腐食環境の厳しい沖縄における塗膜試験片の暴露試験について

琉球大学　　正会員　有住康則　フェロー　矢吹哲哉　正会員　淵脇秀晃
内閣府沖縄総合事務局　那覇港湾・空港整備事務所　正会員　三宅光一　田仲康時　前幸地紀和　山田暁

１．はじめに　沖縄県は，亜熱帯気候に属し，高温多湿で，しかも周囲を海に囲まれており，海塩粒子の飛散等により，鋼材の腐食しやすい環境下にある[1)]．そこで亜熱帯沿岸地域における自然環境下での仕様塗装・塗料膜の耐久性を調査する目的で，平成７年４月より標準仕様系（A仕様）及び超厚膜仕様系（C仕様）試験片を用いて暴露試験を行っている．暴露試験では，毎年外観調査を行い，更に５年に一度の割合で塗装膜の性能試験を行った．ここでは，11年間に渡って行った暴露試験結果より，時間経過に伴う標準仕様系（A仕様）及び超厚膜仕様系（C仕様）の塗装膜の劣化特性の検討結果について報告する．

２．試験方法　塗膜試験片の暴露試験は，那覇港岸壁より約200ｍ離れた場所に位置する那覇港湾・空港整備事務所庁舎屋上に，写真-1に示すように暴露試験片を正南に向けて設置し行った．暴露試験では，標準仕様（A仕様）塗膜試験片10枚及び超厚膜仕様（C仕様）塗膜試験片10枚，合計20枚の塗膜試験片（100㎜×200㎜×2㎜のSS400鋼板）を用いて行った．塗装仕様の詳細を表-1に示す．暴露試験では，暴露試験期間中，１年に一度の割合で外観調査を行い，更に，初年度，１年目，６年目及び11年目に塗装膜の光沢度、インピーダンス、および付着性能についての塗装膜性能試験を行った．なお，平成18年１月に実施した腐食環境調査によれば，本暴露場所の土木研究所方式の飛来塩分捕集器を用いて採取した飛来塩分量の最大値は0.216mddで，鋼材の暴露試験で得られた鋼材の腐食度は最大で22.88mddであり，本暴露場所は腐食環境の厳しい場所であると言える．

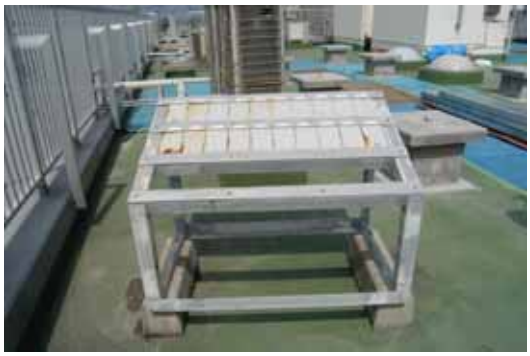


写真-1　暴露試験片設置状況

３．外観の経年変化　塗膜試験片の11年目の外観状態の一例を写真-2に示す．標準仕様（A仕様）塗膜試験片では，4年目でほぼ全ての試験片で観察された錆による片コバ面部での膨れ及び剥がれの不整が5年目で一部母材にも観察され，更に，６年目から激しいふくれ，７年目で割れ、剥離現象を見せた．また，約10年目で試験片表面に一様に点錆が発生し始めた．外観観察による光沢，発錆状況から判断すると，塗膜の耐久性が劣化し始めていると考えられる．

一方，超厚膜仕様（C仕様）の試験片塗膜表面では，８年目で始めて観察された微少な気泡状の膨れ，亀裂，点状窪み等が，10年目では量的に増加したもののコバ面からの発錆もほとんど認められず，未だ健全な状態であると判断される．しかし，一般に14,15年といわれている鋼橋の塗装塗り替え時期の半期で，初めて超厚膜仕様の表面に微少ではあるが膨れ，亀裂，点状窪みなどが観察されたことは，興味深い．超厚膜仕様（C仕様）の場合でも，塗装膜破断試験跡を補修して再暴露した試験片では，インピーダンス及び付着試験用試験片の塗装膜補修箇所から発生した錆が，試験片コバ面角部の塗膜の膨れ，剥がれ現象を顕著とし，更に10年目で塗装膜の亀裂をもたらした．また，ほぼ10年目では、コバ面に僅かな腐食痕跡が発生すると一年後には塗装膜を破壊させてしまう．こうした事象は，超厚膜仕様の補修を考

(a) 標準仕様　　(b) 超厚膜仕様
写真-2　外観調査（暴露11年目）

表-1　塗装仕様

(a) 標準仕様（A仕様）

下地処理	第１層	第２層	第３層
２種ケレン	変性エポキシ樹脂塗料 （200g/m²）（50μm）	エポキシ樹脂塗料中塗 （140g/m²）（30μm）	フッ素樹脂塗料上塗 （120g/m²）（25μm）

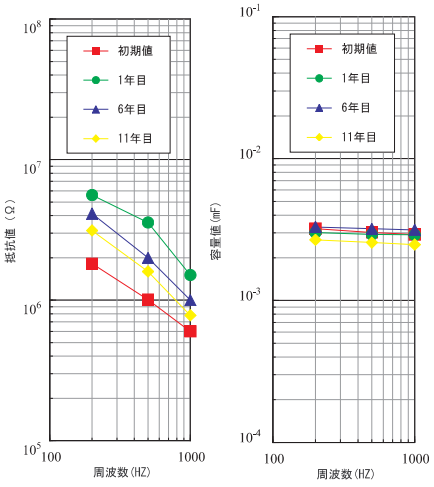
(b) 超厚膜仕様（C仕様）

下地処理	第１層	第２層	第３層	第４層	第５層
２種ケレン	エポキシ樹脂 プライマー （120g/m²）（30μm）	超厚膜型 エポキシ樹脂塗料 （1300g/m²）（500μm）	超厚膜型 エポキシ樹脂塗料 （1300g/m²）（500μm）	エポキシ樹脂 塗料中塗 （140g/m²）（30μm）	フッ素樹脂 塗料上塗 （120g/m²）（25μm）

キーワード：　鋼橋，　塗装，　暴露試験，　腐食，　超厚膜仕様塗装
連絡先：　〒903-0213　沖縄県西原町千原1番地　琉球大学工学部環境建設工学科　TEL 098-895-8664　FAX 098-895-8677

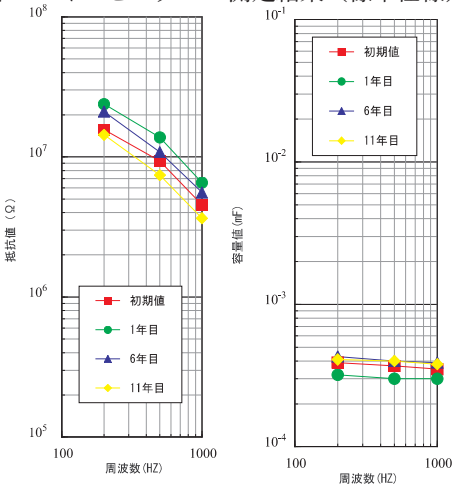
える際に考慮しなければならない極めて重要な知見であると思われる．

４．塗装膜性能試験結果及び考察　光沢度の測定結果を表 -2 に示す．通常、標準仕様（A 仕様）は、スプレー塗装直後で 70 ～ 80 程度の値を示す．当該試験片の表側初期値は 74 であったことから，標準的な光沢を有していたことになる．標準仕様表面での初期光沢度に対する保持率は、6 年後で 49%，11 年後では 21%に低下した．一方，超厚膜仕様（C 仕様）の場合は，表側初期値は平均値で 25 であった．超厚膜仕様試験片表面での初期光沢度に対する保持率は，6 年後で 62%，11 年後では 48%であった．しかし，裏側では逆に光沢度が大きくなっている．これは，超厚膜型特有の刷毛目による非常に大きい凹凸が光沢測定時の光源入射角を一定に保持しにくくすることにより生ずるものであると考える．次に，インピーダンス測定結果を図 -1 及び図 -2 に示す．インピーダンス測定値の場合，抵抗値は大きい程，また容量値は小さい程，塗装膜は健全であることを示す．標準仕様，超厚膜仕様共に，抵抗値は 1000Hz で 0.7×10^{-6} Ω以上、容量値は 3×10^{-3} Ω μ以下で，塗装膜評価 3 の領域にあり劣化度は 1 で，塗膜の状態に異常がないことを示している．また、横軸に周波数、縦軸に抵抗値または容量値を描いた両対数グラフ上において、抵抗値の場合は右肩下がりで、容量値の場合はほぼ一定ならば塗膜は健全であることを示すが，本測定結果も同様な傾向を示した．以上の結果より，インピーダンス測定箇所では膜厚は健全であると言える．最後に，付着性能試験結果を表 -3 に示す．11 年暴露後の付着力は，標準仕様で 3.5 ～ 5.3MPa，超厚膜仕様で 3.3 ～ 4.3MPa であり，破断形態も下塗り塗料の凝集破壊か又は接着剤剥離であり、層間剥離は認められなかった．以上より，付着性能試験箇所では良好な付着性能を維持していると考えられる．



(a) 抵抗値　　(b) 容量値

図 -1　インピーダンス測定結果（標準仕様）



(a) 抵抗値　　(b) 容量値

図 -2　インピーダンス測定結果（超厚膜仕様）

５．あとがき　本研究では，亜熱帯沿岸地域における自然環境下での仕様塗装・塗料膜の耐久性を調査する目的で，標準仕様系（A 仕様）及び超厚膜仕様系（C 仕様）塗膜試験片を用いた暴露試験を行い，その結果より，時間経過に伴う塗装膜の劣化特性について検討を行った．本研究より得られた主な結論は，以下の通りである．

（1）標準仕様（A 仕様）塗装では，4 年目でほぼ全ての試験片で片コバ面部で錆による膨れ及び剥がれが観察され，5 年目以降からさらに顕著になり、7 年目以降で割れ、剥離現象が観察された．即ち，標準仕様の場合、錆が母材にまで進行すると、その後は 1 年程度で塗膜の割れ、剥離現象が発生する可能性があることが分かった．

（2）超厚膜仕様（C 仕様）塗装では，8 年目で始めて観察された微少な気泡状の膨れ、亀裂、点状窪み等が、10 年目では量的に増加したもののコバ面からの発錆もほとんど認められず、未だ健全な状態であると判断される．

（3）塗装膜のインピーダンスおよび付着性能試験より，標準仕様（A 仕様）塗装及び超厚膜仕様（C 仕様）塗装共に，インピーダンス測定箇所及び付着性能試験箇所では膜厚は健全で，良好な付着性能を維持している．

今後も更に，亜熱帯沿岸地域における腐食環境の厳しい自然環境下での標準仕様塗装及び超厚膜仕様塗装の耐久特性に関する基礎的資料収集のため，暴露追跡調査を継続する予定である．

表 -2　塗装膜光沢度測定結果

項目		標準仕様 表	標準仕様 裏	超厚膜仕様 表	超厚膜仕様 裏	試験片個数（個）
初期値	測定値	74	74	25	25	1
1 年後	測定値	78.5-80.5	77.5-81.2	22.5-48.3	21.6-50,5	1
6 年後	全試験片平均	36.0	79.1	15.5	33.8	2
11 年後	全試験片平均	15.4	63.2	12.0	29.5	4

表 -3　付着性能試験結果

項目		標準仕様(MPa) 表	標準仕様(MPa) 裏	超厚膜仕様(MPa) 表	超厚膜仕様(MPa) 裏	試験片個数（個）
初期値	測定値	2.0	2.5	3.9	6.9	1
1 年後	測定値	3.9	3.4	4.7	5.9	1
6 年後	全試験片平均	5.9	4.2	3.9	3.2	2
11 年後	全試験片平均	3.5	5.3	4.3	3.3	4

参考文献　1）淵脇，矢吹，有住，山田，赤嶺：沖縄県海岸部での ACM 型腐食センサーと飛来塩分量による腐食環境調査，土木学会第 60 回年次学術講演会，1-023.pp.45-46.2005.