塗床における下地凹凸と床表面凹凸発生との関係および 下地凹凸許容量設定の可能性に関する基礎的検討

FUNDAMENTAL STUDY ON A RELATION BETWEEN UNEVENNESS OF SUBSTRATUM AND THAT OF COATING FLOORS SURFACE, AND POSSIBILITY ABOUT ESTABLISHING AN ALLOWABLE LIMIT OF UNEVENNESS OF SUBSTRATUM

小野英哲*, 竹田智英**, 高橋宏樹***

Hidenori ONO, Tomohide TAKEDA and Hiroki TAKAHASHI

This is the fundamental study about the unevenness of coating floors surface caused by that of substratum.

First, 9 substratum boards each having 12 holes with different size (depth and diameter) as unevenness of substratum were coated with 3 kinds of coating floors materials in 3 kinds of thickness.

Second, the depth (or height) of each surface unevenness grown on coating floors were measured and relation between depth and size of holes of substratum were discussed.

Finally, an allowable limit of unevenness of substratum to make surface of coating floors even was established as an example.

Keywords : coating floors, unevenness, substratum, thickness

塗床, 凹凸, 下地, 塗厚

1 序

塗床においては、硬化前の塗床材料自体が持つセルフレベルリング性により、下地に多少の凹凸があっても平滑な床表面が得られると考えられがちである。しかし、実際には床表面に凹凸が発生し、様々な問題を誘発する原因となっているのではないかと、この疑問も提起されている。

一方、下地凹凸と床表面凹凸発生とに関する客観的知見は、凹凸が発生する、発生しないなどの段階をも含めて十分ではなく、塗床に対するより精緻な表面精度が要求される現在、基礎的段階からの知見の集積が必要とされている。

本研究は、塗床における下地凹凸と床表面凹凸発生との因果関係を定性的に明らかにするとともに、発生する凹凸の不都合さおよび下地凹凸の許容量の設定の可能性に関して基礎的検討を行ったものであり、一部は日本建築学会大会に報告している¹⁾。

2 本研究の目的および範囲

本研究のおもな目的はつぎの二つである。

◎下地凹凸が床表面凹凸発生および凹凸の程度に影響を与えるか否かを確認すること。

◎床表面凹凸の不都合さの程度を尺度化することが可能かどうか、また不都合さと下地凹凸との関係を把握できるかどうか、さらに両者の関係から下地凹凸の許容量を設定できるかどうかの可能性を確認すること。

それ故、下地凹凸の形状、寸法、塗床の種類、施工方法、施工時の環境条件、不都合さの観点などに関しては、確認する上で必要最小限に単純化することとし、実際との厳密な対応、さらには凹凸発生メカニズムの究明などは本研究の結果をもとに次の段階で綿密に検討することとする。

下地凹凸と床表面凹凸発生とに関する客観的知

* 東京工業大学工学部建築学科 教授・工博

** 東京工業大学工学部建築学科 大学院生

*** 東京工業大学工学部建築学科 助手・体育修

Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.
Graduate Student, Dept. of Architecture and Building Engineering, Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology.
Research Assoc., Dept. of Architecture and Building Engineering, Faculty of Engineering, Tokyo Institute of Technology, M. Phys. Educ.

見が全く公表されていない状況で、基礎的とはいえ本研究の目的を達成することは、下地の表面精度の重要性の確認および塗床の表面精度の向上策検討のために十分有意義であると考ええる。

以上から、本研究で対象とする下地凹凸は、例えばコンクリート下地における鍔むら、タンピングむら、押さえむら、下地板類におけるそり、波うち、欠損、などの局部的な凹凸をモデル化したものとし、塗床材料および施工方法は一般的なものとする。なお、うねり、不陸、撓み、などで表現される大きな広がりをもつ下地の非平坦性に関しては、下地の表面精度以外に下地としての構造上の問題なども加味されると考えられるので、本研究の段階では研究の対象外とする。

また不都合さの観点としては、最も一般的でかつ誰もが認識できる観点のなかから、代表的な一つを取り上げることとする。

3 既往の研究

塗床表面凹凸発生に関する知見として、ふくれ、はがれなどについては数多く公表されているが、下地凹凸と床表面凹凸発生との関係を究明した例は公表されていない。また、床表面凹凸の測定方法は種々提示されているが、凹凸を評価する妥当性のある客観的な指標はこれまで提示されているとはいえない。

4 研究方法の概要

研究方法の概要はつぎの通りである。

- (1) 下地凹凸と床表面凹凸発生とに関する実験的検討
 - (イ) 凹凸を設けた下地試料を作成し塗床を施工する。
 - (ロ) 塗床の硬化後、床表面凹凸発生を確認するとともに、凹凸を測定する。
 - (ハ) 床表面凹凸と下地凹凸、塗厚などとの対応を検討する。
- (2) 床表面凹凸の不都合さの尺度化および下地凹凸の許容量設定の可能性の検討
 - (イ) 床表面凹凸についてあるひとつの観点からの評価尺度の構成を試みるとともに、評価尺度と床表面凹凸との関係から、床表面凹凸の限界値の設定を試みる。
 - (ロ) 床表面凹凸の限界値に対応する下地凹凸の許容量の設定を試みる。

5 下地凹凸と床表面凹凸発生とに関する実験的検討

5.1 塗床の選択

我が国において一般的に用いられる塗床には、有機材料系としてウレタン樹脂系、エポキシ樹脂系、ポリエステル樹脂系、メタクリル樹脂系、アクリル樹脂系などが、無機材料系としてセメント系などが挙げられ、床の用途、要求される性能などに応じて選択、施工されている。本研究の段階では塗床ごとの差を究明することを目的とはしていないので、これらのうち最も代表的とされているエポキシ樹脂系、ウレタン樹脂系、メタクリル樹脂系の3つの単層の塗床で、表1に示すように、ごく一般的な仕様をもつものを対象とすることとした。

なお下地平坦部における塗厚としては1, 2, 3mmの3種を設定した。

5.2 下地試料の設定

一般的に塗床はコンクリート下地や鋼板あるいは合板下地に施工されることが多いが、水や気泡の侵入などの凹凸以外の要因を排除すること、塗床施工時の撓み、そり発生などに対し十分な剛性を有しかつ加工性に優れていること、塗床材料との化学反応が生じないことなどの理由から、塗床を施工する下地材料として500mm×500mm×15mmの平坦なアクリル板を用いることとした。

図1に下地試料の概要を示す。

表1 塗床材料の仕様

	収縮率	硬化時間	色	光沢度 (実測値)
エポキシ樹脂	1.61% (容積)	12時間 (歩行可能)	淡緑色	85.1
メタクリル樹脂	0.10% (容積)	30~55分 (歩行可能)	黄色	16.7
ウレタン樹脂	0.94% (線)	12時間 (指触可能)	淡黄色	54.8

*樹脂はすべて2液混合型、光沢度は60°鏡面光沢度
光沢度以外はカタログから引用

図1 下地試料の概要

下地試料の凹凸はアクリル板に設ける凹部によって具現することとし、予備実験さらには実際の下地の観察結果などを踏まえて、凹部の直径は20, 30, 40mmの3種、深さは各々の直径につき2, 6, 9, 12mmの4種、計12種とした。また凹部間の間隔および下地試料の端部から凹部までの間隔が床表面凹凸の発生に影響を与えないように、凹部間の間隔は中心間で90mm以上、端部より凹部中心までの距離は115mmとした。また各凹部の配置は、施工時の不規則性を確保するために図1に示すように不規則なものとした。

以上のように設定したアクリル板の周囲には、塗厚と同じ高さの当て板を設け、総計9枚（塗床3種×塗厚3種）の下地試料を設定した。

5.3 塗床の施工

塗床の施工においては、通常プライマーを塗布して下地の表面を調整するが、本研究の下地はアクリル板のため調整の必要がないことから、プライマー処理はせず、3種の塗床を代表的な工法である流し展べ工法により下地試料に直接施工した。具体的には塗厚の基準となる当て板よりあふれる量の樹脂を流し込み、当て板の高さで均すこととした。なお技能の差異による施工むらを極力防ぐために、全試料を一人の優れた技能工により施工した。施工は屋内で、温度、湿度はそれぞれ $18.0^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 、 $46\% \pm 1\% \text{RH}$ である。

5.4 塗床施工後の経過

施工直後は各塗床試料とも表面は平坦で凹凸の発生は視覚では認められず、塗床材料のセルフレベルリング性が確認された。しかし硬化に伴い、写真1に示した例のように、各塗床試料表面に下地試料の凹部と同様の形状をもつ円形の凹凸を生じた。なお各塗床試料とも下地試料に凹部のない箇所には凹凸が生じなかった。

以下に各塗床ごとの硬化の経過を視覚により観察した結果の詳細を記す。

エポキシ樹脂系塗床試料の場合は、施工後1時間程度から下地試料の凹部上に凹を生じ始め、以後凹は消えることなく硬化した。

写真1 硬化時の床表面凹凸発生状況例
(メタクリル樹脂 塗厚1mmの場合)

メタクリル樹脂系塗床試料の場合は施工数分後からエポキシ樹脂系塗床と同様に凹を生じ始め、凹を残したまま硬化した。また両者の場合ともに下地試料の凹部の深い箇所から凹を生じ始めたことが視覚的に確認されたが、凹部の深さが同じであれば凹の生じ始める時間に塗厚による大きな差は認められなかった。

ウレタン樹脂系塗床試料の場合は、施工直後から樹脂の攪拌時に混入したとみなせる小さな気泡痕が塗床試料表面全体に生じ、さらに一時間程度経過後から下地試料の凹部上に凸を生じ、そのまま硬化した。

5.5 下地凹凸と床表面凹凸発生とに関する基礎的考察

5.5.1 床表面凹凸の測定

下地試料凹凸と床試料表面凹凸とのおおよその関係を検討する目的で、硬化終了後の塗床試料表面に発生した凹凸の断面形状をレーザー変位計を用いて測定することとした。図2に測定状況の概要を示す。レーザーの水平方向の移動速度は10cm/s、照射距離は5cmとし、得られたアナログデータをサンプリング周波数1000Hzでデジタル化し解析に供した。

なお測定は図2に示すように下地試料の凹部の中心を通る直線に沿って行った。

得られた床表面凹凸の断面形状を示す曲線の例を図3に示す。得られた曲線には本研究の段階では不必要と考

図2 床表面凹凸の測定状況の概要

図3 床表面凹凸の断面形状曲線の例

えられる微少な凹凸があるため、以下の手順により単純化して塗床試料表面凹凸量を求めることとした(図3参照)。

- (1) 塗床試料表面凹(凸)部の両側の中心線①・②を求め、両者の中間の線を③とする。
- (2) 凹(凸)部底部の中心線④を求める。
- (3) ③と④との距離dを凹(凸)量とする。

なお中心線は、凹凸の形状を示す曲線のうち、取り出した区間の面積をほぼ等分する直線とした。

以上本項で定義した塗床試料表面凹(凸)量は、本研究の目的の範囲においてのみ有効であり、凹凸全体に対し、普遍しようとしているものではないことを付記する。

5.5.2 考察

図4に床下地凹量、塗厚、および凹部直径と塗床試料表面凹凸量との関係を示す。なお図において負(－)はへこみ(凹)を正(＋)はふくれ(凸)を意味する。

図4(A)から、エポキシ樹脂系塗床、メタクリル樹脂系塗床では、凹部の深さに比例して凹量が増加する傾向が明瞭にうかがえる。このことから、硬化時の樹脂の収縮により凹が発生することが想定できるが、表1に示すカタログに示されている収縮率の大小との関係は希薄であることも明確といえる。

一方ウレタン樹脂系塗床では、凹部の深さに比例して

絶対値は小さいが、凸量が増加する傾向が明瞭にうかがえる。理由としてウレタン樹脂系塗床の場合には気泡が抜けづらい性質があるため、施工時に混入した気泡が硬化時に抜けきれず、さらに硬化熱で膨張し塗床試料表面が膨れたものと想定できる。なお単層のウレタン樹脂系塗床の塗厚は通常約3mmが限界と言われているが、本実験でも下地試料の凹部で総塗厚が3mmを越えた箇所に明確に膨れを生じ、その他の部分には膨れを生じていないことから、通常認識されているウレタン樹脂系塗床の塗厚の限界が確認されたともいえる。

図4(B)から、エポキシ樹脂系塗床、メタクリル樹脂系塗床では、凹量に塗厚による明確な差は認められないことがわかる。ウレタン樹脂系塗床では塗厚の増加に伴い凸量がわずかに減少する傾向は見受けられるが、凸量が大きくても0.153mmであり凹量の場合と比べて非常に小さいことを考慮すると、明確な傾向とはいえない。以上から塗厚を厚くすることで下地凹凸によって発生する床表面凹凸量を小さくすることは期待できないといえる。

図4(C)から、メタクリル樹脂系塗床では、凹部直径が小さいほど凹量が大きくなる傾向がわずかにみられるが、エポキシ樹脂系塗床とウレタン樹脂系塗床では、両者に明確な関係はみられないことがわかる。従って下地の凹部直径とは無関係に、床表面に凹凸が発生するとい

える。

以上より塗床では、下地凹凸の影響を受け塗床表面凹凸が発生することを確認できたといえる。つまり塗床は従来から言われてきているように、硬化前にはセルフレベルリング性を有する材料の効果で平坦な表面を保持するが、下地修正の如何に関わらず下地に凹凸が存在する場合は、硬化後の床表面に凹凸が生じることが明白であり、改めて下地の仕上げ精度の重要性が確認できたといえる。また、塗厚を厚くすることで床表面凹凸量を小さくすることはできないこと、床表面凹凸は下地凹凸の平面上の大きさに関係なく発生するこ

図4 床下地凹量、塗厚、凹部直径と塗床表面凹凸量との関係

と、さらに下地の凹部の深さと床表面凹凸量との間には比例的関係があることなど、単純な下地凹凸を対象とした場合の実験結果ではあるが、これまで明らかにされていない、いくつかの重要な知見が得られたと考える。

なお 5.5.2における考察事項は厳密には本研究で設定した範囲でいえることを付記する。

6 下地凹凸許容量設定の可能性の検討

6.1 許容量の必要性

床表面に生じる凹凸を施工後に修正することは、様々な点で効率が悪いだけでなく、実際には非常に困難であるといえる。ここであらかじめ床表面に要求される平滑さの精度、すなわち床表面凹凸の限界値が設定でき、設定した限界値以上の凹凸を発生させないために必要な下地凹凸の許容量が設定できれば、下地凹凸に起因する床表面凹凸発生の問題をより効率よく解決できると考えられる。

以上の観点から本項では、作成した塗床試料および5.で得た知見を用いて、ある目的に対して限界となる凹凸以下に床表面の平滑性を保持するために必要な下地凹凸の許容量の設定をその可能性をも含めて試みることにした。

6.2 床表面凹凸の評価の観点の設定

床表面凹凸に起因する問題として、美観（見た目）の低下、清掃性の低下、キャスター走行性などの低下、局部磨耗を含む損傷の増大などが挙げられるが、本研究では身近でかつ最も重要な問題のひとつといわれる、見た目の観点からの評価を一例として試みることにした。

6.3 床表面凹凸の評価に関する検査

6.3.1 試料の設定および検査方法

4.で作成した9枚の塗床試料を用い、ひとつの塗床につき36個、計108個の塗床試料表面凹凸を検査試料とすることとした。

検査における凹凸観察条件の概要を図5に示す。図に示した条件は床の凹凸が最も目立つ観察条件のひとつとして、著者らの一部による既往の研究成果をもとに設定した²⁾。なお本研究の段階においては、観察条件を最も目立つ条件とする必然性はなく、一定の条件であればよいことを付記する。

検査手法は絶対判断による系列範ちゅう法とし、塗床試料を一枚づつ検査員に提示し、各凹凸ごとに凹凸の気になる程度を表2に示した判断範ちゅうを用いて口頭で答えさせることとした。

検査員は21歳から32歳までの正常な視力を有する成人男女10名とした。

なお検査は室温 $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度 $50\% \pm 5\% \text{RH}$ に設定した検査室で行った。

6.3.2 検査結果および考察

検査結果の解析にあたり、塗床試料の種類ごとに表面の光沢、色に違いがあるため、塗床試料の種類ごとに解析することとした。検査の分散分析結果を表3に示す。

エポキシ樹脂系塗床、メタクリル樹脂系塗床では主効果および個人差の分散比はともに危険率1%で有意であるが、個人差と比較して主効果の分散比および寄与率がきわめて大きいことから、本研究で用いた試料は十分に差異のある刺激を与えていること、検査員には共通の判断基準が存在していることなどが明白で、検査方法を含め見た目の判断を求める検査として有効であったといえる。

一方ウレタン樹脂系塗床では寄与率は主効果、個人差ともに有意であるが、主効果と比較して個人差の分散比の方が大きいこと、寄与率の値に明瞭な差のないことがわかる。主な原因として、検査に用いたウレタン樹脂系塗床の凸量が $0\text{mm} \sim 0.153\text{mm}$ と小さく、かつ塗床表面全

図5 床表面凹凸観察条件の概要

表2 検査条件の概要

構成する尺度	凹凸量評価尺度
尺度構成手法	系列範ちゅう法
判断範ちゅう	視覚的観点からこの試料の凹（凸）は、 7. 非常に気になる 6. _____ 5. かなり気になる 4. _____ 3. やや気になる 2. _____ 1. 全く気にならない
検査員	成人男女10名

表3 分散分析結果

		分散比	寄与率(%)
エポキシ樹脂	主効果	31.22	66.64
	個人差	19.94	10.74
メタクリル樹脂	主効果	55.28	77.00
	個人差	24.16	8.45
ウレタン樹脂	主効果	9.95	37.40
	個人差	19.39	19.75

*分散比はすべて危険率1%で有意

体に小さな気泡によるあれが発生しているため、検査員が凸の気になり具合に関して、十分に差異のある判断を下すことができなかったことが考えられる。

以上よりエポキシ樹脂系塗床、メタクリル樹脂系塗床の見た目の評価に関する尺度のみを尺度構成理論³⁾に基づいて構成し、以降エポキシ樹脂系塗床とメタクリル樹脂系塗床を例として、下地凹凸の許容量設定の可能性を検討することとした。

6.4 下地凹凸許容量設定の可能性に関する基礎的考察

図6に構成した評価尺度と塗床試料表面凹量との関係を示す。全体として塗床試料表面凹量の増加に比例して評価が低くなることが明確にわかる。つまり、塗床表面凹凸量と不都合さの程度との定量的関係を求めることの可能性を確認できたといえる。

さらに例えばエポキシ樹脂系塗床では、図6に一点鎖線で示すように仮に判断範ちゅう③の“やや気になる”を塗床試料表面凹量の見た目の許容限界とした場合、塗床試料表面凹量の限界値は約0.1mmと推定できる。ここで5.5.2に示した図4(A)を用いて、一点鎖線に示すように塗床試料表面凹量を0.1mm以下に抑えるには、下地試料の凹部の深さを約6mm以下にすればよい、つまり許容量は6mmであると推定できる。

*○の数字は表2に示す判断範ちゅうを示す

図6 評価尺度と床表面凹量との関係

同様にメタクリル樹脂系塗床の場合、塗床試料表面凹量の限界値は図6より約0.4mmと推定でき、図4(A)より下地試料の凹部の深さの許容量は約3mmと推定できる。

なお上述の考察は可能性の検討を主眼としているため図4(A)、図6における中心傾向を用いて行ったが必要であれば同様の方法で任意のばらつきをも含めて行えることを付記する。

以上より、見た目の観点から下地凹凸許容量を設定できる可能性があることを例示できたと考える。また本研究で示した手法を応用することで、様々な性能項目ごとに下地凹凸の許容量を設定できる可能性を示したといえる。

なお本研究でも基本的に明らかにしたとおり、下地凹凸量と、床表面凹凸量の関係は樹脂により異なること、評価の観点によっては床表面凹凸に対する評価が色、光沢、かたさなどの凹凸以外の要因によっても左右されることが考えられることなどの理由から、実際の下地凹凸の許容量は、厳密には塗床の種類ごとに設定されるべきであり、さらに凹凸以外の塗床表面の諸性状をも加味した設定がなされるべきといえる。

7 結

塗床においては下地凹凸の影響を受け表面に凹凸を生じると考えるべきであること、また下地凹凸と床表面凹凸との間には相関関係が認められることを明らかにした。

さらに床表面凹凸の限界値が要求される性能項目および性能の程度との関連の中で、何らかの方法で設定できれば、下地凹凸の許容量を設定できることの可能性を示した。実際の塗床を対象とした場合、単純化した本研究の成果、特に絶対量に関してはさらなる厳密な検討を必要とするが、塗床の精緻化の要求が早急な現状において、本研究の成果が床表面凹凸に大きな影響を与える下地の表面精度のあり方の検討の基礎的な知見となることを望みたい。

むすびに当たり、塗床の実情に関して貴重な情報を提供していただいた日本塗床工業会の皆様、さらに資料の提供、塗床の施工にご協力をいただいた島建材株式会社の皆様に謝意を表します。

参考文献

- 1) 竹田智英, 小野英哲, 高橋宏樹: 塗床表面に生じる凹凸と床下地の凹凸との関係の基礎的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集A, pp. 615~616, 1993年9月
- 2) 小野英哲, 柳澤忠義, 三上貴正, 横山裕, 高木直: 視覚的観点からみた建築物床仕上面の凹凸の評価方法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集A, pp. 717~718, 1987年9月
- 3) J. P. Guilford著, 秋重義治監訳: 精神測定法, 培風館, 1969年

(1994年2月10日原稿受理, 1994年8月5日採用決定)