東京タワーの塗装による維持保全

MAINTENANCE OF TOKYO TOWER BY COATING SYSTEMS

大澤 悟 ——— * 1 本橋健司 ——— * 2

Satoru OHSAWA ——— * 1 Kenji MOTOHASHI ——— * 2

キーワード：
鋼構造物, 東京タワー, 塗装, 維持保全

Keywords:
Steel construction, Tokyo tower, Coating systems, Maintenance

Tokyo Tower has passed for 55 years till today at the end of 1958 since completion. In the meantime, though it is a large-sized steel construction which is easy to corrode, by suitable maintenance preservation by coatings, without spoiling a fine sight function, a ground protection feature, etc., the function it is supposed that it is as a communications tower and a sightseeing spot is held, and nine renewal coating work is carried out till the present.

This paper reports the maintenance preservation by the application coating systems at the time of this construction, and subsequent whole surface renewal coatings.

1. はじめに

東京タワーは、1958年12月末に竣工以来、今日まで55年経過している。この間、腐食しやすい大型鋼構造物でありながら、塗装による適切な維持保全により、美観機能や下地保護機能等を損なうことなく、電波塔や観光スポットとしての機能を保持してきており、現在まで9回の全面塗替塗装工事を実施してきている。

本報では、この東京タワー建設時における適用塗装システム¹⁾及びその後の全面塗替塗装による維持保全^{2)~5)}について報告する。

2. 東京タワーの建築概要

東京タワーは、鉄塔本体と近代科学を紹介するための科学館とで構成されている。その建築概要を、以下に示す。

鉄塔本体の高さは、110km 以内の関東一円をサービスエリアとする必要から、エッフェル塔よりも18m高い333mで設計された。

施 主：日本電波塔(株)

設計指導：工学博士 内藤多伸

設計監理：日建設計工務(株)

施 工：(株)竹中工務店

所 在 地：東京都港区芝公園20号地1番

敷地面積：21,002.8m²

工 期：1957年6月29日～1958年12月23日

構 造：基礎（RC深礎工法）、塔体（S造）

高 さ：333m（標準G.L～避雷針頂部）

使用鋼材：4,000t（塔本体：SS41規格品、アンテナ支持台：SHT52相当品）

部材接合：リベット168,000本（鋼材）、

本締ボルト45,000本（亜鉛めっき鋼材）

3. 建設時の塗装システム

鉄塔本体に採用された塗装システムを表1に、その塗装区分である鋼材への適用部位（梁No.）を図1に示す。

地上から塔頂（H27）までの鉄塔本体の部材は、地上からH14までは鉄鋼、高さ150m以上のH14からH27までの部材は、高所での防錆性を考慮して溶融亜鉛めっき鋼（以下、亜鉛めっき鋼と称す）で構成された。

適用塗装システムは、今日のようなふっ素樹脂系やアクリルシリコン樹脂系等の高耐候性塗装系が存在しなかった時代であり、当時における船舶・橋梁等大型鋼構造物での施工実績等を踏まえて、橋梁用のマリンペイントである

図1 鋼材の部位（梁No.）

表1 建設時の塗装システム

部位	素地	区分	工程	塗料その他	塗布量 (kg/m ²)	乾燥膜厚 (μm)	放置時間 (h)
H27 S H14	亜鉛めっき鋼	現場塗装	1 素地調整	汚れ・付着物の除去 発錆部は下塗り塗料で補修塗り			
			2 下塗り	ジンクロメート系 さび止めペイント	0.16	25	10
			3 中塗り	フタル酸樹脂系塗料	0.14	20	16
			4 上塗り	フタル酸樹脂系塗料	0.13	20	16
H14 S 地上	鉄鋼	工場塗装	1 素地調整	サンドブラストで除錆後、ショッブプライマー塗り			
			2 下塗り1回目	鉛丹系さび止めペイント	0.20	25	12
		現場塗装	3 下地調整	汚れ・付着物の除去 発錆部は下塗り塗料で補修塗り			
			4 下塗り2回目	鉛丹系さび止めペイント	0.20	25	12
			5 中塗り	フタル酸樹脂系塗料	0.14	20	16
			6 上塗り	フタル酸樹脂系塗料	0.13	20	16

¹⁾ (株)竹中工務店技術研究所 部長付
(〒270-1395 印西市大塚1-5-1)

²⁾ 芝浦工業大学工学部建築工学科 教授・工博

¹⁾ Assistant to General Manager, Research & Development Institute, Takenaka Corporation

²⁾ Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Shibaura Institute of Technology, Dr. Eng.

フタル酸樹脂系塗装システムが採用された。すなわち、地上から H14 までの鉄鋼面は、工場でサンドブラスト処理後、ショッププライマー塗り及び鉛丹系さび止めペイント 1 回塗りまでを行い、現地搬入・建方後、下地調整を施してから 2 回目の下塗り（下塗り 1 回目と同じ鉛丹系）を全面に塗装後、フタル酸樹脂系塗料の中塗り及び上塗りが塗装された。また、H14 から塔頂までの亜鉛めっき鋼面は、工場で酸洗い及び熔融亜鉛めっき処理を施し、現地搬入・建方後、汚れ・付着物等を除去し、下塗りとしてジンクロメート系さび止めペイントを 1 回塗りし、鉄鋼面と同じフタル酸樹脂系塗料の中塗り及び上塗りが塗装された。なお、リベットやボルト頭、エッジ部等他の部材に比べて発錆しやすい箇所は、下塗りによる増し塗りが行われた。この鉄塔本体の全塗装面積は、約 78,000m²（塗料使用量：約 28,000ℓ）であり、現地での塗装作業は、1958 年 11 月から 12 月までの約 1.5 ヶ月間で実施された。また、塔体の彩色は、当時の航空法に従って白とインターナショナルオレンジ（以下、黄赤と称す）を塗り分けたしま模様となった。但し、この彩色区分は、その後の航空法の改正に伴って何度か変更になっている。

4. 塗装による維持保全

4.1 維持保全の基本的な考え方

塗料は、合成樹脂を主とする有機材料で構成されており、紫外線・降雨水等大気中の外力により経年に伴って、表面から損耗・劣化していく。従って、適切な塗替塗装を行うことによって、美観や下地保護等所定の性能を維持する必要がある。

大型鋼構造物である東京タワーの塗装による維持保全の基本フローを、図 2 に示す。

図 2 東京タワーの塗装による維持保全（基本フロー）

東京タワーでは、既存塗膜の状況調査を適宜行いながら現状を把握して塗替塗装の要否を判断している。また、採用した塗替塗装システムの作業性・耐候性等を実施工により評価しながら、問題点の改善策を立案し、その効果を現地試験施工や実験室試験等により確認している。以上のフローに従って、東京タワーにより適した塗替塗装システムの選定を行っている。

なお、この東京タワーの塗装による維持保全では、電波塔や観光スポットとしての機能保持が最優先である。従って、塗装の全面塗替時期の判定は、既存塗膜の劣化状況の影響が素地金属（鉄鋼・亜鉛めっき鋼）にまで及ばないようにする観点から、汚れ・変退色等により塔体全体の美観機能が損なわれ始めた時点を目安としている。

4.2 塗替塗装システム

東京タワーの塗装による維持保全として実施してきた全面塗替塗装システム（以下、塗替塗装と称す）を、表 2 に示す。

素地である鉄鋼や亜鉛めっき鋼は、大気中の水分や酸素との接触により腐食が進行し、海塩粒子や亜硫酸ガス等により腐食が促進される。従って、塗装による維持保全で鉄塔本体の防錆性を確保・維持するには、既存塗膜に塗替塗膜を出来るだけ塗り重ねることにより、腐食因子や腐食促進因子と素地金属との接触を遮断するのが最も効果的であるとの判断に基づき、塗り重ねによる塗替塗装を採用してきている。

よって、東京タワーにおける塗替塗装の作業は、既存塗膜の健全部はできるだけ塗替塗装の下地として生かし、既存塗膜の劣化部分のみ〔下地調整〕であるケレン・清掃作業を実施し、その部分及び周辺にのみ〔補修塗り〕である下塗り（さび止めペイント）を行い、既存塗膜の健全部及び〔補修塗り〕部を塗装下地として、全面に〔中塗り〕及び〔上塗り〕を塗装する工程を採用してきている。以上の各塗替塗装工程における作業内容や使用塗料等を、次に示す。

（1）下地調整

〔下地調整〕は、既存塗膜の劣化部分である浮き・はがれ部や、露出した素地金属の発錆部を、ケレン・清掃する工程である。また、既存塗膜の健全部は、そのまま塗替塗装工程の〔中塗り〕下地として活用出来るように、塗膜表面の清掃を実施している。

（2）補修塗り

〔補修塗り〕は、〔下地調整〕を行った既存塗膜の劣化部分及びその周辺部を、下塗り（さび止め）にて拾い塗りする工程である。この工程で使用してきた塗料は、亜鉛めっき鋼面及び鉄鋼面とも以下に示す既存塗膜の状況が見られ、建設時から変更してきている。

①亜鉛めっき鋼の場合

建設後の比較的早い時期から、部分的に塗膜のわれやはがれの発生が幾つか認められた。但し、塗膜のはがれて露出した亜鉛めっき鋼の表面は、部分的な白さび発生程度であり、赤さびの流出にまで至っている箇所は認められなかった（写真 1 参照）。また、はがれの発生は、いずれも亜鉛めっき鋼面と建設時の下塗り（ジンクロメート系）との界面で生じていた。

表 2 全面塗替時の塗装システム

部位	素地	工程	第1回 (1965)	第2回 (1970)	第3回 (1976)	第4回 (1980)	第5回 (1986)	第6回 (1991)	第7回 (1996)	第8回 (2002)	第9回 (2007)
H27 s H14	亜鉛めっき鋼	下地調整	劣化塗膜の除去・発錆部の4種(ケレン)・清掃								
		補修塗り	鉛酸カルシウムさび止めペイント	同左	同左	同左	同左	同左	同左	1液型弱溶剤系変性エポキシ樹脂さび止めペイント	
		中塗り	フタル酸樹脂系塗料	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
		上塗り	フタル酸樹脂系塗料	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
H14 s 地上	鉄鋼	下地調整	劣化塗膜の除去・発錆部の4種(ケレン)・清掃								
		補修塗り	鉛丹系さび止めペイント	※特殊さび止めペイント	同左	同左	同左	同左	同左	同左	1液型弱溶剤系変性エポキシ樹脂さび止めペイント
		中塗り	フタル酸樹脂系塗料	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左
		上塗り	フタル酸樹脂系塗料	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左	同左

※）ビヒクルで防錆するタイプのさび止めペイント

写真1 亜鉛めっき鋼面の塗膜状況（2001年度調査）

この塗膜のはがれの原因は、その状況から下塗りに使用したジンクロメート系の脆化に伴う亜鉛めっき鋼への付着性低下に起因すると推定された。従って、第1回目（1965年）の塗替塗装から、より付着信頼性の高い「鉛酸カルシウムさび止めペイント」を〔補修塗り〕に採用し、第7回目（1996年）の塗替塗装まで使用した。この〔補修塗り〕部の亜鉛めっき鋼面と鉛酸カルシウム系との付着性は、その後の30年間の状況調査でも良好であり、ジンクロメート系の場合のような塗膜のはがれは認められない状況であった。

本来であれば、比較的初期から発生した亜鉛めっき鋼界面で塗膜のはがれの原因となった建設時のジンクロメート系を全面除去して、鉛酸カルシウム系に置き換えるのが最善の策であるが、このジンクロメート系に起因した塗膜のはがれは、経年に伴って徐々に進行しており、塗替塗装毎にジンクロメート系に起因して発生したはがれ部分を、鉛酸カルシウム系にて〔補修塗り〕することにより、残存するジンクロメート系を鉛酸カルシウム系に置き換える手法を採用した。しかし、この手法による〔補修塗り〕作業だけでは全面的に代替することが困難であり、ジンクロメート系が想定以上に残っていた。特に、40年以上経過した第8回塗替（2002年）前の調査では、第7回目までの中塗り及び上塗りの塗り重ねにより700 μ mを超える膜厚となり、ジンクロメート系と亜鉛めっき鋼面との付着性がより低下したと推定される界面からの塗膜のはがれが、今まで以上に散見されるようになり、塗替塗膜の経年に伴う付着性の低下が、より懸念される状況であった（写真2参照）。

写真2 亜鉛めっき鋼面から自然にはがれた塗膜の断面状況（2002年採取）

そのため、過去の実績等も踏まえて、既存塗膜への浸透性が良好で、鉛酸カルシウム系よりも亜鉛めっき鋼面との付着性が期待できる「1液形弱溶剤系変性エポキシ樹脂さび止めペイント」を〔補修塗り〕として、第8回（2002年）の塗替塗装から採用しており、この〔補修塗り〕部の付着性は、現在まで特に問題のない状況である。

②鉄鋼の場合

亜鉛めっき鋼のような塗膜のわれやはがれの発生は認められなかった。また、一部のリベット頭や部材エッジで、打ち傷等に伴う塗膜の損傷による点さび程度の表面さびの発生は認められたものの、全体的には良好な塗膜状態であった（写真3参照）。

写真3 鉄鋼面の塗膜状況（2001年度調査）

鉄鋼面の場合、建設時の下塗り及び第1回（1965年）の塗替塗装の〔補修塗り〕に鉛丹系さび止めを用いていたが、その後の健全な塗膜状況を踏まえて、第2回目（1970年）の塗替塗装から、防錆性が鉛丹系と同等でより乾燥性や作業性の良い「特殊さび止めペイント（防錆ビヒクルタイプ）」を〔補修塗り〕に採用し、第7回目（1996年）の塗替塗装まで使用した。この〔補修塗り〕部は、25年以上経過後も、塗膜のわれ・はがれ等の不具合の発生は、全く認められない状況であった。

なお、亜鉛めっき鋼面の〔補修塗り〕で第8回目（2002年）の塗替塗装から採用した「1液形弱溶剤系変性エポキシ樹脂さび止めペイント」が、鉄鋼面でも適用できることを実績等から確認し、塔体全体の塗装作業で同じ塗料を使用する観点から、鉄鋼面でも〔補修塗り〕として同じ第8回（2002年）の塗替塗装から採用しており、この変性エポキシ樹脂系を使用した〔補修塗り〕部の付着性は、亜鉛めっき鋼面と同様、現在まで特に問題のない状況である。

また、鉄鋼面の塗膜状況として、建設後55年経過した鉄鋼面から採取した塗膜の断面状況を、写真4に示す。

写真4 鉄鋼面の建設時からの塗膜断面状況（2013年採取）

これは、2013年の鉄塔脚部補強工事において、リベットをボルトに交換する際に、リベット近傍から機械的にはがして採取した塗膜であり、建設時の「鉛丹系さび止めペイント」と「フタル酸樹脂系塗料」に、第9回目までの〔中塗り〕〔上塗り〕塗膜が積層されて、合計約1,700 μ mの膜厚で構成されている状況が確認された。これより、建設時に設計仕様に従って適切に素地調整が行われて下塗りとの付着性が確保されていれば、その後の塗替塗装の適用における〔中塗り〕〔上塗り〕の塗り重ねによるふくれ・われ・はがれ等の不具合の発生もなく、今日に至っているものと推定される。

（3）中塗り・上塗り

〔中塗り〕及び〔上塗り〕は、既存塗膜健全部及び補修部の全面に塗装しており、使用塗料はいずれも建設時と同じフタル酸樹脂系塗料を採用している。但し、その後に上市された他の塗装システム（シリコンアルキド樹脂系・塩化ゴム系・ポリウレタン系・アクリ

ルシリコン樹脂系・ふっ素樹脂系等)は、より耐候性や防錆性等の向上を目的としており、これらの新しい塗装システムの東京タワーへの適性を、現地試験塗装 (H25 梁、H23~24 柱、H13 架台等) や実験室試験等によって検討してきた。これらの内、H23~24 柱での試験塗装板による暴露試験状況を写真5に、試験結果を図3に示す。またこれらの試験結果を踏まえた各種塗装システムの東京タワーへの適合性比較を、表3に示す。

写真5 試験塗装板の暴露試験状況

図3 試験塗装板の光沢変化

表3 各種塗装システムの適合性比較

評価項目		塗装塗替システム	フタル酸樹脂系	シリコンアルキド樹脂系	塩化ゴム系	ポリウレタン系	シリコン樹脂系	ふっ素樹脂系
既存塗膜(フタル酸樹脂系)との適合性	活膜部	◎	◎	○	△	△	△	△
	付着性低下部	○	○	○～△	×	×	×	×
素地との付着性	亜鉛めっき鋼	△	△	○	◎	◎	◎	◎
	鉄鋼	△	△	○	◎	◎	◎	◎
施工性	高所	◎	◎	○～△	△	△	△	△
	一般	◎	◎	○	○～△	○～△	○～△	○～△
耐候性		△	△	○～△	○	◎～○	◎	◎
耐水性		△	○～△	○	◎	◎	◎	◎
周辺への飛散		△	○～△	○	○	○	○	○
実績(鋼構造物)		◎	△～×	○	○	△～×	△	△
コスト		◎	○	○～△	△	△～×	×	×

評価：優◎>○>△>×劣

シリコンアルキド樹脂系や塩化ゴム系の耐候性は、現行のフタル酸樹脂系と大差ない結果であり、またポリウレタン系やふっ素樹脂系等は、耐候性や素地との付着性に優れるものの、既存塗膜との適合性、2液形であることによる施工性等が劣る結果であった。

従って、既存塗膜との適合性、施工性、過去の実績等を考慮して、現行のフタル酸樹脂系塗料が良いと判断して今日まで採用してきた。但し、適用するフタル酸樹脂系塗料は、既存塗膜の上に直接塗り重ねる面積が多いため、下地となる既存塗膜の劣化状況に応じた付着性、施工性、飛散性等に配慮した塗装設計となっている。

(4) 塗替塗装作業

実際の塗替塗装作業の内、[下地調整]及び[補修塗り]の状況を写真6に示す。

塗替塗装作業は、まず丸太足場や部材の上で[下地調整]を行い、次いで地上で希釈した塗料を必要量だけ持って[補修塗り]を行い、追っかけて全面に[中塗り]と[上塗り]を刷毛で塗り重ねている。また工事は、塔頂から大展望台までの塗装作業を先行し、次いで大展望台から地上までの塗装を実施している。なお、作業時間は、夜間から東京タワーの営業開始時間前までに制限されている。

写真6 塗替塗装作業の状況

5. まとめ

東京タワー建設時における適用塗装システム及びその後の全面塗替塗装による維持保全状況を、まとめて以下に示す。

- ①1958年に竣工した東京タワーの部材は、鉄鋼及び高所での防錆性を考慮した亜鉛めっき鋼で構成されていた。
- ②建設時の塗装は、当時の船舶・橋梁等の大型鋼構造物での施工実績等を考慮してフタル酸樹脂系塗装システムが採用された。
- ③その後の塗装による維持保全は、既存塗膜の状況調査を行いながら適宜現状を把握して、合計9回の全面塗替塗装を実施してきた。
- ④全面塗替塗装の時期は、塗膜劣化の影響が素地金属（鉄鋼・亜鉛めっき鋼）にまで及ばないようにする観点から、汚れ・変色等により塔体全体の美観機能が損なわれ始めた時点を目安としている。
- ⑤塗り重ね塗装システムの採用は、素地金属の防錆上、既存塗膜に塗膜を塗り重ねることにより、腐食因子や腐食促進因子を素地金属から遮断するのが最も効果的であるとの判断による。
- ⑥塗替塗装システムは、既存塗膜の劣化部分のみ[下地調整][補修塗り]を行い、健全部分は塗装下地として活用して[中塗り]及び[上塗り]を全面に塗装している。なお[補修塗り]に使用する塗料は、既存塗膜の劣化状況に応じて選定して施工してきている。

6. おわりに

東京タワーの建設時及び今日までの塗装による維持保全に採用してきたフタル酸樹脂系塗装システムは、鋼構造物の汎用塗装系であるが、55年経過した今日でも健全な状態で機能を保持できているのは、定期的に調査を実施しながら早めに処置をする計画的な維持保全の重要性を実証している。今後も継続して塗装による維持保全を行いながら、長寿命化・環境負荷低減への対応等を検討していく。

最後に、東京タワーの塗装による維持保全に、長年にわたりご協力いただいている日本電波塔(株)、(株)日建設、関西ペイント(株)並びに平岩塗装(株)の関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1)内藤、鶴田他：東京タワー特別記事、建築界 第8号 4刊, pp.1~34, 1959
- 2)大澤、白石他：東京タワー塗装の劣化調査、日本建築学会大会学術講演梗概集A, pp.669~670, 1987
- 3)杉本、大澤他：鋼構造物の塗装システム その2、日本建築学会大会学術講演梗概集A, pp.1129~1130, 1992
- 4)大澤：鋼構造物の維持管理 東京タワー、日本建築学会大会学術講演梗概集A, pp.85~88, 2002
- 5)常木、國津、大澤、西野：高度情報化に対応した「東京タワー」の構造体の進化とメンテナンス、JSSC 第71号, pp.7~11, 2009

[2013年9月13日原稿受理 2013年12月11日採用決定]