

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：高橋尚人、宗広一徳、高田哲哉

【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号更喜苦内区間を事例とし、定点観測とプローブ調査を実施した。付加車線設置区間では、平均旅行速度の向上、追従車率及び追従車密度が低下し、道路のサービスの性能が向上することが示された。また、中央分離構造及び車線数の別に、ストレス指標であるRRImとLP面積の計測結果を示した。

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内の一般国道の総延長は約 6,722km¹⁾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くなる。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。

北海道内郊外部の一般国道において、低コストの整備により、道路利用者へのサービス性能を向上させるために、既設の2車線道路に連続的・断続的に付加車線を設置する手法、すなわち「2+1」車線型道路²⁾への改良が進められている。既設道路を活用した「2+1」車線型道路構造への改良事例として、一般国道40号更喜苦内区間（稚内市～豊富町：L=18.7km）がある。同区間は平成26年11月に本線の全改良区間が開通した。本研究では、同区間を事例研究として以下を明らかにすることを目的とする。

- 1) 実道での実測結果より、付加車線設置によるサービス性能の向上効果を示す。
- 2) 実道でのプローブ調査結果より、ドライバーのストレスの計測結果を示す。
- 3) 冬期の車線利用実態の観測結果を示す。

2. 実験方法

2.1 調査区間

一般国道40号更喜苦内区間（L=18.7km、KP225.0～KP243.7）を対象とし、交通調査を実施した。同区間は、片側1車線と片側2車線が断続的に交互に設置された構造である。平成26年11月に片側3箇所の付加車線を含む全改良区間が開通した。

・上り方向（稚内市→豊富町）

1車線～2車線～1車線～2車線～1車線～2車線～1車線
(3.9km) (1.5km) (3.6km) (1.5km) (3.7km) (1.5km) (3.0km)

・下り方向（豊富町→稚内市）

1車線～2車線～1車線～2車線～1車線～2車線～1車線
(6.1km) (1.4km) (3.1km) (1.2km) (3.7km) (1.5km) (1.7km)



写真-1 実験区間

（一般国道40号更喜苦内区間）

本区間の道路横断面構成は次のとおりである（写真-1）。

- ・路肩～外側車線～内側車線～分離帯～車線～路肩
1.25 m ～ 3.0m ～ 3.5m ～ 1.75m～ 3.5m ～ 1.25m

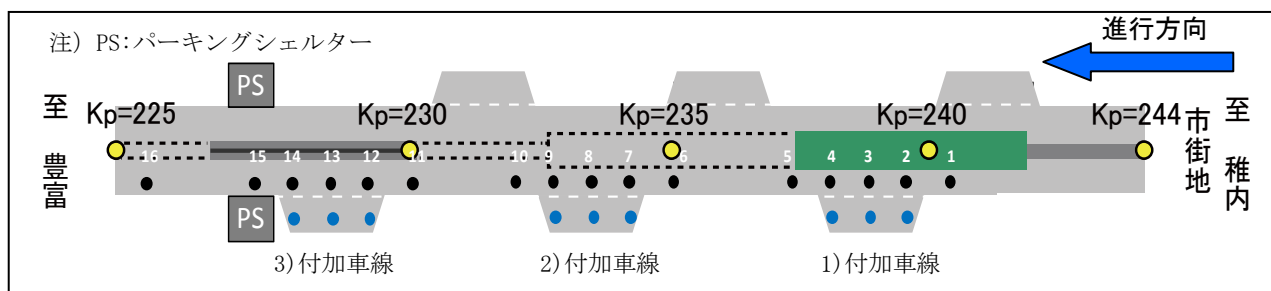


図-1 定点観測の調査地点

両側に幅員 4.0m の副道を設置し、軽車両(自転車、農耕車) や歩行者の利用を確保している。

2.2 定点調査

(1) 調査日

平成 27 年 8 月 7 日 (金) 7 時～19 時に行った。天候は晴れ、路面状態は乾燥であった。同日の最高気温は 21.9℃、最低気温は 16.2℃であった³⁾。

(2) 調査方法

調査区間のうち 16 箇所の断面を対象とし、交通データを実測した(図-1)。調査方法は、路側にビデオカメラを設置し、道路中心線に対して直角方向に連続撮影し、車両の通過状況を記録した。車両の観測方向は、下り方向(稚内市→豊富町)とした。同撮影ビデオの車両の通過記録の読み取り結果から、通過車両の車頭間隔(秒)、平均旅行速度(km/h)、交通量(台)を算定した。

調査区間の設計速度は 80km/h である。規制速度は、地点 11～地点 15 までは 70km/h、他の地点 1～10 までは法定速度の 60km/h である。中央分離構造については、地点 1～地点 9 までが広幅分離帯(幅員 5.5m)、地点 10～地点 15 がガードレール(GR)分離帯(幅員 1.75m)、地点 16 が非分離である。

(3) 評価指標

交通データの集計結果から、平均旅行速度(km/h)、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)⁴⁾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。

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。

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

2.3 プローブ調査

(1) 調査日

一般国道 40 号更喜苦内区間(L=18.7km、KP225.0～KP243.7)を対象とし、プローブ車両による実車走行実験を行った。調査日は、平成 27 年 8 月 7 日(金)と平成 27 年 8 月 26 日(水)の 2 日間であった。2 日間で、計 20 名の被験者が参加した。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:稚内市→豊富町、下り:豊富町→稚内市)を往復した。

(2) データ計測

データ計測は、ドライブレコーダー(CASTRADE 社、CJ-DR450)を調査車両に搭載(写真-2)、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-3)。

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、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、緯度・経度、加減速度、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 社 Protrainer)に取り込んだ後、時刻、心拍数(ms)を集計した。



写真-2 ドライブレコーダー



(1) 計測器本体



(2) 被験者への装着

写真-3 携帯型自動血圧心拍数計測器

(3) 評価指標

心拍数のデータから、新たな指標として RRI と LP 面積というストレスを表す指標を集計した。

① RRI

R 波は、心電図の波の 1 つであり、血液と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-interval) と呼ばれている。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 (図-2)。

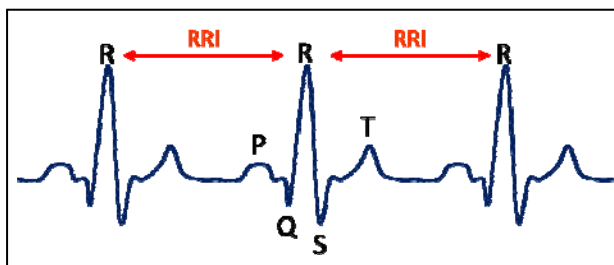


図-2 RRI (R-R interval)

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 RRI が用いられ、外的要因によりストレスを受けると交換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。

② LP 面積

LP (Lorenz Plots) 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。

2.4 冬期の車線利用状況調査

「2+1」車線型道路における冬期の効率的な除雪作業や車線運用に資するため、車線利用状況調査を行った。ネットワークカメラ (エコモット社、MIRUMOTTO) を調査区間内の KP236 に設置し、下り方向 (豊富町→稚内市方向) の片側 2 車線区間を対象とし、冬期条件別の車両走行位置を調査した。調査期間は、平成 27 年 12 月 19 日 (土) ~ 平成 28 年 2 月 29 日 (月) までの 73 日間行った。冬期の天候、路面、除雪作業実施の別などに応じた車両の走行位置を集計した。



図-3 設置したネットワークカメラ

3. 実験結果

3.1 定点観測

(1) 平均旅行速度

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 分間の平均旅行速度、追従車率、追従車密度を箱ヒゲ図 (最大値、85 パーセンタイル値、平均値、中央値、15 パーセンタイル値、最小値) で表したところ、図-4 を得た。

付加車線に入る手前に位置する 1 車線区間の地点 1 は、平均値 68km/h、最小値 56km/h、15 パーセンタイル値 64km/h、85 パーセンタイル値 72km/h、最大値 79km/h であった。付加車線の後に合流した 1 車線区間の地点 5 は、平均値 74km/h、最小値 65km/h、15 パーセンタイル値 70km/h、85 パーセンタイル

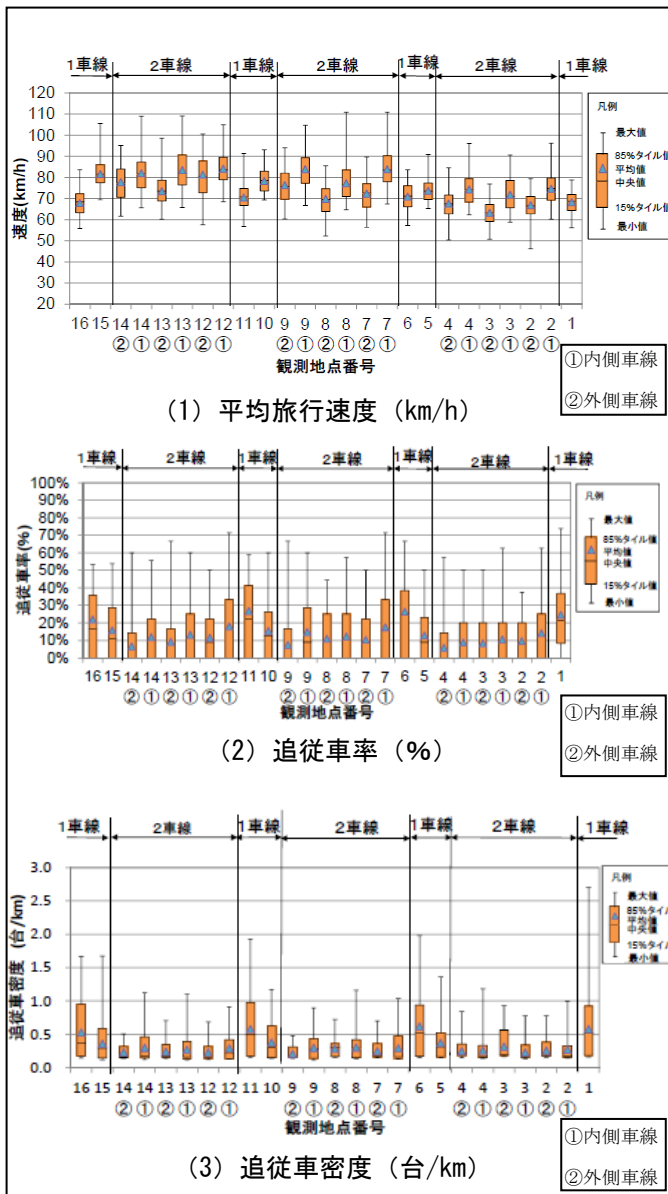


図-4 サービス性能の実測結果

値 77km/h、最大値 90km/h となり、付加車線に入る手前と比べて向上した。

同様に、2箇所目の付加車線に入る手前の1車線区間の地点6は、平均値 71km/h、最小値 57km/h、15パーセンタイル値 66km/h、85パーセンタイル値 76km/h、最大値 83km/h であった。

2箇所目の付加車線の後に合流した1車線区間の地点10は平均値 78km/h、地点11は平均値 70km/h であった。3箇所目の付加車線の後に合流した1車線区間の地点15は平均値 82km/h、地点16は平均値 68km/h に低下した。

1車線区間から2車線区間に分流した地点2~4は、内側車線の平均値は 71~75km/h であった。外側の付加車線の平均値は 63~68km/h で推移した。

同様に、1車線区間から2車線区間に分流した地点7~9は、内側車線の平均値は 77~83km/h であった。外側の付加車線の平均値は 69~76km/h で推移した。

(2) 追従率率と追従車密度

追従率率と追従車密度については図-4中の(2)及び(3)のとおりであるが、1車線区間で値が向上し、2車線区間で値が低下する傾向を示した。

例えば、追従率率をしてみると、付加車線に入る手前に位置する1車線区間の地点1は、平均値 25%、最小値 0%、15パーセンタイル値 8%、85パーセンタイル値 37%、最大値 74% であった。付加車線の後に合流した1車線区間の地点5は、平均値 13%、最小値 0%、15パーセンタイル値 0%、85パーセンタイル値 23%、最大値 50% となり、付加車線に入る手前の地点1と比べて低下した。

また、追従車密度では、付加車線に入る手前に位置する1車線区間の地点1は、平均値 0.6(台/km)、最小値 0.2(台/km)、15パーセンタイル値 0.2(台/km)、85パーセンタイル値 0.9(台/km)、最大値 2.7(台/km) であった。付加車線の後に合流した1車線区間の地点5は、平均値 0.4(台/km)、最小値 0.1(台/km)、15パーセンタイル値 0.2(台/km)、85パーセンタイル値 0.5(台/km)、最大値 1.4(台/km) となり、付加車線に入る手前の地点1と比べて低下した。

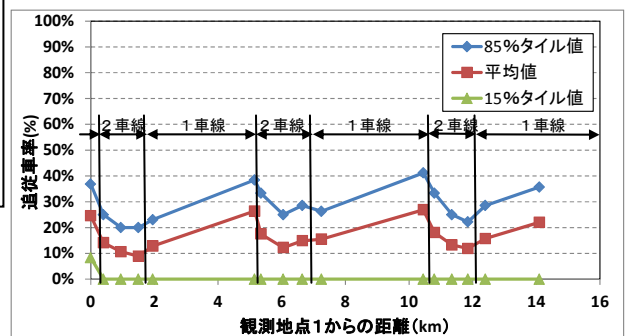


図-5 観測地点1からの距離と追従率率

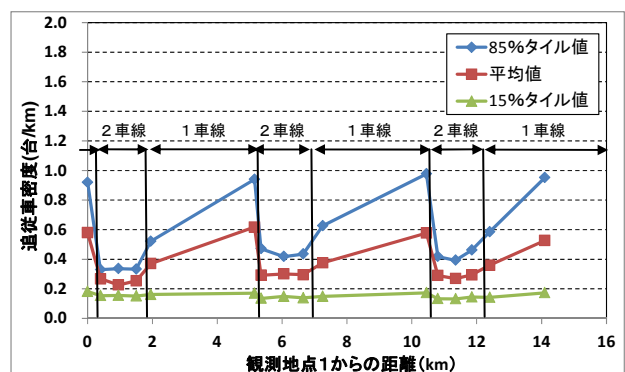
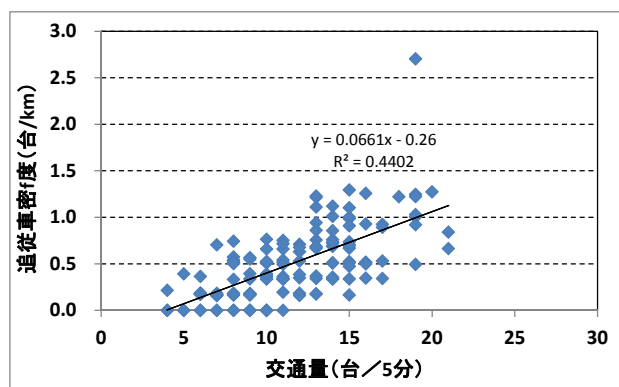


図-6 観測地点1からの距離と追従車密度

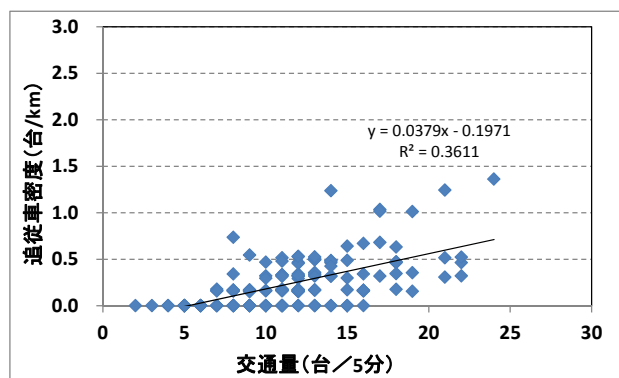
横軸に観測地点1からの距離、縦軸に追従車率及び追従車密度を取り、それぞれ85パーセンタイル値、平均値、15パーセンタイル値を示したところ、図-5及び図-6を得た。本調査区間では、3.6~3.7kmの間隔で1車線区間と2車線区間(付加車線設置)が配置されている。付加車線設置手前の1車線区間で追従車率及び追従車密度が大きくなるが、付加車線設置の2車線区間では低下した。

(3)交通量と追従車密度

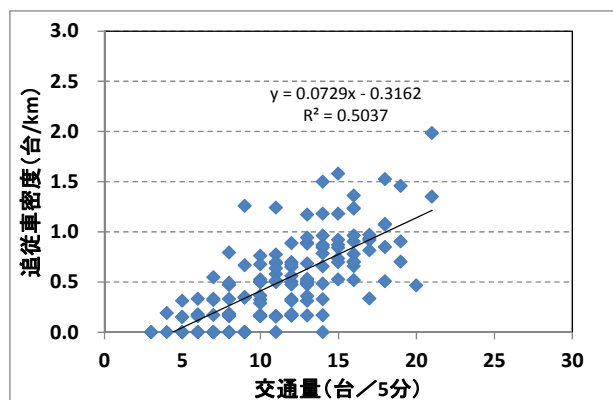
1車線区間に位置する地点1、地点5、地点6について、横軸に5分間当りの交通量、縦軸に追従車密度を取ったところ、図-7を得た。最小二乗法に基



(1) 地点1 (1車線区間: 付加車線分流前)



(2) 地点5 (1車線区間: 付加車線合流後)



(3) 地点6 (1車線区間: 付加車線分流前)

図-7 交通量と追従車密度

づく直線回帰式をグラフ中に示している。地点1は付加車線分流前、地点5は付加車線合流後、地点6は2つ目の付加車線分流前に位置している。直線回帰式の傾きは、地点1が0.0661、地点5が0.0379、地点6が0.0729で推移した。すなわち、各地点ともに、5分間当り交通量の増加とともに、追従車密度が増加する比例関係にある。また、地点5に示すように、付加車線設置区間走行後は、追従車密度が増加する傾きが小さくなる傾向を示した。

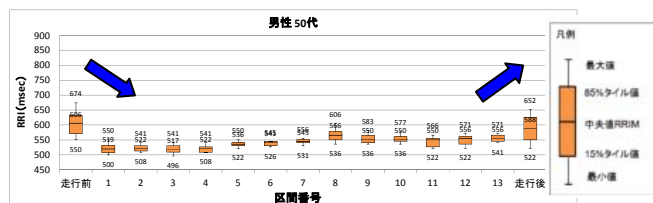
3.2 プローブ調査

調査区間の実走行により、被験者に装着した携帯型自動血圧心拍計数器により取得した心拍数のデータから、RRI及びLP面積を算定した。図-1中の右端の稚内市側を基点に、調査区間を1往復走行した際のRRIとLP面積の算定結果の例を図-8及び図-9に示す。なお、図中の区間番号は、以下の1車線区間と2車線区間を示している。

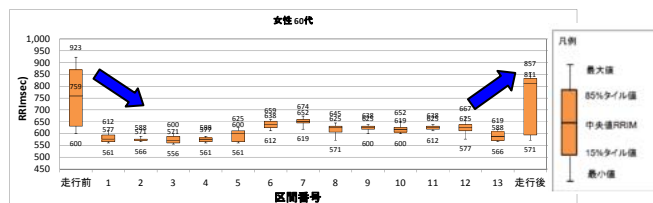
片側1車線区間 ~ 1、3、5、7、8、10、12

片側2車線区間 ~ 2、4、6、9、11、13

図-8は、被験者A(男性:50代)と被験者B(女性:

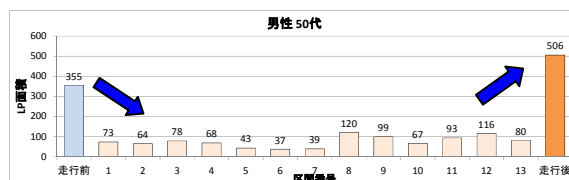


(1) 被験者A(男性:50代)

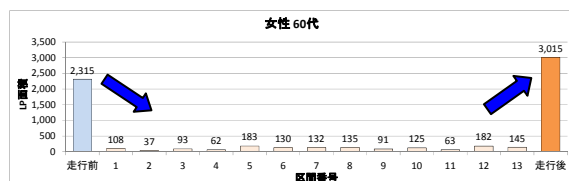


(2) 被験者B(女性:60代)

図-8 RRIの区間毎の変化



(1) 被験者A(男性:50代)



(2) 被験者B(女性:60代)

図-9 LP面積の区間毎の変化

60代)の走行前、区間1~13までの走行、走行後のRRIの各区間における最大値、85パーセンタイル値、中央値、15パーセンタイル値、最小値を示している。区間1~13の走行中は、被験者A及び被験者Bともに、走行前と比べてRRIが低下した。走行後は、RRIは向上した。

また、走行前、区間1~13の走行、走行後のLP面積を図-9に示している。被験者A及び被験者Bともに、区間1~13の走行中は、走行前と比べてRRIが低下した。走行後のRRIは向上した。

走行している区間同士の中で比較すると、例えば、被験者Aは、区間8でわずかにRRI及びLP面積が他区間よりも大きくなる傾向を示した。同区間は、調査区間中の最も豊富町寄りの速度規制緩和区間(70km/h、L=3.8km)に該当する。

本調査区間は、中央分離帯構造として広幅員区間とGR(ガードレール)区間、車線数として片側2車線区間と片側1車線区間が存在する。被験者11名(40代以上)を対象とした取得データから、X軸にRRIm(中央値)、Y軸にLP面積を取りプロットする。プロットデータが図-10の領域区分のA~Dのどの領域入るかについて、比較を行った。

- A: RRIm、LP面積ともに通常時より大きい(リラックス状態)
- B: LP面積のみ通常時より小さい(心拍変動幅が狭い)
- C: RRImのみ通常時より小さい(心拍間隔が小さい)
- D: RRIm、LP面積ともに通常時より小さい(変動幅、間隔ともに小さく、ストレス状態)

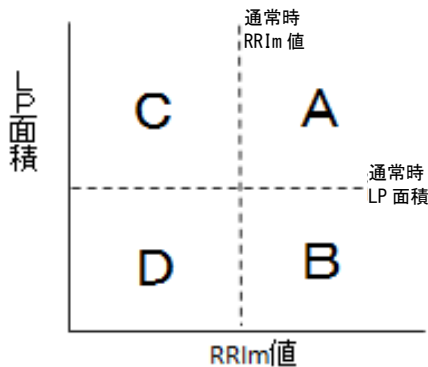


図-10 領域区分

プロットデータについて、中央分離帯構造での比較及び車線数での比較の結果については、図-11及び図-12に示すとおりである。図-11から、中央分離帯構造として、広幅員とGR間の有意差は見られな

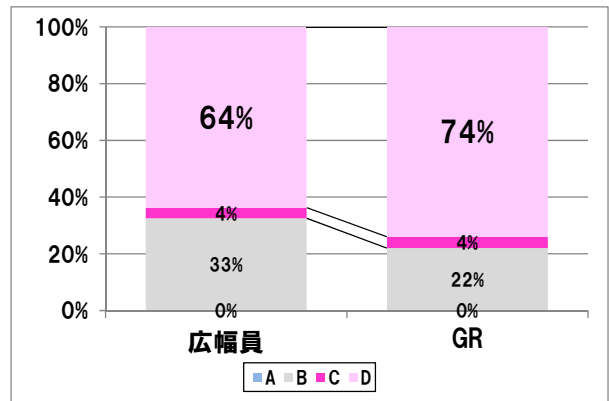


図-11 中央分離帯構造での比較 (N=11)

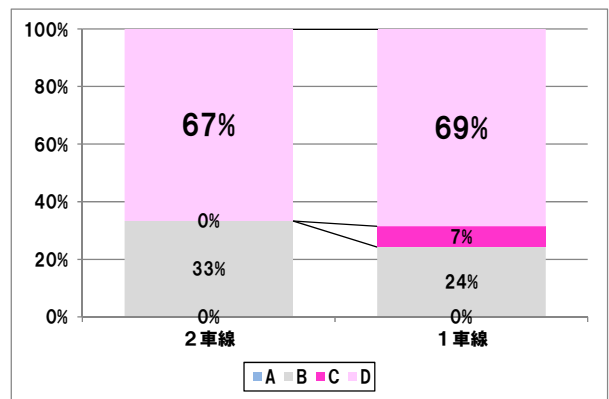


図-12 車線数での比較 (N=11)

かった。しかし、GR区間は、広幅員と比較し、わずかにD領域であるストレス状態の率が高くなった。

図-12から、車線数として、片側2車線(付加車線設置)と片側1車線との有意差は見られなかった。しかし、片側1車線区間は、片側2車線区間と比べてわずかにC領域及びD領域のストレス状態の率が高くなった。

中央分離帯構造と車線数を合わせて、「広幅中央帯/1車線」、「広幅中央帯/2車線」、「GR中央帯/1車線」、「GR中央帯/2車線」の4区分に分けてクロス集計し、各ケース間のRRImとLP面積につ

表-1 t検定の結果 (RRIm)

| | p値/判定 | | | |
|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| | 広幅中央帯/1車線 | 広幅中央帯/2車線 | GR中央帯/1車線 | GR中央帯/2車線 |
| 広幅中央帯/1車線 | | 0.18 × | 0.001 ○ | 0.000 ○ |
| 広幅中央帯/2車線 | | | 0.012 ○ | 0.003 ○ |
| GR中央帯/1車線 | | | | 0.18 × |
| GR中央帯/2車線 | | | | |

表-2 t検定の結果 (LP面積)

| | p値/判定 | | | |
|-----------|-----------|-----------|------------|------------|
| | 広幅中央帯/1車線 | 広幅中央帯/2車線 | GR中央帯/1車線 | GR中央帯/2車線 |
| 広幅中央帯/1車線 | | 0.01 ○ | 0.498 × | 0.052 × |
| 広幅中央帯/2車線 | | | 0.035 ○ | 0.246 × |
| GR中央帯/1車線 | | | | 0.062 × |
| GR中央帯/2車線 | | | | |

て、平均値の差についてt検定したところ、表-1及び表-2を得た。

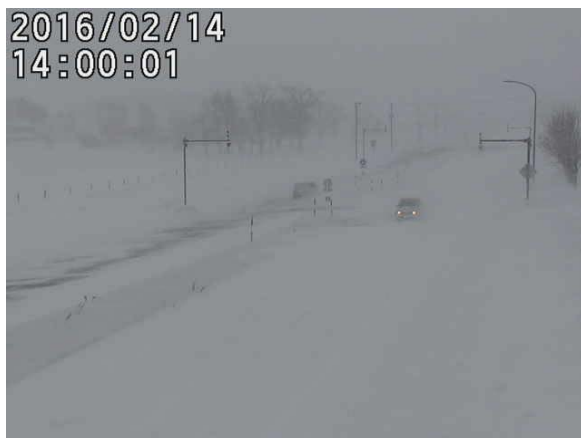
3.3 冬期の車線利用状況調査

平成27年12月19日(土)～平成28年2月29日(月)までの73日間を対象とし、現地に設置したネットワークカメラの観測により、連続で画像を取得した。写真-4は、画像の取得例を示しており、平成28年2月13日(土)の天候：曇り、路面：湿潤、平成28年2月14日(日)

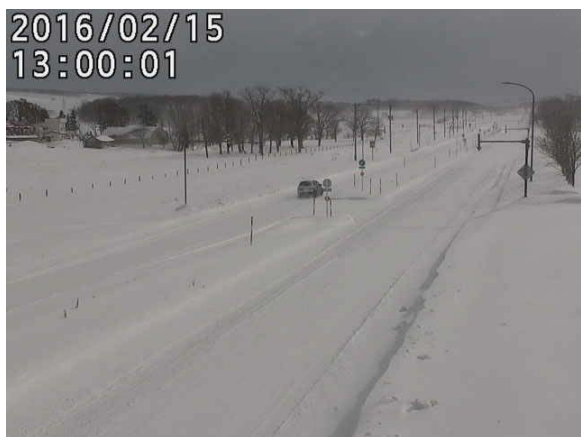
の天候：暴風雪、路面：圧雪、平成28年2月15日(月)の天候：雪、路面：圧雪である。



(1) 曇り・湿潤 (2月13日)



(2) 暴風雪・圧雪 (2月14日)



(3) 雪・圧雪 (2月15日)

写真-4 冬期の車線利用状況調査

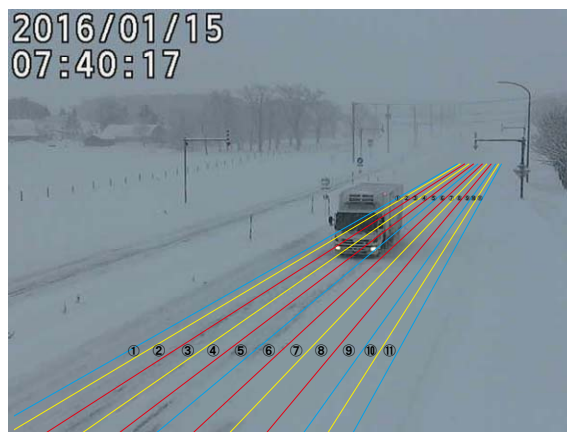


図-13 画像の読み取りと走行位置の区分

取得した画像データを図-13に示す横断方向に75cm間隔で分割した。画像データを読み取り、走行車両の中心(ナンバープレートの位置)から、写真-4に示す3日間(2月13日、2月14日、2月15日)について、車両走行位置を集計したところ、図-14を得た。

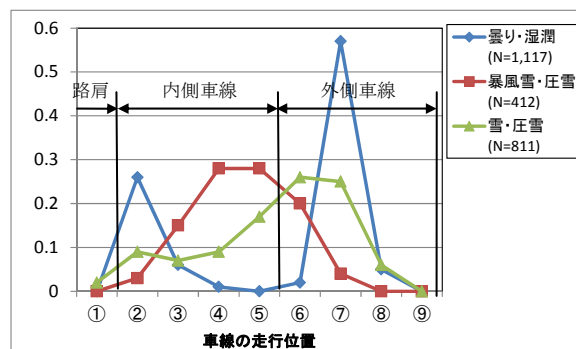


図-14 車両走行位置調査

区画線が明確に視認できる曇り・湿潤路面(2月13日)では、2車線区間の内側車線と外側車線(付加車線)が明確に使い分けられており、外側車線走行が約7割、内側車線走行が約3割となった。終日吹雪に見舞われた暴風雪・圧雪路面(2月14日)は、車線の使い分けが不明確になり、2車線の中央をピークに、走行位置のばらつきが大きくなった。雪・圧雪路面(2月15日)は、視界状況は暴風雪時と比べると良好となり、車線走行位置のピークは暴風雪時と比べると、車線走行位置のピークは外側に寄っている。また、路肩堆雪の影響により、曇り・湿潤路面時と比べて、2車線区間の中央に位置している。また、内側車線の走行車両は、走行位置が一定ではなく、ばらついた。

4. まとめ

(1) 一般国道 40 号更喜苦内区間の定点観測による付加車線設置によるサービス性能の向上効果

一般国道40号更喜苦内区間の付加車線設置を含む区間(225.0KP~243.7KP)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、平均速度、追従車率及び追従車密度について、最大値、85パーセンタイル値、平均値、15パーセンタイル値、最小値の箱ひげ図により表した。付加車線設置区間では、平均旅行速度が向上、及び追従車率及び追従車密度ともに低下し、サービス性能が向上することが実測データにより示すことができた。また、5分間当たりの交通量と追従車密度の関係性を直線回帰式で示したところ、付加車線直後の1車線区間の断面は、付加車線手前の区間の断面と比べて、直線回帰式の傾きが小さくなることが示された。すなわち、付加車線区間の設置により、追従車両が追従交通流状態から解放されて自由交通流状態となり、付加車線直後の1車線区間では追従状態になりにくくなることが実測データにより示された。

(2) 一般国道 40 号更喜苦内区間における被験者参加によるプローブ調査に基づくストレスの計測結果

被験者20名が参加し、一般国道40号更喜苦内区間を実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。取得した心拍数データを基に、RRIとLP面積というドライバーのストレスを表す指標を集計した。

道路構造別として中央分離構造の別に比較すると、GR区間は、広幅員区間と比べて、わずかにストレス状態が多くなった。また、車線数の別に比較すると、1車線区間は、2車線区間と比べて、わずかにストレス状態が多くなった。さらに、中央分離構造と車線数をクロスすると、広幅中央帯・2車線区間は、他の区間と比較し、RRIとLP面積が高くなる傾向を示し、ややリラックス状態と考えられる。

他方、GR中央帯・1車線区間は、ややストレスのかかった状態と考えられる。

(3) 冬期の車線利用状況調査

平成27年12月19日(土)~平成28年2月29日(月)までの73日間を対象とし、現地に設置したネットワークカメラの観測により、連続で画像を取得した。画像データを横断方向に75cm間隔で分割し、走行車両の走行位置を調査した。区画線が明確に視認できる曇り・湿潤路面(2月13日)では、2車線区間の内側車線と外側車線(付加車線)が明確に使い分けられた。しかし、冬期天候の悪化及び圧雪路面の出現により、車線の走行位置は不明瞭になった。特に、終日吹雪に見舞われた暴風雪・圧雪路面(2月14日)では、車線の使い分けが不明確になり、2車線の中央をピークに、走行位置のばらつきが大きくなった。本調査の実施により、「2+1」車線型道路の片側2車線区間における天候・路面等の冬期条件別の車線利用実態に関する基礎データを取得することができた。

今後は、道路管理者である国土交通省北海道開発局稚内開発建設部と連携し、本研究による実測データを盛り込み、「2+1」車線型道路の設計に関する技術資料をとりまとめる予定である。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) 国土交通省北海道開発局:道路現況調書,2015年.
- 2) 宗広 一徳,外:北海道地方部における付加車線の設置効果及び除雪工法に関する研究,土木研究所資料第4286号,2014年.
- 3) 気象庁:各種気象データ・資料,
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>,
2016年,(2016年4月24日).
- 4) Highway Capacity Manual 2010, TRB of the National Academies, Washington D.C., 2010.

**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
TAKAHASHI Naoto,
MUNEHIRO Kazunori,
TAKADA Tetsuya,
KAGEYAMA Hiroyuki

Abstract :

For performing the performance measurement of "2 + 1" lane highway in snowy cold regions, the general national highway No. 40 Saraki -Tomanai road, was carried out the fixed-point observation and probe surveys. In additional lane installation section, improvement of the average traveling speed, reduced follower percent and follower density, performance of road service has been shown to be improved. Moreover, a separate central isolation structure and the number of lanes, showing the measurement results of RRIm and LP area of stress index.

Keyword: Additional lane, evaluation index, highway design