

塗装の汚れ評価方法に関する研究 その1

－暴露試験および水接触角－

Study on Evaluation Method for Stain on Exterior Coating Materials Part1 － Revelation examinations and water contact angle－

藺井孫文*1

概 要

建物の高耐久化の要求に伴い、外装材においても高耐久化が求められてきている。外装材の性能評価指標の1つに汚れがあるが、これまで、建材塗装において汚れ具合を簡便かつ短期的に評価できる方法が確立されていなかった。そこで(一社)日本建築業連合会では、外装用塗装の汚れ評価に関する適切な試験方法の提案を目的に「外装材の汚れ評価に関するWG」を立ち上げ、16社にて共同研究を実施した。その結果について2編に分けて報告する。

本報では、汚れの実態を把握するために、乾燥形式、水溶性・油系等溶媒、上塗り材の種類などを組み合わせた32種類の試験体を国内10ヶ所の屋外に設置した暴露試験を行い、試験前後の汚れ具合を明度差、光沢保持率として測定し評価した。

key words : 塗装、暴露、促進、明度、光沢、汚染、汚れ、前処理、水接触角

1. はじめに

これまで建築に対する要求性能としては、安全性、環境的な快適性が重視されてきたが、これらに加えて、長寿命化、維持管理の容易さが望まれてきている。外装仕上げの耐久性能の必要性に伴い、外装材の汚れの具合について事前の推定が施主や監理者の要望になってくると考えられる。

屋外暴露試験の汚れを予想する促進汚染試験方法の提案にあたり、次のような目的で研究を実施した。

- ① 各種塗装材を用いた暴露試験の汚れ具体の把握
- ② 水接触角と汚れの関係
- ③ 水接触角による塗装の汚れの評価
- ④ 汚染物質による塗膜汚染処理方法の検討
- ⑤ 促進汚染方法の前処理方法の検討
- ⑥ 汚染除去方法の検討

本報では①～③について報告する。

2. 屋外暴露試験

2.1 実験の概要

表-1、図-1に暴露地の特徴および位置を示す。それぞれの地域の汚れ環境を評価する方法として、暴露地は

表-1 暴露地の特徴

No.	暴露地	汚染区分	暴露箇所	備考
①	茨城県つくば市	田園地帯	実験棟(2F)屋上	西面に国道
②	東京都清瀬市	都市部	実験棟 屋上	糞砂あり
③	埼玉県越谷市		実験ヤード	—
④	千葉県習志野市		建屋(1F)屋上	—
⑤	江東区越中島		実験棟(5F)屋上	東京湾岸から約3km
⑥	東京都調布市	実験場 屋上	—	
⑦	江東区新木場	工業地帯	建屋 屋上	—
⑧	大阪市此花区	都市部	建屋(1F)屋上	—
⑨	福岡県福岡市		建屋(4F)屋上	—
⑩	沖縄県宮古島市	沿岸部	暴露試験場	海岸から2km、海拔50m

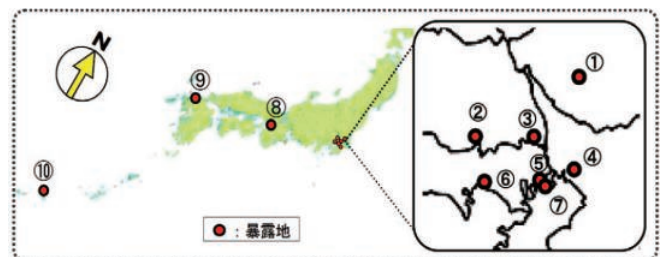


図-1 暴露地の位置

*1 Magofumi SONOI

技術本部技術研究所 主任研究員

10カ所を選定し、各社から取り寄せた代表的な塗装材料として、乾燥形式、水溶性・油性系溶媒、上塗り材の種類などを組み合わせた32種類の試験片を用いた(表-2)。試験板の形状と屋外暴露方法を図-2に示す。

表-2 塗装の種類

硬化形式	溶媒	硬さ	上塗り材の種類	汎用品*	低汚染品*
常温 乾燥形	水系	弾性	アクリル樹脂	1	
			ウレタン樹脂	2	3
			アクリルシリコン樹脂	4	5
		硬質	フッ素樹脂	6	
			アクリルシリコン樹脂	7	
			無機有機ハイブリッド樹脂	9	
	弱溶剤系	弾性	ウレタン樹脂	10	11
			アクリルシリコン樹脂	12	
			アクリルシリコン樹脂	13	14
		硬質	フッ素樹脂	15	16
			無機有機ハイブリッド樹脂	17	
			アクリル樹脂	18	
	強溶剤系	弾性	ウレタン樹脂	19	20
			アクリルシリコン樹脂	21	
			フッ素樹脂	22	23
		硬質	アクリルシリコン樹脂	24	
			フッ素樹脂	25	26
			無機有機ハイブリッド樹脂	27	
加熱 硬化形	溶剤系	硬質	ウレタン樹脂	28	
			フッ素樹脂	29	30
	粉体	硬質	高耐候性ポリエステル	31	
			フッ素樹脂	32	

暴露地⑦～⑩は丸囲みした試験体番号のみ実施

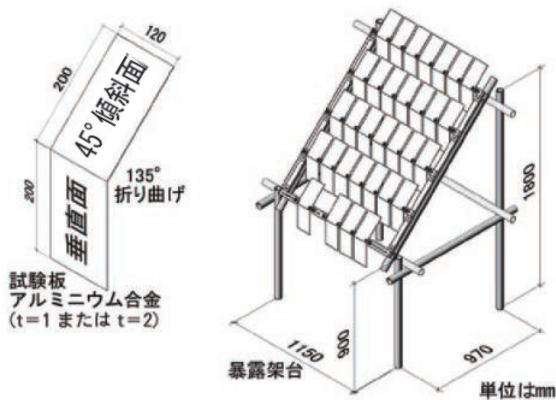


図-2 試験板の形状と屋外暴露方法

2.2 評価方法

(1) 明度差 (ΔL*)

45° 傾斜面と垂直面のそれぞれの塗装面について、色彩測色計(コニカミノルタ製、CR-400)を用い、それぞれ4隅と中央部の計5カ所を測定した。垂直面については雨筋が認められた場合、雨筋部分と雨筋がない部分をそれぞれ3~5カ所測定した。暴露経過1、3、6ヶ月時の塗装試験体の明度差ΔL*を求めた。

$$\text{明度差}(\Delta L^*) = (\text{劣化後の明度} - \text{初期の明度})$$

(2) 光沢保持率 (定量評価)

45° 傾斜面と垂直面のそれぞれの塗装面について、光沢計(村上色彩技術研究所製、GMX-101)を用い、試験面の上部・中央部・下部の各中央計3カ所、60° 鏡面光沢を測定し、暴露経過1、3、6ヶ月時の塗装試験体の光沢保持率を求めた。

$$\text{光沢保持率}(\%) = (\text{劣化後の光沢度} / \text{初期の光沢度})$$

2.3 屋外暴露試験の結果

(1) 明度差 ΔL*

図-3に、暴露6ヶ月時の塗装材料毎に9暴露地について求めた45° 傾斜面のΔL*の最大・最小・平均を示す。暴露6ヶ月時の水系塗料の低汚染品は、ΔL*が小さい材料は1品種のみであり、これ以外は汎用品よりもΔL*が大きく、防汚性に劣っていた。弱溶剤系、強溶剤系、加熱硬化形の低汚染品はΔL*が小さい傾向にあり、加熱硬化形の汎用品もΔL*が小さい傾向にあった。

図-4に、暴露6ヶ月時において塗装材料毎に9暴露地について求めた垂直面のΔL*の最大・最小・平均を示す。塗装材料間のΔL*の大小関係は45° 傾斜面の結果と同じ傾向を示した。特に、ΔL*の最大と最小の較差は、汎用品と低汚染品とで45° 傾斜面よりも際立つ結果を示した。汎用品のΔL*の最大と最小の較差は最大6程度と大きいのに対し、低汚染品では2以内を示した。

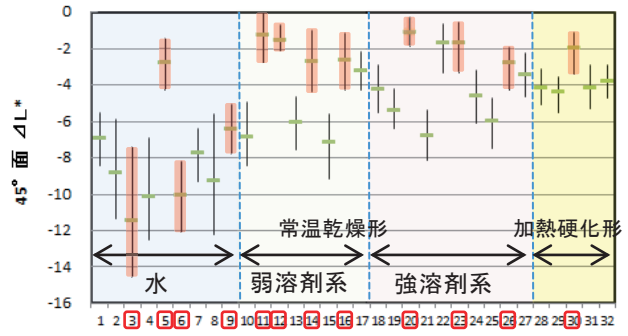


図-3 45° 傾斜面ΔL*の結果(暴露6ヶ月時)

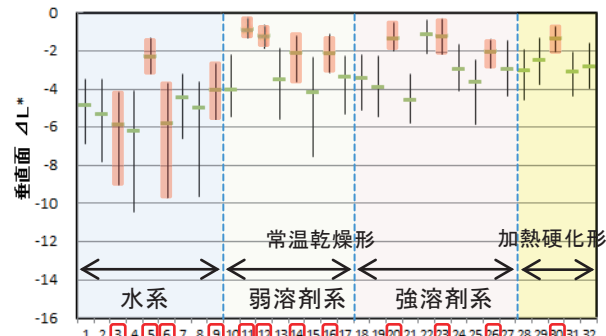


図-4 垂直面ΔL*の結果(暴露6ヶ月時)

(2) 光沢保持率

図-5と図-6に、暴露6ヶ月時において塗装材料毎に9暴露地について求めた45° 傾斜面と垂直面の光沢保持率の最大・最小・平均をそれぞれ示す。45° 傾斜面では、水系塗料は最大と最小の較差が大きくなり、平均値も弱溶剤系、強溶剤系、加熱硬化形よりも低い傾向を示した。垂直面では、水系塗料の最大と最小の較差は大きいですが、平均値はほとんど差がなかった。また、低汚染品と汎用品の差異は、いずれの面においてもNo.11以外では僅かであった。

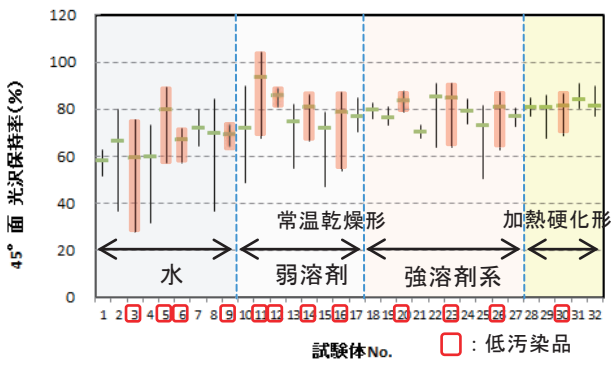


図-5 45° 傾斜面光沢保持率の結果(暴露6ヶ月)

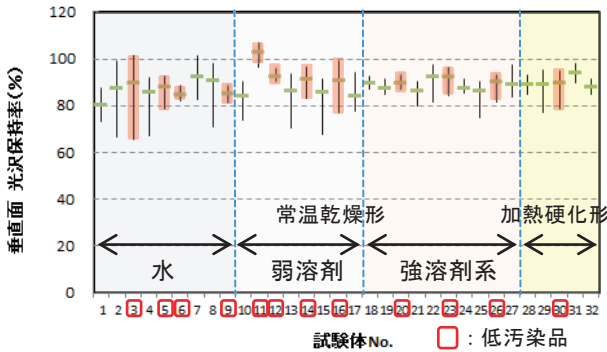


図-6 垂直面光沢保持率の結果(暴露6ヶ月時)

3. 水接触角と汚れの関係

汚れに関係する因子のひとつとして、塗膜表面の水接触角が考えられるため、一部の暴露地の試験体について水接触角を測定した。本章では、水接触角と汚れとの関係について検討を行う。

3.1 実験方法

表-1の暴露試験所において、所定の時期に色差、光沢度に加えて暴露地②(清瀬市)のみ水接触角を測定した。測定器には協和界面科学(株) 全自動接触角計CA-Xを用いた。水接触角の測定例を写真-1に示す。なお、各測定は試験体表面の汚れを除去しない状態にて行った。

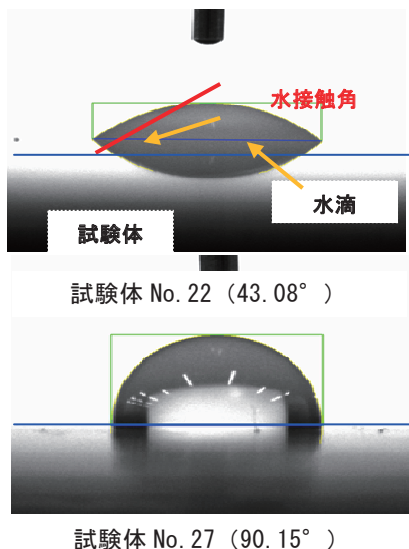


写真-1 水接触角の測定例

3.2 実験結果

(1) 水接触角と明度差(ΔL*)との相関性

45° 傾斜面の水接触角とΔL*との関係について、測定時期ごとにグループ分けしたものを、図-7に示す(暴露18ヶ月のΔL*は暴露17ヶ月の水接触角と対応させている)。

水接触角とΔL*との回帰直線の傾きは、経時に伴って次第に小さくなった。また、水接触角とΔL*との相関性は、45° 傾斜面では暴露3ヶ月時(R²=0.853)にもっとも高くなった。同様に、掲載をしていない垂直面でも暴露6ヶ月時(R²=0.562)にもっとも高くなった。また、水接触角は、暴露12ヶ月経過するとすべての塗装で60°以下となった。水接触角が小さい割にΔL*が大きい試験体では、表面に付着した汚れのために本来の水接触角よりも小さな値を示した可能性が考えられる。

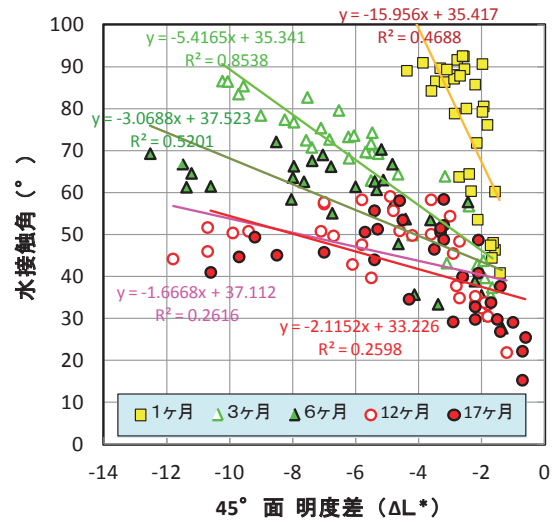


図-7 水接触角と明度差との関係【材齢別】

(2) 塗装種類別に見た水接触角とΔL*との関係

図-8に一部の塗装種類の45° 傾斜面における水接触角とΔL*との関係を示す(暴露18ヶ月のΔL*は暴露17ヶ月の水接触角と対応させた)。いずれの塗装においても、水接触角は経時に伴って漸減したのに対し、ΔL*は暴露3~6ヶ月あたりまでは大きくなり、それ以後は低下していった。

ΔL*は水系では大きく、加熱硬化形は小さかった。また、低汚染品においては、水系以外では水接触角およびΔL*の変化は小さかった。

垂直面も概ね同様の傾向を示していたが、水系の一部において、暴露12ヶ月および暴露17ヶ月の水接触角がやや上昇し、ΔL*が大きくなったものが見られた。ΔL*がピークを示したときの水接触角を溶媒別にみると、水系では50~70°、加熱硬化形では50~74°となった。ΔL*がピークを示した後に、ΔL*が小さくなっていった理由として、塗膜表面の水接触角が減少し親水性が増したことで、汚れが流されやすくなったと考えられる。

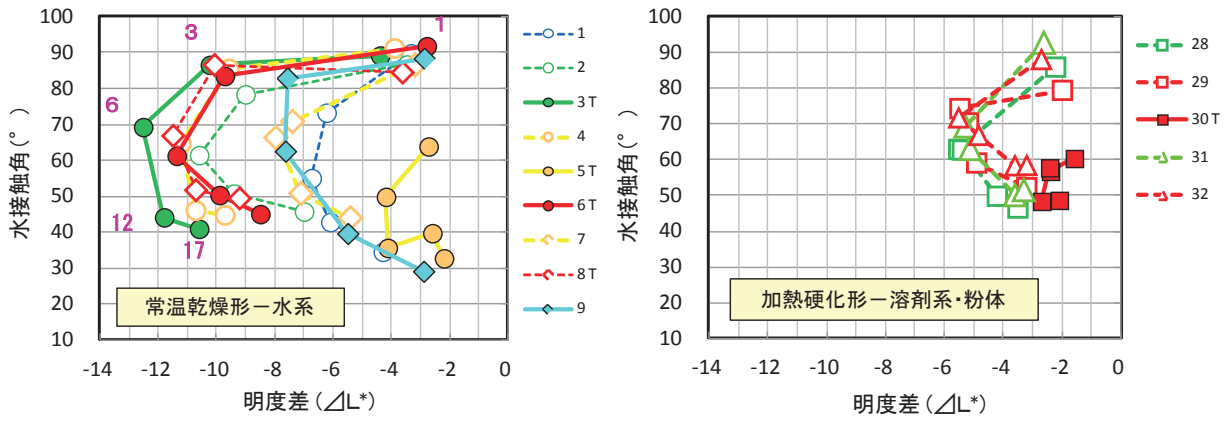


図-8 水接触角と明度差との関係 [種類別：一部]

3.3 まとめ

外装用塗装材料の汚れ評価を短期間で行うための促進試験方法を提案するため、屋外暴露試験を実施し、汚れに関係する因子の抽出を行った。今回の屋外暴露試験の結果より、水接触角が明度差と高い相関関係にあることが確認されたことから、促進試験に供する試験体の表面状態が重要になることが確認できた。

4. 水接触角による塗膜の汚れ評価

本章では、水接触角によって塗膜の汚れを評価するために、屋外暴露試験による水接触角の変化と明度差との関係および水接触角を再現する塗膜の処理方法について検討した。

4.1 屋外暴露での水接触角の変化と明度差との関係

(1) 試験体および屋外暴露地域

塗装試験体は上述 32 種類を対象とし、屋外暴露地域は、つくば市・清瀬市・越谷市・習志野市・江東区・調布市の 6 暴露地を対象とした。

(2) 水接触角の測定

屋外暴露後の水接触角測定は清瀬市の暴露試験体で測定した。暴露試験体の水接触角は、試験体表面の水洗いをしないで汚れが付着したままとした。

(3) 暴露後の水接触角の変化

図-9 に全試験体 (32 種類) の暴露前と屋外暴露 1、3、6、12 ヶ月後の水接触角平均値を示す。

水接触角平均値は暴露経過とともに小さくなる傾向であった。

(4) 水接触角と ΔL^* の関係

図-10 に清瀬市での屋外暴露 3、6 ヶ月後の全試験体の 45° 傾斜面の水接触角と ΔL^* との関係を示す。図中にメーカーが提示した汎用品 (●) と低汚染品 (○) を区別して示した。

暴露 3 ヶ月後は、低汚染品は水接触角が小さい範囲に分布し、汎用品は水接触角が大きい範囲に分布する傾向にあるが、水接触角が大きい低汚染品 3 つの水系塗料は ΔL^* も大きく汎用品と同等以下のものがあつた。全体的

に水接触角が小さいと ΔL^* は小さい傾向が認められ、水が高かつた。他の暴露地について、清瀬市の暴露 3 ヶ月後の接触角と ΔL^* は 3 ヶ月後の時点で ($R^2=0.885$) であり相関水接触角の値と暴露地毎の ΔL^* との関係を図-11 に示した。いずれの場所も同じように水接触角と ΔL^* がよく対応する結果となり、屋外暴露 3 ヶ月までの塗膜の水接触角変化は汚れ付着と関係があるものと考えられる。一方、暴露 6 ヶ月以降は ΔL^* と水接触角の相関が低下する傾向であつた。暴露 6 ヶ月以降の水接触角が対応しなくなる理由には水接触角以外の要因が影響した可能性がある。

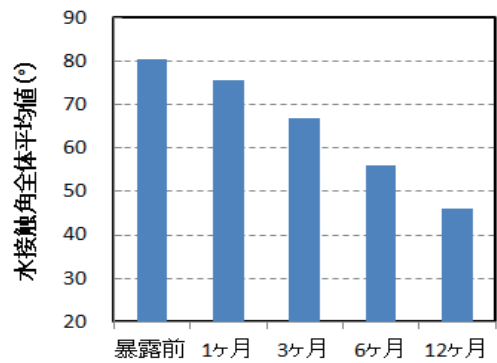


図-9 水接触角全体平均値の経過変化

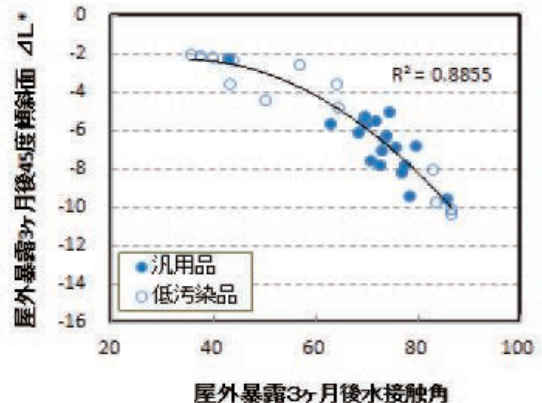


図-10 清瀬市暴露 3 ヶ月の水接触角と ΔL^*

4.2 水接触角を再現する塗膜の処理方法の検討

屋外暴露3ヶ月の水接触角が $\angle L^*$ (塗膜の汚れの具合)に対応することから、汚れを評価するために暴露後の水接触角を短時間で再現させる塗膜の処理方法を検討した。

なお、事前に水接触角初期値と暴露3ヶ月後の水接触角の相関を検討したが、全く相関がなかった。

塗膜の処理条件は、未処理、50°C90% R.H.等とした。

ここで、50°C、90%R.H.は既往¹⁾の試験方法の前処理条件、その他は低汚染塗料の低汚染化(親水化)メカニズムを想定して選択した。

図-12に処理条件と全32種類試験体の水接触角平均値を示す。50°C、90%R.H.の多湿環境では水接触角の変化はほとんどなく、水中浸漬では浸漬日数とともに水接触角は低下する傾向を示した。また、50°C温水浸漬3日後では水浸漬8日後に相当する水接触角であり、水接触角の低下を促進させる結果であった。

図-13に50°C温水浸漬3日と清瀬市屋外暴露3ヶ月後

の水接触角との関係をそれぞれ示す。これらから50°C温水浸漬3日後の水接触角が屋外暴露と比較的よく対応することが確認された。

図-14に50°C温水浸漬3日と屋外暴露3ヶ月後の $\angle L^*$ との関係を示す。50°C温水浸漬3日の条件で水接触角が小さい範囲まで分布した。しかし、屋外暴露で $\angle L^*$ の小さい試験体(低汚染品)の中には50°C温水浸漬3日でも水接触角が2程度しか低下していないものがあった。

4.3 まとめ

水接触角によって塗膜の汚れを評価するために、屋外暴露試験での水接触角と45°傾斜面の $\angle L^*$ の関係を評価した結果、屋外暴露3ヶ月の水接触角は塗膜の汚れの指標となる $\angle L^*$ によく対応した。さらに、塗膜の水接触角を再現する塗膜の処理方法を検討した結果、50°C温水浸漬3日が比較的よく対応したが、一部の低汚染品で水接触角が下らないものがあった。

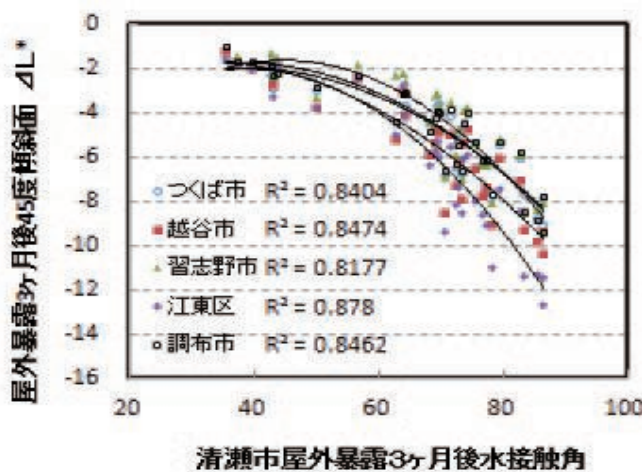


図-11 清瀬市屋外暴露3ヶ月後の水接触角と他暴露地の $\angle L^*$ との関係

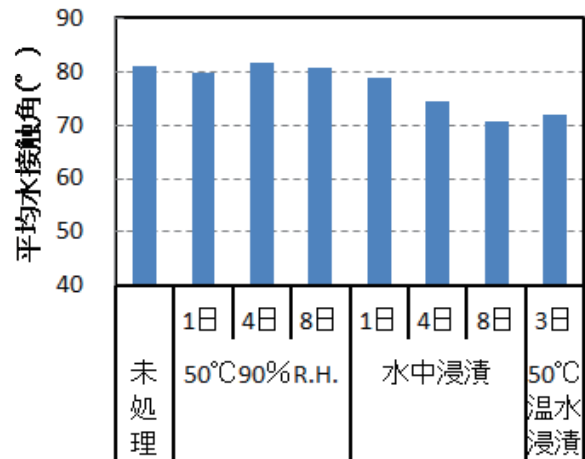


図-12 処理条件と水接触角

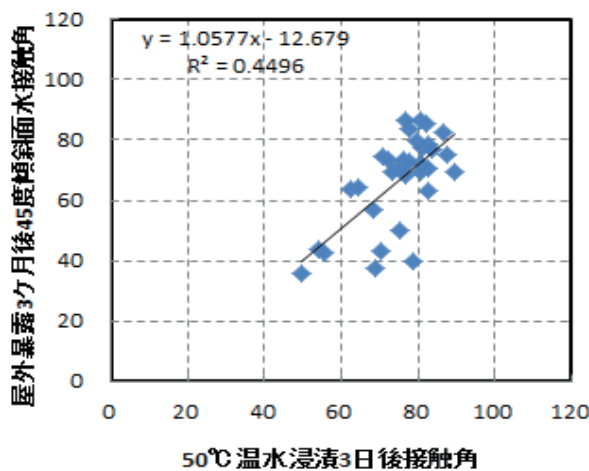


図-13 50°C温水3日後と屋外暴露3ヶ月の水接触角との比較

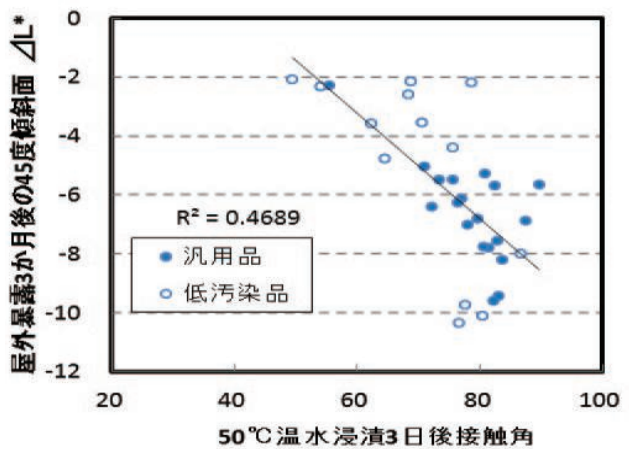


図-14 50°C温水浸漬3日後水接触角と屋外暴露3ヶ月の $\angle L^*$ との関係

5. おわりに

本報では、各種試験を実施し下記のことが確認できた。

- ① 各塗装材の傾向を検討するため暴露試験を実施して、水系、弱溶剤系、強溶剤系、加熱硬化形などのよごれについての傾向が確認できた。
- ② 水接触角が明度差と高い相関関係にあることが確認されたことから、促進試験に供する試験体の表面状態が重要になることが確認できた。
- ③ 水接触角によって塗膜の汚れを評価するために、屋外暴露試験での水接触角と 45° 傾斜面の $\angle L^*$ の関係の評価した結果、屋外暴露 3 ヶ月の水接触角は塗膜の汚れの指標となる $\angle L^*$ によく対応することが確認できた。

【謝辞】

本実験は、日本大学生産工学部建築工学科 永井研究室にご協力いただきました。ここに、謝意を表します。

【参考文献】

- 1) (一財) 土木研究センター：防汚材料評価促進試験
- 2) JSTM J 7602：2003 建築用外壁材料の汚染試験方法