

IV-13 待ち行列の存在を考慮した系統信号制御パラメータに関する基礎的考察

秋田大学 正 員 清水浩志郎
秋田大学 正 員 木村一裕
秋田大学 学生員 ○孔 永健

1. まえがき

系統信号が交差する路線上において、一時的に過飽和の状態が生じる制御システムを検討するためには交差点の制御と系統の制御を調整しながら、一体的に扱うことが望ましい。本研究は図1に示すように待ち行列の存在を考慮して系統信号パラメータについて理論的な考察を目的としているが、現実には単独過飽和交差点に関する理論的研究も行われていない。そこで本研究では、単独過飽和交差点の制御パラメータについて理論的考察を行い、系統路線が相互に交差する問題について今回は基本的な考え方について述べることにする。

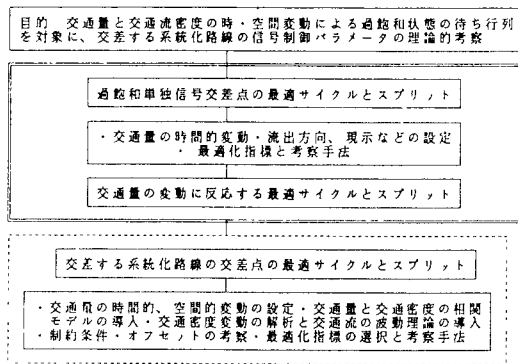


図1 研究のフローチャート

2. 単独信号交差点のサイクルとスプリット

簡略のために、単純な直進交通のみが存在する2現示4流入部の単独過飽和交差点を対象にする。4流入路のうち直進路線と交差路線はそれぞれ一流入路だけの流入交通量が増加してきて、その正規化交通量は最大正規化交通量であると設定する。なお、4流入路ともに交通量が増える時は最大正規化交通量の入れ替えによって適用できる。

基準時点 $t=0$ から i 流入路の流入交通量が式(1)に示すように線形的増えてくると仮定する。

$$Q_i(t) = Q_{i0} + \alpha_i \cdot t, \quad i=1, 2 \quad (1)$$

交差点の飽和度 λ は

$$\lambda = \sum \rho_i = \sum (Q_{i0}/S_i) + \sum (\alpha_i/S_i) \cdot t \quad (2)$$

で、 ρ_i 、 S_i はそれぞれ i 流入路の正規化交通量と飽和交通流率である。 λ は0.9を超えると過飽和とみなされ、その時間 t_c は式(2)によってわかる。 t_c を制御基準時点として、式(1)は

$$Q_i(t) = Q_{ic1} + \alpha_i \cdot t, \quad i=1, 2$$

となる。ここに、 $Q_{ic1} = Q_{i0} + \alpha_i \cdot t_c$ で、過飽和状態の1サイクル目の交通量である。

1サイクル目の累積台数は

$$X_{i1} = \int_0^{T_1} (Q_{ic1} + \alpha_i \cdot t) dt - S_i \xi_{i1} \\ = Q_{ic1} T_1 + \alpha_i T_1^2 / 2 - S_i \xi_{i1} \quad (3)$$

と表し、 N サイクル目の累積台数は

$$X_{in} = Q_{icn} T_n + \alpha_i T_n^2 / 2 - S_i \xi_{in} + X_{i,n-1} \quad (4)$$

となる。ここに、 $Q_{icn} = Q_{icn,n-1} + \alpha_i T_{n-1}$ 、 $N=1, 2, \dots$ はサイクル回数で、 T_n 、 ξ_{in} はそれぞれサイクル長、青時間長である。

制御指標間の関係は(5)式のとおりでである。

$$T_n = \sum \xi_{in} + L, \quad \xi_{in} = \mu_{in} (T_n - L) \\ \sum \mu_{in} = 1 \quad (5)$$

ここに、 μ_{in} は i 流入路の N サイクル目のスプリットで、 L は1サイクル中の総損失時間である。

過飽和交差点の制御方法として、捌ききれない待ち台数の増加率を抑えながら、容量をアップする方法が考えられる。そこで、目的関数をサイクルごとに（総残し台数の平均増加率／総流出台数の平均増加率） (j_n) と表し、これを最小することによってサイクルとスプリットを求める。このとき、 N サイクル目の目的関数は、

$$j_n = \sum \frac{(X_{in} + X_{i,n-1}) / T_n}{S_i \xi_{in} / T_n}$$

式(4)、(5)を利用して、上式は

$$j_n = \sum \left[\frac{Q_{icn} T_n + \alpha_i T_n^2 / 2 + X_{i,n-1}}{S_i \mu_{in} (T_n - L)} - 1 \right] \quad (6)$$

となる。ここに、 $X_{i0} = 0$ である。

変数 T_n 、 μ_{in} ($\sum \mu_{in}=1$) の関数 j_n が極小値をとる必要十分条件は、

$$\begin{aligned} \frac{\partial j_n}{\partial T_n} &= 0 & \frac{\partial j_n}{\partial \mu_{in}} &= 0 \\ \frac{\partial^2 j_n}{\partial T_n^2} &> 0 & \frac{\partial^2 j_n}{\partial \mu_{in}^2} &> 0 \end{aligned}$$

$$\left[\frac{\partial^2 j_n}{\partial T_n^2} \right] \left[\frac{\partial^2 j_n}{\partial \mu_{in}^2} \right] > \left[\frac{\partial^2 j_n}{\partial T_n \partial \mu_{in}} \right]^2 \quad (7)$$

である。よって (7) 式を利用して、サイクルとスプリットは下記のように求められる。

$$T_n = L \left[1 + \left(1 + \frac{2 K_n (\mu_{in}; Q_{icn}; X_{1,n-1})}{F_n (\mu_{in}; \alpha_1)} \right)^{1/2} \right]$$

$$K_n = (Q_{icn} + \omega_n Q_{ecn}) L + (X_{1,n-1} + \omega_n X_{2,n-1})$$

$$F_n = (\alpha_1 + \omega_n \alpha_2) L^2 \quad (8)$$

$$\mu_{in} = 1 / (1 + G_n(T_n; Q_{icn}; \alpha_1; X_{1,n-1}))^{1/2}$$

$$G_n = \frac{(X_{2,n-1} + Q_{ecn} T_n + \alpha_2 T_n^2 / 2) S_1}{(X_{1,n-1} + Q_{icn} T_n + \alpha_1 T_n^2 / 2) S_2}$$

$$= (X_{2,n-1} / S_2 + \int_0^{T_n} \rho_{2nd} T) / (X_{1,n-1} / S_1 + \int_0^{T_n} \rho_{1nd} T)$$

$$\mu_{cn} = 1 - \mu_{in} \quad (9)$$

ここに、 $\omega_n = S_1 \mu_{in} / S_2 \mu_{2n}$ である。式(8)、(9)の共通解はNサイクル目の最適サイクル長とスプリットとなる。1サイクル目について、図2 (1) に(8)と(9)式の共通解を、また図2 (2) には(6)式が共通解で極小値をとるのを図示した。入力数値は $Q_{ic1}=17.6$ 、 $Q_{ec1}=13.3$ 、 $S_1=31.67$ 、 $S_2=30$ 、単位：台/min。 $\alpha_1=1.2$ 台、 $\alpha_2=1.1$ 、単位は台/min²である。

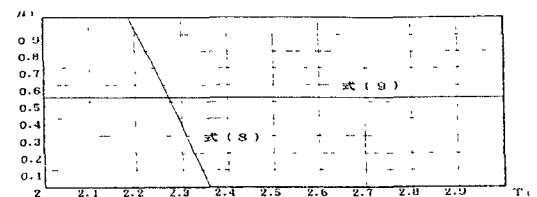


図2 (1) 1サイクル目の最適解

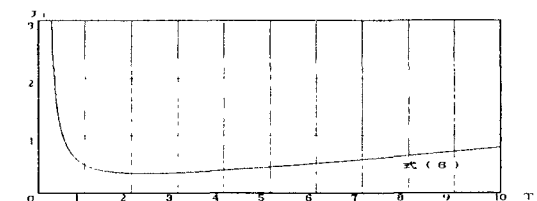


図2 (2) 1サイクル目の目的関数

3. 考 察

上に示した制御パラメータと交通指標の関係式から次のことがいえる。

- 1) サイクルの長さは時間とともに徐々に増加する傾向がある。
- 2) 流入交通需要の増加率 α が比較的大きい場合には、サイクルの長さは著しく減少する。このとき、サイクルが比較的小さい値をとる。
- 3) 非飽和から過飽和まで実用化に向けて検討されているマクロスプリット制御手法のなかに、基本とされる現示スプリットの算定方法は非飽和状態の飽和度比(Webster などの研究)によるものである。すなわち、2 現示の場合を取り上げれば、 $\mu_1 = \rho_1 / \lambda = \rho_1 / \sum \rho_i = 1 / (1 + \rho_2 / \rho_1)$ これに対して、上の式(9)はほぼ $\mu_1 = 1 / (1 + (\rho_2 / \rho_1)^{1/2})$ となり、過飽和状態のスプリットを示すことができた。
- 4) α_1 と α_2 がいずれか0の場合、すなわち1 流入路だけ流入交通が増えるとき、式(9) はその流入路のスプリットが時間的に増加する傾向を示した。すなわち、最適サイクルの上で優先スプリットが自動的に実現される。

4. 二系統の交差点の制御手法の検討

二系統交差点の制御方法について、その考え方を以下に述べる。

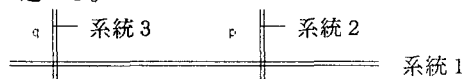


図3 系統の平面図

二つの系統の入口となる幹線道路の交差点p が郊外工業密集地域などの短時間に大量の交通需要が発生するところにある場合に、過飽和時間帯には、まず2. の計算方法で交差点p の最適サイクルとスプリットを決める。次いで系統1 の内部について、①下流側で交差する系統3 の交通量が時間的に増えない場合には、p の整流効果で、従来のオフセット制御を行う。また②系統3 の交通量が時間的に増加する場合には、2. の方法で交差点q の最適サイクルとスプリットを決める。2. の計算式は設定した幾つかの条件のもとで交通量と残し台数の変動にリアルタイム的に反応できるので、サイクルの調節やスプリット優先制御の切り替えなどがある程度自動的に行えらると思える。