

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 (H26 年度報告)

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」車線道路の性能計測を行うため、一般国道40号更喜苦内道路を事例とし、定点観測とプローブ調査を実施した。定点観測の結果、付加車線設置区間では、夏期及び冬期共に、追従車密度が低下し、道路のサービスの質が改善することが示された。また、プローブ調査結果から、道路横断面構成別の平均速度の差を示した。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、既設の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。既設道路を活用した特徴ある整備が進められた事例として、一般国道40号更喜苦内道路（稚内市～豊富町：L=15.8km）は、平成26年11月に本線が開通した。本研究では、同道路を事例として以下を明らかにすることを目的とする。

- 「2+1」車線道路として整備された一般国道40号更喜苦内道路の定点観測を行い、夏期及び冬期の道路性能を計測する。
- 一般国道40号更喜苦内道路において、被験者参

加によるプローブ調査を行い、走行性に関するデータ取得を行う。

2. 実験方法

2.1 調査位置

一般国道40号稚内市更喜苦内道路(L=15.8km、KP225.5～KP241.3)を調査対象位置とした。同区間は、現道を活用して付加車線を設置する構造の「2+1」車線型で整備された道路である。

2.2 定点観測

路側にビデオカメラを設置し、交通流のビデオ映像から、交通データを取得した。定点観測は、夏期

表-1 定点観測の実験条件

実験ケース	実施日	気温(°C)		天候	路面状態	時間帯
		最高	最低			
夏期	平成26年8月21日(木)	23.8	17.8	曇	乾燥	7時～15時
冬期	平成25年12月17日(火)	2.9	1.0	曇時々雪	圧雪	7時～15時

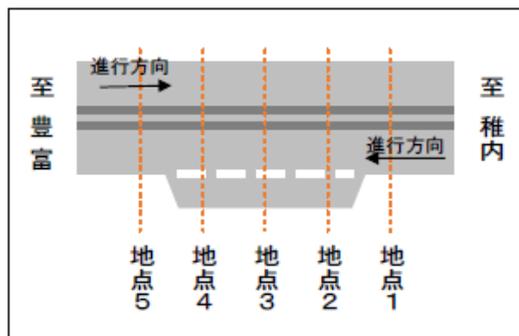


図-1 定点観測の調査地点

及び冬期の2回実施した(表-1、写真-1)。定点観測の調査地点は、付加車線設置区間を含む地点1～地点5(229.50KP～227.50KP)を対象とした。

取得した交通データを集計し、追従車率(%)及び追従車密度(台/km)を算出した。追従車率(follower percent: Foll%)は、観測断面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、前方車両の後方を比較的短い車頭間隔で続いて走行する車両のことである。本研究では、HCM2010(Highway Capacity Manual 2010)に従い、乾燥路面時においては「前車と後車の車頭間隔が3秒を超えない」場合、追従状態と定義した。一方、冬期の圧雪路面状態では、すべりやすい路面となることから、ドライバーは車間距離を十分確保して運転する。圧雪路面時においては、制動停止距離と車間距離を比較し、「前車と後車の車頭間隔が4.5秒を超えない」場合、追従状態と定義した。

追従車密度(follower density; FD)とは、1km当たりの追従車両の台数で定義される。追従車密度FD(台/km)は、式(1)に示すように交通密度k(台/km)と追従車率Foll%の積で表される。

$$FD = k \times Foll\% \quad (1)$$



[夏期：乾燥路面]



[冬期：圧雪路面]

写真-1 実験区間
(一般国道40号更喜苦内道路)

2.3 プローブ調査

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走行実験を行った。実験ケースは、表-2に示すとおりである。

表-2 プローブ調査の実験ケース

実験ケース	実施日	気温(°C)		天候	路面状態	被験者数
		最高	最低			
夏期	平成26年8月8日(金)	24.2	19.1	曇	乾燥	10
	平成26年8月21日(木)	23.8	17.8	曇	乾燥	10
冬期	平成27年1月22日(木)	-0.3	-4.5	雪	圧雪	10
	平成27年1月23日(金)	-1.1	-3.9	雪	圧雪	10

夏期及び冬期のプローブ調査に対し、被験者20名が参加した。被験者は、調査車両(1,500ccクラスのレンタカー)を運転し、実験区間(上り：稚内→豊富、下り：豊富→稚内)を往復した。

データ計測は、ドライブレコーダー(ツーフィット社、46-TE300)を調査車両に搭載、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(写真-2、写真-3、写真-4)。データの測定項目は、以下のとおりである。

- ・速度(km/h)：ドライブレコーダーによりdat形式で、緯度・経度、速度、方位を記録した。
- ・加減速度(m/s²)：ドライブレコーダーによりdat形式で、緯度・経度、速度、方位を記録した。
- ・心拍数(ms)：携帯型自動血圧心拍数計測器による記録データは、専用ソフト(Polar Protrainer)に取り込んだ後、時刻、心拍数(ms)を集計した。

心拍数のデータから、RRIとLP面積というストレスを表す指標を集計した。



写真-2 ドライブレコーダーの外観



(1) データ保存部



(2) 計測部

写真-3 携帯型自動血圧心拍数計測器



写真-4 被験者への装着

新たな指標（ストレス指標）である RRI と LP 面積について、以下に記す。

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-2)。

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。

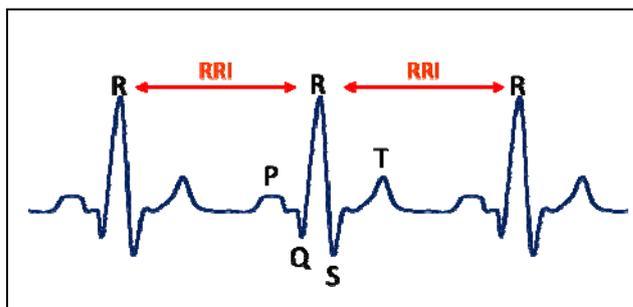


図-2 RRI (R-R interval)

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-3)。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。

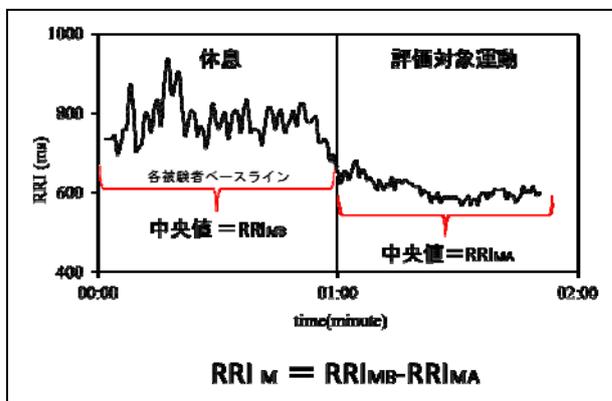


図-3 RRI_M 模式図

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-4)。

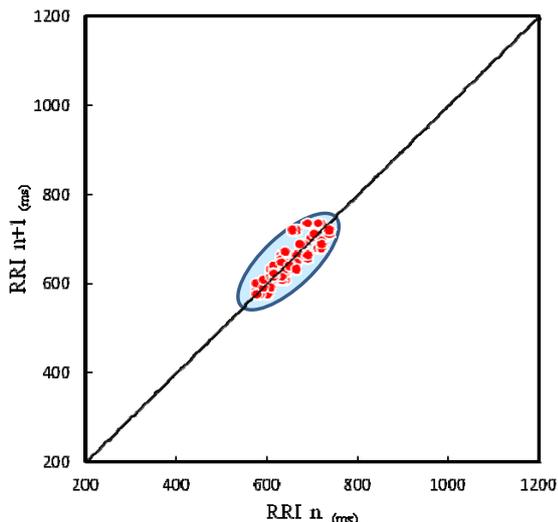


図-4 LP面積法

上述のストレス指標の計測による道路構造評価の可能性に向けて、本研究において、被験者参加によるプローブ調査を実施した。

3. 実験結果

3.1 定点観測

夏期及び冬期の定点観測により取得した交通データを5分毎に集計し、5分間の追従車率、追従車密度を箱ヒゲ図で表したところ、**図-5**、**図-6**、**図-7**、**図-8**を得た。

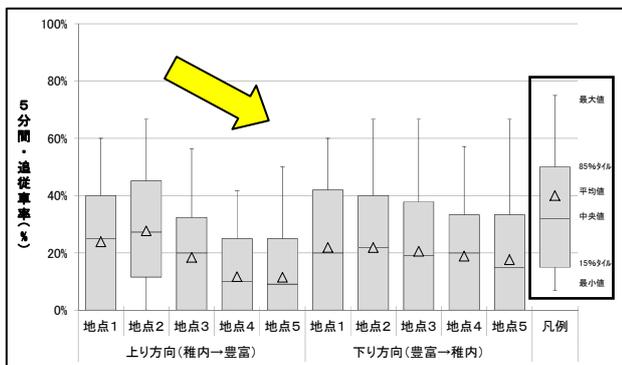


図-5 追従車率（夏期：乾燥路面）

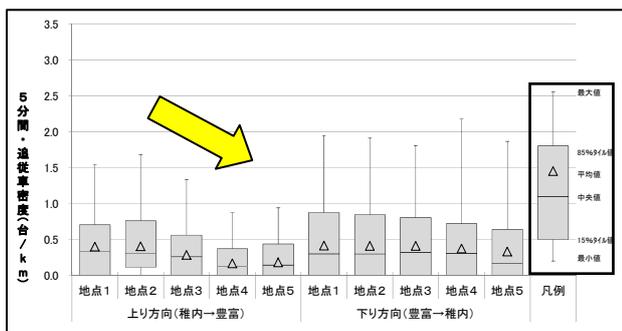


図-6 追従車密度（夏期：乾燥路面）

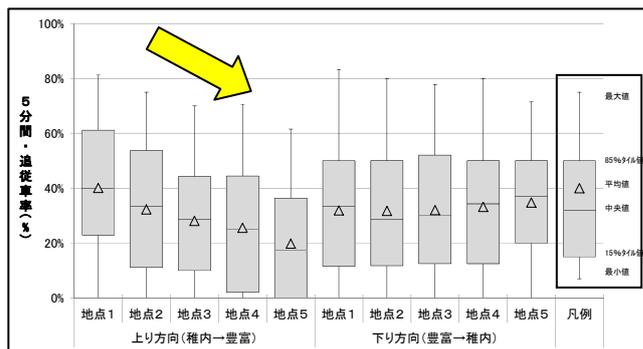


図-7 追従車率（冬期：圧雪路面）

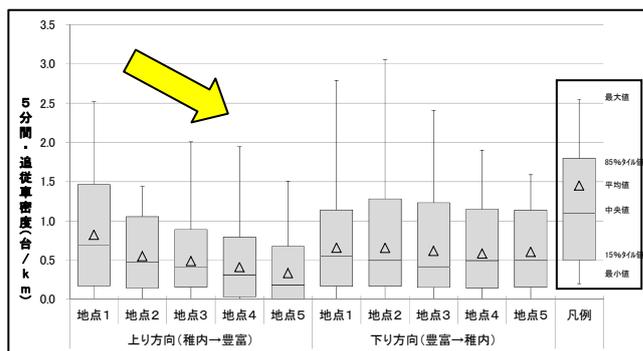


図-8 追従車密度（冬期：圧雪路面）

付加車線設置区間である上り方向（稀内→豊富）では、地点1～地点5へと進むにつれて、追従車率並びに追従車密度が、夏期及び冬期の両方の実験ケースで低下した。すなわち、道路のサービスの質が改善されることをデータにより示すことができた。

他方、付加車線が設置されていない片側1車線区間である下り方向（豊富→稀内）では、地点1～地点5の追従車率並びに追従車密度の変化は、夏期及び冬期ともに、ほとんどなかった。

本研究では、過年度までの結果を踏まえ、交通量や路面状態への感度がある追従車密度を用いて、サービスの質を検討する。米国オレゴン州運輸局では、地方部の2車線道路のサービス水準として、表-3のクラス分けを提案している。表-3のクラス分けによれば、一般国道40号更喜内道路の定点観測区間では、夏期及び冬期ともに、サービス水準Aが維持さ

表-3 追従車密度によるサービス水準の提案

サービス水準	追従車密度 [台/km・車線]
A	≤2
B	≤3.5
C	≤6
D	≤9
E	>9

れていることが、実測データにより示すことができた。

3. 2 プローブ調査

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た。プローブ調査を実施した夏期の実験は、付加車線の一部が走行できる構造であった。平成 26 年 11 月に全区間開通し、冬期の実験ケースでは、上り方向に 3 箇所、下り方向に 3 箇所の付加車線が設置されるフルスペックの構造であった。中央分離構造もガードレール区間と広幅

中央分離帯 (写真-5) などが採用されている。また、豊富側に速度規制緩和区間 (70km/h、L=3.8km) が存在する。



(1) ガードレール



(2) 広幅中央分離帯

写真-5 中央分離構造

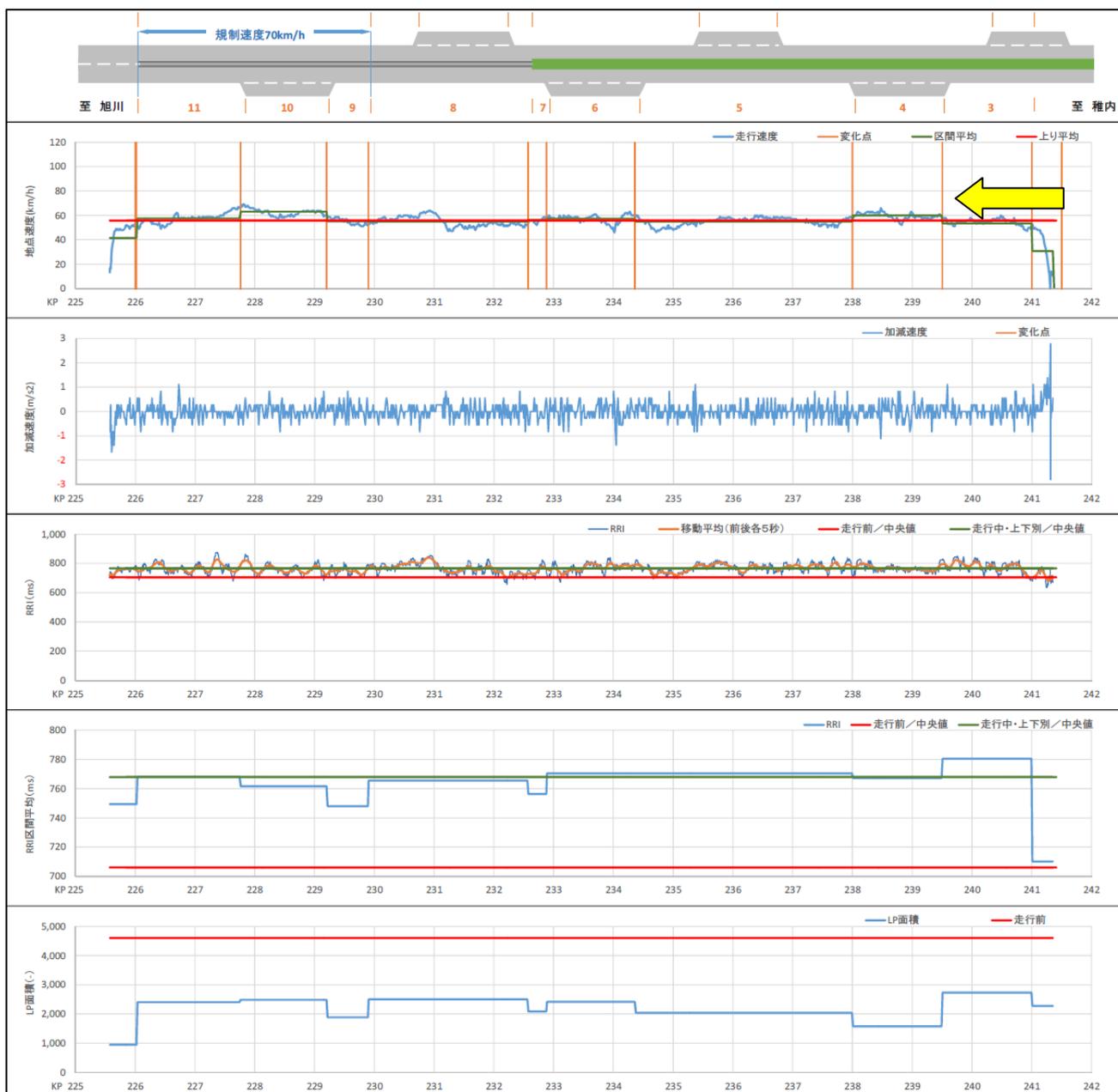


図-9 プローブ調査によるデータ取得例 (冬期の実測例)

表-3 区間の横断面構成別の平均速度の多重比較結果（夏期：乾燥路面）

			規制速度70km/h		法定速度60km/h				
			付加車線設置	片側1車線	付加車線設置		片側1車線		
			ガードレール	ガードレール	広幅中央分離帯	ガードレール	広幅中央分離帯	ガードレール	中央分離なし
規制速度 70km/h	付加車線設置	ガードレール		—	—	—	**	**	**
	片側1車線	ガードレール			—	—	—	*	**
法定速度 60km/h	付加車線設置	広幅中央分離帯				—	*	**	**
		ガードレール					*	**	**
	片側1車線	広幅中央分離帯						—	**
		ガードレール							**
		中央分離なし							

注) * : 5%有意、** : 1%有意

表-4 区間の横断面構成別の平均速度の多重比較結果（冬期：圧雪路面）

			規制速度70km/h		法定速度60km/h			
			付加車線設置	片側1車線	付加車線設置		片側1車線	
			ガードレール	ガードレール	広幅中央分離帯	ガードレール	広幅中央分離帯	ガードレール
規制速度 70km/h	付加車線設置	ガードレール		**	—	—	**	**
	片側1車線	ガードレール			**	—	—	—
法定速度 60km/h	付加車線設置	広幅中央分離帯				—	**	*
		ガードレール					—	—
	片側1車線	広幅中央分離帯						—
		ガードレール						
		中央分離なし						

注) * : 5%有意、** : 1%有意

図-9 は、冬期のプローブ調査のデータ取得例である。被験者の速度、加減速度、RRI、RRI 区間平均、LP 面積のデータを取得した。

被験者 20 名のプローブデータを集計し、区間の横断面構成別の平均速度の差を多重比較したところ、夏期が表-3、冬期が表-4 を得た。夏期においては、片側 1 車線道路の中央分離なしと他の横断面と有意な差が見られた。また、冬期においては、付加車線設置の広幅中央分離帯と片側 1 車線区間において、有意差が見られた。

さらに、RRI については、図-9 に見られるように、速度規制緩和がなされた規制速度 70km/h 区間で、小さくなる傾向がみられた。すなわち、ドライバーにややストレスがかかっている傾向が見られた。

LP 面積についても、図-9 に見られるように、規制速度 70km/h 区間で、若干低下する傾向が見られた。ドライバーに若干ストレスがかかっている傾向が見られた。

RRI 並びに RRI について、被験者 20 名分を集計し、区間の横断面構成別の差を多重比較したところ、

有意差は見られなかった。

4. 道路管理者との連携

本研究による道路性能の実測結果について、道路管理者である北海道開発局稚内開発建設部と意見交換を行った。本研究において最終的に取りまとめる予定である「積雪寒冷地における『2+1』車線道路の設置手引き（案）」の目次構成として、以下を提案した。

- 1) 「2+1」車線道路の定義と機能
- 2) 横断面構成
- 3) 中央分離構造
- 4) 交差点構造
- 5) サービスの質の改善効果
- 6) 冬期維持管理

5. まとめ

(1) 一般国道 40 号更喜苦内道路の定点観測による夏期及び冬期の道路性能の計測

一般国道40号更喜苦内道路の付加車線設置を含む区間(229.50KP~227.50KP)を対象とし、定点観測により交通データを取得した。取得データを5分毎に集計し、追従車率及び追従車密度を箱ひげ図により表した。付加車線設置区間では、追従車率及び追従車密度ともに低下し、サービスの質が改善されていることが実測データにより示すことができた。

米国オレゴン州運輸局により提案されている追従車密度による地方部2車線道路のサービス水準によれば、一般国道40号更喜苦内道路の定点観測区間では、夏期及び冬期ともに、サービス水準Aが維持される結果となった。

(2) 一般国道40号更喜苦内道路において、被験者参加によるプローブ調査の実施

被検者20名が参加し、一般国道40号更喜苦内道路の実験区間を走行するプローブ調査を実施した。調査車両には、ドライブレコーダーを搭載し、被験者は携帯型自動血圧心拍数計測器を装着した。測定項目は、速度、加減速度、心拍数、RRI、LP面積とした。区間の横断面構成別の平均速度の差について多重比較したところ、夏期において、片側1車線道路と他の横断面構成との間で、有意差が見られた。冬期においては、付加車線設置の広幅中央分離帯と片側1車線区間との間で、有意差が見られた。

ドライバーのストレスを表す指標のRRI及びLP面積については、区間の横断面構成別の多重比較の結果、有意差は見られなかった。なお、ストレス指標であるRRI及びLP面積については、今後考察を深めていく予定である。

(3) 「2+1」車線道路の設置手引き(案)の骨子の提案

道路管理者である北海道開発局稚内開発建設部と連携し、「2+1」車線道路の設計及び性能計測結果を盛り込み、本技術資料の骨子を提案した。次年度以降、さらに性能計測を重ね、同技術資料の熟度を向上させる予定である。

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 :

This study, for the performance measure of "2 + 1" lane highway in snowy cold regions, the general national highway No. 40 Saraki -Tomanai road is a case was performed with fixed-point observation and probe surveys. Result of fixed-point observation, the additional lane installation section, both in summer and winter, follower density decreases were shown to improve the quality of road service. In addition, from the probe survey results, it showed the difference of the road cross-section configuration another average speed. In addition, from the probe survey results, the speed, showed the multiple comparison of each road cross-section configuration.. We suggested the service level of highway using the follower density in snowy cold region.

Keyword: Additional lane, evaluation index, highway design