

論文 水掛かりのコンクリート床における性能評価に関する研究

竹内 博幸^{*1}・高橋 祐一^{*1}・青柳 智博^{*2}

要旨：食品工場などのコンクリートによる土間・床は、水掛かりとなることが常態であり、ひび割れなどの不具合がないことはもとより、湿潤状態でも滑りにくく、かつ汚れにくい仕様が要求される。しかしながら、ひび割れ、滑り、汚れなどの評価要因に対しては、実際の建物に使用する材料や施工方法に基づく総合的な評価手法は、未だ整備されていない。筆者らは、過年度における収縮、滑り、汚れなどの各試験結果に基づき、より実施工に近づけた試験体を作製し、再度各試験を行い、評価手法の確立を図った。一連の検討の結果、今回のコンクリート床の性能評価方法は、実用化に向けて有効な手法であることが実証された。

キーワード：コンクリート床、水掛かり、ひび割れ、収縮、滑り、汚れ、性能評価

1. はじめに

食品工場などのコンクリートの土間・床は、水掛かりが常態であり、ひび割れなどの不具合がないことはもとより、湿潤状態でも滑りにくく、かつ汚れにくい仕様が要求される。ひび割れ、滑り、汚れなど個々の評価要因に対しては、ある程度評価手法が確立されているものの、実際の建物に使用する材料や施工方法を考慮した評価手法は、未だ整備されていないのが現状と言える。

筆者らは、過年度における水掛かりのコンクリート土間・床を対象としたひび割れ、滑り、汚れなどの基礎的な評価に関する研究の結果、それらの定量的な指標を得

ることができた。¹⁾

そこで、本報では、過年度における収縮、滑り、汚れなどの各試験結果に基づき、実施工に近づけた試験方法により、実際に近い評価が得られる手法を提案することを目的として検討した結果について述べる。

2. 実験概要

2.1 検討対象

過年度に実施した収縮、滑り、汚れの各試験結果¹⁾を表一に総括的に示す。これらの中、1～5はひび割れ対策・収縮低減を対象とする手法であり、6～12は主に防

表一 過年度試験結果(収縮, 滑り, 汚れ)

番号	材料・工法	摘 要	収縮試験 ¹⁾		滑り試験 ²⁾		汚れ試験 ³⁾		備 考
			$\sigma 3$	$\sigma 7$	無介在	散水	B 法	C 法	
0	基 準	W=170kg/m ³	-106	-209	0.730	0.250	15.11	1.90	スランプ 18 cm
1	単位水量低減	W=158kg/m ³	-87	-212	—	—	—	—	スランプ 12 cm
2	膨張材	コンクリート混入	-67	-124	—	—	—	—	
3	収縮低減剤	コンクリート混入	-89	-149	—	—	—	—	
4	ひび割れ低減剤	表面塗布型	-130	-234	—	—	—	—	
5	カッター目地	D=断面高×1/2	+794 ⁴⁾	+1439 ⁴⁾	—	—	—	—	
6	表面凹凸	ほうき目仕上げ	—	—	0.840	0.426	15.44	5.74	
7		極微細孔	—	—	0.779	0.296	13.99	8.53	
8	防滑性塗床材	非磁性、防錆	—	—	0.826	0.528	12.14	7.91	
9		エポキシ樹脂系	—	—	0.785	0.296	1.49	1.64	
10	塗膜防滑剤	防滑粒子	—	—	0.914	0.482	0.53	1.47	高耐久性
11	付着促進剤	微細孔・表面張力	—	—	0.738	0.238	15.26	4.55	
12		同上(撥水剤)	—	—	0.741	0.249	8.32	8.14	撥水剤併用

注]1) 拘束収縮試験の材齢3日と同7日における拘束鋼材のひずみを相殺したコンクリートのひずみ測定値(×10⁻⁶)

2) 滑り試験による C.S.R 値(一定の引張力と角度による試験対象の滑り始めの抵抗値)。いずれも長靴による試験結果。

3) 試験前とB 法(スプレー法)およびC 法(滴下拭き取り法)の各試験における色差(ΔE)の差を示す。

4) カッター目地が試験体の収縮により拡大したため、約 6.5 日でひずみゲージが破断した。 $\sigma 7$ はその最終値。

*1 五洋建設(株) 建築本部建築エンジニアリング部 (正会員)

*2 五洋建設(株) 建設本部建築エンジニアリング部

滑を目的とする仕上げ材・工法である。前者については、ひずみ測定を含む収縮試験により、後者については、滑り試験と汚れ試験により評価を行った。これらの結果に基づき、各試験値を相互に比較することにより、今回の試験体コンクリートには膨張材を適用し、仕上げ材には「防滑性塗床材」と「塗膜防滑剤」、「表面微細凹凸剤」を検討対象として選定した。(表－1網掛け部分)

抽出された検討対象の仕様を表－2に示す。検討対象の材料は、基本的には過年度に実施した仕様と同一とし、3試験体への適用も同様とした。

2.2 検討方法

所要性能の検証は、対象となる性能が定量的に把握できる手法とし、過年度の実験で適用した各試験方法を準用あるいは応用して適用する。検討方法を表－3に示す。

拘束式収縮試験は、JIS A 1151 を参考にし、試験体を実施工に近似した施工性を検討できる規模とした。(図－1)ただし、基本的な測定項目(目視観察、長さ変化、ひずみ)については、JIS 規格と同一の測定方法とした。また、コンタクトゲージのプラグは試験体中央に貼付し、早期に長さ変化を測定できるように同面には仕上げは施さなかった。なお、同試験は、冬期に空調設備のない室内にて行った。

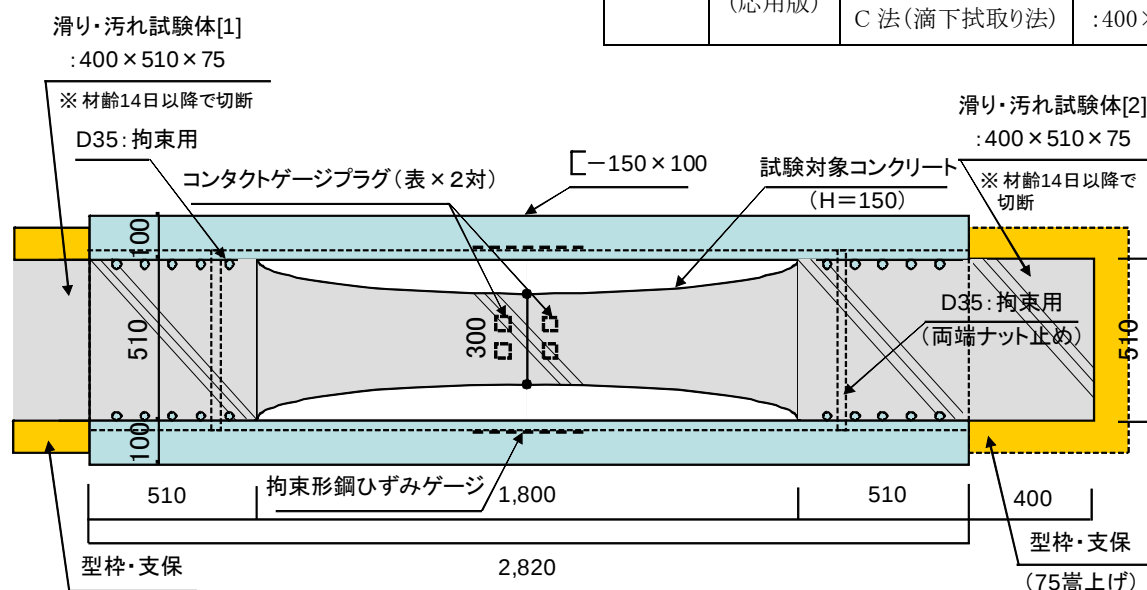
滑り試験および汚れ試験の各仕様は、過年度の実験と同一とした。滑りについては、JIS A1454 に規定されている滑り試験機 O-Y・Pull Slip Meter^{2)～5)}を用い、各工法につきその指標である C.S.R^{2)～5)}を測定した。汚れについては、JIS L1919 を参考として、B 法(スプレー法)、C 法(滴下拭取り法)を適用し、色差により評価した。なお、試験体は、実際に近い規模で、専門作業者により作製した拘束式収縮試験体から切り離す形状とし(図－2)、より実施工に近い状態で評価できるようにした。

表－2 検討対象の仕様

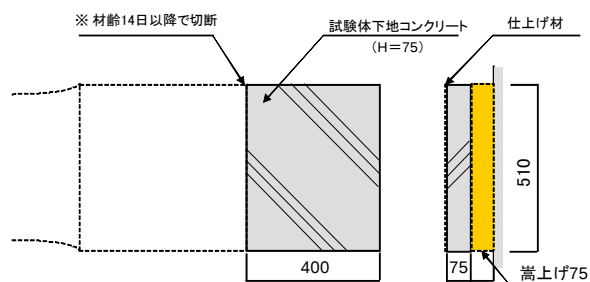
名 称	摘 要	特 徴
膨張材 (試験体共通)	石灰系(CaO) 標準 20kg/m ³ JIS A 6202	使用量(標準): 従来型×2/3
防滑性塗床材 (試験体[1])	無機系 Cr、Ni 含有 t=5, 10 mm 打込み同時仕上げ	非磁性、防錆 防滑:刷毛引
塗膜防滑材 (試験体[2])	表面塗膜剤, 防滑粒子 硬化後塗布	表面凹凸仕上げ 高耐久性
表面微細凹凸 (試験体[3])	溶剤表面処理 微細孔:(2~7μm) 硬化後塗布	表面張力による 吸盤効果 効果持続:4~5年

表－3 検討方法

対象	検証方法	概 要	摘 要
ひび割れ防止	拘束式 乾燥収縮 ひび割れ 試験方法 (応用版)	ひび割れ発生状態 (数・幅・長さ・形状) ・時期の確認⇒記録 長さ変化測定 :コンタクトゲージ法	JIS A 1151 (参考)
滑り防止	滑り試験機 O-Y・Pull Slip Meter	滑り抵抗係数(CSR) の測定 滑り片:硬底,長靴 介在物:なし・散水	JIS A 1454 (参考) 試験体 :400×510
汚れ防止	防汚性 試験 (応用版)	汚れ難さと同落ち 易さの評価 B 法(スプレー法) C 法(滴下拭取り法)	JIS L 1919 (参考) 試験体 :400×510



図－1 拘束試験体[1]～[3]



図－2 滑り・汚れ試験体

3. 実験結果と検討

3.1 収縮試験結果

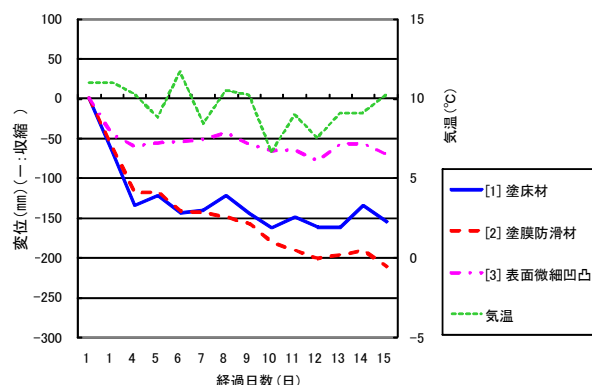
拘束収縮試験体の表面にコンタクトゲージチップを2対貼付して測定したひずみの経時変化を図－3に示す。なお、ひずみゲージにて自動測定された拘束形鋼のひずみ（収縮方向）は相殺されている。

各試験体中央のひずみは、測定開始（材齢1日目）直後には膨張側に推移していることが予想されたが、今回は当初予定していたひずみゲージによる測定が不調であったことから、材齢2日以降のコンタクトゲージによる測定としたため、材齢初期における膨張側の動きは捉えられなかった。材齢2日以降は、いずれの試験体ともひずみは収縮側に推移し、試験体－1（塗床材）、同一2（塗膜防滑材）は、過年度とほぼ同程度のひずみ量となったが、同一3（表面微細凹凸剤）は、過年度の半分以上の収縮量であった。これは、試験体－3における2対のゲージプラグによる測定値間の偏差が他の試験体より大きいことから、2対の中、片方のゲージプラグと試験体間の接着が不十分であった可能性が考えられる。

過年度の実験では、膨張材適用の場合、普通調合による試験体に比較して、材齢7日で約100 μ 、材齢56日で300 μ 程度膨張方向に移行したが、今回は試験体－3を除き、各試験体および試験体間の収縮の傾向はほぼ同様であったと考えられる。

また、今回適用した収縮試験方法は、実部材に近い寸法で、かつ実施工に近い施工により試験体が作製されていることもあり、材料の収縮性状がより実際の床に近い状態で捉えられていると考えられる。一方、端部試験体（滑り・汚れ）の切り離しや仕上げ材の種類、仕上げ施工の時期の違いなどが、試験結果に対して定量的にどの程度影響を及ぼしているかは、今回の試験の範囲では明らかではない。

なお、収縮試験における性能評価の目標は、ひずみの測定方法を特定していないこともあり、試験体の測定区間に「ひび割れが発生しないこと」とする。今回は、いずれの試験体とも作製後2か月以上にわたりひび割れの発生は見られなかった。



図－3 ひずみ測定結果

3.2 滑り試験結果

表－4に、滑り試験結果を示す。

試験値は、C.S.R 値^{2)～5)}と称され、一定の引張荷重速度(784N)と角度(18°)で引き上げられた状態での試験対象の滑り始めの抵抗値であり、試験は原則として2回実施し小さい方の試験値を採用する。

表中の試験値は、靴底と試験体間の介在物の状態を、介在物なし、散水状態（魚油混合）の2水準に、靴底の状態を、硬底、長靴の2水準に設定して試験を行った結果である。2回ずつ行った各試験値は、いずれの工法・材料についても有意差は見られなかった。

建築に適用する場合、一般に、C.S.R 値が0.4以下の場合「滑りやすく危険」とされる⁶⁾が、今回適用した工法は、介在物なしではいずれもC.S.R 値0.7を上回り、

表－4 滑り試験結果

番号	試験体		滑り試験:C.S.R.値 ¹⁾			
			介在物なし		散水状態(魚油)	
			硬底	長靴	硬底	長靴
1	防滑性 塗床材	[1]	0.996 0.940	0.882 0.864	0.554 0.557	0.423 0.425
		[2]	0.976 0.949	0.809 0.830	0.495 0.470	0.413 0.411
2	塗膜 防滑材	[1]	0.936 0.931	0.869 0.897	0.499 0.470	0.366 0.355
		[2]	0.877 0.891	0.954 0.957	0.406 0.411	0.318 0.320
3	表面 微細 凹凸剤	[1]	0.926 0.873	0.793 0.780	0.496 0.488	0.415 0.409
		[2]	0.851 0.848	0.727 0.741	0.403 0.428	0.388 0.386

注]1) 滑り測定は原則として2回実施。太字は採用値。

防滑工法としての効果を示している。一方、散水状態（魚油混合）とした場合については、塗膜防滑材と表面微細凹凸剤・硬底については C.S.R 値が 0.4 を下回る結果となっているが、防滑性塗床材はいずれの場合も同値 0.4 を上回る結果であった。

硬底と長靴では、一般に底の軟らかい後者が高い C.S.R 値を示すことが多いが、介在物なしでは硬底の方が若干高い C.S.R 値を示している。一方、散水状態の場合は、C.S.R 値が低い工法・材料については、両者の同値はほぼ同程度となるものが多く、同値が比較的高い工法・材料については、硬底の方が高くなる傾向にある。これは、C.S.R 値が比較的高い工法・材料は、靴底の硬度に寄与しない要因により滑りを制御されているためと考えられ、試験体表面の硬軟の程度や靴材との接触状態により防滑性を顕在化しているものと推察される。

また、今回の試験結果を過年度に実施した同種材料の試験結果と比較すると、今回は、実施工に近い状態で作製した試験体から切り出した板状片を滑り試験体としていることから、両者間に最大 0.173 の差異が見られるが、各材料間における試験値の全体的な傾向はそれほど

変わらない。（表－7）

なお、滑り試験における性能評価の目標は「散水状態で C.S.R 値 0.4 を超えること」とする。これは、「滑りやすく危険」とされる C.S.R 値 0.4 が同試験では唯一の定評された指標であることから、対象水準を適用範囲と想定される「散水状態」に限り設定する。

3.3 汚れ試験結果

表－5に、汚れ試験結果を示す。

汚れ試験は、各工法・材料につき、JIS L 1919「繊維製品の防汚試験方法」を参考にし、B 法（スプレー法）と C 法（滴下拭取り法）により⁷⁾汚れ（魚油混合液）を付着させた。前者の場合は、汚れの乾燥後に、また、後者の場合は、汚れの拭き取り後に、それぞれ色差を測定し、試験前の同測定値との比較により、汚れの残存程度について判定した。なお、各試験体における測定は、表面の測点 5 箇所について行い、それらの平均値を試験値とした。また、いずれの材料においても、色や光沢以外は、ふくれ、剥がれ、ひび割れなど、試験体表面に劣化とされる現象は見られなかった。

表－5 汚れ試験結果

番号	材料・工法	試験体	汚れ試験：色差(ΔE) ¹⁾						
				初期値(試験前)		B 法(スプレー法)		C 法(滴下拭取り法)	
1	防滑性塗床材	[1]	L	52.40		39.08		44.46	
			a b	-13.94	9.39	-13.94	10.14	-14.00	10.51
			ΔE	—		13.34		8.02	
		[2]	L	54.78		39.50		41.93	
			a b	-12.88	8.77	-13.90	9.92	-13.11	9.58
			ΔE	—		15.36		12.88	
2	塗膜防滑材	[1]	L	42.60		41.84		42.14	
			a b	-23.71	6.02	-23.56	6.30	-22.10	5.69
			ΔE	—		0.82		1.71	
		[2]	L	43.75		42.68		43.19	
			a b	-23.89	6.11	-23.81	6.56	-22.88	6.07
			ΔE	—		1.16		1.16	
3	表面微細凹凸剤	[1]	L	55.89		44.98		51.18	
			a b	-0.82	7.01	-0.10	8.64	-0.33	7.90
			ΔE	—		11.05		4.82	
		[2]	L	61.08		43.40		51.74	
			a b	-0.91	4.92	-0.18	7.87	-0.10	8.22
			ΔE	—		17.94		9.94	

注] 1) $\Delta E = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2}$

色差は、表－５の欄外に示すように、色相：a，彩度：b，および明度：Lの各測定値間の差の相乗平均（ ΔE ）とした。なお、一般に色差の評価としては、 $\Delta E=1.5$ が感知の閾値、同 6.0 が差異の閾値、同 12.0 が別色の閾値とされている（表－６）[※]。

これより、試験前後の色差が最も小さいのは塗膜防滑材であり、概ね、表面に凹凸など不陸があるものは、その差が大きい傾向にある。全般的には、C 法の方が B 法に比較して色差が小さい。これは、C 法が拭き取り後に色差を測定するのに対し、B 法は乾燥後に測定することから、下地となる各材料に対し試験液との色合の違いが発現しやすいためと考えられる。

表－６ 色差値の評価[※]

色差値	色差の感覚	
0～0.5	trace	かすかに感じられる
0.5～1.5	slight	わずかに感じられる
1.5～3.0	noticeable	かなり感じられる
3.0～6.0	appreciable	目立って感じられる
6.0～12	much	大きい
12 以上	very much	非常に大きい

注] ※:NBS 単位(米国標準局)による。

なお、汚れ試験における性能評価の目標は、色差値 3.0 以下とする。これは、一般的な色差の評価である「感知」と「差異」の閾値の中間値としている。ただし、色差が同程度であっても、色の種類や他の要因により、人間の感覚には相当の差異が予想されることから、評価にあたっては、主観的な要素や複数の評価を参考とすることが現実的であると考えられる。

4. 実用化に向けた検討

過年度に実施した同じ試験結果と今回の試験結果を比較したものを表－７に示す。なお、各試験値において目標値に達していないものは太字で示している。これより、3 試験すべてに目標値を満足している材料・工法は過年度における塗膜防滑材のみとなるが、各試験の目標値については、さらにデータを積み重ねて検討を続ける必要がある。

性能評価としては、特に汚れ試験については、感覚的な要素や色自体による影響などが要因として考えられるが、必ずしも試験値に直接反映できないため、検討の余地が多いと考えられる。

試験ごとに述べたように、今回は、実大部材に近づけた試験体規模によるため、いずれの試験においても過年度の室内試験結果に比較して、各試験値間にばらつきが見られるものの、試験結果の全体的な傾向は両者に共通している。

表－７ 過年度試験結果との比較

番号	試験体		収縮試験 ¹⁾			滑り:C.S.R.値 ²⁾				汚れ:色差(ΔE)	
			ひずみ(μ)			介在物なし		散水状態(魚油)		B 法	C 法
			$\sigma 3$	$\sigma 7$	$\sigma 14$	硬底	長靴	硬底	長靴	スプレー	拭き取り
		目標	ひび割れ発生なし			—		>0.4		≤3.0	
1	防滑性塗床材	過年	-67 (-106)	-124 (-209)	-193 (-370)	0.854	0.826	0.629	0.528	12.14	7.91
		今回	-135 なし	-123 なし	-155 なし	0.940 0.949	0.864 0.809	0.554 0.470	0.423 0.411	13.34 15.36	8.02 12.88
2	塗膜防滑材	過年	-67 (-106)	-124 (-209)	-193 (-370)	0.971	0.914	0.579	0.482	0.53	1.47
		今回	-61 なし	-150 なし	-211 なし	0.931 0.877	0.869 0.954	0.470 0.406	0.355 0.318	0.82 1.16	1.71 1.16
3	表面微細凹凸剤	過年	-67 (-106)	-124 (-209)	-193 (-370)	0.787	0.779	0.327	0.296	13.99	8.53
		今回	-61 なし	-44 なし	-71 なし	0.873 0.848	0.780 0.727	0.488 0.428	0.409 0.386	11.05 17.94	4.82 9.94

注] ※ 太字の試験値は目標値に達していないもの

1) 過年度()内は基準試験体の測定値を示す。

2) 滑り試験測定は原則として2回実施。今年度は2試験体分。

今回の結果より、実施工を反映できる規模で、当該部分を切り出す仕様の試験体とすることにより、同試験体による試験結果が室内でのそれと全体的に傾向が変わらないながらも、各試験値には不特定な変動が見られることから、施工によるばらつきや規模による影響が反映されていることが伺える。

なお、拘束収縮試験では、試験体寸法を JIS A 1551 に比較して上下面を 3.0 倍、厚さを 1.5 倍としたが、鉄筋比も約 1.5 倍となっていることから、スケール効果については定性的にはある程度予想されるものの、定量的に推定することは難しい。今回は、試験体をある程度の規模とすることにより、実施工における精度のばらつきや仕上げの粗密を含めて評価することを優先して試験体寸法を設定したため、スケール効果の定量的な評価については今後の課題とする。

5. まとめ

過年度に水掛かりのコンクリート床の基本的な評価方法として適用した収縮、滑りおよび汚れの各試験結果に基づき、実施工への適用に向けて検討対象を絞り込み、より実施工に対応させた方法により、最適な材料・工法を選定する手法について検討したところ、以下の事項が明らかになった。

(1) 拘束収縮試験体の中央部のひずみは、試験体間にばらつきはあるものの、いずれも目標である「ひび割れの発生がない」状態を保持し、各寸法を大きくした同試験体においても同様の傾向が得られた。

(2) 滑り試験の結果、今回検討対象とした材料については、施工によるばらつきは見られるものの、過年度の室内試験結果と類似した傾向の結果が得られた。塗膜防滑材と表面微細凹凸剤の一部が、目標である散水状態における C.S.R 値 0.4 を下回る試験結果であった。

(3) 汚れ試験の結果、今回は過年度に比較して、施工者や施工条件が異なるにも拘らず、同じ材料の色差の差は 0.11～4.97 であり、全体的な傾向はほぼ同様であった。目標である色差値 3.0 以下は、塗膜防滑材のみであったが、評価にあたっては、主観的な要素や複数の評価を参考とする必要がある。

(4) 今回の結果より、実施工を反映できる規模で、当

該部分を切り出す仕様の試験体とすることにより、試験結果の傾向が全体的に変わらなく、各試験値には不特定な変動が見られることから、施工によるばらつきや規模による影響が反映されていることが伺えた。なお、試験体寸法を拡大したことによるスケール効果については、今回は定量的な評価に到らないため、今後の課題とする。

一連の実験に関して、貴重な御助言をいただいた横山裕准教授（東工大）と横井健講師（東海大）には、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 竹内博幸, 高橋祐一:「土間・床コンクリートの性能評価に関する基礎的研究」, 日本コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.1, pp.1633-1638, 2009.7,
- 2) 小野英哲, 宮木宗和, 河田秋澄, 吉岡丹:床のすべりおよびその評価方法に関する研究 その1 研究方法およびすべり感覚の尺度化, 日本建築学会論文報告集, 第 321 号, pp.1-8, 1982.11
- 3) 小野英哲:床のすべりおよびその評価方法に関する研究 その2 すべり試験機設計・試作のための基礎的資料の集積およびすべり試験機の基本構想, 日本建築学会論文報告集, 第 333 号, pp.1-7, 1983.11
- 4) 小野英哲ほか:床のすべりおよびその評価方法に関する研究 その3 すべり試験機の設計・試作, 日本建築学会論文報告集, 第 346 号, pp.1-8, 1984.12
- 5) 小野英哲, 須藤拓, 武田清:床のすべり評価指標および評価方法の提示 床のすべりおよびその評価方法に関する研究(その4), 日本建築学会構造系論文報告集, 第 356 号, pp.1-8, 1985.10
- 6) 日本建築学会 床工事 WG:床の性能評価方法の概要と性能の推奨値(案), 2008.6
- 7) (財)日本染色検査協会:JIS L 1919「繊維製品の防汚性試験方法」について, ニッセンケンだより, 2006.5
- 8) 細野尚志:色名分類方法に関する資料—ISCC-NBS の色名分類方法と日本色研の系統色名分類方法との比較—, 研究紀要「色彩研究」, Vol.26, No.1, pp.17-24, 1980.