

高性能床工法の実用化に関する研究

—ひび割れ低減、防滑、防汚性能を有する床—

竹内 博幸* 高橋 祐一*
青柳 智博* 山中 利幸*

要 旨

食品工場などの土間・床スラブコンクリートは、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、安全面では湿潤状態でも滑りにくく、かつ衛生面でも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に基づく総合的な評価手法は、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土間・床スラブコンクリートを対象としたひび割れ、滑り、汚れなどの定量的な評価に関する研究の結果、基本的な評価試験方法により水掛かり床の総合的な性能評価の基準となる定量的な指標を得ている。

そこで、引き続き、過年度における収縮、滑り、汚れなどの各試験の実施結果に基づき、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。今回の一連の検討の結果、評価手法は、実用化に向けて有効な手法であることが実証された。

1. はじめに

食品工場などの土間・床スラブコンクリートは、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、安全面では湿潤状態でも滑りにくく、かつ衛生面でも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土間・床スラブコンクリートを対象としたひび割れ、滑り、汚れなどの定量的な評価に関する研究の結果、基本的な評価試験方法により同コンクリートの性能評価の基準となる定量的な指標を得ている。

そこで、本報では、過年度における収縮、滑り、汚れなどの各試験の実施結果に基づき、より実施工に近づけた試験方法にて、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、汚れの各試験結果を表-1に総括的に示す。これらの内、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。

過年度の試験結果に基づく相対的な評価により、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。(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する。

2.2 検討方法

所要性能の検証は、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の検討を行える規模とした。(図-1)ただし、基本的な測定項目(目視観察、ひずみ、収縮量)については、JIS 規格と同一とした。また、ひずみゲージは試験体中央に貼付したが、同面には各仕上げ材は施さなかった。

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が、試験体は、実施工規模に近く、実作業者の施工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の評価が行えるようにした。

また、上記試験体とは別途に試験体を作製し(図-3)、メタルウェザー(紫外線劣化促進試験機)による促進耐候性試験を行った。評価は、試験体表面の目視観察に加えて、光沢度、色差により行った。

*建築エンジニアリング部

表-1 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	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⁾	—	—	—	—	PCM詰め ⁵⁾
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	非磁性、防錆	—	—	0.826	0.528	12.14	7.91	
9	塗床材	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	—	—	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で引き上げられた状態におけ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で、2回のうち低い方の値を示す。

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。σ7はその最終値。

5) カッター目地内に、一定期間を経てポリマーセメントモルタルを上云天端まで詰める仕様とする。

表-2 検討対象の仕様

名称	摘要	特徴
膨張材 [全試験体 共通]	石灰系(CaO) 標準 20kg/m ³ JIS A 6202 コンクリート	使用量(標準): 従来タイプ×2/3
防滑性 塗床材 [試験体①]	無機系 Cr、Ni含有 t=5、10 mm 打込みと 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 高耐久性
表面微細 凹凸 [試験体③]	溶剤表面処理 微細孔: (2~7 μm) 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

対象性能	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 ひずみ測定 :ゲージ自動測定	JIS A 1151 (参考)
滑り防止	すべり 試験機	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 5705 JIS A 1454 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(滴下拭き取り法)	JIS L 1919 (参考) 試験体 :400×510
施工性	作業観察 時間測定	ビデオ撮影・ ヒアリング	作業測定 方法(AII)
耐久性	促進耐候 試験	Metal Weather 100・150・200h ⇒ 光沢度・色差測定	試験片: 150×75 ×40

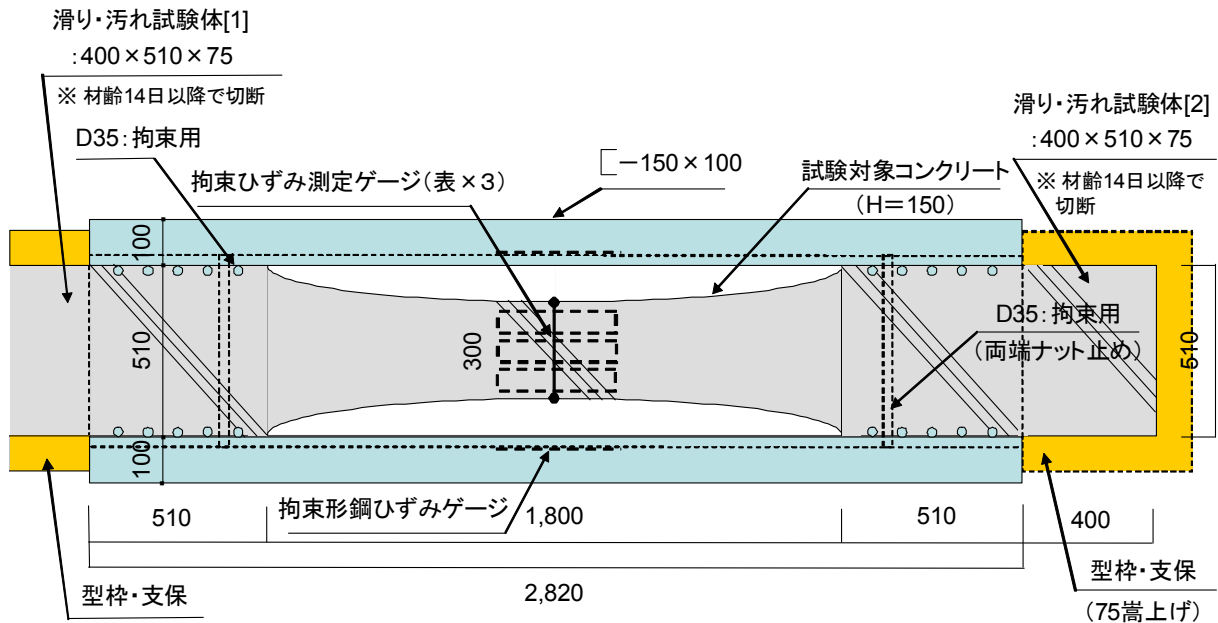


図-1 拘束試験体①～③

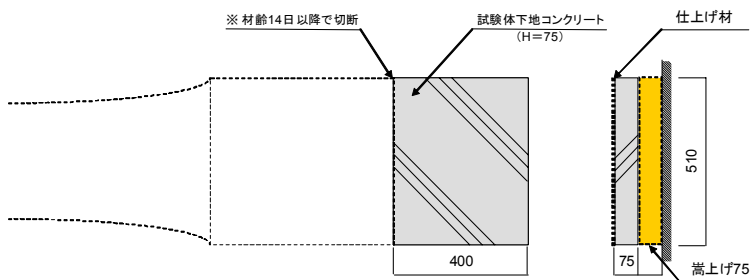


図-2 滑り・汚れ試験体

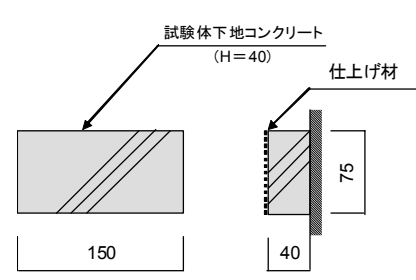


図-3 耐久性試験体

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にひずみゲージを貼付して測定したひずみの経時変化を図-4に示す。なお、拘束形鋼分のひずみ(収縮方向)は相殺されている。

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たが、材齢に伴い、収縮側に移行した。材齢2日以降は、試験体②(塗膜防滑材)を除き、同①(塗床材)、同③(表面微細凹凸剤)は、いずれも膨張方向に推移した。検証のため、ゲージの間にプラグを取り付け、材齢2日目よりコンタクトゲージにてプラグ間のひずみ量を測定したところ、図-5に示すように、各試験体における伸縮量は異なるものの、収縮試験とコンタクトゲージ測定結果では、各試験体および試験体間の伸縮の傾向は、ほぼ同様と考えられる。

過年度の実験では、膨張材適用の場合、材齢7日で 100μ 、最終的には 300μ 程度膨張方向に移行したが、今回はいず

れも、測定値の傾向にばらつきがあり、その定量値は明らかでないものの、各ひずみ量は収縮方向から膨張方向に移行しているものと推察される。

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の確に捉えられていると考えられるが、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が、試験結果に対し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。

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¹⁾と称され、一定の引張力と角度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¹⁾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、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0.4 を上回る結果であった。

硬底と長靴では、一般に底が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、各材料間の全体的な傾向はそれほど変わらない。(表-7)

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」を参考にして、B 法(スプレー法)とC 法(滴下拭き取り法)により汚れ(魚油混合液)を付着させ前者の場合は乾燥後に、また、後者の場合は拭き取り後に、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、汚れの残存程度を判定した。なお、各試験体における測定は、測点5箇所につき行い、それらの平均値を試験値とした。また、

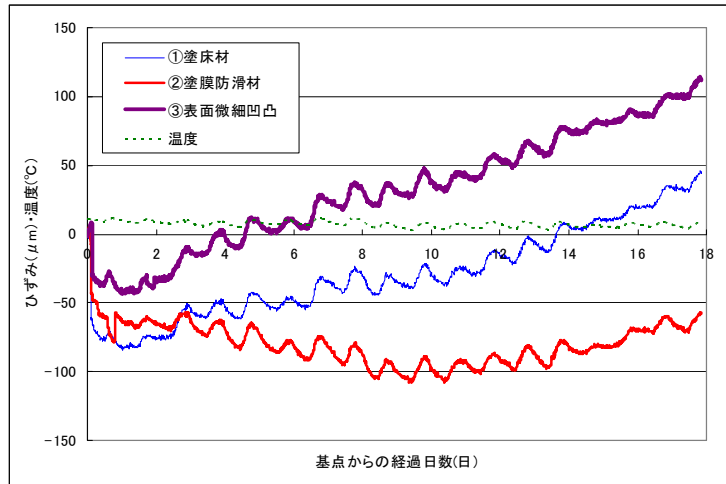


図-4 収縮試験結果

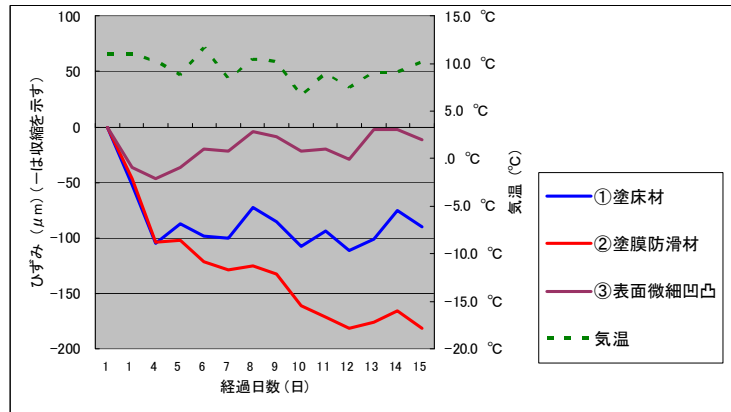


図-5 コンタクトゲージ測定結果

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	試験体 [1]	0.996	0.882	0.554	0.423
		試験体 [2]	0.976	0.809	0.495	0.413
②	塗膜防滑材	試験体 [1]	0.936	0.869	0.499	0.366
		試験体 [2]	0.877	0.954	0.406	0.318
③	表面微細凹凸剤	試験体 [1]	0.926	0.793	0.496	0.415
		試験体 [2]	0.851	0.727	0.403	0.388

注]1) 滑り試験測定は原則として2回実施。太字は採用値。

色差は、表-5の表外に示すように、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。

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易いためと考えられる。

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汚れ試験体としているが、両者間は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0.03~2.54であり、材料ごとや材料間の傾向もほぼ同様であった。(表-7)

3.4 耐久性試験結果

表-6に、検討対象である3材料に対する促進耐候性試験結果を示す。また、各試験体の初期状態と試験200時間後の状態を比較した写真を写真-1に示す。

塗床材と塗膜材については、試験の進捗により、色差が大きくなる傾向にあるが、凹凸剤は比較的小さい範囲に止まっている。また、光沢度については、いずれの材料も光沢がなく、促進試験においても低い値のまま推移した。

塗床材は、100時間経過から青色が退行し、黄色味が強くなった。塗膜材は100時間経過から色が薄くなったが、その後はそれほど変化しなかった。凹凸剤は、時間の経過に伴い、全体的に白味が強くなる傾向にあった。

いずれの材料も色や光沢以外は、ふくれ、剥がれ、ひび割れなど、表面に劣化の現象は見られなかった。

4. 実用化に向けた検証

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。

各試験ごとに述べたように、実大部材に近づけた試験体によるため、いずれの試験においても過年度の室内試験結果と比較して各試験値のばらつきが見られるが、試験結果の全体的な傾向は両者に共通している。

今回の結果より、実施工をある程度反映できる規模で、当該部分を切り出す仕様の試験体とすることにより、室内での

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

表-6 促進耐候性試験結果

番号	材料・工法	促進耐候性試験:色差(ΔE) ¹⁾ 、光沢度 ²⁾			
			初期値	100時間	200時間
1	防滑性塗床材	L	54.18	57.79	55.68
		a·b	-13.79·10.39	-11.80·12.84	-11.81·17.57
		ΔE	—	4.80	7.60
		光沢	0.50	0.57	0.60
2	塗膜防滑材	L	42.66	49.37	48.86
		a·b	-23.08·6.30	-20.15·6.96	-20.35·8.54
		ΔE	—	7.35	7.13
		光沢	0.60	0.40	0.37
3	表面微細凹凸剤	L	64.42	66.83	66.05
		a·b	-0.95·4.55	-0.68·4.50	-0.69·5.24
		ΔE	—	2.42	1.78
		光沢	0.77	0.80	0.80

注] 1) $\Delta E = \sqrt{\Delta a^2 + \Delta b^2 + \Delta L^2}$ 、2) 入射角 60°

試験結果と連動し、かつ施工によるばらつきや規模による影響を反映する結果が得られることが分かった。

4. まとめ

過年度に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の実施結果に基づき、実施工適用に向けて検討対象を絞り込み、より実施工・実評価に対応させた手法により、最終的な適用材料・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、いずれも膨張側に移行し、室内試験結果を反映する傾向が得られ、膨張材の効果が確認された。
- (2) 滑り試験の結果、今回検討対象とした材料については、実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。
- (3) 汚れ試験の結果、今回の試験結果は、過年度の室内試験結果と比較して、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 0.03～2.54 であり、材料ごとや材料間の傾向もほぼ同様であった。
- (4) 促進耐候試験の結果、床材と塗膜材については、試験の進捗により、色差が大きくなる傾向にあるが、凹凸剤は比較的小さい範囲に止まった。光沢度については、いずれも光沢がなく、促進試験においても低い値のまま推移した。
- (5) 実施工をある程度反映できる規模で、当該部分を切り出す仕様の試験体とした結果、室内での試験結果と連動し、かつ施工によるばらつきや規模による影響を反映する結果が得られた。

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)と横井講師(東海大)には、深く感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 小野式携帯型滑り試験機他、国交省国土技術政策総合研究所 海岸・港湾浸水施設の安全性に関する研究
- 2) (財)日本染色検査協会:JIS A 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

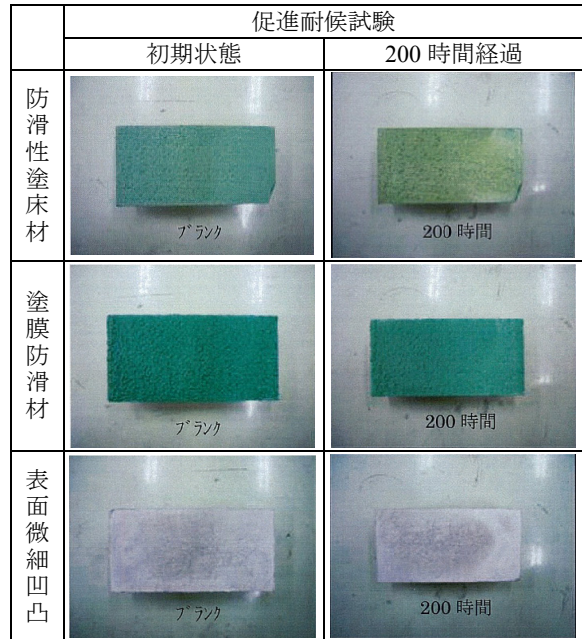


写真-1 促進耐候性試験結果

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	
		σ 3	σ 7	σ 14	硬底	長靴	硬底	長靴	スプレ	拭き取り	
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	-57	-35	+5	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	-62	-82	-82	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	-12	+24	+76	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] 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。