塗り床の耐動荷重性とコンクリート床下地の表層部品質の関係

RELATIONSHIP BETWEEN DURABILITY AGAINST DYNAMIC LOAD OF RESIN FLOOR COATING AND SURFACE LAYER QUALITY OF SLAB CONCRETE

藤井 佑太郎^{*1}, 高山 博樹^{*2}, 福田 眞太郎^{*3}, 横山 裕^{*4}*Yutaro FUJII, Hiroki TAKAYAMA, Shintaro FUKUDA
and Yutaka YOKOYAMA*

Resin floor coating is used for such as logistics facilities. However, those floors could be subjected to great complicated load. Due to the load, the cases are reported that the problems with the floors occur. Durability against dynamic load of resin floor coating is strongly affected by surface layer quality. In this study, the relationship between durability against dynamic load of resin floor coating and surface layer quality is considered. As a result, it is proved that preparation of slab by the way shown in this study and securement of appropriate layer intensity could decrease the possibility of primary problems.

Keywords: Resin floor coatings, Durability against dynamic load, Slab concrete, Surface layer quality, Surface strength, Peeling

塗り床, 耐動荷重性, コンクリート床下地, 表層部品質, 表面強度, 剥離

1. はじめに

コンクリート床下地上に高分子系の塗り床材を塗って仕上げる“塗り床”は、一般に機械的特性に優れていることから、大きな機械的負荷がかかる物流施設や生産施設などの床に広く普及している。これらの施設の床には、搬送車など、床上の機器の動作による動荷重が頻繁に作用する。これらの動荷重の大きさ、性状は、機器の重量化および高機能化にともない、より増大かつ複雑化する傾向にある。また、機器の自動化にともない、同じ場所で繰り返し作用することも、特徴として挙げられる。したがって、これらの機器が使用される床では、想定される動荷重に対し十分な耐久性を有する塗り床材を選定する必要があるが、塗り床の耐久性には床下地の表層部品質が影響するため、所期の性能を発揮するためには、施工時における床下地の表層部品質の確保も重要となる。特に、剥離などの不具合が供用開始後すぐに発生した場合、明らかな施工上の問題と捉えられ、クレームなどにつながるものが容易に予想される。しかし、塗り床の動荷重に対する耐久性(以降“耐動荷重性”と記す)と床下地の表層部品質の関係を検討した例は少なく、不具合発生を未然に防ぐための基礎的な知見が不足している。

本報は、搬送車などのキャスターによる動荷重を対象に、塗り床

の耐動荷重性と塗り床材施工時の床下地の表層部品質の関係について、施工方法を種々変化させて作製した床下地を用いて実験的に検討した経過、結果を述べるものである。

2. 目的、範囲

本研究は、物流施設や生産施設などの床に一般的に用いられている塗り床を対象に、繰り返し作用する動荷重により供用開始後比較的早い段階で発生する不具合と床下地の表層部品質の関係を把握し、初期不具合防止の観点から床下地に要求される表層部品質を、それを具現するための施工方法とともに提示することを目的とする。

本研究で対象とする動荷重は、物流施設や生産施設などの床に作用する代表的な動荷重の1つであり、かつ塗り床にとって過酷と思われる、搬送車などのキャスターが曲折する際の動荷重とする。また、床下地の施工方法については、コンクリート打ち込み後の上面仕上げ作業およびその後の養生の方法に加え、塗り床材の施工前に表面の脆弱層の除去や目荒らしなどの目的でしばしば行われるポリッシュ掛けの影響についても検討する。

^{*1} 東京工業大学環境・社会理工学院建築学系 研究員・博士(工学)

^{*2} 当時、東京工業大学環境・社会理工学院建築学系 修士(工学)

^{*3} 東京工業大学環境・社会理工学院建築学系 助教・博士(工学)

^{*4} 東京工業大学環境・社会理工学院建築学系 教授・工博

Researcher, Dept. of Architecture and Building Eng., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.
Dept. of Architecture and Building Eng., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, M.Eng.
Assist. Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.
Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

3. 既往の研究

塗り床の耐動荷重性と床下地の諸品質との関係を検討した研究例として、三上、坂井ら^{2),3)}および横山ら⁴⁾が挙げられる。

三上、坂井らは、独自に開発したキャスト走行式載荷装置を用い、塗り床の剥離の発生しにくさの程度、すなわち耐剥離性と、床下地に用いたモルタルもしくはコンクリートの圧縮強度(φ5×10cmもしくはφ10×20cmの円柱供試体にて測定)、床下地の表面強度(5.2で述べる引っかき試験器にて測定)、表面粗さ、および塗り床材施工後の接着引張強度、剥離接着強度との関係を詳細に検討している。その結果、耐剥離性と接着引張強度、剥離接着強度の関係は希薄であることを指摘するとともに、耐剥離性からみた床下地の良否の序列は、キャストによる荷重の接地圧が低く摩擦トルクが大きい場合表面強度によりおおそ説明できるのに対し、接地圧が高く摩擦トルクが小さい場合圧縮強度によりおおそ説明でき、かつ表面粗さの影響も明確であることを明らかにしている。しかし、耐剥離性の観点から床下地の品質を定量的に評価するためには、さらなる検討が必要と述べている。

一方、横山らは、JIS A 1450「フリーアクセスフロア試験方法」⁵⁾に規定されたローリングロード試験機を用い、キャストが直進および発進、停止する際の動荷重に対する塗り床の耐久性について検討している。具体的には、コンクリート打ち込み後の上面仕上げ作業や養生の方法を種々変化した床下地に塗り床材を施工した試験体を対象に、上記動荷重を繰り返し作用させたときに塗り床に剥離が発生するまでの往復回数を求め、床下地の表面強度および施工方法との関係を検討している。その結果、塗り床材の種類、塗り厚および動荷重の大きさ、性状など限られた条件ではあるが、施工現場で適用可能な表面強度の管理指標を、剥離を発生させないための施工方法とともに提示している。本研究は、塗り床にとってより過酷と思われるキャストが曲折する際の動荷重を対象に、同様の検討を行うものである。

4. 研究方法

本研究の研究方法を、以下に示す。

- 1) 床スラブを模擬した型枠にコンクリートを打ち込み、所定の方法で上面仕上げ作業および養生を行って、床下地試験体を作製する。
- 2) 1)で作製した試験体の表層部の水分量を適宜測定し、所定の値まで乾燥した段階で、表面強度をはじめとする各種表層部品質を測定する。

- 3) 表層部品質測定後、塗り床材を施工する。ここで、一部の試験体では、塗り床材施工前に床下地表面にポリッシャ掛けを行い、再度表層部品質を測定した後、塗り床材を施工する。
- 4) 塗り床材施工後、十分な養生期間を経た後、キャスト曲折時を模擬した動荷重を床に繰り返し作用させることができる試験機を用いて耐動荷重性試験を実施し、塗り床に剥離が発生するまでの繰り返し回数を測定する。また、JIS A 5536「床仕上げ材用接着剤」⁶⁾に準拠した引張接着強さ試験を実施し、引張接着強さを測定する。
- 5) 4)で測定した繰り返し回数と、2)で測定した表面強度をはじめとする各種表層部品質との関係、および1)における床下地の施工方法との関係に基づいて、初期不具合を発生させないために必要な表層部品質を、それを具現するための施工方法とともに提示する。また、4)で測定した引張接着強さと表層部品質、施工方法および繰り返し回数との関係も考察する。

5. 試験概要

5.1 試験体の作製および試験手順

Fig. 1に、試験体の例を示す。試験体の大きさは、コンクリート打ち込み後の上面仕上げ作業が無理なく行えること、および耐動荷重性試験もしくは引張接着強さ試験が実施できることなどを考慮して、300×300mm(耐動荷重性試験用)もしくは450×450mm(引張接着強さ試験用)とし、コンクリートの厚さは75mm(一部100mm)とした。

Table 1に、試験体の作製条件を示す。表に示すNo. 1~43の43種の条件で、試験体を作製した。試験体の作製は、表の「グループ」の欄に示す1~8のグループごとに、番号順に実施した。グループ3以降の試験体の作製条件は、それ以前のグループの試験結果を受けて適宜設定したものである。試験体は、条件ごとに6体作製した。6体の内訳は、後述の通り、塗り床材の塗り厚2種(0.8mmと2.0mm)×{耐

Fig. 1 Example of specimen (For durability test against dynamic load)

Table 1 Preparation conditions for specimens

Specimen number 〔試験体No〕	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43			
Group 〔グループ〕	1								2								3			4						5		6						7				8								
Concrete 〔コンクリート〕	36-15-20 N																		30-18-20 N						36-15-20 N		30-18-20 N												36-15-20 N							
Worker of finishing 〔上面仕上げ作業者〕	A								B								D						B		D						C				B											
Finishing work condition 〔施工条件〕	I		II		II+		III		I		II		II+		III		II+		I		II		II+		III		I		II		II+		III		II+		I		II		II+		III		II+	
Moisture meter reading 〔水分計指示値〕	5								5						6		5		6		5		5				6				5		6		5											
Do polish or not 〔ポリッシャ掛けの有無〕	×	○	×	○	×	○	×	○	×	○	×	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×	×	○	○	○			

Table 2 Summary of concrete

Group [グループ]	Concrete [コンクリート]	Water-to-binder ratio [水セメント比] (%)	Water content [単位水量] (%)	measurement slump [実測スランプ] (cm)	compressive strength [圧縮強度] (N/mm ²)
1, 2, 3	36-15-20N	45	160	15.5	39.6
4	30-18-20N	49	186	19.5	35.5
5	36-15-20N	45	160	16.0	41.7
6, 7	30-18-20N	49	186	17.0	37.1
8	36-15-20N	45	160	16.5	40.8

Table 3 Summary of finishing work conditions

		Finishing times [仕上げ回数]		Curing [養生]
		Smoothing [むら直し]	Troweling [押え]	
Finishing work conditions [施工条件]	I (Poor condition) [劣悪な条件]	Once	Once	Waterless curing [気中養生]
	II (General condition) [一般的な条件]		Twice	
	II + (II + Water curing) [II + 散水養生]			Water curing (3 days) + waterless curing [散水養生(3日間) + 気中養生]
	III (Ideal conditions) [理想的な条件]	Twice	3 times	

Table 4 Grade of surface strength^{8), 9)}

Grade	Scratch width (mm)
I	Less than 0.3
II	0.3 or more and less than 0.55
III	0.55 or more and less than 0.7
IV	0.7 or more

動荷重性試験用2体(載荷荷重5000N用と10000N用)+引張接着強さ試験用1体}となっている。

使用するコンクリートは、表の「コンクリート」の欄に示す通り、物流施設や生産施設の床スラブに一般的に用いられる「普通36-15-20N」と「普通30-18-20N」の2種とした。使用したコンクリートの水セメント比、単位水量、実測スランプおよび圧縮強度をTable 2に示す。また、コンクリート打ち込み後の上面仕上げ作業の作業者は、表の「上面仕上げ作業」の欄に示す通り、A～Dの4名とした。4名とも上面仕上げ作業の経験者であるが、作業者Dは、他の3名と比較して作業時に鍬に掛ける力が弱いことが、作業の観察結果から推察された。

上面仕上げ作業時の鍬掛けの回数とその後の養生の方法は、表の「施工条件」の欄に示すI, II, II+, IIIの4種とした。Table 3に、各施工条件の概要を示す。これらは、横山ら⁷⁾が施工管理者や上面仕上げ作業担当者らを対象に実施した施工現場における実状調査結果を参考に設定したもので、Iは劣悪な条件、IIは一般的な条件、II+はIIの養生の方法を気中養生のみから3日間散水養生後気中養生に変更した条件、IIIは理想的な条件と位置付けられるものである。

上面仕上げ作業が終了した試験体は、温度20±2℃、湿度60±5%の実験室にて、所定の方法で養生した。各試験体について、気中養生開始後、表層部の水分量を高周波静電容量式水分計(ケット科学研究所製HI-520-2)で適宜測定し、指示値がTable 1の「水分計指示値」の欄に示す6または5になるまで乾燥させた。ここで、指示値6は、日本床施工技術研究協会「コンクリート床下地表層部の諸品質の測定方法、グレード」^{8), 9)}に規定された水分量のグレードIIbとIIIの境界に、指示値5は、グレードIIaとIIbの境界に該当する。日本塗り床工業会「塗り床ハンドブック」¹⁰⁾では、指示値5以下、

すなわちグレードIIa以上まで床下地を乾燥させることを推奨している。

各試験体がそれぞれ所定の指示値まで乾燥した段階で、5.2で述べる表層部品質の測定を実施した。測定後、Table 1の「ポリッシャ掛けの有無」の欄に○を記した試験体では、表面にポリッシャ(#24)掛けを行い、その後再度表層部品質

を測定した。以降、ポリッシャを掛けた試験体を“P有”(図中では“P○”)、掛けていない試験体を“P無”(図中では“P×”)と記す。

表層部品質の測定後、塗り床材を施工した。塗り床材は、物流施設や生産施設の床で最も普及しているものの1つであるエポキシ樹脂系1種とし、塗り厚は0.8mmと2.0mmの2種とした。施工は、はじめにプライマーを規定量塗布し、規定の乾燥時間経過後、ベースコートを金鋸で流し延べる工法で施工した。ベースコートの塗り厚は、使用する材料の重量で管理した。

塗り床材施工後、各試験体を温度20±2℃、湿度60±5%の実験室に4週間以上静置した後、5.3で述べる引張接着強さ試験および5.4で述べる耐動荷重性試験を実施した。

5.2 床下地表層部品質の測定

(1) 表面強度

土田ら^{11)~13)}が開発し、日本床施工技術研究協会「コンクリート床下地表層部の諸品質の測定方法、グレード」^{8), 9)}に規定された引っかかり試験器法にしたがって、表面強度を測定した。この方法は、床下地表面に先端角90°の尖りピンを加圧力9.8Nで押し付けて長さ10cm程度引っかいた際の“引っかかり傷幅”を測定するもので、傷幅が小さいほど表面強度が高いことを表す。Table 4に、上記協議会が規定する表面強度のグレードを示す。

測定は、1試験体につき3箇所で行い、1本の引っかかり傷から3箇所、計9箇所の引っかかり傷幅の平均を求めた。

(2) 放出水分量

水分計指示値は、床下地表層部に含まれる水分の量を概略推定した指標である。これに対し、剥離発生の原因となり得る床下地と塗り床材の接着力の低下に直接的に影響するのは、床下地表面から放出されてくる水分の量(以降“放出水分量”と記す)と考えられる。よって、本研究では、放出水分量も測定することとした。測定は、湯浅ら¹⁴⁾が開発し、前述の「測定方法、グレード」^{8), 9)}に規定された乾燥度試験紙法にしたがって実施した。具体的には、藤井ら¹⁵⁾を参考に、湿気に反応して色が変化する乾燥度試験紙(ADVANTEC製)を不透湿性透明テープを用いて床下地表面に貼り付け、10分後の色を標準変色表と照合して“変色表値”を求めた。変色表値が小さいほど放出水分量が少ないことを表す。乾燥度試験紙の測色には、色彩・色差計(コニカミノルタ製CR-400)を用いた。

測定は、1試験体につき3箇所で行い、3箇所の変色表値の平均を求めた。

(3) 表面粗さ

P有の試験体の一部(No. 29～36, 42, 43)では、ポリッシャ掛けの前後に、表面粗さを測定した。測定には、触針式表面粗さ計(ミツトヨ製SJ-210)を用い、測定長さ5mm、触針送り速度0.5mm/s、カットオフフィルタ0.25mmの条件で、最も一般的な粗さの指標の1つで

Fig. 2 Summary of twist load tester ¹⁷⁾

Photo 1 Twist load tester ¹⁷⁾

ある“二乗平均平方根粗さ”¹⁶⁾を測定した。

測定は、1試験体につき5箇所を実施し、5個の二乗平均平方根粗さの平均を求めた。

5.3 引張接着強さ試験

塗り床の接着力の評価に広く用いられている、JIS A 5536「床仕上げ材用接着剤」⁶⁾に準拠した引張接着強さ試験を実施した。本試験は、塗り床表面に接着した40×40mmの鋼製アタッチメントを鉛直方向に引っ張り上げたときの荷重を測定するもので、塗り床破壊時までの荷重の最大値をアタッチメントの接着面積で除した値を“引張接着強さ”として求めた。ここで、アタッチメント周囲には、床下地表層部を含めた強度を把握する目的で、床下地表面より5mm程度の深さの溝を施した。

試験は、各試験体につき5箇所を実施し、5個の引張接着強さの平均を求めるとともに、破壊が発生した層を確認した。

5.4 耐動荷重性試験

耐動荷重性試験には、筆者らと建築床特殊性能研究会が開発した、キャスター曲折時を模擬した動荷重を床に繰り返し作用させることができる“ひねり荷重試験機”¹⁷⁾を用いた。Fig. 2 および Photo 1 に、ひねり荷重試験機の概要を示す。本試験機は、回転台上に設置した試験体に所定の鉛直荷重を載荷したキャスターを載せ、回転台を回転往復させることで塗りに剥離を発生させるものである。キャスターの載荷位置の中心は、回転台の回転軸から50mm偏心した位置となっている。

本試験機の開発にあたっては、搬送車をはじめとする種々の機器に使用されるキャスターのメーカーの技術開発担当者にヒアリングを行った。その結果、以下の事項が明らかとなった。

- ・物流施設や生産施設で使用される搬送車などのキャスターに作用する鉛直荷重は、近年増大傾向にあり、現在では1輪あたり40000N程度の鉛直荷重に耐えられるキャスターも開発されている。もちろんこれは極端な例であるが、10000N程度までは、一般的な設計の範囲内となっている。
- ・キャスターの耐久性を検討する場合、より過酷な条件として、曲線通過時の、接地面の内側と外側でキャスターに作用する荷重が異なる状況を想定する必要がある。接地面の床にはキャスターの反力が作用するので、床の耐久性を検討する場合にも、同様の状況を想定する必要があると考えられる。
- ・キャスターの材質は、作用する鉛直荷重の増大にともない、ゴムや鋼に代わり、硬さ90～100HSのウレタン樹脂や硬質ナイロンが主流になっている。

本試験機は、以上のヒアリング結果を参考に、開発したものである。

本試験機を用いた耐動荷重性試験の試験条件の詳細は、図に示す通りである。キャスターに載荷する鉛直荷重は、一般的な搬送車の1輪に作用する荷重を想定した5000Nと、大型の搬送車の1輪に作用する荷重を想定した10000Nの2種とした。また、キャスターは、上記ヒアリング結果を参考に、許容鉛直荷重10000Nのキャスターとして普及しているものの1つである、直径150mm、幅65mm、硬さ100HSの硬質ナイロン製のものとした。

試験開始後、以下に示す往復回数ごとに打診棒を用いてキャスターの走行位置およびその周辺における剥離発生の有無を確認し、剥離が発生した場合、その往復回数を“剥離発生往復回数”として求

Fig. 3 Measurement results of scratch width and color chart value

Fig. 4 Relationship between color chart value and scratch width

Fig. 5 Scratch width relationship before and after polish

めるとともに、破壊が発生した層を確認した。なお、本研究は初期不具合を対象としていることから、最大往復回数は300往復とした。

- ・0～30往復 : 2往復ごと
- ・31～60往復 : 5往復ごと
- ・61～100往復 : 10往復ごと
- ・101～300往復 : 20往復ごと

6. 床下地表層部品質の測定結果および考察

Fig. 3 に、引っかかり傷幅および変色表値の測定結果を示す。図には、作製条件が同一の6体の試験体での測定結果の平均を示した。ここで、P有の試験体では、ポリッシャ掛け後の測定結果を示している。

図より、以下に示す、コンクリート、上面仕上げ作業者、水分計指示値、ポリッシャ掛けの有無が同一で施工条件のみが異なる試験体の組み合わせごとに結果を比較すると、施工条件がⅠ→Ⅱ→Ⅱ+→Ⅲと向上するにしたがって、引っかかり傷幅および変色表値が小さくなる、すなわち表面強度が高く、放出水分量が少なくなる傾向が明確に把握できる。特に、散水養生を行わなかったⅠ、Ⅱと、行ったⅡ+、Ⅲの差が、大きくなっている。

- ・No. 1と3と5と7
- ・No. 2と4と6と8
- ・No. 10と12と13と14
- ・No. 19と20と21と22

[A] Coating thickness : 0.8mm [B] Coating thickness : 2.0mm

Fig. 7 Relationship between tensile adhesive strength and scratch width (part 1)

Fig. 6 Root mean square roughness before and after polish

(1) Waterless curing, P×

(2) Waterless curing, PO

(3) Water curing, P×

(4) Water curing, PO

[A] Coating thickness : 0.8mm [B] Coating thickness : 2.0mm

Fig. 8 Relationship between tensile adhesive strength and scratch width (part 2)

Fig. 9 Relationship between number of cycles until peeling occurred and scratch width (5000N loading)

- No. 23 と 24 と 25 と 26
- No. 29 と 30 と 31 と 32
- No. 33 と 34 と 35 と 36

また、作業者のみが異なるNo. 21と37、22と38、25と39、26と40の比較から、他の作業者と比較して鍍に掛ける力が弱いと推察された作業者Dでの引っかかり傷幅および変色表値は、作業者Cより大きい傾向が把握できる。

Fig. 4 に、変色表値と引っかかり傷幅の関係を示す。図より、ばらつきはあるものの、引っかかり傷幅が大きいほど変色表値も大きくな

Fig. 10 Relationship between number of cycles until peeling occurred and scratch width (10000N loading)

る、すなわち表面強度が大きいほど放出水分量が多くなる傾向が把握できる。

つぎに、Fig. 5 に、P有の試験体で、ポリッシャ掛けの前後に測定した引っかかり傷幅の関係を示す。図より、ポリッシャ掛けにより引っかかり傷幅は小さくなる傾向があること、およびポリッシャ掛け前後での差はポリッシャ掛け前の引っかかり傷幅が大きいほど大きくなる傾向があることがわかる。これは、表面強度が低いほど、ポリッシャ掛けにより表面の脆弱層が除去されやすいことによるものと思われる。

Fig. 11 Relationship between number of to-and-fro that peeling occurred and Tensile adhesive strength (5000N loading)

Fig. 6 に、P有の試験体の一部(No. 29～36, 42, 43)で、ポリッシャ掛けの前後に測定した二乗平均平方根粗さを比較して示す。図より、ポリッシャ掛けにより二乗平均平方根粗さは大きくなっていることがわかる。特に、作業員Dによる試験体ではポリッシャ掛け前後での差が大きくなっているが、これは表面強度が低いため、表面が目荒らしされやすいことによるものと思われる。

7. 引張接着強さ試験結果および考察

引張接着強さ試験の結果、各試験体の破壊層はいずれもコンクリート表層部であったことから、引張接着強さと床下地の表面強度の関係について検討することとした。Fig. 7 に、引張接着強さと床下地の引っかかり傷幅の関係を示す。ここで、P有の試験体では、ポリッシャ掛け後の引っかかり傷幅を用いている。図の[A]は、塗り床材の塗り厚0.8mmの場合、[B]は2.0mmの場合の結果である。

図より、塗り厚0.8mmの場合も2.0mmの場合も、引っかかり傷幅が小さいほど引張接着強さが高くなる傾向が明確に把握できる。また、●、▲、■、◆で示したP無の試験体と○、△、□、◇で示したP有の試験体を比較すると、全体的傾向としてP有の試験体の方が上側にプロットされており、同程度の引っかかり傷幅に対する引張接着強さはP有の方が高くなる傾向があることがわかる。これは、ポリッシャ掛けにより床下地表面に凹凸が付与されたことによるアンカー効果の影響と思われる。

以上の結果と、6. で述べた通り引っかかり傷幅が散水養生を行わなかった施工条件Ⅰ、Ⅱと行ったⅡ＋、Ⅲで大きく異なったことに基き、以降、各試験体を散水養生の有無とポリッシャ掛けの有無の観点から4種のグループに分類し、考察を進めることとした。Fig. 8 に、引張接着強さと引っかかり傷幅の関係を4種のグループごとに示す。図中、(1)は散水養生無、P無、(2)は散水養生無、P有、(3)は散水養生有、P無、(4)は散水養生有、P有の試験体による結果である。また、図中点線で囲んだ点は、作業員Dの試験体による点である。

図に示すように、散水養生無の(1)、(2)ではいずれの試験体でも引っかかり傷幅は0.4mm以上となっている。これに対し、散水養生有、P無の(3)では、作業員Dによる試験体を除き大部分が0.4mm未満となっており、このうち、散水養生後の気中養生期間が比較的長い水分計指示値5の試験体では、過半数が0.3mm未満となっている。一方、散水養生有、P有の(4)では、P無の(3)と比較して、引っかかり傷幅の分布範囲が小さい側に移動している。その結果、引っかかり傷幅は、

Fig. 12 Relationship between number of to-and-fro that peeling occurred and Tensile adhesive strength (10000N loading)

作業員Dによる試験体を除き、いずれも0.3mm未満となっている。

引張接着強さは、引っかかり傷幅が0.3mm未満(Table 4 に示すグレードⅠ)であれば、塗り厚0.8mmの場合も2.0mmの場合も、3N/mm²以上がほぼ確保されている。また、散水養生有、P有(4)では、作業員Dによる試験体では引っかかり傷幅は0.4mm以上であるものの、6. で述べた通りポリッシャ掛けによる表面目荒らしの効果も大きく、結果として、全ての試験体で引張接着強さは3N/mm²以上となっている。

8. 耐動荷重性試験結果および考察

耐動荷重性試験の結果、各試験体の破壊層はいずれもコンクリート表層部であったことから、剥離発生往復回数と床下地の表面強度の関係について検討することとした。Fig. 9, 10 に、剥離発生往復回数と床下地の引っかかり傷幅の関係を、散水養生の有無およびポリッシャ掛けの有無で分類して示す。Fig. 9 は載荷荷重5000Nの場合、Fig. 10 は10000Nの場合の結果である。ここで、300往復終了時点でも剥離が発生しなかった試験体は、「未発生」としてプロットしてある。

図より、散水養生無の(1)、(2)では、剥離発生往復回数は載荷荷重5000Nの場合多くても70往復、10000Nの場合28往復であり、初期不具合が発生する可能性が高いことがわかる。一方、散水養生有、P無の(3)では、塗り厚0.8mmの場合も2.0mmの場合も、5000Nの場合引っかかり傷幅が0.3mm未満であれば剥離は発生していないのに対し、10000Nの場合0.3mm未満でも多くの試験体で剥離が発生しており、載荷荷重による負荷の違いが明確に表れている。さらに、散水養生有、P有の(4)では、塗り厚0.8mmの場合も2.0mmの場合も、5000Nの場合、引っかかり傷幅が0.3mm未満の試験体だけでなく、0.3mm以上の作業員Dによる試験体でも、ポリッシャ掛けによる表面目荒らしの効果で剥離は発生していない。しかし、10000Nの場合、0.3mm未満では過半数の試験体で剥離は発生していないのに対し、0.3mm以上では半数の試験体で100往復に達する前に剥離が発生している。

以上より、初期不具合を発生させないための目安として、載荷荷重5000N程度の動荷重に対しては、むら直し1回、押え2回以上の上面仕上げ作業を行った後、散水養生を行い、さらに十分な気中養生期間を設けることにより、引っかかり傷幅0.3mm未満(Table 4 に示すグレードⅠ)の表面強度を確保すれば、初期不具合が発生する可能性は低くなることが明らかとなった。また、10000N程度の動荷重に対しては、上記に加えポリッシャを掛けて表面を目荒らしすること

により、初期不具合が発生する可能性は低くなることが明らかとなった。さらに、上面仕上げ作業の際作業者が鏝に掛ける力が不足して引っかき傷幅が0.3mm未満とならなかった場合でも、5000N程度の動荷重に対しては、ポリッシャを掛けて表面を目荒らしすることにより、初期不具合が発生する可能性は低くなることが明らかとなった。

なお、キャストが直進および発進、停止する際の動荷重を対象とした横山ら⁴⁾では、引っかき傷幅0.55mm未満(Table 4 に示すグレードⅡ以上)の表面強度が確保されていれば剥離が発生する可能性は低いとの結果が得られているが、キャストが曲折する際の動荷重を対象とした本研究では、上記の通りより高い表面強度が必要との結果が得られており、塗り床にとってより過酷な動荷重であることが確認できる。

最後に、Fig. 11, 12 に、剥離発生往復回数と引張接着強さの関係を示す。三上、坂井ら^{2),3)}が指摘している通り、耐動荷重性と静的でかつ荷重の方向などが大きく異なる引張接着強さの関係は、本来稀薄と思われる。本研究でも、図に示す通り、引張接着強さを用いて初期不具合を発生させないための目安を提示するのは困難であることを示す結果が得られたが、逆に、3N/mm²程度以下の場合、初期不具合が発生する可能性が非常に高いことが明らかとなった。

9. おわりに

キャストが曲折する際の動荷重を対象に、塗り床の耐動荷重性と床下地の表層部品質の関係について、床下地の施工方法を要因として実験的に検討した本研究の結論は、以下の通りである。

- 床下地の表面強度には、コンクリート打ち込み後の散水養生の有無が大きく影響する。
- 床下地にポリッシャを掛けると、表面の脆弱層が除去され表面強度が高くなるとともに、表面が目荒らしされアンカー効果が増すことにより、塗り床材施工後の耐動荷重性は向上する。この影響は、表面強度が低い床下地ほど顕著である。
- 載荷荷重5000N程度の動荷重に対しては、むら直し1回、押え2回以上の上面仕上げ作業を行った後、散水養生を行い、さらに十分な気中養生期間を設けることにより、引っかき傷幅0.3mm未満の表面強度を確保すれば、初期不具合が発生する可能性は低くなる。また、10000N程度の動荷重に対しては、上記に加えポリッシャを掛けて表面を目荒らしすることにより、初期不具合が発生する可能性は低くなる。

ただし、以上の結果は、あくまでも床下地に用いるコンクリート、塗り床材の種類、塗り厚および動荷重の大きさ、性状などを物流施設や生産施設における一般的な条件に限定したうえで得られた結果であり、仕様が大きく異なるコンクリート、塗り床材および動荷重を対象とした場合などは、別途同様の検討が必要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、貴重な御助言をいただくとともに種々御協力いただいた建築床特殊性能研究会および日本床施工技術研究協議会の関係各位、ならびに清水建設株式会社竹本喜昭氏に、謝意を表します。

参考文献

- Hiroki TAKAHASHI, Teruo YAMAMIYA, Yutaka YOKOYAMA: Fundamental study on the specifications and execution of concreteslabs and finishing materials that interacting on floor performance. - In case of floor coating and resilient floorcoverings -Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Materials and Construction, pp. 861-862, 2019. 7
高橋宏樹, 山宮輝夫, 横山 裕: 床の性能に影響するコンクリートスラブおよび仕上材料の仕様と施工に関する基礎的検討, 一高分子系塗り床および張り床の場合, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 材料施工, pp. 861-862, 2019. 7
- Takamasa MIKAMI, Eiji SAKAI, Junya HIGASHIYAMA: Influence of strength properties of substrate mortar on separation resistance of epoxy resin floor coatings loaded by running caster, Scheduled to be published on Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), No. 506, pp. 15-20, 1998. 4
三上貴正, 坂井映二, 東山純也: キャスター走行荷重を受けるエポキシ樹脂塗り床の耐剥離性に及ぼす下地モルタルの強度性状の影響に関する考察, 日本建築学会構造系論文集, 第506号, pp. 15-20, 1998. 4
- Eiji SAKAI, Takamasa MIKAMI: Influence of rolling loads by casters on separation resistance of substrate concrete and synthetic resin floor coatings, Scheduled to be published on Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), No. 538, pp. 1-6, 2000. 12
坂井映二, 三上貴正: 下地コンクリートと合成樹脂塗り床材の耐剥離性に及ぼすキャストの走行荷重の影響, 日本建築学会構造系論文集, 第538号, pp. 1-6, 2000. 12
- Yutaka YOKOYAMA, Hitoshi MATSUSHITA, Takeshi YOKOI: Experimental investigation about slab surface strength and durability of resin floor coatings against rolling-load and thermal-shock, Scheduled to be published on Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 75, No. 647, pp. 41-47, 2010. 1
横山 裕, 松下仁士, 横井 健: 塗り床のキャスト走行および熱衝撃に対する耐久性とコンクリート床下地の表面強度に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第75巻, 第647号, pp. 41-47, 2010. 1
- Japanese Standards Association: JIS A 1450 Test methods for raised access floor, 2015. 7
日本規格協会: JIS A 1450: 2015 フリーアクセスフロア試験方法, 2015. 7改訂
- Japanese Standards Association: JIS A 5536 Adhesives for resilient, textile and laminate floor coverings, 2015. 6
日本規格協会: JIS A 5536: 2015 床仕上げ材用接着剤, 2015. 6改訂
- Yutaka YOKOYAMA, Takeshi YOKOI: Concept of quality index on surface layer of concrete groundwork, Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), No. 580, pp. 15-22, 2004. 6
横山 裕, 横井 健: コンクリート床下地の表層部品質に関する指標のあり方, 日本建築学会構造系論文集, 第580号, pp. 15-22, 2004. 6
- Hideonori ONO, Yutaka YOKOYAMA, Susumu NAGAHASHI, Shigeo KAJIURA, Takeshi YOKOI, Noboru YUASA, Naoto HASHI, Kazuo KUDO: Proposal of rapid measurement and evaluation method on quality of surface layer of concrete ground work, AIJ Journal of Technology and Design, No. 18, pp. 11-16, 2003. 12
小野英哲, 横山 裕, 永橋 進, 梶浦茂男, 横井 健, 湯浅 昇, 端直人, 小俣一夫: コンクリート床下地表層部の諸品質の簡易測定, 評価方法の提案, 日本建築学会技術報告集, 第18号, pp. 11-16, 2003. 12
- Japan Research Conference of Floor Construction Technology: Method for measurement of the quality of the concrete slab surface grade, 2014. 8
日本床施工技術研究協議会: コンクリート床下地表層部の諸品質の測定方法, グレード, 2003. 12制定, 2014. 8改訂
- Japan Floor Coating Industry Association: Coating floor handbook, 2012. 3
日本塗り床工業会: 塗り床ハンドブック(平成24年版), 2012. 3改訂
- Hiroshi KAMATANI, Yasuyoshi TSUCHIDA, Yoshihiro ONODDERA, Tsutomu ASAMI, Takashi MOCHIZUKI, Yasuo MITANI, Hiroyasu SEKIGUCHI: Study on simple measurement method of floor surface hardness, Part 1 examination of measurement method, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Japan Society For Finishing Technology, pp. 135-138, 1995. 9
鎌谷弘志, 土田恭義, 小野寺善弘, 浅見 勉, 望月 堯, 三谷保雄, 関

- 口博康：床下地表面硬さの簡易測定方法に関する研究，その1 測定方法の検討，日本建築仕上学会大会学術講演会研究発表論文集，pp.135-138，1995.9
- 12) Tsutomu ASAMI, Yasuyoshi TSUCHIDA, Yoshihiro ONODDERA, Hiroyasu SEKIGUCHI, Hiroshi KAMATANI, Munekazu ARAKAWA, Takashi MOCHIZUKI: Study on simple measurement method of floor surface hardness, Part 2 examination of surface hardness by scratching force, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Japan Society For Finishing Technology, pp. 181-184, 1996. 9
浅見 勉，土田恭義，小野寺善弘，関口博康，鎌谷弘志，荒川宗和，望月 堯：床下地表面硬さの簡易測定方法に関する研究，その2 引っ掻き力による表面硬さの検討，日本建築仕上学会大会学術講演会研究発表論文集，pp. 181-184，1996.9
- 13) Yasuyoshi TSUCHIDA, Yoshihiro ONODDERA, Tsutomu ASAMI, Munekazu ARAKAWA, Hiroshi KAMATANI, Hiroyasu SEKIGUCHI, Takashi MOCHIZUKI: Study on simple measurement method of floor surface hardness, Part 3 examination of scratch hardness tester, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Japan Society For Finishing Technology, pp. 9-12, 1997. 10
土田恭義，小野寺善弘，浅見 勉，荒川宗和，鎌谷弘志，関口博康，望月 堯：床下地表面硬さの簡易測定方法に関する研究，その3 引っ掻き硬さ測定器の検討，日本建築仕上学会大会学術講演会研究発表論文集，pp. 9-12，1997. 10
- 14) Noboru YUASA, Yoshio KASAI, Isamu MATSUI, Yoshio HENMI, Hirokazu SATO: Evaluation method for moisture condition in concrete by using a humidity test paper pasted on concrete, Japan society for finishing technology, Vol. 5, No. 1, pp. 1-6, 1997. 10
湯浅 昇，笠井芳夫，松井 勇，逸見義男，佐藤弘和：乾燥度試験紙によるコンクリートの水分状態の評価，日本建築仕上学会論文報告集，Vol. 5, No. 1, pp. 1-6，1997. 10
- 15) Yutaro FUJII, Takeshi YOKOI, Shintaro FUKUDA, Yutaka YOKOYAMA: Relationship between joint tenting of resilient floor covering and moisture vapor emission of concrete slab, Scheduled to be published on Journal of Structural and Construction Engineering (Transactions of AIJ), Vol. 85, No. 767, pp. 11-18, 2020. 1
藤井佑太郎，横井 健，福田真太郎，横山 裕：高分子系張り床材の突き上げとコンクリート床下地の放出水分量の関係，日本建築学会構造系論文集，第85巻，第767号，pp. 11-18，2020. 1
- 16) Japanese Standards Association: JIS B 0601 Geometrical Product Specifications (GPS)-Surface texture: Profile method-Terms, definitions and surface texture parameters, 2013. 1
日本規格協会：JIS B 0601：2013 製品の幾何特性仕様 (GPS) 表面性状：輪郭曲線方式用語，定義及び表面性状パラメータ，2013. 1改訂
- 17) Takuma HAYASHI, Yutaro FUJII, Shintaro FUKUDA, Takeshi YOKOI, Yutaka YOKOYAMA: Fundamental Study on Test Method of Wrinkle Durability of Floor Covering Part 1 Outline of Experiment and Result, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting, Architectural Institute of Japan, Materials and Construction, pp. 1055-1056, 2018. 7
林 拓真，藤井佑太郎，福田真太郎，横井 健，横山 裕：張り床の耐ふくれ性の試験方法に関する基礎的研究，その1 実験概要および実験結果，日本建築学会大会学術講演梗概集，材料施工，pp. 1055-1056，2018. 7

RELATIONSHIP BETWEEN DURABILITY AGAINST DYNAMIC LOAD OF RESIN FLOOR COATING AND SURFACE LAYER QUALITY OF SLAB CONCRETE

Yutaro FUJII^{*1}, *Hiroki TAKAYAMA*^{*2}, *Shintaro FUKUDA*^{*3}
and *Yutaka YOKOYAMA*^{*4}

^{*1} Researcher, Dept. of Architecture and Building Eng., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

^{*2} Dept. of Architecture and Building Eng., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, M.Eng.

^{*3} Assist. Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

^{*4} Prof., Dept. of Architecture and Building Eng., School of Environment and Society, Tokyo Institute of Technology, Dr.Eng.

Resin floor coating is used for the floors such as logistics facilities and production facilities. Those floors could be subjected to great complicated load by guided vehicles. Due to the load, the cases are reported that the problems with the floors occur. It is expected that durability against dynamic load of Resin floor coating is strongly affected by surface layer quality. Therefore, it is very important to secure surface layer quality. However, there are few cases that the relationship between durability against dynamic load of Resin floor coating and surface layer quality is considered. So, there is a lack of knowledge to avoid the problems in advance.

Thus, in this study, the relationship between durability against dynamic load of Resin floor coating and surface layer quality is considered. The targeted dynamic load is the load applied when the casters of such as guided vehicles are carve. In addition, the effects of polisher and the process for finishing work and curing among the process for constructing slab are considered.

Some various Concrete specimens are prepared. (Reference Fig. 1) The preparing conditions are showed in Table 1, 2. Especially, by varying finishing work conditions like Table 3, the specimens with various surface layer qualities are prepared. The concrete specimens are measured three kinds of surface layer quality. Those are surface intensity, moisture vapor emission, surface roughness. Table 4 shows the grades of surface intensity. Also, measurement of Tensile adhesive strength of slab and Resin floor coating was done.

Twist load tester developed in this study was used for the durability against dynamic load test. This tester can reproduce the load applied when the casters of such as guided vehicles are carve. In order to reproduce real load, 5000N and 10000N load were chosen in the test. (Reference Fig. 2, Photo 1)

The results are as follows: First, Fig. 3 shows the measurement results of surface intensity, moisture vapor emission. The result that the more finishing work conditions are improved, the more surface intensity increase, and the more moisture vapor emission decrease was obtained. It is also proved that surface intensity and moisture vapor emission have good correspondence with each other. (Reference Fig. 4)

Secondly, the relationship of surface intensity between before and after polish is considered. The result shows surface intensity of polished specimens gets larger than before polish. (Reference Fig. 5)

Finally, the relationship between surface layer quality and durability against dynamic is considered. As a result, it is proved that in addition to preparation of slab by the process shown in this study, securement of appropriate surface intensity could decrease the possibility of primary problems. (Reference Fig. 9, 10)

(2020 年 6 月 9 日原稿受理, 2020 年 11 月 18 日採用決定)