

助成番号

2024-4

気象データを用いた構造物の濡れ時間推定に関する基礎的研究

高知工科大学システム工学群准教授 赤塚 慎

1. はじめに

改修や更新の時期を迎えつつある社会資本の維持管理には、個々の社会資本の劣化進行を予測し、状況に応じた補修・補強が必要となる。構造物の維持管理のための大気腐食環境評価においては、気温や相対湿度等の環境条件を適切に評価することが極めて重要である。構造物の大気腐食の影響を評価する指標の一つとして用いられている「濡れ時間」は、一般的に、気温と相対湿度の値から推定されるものであり、ISO9223 では「気温 0℃以上、相対湿度 80%以上の継続時間」と定義されている。濡れ時間を求める方法には、ISO9223 のように気象データから求める方法と、ACM センサや葉濡れセンサにより計測する方法がある、しかし、これら 2 つの方法で求めた濡れ時間には大きな差があること、また ISO9223 は、閾値の設定根拠も不明確で、実際の濡れ時間推定値としては非常に不正確であるという指摘がある¹⁾。従って、改めて気象データから推定される濡れ時間とセンサにより計測される濡れ時間の違いを検討し、従来の気象データを用いた濡れ時間推定手法の精度検証を行う必要がある。

そこで本調査研究は、構造物の大気腐食予測精度向上への貢献を目指し、気象データを用いた高精度で汎用性のある広域濡れ時間推定手法の開発のための基礎的知見を得るため、気温・相対湿度の継続時間から推定される濡れ時間とセンサで計測される濡れ時間の違いを明らかにすることを目的とする。また、濡れ時間推定に用いられる気温および相対湿度の閾値の再検討を行い、さらに、気温・相対湿度以外の気象要素が濡れ時間推定に利用可能かどうかの検討を行う。

なお、本研究は、一般社団法人四国クリエイト協会の「2024 年度建設事業に関する技術開発支援制度」による助成を受けて実施したものである。

2. 研究手法

2.1 各種データの観測

2023 年 11 月より高知県香美市の高知工科大学香美キャンパスにおいて、気温、相対湿度、風向、風速、降水量、PAR(光合成有効放射量)の観測を 10 分間隔で行なっている。さらに、2024 年 6 月から、ACM センサ(植田工業株式会社製大気中金属腐食モニタリングユニット(PG5000))及び葉面濡れセンサ(Onset 社製 S-LWA-M003)による観測を開始し、2025 年 2 月まで継続して観測を行なった。



図 1 濡れ時間観測センサの設置状況

2.2 ACM センサおよび葉面濡れセンサによる観測データを用いた濡れ時間の推定

ACM センサと葉面濡れセンサの観測値から濡れ時間を計算する場合、それぞれの観測値の閾値を設定し、その閾値を超えた継続時間を濡れ時間とするため、閾値の設定手法の検討が必要になる。まず、ACM センサと葉面濡れセンサによる観測値を用いて乾燥状態か濡れ状態かを判定す

るのに最適な閾値の候補をそれぞれ検討する．次に、候補の閾値をそれぞれ用いて、ACM センサの 10 分毎の観測データと葉面濡れセンサの 10 分毎の観測データそれぞれに対して、乾燥状態か濡れ状態かを判定し、二値データ(濡れ状態：1, 乾燥状態：0)を作成する．その後、各閾値を用いて作成した ACM センサの二値データと葉面濡れセンサの二値データの相関係数の計算、さらに混同行列を作成し、一致率および F1 スコアを計算する．本調査研究では、相関係数、一致率、F1 スコアの値が最大となる閾値の組合せを ACM センサと葉面濡れセンサの観測値から濡れ時間を計算する場合の最適な閾値とすることとした．

2.3 ISO9223 の濡れ時間推定手法の精度検証

2.2 で決定する最適な閾値をそれぞれ用いて、ACM センサと葉面濡れセンサの二値データをそれぞれ作成する．次に、独自に観測している気象観測データから ISO9223 の濡れ時間推定手法の閾値(気温 0°C以上, 相対湿度 80.0%以上)を用いて二値データを作成する．その後、ACM センサの二値データと気象観測の二値データ、葉面濡れセンサの二値データと気象観測の二値データの相関係数の計算及び混同行列をそれぞれ作成し、一致率および F1 スコアもそれぞれ計算することで、ISO9223 の濡れ時間推定手法の精度を検証する．

2.4 濡れ時間推定に用いる相対湿度の閾値の再検討

2.4 と同様に、2.2 で決定する最適な閾値をそれぞれ用いて、ACM センサと葉面濡れセンサの二値データをそれぞれ作成する．次に、独自に観測している気象観測データに対して相対湿度の閾値候補を設定し、その閾値を用いて二値データをそれぞれ作成する．その後、ACM センサの二値データと気象観測の二値データ、葉面濡れセンサの二値データと気象観測の二値データの相関係数の計算及び混同行列をそれぞれ作成し、一致率および F1 スコアもそれぞれ計算する．相関係数、一致率、F1 スコアの値が最大となる相対湿度の閾値を濡れ時間推定に用いる相対湿度の最適な閾値とする．

2.5 気温及び相対湿度以外の気象要素の利用可能性の検討

ACM センサと葉面濡れセンサの観測データから計算した濡れ時間と降水量、風速、PAR、可降水量等を比較することにより、気象データから濡れ時間を推定する際に気温・相対湿度以外で利用可能な気象要素とその組み合わせを検討する．本調査研究では、勾配ブースティング決定木の一種である LightGBM を適用し、無降水時の乾燥状態／濡れ状態を判定する二値分類器を構築する．なお、本研究では、降雨時(0.2mm 以上)は必ず「濡れ状態」とであると仮定し、気象観測データ(気温、相対湿度、風速、PAR)及び可降水量データを特徴量として用い、無降水時の乾燥状態／濡れ状態を予測するモデルを構築する．

3. 結果および考察

3.1 ACM センサおよび葉面濡れセンサによる観測データを用いた濡れ時間の推定

候補の閾値をそれぞれ用いて、ACM センサの 10 分毎の観測データと葉面濡れセンサの 10 分毎の観測データそれぞれに対して、乾燥状態か濡れ状態かを判定し二値データを作成し、各閾値を用いて作成した ACM センサの二値データと葉面濡れセンサの二値データの相関係数の計算、さらに混同行列を作成し、一致率および F1 スコアを計算した．その結果、期間全体の無降水時において ACM センサの閾値が 0.040 μ A、葉面濡れセンサの閾値が 10.0%のとき、相関係数、一致率、F1 スコアが最大となった．本調査研究において ACM センサと葉面濡れセンサそれぞれの観測値

から濡れ時間を計算する際の最適な閾値は、ACM センサは $0.040\mu\text{A}$ 、葉面濡れセンサは 10.0% となった。また、最適な閾値を用いて ACM センサの観測データから計算した濡れ時間と葉面濡れセンサの観測データから計算した濡れ時間の方が、ISO9223 の濡れ時間よりも短い結果となった(表 1)。このことから、相対湿度の閾値から濡れ時間を推定する際には、ISO9223 の濡れ時間推定手法の閾値である相対湿度 80.0% よりも高い閾値の方が適切であることが示唆された。

表 1 ACM センサの閾値を $0.040\mu\text{A}$ 、葉面濡れセンサの閾値を 10.0% とした時の観測期間毎の濡れ時間と、ISO9223 の推定手法で気象観測データから推定した濡れ時間

観測期間	ACM センサ			葉面濡れセンサ			気象観測データ(相対湿度)		
	総継続時間	平均継続時間	最大継続時間	総継続時間	平均継続時間	最大継続時間	総継続時間	平均継続時間	最大継続時間
6月7日～7月9日	375.7	8.7	19.5	385.5	11.2	35.2	502.0	13.7	66.3
7月9日～8月6日	333.5	7.4	17.5	348.7	7.9	23.0	411.2	11.2	64.3
8月6日～9月17日	555.3	8.2	36.2	532.5	9.9	37.8	590.5	12.6	61.3
9月19日～10月18日	354.3	8.6	17.2	368.5	9.8	23.3	383.2	8.9	28.0
10月18日～11月19日	232.0	5.6	29.2	257.3	11.0	46.3	266.2	10.0	46.8
11月19日～12月25日	325.8	4.6	23.3	371.8	5.9	24.0	342.3	4.9	32.5

単位: hoi

3.2 ISO9223 の濡れ時間推定手法の精度検証

最適な閾値をそれぞれ用いて、ACM センサの観測データと葉面濡れセンサの観測データから作成した二値データと、相対湿度の閾値を 80.0% に設定して相対湿度データ作成した二値データの相関係数、一致率および F1 スコアをそれぞれ計算した(表 2)。その結果、ACM センサの二値データと相対湿度の二値データの相関係数は 0.76、一致率は 0.88、F1 スコアは 0.89 であった。また、葉面濡れセンサの二値データと相対湿度の二値データの相関係数は 0.82、一致率は 0.91、F1 スコアは 0.92 であった。

表 2 相対湿度の閾値を変えた時の、無降水時の ACM センサの二値データ及び葉面濡れセンサの二値データとの相関係数、一致率および F1 スコア

相対湿度(%)	ACM センサ			葉面濡れセンサ		
	相関係数	一致率	F1スコア	相関係数	一致率	F1スコア
77.5	0.00	0.85	0.86	0.00	0.88	0.89
80.0	0.00	0.87	0.88	0.00	0.90	0.91
82.5	0.00	0.88	0.88	0.00	0.91	0.91
85.0	0.00	0.88	0.88	0.00	0.91	0.91
87.5	0.00	0.86	0.84	0.00	0.87	0.86
90.0	0.00	0.81	0.77	0.00	0.81	0.77

3.3 濡れ時間推定に用いる相対湿度の閾値の再検討

最適な閾値をそれぞれ用いて、ACM センサの観測データと葉面濡れセンサの観測データから作成した二値データと、相対湿度の閾値を複数設定し、各閾値を用いて作成した二値データの相関係数、一致率および F1 スコアをそれぞれ計算した(表 2)。相関係数、一致率および F1 スコアが最大となる相対湿度の閾値 82.5% であり、閾値 85.0% とした場合も ISO9223 の濡れ時間推定手法の閾値である相対湿度閾値 80.0% よりも相関係数、一致率および F1 スコアは高い値となった。

ISO9223 の濡れ時間推定手法と同様に相対湿度の閾値から濡れ時間を推定する場合、相対湿度 85.0%を閾値として用いるのが最適であると考えられる。

3.4 気温及び相対湿度以外の気象要素の利用可能性の検討

無降水時は、ACM センサによる観測値と葉面濡れセンサの観測値ともに、気温と PAR、風速との間にはそれぞれ統計的に有意な負の相関があり、相対湿度、降水量、可降水量との間にはそれぞれ統計的に有意な正の相関があることがわかった。次に、気温、相対湿度、風速、PAR 及び可降水量データを特徴量として用い、無降水時の乾燥状態／濡れ状態を予測するモデルを構築した。その結果、ACM センサの観測値から判定した無降水時の乾燥状態／濡れ状態を正解ラベルとした場合、さらに葉面濡れセンサの観測値から判定した無降水時の乾燥状態／濡れ状態を正解ラベルとした場合の両方で、正解率、F1 スコアが最大となり、その値は 0.90 を超える結果となった。以上から、ISO9223 の濡れ時間推定手法のように気温や相対湿度の閾値から濡れ時間を推定する手法よりも、気温、相対湿度、風速、PAR、可降水量データを特徴量とした LightGBM による予測モデルを用いることで、より高精度に濡れ時間を推定できることが示唆された。

表 3 葉面濡れセンサの観測値から判定した無降水時の乾燥状態／濡れ状態を目的変数とした時の、各 Case での各評価指標の算出結果 (T：気温、RH：相対湿度、WS：風速、PAR：光合成有効放射量、PW：可降水量)

特徴量		評価指標			
		正解率	適合率	再現率	F1スコア
Case1	T, RH	0.92	0.92	0.94	0.93
Case2	T, RH, WS	0.93	0.91	0.94	0.93
Case3	T, RH, PAR	0.93	0.93	0.94	0.93
Case4	T, RH, PW	0.93	0.92	0.94	0.93
Case5	T, RH, WS, PAR	0.93	0.93	0.93	0.93
Case6	T, RH, WS, PW	0.92	0.92	0.92	0.92
Case7	T, RH, PAR, PW	0.92	0.92	0.93	0.92
Case8	T, RH, WS, PAR, PW	0.93	0.93	0.94	0.93

4. まとめ

本調査研究の結果、最適な閾値をそれぞれ用いて ACM センサの観測データと葉面濡れセンサの観測データからそれぞれ計算した濡れ時間の方が、ISO9223 の濡れ時間推定手法で推定した濡れ時間よりも短くなった。また、ISO9223 の濡れ時間推定手法と同様に相対湿度の閾値から濡れ時間を推定する場合、相対湿度 85.0%を閾値として用いるのが最適であると考えられる。さらに、ISO9223 の濡れ時間推定手法のように気温や相対湿度の閾値から濡れ時間を推定する手法よりも、気温、相対湿度、風速、PAR、可降水量データを特徴量とした LightGBM による予測モデルを用いることで、より高精度に濡れ時間を推定できることが示唆された。

参考文献

- 1) 原修一, 上村隆之, 門長猛, 幸英昭. 山間部橋梁桁各部位の実測結露時間によるぬれ環境評価. 材料と環境. 66, pp.75-81, 2006.