ISSN 2186-5647

4-46

LED を用いた表面処理に関する研究

日大生産工(院)　○加藤　航平　　日大生産工　松井　勇
日大生産工　　永井　香織

1.　はじめに

建築における塗料は、内・外装材料として用いられており、定期的なメンテナンスが必要である。塗床塗料は、塗布後から完全に硬化するまでの間、立入禁止となるため、メンテナンスの場合は、工期短縮が望まれている。また、塗床塗料を使用する作業環境によって、硬化時間が異なる場合がある。

建築分野における光技術の利用は、表面処理等に高出力の光技術を用いて、材料加工等を目的に実施[1]されている。一方、低出力を用いた表面処理には半導体・電子分野等[2]において LED や紫外線ランプ等が用いられている。LED は低消費電力等の特徴を活かし医療分野等[3]幅広く使用されている。現在、光技術を用いた表面処理は、建設分野ではあまり適用されていない。しかし、光技術は無騒音等の利点があるため騒音低減、作業の自動化のみならず、工期短縮等においても有効な加工方法と言える。

本研究は光技術を建築分野で応用することでの施工効率の向上を目的に研究を行っている。

本報告は、塗床に対する LED を用いた表面処理の可能性を検討したものである。

2.　試験概要

2.1　試験体作製

試験体は、30mm×30mm×10mm の下地コンクリートに塗床塗料を 6 種類塗布し、作製した。表 1 に使用塗床材一覧を示す。また、本研究では全ての試験において図 1 に示す試験体を使用した。

表 1　塗床材一覧

	主成分	性能
No.1	ウレタン	耐衝撃性・耐熱性・耐薬品性
No.2		耐候性・耐久性・耐汚染性・耐摩耗性
No.3	ポリウレタン	耐候性・耐久性・耐薬品性
No.4	エポキシ	耐摩耗性・耐衝撃性・耐薬品性
No.5		耐久性・耐衝撃性・耐摩耗性・耐薬品性
No.6	アクリル	付着性・耐摩耗性・耐薬品性

表 2　照射条件一覧

波長(nm)	365、385、405、450
照射距離(mm)	10、20、30、60
電流(A)	0.35

2.2　照射方法

表 2 に LED の照射条件を示す。また、照射方法模式図を図 2 に示す。

2.3　塗料硬化判定方法

塗料硬化判定方法を表 3 に示す。

2.4　試験方法

(1)　環境条件の違いによる硬化時間

試験体を常温環境に設定した室内(湿度 34.4%、気温 20.6℃)、湿度 30、60、80%それぞれのデシケータ内に塗料が硬化するまで静置し、硬化時間を測定した。なお、室内の条件は以下の試験においても同様とする。

(2)　LED 波長別塗床塗料の硬化時間

試験体に表 2 に示す 4 つの波長の LED を照射距離 20mm で照射し、一番硬化時間の短い波長を各塗料に対して選定した。それぞれの波長における塗料の硬化時間(min)と各塗料に適した波長を表 4 に示す。なお、既往の研究[4]によりウレタン系№1、アクリル系№6 は、波長 450nm における照射は不向きという結果が出ているため二番目に硬化時間が短い 405、365nm も適合波長として選定した。

(3)　LED 照射距離別塗床塗料の硬化時間

試験体にそれぞれの塗料に適した波長の LED を表 2 に示す照射距離 4 水準で照射し、硬化時間を測定した。なお、波長 450nm においての照射距離 10mm は照射器の性能上不可能であるため、行わないこととした。

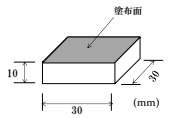

図 1　試験体

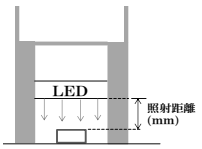

図 2　照射方法模式図

表 3　塗料硬化判定方法

ステップ	評価方法	内容
1	目視	目視のみで塗膜の硬化を確認する
2	指触	指で塗膜を触り、塗膜表面が固まっているかを確認する

Study on the surface treatment Using the LED for building paints
KATOU Kouhei, MATUI Isamu, NAGAI Kaori

(4) LED 照射時の試験体表面温度

試験体表面に熱電対を付け、各塗料に対して選定した照射条件で LED 照射し、塗料硬化までの試験体表面温度を測定した。

(5) LED 照射時間による影響

試験体にそれぞれの塗料に適合した波長、照射距離で LED を 5、10、15、20 分間照射した後、常温環境に設定した室内、湿度 30、60、80%のデシケータ内に静置し、塗料の硬化時間を測定した。

(6) LED 照射条件別色彩調査

常温環境に静置した試験体、LED を照射した試験体、各塗料に適合した波長の LED を 5、10、15、20 分間照射した試験体それぞれの硬化させた塗料表面に JIS Z8729 に準じて、色彩計(K 社　CR-400)を用いて色差を求めた。なお、既往の研究[5] より⊿E＞1.3 において、見た目に分かる色差と定義されているため色差の目標値は、⊿E＝1.3 以下とした。

表 4　塗料の硬化時間(min)と選定した波長

	365nm	385nm	405nm	450nm	適合した波長
No.1	980	540	500	190	450、405
No.2	160	80	380	270	385
No.3	80	90	430	430	365
No.4	130	70	230	170	385
No.5	200	140	610	290	385
No.6	50	80	290	40	450、365

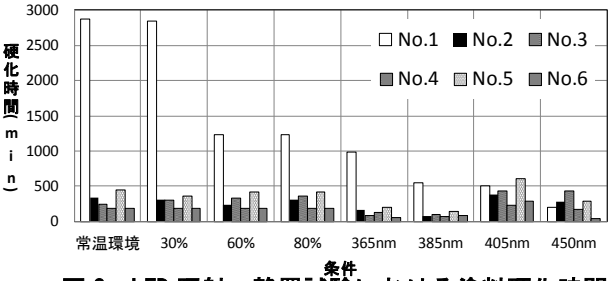

図 3　LED 照射、静置試験における塗料硬化時間

3. 結果および考察

(1) 環境条件の違いによる硬化時間

LED 照射時の塗料硬化時間と静置試験における塗料硬化時間の結果を図 3 に示す。波長 405nm を照射した場合、ウレタン系№1 を除き静置試験に比べ硬化時間が長くなったため、波長 405nm による LED 照射の効果は認められなかった。エポキシ系№4、№5、アクリル系№6 においては、波長 405nm 以外で照射した試験体において硬化時間が短くなったため、LED 照射の効果が認められた。ウレタン系№1 の硬化時間は、LED を照射することにより、1／10～1／3 ほど短縮されたことから、ウレタン系№1 に LED を照射することは硬化時間短縮のために効果的である。

(2) LED 照射距離別塗床塗料の硬化時間

図 4 に LED 照射距離別の各塗料硬化時間の結果を示す。ウレタン系№1 を除く全ての塗料において、照射距離が近いほど硬化時間が短くなる傾向が見られた。照射距離が遠くなるほど、パワー密度が下がるため、硬化時間が長くなると考えられる。ウレタン系№1、アクリル系№6 は、波長 450nm において照射距離 20mm で硬化時間が一番短かった。それぞれの塗料において二番目に硬化時間が早かった 405、365nm ではそれぞれ 30、20mm で硬化時間が一番短かった。

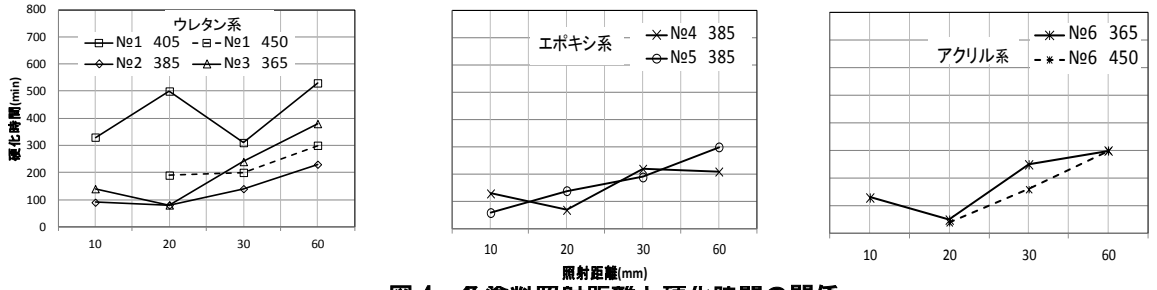

図 4　各塗料照射距離と硬化時間の関係

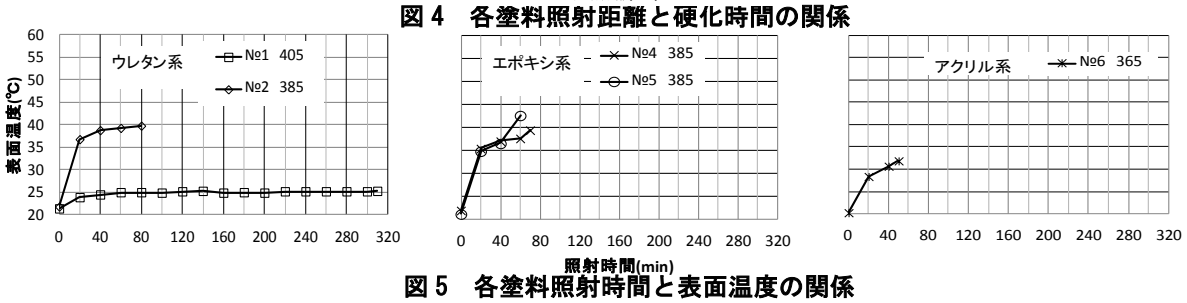

図 5　各塗料照射時間と表面温度の関係

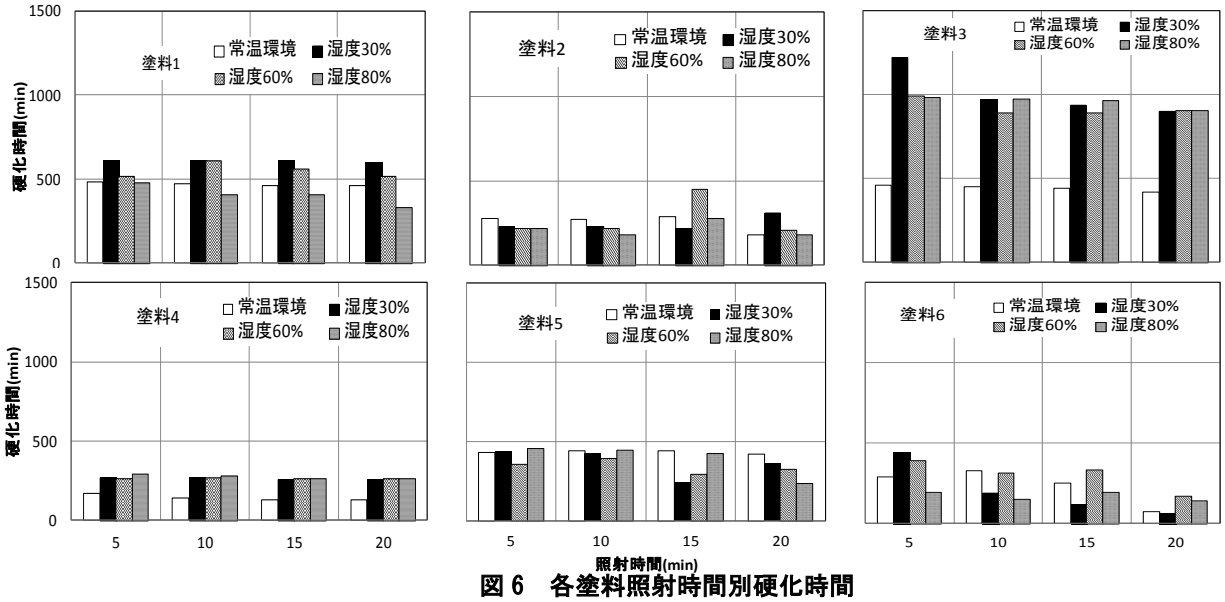

図 6　各塗料照射時間別硬化時間

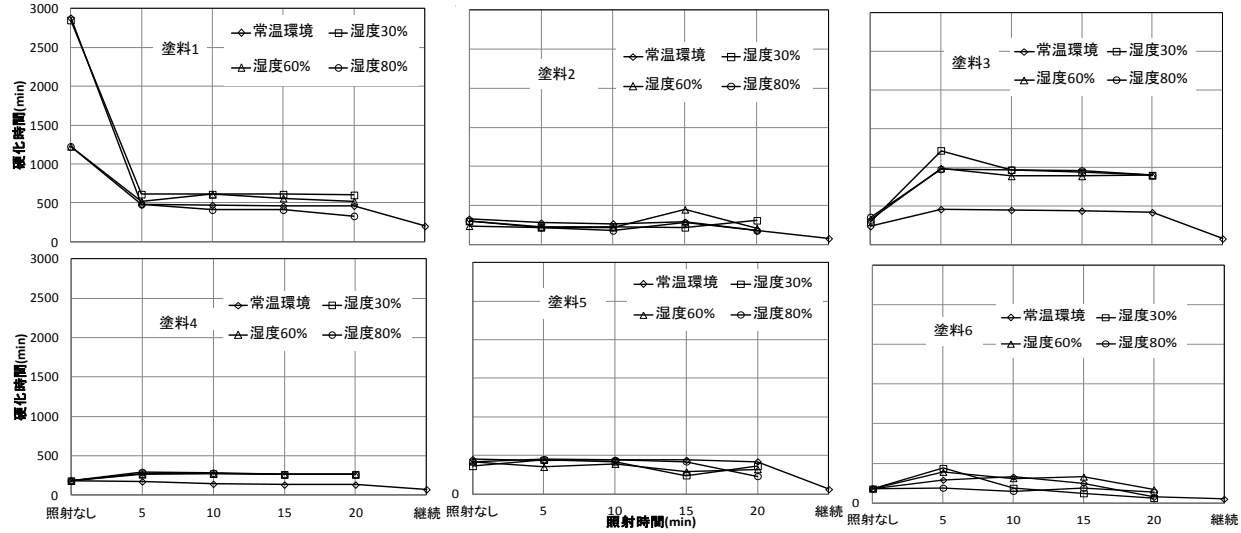

図 7　各塗料条件別硬化時間

(3)　LED 照射時の試験体表面温度

図 5 に各塗料における LED 照射時の試験体表面温度を示す。全ての塗料において、照射開始 20 分で一気に表面温度が上昇する傾向が見られた。また、ウレタン系№1、アクリル系№6 を除き、塗料硬化時の表面温度は約 40℃まで上昇した。ウレタン系№1 は、硬化時間が 500 分と最も長く、表面温度は 25.2℃と最も低いため、表面温度の低さが硬化時間に影響を及ぼしている。しかし、アクリル系№6 は表面温度は 31.8℃と低いが、硬化時間は 50 分と短いため、表面温度の低さは硬化時間に影響を及ぼさないと考えられる。

(4)　LED 照射時間による影響

図 6 に LED 照射時間別塗料硬化試験におけるそれぞれの塗料の硬化時間、図 7 に LED 照射有無および条件別硬化時間の比較結果を示す。ウレタン系№1 は、LED 照射時間が長いほど、また湿度が高いほど硬化時間が短くなった。ウレタン系№2 は、常温環境に静置した試験体が照射時間 20 分において早く硬化したのに対し、常温環境とほぼ同条件である湿度 30%においては硬化時間が長くなった。また、湿度 80%ではいずれの照射時間においても硬化時間が短くなったことから高湿度環境に適していると考えられる。ポリウレタン系№3 は、湿度 30、60、80%では硬化時間に大きな差はなかったが、常温環境に静置していた試験体のみ、硬化時間が短くなった。また、照射時間 20 分以下の短時間照射における硬化時間短縮は認められず、エポキシ系

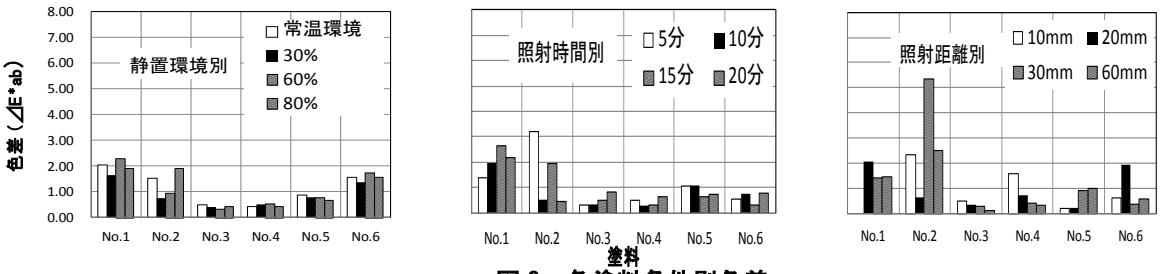

図 8　各塗料条件別色差

表 5　各塗床塗料評価

	波長(nm)	照射距離(mm)	硬化時間(min)	照射条件	色差(⊿E＊ab)
№1	450	30	200	継続	1.39
№2	385	20	80		0.62
№3	365	20	80		0.35
№4	385	20	70		0.74
№5	385	10	60		0.21
№6	365	20	40		1.92

№4 においても同様の結果となった。エポキシ系№4 は、どの条件においてもポリウレタン系№3 に比べ、硬化時間が約 1／3 と短かった。また、ポリウレタン系№3 同様に常温環境に静置した試験体が他の条件に比べ、硬化時間が短くなる傾向を示した。照射時間別では硬化時間に大きな差は見られなかった。エポキシ系№5 は、照射時間 15 分以上における硬化時間短縮が認められた。また、照射時間が 5 分以下と短い場合は、LED 照射の効果は認められなかった。アクリル系№6 は照射時間 20 分における硬化時間が大きく短縮されたため、さらに照射を続けることで硬化時間短縮が見込めると考えられる。

(5)　LED 照射条件別色彩調査

図 8 に各塗料条件別色差を示す。静置環境別色差は、ウレタン系№1、アクリル系№6 において、いずれの環境下で⊿E＝1.3 よりも高い値を示したが、ポリウレタン系№3、エポキシ系№4、№5 は、いずれの環境下においても目標値よりも低い値を示した。照射時間別色差は、ウレタン系№1 のみ照射時間に関係なく目標値よりも高い値を示した。ポリウレタン系№3、エポキシ系№4、№5、アクリル系№6 は、いずれの照射時間においても目標値よりも低い値を示した。照射距離別色差は、ウレタン系№1、№2 においてはいずれの照射距離でも色差が大きくなる傾向を示し、ウレタン系№1 では、硬化時間が最も短かった照射距離 30mm においても 1.39 と目標値よりも高い値を示した。アクリル系№6 も同様に硬化時間が最も短かった照射距離 20mm において 1.92 と目標値よりも高い値を示した。他の塗料においては、硬化時間が最も短かった照射距離時の色差は目標値よりも低い値を示した。

4.　各種塗床塗料評価

表 5 に各塗床塗料評価を示す。いずれの塗料において継続して LED 照射することで硬化時間は短くなった。しかし、ウレタン系№1、アクリル系№6 のみ照射距離、波長をそれぞれ変えたが、既往の研究結果[4] と同様に色差は 1.39、1.92 と目標値よりも高い値を示した。その他の塗料においては硬化時間が短い、かつ色差も目標値よりも低いため、硬化時間短縮のための LED 照射は効果的である。エポキシ系№5 は硬化時間が約 1／7 短縮され、色差も 0.21 と最も低い値を示したため、硬化時間短縮のための LED 照射は、特に効果的である。

5.　まとめ

本報告の内容を以下にまとめる。

1) 全ての塗料において適合した波長の LED で継続照射することにより、約 62～93%の硬化時間の短縮が認められた。

2) ウレタン系№1 を除いた塗料において照射距離が近いほど硬化時間が短い傾向が見られた。

3) アクリル系塗料のみ、硬化時表面温度は硬化時間に影響を及ぼさない。

4) アクリル系塗料に LED を長時間照射するほど、硬化時間が約 66%以上短縮される可能性がある。

5) エポキシ系塗料において LED 照射前後では見た目に分かる色差は確認されなかった。

6) エポキシ系塗料への LED 照射は硬化時間、色差の関係から効果が認められた。

参考文献

1)　レーザー応用に関する47章、レーザー学会、pp117−132　1998
2)　紺田　哲史、北村　賢次：光学部品用LED−UV硬化接着剤　パナソニック電工技法、Vol.56、No.4、pp75−80　2008
3)　最先端　高出力LED応用事例集、技術情報協会、pp227−325　2007
4)　加藤　航平、松井　勇、永井　香織：建築分野における光技術の応用研究 −LEDを用いた工期短縮の可能性検討−　日本建築学会大会学術講演梗概集　2013
5)　小松原　仁、平井　敏夫、島　善一郎：色票による色差評価、日本色彩学会誌、pp28-29　1981