

## モルタル・コンクリート外壁面の汚れに関する研究

地濃 茂雄\*

### Studies on the Formation of Dust on the Surface of External Walls of A Concrete Building

Shigeo CHINO

#### ABSTRACT

The soiling formed on the external walls of a building with a concrete structure causes a great damage to such buildings in terms of their durability. The dust contribute to the destruction of both the building's form from a visual viewpoint as well as our environment on the one hand and to the material deterioration of the wall itself on the other.

This report presents some remarkable conclusions which are derived from actual investigations and experimental results on the soiling formed by dust sticking on the outer wall surface of concrete building on the side as well as the relevant countermeasures for preventing such soiling from taking place on the other.

The concluded results are presented hereafter as follows:

- (1) The patterns of soiling do provide information on the factor which caused dust formation.
- (2) The soiling formation on the external walls is much more remarkable to the north-direction if compared with the other three remaining compass-direction; the hue of the black color yields the same observation. It is believed that soiling is to be attributed to the mold as well as to the seaweeds.
- (3) The soiling characterized by the light brown color is caused by the iron near the seaside and by the fine earth-soil in the countryside.
- (4) The causes behind easy soiling formation on concrete surface are determined to be large water absorption and to the fact that surface color is conspicuous.
- (5) As to the soiling prevention measures, they could be outlined as follows : (I) minimizing water/cement ratio ; (II) reducing water content per unit volume of concrete to minimal acceptable value ; (III) usage of flat sheathing ; (IV) curing till enough compaction is reached ; (V) maintaining the concrete-surface at dense, flat and solid state in order to ensure it's structural durability for many years.

1. まえがき

意図された形に対して、なにか不都合とみなせたり、また人に不快に感じられたりする視覚的現象を汚れと総称すれば、汚れの成立ちはFig. 1のように表わせる。したがって、汚れは初期に保持していた表面状態が、自然的あるいは人為的の刺激的作用によって変化した一種の表面劣化の事象としてとらえることができる。この場合の変化する事象には、表面に汚れ物質が付着して生じる場合と材料自体が変質して生じる場合の二つが考えられる。

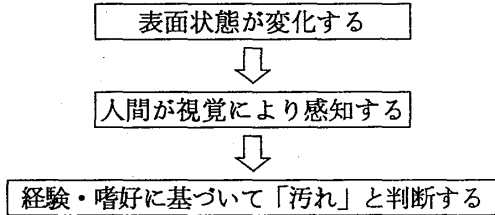


Fig.1 Soiling formation

ひるがえって、建築物の外壁面における汚れについて注目すると、その汚れは、単に醜の域に留まらず、不快・非衛生による生活環境の破壊、さらに壁体の材質劣化につながり、建築物の耐久性を損ねる大きな要因ともいえる。

そこで本研究では、主に汚れ物質の付着によった表面状態の変化の視覚的観点から、モルタル・コンクリート外壁面の汚れを対象として調査・実験研究を進めた。すなわち、本報告は微粒物質の付着に起因するモルタル・コンクリート外壁面の汚れについて、実態調査と汚れに係わるモルタル・コンクリートの2、3の特性を明らかにし、得られた結果から汚れ防止対策の一指標を提示したものである。

2. 汚れに関する基礎検討

建築物外壁面の汚れを原因別に整理分類してみるとおよそTable 1のようになり、モルタル・コンクリートの汚れは、原因別にFig. 2のように整理できる。以下では、本研究の目的および範囲から汚れ物質の付着だけをとりあげ検討を進めることとする。

Table 1 Soiling classification

物理的な汚れ	外壁面材料に汚れ原因となる物質が付着・保持 外力、その他によって外壁面材料が損傷
化学・静物的な汚れ	外壁面材料 自己変質(エフロレッセンス等)
	自体の変質 外力による変質(変退色等) 外壁面材料に植物、微生物等の繁茂

2.1 非生物の付着

大気中には、自動車の排ガス、風で運ばれてくる土粒子や火山灰、工場等から排出される煤煙やフライアッシュ、さらに海岸地帯では海塩粒子など、さまざまな微粒物質

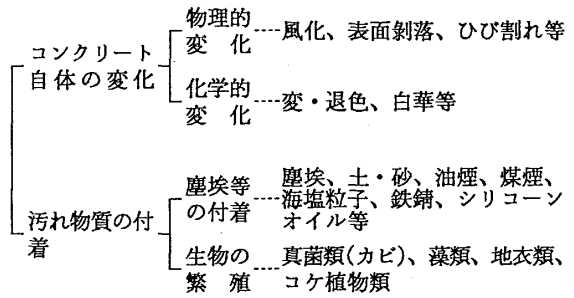


Fig.2 Soiling on mortar and concrete-surfaces

が存在している。この種測定結果の一例によれば、直径1~0.1μm以下の浮遊塵埃はブラウン運動によって半永久的に大気中に浮遊し、その濃度分布は地上高さ80mまではほぼ一様、これに対して粒子径の大きい沈降性塵埃濃度は高所ほど小さいという報告もある。

しかしこのような微粒物質でも、空気(風)や水(雨滴および壁面の流下水)の媒介を得て、モルタル・コンクリート外壁の表面に移動し、次の1)~4)に示すような付着作用によって汚れ物質が付着するものと考えられる。

- 1) 分子間力によって付着(化学結合力, Van der Waals力)
- 2) 静電気力による付着
- 3) 凝縮水膜による付着
- 4) 機械的な付着(表面の凹凸へのひっかかり, 細孔内部への浸入・保持)

そしていずれとも、付着物質の大きさと表面状態、風速、温度、湿度、壁面を流下する水量などの諸要因の影響を受けるものといえよう。

以上のことから、塵埃粒子に代表される微粒物質がモルタル・コンクリート外壁面に接近・接触し、保持された形で汚れが成立するものと考えられる。したがって、接触と保持の作用は汚れ発生上の主要な因子といえる。

2.2 付着生物

高温多湿の環境下にあるわが国の建築物内外装面の代表的汚染菌としてTable 2のものがあげられている。そして栄養物、空気、温度(適温15~27℃)、水分(湿度で60~95%RH)およびpH(5~8)がこれら真菌類(カビ)の繁殖には必要な条件であるとされている。こ

Table 2 Main contamination-bacillus of buildings

菌の名前	汚染の色	建物での検出率(%)
クラドスポリウム菌	暗緑色~黒色	24
アスペルギルス菌	黒、緑、土色など多様	11
ペニシリウム菌	青、薄紫、灰、黄緑色など	16
トリコデルマ菌	濃緑色	
オウレオパシディム菌	黒褐色~黒色 つやがある	

のことからすれば、栄養物を持っていない、pHの高い新鮮なモルタル・コンクリート面ではカビ類は直接繁殖することはないといえる。しかし、事前に微粒子物質（塵埃など）がモルタル・コンクリート外壁面に付着した場合、その付着物の上に藻類の胞子が接近・接触し、雨水などが補給されれば藻類の繁殖条件は整うものと考えられる。この藻類は一般には、温度と湿度が十分な条件下で光合成を行って増殖する（緑色）。ところが乾燥状態になると藻類は死滅（黒色化）するとされている。したがって、この死滅した藻類を栄養源としてカビ類は増殖することになる。

このような世代交代が気候の変化で繰り返され、モルタル・コンクリート外壁面の汚れが次第に進行してゆくものと推察される。

以上、2. 1および2. 2の基礎的検討結果から、モルタル・コンクリート外壁面の汚れ発生に係わるモルタル・コンクリートの濡れやすさ、表層組織、表面のあらさなどがあげられる。

3. 汚れの実態調査

外壁面の汚れに関する実態調査を行った例は過去にくつかみられ、その性状は多様であることが報告されている<sup>8),9),10)</sup>。ここでは既往の調査結果を踏まえたうえで新たに実態調査を実施し、汚れ発生箇所における汚れの形状の発生頻度を把握するとともに、建物の諸条件とモルタル・コンクリート外壁面の汚れの関係を明らかにすることとした。

3. 1 汚れの形状と頻度

広島県福山市松永地区内の建物の外壁面約200箇所を対象として、汚れが認められる外壁面を2〜4名の観察がスケッチし、既往研究の形状の分類例（Fig. 3, Fig. 4参照）を参考にして、汚れ発生箇所における汚れの形状の発生頻度を求めた。

調査結果をFig. 5に示す。これより発生の高い汚れの形状と発生箇所との関係から、汚れを生じさせる卓越した外的要因の推定が可能と考えられる。例えば、発生箇所B（底の上部などの突出部上面）にみられる汚れの形状のほとんどは、台形状（形状の分類の2）である。原因としては、突出部上面の水平部分に推積した塵埃・微生物などが雨水により跳ね上がり、壁面に付着・繁殖したことが考えられる。このような箇所は水分や塵埃が特に停滞しやすいので、著しい汚れを生ずることが多い。また、発生箇所Dにみられる壁面上方からのよだれ状の汚れ（Photo. 1参照）については、壁の上端水平面に沈積した塵埃を含んだ雨水が不均等に流下してできたものといえよう。庇のない壁の上方部分は、降雨による湿

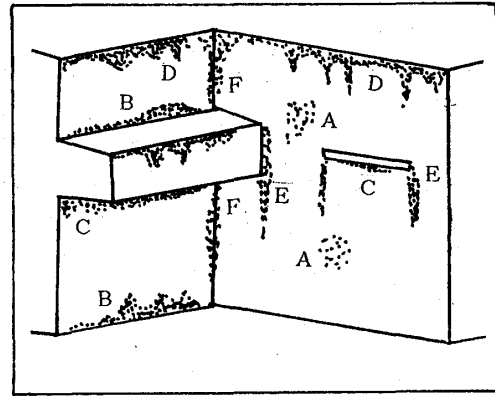


Fig.3 Classification and remarks pertaining to soiling places

1	2	3
全面	台形状A	よだれ状

4	5	6	7
			その他
くさび状	雲形状	台形状B	

Fig.4 Classification of soiling patterns

形状・箇所	A	B	C
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
	n = 88	n = 53	n = 58
形状・箇所	D	E	F
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
	n = 93	n = 91	n = 11
	0 50	0 50	0 50 100 (%)

Fig.5 Frequency of soiling patterns

潤状態をもっとも長く保ち、カビ、藻類の繁殖しやすい条件を備えていることが主な原因と考えられる。この種の汚れの末期的状況をPhoto. 2に示す。風雨水の当たる強さや量、さらに洗浄作用も支配的要因となることがうかがえ知れる。

なお、ここに得られた発生箇所による汚れの形状の頻度の傾向は、東京都・神奈川県内の建築物を対象とした既往の研究結果<sup>12)</sup>とはほぼ合致している。

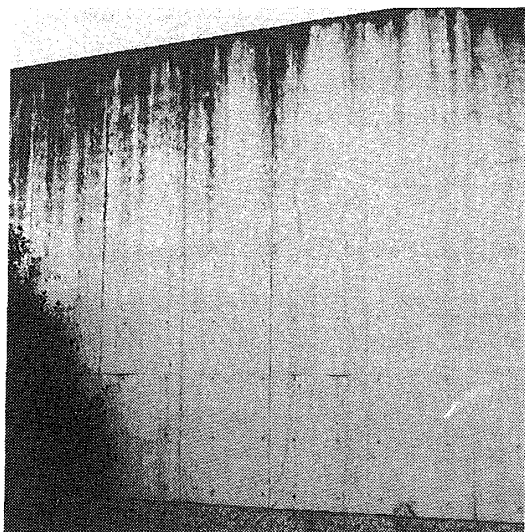


Photo.1 Soiling formed on the external wall of a building

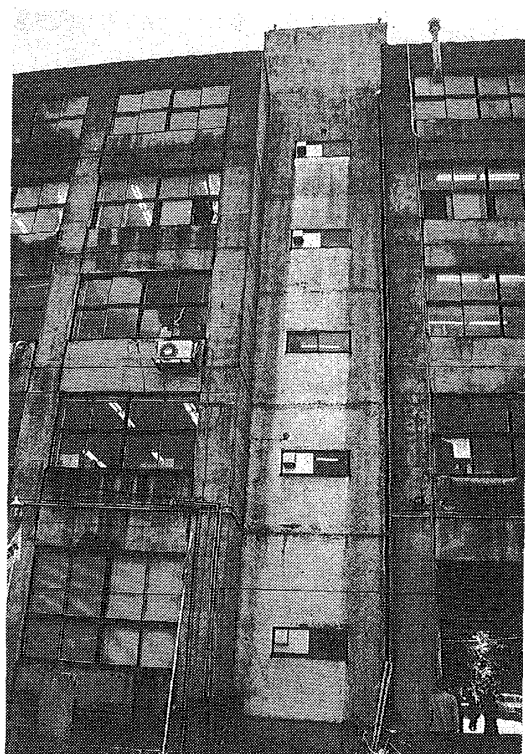


Photo.2 Soiling formed on the external walls of a building

### 3. 2 モルタル・コンクリート外壁面の汚れ

広島県福山市松永地区内の建築物について実態調査を行った。サンプリングに当たっては、立地環境、方位などを考慮し260棟を抽出した。立地環境は臨海地（海岸から約1km以内の範囲、Fig. 6中の記号A地区）、市街地（海岸から約1km～2kmの範囲、記号B地区）、田園地（A、B地区以外、記号C地区）とに大別した。

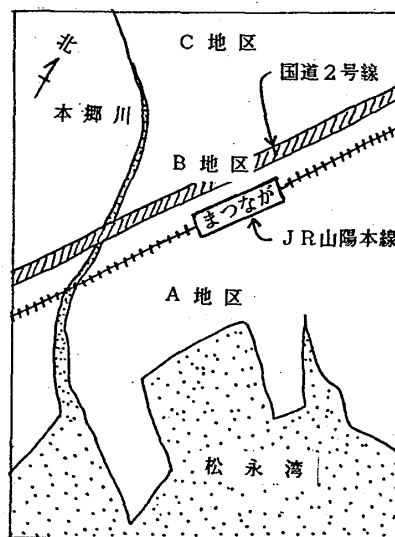


Fig.6 Actual investigation area

調査は各棟の外壁面について、それぞれの汚れの程度と汚れの色相を目視判定して、Table 3およびTable 4にあてはめて区分けした。

Table 3 Soiling degrees and relevant values

汚れの程度	評点
非常に汚れている	4
汚れている	3
少し汚れている	2
ほとんど汚れていない	1

Table 4 Classification of soiling-hue

汚れの色相	おもな付着物質
黒	カビ、煤煙等
黒・緑	カビ、藻類等
緑	地衣類、コケ類
茶褐色	土粒子等

調査結果をFig. 7およびFig. 8に示す。両図から次のような傾向がつかめる。

- 1) 北側の壁面は、他の3面に比べ汚れの程度が大で、その色相は他の壁面に比べ黒が多い。多湿環境下のためにかビ・藻類による汚れと考えられる。

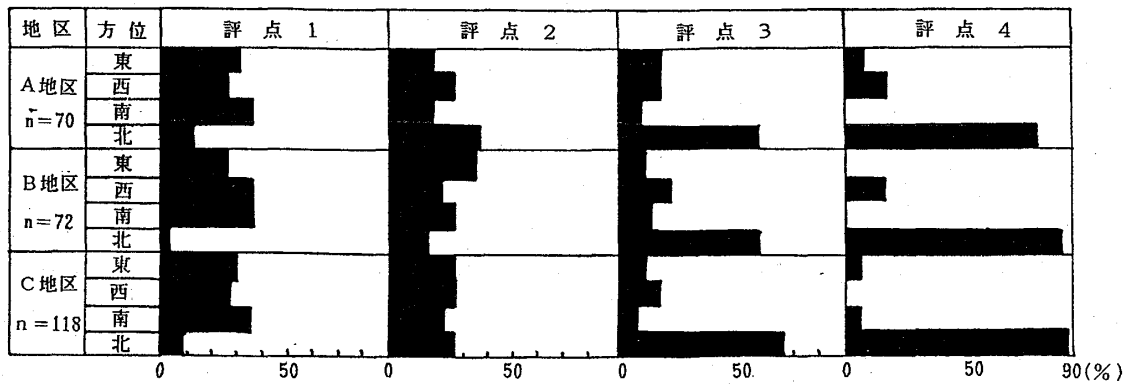


Fig.7 Results of investigations (soiling degree)

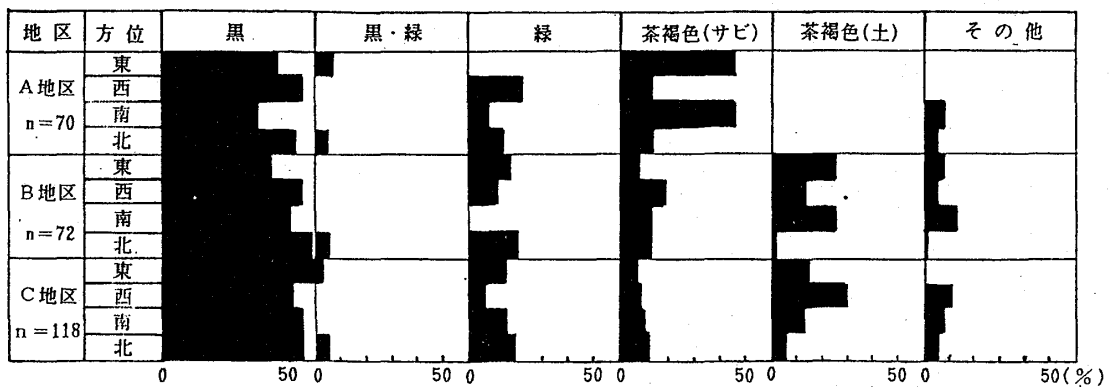


Fig.8 Results of investigations (soiling hue)

2) 3地区間での環境別の汚れの程度には特徴的な差は認められないものの、概して茶褐色の汚れについては、臨海地ではサビに起因する色相、田園地では土粒子の色相を呈している。

以上、3.1および3.2の結果から、2で検討抽出した汚れの発生に関わる諸要因が支配的であることが確認できる。

4. モルタルコンクリートの特性

2および3における検討結果を踏えて、汚れに係わるモルタル・コンクリートの2. 3の特性について実験検討することとした。すなわち、モルタル・コンクリート外壁の表面および表層部を対象として、吸水性状、表層組織、表面のあらさと微粒物質の付着、それに素地面の色調を実験により求めた。

4.1 吸水性状

水セメント比3水準(35,50,70%)、スランプ4水準(8,15,18,21cm)、混和剤未使用および使用(2水準)の各々の条件下のコンクリートを練混ぜ、その練混ぜられたコンクリートからモルタル部分をウェットスクリーニングして、モルタル・コンクリート外壁の表層部を意図した厚さ10mmのモルタル板(5×10cm)を成形し供試体とした。材令2日脱型、気中養生(温度20℃、湿度65

%RH)26日後、供試体表面に直径1cm、高さ10cmの水柱を立て、20分後の吸水量を測定した。

測定結果をFig.9に示す。水セメント比が大きいものほど、また同一水セメント比の条件下では単位水量が多いものほど吸水量は多い。濡れやすさに関する吸水性状に、水セメント比および単位水量が影響していることが知れる。

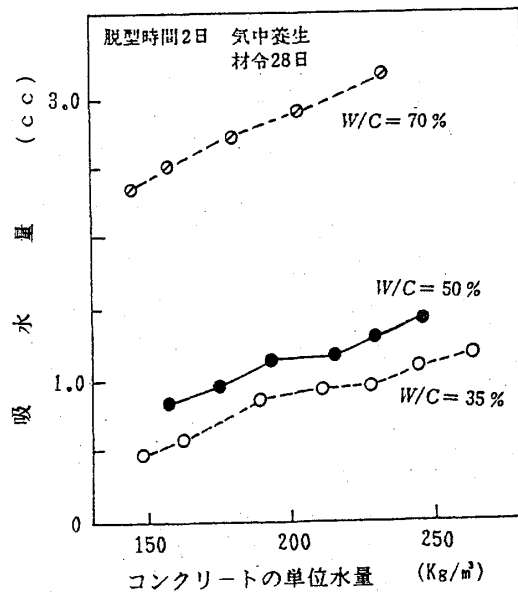


Fig.9 Results of mortar's water-absorption test

4.2 表層組織

セメントペースト硬化体の表面からの深さ部分別の細孔量で代表させた。すなわち、セメントペースト硬化体（水セメント比および脱型・養生方法は4.1と同様）を表面から内部方向に各々厚さ2mmに切断し、その薄片を2.5~5mm粒に砕き、水和停止処理後、水銀圧入法により細孔半径75000~75Åの全細孔容積を測定した。<sup>13)</sup>

測定結果をFig.10に示す。表面から内部方向への各部分において、いずれも水セメント比が小さいものほど全細孔容積は少ない。ここに認められる表層組織に及ぼす水セメント比の影響は、前述の吸水性状を支配しているともいえよう。

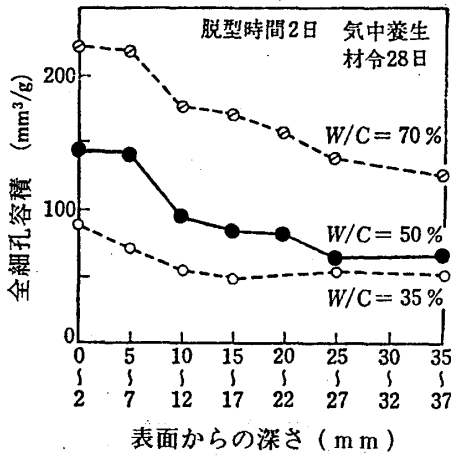


Fig.10 Porosity construction of cementing paste

4.3 表面のあらさと微粒物質の付着

4×4×16cmに成形したモルタル硬化体を希硫酸に浸漬し、表面のあらさを異にした供試体を降雨汚染試験装置を用いて、実際の塵埃を想定した代替微粒物質の散布と水滴落下の繰り返しを5分間行い、24時間室内乾燥後に測色値を測定し、Hunterの式から色差を算出した。

なお、表面あらさを表示する物理量は、レーザー線によるあらさ測定されるあらさ曲線の長さを測定区間の長さ(50mm)で除した値(あらさ係数)とした。<sup>15)</sup>

表面のあらさと微粒物質の付着程度の一指標となる色差との関係を求めた実験結果をFig.11に示す。これより、あらさ係数が大きいほど色差は大きく、またその変化の割合もあらさ係数が大きくなるほど大きい。表面のあらさは塵埃などの微粒質の付着に大いに関係していることがうかがえる。

4.4 素地面の色調

測色色差計で測定されるY値(明度)を指標とした。すなわち、脱型材令2, 7, 28日に供試体の一表面(4×16cm)のみを露出乾燥(温度65%RH中に放置)した場合の水分蒸発率(水分蒸発量を脱型時点での供試体重

量で除したもの)とY値との関係を実験により求めた。

実験結果をFig.12に示す。水分が蒸発するにつれY値は増大してゆき、その後は一定値を呈する傾向が知れる。この傾向は、モルタル・コンクリートの素地面の色調が白ろっぽく変化してゆくことを示し、汚れ物質の黒色、緑色などがより目立ちやすくなることを示唆している。

5. 汚れの対策

4における結果を基に、モルタル・コンクリートの素地面が汚れやすい理由として、多孔質で吸水性・保水性が大きいこと、そして汚れが目立ちやすい色調を有していることがあげられる。

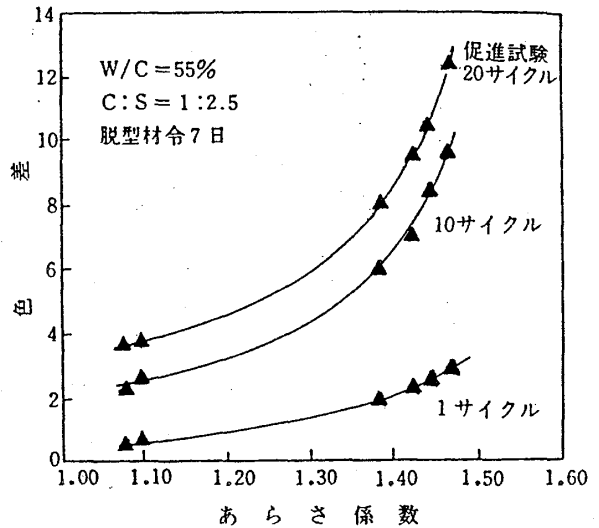


Fig.11 The relationship among concrete's surface and soiling degree

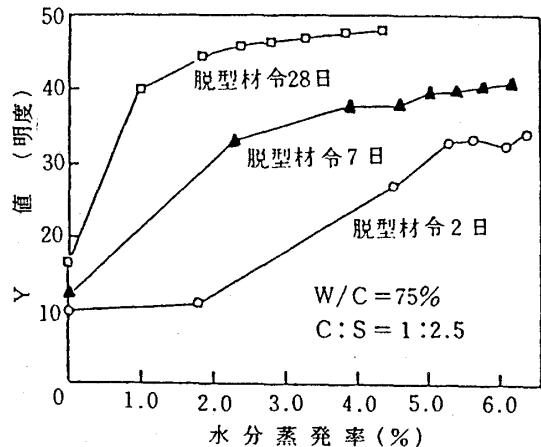


Fig.12 Variation of brightness degree on concrete's surface with respect to dryness

このことから、モルタル・コンクリート外壁面の汚れの対策として、水セメント比・単位水量を少なくし、平滑な型わくを用いて、十分な締固めと養生を行い、表層が長期にわたって密実・堅硬で平滑な状態が保たれるようにすることが肝要といえる。こうすることによって、塵埃などの微粒子の付着低減を図り、また表層のアルカリ性の保持効果も期待でき、カビ類などの繁殖を遅らせることも望める。これに加えて、モルタル・コンクリート面に、塵埃などの汚れ物質を含んだ雨水ができるだけ触れないような壁面を構成すること、また洗浄をはじめとする適切なメンテナンスを実施すること、さらには建築物の環境を汚れにくいものに整備することなども重要と考えられる。

## 6. むすび

モルタル・コンクリート外壁面の汚れは、その耐用性に係わる主要因の一つである。本研究では、微粒子の付着に起因する汚れについて、実態調査と実験から検討した結果、次のようなことが明らかとなった。

- 1) 汚れの発生箇所と汚れの形状から、汚れ原因を推定できる。
- 2) 北側の外壁面の汚れは、他の3面に比べ汚れの程度は大きい。またその色相は他の面に比べ黒が多い。カビ・藻類による汚れといえる。
- 3) 茶褐色の汚れの色相については、臨海地ではサビ、田園地では土粒子に起因している。
- 4) モルタル・コンクリート表面が汚れやすい原因は、多孔質で吸水性・保水性が大きいこと、そして目立ちやすい色調を有していることにある。
- 5) 汚れの対策として、水セメント比を小さくすること、単位水量を少なくすること、平滑な型わくを用いること、十分な締固めと養生を行うこと、表層が長期にわたって密実・堅硬で平滑な状態が保たれるようにすること、などにある。

本研究の実態調査には、本学学部生の荒井和之君、同水田健司君らの協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

## 〔参考文献〕

- 1) 瀬沼・木村：大気汚染の垂直分布について，日本建築学会大会学術講演梗概集〈計画系〉，PP.107-108，1968
- 2) 仕入・地濃・橋高：コンクリート壁面の汚れ，セメント・コンクリート No.461，PP.22-33，1985
- 3) 神保：1個粒子としての粉体の付着力測定方法の比較検討，材料，vol.16，No.164，PP.291-297，1967
- 4) 浅川・神保：遠心法による粒子—平面間の付着力測定，材料，vol.16，No.194，PP.358-363，1967
- 5) 橋崎・中根：温度勾配による塵埃の表面付着，日本建築学会論文報告集，No.145，PP.33-40，1968
- 6) 仕入・橋高：建築物外壁面の汚染におよぼす流下懸濁水の影響，日本建築学会大会学術講演梗概集〈構造系〉，PP.309-312，1984
- 7) 仕入・鈴木・地濃：建築材料の耐候性（表面劣化）と維持管理に関する調査研究，資源，No.220，PP.3-27，1985
- 8) 松下・宇野：建物のよごれに関する研究，日本建築学会論文報告集，No.69，PP.261-264，1961
- 9) 神山・石川：建築物の外壁面における汚れについて，日本建築学会大会学術講演梗概集〈構造系〉，PP.225-226，1970
- 10) N.S.Billington & D.G.R.Bannell：Pattern Staining in Buildings，National Building Studies，Special Report No.6，1949
- 11) 仕入・地濃：コンクリート表面の汚れとその対策，コンクリート工学，Vol.24，No.7，PP.52-58，1986
- 12) 仕入・橋高：建築外壁面の汚れの分類表示について，日本建築学会大会学術講演梗概集〈構造系〉，PP.481-482，1982
- 13) 地濃・仕入：コンクリート表層部その養生条件と細孔構造，セメント・コンクリート，No.468，PP.8-17，1986
- 14) 仕入・橋高・風間：建築物外壁仕上材料の表面汚染に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集〈A〉，PP.1182-1183，1985
- 15) 地濃・仕入：コンクリート表面の測色値の変化に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集〈A〉，PP.1320-1321，1988