

塗装の汚れ評価方法に関する研究 その2

－促進汚染試験と屋外暴露試験の関係－

Study on Evaluation Method for Stain on Exterior Coating Materials Part2

－Relations of a pollution promotion examination and the outdoor revelation examination－

藺井孫文*1

概 要

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を（一社）日本建築業連合会において検討した。その1においては暴露試験における各塗装種類の傾向と、汚れが水接触角に影響していることを確認した。引続き、その2では、汚染物質を用いた促進汚染方法の前処理、汚染方法および除去方法の検証を行い、暴露試験と相関がある促進汚染試験を提案することができた。

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

1. はじめに

その1では、下記①～③を検討した結果を示した。その2においては引続き、④～⑥の検討結果について記す。

- ① 各種塗装材を用いた暴露試験の汚れ具合の把握
- 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

2. 汚染物質による塗膜汚染処理方法の検討

本章では、この50℃温水処理をした試験体を用いて、促進汚染試験方法の汚染処理方法（汚染物質や汚染方法）について実験を行った結果を報告する。

2.1 実験方法

(1) 試験体と塗膜処理条件

屋外暴露試験に用いた32種類の塗装試験体を50℃温水に3日間浸漬処理を行った。

(2) 汚染物質

汚染物質は既往の試験方法^{1,2)}を参考にして表-1に示す。

2種類のカーボンブラックと1種類の5wt%カーボンブラック懸濁液を選定した。

表-1 汚染物質

汚染物質	内容
FW-200	平均粒子径 13nm
JIS 試験用粉体 12種	平均粒子径 80nm
5wt%カーボンブラック懸濁液	FW-200 : 水 = 5 : 95

(3) 汚染処理条件

表-2に汚染処理条件を示す。汚染処理は、粉体の汚染物質を茶こしで試験体表面に均一に散布した後、粉をたたき落とした状態（写真-1）とたたき落とした後に水洗いし乾燥させた状態とした。また、懸濁液はスプレー（電動スプレーガン：日本ワグナー製TM-15A）と刷毛（写真-2）で試験体表面に均一に塗布し、スプレー処理後は80℃で乾燥、刷毛処理は室温で乾燥した後に水洗いし乾燥させた状態とした。

表-2 汚染処理条件

No.	汚染物質	汚染方法	水洗い
1	粉体	FW-200	—
2			あり
3		JIS 試験用粉体 12種	—
4			あり
5	5wt%FW-200懸濁液	スプレー→80℃乾燥	あり
6	懸濁液	刷毛→室温乾燥	あり

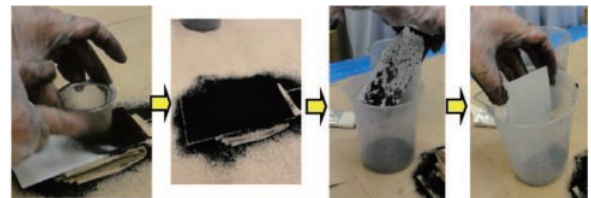


写真-1 汚染処理の状況（粉体）



写真-2 汚染処理の状況（懸濁液）

*1 Magofumi SONOI

技術本部技術研究所 主任研究員

(4) 評価方法

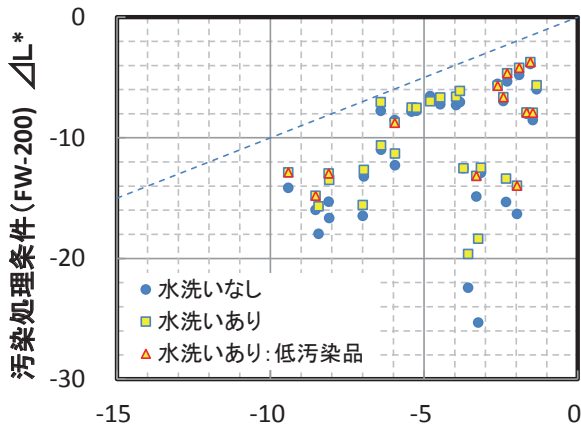
汚染処理後の評価は、屋外暴露での汚れ評価と同じ明度を測定（コニカミノルタ製CR-400）し、処理前と汚染処理後の明度から ΔL^* を求めた。各汚染処理条件の ΔL^* は、習志野市の屋外暴露試験の32種類の試験体の暴露後の45°傾斜面の ΔL^* との比較によって評価した。

2.2 結果

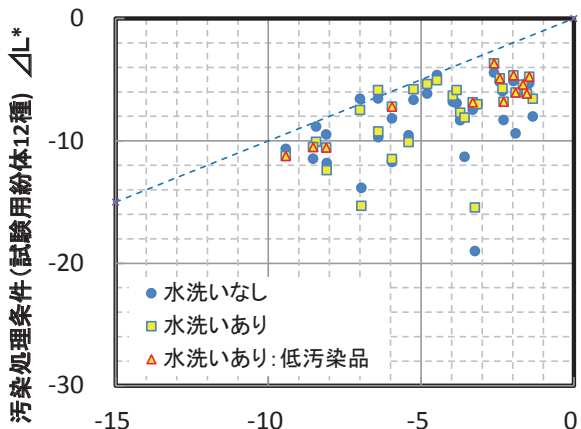
(1) 粉体の汚染処理

図-1に習志野市屋外暴露試験における45°傾斜面の3ヶ月の ΔL^* と汚染物質FW-200処理後の ΔL^* の関係を、図-2にはJIS試験用粉体12種の場合を示す。

粉体の汚染処理としては水洗いをする方が塗膜上の過剰な汚染物質を評価することがない点で良いと思われる。汚染物質については、FW-200の方が汚染処理後の ΔL^* が大きく、屋外暴露の ΔL^* に対して汚染処理の ΔL^* が大きく外れるものが目立った。外れる試験体には低汚染品と加熱硬化形の粉体塗装があった。粉体塗装はJIS試験用粉体12種でも大きく外れていた。汚染物質の違いにより塗膜の汚れ方に差があることを確認した。また、低汚染品だけで比較すると、JIS試験用粉体12種の方が汚染処理と暴露後の ΔL^* がほぼ対応する傾向にあった。



45° 傾斜面暴露3ヶ月 ΔL^*
図-1 暴露3ヶ月とFW-200汚染処理



45° 傾斜面暴露3ヶ月 ΔL^*
図-2 暴露3ヶ月とJIS12種汚染処理

(2) 懸濁液の汚染処理

図-3に習志野市屋外暴露試験における45°傾斜面の暴露3ヶ月の ΔL^* と汚染物質懸濁液スプレー処理後の ΔL^* の関係を示す。図-4には懸濁液刷毛処理の場合を示す。

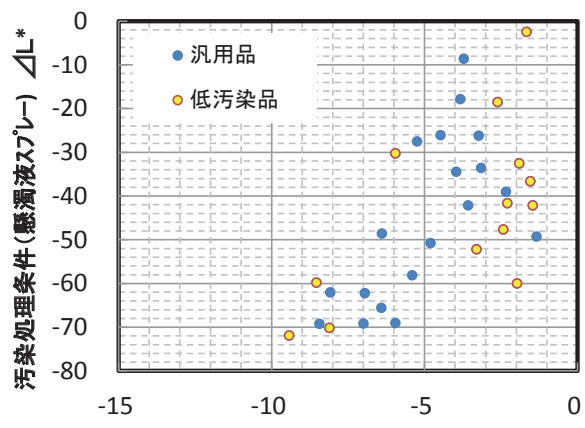
汚染処理後の乾燥は80°Cの場合、汚染物質が水洗いでは落ちず塗膜に定着する傾向にあった。懸濁液の場合は、汚染処理後の ΔL^* が粉体の場合よりも大きい値となった。

屋外暴露の ΔL^* との相関は、粉体とほぼ似た傾向であるが、 ΔL^* のバラツキが大きかった。懸濁液を汚染物質として使用する場合は、実際の環境よりも汚れが強調される傾向があった。

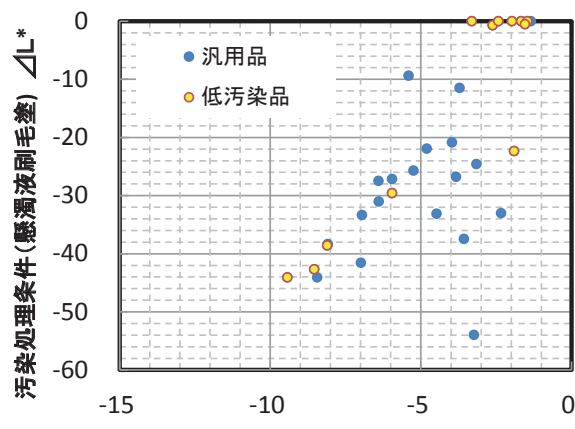
2.3 まとめ

50°C温水浸漬3日塗膜処理をした試験体で汚染物質による汚染処理方法の実験結果、下記のことがわかった。

- ①汚染物質の種類により塗膜の汚れ方に差がある。
- ②FW-200は暴露後の ΔL^* に対し大きく外れるものがある。
- ③JIS試験用粉体12種は暴露後の ΔL^* に対応するものが多かった。
- ④懸濁液の場合、 ΔL^* が粉体の場合よりも大きい値となり、実際の環境よりも汚れが強調される傾向があった。



45° 傾斜面暴露3ヶ月 ΔL^*
図-3 暴露3ヶ月と懸濁液スプレー汚染処理



45° 傾斜面暴露3ヶ月 ΔL^*
図-4 暴露3ヶ月と懸濁液刷毛汚染処理

3. 促進汚染試験における前処理方法の検討

本章では、暴露3ヶ月後の水接触角を再現する方法として、各種の酸浸漬方法について追加検討を行い、酸浸漬後に促進汚染処理をした場合の明度差が屋外暴露後の状態としての再現性を検討した。

3.1 酸浸漬による屋外暴露後の水接触角の再現性

(1) 試験体

促進汚染試験では、アルミ板（70×150mm）の表面に32種類の塗装を施したものを試験体とした。

(2) 酸処理の方法

表-3 に酸浸漬による前処理方法の一覧を示す。酸の種類は過酸化水素水および5.0%の硫酸とし、濃度と温水浸漬との組合せの有無と処理の手順を試験水準とした。

(3) 酸浸漬後の水接触角の変化

図-5、6 に暴露地②（清瀬市）の屋外暴露3ヶ月後の45°傾斜面と各前処理後の水接触角の関係を示す。

図-5 に示す過酸化水素水の結果では、濃度によって多少の差はあるものの、屋外暴露3ヶ月後の水接触角に対して全体的に大きい値となった。硫酸浸漬について、図-6 に示す5%硫酸のみを用いた場合（No. 4）には一部の低汚染品（図中の破線枠）で水接触角があまり下がらなかった。酸浸漬と温水浸漬の組み合わせでは、酸浸漬を行った後に温水浸漬を行った試験体（No. 5）では、ばらつきが大きく決定係数 R^2 （0.32）、回帰式の傾き（0.67）ともに小さい値となった。一方、温水浸漬を行った後に酸浸漬を行った試験体（No. 6）では R^2 が0.56と比較的大きな値となり、回帰式の傾きも1に近い値となった。

3.2 促進汚染処理後の明度差についての検討

(1) 試験体

上述の32種類の塗装アルミ板を用い、屋外暴露3ヶ月後の水接触角を良く再現できていると考えられる50°C温水浸漬3日+5%硫酸浸漬3時間による処理を行った後に促進汚染処理に供した。

(2) 汚染方法

各試験体の前処理から汚染後の測定までの工程および条件を表-4に示す。促進汚染処理にはカーボンブラック（FW-200）の5%懸濁水を用いた。促進汚染処理方法は屋外暴露試験結果との相関性が高い懸濁水による塗布とした。

測定では汚染処理の前後の明度を測定し、汚染処理後の明度から汚染処理前の明度を引いた値を ΔL^* とした。

(3) 促進汚染処理後の明度

図-7、8にNo. 12-1、12-2の促進汚染処理後の明度差と暴露地②の暴露3ヶ月後の45°傾斜面の明度差の関係を示す。どちらの汚染方法においても屋外暴露後に明度の低下が大きい試験体は促進試験後においても明度の低下が大きくなっており、 R^2 はそれぞれ0.67、0.64と比較的高い値が得られた。

表-3 酸浸漬による前処理方法

No.	処理手順
1	0.05%過酸化水素水浸漬 24時間
2	0.1%過酸化水素水浸漬 24時間
3	1.0%過酸化水素水浸漬 24時間
4	5.0%硫酸浸漬 3時間
5	5.0%硫酸浸漬3時間 → 50°C温水浸漬3日
6	50°C温水浸漬3日 → 5.0%硫酸浸漬3時間

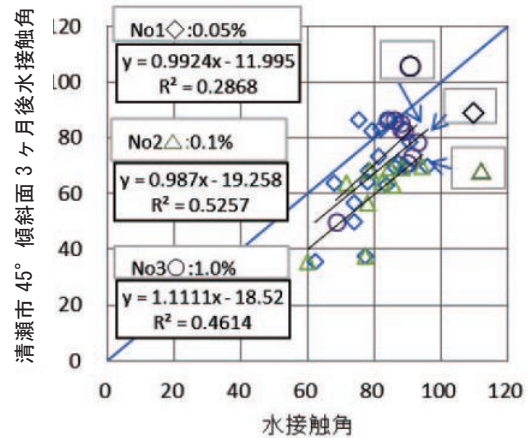


図-5 水接触角の比較（No1～3）

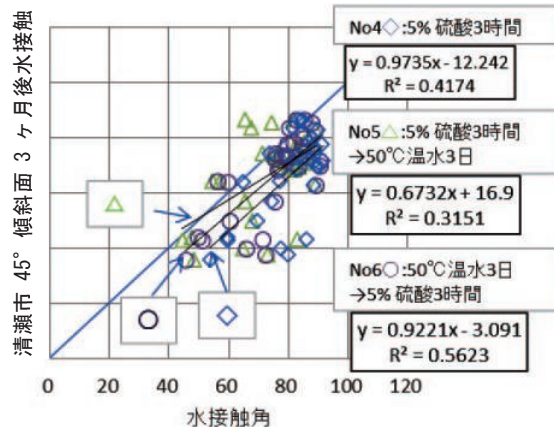


図-6 水接触角の比較（No4～6）

表-4 処理の工程および条件

処理工程	No.12-1	No.12-2	No.12-3	No.12-4
①前処理（酸浸漬）	50°C温水浸漬3日 → 5.0%硫酸浸漬3時間 (No.12-3のみ前処理実施者が異なる)			
②初期値測定	明度の測定			
③促進汚染処理 (懸濁液の塗布方法)	スプレー 噴霧		ハケ塗り	
④懸濁液の乾燥	日陰の屋外で乾燥（場所:千葉県, 実施日:6月）*			
⑤過剰な懸濁液の除去	超音波洗浄機で洗浄（38kHzで20秒） した後に300ccの水で洗い流す			
⑥測定前乾燥処理	日陰の屋外で乾燥（④と同じ条件）			
⑦促進汚染後の測定	明度の測定			

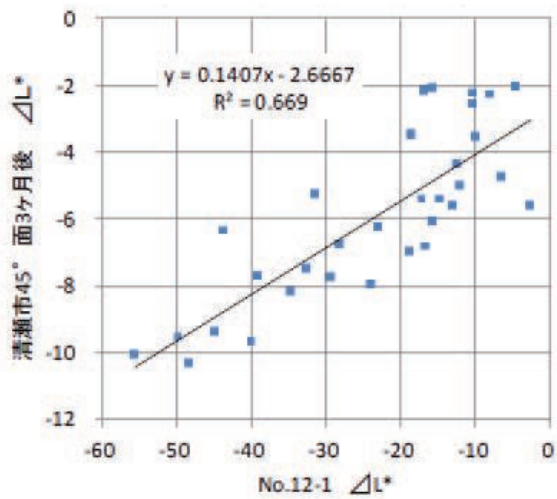


図-7 屋外暴露との比較（スプレー噴霧）

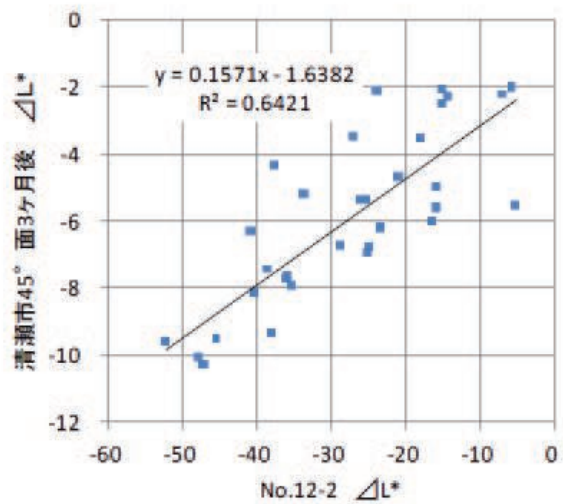


図-8 屋外暴露との比較（ハケ塗り）

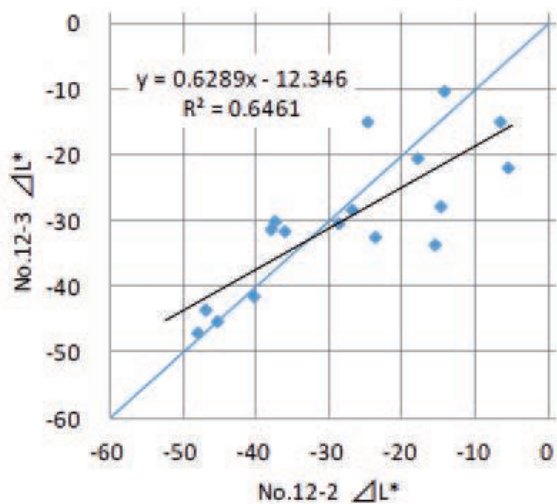


図-9 前処理の個人差の影響

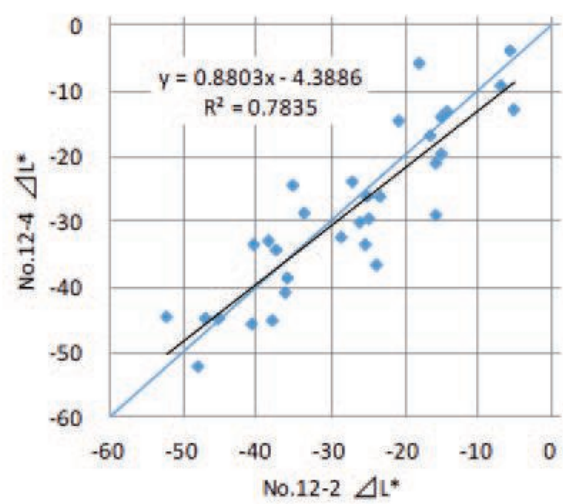


図-10 促進汚染試験の再現性

次に、前処理実施者の個人差が試験結果に与える影響を検討するために、No. 12-2 と No. 12-3 の明度差の関係を図-9 に示す。これらの試験体は異なる作業者が同じ条件の前処理を行った試験体を用いている。明度の低下が小さい試験体で多少ばらつきはあるものの、 R^2 は 0.65 であり比較的に高い値となった。図-10 は試験の再現性を評価するために、全く同じ条件の処理を行った試験体の結果を示しており、回帰式の傾きは 1 に近い値となり、 R^2 も 0.78 と高い値になった。図-11 は No. 12-2 と各暴露地の屋外暴露 3 ヶ月後の 45° 傾斜面の ΔL^* の関係を示している。暴露地ごとに汚れ方の特徴が異なるため回帰式には差が生じているが、各暴露地との R^2 は 0.64 ~ 0.77 の範囲となっており、 R^2 が極端に低い暴露地は無く、どの暴露地とも比較的に高い相関性が得られた。

3.3 まとめ

本章は、前処理方法として酸浸漬を行った試験体の促進汚染試験の結果を検討し、以下の知見が得られた。

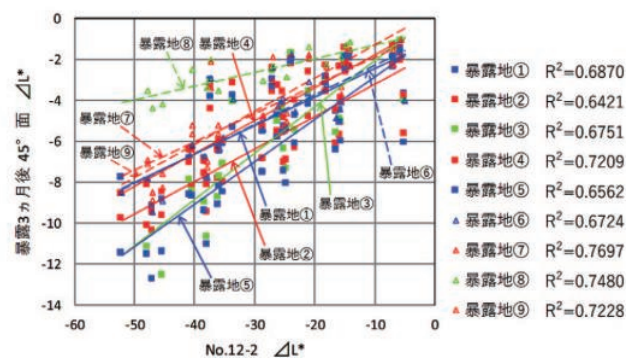


図-11 促進汚染試験と各暴露地との比較

- ①温水浸漬3日後に5%硫酸浸漬3時間を行う条件は他の条件よりも屋外暴露後の水接触角との相関が高い。
- ②スプレー噴霧とハケ塗りは、共に屋外暴露後の明度差と比較的に高い相関性が得られた。
- ③試験の再現性は高く、前処理実施者の個人差の影響は少ない。
- ④各暴露地の結果との比較で R^2 が極端に低い地域は無く、どの暴露地とも比較的に高い相関性が得られた。

4. 汚染除去方法の検討

前3章の課題として付着させた汚染物質の除去方法については、試験を実施する個人の差がみられた。そこで、付着した過剰な汚染物質を除去する方法として、個人差を極力排除するために超音波洗浄機による除去を考えた。本章では、超音波洗浄機を用いた除去方法について比較検討した。

4.1 実験概要

(1) 塗装試験体および前処理方法

使用した塗装試験体は前3章と同じとした。前処理も、前3章で決めた温水(50℃)浸漬3日後に5%硫酸浸漬を3時間行う前処理方法で行い、室内(平均21℃・50%RH)にて乾燥させたものを実験で使用した。

(2) 汚染物質の付着方法

前3章同様、試験体表面が一様に覆われるように刷毛を用いてカーボンブラック(FW-200)の5%懸濁水を塗布し、室内で自然乾燥させた。

(3) 付着汚染物質の除去方法

当初、付着した汚染物質の除去方法として、塗装試験体に対し水道の蛇口からの落水による方法で行うことを考えて試したが、目視による観察で表面に固着したカーボンブラックの落ち方が水の当たり方や水量(圧)により変わり、さらに落とすきれない汚れに対して刷毛を用いる必要性が生じたため、除去を行う個人の差が大きいと判断した。そこで、機械的に落とす方法として超音波洗浄機を考えた。ただし、超音波洗浄機による洗浄の場合、水の振動の仕方による汚れの落ち方に影響があると考え、発振の周波数を変えて実験を行った。表-5に、実験に用いた超音波洗浄機の仕様と実験条件を示す。機種は市販品で塗装試験体全体が洗浄槽内に浸漬できる同程度の大きさの発振周波数が異なる3機種を選定した。

(4) 汚れの測定と評価

色彩測色計(コニカミノルタ製CR-400)を用い、汚染付着、除去の前後で塗装試験体の明度差と、屋外暴露試験における塗装種毎の塗装試験体の明度差とを比較し関係性を検証した。

4.3 実験結果、考察

振動周波数100kHzの場合、塗装試験体全体を振動させることができなかつたため途中で実験は取りやめた。また、超音波洗浄機による洗浄時間として、当初20秒のほか10、40、60秒も条件として設定したが、目視観察で10秒程度ではカーボンブラックの除去が不十分であり、一方20秒を超過して洗浄を行っても状況に変化が見られなかつたため、洗浄時間は以後20秒に固定した。

写真-3に超音波洗浄機による塗装試験体の汚染物質除去中、写真-4に、除去、乾燥後の一例を示す。屋外暴露試験でも見られたように塗装の種類により汚れ方に差異が見られた。

表-5 実験に用いた超音波洗浄機の仕様と実験条件

実験NO.	13-1	13-2	13-3
実験での使用周波数(kHz)	100	28	45
槽内浸漬時間(秒)	10, 20, 40, 60		
公称発振周波数(kHz)	28, 45, 100	38	28, 45
定格出力(W)	100		
槽内寸法(mm)	W240, D140, H100	W237, D137, H100	W240, D140, H150
容量(L)	3.0	2.6	5.0



写真-3 超音波洗浄機による除去中の塗装試験体



写真-4 付着汚染物質除去、乾燥後の塗装試験体

図-12に、実験条件別に今回の実験における汚染前後の明度差を横軸に、屋外暴露地の1つであるつくば市の暴露3ヶ月後の明度差を縦軸にとったグラフを示す。いずれの実験条件においても、屋外暴露に比べ本実験における明度差は相対的に大きい傾向がみられたが、各実験条件ともに、屋外暴露における明度差と高い相関がみられた。この傾向は、本章に掲載をしていない他の屋外暴露地の試験結果との比較においても同様であった。

図-13に、実験NO.13-3(45kHz)について、汚染前後の明度差を横軸に、つくば市の暴露1、6、12ヶ月後の明度差を縦軸にとったグラフを示す。屋外暴露1ヶ月では、明度差の絶対値そのものが小さいものの、屋外暴露と本実験とでは試験体間の明度差の大小に逆転はほぼみられなかつた。また、屋外暴露3ヶ月以降で比較すると、各近似直線の傾きに大きな差がみられず、本実験における明度差は、屋外暴露におけるそれと高い相関があることがわかつた。

本結果から、使用した超音波洗浄機の機種や発振周波数による差異は小さく、同周波数の範囲であれば、今回使用した塗装種において長期間の屋外暴露試験に代わり、短期間で汚れの評価が可能になると考えられる。

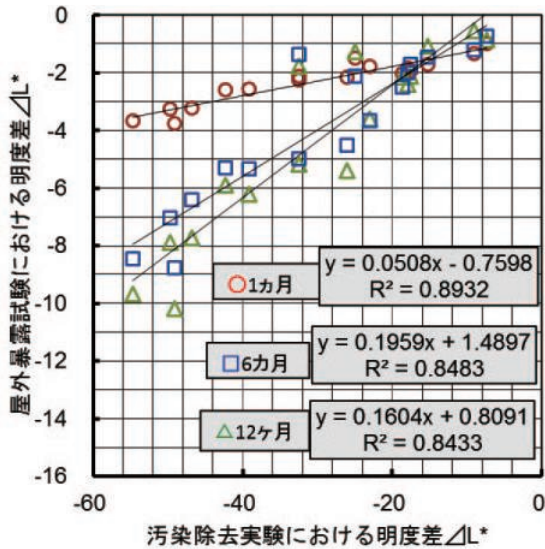


図-12 屋外暴露試験と本試験の比較

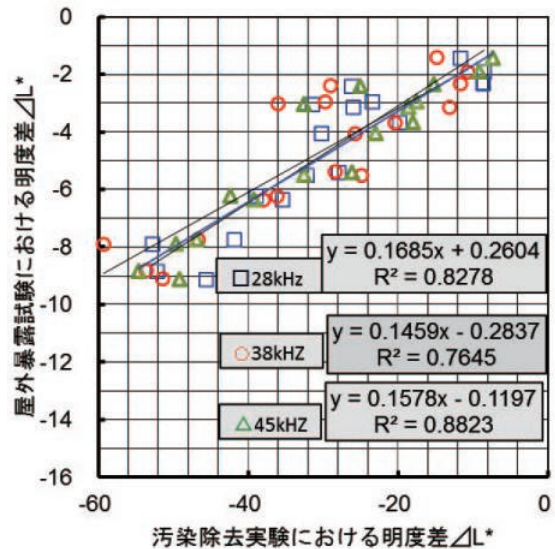


図-13 屋外暴露試験と本試験の比較

4.4 まとめ

本章では、提案する促進試験方法の手順のうち、附着させた汚染物質の除去方法について超音波洗浄機による方法を採用し塗装試験体を用いた実験を行い、屋外暴露試験との比較を行った結果、以下の知見を得た。

- ①屋外暴露試験同様、塗装種毎に汚れ方に差異があり、実施した超音波洗浄機の機種・発振周波数の範囲では、汚染物質附着の前と後の明度差は、屋外暴露試験における明度差と高い相関がある。
- ②汚染物質附着の前後の明度差は、屋外暴露試験の明度差に比べ相対的に大きな値を示す。より屋外暴露の汚れ実態に近づけるためには附着量の低減が考えられる。

5. おわりに

本報では、外装材の汚れ評価について簡便で短期に確認できる試験方法を提案するため、各種試験を実施した。これらの結果より、図-14 に示す提案方法によって屋外の暴露試験の汚れの定量値を室内の促進汚れ試験で推定できることが確認された。

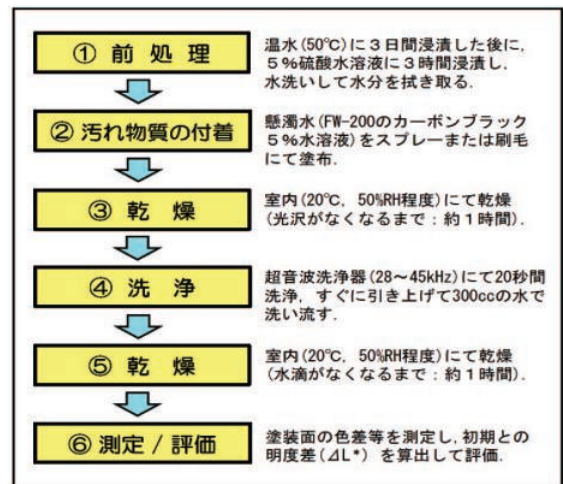


図-14 提案する促進試験方法

【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