

日本海沿岸地域における裸鋼板の膜厚増加量と気象外乱の非線形回帰分析

福井大学 学生会員 ○伊藤 拓

福井大学 正会員 鈴木 啓悟

1. 研究目的

橋梁の高経年化に伴う構造劣化が顕著となる中、腐食損傷はその主因の一つとして挙げられる。特に日本海沿岸地域においては、飛来塩分の量や、湿潤な気候に伴う水分供給が顕著であり、厳しい腐食環境であるといえる。長期にわたる劣化現象を定量的に把握するためには、腐食応答値の計測と、その原因となる外乱値の両データの評価が重要となる。

本研究は、モニタリング鋼板を利用した腐食応答の評価を長期的に実施し、その応答値に対する気象外乱との関係づけを図る。具体的にはモニタリング鋼板の経時膜厚増分値と風、雨、温度、湿度の気象データを回帰分析により関係づけを行い、気象外乱に基づいた応答値の予測を行う。

2. 計測内容

本研究で対象とする橋梁は福井県沿岸に位置する中央橋（なかばし）と河野大橋（図-1）である。橋梁形式は前者が単純支持 PC 桁橋、後者が単純支持鋼床版箱桁橋である。写真-1 に示すモニタリング鋼板を図-2 の赤丸で示した位置に設置し、腐食層厚を膜厚計で 1 か月に 1 回計測した。腐食層厚は、鋼板上 9 点の数値を平均化した値として用いた。本研究における腐食応答値はモニタリング鋼板の前月計測分

らの膜厚増分値である。外乱である温度・湿度は温湿度計を両橋梁に設置・計測し、雨・風は越廼観測所(図-1)のデータを使用した。計測期間は 2015 年 9 月から 2017 年 1 月である。なお河野大橋山側の鋼板は約 1 年間で鋼板を取換え、2016 年 10 月から腐食応答値とした。

3. 重回帰分析

本研究では外乱値をパラメータとして重回帰分析を行い、膜厚増加量の評価式を算出した。分析に用いる期間を 2015 年 9 月から 2016 年 9 月までの 1 年間とし、それ以降は算出した評価式に外乱データを代入して膜厚増加量の予測値とした。つまり 2016 年 10 月以降の値は外乱値に基づく膜厚増分の予測値を意味している。実測値と予測値が合致するのであれば、膜厚増加量と外乱との関係は過去 1 年と同傾向ということになる。

3-1. 線形回帰分析

まず、式(1)のような線形モデルを用いて一般的な重回帰分析を行った。

$$\Delta Y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + \dots + a_n \quad (1)$$

その結果を図-3 に示す。予測期間において計算値と実測値に大きな差があることが見てとれる。説明変数と評価値の関係には非線形性があることを示唆している。

3-2. 非線形回帰分析

そこで本研究では式(2)のような非線形性をするモデルの検討を行った。パラメータは説明変数に係る係数 a とべき乗 b である。 X に気象外乱値を入力し、 b には -10～10 までの数字をランダムに与え、 X^b の値に合致させるように重回帰分析で a を定めた。その中で計測値との差が最も小さい評価式を採用した。式(2)と式(3)の違いは降雨時に風が同時に作用する相互作用の項の有無であり、

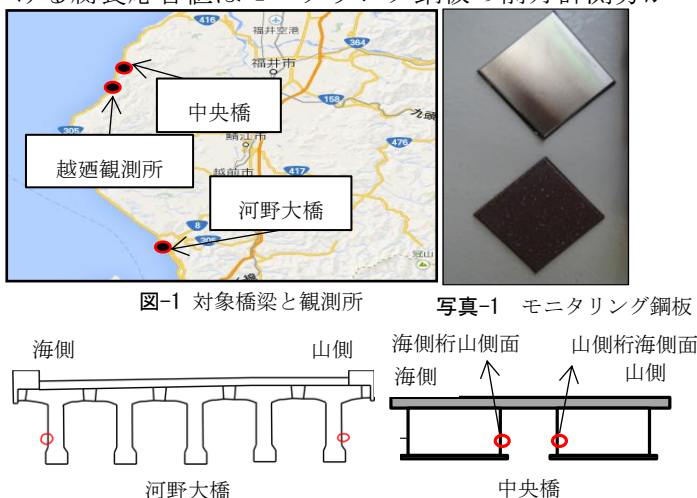


図-1 対象橋梁と観測所

写真-1 モニタリング鋼板

図-2 計測位置

キーワード 重回帰分析, 非線形, 腐食, 膜厚増加量, 腐食生成物, 腐食環境評価,

連絡先 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1 福井大学 TEL 0776-27-8596 FAX 0776-27-8746

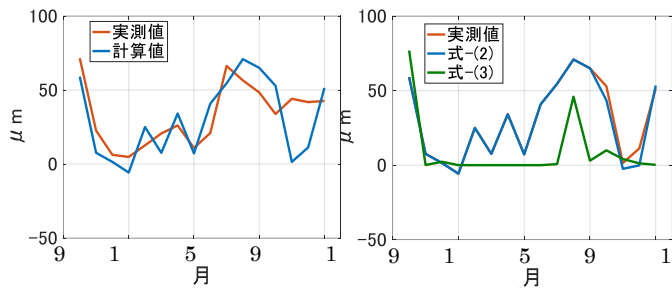
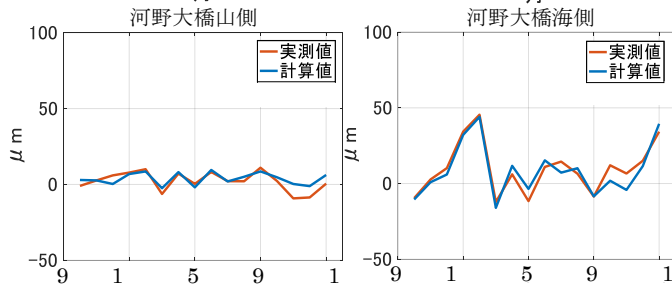
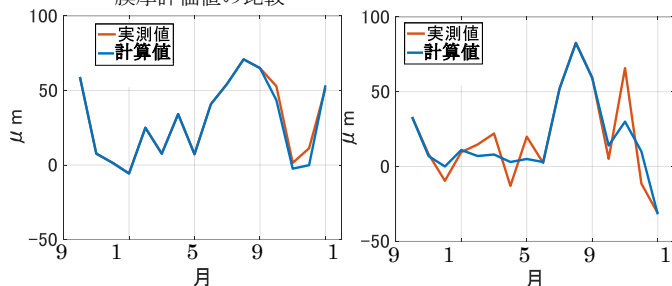


図-3 実測値と線形モデルによる膜厚評価値の比較

図-4 非線形モデル比較



中央橋海側桁山側面

中央橋山側桁海側面

図-5 実測値と非線形モデルによる膜厚評価値の比較

表-1 最大膜厚

河野大橋		中央橋	
海側	山側	山側桁 海側面	海側桁 山側面
370 μm	320 μm	180 μm	65 μm



写真-2 河野大橋海側鋼板

式(3)は相互作用を考慮した式である。

$$\Delta Y = a_1 X_1^{b_1} + a_2 X_2^{b_2} + a_3 X_3^{b_3} + a_4 X_4^{b_4} + \dots + a_n (2)$$

$$\Delta Y = a_1 X_1^{b_1} + a_2 X_2^{b_2} X_3^{b_3} + a_3 X_4^{b_4} + a_4 X_5^{b_5} X_6^{b_6} + \dots + a_n (3)$$

4. 結果

式(2)と式(3)のモデルからそれぞれ回帰分析を行い、誤差が最小となった計算値の結果を実測値と併せて図-4に示す。式(2)の結果のほうが、式(3)のそれと比較して、予測期間を含めて良く一致していることが見てとれる。この結果はすべてのモニタリング鋼板に共通しており、以下は同時作用項を含まない式(2)の結果について議論を進める。式(2)を用いて分析した結果を図-5に示す。河野大橋海側の予測値は他の計測箇所と比較して誤差が大きい。河野大

橋は直接波しぶきを受ける環境下であり、膜厚増分が著しく大きいかつ、雨かかりがあるため、腐食層が剥離、落下した可能性がある。逆に、中央橋海側桁山側面については膜厚値が低いにも関わらず誤差が大きい結果となった。これは表-1に示すように膜厚値の値が小さく、計測誤差の影響が大きく入ったことが原因と考えられる。その他の場所は式(2)を用いた評価式で概ね傾向が捉えられていることがわかる。以上のことから膜厚増加量がある程度の範囲にある場合、評価式の精度が高まるものと思われる。

以上より、膜厚が 180μm から 320μm の間は本研究の手法によって膜厚増分値を気象外乱値から評価できる可能性が示唆された。また膜厚が肥大した場合は新しい試験片を同一の場所に設置すれば外乱との関係は一定のままであり、評価式を使い続けることが出来ることも確認された。

5. 結論

本研究は実橋にて長期間計測したモニタリング鋼板の膜厚増加量を目的変数、気象外乱値として雨、風、温度、湿度を説明変数とした線形および非線形重回帰分析を行い、膜厚増加量の評価式を算出した。以下に得られた知見をまとめる。

1. 錆厚増加量と気象外乱との関係は非線形性がある。
2. 膜厚が 180μm から 320μm の間ならば、気象外乱と膜厚増加量の関係性は概ね変わらず、気象外乱値を入力値とした非線形重回帰式による膜厚増加応答値の評価が可能となる。
3. 膜厚が著しく大きい場合、回帰分析による評価値は誤差が大きくなる。本研究では 320μm を超えた場合に誤差が大きく生じた。逆に膜厚が小さい場合にも誤差が生じやすくなる。本研究の結果では 65μm 程度の場合に誤差が顕著に生じた。

参考文献

- 1) 平尾みなみ, 貝沼重信, 道野正嗣, 今村壮宏: 鋼道路橋の各部位に設置した裸鋼板の腐食生成物層の厚さと平均腐食深さの相関評価, 第 62 回材料と環境討論会, C-103, pp.213-215, 2015.11