

系統信号方式による街路交通制御に関する一考察*

A STUDY ON THE URBAN TRAFFIC CONTROL BY PROGRESSIVE SIGNAL SYSTEM

高田 弘** 栗本 譲***
By Hiroshi Takata and Yuzuru Kurimoto

1. まえがき

最近大都市における街路交通は混雑の極に達し、特に信号交差点での遅滞はその最も大きな原因となっている。これを解決して円滑な交通の流れを確保するため、街路網全体としてその時の交通の特性に応じて機能的にこれを制御する方法、すなわち系統信号方式が次第に各地で採用されつつある。この方式では信号機群の現示時間のずれ(Offset)の設定の方法によって優先方式、平等方式、同時方式等が考えられるが、われわれは本研究において特に平等方式を採用した場合の Offset 設定に関する諸問題について考察し、信号 System の効率を最大にするような最適 Offset を決定するための一方法を紹介しますと同時に、さらに進んでその計算法をプログラム化することにより、このような制御方式を適用する場合容易に電子計算機を利用できるようにした。また従来あまり着目されなかった制御効率の安定性について考察し、交通流の速度、信号機の配置、サイクル時間等の問題がこれに与える影響を明らかにし将来の街路計画および交通管理におけるいくつかの問題点について述べたものである。

ここに提案した方法は各信号機間で期待される交通流の平均速度、両方向の交通量比、および各信号機の現示時間の比率等がそれぞれ異なるような一般的な場合についても十分適用できるもので、電子計算機を有効に併用すれば複雑な街路交通の制御を刻々の交通条件の変化に応じて円滑に実施するため有力な資料を提供しうるものと思われる。

2. Offset と Through Band

同一路線にある $S_0 \sim S_n$ の信号機群を考えた場合、ここを流れる交通流に関する制御効率の良否はこの区間における各車の平均通過時間、各信号機ごとの待ち時間や待ち台数等いろいろの要素によって判定される。しかしここでは従来よく用いられているように、すべての信号機で停止することなく通り抜けることのできる時間の帯、つまり Through Band(通過時間帯)の幅を最大にすることをもって最も効率的であるものと仮定する。

たとえば図-1に例示した信号機群について一方向のみの Through Band を最大にするように各信号機の現示時間を規制すれば図-2に示す結果がえられる。すなわちこの場合、 S_i 信号機に与えるべき Offset はつぎのように計算することができる。

$$\delta_i' = \sum_{j=1}^i \frac{d_{j-1,j}}{V_{j-1,j}T} + \frac{r_0 - r_i}{2} \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 T : サイクル時間(各信号機に共通)

δ_i' : S_0 信号機に対する S_i 信号機の Offset、各信号機とも、赤時間の中央をもって Offset の基準とし T に対する比率で示す。

図-1 信号機の位置 (各信号機の下に数字は青時間と赤時間の百分率を示す)

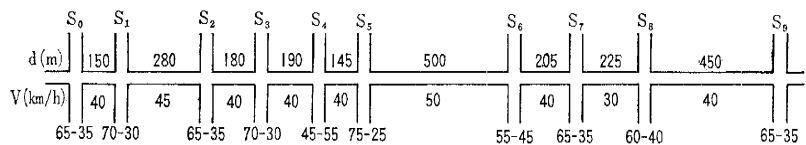
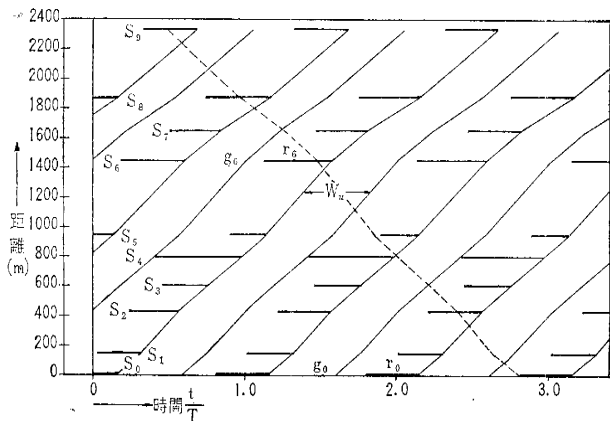


図-2 上り方向の Through Band を最大にする Offset ($T=80$ sec)



* 一部第20回土木学会年次学術講演会において発表
** 正会員 防衛大学校陸上防衛学教室 助教授
*** 正会員 同上 助手

- $d_{j-1,j}$: S_{j-1} 信号機より S_j 信号機までの距離
- $V_{j-1,j}$: $S_{j-1} \sim S_j$ 信号機間の計画速度
- r_i : サイクル時間に対する S_i 信号機の赤時間比

このようにして計算された Offset δ_i' は信号機の位置によっては1以上の値をとることがありうるから改めて Offset δ_i をつぎのように定義する。

$$\delta_i = \delta_i' - [\delta_i'] \dots\dots\dots(2)$$

$$(0 \leq \delta_i < 1)$$

ここで $[X]$ は X の整数部を示す Gauss の記号である。

なお、その他必要な記号を一括してつぎのように規定しておく。

- g_i : サイクル時間 T に対する S_i 信号機の青時間比
- W_u : 上り方向の Through Band 幅 (T に対する時間比)
- W_d : 下り方向の Through Band 幅 (T に対する時間比)
- Q_u : 上り方向交通量
- Q_d : 下り方向交通量

図-2 のように一方向を優先して Offset を設定すれば他方向は全く無視されることになるから両方向同時に考慮するとすればつぎの3つの問題が考えられる。

- (1) 両方向の交通量に関係なく ($W_u + W_d$) を最大にする。
- (2) $W_u = W_d$ という条件下に最大の W を求める。
- (3) $Q_d/Q_u = W_d/W_u$ という条件下に W_u および W_d をそれぞれ最大にする。

(1) のみを考えればいくつかの設定方法が考えられるが実際の問題としては (2) または (3) が妥当であり、この場合の最適 Offset は特定の V および T に対して通常1種類に限定されるであろう。ここではまず (2) の場合の問題を考察し、ついで (3) への展開を試みる。

3. Through Band の幅

δ_i, W_u, W_d はいずれもサイクル時間 T に対する比率として考えるので、いま $S_1 \sim S_n$ の各信号機の位置をすべて S_0 を基準としたつぎの量に変換して考える。

$$\xi_i = \sum_{j=1}^i \frac{d_{j-1,j}}{V_{j-1,j} \cdot T} - \left[\sum_{j=1}^i \frac{d_{j-1,j}}{V_{j-1,j} \cdot T} \right] \dots\dots(3)$$

$$(i=1, 2, \dots, n), (0 \leq \xi_i < 1)$$

したがってすべての信号機の位置は δ_i と同じく1以下の数字で表わされるが、 S_0 信号機との相関関係についてはこの速度とサイクル時間に関する限り実際の場合となんら変わりはない。そこで S_0, S_1 信号機の2つのみについて考えれば 図-3, 4 のような時間-距離図において傾斜 45 度の直線として各車の動きを示すことが

できる。いま r_i の後端およびつぎの r_i の前端を通る軌跡が t/T 軸と交わる点をそれぞれ λ_u, μ_u (下り方向の場合は λ_d, μ_d) とすれば λ, μ の位置は $\xi_i, r_0, r_i, \delta_i$ の大きさによって異なり W もまたこれにともなって変化するが、もちろんいかなる場合も $\min\{g_0, g_i\}$ を越すことはない。また図からわかるように r_0, r_i の間に一定条件を与えた場合、 δ_i と W の関係は ξ_i をパラメータとして簡単に計算することができる。

図-5 はこれらの中で $\frac{r_0+r_i}{2} \geq \frac{1}{2}, r_i \geq r_0$ の条件を与えた場合につき各種の ξ_i に関して δ_i と W の相互変化状態を示したものである。これによれば $W_u = W_d$ なる関係を満足する δ_i の値は通常2つあり、そのうち大きい Band 幅を与えるのは ξ_i の範囲に応じて0

図-3 Through Band (上り方向)

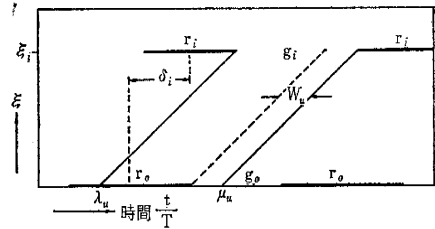


図-4 Through Band (下り方向)

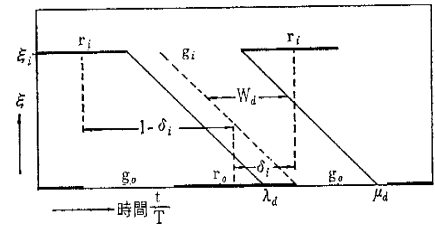
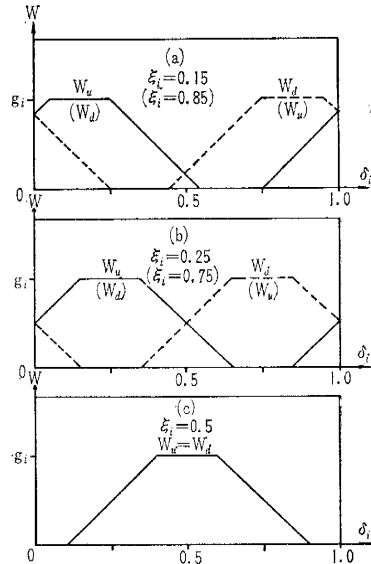


図-5 ξ_i, δ_i, W の関係



または1/2のどちらかである。

これらの関係は r_0, r_i に他の条件を規定した場合についても同じように計算することができる。

4. Normal Offset

S_0 と S_i 信号機の1組について考察した結果、上記の例からつぎのような性質が明らかになった。

(1) $W_u = W_d$ なる条件を満足する Through Band は $\xi_i = 0$ および $\xi_i = 1/2$ で最大となり、その値は $g_i(r_i \geq r_0$ の場合) または $g_0(r_i < r_0$ の場合) に等しい。

(2) この条件下で Through Band を最大にする Offset は S_i 信号機に関してつぎのように与えられる。

$$\delta_i = \begin{cases} 0 & 0 \leq \xi_i < \frac{1}{4}, \quad \frac{3}{4} \leq \xi_i < 1 \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{4} \leq \xi_i < \frac{3}{4} \end{cases} \dots\dots(4)$$

これを以後 Normal Offset と呼び δ_{Ni} で示す。

これらの関係は $S_1 \sim S_n$ 信号機の中の1つと S_0 信号機とのすべての組に対して成立するものであるから、これによってこの信号機群に与える Offset について1つの解を求めることが可能となる。すなわち全信号機に関する Through Band を制約する信号機は通常その中の2個だけであるから $S_1 \sim S_n$ 信号機にすべて Normal Offset を与えた場合、Band の前端と後端を制約する2

個の信号機を見出せばよい。

このため S_0 信号機も $\delta_{N0} = 0, \xi_0 = 0$ として考慮に入れすべての信号機についてつぎのような最大、最小値を与えるものを決定する。

$$\max_i \left\{ \alpha_i + \frac{r_i}{2} - \xi_i \right\} \dots\dots\dots(5)$$

$$\min_i \left\{ 1 + \alpha_i - \frac{r_i}{2} - \xi_i \right\} \dots\dots\dots(6)$$

ただし $\alpha_i = \begin{cases} \delta_{Ni} & \xi_i > 3/4 \\ 1 + \delta_{Ni} & \xi_i \leq 3/4 \end{cases}$

式(5)を満足する信号機が W_u の前端と W_d の後端を規定し、式(6)で与えられるものが W_u の後端と W_d の前端を規定する。この2つを S_a および S_b とすると W は式(5),(6)の差として与えられ、

$$W_u = W_d = 1 - \frac{r_a + r_b}{2} + (\xi_a - \alpha_a) - (\xi_b - \alpha_b) \dots\dots\dots(7)$$

として計算できる。

図-6は図-1の例についてこの方法を適用した結果を示し、この例では $W = 20.6\%$ となる。

5. 最適 Offset

ある信号機群に対し、 W_u, W_d の関係について与えられた条件下で Through Band を最大にする Offset を最適 Offset と呼ぶことにすると、上述の Normal Offset はそのまま最適 Offset となる場合もあるが、必ずしも常にそれが最適 Offset であるとは限らない。そこで、いま Through Band の前後端を決定する S_a および S_b 信号機について $\xi_a > \xi_b$ と仮定する。

この場合 S_0 と S_i 信号機の関係をもそのまま S_a と S_b にあてはめて、

$$\begin{aligned} \delta_{Na} - \delta_{Nb} &= \delta \\ \xi_a - \xi_b &= \xi \end{aligned} \dots\dots\dots(8)$$

としたとき、 δ, ξ が式(4)に示す δ_i, ξ_i の関係を満足するならば Normal Offset はそのまま最適解となるが、むしろそうでないことが多い。

したがっていま Normal Offset の逆転ということを考えてみる。逆転とはつぎのように Offset を変えることを意味する。

$$\begin{aligned} \delta_{Ni} = 0 &\rightarrow 1/2 \\ \delta_{Ni} = 1/2 &\rightarrow 0 \end{aligned}$$

たとえば図-7のように Normal Offset が与えられた場合 g_0 の両端を通る軌跡(点線)を考え、これによってできる Band の前(後)端と r_i の後(前)端との間隔を x_i または y_i とし、 x_i, y_i の符号は Band を狭め

図-6 Normal Offset による Through Band ($T=80$ sec)

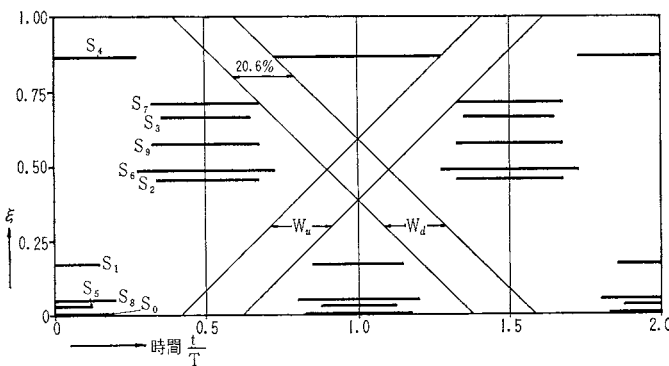
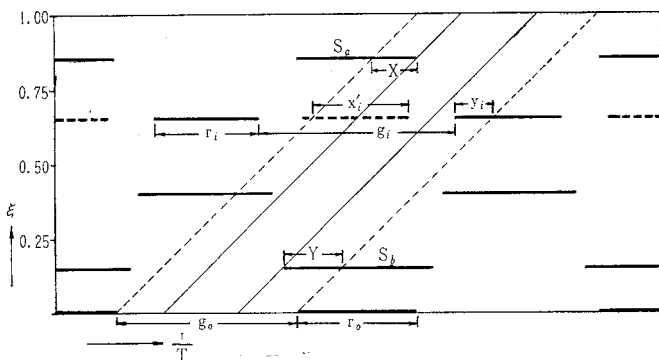


図-7 Normal Offset の逆転



るものを正, 逆なものを負とする。

この場合 Normal Offset の性質より明らかなおとりつぎの関係がある。

$$\begin{aligned}
 y_i \geq x_i & \left(\frac{1}{4} > \xi_i \geq 0, \quad \delta_{Ni} = 0 \right) \\
 x_i > y_i & \left(\frac{1}{2} > \xi_i \geq \frac{1}{4}, \quad \delta_{Ni} = \frac{1}{2} \right) \\
 y_i \geq x_i & \left(\frac{3}{4} > \xi_i \geq \frac{1}{2}, \quad \delta_{Ni} = \frac{1}{2} \right) \\
 x_i > y_i & \left(1 > \xi_i \geq \frac{3}{4}, \quad \delta_{Ni} = 0 \right) \dots\dots(9)
 \end{aligned}$$

したがってそれぞれの信号機について ξ_i の値に応じて x_i, y_i のうち大きい方をつぎのように求めてみる。

$$\begin{aligned}
 y_i &= \frac{r_i - r_0}{2} + \xi_i & \left(\frac{1}{4} > \xi_i \geq 0 \right) \\
 x_i &= \frac{r_i - r_0}{2} - \xi_i + \frac{1}{2} & \left(\frac{1}{2} > \xi_i \geq \frac{1}{4} \right) \\
 y_i &= \frac{r_i - r_0}{2} + \xi_i - \frac{1}{2} & \left(\frac{3}{4} > \xi_i \geq \frac{1}{2} \right) \\
 x_i &= \frac{r_i - r_0}{2} - \xi_i + 1 & \left(1 > \xi_i \geq \frac{3}{4} \right) \dots\dots(10)
 \end{aligned}$$

ここでいま

$$X_N = \max_i \{x_i\} \dots\dots(11)$$

$$Y_N = \max_i \{y_i\} \dots\dots(12)$$

とすれば X_N, Y_N は前述の S_a, S_b に対応し Normal Offset に応ずる Through Band はつぎのように表わすこともできる。

$$W = g_0 - (X_N + Y_N) \dots\dots(13)$$

そこでつぎに Offset の逆転を考え, 逆転によって x_i, y_i が x'_i, y'_i に変わったものとすればこれらの間にはつぎの関係がある。

$$x_i + y'_i = \frac{1}{2} + (r_i - r_0)$$

$$\text{または } y_i + x'_i = \frac{1}{2} + (r_i - r_0) \dots\dots(14)$$

したがって Normal Offset に応ずる x または y が計算されると, これによって Offset を逆転した場合の y' または x' が計算される。

上述の各性質を利用して最適 Offset を求めるには各信号機について Normal Offset に応ずる x_i または y_i を式(10)より求めると同時に Offset を逆転した場合の y' または x' を式(14)によって計算し, これらのすべての組み合わせの中から次式で示されるような最小値をとる組を決定すればよい。

$$\min \{X + Y\} = \min \{ \max_i (x_i, x'_i) + \max_i (y_i, y'_i) \} \dots\dots(15)$$

$$\text{したがって } W = g_0 - (X + Y) \dots\dots(16)$$

6. 計算方法

最適 Offset の計算法を前例について説明する。各信号機の位置, 現示時間の比率, および各信号機間の計画速度が 図-1 のように与えられ, サイクル時間 $T=80$ sec として計算してみる。計算の手順はつぎのとおりである。

(1) 与えられた諸元にもとづいて表-1 の(1)~(6)欄をそれぞれ計算記入し, この ξ_i の値に応ずる δ_{Ni} を求める。

(2) 式(10)によって x または y を計算すると同時に式(14)によってこれに対応する y' または x' を求める。

表-1 の(8),(9)欄では x', y' を()をつけて示している。

(3) (14)欄で x を大きさの順に並べ, これに対応する y は(13)欄に記入される。

(4) まず x の最大値を持つ信号機(この場合 S_0)のみが y の方をとり, 他の信号機はすべて x の方をとるような Offset を考える。この場合はもちろん $Y=0, X=0.477$ として与えられ $X+Y=0.477$ である。

(5) つぎに S_0 信号機もまた y をとるものとすれば $Y=0.073, X=0.446, X+Y=0.519$ となる。この手順を最後までくり返して(15)~(17)欄を完成する。

(6) $X+Y$ の中で最小なるものをえらび(この場合は 0.396), これより上にある信号機はすべて y , その他は x をとるものとする。

表-1 最適 Offset の計算

信号機	(1) 距離 (d) (m)	(2) 速度 (V) (km/h)	(3) $\frac{d}{VT}$	(4) ξ_i	(5) r_i	(6) $\frac{r_i - r_0}{2}$	(7) δ_{Ni}	(8) y	(9) x	(10) 修正 x, y	(11) Offset	(12) 信号機	(13) y	(14) x	(15) Y	(16) X	(17) $X+Y$	(18) 修正 x, y
S_0	—	—	0	0	0.35	0	0	0	(0.500)	y	0	S_0	0	0.500	0	0.477	0.477	y
S_1	150	40	0.169	0.169	0.30	0.025	0	0.144	(0.306)	x	1/2	S_0	0.073	0.477	0.073	0.446	0.519	y
S_2	280	45	0.281	0.450	0.35	0	1/2	(0.450)	0.050	x	1/2	S_0	0.054	0.446	0.073	0.421	0.493	y
S_3	180	40	0.202	0.652	0.30	0.025	1/2	0.127	(0.323)	x	0	S_0	-0.021	0.421	0.073	0.323	0.396	y
S_4	190	40	0.214	0.866	0.55	0.100	0	(0.466)	0.234	x	0	S_0	0.127	0.323	0.127	0.306	0.433	x
S_5	145	40	0.163	0.029	0.25	-0.050	0	-0.021	(0.421)	y	0	S_1	0.144	0.306	0.144	0.290	0.434	x
S_6	500	50	0.450	0.479	0.45	0.050	1/2	(0.529)	0.071	x	1/2	S_7	0.210	0.290	0.210	0.234	0.444	x
S_7	205	40	0.231	0.710	0.35	0	1/2	0.210	(0.290)	x	0	S_4	0.466	0.234	0.466	0.071	0.537	x
S_8	225	30	0.338	0.048	0.40	0.025	0	0.073	(0.477)	y	0	S_0	0.529	0.071	0.529	0.050	0.579	x
S_9	450	40	0.506	0.554	0.35	0	1/2	0.054	(0.446)	y	1/2	S_2	0.450	0.050	0.529	0	0.529	x

(7) この x, y を(10)欄に移し(8),(9)欄の内容と比較し、変わっているものは Normal Offset を逆転し、不変のものそのまま採用する。

(11) 欄は最終的に採用すべき Offset で、この場合 Through Band はつぎのように与えられる。

$$W_u = W_d = g_0 - \min\{X + Y\} = 0.254$$

またこの時 Band の前後端を制約する信号機は S_3 および S_8 である。

上述の手順において(2)で求めた x, y のそれぞれ最大値を用いて計算した Through Band が Normal Offset によるもので、もし(17)欄の $\min\{X + Y\}$ によって求めた値がこれと等しければ Normal Offset がそのまま最適解である。

表-1 の計算結果では 3 個の信号機の Offset を逆転することによって Through Band は Normal Offset の場合にくらべて 4.8% 拡張されたことになる。

このように各信号機間の速度がそれぞれ異なるような場合においてもその速度に応じて ϵ_i を計算しさえすれば速度の大小にもなつてあたかも信号機の位置を変化させて同一速度で通過する場合と全く同じような関係に修正することが可能で、容易に最適 Offset を計算できる。

7. 方向別交通量比を考える場合

これまでの解析では $W_u = W_d$ なることを前提として最大の Through Band を求めたが、もし両方向の交通量に差異があり、一定の比率を示すような場合には、この比率に応じた Band 幅を与えるような Offset を設定することができる。

すなわち、上り方向の Band の前端を制約する信号機 S_a は同時に下り方向の Band の後端を制約しており、 r_a をシフトして W_u を増加することは同じ時間だけ W_d を減少することになる。 W_u の後端を制約する信号機 S_b についても同じ性質があるから、これを利用して交通量 Q_u, Q_d に応じてつぎの値になるように Band 幅を配分すればよい。

最適 Offset として前述の方法で求められた Through Band を $W_u = W_d = W$ としたとき、

$$W_u' = \frac{2WQ_u}{Q_u + Q_d} \quad (W_u' \leq g_m)$$

$$W_d' = \frac{2WQ_d}{Q_u + Q_d} \quad (W_d' \leq g_m) \dots \dots \dots (16)$$

ただし g_m : 全信号機の中の最小青時間(サイクル時間)に対する比率)

したがって $Q_u > Q_d$ の場合は上り Through Band の後端を $W_u' - W$ だけシフトし、 $Q_u < Q_d$ の場合は下り Through Band の後端を $W_d' - W$ だけシフトしてそれぞれ Band 幅を拡大すればよい。ただ W_u', W_d'

とも g_m によって制限されるのでシフトする量にはおのずから制限があるが、 W_u' と W_d' に極端な相違のある場合にはむしろ優先方式を採用すべきであろう。

またこのようにして Band 幅を拡大する場合、Offset をシフトすべき信号機および、それらの移動量 A_i はつぎのようにして与えられる。

まず最適 Offset に応ずる x または y を求める。表-1 の例では(8),(9)欄において与えられるが、Offset を逆転した信号機については()内の数字の方をとる必要がある。

つぎに $x(y)$ をとる信号機についてはその場合の $y(x)$ の値をつぎの関係より計算する。

$$x_i + y_i = g_0 - g_i \dots \dots \dots (17)$$

これらのすべての x, y について改めて

$$X' = \max_i \{x_i\}, Y' = \max_i \{y_i\} \dots \dots \dots (18)$$

とすれば

$W_u' > W_d'$ の場合には

$$A_i = \begin{cases} (W_u' - W) - (Y' - y_i) & W_u' - W > Y' - y_i \\ 0 & W_u' - W \leq Y' - y_i \end{cases} \dots \dots \dots (19)$$

また $W_u' < W_d'$ の場合には

$$A_i = \begin{cases} (W_d' - W) - (X' - x_i) & W_d' - W > X' - x_i \\ 0 & W_d' - W \leq X' - x_i \end{cases} \dots \dots \dots (20)$$

いま前と同じ例について $Q_u/Q_d = 2$ として計算してみる。この場合 $W_u = W_d = 0.254$ であったから式(16)より $W_u' = 0.339, W_d' = 0.17, W_u' - W = 0.085$ となり、これによって計算した結果を表-2に示す。

図-8 の点線は表-2にもとづいて S_0, S_6, S_8, S_9 の 4 信号機の Offset を修正し所要の Band 幅を与えたものであり、図-9 はこの結果を実際の信号機の位置に対応して画いたものである。

8. サイクル時間と速度変動の影響

各信号機間の交通流の速度 V_{ij} およびサイクル時間 T を一定値に定めると、これに応ずる最適 Offset は上述のようにして求められる。しかし交通流の速度は交通

表-2 A_i の計算例

信号機	y_i	$Y' - y_i$	A_i	最適 Offset	修正 Offset
S_0	0	0.073	0.012	0	0.012
S_1	(-0.356)	0.429	0	0.5	0.5
S_2	(-0.050)	0.123	0	0.5	0.5
S_3	(-0.373)	0.446	0	0	0
S_4	(-0.034)	0.107	0	0	0
S_5	-0.021	0.094	0	0	0
S_6	(0.029)	0.052	0.033	0.5	0.533
S_7	(-0.290)	0.363	0	0	0
S_8	0.073	0	0.085	0	0.085
S_9	0.054	0.019	0.066	0.5	0.566

() の数字は式(17)によって計算したものである。

量その他の交通条件の変動によってたえず変化するものであり、サイクル時間もまた交差交通の量等に応じて変更した方が妥当な場合が多い。ところがこれらの変化は当然最適 Offset および Through Band に影響を与えるもので、 V, T の特定の値に対していかに大きな Band 幅が与えられていてもわずかな条件変化によって急激に減少するような Band であれば、實際上その Offset は不適当なものといわねばならない。これに対して Offset

をあまりにひんぱんに変更するということは技術上も困難であろうし、また交通混乱の因ともなりかねない。そこで特定の Offset で一定値以上の Band 幅を保つことを考えた場合、 V, T の変動に関する許容範囲の大小(以下これを **Offset の安定性**と呼ぶ)が問題となる。

いま最も簡単な場合として $S_0 \sim S_8$ の7個の信号機群を考え、すべて同じ現示時間 ($g=r=1/2$) を持ち、全区間を通じて同一速度 V とした場合、 $VT=0.8 \sim 1.0$ (km) すなわち $1/VT=1.0 \sim 1.25$ の範囲の変動に対して Band 幅の変化状態を考察してみる。

まず図-10は $1/VT=1.0$ の場合について求めた Normal Offset で、この場合これがそのまま最適 Offset となっている。

しかし $1/VT$ の値が増大すると x 、および y のいずれをとるか、またその値も次第に変化し、それらの関係は各信号機についてすべて1次式で与えられる。

たとえば S_2, S_5 については $\beta=1/VT$ として

$$\begin{aligned} S_2 \quad y &= 0.73 - 0.5\beta & 1.0 \leq \beta < 1.027 \\ x &= 1.0 - 0.73\beta & 1.027 \leq \beta < 1.25 \\ S_5 \quad x &= 2.0 - 1.98\beta & 1.0 \leq \beta < 1.01 \\ y &= 1.98\beta - 2.0 & 1.01 \leq \beta < 1.136 \\ x &= 2.5 - 1.98\beta & 1.136 \leq \beta < 1.25 \end{aligned} \dots\dots\dots(21)$$

その他の信号機についても同じようにして表わすことができる。また、そのときの $1/VT$ に対応する Normal Offset を逆転して得られる x' または y' についても同様に β との直線関係を規定されるので、これを一括して図-11に示す。

図-11では中央より上方に $x(x')$ 、下方に $y(y')$ をとってあるから、前述の理論を適用すると式(15)を満足するような X および Y は図上でその垂直間隔の最も狭い組として表わされ、しかもその間にすべての信号機の $x(x')$ または $y(y')$ を含んでいる必要がある。図に示す太線がこの関係を満足するもので、点線はそのときの Normal Offset に対し逆転したものに相当する。これによると $\beta=1.05$ までは $\beta=1.0$ で採用した Offset そのままで最大の Band 幅が得られるが、 $1.05 \leq \beta < 1.102$ の範囲では S_2, S_5 の Offset を変えた方が大きい Band が得られることがわかる。このようにして式(16)から、それぞれ最適 Offset に応ずる Band 幅を求めた結果が

図-8 方向別交通量比を考えた場合の最適 Offset (その1)
($W_d/W_u=2.0, T=80$ sec)

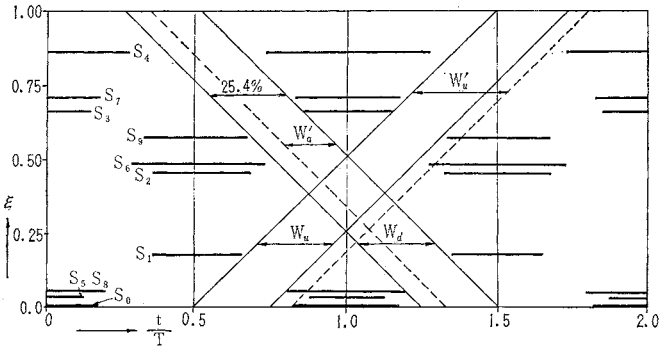


図-9 方向別交通量比を考えた場合の最適 Offset (その2)

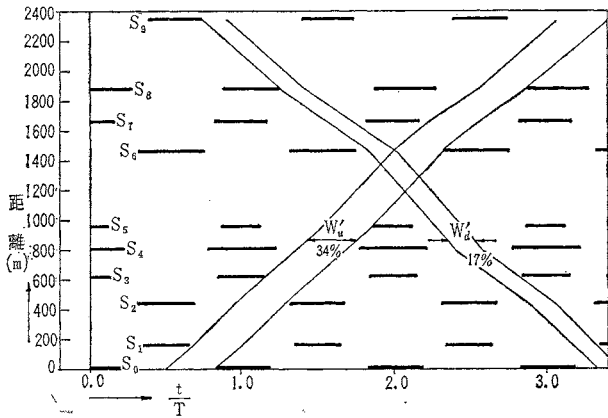


図-10 Normal Offset ($VT=1.0$ km)

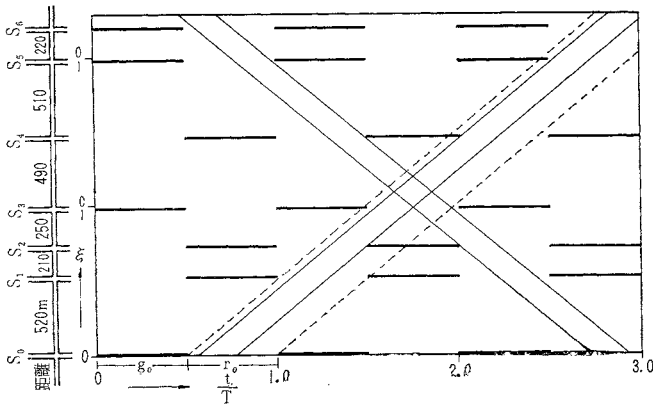


図-12 である。

すなわちこの例では $\beta=1.0$ で 24% の Band 幅が確保できるような Offset を採用しても β が 1.05 を越すともはやこれは最適 Offset ではなくなり、Offset の変更が必要となる。

$\beta=1.0\sim 1.05$ ということは $T=80\text{ sec}$ (0.022 hr) とした場合 $V=43.5\sim 45.5\text{ km/h}$ に相当し、逆に $V=45\text{ km/h}$ と規定すると $T=76\sim 81\text{ sec}$ に当りその許容範囲はきわめて小さい。

そこでこの信号機群について常に最適 Offset を採用して $\beta=1.0\sim 1.25$ の間をカバーしようとするれば 5 種類の Offset が必要となる。もし Offset の変更が制限され

るならば、図-12 に示す結果から最も効率的に広い範囲をカバーできるもの、換言すれば安定性の高い Offset をえらぶことが必要である。

9. 電子計算機の利用

これまで述べた方法によって最適 Offset や Through Band の大きさはもちろん、速度やサイクル時間の変動にもなるそれらの変化についても十分計算することができる。

しかし信号機の数が多くなり、しかもそれらがまちまちの現示時間を持つ場合には計算手続きも複雑となり、特に VT の変化に応じて安定性や効率を求める場合には電子計算機を用いなければ実用的とはいえないであろう。

そのため 6. に述べた方法をプログラム化すれば、簡単に必要な解を求めることができ、いろいろの道路、交通条件に応じて系統信号方式そのものが容易にできることはもちろん、街路計画のための資料を軽易に提供することができる。

図-13 はこのための Flow Chart で、サイクル時間、信号機位置、速度、現示時間について入力情報を与えれば、特定の V, T についての最適 Offset, Band 幅および

V, T の変動に応ずるそれらの変化状態についても計算でき、計算時間はきわめて短く、メモリー 4000 語程度の小型計算機でも十分その目的を達しうる。

いまこのプログラムを利用して図-14 に示すようなやや複雑な信号機群についていろいろの条件変化に応ずる Through Band の変化状態を求めてみる。

(1) 最適 Offset と Through Band

$\beta=0.95\sim 1.45$ の広い範囲について Band 幅の変化を計算した結果につき図-14 に示す ($\beta=0.01$ ごとに計算)。すなわち β の値が変化するのに応じて Band 幅はかなり大きな変動を示すが、もし $\beta=1.18$ に対応する最適 Offset を採用すれば、 β の

図-11 $x(x), y(y)$ と VT との関係

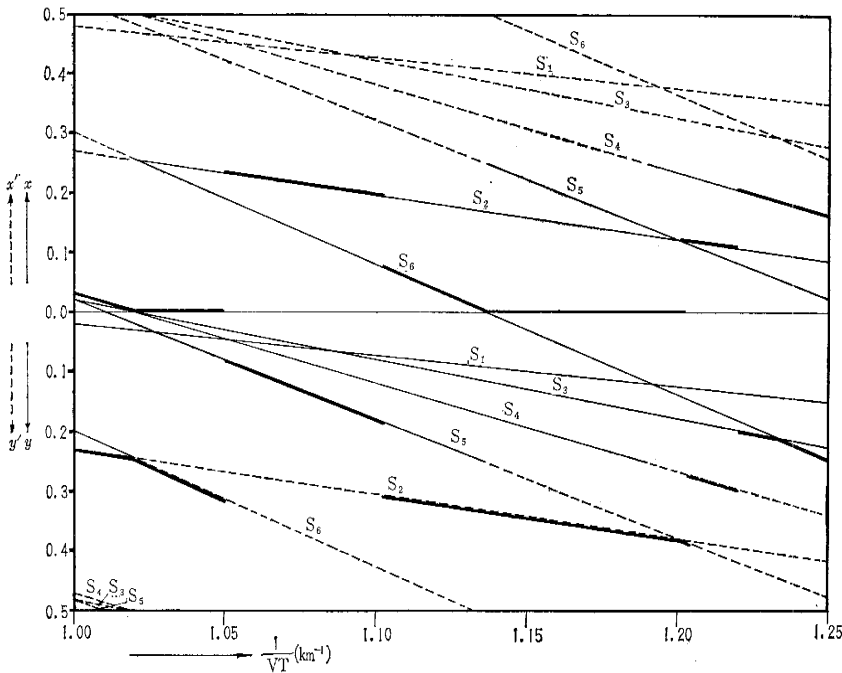


図-12 Through Band 幅と VT の関係

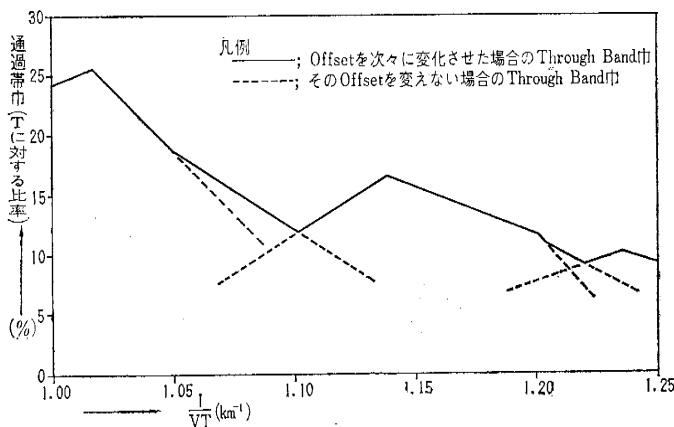
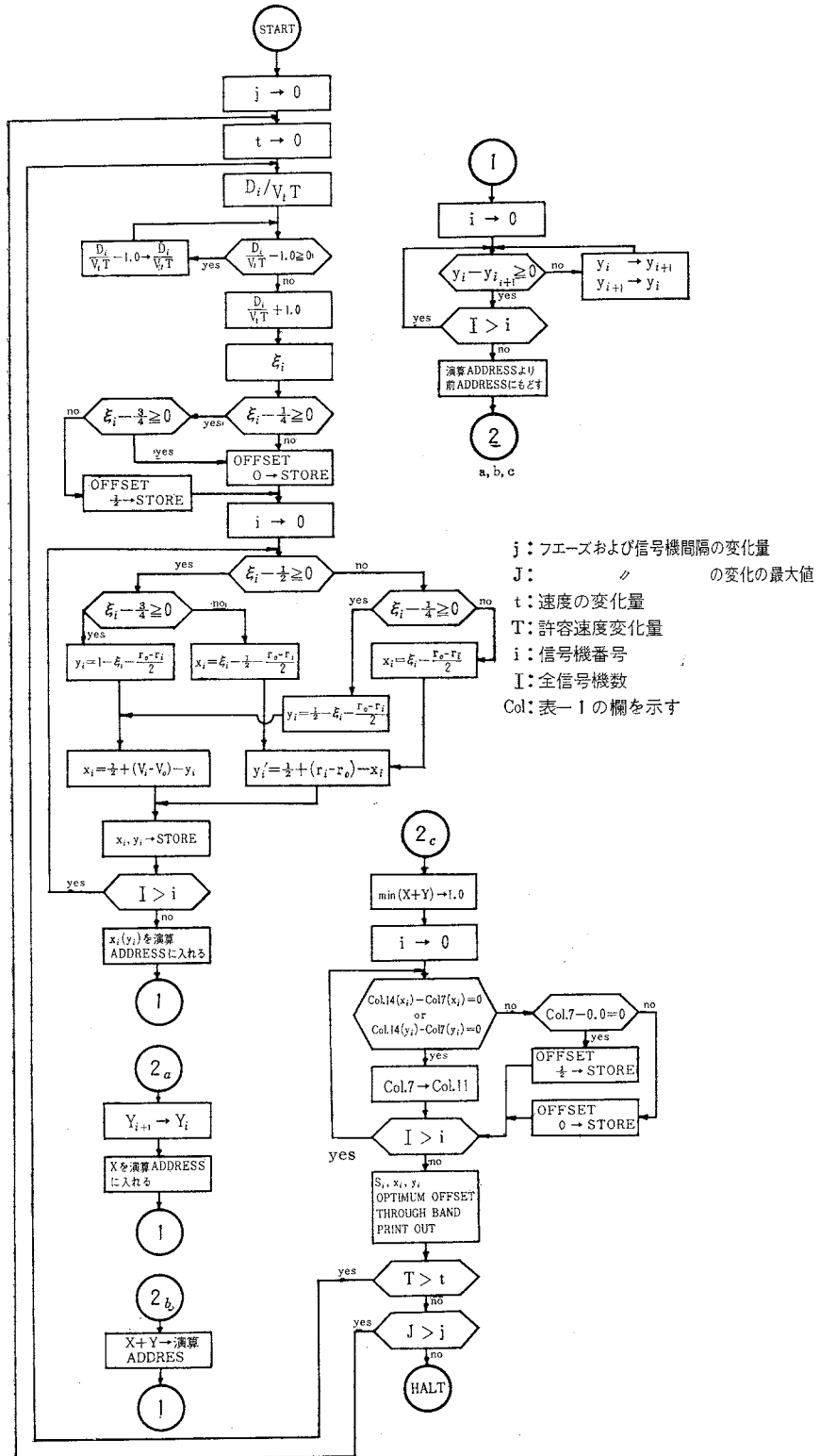


図-13 制御効率計算のための Flow Chart



わずかに変化によって Band 幅は急速に減少するから、もし $\beta=1.05\sim 1.45$ の範囲を 2 種類の Offset でカバーするとすれば、 $\beta=1.11$ および $\beta=1.36$ に応ずる Offset を採用するのが効率的であろう。その値は表-3 のとおりである。

(2) 現示時間の影響

個々の信号機の現示時間は全体の Through Band に大きな影響を持つもので、たとえば S_0 信号機の現示時

間の比率をいろいろに変化させて計算してみると図-15 のようになる。他の信号機についても全く同様に計算できるが、もし、現示時間の決め方に若干の許容範囲があるならば交差交通量のみならず、全体のシステムの効率をも十分考慮に入れてこれを決定すべきであろう。

(3) 速度変化の影響

各信号機間の速度は道路交通条件に応じて必ずしも一定ではなく、差異を与えた方が実情に合う場合が多い。

図-14 Through Band と VT との関係 (計算機による計算結果)

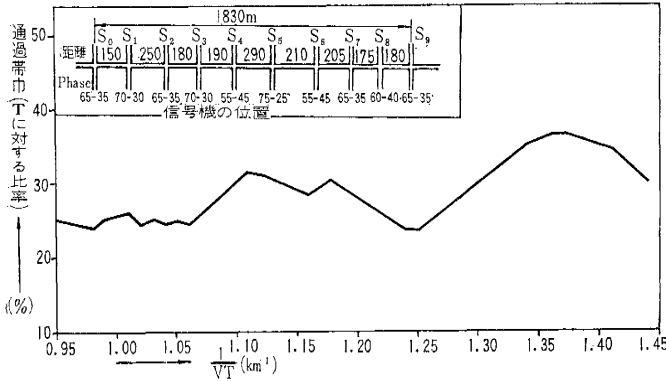


図-15 Through Band 幅と VT の関係 (現示時間の影響)

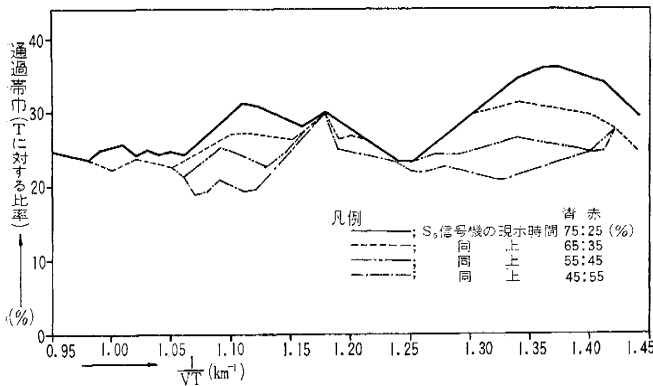


図-16 Through Band と VT の関係 (速度比の影響)

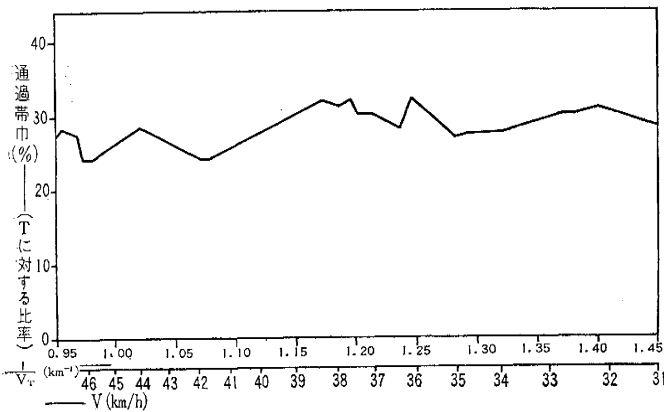


図-16 は $V_{5.6}=V_3$, $V_{2.3}=V_{8.9}=V_2$, その他を V_1 としたとき $V_1:V_2:V_3=1:1.2:1.6$ という条件を与え、その時の全区間平均速度 V に対して Band 幅の変化を求めてみたものである。この程度の変速変化でも図-14 に示す全区間一定速度とした場合の状態と比較して全く変わった変化状態を示すことがわかる。

表-3 最適 Offset

信号機	Offset 1	Offset 2
S_0	0	0
S_1	0	0
S_2	1/2	1/2
S_3	1/2	1/2
S_4	0	0
S_5	0	1/2
S_6	1/2	1/2
S_7	1/2	0
S_8	1/2	0
S_9	0	0
Through Band	31.3~24.4%	36.2~25.0%

10. あとがき

系統式信号 System の効率をもし Through Band のみによって判定するとすれば、少なくとも、最大の Band 幅を両方向の交通量を考慮して確保するための最適 Offset についてはここに紹介した方法によって簡易に求めることができ、また十分実用に耐えるものと思われる。

特に電子計算機を利用することはこれらの手続きをきわめて簡単にすることができるので、将来の街路計画に当ってはこのような検討をも十分実施した上で、街路網の配置、構造等を決定すべきである。また現在の街路交通の管理に際しても計算機を有効に使うことにより時々刻々変化する交通条件に対応して最も効果的な制御方式が採用できるであろう。

ただ Through Band そのものの価値、およびこれを決定するため採用する系統速度等についてはさらに右左折交通量、交差

交通量およびこれらの走行状態を考慮に入れてなお検討を重ねる必要がある。

参考文献

- 1) T.M. Matsonetal: "Traffic Engineering", McGraw-Hill (1955), pp. 324~354
- 2) J.H. Kell: "Coordination of Fixed-Time Traffic Signals", Univ. of California, Inst. Transportation and Traffic Eng. Aug. (1956)
- 3) G.F. Newell: "The Flow of Highway Traffic through a Sequence of Synchronized Traffic Signals", JORSA No. 8 (1960), pp. 390~405
- 4) J. Raus: "A Method of Computing Offset Patterns for Multi-Cycle Signal Systems", Traffic Engineering, May (1963), pp. 25~28
- 5) 埜 克郎・池上慶一郎・有岡 卓: 自動感应式系統整理信号機の設置に伴う京浜第一国道の交通流の調査研究, 科学警察研究所報告, 3号(1962) pp. 11~49
- 6) 植松俊夫・袖崎淑子: 交通制御の問題の統計数理的解析 [I], 統計数理研究所彙報, 9号(1962), pp. 61~80
- 7) 植松俊夫・袖崎淑子: 交通制御の問題の統計数理的解析 [II], 統計数理研究所彙報, 10号(1962), pp. 41~66
- 8) 岸 尚・高田 弘・栗木 譲: 系統式信号 System の Offset に関する一考察 [I], 防衛大学校紀要, 1号(1963) pp. 461~475
- 9) 岸 尚・高田 弘・栗木 譲: 系統式信号 System の Offset に関する一考察 [II], 防衛大学校理工学研究報告, 2号(1964) pp. 109~125

(1965. 3.26・受付)