

ラウンドアバウト外径と環道部の幾何構造決定方法*

Determining Diameter and Circulatory Road Width of Roundabouts *

馬淵 太樹**, 中村 英樹***

By Taiki MABUCHI** and Hideki NAKAMURA***

1. はじめに

我が国の比較的交通需要の少ない交差点では、無信号交差点、信号交差点を問わず、出会い頭による事故が頻発している。一方、海外では、通常形式の平面交差点の安全性向上や効率性の改善を目的として、比較的小規模で交通量の少ない交差点にラウンドアバウトが導入されている。筆者らは、我が国でのラウンドアバウトの導入を目指して、遅れと安全性を考慮した適用条件の検討¹⁾、海外諸国における適用事例のレビュー²⁾、国内のラウンドアバウトと類似した運用のされている交差点での車両挙動分析³⁾等を行っている。しかし、国内での本格的な適用事例は極めて少なく、設計に当たっての幾何構造諸元の決定根拠が明らかとなっていない。

本稿は、ラウンドアバウトの幾何構造構成要素(図1)のうち、特に外径を構成する要素である、環道部、エプロンの諸元値の決定方法を、道路工学的に示すことを目的としている。また、既存の交差点を改良することを想定し、求められた諸元値により設計する際に必要となる用地条件を示す。

2. ラウンドアバウト設計の基本的な考え方

(1) ラウンドアバウトの種類

各国で近年発行されたガイドラインの内、アメリカ⁴⁾、ドイツ⁵⁾のガイドラインの中で、車線数、設置箇所、中央島への車両の乗り上げの可否に基づき、ラウンドアバウトの種類が詳細に分類されている。これらの類型を表1に整理する。

まず、中央島に乗り上げ可能な構造か否かにより、Mini roundaboutとそれ以外のラウンドアバウトとに分類される。Mini roundaboutは、住区内道路や市街地の細街路に設置されるラウンドアバウトである。一方、これ以外のラウンドアバウトは、設置される箇所の違いや、流入部、環道の車線数により4種類に分類することが可能である。このうち、2車線ラウンドアバウトは、交通需要が高い交差点での導入には意義があるものの、交差点内の交錯点が通常のラウンドアバウトより増加することに加えて、2車線の流入路のうちの内側車線が利用されにくい、といった欠点が報告されている⁶⁾。本稿では、片側1車線のラウンドアバウトについて検討を行なう。

(2) 本稿における諸元値の決定手順

* キーワーズ: ラウンドアバウト, 交差点設計, 交差点改良
** 学生会員 修(工) 名古屋大学大学院 工学研究科社会基盤工学専攻
(〒464-8603 名古屋市中千種区不老町, E-mail: tmabuchi@geniv.nagoya-u.ac.jp)
***正会員 工博 名古屋大学大学院准教授 工学研究科社会基盤工学専攻

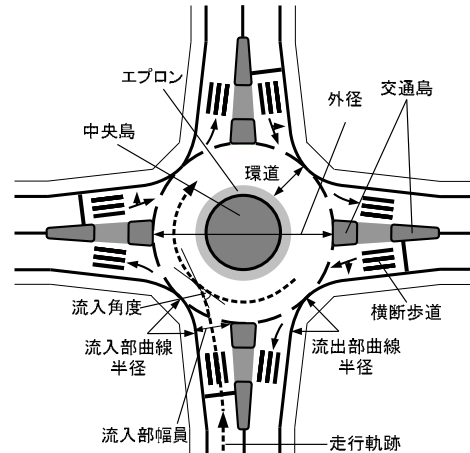


図1 ラウンドアバウトの幾何構造構成要素

表1 ドイツにおけるラウンドアバウトの類型⁵⁾

RA形式	Mini	Urban compact	Rural 1-lane	2-lane
中央島	乗上げ可能	乗上げ不可能		
設置箇所	市街地, 住宅地	市街地, 住宅地	郊外	市街地, 郊外
車線数	流入部	1車線		1 or 2車線
	環道	1車線		2車線

本稿では、以下の手順によりラウンドアバウトの外径を形成する幾何構造諸元を設定することを考える。

- 道路の階層区分、利用交通状況に応じて、設計車両を設定する。
- 各流入部の制限速度に基づき、環道内で想定する車両速度を決定する。
- 環道内での速度に応じた曲線半径の最小値を力学的観点から算出する。
- 設計車両のうち最も大型の車両の諸元を基に、曲線半径(環道半径)に応じた環道走行時に必要となる車両の走行幅員を算出し、これに余裕幅を加えて環道幅員を決定する。
- 設計車両のうち最も小型の車両の諸元を基に、曲線部での走行幅員を算出し、最も大型の車両の走行幅員との差に余裕幅を加えてエプロン幅員とする。
- 曲線半径、及び環道幅員に基づき、外径の最小値が決定される。

次章以降で、具体的な設計手順を示す。

3. ラウンドアバウト設計の前提条件

(1) 設計車両の諸元値

道路構造令の解説と運用⁷⁾によれば、道路の設計を行う際の設計車両として、表2に示す4種類が示されている。本稿では、これら設計車両に基づきラウンドアバウトの諸元値の決定方法の検討を行なう。

表2 設計車両の諸元(単位:m)

	長さ L	幅 b	最小回転半径
小型自動車	4.7	1.7	6
小型自動車等	6	2	7
普通自動車	12	2.5	12
セミトレーラー	16.5	2.5	12

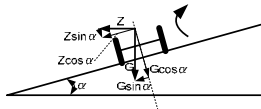


図2 環道走行時に作用する力

(2) 導入を想定する道路階層区分と設計車両

ラウンドアバウトの導入を想定する道路の階層区分により、設計車両は異なってくる。表3は、設計車両とラウンドアバウトの導入を想定する箇所のイメージを示したものである。ここでは、設計車両により8種類の設計区分に分類できるものと考えた。

A, B, Cのラウンドアバウトは、セミトレーラーが走行することを前提としているため、郊外の交通量が少ない幹線道路に設置されることを想定している。一方、F, G, Hのラウンドアバウトは、ほとんどの通行車両が小型車両である場合である。このとき、小型自動車等の小さい車両のみが環道を走行し、普通自動車は必要に応じて中央島に乗り上げて走行することを想定する。

4. 幾何構造諸元の決定方法

(1) 環道走行時の車両速度と曲線半径

ここでは、曲線部において安定した走行が可能である曲線半径を力学的観点から算出する。

通常、ラウンドアバウトの環道部では、排水のため逆片勾配を付す必要がある。自動車が環道部を走行する際に作用する力の関係を図2に示す。図2より、自動車の滑り出さない条件は式(1)により、また自動車に作用する遠心力Zは式(2)により表すことができる。

$$Z \cos \alpha + G \sin \alpha \leq f(Z \sin \alpha + G \cos \alpha) \quad (1)$$

$$Z = \frac{G v^2}{g R} \quad (2)$$

ここに、 v :自動車の速度、 G :自動車の総重量、 f :横すべりに対する路面とタイヤの摩擦係数、 $i (= \tan \alpha)$:路面の逆片勾配値、 R :曲線半径、である。

横すべりに対する路面とタイヤの摩擦係数 f は、道路構造令の解説と運用によれば、設計速度が50km/h以下の道路では0.1から0.15を用いることを推奨している。しかし、この値は中～高速走行時の実験結果に基づき算出された値である。一方、AASHTO⁹⁾では、設計速度の低い道路での実験結果に基づき、0.2から0.5を用いることを推奨している。本稿では、AASHTOの値を用いて計算を行なう。

ここで、式(1)に式(2)及び路面の片勾配 $\tan \alpha = i$ を代入して R について解くと、車両が横すべりを起こさない曲線半径 R の条件を示すことができる(式(3))。

表3 設計車両と導入を想定する交差点条件

	設計車両				設置箇所	RA 類型
	セミトレーラー	普通自動車	小型自動車等	小型自動車		
A	○	○	○	○	郊外幹線、ICランプ下	Rural single-lane RA
B		○	○	○	郊外幹線	
C			○	○		
D	-	○	○	○	市街地幹線	Compact RA
E	-		○	○	市街地幹線、スマートIC出口	
F	-	▲	○	○		
G	-	-	○	○	市街地細路、住区内道路	Mini RA
H	-	-	▲	○		

○:環道を走行, ○:エプロンを走行, ▲:中央島へ乗り上げ走行, -:通行を想定しない

$$R \geq \frac{v^2}{g} \frac{1-fi}{f-i} = \frac{v^2}{g(f-i)} \quad (3)$$

式(3)において、 f, i は1に比べて非常に小さく省略できるので、横すべりを起こさない最小曲線半径 R_{min} は、式(4)により算出される。

$$R_{min} = \frac{V^2}{127(f-i)} \quad (4)$$

ここに、 V は設計速度[km/h]である。

図3は、式(4)より算出された設計速度 V と、最小曲線半径 R_{min} の関係を示したものである。環道で想定する速度が高くなるにつれて、大きい曲線半径が必要になることが分かる。

また、図3中のプロットはドイツの3箇所のCompact roundabout、及び国内のラウンドアバウト型交差点での環道走行車両の速度の実測結果を示している。ここで速度の実測値は、環道内に任意に2断面を取り、この道のりを通過時間で除すことで算出している。なお、速度の計測は環道を3/4周する車両(左側通行の右折車両)について行なっている。

実測値と理論的に算出された設計速度の値とを比較すると、実測値の方が速度は高いことが分かる。これは、設計速度の算出においては、湿潤路面を想定していることによると考えられる。

本稿では、環道速度を任意に仮定して、それに対応する最小限必要な曲線半径を算出している。このとき入力することが必要となる、環道走行時の速度の合理的な設定方法を検討する必要がある。

(2) 環道幅員

図4は、曲線部における車両の走行動線を示した図である。環道幅員 B_c は、曲線部における車両の走行幅員 B から算出する。車両の走行幅員 B は、図4の関係より成立する式(5)に表1の各設計車両の諸元値を代入し算出する。

$$B = \sqrt{(\sqrt{R^2 - (a + U_f)^2} + \frac{b}{2})^2 + (a + U_f)^2} + \frac{b}{2} - \sqrt{R^2 - (a + U_f)^2} \quad (5)$$

ここで算出された車両の走行幅員 B は、両側に全く余裕なく走行する場合に必要な幅員である。環道幅員 B_c は、車両の走行幅員の両側に側方余裕 δ をそれぞれ確保することとする。

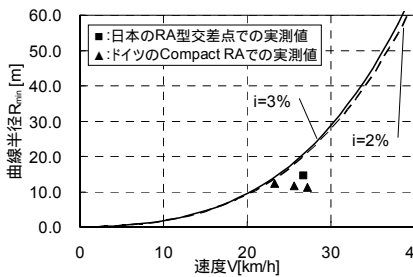


図3 設計速度と曲線半径の最小値 R_{min}

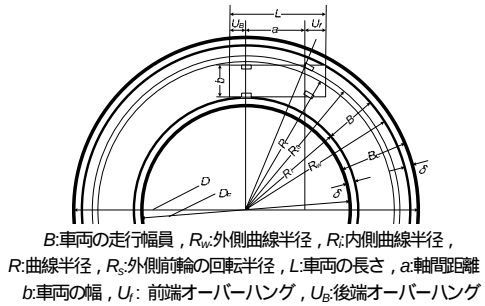


図4 環道幅員の算出方法

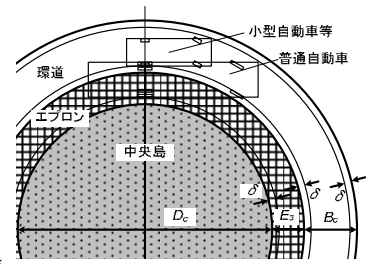


図5 エプロンの設計
(環道を小型自動車等、エプロンを普通自動車が行く場合)

$$B_c = B + 2\delta \quad (6)$$

アメリカのガイドライン⁴⁾中に車両の走行幅員に対する側方余裕の取り方に関する記述があり、走行幅員と車線の端との間に最低0.5mの余裕を設けるよう定めている。そこで本稿では、側方余裕 δ を0.5mとする。

(3) エプロン幅員

前節で示したとおり、同じ環道の曲線半径であっても、設計車両によって必要な環道幅員は異なってくる。

しかしながら、ほとんどの車両が小型の車両であるにも関わらず、ごく稀に通過するセミトレーラーの規格で幅員を設計するように、設計車両のうち最大車両の幅員を確保すると、小型車両の走行軌跡が乱れたり、場合によっては並列走行や路上駐車が生じたりと、好ましくない状況をもたらす。そこで、環道部は小型の車両の走行のみを担保し、環道の内側にエプロンと呼ばれる段差を持った帯状の部分を設置することで、大型車の走行性を担保する。図5にエプロンの設計イメージ図を示す。エプロンの設置されるケースとして、表4の3つが考えられる。

(4) 外径と諸元値の関係

以上の手順により、曲線半径 R に応じた環道幅員 B_c が決定される。外径 D 、環道幅員 B_c 、中央島 D_c の間には、図4より式(7)の関係が成立する。

$$D = 2 \times (D_c + B_c) \quad (7)$$

図6(a)は、各設計車両の理論的に算出される外径と環道幅員、図6(b)は外径とエプロン幅員の関係を示したものである。また、図6中のプロットは、表5に示すドイツのCompact roundabout、及び、日本のラウンドアバウト型交差点の実態の諸元値を示している。

ドイツのCompact roundaboutの実態の値と理論値を比較すると、環道幅員は、普通自動車の理論値と概ね一致していることが分かる。また、エプロン幅員は、理論値が2.0mであるのに対して、実績値は2.5mと大きめとなっているが、これは、ドイツでは接続バスなど日本に比べ設計車両が大きいためと考えられる。

一方、国内のラウンドアバウト型交差点の諸元値と比較すると、京都市の環道幅員は、セミトレの規格で設計した場合の理論値より大きいことが分かる。このため、環道内への路上駐車が時折見受けられる。また、藤岡町の環道幅員は普通自動車で設計した際の理論値と概ね一致している。また、ドイツのエプロンとは構造は異なる

表4 設計車両に応じたエプロン幅員の決定方法

	環道を走行する車両	エプロンを走行する車両	エプロン幅員
1	小型自動車等、普通自動車	セミトレーラー	$E = B_c - B_s$
2	小型自動車等	普通自動車、セミトレーラー	$E = B_c - B_s$
3	小型自動車等	普通自動車	$E = B_c - B_s$

B_s : セミトレーラーを設計車両とした場合の環道幅員 B_n : 普通自動車等を設計車両とした場合の環道幅員 B_s : 小型自動車等を設計車両とした場合の環道幅員

表5 ドイツ、及び日本のラウンドアバウトの諸元値

交差点名	Baben Hausen (B)	Dieburg (D)	Groß- Zimmern (G)	京都市 (K)	藤岡町 (F)
RAの形式	Compact RA		RA型交差点		
周辺環境	集落入口	住宅地内	集落入口	集落入口	郊外
外径 D [m]	29.0	28.0	30.0	40.0	34.0
中央島直径 D_c [m]	13.0	12.0	14.0	26.0	20.0
環道幅員 B_c [m]	5.5	5.5	5.5	7.5	5.0
エプロン幅員 E [m]	2.5	2.5	2.5	なし	2.0
逆片配 (%)	3.0	-	-	-	-

ものの、中央島の周囲に幅2.0mのマーキングによる帯状のスペースが確保されており、大型車の走行性は担保されている。

5. ラウンドアバウトに置き換え可能な交差点の条件

本章では、各流入部とも片側1車線の交差点を想定し、既存の交差点スペースでラウンドアバウトが設置可能である条件を明らかにする。図7のように、既存交差点の隅角部の半径 r 、車道幅員 w 、隅角部における歩道幅員 w_p 、ラウンドアバウトへ改良後の隅角部歩道幅員 w_p' を説明変数とし、適用性を示す。図7において、三平方の定理を用いると、式(8)の関係が成立する。

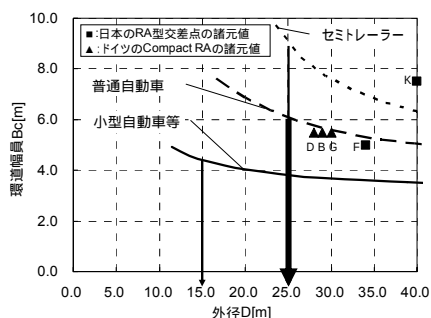
$$(2r + w)^2 \times 2 = (D + (r + w_p' - w_p) \times 2)^2 \quad (8)$$

式(9)を D について解くことで、外径 D で設計するために、最小限必要な幾何構造諸元値を定式化できる(式(9))。

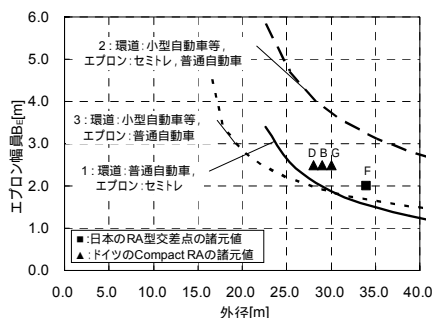
$$D < (\sqrt{2} - 1)r + (\sqrt{2} / 2)w - (w_p' - w_p) \quad (9)$$

図8(a)は、隅角部の歩道を利用しない、もしくは、歩道が設置されていない場合のラウンドアバウトへの改良可能な条件、図8(b)は隅角部の歩道をそれぞれの隅角部で2.0m($=w_p' - w_p$)ずつ利用する場合の適用条件を示したものである。

図中の右下がりの境界線は、小型自動車等を設計車両とした場合、および普通自動車を設計車両とした場合に、ラウンドアバウトを設置するために最低限必要となる外径 D_{min} の値(15m, 25m)をそれぞれ示したものである。従っ



(a)環道幅員(矢印は最小回転半径で設計した際の外径)



(b)エプロン幅員

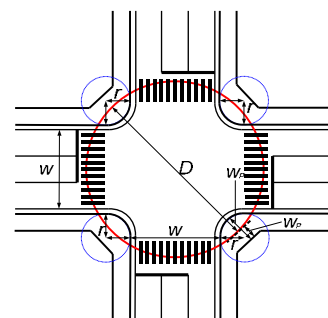


図7 交差点改良時に考慮する条件

図6 外径に応じた幾何構造諸元値 (プロットは、ドイツ、日本の実態の諸元値、アルファベットは表5の交差点名に対応)

て、横縞で示した領域が普通自動車を設計車両とした場合のラウンドアバウトへの改良可能領域を、これに縦縞で示された領域を加えた部分が小型自動車等を設計車両とした場合の領域をそれぞれ示すことになる。

図中の破線矢印は、既存交差点の標準的な車道幅員と隅角部半径の目安をそれぞれ示している。車線幅員については、片側1車線で右折車線が設置されていない場合の7.0m (= 流入側3.0m + 流出側3.0m + 片側の路肩0.5m × 2)、右折車線が設置されている場合の10.0m(流入側直進左折車線3.0m + 右折車線3.0m + 流出側3.0m + 片側の路肩0.5m × 2)の2つのケースを示している。隅角部半径は、小型自動車等、普通自動車それぞれが、左折時に最小回転半径で転回すると想定して設計した場合(3.0m、7.0m)を示している。

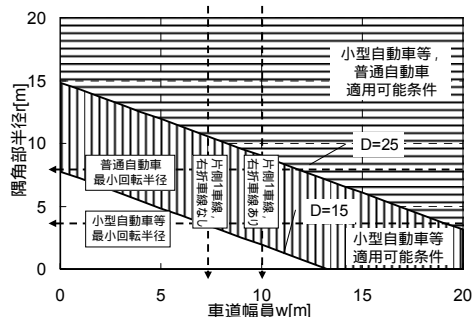
図8(a)より、既存交差点の隅角部が各設計車両の最小回転半径に基づき設計されている場合、右折車線の有無に関わらず、ラウンドアバウトに改良することは難しいことになる。しかし実際には、日本の交差点の隅角部は、最小回転半径に基づき設計した値より大きい場合が多く、また図8(b)に示したとおり、必要に応じて隅角部の歩道の一部を外径として割り当てることが考えられるので、既往交差点をラウンドアバウトに改良することは十分に可能である。

6. おわりに

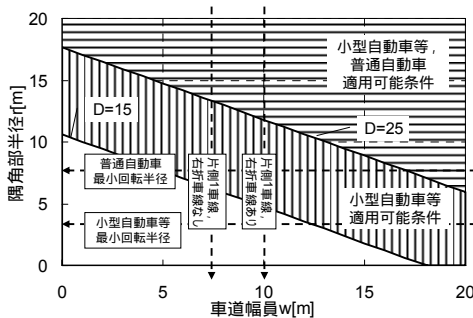
本稿では、環道走行時の車両力学に着目し、設計車両毎に外径を構成する幾何構造諸元値の決定方法を示した。さらに、ラウンドアバウトに置き換え可能な既存交差点の用地条件を、隅角部半径、車道幅員、隅角部の歩道幅員に基づき明らかにした。

今後の課題として、以下の点が考えられる。

- ・ 環道走行時の車両挙動のみに着目しているが、ラウンドアバウトへの流入から流出までの一連の車両挙動を考慮した諸元値の決定方法を示す必要がある。
- ・ 環道走行時の車両速度に応じた曲線半径を算出したが、車両速度の合理的設定方法を提示する必要がある。
- ・ 既存交差点のラウンドアバウトへの改良可能な条件を、道路構造令の解説と運用に示されている設計車両の最小回転半径に基づき示したが、特に普通自動



(a)隅角部の歩道が利用可能な場合



(b) 隅角部の歩道が利用できない場合

図8 ラウンドアバウトの設置が可能な交差点条件

車に関しては、最近の車両のカタログ値と比較してかなりの余裕が見込まれており、実際には適用可能条件は今回の計算よりも緩くなると考えられる。今後、車両諸元の実態について精査し、これに基づいたラウンドアバウトの幾何構造の決定、及び適用性の検討を行なう必要がある。

参考文献

- 1) 中村英樹・馬淵太樹：車両間交錯度を考慮したラウンドアバウトと信号交差点の性能比較分析，交通工学，Vol.41，No.5，pp.69-79，2006.9.
- 2) 馬淵太樹・中村英樹：日本でのラウンドアバウト設計のための調査研究課題，土木計画学研究・講演集No.33，4ページ，CD-ROM，2006.6.
- 3) 馬淵太樹・中村英樹：ラウンドアバウトの幾何構造と性能に関する検討，土木計画学研究・講演集No.34，4ページ，CD-ROM，2006.12.
- 4) FHWA: Roundabouts - an Informational guide, 2000.
- 5) Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren (Guideline for the design of roundabouts), 2006.
- 6) Brilon, W.: Roundabouts - A State of the Art in Germany, National Roundabout Conference, Vail Colorado, 2005.
- 7) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用，2004.
- 8) AASHTO: Geometric design of highways and streets, 2004.