

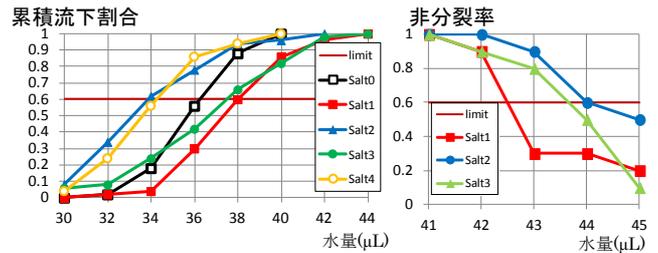
結露水流下による鋼材表面の洗浄効果を考慮した付着塩分量推定

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○井伊 悠
IHI インフラシステム (株) 正 員 秦 聡一朗**
京都大学大学院工学研究科 正 員 白土 博通

京都大学大学院工学研究科 学生員 野口 恭平*
京都大学大学院工学研究科 学生員 三歩一 奏人
京都大学大学院工学研究科 正 員 八木 知己

1. 序論 水は三大腐食因子の1つであり、結露による水滴も基本的には腐食を促進させる要因と考えられる。一方、鋼材表面の水分発生量が多くなれば流下する水滴が表面の付着塩分を洗浄する効果が考えられるが、結露水流下による洗浄効果についての検討は十分でない。本研究では、図1に示す3主桁を有する鋼橋である天鳥橋(和歌山県)を対象とし、水滴流下による洗浄効果の測定と解析による主桁の温度変化及び結露発生量を計算した。そして、結露による洗浄を考慮した部位別の付着塩分量計算を行い、その結果について検討した。

た。したがって、累積流下割合のSalt0と非分裂率のSalt1の結果を代表値とし、かつ6割を境界として最少流下水量を38μL、限界非分裂水量を42μLと定めた。



左図：最少流下水量，右図：限界非分裂水量

図2 最少流下水量及び限界非分裂水量の実験結果

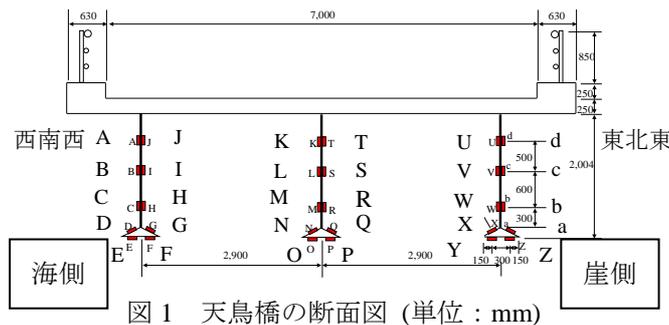


図1 天鳥橋の断面図(単位: mm)

2. 洗浄効果測定実験 鉛直の供試体表面にマイクロピペットを用いて任意の大きさの水滴を作成し以下の実験を行った。なお、塩分の付着は霧吹きによって供試体面に塩水を噴霧して与えた。

2.2 洗浄効果測定実験 洗浄効果測定実験の結果を図3に示す。結果は洗浄前後の付着塩分量の比である残存塩分率で整理した。残存塩分率は表面塩分量によらず最少流下水量のときに最小となり、おおよそ単調増加に分布した。これは水量が小さくゆっくり流れる方がより多くの塩分を吸収できたためと考えられ、水滴の流下速度が洗浄に対し支配的とわかった。

2.1 最少流下水量及び限界非分裂水量 最少流下水量及び限界非分裂水量の実験結果を図2に示す。最少流下水量は徐々に水量を増やしつつ作成した全50滴のうち各水量以下で流下した水滴の割合(累積流下割合)を示す。限界非分裂水量は各水量別に作成した10滴のうち分裂しなかった水滴の割合(非分裂率)を示す。最少流下水量は、割合の急激な増加は見られず、供試体の表面状態の違いが影響したと考えられる。限界非分裂水量は、水量増加とともに水滴が分裂しやすくなるという妥当な結果が得られた。またどちらにおいても表面塩分量の違いによる明確な傾向は見られなかつ

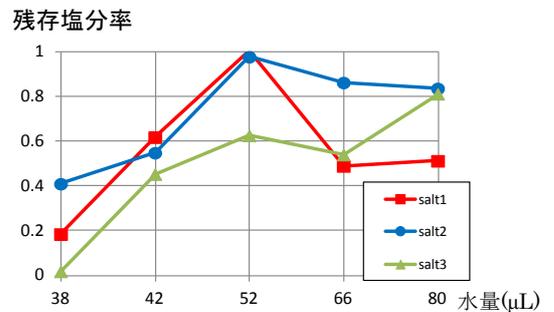


図3 洗浄効果測定実験の結果

3. 結露解析¹⁾ 天鳥橋の3主桁を厚さ20mmの3枚の鋼板としてモデル化し、主桁温度T[K]の変化を1次元熱伝導方程式(式(1))の差分計算によって求めた。また、主桁表面においては放射と対流熱伝達による熱流を考え、式(2)を境界条件として用いた。放射は直達、散乱、反射の日射を含めた短波放射J'solar[W/m²]と、天空からの放射J_a、地面の放射J_G、鋼板自身の放射J_t

キーワード 腐食, 結露, 熱伝導方程式

を含む長波放射から成り、対流熱伝達は外気と鋼板の熱交換である。ここで C_v : 熱容量 [$J/m^3/K$], λ : 熱伝導率 [$W/m/K$], x : 厚さ方向 [m], α : 熱伝達率 [$W/m^2/K$] であり, T_{out} は外気温を表し, T_s は鋼板表面温度を表す。

$$C_v \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \alpha(T_{out} - T_s) + J'_{solar} + J'_a + J_G - J_r \quad (2)$$

次に、主桁の表面温度から式(3)を用いて結露発生量 W [kg/m^2] を計算した。ここで α' : 湿気伝達率 [$kg/m^2/s$], X_{out} : 外気絶対湿度 [kg/kg'], $X_{s,sat}$: 鋼板表面飽和絶対湿度 [kg/kg'] である。

$$\Delta W = \alpha' (X_{out} - X_{s,sat}) \cdot \Delta t \quad (3)$$

入力値である気温、相対湿度、放射等の現地の気象データは領域気象モデル WRF による計算値を用いた。解析は 2013 年 3 月 22 日からの約 1 年間にて行い、図 4 及び図 5 に 2014 年 2 月 2 日正午からの 1 日における気温と 3 主桁温度の時間変化と結露発生の様子を示す。解析の結果、主桁温度が気温に少し遅れて追従するという妥当な結果が得られた。また主桁温度が気温より低くなる午前中において結露が発生しやすいとわかった。一方、結露の発生も再現されたことがわかる。

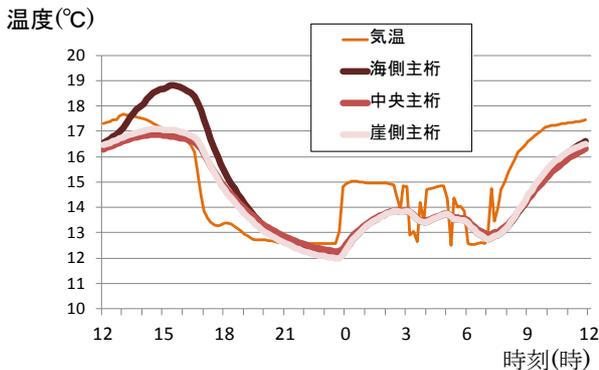


図 4 気温(WRF)と主桁温度の変化

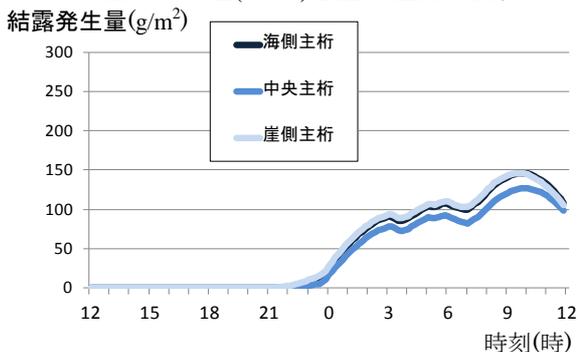


図 5 結露発生量の変化

4. 付着塩分量計算²⁾ 図1に示す対象橋梁に対して付着塩分量計算を行い、雨がかりのある海側主桁海側面及び崖側主桁崖側面では雨による洗浄を考慮した。これに結露発生による水量と塩分の潮解性による水膜形成由来の水量³⁾を加え、水滴流下及び洗浄の条件を付着量計算に反映させた。また、水滴の発生から洗浄までの処理は以下の通りである。まず結露発生に伴い水滴を乱数で配置した。水滴の成長は水量が増す度に水滴を新たに配置し、既存の水滴と重なった場合に合体させることで再現した。そして最少流下水量に達したら水滴を流下させて経路上の塩分を洗浄させた。その際、流下経路上にある水滴と合体して限界非分裂水量を超えた場合は、その水滴を分裂させた。図6に2013年12月11日~2014年3月11日における付着塩分量の観測値と計算値を示す。この図より、結露による洗浄効果が内側部位で明確に表れたことがわかる。したがって、雨がかりがなく計算値が過大となりやすい内側部位においてより長期の予測が可能になると考えられる。今後は主桁表面温度の計測や供試体を用いた結露発生の再現を行うことで、解析との比較及び妥当性の検証が必要である。

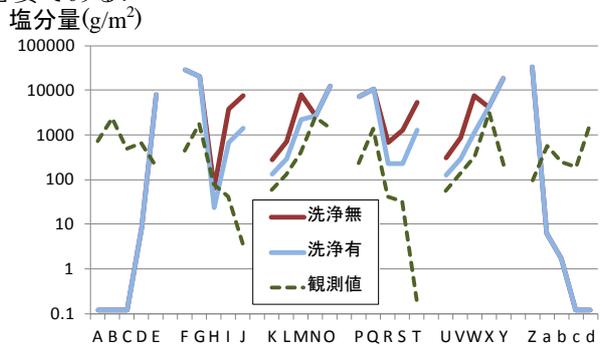


図 6 付着塩分量の計算値と観測値

5. 結論と課題

- 1) 実験と解析によって水滴の洗浄力と結露発生量を求め、実橋梁の部位別の付着塩分量計算を行った結果、結露水流下による鋼材表面の洗浄効果が内側部位において表れ長期予測の可能性が示された。
- 2) 今後は実現象との比較を行い、解析の妥当性を検証する必要がある。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 15H02261, 社団法人日本鉄鋼連盟, 財団法人防災研究協会の助成を受けた。

参考文献

- 1) 鉦井ら: 日本建築学会環境系論文集, 74, 639, 587-593, 2009.
- 2) 野口ら: 構造工学論文集, Vol.60A, 613-621, 2014.
- 3) 押川ら: Zairyo-to-Kankyo, 52, 293-298, 2003.

* 日本学術振興会特別研究員 DC

**研究当時京都大学大学院生