

# ラウンドアバウトの幾何構造と性能に関する検討\*

## An Investigation on Roundabout Design and Operational Performance\*

馬淵 太樹\*\*, 中村 英樹\*\*\*

By Taiki MABUCHI\*\* and Hideki NAKAMURA\*\*\*

### 1. はじめに

海外の先進諸国では、比較的小規模で交通量の少ない交差点での安全性の向上、円滑な交差点制御を目的とし、近年、ラウンドアバウトが積極的に導入されている。ラウンドアバウトは、円形の交差点形式であるため、車両に対し速度抑制を促すこと、また交差点進入車両と環道走行車両とが側面相互で錯綜するため損傷の程度が大きい事故は起こりにくいこと、さらに、信号制御と比較すると遅れの削減が可能であることが主な特徴として挙げられる。

筆者らは、信号制御と比較した場合にラウンドアバウトの導入が有利である交通量条件を、交差点での遅れと交錯挙動の関係に着目した分析手法により明らかにしている<sup>1)</sup>。これより、交差点流入部あたりの交通量が500~600台程度の交差点であれば、ラウンドアバウトの導入が妥当であることを明らかにした。また、海外4カ国のラウンドアバウト設計指針にもとづき、各国の幾何構造要素の設計思想を整理している<sup>2)</sup>。

欧米諸国では、ラウンドアバウトの幾何構造決定根拠を示すための検討がなされている。米国では2003年より、NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) 3-65により米国内の約300箇所のラウンドアバウトで大掛かりな交通流観測が行われている<sup>3)</sup>。その中で、ラウンドアバウトの幾何構造が車両速度やギャップパラメータに与える影響についての分析が行なわれている。ドイツでも1990年代後半以降、ラウンドアバウトの導入、及び設計ガイドライン<sup>4)</sup>の発行が行われている。その後も、ラウンドアバウトでの車両、歩行者の軌跡等のデータ分析が行われ、これらの結果にもとづいた設計ガイドラインの改訂が予定されている。

本研究は、ラウンドアバウトの幾何構造が交差点流入車両のギャップ利用特性、交通容量、交差点内の車両速度に与える影響について分析を行う。今後、安全性と効率性の双方を考慮したラウンドアバウト設計指針を示すための根拠としていくことを意図している。

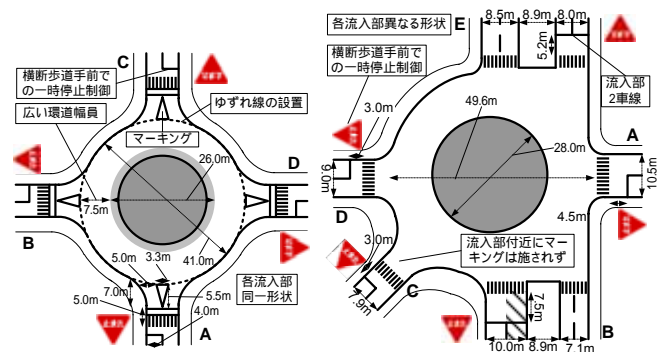
### 2. 調査概要

日本には、近年欧米で導入されているようなラウンドアバウトは存在しないが、環道車両に優先権があり、ラウンドアバウトに似た運用のなされている円形交差点は少数ながら存在している。本研究では、表-1、図-1のラウンドアバウト型交差点にてデータを取得した。

欧米で導入されているラウンドアバウトと比較すると、

表-1 調査概要

交差点名	京都市桂坂交差点	飯田市東新町交差点
調査日時	2004年7月29日	2004年10月7日
調査時間帯	7:50~9:50, 17:50~18:50	7:15~8:15, 16:15~17:15
調査方法	ビデオ撮影による交通特性データ取得	
取得データ	流入交通量, 環道交通量	
	流入車両, 環道車両の車頭時間	
	ギャップアクセプタンス挙動	
	流入部, 流出部, 環道での車両速度	



(a) 京都市桂坂交差点 (b) 飯田市東新町交差点

図-1 ラウンドアバウト型交差点の幾何構造諸元

両交差点とも 交差点の規模が大きい 環道幅員が広い、交通島が設置されていないなど、「真の」近代的ラウンドアバウトとは異なる点も多い。

### 3. ギャップパラメータの分析

#### (1) ギャップパラメータの概要

ギャップパラメータとは、ラウンドアバウトの交通容量などを算出する際に必要となるパラメータで、ラウンドアバウト流入部でのドライバーの環道ギャップの利用特性を表す指標である。本章では、交通量、幾何構造がこれらギャップパラメータに与える影響を分析する。

##### a) 臨界ギャップ(Critical gap: $t_c$ )

臨界ギャップは、流入車両が環道交通流中に合流し得る最小ギャップとして定義される。臨界ギャップより小さいギャップは棄却され、大きいギャップは受入れられる。臨界ギャップの取得には様々な取得方法が提案されているが<sup>5)</sup>、本研究では、受入ギャップ、拒絶ギャップそれぞれの累積をとり、両者の割合が等しくなる点を臨界ギャップとする。

##### b) 流入車追従車頭時間(Follow up time: $t_f$ )

流入車追従車頭時間は、同一の環道ギャップに、流入車両が連続して流入する際の平均車頭時間である。

#### (2) 交通量、幾何構造とギャップパラメータの関係

図-2は、京都市のラウンドアバウト型交差点における

\* キーワーズ: ラウンドアバウト, 交差点構造, 交差点性能

\*\* 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名古屋千種区不老町, E-mail:tmabuchi@genv.nagoya-u.ac.jp)

\*\*\* 正会員 工博 名古屋大学大学院助教 工学研究科社会基盤工学専攻

臨界ギャップの取得結果を普通車，大型車の別に示したものである。これより，大型車は普通車に比べて小さなギャップを拒絶する傾向があることが分かる。

図-3は，交通量の多寡がギャップパラメータに与える影響を分析するため，京都市のラウンドアバウト型交差点の各流入部で臨界ギャップと流入車追従車頭時間を，1時間ごとに計測した結果である。これより，環道交通量が増えると，臨界ギャップが小さくなる，すなわちドライバーは小さなギャップでも流入することが分かる。ドライバーは，流入部で長時間待つことを嫌い，なるべく早く環道内へ進入しようとするためと考えられる。一方，流入車追従車頭時間は，環道交通量が多くなるほど大きくなる傾向がある。これは，環道交通量が多くなると流入車が環道内へ連続して進入する機会が減るために，十分なサンプルが取得できなかったためと考えられる。

図-4は，幾何構造が臨界ギャップに与える影響を示すため，京都市，飯田市のラウンドアバウト型交差点の各流入部でのギャップパラメータを分析した結果である。まず，(a)より，流入部の横断歩道の位置が後方になるほど，臨界ギャップは大きくなることが分かる。これはドライバーが横断歩道付近で環道交通流中へのギャップアクセプンス判断を行っているためで，ゆずれ線までの距離が長くなるほど，流入車両の移動距離も長くなり，臨界ギャップが長くなると考えられる。

また(b)より，流入部幅員が狭くなるほど，臨界ギャップが大きくなる。幅員が広がると，流入部での走行軌跡の自由度が大きくなり，環道車両との合流角度にもバラツキが生じる。車両によっては，小さなギャップでも流入しやすい浅い角度で合流する場合も生ずるため，臨界ギャップが小さくなったと考えられる。

以上をまとめると，交通量が多くなるほど交差点に進入するドライバーは小さなギャップでも受入れる傾向があること，そして，幾何構造の違いがギャップパラメータに影響を及ぼすことが明らかになった。流入車両が小さなギャップに流入すると，一般に環道車両に減速を強いることになる。これを防ぐために，各車両がほぼ同一の動線上を走行し，挙動が均一となる流入部構造にすることが望ましい。その方法として，流入部の幅員を必要最小限としたり，適切なマーキングを施したりすることが効果的であることが示唆された。

今回は交差点，流入部での分析にとどまっているが，詳細な分析を行うために，調査交差点を増やし，交差点の大小，流入角度が交差点性能に与える影響についても明らかにする。

#### 4. 交通容量による性能評価

交通容量は，Troutbeckら<sup>9)</sup>，Wuら<sup>7)</sup>が，ドライバーのギャップ利用特性にもとづいた交通容量推計式を，また，Kimberら<sup>8)</sup>が，幾何構造要素を説明変数とした回帰にもとづく交通容量推計式をそれぞれ提案している。このうち後者の方法は，数多くの交差点でのデータが必要であり，また，交通量が多く，飽和状態になる場合の分析が必要となる。本研究では，十分な数のラウンドアバウト

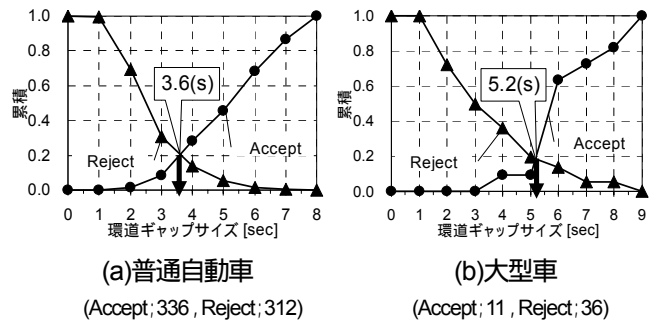


図-2 臨界ギャップ(京都市)

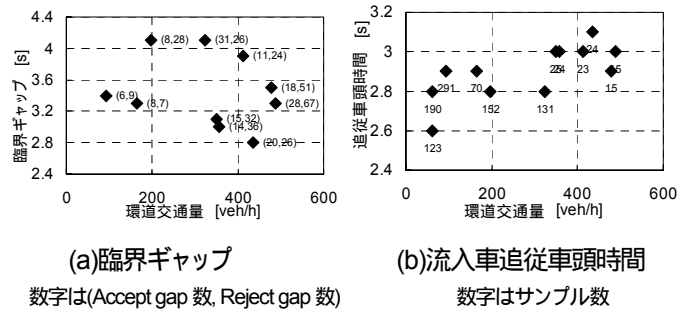


図-3 交通量とギャップパラメータの関係(京都市)

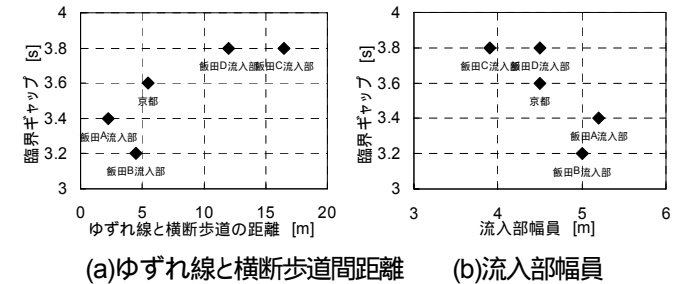


図-4 幾何構造と臨界ギャップの関係(京都市，飯田市)

でのデータがなくてもモデルの推計が可能で，前者の方法により交通容量の推計を試みる。

#### (1) 交通容量推計式のモデル構造

ラウンドアバウトの交通容量 $C$ (単位時間あたりに1流入部で進入可能な車両台数)は，環道交通流中のギャップ $t_i$ の出現頻度を $h(t)$ ，ギャップ $t_i$ に進入可能な車両台数を $E(t)$ の加重和により1ギャップあたりに進入可能な車両台数の期待値を算出し，それに単位時間あたりの環道交通量 $q_c$ を乗じ算出する。

$$C = q_c \int_0^{\infty} h(t)E(t)dt \dots \dots \dots (3)$$

推計式は $h(t)$ ， $E(t)$ の関数形の違いにより決定される。

#### (2) 環道交通流中のギャップ $t_i$ の出現頻度 $h(t)$

環道ギャップ $t_i$ の出現頻度 $h(t)$ が指数分布に従うものとする， $h(t)$ は式(4)により表すことができる。

$$h(t) = \lambda e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (4)$$

ここで， $\lambda$ は車両の平均到着率である。

式(4)では環道ギャップの大きさが0の場合の確率密度が最も高くなるが，現実には，車両はある程度の車間距離を保って運転されるため整合しない。そこで，原点が

ら最小車頭間隔 $\tau$ だけシフトさせた式(5)の指数分布, CowanのM2モデル<sup>9)</sup>が適切となる.

$$h(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\tau)} \dots \dots \dots (5)$$

ラウンドアバウトのように, 比較的交通量の少ない状況下で式(5)を適用すると, 小さいギャップの出現頻度が過大推計される傾向にある. そこで, 全車両のうち,  $1-\alpha$ の割合の車両は車群を形成して走行している, すなわち, ギャップ $\tau$ で走行しているとした, 式(6)のCowanのM3モデルにより表す<sup>9)</sup>.

$$h(t) = \lambda \alpha e^{-\lambda(t-\tau)} \dots \dots \dots (6)$$

ここで,  $\alpha$ は自由走行確率(ギャップ $\tau$ 以上で走行している車両の割合)である.

図-5は, 京都市のラウンドアバウト型交差点の環道交通流のギャップ出現頻度の実測値とモデルによる推計値を比較した結果である. この結果より, ギャップが大きくなると, 式(6)とよく整合する.

(3) 環道ギャップ $t$ に流入可能な車両台数:  $E(t)$

環道ギャップ $t$ に流入可能な車両台数 $E(t)$ は, 離散関数による方法<sup>5)</sup>, 連続関数による方法<sup>6)</sup>の2通りがある.

まず, 前者の方法では, 1ギャップあたりに流入可能な車両台数の期待値 $E$ を算出する.

$$E = \sum_{n=1}^{\infty} n P_n = q_c \sum_{n=1}^{\infty} n \int_0^{\infty} h(t) \cdot P_n(t) dt = \int_0^{\infty} h(t) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot P_n(t) dt \dots \dots (7)$$

ここで,  $n$ は1ギャップに流入できる車両台数,  $P_n$ は1ギャップに $n$ 台流入できる確率である.

従って, 環道ギャップ $t$ のときの1ギャップあたりの平均流入台数 $E(t)$ は式(8)になる.

$$E(t) = \sum_{n=1}^{\infty} n P_n(t) \dots \dots \dots (8)$$

また, 連続関数を仮定した場合のギャップ $t$ に流入可能な車両台数は式(9), (10)により表される.

$$E(t) = 0 \quad (t < t_c) \dots \dots \dots (9)$$

$$E(t) = [(t - t_c) / t_f] + (1/2) \quad (t > t_c) \dots \dots \dots (10)$$

式(10)において,  $t - t_c$ は流入車両によって利用可能なギャップの大きさを表しており, それを流入車追従車頭時間で除すことにより, ギャップ $t$ のときに流入可能な車両台数が算出される.

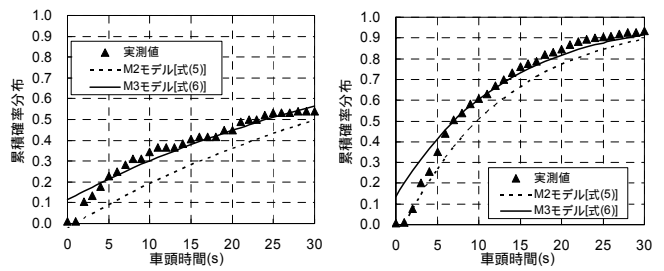
図-6は, 式(8), (10)それぞれの関数をグラフで示したものである.

(4) 交通容量推計結果

表-2は, これまでに提案されている, ドライバーのギャップ利用特性にもとづく交通容量推計式である.

本研究では,  $h(t)$ として, より現実に近い関数を用いている式(11)のTroutbeckらの推計式, 式(12)のWuらの推計式を用いる.

$$c = q_c \int_0^{\infty} h(t) E(t) dt = q_c \sum_{n=1}^{\infty} n \int_{t_c + (n-1)t_f}^{t_c + nt_f} \alpha \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda(t-\tau)} dt$$



(a)京都市 A 流入部 (qc=86veh/h, α=0.86, τ=1s) (b)京都市 C 流入部 (qc=324veh/h, α=0.80, τ=1s)

図-5 環道ギャップの実測値と推計値の比較

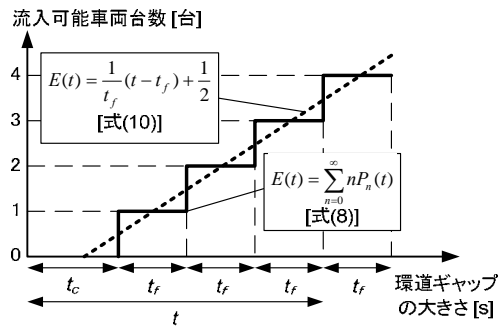


図-6 環道ギャップの大きさと流入可能車両台数の関係

表-2 交通容量推計式のモデル構造

モデル名	ギャップ $t$ の出現頻度 $h(t)$	ギャップ $t$ に流入可能台数 $E(t)$	推計式 C
(a)HCM <sup>10)</sup>	指数分布	離散関数	$C = \frac{q_c e^{-\lambda t_c}}{1 - e^{-\lambda t_f}}$
(b)Siegloch <sup>5)</sup>	指数分布	連続関数	$C = \frac{1}{t_f} e^{-q_c t_c}$
(c)Troutbeck	Cowan の M3 モデル	離散関数	$C = \frac{\alpha q_c e^{-\lambda(t_c-\tau)}}{1 - e^{-\lambda t_f}}$
(d)Wu(HBS)	Cowan の M3 モデル	連続関数	$C = \alpha^n \cdot \frac{n}{t_f} \cdot e^{-q_c(t_c-\tau)}$

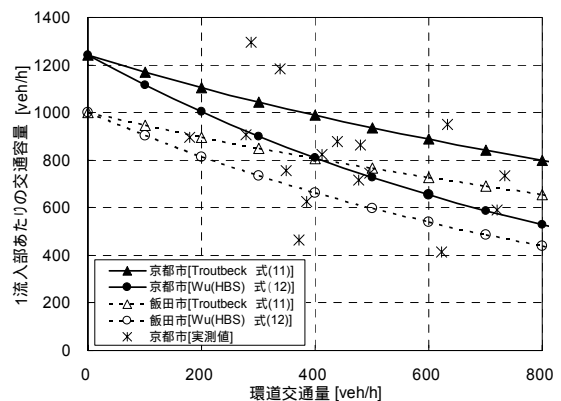


図-7 交通容量推計結果

$$= \frac{\alpha q_c e^{-\lambda(t_c-\tau)}}{1 - e^{-\lambda t_f}} \dots \dots \dots (11)$$

$$c = q_c \int_0^{\infty} h(t) E(t) dt = q_c \int_{t_c}^{\infty} \alpha \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda(t-\tau)} \cdot \frac{t - (t_c - t_f / 2)}{t_f} dt$$

$$= 3600 \alpha \cdot \frac{1}{t_f} \cdot \exp \left\{ -\frac{q_c}{3600} \cdot \left( t_c - \frac{t_f}{2} - \tau \right) \right\} \dots \dots \dots (12)$$

式(11), (12)により, 京都市, 飯田市のC流入部の交通容量を推計した また 推計値と実測値との比較のため,

京都市のラウンドアバウト型交差点で、流入部が飽和状態のとき、1分間に流入した車両台数の計測を行った。これらの1時間換算値を図-7に併せて示す。

まず、京都市と飯田市C流入部の推計結果を比較すると、図-4より、飯田市の方が臨界ギャップ、流入車追従車頭時間共に長いために交通容量は低くなる。

また、交通容量の実測結果より、同一の環道交通量でも、実際に交差点に進入できる車両台数は大きく差があることが分かる。

## 5. ラウンドアバウトにおける速度変化

ラウンドアバウトは、他の交差点制御と比較して車両の速度の抑制が可能という特徴がある。米国のFHWAのラウンドアバウト指南書<sup>11)</sup>によれば、流入部付近で車両に対して最も速度を抑制し、環道車両と安全に合流できるように配慮して、流入部の曲線半径を決定することを推奨している。一方、流出部については、流出車両が減速することにより後続の環道走行車両に影響を与えることの少ない曲線半径とすることを推奨している。以上のことから、欧米のラウンドアバウトの曲線半径をみると、流入部付近の曲線半径が最も小さく、環道、流出部の順に大きくなっている。

京都市のラウンドアバウトは、流入部、流出部とも曲線半径は同一で環道半径より小さくなっている。一方、飯田市のラウンドアバウト型交差点は、流出入口付近に交通島が設置されておらず、車両毎に走行経路は異なる。

本章では、ラウンドアバウトにおける速度抑制効果、及び幾何構造の違いがラウンドアバウト内での速度に与える影響を検証する。速度は、図-8に示すとおり、(1)流入時、(2)環道走行時、(3)流出時それぞれの2断面で取得した。なお、他の車両、横断者の影響を受けていない場合のデータのみを分析対象としている。

### (1) 速度抑制効果の検証

図-9に、速度データ取得結果を示す。流入、流出、環道それぞれの速度を比較すると、京都、飯田とも流入時の速度が最も低くなっており、交差点に進入する車両に対して適切に速度抑制がなされていることが分かる。環道と流出部の速度を比較すると、京都市は、流出時のほうが低くなっている。これは、京都市のラウンドアバウトでは流出部と環道内とでは曲線半径が流出部のほうが小さくなっていることに起因していると考えられる。

### (2) 幾何構造が車両速度に与える影響

両交差点のそれぞれの断面での速度を比較する。まず、流入時、流出時の速度を比較すると、どちらも飯田市のほうが高くなっている。これは、飯田市のほうが横断歩道からゆずれ線までの距離が長い、ゆずれ線までは直線に近いなど、速度を出しやすい要因を含んでいるためである。また、分散に着目すると、京都市に比べ飯田市のほうが大きくなっていることが分かる。これは、飯田市のものは交通島が設置されていないために、車両動線の自由度が大きくなり、ドライバーによって走行軌跡にバ

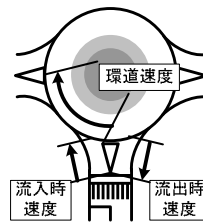


図-8 速度計測断面

表-3 速度サンプル数

	流入	環道	流出
京都	52	28	58
飯田	30	35	34

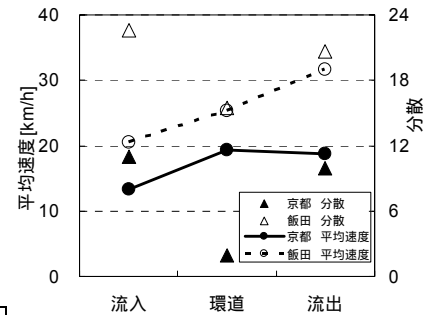


図-9 速度取得結果

ラツキが生じることが要因と考えられる。

また、環道走行時の速度を比較すると、やはり飯田市のほうが高くなっている。これは、飯田市の方が交差点規模は大きいこと、また、環道幅員が広いことが要因と考えられる。

## 6. おわりに

本稿では、ラウンドアバウトの性能と幾何構造の関係を明らかにするため、ギャップパラメータ、車両速度を指標とした感度分析を試みた。

今回は、2交差点での分析にとどまっているが、今後、更に調査交差点を増やし、ラウンドアバウトの大きさ、流入時の角度等が交差点性能に与える影響についても感度分析を行う方針である。

## 参考文献

- 1) 馬淵太樹・中村英樹：車両の交錯リスク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，第25回交通工学研究発表会論文集，pp.45-48, 2005.10.
- 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) Michael. K.: Characteristics of Modern Roundabouts in the United States, A summary of the NCHRP 3-65 operation database, TRB 85th Annual Meeting, 2006.
- 4) Brilon W., Bondzio L.: Untersuchung von Mini-Kreisverkehrsplaetzen (Investigation of Mini-Roundabouts). Ruhr-University Bochum, Germany, 1999.
- 5) Brilon W., Koenig R., Troutbeck R. J.: Useful estimation procedures for critical gaps, Transportation Research Part A, pp161-186, 1999.
- 6) Troutbeck R. J.: Current and Future Australian Practices for the Design of Unsignalized Intersections, Intersection without Traffic Signals, pp.1-19, 1988.
- 7) Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: HBS Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, 2001.
- 8) Kimber, R.M.: The traffic capacity of roundabouts. TRRL report LR 942, 1980
- 9) Richard J.C.: Useful headway models, Transportation Research, vol.9, pp371-375, 1975.
- 10) Transportation Research Board: Highway Capacity Manual, 2000.
- 11) FHWA: Roundabouts an Informational guide, 2000.