

積雪寒冷地におけるラウンドアバウトの交通流評価と冬期維持管理手法に関する研究

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 30～令 2

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：佐藤昌哉、平澤匡介、宗広一徳、中村直久、
片野浩司、中島淳一、舟橋誠、久慈直之

【要旨】

我が国では、これまでに109交差点（2020年10月現在）が環状交差点（ラウンドアバウト）として運用されており、うち5割以上が積雪寒冷地に位置している。本研究は、積雪寒冷地において整備されたラウンドアバウトである北海道上ノ国町・浜頓別町などを事例研究とし、交差点改良前後の交通流調査及び冬期維持管理の実態把握調査を行った。さらに、苫小牧寒地試験道路において除雪作業実験を行い、望ましいエプロン構造と冬期維持管理手法を提案した。

キーワード：ラウンドアバウト、交通流、冬期維持管理手法、エプロン、除雪

1. はじめに

我が国では、道路交通法が改正され、2014年9月より環状交差点（ラウンドアバウト）における環道交通車両優先の運用が開始された。これまでに101交差点（2020年3月現在）が環状交差点（ラウンドアバウト）として運用されており、うち5割以上が積雪寒冷地に位置している。例えば、2017年11月に山形県長井市、2019年10月に北海道上ノ国町、2020年10月に北海道浜頓別町と相次いで豪雪地帯にラウンドアバウトが開通した（図-1、図-2、図-3）。

本研究は、積雪寒冷地において整備されたラウンドアバウトを事例研究とし、事前事後の交通流調査及び冬期除雪作業の実践データの把握による効率的な冬期維持管理手法を提案する。具体的には、以下を把握することを目的とする。

- (1) 交通性能の把握
- (2) 冬期維持管理手法の実査
- (3) 冬期維持管理手法の提案



図-1 積雪寒冷地のラウンドアバウト
(北海道浜頓別町)



図-2 積雪寒冷地のラウンドアバウト
(左：北海道上ノ国町、右：山形県長井市)



図-3 ラウンドアバウト位置図

2. 交通性能の把握

2.1 ラウンドアバウトの交通流計測

(1) 旅行時間の比較

国道 275 号浜頓別町ラウンドアバウトを事例とし、小型車両（カローラフィールダー）をプローブ車両とし、被験者参加の走行実験を行い、交通流を計測した。プローブ車両には、ドライブレコーダー（CJ-DR450）を搭載し、データ（時間、速度、前後加速度、横加速度）を計測した。交差点改良前後について、交差点を含む 400m 区間の旅行時間を比較したところ、**図-4**を得た。旅行時間については、小型車両に搭載したドライブレコーダー（CJ-DR450）により計測した。ラウンドアバウトへの改良後は、無用に信号待ちすることがないので、旅行時間が早くなる傾向が見られた。

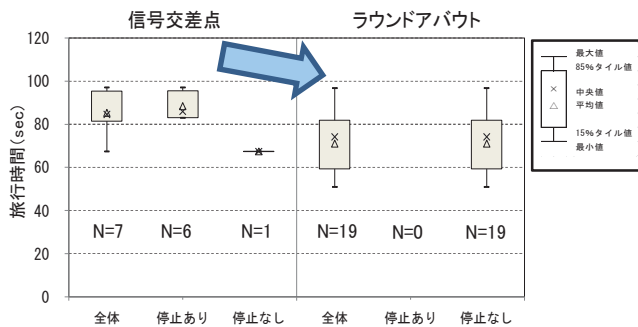


図-4 旅行時間の比較 (音威子府→稚内方向)

(信号交差点：2019年1月、ラウンドアバウト：2021年1月)

(2) 速度低減

また、浜頓別町ラウンドアバウトについて、交差点改良前後の交差点内の中央断面の速度を比較したところ、**図-5**を得た。速度がラウンドアバウトでは16km前後へと減少しており、信号交差点時の50km/h前後と比較し、十分は減速効果が発揮された。

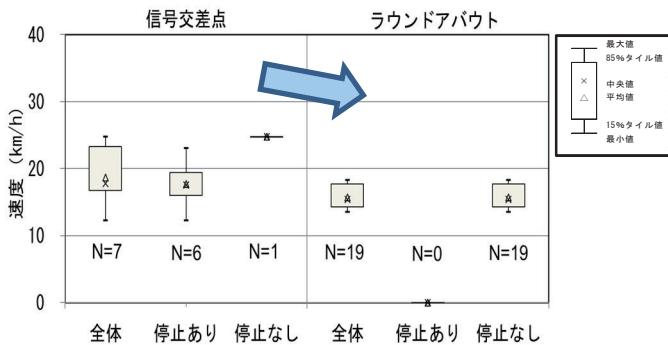


図-5 速度の低減 (音威子府→稚内方向)

(信号交差点：2019年1月、ラウンドアバウト：2021年1月)

(3) 交差点遅れ時間の低減

浜頓別町ラウンドアバウトについて、交差点改良前後の交差点遅れ時間を比較したところ、**図-6**を得た。

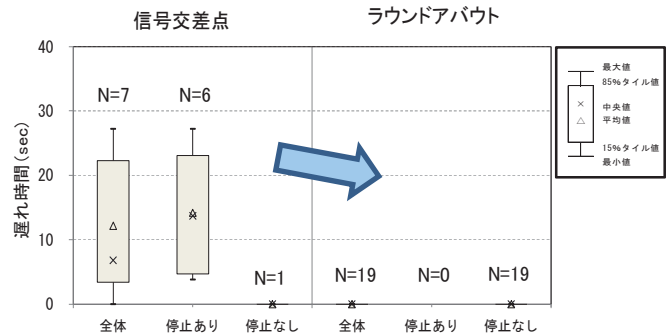


図-6 交差点遅れ時間の低減 (音威子府→稚内方向)

(信号交差点：2019年1月、ラウンドアバウト：2021年1月)

交差点改良前は、およそ5~20秒程度の交差点遅れ時間が計測されたが、ラウンドアバウトでは交差点遅れ時間は計測されなかった。したがって、ラウンドアバウト改良により、交差点での交通円滑化の観点から、十分な効果が発揮された。

(4) 環境負荷低減 (CO₂ 排出量の減)

浜頓別町ラウンドアバウトについて、燃費計（FCM-MX1）により、交差点を含む400m区間の二酸化炭素（CO₂）排出量を計測したところ、**図-7**を得た。ラウンドアバウト改良後は、信号交差点時と比べて、CO₂排出量が減少する傾向が見られた。

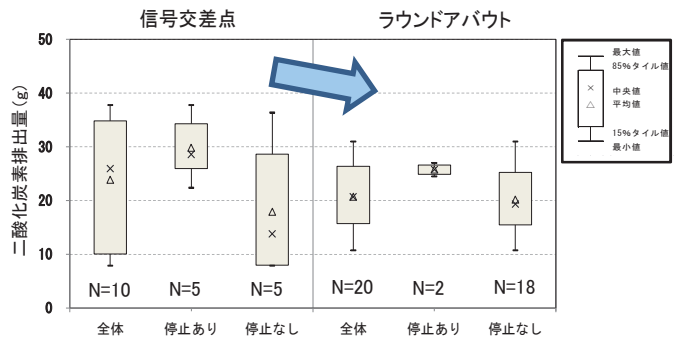


図-7 環境負荷の低減 (音威子府→稚内方向)

(信号交差点：2020年8月、ラウンドアバウト：2020年10月)

2.2 大型車ドライバーの評価

(1) 運転挙動

国道 228 号上ノ国町ラウンドアバウトを事例とし、セミトレーラ連結車の走行試験を実施した（写真-1）。実験車両は車両長 16.5m の次を用いた。



写真-1 実験車両（セミトレーラ連結車）

- ・トラクタ部：三菱スーパーグレート（QKG-FP54VDR）
- ・トレーラ部：日本トレクス トレーラ（PFB24102）

実験車両にはドライブレコーダー（CJ-DR450）をトラクタ部並びにトレーラ部に設置し、運転挙動（速度、横加速度、縦加速度（前後加速度））を計測した。上ノ国町ラウンドアバウトにおいて、270度旋回時のセミトレーラ連結車の運転挙動を計測したところ、図-8並びに図-9を得た。図-8によれば、速度データは流入部手前で10km/h以下に十分減速され、環道部分に

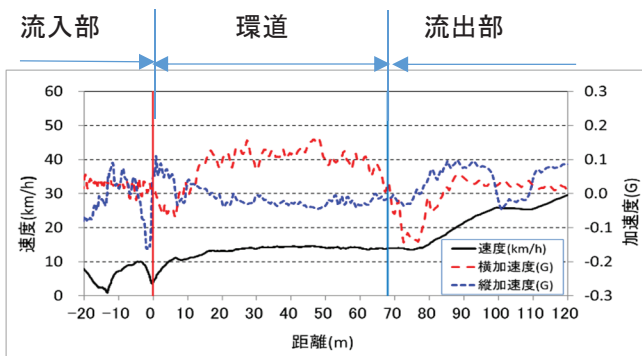


図-8 セミトレーラ連結車による速度・加速度（江差→松前方向の270度旋回：トラクタ部）

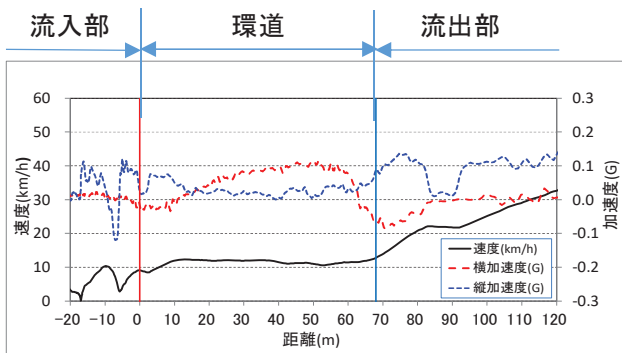


図-9 セミトレーラ連結車による速度・加速度（江差→松前方向の270度旋回：トレーラ部）

において15km/h前後で推移し、流出部においてはゆずれ線から30m程度離れると25km/hから30km/hまで上昇した。横加速度については、環道部で0.17G程度まで上昇し、流出時に反対方向に0.17Gまで上昇した。縦加速度については、流入時に一時的にマイナス0.15G程度までの減加速度となり、流入部から流出部まで0G前後で推移し、流出後20m（グラフ中の距離90 m）から0.13G程度までの加速度を記録した。

(2) 主観評価（アンケート）

2019年のラウンドアバウト運用開始前の段階で、運送会社10社の大型車ドライバーに対し、「ラウンドアバウトの交通ルールで知っていることは何か」として、①環道右回り（環道部は右回りで一方通行である）、②環道交通優先（環道車両が流入車両に対し優先される）、③流出時のウインカー表示（車両は環道流入時には方向指示器を出さないが、環道流出時は方向指示器を出す）、④大型車のエプロン走行（ラウンドアバウトでの旋回時においてタイヤを乗り上げて走行してよい部分がある）の個々のルールを知っているか否かと設問した。同集計結果は、図-10の通りである。

①環道右回り、②環道交通優先、③流出時のウインカー表示、④大型車のエプロン走行について、知っているとの回答数が、いずれも50%に満たなかった。その中でも、④大型車のエプロン走行の交通ルールを知っているとの回答が最も低くなった。

なお、供用開始前の広報により、上記の交通ルールの理解は進み、ラウンドアバウト運用開始後は順調に運用されるに至った。

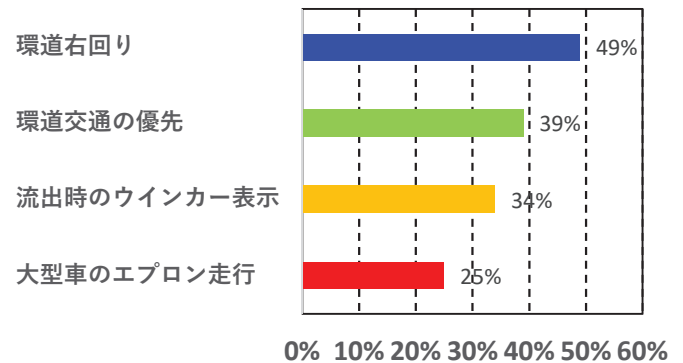


図-10 ラウンドアバウトの交通ルールの習熟度（運用開始前：2019年9月調査）

次に、2019年10月（上ノ国ラウンドアバウト運用開始直後）及び2020年10月（上ノ国ラウンドアバウト運用開始1年後）の段階で、改良後の交差点通過時間（旅行時間）は、改良前のときと比べてどうかと設問を行

った。同集計結果は、図-11の通りである。

全回答数のうち、2019年で52%の大型車ドライバーが、「短くなった」もしくは「やや短くなった」と回答した。約半分以上の大型車ドライバーが、交差点改良後の交差点通過時間（旅行時間）は短縮傾向にあると感じ、交差点改良の効果を肯定的に捉えていることが分かった。上ノ国ラウンドアバウト開通から1年経過した2020年には、67%の大型車ドライバーが、「短くなった」もしくは「やや短くなった」と回答しており、交差点通過時間短縮の傾向はさらに向上した。

また、上ノ国ラウンドアバウトの安全確認のしやすさについて、「『旧交差点』と比べてどうか」と設問した。同集計結果は、図-7の通りである。2019年10月には安全確認について、「しやすくなった」及び「ややしやすくなった」と肯定的に捉えているのは18%に止まり、2割にも満たなかった。一方、「ややしにくくなった」及び「しにくくなった」と否定的に捉えているのは54%にも上った。大型車ドライバーは、交差点改良により、安全確認はしにくくなったと捉える傾向の方が高いことが分かった。故に、大型車ドライバーは、交差点改良直後は、改良前と比べて、旋回走行をより慎重に運転していたものと推察される。

ラウンドアバウト運用開始から1年を経過した2020年10月には、「しやすくなった」及び「ややしやすくなった」と肯定的に捉えているのは35%に上昇した。一方、「ややしにくくなった」及び「しにくくなった」と否定的に捉えているのは32%に低下した。このように、開通1年後には、大型車ドライバーは、ラウンドアバウト走行にも慣れてきており、安全確認のしやすさ評価が高くなる傾向が見られた。

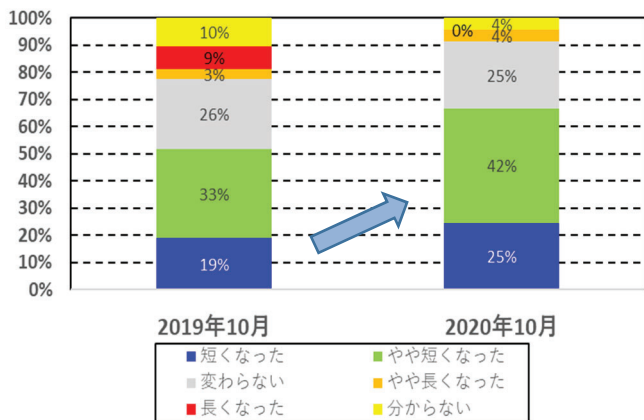


図-11 上ノ国ラウンドアバウト改良後の交差点通過時間
(全回答数、N=58、2019年調査（運用開始後）、
全回答数、N=69、2020年調査）

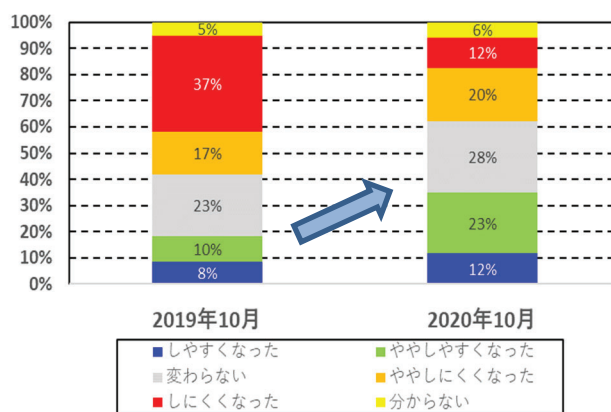


図-12 上ノ国ラウンドアバウト改良後の安全確認のしやすさ
(全回答数、N=60、2019年調査（運用開始後）、
全回答数、N=69、2020年調査）

2.3 中央島の設置効果

上ノ国ラウンドアバウトを事例とし、中央島に緑化盛土を仮設し、中央島の設置効果の計測を行った（図-13）。中央島：緑化盛土の方が、中央島：舗装に比べて、正面方向に視線（○）を向けず、左側進行方向や右側交通状況に視線（○）を向ける傾向が見られた（図-14）。



図-13 上ノ国ラウンドアバウトに仮設した中央島：緑化盛土

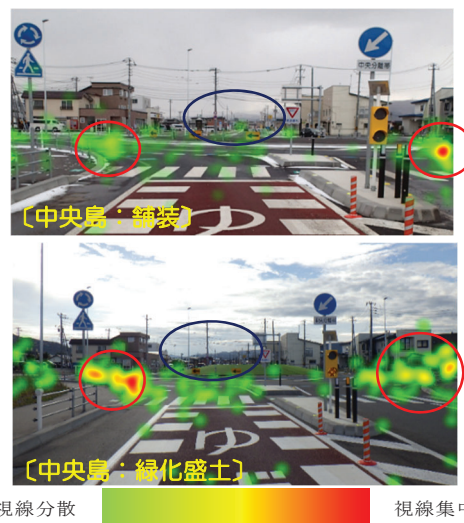


図-14 視線計測結果（ヒートマップ）

3. 冬期維持管理手法の実査

3.1 国内における実態調査

日本におけるラウンドアバウトは、2014（平成 26）年度の道路交通法の改正により、環状交差点の通行方法が定められ、2020 年 10 月時点で 100 箇所以上の交差点で導入されている（図-15）。また、日本は国土の 60%以上が積雪寒冷地域に指定されているため、この地域でのラウンドアバウトの導入には、除雪に関する課題の把握・抽出と対応策の検討が必要である。

そこで、国内のラウンドアバウトの現状を把握するため、全国の道路管理者へアンケート調査を実施した。

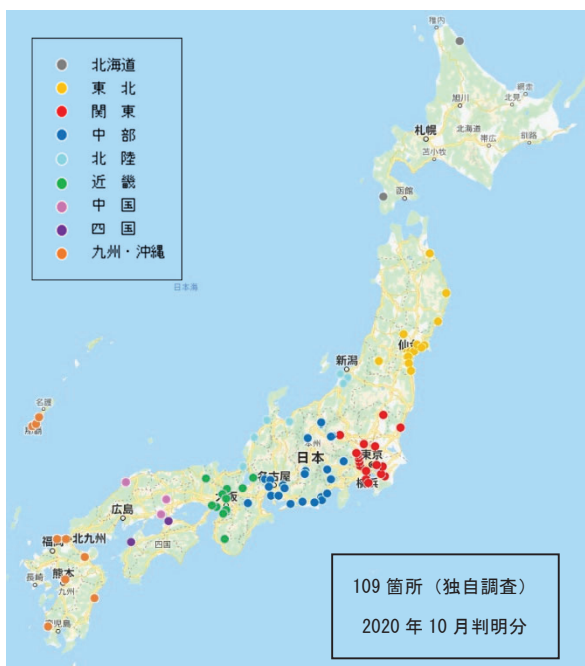


図-15 国内のラウンドアバウト分布図

(1) エプロン構造

ラウンドアバウトのエプロンは、環道のみ幅員では通行が困難な牽引車両等が、環道と合わせた幅員として通行して良いエリアで、環道とエプロンの境界に利用者が認知できるように段差等を設けている。

日本国内のラウンドアバウトのエプロン端部形状を調査した結果（アンケートの回答数 107 件）、特殊な形状を除くと、鉛直、テーパー、すりつけ、曲線、高低差無しの 5 種類に分類される（図-16）。

国内全体の内訳は、「テーパー」と「高低差無」が多く、約 7 割を占めている（図-17）。また、国内全体の内、除雪作業を伴う地域にあるラウンドアバウトでも「テーパー」と「高低差無」が多く、段差のある形状では、テーパー式が最も多かった（図-18）。

なお、エプロン端部に高低差のないラウンドアバウ

トの多くは、2014 年度の道路交通法の改正以前は、ロータリー交差点として運用しており、道路交通法の改正と共にラウンドアバウトに変更となった箇所である。

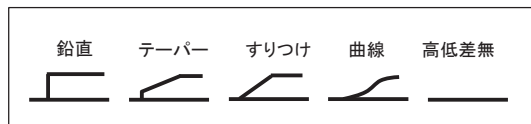


図-16 エプロン端部形状の種類

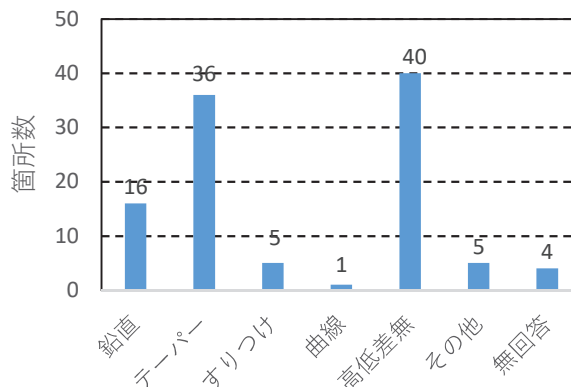


図-17 国内のエプロン端部形状 (N=107)

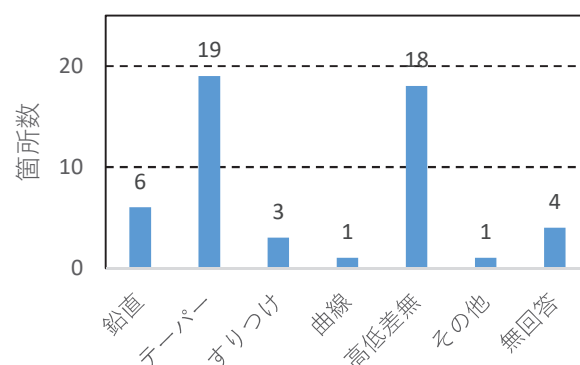


図-18 除雪を伴う箇所のエプロン端部形状 (N=52)

(2) 除雪方法

国土の 60%以上が積雪寒冷地域に指定される日本では、ラウンドアバウトの除雪も多くの箇所で実施される。調査の結果では、全体の 8 割程度のラウンドアバウトで降雪があり、その内約半数が除雪作業を実施している（図-19）。

除雪方法は、ほとんどの場所で除雪機械による施工を実施しており、使用する機械は除雪ドーザが多くなっている（図-20）。これは、ラウンドアバウト内は、円形の構造をしており、流出入部に分離島が設置される場合が多いため、比較的回転半径の小さい機械が使用されている。

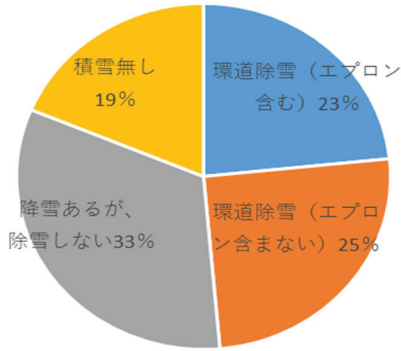


図-19 ラウンドアバウト除雪の有無 (N=107)

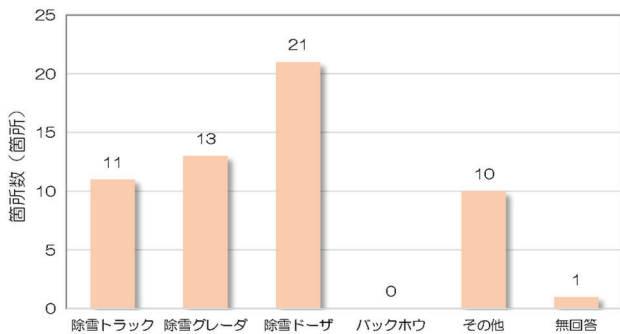


図-20 使用する除雪機械 (N=56)

3. 2 積雪地域のラウンドアバウトの事例

ラウンドアバウトの除雪方法や除雪によるエプロン端部への影響を北海道上ノ国町及び浜頓別町と山形県長井市の3箇所で開催調査を実施した(図-3、表-1)。

(1) 除雪方法

上ノ国町と浜頓別町のラウンドアバウトの除雪作業は、ラウンドアバウト前後に接続している国道の一次除雪を行っている除雪トラックと交差点除雪を実施している除雪ドーザにて行っている。

浜頓別町の場合は、除雪トラックが、エプロン上の中央島寄りから環道の外側線側までを除雪走行で周回する(図-21左)。

上ノ国町の場合は、除雪ドーザがエプロン上を除雪し、その後、除雪トラックが環道を外側線側まで周回しながら除雪走行を実施する(図-21右)。

また、どちらのラウンドアバウト共に、除雪ドーザで残った雪をラウンドアバウト外へ排出し、車道と歩道の間に堆雪している(写真-2)。

また、上ノ国町及び浜頓別町共に、ラウンドアバウトに接続する道路は、国道が2箇所、町道及び道道がそれぞれ1箇所ずつであるため、道路管理者同士の協議の上、道路取付部の除雪方法や堆雪場所を決めている。

表-1 ラウンドアバウト構造規格

	上ノ国	浜頓別	長井
完成年	2019年10月	2020年10月	2017年11月
外径	40m	36m	25m
中央島径	24m	18m	9m
環道幅員	5.0m	5.0m	4.5m
流入出部	30.5m	40.0m	35m
エプロン形状	テーバー	テーバー	曲線
構造図			

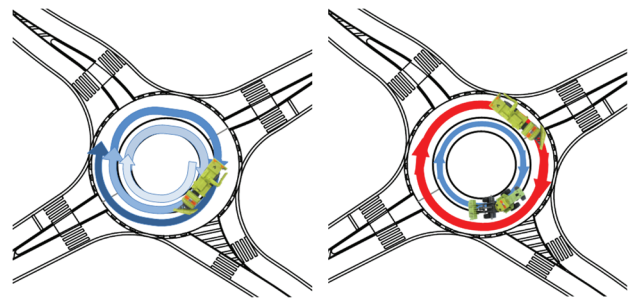


図-21 ラウンドアバウト除雪の動線
(左：浜頓別の場合 右：上ノ国の場合)



写真-2 浜頓別ラウンドアバウトの除雪作業

長井市のラウンドアバウトは、接続する全ての道路が市道であり、市道の一次除雪を行っている除雪ドーザにて、エプロン部及び環道部の除雪を行っている。

除雪ドーザは、流入部から環道内及びエプロン部を除雪し、流出部をとおりラウンドアバウト外へ排出し、車道と歩道の間に堆雪している。同様の作業を他の流入部でも繰り返し行う。

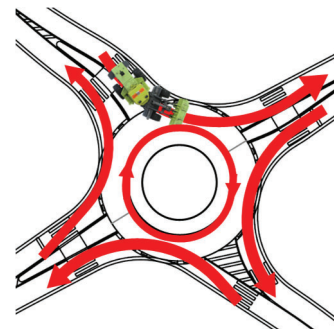


図-22 ラウンドアバウト除雪の動線
(長井市)

調査を実施した3箇所のラウンドアバウトで除雪作業における留意点について、維持管理担当者に対しヒアリングを実施した。その結果、以下の点について注意が必要なのことがわかった。

- ・除雪トラックによる環道除雪の際、エプロン端部をミラー越しに確認出来ないため、運転手は、窓から顔を出し確認する必要がある。
- ・中央島は、20cm程度の段差があるので、風向きによっては、吹きだまりが発生するため、降雪が少ない場合でも注意が必要である。
- ・除雪は、基本的には円周方向に除雪を行うため、比較的小さなラウンドアバウトでは、除雪装置から雪がこぼれ落ちるため、効率が落ちる場合がある。
- ・信号機がないため、除雪中は、全方向に注意を払う必要がある。
- ・中央島には、標識や警告灯が多くあるので雪の付着による視認性の低下に注意する必要がある。
- ・ラウンドアバウトの除雪作業は、一般的な交差点と比べ複雑であるため、時間を要することがある。
- ・エプロン端部の段差は、除雪作業時間が増える一因になることもある。
- ・エプロン端部の段差付近の積雪は、完全に取り除くのは難しいため、場合によっては一般交通の支障になる恐れがある。
- ・流出入口の分離帯部は、除雪装置の接触による破損を防ぐため、除雪作業前に人力にて露出する作業を行っている。
- ・ラウンドアバウトの流出部通過時に除雪トラックのIプラウが、分離島に接触しそうになる。

(2) エプロン端部調査

国内におけるラウンドアバウトの半数以上は、エプロン端部にテーパー等の段差を設けている。また、除雪を伴う地域でも同様に段差を設けている箇所が多く存在する。そこで、前述までのラウンドアバウトで、除雪作業がエプロン端部にもたらす影響を経年的に調査した。

上ノ国町の場合は、供用開始の2019年10月、2020年4月、10月、2021年3月の計4回調査を実施し、その調査期間内では、除雪シーズンは2回あった。

エプロン端部の構造は、テーパー型で、環道との境界に2cmの段差があり、傾斜角は6°程度である(図-23)。

調査の結果、エプロン端部上に複数箇所の損傷を確認した(図-24)。環道との境界部の段差には、除雪装置が接触したと思われる損傷があった。テーパー部に

は、除雪装置が接触したような痕跡を確認したが、大きな損傷は無かった。これは、傾斜角が比較的小さいため除雪装置の食い込みによる損傷がなかったと思われる。

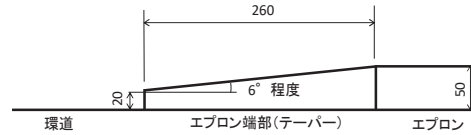


図-23 エプロン端部の形状(テーパー)



図-24 上ノ国町ラウンドアバウト損傷状況

浜頓別町の場合は、供用開始の2020年10月、2021年3月の計2回調査を実施し、その調査期間内では、除雪シーズンは1回あった。エプロン端部の構造は、上ノ国町と同様にテーパー型で、環道との境界に2cmの段差があり、傾斜角は6°程度である(図-23)。

調査の結果、エプロン端部上に複数箇所の損傷を確認した(図-25)。環道との境界部の段差には、除雪装置が接触したと思われる損傷があった。上ノ国町と比べると、境界部からの破損の程度が大きかった。先の述べた除雪方法の違いや、ラウンドアバウトの大きさによる除雪車両の走行軌跡の違いが影響していると思われる。

テーパー部には、除雪装置が接触したような痕跡を

確認したが、大きな損傷は無かった。これは、上ノ国町と同様に傾斜角が比較的小さいため除雪装置の食い込みによる損傷がなかったと思われる。



図-25 浜頓別町ラウンドアバウト損傷状況

長井市の場合、運用後2年経過した2019年3月、9月、2020年10月、2021年3月の計4回調査を実施し、その調査期間内では、除雪シーズンは2回あった。

エプロン端部の構造は、環道部とエプロン上部に高低差があるが曲線形状になっているため、段差の無いなめらかな形状となっている(図-26)。

調査の結果、エプロン端部上に複数箇所の損傷を確認した(図-27)。環道との境界部は、段差がないため、除雪装置が接触したと思われる損傷は、なかった。曲線部には、除雪装置が接触したような損傷箇所を確認した。これは、曲線部では、場所によっては、傾斜角が比較的大きくなるため除雪装置の食い込みによる損傷が発生したと思われる。

いずれのラウンドアバウトにおいても、エプロン端部の目地部に関しては、経年的に劣化しており、損傷箇所も確認された(図-28)。除雪作業時に、除雪装置が引っかかる可能性が考えられるため、定期的な補修が必要である。

4. 冬期維持管理手法の提案

4.1 除雪を考慮したエプロン端部形状の車両乗り上げ抑制効果の検証

除雪車の除雪装置接触による損傷を抑制できるすりつけ形状のエプロン端部は、車両乗り上げ抑制効果

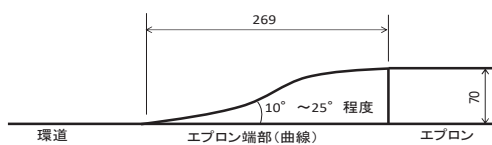


図-26 エプロン端部の形状(曲線)



図-27 長井市ラウンドアバウト損傷状況

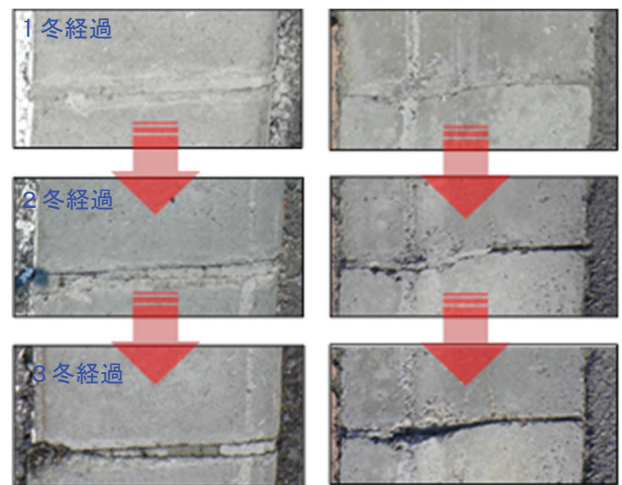


図-28 エプロン部の目地部劣化状況の事例

の低下が懸念される。過年度の試験¹⁾では、エプロン端部の高さが鉛直形状と同じであるすりつけ形状では、鉛直形状に比べ衝撃度は小さく、走行の支障度合いも低く、車両乗り上げ抑制効果が多少低下することを確認した。

そこですりつけ形状の段差高さ及び傾斜角度を変えた場合や、除雪作業の影響を受けない構造であるランブルストリップスをエプロン端部に用いた場合で、通行車両の乗り上げ抑制効果を検証した。

(1) 試験概要

苫小牧寒地試験道路のラウンドアバウトにおいて、被験者が運転する車両がエプロンに乗り上げる際の車両挙動（速度、加速度）計測と車内振動・車内騒音及びアンケートによる乗り上げ時の衝撃に関する主観評価を行った。

(2) 試験条件

1) エプロン

苫小牧寒地試験道路に、端部がすりつけ形状のエプロンを往路に、高さ 5cm で鉛直形状のエプロンを復路に設置した (図-29、図-30)。すりつけ形状の傾斜角は、過年度の試験¹³⁾からモーターグレーダでエプロン端部の損傷が大きくなならない 20°と、ホイールローダで損傷が大きくなならない 30°とした。

また、ランブルストリップスは、段差のないエプロン上に追越禁止黄色 1 条線区間用を環道との境界から内側に 5 列、追越禁止黄色 2 条線区間用は、3 列を円周方向にそれぞれ往路に施工した (図-29)。

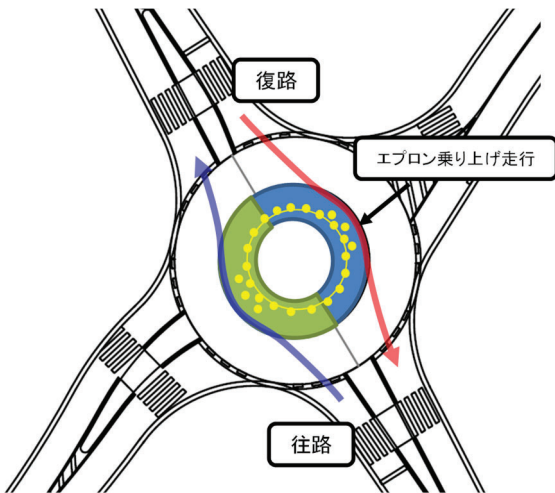


図-29 エプロン配置図

2) 試験車両

試験車両は、小型乗用車とし、車両挙動試験及び主観評価試験は、トヨタカローラフィールダーを用い、車内騒音及び車内振動試験は、日産セレナを用いた。

3) 被験者

被験者は、20 歳～60 歳代の一般の方、男女各 5 人の計 10 人とした。なお、被験者には環道優先のルールなど、走行方法を事前説明し、試験の前に練習走行を行った。

4) 走行方法

走行方法は、図-29 のように流入部から進入して、すりつけ形状やランブルストリップスを施工したエ

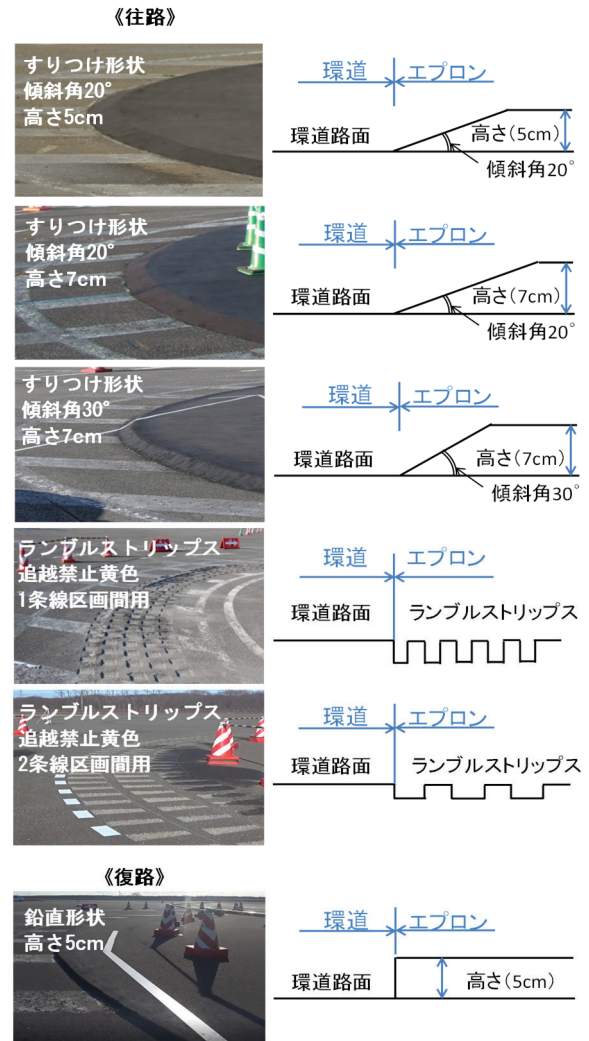


図-30 エプロン端部形状

プロンに車両右側のタイヤを乗り上げて走行し（往路）、流出後に U ターンをして再度進入し、鉛直形状のエプロンに車両右側のタイヤを乗り上げて走行した（復路）。

走行回数は 2 回とし、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、自由速度とした。

なお、エプロンに車両右側のタイヤだけを乗り上げるように誘導するため、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 (図-31)。



図-31 エプロン乗り上げ部

(3) 試験内容

1) 車両挙動計測

車両挙動（速度、加速度）計測には、ドライブレコーダ（CASTRADE 製 CJ-DR450）を使用し、車両のダッシュボード中央付近に設置した。

車両挙動の評価にあたっては、エプロン乗り上げ時の速度と衝撃度を用いた。衝撃度は、エプロン乗り上げ時に、車両にかかる上下方向の加速度の最大値と最小値の差（上下加速度の振れ幅）とした（図-32）。

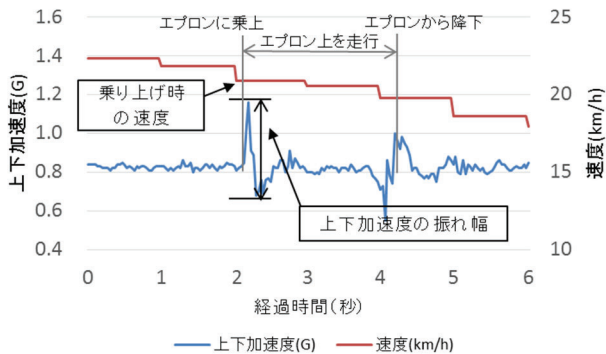


図-32 衝撃度（上下加速度の振れ幅）

2) 車内騒音及び車内振動の測定

ランブルストリップスの評価は、エプロンに段差がないことから、乗り上げ時の衝撃度による比較はできないと考えた。ランブルストリップスを通じたときの警告効果は、走行時の車内騒音や車内振動で評価しているため²⁾、同様の方法で比較した。



図-33 車内騒音（左）・車内振動（右）の測定状況

表-2 車内騒音・車内振動の測定条件

	車内騒音	車内振動
測定機器	精密騒音計(NL-62) リオン社製	振動レベル計(VM-55) リオン社製
測定方法	助手席のヘッドレストに 集音マイクを固定	運転席下後方に ピックアップを設置
測定間隔	0.1秒	0.1秒
集計方法	最大値	上位10個の平均値
測定車	日産セレナ4WD 1990cc 平成30年車 タイヤサイズ 195/65R15 スタッドレスタイヤ	
測定場所	苫小牧寒地試験道路	

車内騒音及び車内振動の測定は、被験者による走行試験とは別に実施した（図-33）。ランブルストリップスを施工したエプロンと鉛直形状のエプロンに車両右側のタイヤを乗り上げて、それぞれ 20km/h で走行した。

測定データの集計方法は、前輪がエプロン上を走行し始めたときから後輪がエプロン上から降りるまでの間、ランブルストリップス整備ガイドライン（案）²⁾に記載のある集計方法に従い、車内騒音は最大値、車内振動は上位 10 個のデータの平均値を採用した。その他の測定条件を表-2 に示す。また、比較のためラウンドアバウトの環道部の走行を想定し、通常路面を 20km/h で走行して車内騒音と車内振動を測定した。

3) 主観評価試験

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実験を行った。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、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-3 にアンケート項目と回答内容を示す。

表-3 アンケート項目と回答内容

	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)

(4) 試験結果

1) 車両挙動計測

エプロン乗り上げ時の速度と衝撃度の計測結果を図-34 に示す。なお、速度指示の有無は区別せず、同一の条件として整理した。

すりつけ形状の結果については、衝撃度の低い順から、傾斜角 20°高さ 5cm、傾斜角 20°高さ 7cm、傾斜角 30°高さ 7cm となった。

また、鉛直形状と比較すると、傾斜角 20°高さ 7cm は鉛直形状より若干低く、傾斜角 30°高さ 7cm は、鉛直形状よりも高くなっている。

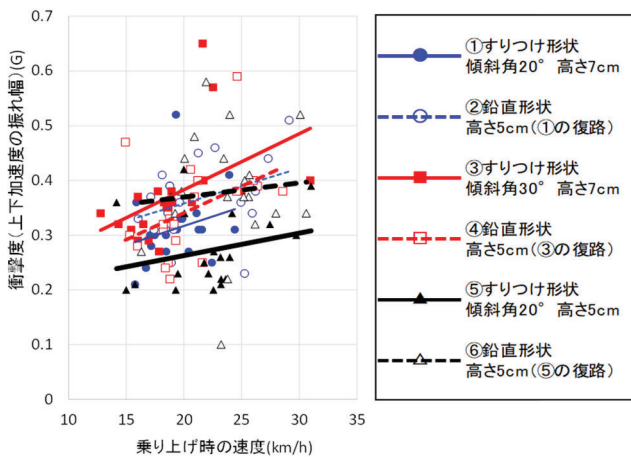


図-34 走行速度と衝撃度

2) 車内騒音及び車内振動の測定

エプロン乗り上げ走行時の車内騒音及び車内振動の測定結果を図-35 及び図-36 に示す。

車内騒音及び車内振動ともに、環道走行を想定した通常路面走行時の測定値よりも、エプロン走行を想定したランブルストリップス（追越禁止黄色1条線区間用、追越禁止黄色2条線区間用）走行時の測定値が大きくなった。また、鉛直高さ5cm形状のエプロン走行時と比べても同程度の騒音及び振動が得られた。

このことから、ランブルストリップスをエプロンに設置した場合、エプロン走行時に鉛直高さ5cmと同程度のドライバーへの注意喚起や警告の効果が期待できることがわかった。

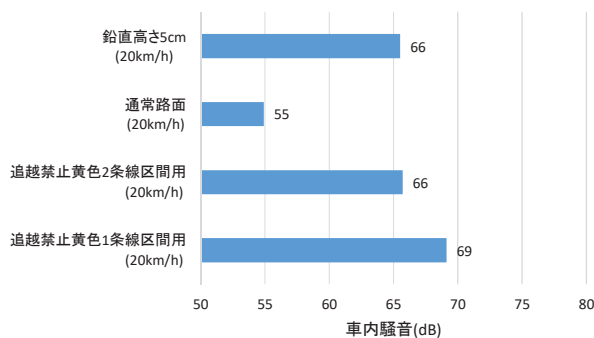


図-35 車内騒音測定結果

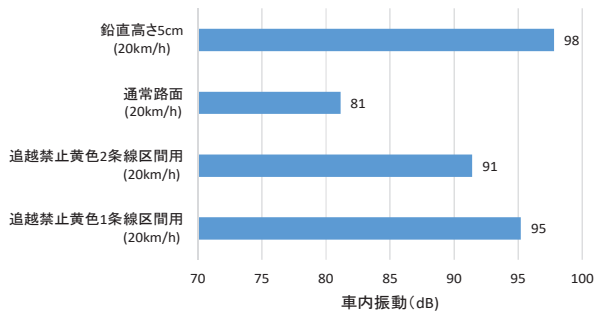


図-36 車内振動測定結果

3) 主観評価試験

主観評価実験の結果について、項目別の評価点数の平均値を図-37 に示す。鉛直形状については、ほぼ同じ評価点数であった。

すりつけ形状については、傾斜角 20°高さ 7cm は、傾斜角 20°高さ 5cm より評価点数が低く、走行の支障になってはいるが鉛直ほどではないという結果であった。また、傾斜角 30°高さ 7cm は、鉛直形状とほぼ同じ評価点数であった。

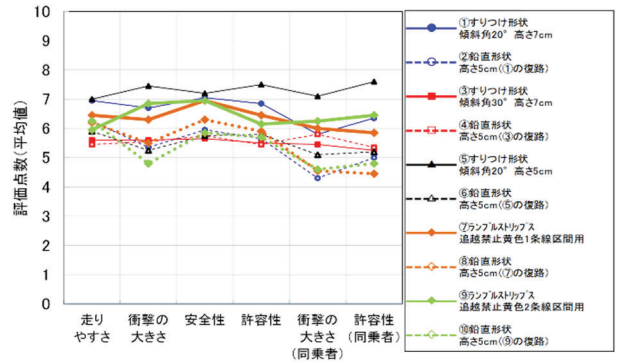


図-37 主観評価実験の結果

4.2 積雪時におけるラウンドアバウトエプロン端部の可視化方法に関する検討

積雪寒冷地域では、エプロン端部の段差は、積雪時に埋没するため、段差位置の把握は難しくなり、除雪の際に除雪装置の接触による損傷が懸念される。そこで、ラウンドアバウトが積雪で埋没してもエプロン端部の位置を把握でき、除雪装置のエプロン端部への接触を防げる方法を検討し、除雪車による試験施工を行った。

(1) 試験概要

試験は、苫小牧寒地試験道路のラウンドアバウトに中央島の半径が 6m、エプロンの幅が 2m になるようにコースを作成し、その上を国道における一般的な除雪出動基準である 10cm 程度の雪で覆った。エプロン端部が認識できない状態をレーザー照射による方法でカバーできるかを検証するため、除雪車でエプロン周りの除雪を実施する際の作業性や視認性、安全性の評価を行った。

(2) 試験条件

試験に使用した機器の選定条件としては、極力商用電源を用いないもの、及び除雪車側の加工を必要としないものとした。今回は、電気の供給は電池で行い、ラウンドアバウトに設置可能なレーザー照射による可視化方法とした。

レーザーによる可視化は、色の違いによる比較のため、緑と赤の2色のレーザーを使用した。機器には、車両の追突防止用として市販されている赤色レーザーと、道路の視線誘導標に用いられている緑色レーザーを用いた。試験の実施に当たっては、周辺照度におけるレーザーの視認性を確認し、視認可能な照度（時間帯）で行った。

試験に使用する除雪車は、主に国道の除雪に使用している除雪トラックと、交差点等の間口処理に使用している除雪ドーザとし、また、一般ドライバーからの視認性や安全性を検証するため乗用車も使用した（図-38）。



除雪トラック 除雪ドーザ 乗用車

図-38 試験車両

(3) 試験方法

1) 試験及び機材設置方法

試験は、レーザーによる視認性や作業性を検証するため、レーザーの他、無対策及び赤色のスプレーマーキングによる試験も実施した（図-39）。

無対策試験では、エプロンの幅をオペレータに伝えるのみとし、マーキング試験では、雪面の赤色マーキングに沿っての除雪とした。

レーザー照射試験は、レーザー照射口を中央島とエプロン境界部の高さ1mに設置して行った。レーザーは、エプロン端部から10cm外側の雪面上（積雪10cmの場合）を照射し、円弧状の照射エリアを形成できるように複数台（2.5m/1ブロック）配列した。また、レーザーの色による視認性の違いを検証するため赤色と緑色の2色を並べて設置した。照射位置には、除雪の精度を測るための計測用マーカを取り付けた。（図-40）。

2) 車両走行方法

除雪トラック及び除雪ドーザの走行ルートは、流入部からラウンドアバウト内に進入し、エプロン端部を除雪しながら反対側へ流出する（往路）ものとし、その後、Uターンし同様に走行した（復路）。赤色と緑色のレーザーは、往路と復路で配置順を逆にして設置した（図-41）。

除雪方法は、除雪ドーザはバケットで、除雪トラックはグレーダ装置でエプロン端部を目標にしながら



図-39 無対策試験（左）とマーキング試験（右）

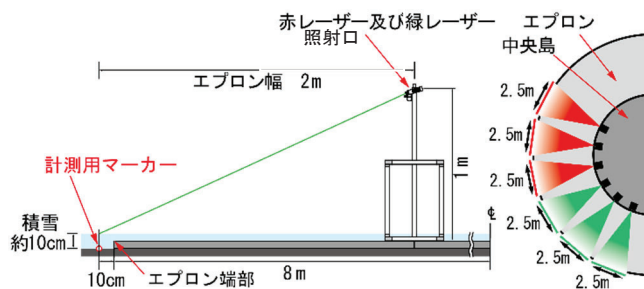


図-40 レーザー機器設置方法

走行した。乗用車の走行に関しては、ラウンドアバウトを走行する上でレーザーの視認性や安全性を確認するため、環道を走行した場合と、エプロンに乗り上げて走行した場合を想定して実施した。

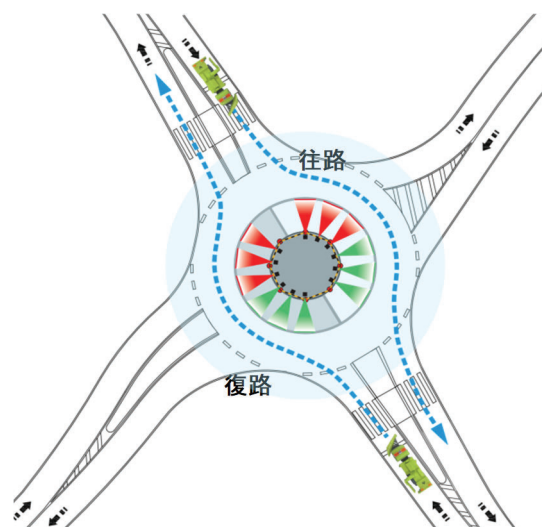


図-41 車両走行方法

3) 評価方法

一般的な除雪作業は、通量が少なく、通勤・通学の時間帯を避けた早朝に行うことが多い。また、冬期間であるため、夜明け前の薄暗い時間帯でもある。そこで、日没後の薄暗い時間帯から試験を実施した。

なお、試験を行う前には、周辺の明るさの違いによるレーザーの視認性を確認するため、照度試験を実施

した。

走行試験の評価方法としては、視認性及び安全性は、レーザーが除雪作業中のオペレータに与える影響について、アンケート及びオペレータ目線の動画撮影により検証した。

作業性は、試験走行後の計測用マーカーの位置から除雪跡との距離を測定し正確さの評価を実施した。

(4) 試験結果





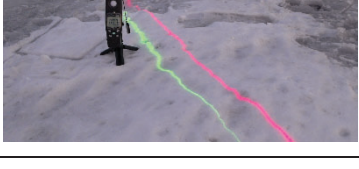
1) 照度試験

照度試験は、周辺照度の影響により積雪面に照射したレーザーが、どの程度視認できるか確認した。試験方法は、照射したレーザー付近に照度計を設置し、周辺照度を一定時間観測することにより、照度とレーザーの見え方を主観的な評価で整理した。その結果、緑色レーザー・赤色レーザーともに、周辺照度が3,500lx前後から視認できることを確認した(表-4)。日の出1時間後の照度でも概ね2,000lx程度¹⁵⁾であるので、早朝の除雪作業時には、照射したレーザーは、十分に視認できると考えられる。

2) 無対策走行試験

エプロン端部の無対策走行試験は、除雪トラック(往路)及び除雪ドーザ(復路)ともにエプロン端部に沿った除雪走行ができなかった(図-42、図-43)。特に除雪ドーザは、エプロン上に除雪装置がはみ出した除雪走行となった。事前にエプロンの幅を情報として得た上での試験走行であったが、目視により除雪の目標位置が確認できないため(図-44)、エプロン端部に沿った除雪走行は難しいと考える。

表-4 照度試験結果
(試験日の日没時間) 2020(令和2)年2月13日 17:01:27

時間	周辺照度 (lx)	レーザー照射状況
16:20	14,300	
16:30	8,400	
16:40	3,500	
16:50	1,600	
17:00	700	

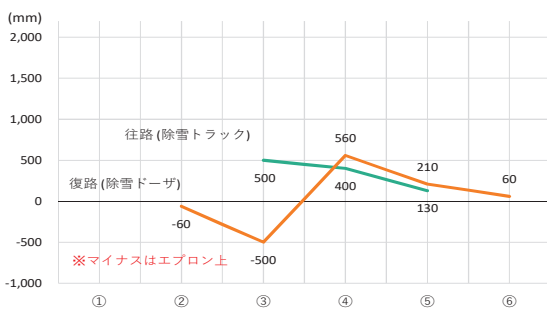


図-42 無対策試験の除雪精度の計測

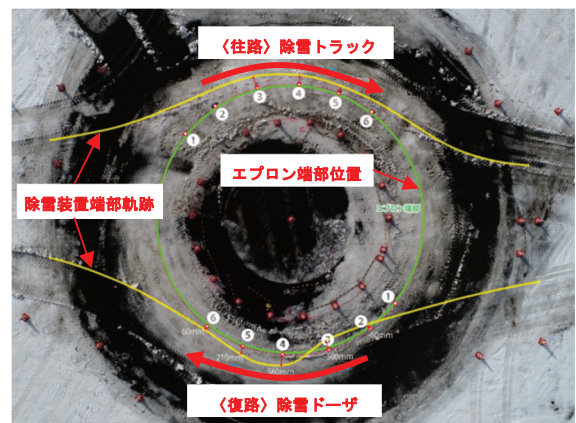


図-43 無対策試験の除雪走行軌跡



図-44 無対策試験の除雪走行状況

3) マーキングによる走行試験

カラスプレーでエプロン端部をマーキングした場合の走行試験は、除雪トラック及び除雪ドーザともに往復走行で行った。除雪トラック及び除雪ドーザともにマーキングに沿った除雪走行ができた(図-45、図-46)。しかし、除雪ドーザは、除雪トラックに比べると除雪の精度が低い結果となった(図-47、図-48)。これは、除雪トラックの除雪装置は、オペレータがミラー越しにマーキング位置と除雪装置の端部を視認できるのに対して、除雪ドーザは、マーキング位置が除雪装置の影となり直接視認することができなかったためと推測する(図-49)。

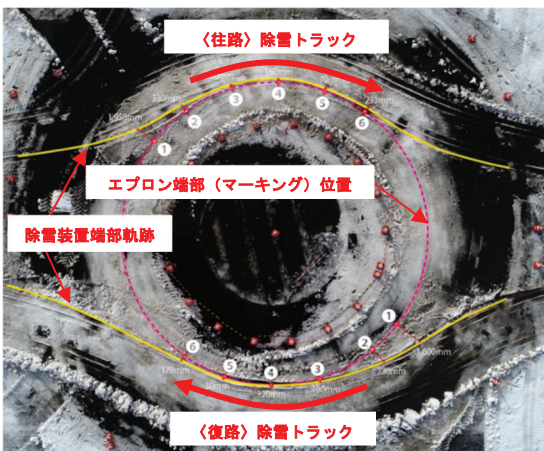


図-45 マーキング試験の除雪トラック走行軌跡

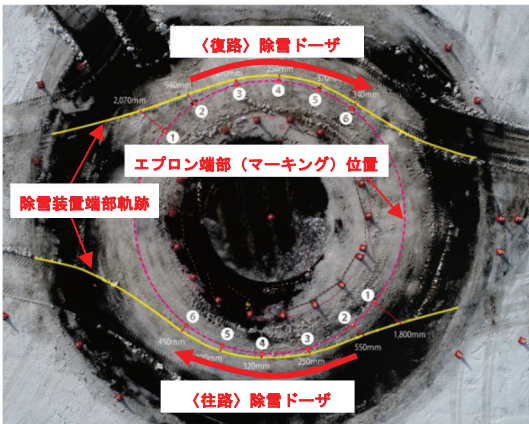


図-46 マーキング試験の除雪ドーザ走行軌跡

4) レーザーによる走行試験

レーザー照射によりエプロン端部を可視化した場合の走行試験は、除雪トラック及び除雪ドーザともに往復走行で行った。

除雪トラックは、往路の走行で、緑→赤の順、復路の走行では、赤→緑の順で走行し、除雪ドーザでは、除雪トラックとは逆で、往路の走行では、赤→緑の順、

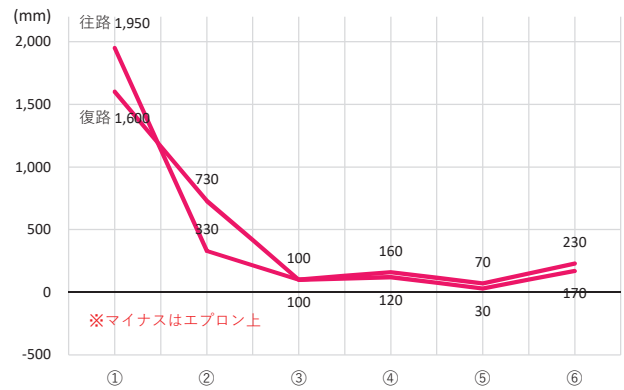


図-47 マーキング試験の除雪精度の計測 (除雪トラック)

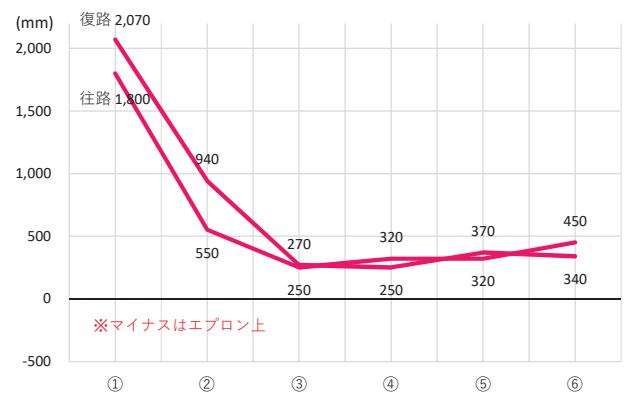


図-48 マーキング試験の除雪精度の計測 (除雪ドーザ)



図-49 マーキング試験の除雪走行状況

復路の走行では、緑→赤の順でそれぞれ走行した。

結果は、マーキングでの試験走行と同様にレーザー照射したエプロン端部に沿った除雪走行ができた(図-50、図-51)。

また、除雪ドーザの走行試験は、前述のマーキングによる走行試験と同様に、レーザーにより可視化されたエプロン端部が除雪装置の影となったが、マーキングによる走行試験の実施後であったため除雪トラックに比べ精度の低下は小さかった(図-52、図-53)。

レーザー色の違いによる試験結果は、オペレータのアンケートの結果、緑色レーザーは赤色に比べて、ラウンドアバウトの流入部付近からでもよく視認できた。そのため、除雪開始位置への移動がスムーズに行うことができ、除雪走行開始時の除雪装置とエプロン

端部との距離が近くなっている（図-52、図-53）。

また、今回使用した除雪トラックの除雪装置の塗装が赤色であるため、赤色レーザーは視認しづらいとの意見もあった。よって、赤色レーザーより緑色レーザーの方がよく視認できる結果となった。

レーザーによる除雪作業への影響としては、除雪車両の運転位置が比較的高い位置にあるため、作業中の眩しさは感じなかった（図-54）。

今回使用した試験機1基のレーザー照射幅は、2.5m程度であり、この試験機を複数台並べて、レーザーを繋いでエプロン端部の曲線部を可視化した。試験の際は、大まかな目安程度として認識していたので、作業をする上での支障とはならなかった。

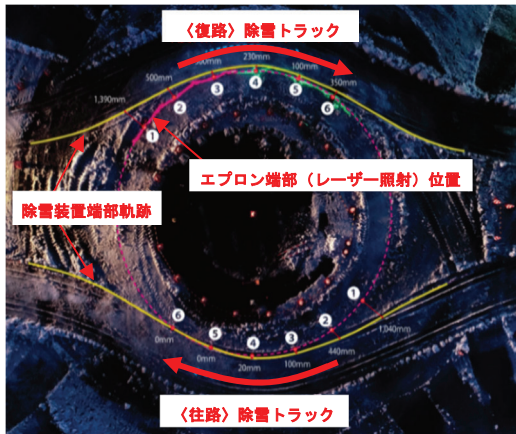


図-50 レーザー試験の除雪トラック走行軌跡

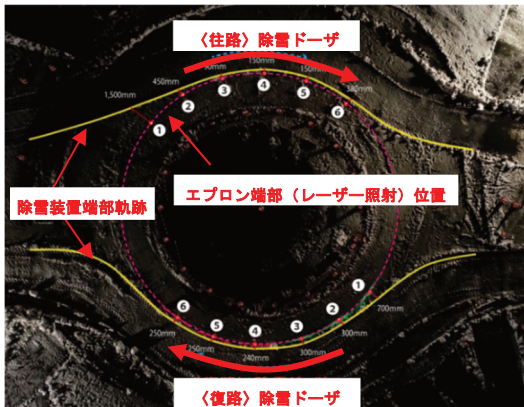


図-51 レーザー試験の除雪ドーザ走行軌跡

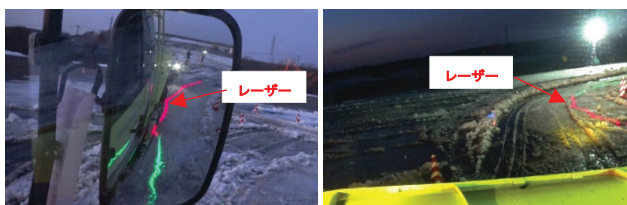


図-54 レーザー試験の除雪走行状況

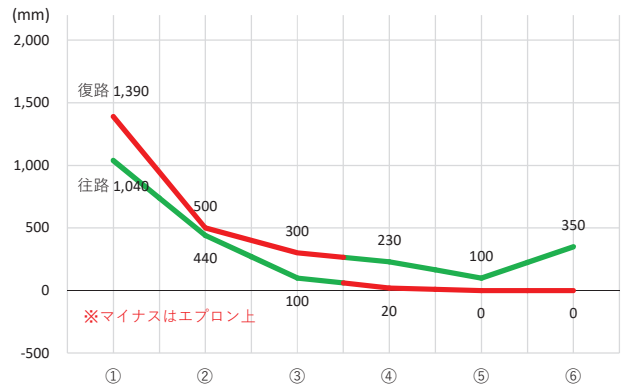


図-52 レーザー試験の除雪精度の計測

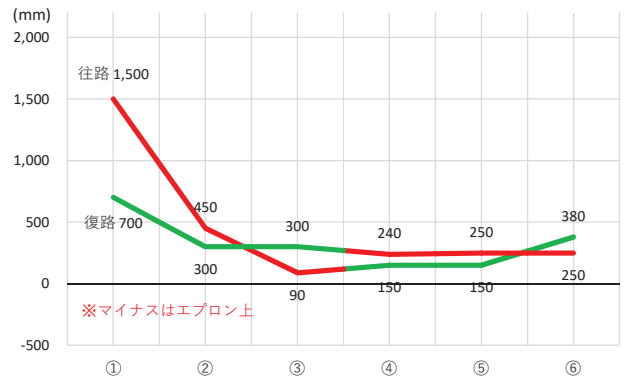


図-53 レーザー試験の除雪精度の計測
(除雪ドーザ)

5) 乗用車による走行試験

最後にレーザー照射によりエプロン端部を可視化した状況で、除雪車よりドライバーの目線が低い乗用車に対して、レーザーが与える影響を検証した。また、乗用車のエプロン部の走行を想定した試験も実施し

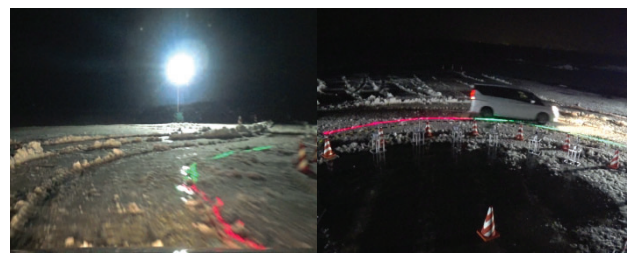


図-55 レーザー試験の乗用車走行状況
(環道走行)



図-56 レーザー試験の乗用車走行状況
(エプロン走行)

た。その結果、乗用車のドライバーの目の位置は、除雪のオペレータよりもレーザーの照射口が、除雪車のオペレータよりも近い位置にあるが、走行の支障となることはなかった（図-55）。また、エプロン走行時には、レーザーが車両側面へ照射されたが、ドライバーへの影響はなかった（図-56）。

ドライバーへのアンケートの結果、エプロン端部をレーザーにより可視化することで、道路の外側線のイメージがあり、心理的にエプロン部を走行することを躊躇するとの意見があった。

4.3 コンクリートに代わるエプロン端部に関する検討

ラウンドアバウトのエプロン段差は、大型車が頻繁に乗り上げても破損することのないように、強固な構造とするなど配慮が必要⁴⁾であり、縁石等のコンクリート製品で施工されることが多い。

しかし、除雪作業等によりエプロン端部が損傷した場合、縁石等の取り替え作業が生じる。そこで、比較的補修が簡易なアスファルトや樹脂系モルタルを用いてエプロン端部を作製し、除雪走行試験を実施した。

(1) 試験概要

試験は、石狩吹雪実験場に設置した数種類の模擬エプロンを用いて、除雪作業時における除雪装置のエプロンへの接触を再現した試験を実施した。なお、条件が一番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に接触させて損傷度合いを確認した。

(2) 試験条件

試験に使用したエプロン端部の構造は、アスファルトと樹脂系モルタルを用いて作製し、すりつけ面の傾斜角度をそれぞれ20°と30°とした（図-57）。なお、アスファルトは、密粒度アスファルト混合物（13F）、樹脂系モルタルは、スマートモルタル（NIPPO）を使用した。

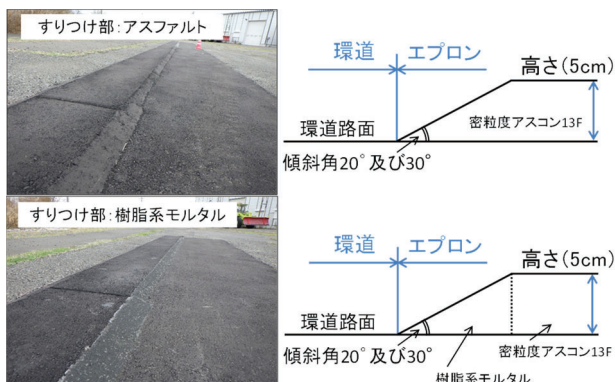


図-57 エプロン端部構造



図-58 試験に使用した車両
(左：除雪グレーダ 右：除雪ドーザ)

試験に使用した車両は、実際の国道除雪に使用している除雪グレーダ（4.0m 高速型）及び、除雪ドーザ（13t級 Uブレード）とした（図-58）。

(3) 試験方法

試験方法は、除雪装置の推進角を走行方向に対して90°に設定し、走行速度を環道の除雪作業を想定した、5km/h程度とした。また、エプロン端部に対する進入角度は10°に設定し、除雪装置のエプロン端部への接触試験を複数回繰り返した（図-59）。



図-59 試験走行方法

(4) 試験結果

接触試験後の計測方法は、アスファルト形状は、大きく欠損したため、欠損箇所のすりつけ面からの最大の奥行きと最大奥行き箇所までの幅を計測した。また、欠損部の最大深さの計測も行った。

樹脂系モルタル形状では、大きく欠損することなく除雪装置の端部による傷がついた結果となったため、傷のついた箇所のすりつけ面からの最大の奥行きと、最大奥行きまでの傷の長さを計測した。また、傷の幅と深さの計測も行った（図-60）。

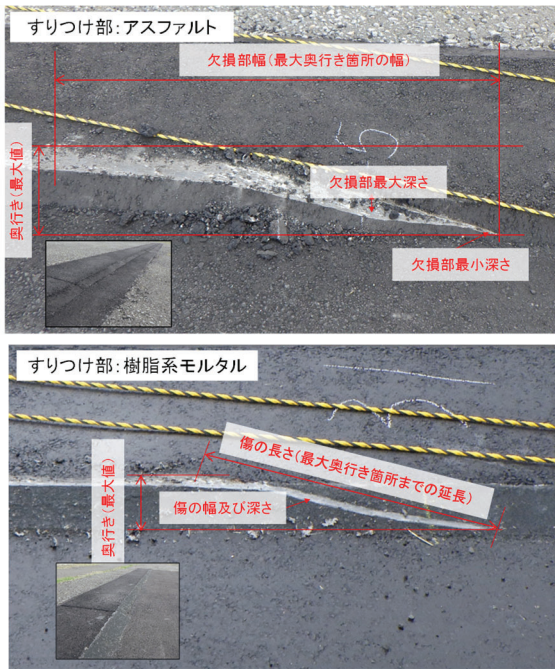


図-60 計測方法

試験結果は、アスファルト形状の場合、除雪グレーダ及び除雪ドーザ共に、すりつけ角度にかかわらず、除雪装置が接触したすり付け面下部から大きく欠損した。また、除雪グレーダの方が、除雪装置の押しつけ圧が大きいため、除雪ドーザに比べ欠損部は大きくなった。角度の違いでは、すりつけ面の傾斜角が 20°の方が、すりつけ部の面積が大きいことから、より大きく欠損した。これは、過年度のコンクリート形状での試験と比べ、除雪装置がすりつけ面を滑ることなく、えぐられたためと思われる(図-61)。

樹脂系モルタルの場合、除雪グレーダ及び除雪ドーザ共に、傾斜角度にかかわらず、大きな欠損はなく、すりつけ面に沿って線状に傷がつくように削れた。また、除雪グレーダと除雪ドーザの損傷の程度に大きな違いはなかった。傷の長さは、傾斜角度が 20°の方がすりつけ部の面積が大きくなるため長くなった(図-62)。

過年度に行ったコンクリート形状での損傷試験では、除雪グレーダにおいて、傾斜角度 30°で大きく欠損した。しかし、本試験のような樹脂系モルタルのすりつけ形状の場合、傾斜角度 30°でも線状に傷はつくものの、欠損等の破損はなかったため、損傷時でもエプロン端部を交換することなく補修で対応が可能であると考えられる。

表-5 損傷試験結果

機種	エプロン端部形状		損傷部計測結果				損傷状況
	材質	傾斜角度・高さ	幅(cm)	奥行(cm)	最大深さ(mm)	最小深さ(mm)	
除雪グレーダ	アスファルト	20°・5cm	153.6	26.6	33.0	1.1	緑石下部(路面)から削られて欠損
		30°・5cm	114.2	19.9	31.0	0.0	
除雪ドーザ	アスファルト	20°・5cm	103.7	22.4	22.7	0.0	緑石下部(路面)から削られて欠損
		30°・5cm	73.2	16.1	19.8	0.0	

機種	エプロン端部形状		損傷部計測結果				損傷状況
	材質	傾斜角度・高さ	傷の長さ(cm)	傷の深さ(mm)	傷の幅(mm)		
除雪グレーダ	樹脂モルタル	20°・5cm	101.0	3.0	20.5	すりつけ面は、線状に削れた	
		30°・5cm	75.0	6.5	17.0		
除雪ドーザ	樹脂モルタル	20°・5cm	99.0	2.0	22.0	すりつけ面は、線状に削れた	
		30°・5cm	86.0	9.5	16.0		



図-61 アスファルト形状の損傷状況
(左: 除雪グレーダ 右: 除雪ドーザ)



図-62 樹脂系モルタル形状の損傷状況
(左: 除雪グレーダ 右: 除雪ドーザ)

5. 国内外における活動

5.1 ラウンドアバウトセミナーの開催

新たにラウンドアバウトを導入する自治体の住民を対象とし、ラウンドアバウトの導入効果や交通ルールを習熟させることを目的とし、ラウンドアバウトセミナー及びラウンドアバウト体験会を開催した。当所、道路管理者、交通管理者による主催により、2019年5月に北海道上ノ国町、2020年10月には北海道浜頓別町にて開催した(図-63、写真-3)。

このような広報・啓蒙活動を通じ、道路利用者に対し、ラウンドアバウトの利用方法を事前に周知することにつながり、円滑なラウンドアバウト運用開始に貢

献した。



図-63 ラウンドアバウトセミナーの開催
(2019年5月、於：上ノ国町)



写真-3 浜頓別町ラウンドアバウト体験会の様子
(2020年10月、於：浜頓別町)

5.2 国際委員会の活動

TRB（米国運輸交通研究会議）の「ラウンドアバウト・他交差点及び設計制御策委員会」（AKD80）に委員として、委員会審議に参画した。また、同委員会において、日本国内の積雪寒冷地におけるラウンドアバウト整備事例や課題について、報告した。



写真-4 TRB ラウンドアバウト・他交差点及び
設計制御策委員会での発表
(2020年1月、於：ワシントンD.C.)

6. まとめ

(1) 積雪寒冷地のラウンドアバウトの交通流評価

北海道ノ国町及び浜頓別町のラウンドアバウトを事例研究とし、交差点改良前後の交通流調査を行った。ラウンドアバウトへの改良により、旅行時間短縮、速度低減、交差点遅れ時間の短縮、環境負荷低減の効果が発揮されていることを確認した。

(2) ラウンドアバウトの除雪作業の実査

北海道ノ国町・浜頓別町及び山形県長井市において、除雪作業及びエプロン構造の損傷の実態に関する調査を行った。また、国内のラウンドアバウトのエプロン段差形状について実態調査を行ったところ、テーパー形状の採用が最も多かった。

(3) 効率的な除雪方法の提案

苫小牧寒地試験道路における実験結果から、除雪を考慮したエプロン端部形状である「すりつけ」や「ランブルストリップス」は、車両乗り上げ抑制効果が期待できると考えられる。また、積雪により埋没したエプロン端部の位置をレーザー照射することで可視化できることがわかった。さらに、エプロン端部構造の補修作業を考慮したとき、アスファルトやコンクリートでは、除雪装置の接触により大きく欠損するが、樹脂系モルタルの場合、傷が付く程度であり、影響が少なかった。除雪作業の実施を考慮したとき、このような材料の利用が考えられる。

参考文献

- 1) 宗広一徳, 中村直久, 中谷幸生, 濱塚弘行, 金子恵造, 田名部一馬: 国道 228 号上ノ国町大留交差点の改良について, 第 60 回土木計画学研究発表会論文集, 2019.
- 2) 小林寛, 高宮進, 吉岡慶佑, 米山喜之: ラウンドアバウト幾何構造基準の策定に向けた基礎研究, IATSS Review Vol.39, No.1, pp.37-46, 2011.
- 3) 宗広一徳, 影山裕幸, 石田 樹: ラウンドアバウトの外径が大型車の走行挙動に及ぼす影響, 第47回土木計画学研究発表会論文集, 2013.
- 4) 大上哲也, 牧野正敏, 石川真大: ラウンドアバウトにおける効率的な除雪工法の検討, 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.67, No.5, pp.129-136, 2011.
- 5) 宗広一徳, 大上哲也, 牧野正敏: ラウンドアバウトの冬期管理に関する実験的研究, IATSS Review Vol.39, No.1, pp.47-55, 2014.
- 6) 佐藤信吾, 牧野正敏, 高本敏志, 宗広一徳: ラウンドアバウトの除雪作業と堆雪の影響に関する実験, 寒地土木研究所月報, No.749, pp.2-11, 2015.

- 7) Eugene R.Russel, E.Dean Lodom, Ranjit Godanvarthy: Accommodating Oversize/Overweight Vehicles at Roundabouts, Report No.K-TRAN:KSU-10-1 FINAL REPORT, January 2013.
- 8) 倉田和幸, 中村直久, 宗広一徳, 佐藤昌哉: 大型車ドライバーによる走行時の運転挙動と主観評価, 第62回土木計画学研究発表会論文集, 2020.
- 9) 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年8月8日.
- 10) 一般社団法人交通工学研究会: ラウンドアバウトマニュアル, 2016.
- 11) 菊地春海, 岡田朝男, 水野裕影, 絹田裕一, 中村俊之, 萩原剛, 牧村和彦: 道路交通安全対策事業における急減速挙動データの活用可能性に関する研究, 土木学会論文集D3 (土木計画学), Vol.68, No.5, pp1193-1204, 2012.
- 12) 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 (III), 2015.
- 13) 佐藤信吾, 高本敏志, 牧野正敏: 除雪作業と乗り上げ抑制効果を考慮したラウンドアバウトのエプロン端部形状に関する検討, 寒地土木研究所月報, No.774, pp.40-46, 2017.
- 14) 独立行政法人土木研究所寒地土木研究所: ランブルストリップス整備ガイドライン (案), 2008.
- 15) 大阪市立科学館: こよみハンドブック (2006.4-2008.4), 2006.

STUDY ON ROUNDABOUT TRAFFIC FLOW EVALUATION AND WINTER MAINTENANCE METHODS IN SNOWY COLD REGIONS

Research Period : FY2018- 2020

Research Team : Cold-Region Road Engineering Research Group
(Traffic Engineering)

Cold-Region Technology Development Coordination
(Machinery Engineering)

Author: SATO Masaya, HIRASAWA Masayuki,
MUNEHIRO Kazunori, NAKAMURA Naohisa
KATANO Koji, NAKAJIMA Jun-ichi,
FUNAHASHI Makoto, KUJI Naoyuki

Abstract : In Japan, 101 intersections (as of March 2020) have been operated as roundabouts, and more than 50% of them are located in snowy and cold regions. In this study, we used the roundabouts such as Kaminokuni-cho and Hamatombetsu-cho in Hokkaido, which were constructed in snowy and cold regions, as case studies, and conducted a traffic flow survey before and after the intersection improvement and a survey to grasp the actual condition of winter maintenance. In addition, a snow removal experiment was conducted on the Tomakomai Cold Region Test Road, and a desirable apron structure and winter maintenance method were proposed.

Key words : Roundabout, Traffic Flow, Winter Maintenance Method, Truck Apron, Snow Removal