

6. 大気マイクロ環境が鋼材の腐食挙動に及ぼす影響評価に関する研究

後藤 淳

1. 目的

近年，高度経済成長時に建設された莫大な数の鋼橋の老朽化が問題になっている．老朽化は腐食や疲労による経年劣化に起因する．鋼橋を健全な状態で供用し，その維持管理費を縮減するためには，経時的な腐食劣化を把握し，従来の過不及な維持管理を抜本的に見直す必要がある．しかし，構造物が様々な腐食環境に曝されることや，腐食特性が複雑であることなどから，腐食劣化の高精度な評価・予測は困難とされてきた．今後，従来の維持管理を実施していくと，莫大な維持管理費が必要になる．そこで，鋼橋の経年劣化損傷のメカニズムを解明し，評価・予測する必要がある．実構造物における各部材・部位の腐食環境は，温度，湿度，および塩化物の付着量などの様々な要因により影響を受ける．そのため，鋼材の腐食挙動は各部材・部位で大きく異なる．しかし，これまで，腐食環境と部材の経時的な腐食挙動の相関性に関する基礎的な検討が十分になされていない．そこで，本研究では様々な腐食環境における鋼材の腐食挙動を精度良く評価・予測するための基礎的検討を行う．そのために，様々な大気マイクロ環境下における鋼材の大気暴露試験と空間統計学的手法を用いた解析を行い，大気マイクロ環境が鋼材の腐食挙動に及ぼす影響を評価した．

2. 内容

2.1 大気暴露試験 試験体の形状・寸法を図-1(a)に示す．試験体にはグリットブラスト(Sa2.5)した無塗装の普通鋼板および耐候性鋼板を用いた．また，暴露試験状況を図-2に示す．大気暴露試験では異なる腐食環境を模擬するために，試験体を水平面に対して0,45,および90度の3種類の角度となるように，暴露台を南向きに設置した．なお，暴露場は海岸線から約3kmに位置する琉球大学構内(Lat. 26°15'N, Long. 127°46'E)とした．暴露期間は6ヶ月および1年とし，普通鋼無塗装試験体24体および耐候性鋼無塗装試験体20体の試験を行った．

試験終了後の試験体を表-1に示す．鋼材表面に形成されたさびの性状は，鋼種や暴露角度により異なっている．どの暴露角度においても対地面のさびは対空面と比較してさび粒子の大きさのばらつきが大きく，その分布は一様ではない．また，対空面，対地面それぞれについても，各暴露角度においてさび粒子の大きさおよび分布状況等が異なる．これは，雨水や結露水の滞水時間，付着塩分量やその経時性が異なるためであると考えられる．

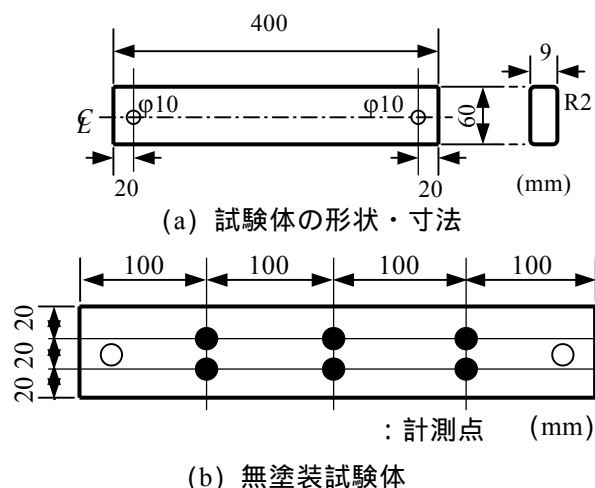

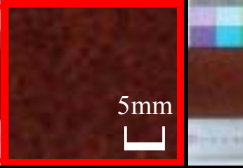

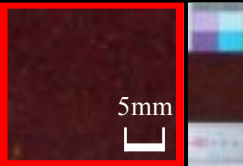




図-1 試験体の形状・寸法および計測位置



図-2 暴露試験状況

表-1 さび性状(普通鋼無塗装試験体, 暴露期間1年)

暴露期間	試験体	暴露角度 (°)	対空面	対地面
1年	普通鋼	0		
		45		
		90		

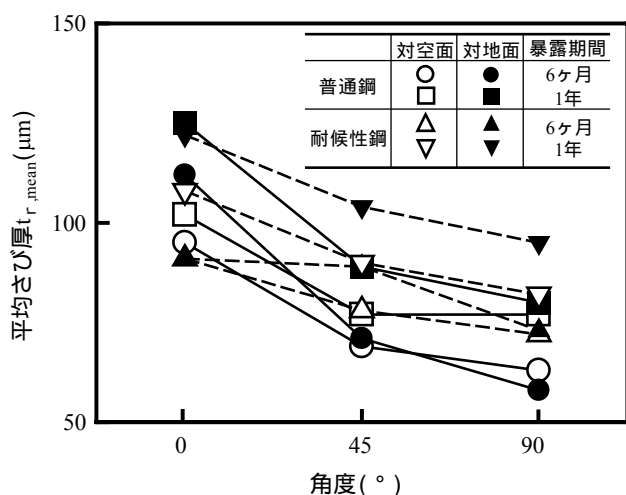


図-3 さび厚の平均値の比較

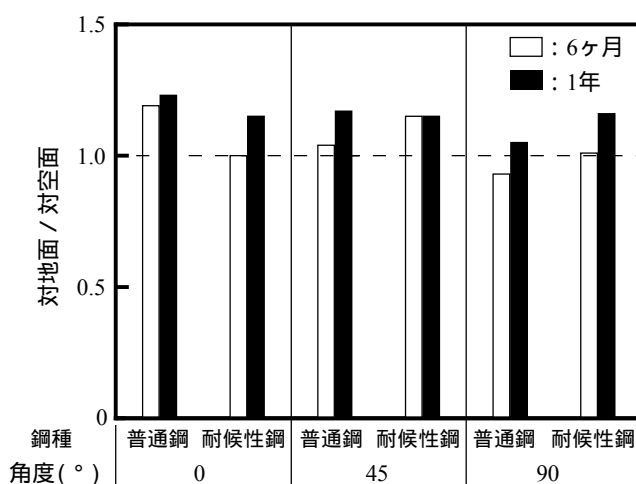


図-4 対空面に対する対地面のさび厚の比

試験終了後の試験体の表裏面を対象として、図-1(b)に示す6点について電磁式膜厚計(SM-1000, 分解能 1μm)を用いたさび厚測定を実施した。さび厚の測定結果を図-3に示す。鋼種によらず、暴露期間6ヶ月に比べて1年の試験体では、さび厚が増加している。普通鋼の対空面については、暴露角度45度および90度に比べて0度が6ヶ月で30μm, 1年で25μm大きい。一方、暴露角度90度のさび厚は、45度に比べて6ヶ月で5μm, 1年で0μm小さくなっており、大きな差異は見られない。普通鋼の対地面については、90度に比べて45度および0度は6ヶ月で22%および93%, 1年で11%および56%であり、暴露角度が小さくなるに伴い大きくなっている。この傾向は、暴露角度が小さいほど、飛来塩や雨水が停留しやすいことが原因と考えられる。

耐候性鋼については、90度に比べて45度が6~16μm大きく、0度が18~27μm大きくなっている。普通鋼に比べて暴露角度間の差が小さいものの、対空面および対地面ともに暴露角度が小さくなるに伴いさび厚は大きくなっている。ただし、耐候性鋼の対地面については、6ヶ月では0度で91μmおよび45度で89μmであり、両者に顕著な差はなかった。これは耐候性鋼が早い段階で保護性さびが形成され、その影響で腐食の進行が遅延されるためと考えられる。

また、対地面に対する対空面のさび厚の比を図-4に示す。対空面に対する対地面のさび厚の比は、90

度, 45 度および 0 度について, 普通鋼の 6 ヶ月でそれぞれ-7%, 4%, および 19%, 1 年で 5%, 17%, および 23%大きくなっている。また, 耐候性鋼では 6 ヶ月でそれぞれ 1, 15 および 0.5%, 1 年で 16%, 15% および 15%大きい。鋼種によらず, 対空面と比較して対地面が同程度または若干大きくなっている。

さらに, 0 度において, 暴露期間が 6 ヶ月の両面および 1 年の対地面では, 普通鋼に対して耐候性鋼は 2~18%さび厚が小さく, 1 年の対空面については 6%大きくなっている。一方, これ以外の面については, 14~26%程度大きくなっている。0 度については, 普通鋼と耐候性鋼に大きな差異はないが, 45 度と 90 度については, 普通鋼に比べて耐候性鋼が厚くなっている。

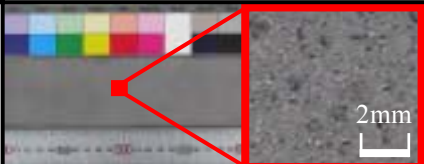



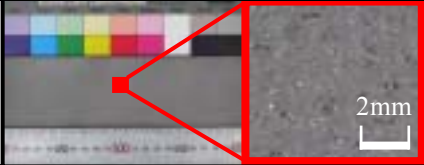

2.2 腐食表面性状の空間統計量

さび厚計測後, サンドブラストを用いて試験体のさびを除去した。さび除去後の試験体の腐食表面性状を表-2 に示す。鋼材表面が腐食により溶出し, 凹凸が形成されている。この凹凸形状についてもさび性状と同じく, 各腐食環境において大きく異なる。暴露角度 0 度においては他の試験体に比べて大きく深い腐食孔を形成している。また, 暴露角度 0 度の対地面では対空面に比べて腐食孔がさらに大きい。一方, 暴露角度 45 および 90 度の試験体については, その違いを外観から明確には判断できない。

さび除去後の普通鋼無塗装試験体についてレーザー変位計(スポット径: 30 μm , 分解能: 0.05 μm)を用いて腐食表面性状を計測した。計測結果に対して空間統計学的手法であるバリオグラム解析を実施することで空間統計量を抽出した。図-5 にバリオグラム解析結果の例を示す。材端部からの腐食の影響等を考慮し, この空間統計量はうちレンジは影響範囲, シルは凹凸の程度といった腐食特性を表す。なお, 材端部からの腐食の影響等を考慮し, 図-6 に示す範囲をバリオグラム解析の対象範囲とした。

解析から得られた空間統計量を図-6 に示す。レンジの平均値は暴露角度 0, 45, および 90 度の対空面においてそれぞれ 0.937, 0.671, および 0.708mm, 対地面においてそれぞれ 1.32, 0.762, および 0.716mm であった。対空面については 0 度において最大となり, 45 度に対して 0.266mm(39.6%)大きかった。一方, 90 度では 45 度に対して 0.037mm(5.5%)大きかった。標準偏差が 45 および 90 度でそれぞれ 0.072mm および 0.019mm であるため, ほぼばらつきの範囲内で同程度であると考えられる。対地面についても対空面と同傾向となった。0 度において最大となり, 45 度に対して 0.566mm(74.2%)大きかった。また, 90 度において 45 度に対して 0.046mm(6.1%)小さかった。標準偏差が 45 および 90 度でそれぞれ 0.041mm および 0.042mm であるため, ほぼばらつきの範囲内で同程度であると考えられる。前述のようにレンジ

表-2 腐食表面性状(普通鋼無塗装試験体, 暴露期間 1 年)

暴露期間	試験体	暴露角度(°)	対空面	対地面
1 年	普通鋼	0		
		45		
		90		

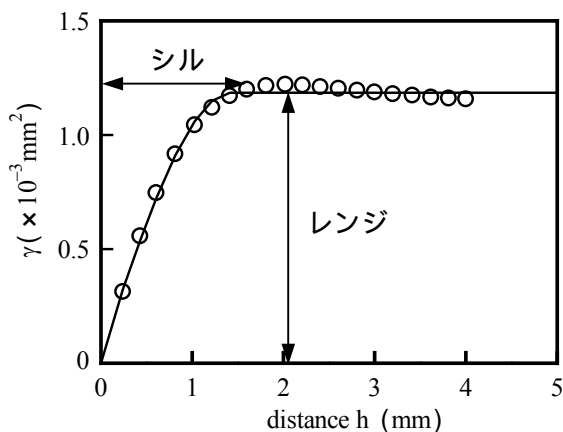
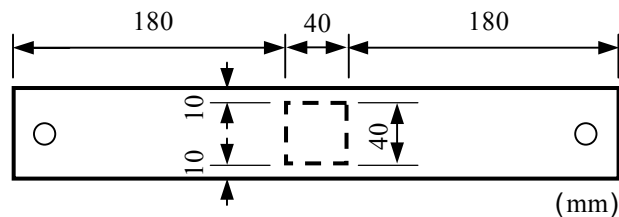
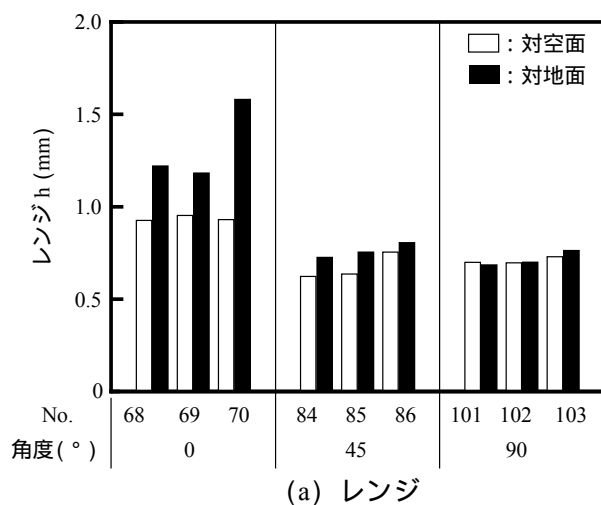


図-5 バリオグラム解析(暴露角度 0 度, 対地面)

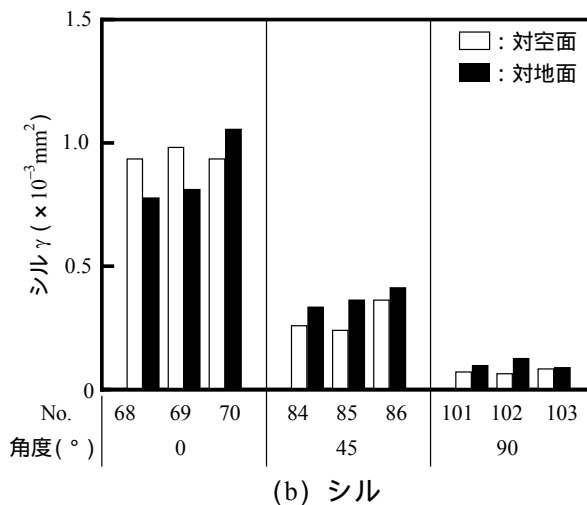


四角枠内：空間統計解析対象範囲
材端からの腐食の影響を除外

図-6 空間統計解析対象範囲



(a) レンジ



(b) シル

図-7 腐食表面性状の空間統計量

は腐食の影響範囲を示すため、腐食の影響範囲は暴露角度のみに依存するのではなく、暴露角度が変化することによるミクロ腐食環境の変化に依存するものと考えられる。

シルの平均値は暴露角度 0, 45, および 90 度の対空面においてそれぞれ 9.51×10^{-4} , 2.88×10^{-4} , および $7.29 \times 10^{-5} \text{mm}^2$, 対地面においてそれぞれ 8.81×10^{-4} , 3.70×10^{-4} , および $1.04 \times 10^{-4} \text{mm}^2$ であった。シルは暴露角度が水平に対して小さくなるに伴い大きくなっている。対空面および対地面において 45 度に対して 0 度ではそれぞれ 6.63×10^{-4} (230%) および 5.11×10^{-4} (138%) 大きく、90 度では 2.15×10^{-4} (74.7%) および 2.66×10^{-4} (72.0%) 小さかった。これはさび厚の傾向と同様である。これは、前述のようにシルが腐食の凹凸の程度を表すためであり、これらは暴露角度に大きな影響を受けると考えられる。

3. 結論

- 1) 鋼種 (普通鋼, 耐候性鋼) によらず, 暴露角度が水平に対して小さくなるに伴いさび厚は増加傾向にある。
- 2) 普通鋼では, 暴露角度 45 度に対する 0 度および 90 度のさび厚の比は, 暴露期間が長くなるに伴い減少する傾向にある。
- 3) 耐候性鋼については, 暴露角度 45 度に対するさび厚の比は 0 度において増加する傾向あり, 90 度では減少する傾向にある。
- 4) 大気暴露期間によらず, 暴露角度が水平の場合, 普通鋼と耐候性鋼のさび厚は, 同程度になる。水平に対して, 45 度および 90 度の場合には, 普通鋼に比べて耐候性鋼のさび厚が厚くなる。
- 5) 普通鋼の腐食表面性状において, 腐食の影響範囲は暴露角度 0 度において最大となり, 45 度と 90 度において同程度であった。この傾向は, 普通鋼の対空面のさび厚と同傾向であった。腐食した鋼材表面の凹凸の程度は, 暴露角度が水平に対して小さくなるに伴い増加する傾向にある。また, 普通鋼の対空面のさび厚と同様の傾向であった。