

車両通過に伴う飛散を考慮した路面水膜厚の推定

福井大学 学生会員 ○大野 聖也

福井大学 正会員 藤本 明宏

山田技研株式会社 非会員 山田 忠幸、山田 健雄、山田 耕嗣

1. はじめに

路面凍結問題は路面温度、路面上の塩分量および水分量と密接に関係し、その水分量は降雨、相変化、車両による飛散および表流水によって規定される。これまでの研究では、気象、交通および道路条件を考慮して路面上の水分および凍結防止剤収支を解析し、すべり摩擦係数を指標に凍結防止剤散布の適切な時期と量を決定する手法(凍結防止剤最適散布手法 WiRIS)を構築してきた¹⁾。しかしながら、車両通過に伴う飛散水の特性には不明な点が多く、WiRISによる水分量の計算結果についても十分に検証できていない。

本研究では、走行試験を通じて車両通過に伴う飛散水を定量化するとともに、得られた知見を WiRIS に反映し、路面水膜厚の実測値と計算値を比較した。

2. 路面水分移動理論

WiRIS は気象、交通および道路条件を基に路面水膜厚 H_w (mm) の時間変化を計算する。その基本方程式として、路面水分量 M_w (kg/m²) の収支は式(1)で表される。

$$\frac{\partial M_w}{\partial t} = m_{w,r} - m_{w,e} - j(t)m_{w,y} - m_{w,d} + m_{w,p} \quad (1)$$

ここに、 t : 時間(s)、 $m_{w,r}$: 降雨フラックス(kg/m²/s)、 $m_{w,e}$: 蒸発・凝縮フラックス(kg/m²/s)、 $j(t)$: 車両通過の判別変数(台/s、通過有: 1、無: 0)、 $m_{w,y}$: 飛散水フラックス(kg/m²/台)、 $m_{w,d}$: 表流水フラックス(kg/m²/s)および $m_{w,p}$: 融解・凍結フラックス(kg/m²/s)である。

$m_{w,e}$ は蒸発バルク係数 α (m/s) および路面と大気の水蒸気密度差 $\rho_{vr} - \rho_{va}$ (kg/m³) を用いて式(2)で与えられる。

$$m_{w,e} = \alpha(\rho_{vr} - \rho_{va}) \quad (2)$$

1 台通過当たりの $m_{w,y}$ は走行速度 V_v (km/h) およ

び H_w に関係する。また、実際の道路ではタイヤ通過部は必ずしも一か所でないことを考慮して、飛散補正係数 C_v を乗じて $m_{w,y}$ を低減させる。 $m_{w,y}$ および C_v については本論文の 4.1 および 4.2 でそれぞれ詳述する。 $m_{w,d}$ は今後の課題とし、ここでは考慮されず、 $m_{w,p}$ は発生しない条件である。

3. 走行試験の概要

3.1 車両飛散試験

図1は車両飛散試験の概要である。本試験は密粒度舗装の試験道路で実施され、走行区間は 350 m、散水区間は 60 m および測定区間は 10 m とした。試験手順は次のとおりである。(i) 散水車を用いて散水し、路面を湿潤状態にする。(ii) タイヤ通過部の H_w を測定する。(iii) 試験車両を走行させる。(iv) 再びタイヤ通過部の H_w を測定する。(v) 試験車両通過前後の H_w の差から 1 台通過当たりの $m_{w,y}$ を算出する。試験車両は小型乗用車とし、ノーマルタイヤ(195/55R16)である。 V_v は 20、40、60 および 80 km/h とした。

H_w は、吸水した重量を高さに換算する吸水法(図1左上参照)により 3 か所で測定し、その平均値とした。タイヤ通過部は図1に示すように路面に 0.30 m 幅の誘導線を設けることで固定した。

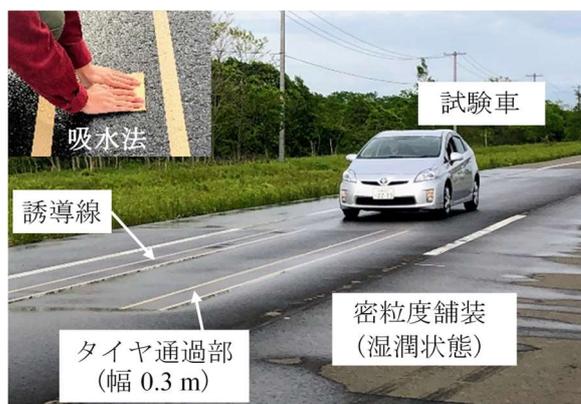


図1 車両飛散試験の概要

キーワード 路面水膜厚、飛散、凍結防止剤、すべり摩擦係数

連絡先 〒910-8507 福井市文京 3-9-1 福井大学大学院工学研究科建築建設工学専攻 TEL 0776-27-8594

3.2 路面水膜厚測定試験(飛散補正係数の同定試験)

路面水膜厚測定試験は、中部縦貫自動車道の上志比IC-永平寺IC間のトンネルを除く3.1kmを対象とした。当区間は、密粒度舗装の片側一車線道路である。試験は令和2年1月23日の11:00~17:00に実施し、 H_w を1時間間隔で測定した。 H_w の測定には本研究室で開発された車載式路面水膜厚装置²⁾を用いた。また、試験期間に亘って、気温、相対湿度、風速、時間降水量および交通量を自動計測した。試験車両の V_v は約70km/hである。

C_v は次のように同定される。(i) 上述の車両飛散試験より得られた $m_{w,v}$ と式(2)で求められる $m_{w,e}$ をWiRISに組み込む。(ii) WiRISによって $H_w(H_{w,cal})$ を計算する。(iii) 路面水膜厚測定試験による H_w の路線分布からその平均値($H_{w,ave}$)を求める。(iv) $H_{w,cal}$ と $H_{w,ave}$ が一致するように C_v を決定する。

4. 結果

4.1 飛散水フラックスの定量的評価

図2は車両飛散試験結果の一例として、 $V_v = 60$ km/hにおける $m_{w,v}$ と H_w の関係を示す。同図に示すように、 $m_{w,v}$ は H_w の増大とともに指数関数的に増大した。この関係は式(3)のように近似できる。

$$m_{w,v} = C_v a H_w \exp(H_w) \quad (3)$$

ここで、 a は係数であり、図3に示すように V_v と関連し、式(4)で近似できる。

$$a = -0.05 \exp(-0.07 V_v) + 0.05 \quad (4)$$

4.2 飛散補正係数

図4は $H_{w,ave}$ と $H_{w,cal}$ を比較した結果である。 $H_{w,cal}$ は C_v を0.05、0.10、0.30および1.00に変化させた4ケースを示す。また、時間降水量 I_{rain} (mm/h)も併せて示す。同図より、 $H_{w,ave}$ は I_{rain} に依存して変化したことが知れる。 $H_{w,cal}$ に着目すると、 C_v を小さくすると、 $m_{w,v}$ が減少し、 $H_{w,cal}$ の低下は抑制される。結果、 $C_v = 0.05$ の時に $H_{w,cal}$ は $H_{w,ave}$ と良好に一致した。本結果では、タイヤ通過部を固定した飛散量に対して実道路での飛散量は5%程度であった。

5. おわりに

本研究より以下の知見を得た。

- (1) タイヤ通過部を固定した場合の1台通過当たりの飛散水フラックスを路面水膜厚と走行速度

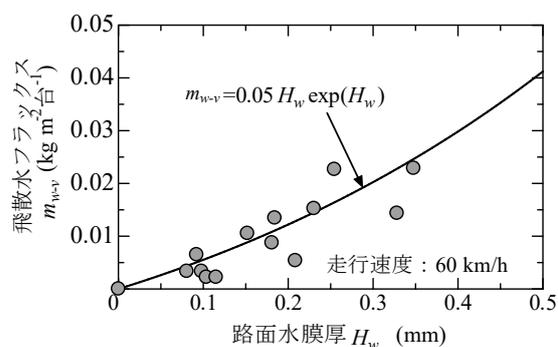


図2 飛散水フラックスと路面水膜厚の関係

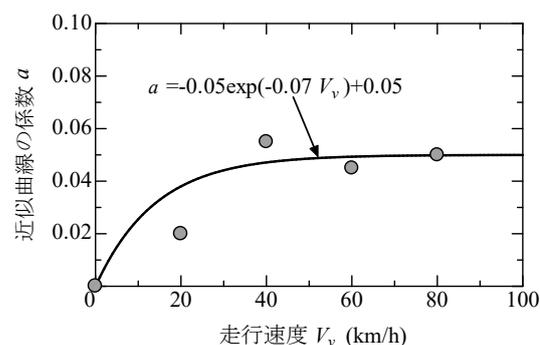


図3 係数aと走行速度の関係

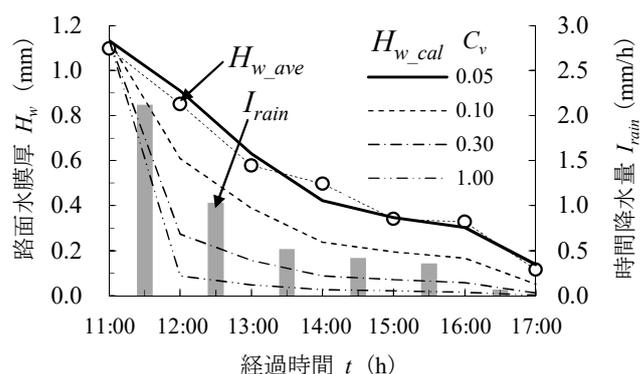


図4 実測値とWiRISの計算値の比較

を用いて定量的に評価した。

- (2) 飛散補正係数を0.05にした時にWiRISによる路面水膜厚の計算値は実測値を良好に再現できた。

今後は走行試験を重ね、飛散補正係数の特徴を明らかにするとともに、表流水フラックスも考慮したWiRISを構築し、実用化に向けた検証を行う。

参考文献

- 1) 藤本他：通過車両の影響を考慮した凍結防止剤事後散布後の路面すべり抵抗推定法の構築と検証、土木学会論文集E1、71(2)、81-96、2015。
- 2) 藤本他：車載式塩分濃度センサーを用いた路面水膜厚測定装置の開発、土木学会論文集E1、75(2)、1-8、2019。