

論文 かび及び藻類によるモルタルの汚れに関する研究

大島 明*1・松井 勇*2・湯浅 昇*3・逸見義男*4

要旨:本研究は、コンクリートに発生するかび及び藻類の生育とコンクリートの微細構造との関係を検討したものである。実験では、水セメント比及び乾燥開始材齢の異なるモルタルを作製した。その表面に、かび及び藻類を散布し、培養した後、かび及び藻類の生育とモルタルの細孔構造の関係を考察した。また、同じ材料を屋外に暴露し、表面に発生した微生物と細孔構造の関係を検討した。その結果、藻類については、モルタルの細孔構造に起因する吸放湿量が生育に影響を与えることが明らかになった。

キーワード:コンクリート, 汚れ, かび, 藻類, 細孔構造

1. はじめに

屋外のコンクリート打ち放し面は、時間が経過するに従って汚れを受ける。汚れの原因は大きく分けて物質によるものと、微生物によるものとに分類される。既存の研究では、微生物による汚れがどのような機構で形成されるのかについて、十分に解明されていない。筆者らは、実態調査の結果¹⁾²⁾から汚れの原因がかび、藻類、地衣類、こけ類であることを明らかにした。これらの微生物は、コンクリートの微細構造と密接な関係があるものと考えられる。本論では、試験体としてモルタルを用い、実験室における促進試験と屋外における暴露試験を行い、モルタルの細孔構造と微生物生育との関係を検討した。実験対象とした微生物は、実態調査において比較的良く見られたかび、藻類とした。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は、水セメント比を40%、60%、80%、乾燥開始材齢を1日、28日と変化させることによって、細孔構造を変えたモルタルである。モルタルの作製は打設後、封緘養生し、

1日目及び28日目に脱型し、標準状態で乾燥することによって行った。モルタルの調合条件を表-1に示す。寸法は、全て40×40×10mmとした。また、水銀圧入法により細孔構造を調べた。

表-1 モルタルの調合条件

水セメント比 (%)	40	60	80	
単位水量 (kg/m ³)	227	289	316	
質量 (kg/m ³)	セメント	591	482	394
	細骨材	1389	1447	1449
絶対容積 (l/m ³)	セメント	187	153	125
	細骨材	526	548	549
増粘材 (g/m ³)	-	-	632	
フロー値	219	241	267	

2.2 試験方法

実験は、下記に示すようにかび促進試験、藻類促進試験及び屋外暴露試験を行った。各試験とも試験体は、同一条件で3個とした。

(1) かび促進試験

養生を終了した試験体は、側面及び裏面をエポキシ樹脂でシールし、ガス滅菌し、試験に供した。試験体は、図-1及び写真-1に示すように、プラスチック容器内に垂直から30度傾けて静置した。次に試験体表面に栄養分及びかび孢子懸濁液を0.5ml 散布し、培養した。栄養

*1 (財) 建材試験センター 中央試験所 農修 (正会員)
 *2 日本大学教授 生産工学部建築工学科 工博 (正会員)
 *3 日本大学専任講師 生産工学部建築工学科 工博 (正会員)
 *4 日本大学非常勤講師 HENMIコンサルタント

分は、実際の屋外暴露においてコンクリートの表面に無機及び有機成分が付着することを考慮して、散布することとした。栄養分及びかび孢子懸濁液の散布は1週間毎に行い、図-2に示すように、培養が経過するに従って栄養分及び温度を変え促進効果を高めた。培養期間は、一般の生物促進試験が培養1~2ヶ月間であること、また、培養が長期間にわたると栄養等の老廃物によりかびの活力が低下することを考慮して、9週間とした。使用したかびの種類、栄養分の組成、培養条件を表-2に示す。かびは、一般建築物によく発生が見られる *Aspergillus niger*, *Penicillium citrinum* 及び *Cladosporium cladosporioides* の保存株を混合して用いた。

(2) 藻類促進試験

概ねかび促進試験と同様の操作を行った。栄養分及び全体の培養条件のフローは、かび促進

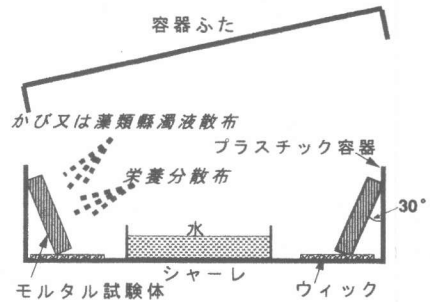


図-1 かび、藻類促進試験方法

表-2 かび促進試験の条件

かびの種類	<i>Aspergillus niger</i>	
	<i>Penicillium citrinum</i> <i>Cladosporium cladosporioides</i>	
栄養分	無機系	精製水 1000ml
		硝酸アンモニウム 3.0g
		磷酸一カリウム 1.0g
		硫酸マグネシウム 0.5g
		塩化カリウム 0.25g
		硫酸第一鉄 0.002g
有機系	上記組成にグルコース1%を添加	
培養条件	温度 26~29℃ 湿度 90%	

表-3 藻類促進試験の条件

藻の種類	<i>Chlorella vulgaris</i>	
	<i>Oscillatoria laetevirens</i>	
栄養分	無機系	精製水 1000ml
		硝酸アンモニウム 3.0g
		磷酸一カリウム 1.0g
		硫酸マグネシウム 0.5g
		塩化カリウム 0.25g
		硫酸第一鉄 0.002g
有機系	上記組成にグルコース1%を添加	
培養条件	温度 26~29℃ 1000LUX紫外線照射	

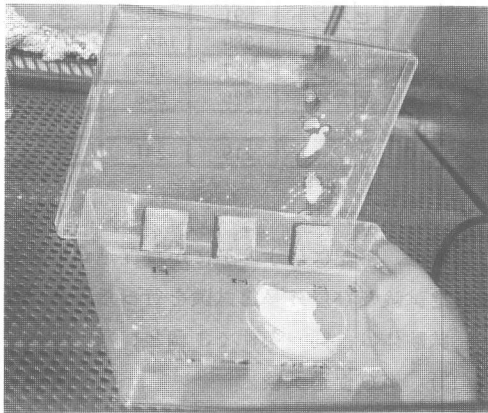
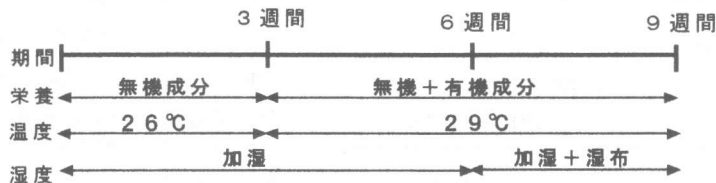


写真-1 かび及び藻類促進試験状況 (栄養、かびの散布)



* 加湿：シャーレに水を入れ調湿

* 湿布：試験体の下面に水を浸せきしたウィックを置き調湿

図-2 培養条件

試験と同様である。異なる点は培養の方法であり、藻類の生育に不可欠な光合成を促進するために紫外線を照射した。試験条件の詳細を表-3に示す。藻類は、コンクリート建築物によく発生が見られる *Chlorella vulgaris* 及び *Oscillatoria laetevirens* の保存株を混合して用いた。

(3) 屋外暴露試験

図-3に示すように、(財)建材試験センター規格(JSTMJ 76101T)³⁾の「降雨水の流下による汚染暴露方法」に従って試験を行った。暴露場所は、千葉県習志野市泉町、日本大学生産工学部、津田沼校舍5号館北側である。暴露期間は、平成8年12月から平成10年6月までの1.5年間とした。暴露場所の環境を表-4に示す。

(4) 結果の評価方法

促進試験におけるかび及び藻類発生の経時変化は、表-5に従って発生面積で評価した。

また、促進試験9週目及び屋外暴露試験1.5年目において、発生面積及び発生濃度を測定し、式(1)に示すように発生面積に発生濃度を乗じて発生指数を算出した。これは、従来から行われている面積だけの評価では、量的な評価において十分でなく、ここに、濃度すなわち密度を加味することによってより量的な評価が出来るからである。評価方法を表-5に示す。

$$H = S \times C \quad (1)$$

ここに、H；発生指数(指数)

S；発生面積(表-5における評点)

C；発生濃度(表-5における評点)

3. 実験結果及び考察

3.1 かび及び藻類の生育の推移

促進試験のかび発生面積の経時変化を図-4、図-5に、藻類発生面積の経時変化を図-6、図-7に示す。かび及び藻類とも有機成分を添加して栄養分を豊富にした後、培養5週間目頃から生育が著しく増加している。これは、かびが従属栄養生物⁴⁾であるため、有機成分の栄

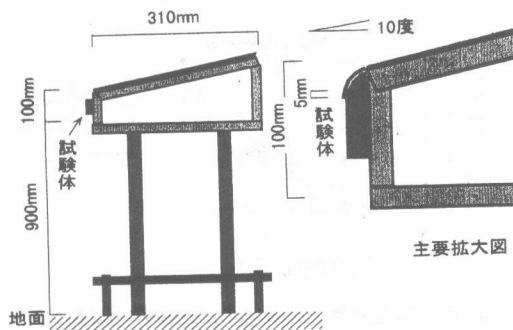


図-3 屋外暴露試験方法

表-4 屋外暴露の条件及び状況

暴露の方位	北
日当たり	夏期は西日が当たる
周囲の状況	・暴露台は、校舎(コンクリート造)の外壁から1m離れて設置。 ・地表は、土、草が繁茂している。

表-5 発生の評価方法

評点	発生面積	発生濃度
0	発生なし	—
1	表面の1/3未満	肉眼で微かに認められる
2	表面の1/3以上 2/3未満	評点1と3の中間程度
3	表面の2/3以上	肉眼で明瞭に認められる

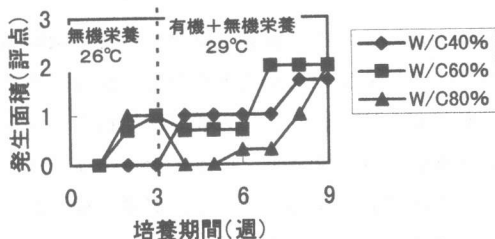


図-4 かび発生の経時変化(乾燥開始材齢1日)

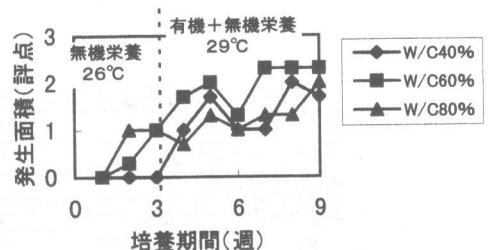


図-5 かび発生の経時変化(乾燥開始材齢28日)

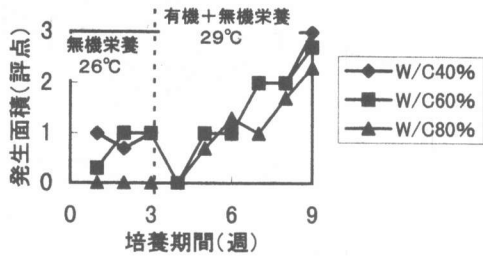


図-6 藻類発生の経時変化(乾燥開始材齢1日)

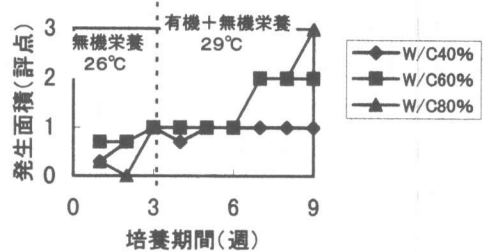


図-7 藻類発生の経時変化(乾燥開始材齢28日)

養が存在すると直ちに体内に取り入れことができ、生育が増進されたためと考えられる。また、藻類については、独立栄養生物⁴⁾であり、光合成によって自身で有機栄養物を合成することができるが⁵⁾、有機成分が存在すると、ダイレクトに体内に取り込み、生育が促進されることによるものと考えられる。

3.2 促進試験終了後におけるモルタル品質とかび及び藻類生育との関係

促進試験終了後(培養9週目)の藻類及びかび発生と水セメント比、乾燥開始材齢との関係を図-8及び図-9に示す。また、モルタルの細孔分布径の測定結果を図-10及び図-11に示す。

藻類については、乾燥開始材齢1日の試験体では、水セメント比が大きくなるに従って発生指数が減少している。一方乾燥開始材齢28日の試験体では、水セメント比が大きくなるに従って発生指数が増加している。促進試験において培養容器(プラスチックケース)の内部は、散布直後に相対湿度100%であるが、徐々に放湿作用がおり、約80~90%程度まで低

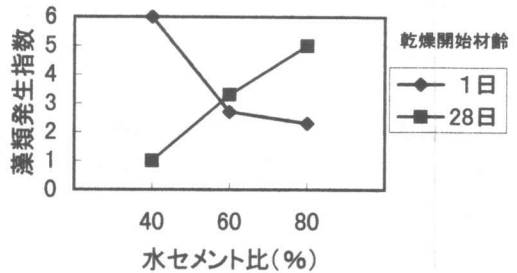


図-8 藻類促進試験結果(培養9週目)

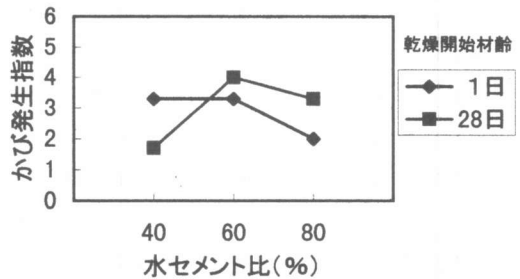


図-9 かび促進試験結果(培養9週目)

表-6 藻類発生とモルタル表面の含水率との関係

項目		乾燥開始材齢1日			乾燥開始材齢28日		
水セメント比%		40	60	80	40	60	80
藻類発生指数(指数)		6.0	2.7	2.3	1.0	3.3	5.0
平衡含水率 %	相対湿度 80%	13	11	10	13	15	17
	相対湿度 90%	15	13	9	15	16	18

*平衡含水率の値は、文献6)より読み取り引用した。

下する。一方モルタルの表面の吸放湿現象において、放湿過程の相対湿度80%及び90%近傍の平衡含水率は表-6に示すとおりであり、これはモルタルの細孔構造に起因しているとされている⁶⁾。これらのモルタルの平衡含水率は、乾燥開始材齢毎に見ると、発生指数とほぼ対応している。

かびについては、乾燥開始材齢1日及び28日とも水セメント比80%の試験体において発生指数が低下している。この原因は、図-10及び図-11から明らかなように、水セメント比が大きくなるに従って細孔径及び総細孔量が増大した結果⁷⁾、噴霧された栄養分が水溶液であるがゆえ、モルタル表面で残留・堆積できなかったためと思われる。かびは、従属栄養生物であり、その生育において栄養分に対する依存性が高く、摂取できる状態の栄養分が存在しないと発生が抑制されるからである。このことは、本実験中において、栄養分を噴霧した直後に、水セメント比の大きいモルタルは、水セメント比の小さいモルタルに比べて内部浸透が速やかであることが目視で認められており、この観察から推察される。一方藻類は、乾燥開始材齢28日の水セメント比80%において発生指数の大きな低下が見られないのは、藻類自身で光合成を行い栄養を合成できるため、栄養分に対する依存性が小さいからであると考えられる。また、水セメント比40%の試験体において発生指数が低下しているのは、水セメント比80%の試験体とは逆に細孔径が小さくなったため、噴霧した栄養分の多くが試験体表面を流下してしまい、表面に堆積しにくくなったためと思われる。

3.3 屋外暴露1.5年目におけるモルタル品質とかび及び藻類生育との関係

屋外暴露試験においては、試験体表面にかびの生育はみられず、藻類の生育のみが認められた。屋外暴露1.5年目の藻類発生と水セメント比、乾燥開始材齢の関係を図-12に示す。試験体表面にかびが生育しなかった理由は、モル

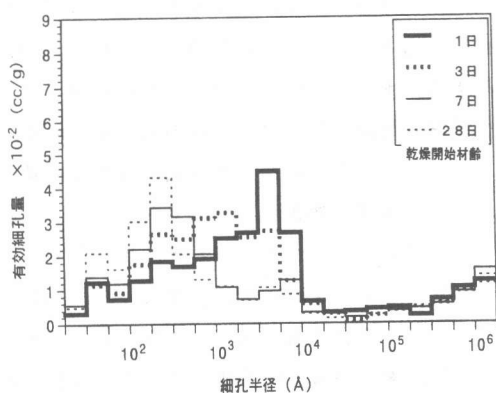


図-10 細孔分布径 (W/C 60%)

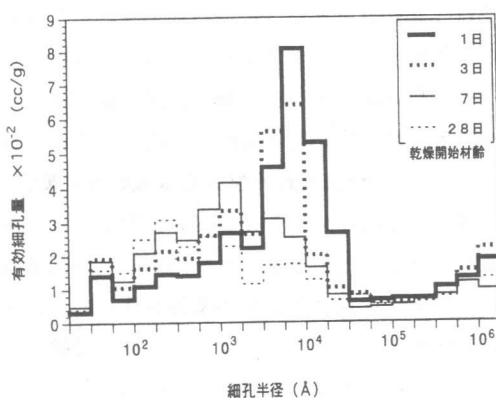


図-11 細孔分布径 (W/C 80%)

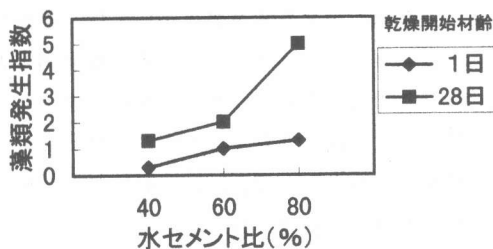


図-12 屋外暴露試験結果(藻類)

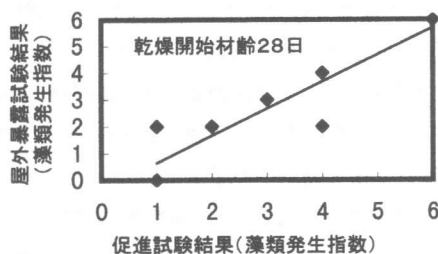


図-13 藻類の促進試験と屋外暴露試験の相関

タル表面が乾燥している期間があり、かびが継続的に増殖出来なかったためと思われる。一方藻類は、水セメント比が大きくなるに従って、乾燥開始材齢1日及び28日の試験体とも生育が増加している。モルタル表面を観察した結果、表面には塵等の物質が付着しており、さらに細孔には微細な塵が進入していた。この傾向は水セメント比が大きい試験体、すなわち、細孔径が大きく、総細孔量が多いものほど顕著であった。この塵が藻類の栄養源になっているものと考えられる。また、藻類が優先的に生育した理由は、藻類がかびに比べ乾燥に強く、乾燥期間中は休止状態を保ち、再び湿潤を受けると成長を開始することができるためであると考えられる⁸⁾。以上の理由から、屋外暴露試験では、促進試験と異なる結果が現れたものと推察される。

3.4 促進試験と屋外暴露試験との関係

図-13に示すように、藻類に関しては、現象面からみると、乾燥開始材齢28日の試験体について、促進試験と屋外暴露試験との間に相関関係が認められた。一方、乾燥開始材齢1日については、明確な相関は認められなかった。この理由は、促進試験においては、藻類の生育が吸放湿による平衡含水率に依存するのに対して、今回の屋外暴露試験においては、平衡含水率の他に、モルタル表面に付着した塵物質の影響をより大きく受けたためであると推察される。従って、今後、塵等が堆積する環境条件を促進試験で再現させる場合には、試験条件を検討する必要があると思われる。

4. まとめ

(1) 無機成分の貧栄養においては、かびはもとより、光合成を行う藻類についても、生育が緩やかであるが、栄養が豊富な有機成分を与えると生育が早急になり、実験室における促進試験において促進効果がある。

(2) 促進試験において、藻類の生育は、モルタル表面の細孔構造に起因する平衡含水率の影響を受ける。関係湿度が同一の場合、平衡含

水率はモルタルの細孔構造によって異なり、藻類の生育は、モルタル表面の平衡含水率と対応している傾向がみられた。

(3) 促進試験におけるかびの生育についても、藻類と同様にモルタルの表面の平衡含水率の影響を受けるが、かびが従属栄養生物であるため、モルタル表面に残留・堆積する栄養分の影響をより大きく受ける。

(4) 本実験で行った屋外暴露試験は、試験体表面に流下水を受けるため、汚れ物質が堆積し易く、また湿潤・乾燥のサイクルが複雑であるため、かび及び藻類の発生機構が促進試験と同一ではない。従って両者の試験結果は必ずしも一致しない。また、微細観察によると、かびは汚染の原因となっておらず、藻類のみの生育がみられた。

参考文献

- 1) 大島明・松井勇ほか：コンクリートの汚れと洗浄に関する研究(生物系による汚れ調査、第1報)、日本建築学会梗概集、pp.899-900、1997
- 2) 大島明・松井勇ほか：コンクリートの汚れと洗浄に関する研究(生物系による汚れ調査、第2報)、日本建築学会梗概集、pp.1143-1144、1998
- 3) (財)建材試験センター：(財)建材試験センター規格、1992
- 4) 山口辰良：一般微生物学、技報堂出版、pp.247-252、1984
- 5) 山田常雄ほか：生物学辞典、岩波書店、pp.1053、1984
- 6) 湯浅昇・笠井芳夫・多田眞作・大川原修：表層コンクリートの等温吸放湿特性、湿気伝導率、セメント・コンクリート論文集、Vol.52、pp.167、1999
- 7) 湯浅昇・笠井芳夫・松井勇：乾燥条件が微少セメントペーストの水和、細孔構造及び強度に及ぼす影響、日本建築学会構造系論文集、Vol.505、pp.15-21、1998
- 8) 千原光雄・西澤一俊：藻類研究法、共立出版、pp.174-175、1992