

高耐久性を有する帯電防止床材・工法の開発

その5 改修工事における下塗り材の改良および性能評価



袴谷 秀幸 *1

板谷 俊郎 *1 三浦 勇雄 *1
戸館 義二 *2 原田 悟 *2
野澤 順 *2

概 要

半導体製造工場などの生産施設では、さまざまな静電気障害が報告され、その床材は帯電防止性能が必須となっている。しかしながら、従来の帯電防止床材の耐摩耗性は低いため、施工後数ヵ月において、帯電防止性能が劣化するケースがみられた。そこで筆者らは、さまざまな劣化外力に対して、十分な耐久性を持つ帯電防止床材を開発し、促進劣化後も十分な帯電防止性能を有していることを確認してきた。

このような実験結果を踏まえ、実現場での施工を行ってきたが、ある改修工事において、これまでの模擬施工などでは発生しなかった問題が生じた。ここでは、その不具合の要因を推定し、開発した帯電防止床の改良を行った。その結果、以下のことを確認した。

- 1) 改修工事において、既存塗膜を完全に除去できない場合、この部分が絶縁層となり、初期材齢における表面抵抗が管理基準範囲外となる可能性があるが、導電性の高い材料を下塗り材に用いることで、改修工事においても初期の帯電防止性能は管理基準範囲を満足する。
- 2) 硬化促進剤を改良することで、練上がり直後の材料の粘性およびポットライフ（可使時間）をある程度調整できるようになり、床材表面の仕上り性状を改善することが可能である。

Development of High-durability Coating Floor Material with Anti-static Performance

Part 5 The Improvement of Under Coating Materials in Repair Works and Performance Evaluation

Hideyuki HAKAMAYA *1 Isao MIURA *1
Toshiro ITATANI *1 Yoshini TODATE *2
Satoru HARADA *2 NOZAWA Jun *2

A variety of static electricity troubles are reported in the production facilities, and the anti-static performance is inevitable to the floor material. However, usual coating floor materials with anti-static performance are deteriorated at the part where caster ran. Then, the authors developed coating floor material with anti-static, which has enough durability for various deteriorations, and enough anti-static performance was shown to possess after the accelerated degrading test. This floor material with anti-static performance on the site has been coated based on such an experiment result. However, it was occurred in a certain the repair works with the problem that did not occur in a mock construction. Here, the developed coating floor material with anti-static performance has been improved since the cause of the trouble is specified.

It was clarified as follows.

- 1) In the repair works, there is a possibility that the surface resistance in the early days becomes outside the management standard range because this part becomes an insulating layer when an existing paint film cannot be completely removed. However, the anti-static performance is satisfaction with using the material that electro conductive is high for the undercoat material with the repair works.
- 2) Because the viscosity and the usable time of material by improving accelerating agent, finish properties on the surface of the flooring can be improved.

*1 技術研究所 *2 東日本塗料(株) 技術部

*1 Technical Research Institute *2 Engineering Department, Higashi Nippon Toriy Corp.

高耐久性を有する帯電防止床材・工法の開発

その5 改修工事における下塗り材の改良および性能評価

袴谷 秀幸^{*1} 板谷 俊郎^{*1}
三浦 勇雄^{*1} 戸舘 義二^{*2}
原田 悟^{*2} 野澤 順^{*2}

1. はじめに

半導体製造工場や電子機器組立工場などの生産施設では、さまざまな静電気障害が報告されており、このような静電気障害が予想される床材では、帯電防止性能が必須となっている。しかし、市販の帯電防止床材の耐摩耗性は低く、キャスターの走行などにより床材表面が損傷して、帯電防止性能を損なう例が報告されている¹⁾。

そこで筆者らは、さまざまな劣化外力に対して、十分な耐久性を持つ帯電防止床材の開発を行った。開発した床材に対して、床材としての基礎性能の確認や実際の工場での使用を模擬した促進劣化試験などを行い、開発した床材が、市販の床材と同等以上の性能を有していること、促進劣化後も十分な帯電防止性能を有していることを確認した²⁾。

また、いくつかの施工条件を模擬した環境下で帯電防止床の施工を行い、それぞれの初期性状を確認することで、施工時の温湿度が帯電防止性能に及ぼす影響を確認した³⁾。

以上のような実験結果を踏まえ、実現場での施工を行ってきたが、ある改修工事において、これまでの模擬施工などでは生じなかった仕上り面や初期帯電防止性能の不具合が発生した。

ここでは、これらの現象の原因を推定し、その対策として帯電防止床材の改良を行ったので報告する。

2. 帯電防止床材の構成

開発した帯電防止床材の基本構成を図-1に示す。本床材の材質は、水系エポキシウレア樹脂セメントモルタルに導電顔料を混入したものであり、下塗りと上塗りの2層塗りである。

材料は、基材（液体）、硬化材（液体）、粉体（固体）、硬化促進剤（液体）で構成されている。

施工にあたって、プライマーを必要とせず、一般の床材と比較して、作業工程が少ないことが大きな特徴の1つである。

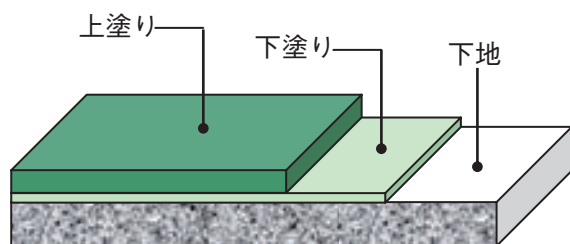


図-1 帯電防止床材の基本構成

3. 改修工事

3.1 改修工事の概要

不具合の起きた改修工事は、ある精密工場の作業室とそれに付随する小部屋で、施工面積は約28m×約13m＝約364m²であった。室内を仕切る壁や柱はほとんどないが、移動できない機器類が多数点在していたため、施工効率は一般の施工よりも低かった。なお、施工中の作業室内は空調管理が行われており、温度22℃～24℃であった。施工は2008年12月30日～2009年1月3日の5日間で行った。

3.2 改修工事の手順

改修工事は以下の示す手順で行った。

- ①機器の養生…作業室内には移動できない機器類が多くあったため、これらの機器には埃などが被らないようシートで養生を行った。
- ②既存塗膜の除去…既存塗膜は完全に除去することが基本であるが、今回は工期の問題から、すべての既存塗膜の除去は行わず、最も剥離の危険性の高いカーボン層までを撤去した（写真-1）。



写真-1 研磨機による既存塗膜の除去



写真-2 溝切りの状況

^{*1} 技術研究所 ^{*2} 東日本塗料（株）技術部

- ③溝切り…床材の反りの防止と帯電防止性能の向上のために、機器や側溝廻りに溝切りを行った。溝切りの幅は3mm程度、深さはコンクリート層までとし、溝切りの間隔は最大で4m程度とした(写真-2)。
- ④清掃…既存塗膜の除去、溝切り後に塗布面の清掃を行った。特に溝切り部に埃が残らないように、掃除機を用いて念入りに行った。
- ⑤練混ぜ…練混ぜは電動攪拌機を用いて行い、基材の一部が沈殿してダマにならないように、まずは基材のみを10秒程度攪拌し、これに硬化剤を加えて20秒程度、続いて硬化促進剤を加えて20秒程度攪拌した(写真-3)。硬化促進剤の量は規定量である3%とした。
- ⑥下塗り…練上がった材料を床面に撒き、金ゴテを用いて下塗りを行った(写真-4)。塗布量は約 $0.8\text{kg}/\text{m}^2$ とし、1セットあたりの施工面積(約 18.8m^2)をあらかじめ墨出しして、塗布量を管理した。
- ⑦上塗り…下塗りと同じように、金ゴテを用いて上塗りを行った。塗布量は約 $3.2\text{kg}/\text{m}^2$ とし、1セットあたりの施工面積(約 4.7m^2)をあらかじめ墨出しして、塗布量を管理した。
- ⑧養生の撤去、清掃…機器にかぶせた養生シートを撤去し、床面および機器の清掃を行った。



写真-3 練混ぜの状況



写真-4 下塗りの状況

4. 不具合の状況と要因の推定

4.1 不具合の状況

今回の改修工事では、これまでの室内実験や現場施工などではみられなかった不具合が生じた。以下にその概要を示す。

(1) コテむら、色むら、ざらつき

部分的にはあるが、床表面が平坦に仕上がらず、コテむらが残ってしまう箇所(写真-5)がみられた。また、今回の材料の色は白に近いグレーであったこともあり、材料中のカーボンが均一に分散していない部分では、白黒の濃淡が目立つ箇所もあった。このような色の差は、特にグレーチングに向かって傾斜がついているような箇所では顕著であった。この他にも、材料中の骨材が浮いて、ざらつきがあるような箇所(写真-6)がみられた。

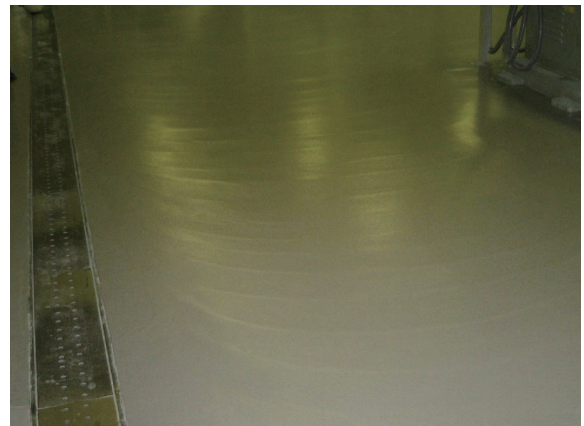


写真-5 コテむら

(2) 表面抵抗のばらつき

作業室の帯電防止床材の表面抵抗の変化を図-2に示す。なお、測定は約4m間隔のマス目上で行い、測定器には、絶縁抵抗計を用いた。

床材の表面抵抗には、場所によるばらつきがみられ、施工後10日までは、管理基準範囲($10^5 \sim 10^8 \Omega$)の上限値を超える値を示す箇所がみられた。施工後17日以降については、管理基準範囲となり、その後、表面抵抗は徐々に減少する傾向であった。しかし、場所によるバラツキは約1年後においても、存在した。



写真-6 表面のざらつき

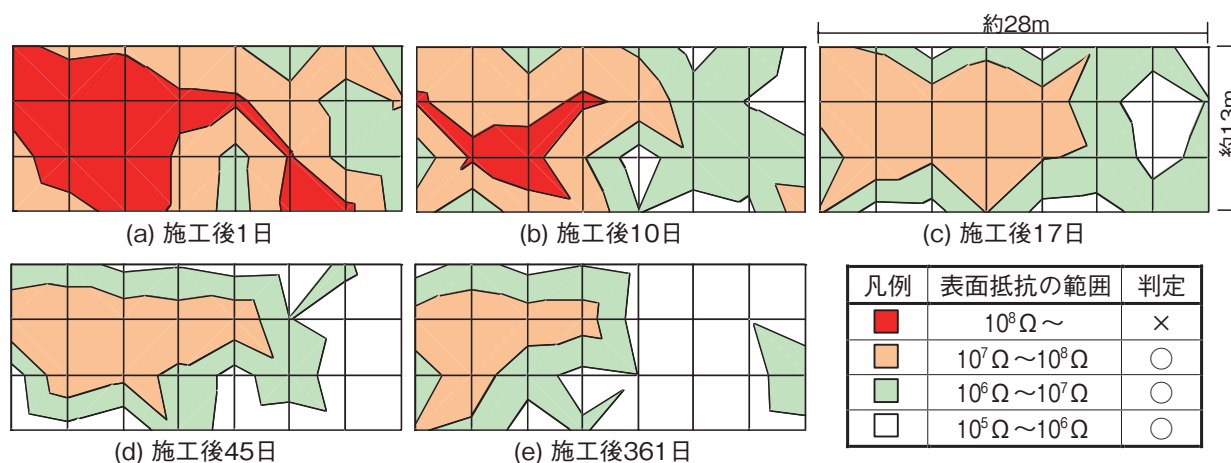


図-2 表面抵抗の経時変化

4.2 不具合の要因の推定

今回のような不具合を生じた主要因としては、以下の項目が考えられる。

(1) 材料の保管状態

施工時期が冬であり、施工前の材料を低温環境下で保管したため、練混ぜ時の粘性が高くなってしまった。このため、練混ぜ不足による導電材料の不均一から帯電防止性能のばらつきがみられたと推測される。また、粘性が高いことで施工性も悪くなり、コテむらや色むらなどが生じたと考えられる。

(2) 硬化促進剤の問題

硬化促進剤は硬化を促進する促進剤と材料の粘性を低下させる希釈剤を混合したものである。今回のように、低温で材料を保管し、材料の粘性が高い場合では、硬化促進剤の使用量を増やすことも考えられるが、促進剤の量が増えることで、材料の硬化時間が早くなり、ポットライフ（可使用時間）が短くなるという問題がある。このため、この硬化促進剤では、現場の気温条件に応じて、適切な粘性の材料に調整することが難しく、このために練混ぜ不足や施工性の低下を招いたと考えられる。



- 【凡例】 ① エポキシ樹脂系塗り床材
 ② エポキシ樹脂用導電プライマー
 ③ ビニルエステル樹脂系塗り床材
 ④ ビニルエステル樹脂用導電マット
 ⑤ 着色顔料+着色顔料用プライマー

写真-7 既存塗膜の状況

(3) 既存塗膜の除去状態

今回の改修工事を行った工場では、何度も床材の改修が行われていたために、既存塗膜の膜厚が10mm以上にもなっていた（写真-7）。このため、与えられた工期では既存塗膜のすべてを除去することが困難であり、最も剥離の危険性の高いエポキシ樹脂用導電プライマー（写真-7の②）まで除去を行った。しかし、除去が一樣ではなく、表面が凸凹になっているような箇所では、今回施工した床の膜厚が薄くなった部分もあり、このような部分では、骨材が表面にあらわれて、ざらつきとなったと考えられる。

また、既存塗膜を完全に除去できなかったため、この部分が絶縁層となり、表面抵抗が管理基準範囲となるまでに時間を要した。

4.3 帯電防止床材への要求性能

改修工事の場合、工期が短く、既存塗膜を完全に除去できないことも少なくない。また、施工後数日で建物を使用するケースが多い。このため、絶縁層の上に帯電防止床を施工した場合においても、施工直後の帯電防止性能が基準を満足することが望まれる。

また、施工前の材料を保管する環境は、現場や季節によって大きく異なり、低温や高温での保管も想定される。したがって、材料の保管温度に関わらず、材料の粘性を調整できるような工夫も必要である。

5. 帯電防止床材・工法の改良

5.1 硬化促進剤の改良

硬化促進剤を床材の硬化を促す促進剤と、練混ぜ時や施工時の粘性を低減させる希釈剤の2つに分け、現場の環境に応じて、両者の使用量を調整できるようにした。

また、これまでは、練混ぜ時の材料の粘性が高くなるのを防止するために、主材と硬化材を混ぜた後に促進硬化剤投入していたが、促進剤を練混ぜの一番最後とすることで、ポットライフに余裕ができ、材料の硬化による施工性の低下を低減することが可能となった。

5.2 スパイクローラーの使用

硬化促進剤の改良により、材料の施工性は向上し、コテむらや色むら、表面のざらつきが生じる可能性は軽減したが、下地の状況や施工する人間の技量によっては、これらの不具合が起きる恐れはあると思われる。そこで、コテ塗り後にスパイクローラーを使用することで（写真－8）、コテ塗りだけの場合よりも、平坦で色むらなく仕上がることを確認した。

5.3 下塗り材の改良

改修工事において、既存塗膜が完全に除去できないような状態でも、初期の表面抵抗が管理基準範囲を満足するために、これまで開発してきた帯電防止床材（以下、従来品と呼ぶ）よりも導電性が高い下塗り材とすることで、床材全体の帯電防止性能を向上させ、初期における帯電防止性能が管理基準範囲を満足するように改良した（以下、改良品と呼ぶ）。なお、絶縁層の上に下塗り施工した場合、施工の翌日の表面抵抗は、従来品で $10^9 \sim 10^{10} \Omega$ 程度であるのに対し、改良品では $10^7 \sim 10^8 \Omega$ 程度であった。また、改良品の材料を上塗りに使用できない理由としては、改良品は発色性が悪く、色むらができやすいため、上塗り施工には従来品を用いた。

6. 模擬施工

6.1 実験概要

(1) 既存塗膜の作製

改良品の性能を確認するために、実際の補修工事を模擬した施工実験を行った。

実験は、コンクリート上に通常のエポキシ樹脂塗料を塗布し絶縁層を設けた。この上に従来品を施工し、これらを既存塗膜として実際の工場の状況を再現した。

(2) 改良品の施工

作製した既存塗膜を完全に除去しない状態で、表－1に示す条件で帯電防止床材を施工した。なお、ここに示した塗布量とは上塗りの使用量を示し、 3.2kg/m^2 が標準使用量である。 2.7kg/m^2 、 2.1kg/m^2 は、塗り厚が薄くなった状況を想定して施工を行った。模擬施工は屋外に設置したテント内で行い、施工時期は2007年3月上旬および6月下旬とした。

6.2 評価項目

(1) 表面状態の観察

床材の表面に、コテむら、色むら、ざらつきなどがないか、目視により観察した。

(2) 表面抵抗の測定

改良品の施工直後からの各施工条件における表面抵抗を経時的に測定した。表面抵抗の測定には、絶縁抵抗計を用い、3ヶ所の平均を測定値とした。なお、今回の測定に用いた絶縁抵抗計の測定可能範囲は $1 \times 10^4 \Omega \sim 5 \times 10^{11} \Omega$ であり、床材との接触端子には $\phi 60\text{mm} \times$ 高さ約 90mm で重さ 2.1kg の金属電極を用いた。



写真－8 スパイクローラーがけ

表－1 模擬施工の施工条件

記号	材料	散布量 ^{*1}	ローラー ^{*2}
施工 A	改良品	3.2kg/m^2	あり
施工 B			なし
施工 C		2.7kg/m^2	あり
施工 D			なし
施工 E		2.1kg/m^2	あり
施工 F			なし
施工 G	従来品	3.2kg/m^2	あり

※ 1：上塗りの使用量（ 3.2kg/m^2 が標準使用量）

※ 2：スパイクローラーの使用の有無

表－2 各施工条件の表面状態

記号	材料	散布量 ^{*1}	ローラー ^{*2}
施工 A	○	○	○
施工 B	×	△	○
施工 C	○	○	○
施工 D	△	△	△
施工 E	○	○	○
施工 F	△	△	×

○：良い、△：少し目立つ、×：目立つ

6.3 実験結果

(1) 表面状態

各条件の硬化後の表面状態を表－2に示す。

スパイクローラーを使用していない施工条件（施工 B、施工 D、施工 F）では、表面状態に不具合が起こる可能性が高く、塗布量が多い場合にはコテむらが、塗布量の少ない場合にはざらつきが部分的にみられた。

一方、スパイクローラーを使用した施工条件（施工 A、施工 C、施工 E）においては、コテむら、色むら、ざらつきなどは認められず、表面の仕上がりが改善されたことを確認できた。

(2) 表面抵抗の経時変化

模擬施工における表面抵抗の経時変化を図－3に、模擬施工時の温度データを表－3にそれぞれ示す。

3月施工の施工 A（改良品）と施工 G（従来品）とを比較すると、施工 G では、施工直後に $6.3 \times 10^8 \Omega$ と高い表面抵抗を示し、管理基準範囲内となるまでに施工後 21 日程度の時間を要した。これに対し、施工 A では施工直後に $1.2 \times 10^8 \Omega$ とわずかに管理基準範

囲外ではあったが、施工後3日では、 $9.9 \times 10^7 \Omega$ と管理基準範囲を満足する結果となり、下塗り材に導電性の高い材料を用いることで、初期の帯電防止性能を向上できることが確認できた。

また、施工Aにおける3月施工と6月施工を比較すると、6月施工は施工直後から $10^7 \Omega$ 程度の低い表面抵抗を示した。従来品において、施工温度が 30°C 程度となると、帯電防止性能の発現性が早くなることが既報4)で確認できており、改良品でも同様に、施工場所の温度の影響を受けると考えられる。一般に、改修工事の場合は、施工場所は空調により温度管理が行われているケースが多いが、温度管理が行われない場合、特に施工時の平均温度が 10°C 以下には、改良品を用いたとしても、管理基準範囲を満足するには数日の期間を要するため、適切な養生を行うことが必要である。

7. 現場適用

模擬施工の結果を踏まえ、実際の現場で改良品による補修工事を行った。施工は2008年9月下旬に行い、施工面積は約 10m^2 程度であった。

補修工事後の床材の表面状態は良好であり、硬化促進剤の改良およびコテ塗り後のスパイクローラー使用によって、表面状態が改善されていることを確認できた。

また、補修工事における表面抵抗の経時変化を図-4に示す。ここで、測定は8ヵ所行い、その平均値を求めた。なお、各測定における変動係数は $0.22 \sim 0.27$ であった。

本補修工事では、施工後7日から $3.0 \times 10^6 \Omega$ と低い表面抵抗を示した。この要因の一つとしては、この現場は空調により常時 $22 \sim 24^\circ\text{C}$ に管理されており、帯電防止性能の発現性が良好であったことが考えられる。

8. まとめ

ここでは、帯電防止床の改修工事を行った際に生じた不具合の要因を推定し、開発した帯電防止床の改良を行った。

その結果、以下のことを確認した。

- ①促進硬化剤の改良およびコテ塗り後にスパイクローラーを使用することにより、コテむらや色むら、ざらつきを大幅に軽減できる。
- ②導電性の高い材料を下塗り材に用いることで、改修工事においても初期の帯電防止性能は管理基準範囲を満足する。
- ③改良した帯電防止床材の帯電防止性能の発現性は、施工場所の温度の影響を受ける。

このように、改修・補修工事においては、施工後すぐに所定の性能が発揮されることが望まれるが、市販の帯電防止床材では、性能を発揮するまでに3～4週間程度の時間を要してしまうため、本開発品を用いることが有効である。

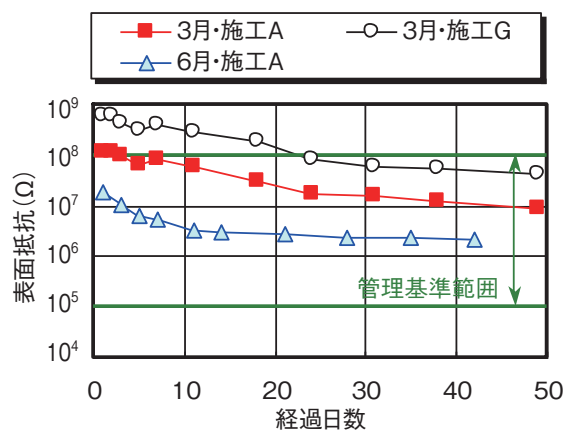


図-3 模擬施工における表面抵抗の経時変化

表-3 模擬施工時の温度データ

項目	3月施工		6月施工	
	1～7日	8～14日	1～7日	8～14日
平均値	12.0℃	11.9℃	21.5℃	25.9℃
最大値	28.1℃	27.1℃	31.2℃	34.8℃
最小値	4.6℃	1.2℃	16.2℃	20.2℃

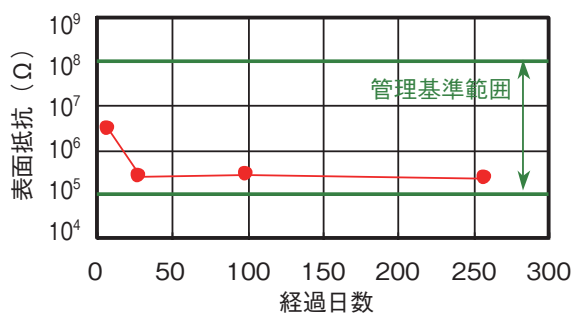


図-4 補修工事における表面抵抗の経時変化

今後は、コスト低減を目的とした薄塗りタイプの開発や補修工事を円滑に行うための塗膜の除去方法の検討などを行う予定である。

【参考文献】

- 1) 板谷他：「塗り床材の不帯静電性の評価に関する実験的研究」日本建築学会大会学術講演梗概集A-1(近畿), pp.1045-1046, 2005.09
- 2) 三浦他：「環境対応型帯電防止床材・工法の開発(その1～その3)」日本建築学会大会学術講演梗概集A-1(関東), pp.1045-1050, 2006.09
- 3) 三浦他：「環境対応型帯電防止床材・工法の開発(その4～その5)」日本建築学会大会学術講演梗概集A-1(九州), pp.741-744, 2007.08
- 4) 袴谷他：「環境対応型帯電防止床材・工法の開発(その6)」日本建築学会大会学術講演梗概集A-1(中国), pp.325-326, 2008.09