

実証実験による瓢箪型ラウンドアバウト幾何構造の検討 Examination of Teardrop Roundabout Geometric Design through a Field Experimental Study

奥城 洋¹, 吉岡 慶祐², 石黒 雄紀³, 中根 武志⁴, 松岡 寿章⁵,
首藤 貴子⁵, 張 馨⁶, 中村 英樹⁷, 阿部 義典⁸, 神戸 信人⁹, 下川 澄雄²

Hiroshi OKUSHIRO¹, Keisuke YOSHIOKA², Yuuki ISHIGURO³, Takeshi NAKANE⁴, Toshiaki MATSUOKA⁵,
Takako SHUDO⁵, Xin ZHANG⁶, Hideki NAKAMURA⁷, Yoshinori ABE⁸, Nobuto KANBE⁹ and Sumio SHIMOKAWA²

愛知県豊橋市牧野町における県道と市道の4枝無信号交差点は、総流入交通量が約15,000台/日と比較的多いが無信号で運用されている。そして、市道が鋭角の食い違い交差となっていることなど、交通安全上の課題を抱えている。その対策案として、瓢箪型ラウンドアバウトの導入が計画されているものの、国内では市街地における導入事例がなく、また、ラウンドアバウトマニュアルにおいても正円でないラウンドアバウトの幾何構造に関する設計の考え方などは記載がない状況である。

そこで本研究では、実験フィールドに実物大の仮設ラウンドアバウトを設置し、実証実験を通して瓢箪型ラウンドアバウトの形状を検討した。本稿では、各種実験の概要と分析結果、および望ましいラウンドアバウト形状の検討結果について報告する。

Keywords: 瓢箪型ラウンドアバウト, 幾何構造設計, 車両走行軌跡, 走行速度, 実証実験

1. はじめに

愛知県豊橋市牧野町の一般県道平井牟呂大岩線（県道386号）と市道北山町・牧野町37号線（都市計画道路弥生町線）の交差点(図1)は、自動車の総流入交通量が約15,000台/日あり、通勤通学等の自転車及び歩行者の通行も比較的多いにも関わらず無信号交差点で運用されている。また、交差角が鋭角で従道路である市道が食い違い交差となっている。このような道路及び交通の状況に起因して、追突、出会い頭などの交通事故が年間数件程度発生しており、交通安全上の対策が求められている。その対策としてラウンドアバウト（以下、RABと称す）が選定され、鋭角交差点における沿道建物への支障を回避した上で、環道走行速度を抑制することを目的として、「くびれ」をもたせた瓢箪型RABが検討されている。

しかし国内では、市街地における瓢箪型RABの導入事例は無く、また正円でないRABの幾何構造に関する基準や考え方などについてもラウンドアバウトマニュアルなどでの記載が無い。そのような状況の中で、瓢箪型RABの形状によっては大型車の走行性や小型車の速度上昇に対して問題が生じることが懸念されていた。

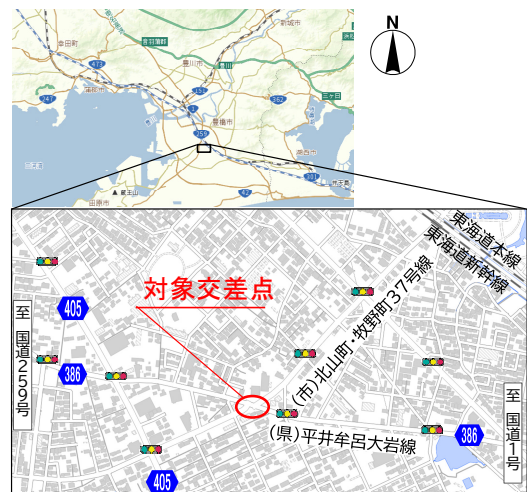


図1 対象交差点位置図

そこで本検討においては、実験フィールドに実物大の仮設RABを設置して、大型車の走行軌跡や走行速度の検証を行うとともに、被験者に対するヒアリング調査も実施して、適切な瓢箪型RABの形状を選定した。本稿では、各調査の概要と分析結果、および、RAB形状の選定結果について報告を行う。

- 1 正会員, セントラルコンサルタント(株) 東北支社 道路交通部 道路交通第2グループ
〒980-0822 宮城県仙台市青葉区立町27-21 e-mail: hokusiro@central-con.co.jp Phone: 022-264-1925
- 2 正会員, 博士(工学), 日本大学理工学部 交通システム工学科
- 3 愛知県 東三河建設事務所 維持管理課 維持・修繕第二グループ
- 4 愛知県 スポーツ局 アジア競技大会推進課 施設グループ
- 5 セントラルコンサルタント(株) 中部支社 道路交通部 道路交通第1グループ
- 6 正会員, 博士(工学), 名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻
- 7 正会員, 工学博士, 名古屋大学大学院 環境学研究科 都市環境学専攻
- 8 正会員, 国際航業(株) インフラマネジメント事業部
- 9 正会員, 博士(工学), (株)オリエンタルコンサルタント 交通運輸事業部

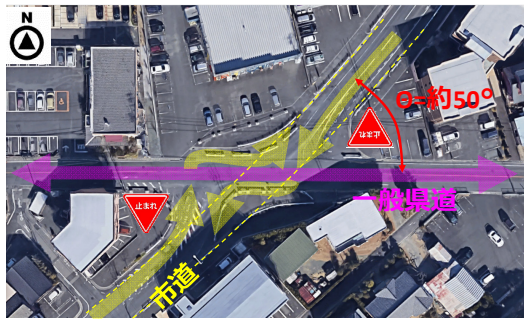


図2 現況交差点の運用状況

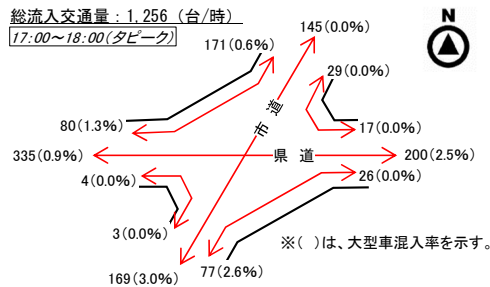


図3 現況方向別交通量(台/時)
(平成28年11月30日調査)

2. 対象交差点の概要

2.1 現況交差点の特徴と課題

本交差点の現況は、図2に示す通り交差角が $\theta=50^\circ$ 程度と鋭角であることから、従道路である市道の取付け角を少しでも大きくするために、食い違い交差となっている。このような形状であることに起因して、以下に示す交通安全上の課題がある。

- ① 図3に示す通り、比較的交通量の多い市道直進交通が、交差点内をクランク状に走行する必要があるため、安全確認を行いにくいことなどの特徴から、出会い頭事故や追突事故が発生している。
- ② 図4に示す通り、自転車の通行が約290台/12時間、朝の通勤通学ピークとなる午前8時台には約130台/時と多い中で、変則交差点であることや、自転車歩行者道が未設置であることから、自動車対自転車の事故が発生している。

なお、交差点制御方式は、ピーク時の総流入交通量が図3に示す通り1,256台/時と比較的多い中で、信号制御とした場合は県道の停止線間距離が長くなる等の問題が生じるため、一時停止制御で運用が行われている。

2.2 瓢箪型ラウンドアバウトの検討経緯

前述した現況交差点の課題を解消する対応策としては、交差点のラウンドアバウト化が選定されている。

我が国におけるRABの形状は、「望ましいラウンドアバウトの構造について(国土交通省)」にて「正円又は正円に近い形状とすることが望ましい」と記載されていることもあり、これまでの国内における新たな導入事例をみても、島根県内の1箇所を除きその他すべてが正円と

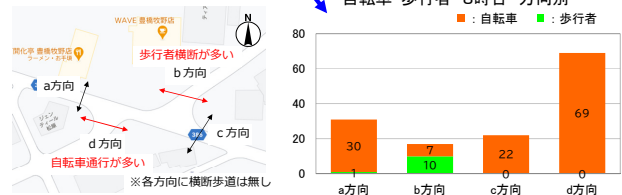
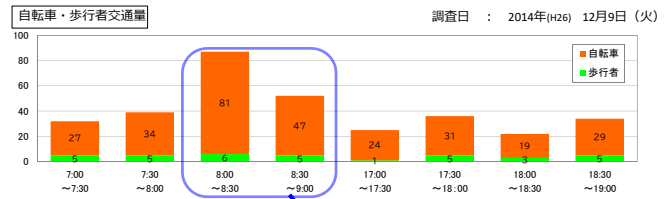


図4 現況自転車・歩行者通行台数

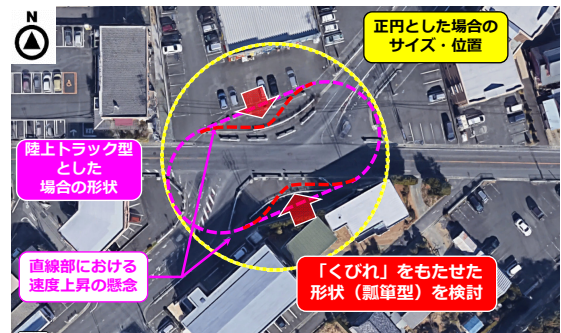


図5 ラウンドアバウト形状(正円と瓢箪型)

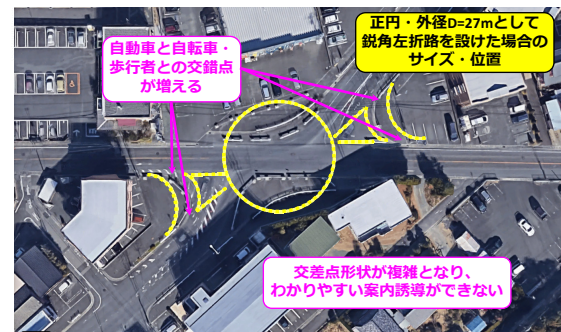


図6 外径D=27mの正円+鋭角左折路とした場合

なっている。しかし、本交差点において正円を適用する場合は、図5に示すように外径が非常に大きくなり、集合住宅や店舗等が支障となる。また、環道を走行する小型車の速度が上昇し、安全性の面でも問題が生じる可能性がある。対策としてRAB形状を陸上トラック型とすることが考えられるが、直線部における小型車の走行速度上昇が懸念される。そこで、陸上トラック形RABの直線部に「くびれ」を設けた瓢箪型RABにより、用地影響を抑えて、環道内における速度抑制を図る計画である。しかし、大型車の円滑な走行と小型車の走行速度抑制の双方を考慮したくびれの形状までは検討することはできていない。また海外に目を向けても、このような瓢箪型RABの導入事例はあるものの、必ずしも統一的な形状とはなっておらず、設計基準類においてもくびれ部の形状の考え方で言及されているわけではない。よって、本研究にて実証実験を実施し、瓢箪型RABの形状を決定することとした。



図7 仮設ラウンドアバウトの設置作業風景

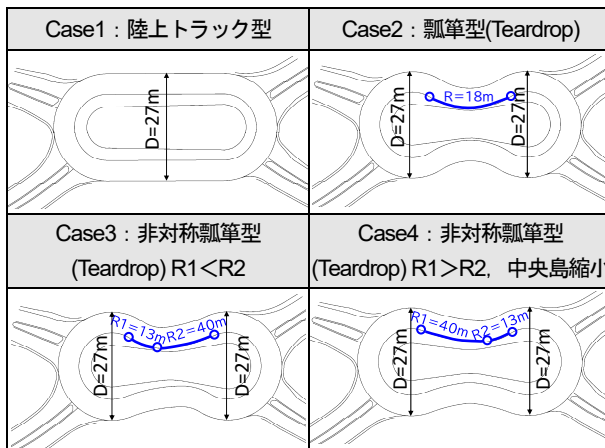


図8 実験で使用した仮設ラウンドアバウトの形状

なお、RAB 形状としては、図 6 に示すように外径 $D=27\text{m}$ の正円とし、鋭角左折部に左折路を設ける案も考えられたが、自転車の通行が多い中で、自動車との交錯点数が増えることや、わかりやすい案内誘導も行いにくいことから、本交差点では採用を見合わせた。

3. 実証実験の実施内容

3.1 実験の概要

実証実験は、図 7 に示すようにアスファルト舗装が敷設された土地を借用して仮設 RAB を複数ケース設置し、実際に車両を走行させて、走行軌跡と小型車走行速度の計測、全被験者（ドライバー）へのヒアリングを行った。

実験は、令和 2 年 10 月 27 日(火)、28 日(水)の 2 日間に行った。初日には Case1, 2 を、2 日目には Case3, 4 を対象として実施した。天候は両日も晴であった。なお、測量による標定点の設置や仮設 RAB の設置作業等は実験の前日に、仮設 RAB の撤去作業は実験の翌日に行った。

3.2 仮設ラウンドアバウトの形状

本研究で用いた仮設 RAB の形状は、図 8 に示すように、外径 27m の円を単純に伸ばした「Case1：陸上トラック型」、Case1 の直線部にくびれ形状をもたせた「Case2：瓢箪型（対称形）」に加えて、くびれ部での走行性を考慮して、流出側(R2)のくびれ部の曲線半径を変化

表 1 対象車両と被験者

No	車両	年齢	性別
1	普通自動車・セミトレーラ	50代	男性
2	普通自動車・セミトレーラ	40代	男性
3	普通自動車・セミトレーラ	70代	男性
4	普通自動車・セミトレーラ	40代	男性
5	普通自動車・セミトレーラ	20代	男性
6	小型自動車	20代	女性
7	小型自動車	30代	男性
8	小型自動車	20代	男性
9	小型自動車	20代	男性
10	小型自動車	50代	男性

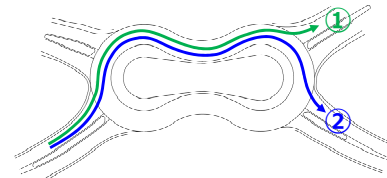


図9 走行経路

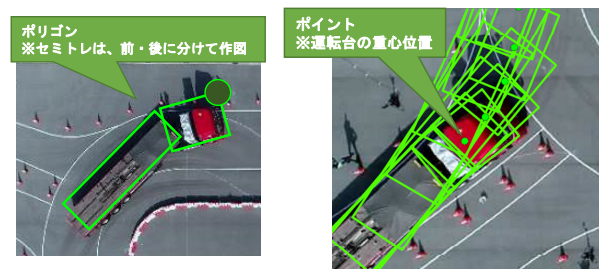


図10 車両外形(ポリゴン)と代表地点座標(ポイント)



図11 アンテナ設置位置(●印)

させた「Case3：非対称瓢箪型($R1 < R2$)」、Case3 のくびれ部曲線半径の流入側($R1$)と流出側($R2$)の大きさを逆転させた「Case4：非対称瓢箪型($R1 > R2$)」とした。なお Case4 では、Case1～Case3 での大型車の走行性を踏まえて、現地において仮設防護柵（本設時の中央島縁石に該当）の設置位置を 0.5m 内側へ移動している。

3.3 対象車両および被験者

実験に使用した車両は、大型車（セミトレーラ（車長 16.5m ）、普通自動車（車長 12.0m ））、小型自動車である。また、各車両被験者の年齢及び性別は、表 1 に示す通りである。

3.4 実験走行パターン

実験における走行経路は、大型車の計画交通量が多い経路、小型車の走行速度上昇が懸念される経路を想定して、図 9 に示す 2 経路（① 180° （直進）、② 270° （右折）の 2 通りとした。ただし、セミトレーラは、現地で実際に通行が想定される① 180° （直進）のみとした。

なお、各被験者には練習走行として小型自動車は 1 回、普通自動車およびセミトレーラは 2 回走行してもらい、概ね走行に慣れた状態でデータの取得を行った。

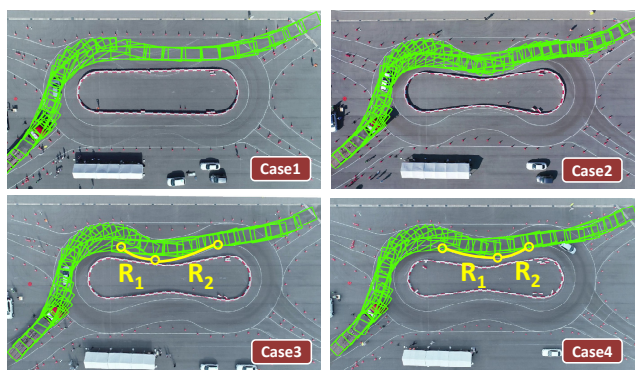


図 12 ケース別の走行軌跡の比較
(セミトレーラ・180° 方向)

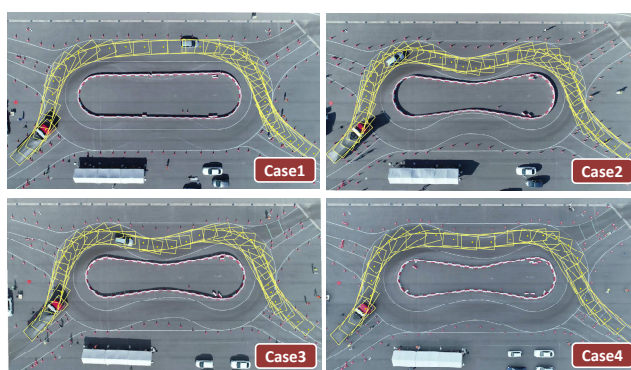


図 13 ケース別の走行軌跡の比較
(普通自動車・270° 方向)

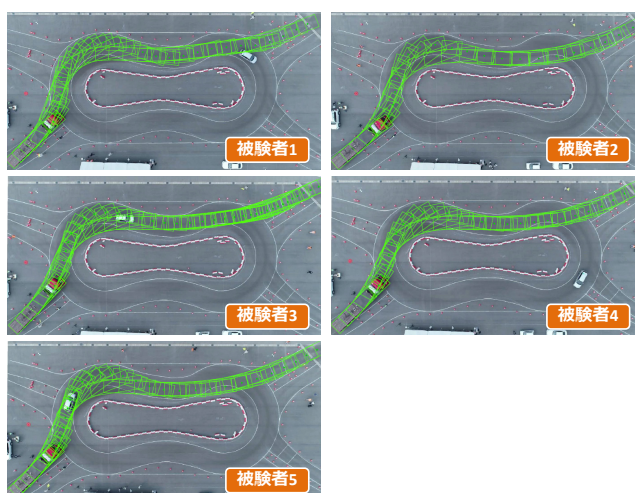


図 14 被験者別の走行軌跡の比較
(セミトレーラ・180°方向)

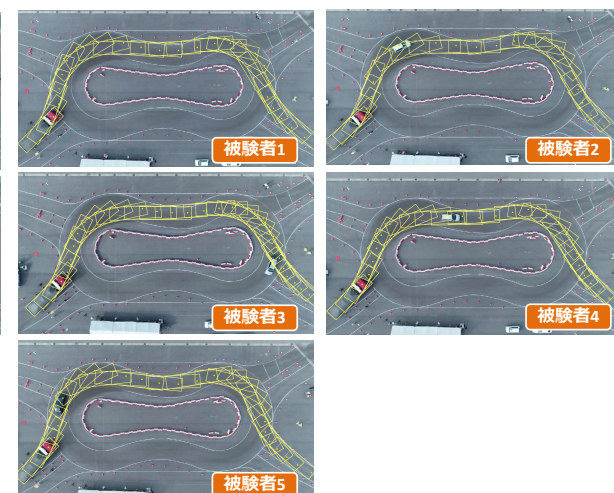


図 15 被験者別の走行軌跡の比較
(普通自動車・270°方向)

3.5 データの取得方法

(1) UAV を使用した軌跡取得

大型車（セミトレーラ、普通自動車）については、2機の UAV（ドローン）を交互に飛行させて撮影した映像から、車両外形の軌跡（図 10 に示すポリゴン）と車両の代表地点座標の軌跡（図 10 に示すポイント）を 1 秒毎に取得した。

(2) みちびき(準天頂衛星システム)^{*)1}による位置、速度取得

「みちびき」のセンチメートル級測位補強サービスに対応した受信機「AQLOC」を借用し^{*)2}、図 11 に示すようにアンテナを被験車両の車輪軸上に設置して、走行位置と走行速度を計測した。

4. 走行挙動分析

4.1 大型車の走行軌跡

(1) ケース別の走行軌跡

図 12、図 13 は、同一の被験者に対して、各ケースでの走行軌跡を比較したものである。

まず図 12 のセミトレーラの 180°方向の走行軌跡を比

較すると、Case2 は環道内でのステアリング操作が多く、中央島との余裕が少ない。一方で、Case3、4 はいずれも Case2 に比べて中央島に対して余裕があることがわかる。次に図 13 の普通自動車の 270°方向の走行軌跡を比較すると、いずれのケースにおいても流出部の手前においてエプロン部を走行するものの、環道内のくびれ部または直線部ではエプロン部を使わずに走行できることがわかる。また、Case3、4 はいずれも Case2 に比べて中央島に対して余裕があり、これは前述のセミトレーラでの比較で述べた傾向と同じである。

以上を踏まえると、くびれ形状を設けることでセミトレーラの環道内での走行軌跡が厳しいものとなるが、Case3、4 のように一部の曲線半径を緩くすることで走行性は一定程度改善されているものと考えられる。

(2) 被験者別の走行軌跡

次に図 14、図 15 は、Case4 を対象として被験者別の走行軌跡の違いを確認したものである。図 14 のセミトレーラの 180°方向の走行に注目すると、被験者 1 のように中央島に対して余裕をもって通過する被験者や、被験者 2、被験者 5 のように中央島に近寄って通過する被験

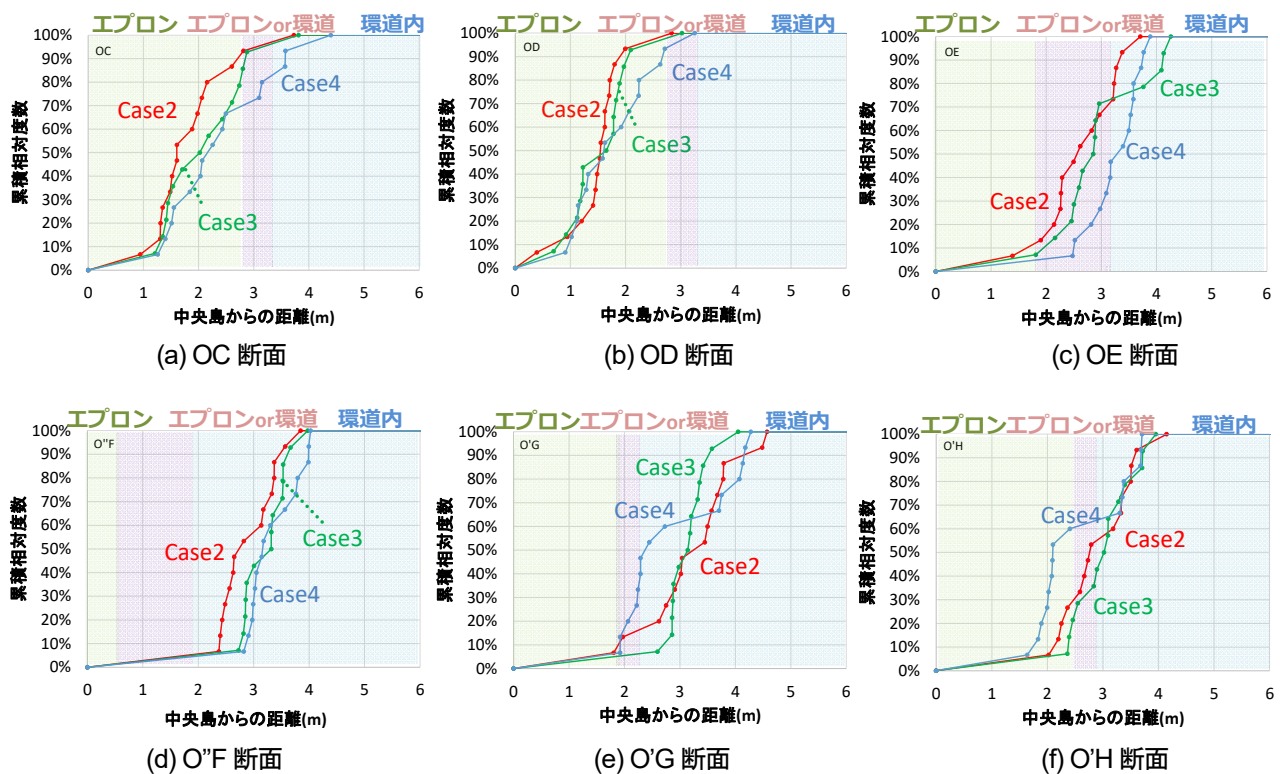


図 16 断面における中央島からの離隔距離（セミトレーラ・180°方向, N=15）

者がいる。被験者によって走行軌跡の取り方に若干の違いがあるものの、くびれを持たせたいずれのケースにおいてもセミトレーラが 180°の方向に通過可能であることは確認された。図 15 の普通自動車の 270° 方向の走行についても同様に被験者によって軌跡の違いが見られ、とくに流出部手前では被験者 3, 4 のように中央島に寄ってから流出する被験者と、被験者 1, 2, 5 のように環道部を最大限使って中央島に寄らないように走行する被験者がいる。しかし後者の場合、流出部において隅角部と余裕幅がほとんどない厳しい軌跡となっており、流出隅角部の形状については改善の余地があることが確認された。

(3) 中央島に対する離隔距離

とくに走行軌跡が厳しいセミトレーラの走行に対して、くびれ形状を有する Case2~4 について、中央島に対する余裕幅の程度を確認する。

図 16 は、図 17 に示す環道内のいくつかの断面において、セミトレーラで走行した際の右側後輪と中央島との離隔距離の分布を、ケース毎で比較したものである。加えて、その位置が環道部の横断構成のうちどの部分に相当するかと合わせて示している。

全体的に、OC 断面、OD 断面で中央島からの離隔距離が最も小さく最小で約 1m 程度であり、とくに Case2 において最も中央島に近寄っている傾向にある。その他の断面では、概ね環道内またはエプロン部に相当する位置を通過しているが、流出部手前の O'G 断面 O'H 断面で

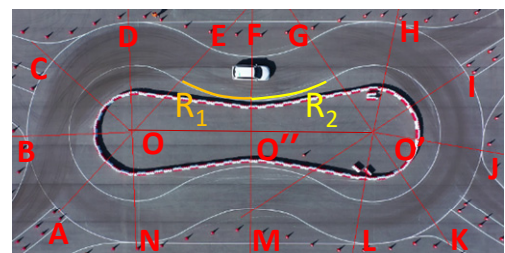


図 17 離隔距離の比較断面

は Case4 のばらつきが大きく、とくに O'H 断面ではエプロン部の中に入る車両と入らない車両に大きく分かれている。これは、Case4 では中央島の位置を 0.5m 内側に寄せたことにより走行軌跡の自由度が増し、流出部の隅角部との余裕を確保するために流出部の手前であらかじめ中央島に寄ることができるようになったことから、このような軌跡を選択した被験者が存在したためである。

4.2 小型自動車の速度・加速度

(1) 速度・加速度のプロファイル

図 18 は、各ケースで走行した小型自動車のみを対象として、準天頂衛星みちびきを利用し取得した位置データを速度帯に色分けして表したものである。また、図 19 および図 20 は、各ケースにおける環道内での速度の変化や加減速の変化の特徴を比較しやすくするため、図 21 に示す環道内での走行位置を比較するための基準軸を定義し、各走行位置を基準軸上に投影した時の基準軸上での距離を横軸にとって、速度プロファイル、加速度プロ

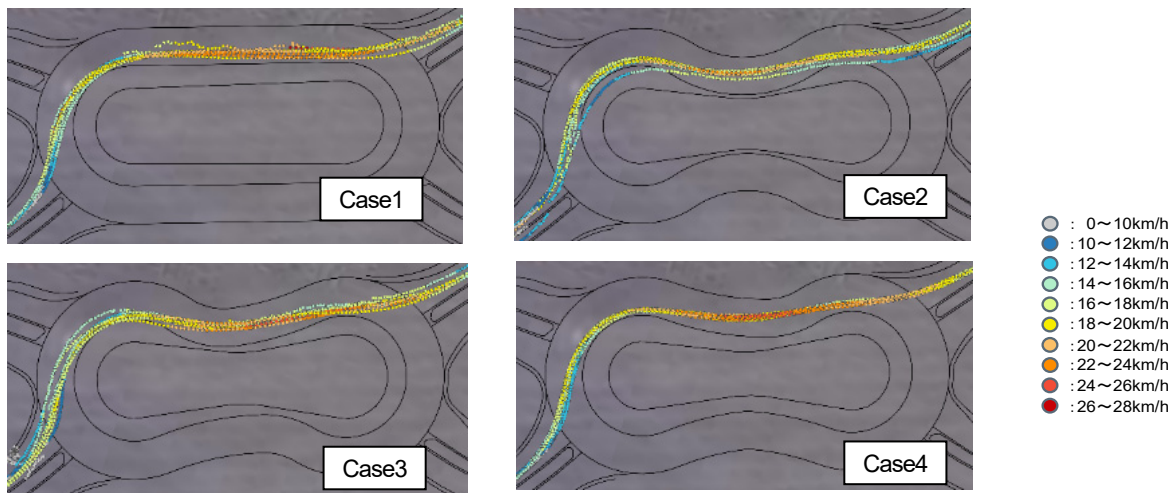


図 18 ケース別の走行速度の分布 (小型自動車)

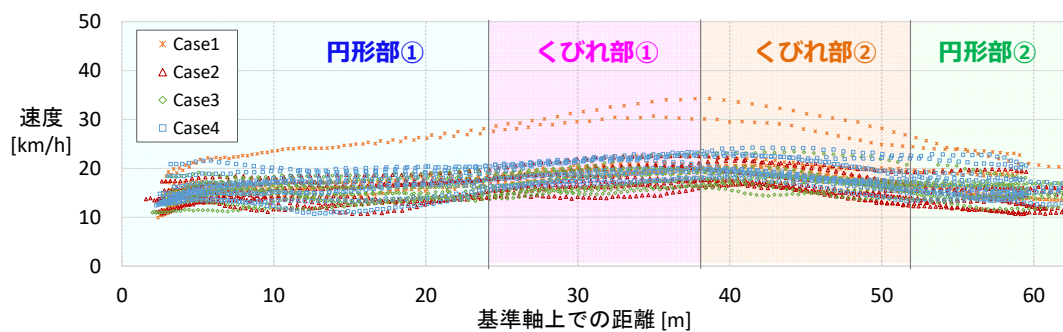


図 19 ケース別の走行速度プロフィール (小型自動車)

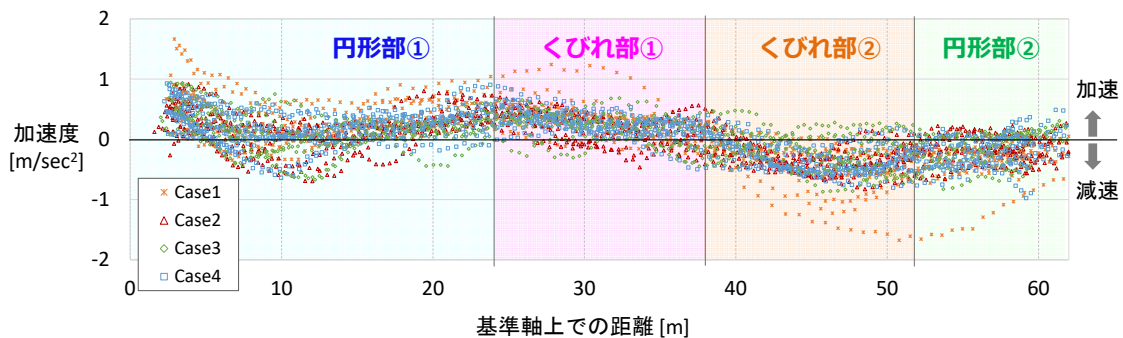
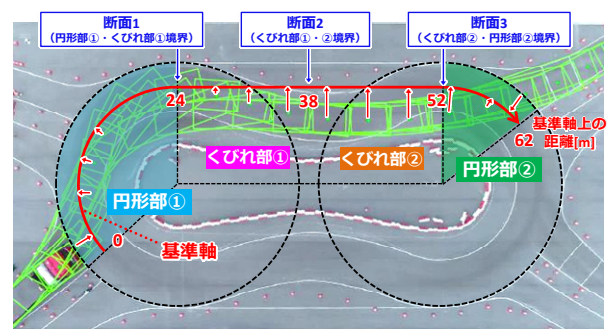


図 20 ケース別の加速度プロフィール (小型自動車)

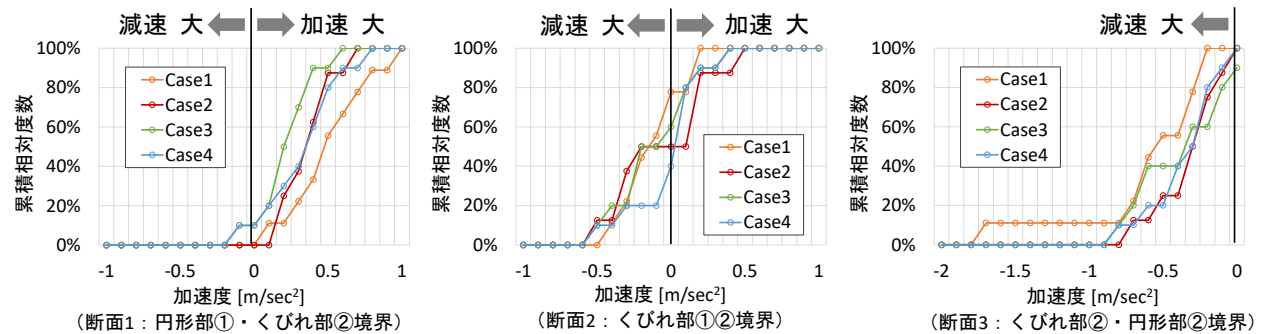
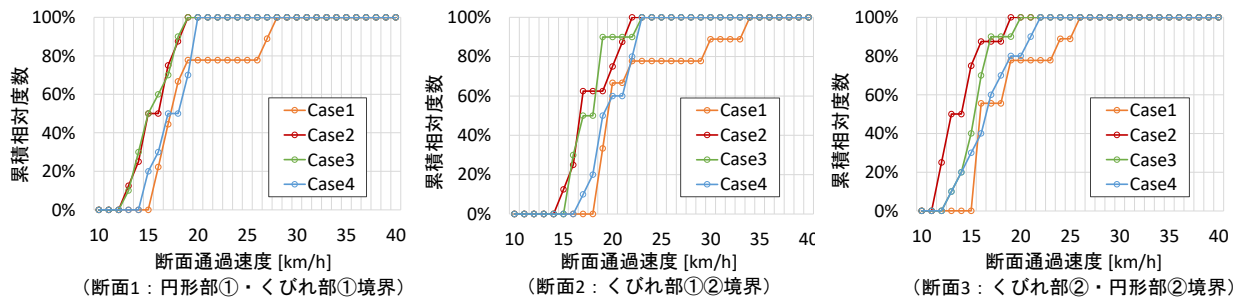
ファイルとして図化したものである。

図 19 の速度プロフィールを見ると、全体的にほぼ 10~20km/h 以下で速度が推移しているが、Case1 では環道内の直線部で速度の上昇が顕著なサンプルが見られる。一方くびれ形状を有する Case2~4 では、最大でも 20km/h 程度で推移しており、くびれ形状を設けることで高い速度での走行が抑制されていることがわかる。次に図 20 の加速度プロフィールを見ると、Case1 ではくびれ部①に相当する直線区間の前半において大きな加速、くびれ部②に相当する直線区間の後半において大きな減速が生じている一方、Case2~4 ではくびれ部における加速度の変化は Case1 と比較して小さく推移していることがわかる。



※ くびれ部はCase1では直線区間に相当

図 21 基準軸・代表断面の定義



(2) 代表断面における分布特性

図 22, 図 23 は、速度や加速度の車両毎のばらつきの程度を詳しく比較するために、図 21 に示す円形部①とくびれ部①の境界断面（断面 1）、くびれ部①とくびれ部②の境界断面（断面 2）、くびれ部②と円形部②の境界断面に相当する位置において、速度・加速度それぞれの分布を比較したものである。

まず図 22 の速度の分布をみると、いずれの断面においても、Case1 の速度のばらつきが大きく、とくに断面 2（Case1 においては直線部の中央）では、30km/h 以上の速度で走行しているサンプルも見られる。また Case2, 3, 4 を比較すると、Case2 の速度が全体的に最も低いが、くびれ部の曲線半径を一部緩くした Case3, 4 においても速度は概ね 20km/h 以下でありばらつきも小さく抑えられている。次に図 23 の加速度の分布をみると、Case1 では断面 1 において全体的に高い加速度となっており、環道内での速度の上昇を招いている一方、断面 3 では減速が大きい車両が見られ、環道内での速度の上昇により流出時に急減速が生じたものと考えられる。これに対して Case2, 3, 4 での加速度は、概ね $-0.5 \sim 0.5 \text{ m/sec}^2$ の範囲であり、急な加速・減速は生じていない。以上のことから、くびれ形状を設けることで小型自動車の環道内での速度や急加速・減速を抑制できることが確認された。なお、Case4 では中央島の縮小や走行の慣れによる速度の上昇も想定されたが、とくに流出側のくびれ部の曲線半径 (R2) を小さくしたことで、Case3 と比較しても十分な速度抑制が得られているものと考えられる。

表 2 アンケート項目

項目	目的
(a) 通行しづらい（曲がりにくい）箇所の位置を聞き取り	普通自動車・セミトレーラに対して走行性に影響を及ぼす箇所を抽出
(b) 加速した（アクセルを踏んだ）箇所の位置を聞き取り	小型自動車に対して速度が出やすい箇所を抽出
(c) 環道内において出口位置の分かりやすさを 7 段階評価	出口の視認性を確認
(d) 環道内からの出やすさについて 7 段階評価	出口形状が適切か確認

4.3 主観評価（ヒアリング調査）

(1) 調査内容

走行検証に参加した被験者 10 名に対して、走行後に表 2 に示す項目についてヒアリング調査を実施した。

(2) 結果集計

ヒアリング結果を集計すると、以下のことが明らかとなり、Case4 が下記の(a)および(d)の通り走行性に関する評価が高く、望ましい形状であるという結果となった。

- (a) 通行しづらい箇所の回答数は、図 25 に示すように Case4 が最も少なく走行性で優位と考えられる。
- (b) 加速した箇所の回答数は、図 26 に示すように Case1 の回答数が最も多く速度が出やすい形状と考えられ、望ましくない。

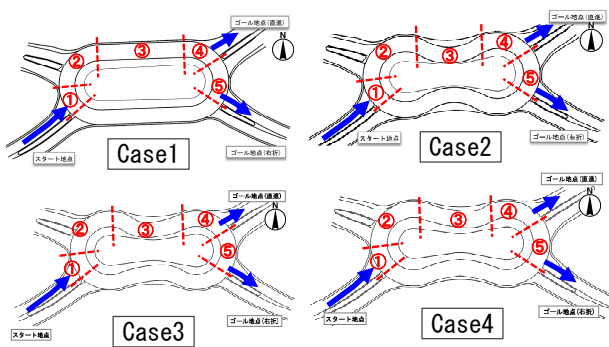


図 24 アンケート項目(a)および(b)の区間設定

- (c)出口の分かりやすさについては、図 27 に示すようにどの形状も違いは見られなかった。
- (d)出口からの出やすさは、図 28 に示すように Case4 が最も「出やすい」という意見が多かった。

5. おわりに

実証実験による分析結果は表 3 に示すとおりであり、大型車の走行軌跡 (円滑な走行)、小型車の走行速度 (速度抑制)、被験者へのヒアリング調査の結果を踏まえると、「Case4：非対称瓢箪型(R1>R2)、中央島縮小」が望ましいであろうという結論を得た。ただし、流出部の隅角部において大型車が余裕をもった円滑な走行ができないなどの課題も確認されたことから、実験結果を踏まえ、沿道建物に支障とならない範囲で、隅角部形状の見直しを行うこととした。

なお本稿は、一般社団法人交通工学研究会が愛知県東三河建設事務所より受託した「令和2年度交差点改良工事(単県)の内ラウンドアバウトの実証実験検討業務委託」について、ラウンドアバウト技術指針出版小委員会のメンバーを中心として実施した内容の一部を報告したものである。

補注

- *1 準天頂軌道の衛星が主体となって構成されている日本の衛星測位システムのこと。
- *2 内閣府のみちびき WEB サイトで行っているみちびき対応受信機の貸し出しを利用した。

参考文献

- 1) (一社) 交通工学研究会：ラウンドアバウトマニュアル, 丸善出版, 2016.

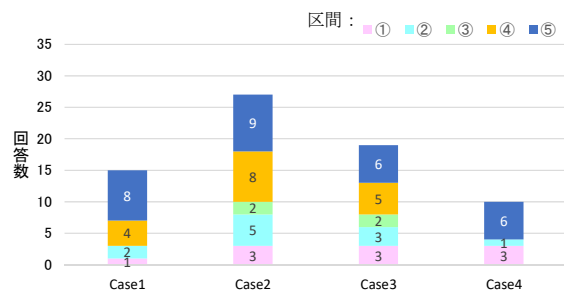


図 25 (a)通行しづらい(曲がりにくい)箇所

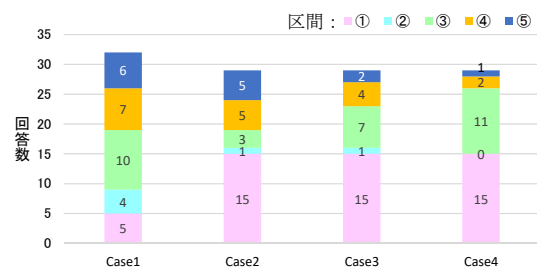


図 26 (b)加速した(アクセルを踏んだ)箇所

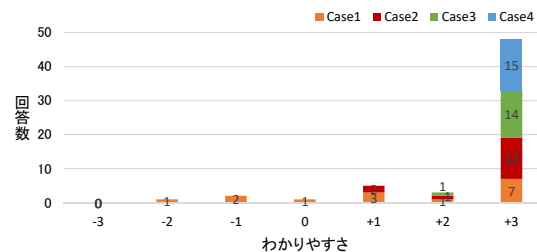


図 27 (c)環道からの出口のわかりやすさ

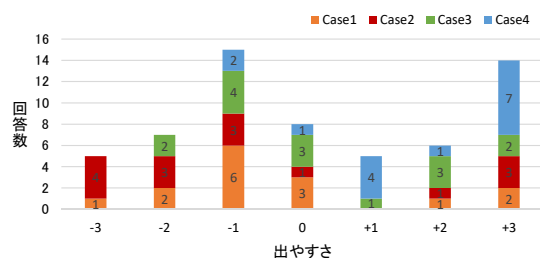


図 28 (d)流出のしやすさ

表 3 分析結果まとめ

項 目		Case			
		1	2	3	4
大型車の走行軌跡 (UAVによるデータ取得)	環道内の適度なステアリング			○	○
	中央島に対する余裕幅				○
小型車の走行速度 (みちびき活用)	小型自動車の速度抑制効果		○	○	○
	出口付近の通行しやすさ				○
ヒアリング調査	小型自動車の加速	○			
	出口の視認性	○	○	○	○
	出口の出やすさ				○