

塗装の汚れ評価方法に関する研究 その2 促進汚染実験と屋外暴露試験との比較

小座野 貴弘*

要旨

外装用塗装材料を対象に、施工された塗装表面の暴露時間経過に伴う汚れ具合を比較的短期間で簡易に評価可能な促進試験方法を構築することを目的として、(一社)日本建設業連合会で「外装材汚れ評価に関するWG」を組織し、研究活動を行っている。屋外暴露試験と同様の汚れを再現するための方法について今回検討した。暴露時間経過に伴う塗装表面の水接触角を再現する方法や汚れ物質の付着方法に関し、屋外暴露試験に供した試験体と同仕様の試験体を作製して比較実験を行った。屋外暴露試験結果と汚れの評価指標としている明度差について比較をした結果、次に示す知見が得られた。①屋外暴露3ヶ月迄の期間において、塗膜表面の水接触角と明度差に相関関係がみられる。②塗膜を50℃温水に3日、さらに硫酸(5%)溶液に3時間浸漬することにより、屋外暴露3ヶ月後の塗膜表面に近い水接触角が得られる。③実施した汚れ付着方法の中では、カーボンブラック(FW-200)の5%濃度の懸濁水を塗膜表面に塗布する方法を用いた場合、塗装材料間の汚れの差異が、実際の屋外暴露により生じる汚れの差異との相関が高い。今後も、精度向上のための検証を行い、標準的な試験方法の確立をめざしていく。

1. はじめに

本研究は、外装用塗装材料を対象に塗装施工面の屋外暴露時間経過に伴う汚れ具合を短期間で簡易に評価が可能な促進試験方法を構築することを目的としている。そのため、(一社)日本建設業連合会において、当社を含む建設会社16社で組織する「外装材汚れ評価に関するWG」を組織し研究活動を行っている¹⁾。

WGでは、促進試験方法を構築する上で、建物に施工された塗装面に対して、汚れ評価に関する考え方を図-1に示すように整理し、特に図中で着色した枠内の項目を条件として、条件間の差異を把握することを目的として、屋外暴露試験を実施している。屋外暴露試験は、表-1に示した32種類の塗装材料を対象とし、図-2に示す形状に加工したアルミ板上に塗装を施したものを試験体として、暴露地に設置した。暴露地は、表-2、図-3に示した国内10カ所である。そして、一定期間ごとに

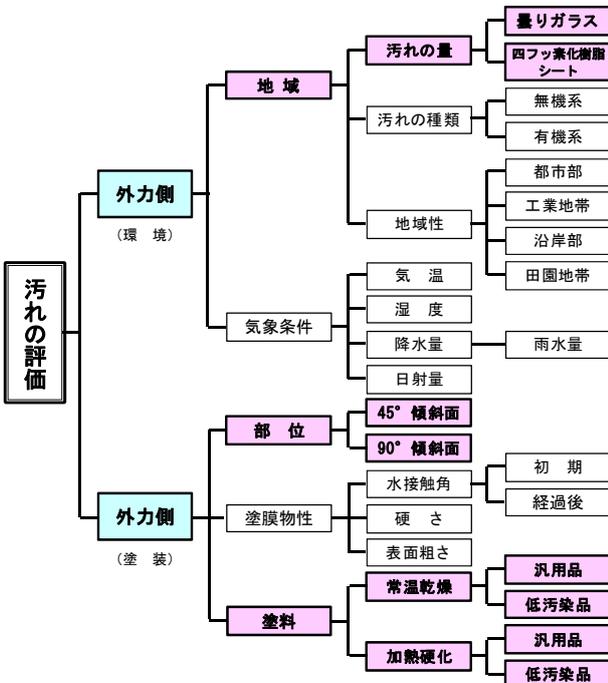


図-1 塗装面の汚れ評価に関する考え方

表-1 暴露試験に用いた塗装材料の種類

| 硬化形式 | 溶媒の種類 | 硬さ | 上塗り材の種類 | 製品 | |
|--------------|-------|--------------|--------------|------|-------|
| | | | | 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 | 3T |
| | | | アクリルシリコン樹脂 | 4 | 5T |
| | | | フッ素樹脂 | | 6T |
| | | 硬質 | アクリルシリコン樹脂 | 7 | |
| | | | フッ素樹脂 | 8 | |
| | | | 無機有機ハイブリッド樹脂 | | 9T |
| | | | ウレタン樹脂 | 10 | 11T |
| | 弱溶剤系 | 弾性 | アクリルシリコン樹脂 | | 12T |
| | | | アクリルシリコン樹脂 | 13 | 14T |
| | | | フッ素樹脂 | 15 | 16T |
| | | | 無機有機ハイブリッド樹脂 | 17 | |
| | | 硬質 | アクリル樹脂 | 18 | |
| | | | ウレタン樹脂 | 19 | 20T |
| | | | アクリルシリコン樹脂 | 21 | |
| | | | フッ素樹脂 | 22 | 23T |
| 強溶剤系 | 弾性 | アクリルシリコン樹脂 | 24 | | |
| | | フッ素樹脂 | 25 | 26T | |
| | | 無機有機ハイブリッド樹脂 | 27 | | |
| | | ウレタン樹脂 | 28 | | |
| | | フッ素樹脂 | 29 | 30T | |
| | 硬質 | 高耐候性ポリエステル | 31 | | |
| | | フッ素樹脂 | 32 | | |
| | | 粉体 | | | |
| | | | | | |
| | | 加 熱 硬 化 形 | 溶剤系 | 硬質 | |
| | | | | | |

*: 数字は試験体NO.を表す。低汚染品は数字の語尾にTを加えた。

* 技術研究所 建築技術開発部

各塗装面の測色、明度等を測定し、各初期値との差から、色差、明度差を求め、パラメータごとの評価に用いている。

前報²⁾では、本研究の全体概要を述べた上で、32種の塗装材料を塗布した試験片を用いて屋外10暴露地において実施している屋外暴露試験の実施概要と暴露後12ヶ月間の試験結果について報告した。

塗装面は屋外に暴露されると日射や降雨に伴い塗膜が劣化し、塗膜表面の水接触角に変化が生じる。建材表面の汚れについては、表面の水接触角の変化が関係することが知られている³⁾。促進試験方法を構築する上で、短期に屋外暴露による生ずるこのような塗装表面の劣化状態を再現しつつ、汚れの付着状態を再現する必要がある。

そこで、まず、人工的に塗装表面の状態を再現させる条件を実験により検討した。その上で、汚れ物質を付着させる条件について実験により検討し、屋外暴露試験結果との比較を行うことで、再現できる条件を探ることとした。同実験に用いた試験体は、屋外暴露試験と同様の塗装仕様のものを用いた。

本報告では、促進試験方法を検討する上で屋外暴露試験における12ヶ月経過以降の結果を含め、以上実施した実験の概要、結果について報告する⁴⁾。

2. 屋外暴露試験における試験体表面の水接触角の測定

屋外暴露試験を行っている暴露地において、試験体表面の水接触角の測定を行った。

2.1 試験方法

屋外暴露試験では、前報¹⁾で示したとおり、120 mm×400 mm×1 mm(一部 2 mm)のアルミ板を中央部分(200mm)で45°に折り曲げたものに、表-1に示す水系、弱溶剤系、強溶剤系、加熱硬化形の32種類の塗装仕様を施した試験体を屋外に設置した。なお試験体のうち45°傾斜面では汚れの付着を目的に、垂直面は、雨筋汚れを再現することを目的に暴露に供した。

45°傾斜面、垂直面の双方について色彩測色計CR-400を用いて色差、光沢度の測定を実施した。水接触角については、暴露地の1つである東京都清瀬市を対象に2014年から試験体を暴露し、所定の時期に全自動接触角計CA-Xを用いて測定した。各測定は、試験体表面を水洗い

せず汚れを付着したままの状態で行った。なお、表-1において同じ塗装種でも例えばメーカーで親水性コートなどの耐汚染機能を付加した商品と謳っているものを区別し、それぞれ「汎用品」、「低汚染品」とここでは便宜的に名付けている。

本研究において、汚れの評価は屋外暴露開始前に測定した明度に対して、暴露経過時点における明度との差を明度差 ΔL^* として表し、明度差 ΔL^* の大小により行った。

2.2 試験結果

① 水接触角の経時変化

図-4に、試験体の45°傾斜面(以後、屋外暴露試験の結果については45°傾斜面を対象とする。)について、全試験体(32種類)の暴露開始前、暴

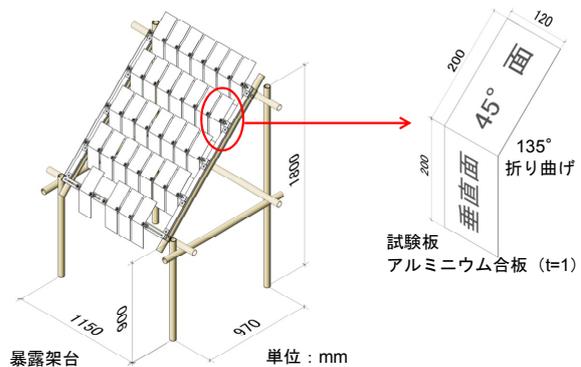


図-2 試験体の形状と屋外設置方法

表-2 暴露場所に関する情報

| NO. | 暴露地 | 区分 | 暴露場所 | 備考 |
|-----|---------|------|-----------|----------------|
| ① | 茨城県つくば市 | 田園地帯 | 実験棟(2F)屋上 | 西面に国道有 |
| ② | 東京都清瀬市 | 都市部 | 実験棟屋上 | 黄砂の影響 |
| ③ | 埼玉県越谷市 | | 駐車場 | - |
| 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 | 工業地帯 | 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 | 都市部 | 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 |

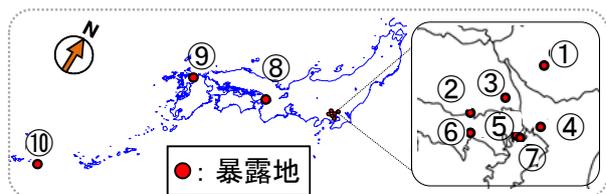


図-3 暴露場所の所在地

露 1、3、6、12、18 ヶ月経過後の水接触角の平均値を示す。水接触角の平均値は、暴露時間経過とともに小さくなる傾向を示した。

② 水接触角と明度差 (ΔL^*) の関係

図-5 (1)~(4)に、東京都清瀬市における屋外暴露 1、3、6、12 ヶ月後の全試験体について、横軸に水接触角、縦軸に明度差 ΔL^* をとった散布図を示す。なお、図中には近似曲線と決定係数を加えた。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 1、3 ヶ月後において、汎用品と低汚染品との間で水接触角の値に違いが見られた。汎用品では、水接触角が大きい範囲に固まっている一方、低汚染品は相対的に小さい範囲に固まっている傾向がみられた。また、図から水接触角の値が小さいと明度差 ΔL^* も小さい傾向が認められ、暴露 3 ヶ月においてその相関性が高くなった。

暴露 6 ヶ月以降は、水接触角の値と明度差 ΔL^* との相関性が低くなった。

図-6は、強溶剤系の塗装試験体を対象に、暴露期間中の明度差 ΔL^* と水接触角との関係を示したものである。明度差 ΔL^* は、暴露開始から 3 ヶ月ないし 6 ヶ月までは大きくなっていくが、それ以後は小さくなっていく傾向がみられる。したがって、

図-5に示した 6 ヶ月以降において相関が低くなっている。この原因として、塗装表面の水接触角が減少し親水性が増したことで、塗装表面に付着した汚れが流されやすくなっているものと考えられる。

水接触角の変化は、暴露環境の変化の影響を受けることも考えられる。そこで、図-7に、清瀬市の暴露 3 ヶ月後の水接触角の値に対する清瀬市以外の他の 5 つの暴露地における明度差 ΔL^* との関

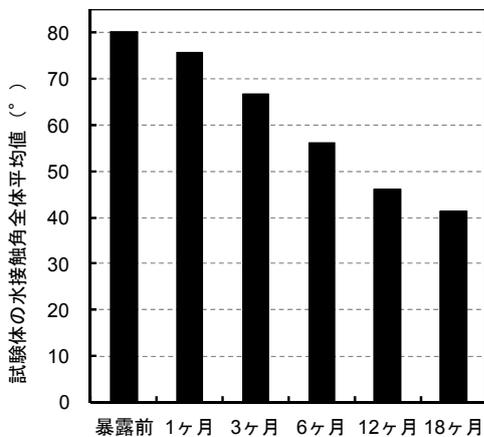


図-4 屋外暴露試験体の水接触角平均値の経時変化

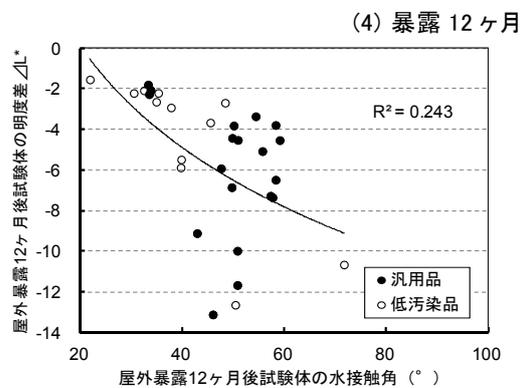
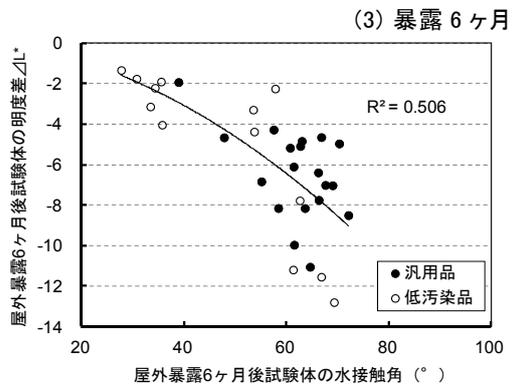
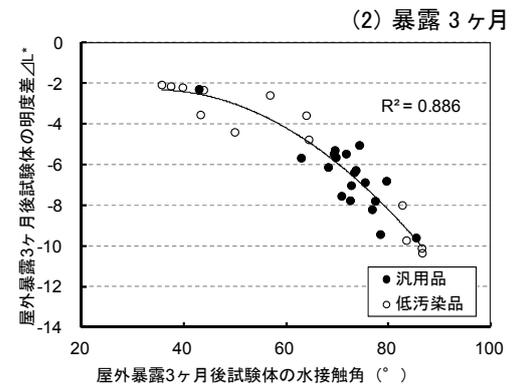
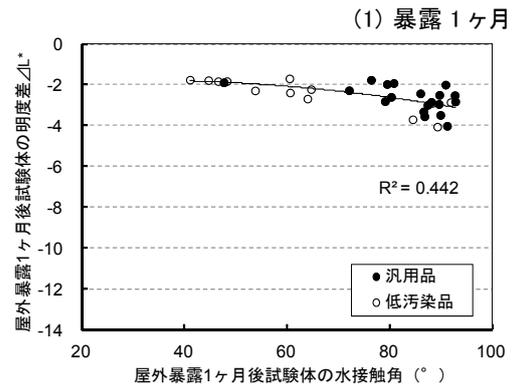


図-5 屋外暴露試験体の水接触角と明度差 ΔL^*

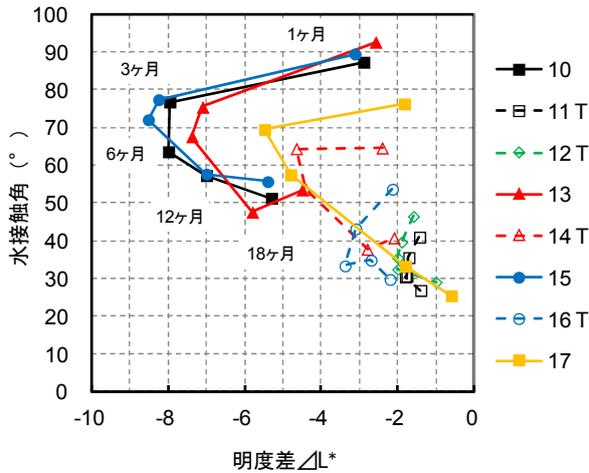


図-6 暴露期間中の強溶剤系塗装試験体の明度差 ΔL^* と水接触角との関係

係を示す。なお、図中には、暴露地ごとの近似曲線と決定係数を加えた。いずれの暴露地においても両者は高い相関性を示した。このことから屋外暴露3ヶ月の試験体表面の水接触角の状態を再現することで塗装表面の汚れ付着の状態を再現できる可能性が示された。

3. 試験体塗装表面の処理に関する促進実験

前述の実験から屋外暴露3ヶ月までの水接触角が明度差 ΔL^* との相関が高いことから、塗装材料間の耐汚れ性能の評価を行うための試験条件として、暴露3ヶ月の塗装表面の状態として水接触角を同状態に再現することが有効であると考えた。そこで、同条件を再現するための実験を行った。

3.1 実験方法

前述までに用いた塗装試験体と同じものを試験体として用いた。表-3に、塗装表面の処理条件を示す。ここで $50^\circ\text{C} \cdot 90\% \text{RH}$ 気中環境は、既往の試験方法における前処理条件として参考とし採用した。その他の条件は、低汚染塗料の耐汚染化(親水化)メカニズムを想定して選択した。同処理条件に対して、実験前後の水接触角を測定した。

3.2 実験結果

図-8に、塗装表面の処理条件ごとに算出した全試験体(32種類)の水接触角の平均値を示す。 $50^\circ\text{C} \cdot 90\% \text{RH}$ 気中条件では、未処理に対して水接触角の変化はほとんどなく、一方、水中浸漬条

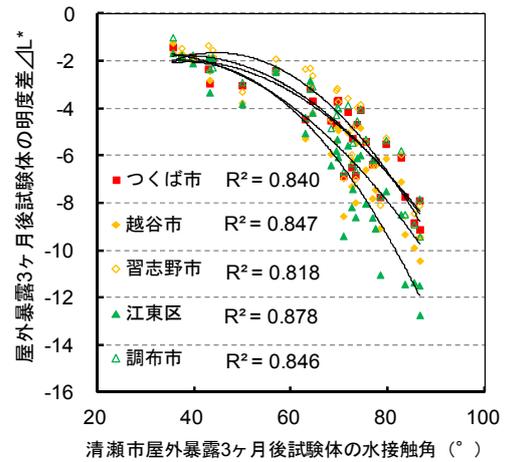


図-7 清瀬市屋外暴露3ヶ月後試験体の水接触角と他暴露地の明度差 ΔL^* との関係

件では、浸漬日数とともに水接触角は下がる傾向を示した。 50°C 温水中3日浸漬条件では、水中浸漬8日後に相当する水接触角の低下がみられた。

図-9(1)~(3)に、水中8日浸漬条件と 50°C 温水中3日浸漬条件、さらに5%硫酸溶液に3時間浸漬させた条件について各試験体の水接触角を横軸に、屋外暴露試験3ヶ月後の各試験体の水接触角を縦軸にとった散布図を示す。なお、図中

表-3 塗装表面の処理条件

| 塗装表面の処理条件 | 日数 |
|--|--------|
| A $50^\circ\text{C} \cdot 90\% \text{RH}$ 気中 | 1,4,8日 |
| B 23°C 水中浸漬 | 1,4,8日 |
| C 50°C 温水浸漬 | 3日 |
| D 50°C 温水浸漬 5%硫酸溶液 | 3時間 |

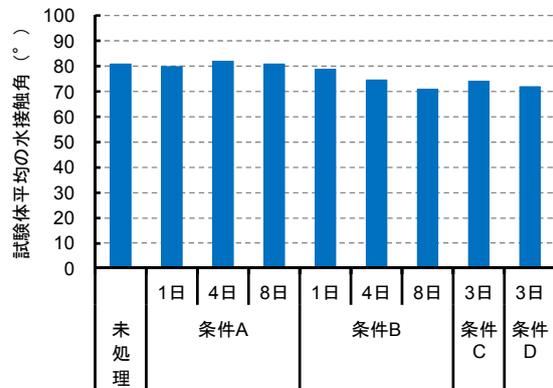


図-8 塗装表面処理条件による水接触角

に回帰直線、相関係数を加えた。

50℃温水中 3 日浸漬 5%硫酸溶液に 3 時間浸漬させた条件では、水中浸漬 4 日後と同程度の水接触角の低下がみられた。50℃温水中 3 日浸漬・5%硫酸溶液 3 時間浸漬条件が屋外暴露 3 ヶ月における水接触角と高い相関がみられた。

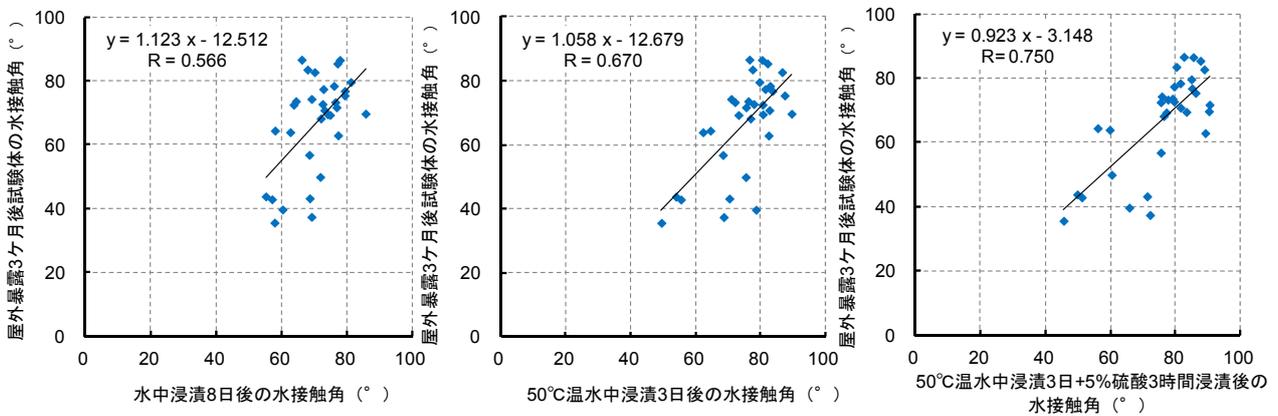
さらに、図-10(1)~(3)に、水中 8 日浸漬条件と 50℃温水中 3 日浸漬条件、50℃温水中 3 日浸漬・5%硫酸溶液 3 時間浸漬条件について各試験体の水接触角を横軸に、屋外暴露試験 3 ヶ月の各試験体の明度差 ΔL^* を縦軸にとった散布図を示す。なお、図中に回帰直線と相関係数を加えた。

先の屋外暴露試験における結果からも明らかであるが、

屋外暴露 3 ヶ月後の試験体の水漬条件は、同試験体の明度差 ΔL^* との相関性も高い傾向を示した。この結果から、促進試験における試験体の前処理方法として、50℃温水中 3 日浸漬・5%硫酸溶液 3 時間浸漬が有効な方法と考えられる。

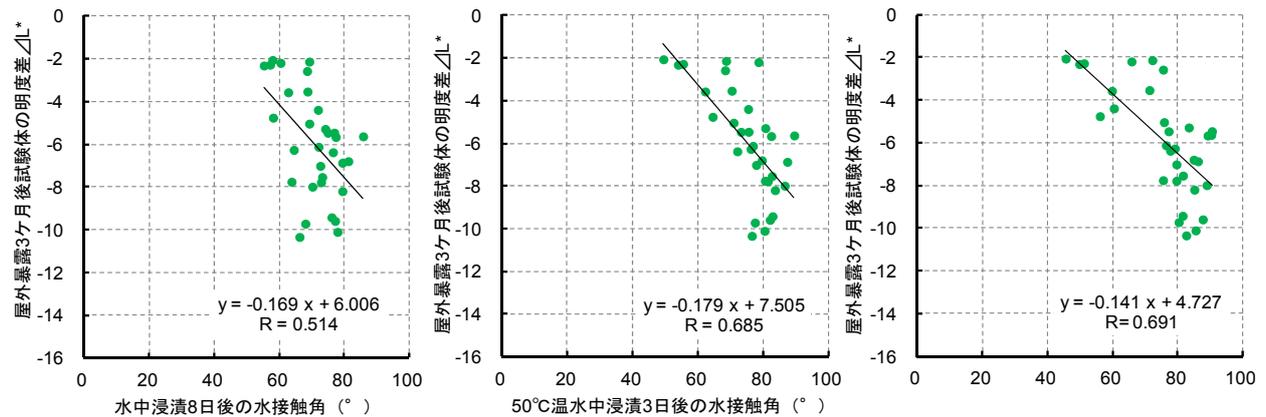
4. 試験体への汚染物質への汚染物質付着方法に関する促進実験

塗装表面の処理条件を変えた促進実験の結果から、屋外暴露 3 ヶ月を再現する塗装表面の処理方法を決定した。次に、同処理された試験体を対象にして、汚染物質の付着方法に関する実験を行った。



(1) 水中浸漬 8 日後 (2) 50℃温水中浸漬 3 日後 (3) 50℃温水中浸漬 3 日・5%硫酸溶液浸漬 3 時間後

図-9 塗装表面処理条件ごとの水接触角と屋外暴露 3 ヶ月後試験体の水接触角との関係



(1) 水中浸漬 8 日後 (2) 50℃温水中浸漬 3 日後 (3) 50℃温水中浸漬 3 日・5%硫酸溶液浸漬 3 時間後

図-10 塗装表面処理条件ごとの水接触角と屋外暴露 3 ヶ月後試験体の明度差 ΔL^* との関係

4.1 実験方法

50℃温水中に3日間浸漬処理した32種類の塗装試験体を用いた。汚染物質として、既往⁵⁾の試験方法を参考に2種類のカーボンブラックと1種類の5 wt%カーボンブラック懸濁液を選定した。

汚染物質の付着方法は、表-4に示したふるい落とし、スプレー、刷毛塗りを試した。その上で、過剰に付着させた汚染物質を除去するため、洗浄方法を検討した。洗浄にあたっては、当初水道蛇口からの流水を考えたが、流水量の制御等実施者による差異が大きく生じる恐れがあったため、機械的な振動を与えて落とす方法として超音波洗浄機を選定した。

超音波洗浄機を用いた洗浄は、写真-1に示すように、洗浄機の水槽に、各洗浄機の使用 방법에規定されている位置まで水道水を入れ、あらかじめ電源を入れて水槽内を発振させた上で、汚れが付着した試験体の端部をピンセットでつかみ試験体全体が水中に隠れるまで、実験条件で決めた時間浸す方法とした。

なお、洗浄後、試験体は塗装面を上にして室温で自然乾燥をさせた。

4.2 実験結果

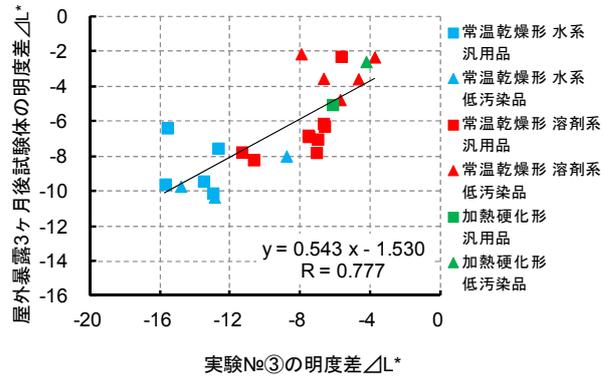
図-11(1)~(2)、図-12(1)~(3)に、各汚染付着条件の試験体における明度差 ΔL^* を横軸に、屋外暴露試験における暴露3ヶ月後の試験体の明度差 ΔL^* を縦軸にとった散布図を示す。なお、図中には回帰直線、相関係数を加えた。

粉体を用いた場合、各試験体の明度差 ΔL^* の値は、-16未満の中にあり、屋外暴露試験における試験体の明度差 ΔL^* の値(-12未満)に対して近い範囲のばらつきにおさまっていた。

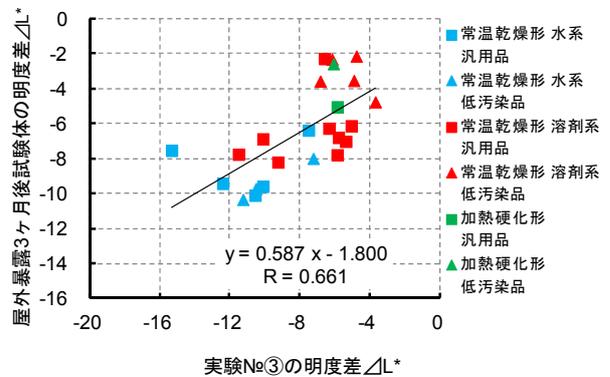
しかし、屋外暴露試験では、試験体間で明度差 ΔL^* の差異がみられたが、粉体を用いた汚染付着に関する実験では、明度差 ΔL^* の差

表-4 促進汚染実験条件

| 実験No. | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ |
|-------|------------------------|-----------------------|-----------|-----------------------|------|
| 汚染物質 | 粉体 | | 懸濁水(5%濃度) | | |
| | FW-200 | JIS試験用粉体12種 | FW-200 | | |
| 手順 | 50℃温水浸漬3日後、5%硫酸溶液浸漬3時間 | | | | |
| 前処理 | 塗膜の処理 | ふるい | | | スプレー |
| | 汚染物質の付着 | 試験体を2cmの高さから5回落とす | | — | 刷毛塗り |
| 後処理 | 乾燥 | あり(屋外日陰干し) | | | なし |
| | 汚染物質の除去 | 超音波洗浄(10秒)後、流水(200cc) | | 超音波洗浄(20秒)後、流水(200cc) | |
| 測定前処理 | 乾燥 | 屋外(日陰干し) | | | |



(1) 実験ケース①-粉体(FW-200)



(2) 実験ケース②-粉体(JIS試験用粉体)

図-11 促進汚染実験と屋外暴露3ヶ月後試験



(1) 洗浄前



(2) 洗浄中



(3) 洗浄後

写真-1 超音波洗浄機による試験体の洗浄

がつきにくいものが多かった。特に JIS 粉体においてその傾向が強くなり、相関性も低くなった。

一方、懸濁液を用いた場合、汚染付着に関する実験における各試験体の明度差 L^* は、屋外暴露試験における同明度差 ΔL^* に比べて相対的に大きい値を示すものが多く、実際の環境下よりも汚れが強調されやすい傾向が示された。

また、この影響によるものか明らかではないが、粉体の場合に比べ試験体間における明度差 ΔL^* の差異が大きいものが多くなった。結果として、懸濁液を用いた場合の方が各試験体の明度差 ΔL^* と屋外暴露試験における各試験体の明度差 ΔL^* との相関は高い傾向が示された。

懸濁水の塗布方法については、スプレー、刷毛塗りとの差は小さかった。相関係数は、スプレーで 0.818、刷毛塗りで 0.801 であり、高い相関性がみられた。

ここで、塗装種による特徴をみると、全般的に水系材料は促進実験では明度差 ΔL^* が大きく汚れが強調される傾向がみられた。試験体の種類は少ないが加熱硬化形では、屋外暴露試験でみられた材料間の明度差が小さい傾向が促進実験でも共通してみられた。硬化形式や溶媒等塗装材料の差異により、促進試験による汚れ方の特徴を示すものと考えられ、促進試験方法における評価方法を定める上での検討要素となると考えられる。

懸濁水塗布後の乾燥の差異では、汚染物質付着後に乾燥時間をとらずに直ちに洗浄を行った場合は、当然であるが乾燥を行った場合に比べて汚れが少なくなるため、塗装材料間の明度差 ΔL^* のばらつき範囲は小さくなった。ただし、相関係数が 0.379 となり相関性は低かった。このことから汚染物質付着後に一定の乾燥時間をおいた後に洗浄を行うことが有効であると考えられる。

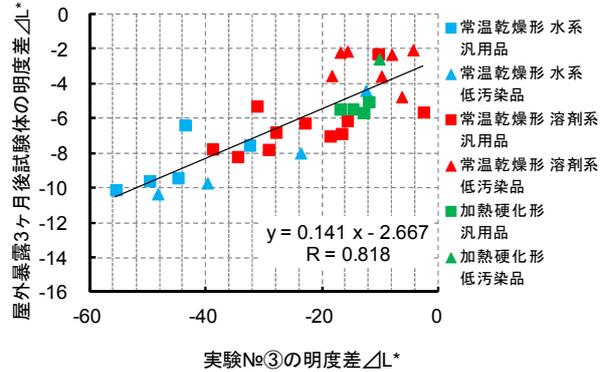
5. まとめ

本報告では、外装用塗装材料を対象に塗装施工面の屋外暴露時間経過に伴う汚れ具合を簡易に評価が可能な促進試験方法を構築することを目的に、人工的に塗装表面の状態を再現させる条件、汚れ物質を付着させる条件について実験を行い、屋外暴露試験の結果との比較から以下のことが明らかになった。

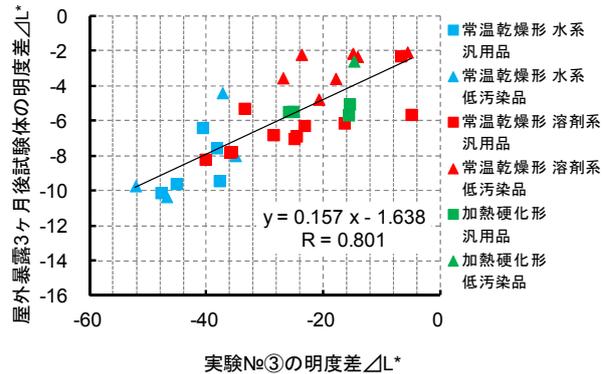
- ・屋外暴露 3 ヶ月迄の期間において塗装表面の水接触角と明度差 ΔL^* に相関関係がみられる。
- ・塗装表面を 50℃温水中 3 日、および 5%硫酸溶

液 3 時間浸漬により、屋外暴露 3 ヶ月後の塗装表面に近い水接触角が得られる。

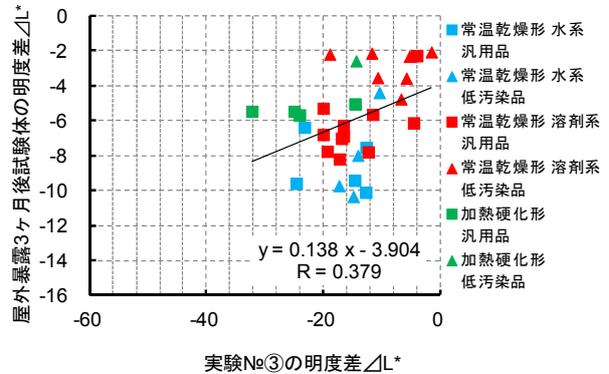
- ・実施した汚れ付着方法の中では、カーボンブラック(FW-200)の 5%懸濁水を塗装表面に塗布することで、塗装材料間の汚れの差異について



(1) 実験ケース③－懸濁液スプレー吹き付け



(2) 実験ケース④－懸濁液刷毛塗り(乾燥あり)



(3) 実験ケース⑤－懸濁液刷毛塗り(乾燥なし)

図-12 汚染促進実験と屋外暴露 3 ヶ月後試験体の明度差 ΔL^* との関係(懸濁液のケース)

実環境暴露 3 ヶ月後までに現れる塗装材料による汚れの差異との相関性が高い。

今回の結果から実環境暴露 3 ヶ月後までに現れる塗装材料による汚れの具合の差異を評価できる可能性が見出された。

今後は、塗装種の特性を考慮した適用対象の検討、屋外暴露試験結果に基づいた汚れの地域特性に関する分析等を行い、実暴露環境下における塗装材料間の耐汚れ性能を評価しやすい試験方法の構築を図る予定である。

【謝 辞】

屋外暴露試験の実施にあたっては、日本大学生産工学部建築工学科 永井研究室、および日本建築仕上材工業会にご協力頂いた。ここに、謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 板谷ら:塗装の汚れ評価に関する研究 その1 ~2、日本建築仕上学会 研究発表論文集、pp.87-94、2014.10
- 2) 小座野貴弘:塗装の汚れ評価に関する研究、五洋建設技術年報、Vol.45、pp.14-1~14-8、2015
- 3) 野地ら:塗料の水接触角とよごれに関する研究、日本建築学会 関東支部研究報告集、pp.285-288、2014.2
- 4) 板谷ら:塗装の汚れ評価に関する研究 その3 促進試験方法の検討、日本建築仕上学会 研究発表論文集、pp.175-178、2015.10
- 5) (一財)土木研究センター:「防汚材料評価促進試験方法 I ~IV」