

# 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

## 【要旨】

本研究は、積雪寒冷地における「2+1車線」型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、道路のサービス性能に関して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。プローブ調査結果から、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。さらに、大雪時における「2+1車線」型道路の効率的な車線運用を提案した。

キーワード：付加車線、評価指標、サービス水準、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 6,722km<sup>1)</sup>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<sup>2)</sup>への改良が進められた。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) 2車線道路及び「2+1車線」型道路のサービス性能を表す評価指標の有効性を検証する。
- 2) 実道での実測結果より、「2+1車線」型道路に

よるサービス性能の向上効果を示す。

- 3) 大雪時における「2+1車線」型道路の車線運用を提案する。

## 2. 2車線道路のサービスの質に関する検討

### 2.1 サービスの質を表す評価指標

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) が発行する Highway Capacity Manual 2010<sup>3)</sup>(以下、HCM 2010とする。)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、目標とするサービス水準に対して実現するのに必要な道路構造が決定され、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<sup>4)</sup>は、ドイツにおける地方部の2車線道路の事例についてドイツの経験として性能評価について論じた。Al-Kaisy と Karjala<sup>5)</sup>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。既往研究から、以下に主たる評価指標の概

略を記す。

### (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しているが、現地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 (follower percent: Foll%) は、ある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。本評価指標は、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 秒を超えない」場合、追従状態にあると定めている。

### (3) 追従車密度

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。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、本評価指標の適用を報告<sup>6)</sup>している。本評価指標の特長は、追従車率とは異なり、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、追従車率の計測断面において、交通量観測と速度観測から算定することが可能である。交通量と速度は、簡易トラフィックカウンターやビデオ撮影等による計測結果の利用により算定できる。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。

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

Catbagan と Nakamura (中村) の既往研究<sup>7)</sup>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指標として、追従車密度の有効性を言及している。

本研究では、既往研究等も踏まえて、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とデータ取得の容易さの観点から、評価指標として平均旅行速度、追従車率及び追従車密度を取り上げ、交通流マイクロシミュレーションの結

果と現地実測の結果を述べる。

## 2.2 「2+1 車線」型道路のサービス性能の机上検討

交通流マイクロシミュレーションプログラム SIM-R を用いて、付加車線の配置間隔、時間交通量、路面状態を変数とした感度分析<sup>8),9),10)</sup>を行った。ネットワーク総延長は 30km とし、車両が発生し 10km 到達までは車群形成区間、同区間以後の 20km を評価対象区間とした。感度分析の諸条件を表-1 に示した。道路ネットワークのリンク規制速度は 60km/h、希望速度分布は北海道郊外部の国道の実測データに基づいた。

本シミュレーションは、北海道郊外部の国道に付加車線を設置したときのサービスの質の変動を予め把握するために実行した。追従の定義は、通常期の乾燥路面時においては HCM2010 に基づき「前車と後車の車頭間隔が 3.0 秒以下」とした。圧雪路面時の追従義については、「車頭間隔 4.5 秒以下」と設定<sup>11)</sup>した。すべりやすい圧雪路面では、ドライバーはより車間距離を保って運転するからである。

表-1 感度分析の諸条件

| 項目                    | 感度分析のケース                       |
|-----------------------|--------------------------------|
| 道路ネットワーク              | 30km                           |
| 付加車線延長                | 1.5km                          |
| 付加車線設置間隔              | なし, 3km, 5km, 7km, 8.5km, 10km |
| 時間交通量                 | 100 - 500 台/h                  |
| 大型車混入率                | 23.6%                          |
| 路面状態                  | 乾燥 (f=0.80), 圧雪 (f=0.30)       |
| シミュレーション回数            | 10 回                           |
| 計算除外時間 (プレシミュレーション時間) | 600 秒                          |
| シミュレーション時間            | 3,600 秒                        |

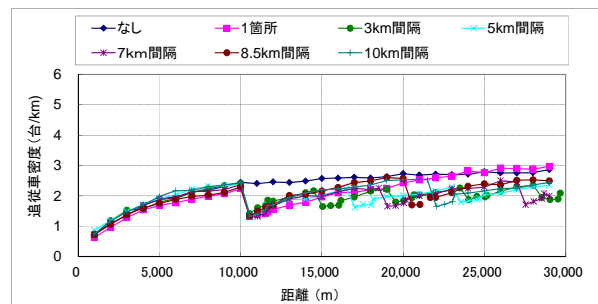


図-1 交通流シミュレーション結果  
(路面：乾燥、時間交通量：200 台/h)

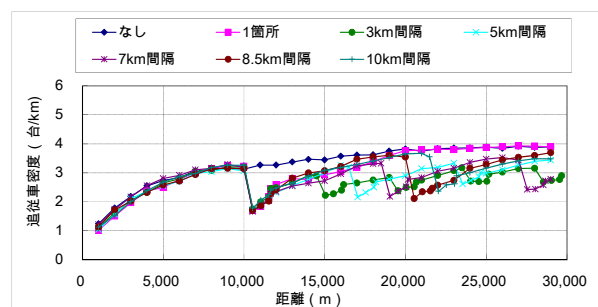


図-2 交通流シミュレーション結果  
(路面：圧雪、時間交通量：200 台/h)

延長 1.5km の付加車線を時間交通量、付加車線の配置間隔、路面状態の別に交通流マイクロシミュレーションプログラム SIM-R による感度分析を行った。評価指標は、平均旅行速度、追従車率、追従車密度とした。時間交通量 200 台/h のときの追従車密度の交通流シミュレーション結果について、乾燥路面の事例を図-1、圧雪路面の事例を図-2 に示す。

### 2.3 積雪寒冷地 2 車線道路のサービス水準の提案

前述のシミュレーション結果を踏まえ、通常期の乾燥路面と積雪期の圧雪路面を考慮した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、時間交通量と路面状態の交通条件及び気象の影響を表すからである。米国オレゴン州運輸局<sup>12)</sup>では、地方部の 2 車線道路のサービス水準として、追従車密度を評価指標として適用し、表-2 のクラス分けを提案している。本研究対象は、地方部の 2 車線道路であることから、表-2 の追従車密度の閾値を基に、サービス水準の構築<sup>13)</sup>を試みる。

表-3 は、2 車線道路及び「2 + 1 車線」型道路を対象とし、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。例えば、時間交通量 200 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、「2 + 1 車線」型道路（3km 間隔で付加車線設置）ではサービス水準 B となる。目標となるサービス水準を設定することにより、対象地域の気象・路面状態も考慮し、道路構

表-2 追従車密度によるサービス水準の試行

| サービス水準 | 追従車密度<br>[台/km・車線] | 追従車密度<br>[台/mile・車線] |
|--------|--------------------|----------------------|
| A      | ≦1.2               | ≦2                   |
| B      | ≦2.2               | ≦3.5                 |
| C      | ≦3.7               | ≦6                   |
| D      | ≦5.6               | ≦9                   |
| E      | >5.6               | >9                   |

表-3 時間交通量及び路面状態別の追従車密度

| 時間交通量<br>(台/時/方向) | 乾燥路面（通常期） |                     | 圧雪路面（積雪期） |                     |
|-------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|
|                   | 2車線道路     | 2+1車線道路<br>(3km 間隔) | 2車線道路     | 2+1車線道路<br>(3km 間隔) |
| 100               | 1.1       | 0.7                 | 1.5       | 0.9                 |
| 200               | 2.7       | 1.9                 | 3.8       | 2.5                 |
| 300               | 4.5       | 2.9                 | 6.3       | 4.3                 |
| 400               | 6.3       | 4.3                 | 8.7       | 6.0                 |
| 500               | 8.2       | 6.0                 | 11.2      | 8.0                 |

| 注) | LOS | 凡例 |
|----|-----|----|
|    | A   | ■  |
|    | B   | ■  |
|    | C   | ■  |
|    | D   | ■  |
|    | E   | ■  |

造（付加車線の設置間隔など）を決定する際の参考とすることができる<sup>14)</sup>。

## 3. 実験方法

### 3.1 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、交通データを実測した。同道路区間は、国による防雪事業として、平成26年度に本線工事が完了した。同道路の周辺は、北海道内でも有数の暴風雪が発生する地域である。周辺の土地利用はすべて農地・牧草地であることから、国道で低速車両の農耕車が通行する。低速走行の車両と高速走行の車両の分離、冬期雪害時の通行確保を考慮し、区間延長18.7km内のうち、上り側（稚内→豊富）に 3 区間、下り側（豊富→稚内）に 3 区間の付加車線の配置が計画され、「2 + 1 車線」型の道路として改良事業が行われた。すなわち、同道路は、「中央分離帯により上下方向が分離され、付加車線が断続的に交互に設置された 2 方向 2 車線道路」の構造<sup>15)</sup>を有している。同道路の設計速度は80km/h、横断面構成は写真-1及び図-3に示すとおりである。なお、同道路構造の決定においては、道路利用者等から構成される地域協働ワークショップ<sup>16)</sup>が行われ、



写真-1 実験区間  
（一般国道 40 号更喜苦内区間）

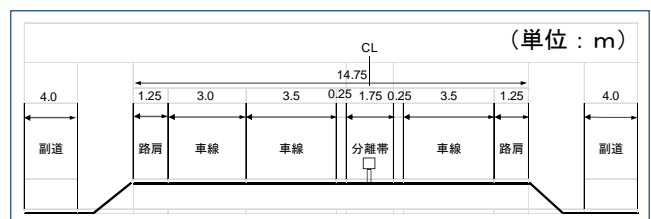


図-3 「2 + 1 車線」型道路の横断面構成

表-4 道路構造の概要

| 時期              | 方向      | 道路構造  |
|-----------------|---------|---|
| 暫定運用時(平成25年12月) | 上り方向    | 1車線 ~ 2車線 ~ 1車線 ~ 2車線 ~ 1車線   |
|                 | (稚内→豊富) | (L=3.9km) (L=1.5km) (L=8.8km) (L=1.5km) (L=3.0km)                     |
|                 | 下り方向    | 1車線 ~ 2車線 ~ 1車線 ~ 2車線 ~ 1車線   |
|                 | (豊富→稚内) | (L=5.9km) (L=0.8km) (L=8.8km) (L=1.5km) (L=1.7km)                     |
| 完成時(平成26年11月)   | 上り方向    | 1車線 ~ 2車線 ~ 1車線 ~ 2車線 ~ 1車線 ~ 2車線 ~ 1車線                               |
|                 | (稚内→豊富) | (L=3.9km) (L=1.5km) (L=3.8km) (L=1.5km) (L=3.7km) (L=1.5km) (L=3.0km) |
|                 | 下り方向    | 1車線 ~ 2車線 ~ 1車線 ~ 2車線 ~ 1車線 ~ 2車線 ~ 1車線                               |
|                 | (豊富→稚内) | (L=6.1km) (L=1.4km) (L=3.1km) (L=1.2km) (L=3.7km) (L=1.5km) (L=1.7km) |

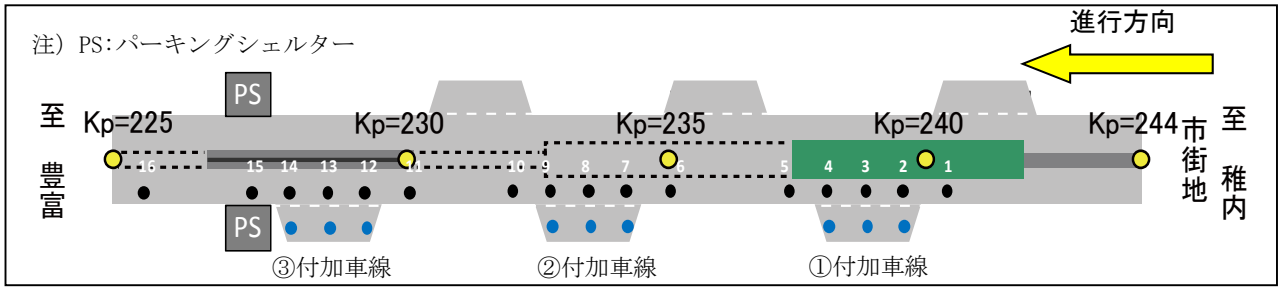


図-4 調査区間の平面図

(No. 1~No. 15 は交通観測の調査断面)

付加車線の形式や分離構造、副道の設置による軽車両（自転車、農耕車）や歩行者の利用空間の確保が決定された。

### 3.2 定点調査

同道路区間の暫定供用時（平成 25 年 12 月）及び完成後（平成 27 年 8 月）の交通流について実測した。調査概要及び気象条件<sup>17)</sup>は以下のとおりである。

#### 1) 冬期調査

- ・調査日：平成 25 年 12 月 17 日（火）7 時～15 時（8 時間）
- ・気温：最高気温～2.0℃、最低気温～-3.9℃
- ・天候：雪
- ・日降雪量：2cm
- ・積雪量：19cm
- ・路面状態：圧雪
- ・道路構造：暫定運用時（表-4 参照）

#### 2) 夏期調査

- ・調査日：平成 27 年 8 月 7 日（金）7 時～19 時（12 時間）
- ・気温：最高気温～21.9℃、最低気温～16.2℃
- ・天候：晴れ
- ・路面状態：乾燥
- ・道路構造：完成時（表-4 参照）

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、上り方向（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。

### 3.3 プローブ調査

平成 27 年 8 月 7 日（金）と平成 27 年 8 月 26 日（水）の 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。

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、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。

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/s<sup>2</sup>）：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。

本プローブ調査により得た生体情報（心拍数のデータ）から、新たな指標として①RRI と②LP 面積というストレスを表す指標を集計した<sup>18)</sup>。

#### 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）<sup>19)</sup> 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-5）。

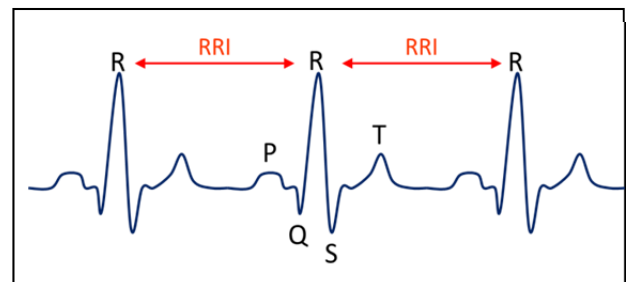


図-5 RRI (R-R interval)

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。



## 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<sup>20)</sup>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。

### 3.4 安全性に関する調査

一般国道 40 号更喜苦内区間 (L=18.7km、KP225.0~KP243.7) を対象とし、「2+1 車線」型道路の整備前後の事故データを集計し、比較した。

- 1) 整備前：平成 11 年～平成 16 年の 5 ヶ年
- 2) 整備後：平成 26 年 12 月～平成 27 年 11 月の 1 ヶ年

### 3.5 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。除雪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。

## 4. 「2+1 車線」型道路の性能の実測

### 4.1 定点調査の実測結果 (冬期)

表-4 中の暫定運用時 (実験時：平成 25 年 12 月) に冬期の実測調査を行った。暫定運用時に供用していた延長 L=1.5km の付加車線区間を含む上り方向 (稚内→豊富) と対向車線の片側 1 車線区間の下り方向 (豊富→稚内) の 5 観測断面 (地点 11~地点 15 まで) を対象とした (図-6 参照)。これは、豊富町側に位置する図-4 中の「③付加車線」を含む区間である。5 観測断面の平均速度、追従率と追従車密度を 5 分間毎に算出し、箱ひげ図で表したところ、図-7、図-8 及び図-9 を得た。

上り方向 (稚内→豊富) を見ると、片側 1 車線道路区間かつ付加車線の手前に位置する断面 11 においては、5 分間の平均速度は約 65km/h であった。付加車線設置区間内の断面 12~14 では、平均速度は約 75km/h に向上した。断面 11 の追従率の平均値が 40%、85 パーセンタイル値 60%にも至った。片側 2

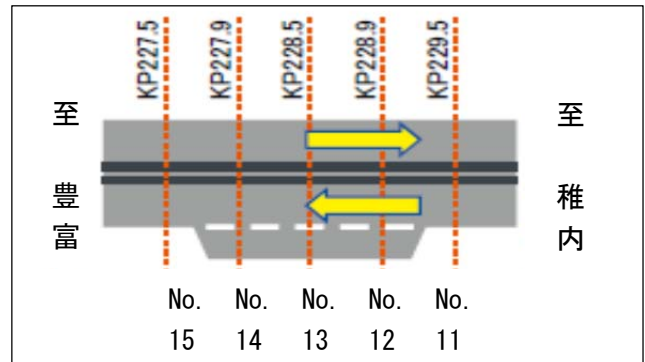


図-6 冬期実測調査を行った観測断面

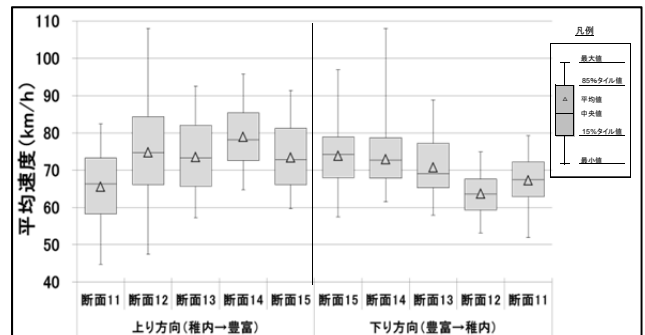


図-7 実測結果：平均速度 (各観測地点の N=96)

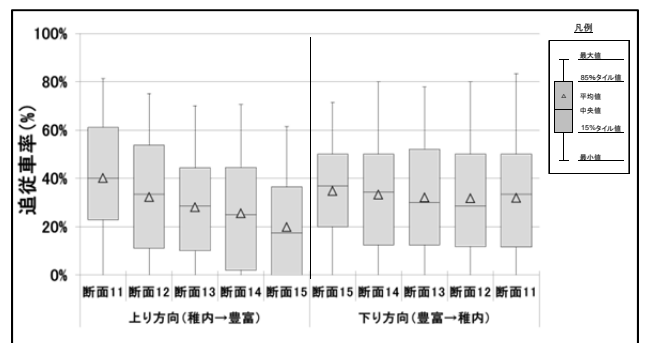


図-8 実測結果：追従率 (各観測地点の N=96)

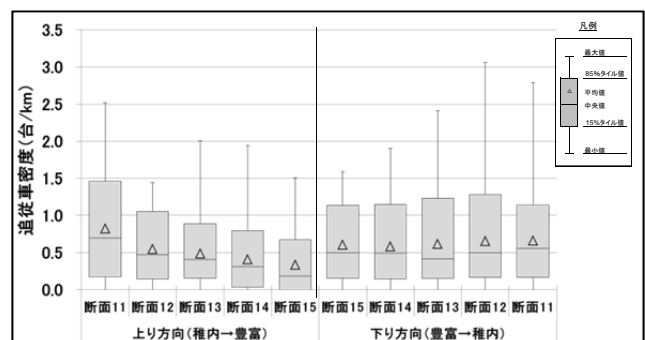


図-9 実測結果：追従車密度 (各観測地点の N=96)

車線に分流し付加車線の中間に位置する断面 13 では、追従率の平均値が 30%、85 パーセンタイル値が 43%に低下した。さらに、付加車線区間が終わり、片側 2 車線から片側 1 車線区間に合流した断面 15 では、追従率の平均値で 20%、85 パーセンタイル値で 38%まで改善した。追従車密度は、断面 11 では平

均値 0.8、85 パーセンタイル値 1.5、最大値 2.5 であったが、片側 2 車線区間に分流し付加車線区間内の断面 12~14 の間で徐々に追従車密度は低下し、片側 1 車線区間の地点 15 では平均値 0.4、85 パーセンタイル値 0.7 までサービスレベルが改善された。

一方、下り方向（豊富→稚内）は、全ての観測断面が片側 1 車線区間である。観測断面の断面 15~11 までの平均速度は、平均値で 70km/h 前後であった。同様に断面 15~11 までの追従車率は、平均値で 35%、85 パーセンタイル値で 50%程度であった。同様に、追従車密度は、平均値で 0.7、85 パーセンタイル値で 1.2 であった。

上り方向の実測値について、表-2 の追従車密度のクラス分けから判断すると、断面 11 の片側 1 車線区間（付加車線の手前）では、平均値ではサービス水準 A が保たれるが、85 パーセンタイル値ではサービス水準 B が保たれている。断面 12~断面 14 までの片側 2 車線区間及び断面 15 の合流後の片側 1 車線区間では、平均値及び 85 パーセンタイル値ともに、サービス水準 A が確保された。すなわち、降雪に見舞われた圧雪路面状態の冬期条件下においても、付加車線設置により高いサービスの質が確保されることが実測データにより示された。

本実験区間は、実測調査時点（平成 25 年 12 月）では、法定速度 60km/h の運用が行われていた。しかし、平成 26 年 7 月 30 日より、本実験区間を含む延長 L=3.7km（KP226.15~KP229.88）は、交通規制基準の一般道路の規制速度の決定方法<sup>21)</sup>に基づき、規制速度 70km/h とされた。本道路は、非市街地の 2 車線で上下線が分離されている構造を持っている。歩行者、軽車両及び原動機付き自転車の通行止め規制が実施されており、自動車の通行機能を重視した構造であることから、規制速度 70km/h が運用されるに至った。

#### 4.2 定点調査の実測結果（夏期）

平成 27 年 8 月に夏期の実測調査を行った。区間延長 18.7km 内のうち、上り側（稚内→豊富）に 3 区間、下り側（豊富→稚内）に 3 区間の付加車線の工事が完了し、「2 + 1 車線」型の道路として完成した段階であった。調査区間の規制速度は、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。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、追従車密度を集計し、85 パーセンタイル値、平均値、15 パーセンタイル値を表したところ、図-10、図-11 及び図-12 を得た。横軸には、観測地点 1 からの距離を取っている。（なお、2 車線区間については、本線側のデータを用いている。）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。

図-10 によれば、1 車線区間から 2 車線区間に入ると平均速度が向上する傾向が見られた。例えば、1 車線区間の地点 1 は、平均値 68km/h、15 パーセンタイル値 64km/h、85 パーセンタイル値 72km/h であった。2 車線区間ではそれぞれ約 10km/h 程度向上した。その後合流した 1 車線区間では、15 パーセンタイル値 70km/h、平均値 74km/h、85 パーセンタイル値 77km/h となり、付加車線に入る手前と比べて

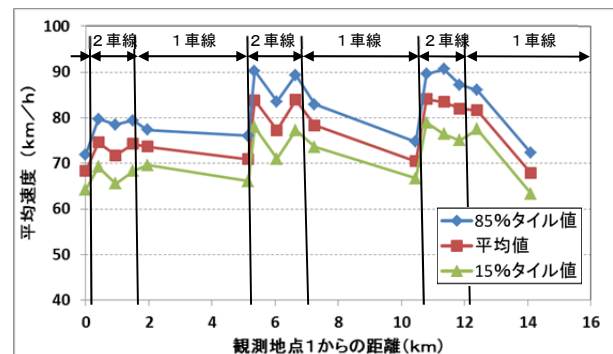


図-10 観測地点 1 からの距離と平均速度

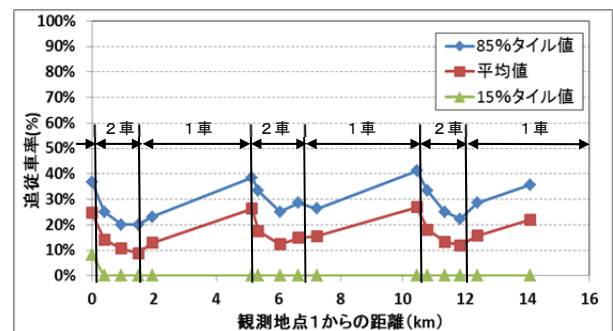


図-11 観測地点 1 からの距離と追従車率

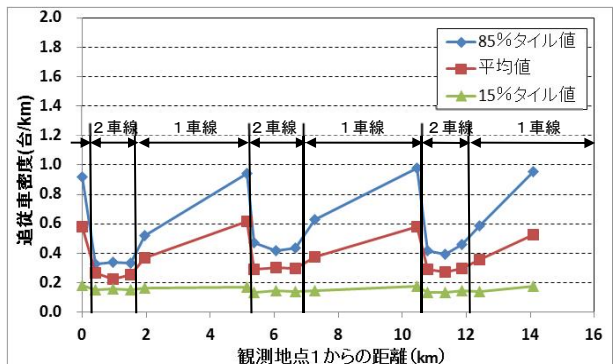


図-12 観測地点 1 からの距離と追従車密度

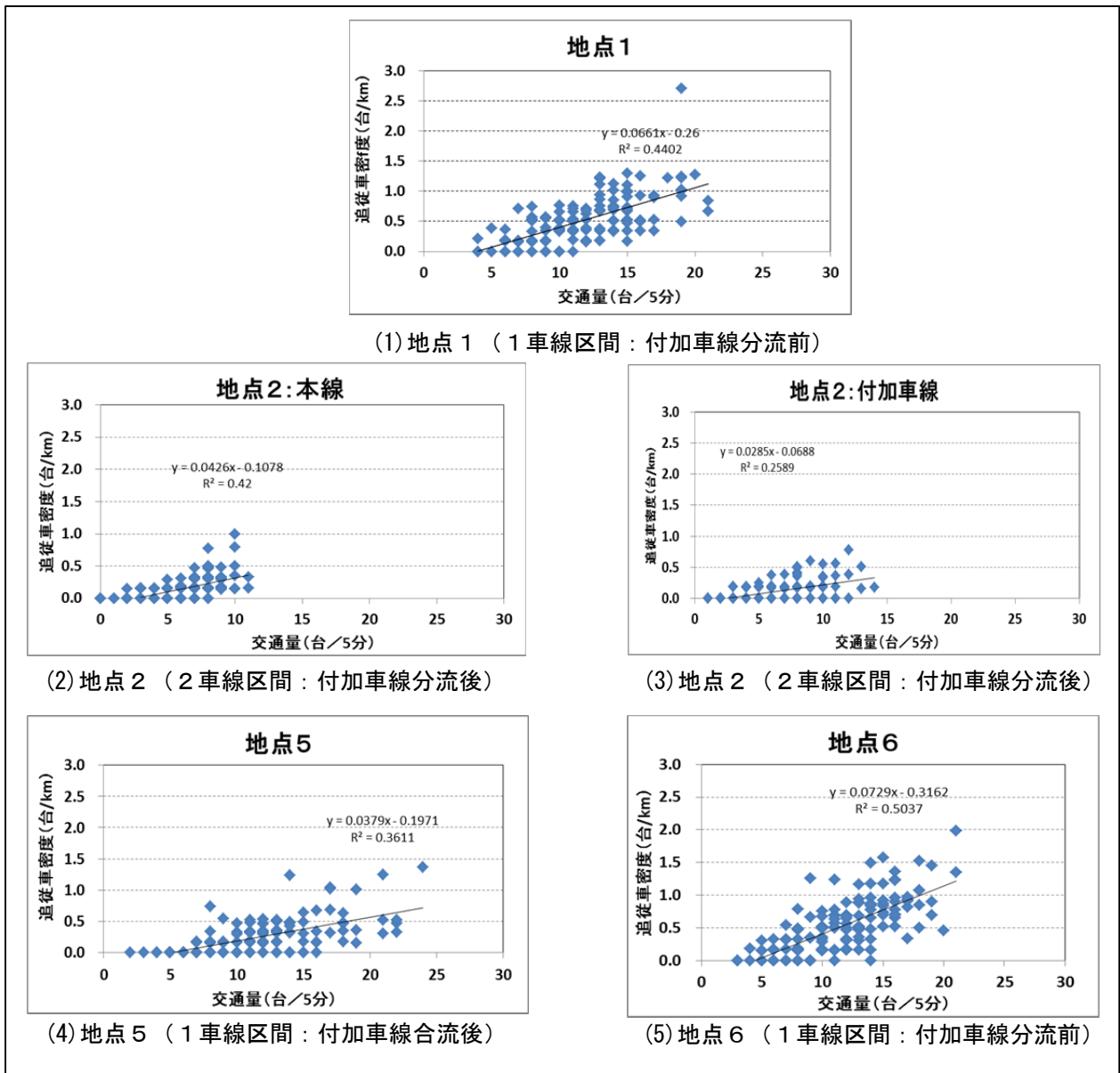


図-13 交通量と追従車密度

向上した。

図-11によれば、1車線区間から2車線区間に入ると追従車率が低下する傾向が見られた。片側に3区間の付加車線が断続的に設置されているが、付加車線区間に入る度に、同効果が発揮された。

図-12によれば、1車線区間から2車線区間に入ると追従車密度が低下する傾向が見られた。例えば、1車線区間の地点1は、15パーセント値0.2(台/km)、平均値0.6(台/km)、85パーセント値0.9(台/km)であった。2車線区間に入ると、15パーセント値0.2(台/km)、平均値0.3(台/km)、85パーセント値0.4(台/km)へと低下した。さらに、その後に合流した1車線区間では、最小値0.1(台/km)、平均値0.4(台/km)、85パーセント値0.5

(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。

1車線区間に位置する地点1、地点5、地点6、2車線区間に位置する地点2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-13を得た。最小二乗法に基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。地点2は、付加車線分流後の片側2車線区間に位置し、本線と付加車線(ゆずり車線)を示している。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。地点6に示すように、片側1車線区間が続くと、再び、傾きが大きくなった。片側2車線区間の地点2においては、本線側0.0426、付加車線側0.0285となり、直前の片側1車線区間の地点1の0.0661と比べて小さくなった。

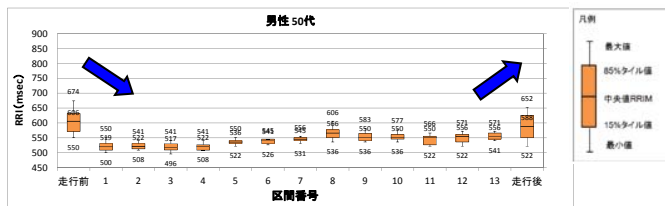
#### 4.3 プローブ調査

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-4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-14及び図-15に示す。なお、両図中の横軸の区間番号は、以下の1車線区間と2車線区間を示している。

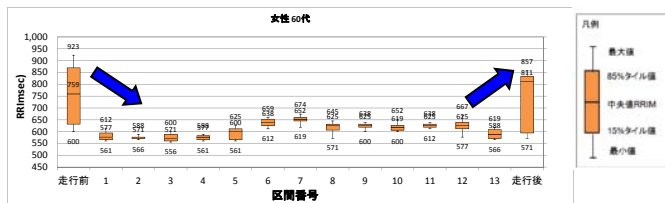
片側1車線区間 ~ 1、3、5、7、8、10、12

片側2車線区間 ~ 2、4、6、9、11、13

図-14は、被験者A(男性:50代)と被験者B(女性: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

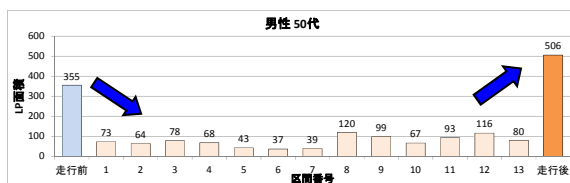


(1) 被験者 A (男性 : 50 代)

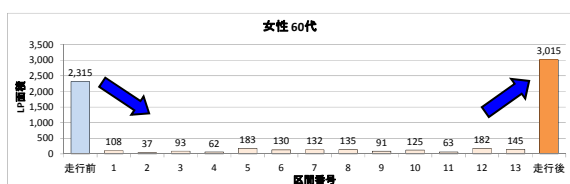


(2) 被験者 B (女性 : 60 代)

図-14 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-15 LP 面積の区間毎の変化

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。走行終了後は、RRIは向上した。

次に、走行前、区間1~13の走行、走行後のLP面積を図-15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-16の領域区分のA~Dのどの領域に入るかについて、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)

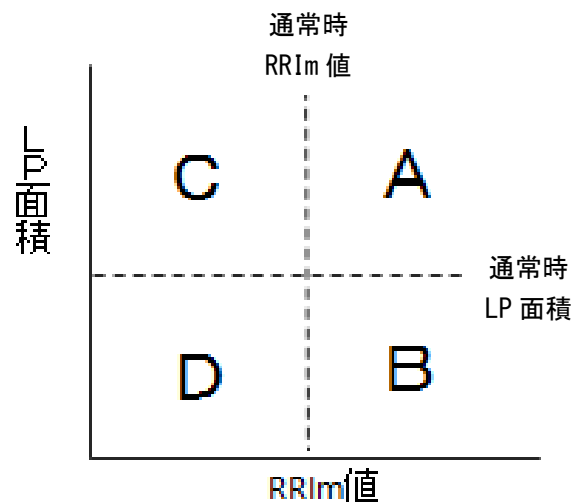


図-16 領域区分





(1) GR (ガードレイル) 区間



(2) 広幅員区間  
写真-2 中央分離構造

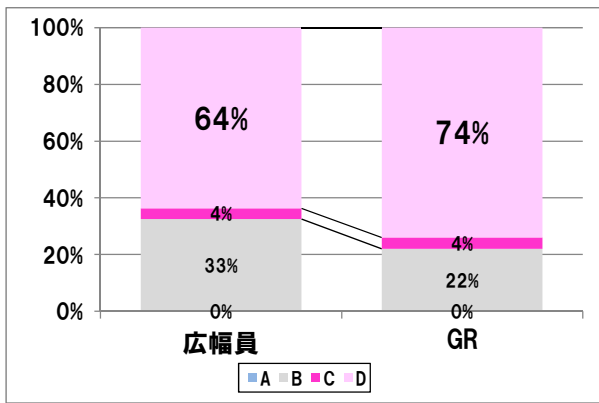


図-17 中央分離帯構造での比較 (N=11)

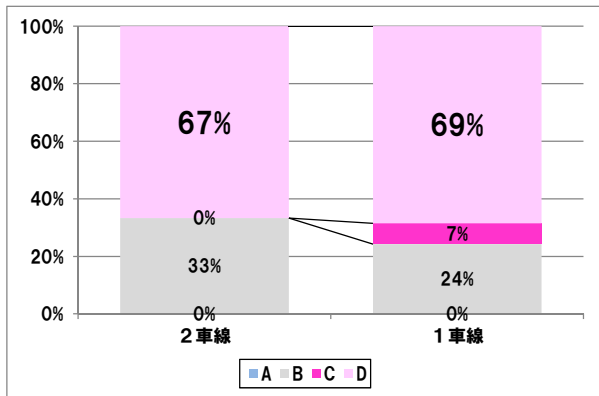


図-18 車線数での比較 (N=11)

プロットデータについて、中央分離帯構造 (写真-2) での比較及び車線数での比較の結果については、図-17 及び図-18 に示すとおりである。図-17 から、中央分離構造として、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。しかし、広幅員と GR 間の有意差は見られなかった。

図-18 から、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。しかしながら、有意差は見られなかった。

中央分離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 RRI<sub>m</sub> と LP 面積について、平均値の差について t 検定したところ、表-5 及び表-6 を得た。

表-5 t 検定の結果 (RRI<sub>m</sub>)

|           | 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<br>× | 0.001<br>○ | 0.000<br>○ |
| 広幅中央帯/2車線 |           |           | 0.012<br>○ | 0.003<br>○ |
| GR中央帯/1車線 |           |           |            | 0.18<br>×  |
| GR中央帯/2車線 |           |           |            |            |

表-6 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<br>○ | 0.498<br>× | 0.052<br>× |
| 広幅中央帯/2車線 |           |           | 0.035<br>○ | 0.246<br>× |
| GR中央帯/1車線 |           |           |            | 0.062<br>× |
| GR中央帯/2車線 |           |           |            |            |

#### 4.4 安全性に関する調査

調査区間における「2+1車線」型道路の整備前及び整備後の事故データを比較したところ、図-18 を得た。本区間は上下線が分離され、追越しのための付加車線が設置された構造である。本構造の採用により、整備前に多発していた正面衝突事故、追突事故等による死傷事故は、整備後はゼロとなった。

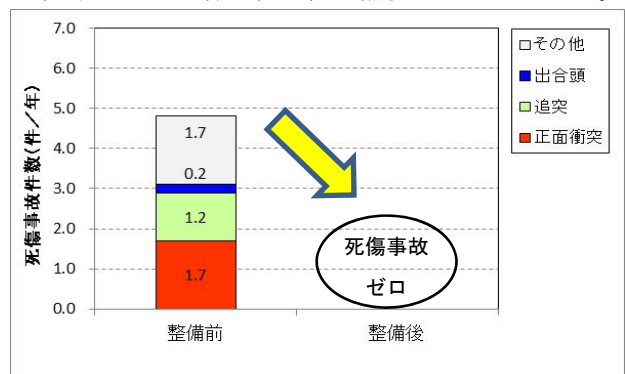


図-19 「2+1車線」型道路の整備前後の死傷事故データの比較

#### 4.5 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-3は、



(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-3 冬期の車線利用状況調査

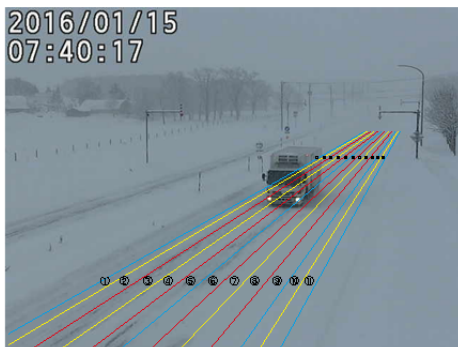


図-20 画像の読み取りと走行位置の区分

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。

取得した画像データを図-19に示す縦断方向に

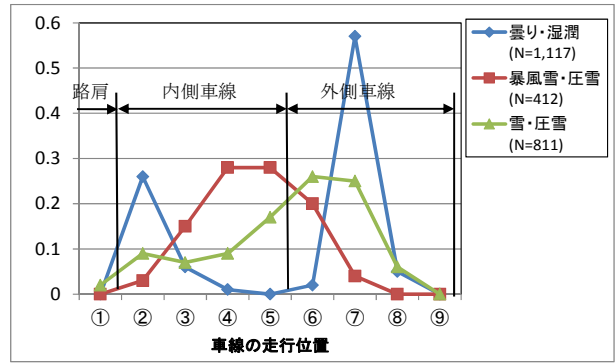


図-21 車両走行位置の調査結果

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-3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-21を得た。

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。

## 5. 「2+1車線」型道路の設計と運用

### 5.1 道路設計

「2+1車線」型道路は、「中央分離帯により上下方向が分離され、付加車線が断続的に交互に設置された2方向2車線道路」と定義付ける。積雪寒冷地における本構造の設計の留意事項を以下に列挙する。

#### (1) 中央分離構造

「2+1車線」型道路の設計に際し、上下方向の分離が必要である。本調査区間では、沿道の景観や冬期気象状況にも配慮し、広幅員緑地型中央帯とGR (ガードレール) 中央帯 (たわみ性防護柵) が採用された。

#### (2) 安全な追越しのための付加車線の設置

低速車を後続の高速車が安全に追越しできるように、付加車線の設置が必要である。本調査区

間では、暫定供用時に低速の農耕車両をはじめ軽車両が走行することに配慮し、ゆずり型の付加車線が設置された（写真-4）。



写真-4 付加車線区間における安全な追越し

### (3) アクセスコントロール

副道の設置により、歩行者、自転車や農耕車などの軽車両に通行開放された。本線は自動車専用とし、沿道交通と通過交通を分離して沿道からのアクセスコントロールを図り、安全性と速達性向上が図られた（図-22）。

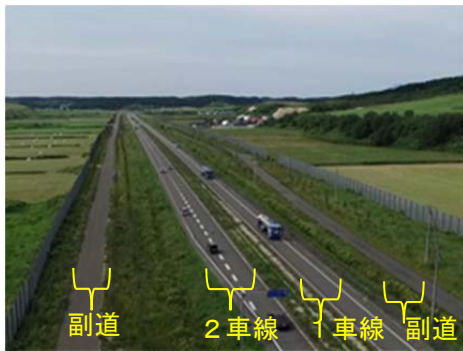


図-22 アクセスコントロール

### (4) 防雪対策

積雪寒冷地においては、吹雪などに対する冬期防雪対策や視程障害対策が必須である。本調査区間では、沿道景観と調和が図れる両側防雪林が整備された。

#### 5.2 大雪時の車線運用

大雪時などにおいては、付加車線を含む冬期交通確保幅員を1度（1廻り目）の除雪することが、片側2車線区間の機能を維持する上で望ましい。しかしながら、大雪時などにおいては、機械配置等の都合により、1度に片側2車線区間の除雪が難しい場合がある。効率的な車線運用の観点から、大雪時の除雪方法として、以下を提案する（図-23）。これにより、本線部を優先した交通が確保できる。

- 1) 大雪時の除雪方法に際しては、本線部の除雪を優先し、付加車線部（ゆずり車線）に堆雪（本線部の通行を確保）。
- 2) 次いで、付加車線部（ゆずり車線）を除雪。

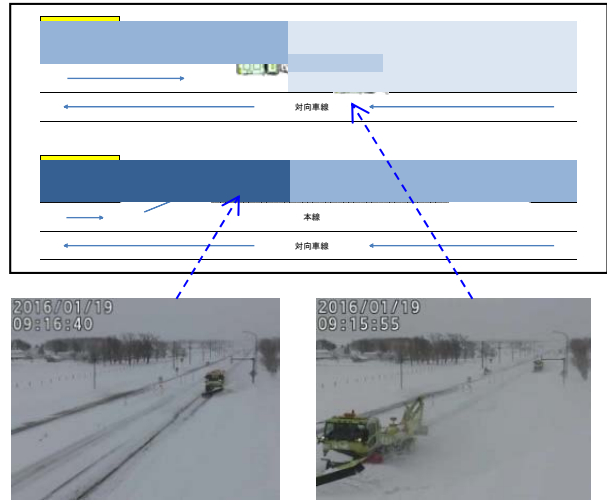


図-23 片側2車線区間の除雪方法

### 6. 地域協働ワークショップへの参画

本調査区間を対象とし、国道40号の路線の役割、それを果たすための性能、整備・運用の工夫のプロセスを検討するため、協働型インフラ・マネジメントが実施された。具体的には、学識経験者、沿道自



写真-5 地域協働ワークショップに参画  
（於：稚内開発建設部）

治体、地域団体（未来の暮らしと宗谷路（ネットワーク）を考える会）、道路利用者から構成される地域協働ワークショップ（更喜苫内ワークショップ）に参画した（写真-5）。

### 7. まとめ

#### (1) 2車線道路及び「2+1車線」型道路のサービス性能を表す評価指標の有効性の検証

積雪寒冷地における2車線道路並びに「2+1車線」型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、積雪期の圧雪路面状態も考慮し、検討することが求められる。圧雪路面状態では、乾燥路面状態と比べて、当該道路のサービスの質は低下する。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試行

した。なお、追従の定義について、乾燥路面は「前車と後車の車頭間隔 3.0 秒以下」、圧雪路面は「前車と後車の車頭間隔 4.5 秒以下」とした。2 車線道路のサービス水準は、米国オレゴン州運輸局による追従車密度の閾値を参考とした。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。

## (2) 実道での実測結果より、「2 + 1 車線」型道路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、夏期及び冬期における定点観測により交通データを取得した。

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。また、本研究で試行したサービス水準の試行により、定点調査の実測結果からは、当該調査区間は夏期及び冬期ともに、概ねサービス水準 A が確保されていることが分かった。

なお、実測調査 (冬期) 実施後の平成 26 年 7 月から、本実験区間を含む延長  $L=3.7\text{km}$  が一般道路の規制速度の決定方法に基づき、規制速度  $70\text{km/h}$  が運用されるに至った。

### (3) 被験者参加によるプローブ調査に基づくドライバーの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。

### (4) 「2 + 1 車線」型道路の設計と大雪時の車線運用

「2 + 1 車線」型道路は、「中央分離帯により上下方向が分離され、付加車線が断続的に交互に設置された 2 方向 2 車線道路」と定義付けられる。設計の留意事項として、中央分離構造、安全な追越しが可能となる付加車線の設置、副道設置による軽車両と自動車の交通を分離したアクセスコントロール、防雪対策の実施などの要件を整理した。

また、冬期における車線利用実態調査を踏まえ、「2 + 1 車線」型道路の片側 2 車線区間における本線と付加車線のドライバーによる認知が重要であることを確認した。効率的な車線運用の観点から、大雪時の除雪方法として、本線を優先除雪することを提案した。

## 8. おわりに

一般国道 40 号更喜苦内道路の付加車線はゆずり方式で運用されている。地域協働ワークショップの中で、現道を活用しながら農耕車などの低速車両の走行を確保する等を理由に同方式が採用された。完全なる「2 + 1 車線」道路は、付加追越車線が交互に連続する道路である。本研究の対象とした国道 40 号更喜苦内区間は、ゆずり方式の付加車線が断続的に配置される道路であることから「2 + 1 車線」道路に近い構造として、「2 + 1 車線」型道路という表現を用いた。積雪の気象条件を配慮した一般国道 40 号更喜苦内道路の事例も踏まえ、我が国において将来的に付加追越方式の連続化した構造の実現を願うところである。

## 参考文献

- 1) 国土交通省北海道開発局：道路現況調査, 2015 年.
- 2) B. Ray Derr: Application of European 2+1 Roadway Designs, NCHRP Research Result Digest, 2003.
- 3) Highway Capacity Manual 2010, TRB of the National Academies, Washington D.C., 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.



- 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.
- 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.
- 8) Kazunori Munehiro et al., Traffic Simulation of a Rural 2+1 Highway in Hokkaido, Transport Simulation –Beyond Traditional Approaches-, EPFL Press, Lausanne, 2009.
- 9) Azuma Takemoto, Kazunori Munehiro, et al., Construction of Passing-Maneuver Model on Two-Lane Highway with Consideration of Road Surface and Visibility Condition, Journal of the Transportation Research Board, No.2258, TRB, 2012.
- 10) 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.
- 11) Kazunori Munehiro, et al.: Performance Evaluation for Rural Two-Plus-One-Lane Highway in a Cold, Snowy Region, Journal of the Transportation Research Board, No.2272, pp.162-172, 2012.
- 12) Oregon Department of Transportation ; Modeling Follower Density on Two-Lane Rural Highways, 2014.
- 13) Kazunori Munehiro, Hiroyuki Kageyama, Tateki Ishida : Performance Evaluation of “2+1 Lane” Highway in Hokkaido, Japan - Case Study of Saraki-tomanai Road -, Proceedings of 5<sup>th</sup> International Symposium on Highway Geometrics and Design, Vancouver, Canada, 2015.
- 14) 宗広一徳, 高田哲哉, 石田樹, 松田武 : 北海道における「2+1 車線」型道路の性能評価, 土木学会論文集 D3, 2016.
- 15) 宗広一徳, 高田哲哉, 石田樹 : 北海道における「2+1 車線」型道路のサービス性能の実測, 第 36 回交通工学研究発表会論文集, 2016.
- 16) 鎌倉亮, 松田武, 久手剛 : 宗谷路における協働型インフラ・マネジメントの取組みについて, 交通工学 Vol.52(3), 2017
- 17) 気象庁 : 各種気象データ・資料, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>, 2017年, (2017年3月30日).
- 18) Kazunori Munehiro, Tetsuya Takada, Tateki Ishida : Winter Road Performance Measurement on a “2+1 Lane” Highway in Hokkaido, Japan, Proceedings of 95<sup>th</sup> TRB Annual Meeting, Washington D.C., 2016
- 19) 中島豪太, 外 : 心拍間隔指標を用いたストレス計測による自転車走行環境評価に関する基礎的研究, 第36回土木計画学研究発表会・論文集, 2009年
- 20) 渡辺 和憲、金 利昭 : 心拍変動を用いた自転車利用者のストレス分析手法に関する考察、第 40 回土木計画学研究発表会・論文集, 2011 年.
- 21) 警察庁 : 「交通規制基準」の一部改正について, 警察庁丙規発第23号, 2009.

# 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,  
MUNEHURO Kazunori,  
TAKADA Tetsuya,

**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. In addition, we proposed efficient lane operation of "2 + 1 lane" type road at heavy snow

**Keyword:** Additional lane, evaluation index, level of service, highway design