

平成 30 年 6 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05216

研究課題名(和文) 発展途上国における腐食環境調査と鋼構造施設の維持管理戦略

研究課題名(英文) Corrosion and Deterioration of Construction Materials and Strategic Maintenance of Infrastructures in Developing Countries

研究代表者

杉浦 邦征 (SUGIURA, KUNITOMO)

京都大学・地球環境学堂・教授

研究者番号：70216307

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,440,000円

研究成果の概要(和文)：東南アジア各国では、国内幹線道路や大都市内の道路ネットワークの開発、また港湾施設やそれに付随する橋梁などの開発が急速に進んでおり、その需要は増すばかりである。ただし、東南アジア各国は高温多湿な地域にあり、また、環境対策の無いままに工業化が進み、大気中には多くの硫黄酸化物が排出されている状況にある。したがって、建設材料の中でも、特に鋼材の腐食劣化が進行しやすい環境下であるため、本調査研究では、途上国においてインフラ施設の戦略的維持管理手法を検討するために、建設材料の腐食劣化環境の調査を実施し、それらの調査結果をもとに、その地域におけるインフラ施設の維持管理手法の提案を行うことを目的とした。

研究成果の概要(英文)：Much attention has been paid to the structural integrity evaluation, and rehabilitation/life-extension method of existing aged infrastructures. However it has been observed that the rapid developments in the Southeast Asian Countries are still on-going such as construction of national-wide road network, urban traffic control system in Megacities, port facilities and so on in order to strengthen the country's economy. In such countries, the weather condition such as high humidity and high temperature, as well as pollutions such as sulfur oxide due to the rapid industrialization without taking any environment countermeasures may cause the severe deterioration of construction materials, particularly steels. Therefore, the strategic infrastructure maintenance policy has been discussed among researchers and engineers in the Southeast Asian Countries according to the local environmental observations.

研究分野：複合構造・維持管理工学

キーワード：鋼構造 耐候性鋼材 腐食環境 気象条件 塗膜 防食効果の劣化

1. 研究開始当初の背景

東南アジア各国、中国、インド、アフリカなどでは、国内幹線道路や大都市内の道路ネットワークの開発、また港湾施設やそれに付随する橋梁などの開発が急速に進んでおり、その需要は増すばかりである。ただ、これらの地域はそのほとんどが、図1 [1]に示す高温多湿なモンスーン地域にあり、また、上海、バンコクやムンバイなどの大都市では交通ネットワークの不整備から交通渋滞が蔓延しており、さらには環境対策の無いままに工業化が進み、大気中には多くの硫黄酸化物が排出されている状況にある。したがって、鋼材の腐食しやすい環境下であるため維持管理に手間がかかり、日本に比べ建設工事で鋼材の使用量が少ないのが現状である。

国内では、鋼橋の生産数が減少している中、鋼橋全体の割合に対する耐候性鋼材の使用量が増加しており、それに伴って、耐候性鋼の研究が多くなされており、その腐食メカニズムから適用方法、さらに維持管理方法に関する成果がガイドラインとしてまとめられている[2,3]。耐候性鋼材を鋼橋に適用することで、塗装の塗り替え費がかからないため維持管理費が削減できるというメリットがあり、技術輸出の可能性を検討する必要がある。



図1 アジアにおけるモンスーン地域

本研究代用者は、既に、アジアメガシティにおける普通鋼材および耐候性鋼材の腐食調査を行い、それらの適用性について検討してきた。また、文献[4]の中で、日本国内で耐候性鋼材を使用した鋼橋の腐食実態調査を実施しており、そのデータをもとに耐候性鋼を使用した橋梁の維持管理に必要な情報を併せて海外へ展開することを考えている。

2. 研究の目的

大気中における鋼材の腐食は、水分、飛来塩分および工場や自動車から排出される硫黄酸化物などが主な原因であるため、特に、高温多湿で海岸に近い大都市で使用される鋼構造物(橋梁や港湾施設など)は腐食しやすい環境下にある。一方で、それらの防食方法として、現在までは主に重防食塗装などがされているが、維持管理費を抑えるために、最近では高耐食性を有するニッケル系耐候性鋼も開発され、実構造物への適用もされている。本研究では、経済発展が著しく土木鋼構造物の建設が急増している東アジア、東南ア

ジア、南アジアおよび東アフリカ地域の発展途上国が高温多湿なモンスーン地域に位置することから、これらの地域での鋼材表面の濡れ時間や飛来塩分量などの腐食環境調査および現地曝露による鋼材の腐食減耗量調査、ならびに紫外線や日温度変化による塗膜の長期耐久性評価を行い、鋼構造物の戦略的維持管理法の提案を試みた。

本調査研究期間の3年で、それぞれの都市における鋼材の腐食減耗量および腐食環境を調査し、最終的には、各都市における図2に示すような腐食減耗量を予測できる式を構築し、その予測される腐食減耗量を明らかにすることを旨とした。また、腐食環境調査によって、それぞれの地域における鋼材の腐食の主要因を明らかにし、それぞれの都市における鋼構造物の戦略的維持管理手法の提案を試みた。さらに、耐候性鋼の環境促進試験法を構築し、今後の腐食耐久性に富んだ鋼材開発に役立てようとした。

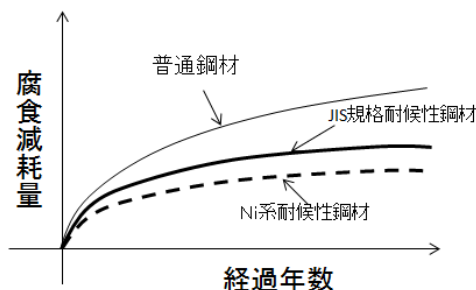


図2 腐食減耗量の予測

今まで、東南アジアなどでも日本の技術による耐候性鋼材を使用した橋梁が建設され始めており、その建設される場所における環境や腐食のデータが個々で取得されてきてはいるが、アジア地域やアフリカ地域全体でのまとめられたデータがなく、それぞれの地域差などの比較はできない状態であった。特に、これから経済発展が期待される東アフリカのデータは皆無に等しいため、この地域でのデータ取得は大変意義があると考えられる。またアジア地域においても、東アジアから東南アジア全域および南アジアにおける広範囲にわたる鋼材の腐食や腐食環境データをまとめて調査した事例はないため、これらの調査を行い、データを蓄積・分析することは、アジア地域における鋼構造物の建設および維持管理に大きく寄与でき、インフラを輸出産業とする我が国の施策の実現を支援できればと考えた。

<参考文献>

- [1] <http://maps.google.co.jp/>
- [2] 日本鋼構造協会: 耐候性鋼橋梁の可能性と新しい技術, JSSC テクニカルレポート, No.73, 日本鋼構造協会, 2006.10.
- [3] 日本鋼構造協会: 耐候性鋼橋梁の適用性評価と防食予防保全, JSSC テクニカルレポート, 日本鋼構造協会, No.86, 2009.9.
- [4] 橋本国太郎, 高田佳彦, 米谷作記子, 杉浦

邦征：阪神高速道路 7 号北神戸線における耐候性鋼橋の防食機能に関する詳細調査の分析，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.68，No.1，pp.124-135，2012.3.

3. 研究の方法

本調査研究では，モンスーン地域における鋼材の腐食環境を調査するために，腐食因子である濡れ時間，塩分および硫酸化合物，ならびに高温多湿地域における塗膜の劣化環境を評価するために，紫外線，日温度変化を計測する．濡れ時間は，温湿度から算出される予測式を用い算定するため実際には温湿度を測定する．また，実際の腐食減耗量を調査するために，小型試験片を用いた曝露試験（以下，ワッペン試験）を現地で実施する．これは，現地の既設構造物に試験片を貼付し，1 年後にその試験片を回収し，その重量計測を行うことで，初年度腐食減耗量を得ることができる．これらの現地調査によって，実際の腐食減耗量およびその腐食要因の特定が可能となる．また，初年度腐食減耗量，濡れ時間，塩分量および硫酸化合物量を用い，日本国内の環境に対して提案された腐食減耗予測式の修正を行い，数十年後の鋼材の腐食減耗量の予測を可能とする．また，昼間の日射ならび昼夜間での繰り返し温度差による塗膜の耐久性を精査し，高温多湿環境での塗り替え戦略を構築する．最終的には，これらのデータを各都市で取得し，各都市における鋼構造物の戦略的維持管理方法の提案を行った．

27 年の初年度は，これまでの現地活動に引き続き，モンスーン気候を代表する地域を新に選定し，現地へ赴き，ワッペン試験片や腐食環境測定用の装置を設置した．

腐食環境調査および腐食減耗量調査を行う対象地域を図 3 に示す．図 3 に示すように，東アジアでは，日本の京都，沖縄および中国の上海，東南アジアでは，タイのバンコク，マレーシアのクアラルンプール，シンガポールおよびインドネシアのジャカルタ，南アジアではインドのムンバイ，そして東アフリカではケニアのモンバサである．

日本で実施する理由は，他国の都市との比較である．また，上海は工業地帯で海岸線沿いであるため，二酸化硫黄および飛来塩分量も多いと予想される．東南アジアは，日本に比べ，湿度が高くまた大都市では人口密度も高く，車両からの排出ガスが多い．シンガポールやジャカルタ，バンコクなどの海岸に近い都市では飛来塩分量も多いと予想される．ムンバイも東南アジアと同様に湿度，人口密度が高く，海岸にも近いため，腐食に厳しい環境であると言える．モンバサは海岸には近いものの，工業化がほとんど進んでいないため，現時点では車両からの排出ガスの影響はほとんどないが，今後の発展でその影響が懸念される．これらの鋼材にとって腐食環境の

厳しい条件の大都市・港湾都市で調査を実施することで，鋼構造物の戦略的維持管理手法の立案に貢献できると考えられる．



図 3 調査地域

ここでは，腐食環境調査は，濡れ時間を予測するための温湿度測定，飛来塩分量測定，二酸化硫黄測定を行った．また，温湿度測定は温湿度ロガーを用い，30 分もしくは 1 時間ごとに計測を実施した．現地管理を共同研究者に依頼おできる場合は，図 4 に示すように，飛来塩分量測定はガーゼ法を用いた．これは外枠（木製もしくはステンレス製）に挟まれているガーゼを大気中に曝露し付着する塩分を測定するもので，測定間隔は 1 ヶ月とし，12 ヶ月間測定した．なお，ガーゼ法では，垂直曝露と水平曝露の 2 通りがあるが，本研究では，基本的に垂直曝露で測定を実施した．また，図 5 に示すように，二酸化硫黄測定は，二酸化鉛が塗布されているガーゼをプラスチック円筒に付着させ，それを大気中に曝露することで，測定を行った．測定間隔は飛来塩分量測定と同様に 1 ヶ月とし，12 ヶ月間測定した（現地協力者に応じて，最大 3 年間の計測を行った）．さらに，風向風速計・日射計を購入・設置し，腐食環境の評価に不可欠な気象因子も別途計測した

一方，鋼材の腐食減耗量調査には，ワッペン試験法によって行った．ワッペン試験とは，図-6 に示すような 50mm×50mm×t2mm の鋼板を両面テープなどで既設の構造物に貼付し表面を曝露する．曝露する期間は，特に定まった規定はないが，通常，腐食減耗予測式で必要な初年度腐食量を得るために，1 年間の曝露を実施するのが一般的である．ただし，継続的に腐食状態を把握するために，1 年，3 年，5 年など期間を定めて実施するが，本調査研究では，研究期間が 3 年間であるため，最低 1 年間の曝露試験結果に基づき，腐食環境の評価を行った．また，150mm×75mm の長方形の試験片を用意し，雨がかりがある状態での曝露試験，塗装鋼板を用いて，塗膜の光沢度，硬度も併せて継続的に計測した．ただし，ワッペン試験・塗膜の耐久性試験は，継続的に実施（3 年，5 年）することで，腐食減耗予測式の妥当性の判断や，実際の腐食減耗量データの蓄積を行うこととした．なお，これらの調査のための試験片や測定装置の設置場所に関しては，現地の大学や研究機関に協力を要請しており，現地の橋梁もしくは建築物への貼付を行った．



図4 ガーゼ法



図5 二酸化鉛円筒

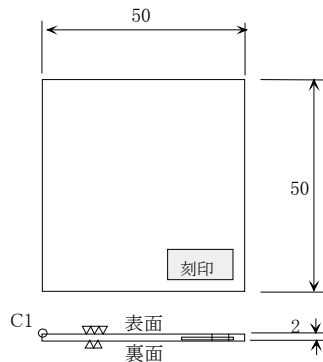


図6 ワッペン試験片 (unit:mm)

4. 研究成果

曝露地点は、アジア地域の中でも、高温多湿もしくは、大気中の飛来塩分や二酸化硫黄が多く、鋼材の腐食環境に厳しいと考えられる地点を選定した。選定した地域を表1に示す。表1中には、各都市の年平均気温、相対湿度、年間降水量、都市人口および人口密度などの基本データを示した。東南アジアやインドは、日本に比べ、高温多湿な地域であり、また、大都市であるムンバイ、ジャカルタ、上海では、人口が多く、また人口密度も高く、自動車の交通量が多いため、大気中の二酸化硫黄濃度が多いと考えられる。人口密度という点から見ると、都市面積が小さいシンガポールでも高いことがわかる。シンガポールでは、シンガポール国立大学の敷地内の鋼製建築物の1地点を選定した。中国の上海では、上海市内のコンクリート道路橋である逸仙高架橋および中環路、また、環保広場内の鋼歩道橋の3地点を選定した。タイのバンコクでは、チュラロンコン大学の敷地内の鋼製建築物の1地点、チョンブリでは、海岸沿いのコンクリート道路橋の1地点を選定した。マレーシアのクアラルンプールでは、CREAM (Construction Research Institute of Malaysia) の敷地内を通過しているコンクリート道路橋の1地点を選定した。インドネシ

アのジャカルタは、BPPTの敷地内の鋼歩道橋の1地点を選定した。インドのムンバイでは、Sir J.J. Collegeの敷地内にある木造建築物の1地点を選定した。さらに、ケニアのモンバサでは、モンバサ港の拡張工事現場内の敷地の1地点を選定した。日本の京都では、京都大学桂キャンパス内を選定した。京大内では、コンクリート構造物と鋼構造物にワッペン試験片を貼付したときに、腐食量に違いが生じるかどうかを確認するため、ほぼ同一地点に鋼板とコンクリート床版で作成した曝露架台を設置し、それぞれでワッペン試験を実施している。2014年からは、ミャンマーのヤンゴンおよびマンダレーで曝露試験を開始したが、曝露位置は、それぞれ、大学校舎内の軒下1地点を選定した。なお、各測定地点における環境測定項目をまとめて、表2に示す。また、ワッペン試験片の貼り付け状況、塗装鋼板の曝露試験、ならびに気象観測の状況をそれぞれ図7、図8および図9に一例として示す。なお、各測定地点における環境測定項目をまとめて、表2に示す。また、ワッペン試験片の貼り付け状況、塗装鋼板の曝露試験、ならびに気象観測の状況をそれぞれ図7、図8および図9に一例として示す。

表1 ワッペン試験片の曝露詳細位置

国名	都市名	設置位置	緯度	経度	詳細位置	住所
シンガポール	シンガポールシティ	シンガポール国立大学敷地内	1	1.2968	103.7748	15 Kent Ridge Rd, Singapore, National University of Singapore
中国	上海	逸仙高架橋	10	31.2985	121.4877	Near "Yi Xian Lu, Hong Kou Ou, Shanghai, China"
		中環路	9	31.2949	121.5482	Near "1018, Jian Gong Lu, Yang Pu Ou, Shanghai, China"
		環保広場	10	31.2930	121.5352	Near "445, Jie Ma Si Lu, Yang Pu Ou, Shanghai, China"
タイ	チョンブリ	バンナチョンブリ高速道路	0	13.502649	100.990382	Near "Bang Pakong, Chachoengsao, 24190, Thailand"
	バンコク	チュラロンコン大学敷地内	22	13.738468	100.531747	Patum Wan, Bangkok, 10330, Thailand
マレーシア	クアラルンプール	CREAM(マレーシア建設研究所)敷地内	42	3.128261	101.717681	IRS Center, 1st Floor, Block E, Lot8, Jalan Chan Sow Lin, Kuala Lumpur, 52000, Malaysia
日本	京都	京都大学桂キャンパス敷地内	41	34.979448	135.691925	Kyoto Daigaku, Kyoto 615-8540, Japan
インド	ムンバイ	Sir. J. J. College 敷地内	1	18.943523	72.833929	718 9 D.N. Road, Fort, Mumbai-400 001, India
インドネシア	ジャカルタ	BPPT大学敷地内	6	-6.179468	106.824272	Jl Mh. Thamrin 8 Jakarta Pusat 10340, Indonesia
ケニア	モンバサ	モンバサ港東岸建設現場敷地内	0	-4.041501	39.617343	Near "Off Port-Reitz Road, Changanwe, Mombasa, Kenya"
ミャンマー	ヤンゴン	ヤンゴン工科大学敷地内	50	16.87556	96.117024	Yongon Technological University, Dagonwe, Insein Township, Yangon
	マンダレー	マンダレー工科大学敷地内	340	21.971335	96.191166	Mandalay Technological University, Patheingyi, Mandalay

表2 各地点における環境測定項目一覧

国名	都市名	設置位置	環境測定			設置時期
			飛来塩分	二酸化硫黄	相対湿度	
シンガポール	シンガポールシティ	シンガポール国立大学敷地内	×	×	○	2012.3.29
中国	上海	逸仙高架橋	×	×	×	-
		中環路	×	×	×	-
		環保広場	○	○	○	2011.8.29
タイ	チョンブリ	バンナチョンブリ高速道路	○	×	○	2013.3.4
	バンコク	チュラロンコン大学敷地内	○	×	○	2012.3.6・3.10 2013.3.4・3.10(飛来塩分)
マレーシア	クアラルンプール	CREAM(マレーシア建設研究所)敷地内	×	×	○	2012.2.21
日本	京都	京都大学桂キャンパス敷地内	×	×	○	2011.7.29
インド	ムンバイ	Sir. J. J. College 敷地内	○	○	○	2011.12.19
インドネシア	ジャカルタ	BPPT大学敷地内	○	○	○	2012.12.24
ケニア	モンバサ	モンバサ港東岸建設現場敷地内	○	×	○	2012.8.9
ミャンマー	ヤンゴン	ヤンゴン工科大学敷地内	○	○	○	2014.3.18
	マンダレー	マンダレー工科大学敷地内	○	○	○	2014.3.20

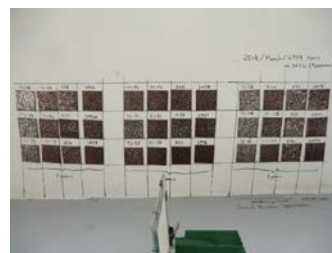


図7 ワッペン試験片の設置状況例



図 8 塗装鋼板の暴露試験状況



図 9 気象観測ステーションの外観

暴露開始から3回目（1年、3年および5年暴露）の回収が終了している上海の3箇所、タイのチョンブリ、シンガポール、クアラルンプール、バンコク、京都、ムンバイ、ジャカルタおよびモンバサの結果として、腐食量の推移を図10および図11に示す。なお、京都、バンコクおよびクアラルンプールでは、1年目の結果が測定ミスにより大きな値を示していたため、1年目のみの暴露試験を実施し、その結果を用いた腐食量の推移曲線を示している。これらの腐食推移から、鋼材の種類によって、腐食減耗量に違いがあり、SM>SMAという順であり、耐候性鋼材の効果があることがわかる。海岸からの距離、平均温度・湿度には、それほど強い相関はなく、海岸からの風ならびにその風速など、詳細な気象条件を確認していく必要がある。

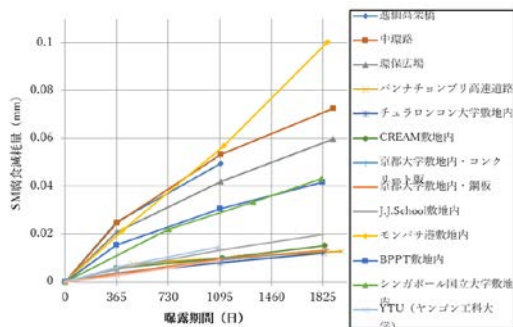


図 10 ワッペン試験結果 (SM 鋼材)

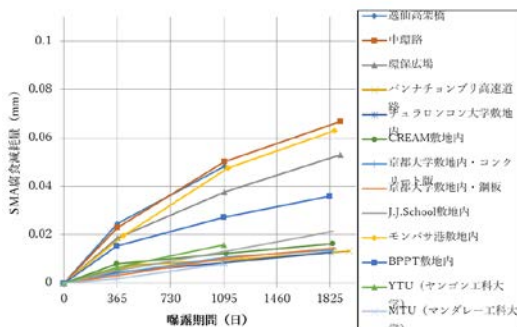


図 11 ワッペン試験結果 (SMA 鋼材)

以上、ワッペン試験結果をまとめると次のようになる。

- 1) 鋼材の種類によって、腐食量に違いがあり、SM(普通構造用鋼材)>SMA(耐候性鋼材)という順であった。ただし、SMとSMAに関しては、腐食量の小さいところではほとんど差がでない場合や、SMAの腐食量が大きくなる場合もある。
- 2) これまでの成果を比較すると、東南アジアの国々に比べ、上海における腐食量が最も大きいことがわかった。腐食量の大きさを都市別に比較すると、鋼材による差はあるものの、腐食量が比較的大きい地域として上海>モンバサ港>シンガポール、ジャカルタとなり、腐食量が比較的小さい地域としてムンバイ>クアラルンプール>チョンブリ、バンコク、京都、ヤンゴン、マンダレーとなる。
- 3) 今後は、各曝露地点におけるワッペン試験片の回収を随時進め、将来予測の精度向上に努める予定である。また、マクロ的な腐食環境、ミクロ的な腐食環境などの影響を分析し、各都市において腐食量に差がでた原因を検討し、腐食促進試験などを通して、腐食環境因子を特定し、汎用的な予測式の構築を試みる予定である。

例えば、ミヤンマー・ヤンゴンにおける腐食環境を気象観測、ならびに雨がかりがある曝露試験結果を照らし合わせても、高温・高湿度にかかわらず、年間の腐食量は、0.003mm程度であり、日本国内の基準であれば耐候性鋼材の適用が可能な範囲であるとともに、ISO9223に基づく、C3程度であり、マイルドな腐食環境に分類できることが分かった。一例として、本調査における評価結果を表3ならびに表4に示す。

表 3 ミヤンマーの代表都市の ISO 腐食環境

Site	SO ₂		CL ¹		TOW		Corrosivity Class	
	Deposition (mg/m ² /d)	Rate	Deposition (mg/m ² /d)	Rate	Class	Hours per Year	Class	Steel
Yangon	1.242		P ₀	2.196	S ₀	4002	t ₄	C ₁
Mandalay	1.167		P ₀	1.43	S ₀	1172	t ₃	C ₂ -C ₃

表 4 ミヤンマーの代表都市での腐食速度

Site	Corrosion Rate, g/m ² /year	
	(Thickness losses, mm)	
	SM	SMA
Yangon	25.68 (0.0033)	27.58 (0.0035)
Mandalay	10.50 (0.0013)	8.26 (0.0011)

また、強い紫外線が予想される東南アジアでの塗膜の劣化性状は、空气中に浮遊する微粒子が多い環境では、塗膜上に堆積することで、塗膜の保護効果があり、劣化はそれほど進行

しない状況も観測された（マレーシア・クアラ Lumpur など）。一方で、塗膜上での堆積物も雨によって流されるものの、厳しい日射・紫外線環境では、劣化が生じやすいことも確認できた（ミャンマー・ヤンゴンなど）。一例として、図 12 に、Alkyd 塗料（一般的な塗料）の光沢の劣化度を、国内での実測結果と比較したものを参考までに示す。つくばに比べて、沖縄と同様にミャンマーのヤンゴン・マンダレーの塗膜の劣化が厳しいことが分かる。また、このような日射・紫外線環境では、鋼板の防食機能として塗膜の健全度を維持するために、エポキシ樹脂系、フッ素系の塗料を用いた防食工を設計する必要があることが分かる。今後は、塗膜厚の減肉量の経時変化、塗膜の防食性能の低下などを長期にわたって、継続観測していく予定である。また、環境促進試験により、多様な気象条件も考慮した塗膜の劣化評価式の構築を進めて行く予定である。

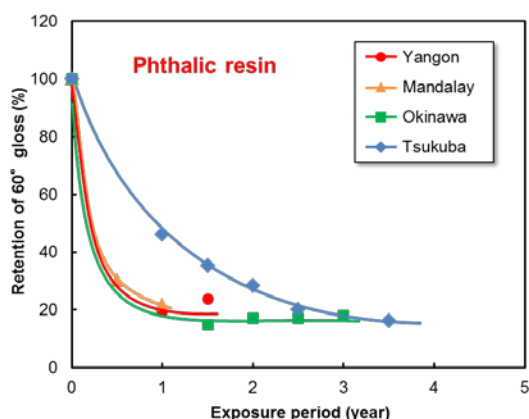


図 12 60° 光沢の変動例（ウレタン樹脂）

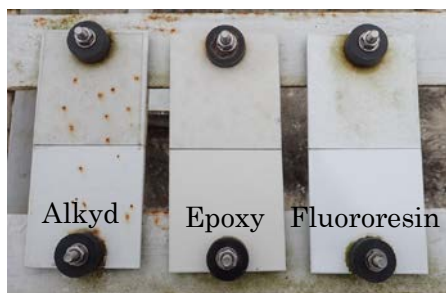


図 13 塗膜の劣化状況（外観）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 1 件）

(1) Yu Yu Kyi Win, Thinzar Khaing, Zaw Min Htun, Yasuo Suzuki, Kunitaro Hashimoto, Kunitomo Sugiura: Comparative Study on Atmospheric Corrosivity of Under Shelter Exposure in Yangon and Mandalay (Myanmar), American Scientific Research Journal of Engineering, Technology and Sciences, Vol.27, pp.386-404, 2017(査読有)

〔学会発表〕（計 2 件）

(2) Itaru NISHIZAKI: Durability of Protective Paint Systems on Steel Plates through the Exposure Tests in Various Environments, Proc. of The 8th International Conference on Science and Engineering, Yangon, Myanmar, 2017.12.

(3) Kunitomo Sugiura, Itaru Nishizaki, Masatsugu Murase, Thinzar Khaing, Zaw Min Htun, Hiromichi Shirato, Tomomi Yagi, Masahide Matsumura, Yasuo Suzuki, Tomonori Tomiyama, Kunitaro Hashimoto and Shinmyo Hiroshi: Corrosion Control of Constructional Steels in Asia Megacities, Proc. of The 6th International Conference on Science and Engineering, Yangon, Myanmar, 2015.12.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕

研究室 HP にて研究概要の紹介

<http://strmech.kuciv.kyoto-u.ac.jp/temp/1.home.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉浦 邦征 (SUGIURA, Kunitomo)

京都大学・地球環境学堂・教授

研究者番号：70216307

(2) 研究分担者

北原 武嗣 (KITAHARA, Takeshi)

関東学院大学・理工学部・教授

研究者番号：00331992

八木 知己 (YAGI, Tomomi)

京都大学・工学研究科・教授

研究者番号：30293905

橋本 国太郎 (HASHIMOTO, Kunitaro)

神戸大学・工学研究科・准教授

研究者番号：40467452

鈴木 康夫 (SUZUKI, Yasuo)

京都大学・工学研究科・助教

研究者番号：50431698

西崎 到 (NISHIZAKI, Itaru)

土木研究所・上席研究員

研究者番号：80355792

(3) 研究協力者

無し