

積雪寒冷地における新たな交差構造の導入に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 24～平 28

担当チーム：寒地交通チーム、
寒地機械技術チーム

研究担当者：石田樹、高橋尚人、宗広一徳、
高田哲哉、大槻敏行、牧野正敏、
高本敏志、佐藤信吾、伊藤義和

【要旨】

我が国の国土面積の約6割は積雪寒冷地域に位置しており、同地域のラウンドアバウトの運用時には、適切な冬期管理が求められる。本研究では、苫小牧寒地試験道路に小型環道1車線型ラウンドアバウトを試験設置し、冬期条件下のドライバーの視認性と除雪車によるエプロン構造への影響把握実験を実施した。ドライバーの視認性実験では、夜間においては、シェブロン標識及び視線誘導標を設置したケースが最も主観評価値が高くなった。また、実際の除雪車を使用したエプロン部除雪に関する実験により、除雪装置接触による縁石の損傷について、エプロン端部の傾斜角度別にデータを取得し、傾斜角度が小さいケースで損傷が少ないことを確認した。

キーワード：積雪寒冷地、交差構造、ラウンドアバウト、走行性、冬期管理

1. はじめに

ラウンドアバウトは、環道交通流に優先権を持つ新たな交差点制御方式として、1980年代以降、欧州各国及び米国をはじめとし、世界各国で広く普及するに至っている。ラウンドアバウトの基本構造¹⁾は、中央島、分離島、舗装、エプロン（路面の段差）、標識・路面標示で構成される。日本にも存在する旧来の円形交差点（ロータリー交差点）は、外径が大きく（概ね50～70m）、流入交通優先（左方優先）等により運用されてきた。これに対し、現代型のラウンドアバウトは、外径がコンパクト（概ね27～40m）であり、環道交通優先のルールにより運用され、車両の速度抑制、交通事故被害軽減及び環境負荷低減の効果が発揮される。我が国では、近年発生した地震、津波、豪雪等の自然災害により、広域に亘り停電し、信号が機能しない事態が連続した²⁾。ラウンドアバウトは、電力を必要とせず、災害時にも機能し得る自律型の交差構造として、耐災性にも優れている。

日本の国土の約2/3は積雪寒冷地に位置していることから、ラウンドアバウトの冬期管理上の留意事項や積雪条件下での性能を把握することが求められている。寒地土木研究所では、ラウンドアバウトの基本の幾何構造及び冬期管理工法の検討を目的とし、苫小牧寒地試験道路（苫小牧市宇柏原211番地1）において、環道外径27mの環道1車線型ラウンドアバウトを試験

設置した。当所では、ラウンドアバウトにおけるドライバーの運転挙動及び冬期管理工法に関する試験研究に取り組んだ。本研究により、以下の事項について検討を行った。

- ・ドライバーの視認性及び走行性に関する実験
- ・除雪車の旋回性及び堆雪位置の影響に関する実験
- ・除雪車によるエプロン構造への影響把握実験

2. ドライバーの視認性及び走行性に関する実験

2.1 実験対象としたラウンドアバウト

苫小牧寒地試験道路に設置した小型1車線型ラウンドアバウトを対象とし、実験を行った。同ラウンドアバウトの主たる諸元は以下のとおりである。

1) 主要な部位

- ・環道外径 (D) : 27.0 m
- ・環道車線幅員 (Wr) : 5.0m
- ・環道走行幅員 (Wc) : 7.5m

2) 中央島

- ・中央島直径 (Di) : 11.0m
- ・エプロン幅員 (Wc - Wr) : 2.5m

3) 流入／流出部

- ・流入部幅員 (Wa) : 3.5m, 3.25m
- ・流出部幅員 (We) : 3.5m
- ・流入部曲線半径 (Ra) : 13.0m

・流出部曲線半径 (R_e) : 15.0m

4)横断歩道

・横断歩道とゆずれ線の間隔 (D_c) : 5.0m

5)分離島

・分離島延長 (L_d) : 30.0m、14.3m

・分離島幅員 (W_d) : 3.25m、2.0m、6.5m

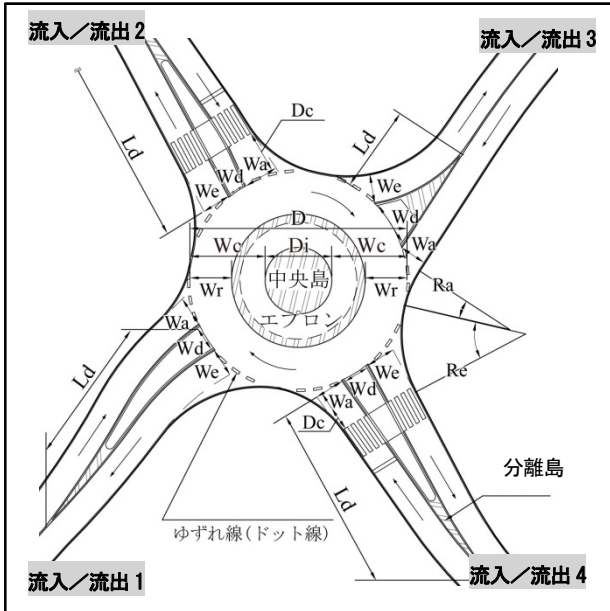


図-1 ラウンドアバウトの平面図

2.2 実験ケース

被験者ドライバーは、圧雪条件下のラウンドアバウトにおいて、実験車両(2002年日産プリメーラ、型式:UA-TP12)を運転した。ラウンドアバウトに設置する道路附属物として、シェブロン標識を中央島、視線誘導標(スノーポール)を流入/流出部への設置の有無別に実験ケースは3ケースとした(表-1、図-2)。なお、いずれのケースにも「環状の交差点における右回り通行」の規制標識は設置した。実験は、昼間及び夜間に行った(表-2)。実験状況については、写真-1に示すとおりである。

表-1 実験ケース

	シェブロン標識	視線誘導標
ケース1	なし	なし
ケース2	あり	なし
ケース3	あり	あり



シェブロン標識



スノーポール

図-2 道路附属物

表-2 実験日の概要

昼夜	実験日	開始時間	終了時間	気温(°C)	摩擦係数	ケース
昼間	2016年2月11日	10時30分	16時30分	-2.2	0.28~0.39	1・2
昼間	2016年2月12日	9時45分	15時30分	-4.1	0.26~0.41	2・3
夜間	2016年2月11日	17時20分	21時30分	-3.4	0.26~0.28	1・2
夜間	2016年2月12日	17時10分	21時15分	-0.2	0.33~0.44	2・3



(1) 昼間



(2) 夜間

写真-1 実験の様子

2.3 データ取得

被験者ドライバーは、グラス型視線計測装置(Tobii Pro Glasses 2)を装着し、実験車両(小型車)を運転した(図-3)。

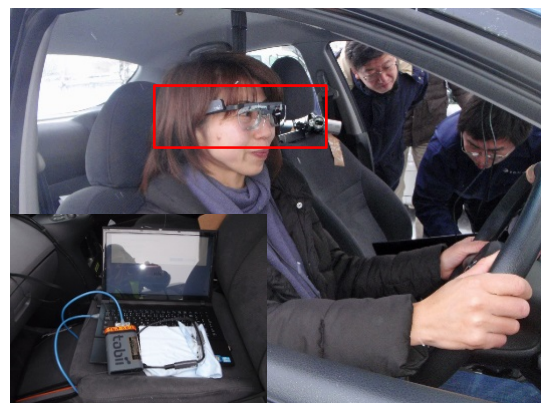


図-3 グラス型視線計測装置
(Tobii Pro Glasses2)

被験者は、十分に運転経験のある一般ドライバー10人とした。実験車両に搭載したデータロガー(レーステクノロジー社:DL-1)及びグラス型視線計測装置により、以下のデータ

を取得した。

- ・速度 (km/h)
- ・前後方向加速度、横方向加速度 (m/s²)
- ・視線計測
- ・主観評価 (安全確認のしやすさを7段階評価)

2.4 視認性の実験結果

被験者ドライバーが実験車両の運転時におけるグラス型視線計測装置の計測結果の一例は、**図-4** のとおりである。ドライバーの視線をヒートマップで表示している。緑色から黄色、黄色から赤色へと変わるほど視線の増加を示している。ケース1のシェブロン標識と視線誘導標(スノーポール)の設置なしの条件では、昼間は前方の中央島全体に視線が向いている。夜間になると、環道の路面上に視線が向いていることが分かる。また、ケース3のシェブロン標識及び視線誘導標(スノーポール)が設置された状態の夜間においては、中央島に設置したシェブロンへ視線が集中していることがデータ取得できた。

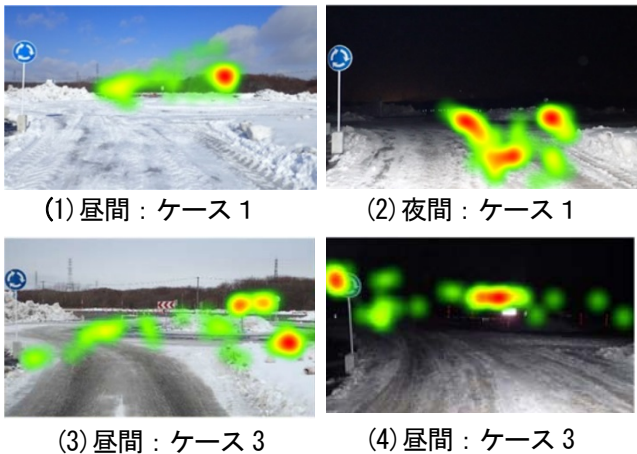


図-4 視線計測結果
(ヒートマップで表示)

被験者ドライバー10名による安全確認のしやすさの主観評価について、シェッフエの一対比較法により分析したところ、**図-5** を得た。昼間並びに夜間ともに、ケース3のシェブロン標識(中央島)と視線誘導標(スノーポール、流入/流出部)の両方を設置したケースが最大値を得た。他方、道路附属物を設置しないケース1(「環状の交差点における右回り通行」の規制標識のみ設置)は、昼間及び夜間ともに、値は低くなった。すなわち、冬期にラウンドアバウト上が雪で覆われて、同構造形状や線形が分かりにくくなる状態では、ドライバーの安全確認のしやすさを向上させるため、シェブロン標識や視線誘導標の設置が効果を発揮することがデータにより示された。グラス型視線計測装置の計

測結果を踏まえると、特に、夜間において、同設置効果が発揮されることが示された。

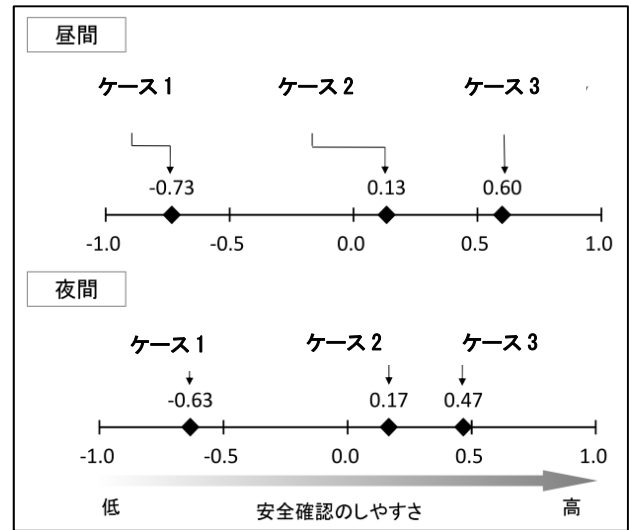


図-5 シェッフエの一対比較法による評価

2.5 冬期交通容量の推定

ドイツの設計ガイドライン (Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren³⁾) で採用されている流入車両のギャップアクセプタンス確率に基づく式は以下で表される。

$$C_i = s \cdot \left[\frac{3600}{t_f} \left(1 - \tau \frac{Q_{ci}}{3600} \right) \cdot \exp \left\{ - \frac{Q_{ci}}{3600} \cdot \left(t_c - \frac{t_f}{2} - \tau \right) \right\} \right] \quad (1)$$

ここで、

C_i : 流入部の交通容量 (台/h)

Q_{ci} : 流入部iの正面上流断面の環道交通量 (台/h)

t_c : 臨界流入ギャップ (sec) : 4.1 (sec)

t_f : 流入車両の追従車頭時間 (sec) : 2.9 (sec)

τ : 環道交通流の最小車頭時間 (sec) : 2.1 (sec)

s : 安全率0.8

我が国では、式(1)に安全率sとして0.8を乗して、交通容量の算出に適用しているが、これは乾燥路面を対象としている。積雪時の交通容量、すなわち流入可能交通量は、乾燥時と比較して減少することは想定できるが、どの程度まで減少するのかについては、これまで知見がない。本研究では、流入時のギャップアクセプタンス挙動の実測により、積雪条件下のラウンドアバウトの交通容量の推定を試みた。

表-3 データ取得時の状況

	日にち	開始時刻	終了時刻	路面状態	すべり止め材	すべり摩擦係数	気温(°C)	ドライバー
①	2015年2月9日	9時	12時	圧雪	なし	0.18	-4.6	12
②	2015年2月10日	12時	15時	圧雪	あり	0.55	-1.4	12
③	2009年9月16日	10時	16時	乾燥	-	未計測	21.6	16

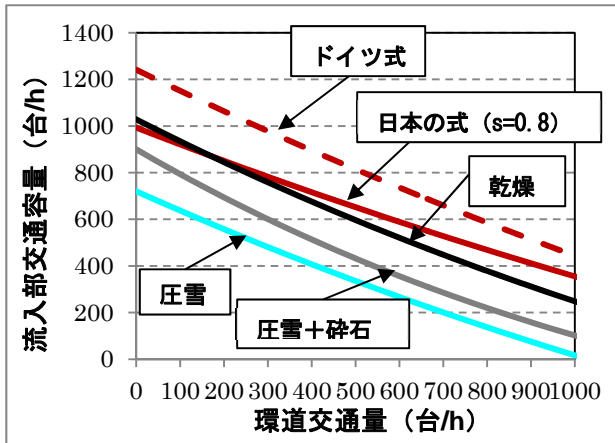


図-6 流入部交通容量と環道交通量の関係

試験道路のラウンドアバウトを対象とし、表-3に示す①圧雪、②圧雪+砕石(すべり止め材散布)、③乾燥のラウンドアバウト走行実験のビデオ画像から、臨界流入ギャップ t_c 、追従車頭時間 t_r 、環道最小車頭間隔時間 τ の3つを取得したところ、以下のとおり。なお、②の実験時にすべり止め材として用いたものは、砕石7号(JIS A5001-1995 規定)であり、粒径は2.5~5mmであった。また、比較データとしてドイツ式の車間パラメータも示した。

- ① 圧雪 $\sim t_c : 6.7(s), t_r : 5.0(s), \tau : 3.5(s)$
- ② 圧雪+砕石 $\sim t_c : 6.4(s), t_r : 4.0(s), \tau : 3.0(s)$
- ③ 乾燥 $\sim t_c : 5.1(s), t_r : 3.5(s), \tau : 2.5(s)$
- ④ ドイツ式 $\sim t_c : 4.1(s), t_r : 2.9(s), \tau : 2.1(s)$

上記①から④の車間パラメータを式(1)に導入したところ、図-6を得た。圧雪時の流入部交通容量は乾燥時と比べて300台/h程度減少することが示された。これに対し、圧雪路面にすべり止め材を散布することにより、150台/h程度の減少まで影響が緩和されることが示された。すなわち、路面に雪が覆われた条件下では、すべり止め材の散布など、適切な冬期管理が必要とされる。適切な冬期管理の実施の下、ラウンドアバウトの性能が発揮される。

3. 除雪車の旋回性に関する実験

ラウンドアバウトを効率的に除雪するためには、除雪車による連続的な施工が有効である。しかし、除雪車は機種・規格により旋回能力などの性能が異なるため、道路構造に応じた配置が必要である。このことから、ラウンドアバウトの冬期管理を行う除雪車配置の基礎資料とすることを主眼とし、ラウンドアバウトへの適応性を定量的に確認するため、各除雪車の走行軌跡を計測した。

3.1 実験概要

除雪車走行実験は、新雪除雪に使用する3機種を用いて、冬期に圧雪路面のラウンドアバウトで実施した。各除雪車は、同じオペレータ(1名)が「周回(360度旋回)、右折(270度旋回)、直進(180度旋回)、左折(90度旋回)」の4パターンを、実作業を想定した速度で2回ずつ走行した。なお、走行中に除雪作業は行わず、最後の走行実験でのみ、除雪グレーダでラウンドアバウト環道部の除雪を行い、その走行軌跡を計測した。なお、この実験では中央島直径8.0m、エプロン幅員4.0mとした。

表-4 実験対象の除雪車

機 械 名	操舵方式	機 械 の 特 徴
除雪トラック 10t級	前輪操舵	・機動性、居住性に優れる ・郊外部を中心に配置
除雪グレーダ 4.3m級 (除雪用モーター グレーダ)	前輪操舵	・作業性、圧雪除去能力に優れる ・都市部を中心に配置
除雪ドーザ 13t級 (除雪用ホイール ローダ)	車体屈折	・旋回(小回り)性能に優れる ・一般的に生活道路や交差点などの特定箇所として配置

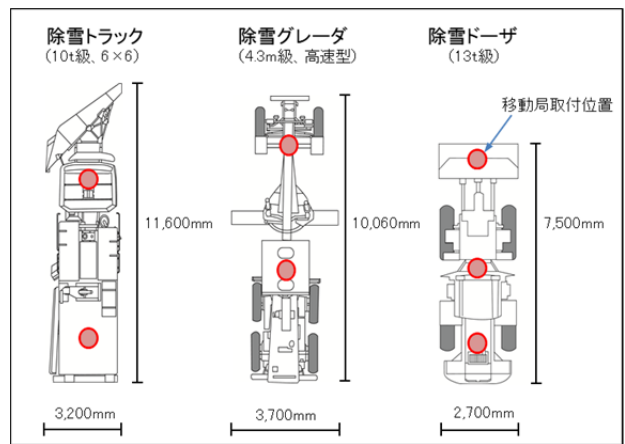


図-7 除雪車の外寸図

3.2 計測方法

計測方法は、リアルタイムに数cm程度の精度で計測できる衛星測位システム(以下、「RTK-GNSS」という)を試験道路内(固定局)と除雪車(車載移動局)に設置(図-8)し、これにより除雪車の位置(緯度、経度)、進行方向及び走行速度を計測した(写真-2)。さらに、ラウンドアバウト平面図及び除雪車外寸データを重ね合わせることで、連続的な走行軌跡及び車両通過地点を確認した。



図-8 RTK-GNSS 設置状況



写真-2 走行軌跡計測状況 (除雪グレーダ)

3.3 実験結果

機種及び除雪作業の有無の違いによる走行軌跡への影響を定量的に評価するため、周回実験における最小回転半径を比較した。この結果、他の2機種に比べて除雪ドーザの回転半径が小さく、除雪グレーダでは除雪作業の有無による走行軌跡の変化は少なかった(図-9)。また、除雪トラック及び除雪グレーダの右左折実験では、流出路において車両外寸が車道幅員をはみ出し、分離島にかかること(図-10)が散見されたが、除雪ドーザでは、はみ出すことはなかった。このこと

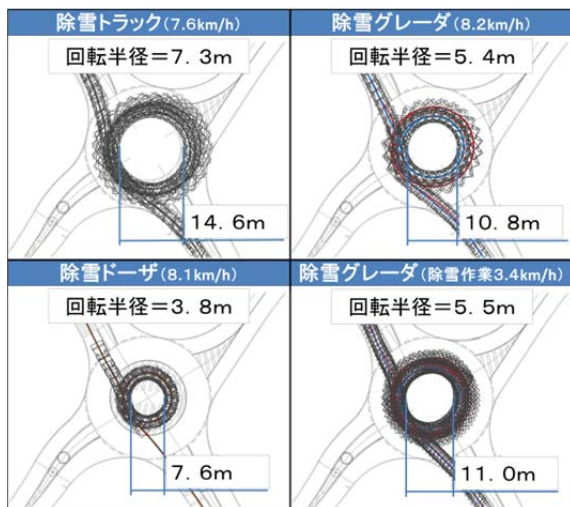


図-9 除雪車走行実験の結果 (周回)

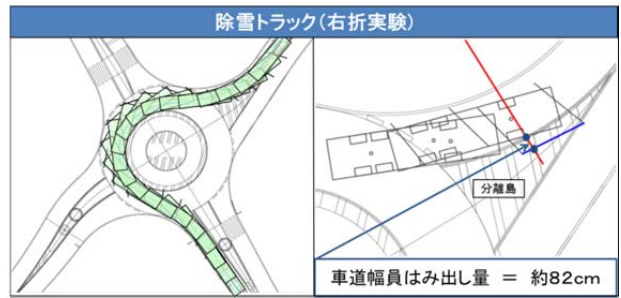


図-10 除雪車走行実験の結果
(除雪トラック : 270度旋回)

から、中央島直径 8m の小型環道 1 車線型ラウンドアバウトへの除雪適応性は、除雪ドーザが最も優位であることを確認した。

しかし、本実験で使用した除雪車は、新雪除雪に用いる一般的な機種・規格であることから、実際の除雪車の配置においては、接続する道路の除雪作業との連続性から、他の機種の配置となる場合も想定される。このため、積雪寒冷地におけるラウンドアバウトの設計では、実際に配置が想定される除雪車の走行軌跡を考慮する必要がある。

4. 堆雪の影響に関する小型車走行実験

除雪車により道路上から排除された雪は、道路脇にあるスペースに堆雪される。この堆雪は、降雪や除雪によって大きくなり、ドライバーや歩行者の視界を遮るなど、交通の安全性や円滑性への影響が懸念される。このことから、堆雪がドライバーに与える影響について実験した。

4.1 実験概要

郊外部に位置するラウンドアバウトを想定し、交通条件は、交通量 : 10,000台/日以下、歩行者もごく少ないことを設定した。堆雪の影響を定量的に把握するため、各種条件(堆雪の位置、高さ及び路面状況)を設定し、被験者参加による走行実験を行った。具体的には、堆雪もしくは模擬堆雪を設置したラウンドアバウトを被験者が試験車両を運転走行し、各堆雪がドライバーに与える影響度(支障度合い)に関する「主観評価」と、「運転挙動(走行速度)計測」を行った。

夏期実験では、乾燥及び湿潤路面のラウンドアバウトに、実験条件の変更が容易な、支柱と白色のシートを組み合わせた模擬堆雪を設置し、冬期実験では、圧雪路面のラウンドアバウトに自然降雪を用いた堆雪を設置した。

表-5 堆雪の影響に関する実験概要

実験期間	夏期:2012年6月19~21日 冬期:2013年1月8~9日
堆雪位置	7箇所 中央島、分離島A・B、流入A・B、 流出A・B
堆雪高さ	夏期:0m、1.0m、1.2m、1.5m 冬期:1.0m、1.2m、1.5m
走行方法	被験者が試験車両を運転し、周回
被験者	10名 夏期:男性7名、女性3名 冬期:男性5名、女性5名
主観評価	7段階スケールのアンケート
運転挙動の計測	データロガーにより、速度を計測



写真-4 堆雪の影響に関する実験状況（冬期）

4.3 被験者

実験には、ラウンドアバウトの走行経験がない男女10名の被験者が参加した。被験者は、全員が視覚に対する健常者であり、夏期及び冬期の各実験に重複者はいなかった。夏期実験の被験者は30歳~60歳代であり、運転時の目線の高さは116.0cm~125.0cmの範囲であった。また、冬期実験の被験者は20歳~60歳代であり、運転時の目線の高さは113.0cm~121.0cmの範囲であった。なお、被験者に対しては、「環道優先のルールで運転して下さい。」と、運転方法の事前説明を行った。

4.4 主観評価

被験者は各実験条件において、ラウンドアバウト走行時の堆雪毎の支障度合いを主観評価した。評価には7段階評価のアンケート(図-12)を用いた。アンケートにより得られた7段階評価(主観評価点数)は、被験者間の評価点数のバラツキを抑え堆雪毎の比較を容易にするため被験者毎に標準化((個々の点数-平均)/標準偏差)し、さらに堆雪毎の全被験者の値を平均した規準値を求めた。なお、規準値が高い(プラス方向)ほど走行する上での支障になり、逆に規準値が低い(マイナス方向)ほど支障にはならない主観評価結果となる。夏期実験並びに冬期実験ともに、堆雪位置別に各30件の主観評価データを得た。

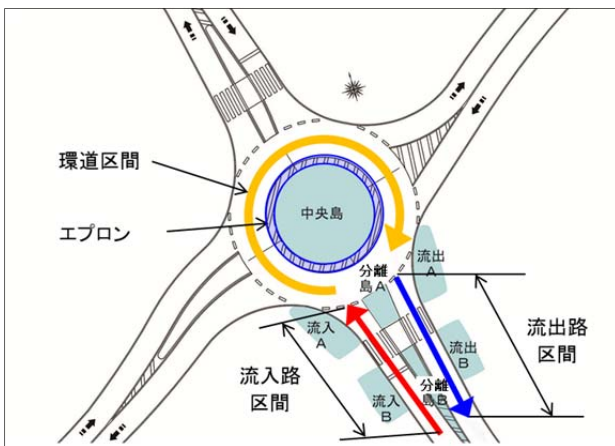


図-11 堆雪位置及び走行コース

4.2 走行条件

被験者は実験車両(トヨタ カラーラフィールダー、2011年、型式:DBA-NZE144G)を自由走行により運転した。走行コースは、流入部からスタートし、環道を一周した後、流出部にゴールした(図-11)。また、被験者は同じ実験条件で4~5回連続して走行した。(うち、1~2回はラウンドアバウト内に他の走行車両もしくは歩行者がランダムに進入する条件で行った(写真-3、写真-4))。

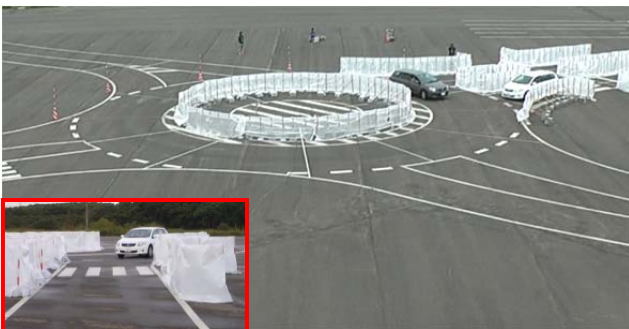


写真-3 堆雪の影響に関する実験状況（夏期）

0: 走行する上での影響度を雪堆毎のチェック (○) してください。

試験番号 2 - 被験者No. ①・②・③・④・⑤・⑥・⑦・⑧・⑨・⑩

	1.0m	1	2	3	4	5	6	7
中央島	1.0m							
流入A	1.0m							
流入B	1.0m							
流出A	1.0m							
流出B	1.0m							
分離島A	1.0m							
分離島B	1.0m							

支障にならない 支障になる

図-12 堆雪の影響のアンケート表

4.5 主観評価の結果

主観評価の結果（図-13、図-14）から、以下のことが考察される。

- 1) 堆雪位置（中央島、分離島 A、分離島 B、流入 A、流入 B、流出 A、流出 B）で規準値が大きく異なることから、堆雪位置はドライバーの走行への支障度合いに影響する。
- 2) 堆雪の高さに伴って、規準値も高くなることから、堆雪高さはドライバーへの支障となる。また、堆雪高さ 1.0m のときは、堆雪高さ 1.2m 及び 1.5m に比べ規準値が特に低い。これは、堆雪高さ 1.0m の場合、被験者の運転時の目線高さが堆雪より高い位置にあり、他の堆雪高さに比べて、ドライバーの不可視範囲が狭いためと考えられる。
- 3) 分離島 A・B、流入 B、流出 A の 4 箇所は、他の堆雪位置に比べて規準値が高い傾向にある。この 4 箇所は、堆雪の存在が歩行者に対する視認性に影響する位置である。これ以外の堆雪位置については、堆雪の陰に隠れていると想像する対象は、他走行車両に限定される。よって、ドライバーは特に歩行者に注意しているためと考えられる。

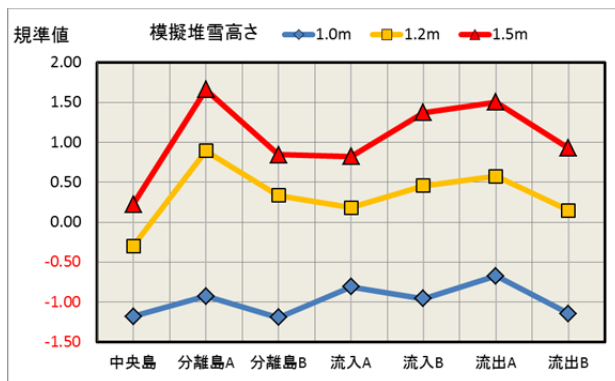


図-13 主観評価の結果（夏期実験）

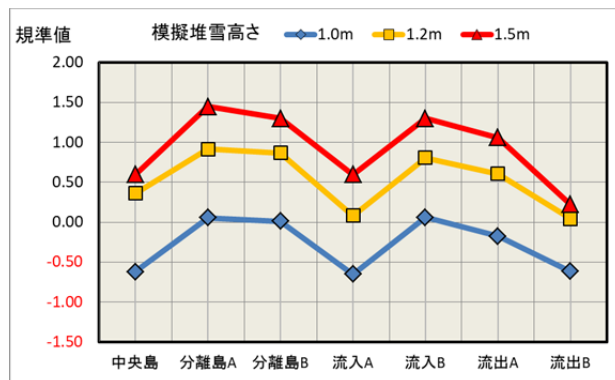


図-14 主観評価の結果（冬期実験）

- 4) 夏期及び冬期実験を比較した結果、堆雪高さに伴う規準値の上昇や、規準値の高い堆雪位置がほぼ同じであるなど、同様の傾向を示していることから、模擬堆雪を使用した夏期実験の有効性を確認できた。

4.6 運転挙動計測

被験者が運転する試験車両に GNSS 内蔵のデータロガー（Racelogic 社製 V-boxmini）を搭載し、各実験条件での 1m 毎の走行速度を計測した。なお、計測対象区間は、始動及び停止による試験車両の速度低下の影響を排除するため、環道及び流入出路の環道接続点から 20m の区間とした。計測データは、走行位置と走行速度の関係をグラフ化し、計測区間内の運転挙動の変化を確認した。また、試験車両の平均走行速度を区間（流入路、環道、流出路）毎に整理し、実験条件（路面状況、堆雪高さ）の違いによる、走行速度への影響を検証した。

なお、走行速度データの整理にあたっては、実験条件以外の影響を排除するため、被験者が試験車両を運転時に、被験者の前方視界に他の走行車両もしくは歩行者が存在しない実験データのみを抽出し整理した。

4.7 運転挙動計測の結果

運転挙動計測の結果（図-15、表-6）、以下のことが考察される。

- 1) 安全確認が必要である、横断歩道を含む環道と流入路が接続するゆずれ線前後の走行速度の低下が顕著であった。よって、ドライバーは、横断歩道からゆずれ線までの範囲を特に注意して運転していると考えられる。
- 2) 堆雪の高さに伴い、走行速度が低下したことから、堆雪高さはドライバーの運転挙動に影響する。特に、堆雪高さ 1.2m 及び 1.5m では、環道の走行速度に比べて流入出路の速度低下が顕著である。
- 3) 堆雪高さ 0m から 1.0m へ並びに堆雪高さ 1.2m から 1.5m への速度低下に比べ、堆雪高さ 1.0m から 1.2m への速度低下の方が大きくなった。これは、主観評価と同様に、被験者の運転時の目の高さが影響し、堆雪高さが 1.0m から 1.2m に変化すると、ドライバーの不可視範囲が大幅に増えるためであると考えられる。
- 4) 夏期及び冬期実験を比較した結果、全ての区間及び堆雪高さの比較において、夏期実験に比べて冬期実験の走行速度は低い。ただし、堆雪高さに伴う走行速度の低下や、環道に比べて流入出路の速度低下が著しいなど、同じ傾向を示した。

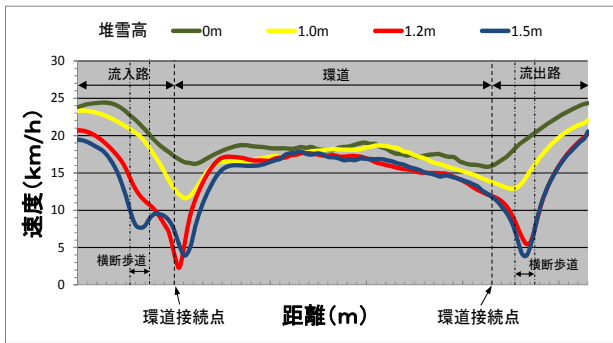


図-15 計測区間内の運転挙動の例

表-6 運転挙動計測の結果

	堆雪高さ	区間平均速度 (km/h)			全区間平均速度 (km/h)
		流入路区間	環道区間	流出路区間	
夏期実験	0m	21.14 (103.8%)	17.63 (104.3%)	21.64 (108.6%)	19.13 (105.1%)
	1.0m	20.37 (-)	16.89 (-)	19.92 (-)	18.20 (-)
	1.2m	16.37 (80.4%)	15.46 (91.5%)	16.81 (84.4%)	15.91 (87.4%)
	1.5m	13.63 (66.9%)	14.72 (87.2%)	13.78 (69.2%)	14.32 (78.7%)
冬期実験	1.0m	10.42 (-)	11.90 (-)	11.81 (-)	11.59 (-)
	1.2m	9.05 (86.8%)	11.35 (95.4%)	11.36 (96.2%)	10.89 (94.0%)
	1.5m	8.45 (81.1%)	11.06 (92.9%)	10.96 (92.8%)	10.52 (90.8%)

* : ()は各実験条件の堆雪高さ1.0mとの比較

4.8 実験結果による堆雪位置及び高さの提案

主観評価と運転挙動計測の結果について、以下にまとめる。

- 1) 堆雪の位置及び高さは、ドライバーの主観と運転挙動に影響し、運転の支障となることから、冬期において堆雪の管理が必要である。
- 2) 堆雪位置は、ドライバーの歩行者に対する視認性を確保するため、分離島 A・B、流入 B、流出 A への堆雪を避けることが望ましい。また、それ以外の堆雪位置についても、交通の円滑性など様々な要因について考慮し判断する必要がある。
- 3) 堆雪高さは、主観評価及び運転挙動計測ともに、1.2m 以上ではドライバーに対する支障度合いや走行速度の低下が著しかったことから、1.0m 以下とすることが望ましい。堆雪高さが 1.2m になることにより支障度合いが急激に高くなる理由としては、今回実験に参加した被験者が運転する時の目の高さが影響していることが考えられる。

5. 除雪車によるエプロン構造への影響把握実験

ラウンドアバウトでは、環道のみでは通行が困難な車両（大型車両、牽引車両等）が走行してよいエプロンを、環道の内側の中央島寄りに設置する¹⁾ (図-1)。このエプロンと環道は、利用者がそれを認知できるように区分されるが、車両がエプロン上を走行して交差点内を直線的に通行する状況が懸念される。この状況を抑制して環道における通行車両の走行位置を安定化させ、走行速度抑制効果を発揮するため、環道とエプロンの境界（エプロン端部）に段差を設けることが有効と考えられている。

しかし、除雪作業時には除雪装置の接触による段差部の損傷が想定される。この損傷の度合いを定量的に確認するため、除雪車を用いた実験を行った。

5.1 実験概要

試験道路において、エプロン端部がすりつけ形状と鉛直形状の模擬的なエプロンを設置し、除雪作業の実験を行った。実験にあたっては、除雪車によるエプロン構造への影響が最も厳しいと想定される積雪がない状態で、除雪装置をエプロン端部の段差に接触させて損傷度合いを確認した。また、接触時の衝撃度合いを定量的に把握するため、除雪装置に加速度計（スリック社製G-MEN DR20）を取り付けて接触時の加速度を計測した。

5.2 エプロン構造

実験に使用したエプロンの構造は、アスファルトと縁石により形成され、エプロン端部をすりつけ形状（傾斜角度13度、20度、30度、45度、60度）と鉛直形状（高さ4cm）とした（図-16、写真-5）。

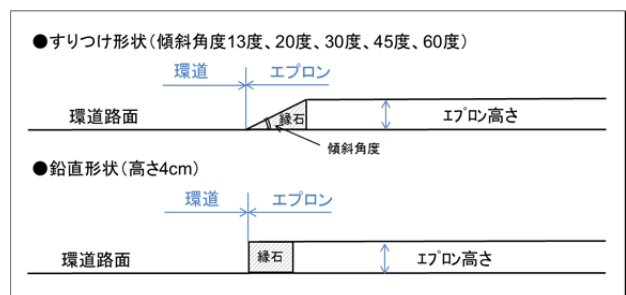


図-16 エプロン構造



写真-5 エプロン構造

5.3 除雪車接触実験

実験には、ホイールローダ（7t級）とモーターグレーダ（3.1m級）（写真-6）を使用した。ホイールローダはバケットの推進角度が90度に固定されているが、モーターグレーダはブレードの推進角度を調整可能であり90度に設定した。また、環道の除雪作業を想定して走行速度を5km/h程度とし、縁石に対する進入角度を30度に設定して、除雪装置の接触を各縁石で5～13回繰り返した。なお、傾斜角度60度の縁石は実験による損傷の度合いが大きく、2～3回しか実施できなかった。



写真-6 左：ホイールローダ（7t級）
右：モーターグレーダ（3.1m級）



写真-7 バケット接触状況
（傾斜角度 45 度，ホイールローダ）

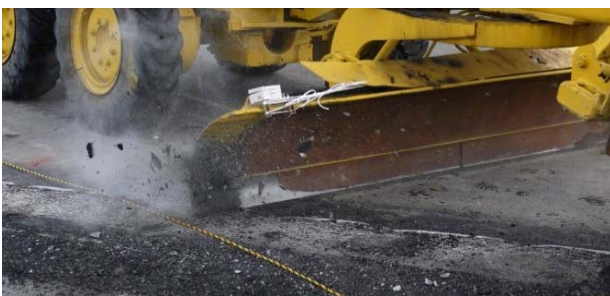


写真-8 ブレード接触状況
（傾斜角度 45 度，モーターグレーダ）

5.4 損傷度合い確認の結果

実験の結果、ホイールローダのバケット接触による縁石の損傷状況は、傾斜角度 45 度、60 度及び鉛直形状で欠損が生じたが、13 度では欠損は生じず、30 度では欠損が生じて、45 度及び 60 度に比べ損傷の程度は小さい状況であった（表-7、図-17）。

表-7 損傷度合い（ホイールローダ）

機種	エプロン端部		縁石欠損部		
	形状	傾斜角度・高さ	幅[cm] (平均値)	奥行[cm] (平均値)	欠損状況
ホイールローダ	すりつけ	13度・6cm	0.0	0.0	欠損なし
		30度・5cm	9.8	2.0	欠損なし、又は、縁石上端部が削られて欠損
		45度・5cm	9.9	5.4	縁石下端部(路面)から削られて欠損、又は、縁石上端部が削られて欠損
		60度・5cm	10.3	6.0	縁石下端部(路面)から削られて欠損
	鉛直	90度・4cm	23.3	7.3	縁石下端部(路面)から削られて欠損

※20度は未実施



図-17 縁石の損傷状況（ホイールローダ）

モーターグレーダのブレード接触による縁石の損傷状況は、傾斜角度30度、45度、60度及び鉛直形状で下端部（路面）から欠損が発生し、傾斜角度13度、20度では欠損が生じないか、軽微な欠損であった（表-8、図-18）。

表-8 損傷度合い（モーターグレーダ）

機種	エプロン端部		縁石欠損部		
	形状	傾斜角度・高さ	幅[cm] (平均値)	奥行[cm] (平均値)	欠損状況
モーターグレーダ	すりつけ	13度・6cm	11.0	5.0	欠損なし、縁石上端部が削られて欠損、又は縁石中段部から浅く欠損
		20度・5cm	16.7	8.7	欠損なし、又は、縁石下端部(路面)から浅く欠損
		30度・5cm	43.1	8.3	
		45度・5cm	44.3	6.1	縁石下端部(路面)から削られて欠損
		60度・5cm	31.0	4.0	
	鉛直	90度・4cm	25.1	9.5	縁石下端部(路面)から削られて欠損



図-18 縁石の損傷状況（モーターグレーダ）

これらから、エプロン段差部の形状をすりつけ形状とし、その傾斜角度をホイールローダで施工する場合は30度、モーターグレーダの場合は20度までに抑えることで、除雪装置接触時の縁石損傷の抑制効果が期待できることを確認した。

5.5 接触時加速度の計測結果

接触時の加速度の計測結果は、ホイールローダのバケット接触では傾斜角度45度で21Gであり、比較対象として試験道路内で行った通常作業時（路肩部拡幅作業）の最大加速度21Gと同じであった。

また、モーターグレーダのブレード接触では傾斜角度30度で19Gであり、比較対象として試験道路内で行った通常作業時（路面整正作業）の最大加速度18Gと同程度の値となった（表-9）。

表-9 エッジ接触時加速度の計測結果

機種	エプロン端部		接触時 加速度 (G)	(参考)通常作業時	
	形状	傾斜角度・高さ		平均(G)	最大(G)
ホイール ローダ	すりつけ	13度・6cm	13.6	7.7	20.8
		30度・5cm	17.6		
		45度・5cm	21.4		
		60度・5cm	18.6		
	鉛直	90度・4cm	13.7		
モーター グレーダ	すりつけ	13度・6cm	16.5	3.8	17.8
		20度・5cm	15.5		
		30度・5cm	19.1		
		45度・5cm	15.9		
		60度・5cm	15.6		
	鉛直	90度・4cm	17.6		

※加速度は重力加速度を含む
※ホイールローダの20度は未実施

これは、縁石が損傷することで、接触時の衝撃が緩和されていたものと想定される。なお、ホイールローダ、モーターグレーダともに除雪車自体に損傷等の不具合は生じなかった。

以上の結果から、ラウンドアバウトのエプロン段差部端部縁石への除雪装置接触による除雪車自体への衝撃度合いは、通常の除雪作業程度であることを確認した。

6. エプロン端部への走行車両乗り上げ実験

除雪装置接触による損傷抑制のためにエプロン端部をすりつけ形状とした場合、通行車両のエプロン乗り上げ抑制効果の低下が懸念される。そこで、すりつけ形状のエプロン端部における、通行車両の乗り上げ抑制効果について検証した。

6.1 実験概要

試験道路のラウンドアバウトにおいて、被験者が実験車両を運転し、エプロン乗り上げ時の衝撃に関する、アンケートによる主観評価を行った。なお、実験方法については、文献4を参考とした⁴⁾。

6.2 エプロン

試験道路に、高さ5cmでエプロン端部がすりつけ形状と鉛直形状の2種類のエプロンを設置した（図-19、図-20）。

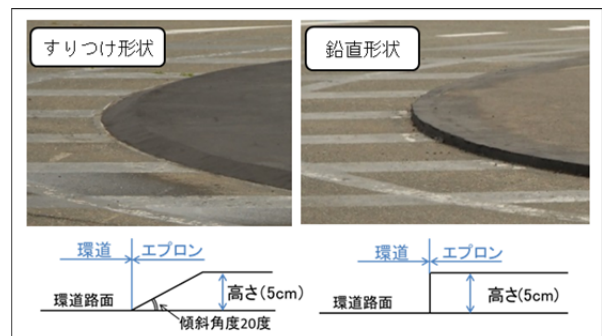


図-19 エプロン端部形状



図-20 エプロン配置図

すりつけ形状の傾斜角度については、除雪車による損傷度合いの実験結果から、モーターグレーダでもエプロン端部の損傷抑制効果が期待できる 20 度とした。

6.3 実験車両

実験車両は、軽自動車と小型乗用車の 2 車種とし、軽自動車にはトヨタピクシスエポック（2015 年、型式：DBA-LA310A）、小型乗用車にはトヨタカローラフィールダー（2014 年、型式：DBA-NZE164G）を用いた（図-21）。



図-21 実験車両

6.4 被験者

被験者は、男女各 5 名の計 10 名、20 歳～60 歳代の一般の方とした。なお、被験者には、「環道優先のルールで運転して下さい。」と、運転方法の事前説明をし、実験の前に練習走行を行った。

6.5 走行方法

走行方法は、図-22 の青線のように流入部から進入して、すりつけ形状のエプロンに車両の右側を乗り上げて走行した。また、流出後に Uターンをして赤線のように再度進入し、鉛直形状のエプロンに車両の右側

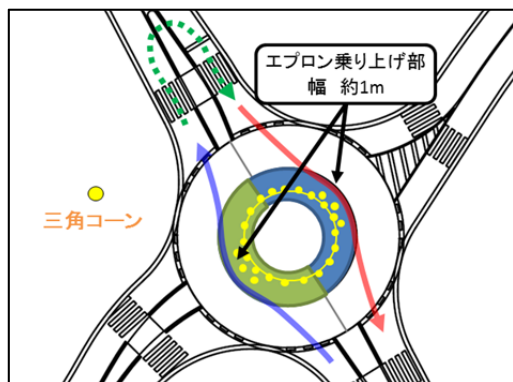


図-22 走行方法



図-23 エプロン乗り上げ部

を乗り上げて走行した。

走行回数は同一車種で 2 回とした。1 回目は走行速度を 20km/h に指示し、2 回目は速度を指示せず、自由走行とした。なお、エプロンに車両の右側だけを乗り上げるように誘導するため、写真-9 に示すとおり、三角コーンを用いて乗り上げ部のエプロン幅を約 1m に制限した。



写真-9 走行の様子

6.6 主観評価

エプロン乗り上げ時の衝撃が、運転者及び同乗者に与える影響について、アンケートによる主観評価を行った。なお、同乗者はエプロン乗り上げの影響を受けやすい右側後部座席に乗車した。

アンケートは 1 回の走行終了毎に、すりつけ形状と鉛直形状、それぞれについて実施した。

アンケート内容は、運転者は 4 項目、同乗者は 2 項目とし、11 段階で評価した。表-10 にアンケート内容を示す。なお、評価点数が高いほど支障にならない主観評価結果となる。

表-10 アンケート内容

	No.	項目	段差通過時の評価	
運転者	1	走りやすさ	走りにくかった(0)	⇔ 走りやすかった(10)
	2	衝撃の大きさ	大きく感じた(0)	⇔ それほど感じなかった(10)
	3	安全性	危険を感じた(0)	⇔ 特に危険を感じなかった(10)
	4	許容性	通行したくない(0)	⇔ 通行しても良い(10)
同乗者	1	衝撃の大きさ	大きく感じた(0)	⇔ それほど感じなかった(10)
	2	許容性	通行してほしくない(0)	⇔ 通行しても良い(10)

6.7 主観評価の結果

主観評価の結果について、項目別の評価点数の平均値を図-23 に示す。

軽自動車、小型乗用車共にすりつけ形状は鉛直形状に比べ、全般的に評価点数が高く走行の支障とならない結果となった。しかし、評価点数の違いは 11 段階

中1～2段階程度で、大きな差ではなかった。

このことから、すりつけ形状のエプロン端部は、鉛直形状に比べ、通行車両の乗り上げ抑制効果は大きく低下しないと考えられる。

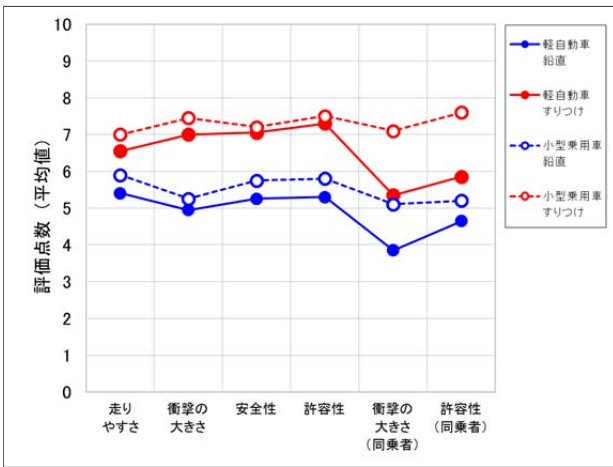


図-24 主観評価の結果 (エプロン乗り上げ)

7. ラウンドアバウト普及に向けて

7.1 国内動向

平成25年6月に、警察庁により道路交通法が改正され、「環状交差点 (ラウンドアバウト) における交通方法として、環道交通優先の規定」が整備された。同改正道路交通法は平成26年9月1日から施行された⁵⁾。平成26年8月8日に、国土交通省道路局課長通知として、「望ましいラウンドアバウトの構造について」が発出された。当所では、警察庁による苫小牧寒地試験道路でのラウンドアバウトの広報DVDの作成に協力し、「環道走行優先」などの通行ルールの周知に貢献した (写真-10)。これらの環境整備により、日本国内におけるラウンドアバウト普及に向けて大きな前進が図られた。平成25年には、長野県飯田市東和町で小型の環道1車線型ラウンドアバウトが新設⁶⁾されたのを始め、新設及び既設を含め、国内約60箇所が環状交差点として指定・運用されるに至っている。



写真-10 環状交差点の交通方法のDVD

7.2 山形県長井市ラウンドアバウト社会実験への参画

山形県長井市平山の市道交差点における平成28年度ラウンドアバウト社会実験に対し、当所から2名が協議会の委員として参画した。冬期走行や除雪に関する実験計画について指導した。同交差点のラウンドアバウトにおける小型車及び除雪車のドライバーの視線計測や除雪車の作業を計測した。さらに、本格運用に向けた構造諸元の策定に際しての助言を行った (写真-11、写真-12)。



写真-11 ラウンドアバウトにおける除雪作業 (長井市平山)



写真-12 長井市ラウンドアバウト社会実験協議会

7.3 北海道での計画

一般国道228号上ノ国町大留交差点がラウンドアバウト化することで計画されている。当所では、苫小牧寒地試験道路における小型車走行や除雪車の施工性に関する実験結果を踏まえ、積雪寒冷地におけるラウンドアバウトの計画・管理の留意事項について助言した。この外にも、国・地方自治体などから寄せられたラウンドアバウトの計画・管理に関する技術相談に対応した。

7.4 セミナーの開催

「ラウンドアバウトを活用したまちづくり・地域づくり」をテーマとして、第39回寒地道路連続セミナーを平成27年10月8日 (木) にホテルポールスター札幌で開催した (主催: 寒地土木研究所、共催: 公益財団法人 国際交通安全学会 H2764 プロジェクト、後援: 国土交通省北海道開発局、北海道、公益社団法人)

日本技術士会北海道本部、北海道土木技術会道路研究委員会、ラウンドアバウト普及促進協議会)。応募者158名に対し、131名が参加した。参加者は、関東・東北から北海道に至る東日本の自治体及び建設コンサルタントの技術者に及んだ。寒地土木研究所では、予め参加者に対し、ラウンドアバウトの技術的課題に関する質問の聞き取りを行った。その一例は以下のとおりである。

- 1) 道路管理者による交差点改良計画時のラウンドアバウトの導入検討段階での障壁（例えば、地域の合意形成プロセス、ルールの周知徹底）
- 2) 積雪寒冷地での計画・設計・運用に関する課題（例えば、冬期除雪に配慮したエプロン構造）



写真-13 セミナーでの講演
(右上は、円卓会議の様子)

セミナーでは、当所研究員からの講演をはじめ、自治体担当技術者、警察庁担当官からの講演を行った。さらに、3つの円卓のグループに分かれて、予め集約したラウンドアバウトに関する質問について、主催者側がセミナー参加者に答える形式でディスカッションを行った(写真-13)。

本セミナーの成果として、ラウンドアバウトの「環道走行優先」のルールの周知徹底や「まちづくり・地域づくり」への適用について啓蒙することができた。本セミナーの開催結果については、各種報道機関(テレビ北海道、北海道新聞、北海道建設新聞、物流ニッポン)においても取り上げられ、一般市民への啓蒙を促進するに至った。

8. まとめ

本研究による、ドライバーの視認性及び走行性に関する実験、およびラウンドアバウトにおける除雪車の

施工性やエプロン構造への影響把握実験を行い、以下のことが明らかになった。

- 1) 冬期条件のラウンドアバウトにおいては、路面標示及び区画線が雪に覆われてドライバーは視認することができない。同条件下では、ラウンドアバウトに設置する道路附属物(中央島のシェプロン標識や路側の視線誘導標)が有効である
- 2) ラウンドアバウトが雪で覆われた条件下では、すべり止め材の散布など、適切な冬期管理が必要とされる。適切な冬期管理の実施の下、ラウンドアバウトの性能(交通容量)が発揮される。
- 3) ラウンドアバウト計画時には、配置が想定される除雪車の走行軌跡を考慮する必要がある。
- 4) ラウンドアバウトにおける堆雪に際しては、流入部及び流出部など、ドライバーによる歩行者の視認を妨げるような場所は避けることが望ましい。
- 5) エプロン端部をすりつけ形状とし、その傾斜角度を小さくすることで、除雪作業によるエプロン端部の損傷の抑制効果が期待できることを確認した。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局通知：望ましいラウンドアバウトの構造について、2014.8.8、
http://www.mlit.go.jp/road/sign/roundabout_140901.html.
- 2) 土木学会・電気学会：ICTを活用した耐災施策に関する総合調査団(第三次総合調査団)緊急提言、2011年7月、
<http://committees.jsce.or.jp/2011quake/node/93>.
- 3) Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen (FGSV)：Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren, 2006
- 4) 小林寛、今田勝昭、上野朋弥、高宮進：ラウンドアバウトのエプロン構造の違いによる車両走行特性に関する実験検討、土木学会土木計画学研究・講演集 Vol.51、2015年6月
- 5) 警察庁通達、環状交差点の交通規制の導入に向けた検討について、平成26年
- 6) 公益財団法人国際交通安全学会：ラウンドアバウトの社会実装と普及促進に関する研究報告書、平成25年

STUDY ON INTRODUCTION OF NEW INTERSECTION DESGN IN SNOWY COLD REGION

Budged : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2012 - 2016

Research Team : Traffic Engineering Research Team,
Machinery Technology Research Team

Author : ISHIDA Tateki,

TAKAHASHI Naoto,

MUNEHIRO Kazunori,

TAKADA Tetsuya,

OTSUKI Toshiyuki

MAKINO Masatoshi,

TAKAMOTO Satoshi,

SATO Shingo

ITO Yoshikazu

Abstract :

About 60% of the land area of Japan is located in the cold, snowy area. When operating the roundabout, the appropriate winter management is required. This study, we set up single-lane compact roundabout in Tomakomai Test Track. Visibility of the winter conditions of the drivers, and the experiments were carried out of the influence grasp of the apron structure due to snow removal vehicles. The driver of the visibility experiment, in the night, the most subjective evaluation value is a case that established the chevron signs and delineators is higher. In addition, the experiments on the apron section snow removal using a plow, for the curb of the damage caused by snow removal equipment contact, to get a separate data angle of inclination of the apron end, we showed that there is less damage in case the inclination angle is small.

Key words : snowy cold region, intersection design, roundabout, drivability, winter management