

# 膜材料の汚れ評価における地域差および防汚処理の影響

— 膜構造用膜材料の汚れ評価に関する研究 (その2) —

豊田 宏  
山本拓也  
多賀 正  
鳥居 壮

## 梗 概

国内外17ヶ所の地域において、防汚処理を異にする膜材料の汚れ評価を屋外暴露試験後の測色および走査型電子顕微鏡(SEM)により行なった。コーティング材がフッ素樹脂またはフッ素樹脂フィルムをラミネートした膜材料の防汚性は非常に優れているが、屋外暴露する地域によってはかなりの差が認められた。膜材料の汚れ度合いは空気中の浮遊粒子状物質質量に関係があり、その地域の浮遊粒子状物質質量を知ることにより、膜材料の汚れ程度をあらかじめ予想することができる。

### 1. はじめに

膜構造用膜材料の“防汚性”は、実用上きわめて重要である。前報〔1〕では膜材料の汚れ評価方法について検討し、膜材料の汚れ度合いを評価する時は、屋外暴露試験後の色差(ΔE)測定による方法が妥当であるとした。通常、自動車および工場から発生する油煙または土ほこりなどの汚れは、膜材料のコーティング材の表面に付着する。また、膜材料の裏面にも粉塵などの汚れが付着する。しかし、後者は前者と比較すると汚れ付着は明らかに少ないため、本報告では主として膜材料表面の汚れについて検討した。

膜材料B種、C種〔2〕のコーティング材には主に軟質塩化ビニル樹脂(PVC)が用いられる。PVC表面に汚れが付着する機構は次の通りである。膜材料が屋外で使用されている間に、PVC中に約50%含有されているフタル酸エステルなどの可塑剤が、熱および紫外線などの影響により表面へブリードアウトし、空気中に浮遊している汚れ物質および雨水に含まれる汚れを捕捉する。これらの汚れは時間とともにPVC内部に吸着されるため除去することが困難

になる。そこで、ポリメタクリル酸メチル(PMMA)樹脂またはフッ素系樹脂などをPVC表面に処理することにより、可塑剤のブリードアウトを抑制し、膜材料の防汚対策をとっている。さらにフッ素系樹脂フィルムをラミネートしたPVC膜材料の防汚性は非常に優れていることが確認されている〔3, 4〕。また、膜材料A種〔2〕は四フッ化エチレン(PTFE)をコーティング材としたガラス繊維平織物であり、非常に防汚性および耐久性が良いといわれている〔5〕。PTFEの臨界表面張力は18.5ダイン/cm〔6〕であり、この数値は他の高分子材料と比較すると格段に低い。この臨界表面張力が低いほど表面はぬれにくく、汚れは付着しにくい性質をもつようになる。しかしながら、膜材料A種を用いた膜構造建築物でさえも、建設された場所やその形状によっては汚れが付着し、問題になることがある。膜材料A種およびC種についての屋外暴露試験を厚木と神田で2年間行ない、色差などを測定した報告はみられる〔7〕。ところが、さまざまな環境条件で使用される膜材料の防汚性について詳しく知るためには、さらに広範囲な地域で客観的に調査する必要があると思われる。

本研究では、国内外17ヶ所の地域において防汚処理を異にする6種類の膜材料の屋外暴露試験を実施した。屋外暴露後の試料およびこれらを水拭きした試料の汚れ評価を色差測定および走査型電子顕微鏡(SEM)観察により行なった。そして、膜材料の防汚処理効果を確認するとともに、地域差による汚れ付着程度およびその地域における浮遊粒子状物質〔8-10〕量との関係についても検討を加えた。

## 2. 実験材料ならびに方法

### 2-1 試料

5種類の膜材料C種と1種類の膜材料A種を試料として用いた。表-1に試料の概略および防汚処理について示した。

### 2-2 屋外暴露試験

屋外暴露試験方法は、幅30cm×長さ140cmの試験片を特に荷重をかけずに南面45°に設置した暴露台に取り付けて所定期間行なった。表-2に屋外暴露試験場所について示した。

### 2-3 水拭き方法

図-1に示す汎用摩耗試験機(自社製)を用いて試料の水拭きを行なった。摩耗子の接触部は10cm×10cmであり、その上に精製水で湿潤させた綿布

(かなきん3号, JIS L 0803準拠)を覆った。試料への押し圧荷重0.1kgf/cm<sup>2</sup>, 往復距離20cm, 速度30往復/分の条件下で10往復行なった。

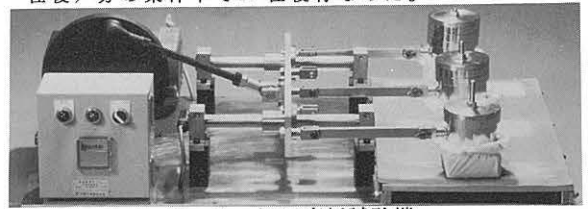


図-1 汎用摩耗試験機

### 2-4 測色

測色は、自記分光光度形(株)日立製作所製U-3410を使用し、三刺激値(X,Y,Z)を求めた。試料は南面45°で屋外暴露した試験片の中央部を4cm×6cmに切断した。測定波長範囲は380~780nm, 標準光源はC, および2度視野とした。色差はL\*a\*b\*表色系により求めた。3枚の試料について測定し、平均値で示した。

### 2-5 電子顕微鏡(SEM)観察

日本電子(株)製走査型電子顕微鏡(JSM-5200LV)を用い、サンヨー電子(株)QUICK COATER(SC-701型)により試料に金蒸着を施した後、加速電圧15kvで観察した。

表-1 屋外暴露試験に用いた試料の概要

記号	防汚処理	コーティング材	基布	質量 (g/m <sup>2</sup> )	厚さ (mm)	色相
A	PVF*1フィルムラミネート	PVC*4	PET*5	1102	0.95	白
B	PMMA*2樹脂コーティング	PVC	PET	991	0.86	白
C	PMMA+フッ素樹脂コーティング	PVC	PET	652	0.59	白
D	PTFE*3樹脂コーティング	PTFE	ガラス	1356	0.92	白
E	PVDF*6, フッ素ゴム共重合体コーティング	PVC	PET	686	0.60	アイリ-
F	無処理	PVC	PET	581	0.50	アイリ-

*1 PVF	: Polyvinyl fluoride	(フッ化ビニル樹脂)
*2 PMMA	: Polymethyl methacrylate	(ポリメタクリル酸メチル樹脂)
*3 PTFE	: Polytetrafluoroethylene	(四フッ化エチレン樹脂)
*4 PVC	: Polyvinyl chloride	(塩化ビニル樹脂)
*5 PET	: Polyethylene terephthalate	(ポリエステル)
*6 PVDF	: Polyvinylidene fluoride	(フッ化ビニリデン樹脂)

表-2 屋外暴露試験の概要

番号	暴露地	暴露場所	暴露期間(年)
1	札幌	札幌市白石区(太陽工業(株)札幌営業所 地上)	3
2	仙台	宮城県仙台市古城(弘進ゴム(株)屋上)	3
3	新潟	新潟市平島(太陽工業(株)新潟営業所 地上)	3
4	東京	東京都目黒区(太陽工業(株)東京支店 屋上)	3
5	大阪	大阪市淀川区(太陽工業(株)本社 屋上)	3
6	枚方	大阪府枚方市(太陽工業(株)枚方工場 屋上)	5
7	東松山	埼玉県東松山市(太陽工業(株)東松山工場 地上)	3
8	浜松	静岡県浜松市(太陽工業(株)浜松工場 地上)	3
9	瑞穂	京都府船井郡瑞穂町(太陽工業(株)瑞穂工場 地上)	3
10	福井	福井市石新保町(太陽工業(株)福井工場 地上)	1
11	福岡	福岡市博多区井相田(レントール太陽(株) 地上)	1
12	山口	山口県玖珂郡和木町(三井石油化学工業(株) 屋上)	3
13	カリフォルニア	Hayward, Calif. (Helios Industries, Inc 地上)	1
14	シカゴ	St. Addison, Ill. (Helios Container Systems Inc. 地上)	0.5
15	銚子	千葉県銚子市新町((財)日本ウェルディングセンター 地上)	3
16	鹿児島	鹿児島市錦江町1-4((株)エビハラ 屋上)	1
17	沖縄	沖縄県国頭郡辺野喜(地上)	1

### 3. 結果

#### 3-1 防汚処理の差による汚れ評価

各地域における屋外暴露試験後の色差測定結果を図-2から図-16の左側に示した。汚れやすい順番は試料B, F, C, EそしてA=Dである。これらの中で、PVFフィルムをラミネートした試料AおよびPTFEをコーティングした試料Dは防汚性がとくに優れている。また、屋外暴露時間が1年を過ぎると、試料A, DおよびEの色差に変化がみられなくなり、汚れ付着が進展しなくなることがわかる。なお、試料Dの色相は、暴露前はベージュ色であるが暴露時間とともに漂白され、1年後には完全に白くなる。試料Dの色差測定には、漂白したものを対象試料として用いるため、ベージュ色が残存している屋外暴露6ヶ月までの試料の色差には、汚れ以外にこの色の差が含まれる。結果として屋外暴露1年、3年よりも6ヶ月までの試料の色差が大きくなったものと考えられる。試料CおよびEではフッ素樹脂が混入した溶液がコーティングされており、未処理試料と比較するとその効果は現れている。また、枚方では、屋外暴露試験を5年間実施したが、3年以降になると試料BおよびFについても色差の増加傾向はみられず、反対に試料Fの色差は減少している(図-7)。この試料FのPVC表面をSEM観察すると(図-17)、3年間屋外暴露した試料にはクラックおよび汚れ物質の付着が観察されるが、5年間屋外暴露した試料では汚れ物質の付着が減少していることがわかる。この理由は、試料Fでは防汚処理を行っていないために、5年間の屋外暴露により他の試料よりも可塑剤のブリードアウトが早く進行するとともにこれらが表面から消失し、その結果可塑剤に付着していた汚れ物質も離脱したものと考えられる。

次に、汚れが付着した試料の洗浄性を調べるために、水拭きした試料の色差測定結果をそれぞれの図の右側に示した。試料の水拭きを人間が行なうと色々な要因により拭き取りのむらが生じて、色差に影響を及ぼす。そこで、本実験では汎用摩耗試験機を用いて一定条件下で水拭きを実施した。どの地域においても試料A, DおよびEの色差は、水拭きによりほとんど0に近づくことがわかる。これらの試料は汚れの洗浄性についても優れており、こ

こでもフッ素樹脂の防汚効果が確認できた。

#### 3-2 地域差による汚れ評価

図-2から図-16において、屋外暴露試験地域によって膜材料の汚れ付着度合い(色差)が顕著に異なることがわかる。最も汚れやすい地域は東京であり、その反対は銚子であった。そこで、文献[11]に基づいて両地域で1年間屋外暴露した各試料の汚れの診断を行なってみた。表-3に示すように銚子では、試料A, EおよびDは“ほとんど汚れていない”となり、試料BおよびFは“汚れている”と診断されるが、東京ではどの試料においても銚子よりも汚れている傾向にあることがわかった。

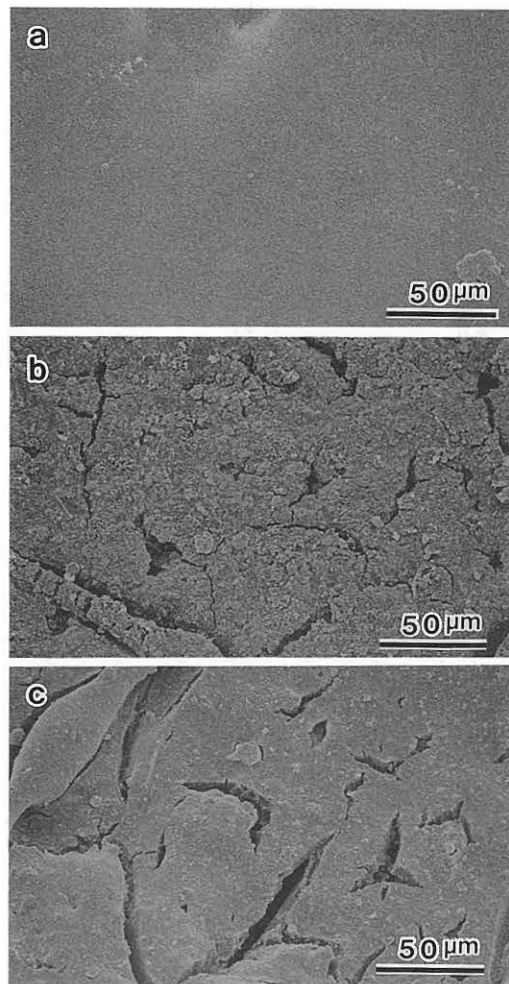
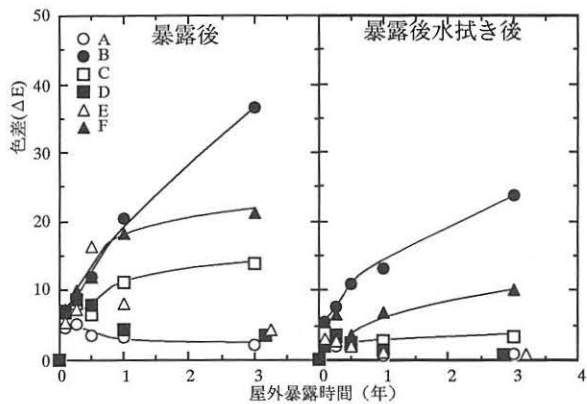
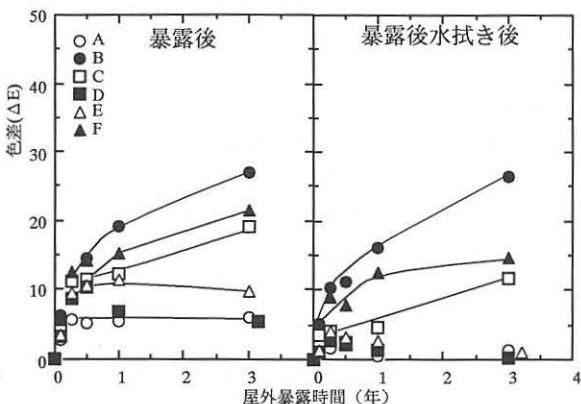


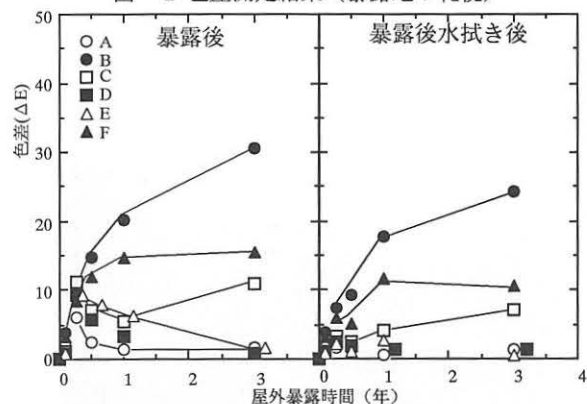
図-17 試料F表面のSEM観察結果(暴露地:枚方)  
a:オリジナル, b:屋外暴露3年, c:屋外暴露5年



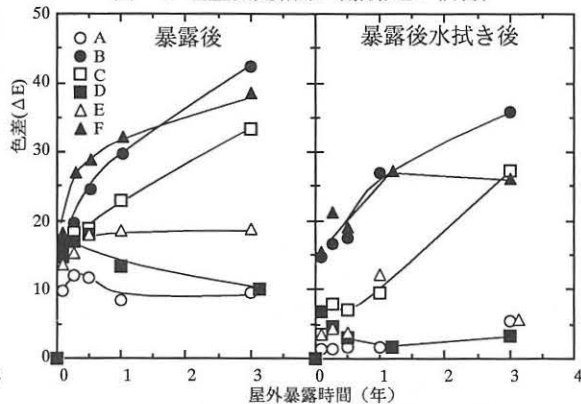
図一 2 色差測定結果 (暴露地: 札幌)



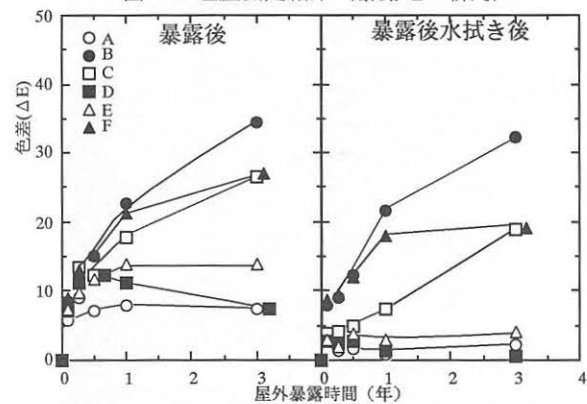
図一 3 色差測定結果 (暴露地: 仙台)



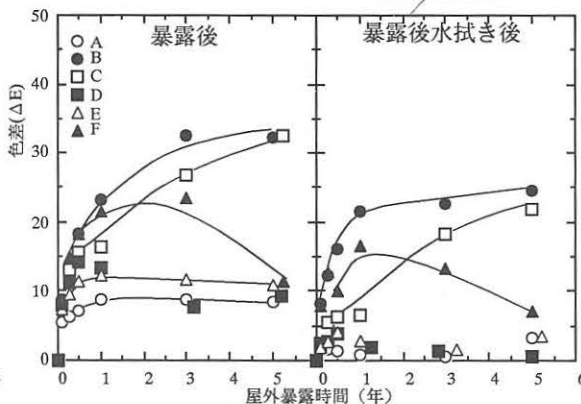
図一 4 色差測定結果 (暴露地: 新潟)



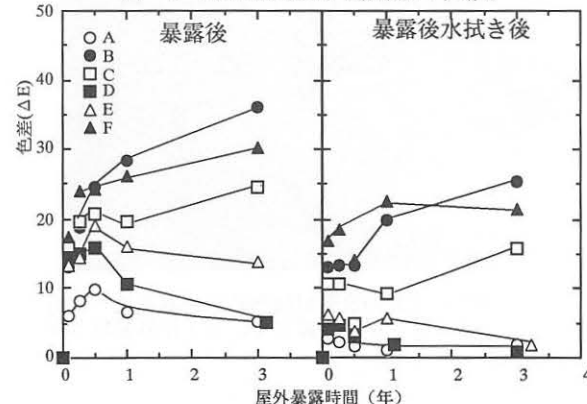
図一 5 色差測定結果 (暴露地: 東京)



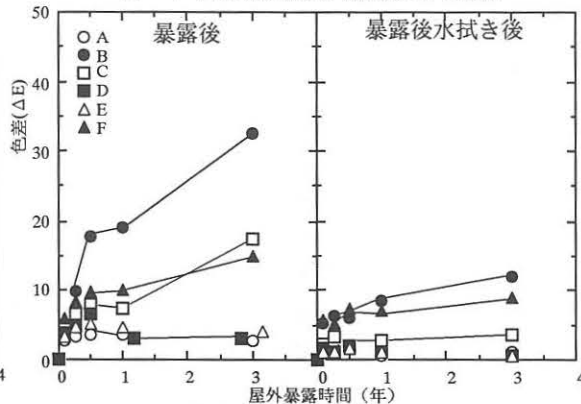
図一 6 色差測定結果 (暴露地: 大阪)



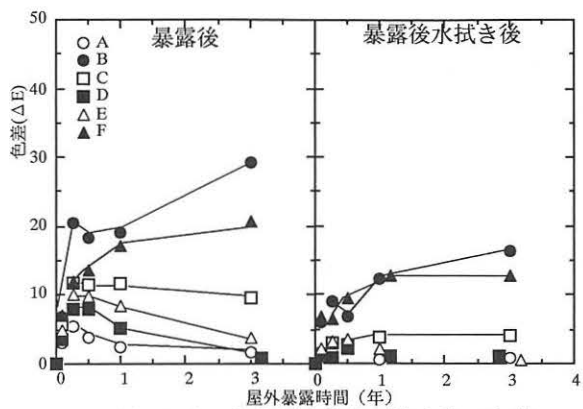
図一 7 色差測定結果 (暴露地: 枚方)



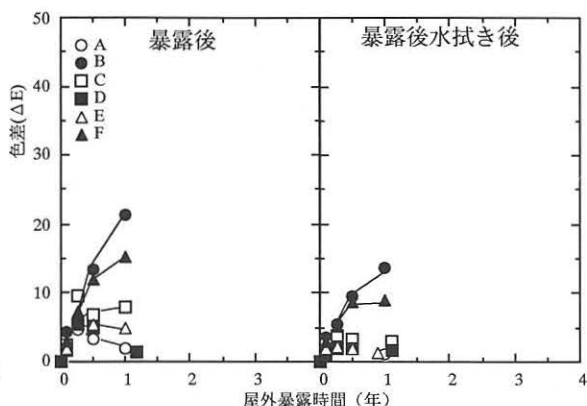
図一 8 色差測定結果 (暴露地: 東松山)



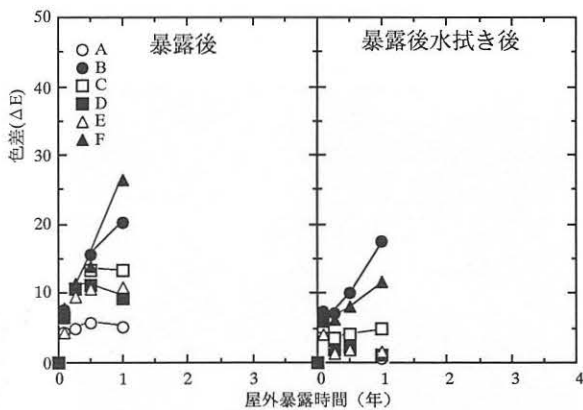
図一 9 色差測定結果 (暴露地: 浜松)



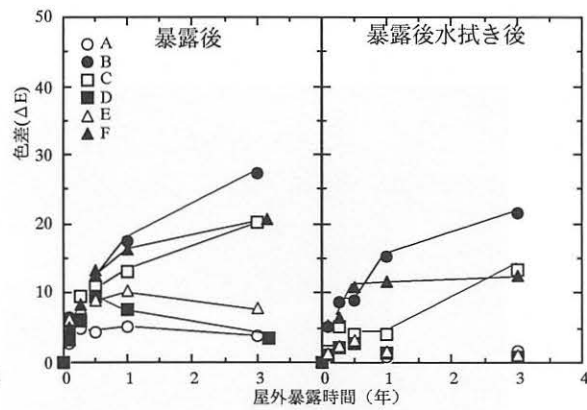
図一10 色差測定結果(暴露地:瑞穂)



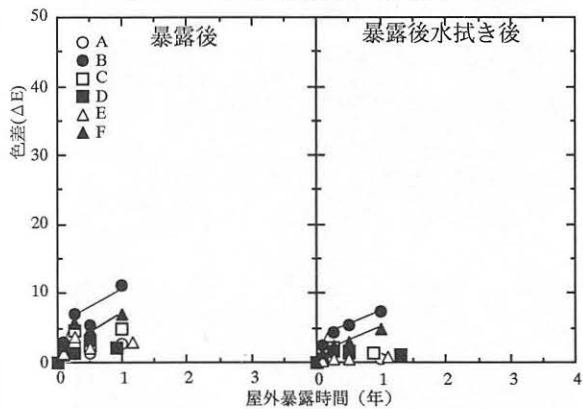
図一11 色差測定結果(暴露地:福井)



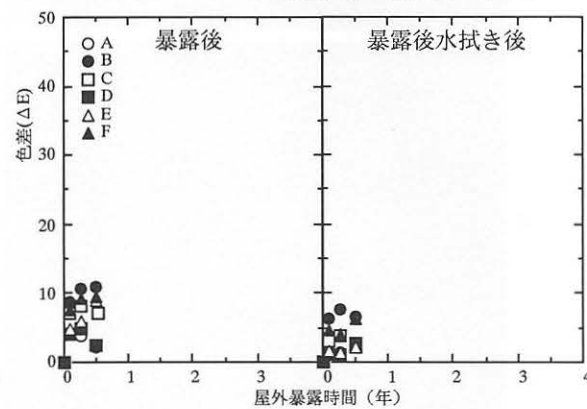
図一12 色差測定結果(暴露地:福岡)



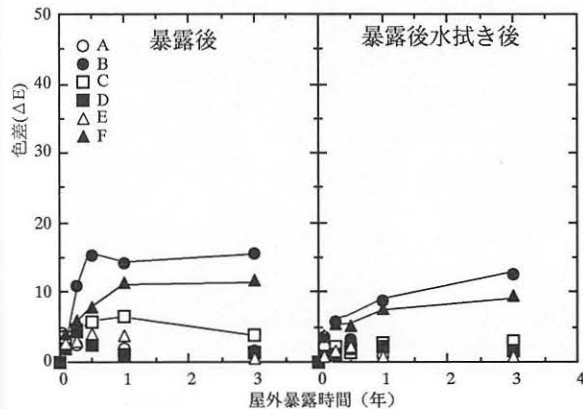
図一13 色差測定結果(暴露地:山口)



図一14 色差測定結果(暴露地:カリフォルニア)



図一15 色差測定結果(暴露地:シカゴ)



図一16 色差測定結果(暴露地:銚子)

表-3 東京、銚子における屋外暴露試験後1年後の  
試料A~Fの汚れの診断〔11〕

2次診断		3次診断	
目視診断		測色色差計による診断	
デグリー	診断基準	診断基準 ( $\Delta E$ )	東京 銚子
1	ほとんど汚れていない	$0 \leq \Delta E < 5$	A, D, E
2	やや汚れている	$5 \leq \Delta E < 10$	A C
3	汚れている	$10 \leq \Delta E < 15$	D B, F
4	かなり汚れている	$15 \leq \Delta E < 20$	E
5	顕著に汚れている	$20 \leq \Delta E$	B, C, F

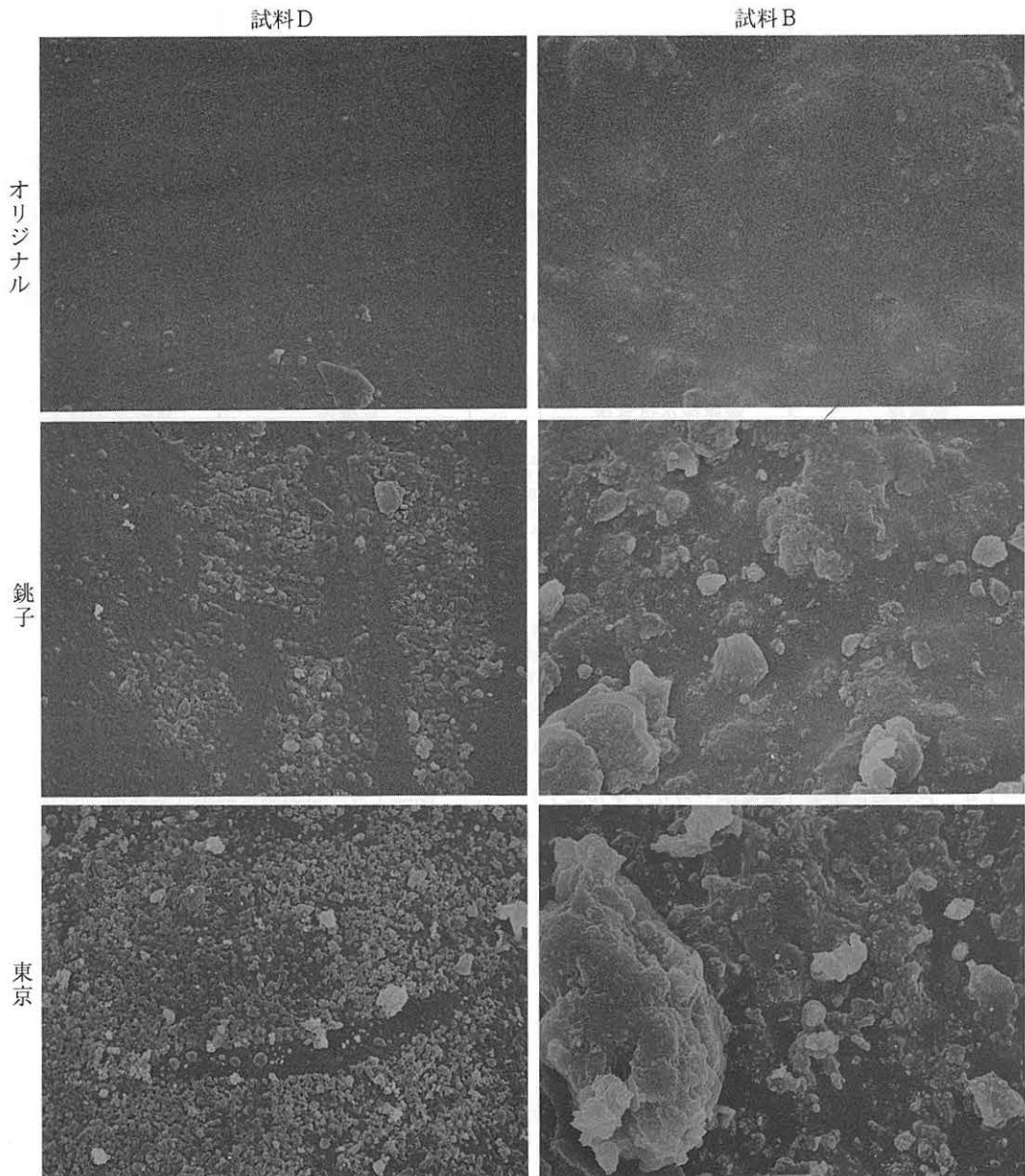


図-18 屋外暴露1年後の試料B, D表面のSEM観察結果 5  $\mu$ m

さらに、両地域で屋外暴露試験を1年間行なった試料表面の汚れをSEM観察し、その結果を図1-17に示した。銚子で暴露した試料Bでは最大約5 $\mu$ mの付着物が観察されるが、東京で行なった試料には付着物が充満し、中には約30 $\mu$ mの大きさの粒子も観察される。一方、試料Dでは東京、銚子ともに程度の差はあるが、汚れ物質の大きさは3 $\mu$ m以下であり、それ以上の付着物は雨および風などの作用により洗浄されるものと考えられる。これはPTFEの自浄作用によるものである。

### 3-3 膜材料A種の汚れ評価

恒久膜構造建築物に用いられる膜材料A種(試料D)については、多種多様な環境条件下で使用することを想定しながら汚れの性状を把握することが必要である。本実験では、国内で最も紫外線量が多く、かつ厳しい塩害環境に位置する沖縄県および火山灰降灰地域である鹿児島県においても屋外暴露試験を行なった。図1-19に試料Dの屋外暴露試験1年後の色差測定結果を示した。試料への水拭きは行っていない。色差が $0 \leq \Delta E < 5$ の地域は7ヶ所、 $5 \leq \Delta E < 10$ の地域は5ヶ所、 $10 \leq \Delta E < 15$ の地域は4ヶ所であり各地域の色差の平均値は6.4であった。鹿児島県における色差は平均値近傍であり、大量の降灰直後では膜材料にかなりの灰が堆積するが、雨および風によって大部分が除去されていることも確認されている。汚れ付着の最も多い地域は東京および大阪地区であった。この原因は、大気汚染が起因していることが予測できる。

### 3-5 色差と浮遊粒子状物質との関係

図1-19に示したように屋外暴露試験地域によって試料Dの汚れ程度が大きく変化する。この原因を、大気中の浮遊粒子状物質の量〔8-10〕であると考え、色差との関係を調べてみた。浮遊粒子状物質量の増加とともに色差が大きくなる傾向が図2-0よりわかる。特にこの傾向は色差が10以上である東京、大阪などの汚れ付着が多くみられる地域において顕著である。なお、汚染物質を水/トルエンによる二相抽出法で分析した例〔12〕として、交通量が非常に多い環境である東京では親油性成分の比率が20%以上と比較的高く、自動車の排気ガス、アスファルトやタイヤ粉塵などの影響が大きいと推定された。また、地面が露出した田園環境である静岡、茨

城、沖縄などの地域の汚染物質は、砂塵などの親水性成分を80%以上含んでいた。以上の結果から、その地域における浮遊粒子状物質の測定値および汚染物質の成分を知ることにより、膜材料の汚れ程度を予想することが可能になる。

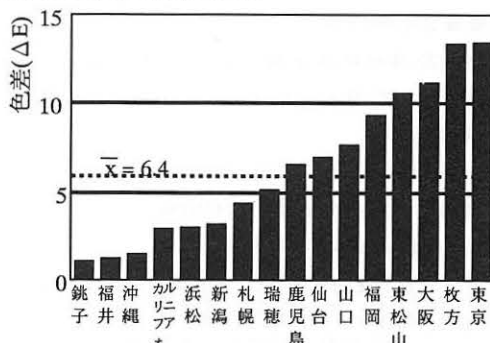


図1-19 膜材料A種(試料D)の各地域における1年間の屋外暴露試験後の色差測定結果

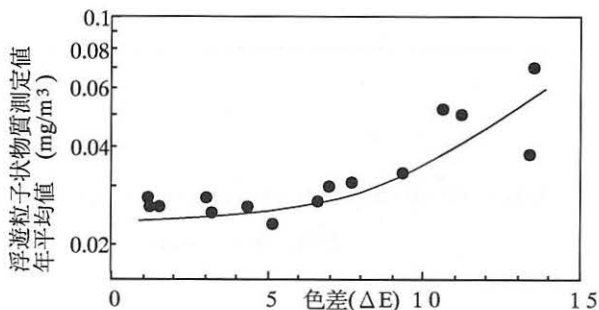


図1-20 膜材料A種(試料D)の各地域における1年間の屋外暴露試験後の色差と浮遊粒子状物質の測定値との関係

## 4. まとめ

- (1) 6種類の試料の中で試料A (PVF フィルムラミネート) および試料D (PTFE コーティング) の防汚性が最も優れている。
  - (2) 無処理のPVCを長期間屋外暴露することにより可塑剤が揮散し、その結果汚れが少なくなる。
  - (3) 膜材料の汚れ程度の差は屋外暴露試験地域により顕著に現れる。もっとも汚れが付着しにくい地域は銚子であり、その反対は東京であった。
  - (4) 膜材料の汚れ程度と浮遊粒子状物質量との間に関係がある。その地域の浮遊粒子状物質量および汚染物質の成分を知ることにより、膜材料の汚れ程度をあらかじめ予想することができる。
- 付記: 本研究の実施にあたりご援助をいただきました弘進ゴム(株)、三井石油化学(株)ならびに(株)エビハラに深く感謝します。

#### 参 考 文 献

1. 豊田宏,米田順子: PVC膜材料の汚れ付着に及ぼす色彩的効果—膜構造用膜材料の汚れ評価に関する研究(その1)—膜構造研究論文集,(1994)印刷中.
2. 膜構造建築物技術基準・同解説,社団法人日本膜構造協会,p.26(1989).
3. 豊田宏,鳥居壮,南宏和: 膜構造用材料の防汚性能評価について,日本建築学会大会学術講演梗概集,(1985).10.
4. H.Toyoda : A Study on dirt-repellent of coated fabric, Proc. 1st. Cong. RILEM, Versailles, p.1444(1987).
5. Modern Plastics, 54, p.60(1977).
6. 里川孝臣: 機能性含ふ素高分子, 日刊工業新聞社, p.38,(1982).
7. 須藤拓,須田健一: 膜材料の耐久性・耐汚染性に関する検討—(その4)暴露2年結果および促進耐候性試験との比較—日本建築学会大会学術講演梗概集,(1994).9.
8. 平成2年度日本の大気汚染状況,環境庁大気保全局大気規制課,(株)ぎょうせい(1990).
9. 平成3年度日本の大気汚染状況,環境庁大気保全局大気規制課,(株)ぎょうせい(1991).
10. 平成4年度日本の大気汚染状況,環境庁大気保全局大気規制課,(株)ぎょうせい(1992).
11. 膜構造建築物の維持保全指針・同解説—膜体等・鋼製部材編—社団法人日本膜構造協会,p.50(1988).
12. 片脇清,寺田剛,西崎到: 耐汚染性に優れた高耐久性被服材料に関する研究,第20回日本道路会議論文集, p.205(1993).

---

### Influences of surface treatment and outdoor exposure test locations to stain levels of coated fabrics

— Evaluation of stain of membrane materials for membrane structures (Part.2)—

Hiroshi Toyoda  
Takuya Yamamoto  
Tadashi Taga  
Tsuayoshi Torii

#### SYNOPSIS

Stain degrees of six different membrane materials for membrane structures from outdoor exposure tests at seventeen different locations in and outside Japan were evaluated by using colorimetry and scanning electron microscopy. It was found that the surface treatment with fluorocarbon-resin clearly effects stain resistance and remarkable differences in stain degrees exist for different outdoor exposure locations and that stain degrees in membrane materials are related to the suspended particulate matters in the air. The results suggest that if the data of the suspended particulate matters of a certain location are obtained, stain degrees of membrane materials can be predicted in advance.

---

Taiyo Kogyo Corporation