

信号交差点における横断歩行者の錯綜現象を考慮した最外側車線の交通流率と流入部交通容量解析手法について*

A Study of the Flow ratio of the Curve lane causing Conflict phenomenon between Pedestrians and Left-turn vehicles at Crossings and the Analysis Method of the Approach Capacity at Signalized Intersections*

河合芳之**・鹿田成則***・片倉正彦****・大口敬*****

By Yoshiyuki KAWAI**・Shigenori SHIKATA***・Masahiko KATAKURA****・Takashi OGUCHI*****

1. はじめに

信号交差点の計画・設計・運用に関しては、従来から多大な努力が払われ様々な取り組みが行われてきた。とりわけ、1969年の「平面交差点の計画設計¹⁾」以降、我が国における信号交差点の交通容量推定手法が整備され、交通の安全と円滑に寄与してきた。しかしながら、現状における信号交差点の推定手法理論は十分に確立されているとはいえず、また運用面においても数多くの課題を抱えている。同時に近年、信号交差点に要求される機能は、交通需要を円滑・安全に処理する機能だけではなく、「道路環境」、「高齢者への快適なサービス」機能などが加わり、これらも充足させるものでなければならない。

本研究では、このような認識に基づき、近年の社会情勢を背景として、信号交差点に関する基本的な考え方および現行の推定方法の抜本的な見直しを図るために、課題の抽出を行うとともに解決に向け、より合理的かつ実効性のある信号交差点における横断歩行者の錯綜現象を考慮した最外側車線の交通流率および流入部交通容量解析手法に関する推定手法の導出について論じる。

2. 研究の背景

現行の信号交差点流入部の交通容量算出手法の考え方は、各車線の捌け終了時間が等しくなるように、車線毎の待ち行列は形成されることを前提としている。この考え方は、流入部単位で見た場合にどの車線であっても1台当りの遅れ時間が等しいとすることに基づいている。このことから、我が国や諸外国の交通容量推定手法^{2),3),4),5),6)}は、上記考え方に基づき、車線単位や流入部単位で交通容量の推定を行っている。

一方、現場を担当する技術者等は、現行の交通容量の推定結果による推定値が過大ではないかとする意見を持つ者もいる。また、信号制御方式の高度化に伴って、現行の流入部単位の推定手法に限界が生じ、現実の交差点運用との推定手法に乖離が生じている。

現状における信号交差点の流入部では、直進車線に大きな待ち行列長が形成される一方、直進車と左折車の混用車線として運用されている最外側車線の利用が低下している状況が散見される。

3. 本研究の目的

本研究は、現状に合致した新しい交差点流入部の交通容量

推定手法の確立を行ったものである。著者らは、これまで、左折飽和交通流率の基本値の推定⁷⁾と横断歩行者等の横断実態モデルの開発⁸⁾等を行ってきた。

本研究では、交差点流入部の最外側車線(直進・左折混用車線)に着目し、最外側車線の実態を表現するモデルの開発を行い、このモデルに基づいて新たな流入部の交通容量の推定手法の確立を図るものである。さらに、流入部全体の交通容量推定手法から車線別推定手法の転換の必要性について定量的に示し、信号制御方式の高度化に対応可能な交通容量推定手法の確立を図ることを意図している。

4. 現行における最外側車線交通容量の推定手法の問題点

現行における最外側車線の交通容量推定手法の考え方は、各車線の待ち行列から流出する車両の捌け終了時間は等しいと仮定している。この仮定に加え、各車線の流出流率は、青時間の間一定であるとしている。この流出流率は、よく知られている飽和交通流率である。飽和交通流率を用いることで、各車線の飽和度($q_{i,j}/C_{a_{i,j}}$)または、正規化交通量($q_{i,j}/S_{i,j}$)が等しい

ことが、各車線の捌け終了時間が等しいことと同値となる(本研究では、同一流入部の各車線の飽和度が等しいことと、各現示の臨界状態にある飽和度が等しいことを等飽和度と表記する)。

しかしながら、現状の最外側車線の流出は、図-1に示すように横断歩行者等の影響を受けており、青の開始時から横断歩道と停止線の間のスペースに左折が滞留する迄の流出と、信号待ちしている横断歩行者等が一層した後に歩行者のギャップを利用して通過する左折交通に依存する流出、最後に横断歩行者用信号が赤となって車両のみに通行権が与えられた時の流出流率である。これら流出流率は、それぞれ異なり更に青時間の間では、流出流率が0となる中断の生じる時間が発生する。

本研究では、はじめに、実態に即した最外側車線の流出流率モデルの開発を行った。

5. 最外側車線流出流率モデルの基本的な考え方

本研究では、図1に示すように、最外側車線の流出流率を実態に即したパターンモデルで構築した(図-1参照)。

パターン1の流出流率(S_a)は、青信号表示の開始とともに横断歩行者等群が横断をしている時、直進車両は、左折滞留可能台数(F 台)の左折車両が出現しても流出可能である。最外側車線の交通流が閉塞される時は、左折滞留可能台数(F) + 1台の左折交通流が出現した時である。 $F + 1$ 台目の左折交通流によって最外側車線の後続交通流が閉塞される迄の時間を T_a とし、この時間に停止線を流出する直進交通流の台数を、 D_r とする。従って、時間 T_a の間に最外側車線の停止線を通過する車両台数は、 $F + D_r$ 台である。流

* キーワーズ: 交通容量, 歩行者, 自転車, 左折交通容量, 信号交差点

** 正員 博(工) 株式会社 公共計画研究所

*** 正員 工修 東京都立大学大学院工学研究科土木工学専攻

**** 正員 工博 同上

***** 正員 博(工) 同上

〒150-0002 東京都渋谷区渋谷3-11-2

TEL03-3407-2055 FAX03-3407-2015

出流率 S_a は、 $S_a = \frac{F + D_T}{T_a}$ である。

パターン2の流出流率 (S_b) は、横断歩行者群等の横断中の時間 T_p のうち、左折車両が $F + 1$ 台出現した後の時間 T_b における最外側車線の流出流率である。横断歩行者等によって閉塞された $F + 1$ 台の左折車両によって、後続の直進・左折車両が閉塞されるため、最外側車線の停止線における流出流率 S_b は、0 である。

パターン3は、横断歩行者群等の横断が終了した時点から始まり、歩行者用信号表示が赤となるまでの時間 T_c の間に出現する最外側車線の流出流率 S_g である。 S_g は、最外側車線の直進飽和交通流率と左折交通流率の混入率で重み付けした流出流率で表され、左折交通流率は、ポアソン確率で到着する横断歩行者等の間隙を縫って通過する左折交通流率 S_{gap} で推定される。

パターン4の流出流率 (S_i) は、歩行者用信号表示は赤となり、車両用信号表示は青である時間 (T_d) における最外側車線の流出流率である。 S_i は、最外側車線の直進飽和交通流率と左折飽和交通流率の混入率で重み付けした流出流率である。

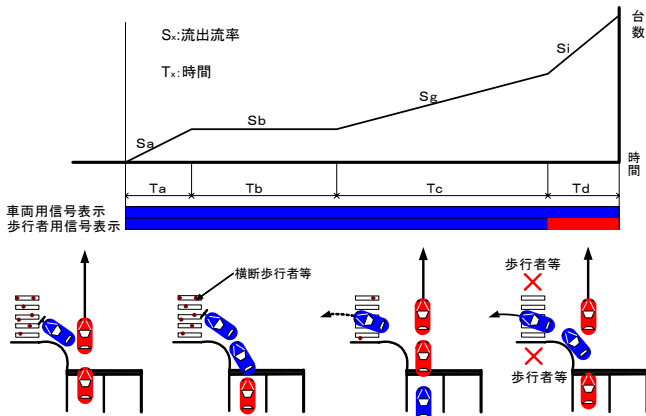


図-1 最外側車線の流出パターン

5.1 最外側車線の青開始から歩行者等による閉塞が発生するまでの流出流率 (S_a)

最外側車線における青開始から歩行者等による閉塞が発生するまでの流出流率 S_g は、以下の考え方で導出している。

青信号表示の開始とともに横断歩行者等群が横断をしている時、直進車両は、左折滞留可能台数 (F 台) の左折車両が出現しても流出可能である。最外側車線の交通流が閉塞される時は、左折滞留可能台数 (F) + 1 台の左折交通流が出現した時である。 $F + 1$ 台目の左折交通流によって最外側車線の後続交通流が閉塞される迄の時間を T_a とし、この時間に停止線を流出する直進交通流の台数を、 D_T とする。従って、時間 T_a の間に最外側車線の停止線を通過する車両台数は、 $F + D_T$ 台

であることから、流出流率 S_a は、 $S_a = \frac{F + D_T}{T_a}$ である。

はじめに、左折滞留可能台数 F を決定する。左折滞留可能台数 F は、図-5.3に示すように交差点流入部毎に異なり、横断歩道のセットバック量と交差道路の流出部幅員によって算定されるものである。しかしながら、左折滞留可能台

数は、横断歩道のセットバック量と交差道路の流出部幅員が同じであっても、流入部によって異なり、定量化は極めて困難である。従って、対象とする流入部に対して左折滞留可能台数を決定するに当たっては、現状の交差点の交差点運用方法を検討する場合には、サイクル当りの平均左折滞留可能台数を観測して決定する必要がある。また、計画・設計時には、横断歩道のセットバック量と交差道路の流出部幅員を考慮し、併せて交通条件等の類似する流入部の平均左折滞留可能台数を適用する必要がある。

次に、左折交通流および直進交通流が閉塞される時間までに、流出可能直進台数 (D_T) を算定する。流出可能直進台数 D_T は、スウェーデン・オーストラリア・米国で用いられている手法を適用した。

$$D_T = P_b^{F+1} \sum_{i=1}^{M-1} \frac{P_d^i (i+F)!}{F!(i-1)!} + M P_d^M \sum_{j=1}^{F+1} \frac{P_b^{F+1-j} (M+F-j)!}{(M-1)!(F+1-j)!} \quad \text{for } P_b > 0$$

ここで、 F = 左折滞留可能台数

$M = S_T \times T_p$ (歩行者による閉塞時間)

P_d, P_b : 直進率, 左折率

最後に、横断歩行者等によって閉塞されるまでの時間 T_a は、上記で算出した左折可能台数 F と直進流出可能台数 D_T が基本飽和交通流率で流出すると仮定して算出した。

$$T_a = \frac{D_T}{S_T} \times \frac{D_T}{D_T + F} + \frac{F}{S_L} \times \frac{F}{D_T + F}$$

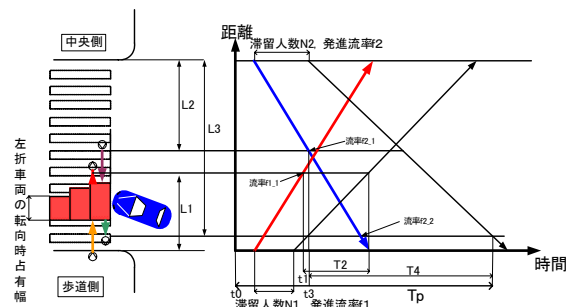
$$= \frac{D_T}{0.56} \times \frac{D_T}{D_T + F} + \frac{F}{1,247 + 145 \log_e R} \times \frac{F}{D_T + F}$$

3,600

最外側車線では、 D_T 台の直進車両と左折滞留可能台数 F 台が横断歩行者等群によって閉塞される時間の間に捌くことが可能な最大台数であることから、この時の最外側車線の平均流率 S_b が算出可能となる。

$$S_a = \frac{D_T + F}{\text{横断歩行者等によって閉塞されるまでの時間}(T_a)}$$

5.2 歩行者群等による左折車両の閉塞時間 (T_p) および最外側車線の閉塞時間 (T_b) の推定について



$$t_1 = \frac{L_1}{\text{先頭者の速度}} + 1 \quad t_3 = \frac{L_2}{\text{先頭者の速度}} + 1 \quad T_p = t_3 - t_0 + T_4$$

$$T_2 = \frac{N_1}{f_{1,1} \times W} \quad T_4 = \frac{N_2}{f_{2,2} \times W} + \frac{L_3 - L_2}{\text{先頭者の速度}} \quad T_b = T_p - T_a$$

図-2 横断歩行者等による左折閉塞時間の推定概念

横断歩道を横断方向に2m単位に分割し、横断距離を変数とする横断歩行者等の拡散を流率で表し、2mごとに左折車両と歩行者の前方・後方ラグおよび左折転向車両の占有幅の合計し

た時間中は左折交通が閉塞されると扱って左折車両の閉塞時間を算出した。

5. 3 左折交通が歩行者等の間隙を縫って通過する時の最外側車線の流出流率 (Sg)

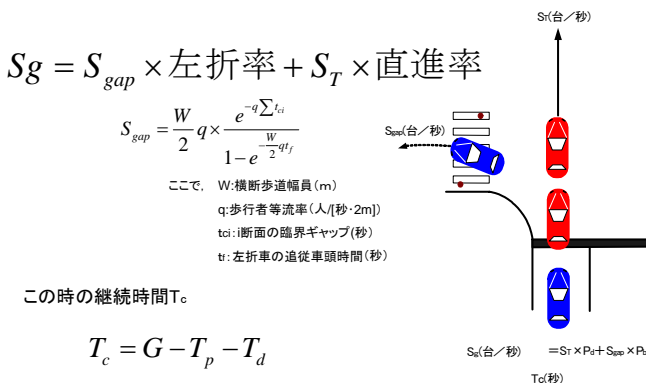


図-3 左折交通が歩行者等の間隙を縫って通過する時の最外側車線の流出流率

左折車両が歩行者等の間隙を縫って通過する時の最外側車線の流出流率 Sg は、直進車両と左折車両を混入率で重み付けした混合流出流率である。

5. 4 最外側車線の歩行者用信号表示の切り替わり時から車両用信号表示切り替わり時に通過する流出流率 (Si)

歩行者用信号表示の切り替わり時から車両用の信号表示切り替わり時、即ち歩行者信号の早切りによるインターグリーンでの最外側車線の流出流率は、直進車両の流出流率と左折車両の流出流率を混入率で重み付けした流率である。

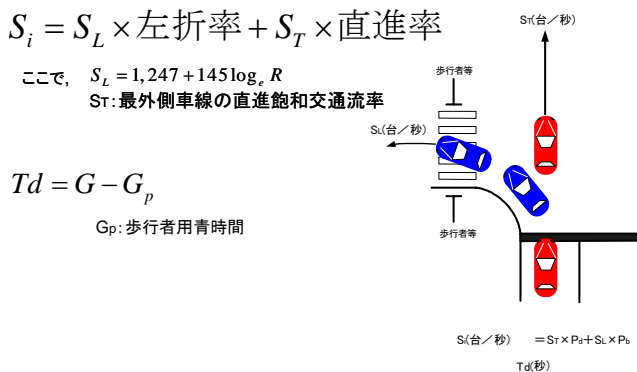


図-4 信号の切り替わり時に通過する流出流率

6 流出パターンモデルによる流出流率と車線交通量の推定手法の導出

信号交差点の設計に当たって、従来、サイクル長は、「遅れを最小」又は「各現示の臨界状態にある飽和度が等しい」とすることで算定している。また、サイクル長を算定するためには、各車線の飽和交通流率と車線交通量の推定が不可欠である。この三者は相互依存の関係にあり、1つを定数と仮定して推定された結果は、最適な結果を与える保証は無いし、通常与えることにはならない。本研究は、各車線とくに最外側車線の流出流率と車線交通量の適正な推定値を算定することに焦点を当てて進めるものとする。従来の考え方と同様に「各車線の1台当りの平均遅れ時間は等しい」と仮定すなわち、「各車線の待ち行列から流出する車両の流出終了時間は

等しい」と仮定する。

本研究では、前節で構築した中断を考慮した最外側車線の流出流率パターンモデルを活用し、流入部の各車線の平均遅れ時間を等しくする手法を導出したものである。本推定手法の概念は、「ドライバーは、流入部の各車線の捌け終了時間が等しくなるような車線を選択を行い、その結果として各車線の到着交通量と流出流率は、算出されるものである。」としたものである。

図5は、従来の手法によるサイクル当りの平均飽和交通流率を使用した平均遅れ時間の推定値と流出流率の中断を考慮した本研究の手法では、捌け終了時間に大きな差異生じることについて図化したものである。

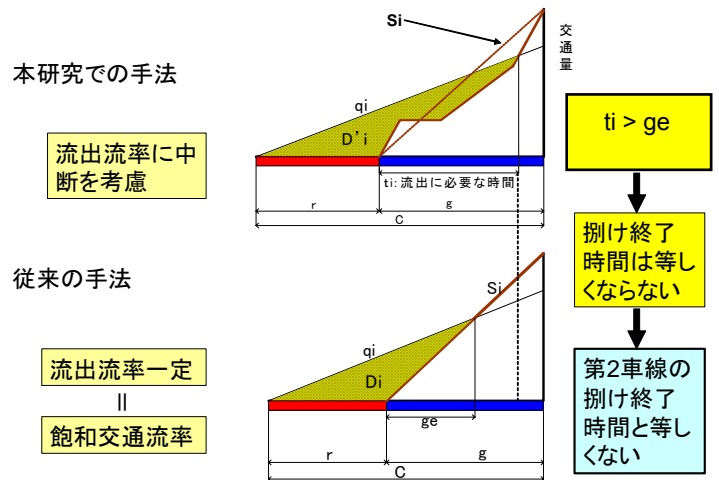


図-5 本研究の手法と従来の手法による差異

7 本研究における交差点流入部の交通容量推定手法の案出

最適サイクル長を設定するに当たって、交差点の正規化交通量λや交差点飽和度Xを推定しなければ最適サイクル長は決定することができない。一方、信号交差点設計時における目的の一つとして交差点の飽和度を算出することにあるため、従来の手法では、様々な工夫がされてきた。従来は、1つの方法としては、最外側車線の飽和交通流率S1を仮設定することによって、暫定的な交差点の正規化交通量λを算定している。この暫定λを用いて算出した仮のサイクル長を用いて、各車線の正規化交通量を等しくするように反復計算(Gauss-Siedeliterative technique)を行い、収束したqi, Siを用いて臨界状態にある流入部の正規化交通量及び交差点の正規化交通量λを算定している。

本研究では、最外側車線の飽和交通流率を用いず、最外側車線の流出流率モデルを使用して、各現示の臨界状態にある直進車線の飽和度が等しくなることを利用した。この時臨界状態にある各流入部では、最外側車線の捌け終了時間と隣接直進車線の捌け終了時間が等しくなる車線単位の到着交通量を算出し、この到着交通量で出現する車線交通容量、流入部交通容量および交差点交通容量を反復計算することで算出する交差点交通容量推定手法を案出したものである。

信号交差点を計画・設計および運用するに際して、サイクル長が既知または決定された条件とした場合の交通容量算出手法を紹介する。この手法による手順を図-7および図-8のフロー図に示す。条件は、2現示制御、片側2車線同士が交差する信号交差点の例である。

「横断歩行者数往復 20 人／サイクル(600 人／時)の左折通過確率は 0.5 程度であるが、現実の交差点における歩行者信号青及び青点減時間帯の左折処理量は、シミュレーションの結果より低いと考えられる。横断歩行者数が多い(往復 20 人程度／サイクル)場合で歩行者青、歩行者青点減では、左折は不可能に近い状態が起きている。」とした指摘もある⁸⁾。

9 実測データによる到着交通量の車線利用率および流入部飽和度の推定結果の比較

本提案モデルと比較を行うために、本研究で得られた歩行者の低減率を用いた等飽和度法により推定した結果と我が国における現行方式²⁾による推定を行い比較した。

比較結果は、表-1 に示すとおりである。

表-1 実測データと推定方式別による車線交通量と流入部飽和度の推定結果の比較

	最外側車線(混用)		第2車線(直進)		流入部飽和度	
	交通量	増減率(%) [※]	交通量	増減率(%) [※]	x_i	対象車線
実測データ	295	-	526	-	0.76	第2車線
本提案モデル	305	3.4%	516	-1.9%	0.74	第2車線
等飽和度法 ^{※※}	351	19.0%	470	-10.6%	0.68	第1・第2車線
我が国の現行方式	410	39.0%	411	-21.9%	0.59	流入部平均

※ 増減率は、実測データを100%とした。
 ※※ 等飽和度法の左折低減率は、本研究の結果のもの

比較結果は、本提案モデルが実測データに最も適合していることを示している。横断歩行者の低減率を同じ条件とし、最外側車線の流出率を一定であるとした等飽和度法は、実測データに比べ、最外側車線の交通量を 19% 過大に推定する結果となり、結果として、交差点流入部の飽和度 x_i を過小に推定することとなっている。また、我が国の現行方式は、本提案モデルと歩行者の低減率が異なることと到着交通量を均等配分して推定する方法を採用しているため、実測データの流入部飽和度との間に大きな差異が生じている。

この結果を踏まえて、本提案モデルの妥当性は確認できた。

10. 結論

左折交通と横断歩行者等による実態の解明を行い、実測調査から得られた左折基本飽和交通流率を用いて最外側車線の流出実態を表現するモデルの開発を行った。さらに、直進交通と左折交通が混用となる最外側車線の交通容量算出手法を導出し、反復計算によって流入部の捌け終了時間が各車線で等しくなる流入部車線別交通量を算出した。本研究で得られた新たな交差点流入部交通容量算出手法は、実測値によく適合することが示された。本研究による推定手法を用いることで、適正な交差点運用方法の選定が可能となり、安全性・円滑性の向上が期待できる。

参考文献

- 1) 交通工学研究会編: 平面交差点の計画設計, 昭和44年12月,
- 2) 交通工学研究会編: 平面交差点の計画と設計-基礎編-, 昭和59年
- 3) Transportation Research Board, Highway Capacity Manual(HCM2000), 2000
- 4) S. Teplý, D.I. Allingham, D.B. Richardson, B.W. Stephenson, Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections, 1995
- 5) Karl-Lennart Bang, Swedish Capacity Manual: Part 3. Capacity of Signalized Intersections, TRR667, 1978
- 6) Akcelik R.; "Traffic Signalized Capacity and Timing Analysis", ARRI23, Australian Road Research Board, 1989
- 7) 信号交差点における轉向半径と轉向角度が左折飽和交通流率に与える影響について, 土木計画学研究・論文集 Vol.19, P739-744, H14.9 河合芳之, 鹿田成則, 片倉正彦, 大口敬
- 8) 信号交差点における左折交通に及ぼす横断歩行者及び自転車の特性と定量化について, 土木計画学研究・講演集 Vol.25, H14.6 河合芳之, 鹿田成則, 片倉正彦, 大口敬
- 9) 横断歩行者の安全確保のための調査研究報告書, (財)日本交通管理技術協会, 平成13年6月

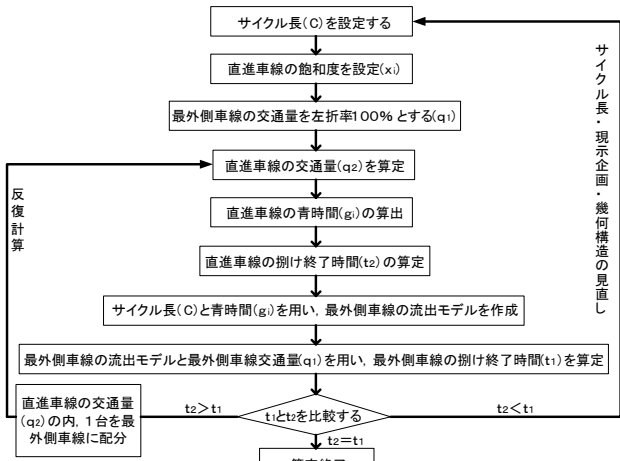


図-7 交差点流入部交通容量推定のフロー

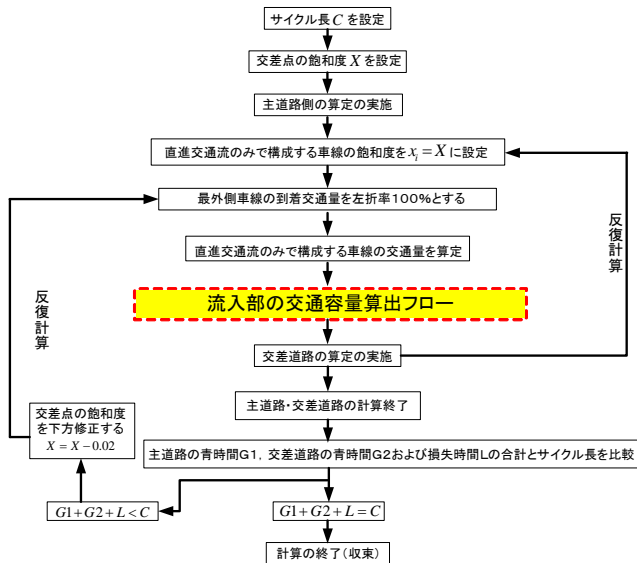


図-8 交差点交通容量推定のフロー

8 横断歩行者等の影響による左折交通流率の低減率比較

本提案モデルの横断歩行者等の影響による左折交通流率の低減率について妥当性検証を行うために、我が国の現行方式による低減率との比較を行った。

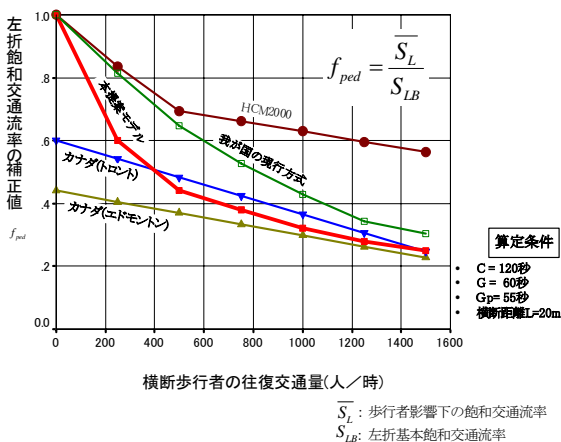


図-9 横断歩行者交通量と左折法交通流率の補正值の変動の比較

この結果、本モデルによる横断歩行者等の影響による左折交通流率の低減率は我が国の現行方式に比べ小さい値となることが明らかとなった。特に歩行者の少ないケースにおける低減率においては、異なる結果を示している。既存研究に、