

大阪大学大学院 学生員 ○正岡 孝 大阪大学工学部 正会員 松井繁之
大阪大学大学院 学生員 大西弘志 大阪大学工学部 正会員 福本嘯士

1. はじめに 建設後、供用開始された鋼構造物は、温度、湿度、太陽光、塩分などといった様々な環境要因にさらされている。一般に、鋼構造物上には、環境劣化を防ぐ目的で塗装が施されており、鋼構造物の耐久性は、塗装の耐久性に大きく依存している。本研究では、鋼構造物塗装の環境劣化機構と耐久性評価の確立を目的として、実橋梁で塗装劣化が顕著に見られるボルト添接部に着目して、添接部をモデル化した小型供試体で環境促進実験を行うことによりその劣化特性を評価した。また、この結果を基に、材料的側面から塗膜の物性（破断強度、伸び性能など）の環境劣化による変化が塗装劣化に与える影響、力学的側面から形状変化部に発生する塗膜のひずみが塗装劣化に与える影響を調べた。

2. 添接部環境促進実験 まず、ボルト添接部をモデル化した供試体に塗装を施し、環境促進実験を行った。紫外線照射（光環境）、温度サイクル（通常環境）、塩水噴霧（海洋環境）、光－通常相互（複合環境）の4環境における塗装の劣化状況を表－1に示す。これから、塗装劣化の形態が、各環境、また塗装系ごとに大きく違ってくる

表－1 添接部環境促進実験の劣化状況

	劣化の特徴	劣化発生部位
光環境	クラック群	ネジ山部等（凸部）
通常環境	開口状のクラック	座金付近コーナー部（凹部）
海洋環境	ハクリ、ハガレに進展	ナットエッジ、ボルト軸（凸部）
複合環境	F－3で早期劣化	ネジ山部、面取り部

ことが確認された。これは、塗膜の破断性状、伸び性能といった塗膜の物性の環境劣化による変化の仕方が異なること、また各塗装系の構成

層の物性の違いが塗装系全体としての塗装劣化の違いに影響しているといったことが考えられる。

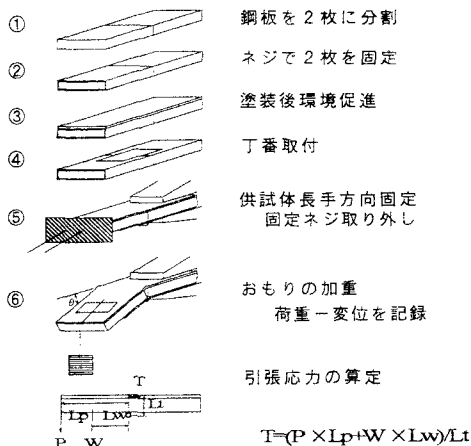
また、塗装劣化が平面部で発生せず、形状変化部で発生したことは、形状に起因する塗装欠陥等が発生することにより、その部分で温度変化に関する局部

ひずみが発生しているといったことが考えられる。以上のことを実証するため、本研究において塗膜物性実験を考案して、塗膜物性の環境劣化評価を行った。また、形状変化部における塗装をモデル化して、数値解析により塗膜のひずみ挙動を解明した。

3. 塗膜物性実験 塗膜物性実験とは塗膜が素地鋼材上に付着した状態で破断強度、伸び性能等を評価できるように考案した実験である。実験概要を図－1に示す。塗装は、添接部供試体同様、阪神高速道路公団塗装系F-1（フタル酸上塗）、F-2（塩ゴム上塗）、F-3（ウレタン上塗）を用いた。また、環境促進実験は光環境、通常環境、複合環境について行った。

無促進時の荷重－変位関係を図－2に示す。載荷直

後は、比例関係を示さないが、その後は破断直前までほぼ比例関係を示すことがわかる。また、破断時に、無促進のものは塑性化を示す現象が見られるが、環境促進後はその傾向を示さず、脆性的な破断に至ることが確認された。



図－1 塗膜物性実験概要

次に、破断応力、破断時変位量の変化を図-3、4に示す。これにより、環境促進により破断強度の増加がみられ、実験開始と終了時との値（無促進のもの）とを比較しても、高い値を示していることがわかる。これは、塗膜が硬化乾燥していく過程（重合・縮合）が加速されているためと考えられる。また、F-2の複合環境下においては、無促進より値が低いものもあり、これは劣化がかなり進み始めていることを示している。また、破断時変位量の変化においては、特にF-2において伸び性能の減少が確認される。従って、F-2は環境劣化により伸び性能を失いやすい塗膜であると考えられる。

4. 塗装系構成層の物性 塗装系を構成する各層の物性の違いが、塗装系の違いによる劣化の違いに現れているものと考え、各下塗、中塗、上塗について、単膜について物性特数値を引張試験により求めた（表-3）。これらよりF-3は、F-1,2の構成層に比べ、表-3 物性特数値（単膜引張試験による）上塗で堅くねばり強い傾向を示すが、中塗、下塗では、堅くもろい傾向を示し、この事が複合環境下における早期劣化の原因であるとも考えられる。

塗装系	構成層	ヤング率 kg/cm ²	伸び率 %	最大応力 kg/cm ²	破断応力 kg/cm ²
F-1,F-2	下塗	2.00E+03	8.92	6.16E+01	6.15E+01
F-3		2.16E+04	0.92	1.55E+02	1.45E+02
F-1,F-2	中塗	9.94E+03	1.27	6.83E+01	6.83E+01
F-3		1.86E+04	0.62	7.24E+01	6.29E+01
F-1		2.04E+02	59.97	5.61E+01	5.58E+01
F-2	上塗	6.33E+02	43.18	2.94E+01	2.28E+01
F-3		7.16E+03	46.35	2.09E+02	2.08E+02

5. 形状変化部での局部ひずみ¹⁾ 形状変化部で特に劣化の見たれたコーナー部、ネジ山部をモデル化して、温度変化によって塗膜に生ずるひずみの変動量を数値解析により調べた（図-5）。塗膜と鋼材との間にすき間ができたモデルでは、塗膜と鋼材の接着部分において局部ひずみが見られる。これは、環境促進実験で確認された塗装の劣化位置と類似しており、形状変化部での劣化は、形状に起因する塗膜の付着欠陥によって起こるものとも考えられる。

6. 結論 環境促進実験により、各環境下で特徴的な劣化が見られた。これらの原因は、塗膜の物性の変化、また塗装系構成層の物性の違いによるものと考えられる。また、形状変化部における塗装劣化は、塗装欠陥等により局部ひずみが発生するといったことも十分考えられる。従って、塗膜と鋼材の付着は、塗装の耐久性に大きく影響を及ぼすといったことが考えられる。最後に、本実験の供試体作成等に御尽力頂いた関西ペイント（株）の諸氏に謝意を表します。

【参考文献】

1)佐藤忠明：塗膜の付着力、塗料の研究、関西ペイント（株）、No.116,Mar,1989

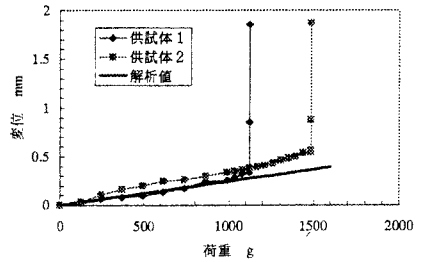


図-2 荷重-変位曲線（F-3 塗装系）

表-2 実験サイクル

実験cycle	光環境H	通常環境T	複合環境
0	0	0	0
1	100cyc.	50cyc.	H100,T0
2	200cyc.	100cyc.	H100,T50
3	300cyc.	150cyc.	H200,T50
4	400cyc.	200cyc.	H200,T100

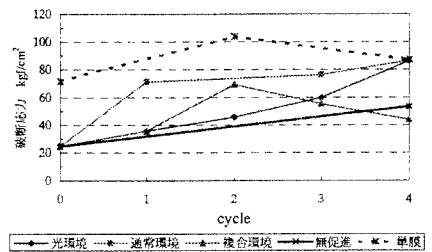


図-3 破断応力の変化（F-2 塗装系）

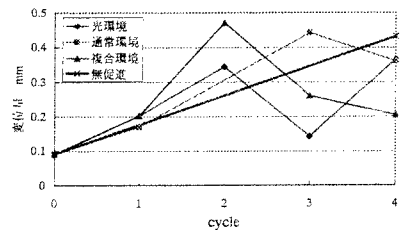


図-4 破断時変位量の変化（F-2 塗装系）

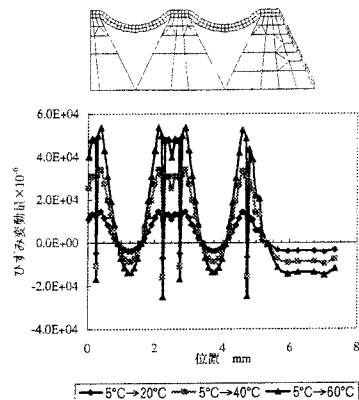


図-5 塗膜のひずみ変動量（ネジ山）