

積雪寒冷地における「2+1」車線道路の設計技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 25～平 28

担当チーム：寒地交通チーム

研究担当者：石田樹、高橋尚人、宗広一徳、高田哲哉、影山裕幸

【要旨】

本研究は、積雪寒冷地における「2+1」車線道路の設置効果を評価するために、交通流マイクロシミュレーションプログラム「SIM-R」を用いた感度分析を行った。時間交通量は、100～1,000台/hで変化させた。路面状況は、乾燥と圧雪の2条件とした。評価指標としては、平均旅行速度、追従車率、追従車密度を用いた。その結果、時間交通量が増加するに従って、平均旅行速度は低下し、追従車率と追従車密度が増加することが明らかになった。追従車密度の活用による積雪寒冷地の道路のサービス水準を提案した。

キーワード：付加車線、評価指標、道路構造

1. はじめに

積雪寒冷地に位置する北海道における一般国道の総延長は約 6,675km¹⁾にも及んでいる。道路構造別で見ると、一般国道の総延長の 90%以上は、2車線道路が占めている。北海道では、冬期の降雪は、例年 11月～3月までの約 5ヶ月間に亘り断続的に続いている。道路の路面状態は、通常の乾燥路面に加えて、冬期には雪で覆われる圧雪路面が出現する頻度が多い。このため、夏期の乾燥路面状態では交通量の増加に伴い走行性が低下するが、冬期には圧雪路面等の路面状態の悪化によりさらに走行性が低下する。しかしながら、2車線・2方向道路においては、追越しの機会が制限される。このため、低速車両を先頭とし、車群が形成される頻度が多くなる特徴を有している。

北海道における郊外部の一般国道において、道路利用者へのサービスの質を向上させるために、既存の2車線道路に連続的に付加車線を設置する手法、すなわち「2+1」車線道路²⁾への改良が進められている。例えば、一般国道 40号稚内市更喜苦内道路は、平成 26年度中の開通が見込まれている。既設道路を活用した特徴ある整備が進められた。このような背景も踏まえ、本研究では以下を明らかにすることを目的とする。

- 「2+1」車線道路の性能評価に関する既往研究のレビューを行う。
- 道路の性能評価指標を考察するとともに、積雪寒冷地における「2+1」車線道路のサービス水準を

提案する。

- 一般国道 40号稚内市更喜苦内道路を事例研究とし、実車走行データを取得する。

2. 研究方法

2.1 既往研究のレビュー

国内外の研究機関における2車線道路並びに「2+1」車線道路の性能評価に関する研究をレビューした。また、寒地土木研究所について過年度に実施した交通流マイクロシミュレーションに関する研究についても加えた。

2.2 実車走行実験

一般国道 40号更喜苦内道路(L=15.8km、KP225.5～KP241.3)を対象とし、プローブ車両による実車

表-1 実車走行実験の概要

実験日	平成26年1月29日
天候	曇り
路面状態	圧雪
被験者	10名
走行回数	2回
データ項目	速度(km/h)
	加速度(m/s ²)
	RRI
	LP面積

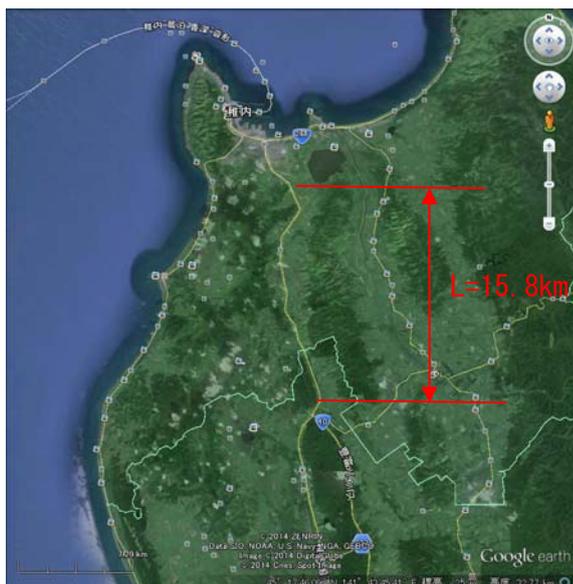


図-1 走行実験区間

(一般国道 40 号稚内市更喜苦内道路)

走行実験を行った。実験概要は表-1、走行実験区間は図-1 に示す通りである。データ計測は、ドライブレコーダー（ツーフィット社、46-T300）と調査車両に搭載、携帯型自動血圧心拍数計測器（polar 社、RS8000-cx）を被験者に装着し、実施した。なお、表-1 中の RRI と LP 面積とは、携帯型自動血圧心拍数計測器の取得データより得られるドライバーのストレスを表す数値である。

また、一般国道 40 号稚内市更喜苦内道路に定点カメラを設置し、除雪車走行の前後の交通実態を観測した。



図-2 ドライブレコーダーの外観

2.3 実験データの整理

被験者による実車走行実験で取得したデータの一次集計・整理を行った。整理したデータは、被験者毎に速度、加速度、RRI、LP 面積を整理した。また、除雪車走行の前後の交通実態を整理した。



(1) データ保存部

(2) 計測部

図-3 携帯型自動血圧心拍数計測器

3. 研究結果

3.1 2車線道路の性能評価指標

道路は、利用者に対し、交通の円滑性、快適性、定時性、信頼性、安全性等多くの側面からサービスを提供しており、各々に対応するサービス水準の評価指標の開発が行われている。米国では、米国交通運輸研究会議（Transportation Research Board）が出版する Highway Capacity Manual 2010³⁾(HCM 2010)において、サービス水準（Level of Service）の考え方がまとめられている。HCM 2010 では、2車線道路のサービス水準の具体的な評価指標として、平均旅行速度（Average Travel Speed; ATS）と追従時間率(Percent Time-Spent-Following: PTSF)の2つを挙げている。サービス水準による評価は、計画・設計段階から運用段階まで一環して行われる。計画・設計段階では、主に計画交通量に対して目標とするサービス水準を実現するために必要な車線数等が決定され、運用段階では、目標のサービス水準を達成しているかどうかの

チェックが行われる。

関連した既往研究として、Brilonら⁴⁾は、ドイツにおける地方部の2車線道路を事例とし、ドイツの経験として性能評価について論じた。Al-KaisyとKarjala⁵⁾は、様々な2車線道路の評価指標の既往研究をレビューし、各指標の優位性について論じた。既往研究等も考慮し、2車線道路のサービスの質を評価するに際し、道路利用者への分かりやすさの観点から、以下の評価指標を取り上げた。また、新たな評価指標として、ストレス指標のデータ取得及び適用を検討した。

(1) 平均旅行速度

平均旅行速度(ATS)は、HCM 2010における2つの性能指標のうちの1つである。ある車両が特定区間を走行するときの平均速度を意味する。この指標は、交通技術者がしばしば使用するものであるが、現地での計測が簡単である特長を有し、また、一般ドライバーからも、分かりやすい指標といえる。

(2) 追従車率

追従車率は、一定区間の交通流における追従車両のパーセントで定義される。追従車両とは、他の車両の後方を比較的短い車頭間隔で、追従する車両のことである。この性能指標は、現地で簡単に計測することができるため、HCM2010におけるもう1つの評価指標である追従時間率(PTSF)を現場実務上、代替できる指標として、HCM 2010において用いられている。なお、HCM 2010では、「前車と後車の車頭間隔が3秒以下」である場合に、追従状態であると定めている。

(3) 追従車密度

追従車密度とは、1kmの単位長さの方向別交通流における追従車両の台数で定義される。Van Asは、南アフリカにおける2車線道路を建設する手続きの一部として、この計測単位の使用を報告⁶⁾している。この評価指標の特長は、追従車率とは異なり、この評価指標が交通状況の影響を効率的に反映できることである。交通密度を現地で直接計測することは難しいが、追従車率の計測場所において、交通量観測と速度観測から算定することが可能である。また、交通量と速度は、簡易トラフィックカウンター等による計測結果の応用により算定できる。また、CatbaganとNakamuraの既往研究⁷⁾では、日本における2車線道路の計測結果から、2車線道路のサービス水準の評価として、追従車密度の有効性を言及している。

(4) 新たな指標 (ストレス指標)

① RRI_M

R波は、心電図の波の1つであり、血液を左心室から大動脈に送り出すときに生じる。R波とR波の間隔はRRI(R-R間隔)と呼ばれている(図-4)。RRIは常に一定ではなく、体位やストレスなどの影響を受けて変動する。そのためストレス計測には、R波と次のR波の間隔であるR-R interval(RRI)が用いられ、外的要因によりストレスを受けると交感神経の活動が増大することで、この心拍数が短縮し、それに伴いRRIも短縮する。

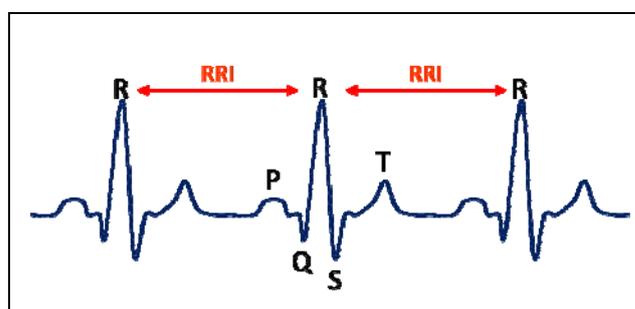


図-4 RRI (R-R interval)

RRI_M(中央値)とはストレスの強弱のことで、休息時のRRI_{MB}から評価対象運動時のRRI_{MA}値との差分を計測する方法などがある(図-5)。休息時のRRI_{MB}を各被験者のベースラインと設定し、評価対象運動時のRRI_{MA}を測定値とする。数値が小さい(減少する)とき、負荷が大きい(増加)と判断される。

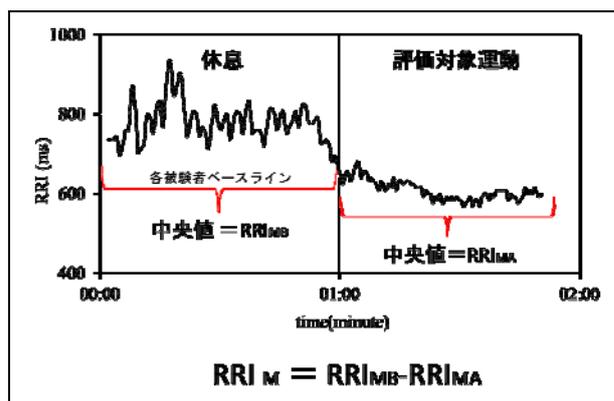


図-5 RRI_M 模式図

② LP 面積

LP面積とは、横軸にn番目RRIをとり、縦軸にn+1番目RRIをとることで楕円の面積を算出し、ストレスを計測する手法である。LP面積とは、ス

トレスのばらつき・分布特性のことで、ばらつきが大きいときはストレス値が分散されている状態のため、比較的平常時の感覚であるが、ばらつきが小さいときはストレス値がある程度一定となり、何らかの負荷がかかっている状態となる（図-6）。

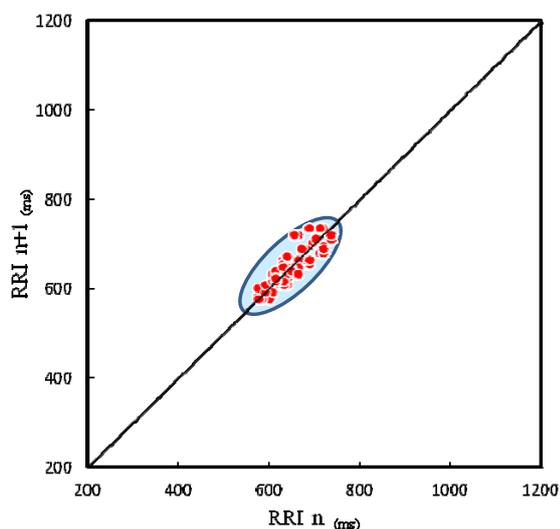


図-6 LP面積法

上述のストレス指標を計測による道路構造の評価について、本研究で実車走行実験を実施した。

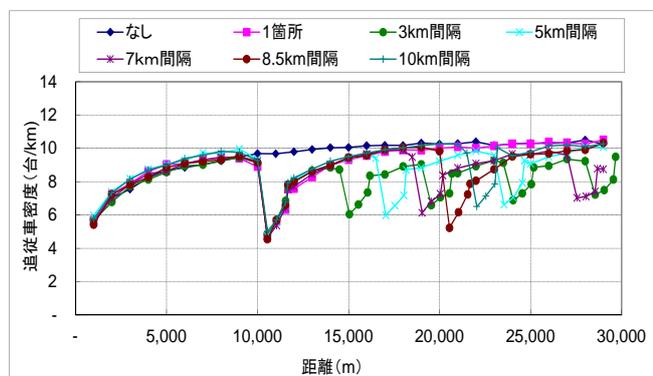
3.2 交通流マイクロシミュレーション結果のレビュー

寒地土木研究所では、過年度取得の交通データを踏まえ、交通流マイクロシミュレーションプログラム「SIM-R」を用いた感度分析³⁾を実施した。時間交通量は、100～1,000台/hで変化させた。対象とした道路構造は以下の通りである。

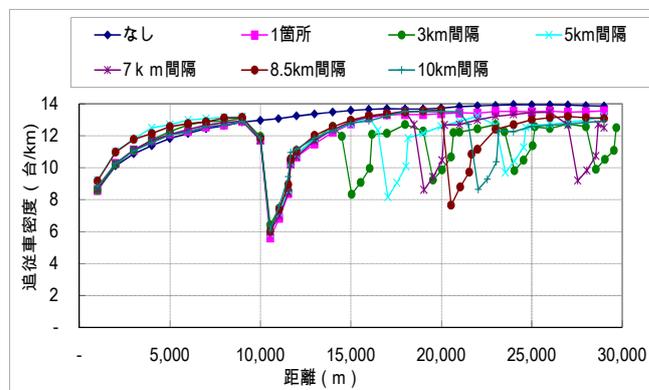
- ・ 2車線道路
- ・ 付加車線設置 1箇所
- ・ 付加車線設置 (3km間隔、5km間隔、7km間隔、8.5km間隔、10km間隔)

路面状況は、乾燥路面と圧雪路面の2条件とした。追従の条件として、乾燥路面では車頭間隔3秒、圧雪路面は車頭間隔4.5秒を閾値とした。評価指標としては、平均旅行速度、追従車率、追従車密度を用いた。その結果、時間交通量が増加するに従って、平均旅行速度は低下し、追従車率と追従車密度が増加することが明らかになった。

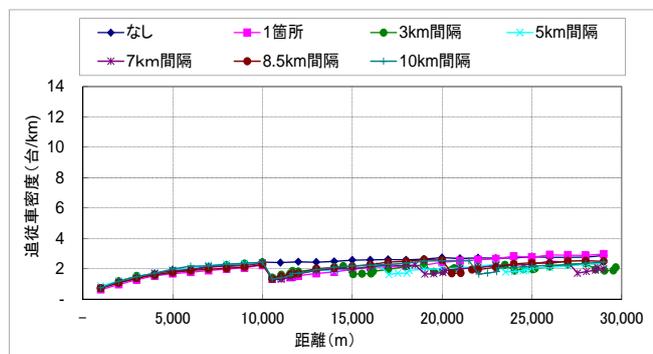
図-7は、乾燥路面と圧雪路面における時間交通量200台/hと600台/hにおける追従車密度を評価指標とした感度分析の結果を示している。付加車線の設置により、追従車密度が低下し、道路のサービスの質が向上する傾向が確認できた。



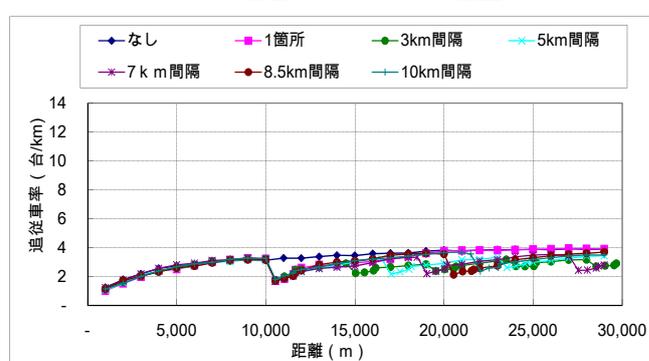
(1) 夏期・乾燥路面，時間交通量：600台/h



(2) 冬期・圧雪路面，時間交通量：600台/h



(3) 夏期・乾燥路面，時間交通量：200台/h



(4) 冬期・圧雪路面，時間交通量：200台/h

図-7 交通シミュレーション結果

3.3 積雪寒冷地におけるサービス水準 (LOS) の提案

サービス水準に関する既往研究においては、気象の影響や路面状態の変動について考慮されたものはなかった。HCM2010によれば、2車線道路のサービス水準は、基本的に平均旅行速度と追従時間率を評価指標として表されている。同サービス水準は、通常、乾燥路面上での観測結果に基づいて設定されたものである。(図-8 参照)

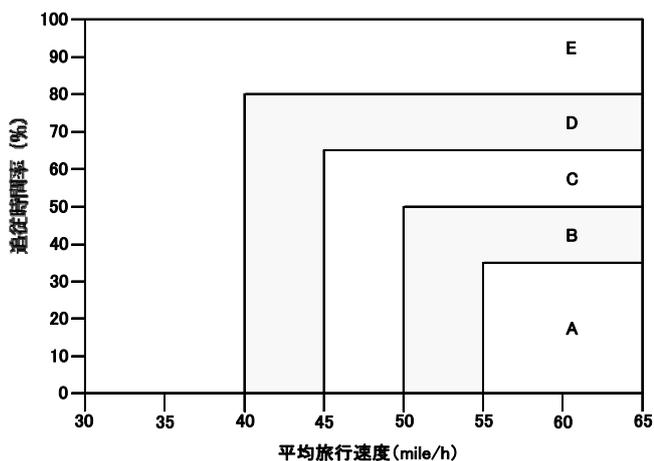


図-8 HCM2010による2車線道路のサービス水準

しかし、積雪寒冷地においては、長期間に亘り降雪が記録されることから、冬期の圧雪路面状態におけるサービス水準についても設定されることが望ましい。前述したように、平均旅行速度、追従率、及び追従車密度は、評価指標として活用できる。本研究においては、追従車密度によるサービス水準の構築を試みる。追従車密度を選択した理由は、他の指標と比較し、適切な感度により、時間交通量や路面状態のような交通条件及び気象の影響を表すからである。サービス水準の評価指標として追従車密度の有効的な利用については、すでに、南アフリカ、ドイツ、日本などの研究者により報告されている。表-3は、ドイツの事例⁹⁾に基づき、地方部の2車線道路を対象とした追従車密度によるサービス水準の提案を示している。表-4は、2車線道路及び「2+1」車線道路(3km 間隔)を対象とし、時間交通量別並びに路面状態別(乾燥路面、圧雪路面)の追従車密度を示している。本表中の追従車密度の値は、起点から20kmの位置における交通流マイクロシミュレーションの結果に基づいている。例えば、時間交通量500台/hのとき、乾燥路面状態の2車線道路ではサービス水準Cであるが、同じく「2+1」車線道路ではサービス水準Bとなる。さらに、時間交通量500台/hのとき、圧雪路面状態の2車線道路では

サービス水準Dであるが、同じく「2+1」車線道路では、サービス水準Cとなる。目標となるサービス水準を設定することにより、当該地域の気象特性に基づく路面状態も考慮し、道路構造(付加車線の設置間隔など)を決定することが可能となる。

表-3 追従車密度によるサービス水準の提案(2車線道路)

サービス水準	追従車密度 [台/km・車線]
A	≤3
B	≤6
C	≤10
D	≤15
E	≤20
F	>20

表-4 道路構造、時間交通量別の追従車密度

時間交通量 (台/時/方向)	乾燥路面(夏期)		圧雪路面(冬期)	
	2車線道路	2+1車線道路 (3km 間隔)	2車線道路	2+1車線道路 (3km 間隔)
100	1.1	0.7	1.5	0.9
200	2.7	1.8	3.8	2.5
300	4.5	2.8	6.3	4.1
400	6.3	4.2	8.7	5.7
500	8.2	5.4	11.2	7.6
600	10.3	7.1	13.7	9.9
700	12.2	8.3	16.4	11.8
800	14.5	9.9	19.1	14.0
900	16.5	11.0	21.4	15.4
1,000	18.6	12.8	23.8	17.5

注)

LOS	凡例
A	浅緑
B	黄緑
C	黄
D	オレンジ
E	赤
F	黒

3.4 実車走行実験

3.4.1 プローブ車両走行実験

一般国道40号稚内市更喜苦内道路(L=15.8km)は、付加車線が断続的に続く「2+1」車線道路構造により改良が進められている。実験を行った平成26年1月29日現在で工事中であった。中央分離構造もガードレール区間と広幅緑地帯(写真-1)などが採用されている。同道路の一部供用の段階での被験者参加によるプローブ車両走行実験により、速度、



(1) ガードレール

(2) 広幅緑地帯

写真-1 一般国道40号稚内市更喜苦内道路

上り

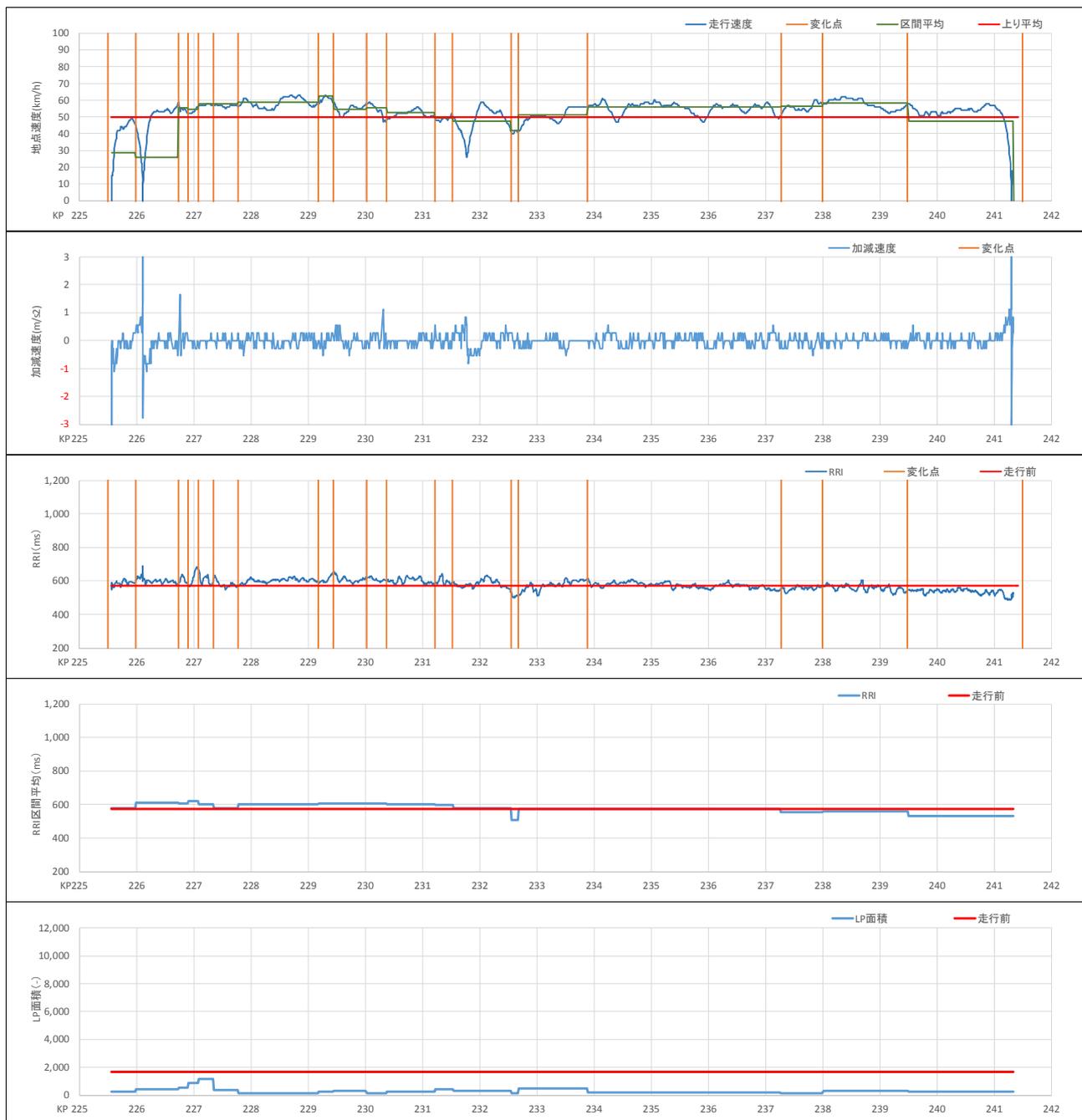


図-9 プローブ車両走行実験によるデータ取得例

加速度、RRI、LP面積のデータ取得を行った。本年度は、データ取得の一次集計として、被験者毎のデータ集計を行った。次年度以降に、道路構造断面要素や路面状態も加えたクロス集計を行い、データ分析の深度化を行う予定である。

3.4.2 車線運用実態調査

一般国道40号稚内市更喜内道路に定点カメラを設置し、除雪車走行の前後の交通実態を観測した。定点カメラによる除雪車走行の観測記録は、写真-2、写真-3の通りである。また、除雪後には付加車線の車線利用率が向上した(図-10)



写真-2 除雪グレーダーの走行



写真-3 除雪トラックの走行

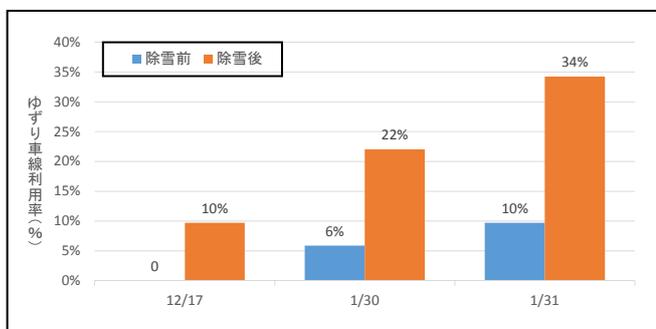


図-10 除雪前後の付加車線利用率の変化

4. まとめ

(1) 道路の性能を表す評価指標の有効性

2車線道路並びに「2+1」車線道路の性能を表す評価指標として、平均旅行速度、追従車率、追従車密度を取り上げ、各指標の有効性について検討した。本研究の交通流シミュレーションの感度分析結果を踏まえ、3つの評価指標ともに、道路のサービスレベルの評価として貢献していることが明らかにされた。追従車密度は、2車線道路並びに「2+1」車線道路の効率性を評価するに際し、より適

切かつバランスのよい評価指標であると考えられる。付加車線の間隔や延長の設計評価のため、乾燥路面と圧雪路面別にサービス目標値として追従車密度を活用することは有効である。

また、新たな評価指標として、ストレス指標を用いた道路構造評価を検討に着手した。

(2) 2車線道路及び「2+1」車線道路の乾燥路面並びに圧雪路面におけるサービス水準

積雪寒冷地における2車線道路並びに「2+1」車線道路の効率性を評価するに際しては、通常の乾燥路面状態に加えて、冬期間の圧雪路面状態も考慮し、検討することが必要不可欠である。圧雪路面状態では、乾燥路面状態と比べて、当該道路の性能は低下する。乾燥路面状態並びに圧雪路面状態において、当該道路の目標とするサービス水準を定め、その道路が発揮する性能を予め評価することが求められる。本研究では、追従車密度を評価指標として設定し、サービス水準を設定することを提案した。

追従車密度の評価指標を活用し、その道路に求められるサービス水準の性能に合致した道路構造を適用することが必要とされる。

(3) 「2+1」車線道路での実データ取得

また、新たな評価指標として、ストレス指標を用いた道路構造評価を目指し、一般国道40号更喜苦内道路でデータ取得した。今後、道路構造別のデータの傾向について検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 道路統計年報 2012；全国道路利用者会議、2013年3月
- 2) Harwood, D.W., and C. J. Hoban, Low Cost Methods for Improving Traffic Conditions on Two-Lane Roads – Informational Guide, Report FHWA-IF-87/2, U.S. Department of Transportation, Washington D.C., Jan. 1987
- 3) Highway Capacity Manual 2010, TRB of the National Academies, Washington D.C., December 2010
- 4) Brilon, W., and F. Weiser, Two-Lane Rural Highways: The German Experience, Journal of the Transportation Research Board, No.1988, TRB, Washington D.C., 2006, pp.38-47.
- 5) Ahmed Al-Kaisy and Sarah Karjala, Indicators of Performance on Two-Lane Rural Highways Empirical

- Investigation, Journal of the Transportation Research Board, No.2071, TRB, Washington D.C, 2008, pp.87-97.
- 6) Van As, C, The Development of an Analysis Method for the Determination of Level of Service on Two-Lane Undivided Highways in South Africa, Project Summary, South African National Roads Agency, Limited, Pretoria, 2003.
- 7) Catbagan, L.J and Nakamura H, Evaluation of Performance Measures for Two-Lane Expressways in Japan, Journal of Transportation Research Board, No.1988, TRB, Washington D.C., 2006, pp.111-118.
- 8) 宗広 一徳、外；積雪寒冷地における地方部の「2 + 1」車線道路の性能評価の試行、寒地土木研究所月報、2012年7月
- 9) Josef Kunz and Kerstin Lemke, Challenges of Future Traffic Growth in Germany, Country Reports of 6th International Symposium on Highway Capacity and Quality of Service, Stockholm, 2011 July

Study on design technology “2+1” lane highway in snowy cold region

Budget: Grants for operating expenses

General account

Research Period: FY2013-2016

Research Team: Traffic Engineering Research Team

ISHIDA Tateki,

TAKAHASHI Naoto,

MUNEHIRO Kazunori,

TAKADA Tetsuya,

KAGEYAMA Hiroyuki

Abstract : In Hokkaido, which forms a wide-area distributed society, divergence in prevailing speed and speed limit of the general national highway has been pointed out, in consideration of the social demands to the effective use of existing roads, and road design of rural highway it keeps the rationality of the transport operation is required. In this study, we investigate the actual situation of the prevailing speed and speed limit (two-lane undivided, four-lane separation) of the road cross-section for different configurations, we consider safety and drivability of the road crossing different configurations, the increase in the speed limit it was shown that the improvements in the design and operation and multi-lane having a separation structure and to improve the driving safety and is possible.

Key word: Cold snowy, highway, road cross-section configuration, actual speed