

雪氷路面における安全追越視距に関する研究*

A Study on Safe Passing Sight Distance on the Snowy and Icy roads*

内田 賢悦^{**}, 岸 邦宏^{***}, 中岡 良司^{****}, 佐藤 馨一^{*****}

By Ken-etsu UCHIDA, Kunihiro KISHI, Ryouji NAKAOKA, Keiichi SATOH

1.はじめに

道路構造令では、対向する2車線道路を走行する自動車に追越機会を与えるために、十分な見通しの確保された区間を設けることを規定している。すなわち、対向2車線道路の線形設計に当たっては追越視距を考慮しなければならない¹⁾。

一方、北海道のような積雪寒冷地では、冬期に雪氷路面が出現する。雪氷路面では、自動車の制動停止視距が乾燥路面に比べて大きくなる。道路構造令の制動停止視距では、雪氷路面の影響を路面摩擦係数の低下として考慮している。

雪氷路面では、自動車は乾燥路面に比べて停止・加速が困難になる。自動車の加速度を考慮した追越視距に対しても、その影響は大きいと考えられる。したがって、制動停止視距と同様に、雪氷路面の摩擦係数を考慮した追越視距の基準値が必要である。

本研究では雪氷路面を考慮した安全追越視距推計モデルを構築した。すなわち、雪氷路面の影響として、雪氷路面での路面摩擦係数を計測し、さらに自動車の走行性能曲線より加速度を算出し、安全追越視距を推計している。

2.北海道での道路・交通状況

北海道での市街地を除く、都市間を連絡する郊外部の2車線と4車線以上の一般道道以上の道路は、総延長約14,800km(平地部約9,900km,山地部約4,900km)である。そのほとんどが2車線道路であ

り、14,400kmと97.6%を占めている。

北海道では、冬期に正面衝突事故、追突事故が多く発生する。さらに、正面衝突事故の約6割が直線区間で起こっている。追越を原因とする交通事故は、すべての事故件数の約8%であるが、その致死率は約17%と高い。その他の事故原因による交通事故の致死率が7%であるから、2倍以上の危険度といえる²⁾。

北海道における路面状況別の交通事故発生件数は、凍結路面で50.7%と最も多い。さらに冬期における車両相互事故の割合は約86%であり、夏期の割合が80未満であることから、冬期には車両相互事故の割合が大きくなることがわかる³⁾。ここでの冬期とは、11月～3月までの期間である。

北海道の人々は、夏期における自動車の運転をそのまま、冬期の積雪路面でも行おうとする傾向がある。夏期に60km/hで走行していた道路では、冬期にも同じ速度で走行しようとする人が多い。このことは、1年のうちに4～5ヶ月が雪氷路面となる気候条件での運転に対する馴れが影響していることが考えられ、このことが交通事故の一因となっていると推察される。

3.安全追越視距推計モデル

(1)雪氷路面における加速度の算定

自動車の駆動力 T が走行抵抗 R を上回った場合、すなわち $T-R>0$ のとき、自動車は加速する。その時の加速度 $a[\text{m/s}^2]$ は、式(3.1)より求める。

$$a = g \cos \theta (T - R) / (W + \Delta W) \quad [\text{m/s}^2] \quad (3.1)$$

ここで、 $W, \Delta W, g, \theta$ はそれぞれ、車両重量、車両回転部相当重量、重力加速度、登坂勾配である。 $T - R > \mu W_R$ の場合はタイヤスリップが生じるため、得られる最大加速度 $a_{\max}[\text{m/s}^2]$ は、式(3.2)より求める。

$$a_{\max} = g \cos \theta \mu W_R / (W + \Delta W) \quad [\text{m/s}^2] \quad (3.2)$$

*キーワード 交通制御, 交通管理, 交通安全

**学生員 修(工) 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻(札幌市北区北13条西8丁目, Tel 011-706-6822, Fax 011-726-2296)

***正会員 博(工) 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻(札幌市北区北13条西8丁目, Tel 011-706-6216, Fax 011-726-2296)

****正会員 工博 日本赤十字北海道看護大学(北海道北見市曙町664-1, Tel 0157-66-3381, Fax 0157-61-3125)

*****フェロー 工博 北海道大学大学院工学研究科都市環境工学専攻(札幌市北区北13条西8丁目, Tel 011-706-6209, Fax 011-726-2296)

ここで、 μ, W_R はそれぞれ路面摩擦係数、駆動輪の分担荷重である。 W_R は自動車の駆動方式によって異なる(式 3.3)。

$$\begin{aligned} W_R/W &= 1.0 & \text{4WD 方式} \\ W_R/W &= 0.6 & \text{FF 方式} \end{aligned} \quad (3.3)$$

登坂勾配が小さいときは、 $g \cos \theta \approx g$ とできるため、式(3.2)は、式(3.4)となる。

$$a_{\max} = g \mu_i W_R / (W + \Delta W) \quad [\text{m/s}^2] \quad (3.4)$$

本モデルでは JIS 規格を参考にし、 $\Delta W/W = 0.08$ (乗用車) とした。

駆動力 T は、最大時出力を $H[\text{PS}]$ 、速度を $V[\text{km/h}]$ 、最大回転時速度を $V_m[\text{km/h}]$ 、および効率を η とし、式(3.5)より求める¹⁾。これらの値は、自動車の走行性能曲線図より得られた値を用いることにする。

$$T = \frac{270}{V_m} H \eta \{1.1 - 1.1(\frac{V}{V_m} - 0.7)^2\} \quad [\text{kg}] \quad (3.5)$$

走行抵抗 R は、空気抵抗、路面との転がり抵抗、重力抵抗が主要なものである。一般的に走行抵抗 R は、式(3.6)より求める¹⁾。

$$R = W \sin \theta + W \cos \theta \mu_r + \lambda S V^2 \quad [\text{kg}] \quad (3.6)$$

ここで、 μ_r は転がり抵抗係数、 λ は空気抵抗係数、 S は車両前面投影面積、 θ は登坂勾配である。登坂勾配 θ が小さいとき、 $\sin \theta \approx i/100$ 、 $\cos \theta \approx 1.0$ となるため、式(3.6)は式(3.7)で表される。

$$R = (W/100) i + W \mu_r + \lambda S V^2 \quad (3.7)$$

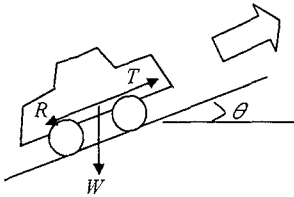


図1. 駆動力と走行抵抗

(2) 追越視距の定式化

追越視距を算定するに当たり、以下に示す2つの仮定を設けた。

- ・ 2車線道路において追越車が被追越車と等しい速度で追従走行し、そこから追越動作を開始する。
- ・ 追越する際は追越速度まで加速する。

本モデルでの安全追越視距は、以下に示す4つの距離を合計したものである。

d_1 : 追越車が追越可能と判断して対向車線に進出し、加速しながら対向車線を走行する距離；

被追越車の速度を $V_0[\text{km/h}]$ 、平均加速度を $a[\text{m/s}^2]$ および加速時間を $t_1[\text{s}]$ とし、式(3.8)より求める。

$$d_1 = V_0 t_1 + (1/2) a t_1^2 \quad (3.8)$$

d_2 : 追越車が対向車線において追越速度で定速走行し、被追越車との安全な車頭間隔を保ち、元の車線に戻るまでに走行する距離；

追越速度を $V[\text{km/h}]$ 、定速走行時間を $t_2[\text{s}]$ とし、式(3.9)より求める。

$$d_2 = (1/3.6) V t_2 \quad (3.9)$$

d_3 : 追越完了時での追越車と対向車との車間距離；道路構造令での実測データとする(表1)。

表1. 安全距離

追越車の速度(km/h)	100	80	60	30
被追越車の速度(km/h)	80	65	45	20
車間距離(m)	80	60	40	20

d_4 : 追越車が追越を完了するまでに対向車が走行する距離；

追越車が追越を始めてから、完了するまでに要する時間が $t_1 + t_2[\text{s}]$ より、式(3.10)より求める。

$$d_4 = (1/3.6) V (t_1 + t_2) \quad (3.10)$$

さらに、加速時間 $t_1[\text{s}]$ の間に被追越車が走行する距離 d_a' (式(3.11)) と $t_1 + t_2[\text{s}]$ の間に被追越車が走行する距離 d_a (式(3.12)) を考慮し、次に示す2つの場合で考える。

$$d_a' = (1/3.6) V_0 t_1 \quad (3.11)$$

$$d_a = (1/3.6) V_0 (t_1 + t_2) \quad (3.12)$$

I) $2L_1 + d_a' < d_1$ の場合 ($L_1 \leq L_2$)

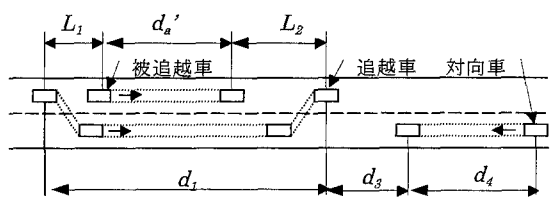


図2. 追越視距 (パターン1)

追越速度で定速走行しなくても、安全な車両間隔 (L_1) を保てる ($L_1 \leq L_2$) 場合である(図2)。つまり、追越車が追越速度まで加速した時点で、被追越車との安全な車間距離を確保できるため、 $d_2 = 0$ となる。 L_1 は、自動車が追従走行している状態において、先行車が急停止しても安全であるための追従間隔とする。しかし、雪氷路面では L_1 の上限を 100m と

する。 L_1 は運転者の反応時間を 1 秒、停止時の余裕長を 0[m]として、式 (3.13) より求める¹⁾。ここで、 S_m は追従時の車頭間隔(m)、 l は停止時の余裕長[m]、 v は走行速度[km/h]、および μ は路面摩擦係数である。 L_1 は、走行速度の増加と路面摩擦係数の低下にともない増加するが、雪氷路面では 100m よりも大きな値はとらない。

$$S_m = l + \frac{v}{3.6} + \frac{v^2}{2g\mu \cdot 3.6^2}$$

$$L_1 = S_m \quad \text{乾燥路面}$$

$$L_1 = \min(S_m, 100) \quad \text{雪氷路面} \quad (3.13)$$

II) $2L_1 + d'_a > d_1$ の場合 ($L_1 = L_2$)

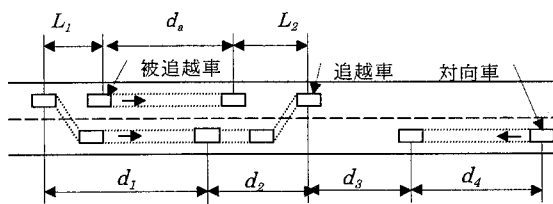


図3. 追越視距 (パターン2)

追越速度で定速走行し、安全な車両間隔を保ち、走行車線へ戻る場合である(図3)。つまり、追越速度まで加速した後に、定速走行を必要とするため、 $d_2 > 0$ となる。

4. 追越行動モデルの改良点

道路構造令による追越行動モデルと比較した本モデルの改良点を以下に挙げる。

1) 追越車が加速しながら対向車線に移行するとして追越視距を算定していること。

そのため、追越完了までに、定速走行が必要な場合と、そうでない場合とを区別した追越視距の算定が可能となる。道路構造令では、追越車が走行車線で追越速度まで加速してから、対向車線に移行すると仮定している。自動車が追越禁止区間を走行し、途中で追越区間になったとき、走行車線で十分に加速可能な車間距離を確保していることはまれであり、この仮定は現実的ではない。実際に追越を行うときは、加速しながら対向車線に移行するのが通常である。

2) 雪氷路面における自動車の加速度を算定していること。

雪氷路面では、路面摩擦係数が著しく低下し、乾燥路面での加速性能は発揮できない。よって、雪氷路面での自動車の加速度を算定する必要がある。

3) d_a に追越開始から終了までの全時間($t_1 + t_2$)が考慮されていること。

道路構造令では实际的でないという理由で、 d_1 を $2/3d_2$ と仮定している。特に雪氷路面では、自動車の操舵性および制動性の低下があるため、追越動作を開始して、途中でやめることは危険を伴う。そのため、 d_a は追越車が追越を開始してから、完了するまでの全時間 ($t_1 + t_2$) で算定する必要がある。

5. 雪氷路面での路面摩擦係数

自動車の加速度を算定するに当たり、路面摩擦係数を決定する必要がある。そこで、1995年12月14～27日にかけて、計4回路面摩擦係数の計測を行った。計測は、1日目の15時から20時まで、2日目の7時から20時までの2日間を1単位とした。計測場所は、札幌市北区あいの里の道道札幌広島環状線における3つの信号交差点部である。表2に12月14～15日と20～21日(気温0℃以下の日)に行った計測値の統計量を示す。ここで、路面摩擦係数はスキッドナンバーで示している。

表2. スキッドナンバー計測値の統計量

調査日	平均	標準偏差	データ数	最大値	最小値
12/14,15	32.8	8.7	36	46	13
12/20,21	31.1	6.6	36	47	20

表2より、12月14～15日の計測では、スキッドナンバーの最小値が約10となっている。さらに平均値では、両調査日とも約30である。そこで、アイスバーン路面をスキッドナンバーの最小値、さらに雪氷路面を平均値とし、路面摩擦係数を設定した。スキッドナンバーが10の出現確率は、特別に低いわけではなく、北海道の冬期間には、特に朝と夜の気温が低下するとき、このようなスキッドナンバーが得られる道路は多い。また、比較のため乾燥路面の路面摩擦係数もとあげた(表3)。これらの路面摩擦係数を用いて自動車の加速度を求めた。

表3. 路面摩擦係数

路面状態	乾燥	積雪	アイスバーン
摩擦係数	0.8	0.3	0.1

6. 追越視距の算定

追越視距を算定するに当たり、モデル車としてホンダのシビックフェリオ(E-EK3 1493cc, FF 駆動式)をとりあげた。走行抵抗の算出に当たっては、表 4 に示す値⁹⁾を用いた。

表 4. 走行抵抗算出に用いた値

車体重量	転がり抵抗係数	空気抵抗係数	車体前面面積
1.235t	0.013	0.0017	1.97m ²

登坂勾配を 0%として追越視距を算定したのが表 5 である。平均加速度は、走行性能曲線図³⁾から算出した。追越車の速度が 80km/h、被追越車の速度が 65km/h というのは、一般道での法定速度より速く、さらに冬期にこのような高速走行は行わないと感じる人も多いと考えられるが、北海道での実態ではあり得ると考え、設定した。

表 5 より乾燥路面、積雪路面、アイスバーン路面の順に追越視距が大きくなっていることが明らかになった(たとえば、追越車の速度が 60km/h、被追越車の速度が 45km/h、道路の縦断勾配が 0%の場合で、乾燥路面、積雪路面、アイスバーン路面の追越視距がそれぞれ、450m、736m、1729m となっている)。この理由は、雪氷路面では加速度の低下があるため、追越速度に達するまで時間が大きくなり、さらに路面摩擦係数の低下により被追越車との車両間隔を大きくとる必要があるからである。

表 6 に登坂勾配を 0%, 3%, 6%としたときの追

越視距を示す。表 6 より道路の縦断勾配の影響は乾燥路面では大きく、雪氷路面ではそれほど大きくなり(たとえばアイスバーン路面では、道路の縦断勾配による追越視距の差はなく、一定である)。この理由として、雪氷路面での路面摩擦係数の低下が挙げられる。すなわち、自動車の駆動力が走行抵抗を上回っても、路面摩擦力以上になるとタイヤスリップが生じるため、自動車本来の駆動力が発揮されないからである。

7. おわりに

本研究では、追越視距推計モデルを構築して、雪氷路面における安全追越視距を算出した。追越視距は路面摩擦係数によって大きく異なるが、運転者が的確にその値を知ることは現実的に不可能である。さらに、路面摩擦係数は天候により時々刻々と変化するものと考えられる。そのため、積雪寒冷地における追越視距は、交通事故防止の観点からも、冬期の路面摩擦係数の低下を考慮して設定する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用，pp252～272，1983。
- 2) 斉藤和夫ほか：北海道における正面衝突事故に関する統計的分析，土木学会北海道支部論文報告集，第 54 号(B)，pp378～383，1998。
- 3) 北海道開発局：平成 9 年度版北海道の交通事故統計ブック，1998。
- 4) 新型シビックフェリオのすべて，三栄書房，1995。

表 5. 追越視距の比較 (勾配 0%)

	勾配 0%								
	乾燥路面 ($\mu=0.8$)			積雪路面 ($\mu=0.3$)			アイスバーン ($\mu=0.1$)		
追越車および対向車の速度 (km/h)	80	60	40	80	60	40	80	60	40
被追越車の速度 (km/h)	65	45	30	65	45	30	65	45	30
平均加速度 (m/s ²)	1.135	1.889	1.73	1.135	1.342	1.342	0.447	0.447	0.447
加速時間 t1 (s)	3.7	2.2	1.6	3.7	3.1	2.1	9.3	9.3	6.2
速度一定走行時間 t2 (s)	17.7	10.2	8.8	34.4	18.0	14.0	45.7	41.9	30.0
対向車線走行時間 t1+t2 (s)	21.4	12.4	10.4	38.0	21.1	16.1	55.0	51.3	36.2
追越前の車両間隔 L1 (m)	38.8	22.5	12.8	73.5	39.1	20.1	100.0	92.2	43.8
被追越車走行距離 da = V0*t1(m)	66.3	27.6	13.4	66.3	38.8	17.2	168.3	116.5	51.8
追越車加速走行距離 d1 (m)	73.9	32.2	15.6	73.9	45.3	20.1	187.7	135.9	60.4
追越車速度一定走行距離 d2 (m)	394.0	170.5	97.6	763.6	299.6	155.4	1014.9	698.9	332.9
追越後の車両間隔 L2 (m)	38.8	22.5	12.8	73.5	39.1	20.1	100.0	92.2	43.8
対向車線走行距離 d1+d2 (m)	467.9	202.7	113.2	837.5	344.9	175.5	1202.6	834.9	393.3
対向車車間距離 d3 (m)	60.0	40.0	25.0	60.0	40.0	25.0	60.0	40.0	25.0
対向車走行距離 d4 (m)	475.5	207.3	115.5	845.2	351.4	178.4	1222.0	854.3	401.9
安全追越距離 d1+d2+d3+d4 (m)	1003	450	254	1743	736	379	2485	1729	820

表 6. 追越視距の比較 (勾配変化)

	乾燥路面 ($\mu=0.8$)			積雪路面 ($\mu=0.3$)			アイスバーン ($\mu=0.1$)		
	80	60	40	80	60	40	80	60	40
追越車の速度 (km/h)	80	60	40	80	60	40	80	60	40
被追越車の速度 (km/h)	65	45	30	65	45	30	65	45	30
縦断勾配 0% での必要追越距離 (m)	1003	450	254	1743	736	379	2485	1729	820
縦断勾配 3% での必要追越距離 (m)	1039	458	258	1778	736	379	2485	1729	820
縦断勾配 6% での必要追越距離 (m)	1111	470	265	1845	737	383	2485	1729	820