

日本におけるラウンドアバウト 幾何構造の実態分析

西垣 裕樹¹・柿元 祐史²・中村 英樹³・康 楠⁴・張 馨⁵

¹学生会員 名古屋大学大学院 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-2(651))
E-mail: nishigaki.yuki@e.mbox.nagoya-u.ac.jp (corresponding Author)

²正会員 名古屋大学大学院助教 環境学研究科 附属持続的共発展教育研究センター (同上)
E-mail: kakimoto@nagoya-u.jp

³フェロー会員 名古屋大学大学院教授 環境学研究科 都市環境学専攻 (同上)
E-mail: nakamura@genv.nagoya-u.ac.jp

⁴正会員 南京工業大学副教授 交通運輸工程学院 (〒211816 中国江蘇省南京市江北新区浦珠南路 30 号)
E-mail: kang236@gmail.com

⁵正会員 名古屋大学大学院特任助教 環境学研究科 (〒464-8603 名古屋市千種区不老町 C1-2(651))
E-mail: zhang@genv.nagoya-u.ac.jp

近年、日本においてラウンドアバウト(RAB)の導入が進み、地域の状況に応じて様々な幾何構造の RAB が存在している。しかし、国内における RAB の幾何構造要素の実態および幾何構造要素間の関係はこれまで正確に把握されていない。そこで本研究では、日本の RAB の幾何構造要素諸元の分布や幾何構造要素どうしの関係を整理した上で RAB を分類し、国内の RAB の特徴を明らかにすることを目的とする。国内の RAB の外径や中央島直径、流入部接続角度の値は広く分布している一方、環道幅員、路肩幅員やエプロン幅員は値に偏りがあることが確認された。また、幾何構造要素間の関係を見たところ、外径と中央島直径には強い正の相関があることが明らかとなった。これらの幾何構造要素を用いたクラスター分析を行い国内の RAB の分類を行った結果、中央島直径と外径の比、路肩幅員、環道幅員、流入部接続角度の幾何構造の特徴により、国内の RAB が 7 つのクラスターに区分されることを示した。

Key Words: roundabout, geometric elements, geometric design

1. はじめに

近年、日本各地において地域の道路・交通条件に合わせたラウンドアバウト(以降、RAB)の導入が進んでいる。

RABの導入・普及には、その幾何構造設計指針が技術者にとって明解であることが重要である。我が国のラウンドアバウト幾何構造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⁾には、幾何構造設計の基本的な考え方として、幾何構造要素毎にそれらの設計の基本的な考え方、およびいくつかの推奨値が示されている。しかし、各幾何構造要素が一般的な値の範囲であるRABであっても、安全性や円滑性、走行性は各幾何構造要素間の相互関係によって大きく異なると考えられる。

すなわち、安全で円滑なRABを設計するためには、各幾何構造要素間の関係を把握し、これを考慮した設計手

法を示す必要がある。そのためには、すでに運用されているRABの安全性や円滑性などの各種性能を計測し、これらと幾何構造要素間の関係を明らかにすることが求められる。これまで、幾何構造要素と安全性や円滑性との関係^{2,3,4)}については研究が進められているが、国内におけるそれらの幾何構造要素の実態、および幾何構造要素間の関係についてはこれまで十分に把握されていない。

そこで本研究では、国内のRABの幾何構造要素諸元の実態を把握し、これら相互の関係を分析する。また、幾何構造要素諸元値に基づくRABの分類を行い、日本のRABの幾何構造の特徴を明らかにすることを目的とする。

2. 既往研究

日本において、RABの幾何構造に着目した研究がいく

つか存在する。神戸ら²⁾は、複数のRABで観測した車両挙動データを用いて、幾何構造を考慮した車頭時間パラメータの推定を行った。その結果、流入角度、外径が流入交通容量に影響を与えることを示している。また吉岡ら³⁾は、日本のRABの幾何構造特性を踏まえ、流入部における安全性能代替指標の提案を行っている。鈴木ら⁴⁾は複数のRABを用いて、安全確認を行う位置や、その位置における走行速度、減速度の違いを明らかにしている。

海外では、幾何構造要素の諸元値を利用して安全性に関わる性能照査を行っている。例えばアメリカ⁵⁾では、設計図面上で想定される走行軌跡を描画し、その曲線半径をもとに速度を算出することで安全性能評価が行われている。一方、スイス⁶⁾では、速度による評価手法の代替として、流入～流出にかけての進行方向の変化度合を表す、偏差角(Deviation angle)と呼ばれる指標を用いた安全性能評価手法を提案している。また、ドイツ⁷⁾では、Deflectionと呼ばれる直進車両の横方向の振幅を用いた安全性能評価手法を提案している。

このように、国内では、RABの幾何構造要素の影響を考慮した安全性や円滑性評価に関わる研究が行われている。しかしながら、そもそも国内のRABの幾何構造要素の実態及び分布が明らかになっておらず、これらの研究対象のRABが国内の代表的な幾何構造を有する箇所であるかは定かではない。よって、本研究では、国内のRABの幾何構造要素の実態把握を行い、幾何構造要素を用いたクラスター分析により国内のRABの実態を明らかにする。

3. 日本におけるRABの分布実態

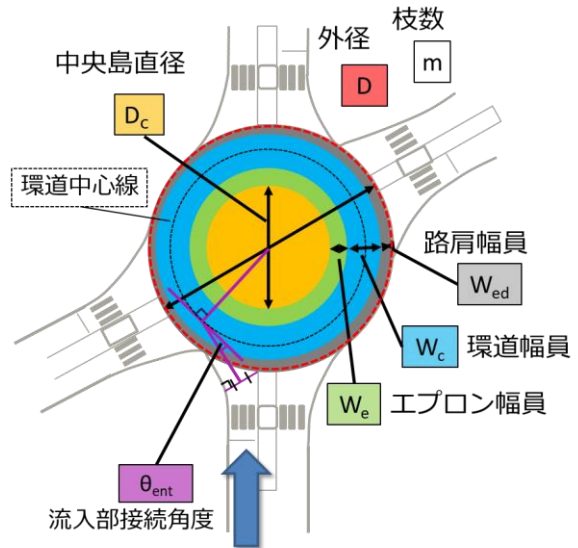
(1) 分析対象の幾何構造要素および分析対象箇所

本研究では、国内のラウンドアバウトマニュアル¹⁾の設計手順を参考に、枝数 m 、外径 $D(m)$ 、中央島直径 $D_c(m)$ 、エプロン幅員 $W_e(m)$ 、環道幅員 $W_c(m)$ 、路肩幅員 $W_{ed}(m)$ 、および流入部別に存在する流入部接続角度 $\theta_{ent}(deg)$ に着目して分析を行う。本研究で考慮するこれらの幾何構造要素を図-1に示す。以下に、流入部接続角度 θ_{ent} の計測手順を示す。

1. 分離島の端から流入隅角部に対して、垂線を引く。
2. 垂線の垂直二等分線と環道中心線との交点を得る。
3. 交点における接線を引き、垂直二等分線と接線のなす角を流入部接続角度とする。

これらの幾何構造要素をGoogle マップの航空写真や、RABの存在する市町村のwebサイトの情報を参考にデータを取得する。

本研究では、国内に存在するRABのうち、環状交差点として警察庁のWebサイト⁸⁾に記載のある101箇所、兵



注) 矢印方向からの流入を想定

図-1 分析に考慮した幾何構造要素

表-1 分析対象RABの幾何構造要素諸元値の基本統計量

	$D(m)$	$D_c(m)$	$W_e(m)$	$W_c(m)$	$W_{ed}(m)$	$\theta_{ent}(deg)$
平均値	30	15	1.8	4.9	0.75	39
中央値	29	14	2.0	5.0	0.50	38
最頻値	27	12	2.0	5.0	0.50	42
分散	47	42	1.5	0.90	0.24	160
最小	16	6.0	0	3.5	0	5.0
最大	60	34	5.0	10	3.0	75
データ数 n	78	78	78	78	78	311

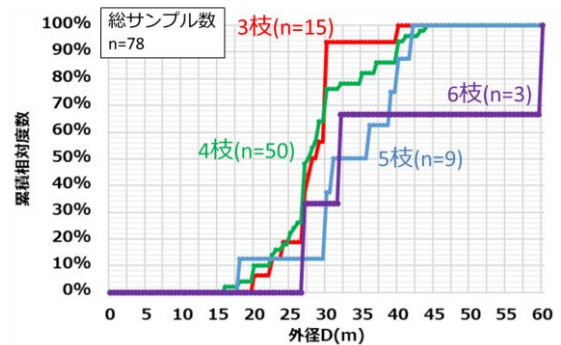


図-2 外径 D 枝数別

庫県豊岡市、鳥取県鳥取市、栃木県大田原市の実質的にRABとして運用されている3箇所を加えた104箇所の幾何構造要素等のデータを整理した。これらのうち、本研究で考慮する全ての幾何構造要素諸元値データが得られた78箇所(311流入部)のRABを対象として分析を行う。

(2) 幾何構造要素の実態把握

幾何構造要素の実態を把握するため、枝数 m 別に幾何構造要素諸元値の累積分布を作成し、これらの比較を行う。各RABで一意に決まる幾何構造要素 (D, D_c, W_e, W_c 、

W_{ed}) に関してはRAB別に作成するのに対して、流入部接続角度 (θ_{on}) に関しては流入部別に分布図を作成する。幾何構造要素諸元値の基本統計量を表-1に、これらそれぞれの分布を図-2～図-7に示す。なお、4枝以外のRABのサンプル数は極めて少ないため、4枝のRABの結果を中心に考察を行う。

a) 外径 D

図-2より外径 D の累積分布は、27 m付近で立ち上がっていることが確認できる。これは、国土交通省が提唱している標準型ラウンドアバウト⁹⁾の幅員構成に準じた設計が行われている場合が多いためであると考えられる。ほとんどのRABで外径 D は45 m未満であるが、6枝のRABにおいて、外径 D が60 mとなる箇所が存在している。該当箇所は、環道幅員が10 mと非常に大きく、実質的に2車線のRABとして運用されているものである。反対に外径の最小値は16 mであった。該当するRABは、住宅地付近の市道の交差点として以前から存在するものであり、用地制約と利用車両などの関係から小型のRABとして運用されていると考えられる。

枝数 m が増加すると外径 D も増加する傾向にある。これは、多枝RABで外径が不十分であると、環道上で隣接する流入部間の距離が短くなり、流入部の左側直近流出部に直接左折流出することができなくなる可能性があるためである。

b) 中央島直径 D_c

図-3より中央島直径 D_c の累積分布は、12 m付近で立ち上がっていることが確認できる。しかし、16 m付近から傾きはなだらかになり、結果として広く分布していることが分かる。枝数 m が増加すると中央島直径 D_c が増加する傾向にある。

c) エプロン幅員 W_e

図-4よりエプロン幅員 W_e の累積分布は、2 m付近で立ち上がっていることが確認できる。外径 D と同様、標準型ラウンドアバウト⁹⁾の幅員構成に準じた設計が行われているためと考えられる。

3, 4, 5枝のRABにおいて、エプロン幅員 W_e が0の箇所が存在している。該当箇所は全てかつてロータリーとして整備された交差点であり、道路交通法¹⁰⁾の改正に伴いRABに運用変更されたケースが多い。50パーセント値と比較すると、3枝RABでエプロン幅員 W_e が最も大きくなっていることが確認された。これは、丁字路交差点のような形状のRABの場合、走行軌跡が直線的になるため、エプロンを設置することで走行軌跡をコントロールし、速度抑制をはかる対策をとっていることが関係していると考えられる。

d) 環道幅員 W_c

図-5より、環道幅員 W_c の累積分布は4～5 m付近で立ち

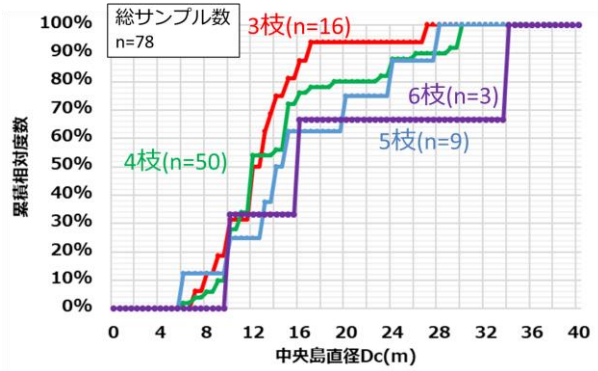


図-3 中央島直径 D_c 枝数別

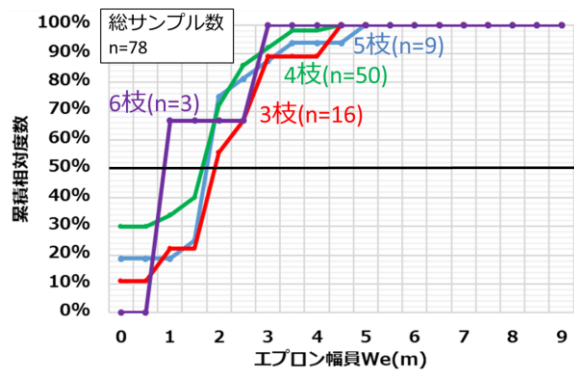


図-4 エプロン幅員 W_e 枝数別

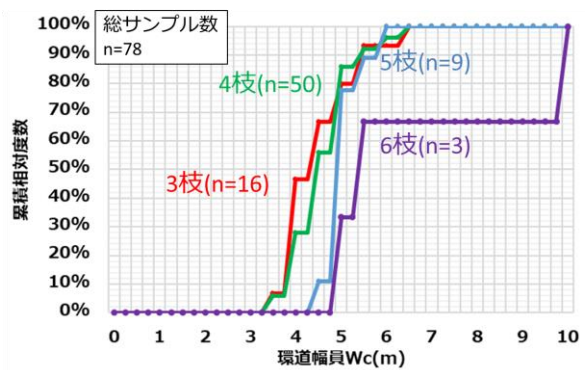


図-5 環道幅員 W_c 枝数別

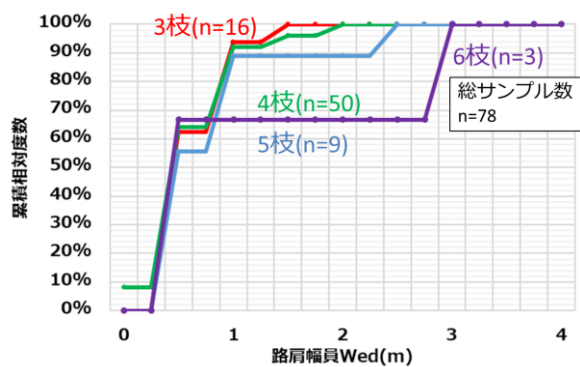


図-6 路肩幅員 W_{ad} 枝数別

上がっていることが確認できる。環道幅員が大きくなることと環道内の走行軌跡のばらつきが大きく安全性の低下を

もたらし、逆に小さいと大型車の走行が困難になるため、これらのバランスを考慮し、4~5 m付近に集中しているものと考えられる。しかし、環道幅員 W_c が6.0 m以上の箇所が9箇所存在しており、それらのうち7箇所はエプロンを設置していない。これらのRABでは、特に小型車の走行位置が一意に定まらず、環道内の走行速度が高くなる危険性がある。

環道幅員 W_c の最大値は10 mであり、これは外径が60 mの6枝RABで、実質的に2車線ラウンドアバウトのように運用されているものである。

e) 路肩幅員 W_{ed}

図-6より、路肩幅員 W_{ed} の累積分布は0.5 m付近で立ち上がっており、ばらつきが小さい。また、1.0 m以下の箇所が全体の9割を占めていることが確認できる。日本のラウンドアバウトマニュアル¹⁾では、道路構造令の解説と運用¹⁰⁾の記載内容に整合するよう路肩に関する項目が存在するが、アメリカのマニュアル⁹⁾ではこれは存在しない。RABの路肩とは、あくまでも余裕幅として確保しているものと考えられるため、一般には他の既存RABに倣って設定することが多く、結果的にばらつきが小さくなっているものと考えられる。

f) 流入部接続角度 θ_{ent}

図-7に示す流入部接続角度 θ_{ent} の累積分布を見ると、約9割の箇所が50 deg以下となっていることが確認できる。また、50 degを超えたとみだらかに分布しており、これは、3枝、5枝に関しても同様の傾向が見られる。6枝は他のRABと異なり、42 degが最小値となっている。また、90 degに近い流入部も存在しており、スムーズに流入しにくい箇所も確認できる。

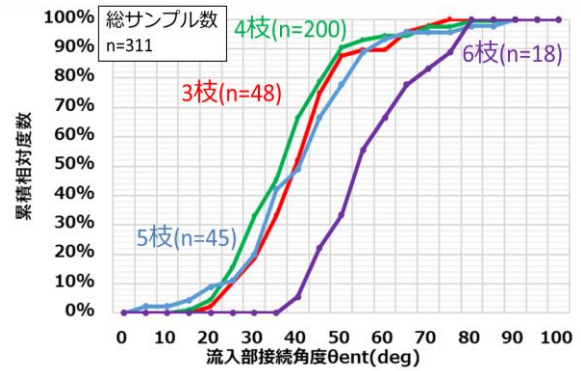


図-7 流入部接続角度 θ_{ent} 枝数別

表-3 幾何構造要素同士の相関係数 r

	D	D_c	W_e	W_c	W_{ed}	θ_{ent}
D						
D_c	0.91					
W_e	0.11	-0.22				
W_c	-0.17	-0.20	-0.25			
W_{ed}	0.12	0.06	-0.03	-0.14		
θ_{ent}	0.07	0.03	0.05	-0.12	0.18	

※ $|0.7| \geq r, |0.7| > r \geq |0.4|, |0.4| > r \geq |0.2|, |0.2| > r$

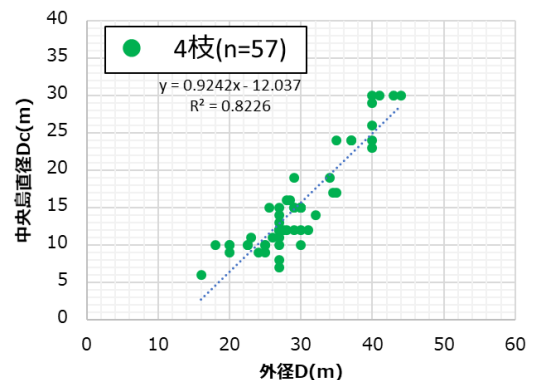


図-8 外径と中央島直径の関係

(3) 幾何構造要素相互の関係分析

次に、幾何構造要素相互の関係を把握するため、(2)で分析した幾何構造要素諸元値を用いてこれらの間の相関を確認する。ここでは、サンプル数が比較的多い4枝のRABのみを用いる。相関係数 r の分析結果を表-3に示す。これより、外径 D と中央島直径 D_c の間には強い正の相関があることが確認された。(2)において環道幅員 W_c 、エプロン幅員 W_e 、路肩幅員 W_{ed} の値のばらつきが小さく、ほぼ一定値であったことから、外径 D が大きくなった分は中央島直径 D_c を大きくすることで、調整が図られていると考えられる。外径 D と中央島直径 D_c の関係を確認するため、これらの値の散布図を図-8に示す。外径 D と中央島直径 D_c の間には、ほぼ線形の関係が認められ、外径 D は中央島直径 D_c の1.5~3.5倍の値となっている。

環道幅員 W_c とエプロン幅員 W_e には、弱い負の相関が認められる。これは、ロータリーとして整備された交差点で、環道幅員 W_c が比較的大きく、エプロンが設置さ

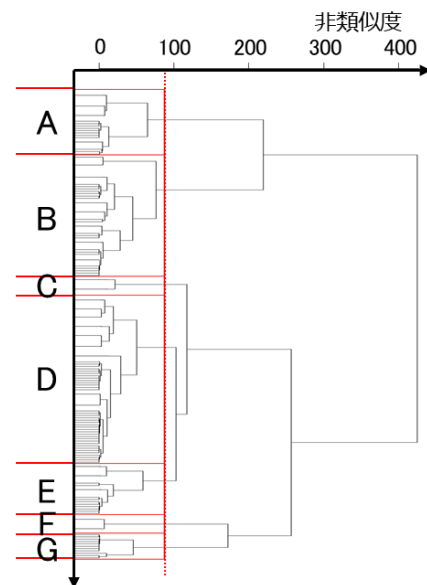


図-9 クラスタ分析の結果

れていない箇所による影響と考えられる。

4. 幾何構造の違いによる国内 RAB の分類

幾何構造の違いに基づき RAB の分類を行うため、幾何構造要素諸元を変数として、ウォード法によるクラスタ分析を行う。前章で幾何構造要素間関係を確認した結果、外径 D と中央島直径 D_c には線形関係が見られたため、外径 D と中央島直径 D_c の比 (D/D_c) を変数として代入する。また、それ以外の幾何構造要素に関しては、実測値を変数として代入する。クラスタ分析の結果を図-9 に示す。その結果から、非類似度が約 100 となる位置で区分を確定し、これらを図-9 の上から順に A~G とする。以降、図-10 に示す各クラスタの幾何構造要素の平均値に基づき、クラスタの特徴の把握を行う。

図-9 を見ると、本研究で用いた幾何構造要素の観点からは、{A, B} が {C, D, E, F, G} とは異なるグループに属することがわかる。図-10 に示す各クラスタの幾何構造要素諸元の平均値を見ると、 D/D_c の値がともに 2 未満となっており、{A, B} のクラスタは外径と中央島直径の比が相対的に小さいことがわかる。また、{A} と {B} のクラスタを比較すると、前者は環道幅員 W_c が全体の平均に対して大きい値であるのに対し、後者は小さくなっている。

{C, D, E} と {F, G} のクラスタを比較すると、前者は路肩幅員 W_{ad} が全体の平均に対して大きな値であるのに対し、後者は小さくなっている。また、{C}, {D}, {E} のクラスタを比較すると、 D/D_c の値、流入部接続角度 θ_{ent} の全体の平均に対する大小関係により分かれることが確認された。

これらの各クラスタの幾何構造要素の特徴を表-4 に示す。図-9, 図-10 より非類似度が最も大きい区切り位置は、 D/D_c が大きく影響することが確認され、次いで路肩幅員 W_{ad} 、環道幅員 W_c 、流入部接続角度 θ_{ent} の順で影響することが明らかとなった。また、前章の分析では、外径 D と中央島直径 D_c はばらつきが大きいことが確認されたが、これらの比を変数とすることでばらつきが小さくなり、幾何構造要素の値を変数とした場合に比べて、より適切な分類が行われたと考えられる。

本分析では全体の平均に対する大小関係を用いてクラスタの特徴の把握を行った。全体の平均値は用いるデータサンプルによって変化するものであるため、 D/D_c といった幾何構造要素間関係を用いて具体的な数値を基に分類することで、より明確にクラスタの特徴を把握できると考えられる。しかし、現時点の国内の RAB の幾何構造の特徴については適切に反映できており、国内の RAB を幾何構造要素に応じて 7 つのクラスタに分

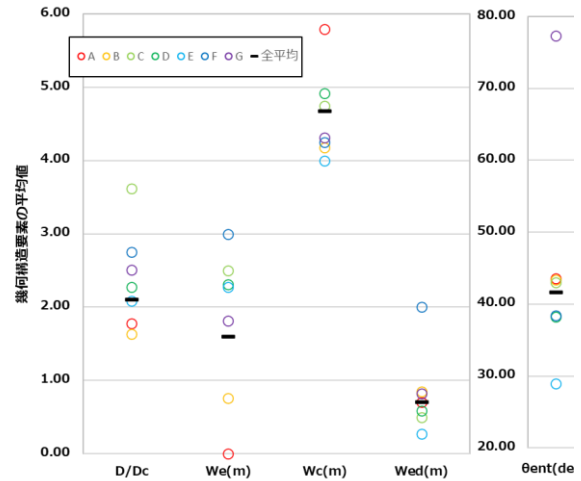


図-10 各クラスタにおける変数の平均値

表-4 各クラスタの幾何構造の特徴一覧

クラスタ	幾何構造の特徴
A	<ul style="list-style-type: none"> • D/D_c が 2 未満 • W_c が平均より大きい • エプロン無し(ロータリー)
B	<ul style="list-style-type: none"> • D/D_c が 2 未満 • W_c が平均より小さい
C	<ul style="list-style-type: none"> • D/D_c が 3 以上 • W_{ad} が平均より小さい
D	<ul style="list-style-type: none"> • D/D_c が 2 以上 2.5 未満 • W_{ad} が平均より小さい • θ_{ent} が平均より小さい
E	<ul style="list-style-type: none"> • D/D_c が 2 以上 2.5 未満 • W_{ad} が平均より小さい • θ_{ent} が平均よりかなり小さい
F	<ul style="list-style-type: none"> • D/D_c が 2.5 以上 ~ 3 未満 • W_{ad} が平均より大きい • θ_{ent} が平均より小さい
G	<ul style="list-style-type: none"> • D/D_c が 2.5 以上 ~ 3 未満 • W_{ad} が平均より大きい • θ_{ent} が平均よりかなり大きい

類できること示した。

5. おわりに

本研究では、日本に存在する RAB に関して幾何構造要素別に実態を把握し、幾何構造要素の特徴を踏まえ RAB の分類を行った。

RAB 特有の幾何構造要素に関して、最頻値は国土交通省が提唱している幅員構成と一致している。また、外径 D と中央島直径 D_c 、流入部接続角度 θ_{ent} は、比較的広く分布していることが確認された。外径 D と中央島直径 D_c の間には、正の相関があることが明らかとなった。相関が強く現れた幾何構造要素を用いて、散布図を確認した結

果、外径 D と中央島直径 D_c の間には、概ね線形の関係が見られた。これらの比 DD_c と、相関が見られなかった幾何構造要素の各値を変数として、クラスター分析を行った。クラスター分析に関して、外径 D と中央島直径 D_c の比、環道幅員 W_e 、路肩幅員 W_{ed} 、流入部接続角度 θ_{ent} それぞれの全体の平均に対する大小関係から7つのクラスターに分類した。外径 D と中央島直径 D_c の比、路肩幅員 W_{ed} 、環道幅員 W_e 、流入部接続角度 θ_{ent} の順で分類に影響することが明らかとなった。本研究では、中心位置に関する変数であるdeflectionを考慮していないため、値のばらつきが少ない路肩幅員 W_{ed} による分類が行われたと考えられる。今後、deflectionを考慮した分類を行う必要がある。今後、クラスター分析により分類されたクラスターの中から、いくつかのRABを抽出し、各種性能と分類との関係を見ていく。

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.
- 2) 神戸信人・張馨・中村英樹・尾高慎二：幾何構造要因を考慮したラウンドアバウト流入交通容量推定モデル，土木学会論文集 D3(土木計画学研究・論文集第 35 卷(特集))，Vol.74, No.5, 2019.
- 3) 吉岡慶祐・中村英樹・下川澄雄・森田綽之：ラウンドアバウト幾何構造の安全性能評価のためのリスク指標モデリング，土木学会論文集 D3(土木計画学研究・論文集第 35 卷(特集))，Vol.75, No.3, 2019.
- 4) 鈴木弘司・安田宗一郎・森本清誠：走行調査と観測調査に基づいた複数のラウンドアバウトにおける安全確認行動と車両挙動の分析，土木学会論文集 D3(土木計画学研究・論文集第 33 卷)，Vol.72, No.5, 2016.
- 5) Transportation Research Board: NCHRP Report 672 Roundabouts; An informational guide, 2nd edition, 2010
- 6) Vereinigung Schweizerischer Stassenfachleute: Schweizer Norm SN 640 263, 1999.
- 7) Forschungsgesellschaft für Straßen und Verkehrswesen: Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren, 2006.
- 8) 警察庁，環状交差点の導入状況（令和 2 年 3 月末現在），<https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/seibi2/kisei/roundabout/roundabout.pdf>，（閲覧 2020 年 7 月 9 日）。
- 9) 国土交通省，望ましいラウンドアバウトの構造について，https://www.mlit.go.jp/road/sign/roundabout_140901.html，（閲覧 2020 年 7 月 9 日）。
- 10) 警察庁，道路交通法等の改正，<http://www.npa.go.jp/bureau/traffic/law/index.html>，（閲覧 2020 年 9 月 28 日）
- 11) 公益社団法人 日本道路協会：道路構造令の解説と運用，丸善出版，2015.

AN ANALYSIS ON GEOMETRIC DESIGN CHARACTERISTICS OF ROUNDABOUTS IN JAPAN

Yuki NISHIGAKI, Yuji KAKIMOTO, Hideki NAKAMURA, Nan KANG and Xin ZHANG