

論文 コンクリートの防汚対策に関する基礎的研究

市坪 誠^{*1}・濱本 隆^{*2}・河合研至^{*3}・田澤榮一^{*4}

要旨：本研究はコンクリートの防汚対策に関する基礎的資料の把握を目的に、微生物培養促進試験及び屋外曝露試験をととしてコンクリートの汚れに及ぼす表面性状及び立地条件の比較・検討を行った。その結果、型枠及び塗布材料の違いが汚れ付着に及ぼす影響（低減効果）を把握した。また、曝露環境の違い（表面の乾燥・湿潤状態）が景観評価を含めた汚染程度に及ぼす影響の把握を行った。これより、コンクリート構造物の防汚対策は、立地環境（降雨、日光及び土壌等）を踏まえた上で型枠及び塗布材料を含めた形態及び意匠の選択を行うことが有効と考えられた。

キーワード：コンクリート，汚れ，汚染，景観，防汚対策

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の早期劣化や損傷が社会問題にまで発展しており、耐久性に限らず美観性にも多大な影響を及ぼしている。

コンクリートの汚れ (Soiling) は、美観 (衛生) 上マイナスイメージとなることが理解されており¹⁾、構造物の劣化診断を行う上でも好ましいとはいえない。ここで、汚れ性状の変化 (進行) は材料表面及び躯体内部の変状に大きく左右されることから、これを美観問題のみに言及せず劣化現象解明の重要な要素として解釈し²⁾、材料、躯体形状及び立地環境等を踏まえた体系的な理解が必要となる。

従来、コンクリートの汚れに関する研究は、その付着メカニズム^{3) 4)}、防汚対策⁵⁾等の研究が行われているものの、上記観点からの研究はまだ十分に検討されているとはいえない。

そこで、本研究はコンクリートの汚れに及ぼす表面性状及び立地条件の影響を微生物培養促進試験及び屋外曝露試験をととして比較・検討し、コンクリートの防汚対策に関する基礎的資料の把握を行った。

2. 実験概要

2.1 供試体作成

異なる表面性状を得るため実験に使用した型枠及び塗布材料を表-1に示した。合板型枠、鋼製型枠、透水性型枠用のコンクリートは、レディーミクストコンクリート (JIS A 5308) を使用した (呼び強度 21, 水セメント比 57%, スランプ 8cm, 骨材最大寸法 20mm, 空気量 4%, AE 減水剤使用の高炉セメント B 種)。なお、透水性型枠に用いた透水性マットはポリプロピレン製の不織布 (厚さ約 1.0mm) の表面を熱処理したもので、それを合板型枠に貼付して用いた。繊維補強型枠は二次製品であり、水セメント比 38%, ビニロン繊維 (長さ 24mm, 31.5kg/m³) を混入したモルタルである。合板型枠、鋼製型枠、透水性型枠を用いた供試体は 1 ヶ月間湿布養生を行った。さらに、表面の色むらを少なくするため実験を行うまでの 3 ヶ月間水中養生を行った。なお、供試体寸法は 300×390×50mm とし、そのうちの半分を塗布面として使用した (図-1)。塗布面は水中養生後室内で乾燥し刷毛による塗布を行った。

*1 呉工業高等専門学校講師 環境都市工学科 工博 (正会員)

*2 建設省中国地方建設局中国技術事務所 (非会員)

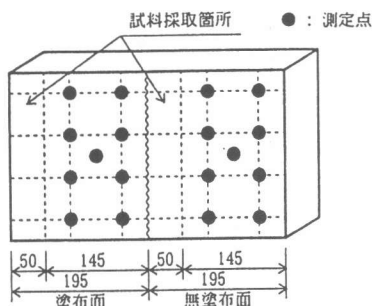
*3 広島大学助教授 工学部第四類 工博 (正会員)

*4 広島大学教授 工学部第四類 工博 (正会員)

表－1 供試体

	無塗布	エポキシ+ポリウレタン	エポキシ+ポリウレタン+防藻剤	シラン系撥水剤	低汚染型塗料
合板型枠	◆ WW ◇ WA	◆ WP			
鋼製型枠	◆ MW		◆ MA		
繊維補強永久型枠	◆ FW			◆ FS	
透水性型枠	◆ SW				◆ SL

(凡例 ◆:水中発生 ◇:空中発生)

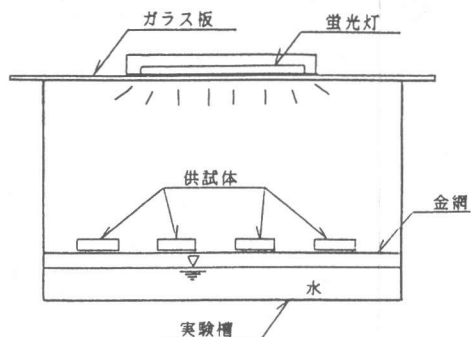


図－1 供試体形状と測定箇所

2.2 試験環境および測定条件

微生物培養促進試験は、水を張った試験槽に WA を省く 8 種類の供試体を水面上に水面から離して設置し、温度 28℃、蛍光灯 1,500 ルクス 12 時間、相対湿度 90～95% で 4 週間曝露した (図－2)。栄養分として無機培地を供試体表面に噴霧するとともに、無菌水により希釈し Thoma の血球計測盤により濃度調節した藻類 (クロレラ、前培養 20 日) を供試体表面に直接噴霧した。供試体表面の測色は接触型色彩色差計を用いて $L^*a^*b^*$ 表色系による測定 (JIS Z 8729) と色差 (JIS Z 8730) による評価を行うとともに、カビ抵抗性試験方法 (JIS Z 2911) に準じた評価を行った (1:菌糸の発育なし、2:菌糸の発育部分の面積は全面積の 1/3 を超えない、3:菌糸の発育部分の面積は全面積の 1/3 を超える)。

屋外曝露場所として、山陰地区、山間地区及び山陽地区の 3 箇所とした (表－2)。いずれの場所も道路 (一般国道) に面した場所で供試

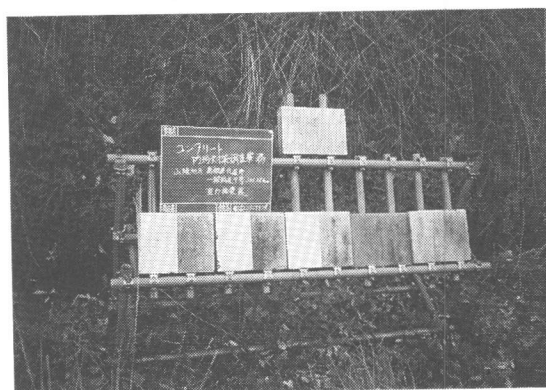


KNO ₃	1. 25g	*A ₃ Solution	
KH ₂ PO ₄	1. 25g	H ₃ BO ₃	2. 86g
MgSO ₄ ·7H ₂ O	1. 25g	MnCl ₂ ·4H ₂ O	1. 81g
FeSO ₄ ·7H ₂ O	0. 02g	ZnSO ₄ ·7H ₂ O	0. 22g
A ₃ Solution*	1. 0ml	CuSO ₄ ·5H ₂ O	0. 08g
純水	1, 000ml	Na ₂ MoO ₄	0. 02g
pH	5. 8	純水	1, 000ml

図－2 促進試験槽と無機培地

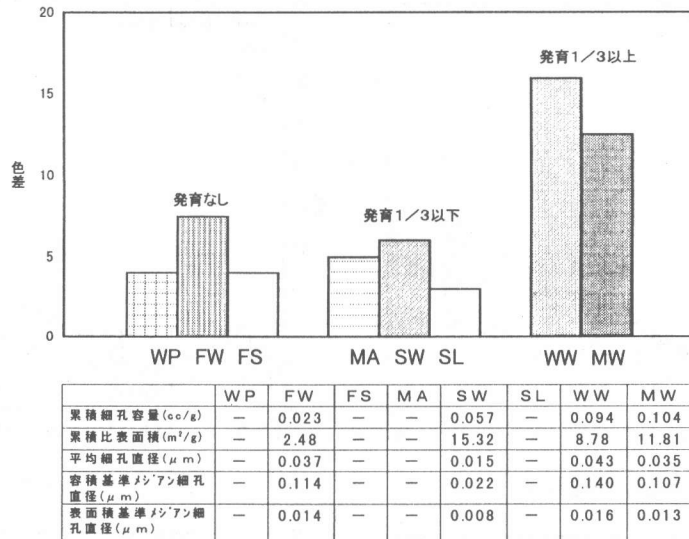
表－2 曝露場所

山陽地区	広島県安芸郡海田町一般国道2号海田高架橋上 (周囲に自然草木なし、日光は直接)
山間部	広島県三次市青河一般国道54号青河洞門上 (周囲は高木茂り河川に面す、日光は当りにくい)
山陰地区	島根県宍道町一般国道9号381.85km擁壁上 (周囲は草木茂り湖に面す、日光は当りにくい)



写真－1 曝露状況

体は北向きに設置している (写真－1)。平成 6 年 11 月に供試体設置を行い、平成 9 年 12 月 (37 ヶ月間) までの結果をもとに検討を行った。なお、供試体表面の測色は促進試験と同様に接触型色彩色差計を用いて $L^*a^*b^*$ 表色系による測定を行った。



図一 3 微生物培養促進試験結果

3. 結果及び考察

3.1 表面性状が汚れ付着に及ぼす影響

微生物促進試験の結果、試料表面の明度(L*)の値は試験開始前の値に対し全ての試料で低下するとともに、藻類の繁殖が認められた試料は特にb*が増加する傾向にあった。これを踏まえた上で各試料の繁殖性状を汚れ評価物理量として有効と判断された色差⁶⁾で示す(図一3)。ここで色差は試験前の色彩値を基準としている。

この結果、無塗布供試体は塗布供試体に対し色差が大きく、藻類の繁殖が促進する傾向にある。無塗布供試体のなかでも特にWW(合板型枠)及びNW(鋼製型枠)は供試体全面積の1/3以上の繁殖となった。合板型枠及び鋼製型枠は全細孔容量が大きいことから表層部が粗であると判断され、その結果藻類(微生物)の繁殖に十分な水分が気相側面及び下面から供給されたと考えられる。

また、MA及びSLは塗布面積1/3以下の範囲で藻類が発育したことから、塗布材料の差異によらず塗布初期でも栄養状態により付着することが理解された。ここで、自然環境下での擁壁等は気相の水分だけでなく躯体背面の土壌等から水分供給されることが予想される。つまり、

撥水材等で表面処理された場合でも塗膜裏面(塗膜と躯体との間)に微生物が繁殖した事例も報告されている⁷⁾ことから、汚染防止を塗布材のみにたよるよりむしろコンクリート表層の緻密さの向上が防汚対策上有効と判断される。

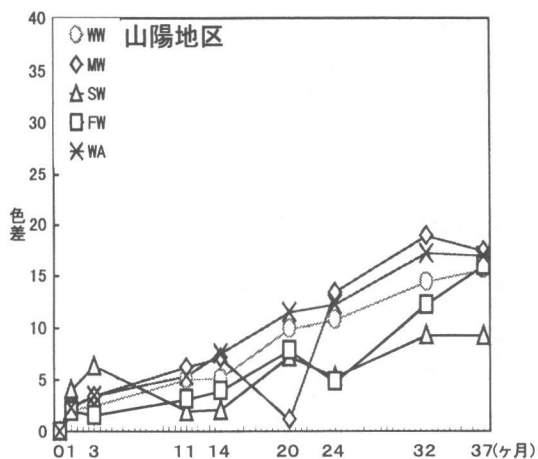
3.2 屋外環境が汚れ付着に及ぼす影響

屋外曝露試験の結果、試料表面の明度は試験開始前の値に対し全ての試料で低下するとともに、緑色の繁殖が認められた試料の明度変化は小さい傾向にあった。

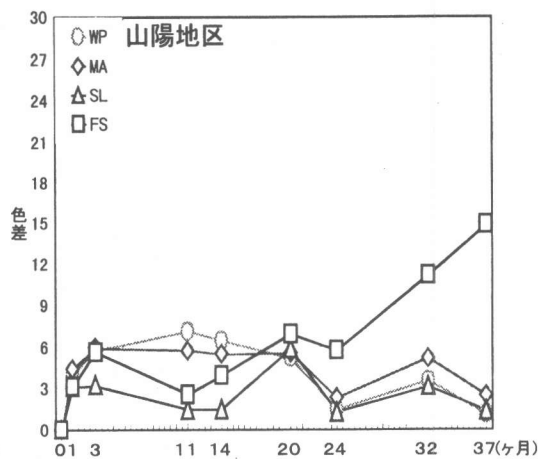
これを踏まえた上で、型枠の相違による色差の経時変化を図一4に示す。ここで、色差は曝露開始前の表面色彩値を基準としている。

各地区とも表面の粗いWW(合板型枠)及びMW(鋼製型枠)の色差が他の型枠に対し促進試験と同様大きくなる傾向にあった。また、各地区ともSW(透水性型枠)の色差が小さく汚れにくいとされた。

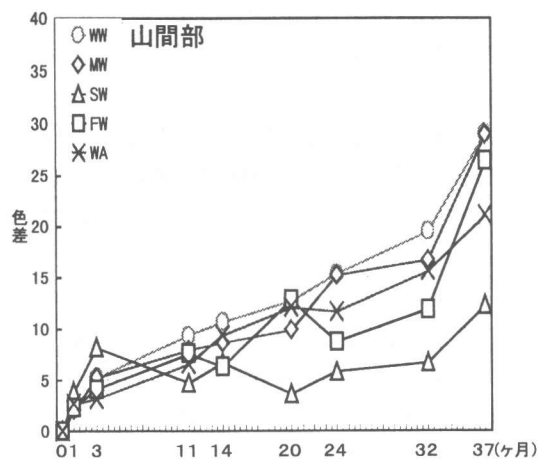
ここで、カビを主因とする汚染は色差10程度で“少し汚れが気になり”、色差15程度で“かなり汚れが気になる”ことから⁸⁾、合板型枠は、山陽、山間及び山陰の各地区でそれぞれ34ヶ月、24ヶ月及び17ヶ月でかなり汚れが気になる状態となることが理解された。合板型枠に代表され



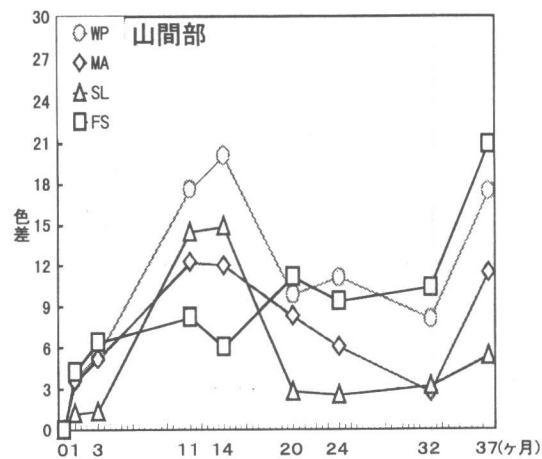
(a) 山陽地区



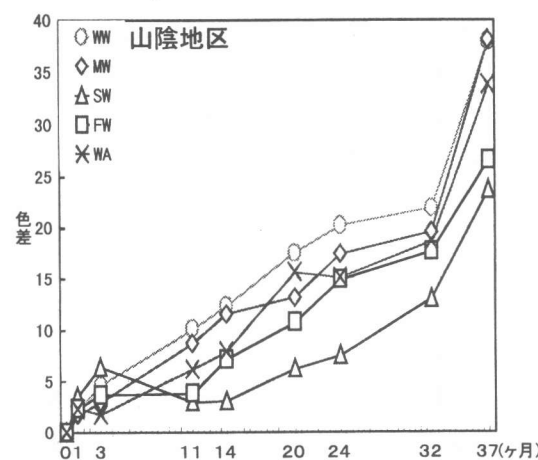
(a) 山陽地区



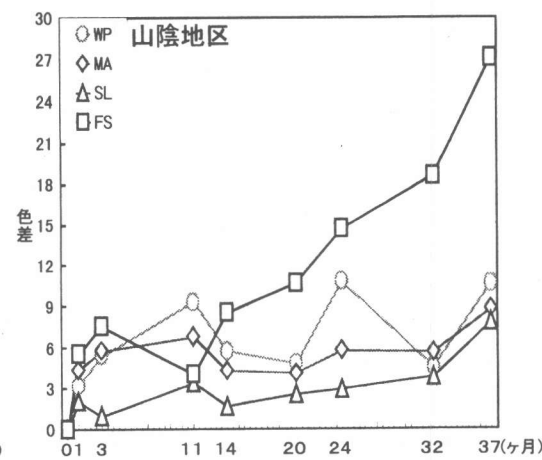
(b) 山間部



(b) 山間部



(c) 山陰地区



(c) 山陰地区

図-4 型枠による影響

図-5 塗布材料による影響

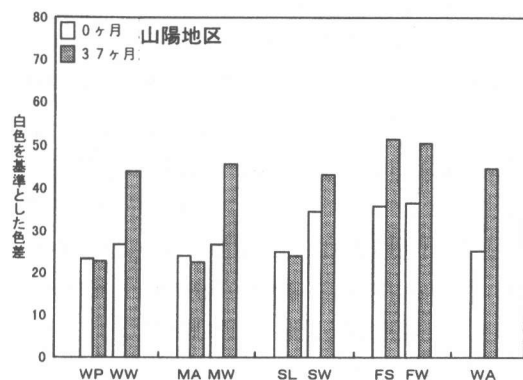
るように、いずれの供試体も山陰地区の色差が大きくなり、山間、山陽の順に小さくなっていることが認められた。これは曝露実施場所として、山陽地区が都市部で直接背面から直射日光が当たる場所のため、供試体表面が乾燥しやすく微生物も繁殖しにくいものと考えられる。また土砂や煤煙等の汚染物質も付着しにくいと考えられる。山間地区は霧が発生しやすい場所で供試体表面が濡れやすく、また乾燥しにくい場所であった。山陰地区は日光が当たりにくく供試体表面が乾燥しにくいいため汚れが付着しやすかったと考えられる。

塗布材料の相違による色差の経時変化を図一5に示す。各地区ともFS（シラン系撥水剤）の色差が他の塗材に対し大きくなる傾向にあった。FSは透明な材料でコンクリート建築構造物の打放し仕上げに広く使用されているものである。山陰地区のFSは24ヶ月でかなり汚れが気になる状況であることから、景観を重視する躯体でのFSの使用は躯体形態を勘案して雨水が接触しない状況での使用が必要と判断される。

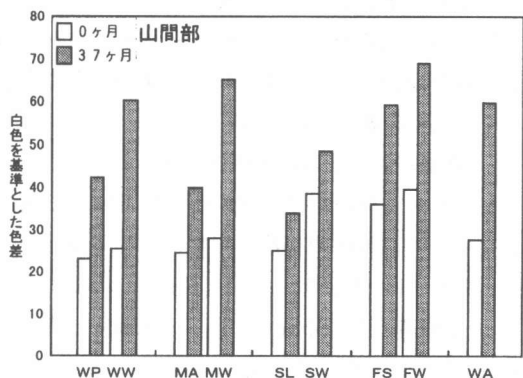
WPとMAとの比較において各地区ともMAの色差が小さくなり、屋外曝露における防菌剤の効果が若干ながら認められた。これより今後、屋外コンクリートに付着する微生物をより詳細に把握し、適切な防菌材料の選定が必要と判断された。

また、各地区とも他の塗材に対しSL（低汚染型塗料）の色差が小さくなり防汚対策の一つの有効な手段として判断された。ここで、山間部におけるSLは14ヶ月目（平成7年12月）で非常に大きい色差となったのに対し、20ヶ月目（平成8年6月）に色差が大きく減少しているのが認められた。山間部の降水量（平成7年平均122mm）は冬季（12月）及び雨季（6月）にそれぞれ70mm及び240mmであったことから、降雨水を洗浄力として利用するSLは降水量が少なくないと汚れが保持されることが把握された。

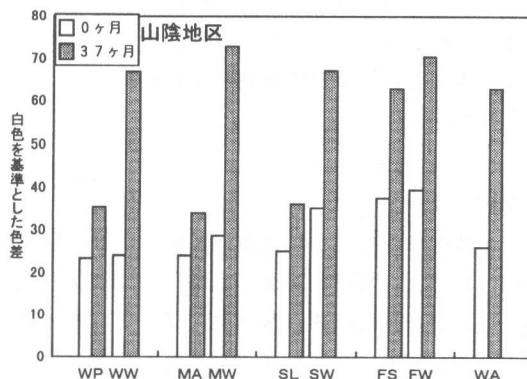
さらに、目視観察におけるFSはそれほど汚れているとは認められないが濡れ色の保持から



(a) 山陽地区



(b) 山間部



(c) 山陰地区

図一6 白色を基準とした色差による評価

色差値が大きくなる傾向にある。

白色を基準とした色差のなかでもその最大値 ($\Delta E^*_{\max}$) はコンクリート構造物の景観評価における重要なアイテムとなる⁶⁾ことから、各供試体表面の $\Delta E^*_{\max}$ を図-6に示す。ここで、 $\Delta E^*_{\max}$ 50 以上で“ややみにくく”なり、70 以上で“かなりみにくく”評価されることから⁹⁾、特に今回の山陰地区 37 ヶ月での無塗布 (型枠用) 供試体は美観上みにくい表面状態になっていることが把握された。

4. 結論

以上のことから、次のような結論が得られた。

(1) 型枠による表面性状の違いとして、降雨の影響の有無に関わらず合板及び鋼製型枠より表面の緻密な透水性及び繊維補強型枠のほうが汚れを低減する傾向にあった。

(2) 塗布材料による表面性状の違いとして、他の材料に対し低汚染型塗料が汚れを低減する傾向にあった。降雨水が直接接触する躯体表面で低汚染型塗料の防汚効果が特に発揮される。

(3) 曝露環境による違いとして、表面が乾燥しにくい場所は汚れが増加する傾向にあった。

(4) 3 年以上曝露された供試体の景観評価はその環境条件及び表面性状により、みにくいと判断されることが理解された。

(5) 以上より、コンクリート構造物の防汚対策は、立地環境 (降雨、日光及び土壌等) を踏まえた上で型枠及び塗布材料の選択を行うことが有効と考えられる。

謝辞

本研究は建設省中国地方建設局中国技術事務所 (以下、中国技術事務所と略す) で実施の促進試験及び屋外曝露試験結果によりました。資料公開に際し、中国技術事務所長高倉寅喜氏、同調査試験課長吉野好明氏にご助力を頂きました。防汚検討において、中国技術事務所をはじめコンクリート防汚対策調査打合せ協議会の方々にご協力を頂くとともに、(株)大広エンジ

ニアリング寺西修治氏には貴重な御助言を頂きました。ここに付記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Makoto ICHITSUBO, Kazuo TAKEMURA and Hidenori ISAMI: SOILING CHARACTERISTICS AND THEIR EVALUATION OF CONCRETE SURFACES, セメント・コンクリート論文集 No.48, pp.666-671, 1994
- 2) 田澤榮一: コンクリート防汚対策調査業務—コンクリート防汚対策調査打合せ協議会議事録一, 建設省中国地方建設局中国技術事務所, pp.7, 1997
- 3) 非生態系汚れについて例えば 橘高義典: 建築物外壁面の汚染の調査および基礎的考察—建築物外壁仕上材料の汚染の評価手法に関する研究 (その1) —, 日本建築学会構造系論文報告集第 370 号, pp.11-18, 1986
- 4) 生態系汚れについて例えば 小竹森浩, 田澤榮一, 河合研至, 市坪誠: 微生物によるコンクリートの表面汚染機構に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.273-278, 1995
- 5) 例えば 地濃茂雄, 吉田晃: コンクリート表面の劣化事情と補修再生技術工法に関する検討, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.1041-1046, 1996
- 6) 市坪誠, 田澤榮一, 河合研至, 竹村和夫: 表面処理されたモルタルの汚れ色彩特性, セメント・コンクリート研究討論会論文報告集, pp.92-97, 1996
- 7) 新井英夫: 文化財建造物の微生物被害と対策, 建築/保全 No.105, pp.58-71, 1997
- 8) 市坪誠, 田澤榮一, 竹村和夫, 河合研至: コンクリートの景観評価に及ぼす汚れ物質の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.18, No.1, pp.1029-1034, 1996
- 9) 市坪誠, 岡村隆由: 高知県における道路の景観評価に関する研究—観光地へのアクセス道路一, 高知県・高知高専, p94, 1993