

IV-13

信号交差点での右折交通流の交錯遅れに関する研究

京都大学工学部 学生員 楊 暁光

京都大学工学部 正会員 飯田恭敬

1. はじめに

道路交差点には多くの交通流が集中する上に、信号により流れを中断させるため、交通の隘路となって渋滞を引き起こす原因の一つとなっている。更に、近年、動的交通誘導管理システムの開発応用が進むにつれ、正確に旅行時間を把握することが重要になってきた。旅行時間には交通流が交差点を通る時間を含み、交差点遅れとも関係がある。ただし、これまでの研究は交錯交通量の変動に応じた遅れの予測や、青信号からの同一現示で右折と直進車の交錯で生じるもう一回の遅れについては分析されていない。本研究では、右折車と直進車の交錯の過程を分析し、実態に適合するモデルを構築する。研究成果は伝統的信号交差点遅れ概念を明確にするのに意義があるだけでなく、交錯交通量の変動に応じた動的交差点遅れ時間の予測や、現示の組み合わせを最適化する場合にも有用である。

2. 基本的な定義とモデルを導く前提条件

(1) 交錯交通流の通行実態

ここでは、次のような交差点を仮定する。流入部は右折専用車線と直進・左折混用車線、対向流入部は左折専用車線と直進・右折混用車線で構成された2車線で、現示は2現示である。右折車の進行は、対向直進車が途切れた時、あるいは現示の移る時の黄・全赤信号時に行われる。それは図-1に示すようなものである。

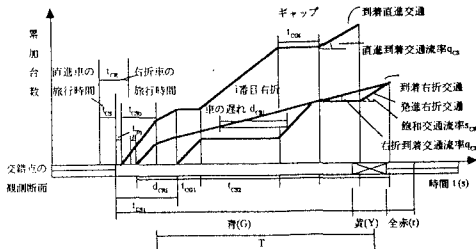


図-1 錯綜点での交通流の到着と発進図

(2) 基本的な定義

交錯遅れとは、交差点において、信号が青に変わったときの交錯交通がない交通流が停止線から交錯点

までの旅行時間と、交錯交通がある場合の旅行時間の差である。本研究では、交錯遅れの一つである右折車と対向直進車との交錯について分析を行う。

(3) モデルを導く上での仮定

(a) 右折車と直進車は同一青信号で進行・交差するとする。

(b) 右折車の進行は、対向直進車が途切れた時あるいは現示が黄・全赤に変わる時に行われるとする。

(c) 流入部への到着はランダム到着であるとする。

(d) 混雑度(到着交通量/交通容量) < 1

3. モデルの導出

(1) 平均待ち時間

図-1 からわかるように、右折車は、最初の対向直進車待ち行列が交錯点を通過した後、即ち、時間 t_{CS0} 経過後、交錯点を通る可能性がある。時間 t_{CS0} 経過後の右折車の到着はポアソン(poisson)過程に従うと仮定すれば、直進車と右折車の合流現象は信号のない優先通行型交差点の車両の合流現象とほぼ同じであると考えることができる。ただし、交差点内で直進交通流中に適当な車頭時間の空きを待つ時間は、通行可能時間より短い。アダムス(W.F.Adams)研究の中間結果¹⁾を利用して、平均待ち時間は

$$w = \frac{(1 - e^{-\lambda\tau})}{\lambda_0 e^{-\lambda\tau}} \left[1 - e^{-\lambda_0 e^{-\lambda\tau} \cdot T} \left(\lambda_0 e^{-\lambda\tau} \cdot T + 1 \right) \right] \quad (1)$$

となる。ここで、 τ : 最小受容ラグ、 λ_0 : 直進車両の到着率、 λ : 時間 T の中で直進車の交錯点への平均到着率、 T : 交差点内で直進交通流中に適当な車頭時間の空きを待つ右折車の最長待ち時間である。

図-1 により、 T は

$$T = G + (Y + r)/2 - t_{T0} - t_{CS0} \quad (2)$$

となる。ここで、 G : 青現示時間、 $(Y + r)/2$: 対向直進車が占有された(黄・全赤)現示時間の平均値、 t_{T0} : 直進車の発進損失、 t_{CS0} : 最初の対向直進車の連続的な待ち行列で交錯点を通った時間、 $t_{CS0} = m_{CS0}/S_{CS}$ 、 m_{CS0} : 連続して到着する対向直進車待ち行列の期待値、 S_{CS} : 交錯点を通る対向直進車の発進の飽和流率である。

(2) 期待値 m_{CS0} の求め方

楊の研究²⁾より方向混合交通流において、いくつかの車両が連続的に到着する確率は式(3)となる。

$$P(m) = \begin{cases} \frac{\beta_S N_{C0} (1 - \beta_S)}{N_{C0} - 1}, & m=1 \\ \frac{\beta_S}{N_{C0} - 1} \prod_{i=2}^m \frac{\beta_S N_{C0} - i + 1}{N_{C0} - i}, & m=2, 3, \dots, \beta_S N_{C0} \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 β_S ：直進・右折混用車線への直進車の混入率、 N_{C0} ：交通信号が青信号になった時に、1車線に対する対向の直進・右折混用車線に生じる待ち行列の平均延長車両数²⁾、 m ：直進車数である。したがって、 m_{CS0} は次の式(4)で求められる。

$$m_{CS0} = \frac{\beta_S N_{C0}}{\sum_{m=1}^{\beta_S N_{C0}} m P(m)} \quad (4)$$

(3)待ち行列で並んで待っている時間も含めた平均待ち時間

式(1)中の $\bar{w}$ は待ち行列で並んで待っている時間を含んでいない。その時間も含めた平均待ち時間は、近似的にはこの待ち行列系がランダム到着で、サービス時間が指数分布に従うとみなすことにより求められる。サービス率 μ^* は、平均待ち時間 $\bar{w}$ の逆数であり、次式で表される。

$$\mu^* = \frac{\lambda_0 e^{-\lambda \tau}}{\left(1 - e^{-\lambda \tau}\right) \left[1 - e^{-\lambda_0 e^{-\lambda \tau} T} \left(\lambda_0 e^{-\lambda \tau} T + 1\right)\right]} = \lambda_0 \rho \quad (5)$$

ここで、 ρ は係数である。青信号時の右折車の交錯点への平均到着率を λ^* とすると、

$$\lambda^* = \frac{Q_R C}{3600(G + (Y + r)/2 - I_T T_0)} = \lambda_R / \theta \quad (6)$$

となる。ここで、 Q_R ：右折車の交通量、 λ_R ：右折車の流率、 θ ：通行可能時間比率である。したがって、待ち行列で並んで待っている時間も含めた平均待ち時間は近似的に式(7)で計算することができる。

$$\bar{w} = \frac{1}{\mu^* - \lambda^*} = \frac{\theta}{\lambda_0 \rho \theta - \lambda_R} \quad (7)$$

4. モデルの分析

ある信号交差点（図-2）に到着する交通流はポアソン（poisson）過程に従うと仮定し、交通制御のパラメータや交通量など既知条件は表-1に記入したとおりである。右折交通流量と対向直進車交通量だけを変えて各組合せの平均遅れを計算すると、次の図-3に表すようなものとなる。図-3を考察すると、以下のような現象を発見することができる。

表-1 信号交差点の既知パラメータ及び値

項目	パラメータ及び値	項目	パラメータ及び値
対向直進車交通量	$Q_A = 800$ (台/1時間)	対向直進車遅延損失	$t_{w0} = 2$ (s)
右折車交通量	$Q_B = 400$ (台/1時間)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
対向直進車混入率	$\alpha_{AB} = 0.5$	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
対向直進車混入率	$\alpha_{AB} = 1.0$	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_A = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_B = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_C = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_D = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_E = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_F = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_G = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_H = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_I = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_J = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_K = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_L = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_M = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_N = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_O = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_P = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_Q = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_R = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_S = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_T = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_U = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_V = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_W = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_X = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_Y = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)
車線幅員	$L_Z = 0.092$ (km)	対向直進車遅延率	$\tau = 5$ (s)

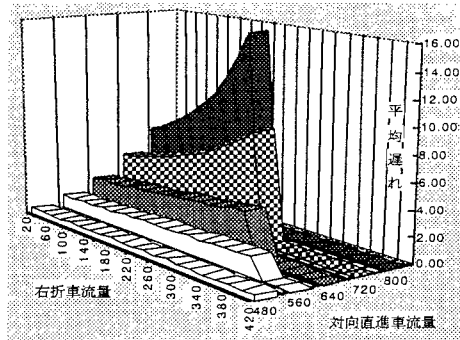


図-3 右折車平均遅れ図

- ①交錯点での右折車の遅れが存在するはずであり、通行可能の青信号時間より短い。
- ②対向直進車流量はある定数であれば、右折車流量が多くなると、平均遅れも増加する。そして、対向直進車流量定数が大きくなると、右折車の平均遅れの増加率も大きくなる。又は、右折車流量はある定数であれば、対向直進車流量が多くなると、右折の平均遅れも増加する傾向が認められる。

5. 終わりに

本研究では右折車遅れモデルを構築し、アダムス(W.F.A dams)モデルを信号交差点の交錯点遅れの計算に応用することができるようになった。そして、対向直進車流量の変化によって右折車の通過可能な時間を動的に決定するモデルも提出された。今後は、更に実際に応用させ、停止線前の右折信号遅れも考慮して、超飽和状態の右折遅れの研究などいろいろ工夫していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 飯田恭敬：交通工学，p.136～138，国民科学社，1992。
- 2) Xiaoguang Yang, Peikun Yang: Simulative Models on Signalized Intersection Stop-line Delay, Journal of Tongji University, Vol. 21, No. 2, pp. 172～173, Jun. 1993.