

論文の内容の要旨

論文題目 鋼橋塗膜の劣化度評価と寿命予測に関する研究

氏名 藤原博

塗装は、鋼橋（鋼道路橋）の防食方法として一般的に用いられているが、防食性能を保持するためには定期的な塗装の塗り替えが必要となる。我が国における鋼橋の塗装面積はおよそ4千万㎡（平成8年3月末現在）であり、このうち毎年300万㎡程度の塗り替えを行っているが、鋼橋の塗り替え面積と塗り替えに要する費用は年々増加を続けている。本研究の基本的立場は、年々増加する鋼橋塗装の塗り替えを計画的かつ効率的に実施するためには、塗り替え時期すなわち塗膜の寿命予測が重要であるとの考えにある。しかし現在、塗膜寿命を予測するために行われている目視観察主体の塗膜調査は、調査員の個人差による調査データのバラツキを免れることが困難であり、寿命予測の精度を高めるためには科学的手法による塗膜劣化度の定量的評価が必要不可欠となっている。そこで、塗膜の実態調査や塗装試験板の暴露試験を行い、それらから得られたデータを基に、塗膜劣化度の定量的評価を可能とするシステムの構築と、寿命予測のための統計的手法を見出すための検討を行った。

日本道路公団（JH）が管理する全国の鋼橋の中から経年データが整備されている624橋（約75000データ）を対象に塗膜調査を行った結果、一般的な腐食環境を対象としたA塗装系塗膜（鉛系さび止めペイント／フタル酸樹脂塗料の組み合わせ）の経年劣化は、環境別に見ると河川環境の進行が最も大きく、

交差道路・側道隣接環境，田園・山間・住宅地環境の順となっており，いずれの環境でも板桁構造よりも箱桁構造の方が，また，鉛直部材よりも主として水平部材として使用されている部材の方が塗膜の劣化速度が速いことが明らかになった。なお，鋼橋の塗り替えは約 10 年程度で行われていることが分かった。

塗膜劣化度の定量的評価では，画像処理によって塗膜劣化の特徴量を定量化するために，既存の画像処理手法の中から濃淡モフォロジー処理を選び，鋼橋の塗膜写真を対象に抽出試験を行い実用性の検討を行った結果，屋外における鋼橋塗膜の撮影画像のように濃度平均値が変化する画像でも塗膜劣化部を精度良く定量的に抽出できることが分かった。また，画像処理によって定量化した塗膜劣化の特徴量を本検討で得られた評価基準に当てはめて評価を行った結果と，塗膜調査の専門家の目視観察による評価結果とは概ね良く一致することが分かった。なお，塗膜劣化度の定量的評価を自動的に行う「塗膜劣化度診断システム（特許）」を開発し，塗膜調査のエキスパートシステムとしての実用性も実証した。

「塗膜劣化度診断システム」によって得られた塗膜の顕在劣化から塗膜下腐食を推定するために，鋼橋の塗膜表面に存在している劣化現象（顕在劣化）と，その塗膜の下で生じている鋼材腐食（塗膜下腐食）との関係について調査し，そのデータについて統計的手法により検討を行った結果，鋼橋の設置環境によって塗膜下腐食の腐食形態に違いのあることを実証し，飛来塩分量が多く厳しい腐食環境では比較的深い孔食が多く発生しており，田園地域のような穏やかな腐食環境では，粒径が小さく，深さの浅い腐食が多く生じていることが分かった。また，塗膜表面に存在している塗膜劣化の占める面積率とその塗膜下に生じている鋼材の腐食面積率とは，腐食環境によって若干の違いはあるものの非常に良い相関関係にあることが分かった。

塗膜の実態調査データや塗装試験板の暴露試験データから，塗膜劣化度診断システムを用いて定量的に求めた塗膜の経年劣化度を，統計処理的に劣化傾向特性を類似する理論的傾向曲線に近似させ，それを塗膜寿命曲線とする検討を行った結果，塗り替え時期を判断する 10 ～ 20 年程度の実用的な範囲であれば二次曲線によって塗膜劣化曲線すなわち塗膜寿命予測曲線を表すことが可能なが分かった。こうして得られた塗膜寿命予測曲線はマイルド環境，塩分飛来環境及び高温多湿環境の 3 本に分けることができ，各環境別にそれぞれの塗膜寿命予測曲線によって塗膜寿命を予測することが可能となった。（図 1 参照）

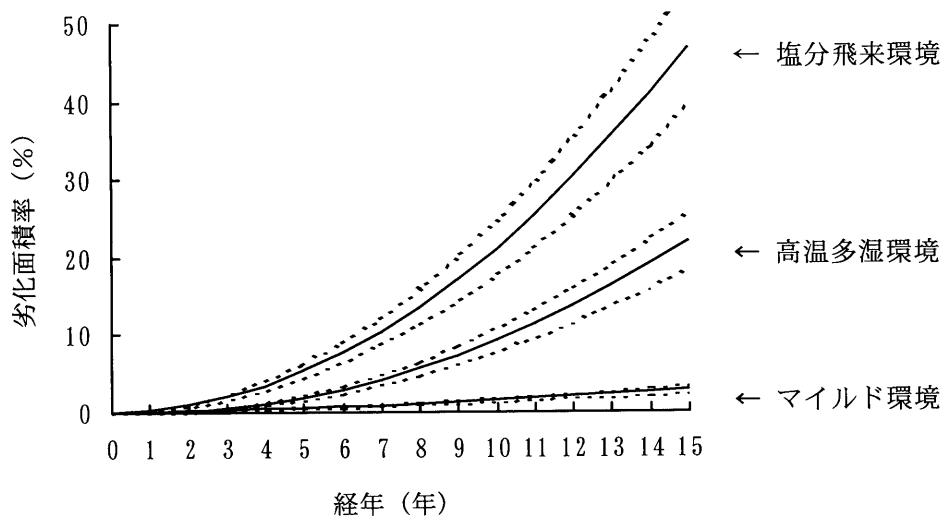


図1 塗膜寿命予測曲線

また、鋼橋の塗膜下腐食の調査によって求められた最大腐食深さについて極値統計を行い最大腐食深さの分布と最大腐食深さの予測図(図2参照)を求めた結果、最大腐食深さは0.02 mm/年で直線的に増加し、A塗装系の塗り替え周期である10年時点における最大腐食深さは0.20 mm程度になり、そのときの顕在劣化面積率は3%であることが分かった。

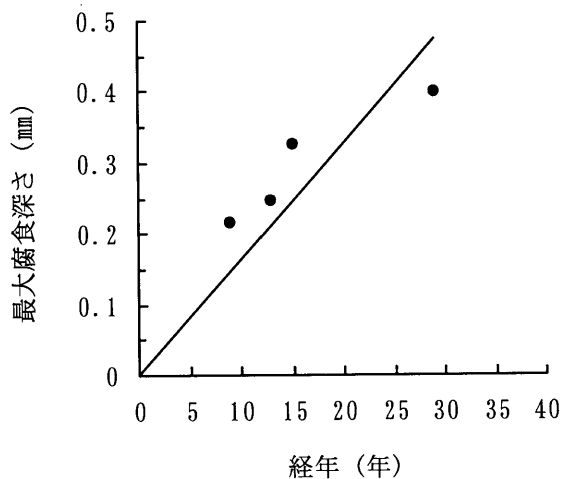


図2 最大腐食深さの予測図

顕在劣化面積率3%に達した時点すなわち腐食深さ0.20 mmに達した時点塗膜寿命(塗り替え時期)として定義し、図1に示す塗膜寿命予測曲線によって各環境における塗膜寿命を推定すると、A塗装系の塗膜寿命はマイルド環境で15年、塩分飛来環境で4年、高温多湿環境で6年であることが分かった。

表1 相関係数と順位相関係数の平均値

促進 腐食 試験	屋外暴露試験			
	東京	北陸	沖縄 内陸	沖縄 海岸
S S	0.166	0.329	0.647	0.480
S 6	0.646	0.777	0.711	0.665
D S	0.586	0.726	0.582	0.530
N S	0.635	0.799	0.643	0.605
JASO	0.491	0.765	0.776	0.677
海水 NS	0.580	0.844	0.763	0.781
ASTM	0.580	0.757	0.872	0.751

表2 各暴露地と促進腐食試験間の
促進倍率

促進 腐食 試験	暴露地			
	東京	沖縄 内陸	沖縄 海岸	北陸
S S	45.40	51.45	16.55	15.94
S 6	39.38	44.62	14.36	13.83
D S	27.33	30.97	9.97	9.60
N S	70.41	79.80	25.67	24.72
JASO	67.17	76.12	24.49	23.58
海水 NS	42.15	47.77	15.37	14.80
ASTM	37.52	42.52	13.68	13.17

東京、北陸及び沖縄の各暴露場で行った塗装試験板の屋外暴露試験結果と各種の促進サイクル腐食試験結果とを比較検討した結果、東京のようなマイルド環境での促進試験条件として S6（通産省の委託研究により開発された試験条件）、北陸と沖縄海岸では海水 NS（日産自動車の社内規格試験）、沖縄内陸では ASTM（D2933-74）がそれぞれで最も再現性のある試験条件であることが分かった。（表1参照）同時にこれらの各促進腐食試験結果から得られた促進倍率（表2参照）により、S6で6か月間の促進腐食試験を行うと、北陸のように多量の海塩粒子が飛来する腐食環境において5～6年、東京のようにマイルドな腐食環境において11年程度の屋外暴露結果がそれぞれ推定できた。また、ASTMで6か月間の促進腐食試験を行うと、沖縄のように高温多湿で海塩粒子の飛来の影響を受ける腐食環境において14～15年程度の屋外暴露結果が推定できることが分かり、新設塗膜の寿命予測が可能であることを示した。

このほか、塗装試験板の屋外暴露試験結果から、ジンクリッチペイントを下塗りに用いた塗装系の防食性の優秀性を明らかにするとともに、その防食効果は有機ジンクリッチペイントよりも無機ジンクリッチペイントの方が高いことを示した。また、ジンクリッチペイントを下塗りに用いたふっ素樹脂塗膜は、耐候性のみならず防食性にも優れていることを明らかにするとともに、水洗いは塗膜の防食性に大きな効果があり、特に、飛来塩分量の多い個所におけるフタル酸系塗膜ではその効果は大きいことを明らかにするなど、環境と塗装系の違いによる塗膜劣化現象と原因を明らかにした。