

防食塗装欠陥部を起点とする鋼材の腐食進行予測における深層学習の適用

大阪大学大学院工学研究科 学生員 ○浜田 文斗
 大阪大学大学院工学研究科 蔣 鋒
 大阪大学大学院工学研究科 正会員 廣畑 幹人

1. はじめに

鋼構造物における劣化の主要因として腐食が挙げられる。腐食の対策となる防食法の中で最も一般的なものが塗装であるが、鋼構造物の建設時あるいは供用中に外的要因によって塗膜に欠陥が発生し、塗膜下の鋼材の腐食が進行する場合がある。鋼構造物の防食を維持管理するうえでは、塗膜欠陥部からの鋼材の腐食進行を適切に予測、評価することが重要である。本研究では、近年、維持管理手法への活用が期待されている深層学習に着目し、塗装欠陥部を起点とする鋼材の腐食進行予測に深層学習の一種である GAN（Generative Adversarial Network：敵対的生成ネットワーク）を適用するための一連の検討を実施した。

2. 欠陥を有する塗装鋼板に対する腐食促進実験

本研究で使用した供試体の概要を図-1 に示す。供試体は 150 mm×70 mm×9 mm の SS400 材であり、防食塗装として A 塗装系（一般環境用）を施したものを 6 体、C 塗装系（重防食塗装）を施したものを 6 体、計 12 体作製した。A 塗装系、C 塗装系のそれぞれ 3 体には幅の異なる直線キズ、他 3 体には直径の異なる円形キズを初期欠陥として導入した。

本研究では、腐食促進実験として人工海水噴霧と乾湿繰返しを基本とする ISO16539-Method B を採用した¹⁾。実験開始前および実験開始後 28 日、84 日、112 日経過時点で供試体表面の画像の撮影とレーザ変位計による表面形状の測定を行った。

紙面の都合上、A 塗装系を施した供試体について、幅 2 mm の直線キズおよび径 6 mm の円形キズ近傍の表面形状の変化のみを図-2 に示す。日数の増加に伴って欠陥周辺の塗膜の隆起が増大し、腐食領域が拡大していく傾向が確認できた。

3. GAN を用いた塗装鋼板の腐食進行予測

GAN とは、用意されたデータを学習し、疑似的なデータを生成することができる深層学習モデルである²⁾。本研究では、供試体の表面形状の測定結果から、GAN を用いて供試体の表面形状の疑似的データを生成した。

GAN のモデルの学習に用いたデータセットを表-1 に示す。ここで、A 塗装系に直線キズを導入した供試体 3 体を A1~A3、円形キズを導入した供試体 3 体を A4~A6、C 塗装系に直線キズを導入した供試体 3 体を C1~C3、円形キズを導入した供試体 3 体を C4~C6 とする。表-1 に示す訓練データとテストデータは、それぞれ、予測モデルを学習させるためのデータと学習後の予測モデルの精度を評価するデータである。

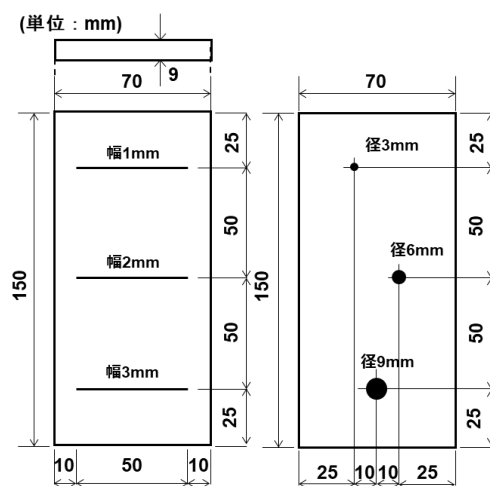
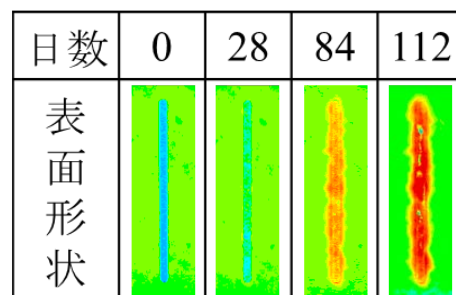
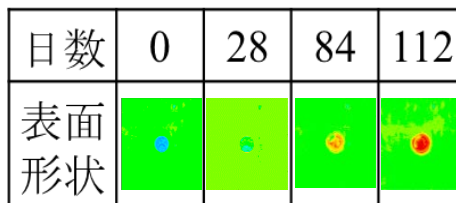


図-1 供試体の概要



(a) 直線キズ、幅 2mm



(b) 円形キズ、径 6mm

図-2 表面形状の経時変化

キーワード ISO16539-Method B, 塗装鋼材, 腐食, 深層学習, GAN, 腐食進行予測

連絡先 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL 06-6879-7598

4. 予測結果

紙面の都合上、A 塗装系を施した供試体について、幅 2 mm の直線キズおよび径 6 mm の円形キズ近傍の 112 日後の表面形状の予測結果のみ図-3 に示す。幅 2 mm の直線キズについては、実測データと予測データを比較すると、概ね供試体表面の欠陥近傍の塗膜の隆起を予測できていると言える。幅 1 mm、幅 3 mm の直線キズについても同様の結果であった。径 6 mm の円形キズについては、実測データには見られないような直線状の変形が予測データの中央部に発生し、予測精度が低かった。径 3 mm、径 9 mm の円形キズについても同様の結果であった。本研究の範囲では、供試体の塗膜の隆起の性質をモデルが学習する上で有用となる部分は、主に欠陥部と塗膜の縁であり、円形キズの円周は直線キズより短かった。モデルの学習効果が、円形キズの方が直線キズより少ないため、両者の予測結果に差が生じたと考えられる。

5. 塗装のふくれによる予測モデルの精度評価

欠陥部でさびが形成されると、欠陥部周辺の塗膜下の鋼材を侵食し、塗膜のふくれが形成される。この機構に基づき、塗膜が実験前に比べて 50 μm 以上隆起した状態を塗膜のふくれとみなし、ふくれが生じた領域の面積をふくれ面積として定義した。ふくれ面積は、塗膜下の腐食の進行を簡便に評価するうえで有用な工学的指標となる³⁾。A 塗装系に直線キズを導入した供試体のふくれ面積の推移を図-4 に示す。112 日後の実験結果と予測結果において、予測結果のふくれ面積を実験結果のふくれ面積で除した比は欠陥幅 1 mm で 0.89、欠陥幅 2 mm で 0.91、欠陥幅 3 mm で 0.88 となり、ふくれ面積において、誤差 10%程度の精度で予測ができていることが確認できた。

6. まとめ

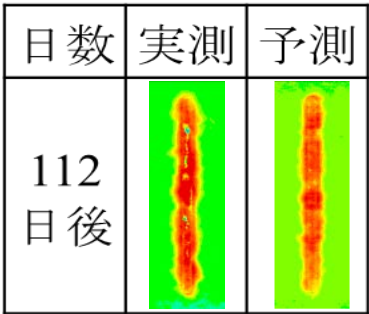
- 1) 塗装鋼板の塗膜欠陥部を起点とする鋼材の腐食進行を予測するため、GAN に基づく予測モデルを作成した。直線キズを施した供試体の方が円形キズを施した供試体よりも欠陥近傍の腐食進行の予測精度が高かった。
- 2) A 塗装系に直線キズを施した供試体について、実験結果と予測結果のふくれ面積を算出した。本検討の範囲では、実験で得られたふくれ面積を予測モデルにより誤差 10%程度の精度で予測できた。

参考文献

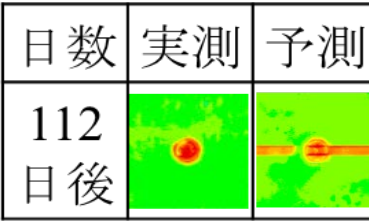
- 1) 国際標準化機構：ISO16539 Corrosion of metals and alloys – Accelerated cyclic corrosion tests with exposure to synthetic ocean water salt-deposition process –“Dry” and “wet” conditions at constant absolute humidity, 2013.
- 2) Jiang Feng, Mikihiro Hirohata：A GAN-Augmented Corrosion Prediction Model for Uncoated Steel Plates. Applied Sciences 12.9: 4706, 2022.
- 3) 伊藤義人, 金仁泰, 貝沼重信, 門田佳久：素地調整が異なる塗装鋼板の腐食劣化に関する基礎的研究, 土木学会論文集, No.776, pp.291-307, 2004.

表-1 データセット

直線キズ	訓練データ	A1, A2, C1, C2
	テストデータ	A3, C3
円形キズ	訓練データ	A4, A5, C4, C5
	テストデータ	A6, C6



(a) 直線キズ, 幅 2mm



(b) 円形キズ, 径 6mm

図-3 予測された表面形状

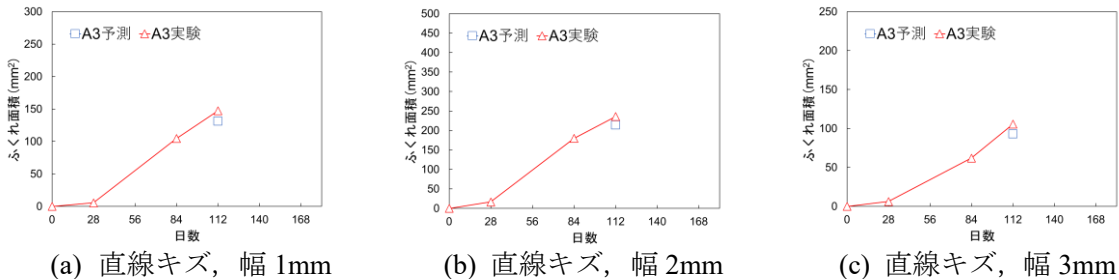


図-4 実験結果と予測結果のふくれ面積