

道路複合雪害が走行速度に及ぼす影響評価

藤本 明宏¹・徳永 ロベルト²・武知 洋太³・住田 則行⁴、丸山 記美雄⁵

¹正会員 (独)土木研究所寒地土木研究所 研究員 寒地交通チーム
(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)
E-mail: afujimot@ceri.go.jp

²正会員 (独)土木研究所寒地土木研究所 主任研究員 寒地交通チーム
(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)
E-mail: roberto-1097ga@ceri.go.jp

³正会員 (独)土木研究所寒地土木研究所 研究員 雪氷チーム
(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)
E-mail: hiro-takechi@ceri.go.jp

⁴非会員 (独)土木研究所寒地土木研究所 主任研究員 寒地機械技術チーム
(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)
E-mail: sumita-n22aa@ceri.go.jp

⁵正会員 (独)土木研究所寒地土木研究所 総括主任研究員 寒地道路保全チーム
(〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号)
E-mail: k.maruyama@ceri.go.jp

本研究では、冬期道路施策・管理の効率化を目的に、実道での走行試験を通して、路面すべり抵抗値、視程、道路有効幅員および路面平坦性の道路雪害の悪化が走行速度の低下に及ぼす影響を明らかにするとともに、複数の道路雪害因子が同時に作用した時(道路複合雪害)における走行速度の計算方法を提案した。走行速度は、路面すべり抵抗値および道路有効幅員の低下ならびに路面平坦性の増大によって微減した。これらの単相関係数を市街地区間と郊外区間を区別してそれぞれ定式化できた。これにより、道路複合雪害における走行速度の低下率およびその低下率に及ぼす各道路雪害因子の影響度を計算することが可能になった。

Key Words : *winter road management, traffic speed, multiple snow hindrance, road effective width, road surface skid resistance, road surface evenness*

1. はじめに

(1) 研究の背景

冬期道路における交通量や走行速度は、道路の線形、勾配、交差点、車線数、信号の有無などの道路構造のみならず、複合的な道路雪害(以下、道路複合雪害)の影響を受ける。道路雪害には、吹雪による視界の低下、堆雪による道路有効幅員の減少、降雪や融解・再凍結に起因した路面すべり抵抗値の低下、積雪による路面平坦性の悪化などが挙げられる。これらの道路雪害の種類や強度は気象条件に加えて交通条件、地形条件、沿道環境などに依存し、その複雑な空間的・時間的変化は防雪柵や融雪施設等の冬期道路施策および機械除雪や凍結防止剤散

布等の冬期道路管理を難しくさせている。その一方で、道路予算は年々縮減している。こうした状況の中、冬期道路の施策および管理を効率化するには、交通の安全性や円滑性に及ぼす道路複合雪害の影響評価が益々重要となる。加えて、冬期道路施策・管理による走行速度低下の抑制効果を事前に評価する事も肝要となる。

(2) 既往の研究

道路雪害と冬期交通の関係に関する既往の研究について以下に記述する。路面雪氷状態が走行速度に与える影響については、下條・高木¹⁾および荒川ら²⁾の研究がある。無雪期と降雪期の走行速度や交通量を比較した研究は、寺内ら³⁾、岩佐⁴⁾、佐々木ら⁵⁾、大橋・大谷⁶⁾などに

よって報告されている。宗広ら⁷⁾は、無雪期と積雪期の走行速度の比較に加えて、積雪期には乾燥路面と圧雪路面における走行速度を比較・検証した。また、西山ら⁸⁾や Munchiro, K. et al.⁹⁾は、路面雪氷状態に着目した研究の中でも、除雪作業前後の走行速度から除雪作業の効果を検証した。視程に着目した研究として、石本・福沢¹⁰⁾は圧雪・凍結路面における視程と走行速度の関係を、武知ら¹¹⁾は視程に加えて、季節、道路線形、道路有効幅員、風速および路面状況が走行速度に及ぼす影響を、それぞれ報告した。その後、武知ら¹²⁾は路面雪氷状態および道路の平面線形を考慮して視程と走行速度低下率の関係をとりまとめた。以上は、気象条件や路面雪氷状態で区別した上で、道路雪害と走行速度の単相関関係を調べた研究に位置付けられる。

次に、複数の道路雪害因子と走行速度の関係を調べた既往の研究について述べる。下保ら¹³⁾は、天候、路面雪氷状態および道路有効幅員を用いて走行速度を説明する重回帰式を提案した。堀井¹⁴⁾は、天候、混雑度、沿道状況、区間長、信号青時間および路面状態を説明変数とした重回帰分析から各因子の走行速度に及ぼす影響度を評価している。榎谷ら¹⁵⁾は、上記の説明変数に加えて道路の曲線部の交角および縦断勾配を考慮した。斉藤ら¹⁶⁾は、重回帰分析に加えてニューラルネットワークを用いた冬期道路における走行速度の予測法を提案した。しかしながら、こうした重回帰分析によって冬期道路の走行性を評価する手法は、単路等の道路構造が単純な区間では有効であっても、車線数や信号の有無等の変化に富む区間かつ道路複合雪害下では有意な解を得難く、十分に体系化できているとは言い難い。

こうした既往の研究に対して、本研究では以下の着眼点に根幹を置く。

- (i) 道路管理者の視点に立ち、冬期の交通円滑性を非冬期のそれと同等に保つといった観点においては、敢えて冬期道路の走行速度そのものを推定する必要はなく、良好な道路環境における走行速度に対する道路雪害による走行速度の低下の程度を評価する事が重要となる。
- (ii) 従来の研究の多くは、天候や路面雪氷状態といった走行速度に対して間接的かつ非客観的な影響因子を説明変数に用いている。冬期道路施策・管理の効率化を検討するためには、路面すべり抵抗値、視程、道路有効幅員、路面平坦性などの直接的かつ客観的な指標と走行速度の関係性が必要になる。これにより、例えば、凍結防止剤散布(費用)に対する路面すべり抵抗値の改善による走行速度の上昇(効果)、すなわち、費用対効果の評価が可能になる。これまで路面すべり抵抗値、視程、道路有効幅員および路面平坦性を同時に連続して計測することは容易でな

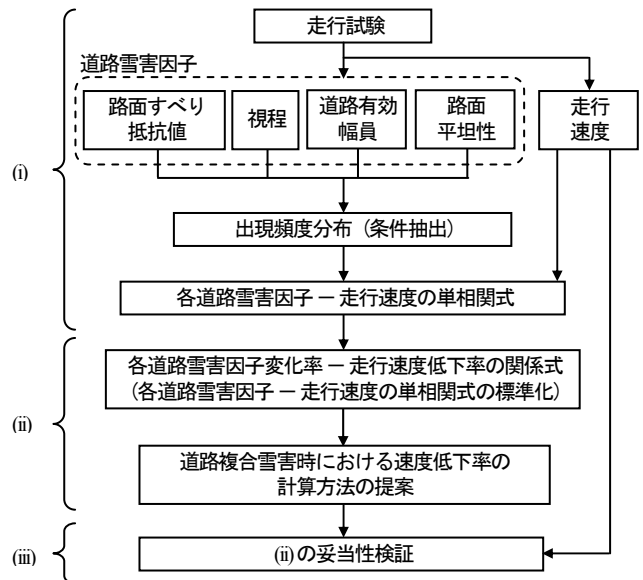


図1 研究フロー

かった。従って、これらの指標と走行速度を関連付けるような研究は筆者の知る限り過去にない。

(3) 研究の目的

本研究では、路面すべり抵抗値、視程、道路有効幅員および路面平坦性の悪化の相乗作用が走行速度の低下に及ぼす影響を評価する手法の確立を目標とする。この目標を達成するために、以下の(i)~(iii)を本論文の目的に定めた。本論文は図1に示すフローに従って記述される。

- (i) 実道での走行試験を通して、路面すべり抵抗値、視程、道路有効幅員および路面平坦性の道路雪害因子と走行速度の単相関関係を明らかにする。
- (ii) (i)を用いて、道路複合雪害時における走行速度低下率の計算方法を提案する。
- (iii) 道路複合雪害時における走行速度の計算値と実測値の比較を通して、(ii)の妥当性を検証する。

2. 走行試験の概要

本走行試験は、2013年2月12日、2013年3月7日、2014年2月21日および2014年2月28日(いずれも平日)の午前10時~午後0時に亘り、一般国道231号で行われた。図2に走行試験区間の概要を示す。同図は上から試験区間の場所、曲線半径、縦断勾配、道路幅員、信号あり交差点の位置をそれぞれ示す。試験区間は、起点の札幌自動車道との交点(KP0.0)から石狩市八幡(KP18.9)までの延長18.9kmとし、各計測は往復して行われた。本研究では、札幌市の市街地区分¹⁷⁾に準じてKP7.0を境に試験区間を市街地区間(KP0.0~7.0)と郊外区間(KP7.0~18.9)に区別した。縦断勾配は橋梁や高架橋を除き、試



図2 走行試験区間の概要

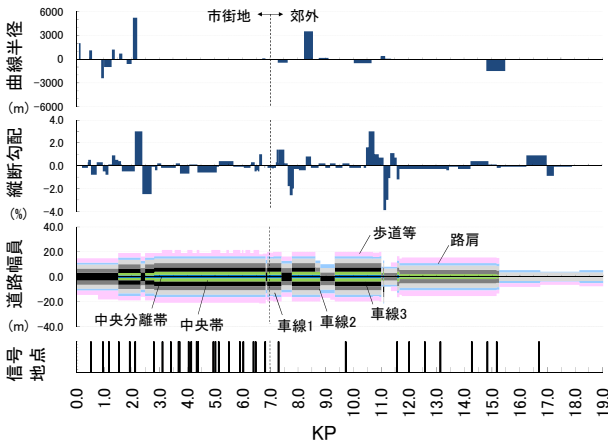


図2 走行試験区間の道路構造

験区間の殆どで 1%未満である。片側の車線数は KP0.0～11.0 で 3 車線，KP11.0～15.2 で 2 車線，KP15.2～18.9 で 1 車線である。平成 17 年度道路交通センサス¹⁸⁾によると、平日 12 時間自動車類交通量は、市街地区間(6 観測地点)の平均で上り 12,600 台・下り 11,600 台、郊外区間(4 観測地点)の平均で上り 7,800 台・下り 8,400 台であった。

計測項目は、路面すべり抵抗値、視程、道路有効幅員、路面平坦性および走行速度であり、計測機器はいずれも車載され、走行しながら計測を実施した。路面すべり抵抗値は、車両後部に搭載した連続路面すべり抵抗値測定装置¹⁹⁾を用いて測定した(写真1の左上)。路面すべり抵抗値は、本装置独自の変数であり、抵抗が最小となるタイヤ空転時を 0、良好な露出路面走行時を通常 80 から 100(路面温度に依存)となるように較正されている。従って、路面すべり抵抗値は、凍結路面のように滑りやすい時に小さく、湿潤や乾燥路面のように滑り難い時に大きくなる。サンプリングレートは 10 Hz である。視程は、車両前部に取り付けた偏分散乱方式による視程計²⁰⁾で計測した(写真1の右上)。サンプリングレートは 10 Hz である。道路有効幅員は、車両上部に取り付けたレーザースキャナーを用いた道路有効幅員計測システム²¹⁾で測定した(写真1の左下)。計測最大範囲は 18 m であり、サンプリングレートは 10 Hz である。路面平坦性は、加速



写真1 測定車両

(左上：路面すべり抵抗値，右上：視程，左下：道路有効幅員，右下：路面平坦性)

度計を用いた路面非接触型 IRI 測定装置²²⁾で計測した(写真1の右下)。サンプリングレートは 500 Hz である。全ての測定車両には GPS 機能が備え付けられており、位置情報(緯度・経度)を取得できる。走行速度は、連続路面すべり抵抗値測定装置を搭載した車両の計測値を採用した。

各測定車両で得られたデータは 1 km 間隔で平均値を求め、位置情報を基に整合させた。

3. 試験の結果

(1) 好天日と雪害日の比較

写真2は、各々の試験日におけるKP3.0付近とKP14.0付近の道路状況を示す。両写真から分かるように、2013年3月7日および2014年2月28日の試験は比較的に好天の気象条件で実施され、残りの2013年2月12日および2014年2月21日の試験は比較的に悪天の気象条件で実施された。以下では、便宜的に前者を好天日、後者を雪害日と呼ぶことにし、下付添え字*fine*と*snow*でそれぞれ区別する。

図3(a)および(b)に2013年および2014年における走行試験の結果を示す。同図横軸の左(KP0.0)から中央(KP20.0)のデータを八幡方向と呼び、中央(KP20.0)から右(KP0.0)のデータを札幌方向と呼ぶ。

(a)2013年の試験について述べる。路面すべり抵抗値 $HFN(-)$ を見ると、 HFN_{fine} はおよそ 60～80 の範囲にあった。 HFN_{snow} は、八幡方向と札幌方向ともに KP0.0～4.0 の区間では 70～90 で HFN_{fine} と大差なかったが、KP5.0～19.0 の区間では 40～60 と HFN_{fine} と比較して小さかった。視程 $L_v(m)$ に関して、 L_{v-fine} は常に 1000 m 以上であった。 L_{v-snow} は、八幡方向の KP9.0～13.0 において最大で 700 m 程度ま

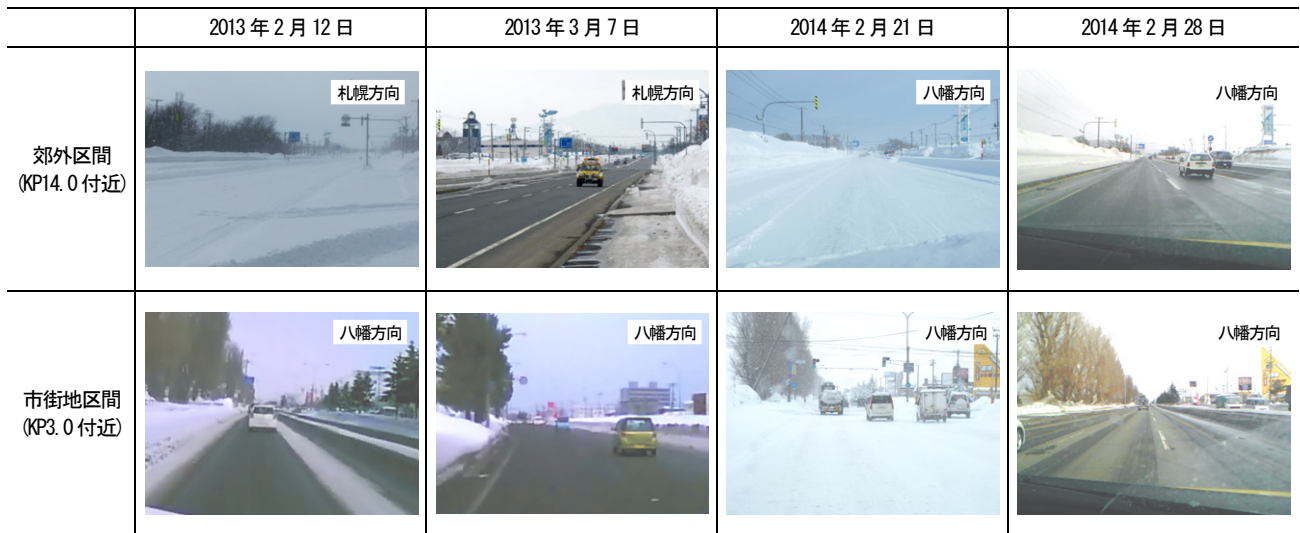


写真2 道路状況

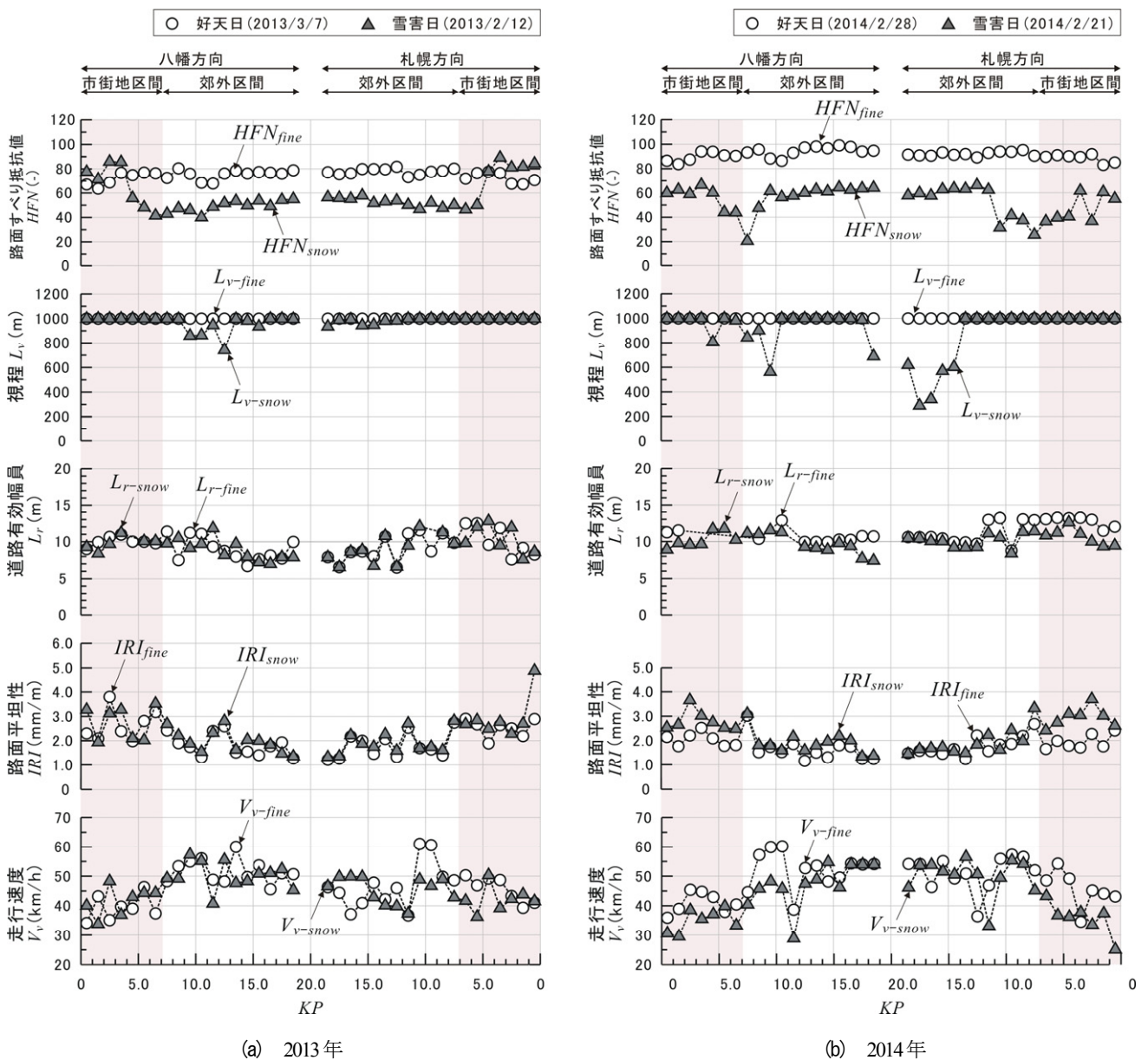


図3 走行試験の結果

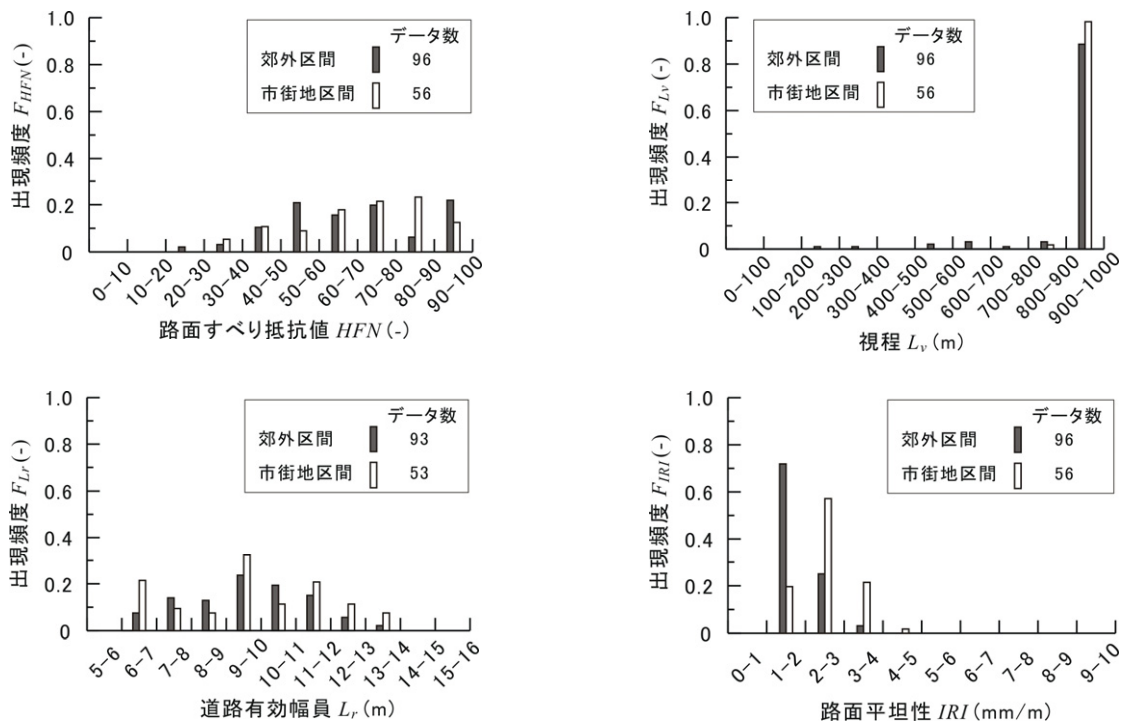


図4 道路雪害因子の出現頻度
(左上：路面すべり抵抗値，右上：視程，左下：道路有効幅員，右下：路面平坦性)

で低下した。道路有効幅員 L_r (m)は、 L_{r_fine} と L_{r_snow} とともに郊外区間が市街地区間より狭い傾向にあった。この理由は、図2に示したように車線数や中央分離帯の有無の違いが考えられる。路面平坦性 IRI (mm/m)は、 IRI_{snow} が IRI_{fine} より全体的に大きかった。これは、路面状態の相違と考えられ、雪害日は路面上の圧雪が IRI を大きくさせたと推察する。また、 IRI_{fine} および IRI_{snow} はともに、市街地区間が郊外区間よりやや大きい傾向にあった。走行速度 V_v (km/h)に関して、八幡方向では V_{v_snow} と V_{v_fine} に大差は見られず、札幌方向では $KP19.0\sim15.0$ を除き、 V_{v_snow} は V_{v_fine} より概ね低かった。

(b) 2014年の試験について述べる。 HFN_{fine} は80~100の範囲にあった。 HFN_{snow} は、八幡方向の $KP7.0\sim8.0$ 、札幌方向の $KP10.0\sim3.0$ および $KP2.0\sim1.0$ で、20~40の低い値が見られた。それ以外は60前後であった。 L_{v_fine} は常に1000m以上であった。 L_{v_snow} は、八幡方向の $KP9.0\sim10.0$ で約600mとなり、札幌方向では $KP19.0\sim14.0$ で約300~700mに低下した。データ欠測があるものの、 L_{r_snow} は全区間において L_{r_fine} よりやや小さかった。この理由は、試験日までの累計降雪量や路肩排雪作業の履歴の違いと推察される。 IRI_{snow} は、 IRI_{fine} より大きく、両者ともに市街地区間が郊外区間より大きかった。 V_{v_snow} は全体的に V_{v_fine} より低かった。また、 V_{v_fine} および V_{v_snow} はともに市街地区間より郊外区間で高い傾向にあった。

(2) 出現頻度

図4は、道路雪害因子 P (P は HFN 、 L_v 、 L_r および IRI の総称)の出現頻度 F_P を示す。 HFN は20~100の範囲にあり、 F_{HFN} は郊外区間では50~80と90~100が高く、市街地区間では60~90が高かった。

F_{L_v} は、 $L_v = 900\sim1000$ mが郊外区間および市街地区間でそれぞれ0.89および0.98であった。

F_{L_r} は、市街地区間および郊外区間ともに $L_r = 9\sim10$ mが最も高かった。また、図2に示したように、市街地区間はすべて3車線であるのに対して、郊外区間は2車線や1車線が存在するため、 $L_r \geq 11$ mの F_{L_r} は市街地区間が郊外区間より高かった。

F_{IRI} は、郊外区間では $IRI = 1\sim2$ mm/mが、市街地区間では $IRI = 2\sim3$ mm/mが最も高かった。

(3) 道路雪害因子と走行速度の関係

本節では、 P と V_v の単相関関係を明らかにする。そのために、単相関式を作成する P 以外の3因子の範囲を以下の抽出条件で制限し、他の道路雪害因子が V_v に及ぼす影響を除外した。

- $HFN > 70$
- $800 < L_v \leq 1000$ m
- $10 < L_r \leq 12$ m
- $1 < IRI \leq 3$ mm/m

図5は左から V_v と HFN の関係、 V_v と L_r の関係、 V_v と

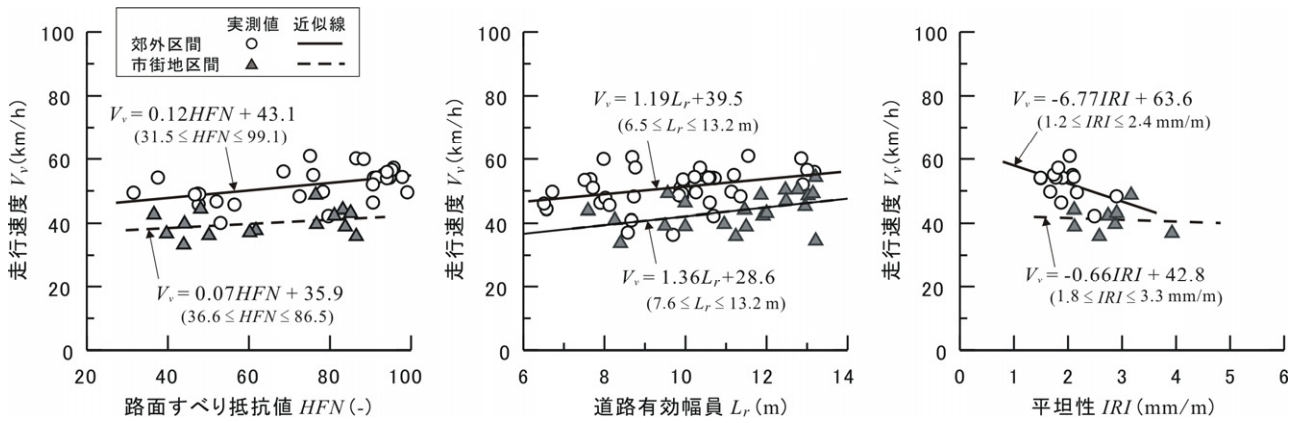


図5 道路雪害因子と走行速度の単相関関係
(左：路面すべり抵抗値，中央：道路有効幅員，右：路面平坦性)

IRI の関係を示す。本論文で扱う 4 日間の試験では、低い値を示した L_v のデータ数が少なく、 L_v と V_v に明確な相関性を見出すことができなかった。これより、以下の分析・評価では L_v を除外することにした。ただし、参考文献 10)~12)などによって報告されているように、 V_v は L_v にも依存することから、今後、 L_v の低い領域のデータを蓄積し、 L_v を本論文で提案する評価法に加えたい。なお、武知ら¹¹⁾の研究によれば、圧雪路面の直線区間において、 $L_v = 1000$ m 以上に対する $L_v = 200 \sim 500$ m の走行速度低下率は 0.1~10.5% の範囲にあり、その平均は 3.9% である。

まず、 V_v と HFN の関係に着目する。郊外区間の V_v は市街地区間のそれより全体的に大きい。郊外区間および市街地区間ともに、 V_v は HFN の低下によって微減した。その低下率は、郊外区間が市街地区間よりやや大きい。

次に、 V_v と L_r の関係に注目する。郊外区間の L_r は市街地区間のそれより全体的に大きい。郊外区間および市街地区間ともに、 V_v は L_r の低下によって微減した。

最後に、 V_v と IRI の関係について述べる。郊外区間では、 V_v は IRI の増大とともに低下した。市街地区間の V_v も IRI の増大とともに低下したが、その低下率は郊外区間に比べて小さい。

各道路雪害因子と V_v の単相関式およびその適用範囲については、図 5 中に記述した。

4. 道路複合雪害が走行速度の低下に及ぼす影響評価

(1) 評価方法

道路複合雪害時における $V_v(V_{v-snow})$ および良好な道路環境における $V_v(V_{v-fine})$ に対する V_{v-snow} の低下率 $R_{v-multi}$ は、以下

の(i)~(v)の手順を踏んで求める。

- (i) 図 5 に示す P と V_v の一次相関式を標準化し、 P の変化率 $R_p (= 1 - P/P_{ave})$ が V_v の変化率 $R_{vp} (= 1 - V_v/V_{v,ave})$ に及ぼす影響を求める。なお、下付添字 *ave* は平均値を意味する。

- (ii) R_{vp} と R_p の関係の一次近似式、

$$R_{v-p} = a_p R_p \quad (1)$$

を作成し、その傾き a_p をそれぞれ求める。

- (iii) 式(1)に走行試験結果から求めた $R_p (= 1 - P_{snow}/P_{fine})$ を代入して R_{vp} をそれぞれ求める。

- (iv) 次式に示すように各 R_{vp} を足し合わせて $R_{v-multi}$ を求める。

$$R_{v-multi} = R_{v-HFN} + R_{v-Lr} + R_{v-IRI} \quad (2)$$

- (v) V_{v-snow} は、 V_{v-fine} と $R_{v-multi}$ を用いて以下の式で求める。

$$V_{v-snow} = (1 - R_{v-multi}) \cdot V_{v-fine} \quad (3)$$

(2) 道路雪害因子と走行速度の関係の標準化

図 6 に R_{vp} と R_p の関係を示す。各近似式はいずれも $(R_p, R_{vp}) = (0, 0)$ を通過する。これらの a_p 、適用範囲および相関係数を郊外区間と市街地区間を区別して表 1 にまとめた。 a_{HFN} および a_{Lr} は正であり、 a_{IRI} は負であった。郊外区間と市街地区間で比較すると、 a_{HFN} と a_{IRI} は郊外区間が市街地区間より、 a_{Lr} は市街地区間が郊外区間より大きい。こうした郊外区間と市街地区間との間の a_p の相違について考察する。前者に関して、 HFN と IRI はともに路面状態の悪化を意味するため、 a_{HFN} と a_{IRI} は V_v が早い郊外区間で大きくなったと考えられる。後者に関しては、 L_r が交通容量の低下に影響するため、 a_{Lr} は交通量が多い市街地区間で大きくなったと考えられる。

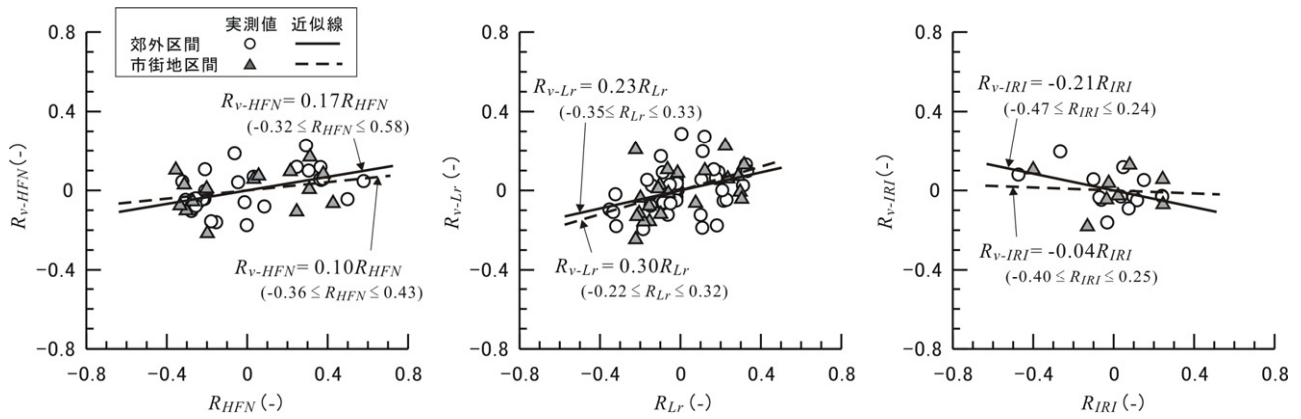


図6 道路雪害因子と走行速度の関係の標準化
(左：路面すべり抵抗値，中央：道路有効幅員，右：路面平坦性)

表1 標準化後の単相関式

区分	道路雪害因子	a_{HFN}	適用範囲	相関係数	道路雪害因子	a_{Lr}	適用範囲	相関係数	道路雪害因子	a_{IRI}	適用範囲	相関係数
郊外	路面すべり抵抗値 (HFN)	0.17	-0.32~0.58	0.47	道路有効幅員 (L_r)	0.23	-0.35~0.33	0.35	路面平坦性 (IRI)	-0.21	-0.47~0.24	0.45
市街地		0.10	-0.36~0.43	0.30		0.28	-0.22~0.32	0.49		-0.04	-0.40~0.25	0.08

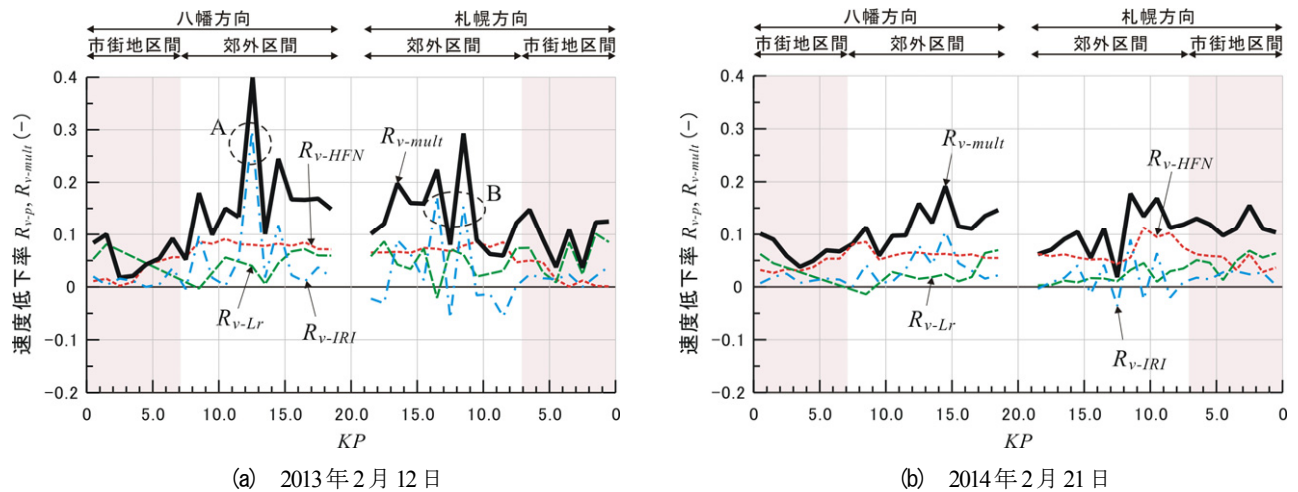


図7 走行速度低下率の路線分布

(3) 走行速度低下率

図7は、雪害日の2013年2月12日および2014年2月21日における R_{v-HFN} 、 R_{v-Lr} 、 R_{v-IRI} および R_{v-mult} の路線方向の変化である。好天日のデータ(P_{fine})には2014年2月28日の試験結果を用いた。

まず、(a)2013年2月12日について記述する。 R_{v-HFN} は八幡方向KP0.0~4.0および札幌方向KP6.0~0.0の区間で小さく、それ以外は0.10程度であった。 R_{v-Lr} は八幡方向・札幌方向ともに0~0.10の範囲を推移した。 R_{v-IRI} は概ね0~0.10の範囲にあるが、図中AやBで極端に大きな値が見られる。この要因を以下に述べる。2013年2月12日は走行区間全体に亘って比較的凹凸の少ない圧雪路面が形成さ

れていた。しかしながら、特に交差点付近において圧雪層がシャーベット状に軟化しており、そこに輪荷重が加わったことで路面の凹凸が増大していた。この圧雪層の軟化は、凍結防止剤のスポット散布や停止車両からの熱供給に起因したものと考えられる。図中AおよびBではこうした圧雪層の軟化に伴う路面の凹凸の増大が顕著に現れたと推察される。 R_{v-mult} は、上記のAおよびBを除けば0~0.20の範囲にあり、 R_{v-HFN} の影響度が最も高い。また、 R_{v-mult} は市街地区間より郊外区間の方が大きい傾向にあった。

次に、(b)2014年2月21日に着目する。 R_{v-HFN} は0.02~0.12の範囲にあり、郊外区間が市街地区間よりやや大きい。

表2 走行速度低下率の平均値

郊外区間	$\overline{R_{v-HFN}}$	$\overline{R_{v-Lr}}$	$\overline{R_{v-IRI}}$	$\overline{R_{v-mult}}$
2013年2月12日	0.08	0.05	0.05	0.18
2014年2月21日	0.07	0.02	0.03	0.12
平均	0.07	0.03	0.04	0.14
市街地区間	$\overline{R_{v-HFN}}$	$\overline{R_{v-Lr}}$	$\overline{R_{v-IRI}}$	$\overline{R_{v-mult}}$
2013年2月12日	0.03	0.06	0.01	0.10
2014年2月21日	0.05	0.05	0.02	0.12
平均	0.04	0.06	0.02	0.11

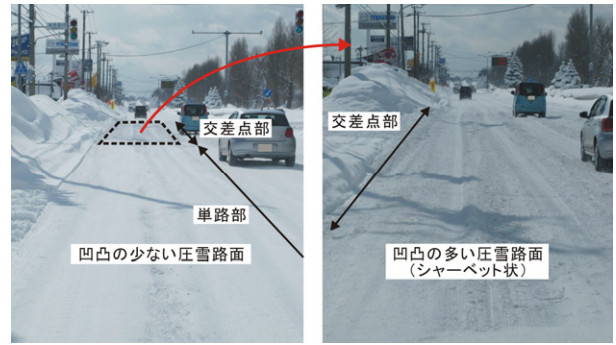
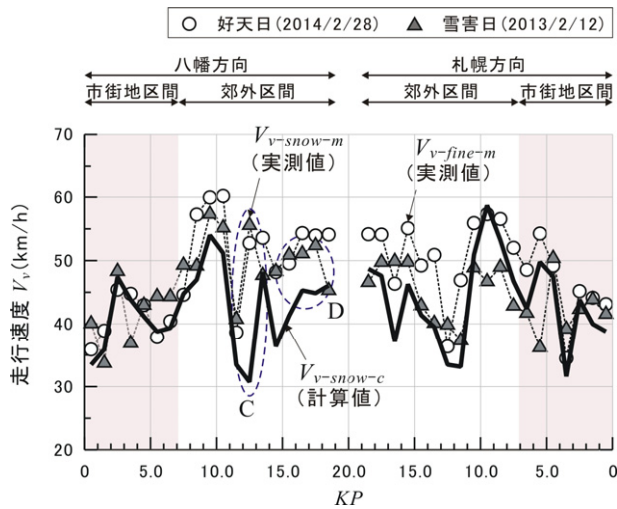
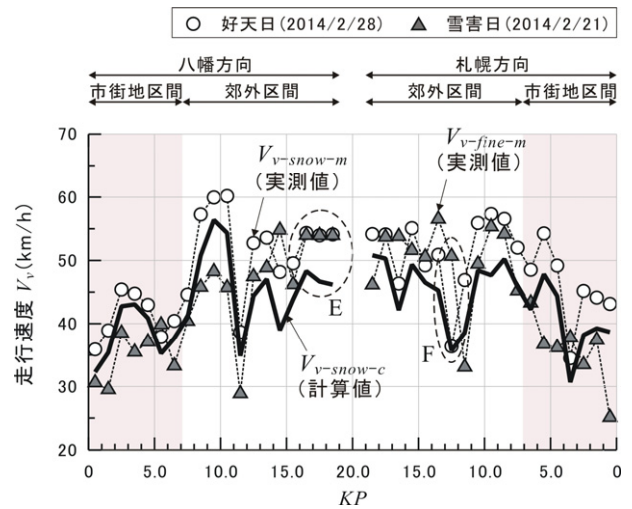


写真3 単路部と交差点部の路面雪氷状態
(2014年2月21日)



(a) 2013年2月12日



(b) 2014年2月21日

図8 走行速度の実測値と計算値の比較

R_{v-Lr} は0.08以下であった。 R_{v-IRI} は2013年2月12日と同様に局所的に大きい区間が見られる。実際に走行していると、単路部は圧雪路面であったが、交差点とその手前数十メートルはシャーベット状態であり、路面の凹凸は増していた(写真3)。 R_{v-mult} は、0.05~0.20の範囲を変化し、大半の区間において R_{v-HFN} の影響度が最も大きい。

表2は、2013年2月12日および2014年2月21日における R_{v-p} および R_{v-mult} の区間平均値 $\overline{R_{v-p}}$ および $\overline{R_{v-mult}}$ であり、郊外区間と市街地区間を区別して示す。また、同表の最下段には両日の $\overline{R_{v-p}}$ および $\overline{R_{v-mult}}$ の平均値を示す。

まず、2013年2月12日について、郊外区間では $\overline{R_{v-HFN}}$ の0.08が最も大きく、 $\overline{R_{v-Lr}}$ および $\overline{R_{v-IRI}}$ は0.05で同じであった。他方、市街地区間では $\overline{R_{v-Lr}}$ の0.06が最も大きく、次いで $\overline{R_{v-HFN}}$ の0.03、 $\overline{R_{v-IRI}}$ の0.01の順であった。 $\overline{R_{v-mult}}$ は郊外区間で0.18、市街地区間で0.10であった。市街地区間と郊外区間を比較すると、気象条件に局所的な違いがあった可能性はあるものの、主に $\overline{R_{v-HFN}}$ および $\overline{R_{v-IRI}}$ の影響により、 $\overline{R_{v-mult}}$ は市街地区間より郊外

区間で大きくなった。

次に、2013年2月21日を見ると、郊外区間では $\overline{R_{v-HFN}}$ の0.07が最も大きい。市街地区間では $\overline{R_{v-HFN}}$ と $\overline{R_{v-Lr}}$ が0.05で大きい。 $\overline{R_{v-mult}}$ は郊外区間と市街地区間ともに0.12で差なかった。

両日の $\overline{R_{v-p}}$ の平均値は、郊外区間では $\overline{R_{v-HFN}}$ が、市街地区間では $\overline{R_{v-Lr}}$ が大きい。 $\overline{R_{v-mult}}$ は郊外区間で0.14、市街地区間で0.11であり、郊外区間が市街地区間より約1.3倍大きい。

(4) 走行速度の実測値と計算値の比較検証

図8(a)および(b)に、2013年2月12日および2014年2月21日における式(3)から求めた V_{v-snow} の計算値($V_{v-snow-c}$)および V_{v-snow} の実測値($V_{v-snow-m}$)を示す。また、 V_{v-fine} の実測値($V_{v-fine-m}$)も併せて示す。

(a)2013年2月12日に注目すると、八幡方向における市街地区間および郊外区間のKP12.0まで、 $V_{v-snow-c}$ は $V_{v-snow-m}$ と概ね一致した。しかしながら、図中のCやDでは $V_{v-snow-c}$ は

$V_{v-snow-m}$ を大きく下回った。図中Cの $V_{v-snow-c}$ の過小評価は、4. (3)で記述したように R_{v-IRI} の局所的な増大が要因である。図中Dでは、 R_{v-mul} が0.16~0.25程度であるにも拘わらず、 $V_{v-snow-m}$ は $V_{v-fine-m}$ と大きく異ならない。図中Dは1車線で信号の少ない区間であったことを鑑みると、同じ郊外区間であっても車線数、信号密度(単位距離当たりの信号数)および交通量によって R_{v-p} や R_{v-mul} が異なる可能性が示唆される。

(b)2013年2月21日を見ると、図中Eと図中Fで $V_{v-snow-c} < V_{v-snow-m}$ が際立っている。図中Eは、上記の図中Dと同様の理由と考えられる。図中Fの要因は、信号での停車の有無の違い、すなわち、当該区間において、好天日(2014年2月28日)の試験では、雪害日(2013年2月21日)の試験に比べて信号による待ち時間が長かったと推測される。これにより、 $V_{v-fine-m}$ は $V_{v-snow-m}$ より小さくなり、 $V_{v-fine-m}$ を用いて計算された $V_{v-snow-c}$ もまた $V_{v-snow-m}$ より小さくなった。

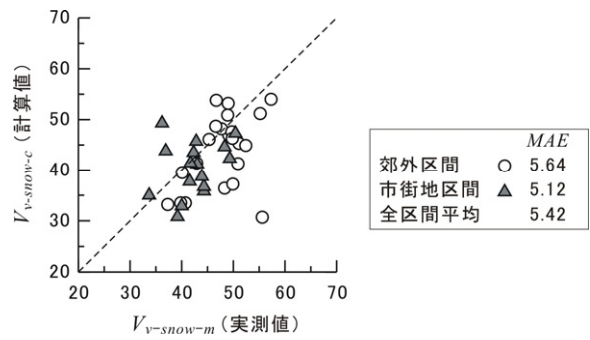
図9は、 $V_{v-snow-c}$ と $V_{v-snow-m}$ の比較結果を示す。図中には郊外区間、市街地区間および両区間の平均絶対誤差MAEを示す。(a)2013年2月12日におけるMAEは、郊外区間で5.64、市街地区間で5.12、全区間平均で5.42であった。(b)2013年2月21日におけるMAEは、郊外区間で6.45、市街地区間で5.04、全区間平均で5.86であった。両日ともに、市街地区間のMAEは郊外区間のそれより小さかった。

5. おわりに

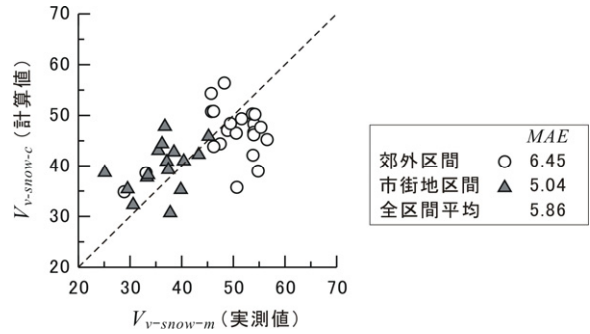
本研究では、冬期道路施策・管理の効率化を図るために、道路複合雪害が走行速度低下に及ぼす影響を評価する手法の確立を目標として、実道での走行試験を実施し、路面すべり抵抗値(HFN)、視程(L_v)、道路有効幅員(L_r)および路面平坦性(IRI)の道路雪害因子が走行速度低下率に及ぼす影響を評価するとともに、複数の道路雪害因子が同時に作用した時の走行速度低下率の計算方法を提案・検証した。

以下に、得られた知見を列挙する。

- (1) 走行速度は、HFNおよび L_v の低下ならびにIRIの増大によって微減し、これらの関係を定式化した。
- (2) (1)の単相関式を標準化することで、道路雪害因子の変化率と走行速度の低下率の関係を明らかにした。
- (3) 道路複合雪害時における走行速度低下率は、IRIが極端に悪化した区間を除けば、0~0.20の範囲を推移し、市街地区間より郊外区間の方が大きい傾向にあった。また、走行速度低下率に及ぼす影響は、郊外区間ではHFNが、市街地区間では L_r が最も大きかった。
- (4) 走行速度の計算値と実測値の平均絶対誤差は、2013



(a) 2013年2月12日



(b) 2014年2月21日

図9 走行速度の実測値と計算値の平均絶対誤差

年2月12日の試験では郊外区間で5.64、市街地区間で5.12、全区間平均で5.42であり、2013年2月21日の試験では郊外区間で6.45、市街地区間で5.04、全区間平均で5.86であった。

本研究により、HFN、 L_v 、 L_r およびIRIを同時に連続して計測することで、複数の道路雪害因子が同時に作用した時の走行速度低下率を計算できる可能性が示された。こうした評価法の完成により、冬期に走行速度の低下が大きい区間を特定するだけでなく、どの対策を講じることが走行速度の低下抑制に効果的かを判断できるようになる。これにより、冬期交通の円滑性と雪害対策の効果を考慮した費用便益分析が可能になり、今まで以上の適切な冬期道路施策・管理の実施が期待される。ただし、現時点において、本評価法には以下の課題がある。

- (i) 本走行試験で得られなかった道路条件および気象条件、特に極端に道路環境が悪化した条件におけるデータを蓄積し、 L_r の影響を考慮してモデルの適用範囲を拡張させる必要がある。
- (ii) 道路雪害因子と走行速度の関係式の線形について、十分に検証できていない。本論文では、両者の関係を一次関数で与えたが、これが道路雪害因子の取り得る範囲の全てで有効かについては検討が必要である。
- (iii) 本手法の精度を高めるためには、市街地区間と郊外区間の区分だけでなく、信号密度、車線数など

道路構造や交通量の違いを考慮して道路雪害が走行速度に及ぼす影響を標準化することが望まれる。

- (iv) 信号部での車両挙動の不確実性(通過する場合と停車する場合)を除外あるいは包括した評価法について検討する必要がある。

いずれにしても、様々な気象条件、交通条件、道路条件、および道路雪害条件におけるデータの蓄積は、本法の精度と汎用性の向上に不可欠である。今後は、上記課題の解決を目指し、走行試験を継続させたい。

参考文献

- 1) 下条晃裕, 高木秀貴: 路面雪氷が交通流に与える影響に関する基礎的研究, 土木学会年次学術講演会, 52, 244-245, 2002.
- 2) 荒川智之, 早川博, 加藤信夫: 雪氷路面が道路交通に及ぼす影響に関する研究, 土木学会年次学術講演会, 54, 372-373, 2004.
- 3) 寺内義典, 加藤哲男, 本多義明: 降積雪時における自動車通勤交通の速度とおくれに関する研究, 土木計画学研究・講演集, 22(2), 1991.
- 4) 佐々木恵一, 東本靖史, 杉木直, 内田賢悦: 冬期道路の旅行時間の変化に関する研究, 土木計画学研究・講演集, 38, 2009.
- 5) 岩佐将之: 富山における冬期交通の実態と特徴, ゆきみらい研究発表会, 2012.
- 6) 大橋幸子, 大谷悟: 常時観測データを用いた冬期の交通量及び走行速度の特性分析に関する一考察, 子通工学研究発表会論文集, 33, 57-61, 2013.
- 7) 宗広一徳, 秋元清寿, 高橋尚人, 浅野基樹, 三谷光輝: 冬期道路交通評価へのタクシードロブデータの活用 -札幌市における事例-, 北海道開発土木研究所月報, 632, 19-28, 2006.
- 8) 西山和則, 吉澤覚, 相澤誠: 除雪作業の効果検証手法について, 国土交通省北陸地方整備局管内事業研究会, 2010.
- 9) Munehiro, K., Kageyama, H., Takahashi, N., Ishida, T. and Asano, M.: Approach to optimization of winter road management operation by taxi probe data, TRB Annual Meeting, 92, 2013.
- 10) 石本敬志, 福沢義文: 峠部の路面状況, 視程, 車の速度の相互関係, 土木学会年次学術講演会, 49, 656-657, 1994.
- 11) 武知洋太, 伊東靖彦, 松澤勝, 加治屋安彦: 冬期道路環境が走行速度に及ぼす影響に関する研究, 寒地土木研究所月報, 658, 10-18, 2008.
- 12) 武知洋太, 松澤勝, 中村浩, 金子学, 川中敏朗: 冬期道路の視界と路面状況による走行速度への影響について, 寒地土木研究所月報, 691, 2-12, 2010.
- 13) 下保修, 佐々木哲郎, 宮川浩幸, 稲垣久木: 積雪時の旅行速度低下要因とその影響に関する調査, 交通工学, 22, 7-16, 1987.
- 14) 堀井雅史: 積雪都市における道路交通流特性に関する統計分析, 土木計画学研究・講演集, 14(1), 667-672, 1991.
- 15) 榎谷有三, 浦田康滋, 伊藤信之, 斉藤和夫: 北海道峠部における方向別の冬季走行速度について, 交通工学研究発表会論文報告集, 20, 29-32, 2000.
- 16) 齋藤幸雄, 水島昭一, 丸山輝彦: 冬期路面情報収集・旅行速度の推定とその利用法, ゆき, 45, 58-63, 2001.
- 17) 札幌市: 区域区分(市街化区域と市街化調整区域の区分)等の見直しについて, <http://www.city.sapporo.jp>.
- 18) 北海道開発局道路計画課: 平成17年度全国道路交通情勢調査, 12-43, 2005.
- 19) 徳永ロベルト, 高田拓哉, 高橋尚人, 浅野基樹: 路面のすべり抵抗値を用いた冬期道路マネジメント手法の高度化に関する研究, 土木計画学研究発表会講演集, 41, 2010.
- 20) 福沢義文, 竹内政夫: 車載型視程計の開発について, 開発土木研究所月報, 464, 12-18, 1992.
- 21) 大上哲也, 住田則行, 三浦豪, 小宮山一重, 山崎貴志: レーザースキャナーを用いた冬期道路有効幅員の計測について, 北海道の雪氷, 31, 85-88, 2013.
- 22) 中島繁則, 川村彰, 坂田光児, 山崎元也, 谷岡和範: 高速道路の維持管理に向けた新小型IRI測定システムの開発, 交通工学, 44, 2, 49-56, 2009.

(2014.7.1 受付)

EFFECTS OF MULTIPLE SNOW HINDRANCES ON ROAD TRAFFIC SPEED

Akihiro FUJIMOTO, Roberto TOKUNAGA, Hirotaka TAKECHI, Noriyuki SUMITA and Kimio MARUYAMA

This study aims at helping to optimize winter road measures and management. Toward this, field tests were conducted to identify the degree to which each snow-related driving hindrance, such as reductions in road surface skid resistance, visibility, road effective width and road surface evenness, affected the traffic speed. Additionally, we propose a calculation method for traffic speed at the time of multiple simultaneous snow hindrances.

It was found that the traffic speed decreases with decreases in road surface skid resistance and in road effective width and decreases with increases in road surface evenness. These relationships were determined separately for urban sections and suburban sections. These results make it possible to calculate the rate of reduction in traffic speed due to the multiple snow hindrances and to calculate the effect of the each snow hindrance on the rate of reduction in traffic speed.