

下地コンクリートと合成樹脂塗りに床材の耐剥離性に及ぼす キャスターの走行荷重の影響

INFLUENCE OF ROLLING LOADS BY CASTERS ON SEPARATION RESISTANCE OF SUBSTRATE CONCRETE AND SYNTHETIC RESIN FLOOR COATINGS

三上 貴正** 최수경
Takamasa MIKAMI Choi, Soo-Kyung

In this study, we examined the influence of characteristics of rolling loads by casters on separation resistance of substrate concrete and synthetic resin floor coatings.

In the experiment, we first prepared floor samples having substrate concrete of various compressive strength, surface hardness and surface configurations, then put the coated samples to the test of separation resistance with Rolling Caster Loading Machine. Three loading conditions consisted of different kinds of casters, rolling conditions, and coating materials. Consequently, we clarified that the grade of separation resistance varied widely according to the characteristics of substrate concrete and rolling loads.

Keywords : Substrate concrete, Floor coating, Synthetic resin, Separation resistance, Caster, Rolling load
下地コンクリート, 塗り床材, 合成樹脂, 耐剥離性, キャスター, 走行荷重

1. 序論

キャスターの走行荷重などの動荷重を受ける塗りに床材においては、床の代表的な損傷のひとつとして仕上げ材の剥離があるが、このような剥離の発生には下地床の性状が少なからず関与していると指摘されている。^{1)~2)}特に下地床がコンクリートの場合、下地コンクリートの性状は調合の相違に加え施工方法や環境条件によっても変動する可能性があることから、^{2)~5)}塗りに床材の品質や耐久性の確保・向上の観点から、下地コンクリートの性状の評価は重要な課題と考えられる。

以上の背景から、本研究はキャスターの走行荷重を受ける合成樹脂塗りに床材に関し、仕上げ材の耐剥離性の観点から下地コンクリートの性状を評価する方法を提示することを最終的な目標とする。

前報²⁾では、筆者らはモルタルを下地床とするエポキシ樹脂塗りに床材を対象として、キャスターの走行荷重を受ける床試料の耐剥離性を考察した。その結果、耐剥離性は下地モルタルの性状により大きく異なり、耐剥離性の観点からは仕上げ材のみならず下地の性状も重要であることを確認した。本報では、さらに検討を進め、下地としてより一般的であるコンクリートを下地床とする合成樹脂塗りに床材を対象として、床試料の耐剥離性に及ぼすキャスターの走行荷重の影響を実験的に考察した結果を報告する。

2. 研究の方法

本研究は、以下の方法・手順で行った。

- 1) 性状の異なる厚板状の下地コンクリートを作製する。
- 2) 下地コンクリートに合成樹脂塗りに床材を塗布し、試料床とする。
- 3) 試料床に作用させる走行荷重を設定する。
- 4) 走行荷重を試料床に作用させ、作用回数と剥離の程度の関係から、試料床の耐剥離性を判定する。
- 5) 同時に、下地コンクリートの性状として、圧縮強度、表面硬さ、表面粗さを測定する。
- 6) 試料床の耐剥離性と走行荷重の関係、および耐剥離性と下地性状の関係を考察する。

なお、本研究では、試料床の作製・養生を含め、すべての実験は20±2℃、60±5%RHの温湿度条件下で行った。

3. 実験概要

3.1 試料床の作製方法

3.1.1 概要

試料床は次の手順で作製した。(表1参照)

- 1) 所定の調合のコンクリートを35×35×5cmの板状に打設・成形し、その後所定の表面処理を施す。コンクリート板は、1種の

- 下地につき3枚作製する。
- 2) コンクリートの材齢4週において, 所定の塗り床材を下地コンクリートの所定の区画に塗布し, 試料床とする。
 - 3) 塗り床材の塗布後, さらに1週間養生した後, ひとつの試料床につき塗り床材を塗布した部分を11×11×5cmの寸法の小ブロック6個に切り分け, 以降に述べる耐剥離性試験に供する。塗り床材を塗布せずに残した下地面は以降に述べる下地コンクリートの性状の測定に供する

表1 試料床の作製手順

材齢	1日	4週	5週
作業・実験	脱型	塗り床材の塗布	耐剥離性の試験 下地性状の測定
試料床の 状態 単位(cm)			

3.1.2 下地コンクリートの調合および作製方法

下地コンクリートは, 表2に示すように, 6種の調合と3種の表面処理の組合せにより, 計9種を設定した。下地の性状として考慮したおもな項目は, 圧縮強度, 表面硬さ, および表面粗さである。下地の作製においては, 表2の調合のコンクリートを前述の寸法の板状に打設・成形し, その後下地となる面に表2に示す表面処理を施した。調合に関しては, W/Cを3水準設定し, また各W/Cごとに単位水量と空気量がともに小さい調合と大きい調合を2種設定した。ここで, 基礎的段階にある本研究においては下地の性状ができるだけ多様となるように, JASS等の規定にかかわらず調合要因の水準を広範囲に設定することとした。表面処理に関しては, 平滑度の高い下地面となる表面処理A, 標準的な仕上げの下地面となる同B,

表2 下地コンクリート

下地名	調 合							表面 処理
	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)					空気量 (%)	
		W	C	S	G	混和剤		
401A	40	162	404	699	1075	0.808 *1	2.3	A
401B	40	162	404	699	1075	0.808 *1	2.3	B
402C	40	228	569	616	844	0.569 *2	5.9	C
551A	55	159	288	803	1075	0.576 *1	2.9	A
551B	55	159	288	803	1075	0.576 *1	2.9	B
552C	55	213	386	806	844	0.386 *2	7.0	C
801A	80	177	220	865	1020	0.440 *1	3.0	A
801B	80	177	220	865	1020	0.440 *1	3.0	B
802C	80	235	294	878	791	0.294 *2	3.9	C

注) セメント: 普通ポルトランドセメント, 細骨材: 5mm以下の陸砂, 粗骨材: 最大寸法20mmの碎石, *1: A E減水剤, *2: A E剤
表面処理A: 型枠の底面に接してできた平滑な脱型面を使用。塗り床材塗布前に布で清掃。
表面処理B: 打設後に金ごて押さえを十分に行い, 塗り床材塗布前にブラシで清掃。
表面処理C: 打設時に金ごてにより均すだけで, 押さえは行わない。塗り床材塗布前にブラシで清掃。

また不十分な仕上げの下地面となる同Cを, それぞれ設定した。

なお, 4週の気中養生の結果, 下地コンクリートの表面はほぼ一様に乾燥し, 塗り床材を塗布する直前の質量法による含水率は3.5%前後であった。湯浅らの研究⁵⁾によれば, 含水率が6%以下の場合には水分が剥離接着強さに及ぼす影響は小さいとしていることから, 本研究で作製した下地コンクリートに関しては, 水分が耐剥離性に及ぼす影響は十分小さいとみなして良いと考えられる。

3.1.3 塗り床材およびその塗布方法

塗り床材には, 相対的に硬質であるエポキシ樹脂塗り床材(以下, エポキシ)と, 軟質であるウレタン樹脂塗り床材(以下, ウレタン)の2種を選定した。選定した塗り床材の基本的性状として, JIS K 7113による引張強度と伸び率を表3に示す。

また, これらの塗り床材を下地コンクリートの表面に塗布し, 試料床とした。本研究では実験結果に及ぼす下地板の個体差の影響をできるだけ小さくするため, 塗り床材の塗布においては, 表1に示すようにひとつの下地の表面を3区画に分け, その内の2区画にエポキシとウレタンを塗布した。塗り床を塗布する区画の寸法はそれぞれ35×12cm, また塗布量はいずれの塗り床材に関しても1kg/m²とした。なお, 下地コンクリートの塗り床材を塗布しない中央の1区画(35×11cm)は, 以降に述べる表面硬さと表面粗さの測定用の区画とした。

表3 塗り床材の引張強度と伸び率

塗り床材	引張強度(MPa)	伸び率(%)
ウレタン	3.2	196
エポキシ	33.9	2

3.2 下地コンクリートの性状の測定方法

下地コンクリートの基本的性状として, 圧縮強度, 表面硬さ, 表面粗さを各々以下の方法により測定した。また, これらの項目に関する試験材齢は, すべて試料床の耐剥離性の試験材齢と同じ5週とした。

1) 圧縮強度: 下地コンクリートの打設時に, 同一バッチから分け取ったコンクリートをφ10×20cmの円柱供試体に成形し, 試料床と同一の条件で養生の後, 圧縮試験を行い, その圧縮強度を下地コンクリートの圧縮強度とみなした。各下地の圧縮強度は, 供試体3本の平均値として求めた。

2) 表面硬さ: 日本建築仕上げ学会がコンクリート表面の硬度試験器として提案している引掻き試験器⁷⁾を用い, 引掻き傷幅として測定した。引掻き針の加圧力は標準の9.8Nとした。引掻き試験は, 下地1種につき3枚の下地板に対して行い, また各板については2回ずつ行った。すなわち, 各下地の引掻き傷幅は, 計6回の試験の平均値として求めた。

3) 表面粗さ: 触針式の3次元スキャナーを用いて, 下地表面の10×10mmの範囲に関し, 水平方向0.1mm, 鉛直方向0.01mmの分解能にて表面形状を測定した。次に, 得られた原データから, 直交する水平2方向について各々0.1mm間隔で101本, 計202本の断面曲線(区間長10mm)を求め, これらの曲線に関して基本的な表面粗さパラメータである中心線平均粗さPa⁸⁾を算出した。各下地のPaは, 計202本の断面曲線に関するPaの平均値として求めた。

3.3 キャスターの走行荷重条件の設定

3.3.1 キャスター走行式載荷装置の概要

図1に示すキャスター走行式載荷装置は、前報²⁾で試作した装置を改良したもので、回転板上に設置した試料床にキャスターの走行による動的荷重を連続的に作用させることができる装置である。また、荷重測定装置をキャスター固定部に取り付けることにより、キャスターの走行荷重のうち鉛直荷重および鉛直軸まわりの摩擦トルクの測定が可能である。

3.3.2 走行荷重条件の構成要因および走行荷重条件の概要

使用したキャスターの概要を表4に示す。また、キャスターの走行荷重条件として、キャスターの種類・走行条件・塗り床材の種類の組合せを、各条件における走行荷重とともに表5に示す。ここで、走行荷重の一要素である摩擦トルクに関しては塗り床材の性状によ

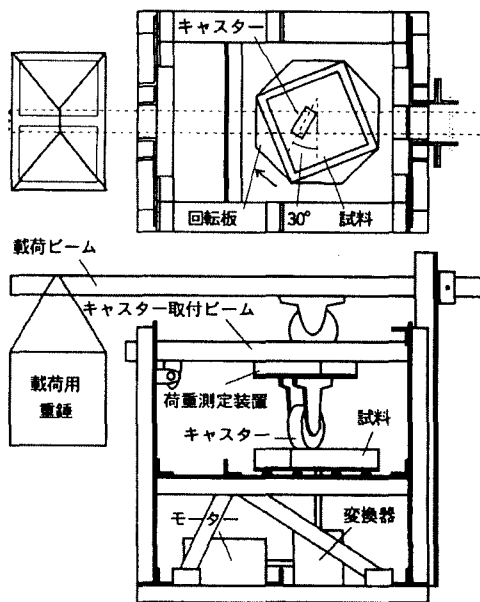


図1 キャスター走行式載荷装置

表4 キャスターの概要

キャスター	素材	接地部分 断面形状	車輪直径 (mm)	車輪幅 (mm)
A	UMCナイロン		125	38
B	ナイロン強化フェノール		100	32

耐剥離性相対指数 (SRI) =

$$\sum_{i=1}^N \left\{ \frac{(X - x_i) \times 100}{N \cdot X} \right\} \quad (\%) \quad \text{式(1)}$$

なお、走行荷重条件1, 2, 3による各SRIを、以降ではそれぞれSRI1, SRI2, SRI3と表記する。

表5 キャスターの走行荷重条件および各条件ごとのSRIの算出条件

走行荷重 条件	走行荷重条件の構成要因							キャスターの走行荷重			SRIの算出条件	
	塗り床材	キャスター				回転板		鉛直荷重 (N)	接地圧 (MPa)	鉛直軸まわり 摩擦トルク (N·m)	判定間隔 (回転)	総判定回数 N (回)
		種類	接地面積 (cm ²)	すべり角 (°)	旋回半径 (mm)	回転速度 (r/min)	総回転数 (回転)					
条件1	ウレタン	A	3.36	0	20	20	20	980	2.9	4.2	1	20
条件2	エポキシ	A	1.95	30	20	20	1000	1960	10.1	0.6	50	20
条件3	エポキシ	B	0.52	0	20	40	100	1960	37.7	0.2	5	20

っても変動することから、本研究では走行荷重条件の構成要因として塗り床材の種類も名義的に含めた。

走行荷重条件のうち、条件1は、軟質であるウレタンの上を接地面積の広いキャスターAが走行する条件であり、発生する走行荷重として接地圧は低いものの鉛直軸まわりの摩擦トルクは大きい条件である。一方、条件3は、硬質であるエポキシの上を接地面積の狭いキャスターBが走行し、接地圧は高いものの摩擦トルクは小さい条件である。条件2は、エポキシとキャスターAの組合せによる条件であり、接地圧と摩擦トルクの値は条件1と条件3の間にある条件である。

なお、予備実験の結果、塗り床材の剥離の発生の様相は走行荷重条件ごとに明確に異なることが確認されたことから、試料床の総回転数は表5に示すように個別に設定した。すなわち、条件2, 3に関しては試料床の耐剥離性の試料差が最も明確となるような試料床の総回転数を設定した。一方、条件1に関しては、仕上げ材の摩耗が観察されたことから、摩耗の進行が走行荷重の付与および剥離の判定に影響を及ぼさないと判断される範囲の総回転数にとどめた。さらに、以上に伴い、次節3.4で述べる剥離の判定も表5に示すように個別の回転数間隔ごとに行うこととした。

3.4 試料床の耐剥離性の判定方法

3.3に述べた装置により走行荷重を所定の回転数作用させた試料床に関し、塗り床材の剥離の発生状況を以下の方法により判定した。

設定した載荷条件ではキャスターはいずれも試料床上の半径20mmの円周を走行することから、この円周上に等間隔に10個の剥離の判定箇所を設定した。各判定箇所における剥離の判定として、目視による判定に加え、前報²⁾と同様に、高さ10mmから直径10mmの鋼球を落下させ、内在的な剥離についても反発音の音感による判定も行った。キャスターによる走行荷重の載荷は所定の総回転数となるまで行い、その間、剥離の判定を所定の回転数の判定間隔で行った。

次に、試料床の耐剥離性を未剥離箇所の累積数により評価することとし、耐剥離性を表す指標として次式に示す耐剥離性相対指数(以下、SRI)を定義・算出した。ここに、Xは1回の判定における判定箇所数(今回はX=10)、Nは総判定回数、x_iは各判定ごとの剥離箇所数である。

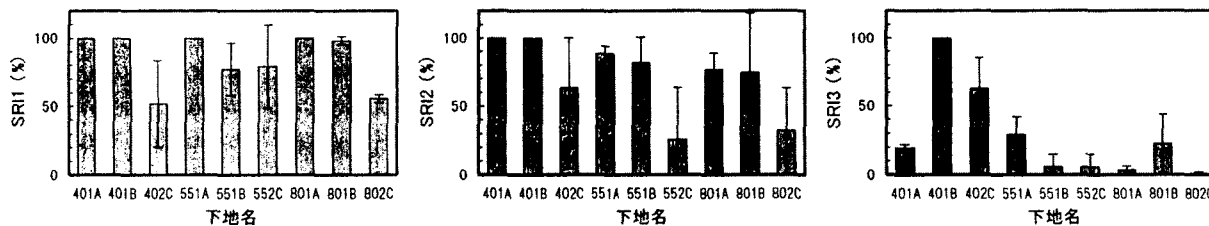


図2 各走行荷重条件における試料床のSRI

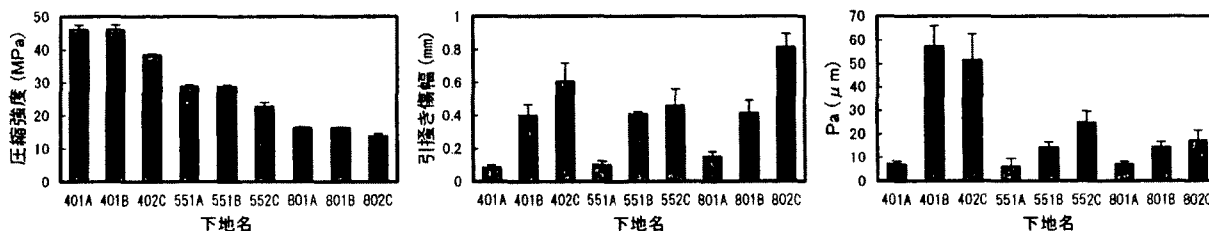


図3 下地コンクリートの性状の測定結果

4. 実験結果および考察

4.1 試料床の耐剥離性に関する試験結果および考察

4.1.1 耐剥離性の全般的傾向に関する考察

図2に、試料床の耐剥離性の試験結果として、試料床の耐剥離性の指標であるSRIの平均値および標準偏差を走行荷重条件別に示す。図2から、いずれの条件においても、試料床のSRIの値は様々であり、前報²⁾のモルタル下地の場合と同様に、試料床の耐剥離性には下地コンクリートの性状が影響していることが分かる。また、走行荷重条件が異なれば試料床のSRIの序列も異なっており、試料床の耐剥離性はキャストの走行荷重条件にも影響を受けることが明らかである。

4.1.2 耐剥離性のばらつきに関する考察

図2から、試料床のSRIの標準偏差にも差異が認められ、総じて表面処理C, B, Aの順にばらつきが大きい傾向がうかがえる。この結果から、表面処理の不十分な下地ほど表面性状もより不均質であると想定できる。田中ら¹⁾は既往の研究において、塗り床材と下地コンクリートの接着力分布を小面積接着力試験により測定した結果、塗り床材と下地との接着力は数倍から十倍程度にばらついていると報告している。したがって、本研究においても、表面性状の不均質性に関する検討も含め、施工条件と下地コンクリートの耐剥離性のばらつきの関係に関する考察は今後より詳細に行う必要があると考える。

4.2 下地コンクリートの性状の測定結果および考察

図3に下地コンクリートの性状の測定結果として圧縮強度、引掻き傷幅、および中心線平均粗さPaの平均値と標準偏差を示すとともに、以下に考察する。

4.2.1 圧縮強度

図3から、下地の圧縮強度はおおむねW/Cにより定まり、最大で3倍程度の強度差があることが確認できる。また、これらの圧縮強度を3.3節で設定したキャストの走行荷重条件の接地圧と比較すると、接地圧が大きい走行荷重条件3は、W/Cが55%と80%の計6調合の圧縮強度より接地圧が上回る条件となっている。

4.2.2 表面硬さ

引掻き傷幅の値が小さいほど表面硬さは硬いことを示すが、図3から表面硬さに関しても十分な差があることが分かる。また、表面硬さに関しては、圧縮強度と比較して表面処理の効果が相対的に大きく、下地の表面硬さは調合ではなく表面処理により定まる傾向が強いことが分かる。すなわち、表面硬さは表面処理A, B, Cの順に硬い傾向にある。

4.2.3 表面粗さ

中心線平均粗さPaの値が大きいほど表面粗さは粗いことを示すが、図3から表面粗さに関しても十分な差があることが分かる。また、表面粗さに関しては、表面処理Aによる下地が最も平滑であり、処理BとCによる下地は相対的に粗い。また、処理BとCによる下地の粗さは調合ごとにほぼ同程度である。

また、図3全体から、設定した9種の下地に関しては、圧縮強度、表面硬さ、および表面粗さの3要因が相互に独立性の高いことも確認できる。さらに、表面硬さと表面粗さに関しては、4.1.2項でのSRI同様、表面処理C, B, Aの順にばらつきが大きい傾向にある。

4.3 キャスターの走行荷重と下地コンクリートの性状が耐剥離性に及ぼす影響

4.3.1 耐剥離性の序列の変動に及ぼす走行荷重条件の影響

図4に異なる走行荷重条件間でのSRIの対応関係を示す。図中のRは相関係数である(以下、同様)。図4から、いずれの対応関係の相関も高いとはいえず、4.1.1項でも述べたように、走行荷重条件が異なると試料床のSRIの序列も異なることが分かる。

個々の試料床について見てみると、401Bは他の試料床に比べ圧縮強度が最も大きくかつ表面硬さが中程度で表面粗さは最も粗い下地コンクリートであるが、401BのSRIはどの走行荷重条件でも100%である。逆に、802Cは他の試料床に比べ圧縮強度が最も小さくかつ表面硬さが中程度で表面硬さは最も軟らかい下地コンクリートであるが、802CのSRIはどの走行荷重条件でも比較的低いものとなっている。しかし、この2種以外の試料床については、走行荷重条件によりSRIの序列は異なっている。すなわち、条件1と2では、

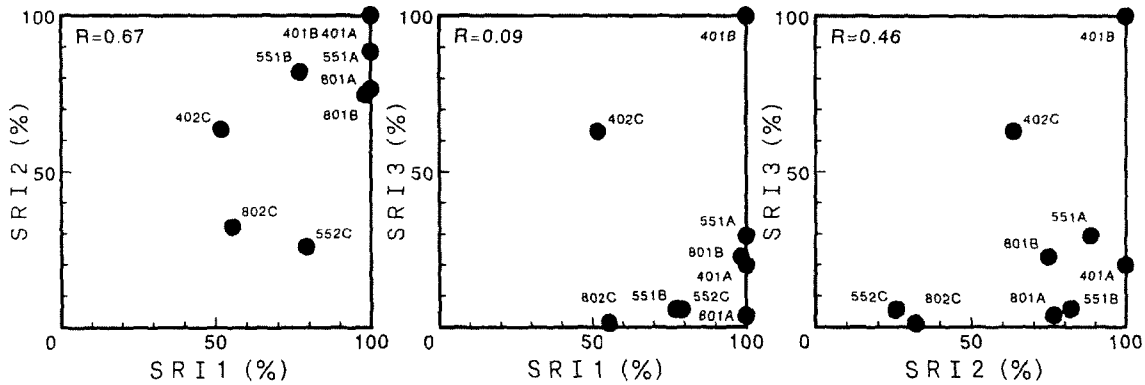


図4 異なる走行荷重条件間のSRIの対応関係

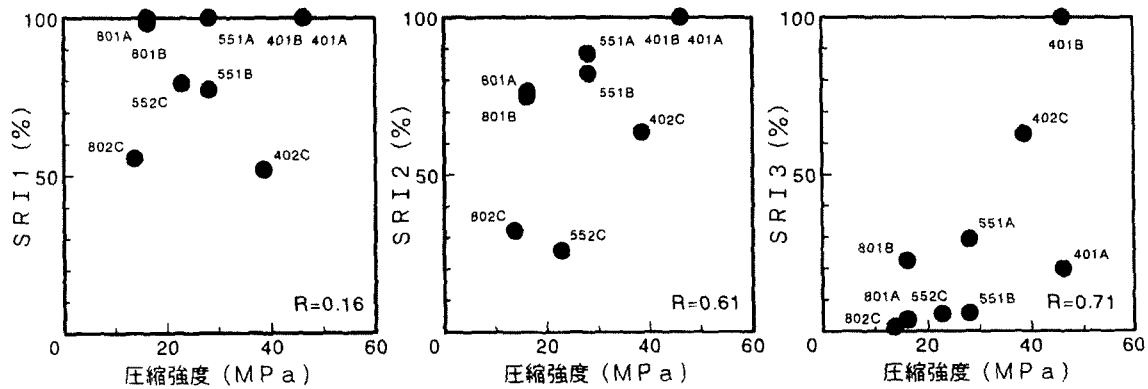


図5 各走行荷重条件におけるSRIと圧縮強度の関係

下地コンクリートの表面硬さが中程度以上の硬さである、表面処理A、Bの5種の下地(401A, 551A, 551B, 801A, 801B)のSRIが比較的高い値となっている。一方、接地圧の大きい条件3では、下地コンクリートの圧縮強度が大きく表面粗さも粗い402C以外はいずれも低いSRIとなっている。特に401Aは条件1と2ではSRIが100%でありながら、条件3ではSRIは大きく低下している。さらに、条件1と条件2の間でも、例えば551Bと552Cは条件1では同程度のSRIであるが、条件2では大きく異なっている。

以上の考察から、キャストの走行荷重の性状により、塗床の耐剥離性に及ぼす下地の性状の影響は異なることが分かる。従って、キャストの走行荷重を受ける塗床の耐剥離性を評価する場合、相対的評価であっても作用する荷重の性状を考慮する必要があるといえる。

4.3.2 走行荷重条件ごとにみた耐剥離性に及ぼす下地コンクリートの性状の影響

1) 圧縮強度の影響

図5に、各走行荷重条件におけるSRIと圧縮強度の関係を示す。図5から、条件1では、SRIは圧縮強度との相関はほとんど認められない。条件2では、同じ表面処理の試料床群については、SRI2と圧縮強度の相関は十分認められる。さらに、条件3では、SRI3と圧縮強度の相関は、床試料全体としてより高くなっている。すなわち、条件3、2、1の順で、相対的に接地圧が高く摩擦トルクの小さい条件のほうが、接地圧が低く摩擦トルクの大きい条件よりも、SRIと圧縮強度の対応が良くなる傾向が見受けられる。この

ことから、接地圧が高くかつ摩擦トルクの小さい条件ほど、圧縮強度の影響が相対的に大きくなると考えられる。

2) 表面硬さの影響

図6に、各走行荷重条件におけるSRIと、表面硬さの指標とした引掻き傷幅の関係を示す。図6から、条件1では、SRI1と引掻き傷幅の間に負の相関が認められる。条件2では、同じW/Cの試料床群については、SRI2と引掻き傷幅の間にはおおよ負の相関が認められる。条件3では、SRI3と引掻き傷幅との相関はほとんど認められない。すなわち、SRIと圧縮強度との関係の場合とは逆に、条件1、2、3の順で、相対的に接地圧が低く摩擦トルクの大きい条件のほうが、接地圧が高く摩擦トルクの小さい条件よりも、SRIと表面硬さの対応が良くなる傾向が見受けられる。このことから、接地圧が低くかつ摩擦トルクの大きい条件ほど、表面硬さの影響が相対的に大きくなると考えられる。

3) 表面粗さの影響

図7に、各走行荷重条件におけるSRIと、表面粗さの指標とした中心線平均粗さPaの関係を示す。図7から、条件1および条件2では、SRIとPaの間には明確な相関は認められない。条件3では、Paの大きい401Bと402CのSRI3が顕著に大きいことがわかる。また、条件3では、圧縮強度が大きく表面硬さも硬いものの、Paが小さい401AのSRIは、401B、402CのSRIに比べ大幅に低下している。すなわち、条件3のような接地圧の高い条件では、下地の圧縮強度だけではなく表面粗さも耐剥離性に大きく影響を及ぼしており、表面粗さが十分粗くないと良好な耐剥離性は確保できないことがわかる。

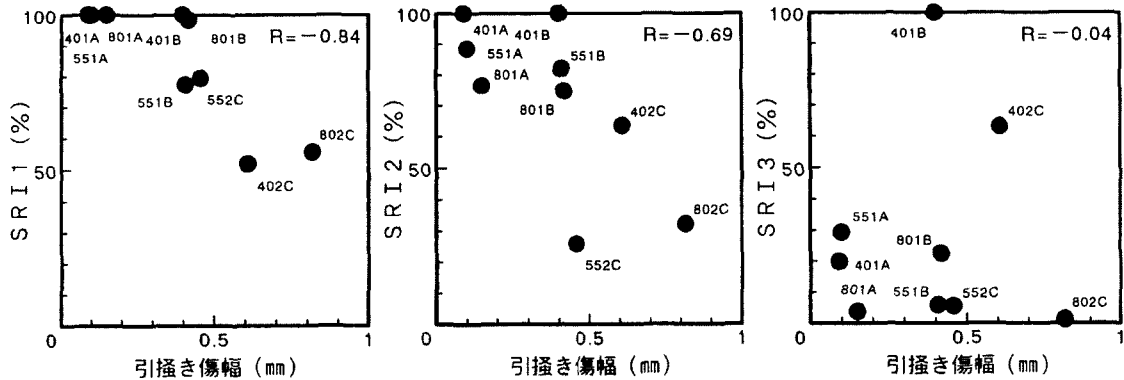


図6 各走行荷重条件におけるSRIと引掻き傷幅の関係

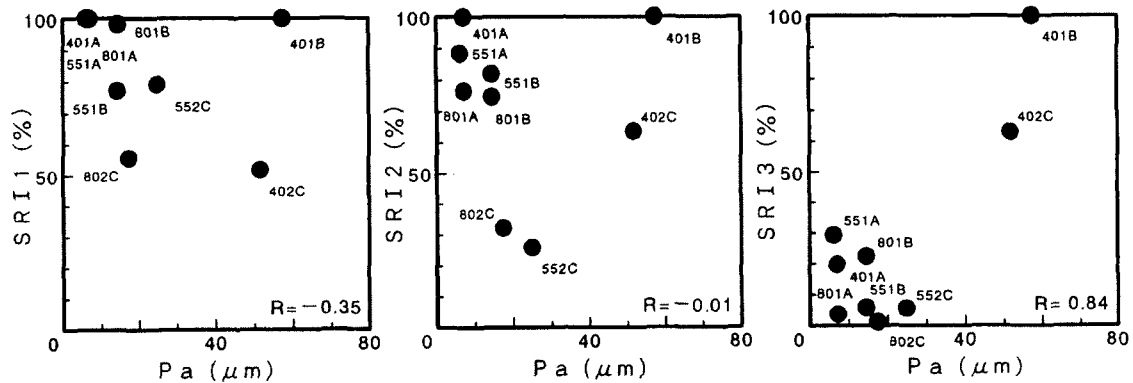


図7 各走行荷重条件におけるSRIと中心線平均粗さPaの関係

5. 結論

コンクリート下地の合成樹脂塗床を研究対象として、下地コンクリートと塗床材の耐剥離性に及ぼすキャストの走行荷重の影響について考察した結果、以下の結論を得た。

- 1) 塗床材の耐剥離性の傾向は、作用させるキャストの走行荷重の性状により異なる。すなわち、耐剥離性からみた下地コンクリートの良否の序列も、走行荷重の性状により異なる。
- 2) 耐剥離性からみた下地コンクリートの良否の序列は、走行荷重条件として、床面へのキャストの接地圧が低くかつ摩擦トルクが大きい場合は、下地コンクリートの表面硬さによりおおよそ説明することができる。
- 3) 一方、走行荷重条件として、接地圧が高くかつ摩擦トルクが小さい場合は、良否の序列は、下地コンクリートの圧縮強度によりおおよそ説明することができる。ただし、このような走行荷重条件の場合は、下地コンクリートの表面粗さの影響も明確であり、圧縮強度が大きくとも表面が過度に平滑であると、耐剥離性は顕著に低下する。

以上であるが、今後、塗床材の耐剥離性からみた下地コンクリートの性状の定量化および評価を行うためには、キャストの走行荷重の性状と耐剥離性の傾向の関係をより定量的に検討する必要があると考える。

参考文献

- 1) 高岡秀樹：耐動荷重性張り床材の評価、日本大学生産工学部第24回学術講演会, pp. 117-120, 1991. 12
- 2) 三上貴正, 坂井映二, 東山純也：キャストの走行荷重を受けるエポキシ樹脂塗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, No.506, pp. 15-20, 1998. 4
- 3) 常深安朗, 三上貴正, 坂井映二：床コンクリートの表面強度に及ぼす仕上げ方法の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1 pp.1063-1064, 1998. 9
- 4) 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇, 逸見義男, 佐藤弘和：仕上げ材を施すコンクリート床スラブの含水率, 細孔構造、日本建築学会構造系論文集, No. 504, pp. 7-13, 1998. 2
- 5) 湯浅昇, 松井勇, 逸見義男, 佐藤弘和：仕上げ材のはがれに及ぼす下地コンクリートの含水率, 細孔構造の影響、コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 18, No.1, pp. 573-578, 1996. 6
- 6) 坂井映二, 三上貴正, 川村 宏：キャストの走行荷重の性状がコンクリート下地塗床の耐剥離性に及ぼす影響、日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1 pp. 1099-1100, 1998. 9
- 7) 日本建築学会材料性能評価研究委員会塗床材料性能WG：床仕上げ下地コンクリートの表層部硬さの評価方法に関する研究成果報告書, 1997. 3
- 8) JIS B 0601 表面粗さ一定義及び表示, 日本工業規格, 1994
- 9) 田中享二, 内田昌宏, 大森修, 娘基善：塗床のふくれ発生に及ぼす下地コンクリートの影響、日本建築学会構造系論文集, No.493, pp. 1-7, 1997. 3