏	1	4	4
		冬	1	1	3
	4 A U ₂	夏	1	3	4
		冬	3	3	4
	5 A U	夏	1	3	5
		冬	1	3	5
一液形水系アクリル樹脂 上塗材	2 A c ₃	夏	1	2	4
水系シリカ上塗材	3 S i	夏	1	4	4
		冬	1	2	2
溶剤系硬質形ポリウレタン 樹脂上塗材	P U 1	夏	1	5	5

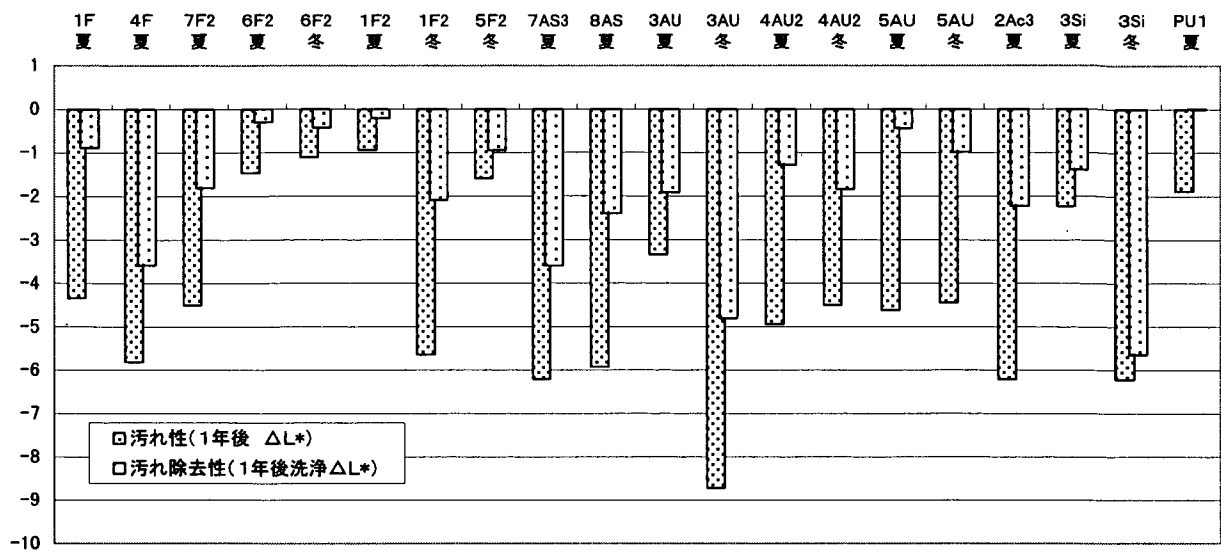


図 5 - 2 汚染性能の測定結果

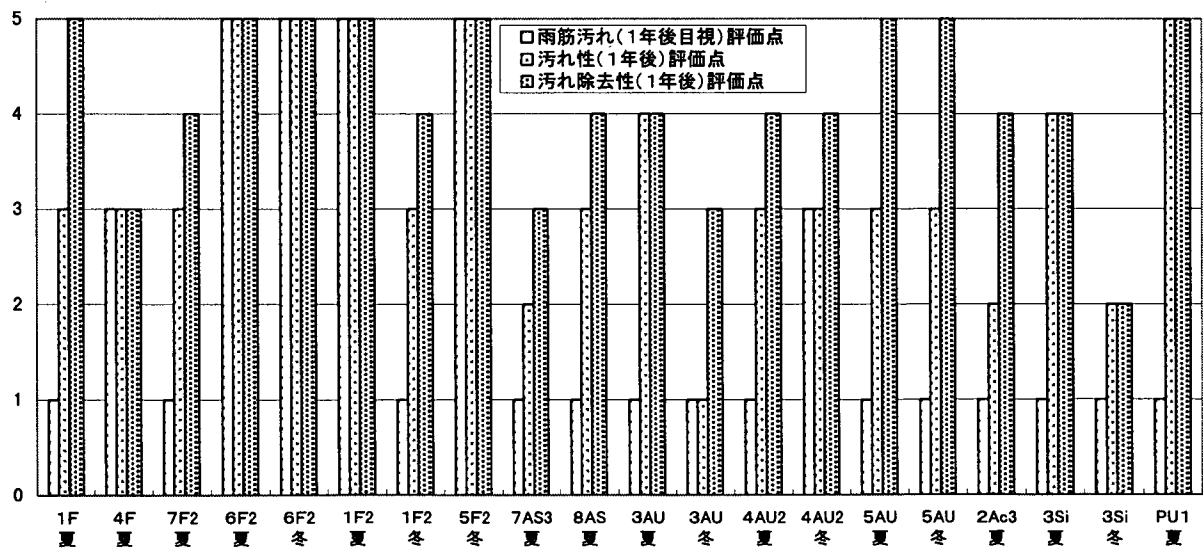


図 5 - 3 防汚性能の評価結果

6. 基本性能試験

本研究で用いた被覆材料の基本性能を把握する目的で、表6-1に示す試験項目を表6-2の試験片を用いて実施した。試験項目の選定にあたっては、既存のコンクリート用被覆材料の試験項目の中から本研究で用いた被覆材料が水系であることを考慮にして選定した。

表6-1 試験項目

試験項目	試験の内容
耐アルカリ性	素地のコンクリートからの背面水及び無塗装コンクリート部やコンクリートのひび割れ部から雨水等によって流れ出たアルカリ性水溶液に対する被覆材料の性能を試験する。
促進耐候性	被覆材料の紫外線及び降雨に対する性能を促進によって試験する。
付着性	コンクリートに対する被覆材料の初期付着性（一次付着性）及び経時後（促進耐候性試験後、耐アルカリ性試験後）の付着性（二次付着性）を試験する。
ひび割れ追従性	コンクリートにひび割れが生じた場合の被覆材料の初期及び経時後（促進耐候性試験後）のひび割れに対する追従性を試験する。
遮塩性	コンクリートの塩害の要因となる外部からの塩分（塩素イオン）の浸透に対する遮断性を試験する。
透水性	コンクリートの塩害・凍害・アルカリ骨材反応の要因となる外部からの水分の浸透に対する遮断性を試験する。

表6-2 試験片の種類および寸法

試験項目		試験方法	試験片の種類	試験片の寸法
耐アルカリ性		塩害対策指(案)方式	モルタル板	70×70×20mm
		日本道路公団方式	モルタル板	70×70×20mm
促進耐候性		サンシャインカーボンアーク灯式促進耐候性試験機により2000時間	モルタル板	70×70×20mm
付着性	標準養生後	JIS K 5400. 8. 7に準拠	モルタル板	70×70×20mm
	耐アルカリ性試験後		モルタル板	70×70×20mm
	促進耐候性試験後		モルタル板	70×70×20mm
ひび割れ 追従性	標準養生後	JSCE-K522-1997 表面被覆材のひび割れ追従性試験方法(案)に準拠	モルタル板	120×40×10mm
	促進耐候性試験後		モルタル板	120×40×10mm
遮塩性		JIS K 5400. 8. 18に準拠	ガラス板 (離型紙張り付け)	—
透水性		JIS K 5400. 8. 16に準拠	モルタル板	100×100×20mm

6.1 耐アルカリ性試験

耐アルカリ性試験には、塩害対策指(案)方式と日本道路公団方式があり、図6-1-1のようになっている。

6.1.1 試験方法

1) 塩害対策指針(案)方式

・試験片

あらかじめ素地調整を行った寸法70×70×20mmのモルタル板の表面に、試料の標準使用量を製造業者の指定する方法によって塗り付けた。その後養生室(20℃±1℃, 湿度65±5%)に14日間静置したものを試験片とした。

なお、試験片の裏面および四側面は、試験片作成1日以上前に厚膜形エポキシ樹脂塗料でピンホールができないように注意して塗り包んだ。

・試験方法

試験片を20℃±1℃の飽和水酸化カルシウム溶液に30日間浸漬した。所定期間が過ぎた後、試験片を取り出し、流水で洗い、側面を下に一般状態で2時間静置した後、塗膜にはがれ、ひび割れ、ふくれの有無を目視によって観察した。

2) 日本道路公団方式(以下JH方式と略)

・試験片の作成

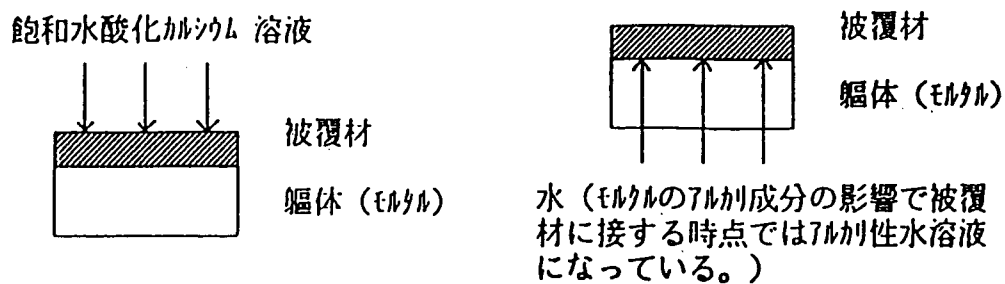
あらかじめ素地調整を行った寸法70×70×20mmのモルタル板の表面に、試料の標準使用量を製造業者の指定する方法によって塗り付けた。その後養生室(20℃±1℃, 湿度65±5%)に14日間静置したものを試験片とした。

なお、試験片の四側面は、試験片作成1日以上前に厚膜形エポキシ樹脂塗料でピンホールができないように注意して塗り包んだ。

・試験方法

図6-1-2に示すように、水槽内のケイ砂7号の上に試験片を水平に置き、水面が試験片の表面から5mmの位置になるように注水し、その状態で10日間静置した。所定期間が経過した後、試験片を取り出し塗膜にはがれ、ひび割れ、ふくれの有無を目視によって観察した。

なお、試験は、養生室(20℃±1℃, 湿度65±5%)にて行った。



塩害対策指針（案）方式

日本道路公団方式

図 6 - 1 - 1 耐アルカリ性試験方法について

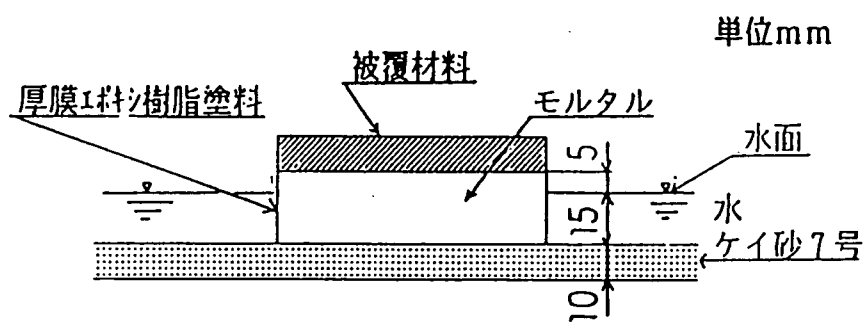


図 6 - 1 - 2 JH方式

6. 1. 2 試験結果

表6-1-1に耐アルカリ性試験結果を示す。塩害対策指針(案)方式は、被覆材料表面からのアルカリ性水溶液に対する性能(耐水性)をみたものである。一方JH方式は、モルタル内部を浸透してきたアルカリ水溶液に対する性能をみたものである。塩害対策指針(案)方式においては、一部の系でふくれが発生したが、JH方式においては、全ての系で異状がみとめられなかった。

以上のことより、本研究で用いた水系被覆材料の中には、塩害対策指針(案)方式のような全浸漬の環境下に、適さないものが見いだされた。なお、ふくれの発生したものについては、「被覆材のふくれ評価基準」((財)日本塗料検査協会)に準じて評価した。

表6-1-1 耐アルカリ性試験結果一覧

被覆仕様	記号	塩害対策指針(案)方式			JH方式		
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 1	No. 2	No. 3
一液形水系ふっ素樹脂上塗材	1 F	ふくれ:4-S	ふくれ:4-S	ふくれ:4-S	異状なし	"	"
	4 F	異状なし	"	"	異状なし	"	"
	7 F ₂	ふくれ:4-VL	ふくれ:4-VL	ふくれ:4-VL	異状なし	"	"
一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤー	1 F ₂	ふくれ:2-M	ふくれ:2-M	ふくれ:2-M	異状なし	"	"
	5 F ₂	異状なし	"	"	異状なし	"	"
	6 F ₂	ふくれ:4-M	ふくれ:6-M	ふくれ:4-M	異状なし	"	"
一液形水系シリコン樹脂上塗材	2 S	異状なし	"	"	異状なし	"	"
	7 A S ₂	異状なし	"	"	異状なし	"	"
二液形水系アクリルシリコン樹脂上塗材	8 A S	異状なし	"	"	異状なし	"	"
一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材	3 A U	異状なし	"	"	異状なし	"	"
	4 A U ₂	ふくれ:2-VS	ふくれ:2-VS	ふくれ:2-VS	異状なし	"	"
	5 A U	異状なし	"	"	異状なし	"	"
水系アクリル樹脂上塗材	2 A c ₃	ふくれ:2-VL	ふくれ:2-VL	ふくれ:2-VL	異状なし	"	"
水系シリカ上塗材	3 S i	異状なし	"	"	異状なし	"	"
溶剤系硬質ポリウレタン樹脂上塗材	P U 1	異状なし	"	"	異状なし	"	"
溶剤系軟質ポリウレタン樹脂上塗材	P U 2	異状なし	"	"	異状なし	"	"

塗膜の評価基準 (ふくれ)

大きさ(mm) 面積 (%)	0.1以下	0.2~0.5	0.6~1	2~3	4以上
0.5以下	8-V S	8-S	8-M	8-L	8-V L
0.6~5	6-V S	6-S	6-M	6-L	6-V L
6~10	4-V S	4-S	4-M	4-L	4-V L
11~30	2-V S	2-S	2-M	2-L	2-V L
30以上	0-V S	0-S	0-M	0-L	-

(財)日本塗料検査協会基準より

6.2 促進耐候性試験

6.2.1 試験片

試験片はあらかじめ素地調整を行った寸法70×70×20mmのモルタル板（JIS K 5410 4.7、4.8(セメントモルタル板)）に、各試料を3.2試験仕様に従い塗装し側面、裏面をふっ素樹脂塗料で2回塗りしシールした。

上塗りの色はすべてマンセル値N9.5に揃えた。最終層塗装後20±1℃、湿度65±5%で14日以上養生し試験に供した。

比較品として溶剤系硬質形ポリウレタン樹脂上塗材被覆仕様および溶剤系柔軟形ポリウレタン樹脂上塗材被覆仕様の2種類を試験に供した。なお試験片数は、各3個にて実施した。

6.2.2 試験方法

1) 試験機および運転条件

サンシャインカーボンアーク灯式促進耐候性試験機にて表6-2-1に示すJIS記載（JIS K 5400 9.8.1）の運転条件で以降に示す測定項目につき試験前、1,000時間後および2,000時間後に測定した。

表6-2-1 促進耐候性試験機の運転条件

項 目	運 転 条 件	項 目	運 転 条 件
放電電圧	範 囲 48～52V	水の噴霧 条件	圧 力 0.08～0.13Mpa
	中心値 50V（±2%）		水 量 2,100±100ml
放電電流	範 囲 58～62A		噴霧時間 120分照射中に18分間
	中心値 60A（±2%）		水 質 PH6.0～8.0, 導電率 200μS/cm以下
ガラス製フィルターの使用時間	2000時間を越えないこと		水 温 16±5℃
ブラックパネル温度計の指示	63±3℃		

2) 測定項目と測定要領

光 沢：JIS Z 8741（鏡面光沢度の測定方法）による60度鏡面光沢度を測定した。保持率は以下の計算式により算出した。

$$\text{光沢保持率(\%)} = \text{試験後の光沢度} / \text{試験前の光沢度} \times 100$$

色 差：JIS Z 8722（色の測定方法）によりX, Y, Zを測定し、JIS Z 8730（色の表示方法）に基づき、L*, a*, b*およびΔE*abへの変換を行い表示した。

目視観察：割れ、はがれ、しわ、ふくれ、変色の程度につき目視観察を行った。

そ の 他：色差および光沢の測定は、試験片の周り10mmを除く中心部近傍の2箇所にて測定した。

6.2.3 試験結果

光沢、色差および試験片の目視観察の結果を表6-2-2に示す。水系被覆材料の促進耐候性試験を溶剤系ポリウレタン樹脂被覆材料と比較し実施した。

水系被覆材料の初期光沢値は、高いもので70程度で比較溶剤系硬質ポリウレタン樹脂被覆材料（以下比

較PU1と略)より低く、多くは30~60に分布していた。艶消しタイプの1液水系シリコン樹脂上塗材(2S)および水系シリカ上塗材(3Si)を除いたものの光沢保持率をみると、1,000時間では1液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤー(1F₂, 5F₂, 6F₂)を除いたすべての材料で比較PU1より良い保持率を示しており、2,000時間でも1液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤー、1液形水系アクリル樹脂上塗材(2AC₃)、1液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材(5AU)を除く材料が比較PU1より良い。総じて水系被覆材料の光沢保持率は、溶剤系硬質形ポリウレタン樹脂被覆材料との比較でもかなり良好である。なお一部の水系被覆材料で光沢保持率がかなり悪いものがあったが、これは試験に用いた水が規格水質であるにも係わらず水中に含まれる溶解シリカの影響を受けたものと思われる。

色差(ΔE)も同様に1,000時間で比較PU1が約2.4に対し0.9~7.3、2000時間では同1.9に対して0.9~8.7と光沢保持率同様に比較PU1より変色しにくいものが存在していた。材料種別の傾向は少ない。

1液形水系シリコン樹脂上塗材(2S)、水系シリカ上塗材(3Si)の色差が大きく、1液形水系ふっ素樹脂上塗材(7F₂)、1液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤー(6F₂)が小さい。他材料の色差は比較PU1の近傍に分布しており、総じて水系被覆材料の色差は比較溶剤系ポリウレタン樹脂被覆材料と同等レベルであった。

目視観察では、割れ、はがれ、しわ、ふくれはすべての試験片で認められなかった。1液形水系シリコン樹脂上塗材(2S)、水系シリカ上塗材(3Si)で1,000時間から黄変が認められており、その結果が色差測定結果にも現れている。また、1液形水系シリコン樹脂上塗材(2S)に2,000時間でチョーキングが発生した。それら以外は比較PU1も含め目視観察による外観上の大きな変化はなかった。

また、今回比較として用いた溶剤系柔軟形ポリウレタン樹脂被覆材料(PU2)は、促進耐候性試験で光沢保持率、色差、外観において予想外に著しい劣化を生じたため、比較品とはしなかった。

以上のように、水系被覆材料の促進耐候性は溶剤系硬質ポリウレタン樹脂被覆材料を越えるものが多々あることが確認された。

表6-2-2 光沢、色差および試験片の目視観察結果

被覆仕様	記号	番号	光 沢				色 差												目視観察 1000時間			目視観察 2000時間		
			試験前光沢	試験後光沢		試験後光沢	光沢保持率	試験前			試験後 1000時間				試験後 2000時間				黄変	白亜化	その他	黄変	白亜化	その他
				1000時間	2000時間			L*	a*	b*	L*	a*	b*	ΔE*	L*	a*	b*	ΔE*						
1 液形水系 ふっ素樹脂 上塗材	1 F	1	51.5	42.3	42.1	82.1	97.42	-1.03	2.42	96.95	-1.15	4.05	1.7	96.49	-1.09	4.05	1.9	変化無し	変化無し	変化無し	変化無し	変化無し	変化無し	
		2	53.9	44.6	44.6	82.7	97.52	-1.15	4.05	96.71	-1.09	4.11	1.9	96.67	-1.10	4.01	1.8							
		3	57.7	44.5	43.9	77.1	97.49	-1.09	4.09	96.73	-1.09	4.14	1.9	96.69	-1.14	4.04	1.8							
		平均	54.4	43.8	43.5	80.6								1.8				1.8						
	4 F	1	17.6	15.1	15.8	85.8	97.69	-0.89	3.15	96.88	-0.94	5.15	2.2	96.74	-0.92	4.93	2.0	僅か	変化無し	変化無し	僅か	変化無し	変化無し	
		2	10.5	9.1	9.7	86.7	97.63	-0.94	3.07	96.71	-0.98	5.58	2.7	96.64	-0.96	5.15	2.3							
		3	9.5	8.6	9.0	90.5	97.51	-0.93	2.98	96.56	-1.00	5.26	2.5	96.39	-0.96	4.99	2.3							
		平均	12.5	10.9	11.5	87.7								2.5			2.2							
	7 F ₂	1	47.3	41.3	43.6	87.3	97.64	-1.17	3.26	97.36	-1.11	3.94	0.6	97.03	-1.06	3.94	0.9	変化無し	変化無し	変化無し	変化無し	変化無し	変化無し	
		2	56.4	52.2	47.7	92.6	97.77	-1.08	3.46	97.17	-1.00	4.04	1.1	97.18	-0.98	4.04	0.8							
		3	58.8	48.1	51.0	81.8	97.77	-1.05	3.38	97.26	-1.04	4.22	0.9	97.14	-0.98	4.22	0.9							
		平均	54.2	47.2	47.4	87.2								0.9			0.9							
1 液形水系 ふっ素樹脂 上塗クリヤー	1 F ₂	1	50.1	21.5	20.9	42.9	97.84	-1.00	2.19	97.07	-1.08	3.91	1.9	96.76	-1.09	4.48	2.5	変化無し	変化無し	変化無し	僅か	変化無し	変化無し	
		2	48.0	20.7	19.1	43.1	97.82	-1.02	2.20	97.02	-1.08	4.17	2.1	96.98	-1.09	4.28	2.2							
		3	37.7	20.3	19.7	53.8	97.81	-1.02	2.26	97.23	-1.06	3.80	1.6	97.20	-1.10	3.86	1.7							
		平均	45.3	20.8	19.9	46.6								1.9			2.1							
	5 F ₂	1	36.8	18.5	18.4	50.3	97.18	-1.29	2.72	96.59	-1.19	4.34	1.7	96.44	-1.16	4.59	2.0	変化無し	変化無し	変化無し	僅か	変化無し	変化無し	
		2	42.5	20.5	18.7	48.2	97.45	-1.29	3.18	97.03	-1.18	4.49	1.4	96.85	-1.13	4.55	1.5							
		3	32.6	15.5	13.5	47.5	97.15	-1.24	2.99	96.71	-1.19	4.55	1.6	96.44	-1.10	5.16	2.3							
		平均	37.3	18.2	16.9	48.7								1.6			1.9							
	6 F ₂	1	40.0	27.7	26.3	69.2	97.19	-1.18	2.19	97.01	-1.21	3.12	1.0	97.04	-1.16	2.60	0.4	変化無し	変化無し	変化無し	僅か	変化無し	変化無し	
		2	39.5	28.5	27.0	72.2	97.32	-1.20	2.34	97.18	-1.23	3.20	0.9	97.52	-1.16	2.92	0.6							
		3	39.3	26.6	26.8	67.7	97.20	-1.21	2.22	97.08	-1.27	3.45	1.2	96.92	-1.12	3.25	1.1							
		平均	39.6	27.6	26.7	69.7								1.0			0.7							
1 液形水系 シリコン樹脂 上塗材	2 S	1	2.0	1.8	1.9	90.0	96.47	-0.87	2.91	96.24	-1.03	10.24	7.7	93.90	-1.06	11.43	8.9	黄変	僅か	変化無し	黄変	白亜化	変化無し	
		2	2.0	1.9	1.9	95.0	96.47	-0.89	2.86	94.60	-1.12	9.38	6.8	94.10	-1.09	10.95	8.4							
		3	2.0	1.9	1.9	95.0	96.37	-0.85	2.80	94.38	-1.12	9.82	7.3	93.79	-1.08	11.13	8.7							
		平均	2.0	1.9	1.9	93.3								7.3			8.7							
	7 A S ₃	1	57.4	47.8	43.0	83.3	97.73	-1.12	2.76	97.09	-1.19	4.92	2.2	96.97	-1.10	4.69	2.1	僅か	変化無し	変化無し	僅か	変化無し	変化無し	
		2	54.5	47.6	44.7	87.3	97.86	-1.09	2.76	97.26	-1.19	4.68	2.0	97.06	-1.06	4.56	2.0							
		3	62.1	58.3	51.3	93.9	97.88	-1.09	2.76	97.25	-1.21	5.03	2.4	97.10	-1.08	4.72	2.1							
		平均	58.0	51.2	46.3	88.2								2.2			2.1							
	8 A S	1	57.5	48.6	45.1	84.5	97.94	0.96	3.03	97.42	-1.07	4.51	1.6	97.42	-1.05	4.36	1.4	変化無し	変化無し	変化無し	僅か	変化無し	変化無し	
		2	47.9	40.9	38.7	85.4	97.92	-0.99	2.96	97.33	-1.13	4.60	1.8	97.42	-1.11	4.46	1.6							
		3	58.5	46.9	41.9	80.2	98.02	-0.97	2.99	97.40	-1.07	5.08	2.2	97.40	-1.05	4.90	2.0							
		平均	54.6	45.5	41.9	83.4								1.9			1.7							
1 液形水系 アクリル樹脂 上塗材	3 A U	1	45.5	42.9	48.6	94.3	97.03	-0.96	2.82	95.98	-1.12	5.23	2.6	96.97	-1.11	4.28	1.8	僅か	変化無し	変化無し	僅か	変化無し	変化無し	
		2	46.2	41.6	50.0	90.0	96.83	-1.02	2.78	95.77	-1.12	5.28	2.7	95.89	-1.14	4.35	1.8							
		3	49.6	49.0	51.3	98.8	97.23	-0.96	2.92	96.08	-1.15	5.60	2.9	96.32	-1.11	4.51	1.8							
		平均	47.1	44.5	50.0	94.3								2.7			1.8							
	4 A U ₂	1	21.6	17.3	15.0	80.1	96.94	-0.99	2.67	96.05	-1.11	6.24	3.7	96.21	-1.07	6.30	3.7	僅か	変化無し	変化無し	僅か	変化無し	変化無し	
		2	21.5	18.5	16.3	86.0	97.07	-0.98	2.62	96.12	-1.11	6.34	3.8	96.26	-1.01	6.56	4.0							
		3	23.1	18.5	16.1	80.1	97.06	-0.99	2.58	96.15	-1.11	6.32	3.9	96.13	-1.01	6.77	4.3							
		平均	22.1	18.1	15.8	82.1								3.8			4.0							
	5 A U	1	71.0	65.1	30.2	91.7	97.85	-1.02	2.59	96.85	-1.09	4.96	2.6	97.76	-0.96	5.61	3.0	僅か	変化無し	変化無し	僅か	変化無し	変化無し	
		2	70.5	69.4	24.5	98.4	97.87	-0.98	2.48	96.88	-0.99	5.30	3.0	97.80	-0.87	5.86	3.4							
		3	71.7	68.8	23.1	96.0	98.00	-1.00	2.55	96.89	-1.01	4.99	2.7	97.76	-0.93	5.85	3.3							
		平均	71.1	67.8	25.9	95.4								2.8			3.2							
2 A c ₃	1	41.1	37.3	21.0	90.8	97.20	-1.21	2.89	96.12	-1.22	5.06	2.4	96.88	-1.20	4.35	1.5	僅か	変化無し	変化無し	僅か	変化無し	変化無し		
	2	34.7	28.6	29.4	82.4	97.24	-1.19	2.97	96.12	-1.13	5.15	2.4	96.61	-1.19	4.46	1.6								
	3	33.9	31.1	19.3	91.7	97.21	-1.23	2.90	96.16	-1.24	5.16	2.5	96.75	-1.21	4.19	1.4								
	平均	36.6	32.3	23.2	88.3								2.4			1.5								
水系シリカ 上塗材	3 S i	1	2.1	1.8	1.8	85.7	95.94	-1.09	2.75	94.25	-1.19	8.89	6.4	93.52	-1.05	10.77	8.4	黄変	僅か	変化無し	黄変	僅か	変化無し	
		2	2.1	1.8	1.8	85.7	95.97	-1.13	2.80	94.11	-1.15	9.65	7.1	93.35	-0.95	11.74	9.3							
		3	2.1	1.8	1.9	85.7	95.94	-1.11	2.81	94.34	-1.18	8.83	6.2	93.60	-0.99	10.66	8.2							
		平均	2.1	1.8	1.8	85.7								6.6			8.6							
	溶剤系 硬質形 ポリウレタン 上塗材	1	89.1	68.9	58.0	77.7	97.25	-0.89	3.12	96.75	-1.03	5.44	2.4	96.96	-1.01	1.99	2.0	僅か	変化無し	変化無し	僅か	変化無し	変化無し	
		2	88.8	74.0	61.3	83.3	97.34	-0.95	3.12	96.70	-1.07	5.45	2.4	96.82	-1.01	4.87	1.8							
		3	88.5	69.6	60.0	78.6	97.27	-0.94	3.04	96.60	-1.04	5.29	2.3	96.90	-1.05	5.00	2.0							
		平均	88.8	70.8	59.8	79.7								2.4			1.9							
	溶剤系 柔軟形 ポリウレタン 上塗材	1	86.8	26.3	9.8	30.3	96.34	-1.07	3.00	92.99	-0.89	13.27	10.8	93.88	-0.90	11.18	8.5	黄変	白亜化	変化無し	黄変	白亜化	変化無し	
		2	85.9	21.7	4.0	25.3	96.10	-1.04	2.95	92.99	-0.99	13.15	10.7	93.82	-1.02	11.03	8.4							
		3	63.0	17.6	4.2	27.9	96.12	-1.09	2.82	92.40	-0.78	14.00	11.8	93.41	-1.17	11.40	9.0							
		平均	78.6	21.9	6.0	27.8								11.1			8.6							

6.3 付着性試験

6.3.1 試験片の作製

(1) 標準養生後

あらかじめ素地調整を行った寸法70×70×20mmのモルタル板の表面に、各試料を3.3被覆仕様に従い塗装し、養生室（温度20±1℃，湿度65±5%RH）に14日間静置したものを試験片とした。

(2) 耐アルカリ性試験後

6.1の耐アルカリ性試験を終了したものを試験片とした。

(3) 促進耐候性試験後

6.2の促進耐候性試験2,000時間を終了したものを試験片とした。

6.3.2 試験方法

所定の養生および試験が終了した試験片の被覆材表面を400番耐水研磨紙で縦方向および横方向に各1回ずつ目荒らしした後、養生室内で水平に保持し、被覆材表面に2液型エポキシ樹脂接着剤を塗り、図6-3-1に示す上部引張用の鋼製ジグを静かに載せ、軽くすり付けるように接着し、さらに、その上に質量約1kgのおもりを載せ、周りにはみ出した接着剤を取り除いた。24時間静置した後おもりを取り除き、鋼製ジグの周辺に沿って被覆材に基板（モルタル板）に達するまで切り込みをいれ、図6-3-2に示す下部引張用の鋼製ジグ及び図6-3-3に示す鋼製当て板を用いて、図6-3-4に示すように被覆材表面に対し鉛直方向に引張力を5mm/minの引張速度で加えて、最大引張荷重を求めた。付着強さは、次の式によって算出し、小数点以下1けたの値を示した。

$$\text{付着強さ (N/mm}^2\text{) } \{\text{kgf/cm}^2\} = \frac{T}{16} \quad \text{ここに、T：最大引張荷重 (N) } \{\text{kgf}\}$$

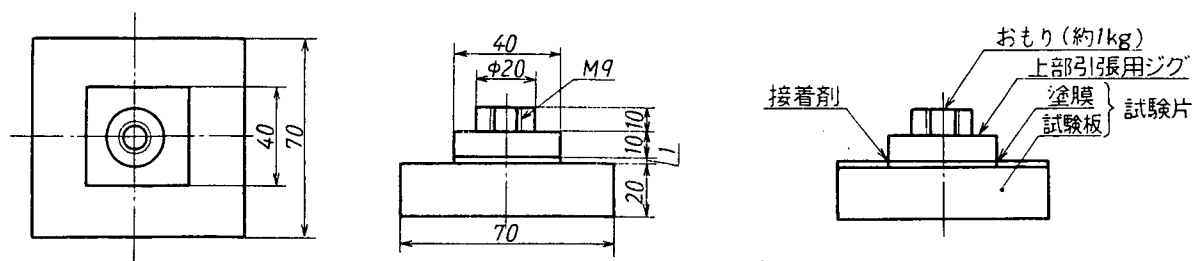


図6-3-1 上部引張用鋼製ジグ (単位mm)

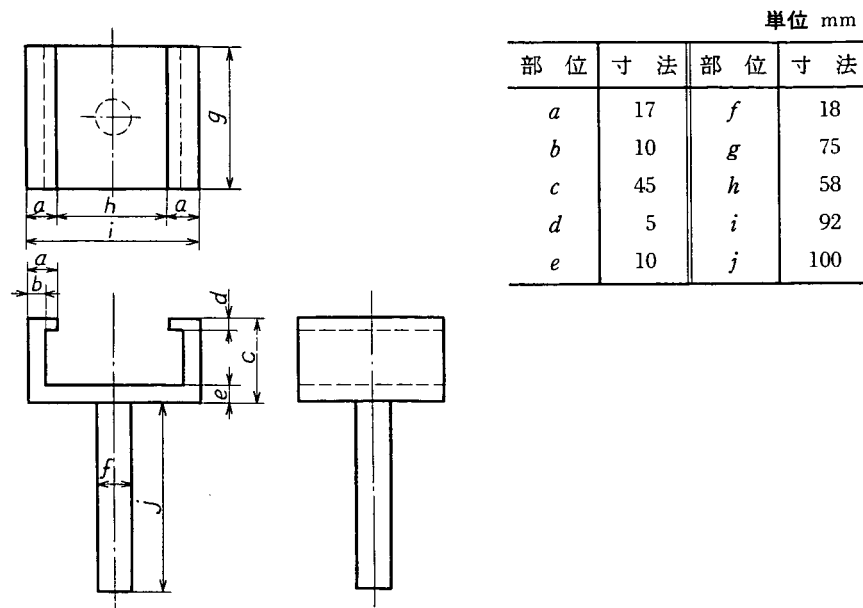


図 6 - 3 - 2 下部引張用鋼製ジグ (単位mm)

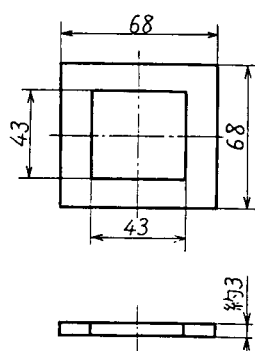


図 6 - 3 - 3 鋼製当て板 (単位mm)

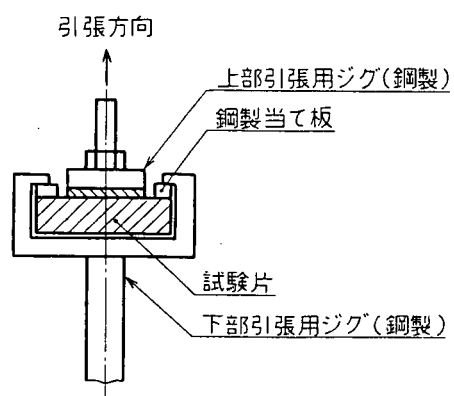


図 6 - 3 - 4 付着強さ試験要領

6.3.3 試験結果

表6-3-1および図6-3-5に1) 初期付着強度、2) 塩害対策指針（案）方式耐アルカリ性試験後の付着強度、3) 日本道路公団方式（以下、JH方式法と略）耐アルカリ性試験後の付着強度および4) 促進耐候性試験2,000時間後の付着強度の結果を示す。

全体的な傾向として、水系被覆材の付着強度は塗装仕様間でかなりの違いが見られ、溶剤系のそれとほぼ同程度のものもあったが、柔軟形仕様の中には初期付着強度（14日養生）がJH方式規格の $1\text{N}/\text{mm}^2$ （ $10\text{kg}/\text{cm}^2$ ）を下回るものもあった。

耐アルカリ性試験後の付着強度は、JH方式においては全ての仕様で初期付着強度と同等または強度の増加傾向を示していた。これに対して、塩害対策指針（案）方式においては、強度の増加傾向を示すものもあったが、極端な低下傾向を示すものも認められ、外観観察結果と良い対応を示していた。この原因としては、被覆材料に対する水分の浸入方向の違いが考えられ、JH方式においてはモルタル板の側面および裏面から毛管孔隙を通して徐々に水分が浸入するのに対し、塩害対策指針（案）方式においては被覆材料表面から直接水分が浸入するため、耐水性に劣る被覆材料ほど付着強度が低下したものと考えられる。また、強度の増加傾向を示した被覆仕様については、工程材料にポリマーセメント系の被覆材を用いているものが多く、耐アルカリ性試験中にセメントの水和反応が進行したことが原因と考えられる。なお、溶剤系被覆材料については試験方法によらず強度変化はほとんど認められなかった。

一方、促進耐候性試験2,000時間後の付着強度については、初期値を大幅に下回るものは少なく、大半が初期値を上回っており、少なくとも $1\text{N}/\text{mm}^2$ を下回るものは無かった。このことは、上述のセメントの水和反応の進行に加えて、促進耐候性試験時の熱が被覆膜の硬化を促進させたためと考えられる。

表6-3-1 付着性試験結果一覧

(単位N/mm²)

被覆仕様	記号	n数	初期値		耐アルカリ性試験後				促進耐候性試験後	
			標準養生	平均	塩害対策指針 (案)方式	平均	日本道路公団 方式	平均	2000時間後	平均
一液形水系ふっ素樹脂 上塗材	1 F	1	2.5	2.5	1.6	1.5	2.2	2.1	1.6	1.6
		2	2.4		1.2		1.8		1.6	
		3	2.7		1.9		2.3		1.5	
	4 F	1	1.4	1.3	1.4	1.0	1.5	1.3	2.6	2.3
		2	1.2		0.7		1.0		2.5	
		3	1.3		1.0		1.4		1.8	
	7 F ₂	1	1.5	1.8	1.9	2.0	2.3	2.3	1.8	1.9
		2	1.8		2.1		2.4		★0.8	
		3	2.1		2.1		2.2		1.9	
一液形水系ふっ素樹脂 上塗クリアー	1 F ₂	1	2.4	2.1	1.2	1.1	2.2	2.4	1.4	1.6
		2	2.3		1.4		2.3		1.6	
		3	1.5		0.7		2.5		1.9	
	5 F ₂	1	1.7	1.6	2.4	2.4	2.3	2.4	2.2	2.5
		2	1.5		2.1		2.8		2.8	
		3	1.4		2.7		2.3		2.3	
	6 F ₂	1	1.8	1.9	1.1	1.3	2.0	1.7	2.1	1.8
		2	★0.8		1.5		1.3		2.1	
		3	2.1		1.2		1.8		1.3	
一液形水系シリコン 樹脂上塗材	2 S	1	0.7	0.7	1.2	1.3	0.9	0.9	1.1	1.2
		2	0.6		1.2		0.7		1.3	
		3	0.6		1.3		0.9		1.2	
	7 A S ₃	1	1.9	1.8	3.0	2.5	2.7	2.5	1.6	2.0
		2	1.6		2.2		2.3		1.7	
		3	2.1		2.3		2.5		2.5	
二液形水系シリコン 樹脂上塗材	8 A S	1	2.4	2.3	0.7	0.7	1.3	1.2	1.8	1.7
		2	2.3		0.8		1.2		1.8	
		3	2.2		0.6		1.3		1.6	
一液形水系アクリル ウレタン樹脂上塗材	3 A U	1	1.7	1.7	2.2	2.0	1.6	1.4	2.7	2.3
		2	1.6		2.2		1.5		2.3	
		3	1.7		1.5		1.1		1.8	
	4 A U ₂	1	0.8	1.2	1.3	0.9	1.3	1.4	2.4	2.3
		2	1.1		0.5		1.4		2.5	
		3	1.7		1.0		1.5		2.0	
	5 A U	1	1.6	1.9	2.1	2.3	2.0	2.2	2.4	2.5
		2	2.1		2.5		2.5		2.4	
		3	2.0		2.4		2.0		2.8	
一液形水系アクリル 樹脂上塗材	2 A c ₃	1	0.5	0.6	0.0	0.0	0.9	0.9	1.7	1.9
		2	0.7		0.0		1.0		1.9	
		3	0.6		0.0		0.8		2.0	
水系シリカ上塗材	3 S i	1	1.5	1.5	1.9	1.9	1.9	1.7	2.1	1.9
		2	1.8		1.8		1.8		1.9	
		3	1.1		2.0		1.4		1.8	
溶剤系硬質形 ポリウレタン上塗材	P U 1	1	2.0	2.0	1.8	1.8	1.9	2.4	1.6	1.6
		2	2.0		2.0		2.6		1.7	
		3	2.0		1.6		2.5		1.6	
溶剤系柔軟形 ポリウレタン上塗材	P U 2	1	1.5	1.9	2.4	2.3	2.3	2.5	1.5	1.5
		2	2.2		2.1		2.6		1.7	
		3	1.8		2.4		2.6		1.4	

*印；異常値または測定誤差のため平均値算出からは除去した。

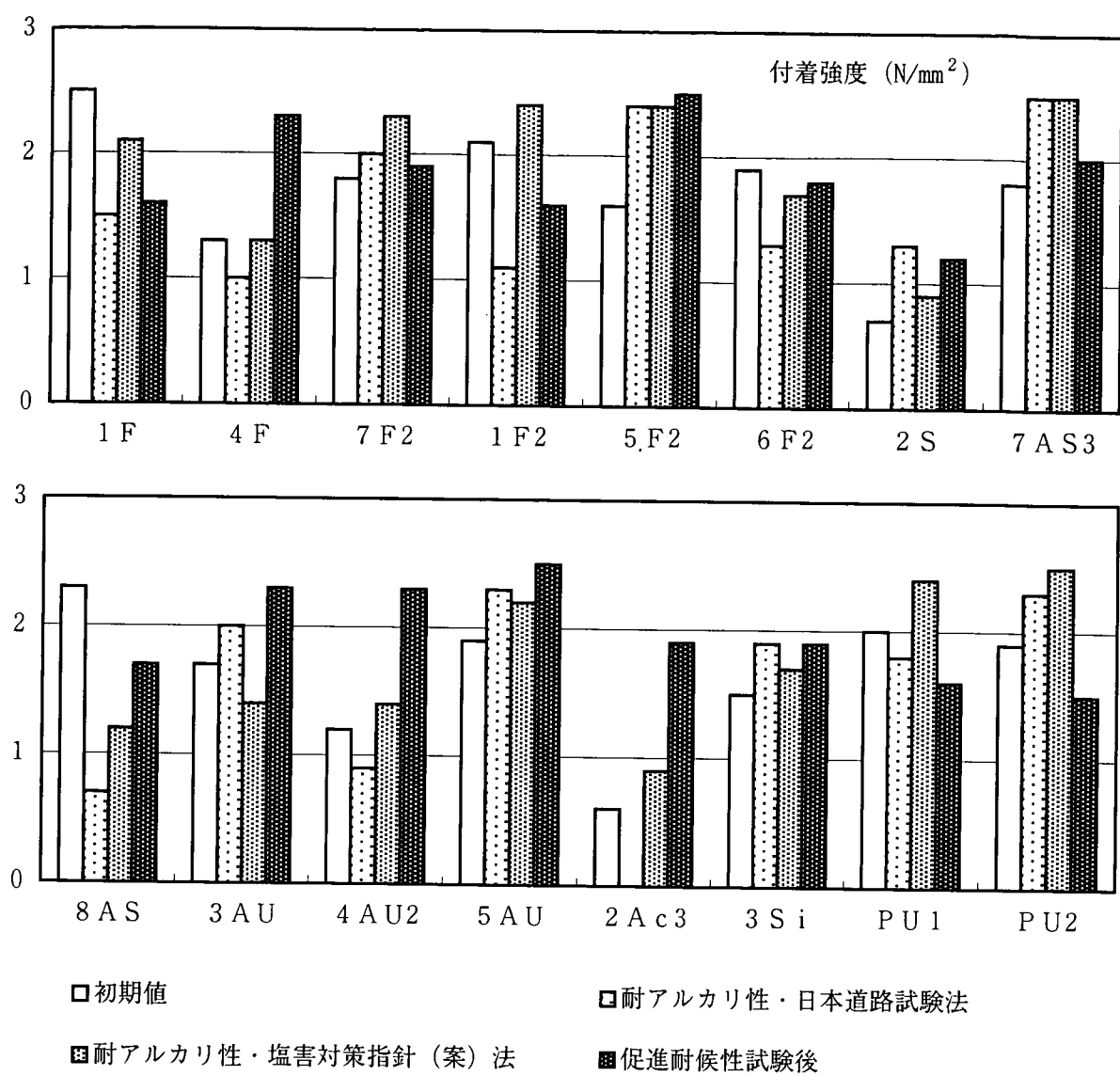


図 6 - 3 - 5 付着強度試験結果

6.4 ひび割れ追従性試験

6.4.1 試験片

土木学会補修材料性能試験方法（案）中のJSCE-K522-1997表面被覆材のひび割れ追従性試験方法（案）に準拠した。

JIS R 5201 9.4に規定する方法によって調整したモルタルを $40 \times 120 \times 10\text{mm}$ の型枠を用いて成形し、温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度80%以上で24時間養生したのち脱型し、材齢7日まで水中養生した。水中養生終了後、温度 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 $65 \pm 5\%$ で14日間以上養生し、図6-4-1に示すように成形時の上面に深さ約5mmのカットを入れて折り曲げ、2つに切断した。2つに割った板をステンレス板上でつき合わせ、側面および両端より30mmをポリエチレンテレフタレート製テープで固定した。切断面に材料が流れ込まないように、エポキシパテを塗付した。両端30mmを残して所定の被覆を行い、温度 $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 、湿度 $65 \pm 5\%$ で14日間乾燥したものを標準養生後の試験片とした。

なお、乾燥35日目よりJIS K 5400 6.17の促進耐候性試験機を用いて2,000時間照射を行い、促進耐候性試験後の試験片とした。

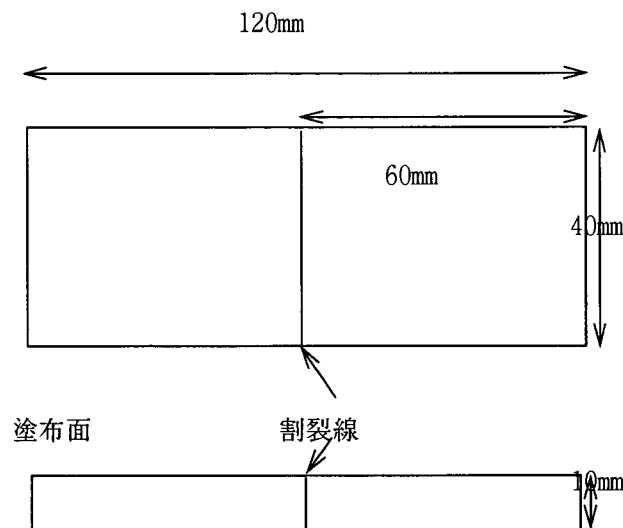


図6-4-1 ひび割れ追従性試験下地板

6.4.2 試験方法

試験片をステンレス板から取り外し、インストロン社製引張試験機（1125型）で、毎分5mmの等速度で引張り、塗膜強度が最大値を示した時（降伏時）の追従幅を測定した。

6.4.3 試験結果

試験結果を表6-4-1および図6-4-2に示す。すべての試験片について、追従幅0.3mm程度で顕著な強度ピーク（降伏値）が現れた。エポキシパテ単独で試験を行った結果、同様な降伏値を示したため、この降伏値はエポキシパテのものであると判断した。試験において、被覆材の降伏値がエポキシパテの降伏値近傍にあり、エポキシパテの降伏値に含まれた場合については、このピークを被覆材の降伏値とした。エポキシパテと同程度のひび割れ追従幅を示す被覆材は、ほとんどひび割れ追従性は有していないといえる。溶剤系柔軟形ポリウレタンと比較した場合、標準養生後において上回る被覆材もあったが、促進耐候性試験後はいずれの被覆材も小さいひび割れ追従幅となった。しかしながら中には、JH規格(0.4mm以上)を満足する被覆材も数種類認められた。

促進耐候性試験後のひび割れ幅が小さくなった最大の原因は、中塗りにポリマーセメント系材料を用いている被覆仕様であり、促進耐候性試験中の水分でセメントの水和反応が進行し、強度が増大したためと考えられる。これは、促進耐候性試験後の付着試験において付着強度が増加していることとも相関している。

表 6 - 4 - 1 ひび割れ追従性試験結果

被覆仕様	記号	ひび割れ追従幅(mm)	
		標準養生後	促進耐候性後
一液形水系ふっ素樹脂上塗材	1 F	0.36	0.27
	4 F	0.71	0.33
	7 F ₂	0.35	0.26
一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤー	1 F ₂	0.36	0.28
	5 F ₂	0.37	0.34
	6 F ₂	0.45	0.41
一液形水系シリコン樹脂上塗材	2 S	0.50	0.44
	7 AS ₃	0.34	0.26
二液形水系シリコン樹脂上塗材	8 AS	0.34	0.25
一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材	3 AU	0.46	0.36
	4 AU ₂	0.67	0.59
	5 AU	0.34	0.30
一液形水系アクリル樹脂上塗材	2 Ac ₃	1.30	0.42
水系シリカ上塗材	3 Si	0.34	0.23
溶剤系硬質形ポリウレタン樹脂上塗材	PU 1	0.31	0.23
溶剤系柔軟形ポリウレタン樹脂上塗材	PU 2	1.20	0.67
エポキシパテのみ	エポパテ	0.31	—

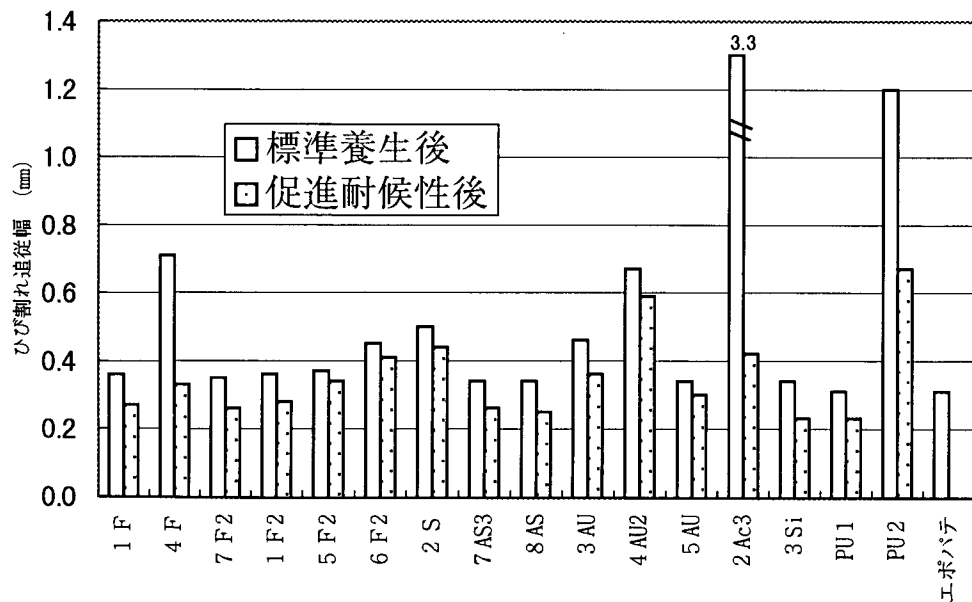


図 6 - 4 - 2 ひび割れ追従性試験結果

6.5 遮塩性試験

6.5.1 試験片

- (1) ガラス板に離型紙を貼り、その上に試料を各被覆仕様(膜厚が仕様書に記載があるもの)に従い被覆し、最終層被覆後14日乾燥保持した後、離型紙から被覆膜をはがして遊離被覆膜を作る。このとき離型紙に被覆したとき、はじきなどが発生して平滑な被覆膜ができないときは、ポリプロピレン板を用いるか、離型紙の上に厚さ約10 μ mの和紙を貼り、その上から被覆して乾燥後、和紙ごとにはがして遊離被覆膜とする。
- (2) 遊離塗膜に反りがなく、光に透かしてピンホールがなく均等な厚さの部分を一辺約70mmの円形に切り取り試験片とする。試験片は3枚準備する。

6.5.2 試験方法

- (1) 遊離被覆膜の厚さをマイクロメータ等の測定器を用いて測定する。測定箇所は試験片の5か所とし、測定値の最低値と最高値との差は平均値の30%以内であることを確認する。
- (2) 図6-5-1に示すとおり2個の測定セルの間に試験片を取り付ける。被覆膜表面側に3w/v%の塩化ナトリウム溶液を入れ、裏面側に脱イオン水をそれぞれ(セルの大きさにより85~200ml)入れ、20℃で30日放置する。
- (3) 脱イオン水側のセルから溶液を一定量採取し溶液中の塩化物イオンを測定する。
- (4) 測定方法はJIS K 0101(工業用水試験方法)3.2の塩化物イオンの分析方法または、「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説」による。
- (5) 計算および記録

・塩素イオン透過量は、次の式によって算出し、有効数字2けたに丸める。

$$Q = \frac{V \times m \times 10^{-3}}{A \times 30}$$

ここに、Q;塩素イオン透過量(mg/cm²・日)

V;セル中の脱イオン水の量(g)

m;測定した塩素イオン濃度(ppm)

A;透過面積(cm²)

・記録

- ① 3個の測定値及び平均値
- ② 試験片作成のときの和紙の使用の有無

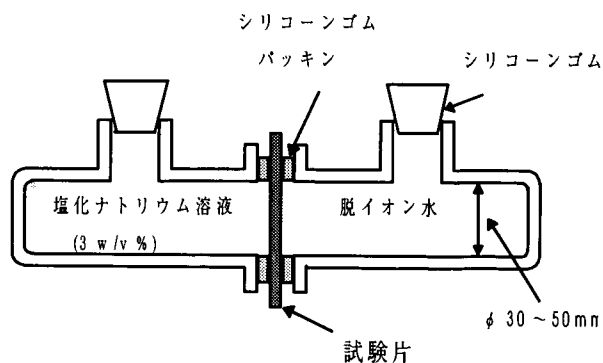


図6-5-1 塩素イオン透過量測定セルの一例

6.5.3 試験結果

遮塩性試験結果を表6-5-1に示す。各仕様での平均値を「道路橋の塩害対策指針(案)・同解説；(社)日本道路協会, 昭和59年2月」と比較すると, 同指針(案)でのA・B種は $1 \times 10^{-2} \text{mg/cd} \cdot \text{日}$ 以下、C種は $1 \times 10^{-3} \text{mg/cd} \cdot \text{日}$ 以下であり比較用の溶剤型ポリウレタン樹脂上塗材は硬質、軟質とも合格している。

一方、水系被覆材料は14種を試験したが 1×10^{-3} 以下を満足するものは4種類、 1×10^{-2} 以下を満足するものは上記4種と5種類の9種類であり、これら以外の5種類については $10^{-1} \sim 10^{-2}$ の値であった。

遮塩性能では 1×10^{-2} 以下を満足する9種類については、塩害対策用として適用の可能性があると考えられる。

表6-5-1 塩素イオン透過量測定結果

被覆仕様	記号	塩素イオン透過量($\text{mg/cd} \cdot \text{日}$)			
		1	2	3	平均値
一液形水系ふっ素 樹脂上塗材	1 F	7.43×10^{-4}	5.53×10^{-4}	1.28×10^{-3}	8.59×10^{-3}
	4 F	1.64×10^{-2}	7.77×10^{-4}	3.21×10^{-2}	1.64×10^{-2}
	7 F ₂	3.96×10^{-2}	3.72×10^{-2}	1.35×10^{-2}	3.01×10^{-2}
一液形水系ふっ素 樹脂上塗クリヤー	1 F ₂	3.48×10^{-4}	1.04×10^{-4}	2.38×10^{-4}	2.30×10^{-4}
	5 F ₂	2.35×10^{-2}	2.14×10^{-1}	2.25×10^{-3}	7.99×10^{-2}
	6 F ₂	1.14×10^{-3}	1.16×10^{-3}	測定不可	1.15×10^{-3}
一液形水系シリコン 樹脂上塗材	2 S	3.67×10^{-4}	1.65×10^{-3}	1.15×10^{-4}	7.11×10^{-4}
	7 A S ₃	8.82×10^{-5}	7.01×10^{-5}	3.57×10^{-5}	6.47×10^{-5}
二液形水系シリコン 樹脂上塗材	8 A S	1.02×10^{-3}	5.28×10^{-4}	5.72×10^{-3}	2.42×10^{-3}
一液形水系アクリル ウレタン樹脂上塗材	3 A U	3.94×10^{-4}	1.23×10^{-2}	2.50×10^{-3}	5.06×10^{-3}
	4 A U ₂	1.94×10^{-3}	3.98×10^{-5}	1.11×10^{-3}	1.03×10^{-3}
	5 A U	3.24×10^{-2}	3.27×10^{-3}	2.11×10^{-3}	1.26×10^{-2}
一液形水系アクリル 樹脂上塗材	2 A c ₃	4.91×10^{-4}	8.16×10^{-4}	7.84×10^{-5}	4.62×10^{-4}
水系シリカ上塗材	3 S i	9.00×10^{-2}	6.39×10^{-2}	1.40×10^{-1}	9.80×10^{-2}
溶剤系硬質ポリウレタン 樹脂上塗材	P U 1	3.39×10^{-4}	1.64×10^{-3}	1.79×10^{-4}	7.19×10^{-4}
溶剤系軟質ポリウレタン 樹脂上塗材	P U 2	1.24×10^{-4}	2.36×10^{-4}	2.25×10^{-4}	1.95×10^{-4}

6.6 透水性試験

6.6.1 試験片

大きさ100×100×20のモルタル板3枚の各々片面に規定の膜厚になるように $20\pm1^{\circ}\text{C}$ 、 $65\pm5\%$ RH条件下で所定の被覆仕様について、所定の時間間隔ではけ等で塗布した後、 $20\pm1^{\circ}\text{C}$ 、 $65\pm5\%$ RHで12日間乾燥後、試験に供した。

6.6.2 試験方法

透水性試験はJIS A 6909（建築用仕上塗材）の6.13透水性試験B法に準じて行った（1995年改正版）。

（1）透水試験器具

試験片の表面に図6-6-1に示すようにガラス器具を取り付けた。この器具は、水頭250mmを保持できるもので、口径75mmのロートと1目盛り0.05mlのメスピペット（容量5ml）からなるものである。

（2）試験方法

被覆後12日間乾燥した試験片を水平に保持し、図6-6-1に示すように透水性試験器具を、シリコーンシーリング材で固定し、48時間以上放置して試験に供した。試験は温度 $20\pm1^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $65\pm5\%$ の室内で実施した。温度 $20\pm3^{\circ}\text{C}$ のイオン交換水を試験片の表面から高さ約250mmまで入れ、24時間後のメスピペットの目盛りを読み、24時間透水量を求め、さらに11日後の目盛りを読み、2日目から11日目までの10日間の透水量を求めた。結果は試験片3個の平均値で表した。なお、24時間後に水量が下がっていれば高さ約250mmまで水を加えた。

また、透水量がメスピペットの目盛りをスケールオーバーした場合、初期の目盛りまで水を加え、その水の量を透水量とした。

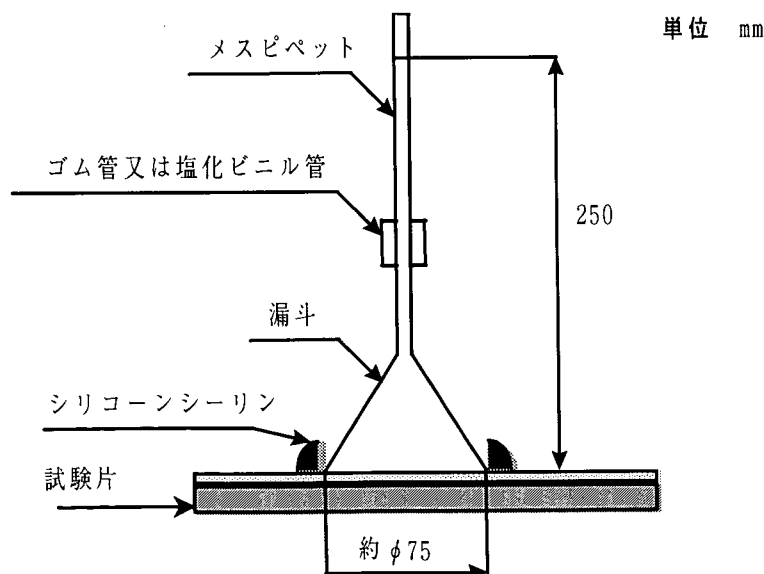


図6-6-1 透水性試験器具
〈JIS透水試験B法〉

6.6.3 試験結果

結果を表6-6-1および図6-6-1に示す。溶剤系被覆仕様に比べると、水系被覆仕様の方が透水量は大きい結果であった。これは溶剤系被覆仕様の方がより緻密な塗膜が形成されるためである。しかし、水系被覆仕様においても、1日後の透水量がJIS A 6909（建築用仕上塗材）の0.5ml/24Hを越えたものは、一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材の1仕様だけであった。水系被覆仕様の中では、一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤーと一液形水系シリコン樹脂上塗材の透水量が小さい結果であった。

また、10日間透水量試験終了後に塗膜に膨れの発生したものがあった。膨れの発生したものについては、降雨程度の雨には耐えられるものの、長く水に漬かる場所での使用には不向きと考えられる。

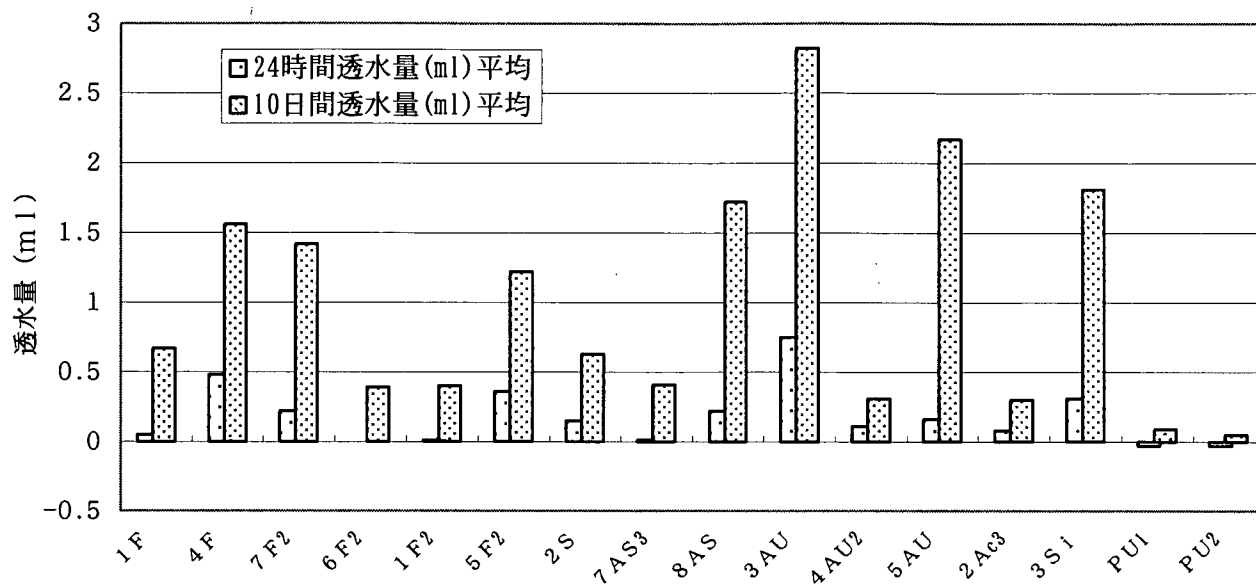


図6-6-1 透水性試験結果

表 6 - 6 - 1 透水性試験結果

被覆仕様	記号	n	24時間透水量(ml)		10日間透水量(ml)		塗膜観察 ※ふくれ等
			測定値	平均	測定値	平均	
一液形水系ふっ素樹脂 上塗材	1 F	1	0.05	0.05	0.72	0.74	8VF
		2	0.06		0.80		なし
		3	0.05		0.70		8F
	4 F	1	0.47	0.48	1.61	1.56	なし
		2	0.59		1.56		なし
		3	0.39		1.50		なし
	7 F ₂	1	0.23	0.22	1.53	1.42	2M
		2	0.21		1.37		2M
		3	0.23		1.37		2M
一液形水系ふっ素樹脂 上塗クリアー	6 F ₂	1	0.00	0.00	0.38	0.39	4MD
		2	0.01		0.43		4D
		3	0.00		0.37		5VF
	1 F ₂	1	0.00	0.01	0.45	0.40	なし
		2	0.01		0.35		なし
		3	0.02		0.41		なし
	5 F ₂	1	0.34	0.36	1.30	1.22	なし
		2	0.34		1.15		なし
		3	0.39		1.20		なし
一液形水系シリコン樹脂 上塗材	2 S	1	0.17	0.15	0.51	0.63	なし
		2	0.13		0.65		なし
		3	0.15		0.62		なし
	7 A S ₃	1	0.03	0.01	0.42	0.41	なし
		2	0.00		0.43		なし
		3	0.00		0.39		なし
二液形水系シリコン樹脂 上塗材	8 A S	1	0.17	0.22	1.51	1.72	2M
		2	0.22		1.81		2M
		3	0.27		1.83		2F
一液形水系アクリルウレタ ン樹脂上塗材	3 A U	1	0.77	0.75	2.81	2.82	30mm×2
		2	0.79		2.09		30mm×2
		3	0.70		2.65		30mm×2
	4 A U ₂	1	0.10	0.11	0.27	0.31	2-6VD
		2	0.12		0.32		2-6VD
		3	0.12		0.33		2-6VD
	5 A U	1	0.15	0.16	2.00	2.17	なし
		2	0.16		2.35		なし
		3	0.15		2.17		なし
一液形水系アクリル樹脂 上塗材	2 A c ₃	1	0.07	0.08	0.28	0.30	6F
		2	0.06		0.30		6F
		3	0.10		0.32		6F
水系シリカ上塗材	3 S i	1	0.32	0.31	1.75	1.81	なし
		2	0.31		2.00		なし
		3	0.31		1.69		なし
溶剤系硬質形ポリウレタン 樹脂上塗材	P U 1	1	-0.03	-0.03	0.08	0.09	なし
		2	-0.02		0.10		なし
		3	-0.04		0.08		なし
溶剤系柔軟形ポリウレタン 樹脂上塗材	P U 2	1	-0.03	-0.03	0.05	0.05	なし
		2	-0.03		0.08		なし
		3	-0.03		0.03		なし

※ふくれの評価はASTM-D-714に準拠

7. まとめ

以上、14種のコンクリート用水系被覆仕様について、施工性、屋外暴露（防汚性）および基本性能の試験を実施した。表7-1, 7-2および7-3に全データと参考基準値を示す。各項目毎の結果は以下のとおりである。

（1）施工性

同じ水系被覆仕様を夏と冬の2期に施工性試験を行い、溶剤系被覆仕様と比較評価した。水系被覆仕様は、溶剤系とはほぼ同等の仕上がりが見られることが分かったが、種類によっては塗り回数が多いため工程数と施工時間を増やさなければ施工できない被覆仕様もあった。

今回の試験において特に問題がなかった事項であるが、水系であることに起因する留意点としては、寒冷地での貯蔵中の凍結や、低温、高湿度時の施工では造膜が遅く降雨などの影響を受けやすいこと、高温では表面乾燥が速いなどがあり注意を要する。

（2）屋外暴露（防汚性）

水系被覆材料の中でも汚れやすいものと汚れにくいものがある。汚れにくいものは一般の溶剤系よりもはるかに優れており、低汚染タイプの溶剤系と比べても同等かそれ以上の性能を有するため、景観対策材料として充分適用できる。

（3）基本性能

試験項目によっては溶剤系以上の性能を示す材料もあり、今回の試験結果では溶剤系材料の各種規格の基準値に合格したものもある。しかし、一部の被覆材料を除いて全般的には透水性にやや劣る傾向が認められた。このため、これらの材料は塩害対策などに用いる用途では、長期の耐久性を確認する必要がある。

コンクリート用土木構造物を対象にした水系被覆材料の各種性能試験を実施した結果より、全般的にコンクリート用水系被覆材料は、道路橋の塩害対策指針（案）のA種の塗装系と比べて、同等あるいはそれ以上の性能を有する材料もあり、景観対策材料として充分使用できることが確認された。

また、水系の被覆材料は溶剤系と異なり、有機溶剤の蒸発による引火や爆発の危険および吸入毒性による危険から作業者の安全を確保できる。さらに、VOCの大巾な削減によって地球環境を保護できるという大きな利点もある。

ただし、コンクリート用水系被覆材料を厳しい環境で用いる場合には、さらに耐久性を向上させるための開発が必要であり、暴露試験や実構造物への試験施工等を行い検証する必要がある。

表 7-1 施工性および暴露試験結果の評価点一覧表

被覆仕様	記号	作業性	雨筋汚れ(暴露1年)		汚れ性(暴露1年)		汚れ除去性(暴露1年)	
		工程数	目視		ΔL^*		洗浄後の ΔL^*	
			夏施工	冬施工	夏施工	冬施工	夏施工	冬施工
一液形水系ふっ素樹脂上塗材	1F	3	1	-	3	-	5	-
	4F	3	3	-	3	-	3	-
	7F ₂	4	1	-	3	-	4	-
一液形水系ふっ素樹脂上塗クリヤー	1F ₂	2	5	1	5	3	5	4
	5F ₂	3	5	-	5	-	5	-
	6F ₂	3	5	5	5	5	5	5
一液形水系シリコン樹脂上塗材	2S	4	-	-	-	-	-	-
	7AS ₃	4	1	-	2	-	3	-
二液形水系シリコン樹脂上塗材	8AS	4	1	-	3	-	4	-
一液形水系アクリルウレタン樹脂上塗材	3AU	4	1	1	4	1	4	3
	4AU ₂	3	1	3	3	3	4	4
	5AU	4	1	1	3	3	5	5
一液形水系アクリル樹脂上塗材	2Ac ₃	4	1	-	2	-	4	-
水系シリカ上塗材	3Si	5	1	1	4	2	4	2
溶剤形硬質ポリウレタン樹脂上塗材	PU1	4	1	-	5	-	5	-
5点法の評価基準	評価方法	コンクリート構造物への塗装回数	L型歩道床版、垂直南向き面の1年経過後の雨筋汚れを目視判定		L型歩道床版、垂直南向き面の1年経過後の ΔL^* 値の絶対値		L型歩道床版、垂直南向き面の1年経過水洗後の ΔL^* 値の絶対値	
	5	3工程	雨筋が認められない		0～2未満		1未満	
	4	4工程	—		2～4未満		1～3未満	
	3	5工程	雨筋がぼやけて認められる		4～6未満		3～5未満	
	2	6工程	—		6～8未満		5～7未満	
	1	7工程	雨筋がはっきりと認められる		8以上		7以上	

表7-2 基本性能試験結果一覧表

被覆仕様	記号	耐アルカリ性 (目視)		促進耐候性 (2,000時間後)		付着性 (N/mm ²)				ひび割れ追従性 注3) (mm)		遮塩性 (mg/cm ² ・日)	透水性	
		注1)	注2)	光沢保持率	色差ΔE*	初期	耐アルカリ後		促進耐候後 2,000時間	初期	促進耐候後		0~1日 (ml/日)	1~11日 (ml/10日)
							注1)	注2)						
試験片	注4)	A	A	A		A	A	A	A	C	C	D	B	
一液形水系ふっ素樹脂 上塗材	1F	4-S	異常なし	80.2	1.8	2.5	1.5	2.1	1.6	0.36	0.27	8.59×10 ⁻⁴	0.05	0.67
	4F	異常なし	異常なし	92.3	2.2	1.3	1.0	1.3	2.3	0.71	0.33	1.64×10 ⁻²	0.48	1.56
	7F ₂	異常なし	異常なし	87.8	0.9	1.8	2.0	2.3	1.9	0.35	0.26	3.01×10 ⁻²	0.22	1.42
一液形水系ふっ素樹脂 上塗クリヤー	1F ₂	2-M	異常なし	44.6	2.1	1.9	1.1	2.4	1.6	0.36	0.28	2.30×10 ⁻⁴	0.01	0.40
	5F ₂	異常なし	異常なし	45.1	1.9	2.1	2.4	2.4	2.5	0.37	0.34	7.99×10 ⁻²	0.36	1.22
	6F ₂	4~6-M	異常なし	67.5	0.7	1.6	1.3	1.7	1.8	0.45	0.41	1.15×10 ⁻³	0.00	0.39
一液形水系シリコン樹脂 上塗材	2S	異常なし	異常なし	95.0	8.7	0.7	1.3	0.9	1.2	0.50	0.44	7.11×10 ⁻⁴	0.15	0.63
	7AS ₃	異常なし	異常なし	79.8	2.1	1.8	2.5	2.5	2.0	0.34	0.26	6.47×10 ⁻⁵	0.01	0.41
二液形水系シリコン樹脂 上塗材	8AS	異常なし	異常なし	76.9	1.7	2.3	0.7	1.2	1.7	0.34	0.25	2.42×10 ⁻³	0.22	1.72
一液形水系 アクリルウレタン樹脂 上塗材	3AU	異常なし	異常なし	106.1	1.8	1.7	2.0	1.4	2.3	0.46	0.36	5.06×10 ⁻³	0.75	2.82
	4AU ₂	2-VS	異常なし	71.6	4.0	1.2	0.9	1.4	2.3	0.67	0.59	1.03×10 ⁻³	0.11	0.31
	5AU	異常なし	異常なし	36.5	3.2	1.9	2.3	2.2	2.5	3.30	0.42	1.26×10 ⁻²	0.16	2.17
一液形水系アクリル樹脂 上塗材	2Ac ₃	2-VL	異常なし	64.2	1.5	0.6	0.0	0.9	1.9	0.34	0.3	4.62×10 ⁻⁴	0.08	0.30
水系シリカ上塗材	3Si	異常なし	異常なし	87.3	8.6	1.5	1.9	1.7	1.9	0.34	0.23	9.80×10 ⁻²	0.31	1.81
溶剤形硬質ポリウレタン 樹脂上塗材	PU1	異常なし	異常なし	67.3	1.9	2.0	1.8	2.4	1.6	0.31	0.23	7.19×10 ⁻⁴	-0.03	0.09
溶剤形柔軟ポリウレタン 樹脂上塗材	PU2	異常なし	異常なし	7.60	8.6	1.9	2.3	2.5	1.5	1.20	0.67	1.95×10 ⁻⁴	-0.03	0.05

注1) 塩害対策指針(案)の方式

注2) 日本道路公団規格の方式

注3) ひび割れ追従性は降伏時の伸びで示した。

注4) 試験片 A: モルタル板 70×70×20・、B: モルタル板 100×100×20・、C: モルタル板120×40×10・、D: ガラス板(離型紙貼り付け)

表 7-3 各種規格の基準値

() 内の数値は表 7-2 と試験方法が異なる

各種規格			耐アルカリ性 (目視)		促進耐候性(2,000時間)		付着性(N/mm ²)			ひび割れ追従性 (mm)		遮塩性 (mg/cm ² ・日)	透水性					
官公庁、公団名またはプロジェクト名		用途 区分					60°グロス 保持率	色差 ΔE	初期	耐アルカリ後 注1)	注2)		促進耐候後 2,000時間	初期	促進耐候後	0~1日 (ml/日)	1~11日 (ml/10日)	
塩害対策指針(案)	A種(PC用)	塩害	異常なし		300時間目視で 異常なし	(25/25)				(1%以上)		1×10 ⁻² 以下						
	B種(RC用)		異常なし							(25/25)		(4%以上)			1×10 ⁻² 以下			
	C種(高耐久)		異常なし							(25/25)		(1%以上)			1×10 ⁻³ 以下			
土研総プロ	1種	塩害	異常なし		300時間目視で 異常なし	界面破壊が ないこと					1×10 ⁻³ 以下							
	2種		異常なし								1×10 ⁻² 以下							
鉄道総研規格		一般	異常なし		300時間目視で 異常なし	界面破壊が ないこと				0.2以上			0.4以下					
		塩害	異常なし							0.2以上			0.4以下					
		凍結	異常なし							0.2以上			0.4以下					
日本道路公団規格		一般		異常なし	700時間目視で 異常なし	1以上		1以上	1以上	0.4以上	0.2以上	1×10 ⁻³ 以下						
		塩害								異常なし		1以上			1以上	0.8以上	0.4以上	1×10 ⁻³ 以下
		アル骨								異常なし		1以上			1以上	0.8以上	0.4以上	1×10 ⁻³ 以下
		凍害								異常なし		1以上			1以上	0.8以上	0.4以上	1×10 ⁻³ 以下
		景観								異常なし		1以上			1以上	0.8以上	0.4以上	1×10 ⁻³ 以下
首都高速道路公団規格			異常なし			1以上	1以上			(2%以上)		1×10 ⁻³ 以下						
阪神高速道路公団規格	A種 撥水系	予防保全	異常なし		300時間目視で 異常なし													
	A種 セメント系		異常なし							0.5以上					1×10 ⁻² 以下			
	B種	中防食	異常なし							1以上		0.1以上			1×10 ⁻³ 以下			
	C種		異常なし							2以上か母材破壊					1×10 ⁻³ 以下			
	D種	高耐久	異常なし							1以上		0.1以上			1×10 ⁻³ 以下			
	E種	耐汚染	異常なし							1以上								
	F種 撥水系	ASR	異常なし							0.3以上		0.7以上						
	F種 防水系		異常なし							0.3以上		0.7以上						

注1) 塩害対策指針(案)の方式

注2) 日本道路公団規格の方式

8. 今後の課題

今後、水系のコンクリート用被覆材料の実用化に向けて以下の課題が考えられる。

(1) 基本性能の向上

水系被覆材料は溶剤系被覆材料に比べて、透水性、遮塩性でやや劣るものがある。このため材料改良や被覆仕様の見直しなど、性能を更に向上させる必要がある。

(2) 耐久性の実証

水系被覆材料は一般の溶剤系に比べると防汚性で優れているので、景観対策用として実構造物での試験施工を行い防汚性、防食性の実証が必要である。

最後に、本研究は下記の方々の協力を得て実施したものである。ここに謝意を表します。

	恒和化学工業株式会社	技術企画室	谷田泰彦
	恒和化学工業株式会社	新製品開発課	加茂靖史
	関西ペイント株式会社	技術開発本部第5部	野田和明
	大日本塗料株式会社	防食塗料課	里 隆幸
	株式会社トウペ	東京技術部重防食塗料課	木村武久
	日本ペイント株式会社	鉄構塗料部第二グループ	安井正宏
	住友大阪セメント株式会社	開発センター	神本英喜
	旭硝子株式会社	商品研究開発センター	鷲田 弘
	鐘淵化学工業株式会社	技術開発部グループ	河村 譲
途中交代者	元 恒和化学工業株式会社	関西事業部	北崎也隆
	関西ペイント株式会社	技術開発本部第5部	中家俊和
	株式会社トウペ	大阪技術部建築外装塗料課	真柴文教
	元 株式会社トウペ	東京技術部	中島和明
	日本ペイント株式会社	鉄構塗料部第二グループ	福田英夫
	住友大阪セメント株式会社	商品開発室	若杉三紀夫
	旭硝子株式会社	商品研究開発センター	高柳敬志
	旭硝子株式会社	商品研究開発センター	廣野高生
	鐘淵化学工業株式会社	技術開発部グループ	安藤直民
	鐘淵化学工業株式会社	オリゴマー研究グループ	久住 明

付 属 資 料

1. 施工性試験写真
2. 屋外暴露試験評価写真
3. 屋外暴露試験データ（明度差）

1. 施工性試験写真

試験体

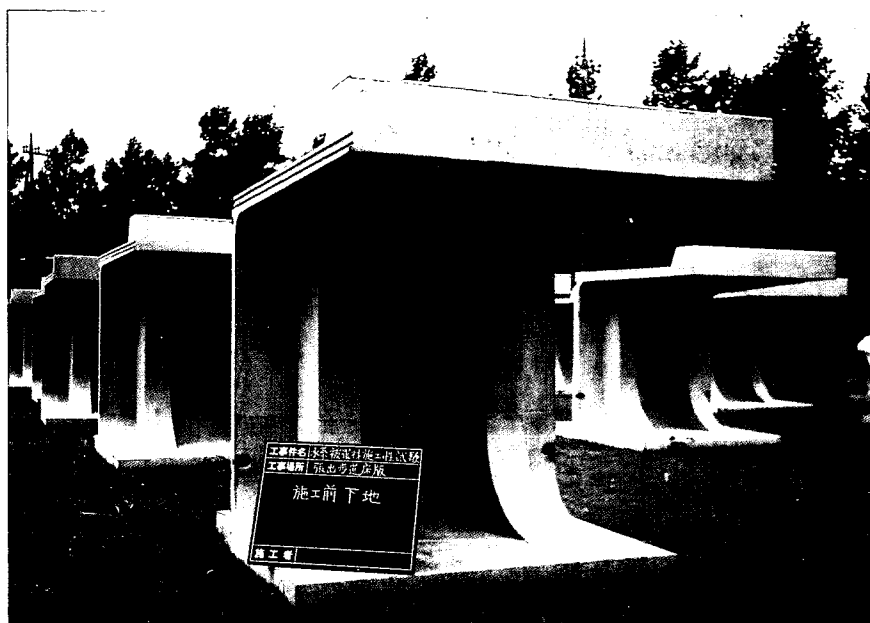


写真1 施工前の下地（北面）

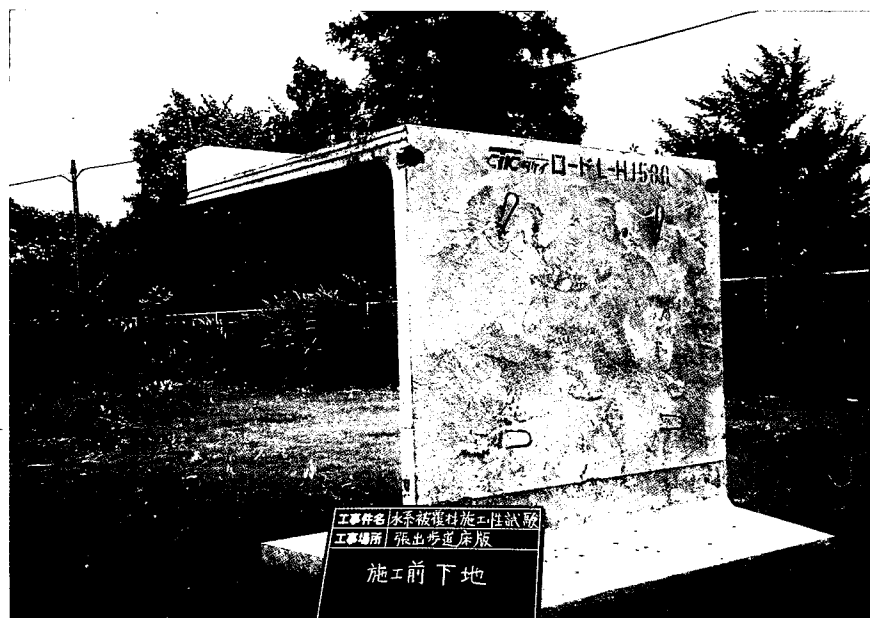


写真2 施工前の下地（南面）

仕上がり状態

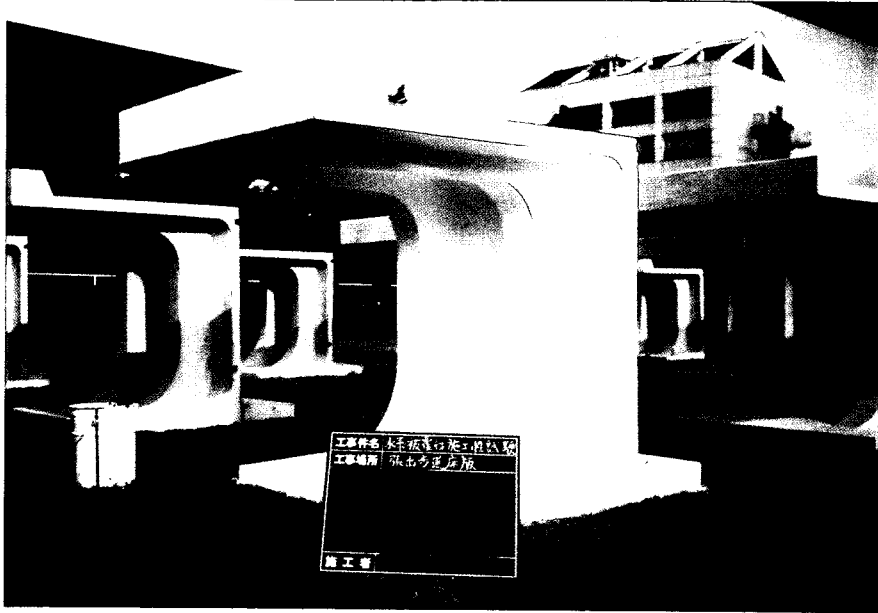


写真3 施工前の下地（北面）

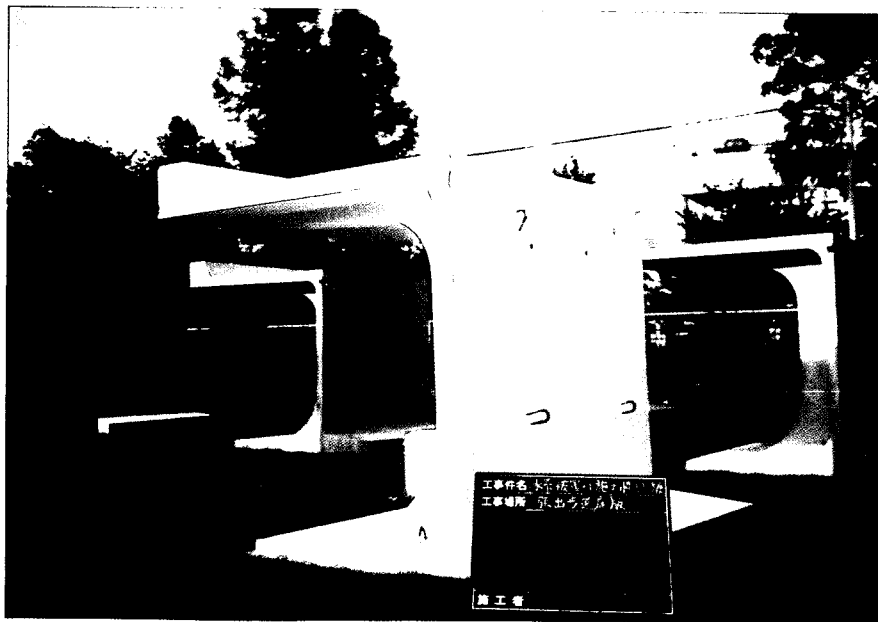


写真4 施工前の下地（南面）

2. 屋外暴露試験評価写真

(防汚性評価：雨筋汚れの評価写真)

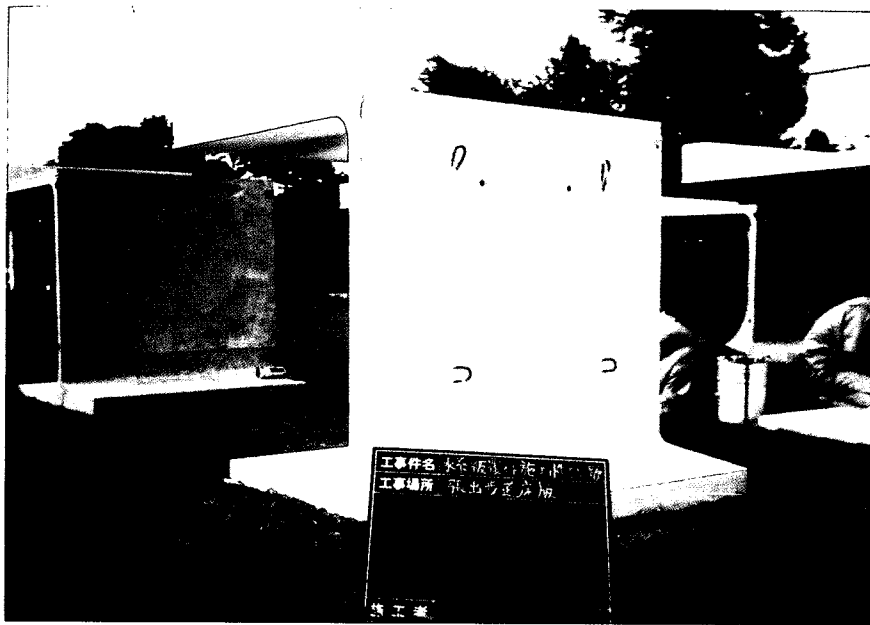


写真5 仕上がり直後（南面）

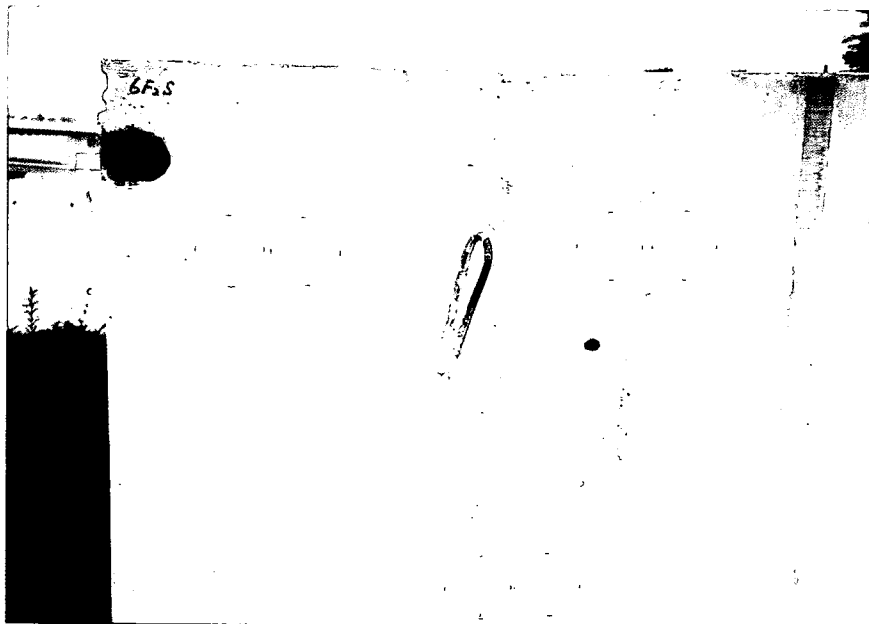


写真6 南面1年経過 評価5点

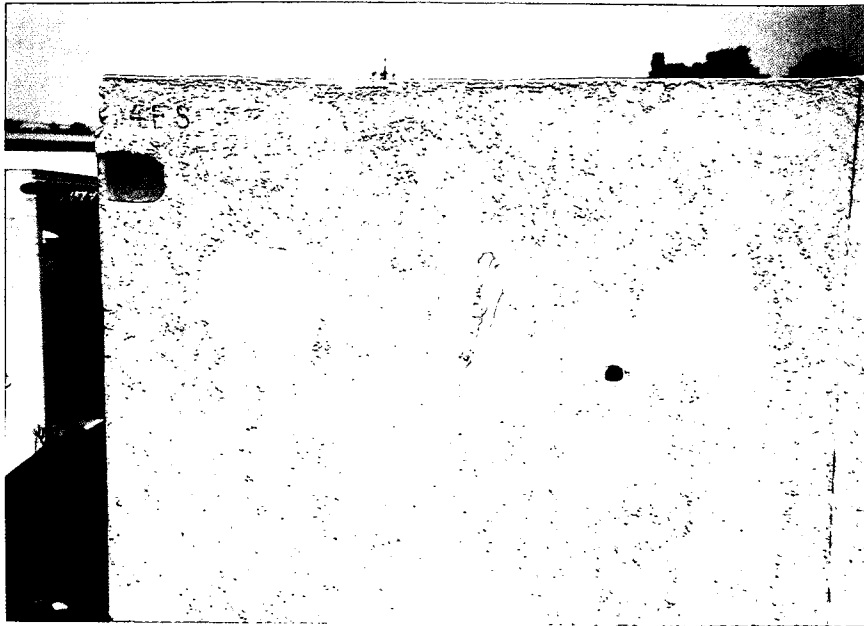


写真7 南面1年経過 評価 3 点

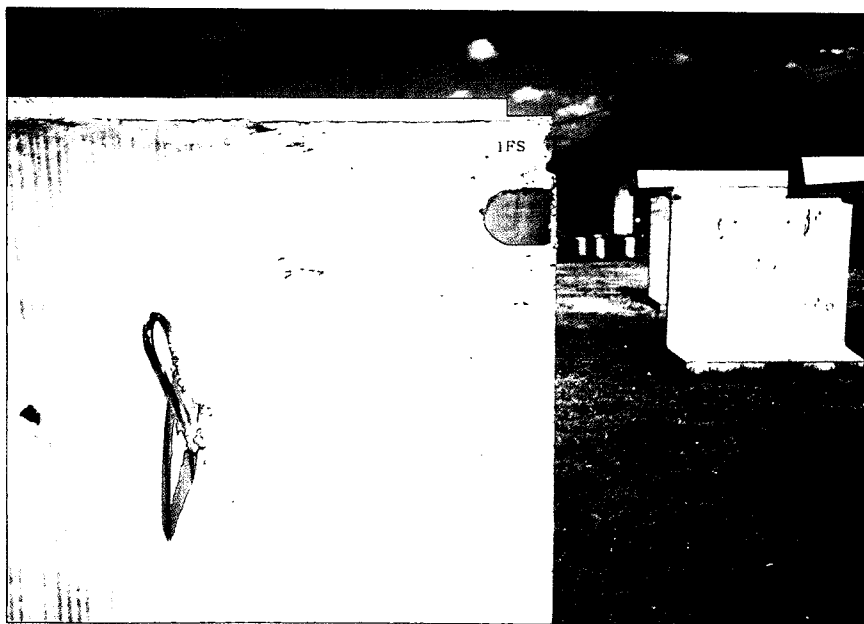


写真8 南面1年経過 評価 1 点

3. 屋外暴露試験データ（明度差）

（垂直面の明度差変化グラフ）

これまでに屋外暴露試験（防汚性）は、平成5年から平成7年までに張出歩道床版を供試体として、夏期、冬期合わせて5回実施した。

以下に、張出歩道床版の南向き垂直面の明度差変化の全データを示す。なお、測定は5点平均とした。

記号説明

以下の事例のように、記号を付けた。

4 F S

① ② ③ ④

①：被覆材料提供会社記号

②：上塗り材料の樹脂成分記号

③：同社で同じ上塗材の樹脂成分での試験回数

④：施工した時期

1. 上塗り材料の樹脂成分記号

F：水系ふっ素樹脂上塗材仕様

AS：水系アクリルシリコン樹脂上塗材仕様

AU：水系アクリルウレタン樹脂上塗材仕様

Ac：水系アクリル樹脂上塗材仕様

Si：水系シリカ上塗材仕様

PU：溶剤系硬質ポリウレタン樹脂上塗材仕様

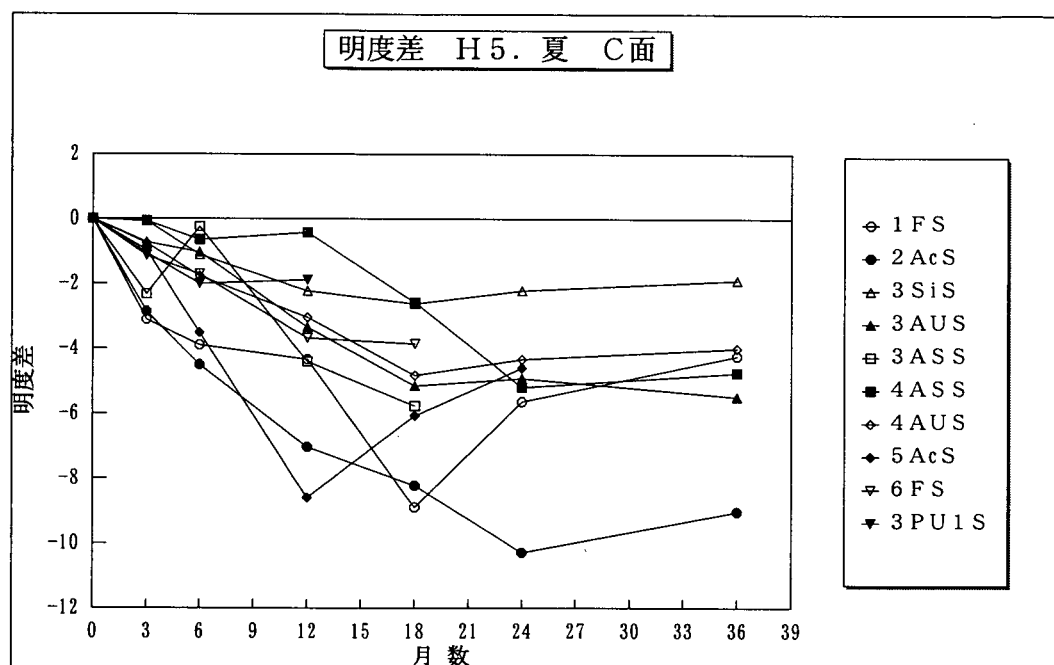
2. 施工した時期

S：夏期施工

W：冬期施工

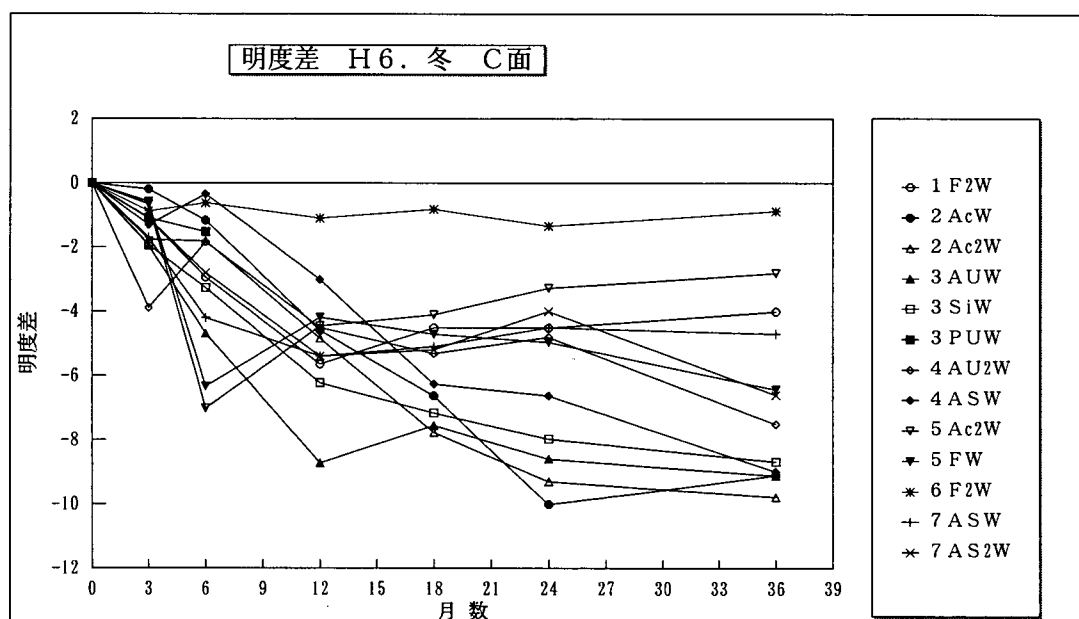
明度差 H5. 夏 C面

		1FS	2AcS	3SiS	3AUS	3ASS	4ASS	4AUS	5AcS	6FS	3PU1S
初期	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3ヶ月後	3	-3.11	-2.86	-0.07	-0.72	-2.32	-0.07	-0.75	-0.97	-1.14	-1.06
6ヶ月後	6	-3.9	-4.5	-1.11	-1.03	-0.24	-0.64	-1.76	-3.51	-1.7	-2
12ヶ月後	12	-4.34	-7.04	-2.23	-3.34	-4.4	-0.42	-3.04	-8.6	-3.68	-1.88
18ヶ月後	18	-8.89	-8.23	-2.62	-5.15	-5.77	-2.58	-4.83	-6.07	-3.86	
24ヶ月後	24	-5.63	-10.28	-2.21	-4.92		-5.19	-4.33	-4.59		
36ヶ月後	36	-4.23	-9.03	-1.89	-5.49		-4.75	-3.99			



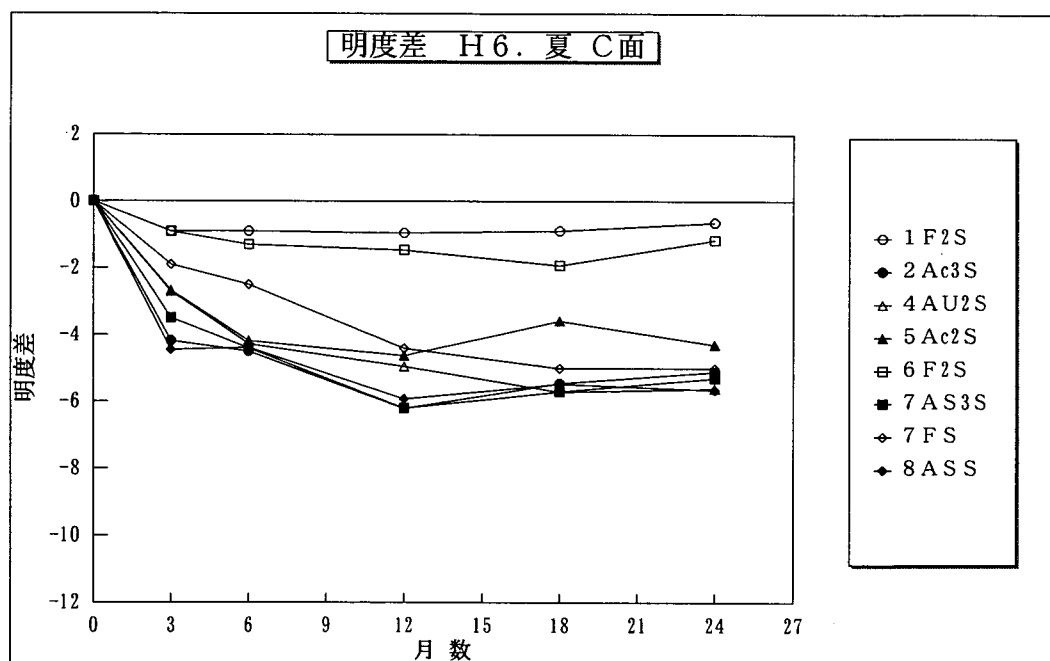
明度差 H6. 冬 C面

		1 F2W	2 AcW	2 Ac2W	3 AUW	3 SiW	3 PUW	4 AU2W	4 ASW	5 Ac2W	5 FW	6 F2W	7 ASW	7 AS2W
初期	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3ヶ月後	3	-1.11	-0.19	-1.76	-1.95	-1.93	-1.08	-3.89	-1.3	-0.66	-0.58	-0.88	-1.7	-1.1
6ヶ月後	6	-2.94	-1.17	-1.81	-4.69	-3.26	-1.52	-1.84	-0.34	-7.02	-6.34	-0.62	-4.2	-2.8
12ヶ月後	12	-5.64	-4.59	-4.84	-8.72	-6.22		-4.5	-3.01	-4.45	-4.18	-1.1	-5.4	-5.4
18ヶ月後	18	-4.51	-6.63	-7.77	-7.55	-7.17		-5.32	-6.27	-4.1	-4.71	-0.82	-5.1	-5.2
24ヶ月後	24	-4.51	-10.01	-9.3	-8.6	-7.97		-4.8	-6.62	-3.27	-4.96	-1.34	-4.5	-4
36ヶ月後	36	-4.01	-9.11	-9.78	-9.12	-8.68		-7.51	-8.99	-2.81	-6.43	-0.88	-4.7	-6.6



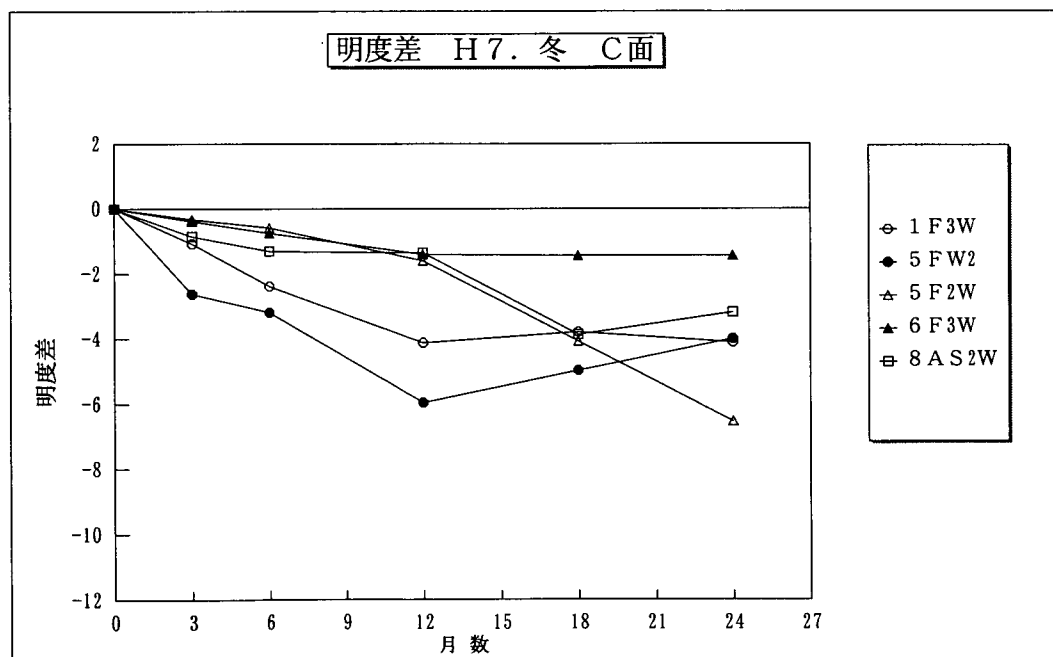
明度差 H6. 夏 C面

		1 F2S	2 Ac3S	4 AU2S	5 Ac2S	6 F2S	7 AS3S	7 FS	8 ASS		
初期	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
3ヶ月後	3	-0.9	-4.18	-2.71	-2.68	-0.9	-3.5	-1.9	-4.45		
6ヶ月後	6	-0.89	-4.5	-4.28	-4.18	-1.3	-4.4	-2.5	-4.38		
12ヶ月後	12	-0.94	-6.21	-4.94	-4.62	-1.46	-6.2	-4.4	-5.92		
18ヶ月後	18	-0.88	-5.45	-5.71	-3.58	-1.92	-5.7	-5	-5.47		
24ヶ月後	24	-0.63	-5.11	-5.62	-4.3	-1.16	-5.3	-5	-5.65		



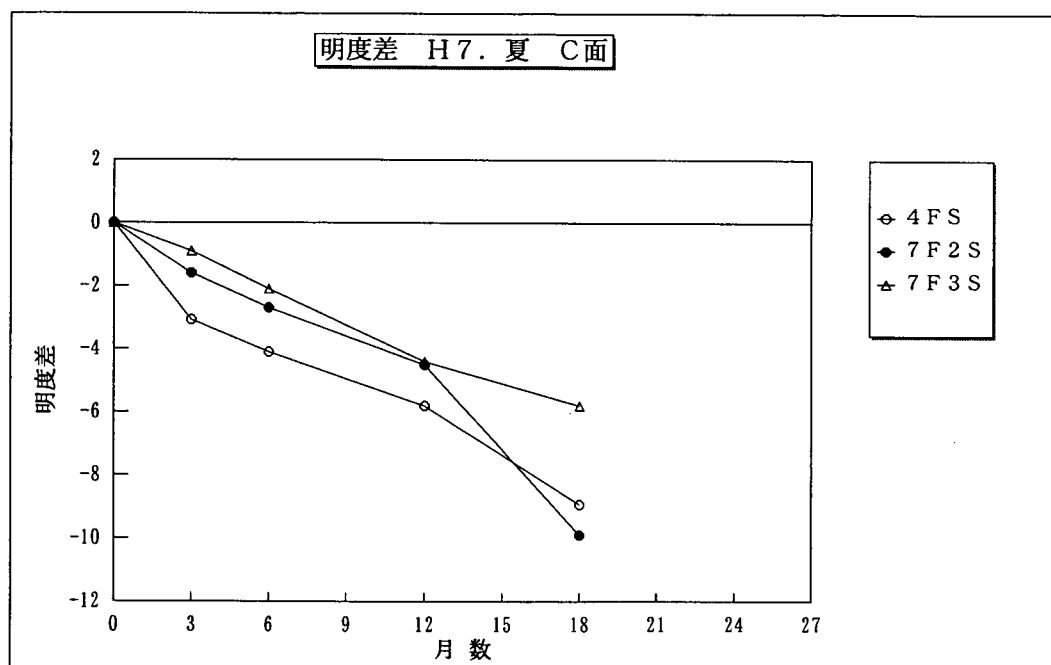
明度差 H7. 冬 C面

		1 F3W	5 FW2	5 F2W	6 F3W	8 AS2W
初期	0	0	0	0	0	0
3ヶ月後	3	-1.08	-2.62	-0.32	-0.38	-0.85
6ヶ月後	6	-2.37	-3.18	-0.58	-0.74	-1.3
12ヶ月後	12	-4.12	-5.95	-1.59	-1.4	-1.35
18ヶ月後	18	-3.78	-4.97	-4.06	-1.44	-3.86
24ヶ月後	24	-4.1	-3.99	-6.52	-1.44	-3.18



明度差 H7. 夏 C面

		4FS	7F2S	7F3S
初期	0	0	0	0
3ヶ月後	3	-3.08	-1.6	-0.9
6ヶ月後	6	-4.1	-2.7	-2.1
12ヶ月後	12	-5.81	-4.5	-4.4
18ヶ月後	18	-8.92	-9.9	-5.8
24ヶ月後	24			



明度差 H7. 冬 C面

		1 F3W	5 FW2	5 F2W	6 F3W	8 AS2W
初期	0	0	0	0	0	0
3ヶ月後	3	-1.08	-2.62	-0.32	-0.38	-0.85
6ヶ月後	6	-2.37	-3.18	-0.58	-0.74	-1.3
12ヶ月後	12	-4.12	-5.95	-1.59	-1.4	-1.35
18ヶ月後	18	-3.78	-4.97	-4.06	-1.44	-3.86
24ヶ月後	24	-4.1	-3.99	-6.52	-1.44	-3.18

