

ラウンドアバウトの外径と交差角度の組み合わせを考慮した車両挙動分析

日本大学大学院理工学研究科社会交通工学専攻 学生会員 ○小久保 智朗
 日本大学理工学部交通システム工学科 正会員 吉岡 慶祐
 日本大学理工学部交通システム工学科 正会員 下川 澄雄

1. はじめに

ラウンドアバウトは信号が設置されないため、安全性の確保のためには幾何構造設計が重要となる。ラウンドアバウトの幾何構造設計は、様々な構造要素の組み合わせであり、この組み合わせにより生じる走行空間に応じて車両は走行する。一般に、図-1に示すように、同様の外径や交差角度であっても他の構造要素が異なると走行軌跡が大きく変わる。一方で、わが国のラウンドアバウトの設計に関する技術指針であるラウンドアバウトマニュアル¹⁾は、各構造要素の目安値を示しているのみであり、上述のような幾何構造の組み合わせについては留意すべきと記されているものの、組み合わせによる車両挙動の影響や適切な設計方法までは言及されていない。従って、各幾何構造要素の目安値を満たしたとしても、これらの組み合わせによっては、適切な幾何構造設計とはならないケースも考えられる。しかし、このような幾何構造設計の組み合わせに関する研究は国内では見当たらず、これに関する知見も得られていない。

そこで本研究は、複数の異なる幾何構造のラウンドアバウトにおける車両挙動調査に基づき、外径・交差角度が車両挙動に与える影響を把握することを目的とする。

2. 既往研究の整理と本研究の着眼点

海外では、幾何構造と車両の関係について、いくつかの既往研究が存在し、幾何構造を説明変数とした速度の推定

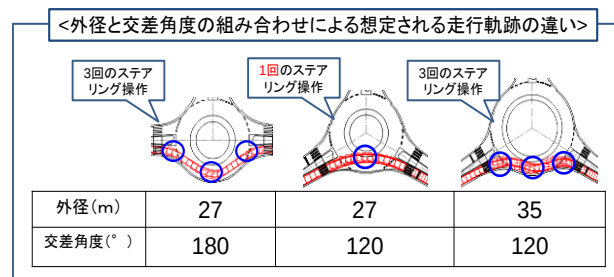


図-1 外径と交差角度の組み合わせ

モデルも示されている。例えば、Bastos Silva ら²⁾は異なる二車線ラウンドアバウトを対象に調査を行い、外径、交差角度、流入部の形状によって車両速度が決定されることを明らかにした。

一方、国内の研究例として、泉ら³⁾は、正十字型ラウンドアバウトである焼津市山の手交差点、守山市立田町交差点での社会実験時の道路構造の検証により、接続道路の角度の改良により流入部から流出部の見通しが良くなると、直線的に走行する車が増えて環道内速度が速くなることを示した。

このように、国内では固有の幾何構造に対しての研究は存在するものの、幾何構造の組み合わせによる影響まで把握しようとした研究例はない。本研究は、幾何構造の組み合わせとして、特に走行挙動に影響が大きいと考えられる外径と交差角度に着目し、これらの組み合わせが車両挙動に与える影響を把握するものである。

表-1 分析対象ラウンドアバウトの構造条件

	焼津市 山の手交差点		須坂市 沼目町交差点		須坂市 野辺町交差点					新潟市 角田浜地内交差点			北九州市 八幡東区尾倉交差点	
航空写真														
※画像内の番号は各方向の進行方向を示す														
対象方向	1-3	3-1	1-3	3-1	1-3	3-1	2-4	4-1	5-2	1-2	2-3	3-1	3-1	3-4
サンプル数	39	37	27	20	10	7	12	13	8	92	82	50	36	39
撮影時期	2016年5月19日(木)		2016年11月16日(水)		2016年11月16日(水)					2016年4月20日(木)			2017年6月1日(木)	
環道部 関連	外径		27m		27m					30m			44m	
	環道幅員		5.0m		5.0m					5.0m			5.0m	
流入部 関連	流入部交差角度		180°	180°	180°	180°	177°	183°	130°	137°	168°	110°	123°	127°
	流入部車線幅員		3.8m	3.8m	4.7m	4.7m	3.0m	2.7m	3.0m	2.8m	2.8m	4.7m	4.4m	4.8m
	流入部隅角部曲線半径		25m	25m	13m	13m	9m	3m	9m	6m	10m	30m	30m	30m
流出部 関連	流入部角度		46°	46°	54°	53°	51°	63°	53°	58°	51°	52°	56°	58°
	流出部車線幅員		3.4m	3.2m	5.1m	5.5m	4.8m	4.9m	3.5m	4.9m	3.6m	4.1m	4.6m	4.2m
	流出部隅角部曲線半径		15m	15m	35m	35m	15m	20m	9m	20m	10m	40m	40m	40m
流出部角度		55°	76°	76°	70°	56°	55°	57°	55°	56°	46°	53°	49°	56°

キーワード ラウンドアバウト 車両挙動 ビデオ解析

連絡先 〒274-8501 千葉県船橋市習志野台 7-24-1 道路マネジメント研究室 TEL 047-469-5503

3. 車両挙動データの取得

(1) 分析対象箇所と構造条件の整理

本研究では、幾何構造が異なる複数のラウンドアバウトを対象とする。表-1は、調査箇所と各幾何構造要素の諸元を整理したものである。外径は標準的な27mから44mとなっており、交差角度は 18° から 110° までとなっている。なお、各調査対象箇所の調査日は供用開始から一定時間経過しているため、ドライバーはラウンドアバウトの通行に慣れており、通行方法に関する知識は十分あるものと考えられる。

(2) 車両挙動データの算出

ラウンドアバウトにおける車両挙動データは、UAV（無人航空機）により上空から撮影した映像から取得することとした。撮影した映像を基に、交通流解析ソフト「Traffic Analyzer」を用い、車両前面のナンバープレート位置を0.2秒間隔でクリックすることにより画面上の車両位置を記録した。得られた位置データを平面直角座標系に射影変換し、さらに、ビデオの読み取り誤差を取り除くため、カルマンフィルターによる平滑化処理を行うとともに、速度・曲率等の車両挙動データを算出した。（図-2参照）

ここで曲率とは、図-3に示すとおり、進行角度の走行距離に対する変化量であり、車両のステアリングの操舵角の程度を示す。また、曲率の逆数は、車両軌跡の曲線半径に相当する。

4. 走行挙動の基本特性

(1) 流入から流出までの速度・曲率プロファイル

ラウンドアバウトにおける基本的な車両挙動特性として、速度・軌跡の曲率の特性について把握する。図-4は、調査対象のラウンドアバウトにおける進行方向ごとの流入から流出までの全サンプルの平均速度データを3m間隔でプロファイルとして示したものである。なお、横軸はラウンドアバウト中心からの距離を、道路中心線軸上に投影した距離である。これを見ると、すべての方向において流入部手前では速度が低下していることがわかる。一方、環道内では進行方向によって速度の変化が異なっており、3枝の角田浜においては、環道内で速度が上昇している傾向にある。図-5は同様に曲率の流入から流出のプロファイルを示したものである。これを見ると、交差角度が大きい方向については、流入部、環道部、流出部の3点において極値が発生していることがわかる。しかし、交差角度の小さい進行方向においては、環道内における曲率の変化が大きく異なっており、環道内の曲率の絶対値が低い。これは直



走行位置(座標位置)・速度・曲率等を算出

図-2 軌跡データ取得作業の例

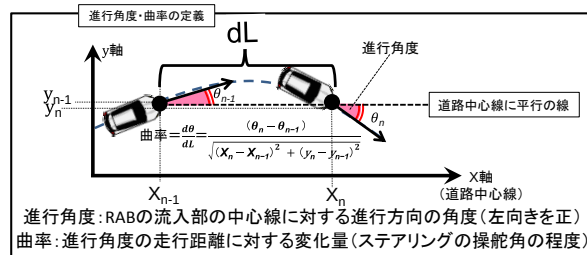


図-3 進行角度・曲率の定義

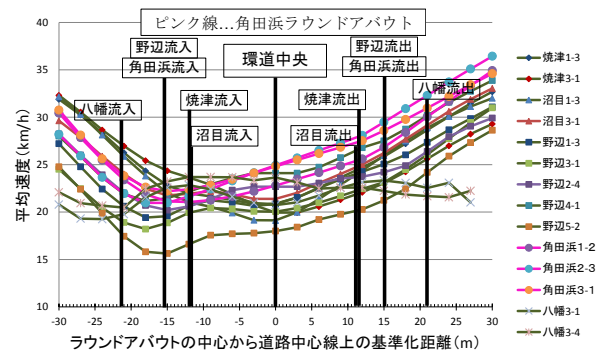


図-4 幾何構造の異なるラウンドアバウトにおける進行方向ごとの平均速度

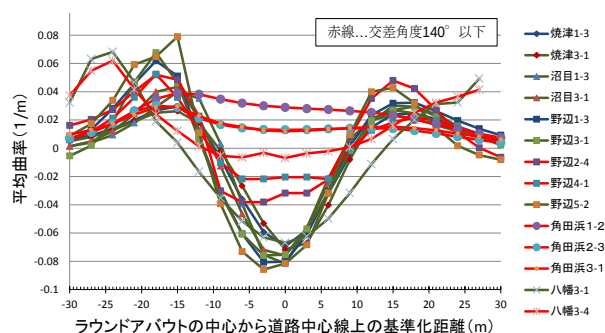


図-5 幾何構造の異なるラウンドアバウトにおける進行方向ごとの平均曲率

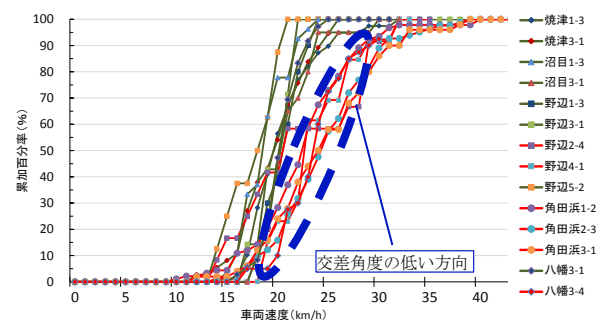


図-6 環道断面における速度の累積百分率

線的な走行が可能のため、環道内でのステアリング操作が小さく出ていることを示している。

(2) 断面における走行挙動の特性

図-6は環道内の代表断面における速度の累加百分率を見たものである。交差角度の低い方向は速度が高い傾向となっている。また、図-7は同様に環道での曲率の絶対値の累加百分率を見たものである。交差角度の低い方向は、曲率が小さく、明らかに特徴が異なることがわかる。

図-8は、流入部、環道内、流出部の3つの代表断面における速度と曲線半径（曲率の逆数）の関係を示したものである。車両の曲線半径が大きいほど速度が高い傾向となっており、速度と曲線半径には明確な関係があることがわかる。曲線半径が大きい場合、直線的な走行が物理的に可能なため、一部のアグレッシブな車両が高速で走行し、これにより車両間に大きな速度差が生じているものと考えられる。

5. 速度のばらつきの評価方法

(1) ばらつきの評価の考え方

一般的に交差点において、走行速度のばらつきが大きいことは安全上好ましくないと考えられる。走行速度が幾何構造によって影響を受けるものであるならば、走行速度のばらつきに大きな違いがあるとすれば、幾何構造設計の目的（構造によって安全性を確保すること）が達成できていないことを意味する。また、速度の高い車両と低い車両が混在することは、追突の可能性を高めるほか、流入する車両にとっては流入時の誤判断を招くことにも繋がりがかねない。従って速度のばらつきは安全性の観点において一つの指標になり得るものと考えられる。

(2) 速度偏差指数

図-9は、山の手ラウンドアバウトの流入断面における速度分布を示したものである。速度の分布は、正規分布のような中央値に対して左右対称な分布形ではない。これは、一部の速度が高いアグレッシブな車両が存在するためである。ラウンドアバウトの安全性に対して、このようなアグレッシブな車両との速度差が影響することもあると考えられる。また、図-10は、山の手ラウンドアバウトの環道断面において走行速度が95パーセンタイル値、85パーセンタイル値、50パーセンタイル値を実現している車両の走行軌跡を示したものである。95パーセンタイル値を実現している車両の走行軌跡を見ると、小型車が走行すべきでないエプロン部を意図的に走行している。しかし、85パーセンタイル以下の走行軌跡ではこの様な特異な走行を行うものは

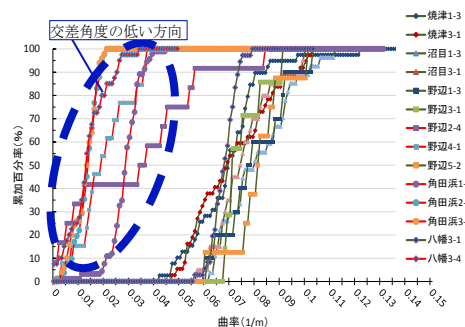


図-7 環道断面における曲率の累加百分率（絶対値をを参照）

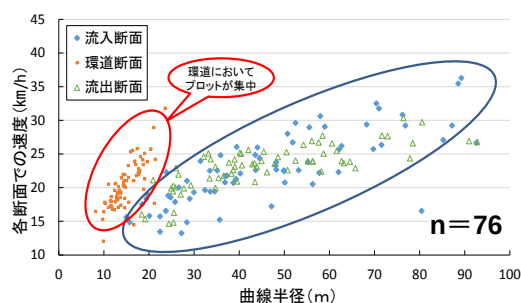


図-8 山の手ラウンドアバウトにおける代表断面の速度と曲線半径の関係

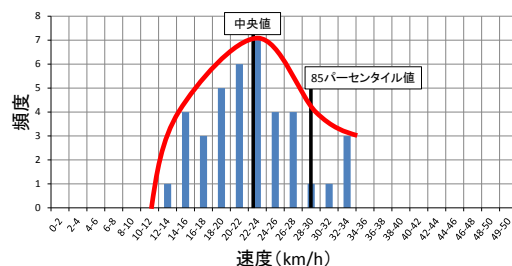


図-9 焼津山の手 1-3 方向における車両挙動の分布

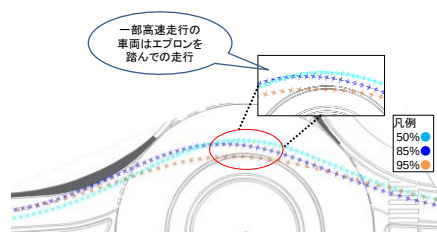


図-10 焼津山の手 1-3 方向における高速走行

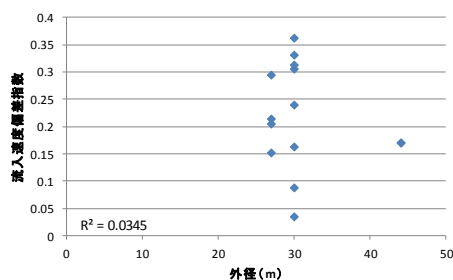


図-11 速度の偏差指数と外径の関係

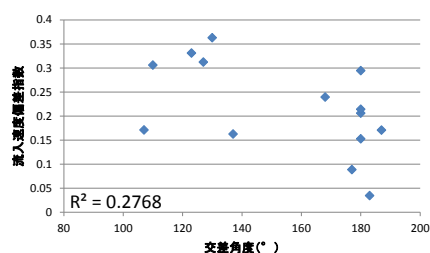


図-12 速度の偏差指数と交差角度の関係

散見されない。そこで、式(1)に示すように、速度の85パーセンタイル値と中央値の相対差を表す「偏差指数」を定義し、これを基にさらに詳細な分析を行う。

$$\text{速度偏差指数} = \frac{v_{i,85} - v_{i,Median}}{v_{i,Median}} \quad (1)$$

ここで、 $v_{i,85}$ ：代表断面*i*の85パーセンタイル速度[km/h]、 $v_{i,Median}$ ：代表断面*i*の中央値速度[km/h]である。すなわち速度偏差指数が大きいほど、速度のばらつきが大きいことを示している。

6-1. 外径・交差角度と速度偏差指数の関係

図-11、図-12は、外径および交差角度と流入断面における速度偏差指数の関係を示したものである。交差角度と偏差指数、外径と速度偏差指数それぞれにおいて、明確な関係性があるとは言えない。これは外径と交差角度それぞれ単体のみでは車両挙動を十分に説明できないことを示している。

6-2. 外径・交差角度の組み合わせによる評価

(1) 偏向角度と速度偏差指数の関係

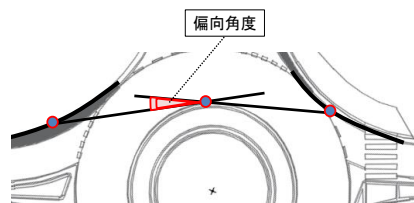
外径と交差角度の組み合わせを示す指標として、図-13の偏向角度を定義する。偏向角度とは、車両の走行可能な空間を示したものであり、車両の図面上におけるステアリングの程度を示したものである。図-14は、偏向角度と速度偏差指数の関係を見たものであるが、偏向角度が大きいほど偏差指数は小さい傾向にあり、図-11、12のようにそれぞれ単体の幾何構造で見るとより明確な関係性が確認できる。すなわち、外径・交差角度はそれぞれ単体で考えるべきものではなく、両者の組み合わせにより評価することが重要であると言える。

(2) 偏向角度による幾何構造の評価

図-15は、CAD上での試設計による感度分析から、外径及び交差角度と偏向角度の関係を把握したものである。その結果、外径が大きいほど、また交差角度が大きいほど偏向角度が大きくなることが確認された。なお、標準的な幾何構造である正十字27mの焼津ラウンドアバウトの偏向角度は15°と算出された。図-16は図-15の結果に基づき、偏向角度が15°となる外径と交差角度の組み合わせの条件を示したものである。これを用いることで、例えば焼津ラウンドアバウトと同レベルの偏向角度15°を確保しようとした場合の外径と交差角度の組み合わせが明らかとなり、幾何構造の改善方針を検討することが可能である。

7. まとめと今後の課題

本研究では、幾何構造の異なるラウンドアバウトでの車



※流出入における隅部の中央部分からエプロンに向かい接線を引いた際になす角度

図-13 偏向角度の説明

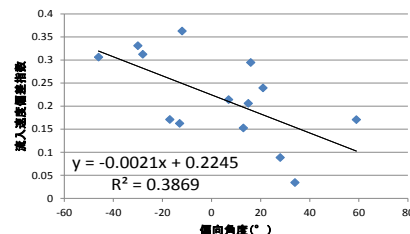


図-14 速度の偏差指数と偏向角度の関係

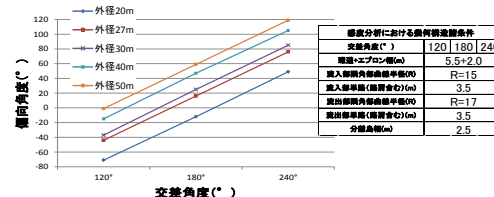


図-15 偏向角度と交差角度の感度分析

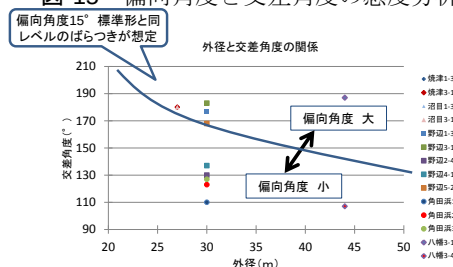


図-16 外径と交差角度の関係

両挙動調査の結果から、曲率と速度に明確な関係性があることを示すとともに、幾何構造との関係として、外径と交差角度の組合せから得られる偏向角度を用いることで、速度のばらつきとの関係性が説明しやすいことを明らかにし、偏向角度を用いた幾何構造の評価方法について検討した。今後は、さらに幾何構造条件が異なる箇所における調査に基づき、偏向角度と走行挙動の関係について詳細に分析を進める必要がある。

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, 2016.
- 2) Bastos Silva, A., Santos, S., Vasconcelos, S., Seco, A., Silva, J.P., : Driver behavior characterization in roundabout crossings, Transportation Research Procedia, vol.3, pp.80-89, 2014.
- 3) 泉 典宏, 村松寿馬, 樋上正晃, 藤岡亮文, 蔵下一幸: 正十字交差点の標準ラウンドアバウト社会実験(焼津市・守山市), 第 51 回土木計画学研究発表会・講演集, vol.51, ROMBUNNO.207, 2015.