

レーザー照射によるラウンドアバウトエプロン端部の可視化試験について ーラウンドアバウトにおける冬期道路管理手法の検討ー

吉田 智*1 舟橋 誠*1 新保 貴広*1

1. はじめに

環状交差点であるラウンドアバウトは、交差点内に侵入する車両より、環道を走行している車両に優先権があることから、交差点に信号機などの施設がない交差点形式となっている。また、一般的な無信号交差点と比較すると車両どうしの交錯点が少ないため、安全性に優れていることから欧米では広く普及している。

日本では、平成26年度に道路交通法が改正され、環状交差点の通行方法が定められたことから、全国的にラウンドアバウトが導入されてきている。しかし、国土の約6割以上が積雪寒冷地域に指定されている日本において、冬期間における道路管理の課題やその対応策について検討が必要である。なお、国内に導入されているラウンドアバウトは、環道とエプロンの境界に段差を設けていることが多く、積雪でエプロン端部（以下、「端部」という）の段差位置が認識できなくなり、除雪作業時に除雪装置が段差に接触し、端部を損傷させることが想定される。また、高齢化により熟練した除雪車両のオペレータが減少することも懸念され、経験の浅いオペレータでも、積雪時に端部を容易に認識できる技術が必要になると考える。

そこで寒地土木研究所では、積雪で埋没した端部の段差位置にレーザーを照射、端部を可視化し、除雪機械及び乗用車で試験を実施したので報告する。

2. ラウンドアバウトのエプロン端部

2.1 ラウンドアバウトの幾何構造

ラウンドアバウトは、環道、エプロン、中央島、分離島、流入部等で構成される環状交差点である（図1）。

環道は、小型自動車等が走行可能な幅員であり、エプロンは、環道の幅員だけでは走行が困難な牽引車両等が、環道と合わせた幅員として走行してよいエリアとなる。もし、利用者が環道とエプロンの違いを認知できなければ、交差点内を直線的に通行する小型自動車等が現れ、交差点内を走行する際の速度が上昇することが懸念される。交差点内を通行する車両の走行位置を安定させ、速度も抑制するには、端部に段差を設けることが有効とされている²⁾。

2.2 ラウンドアバウトのエプロン端部の課題

積雪寒冷地域では、積雪で端部の段差が埋没し、段差部分の把握が困難となる。当所で国内のラウンドアバウトの端部形状についてアンケート調査した結果（回答数107件）、特殊な形状を除くと5種類に分類され、高低差がある端部形状は国内全体で5割以上を占める（図2）。また、過去の試験で端部の段差において、除雪装置による損傷を確認している³⁾（写真1）。

そこで、積雪で埋没しても端部の位置が把握でき、除雪装置の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。

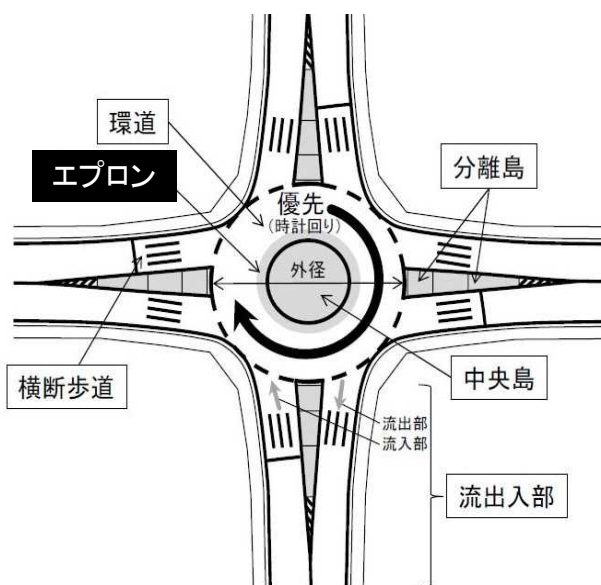


図1 ラウンドアバウト標準図¹⁾

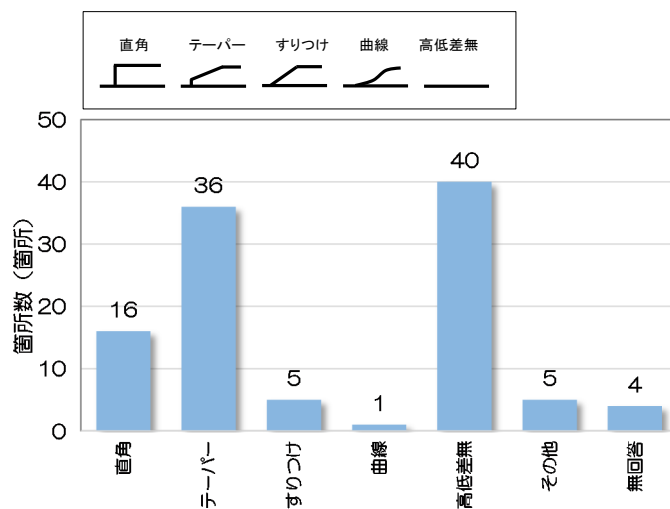


図2 日本国内の端部形状



写真1 除雪車による端部損傷試験^③

3. レーザー照射によるエプロン端部可視化試験

3.1 エプロン端部可視化方法の検討

可視化試験を実施するにあたり、除雪車両のオペレータへ端部の位置を指示する方法について検討を行った結果、レーザーで「光」、ロードヒーティングで「融雪」、蛍光水で「着色」するなどの可視化方法を検討したが、視認性、耐寒性、防汚性、作業性、価格面から、レーザー照射による可視化試験を実施することとした。

3.2 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となる試験コースを作製し、その上を国道の一般的な除雪出動基準となる10cm程度の雪で覆った。使用したレーザー照射機器は、商用電源を用いない中央島内に設置可能なものとし、色の違いを比較するため、赤と緑の2色のレーザーで試験を行った。なお、赤色レーザーは車両の追突防止用、緑色レーザーも道路の視線誘導標として市販されているものを使用した。

試験車両は、除雪作業で一般的に使用されている除雪トラック（以下、「トラック」という）と、交差点等の間口処理で使用する除雪ドーザ（以下、「ドーザ」という）とし、また、一般車両への影響についても検証するため乗用車も使用した（写真2）。

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後、視認可能な照度（時間帯）で試験を行い、作業性や視認性、安全性について確認した。また、レーザーによる試験を比較検証するため、無対策及び赤色のカラーズプレーをマーキングした試験も実施した。無対策試験は、エプロンの幅をオペレータに伝えるのみとし、マーキング試験は、雪面の赤色マーキングに沿っての除雪とした。

3.3 試験方法

1) レーザー照射試験機材設置方法

レーザー照射試験で使用した機材の設置方法は、レーザー照射口を中央島とエプロン境界部1mの高さの位置から、端部より10cm外側の雪面上を円弧状に照射エリアが形成されるように複数台（2.5m/1ブロック）設置した。また、色による視認性の違いを検証するため、赤色と緑色の2色のレ



写真2 試験車両

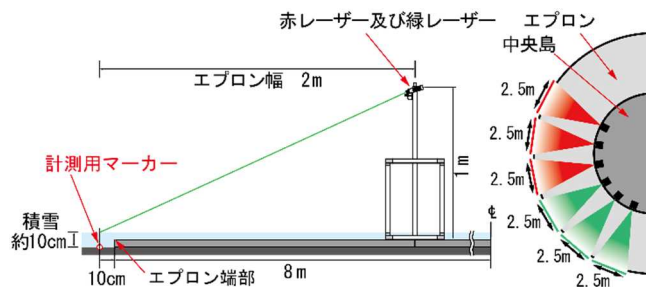


図3 レーザー機器設置方法

ーザーを並べて設置した。なお、照射位置には、除雪の精度を測るための計測用マーカーを取り付けた（図3）。

2) 照度確認試験

一般的な除雪作業は、交通量が少なく、通勤・通学の時間帯を避けた早朝に行うことが多い。冬期間であるため、夜明け前の薄暗い時間帯でもある。そのため、周辺の明るさの違いによるレーザーの視認性について確認した。

周辺照度の影響により積雪面に照射したレーザーが、どの程度視認可能か確認するため、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察することにより、照度とレーザーの見え方を主観的な評価で整理した。

3) 走行試験

トラック及びドーザの走行方法は、流入部から進入し、端部を除雪しながら反対側へ流出する（往路）。その後、転回し同様に走行した（復路）。赤色と緑色のレーザーは、往路と復路で配置順が逆になるように設置した（図4）。トラックはグレーダ装置、ドーザはバケットを用いて、装置が端部を除雪するように試験を行った。

乗用車に関しては、ラウンドアバウトを走行する際のレーザーの視認性や安全性を確認することを目的とし、環道及びエプロン上を走行した。

評価方法は、視認性及び安全性については、レーザーが除雪作業中のオペレータに与える影響を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。また、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評価した。

4. 試験結果

4.1 照度確認試験

照度確認試験は、周辺照度により積雪面に照射したレー



図4 走行方法

ザーが、どの程度視認できるかについて確認しており、その結果、赤色・緑色レーザーともに、周辺照度が 3,500lx 前後から視認できることを確認した（表1）。

周辺照度が高いとレーザーを視認できない状況であったが、日の出1時間後の照度は概ね 2,000lx 程度であることから⁴⁾、早朝の除雪作業時であれば、照射したレーザーは、十分に視認できると推測する。

表1 照度確認試験結果

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	

（試験日の日没時間） 令和2年2月13日 17:01:27

4.2 走行試験結果

1) 無対策走行試験

無対策走行試験は、トラック（往路）、ドーザ（復路）ともに端部に沿った除雪走行ができなかった（図5、6）。事前にエプロンの幅を伝え試験を行ったが、目標を視認できないため（写真4）、端部に沿った除雪走行が、困難であった。特にドーザは、バケットがエプロン上に乗り上げる結果となり、これはバケットで視界が遮られることも影響していると推測する。

2) マーキングによる走行試験

カラスプレーで端部をマーキングして実施した走行試験は、トラック及びドーザともに往復走行で行い、双方の車両ともマーキングに沿った除雪走行ができた（図7、8）、ドーザは、トラックに比べて除雪の精度が低い結果となった（図9、10）。

これは、トラックのオペレータは、ミラー越しにマーキング位置と除雪装置端部を視認できるのに対し、ドーザは、

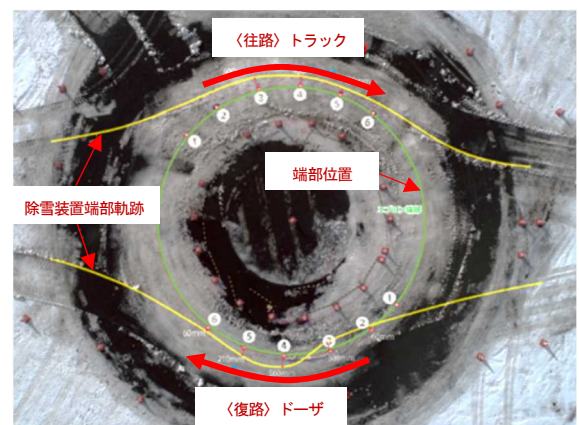


図5 無対策試験の除雪走行軌跡

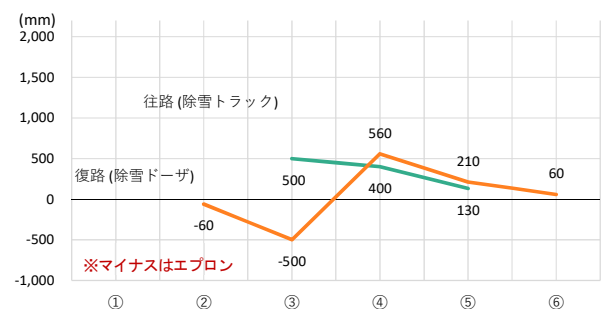


図6 無対策試験の除雪精度の計測



写真4 無対策試験の除雪走行状況
（左：トラック、右：ドーザ）

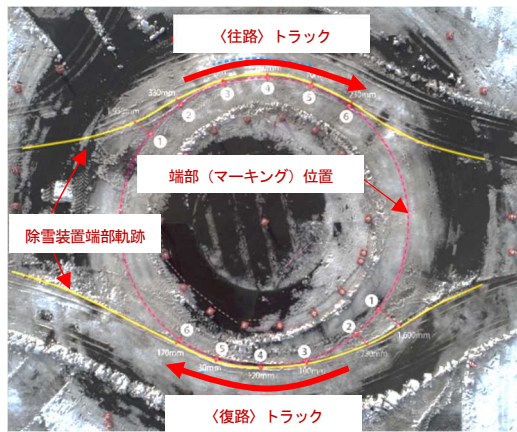


図7 マーキング試験のトラック走行軌跡

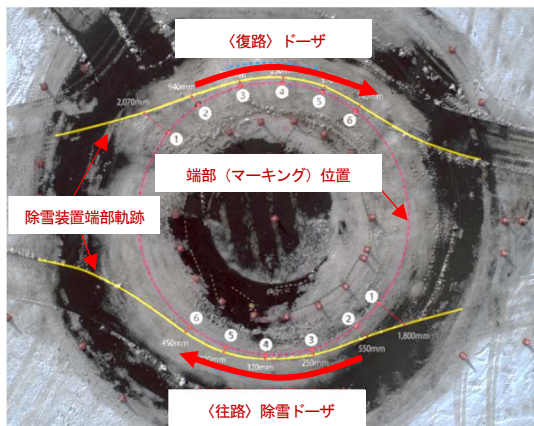


図8 マーキング試験のドーザ走行軌跡

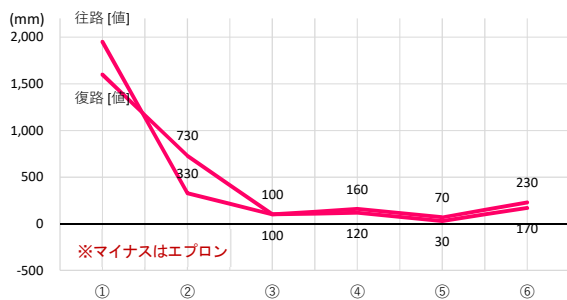


図9 マーキング試験の除雪精度計測結果
(除雪トラック)

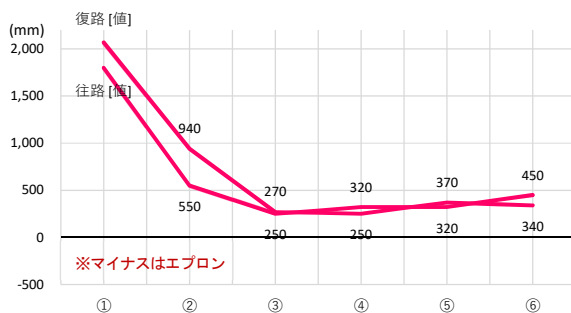


図10 マーキング試験の除雪精度計測結果
(除雪ドーザ)



写真5 マーキング試験の除雪走行状況

バケットで視界が遮られ、マーキング位置を視認することができなかったことが影響していたと推測する (写真5)。

3) レーザー照射による走行試験

レーザー照射により端部を可視化して実施した走行試験は、トラック及びドーザともに往復走行で行った。トラックは、往路を「緑→赤」の順で走行し、復路は逆に「赤→緑」の順で走行した。ドーザは、トラックとは逆に往路を「赤→緑」、復路を「緑→赤」の順で走行した。

結果は、マーキング試験同様、双方の車両ともレーザー照射した端部に沿った除雪走行ができた (図11、12)。ドーザは、前述のマーキング試験同様、レーザー照射により可視化された端部がバケットの影となっていたが、除雪精度は向上している (図13、14)。これはマーキングによる走行試験後に、レーザー照射試験を実施したため、オペレータの運転操作への慣れが、除雪精度の向上に影響していると推察する。

除雪車両のオペレータへ聞き取りした結果、色の違いについては、緑色は赤色に比べ、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端部との距離が近くなっている (図13、14)。また、使用したトラックのグレーダ装置の塗装が赤色であるため、赤色のレーザーは視認しづらいとの意見もあった。そのため、赤色より緑色の方がよく視認できる結果となった。なお、除雪車両の運転位置は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との意見もあることから (写真6)、レーザーによる除雪作業への影響はないものと推察する。

使用したレーザー照射機1基の照射幅は、2.5m程度の直線であり、これを複数台並べ、曲線的に繋いで端部を可視化した。また、試験路面に凸凹があったため、レーザーも路面に合わせて凸凹に照射されたが (写真7)、試験を行う上の支障とはならなかった。

除雪車両よりドライバーの目線が低い乗用車でも試験を実施した。その結果、乗用車のドライバーにとって、レーザーの照射位置は、除雪車のオペレータの目線よりも近い位置にあったが、走行の支障にはならなかった (写真8)。また、エプロン部走行時、車両側面にレーザーが照射されたが、ドライバーへの影響はなかった (写真9)。

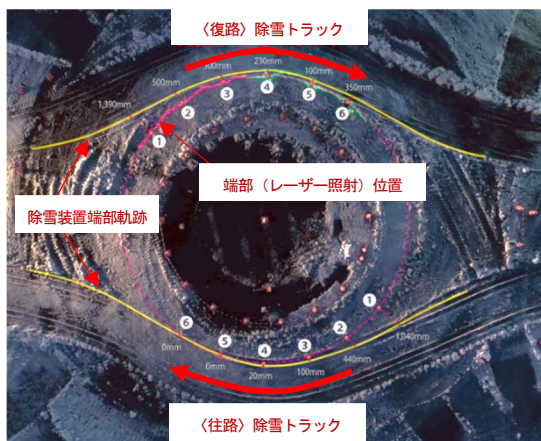


図 11 レーザー照射試験の除雪トラック走行軌跡

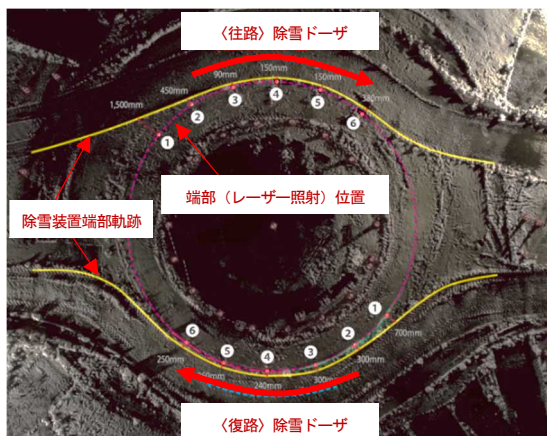


図 12 レーザー照射試験の除雪ドーザ走行軌跡

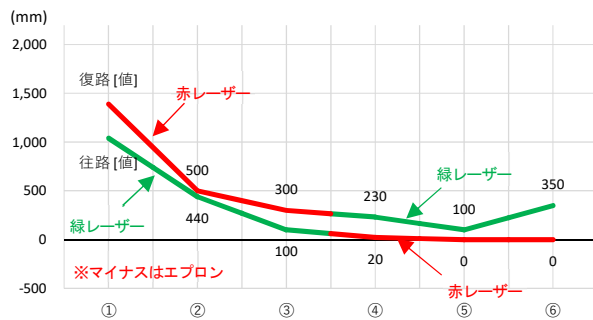


図 13 レーザー照射試験の除雪精度計測結果（除雪トラック）

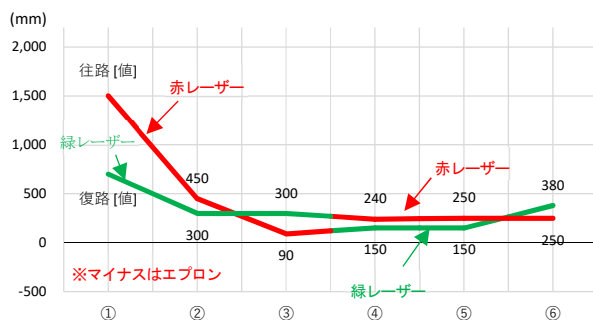


図 14 レーザー照射試験の除雪精度計測結果（除雪ドーザ）



写真 6 レーザー照射試験の除雪走行状況



写真 7 凹凸路面のレーザー照射状況



写真 8 レーザー照射試験の乗用車走行状況（環道走行）



写真 9 レーザー照射試験の乗用車走行状況（エプロン走行）

乗用車ドライバーへの聞き取りにおいて、レーザー照射は、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。

5. まとめ

積雪で端部の段差位置が認識できなくなり、除雪作業時に除雪装置が段差に接触し、端部を損傷させることが想定される。これを解決するための技術として、レーザーを用い、可視化試験を行い、以下のことを把握した。

5.1 視認性

試験に用いたレーザーは、一般的な除雪作業の時間帯である早朝時の照度であれば、十分に視認可能である。また、

色の違いにおいて緑色は、赤色に比べ視認性が良く、レーザーにより可視化することで端部の位置を認識できた。

乗用車での走行は、除雪車両に比べるとドライバーの視線は低い、走行の支障にはならない。

5.2 安全性

レーザーで端部を可視化した状態での除雪作業は、除雪車両のオペレータの視点が低い位置にあるため、レーザーの眩しさの影響はなく、安全な除雪作業や走行が可能である。また、ラウンドアバウトを利用する一般ドライバーに対し、端部をレーザー照射することにより、エプロンへの乗り上げ抑制効果も期待できる。

5.3 作業性

赤色に比べ、緑色の方が端部に近い位置を除雪できたことから、緑色の方が赤色に比べ作業性が高い。なお、路面の凸凹に合わせ、レーザーも凸凹に照射されるが、多少の凹凸であれば作業を行う上での支障にはならない。

今後、国内においてラウンドアバウトの導入箇所が増えることが予想され、高齢化により熟練した除雪車両のオペレータが減少することも懸念される状況において、本試験で精度の高い除雪作業が行われた。このことから、経験の浅いオペレータでも、積雪時に端部を認識する技術として、レーザー照射による可視化は有効であると考えられる。

- 1) 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、平成28年4月28日
- 2) 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
- 3) 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
- 4) 大阪市立科学館、こよみハンドブック、2006. 4～2008. 4