

気象環境と土木材料の劣化

国立研究開発法人土木研究所先端材料資源研究センター材料資源研究グループ長 西 崎 到

1. はじめに

建設材料などの屋外で使用される材料は、環境の作用によって時間の経過とともに劣化していくことは、たいいていの方の経験するところと思う。その劣化の速さは、材料の種類によっても相当に異なり、十年以上もあまり変化しないものもあれば、数年で大きな変化を示すものなど、様々である。一方、同じ材料であっても、置かれる環境が異なると劣化速度が異なることは、あまり実感されることは多くないかもしれない。例えば海の塩分の影響を強く受ける地域では、鋼材の腐食がそれ以外の地域に比べて早いことは比較的よく知られていると思われるが、それ以外の環境因子についても、設置される場所やその気象などの環境条件は、建設材料の劣化速度にある程度影響を及ぼす。このような情報は建設材料の実環境での耐久性の的確な評価に重要であることから、筆者らはこれまで、様々な建設材料の気象環境と劣化の関連について調べてきた。ここではそのような調査の事例から、鋼材の防食に関するものを紹介する。

2. 鋼材防食の概略と劣化現象

土木構造物は通常屋外に設置されるため、鋼材はそのままでは錆びやすく、何らかの防食とともに用いる必要がある。防食方法には様々な方法があり、建設される環境条件や維持管理の計画にあわせてそれぞれの特徴を活かした方法が選択される。多くの場合は塗装材料が使われているのが現状である。土木構造物の防食塗装では高度成長期には一般塗装系と呼ばれる、錆止め塗料と長油性フタル酸樹脂塗料の組み合わせが広く使われたが、塗装材料の改良や長寿命化へのニーズの高まりに伴い、重防食塗装系と呼ばれる、ジンクリッチペイントとエポキシ樹脂塗料等を組み合わせた塗装系が中心となっ

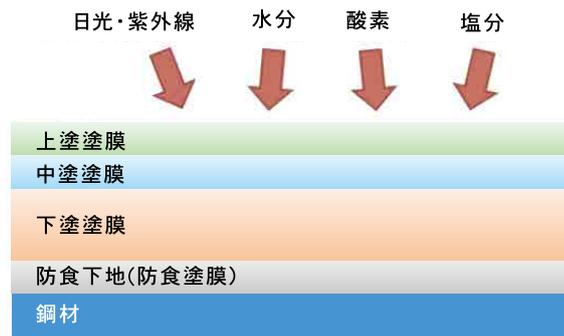


図-1 塗装材料の一般的構造

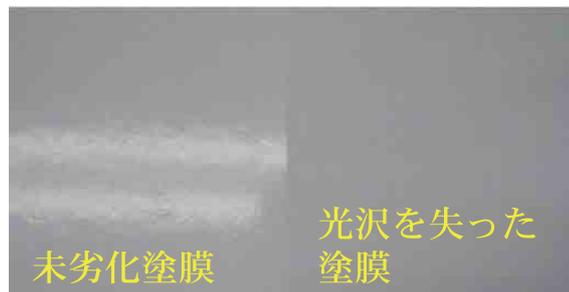


図-2 塗膜自体の劣化の初期段階の例（光沢の喪失）

てきた。

図-1に土木鋼構造物に用いられる防食塗装の一般的構造を示す。鋼材表面には鋼材の腐食を抑制する機能を有する防食下地（重防食塗装系ではジンクリッチペイント）が塗布される。その上、下塗塗膜には水分や酸素、塩分など、鋼材の錆の要因となる物質の、内部への侵入を防ぐ機能に優れたものが使われる。上塗塗膜の役割は内部の塗膜層を日光・紫外線を始めとする塗膜の劣化因子から保護することである。中塗塗膜は、下塗と上塗を良好に付着させる性能が求められる。重防食塗装系で下塗や中塗塗膜に通常使われるエポキシ樹脂は、紫外線により劣化しやすいので、上塗塗膜は屋外使用では耐候性の高いことが重要である。ポリウレタン樹脂塗料が海外では多く使われ

るが、より耐候性の良い塗料として、国内ではふっ素樹脂塗料やアクリルシリコン樹脂の採用が標準的となっている。

塗装により防食された鋼材の環境作用による劣化は、①高分子系材料としての塗膜自体の劣化と、②防食塗膜によって保護された鋼材の腐食の2つの劣化機構が主である。塗膜の経年劣化は塗膜表面が酸化し、粗く変質し始めることから始まり、徐々に塗膜を形成する樹脂が脱落することで膜厚が薄くなる。このような変化は、初期には表面の光沢の度合いの低下（図-2）や白亜化などに現われ、続いて上塗塗料の樹脂の脱落による膜厚の減少が計測されるようになる。このような劣化の段階においても塗膜の鋼材を防食する効果は機能しているので、直ちに鋼材の腐食につながるものではなく、

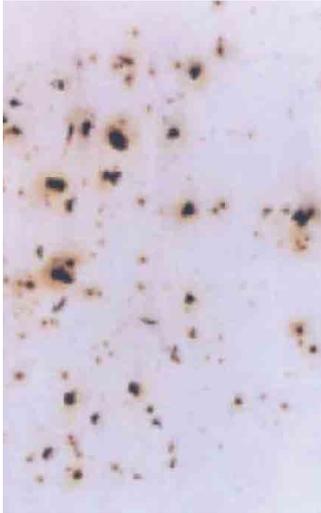


図-3 塗膜の腐食抑制性能の低下の例（全面的な錆び）

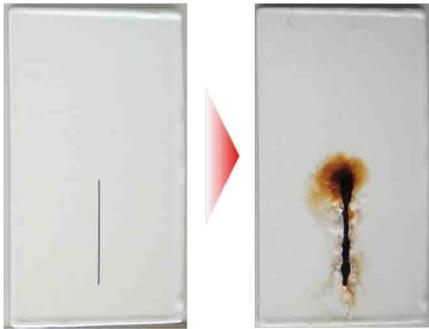


図-4 塗膜のキズから腐食を進展させた試験体の例

補修も比較的容易である。またこれらの劣化の程度は、光沢計や膜厚計などの簡単な機器計測により調べることができる。

もう1つの劣化機構は鋼材の腐食抑制性能の低下であるが、一般塗装系などの腐食抑制性能があまり高くない塗装系の場合には、塗膜全体に点状の錆が塗装面に全面的に発生する現象で現れることが多い（図-3）。重防食塗装系では、このような全面的な錆は起きることは少なく、塗膜が部分的に薄かったり（添接部やエッジ部など）、傷がついた部分から錆が進行することが多い。このため、このような防食性が高い塗膜の耐久性評価には、試験体を用いる場合にはあらかじめキズを入れておくなどの弱点部を作っておき、キズ部からの腐食の進行の抑制程度によって評価することが多く行われている（図-4）。

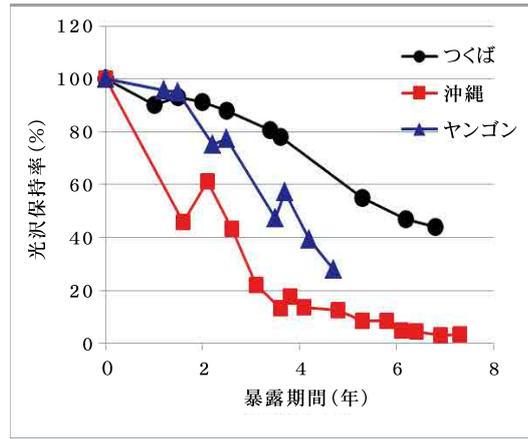


図-5 塗装鋼板の光沢保持率の暴露試験による経年変化（上塗塗膜がアクリルシリコン塗料の例）¹⁾

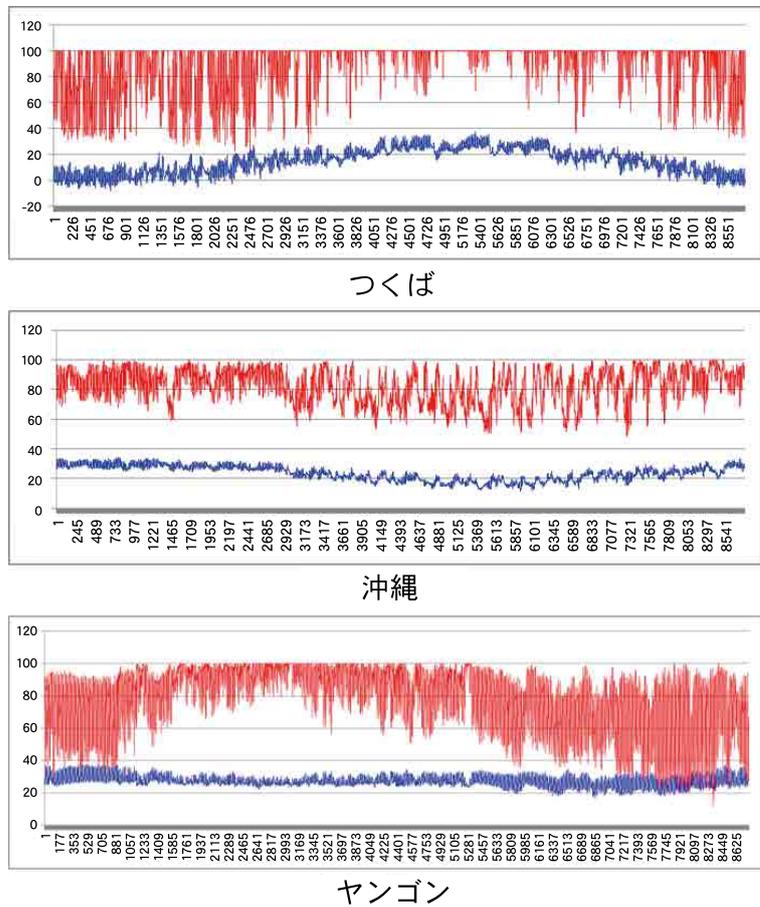


図-6 各暴露場所の気温（青線・℃）と湿度（赤線・%）（1年分のデータ）¹⁾

3. 鋼材防食の劣化と気象環境との関係の検討事例

塗料により防食した鋼材の様々な気象環境における環境劣化特性を調べるために、同じ仕様（いずれの重防食塗装系で3種類の異なる上塗塗膜を使用）の塗装鋼板試験体を、つくば（茨城県）、大宜味（沖縄県）、ヤンゴン（ミャンマー）で屋外暴露試験に供した際の結果の例を図-5に示す。塗膜の経年劣化の初期の

指標として、塗膜表面の粗さの変化と関連がある光沢度の保持率を用いた。図-5から、沖縄の光沢保持率がつくば、そしてヤンゴンよりも劣化速度が速いとの結果が得られた。この傾向は同時に試験した他の2種類（ふっ素樹脂塗料、ポリウレタン樹脂塗料）の上塗塗膜でも同様に認められ、劣化速度の大きさの順は、沖縄>ヤンゴン>つくばの順となった。このことから、沖縄やヤンゴンではつくばよりもより耐性に優れた塗膜が長寿

【参考文献】

- 1) Itaru Nishizaki, Tomonori Tomiyama, Thinzar Khaing, Khin Khin Thaw, Yasuo Suzuki and Kunitomo Sugiura, "Durability of Protective Paint Systems on Steel Plates through the Exposure Tests in Various Environments", The proceedings of the eighth International Conference of Science and Engineering, paper No. 229, 2017. 12

表－1 各暴露場の濡れ時間と主要気象データ¹⁾

試験箇所	平均気温 (°C)	降水量 (mm)	濡れ時間 (時間) (>80%RH)	積算紫外線量 (MJ/㎡)	計測期間
つくば	14.5	1835	6343/ 8760	246	2011.1~ 2011.12
沖縄	23.5	1902	5387/ 8760	244	2016.7~ 2017.6
ヤンゴン	27.4	2502	5049/ 8760	277	2014.4~ 2015.3

命化に効果があることが示唆される。なお、光沢保持率は、前述のように塗膜の最も初期の劣化現象によるものであり、光沢保持率が0%になっているからと言って塗膜の寿命となったわけではない点にご注意願いたい。光沢保持率が0%になるあたりから、上塗塗料の膜厚減少が本格的に始まる時期になると思われるが、上塗塗膜がある限り塗膜の鋼材防食としての性能は大きくは変わらないものと考えられる。

図－5では、気象環境によって防食塗膜の劣化速度がかなり異なる事例があることが分かったが、この相違には気象環境のどのような因子が影響しているのだろうか。これを検討するために、各暴露場で供試体設置とともに実施した気象環境の観測データの特徴を検査することとした。図－6に気温と湿度の1年分の変動を示す。つくばとヤンゴンの湿度(赤線)の変動は40～100%と大きいものに対して、沖縄では60%を下回る対して少ないことが分かる。水・水蒸気的环境因子としての材料への影響は、降水量や平均湿度などにより評価されることもあるが、金属材料の腐食環境条件を規定するISO 9223では、気温が0℃以上で、相対湿度が80%以上の場合を、材料の表面が濡れている条件として評価することが提案されている。上記の各暴露場における計測は毎時間連続して実施していることから、上記の条件に当てはまる時間を濡れ時間として、各暴露地点について1年分のデータから算出した。結果を他の主要な気象観測データとともに表－1に示す。

表－1によれば、平均気温は、ヤンゴン>沖縄>つくばであった。温度が高い方が塗膜の劣化には影響しやすいと考えられるが、沖縄の方がヤンゴンよりも劣化が早かったので、平均気温のみでは塗

膜の劣化の順序が説明できない。紫外線量も沖縄が他よりも大きい値とはなっていない。一方、濡れ時間の長さについては、つくば>沖縄>ヤンゴンであることが分かった。詳細な検討はさらに今後必要と考えられるものの、このような結果から塗膜の劣化には、気温と水・湿度(濡れ時間)の双方が影響しており、沖縄の条件が特に材料劣化に厳しい組み合わせとなった可能性が考えられる結果となった。これらの結果を基に、より適切な耐久性評価方法(試験条件)の確立を図り、長寿命化に資する土木材料改良に寄与したいと考えている。

4. おわりに

本稿では、材料の環境における劣化特性が、気象環境の相違の影響を意外に大きく受ける場合があること、すなわち材料が使用される地域によって、その環境での耐久性に差がある場合があることを示した。ここで示したものは比較的相違の大きい事例であり、材料によっては、気象環境の影響が殆どない場合もある。とはいえ、建設材料の環境耐久性が使用される環境において十分であることは、様々な環境で使用される土木構造物の長寿命化を図るうえで重要と考えられることから、土木構造物が設置される環境条件に適合した、良好な環境耐久性を有する材料を選定することが重要であることが分かる。そのためには各種の建設材料の劣化と気象環境に関するデータの蓄積が必要である。本稿ではそのごく一部を紹介したが、引き続き研究を進め、土木構造物の長寿命化に貢献したいと考えている。