

1. はじめに

暴露試験は、材料及び製品の最も実用に近い試験であり、耐久性データとして欠くことのできない重要な試験であることは理解されているが、そのデータを得るまでの暴露方法は手軽に屋外に放置するだけでよいと考えられ易い。屋外の自然環境条件における劣化現象を正確に把握し、その程度を判定することは材料及び製品の耐候性評価のために極めて重要である。そのため、屋外暴露試験方法を標準化し統一する必要がある。我が国では、1979年に日本工業規格として屋外暴露試験方法通則(JIS Z 2381)が制定され、基本的な暴露試験方法が定められた。

暴露試験は、劣化要因である各種の大気環境条件を制御できないこと、それを再現できないこと、結果を得るまでに長年月の試験期間を必要とすることなど困難を伴う試験方法であるが、現在では、暴露試験に代るべき方法が他になく、いろいろな環境条件の場所でそのデータを積み重ねていく以外に道はないと考える。

暴露試験に併するものは、試験の目的に応じて材料と製品に大別され、それぞれ自然環境条件下及び特定環境条件下における材料及び製品の耐候性の挙動並びにそのデータを得て、各使用条件下での経済的な寿命推定に反映させることが主な目的であろう。

ISO/DIS 4542 金属及びその他の非有機被覆の静置屋外暴露腐食試験の一般通則では、屋外暴露条件下での腐食試験の目的として

- (1) 天然の零相気環境における保護皮膜の挙動についてのデータを得ること。
- (2) ある特定の屋外暴露に適した保護皮膜を知ること。
- (3) 零相気条件のなかの特定の形式の下での異なった保護皮膜の

腐食抵抗性を評価すること。

(4) 一定の雰囲気条件下での1つ以上の保護皮膜の腐食抵抗性を比較すること。

(5) 実験室と屋外暴露との暴露条件による試験結果の相関性を評価すること。

(6) 特定の保護皮膜の腐食抵抗性を評価すること。

(7) 使用したい保護皮膜の最も経済的な厚みと種類を決定すること。

(8) 有効保護期間を決定すること。

などが述べられている。

ここでは、暴露試験を実施する上で生じる諸問題について具体例を述べ、さらにJWTCにおける暴露装置、試料の取付け方法及び暴露試験状況の実施例をスライドを用い紹介する。

2. 暴露試験の種類

(1) 直接暴露試験 試料を日光、風雨などの自然環境に直接さらしてその経時変化を調べる試験。

(2) アンダーガラス暴露試験 試料を板ガラスで覆った試験箱内に取付け、雨水を防除し、板ガラスを通った日光にさらしてその経時変化を調べる試験。

(3) 遮へい暴露試験 試料を遮へい構造物の下に設置して、日光及び雨雪の直接的影響を遮けた状態に置きその経時変化を調べる試験。

(4) 浸液暴露試験 試料の一部又は全部を水などの試験液に浸し、屋外の環境下でその経時変化を調べる試験。

(5) 応力下暴露試験 試料を特定の暴露架台又は試料保持枠に取付け、一定の引張り又は曲げ応力などを加えた状態で暴露しその経時変化を調べる試験。

(6) ブラックボックス暴露試験 内、外側面とも全面に黒色塗装を施した底のある金属製試験箱の上面に試料を空間なく並べて屋

外の環境下でその経時変化を調べる試験。

(7) 太陽追跡暴露試験 暴露架台又は試料保持枠が太陽の方位及び高度を近似的にかつ自動的に回転追跡する装置に試料を取付け、屋外の環境下でその経時変化を調べる試験。

(8) 太陽追跡集光暴露試験 太陽の方位及び高度を自動的に追跡し、反射板で太陽光を集光させた位置に試料保持枠のある装置に試料を取付け、必要に応じ水をスプレーし、屋外の環境下でその経時変化を調べる試験。

(9) 接地暴露試験 試料を地上に接地してその経時変化を調べる試験。

(10) 地下埋設試験 試料を地下に埋設してその経時変化を調べる試験。

などがある。一般に実施されている暴露試験は、直接暴露試験及びアンダーグラス暴露試験が主なもので、その他の種類の試験方法は、暴露の促進を図るため又は特殊な目的の暴露試験方法である。

3. 暴露場の条件

(1) 暴露場は、試料の経時変化を推測する目的に適した環境条件を備え、かつ樹木、建築物などの日照、通風、降水をさえぎる地上物件がないこと。

(2) 暴露場は、その気象因子の毎年の変化が統計上少なく、大気汚染物質が少ない地域を選び、暴露装置の設置場所又は試料を地上に直接定置する場所には、日光の照り返し、ほこりの舞い上り、冠水などを防ぐ措置を施しておくこと。

(3) 特殊な環境の下で暴露試験を行う場合の暴露場は、年間を通じて環境因子に著しい変動がない場所にあること。

が通則に定められているが、理想的な暴露場の条件としては、環境汚染が少なく、自然環境条件のもとで劣化が促進されやすい環境にあり、年間の気象環境変動が少なく、その暴露場及び近接の気象台などの気象環境因子を利用できる場所が望ましい。また、環境汚

染因子（降下ばいじん、SO_x、NO_xなど）の影響を把握することが目的の場合は、その目的に合った場所を選ぶ、環境汚染因子の把握が重要である。

4. 試料

4.1 試料の区分

4.1.1 暴露する試料

(1) 試験体 材料又は製品をそのままの形で試験に用いたり、包装した荷姿のまま試験に用いる試料。

(2) 試験片 材料又は製品を代表するものとして、材料を試験目的に合わせて加工して作った試料又は試験体の一部を加工して作った試料。

4.1.2 暴露しない試料

(1) 初期性能測定用試料 耐候性を評価する目的で、暴露する試料と同一ロットから抜き取り、暴露試験を開始する時に性能試験を行う試料。

① 非破壊試験 暴露する試料が形状をもったもので、暴露する前に、暴露試料の初期性能測定ができない場合に用いる試料（色差、光沢など）。

② 破壊を伴う試験 暴露する試料が初期性能測定によって破壊される場合に用いる試料（引張、衝撃、曲げなど）。

(2) 保存試料 暴露試験の予備試料として、また、暴露した試料と比較対照し、経時変化の程度を評価する目的で暴露用試料と同一ロットから抜き取り、暴露しないで保存する試料。

4.2 試料の作成

4.2.1 試料の準備

(1) 製品の実用的な耐候性の評価を目的とする場合は、試験体の暴露試験を行う。また、この場合試験体と並行して試験片の暴露試験を行い、両者の関係を調査することが望ましい。

(2) 最終用途が限定されない中間製品の一般的な耐候性の評

価を目的とする場合は試験体又は試験片による。

(3) 試験体、試験片の選択は、当該する材料又は製品の日本工業規格の規定によるか又は当事者間の協定による。

(4) 試験体から試験片を切り出す場合は、実用状態を考慮するとともに試験片が試験体を代表するよう切り出し部位、加工方法を定める。

4.2.2 試料の形状及び寸法 暴露試験に用いる試料は、暴露に適した形状及び寸法を備え、かつ経時変化を正しくとらえることができるようなものとする(通則)。

(1) 形状 ---- 試験前後の加工方法などにより結果に影響を及ぼすもの

(2) 寸法 ---- イツギ効果のあるもの

4.2.3 試料の個数 試料の個数は、試験の種類及び目的により、あらかじめ計画した暴露期間毎に評価試験ができるようにする。なお、試料はできるだけその暴露期間内に洗浄などの手入れによる途中評価を行わない方が望ましいが、途中の評価試験によって、破壊又は著しい物理的、化学的変化を起さない試料は、継続して暴露試験を行うことができる。この場合、評価試験に伴う洗浄の影響などについて当事者間であらかじめ協議しておくなければならない。また、評価試験結果にバラツキを生じやすいものは多く用意する。

4.2.4 試料の前処理 試料は、評価試験結果の変動を少なくし、再現性をよくする目的で必要に応じて洗浄、状態調節し又切口を防護するなどの前処理を行う。

(1) 試験面の状態調節 ----- 脱脂洗浄、アニーリングなど

(2) 切口及び端部の防護 ----- シール、補修など

4.2.5 試料の標識 試料は、暴露中混乱を起さないよう試料の端部、裏面など性質及び性能の試験の支障にならない位置に直接標識をつけることが望ましい。ただし、試料に直接表示することができない場合は、試料を固定した暴露架台、試料保持枠な

どの至近の位置に表示する。標識の表示内容は、試料の名称、種類、連番、試験期間、試験場所及び条件、試験方法などのなかから必要事項を記号、番号などで表示し、暴露試験後も鮮明に識別できるようにする。なお、標識はできるだけ簡明にし、簡単なコード番号にするのがよい。いずれの場合も暴露台の図面を作成し必要事項を記入し記録する。

4. 2. 6 標準試料 耐候性の知れた試料を暴露用試料と同時に暴露することにより、その標準試料との耐候性を比較することが望ましい。

4. 2. 7 保存試料 保存用試料は、暴露用試料が暴露を終了するまで、できるだけ当初の性能を保ち変化しないよう保管しなければならない。

5 暴露試験の方法

5. 1 暴露試験の種類を選定 暴露試験の種類を選定は、当該する材料又は製品の日本工業規格の規定によるか又は当事者間の協定による。

5. 2 試料の取付け

(1) 試験の目的に従い、試料を規定の方位、角度及び位置に正しく維持できるように、暴露架台上に取付ける。

(2) 試料保持枠に対する試料の取付けは、自由に変形ができるようなゆとりをもたせる。ただし、試験の目的から、使用状態に倣って試料を固定したり、応力を負荷した状態で暴露する場合を除く。

(3) 試料の取付け及び取外しの際には、試料に影響を与えないように注意する。

(4) 遮へい暴露試験において、試験箱などを用いる場合、風や振動などによって試料が移動したり、破損することがないように注意する。

などが通則の暴露装置に固定して暴露試験を行う場合に定められて

いるがさらに具体的には

(1) 試料は、試料とおしあるいは試料とその試験条件で腐食効果を起こす材料との間に接触が起らないよう取付ける。

(2) 腐食生成物と雨水を含んだ腐食生成物が1つの試料から他の試料に滴下しないよう取付ける。

(3) 試料への接近が容易な場所を取付ける。

(4) 試料の取付け、取外しが容易である。

(5) 試料は、日射、風などを隣接する試料、暴露試験装置及び草木など他の物体で遮へいされないよう配置する。

(6) 地上からは収返る雨の水滴が試料表面に達しないよう取付ける。

(7) 試料の取付けには、原則として裏面に支持材などを用いない。

(8) 試料の取付け、取外しは手袋を使用する。

5.3 暴露角度 暴露角度は、当該する材料又は製品の日本工業規格の規定によるか又は当事者間の協定による。一般的に、直接暴露試験の場合、試料の表面は北半球では南面、南半球では北面向きとする。

金属 ----- 45度が多い

塗膜 ----- 30度が多い

プラスチック ----- 30度又は45度が多い

5.4 暴露期間

5.4.1 暴露期間の基準

(1) 時間を基準とする方法

(2) 日射量を基準とする方法

(3) 劣化の程度を基準とする方法

(4) その他当事者間の協定による方法

5.4.2 最終暴露期間の定め方 最終暴露期間は、材料又は製品の種類、用途などを考慮し、耐候性を評価するのに十分な時間とし、時間基準の場合は1年以上、日射量基準の場合は500

0 MJ/m²以上とすることが望ましい。

5.4.3 中間暴露期間の定め方 中間暴露期間は、材料又は製品の種類、用途などを考慮し、耐候性の経時変化を的確に評価できるよう定める。たとえば、暴露開始当初の変化が大きいと予測される場合は、暴露開始当初の周期を短く、徐々に周期を延長するなどの経時変化を的確にとらえられるようにする。

5.4.4 暴露開始の時期 暴露開始の時期は、材料又は製品の種類、用途などを考慮し、耐候性を的確に評価できるように定める。

(1) 耐候性の評価に1年以上の暴露期間が必要とされる場合は特に暴露開始時期を規定しない。ただし、2年未満で耐候性を比較する場合は、同一時期に開始した試料を対象とすることが望ましい。

(2) 試験期間が1年未満で結果が顕著にあらわれると予測される場合は、原則として、暴露開始時期を春(3月又は4月)、秋(9月又は10月)の2回とする。

5.5 暴露中の試料の取扱い 暴露期間中は、試料及び暴露装置が規定の試験条件を維持するよう管理する。

(1) 試料を定期的に観察し、汚染、破損などの異状及び切口防護処理の損傷がないか確認する。

(2) 暴露装置、試料の取付け状態を定期的に観察し、異状を認められた場合は修正する(台風、凍上、暴露架台の腐食など)。

(3) 試料の取付け、取外し、中間試験のための洗浄、観察及び試験に際して、試料に汚れ、きずなどをつけ又は事後に欠陥を生じる原因を作ることがないように注意する。

(4) 暴露中の試料は原則として洗浄を行なわないが、試料に偶発的な汚染を生じた場合は、当事者間の合意の上で清水又は試料に化学的影響を生じない洗剤を清水と併用して洗浄する。洗浄を行った場合は、前後の状況、方法、時期などを記録しなければならない。

偶発的な汚染 ---- 台風の齧来、鳥の糞、花粉など

6. 暴露装置

- (1) 暴露装置は、屋外暴露に適した堅ろうで耐久的な構造とする。
- (2) 暴露架台、試料保持枠、試験箱などの構造及び形式は、試験の種類に応じて規定する。
- (3) 暴露架台は、暴風雨、積雪、凍上などの影響を受けないように、かつ堅固にすえ付ける。
- (4) 試料の保持枠、試験箱、格納箱などは、試験の目的、試料の種類、形状及び暴露条件に応じた構造及び取付機構を備えたものとする。
- (5) 試料に影響を与えないように暴露架台、試料保持枠、試験箱などの各部材及び金具類、試験箱などの付属設備類、遮へい構造物の各部材及び付属器具類並びに応力、ムズミなどの負荷装置類には、適切な保護処理を施す。
- (6) 試料の暴露位置、地上からの高さ、方位及び角度は、試験の目的に応じて規定する。
- (7) 試料保持枠、取付用の器具類及び水槽、配管などの構成材料は、試料の経時変化に影響を与えるものであってはならない。
- (8) 試料保持枠類は、原則として熱膨張、水膨張などによる試料の自由変形を妨げないような取付け形式のものとする。
などが暴露装置の一般事項として通則で定められている。個々の種類の暴露装置については省略し、通則を参照されたい。

7. 環境因子

環境因子の測定は、材料又は製品に起る経時変化を考慮して、気温、湿度、日照時間、日射量、陰水量、降水時間、ぬれ時間、風向、風速、海塩粒子量、大気汚染物質などのうちからその劣化に関連が大きいと思われる環境因子について暴露試験を行った全期間を通して測定を行う。ただし、暴露場を測定ができない場合は、最も近接した気象台などの観測資料を利用することができる。暴露試験は、劣化要因である大気環境条件を制御できないこと、その耐候性

の挙動及びデータは環境条件によって大きく影響されるので、環境因子の測定は、暴露試験を行う上で重要であり、不可欠である。

8. 試料の経時変化を調べるための性質及び性能の試験

8.1 試験の時期

(1) 試料の初期性能は、原則として暴露開始時期に合わせて測定する。

(2) 試料の経時変化は、あらかじめ定めた暴露期間毎に、速やかに観察並びに性質及び性能の試験を行う。暴露試験を行っている状態のまま観察などを行う場合は、天候などによる支障がない限り、あらかじめ定めた暴露期間に到達したその日に行う。

8.2 試験の項目及び方法 試験の項目及び方法は、当該する材料又は製品の日本工業規格の規定によるか又は当事者間の協定による。また、試験に先立ち、表面の洗浄、状態調節を行う場合がある。この場合、試料の処理方法を記録する。

9. 記録及び報告

- (1) 試料の名称及び種類
- (2) 試料の形状、寸法及び前処理の方法
- (3) 暴露場の所在地及びその緯度、経度、標高
- (4) 試験の種類及び試料の暴露方法
- (5) 暴露開始の時期、暴露期間、暴露終了の時期、累積暴露期間並びに性質及び性能の試験の時期
- (6) 試料の性質及び性能の試験の結果
- (7) 環境因子の測定結果
- (8) 気象台の観測資料を環境因子の測定値として代用した場合は、暴露場との位置関係の記録
- (9) 試験の途中で中止又は中断した場合は、その期間、理由及び処置
- (10) 暴露期間中の暴風雨その他の特記すべき事項