

[1145] コンクリート表面の汚れとその防止対策に関する基礎的研究

平田隆祥^{*1}・竹田宣典^{*2}・十河茂幸^{*3}

1. はじめに

従来、土木分野のコンクリート構造物は機能性や耐久性、経済性が重視され、その外観は素材を生かし、安価でメンテナンスを必要としない打放しコンクリートが多数を占めてきた。ところが、打放しコンクリートの外観は汚染されやすいこと[1]が指摘されており、これらの構造物の外観は長期間の放置で汚染され、一部では醜い姿をさらしているのが実情である。一方近年、ゆとりと豊かさを重視した社会資本整備の必要性が叫ばれ、コンクリート構造物においても、美観や周辺環境との調和を考慮することが強く要求され、その結果、土木分野のコンクリート構造物においても外観を品質の一部と考え、恒久的で安価な美観の要求が高まってきた。

本研究では、実環境下における打放しコンクリートの外観の汚染進行と、外観の汚染防止対策について検討を行った。打放しコンクリートの外観の汚染防止対策には、透明のシラン系浸透性吸水防止剤やエポキシ系、フッ素系、アクリル系などの高耐候性塗布剤を塗布する方法があり、これらの防止対策を施したコンクリート表面の汚染防止効果について検討を行った。

2. コンクリートの外観の汚染度評価に関する試験方法

コンクリートの組織は多孔質で吸水性があり、しかも表面が粗面であるため、汚染物質が付着しやすい性質を持っている。さらに色彩的には灰白色であるため、図-1に示すように汚染物質に対して「地」となり、外観が汚染されていると認識されやすい。外観の汚染物質は、表-1に示す5種類に大別することができる。一方、コンクリートの外観上の品質を劣化させる要因は、図-2に示すように多岐にわたっている。

建築分野の仕入らの研究では、コンクリートの外観の汚染に関する研究を、1970年代から継続して行っており[2][3]、その中で汚染を評価する試験が試みられている。これらの研究では、コンクリートの外観の汚染度を測定する方法として、

- ①付着している汚染物質の成分を分析したり付着量を測定する方法

- ②表面の光沢度や表面色を測定する方法
- ③アンケートによる官能検査手法

などが用いられているが、これらの汚染度を評価する試験方法は、JIS や土木学会ではもちろん、建築学会でも制定されていない。

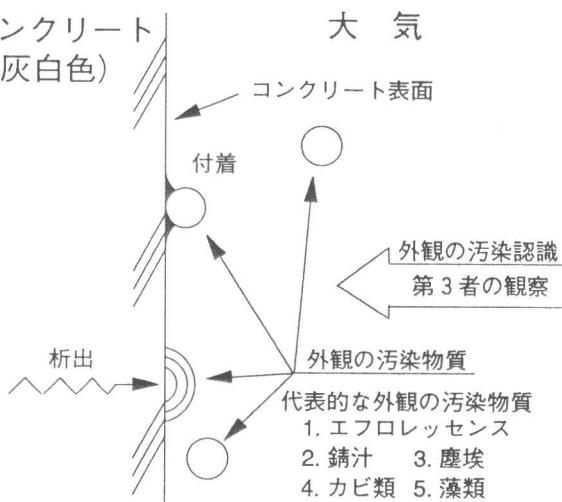


図-1 外観の汚染概念図

*1 (株)大林組技術研究所 土木第三研究室 研究員

*2 (株)大林組技術研究所 土木第三研究室 研究員, 工修

*3 (株)大林組技術研究所 土木第三研究室 主任研究員, 工博

3. 実験方法

3.1 実験概要

実験は最初に、外観の汚染防止用塗装剤を施していない打放しコンクリート表面の光沢度や表面色の分布について検討を行った。次に、コンクリート表面に外観の汚染防止用塗装剤を施した供試体を屋外環境下に暴露し、コンクリート表面の光沢度や表面色の経時変化を調べ、汚染防止効果の検討を行った。

なお、一般に汚れの評価は個人個人で異なる感覚的評価によるが、本実験では、外観の汚染度を定量的に評価するために、コンクリート表面の光沢度や表面色の変化を測定する方法を用いた。

3.2 供試体の作製および養生方法

供試コンクリートの材料を表-2に、配合と基礎的性質を表-3に示す。屋外暴露に使用した供試体は、図-3に示す様に^w300×^D100×^H300とし、化粧合板型枠を用いて32個作製した。供試体の形状は、片面には屋外暴露時に雨水が集まるV型の溝を設け、供試体の中央に垂直な水路（みずみち）

ができるようにした。一方、裏面は平滑で一般的な壁面をモデル化した。コンクリートは、V型の溝のある面を底面（化粧合板面）として打設し、上面は金ごてを用いて仕上げた。供試体は材齢2日で脱型した後、7日間温度20°C・湿度60%の恒温恒湿室で養生し、以後室内に6ヶ月間放置した後、外観の汚染防止用塗装剤を塗布した。

3.3 コンクリートの外観の汚染防止用塗装剤

塗装剤による外観の汚染防止の原理は、塗装剤によりコンクリート表層部の水の移動を抑制して吸水性を低減させたり、コンクリート表面への汚染物質の付着力を低減させて外観の汚染防止を行うものである。実験では、供試体の全面に塗装剤を塗布した場合と、塗布しない場合を比較し、塗装剤による外観の汚染防止能力を評価した。実験に使用した塗装剤と供試体の種類を表-4に示す。

表-1 代表的な汚染物質

種類	色	汚染物質	要因分類
エフロレッセソス	白色	CaCO ₃ ；炭酸カルシウムの白色結晶	c-2
錆汁	褐色	Fe ₂ O ₃ ；鋼材の腐食物質	b-1
塵埃	灰黒色	直径0.1~1μm以下のタル分、灰分等、不溶性物質	b-1
カビ類	青黒色 黄色等	一般的に黒カビと呼ばれているものなど	b-2
藻類	緑黒色	藍藻類など	b-2

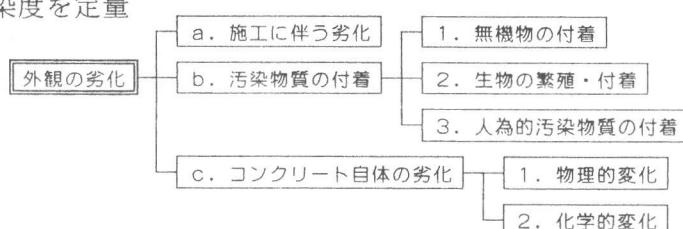


図-2 外観の劣化要因分類

表-2 コンクリート材料

セメント	普通ポルトランドセメント；比重3.14						
細骨材	木更津産丘砂；比重2.62, FM:2.41						
粗骨材	青梅津碎石；比重2.65, FM:6.50						
混和剤	AE減水剤；リグニソルホウ酸系						
練混ぜ水	地下水						

表-3 コンクリートの配合と基礎的性質

Gmax (mm)	W/C (%)	s/a (%)	示方配合					フレッシュコンクリートの性質			圧縮強度 (kgf/cm ²)	
			単位量(kg/m ³)					Sl. (cm)	Air. (%)	C.T. (°C)		
			W	C	S	G	Ad.					
20	50	44	160	320	796	1033	8.0	11.5	4.1	22.5	334	

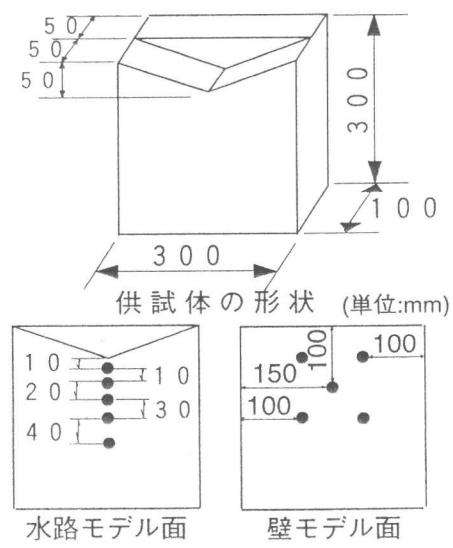


図-3 供試体の形状および測定位置

3.4 供試体の暴露環境

供試体の暴露場所は東京都清瀬市とし、環境は表-5に示す4環境とした。供試体は1環境下に8個配置し、そのうち各2個を同一塗装条件とした。

3.5 試験項目および試験方法

コンクリート表面の光沢度や表面色は、材齢やコンクリート中の水分の含有率によって変化するため、実験はコンクリートの化学反応がほぼ終了し、表面色が安定する材齢6ヵ月から実施した。試験項目および試験方法を表-6に示す。一般に、物体の光沢度や表面色を測定する場合、試験装置による測定可能な範囲は非常に小さいため、物体の測定には多数点を必要とする。そこで本実験では、供試体の片面につき5点測定し、同一種類の2個の供試体の合計10点の平均値で評価した。図-3に光沢度、表面色の測定位置を示す。コンクリートの光沢度の測定は、85°鏡面光沢度を用い、測定範囲は160mm²とした。表面色はL*a*b*表色系の三刺激値を用い、測定範囲は50mm²とした。L*a*b*表色系の明度指数はL*値で表され、L*値100が白、L*値0が黒を表す。彩度はa*b*で表されクロマティクネス指数と呼ばれる。表面色の色差は、三刺激値の測定結果から、表-6に示す色差式を用いて算定した。また色差の感覚的表現と評価値の関係を表-7に示す。

4. 実験結果および考察

4.1 打放しコンクリート表面の光沢度および明度指数の分布

表面に外観の汚染防止用塗装剤を施していない打放しコンクリート面について、光沢度および明度指数の分布の測定を行った。コンクリートの表面色は、ほぼ無彩色であるため、明度指数についてのみ調査した。

打放しコンクリート面の光沢度および明度指数の分布を図-4、5に示す。打放しコンクリート表面の光沢度は、化粧合板面が平均値12.9%，範囲5%～45%に、金ごて仕上げ面が平均値1.4%，範囲0%～5%に分布していた。この結果より、化粧合板面の方が、金ごて仕上げ面より光沢度が大きく、かつ光沢度のバラツキが大きいことが明らかとなった。

表-4 供試体の種類

No.	種類	主成分	仕様
I	塗装剤	---	---
II	浸透性吸水性シラン系	防カビ剤混入 水性シラン系	浸透タイプ
III	水防止剤		
IV	高耐候性塗布剤	特殊アクリル樹脂系	塗膜タイプ

表-5 環境条件

略称	環境条件			供試体数
南	日向	平均湿度 RH63%	建屋 南側	各環境条件下に 供試体の種類I、 II、III、IVの各 2個、合計8個
東		多湿 RH60～80%	建屋 東側	
北	日陰	平均湿度 RH66%	建屋 北側	
林		多湿 RH65～80%	林の中	

表-6 試験項目および試験方法

試験項目	試験方法
表面状態	目視観察および写真撮影
鏡面光沢度 Gs(85°)	JIS Z 8741に準拠、85°鏡面光沢度方法による S社製光沢度計「HG-268」使用
物体色 L*a*b*	JIS Z 8722, 8729に準拠、L*a*b*表色系三刺激値 M社製分光測色計「CM2002」使用
色差 ΔE^*ab	JIS Z 8730に準拠、色差式： $\Delta E^*ab = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2}$ $\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*;$ $L^*a^*b^*表色系における2つの物体色の明度指数L*およびクロマティクネス指数a*, b* の差$

表-7 色差の感覚的表現と評価値の関係

色差 ΔE^*ab	色差の感覚的表現	評価値
0～0.5	きわめてわずかに異なる	trace
0.5～1.5	わずかに異なる	
1.5～3.0	感知し得るほどに異なる	noticiable
3.0～6.0	著しく異なる	appreciable
6.0～12.0	きわめて著しく異なる	much
12.0以上	別の色系統になる	very much

ΔE^*ab : L*a*b*表色系の表色空間における2つの知覚色
2点間の直線距離

一方、明度指数L*値は、化粧合板面が平均値59.2、範囲45~75に、金ごて仕上げ面が平均値74.9、範囲70~80に分布していた。以上の結果、金ごて仕上げ面の方が、化粧合板面より明度指数が大きいので全体的に白っぽく、かつ均質な色に仕上がるを考えられる。同じコンクリートを用いても表面の光沢度や明度指数に差が生じる理由は、表面の仕上げ方法の違い、および化粧合板面が型枠の底面で、コンクリート表層部の組成や結晶状態が異なるためと考えられる。

本実験では、金ごてで仕上げられているコンクリート面より化粧合板による仕上げ面の方が、外観上のむらが大きいと考えられる。特に表面色の色差 ΔE^*ab 値は、算定すると15程度違っており、表-7より色差の評価値は1の「別の色系統になる」結果となった。このように打放しコンクリート表面の光沢度や明度指数は、表面の仕上げ条件によって大きく異なるため、外観の汚染度の評価にこれらの指標を用いる場合は絶対値で評価するのではなく、初期値からの各測定値の変化の度合いで評価する必要があると考えられる。

4.2 外観の汚染防止用塗装剤を使用した場合の光沢度および明度指数の分布

各種外観の汚染防止用塗装剤を使用したコンクリート面の、屋外暴露前の光沢度および明度指数の平均値および標準偏差を表-8に示す。外観の汚染防止用塗装剤を使用したコンクリート面の光沢度は、塗装剤の使用により標準偏差が若干増大しバラツキが増えている。防カビ剤を混入した水性シラン系塗装剤を使用したコンクリート面は、水路モデルの場合光沢度が約30%増加した。一方、明度指数は変化が少なく、標準偏差は若干減少する傾向を示した。

表-8 各塗装面の光沢度及び明度指数の分布

上記の結果より、本実験で使用した外観の汚染防止用塗装剤は、表面が濡れ色にならず、おおむね打放しコンクリートの外観に影響を与えないと考えられる。

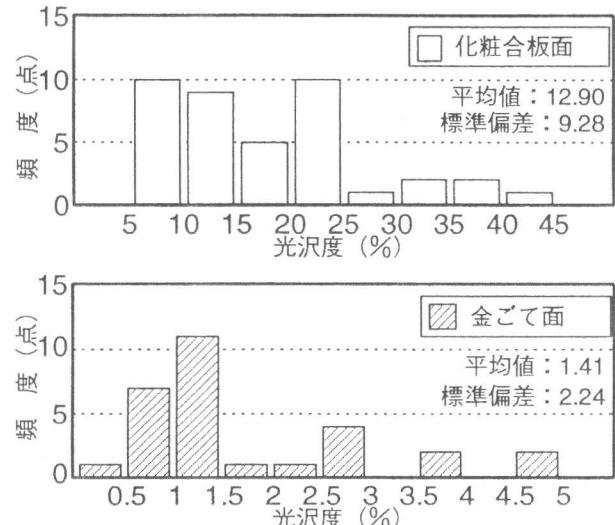


図-4 打放しコンクリートの光沢度の分布

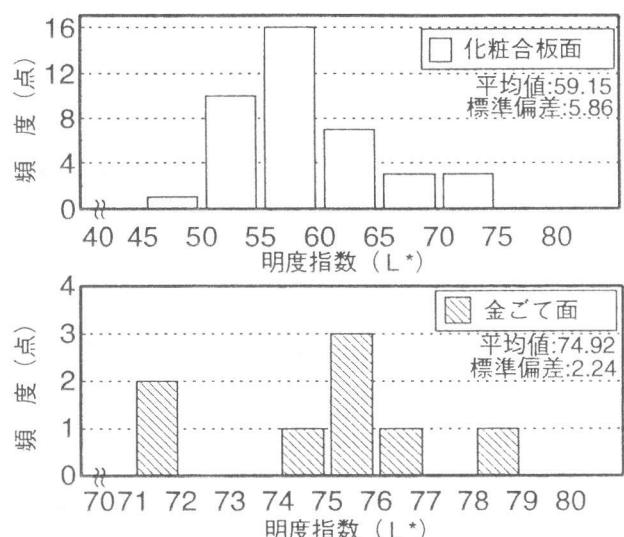


図-5 打放しコンクリートの明度指数の分布

No.	塗布剤主成分	光沢度 (%)				明度指数 L*			
		水路モデル面		壁モデル面		水路モデル面		壁モデル面	
		平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
I	塗布剤なし	12.90	9.28	1.41	1.21	59.15	5.86	74.92	2.24
II	水性シラン系	13.54	11.73	3.08	1.62	61.34	5.24	75.98	1.52
III	防カビ剤混入 水性シラン系	43.64	11.59	16.25	6.79	52.39	3.75	71.50	3.65
IV	特殊アクリル 樹脂系	12.24	12.58	2.46	1.76	59.67	2.25	77.80	1.35

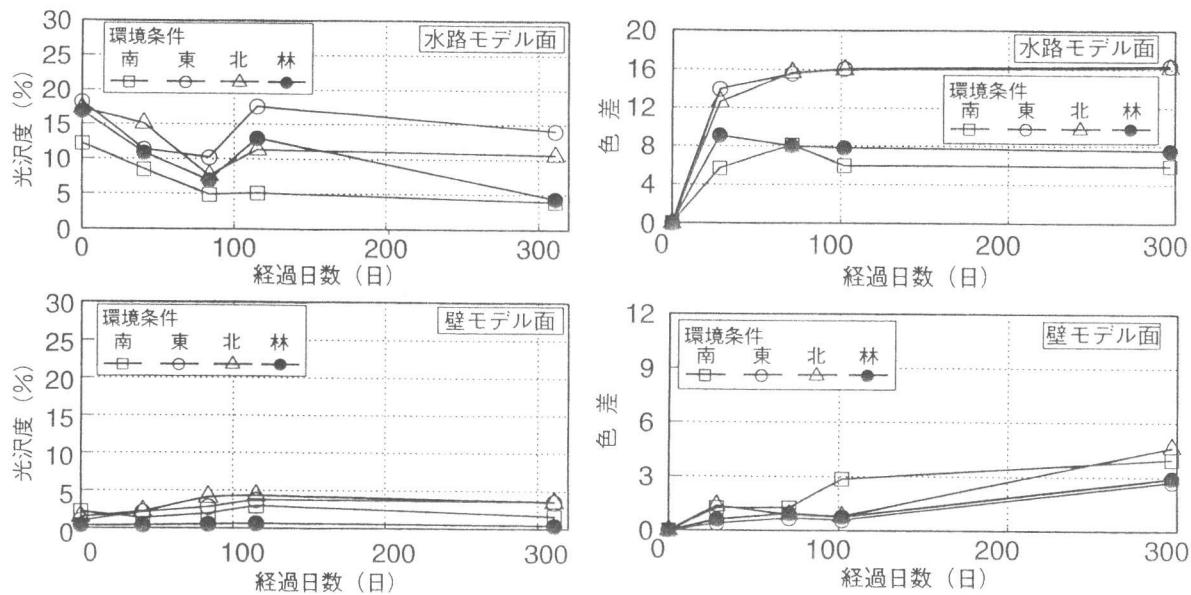


図-6 打放しコンクリート面の光沢度の経時変化 図-7 打放しコンクリート面の色差の経時変化

4.3 部位および環境条件の違いによる汚染度への影響

屋外暴露による、打放しコンクリート表面の光沢度の経時変化を図-6に、色差の経時変化を図-7に示す。水路モデル面の光沢度は、増減はあるものの300日経過した時点では5~10%程度減少した。増減の理由として、水路に付着した汚染物質が雨水で洗い流されることや、コンクリートの含水率の違いが考えられる。一方、壁モデル面の光沢度はほとんど変化しなかった。これは、壁モデル面の光沢度の初期値が小さいことに起因すると考えられる。また、本実験の結果では、環境の違いがコンクリート表面の光沢度へ及ぼす影響に、明確な差は認められなかった。

次に、水路モデル面の色差 ΔE^*ab 値は、30日まで急増し、100日後に安定してほぼ一定値となった。一方、壁モデル面の色差は300日後まで単調に増加し続け、さらに増加傾向にある。打放しコンクリートの色差は、最初の1ヶ月間で、水路部分の方が壁部分より約5~15倍の速さで増加し、ある程度増加するとその変化の度合いが小さくなる傾向が認められた。色差が増加する速さは、環境条件や水路を通る雨水の流量、汚染物質の性質などによって異なると考えられる。暴露供試体を目視観察した結果、茶色を帶びた土埃や藻類が主な汚染物質と考えられた。

4.4 外観の汚染防止用塗装剤の性能

経過日数300日における打放しコンクリート面の光沢度の変化を0とした場合の、各種外観の汚染防止用塗装剤面との光沢度の差を図-8に示す。光沢度は、環境条件では建屋北側と林の中が低下の傾向が大きくなつた。また特殊アクリル樹脂系塗装剤は、光沢度の

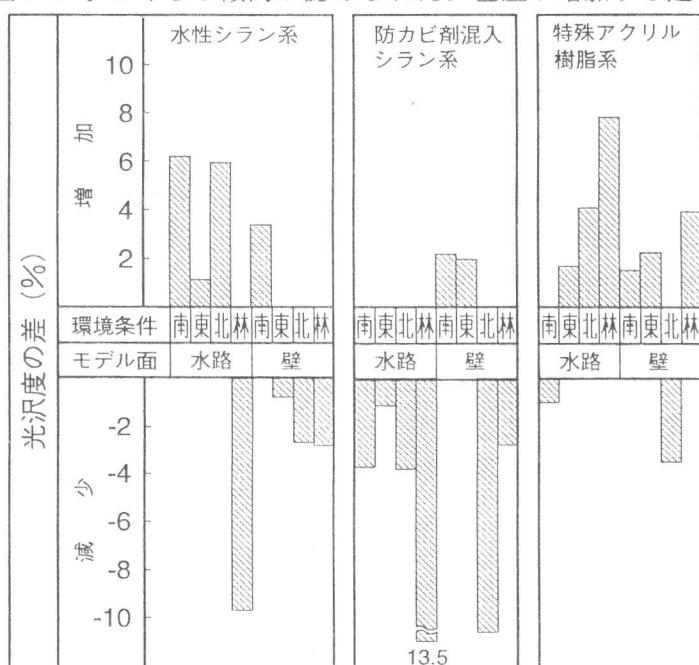


図-8 打放しコンクリート表面の光沢度変化を0とした場合の各種外観の劣化防止塗布剤面の光沢度の差（経過日数300日）

低下を抑制する効果があると考えられるが、防カビ剤を混入した水性シラン系塗装剤の光沢度は低下し効果は認められなかった。

次に、経過日数 300日における打放しコンクリート表面色の変化を 0とした場合の、各種外観の汚染防止塗装剤面との色差の差を図-9に示す。色差の差は、湿度の高い建屋東側と林の中の変化が大きくなり、湿度が高いと色差の差が大きくなると考えられる。なおこの傾向は、水路部に比べ壁部では小さいと考えられる。また防カビ剤混入水性シラン系塗装剤を用いた場合、色差の差は相対的に小さく表面色の変化を抑制する効果があると考えられる。塗装剤による汚染防止性能の違いは、汚染物質の付着メカニズムが、塗装剤の種類、環境条件、適用部位によって異なるためと考えられる。以上の結果より、外観の汚染防止用塗装剤は各種条件に最適なものを選定し、塗装剤の使い分けを考慮することにより、コンクリートの外観の汚染を抑制することができると考えられる。

5. 結論

実験の結果得られた知見を下記に示す。

①打放しコンクリートを屋外暴露すると、外観の汚染により光沢度は低下し色差は増大する。この傾向は環境条件では湿度が高い場所が、部位では壁部より水路部の方が著しい。以上の結果より、光沢度や色差は汚染度の指標とすることができますと考えられる。 ②光沢度や色差を汚染度の指標とする場合、初期値からの相対変化量や絶対値の偏差で評価する必要がある。 ③本実験に使用した打放しコンクリートの外観の汚染防止用塗装剤は、その塗布によるコンクリートの外観への影響は少ない。また汚染防止効果は、特殊アクリル樹脂系のものが光沢度の低下を抑制する効果が高く、防カビ剤混入水性シラン系のものが表面色の変化を抑制する効果が高い。 ④外観の汚染防止用塗装剤は、塗装剤の種類、環境条件や使用部位によって効果が認められない場合があるので、条件に応じた最適な塗装剤を選定する必要がある。

今後は、実構造物における打放しコンクリートや汚染防止対策を施した場合の、汚染進行速度を調査とともに、打放しコンクリートの表面に付着した各種汚染物質の洗浄方法、あるいは容易に汚染物質が洗浄できる塗装剤について検討する予定である。

【参考文献】

- [1] 仕入豊和：コンクリートの美観と仕上げ，セメント・コンクリート，No. 526, pp. 1-9, Dec. 1990
- [2] 仕入豊和・地濃茂雄・橋高義典：コンクリート壁面の汚れ，セメント・コンクリート，No. 461 pp. 22-33, July 1985
- [3] 橋高義典：屋外暴露による外壁材料の汚染，日本建築学会構造系論文報告集，第 370号 pp. 11-16, 1988. 11
- [4] 長瀧重義・大即信明・住吉卓・二宮阿弥子：コンクリート構造物の汚れに影響を及ぼす要因とその評価手法，第46回セメント技術大会講演集，pp. 406-411, 1992

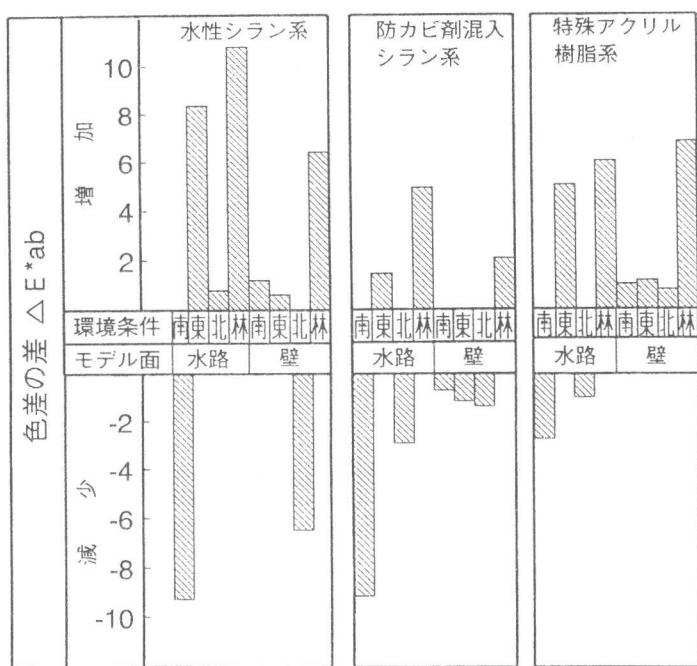


図-9 打放しコンクリート表面色の色差変化を 0とした場合の各種外観の劣化防止塗布剤面の色差の差（経過日数300日）