

交通需要の変動と偏在を考慮した交通信号の系統効果*

Effects of Traffic Signal Coordination Considering Traffic Demand Fluctuations and Inclinations*

城所 貴之**・大口 敬***・片倉 正彦****・鹿田 成則*****

By Takayuki KIDOKORO**・Takashi OGUCHI ***・Masahiko KATAKURA****・Shigenori SHIKATA*****

1. はじめに

都市部幹線街路網における交通流の制御効果を得るために、隣接する交差点同士で信号制御の系統化が行われる。そのため、共通の信号サイクル長(C[秒])と適切な信号タイミングのずれ(オフセットS[秒]またはs[%] = 100 × S/C)の設定が必要である。

しかし、隣接信号交差点間距離(リンク長L[m])と平均的な交通流速度(設定系統速度v[m/s])によって、系統制御による制御効果には大きな違いがある。

$$2L = nCv, \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

$$2L = (2n - 1)Cv/2 \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad (2)$$

リンク長が式(1)を満たす場合は、最適オフセットで信号制御遅れを最小化できるが、式(2)を満たす場合には、設定オフセットによらず総遅れは変わらないため、系統制御の効果が現れない。図1にこのことを模式的に示す。式(1)を満たす場合には、n = 1, 3, 5...では交互式オフセット(s = 50%)で、n = 2, 4, 6...では同時式オフセット(s = 0%)で、それぞれ総遅れを最小化できる。

以上の理屈は、対向両方向(東行/西行)の交通需要が同等な場合に成立する。この場合両方向の遅れが平等化されるので平等オフセットという。一方方向の交通需要が卓越している時には、卓越方向の遅れを最小化するオフセットに設定すればよい。これを優先オフセットとよぶ。多くの放射状街路では、交通需要は時間帯によって変動し、朝ラッシュで上り方向が卓越し昼間には対向両方向が拮抗シ夕方には逆転する。そこで、系統制御効果確保のため通常はある時刻でオフセットが変更されるが、これを急激に変更すると極端に短すぎる赤表示が生じるため、何

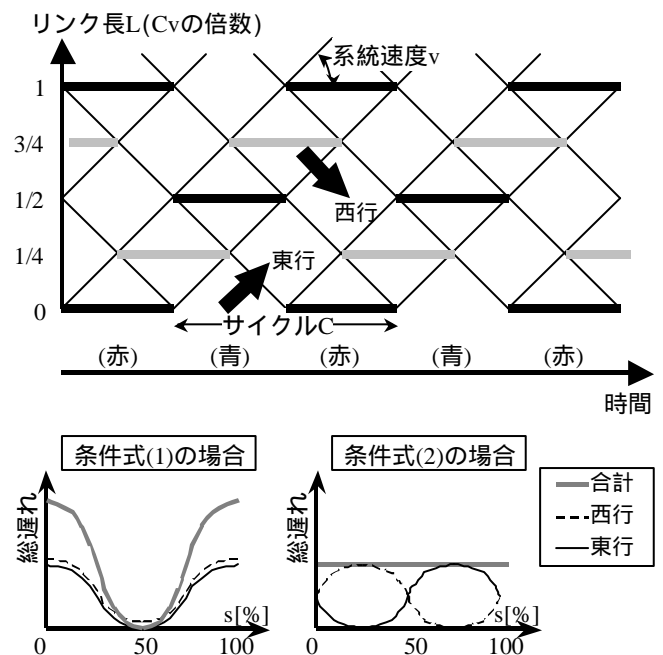


図1 信号の系統制御効果

サイクルをかけて変更される。これをオフセット追従という。しかし交通需要の変動特性に応じたオフセット追従の開始タイミングや要する時間(オフセット追従時間)の設定方法は必ずしも明確ではない。

また、以上の議論は東西方向の交通のみの遅れを考慮した系統制御効果であり、交差(南北)方向から東西へ流入する交通が被る遅れは無視している。しかし実際の街路においては、こうした交差方向からの右左折流入交通量が卓越する交差点や、幹線道路が南北から東西方向へ折れ曲がる街路構成などもある。こうした方向別交通量に偏りのある場合の系統制御効果は必ずしも明確ではない。特に、交通が混雑して信号待ち行列が長くなると、系統速度で走行できる区間長が短くなる効果が生じ、実際の待ち行列長を扱わなければならない。さらに過飽和時には下流ボトルネック交差点からの先詰まりを考慮する必要があり、図1のような単純な検討はできない。

本研究では、街路における信号制御を再現でき、

*キーワード：交通制御，交通管理，道路計画，系統信号制御

** 学生員 東京都立大学大学院工学研究科修士課程

*** 正会員博士(工学) 東京都立大学大学院工学研究科 助教授 (oguchi-takashi@c.metro-u.ac.jp, 0426-77-1111 内線 4545)

**** フェロー 工学博士 東京都立大学 名誉教授

***** 正会員工学修士 東京都立大学大学院工学研究科 助手

その交通流への影響を時々刻々と再現する性能を有する交通シミュレータ AVENUE^{1), 2)}(再現性能について一定の検証済³⁾)を用いて、[1]交通需要の方向別交通量の偏在に対するオフセット制御効果、[2]過飽和流入部を有する交差点を含む場合のオフセット制御効果、[3]交通需要の時間的変動に対するオフセット追従制御効果、について実験的検討を行い、系統信号制御と街路網構成特性に関する整理・検討を行うことを目的としている。

2. 交通需要の方向別偏在時の最適オフセット

(1) 実験概要

解析対象リンクの断面交通を一定とし、シミュレーション実験により上流から対象リンクへ流入交通量の方向別構成比を変えて、方向別交通量の偏在の違いが系統信号制御効果に与える影響を分析する。

図2に、実験対象路線、設定した系統速度、サイクル長C、3パターンのリンク長Lを示す。シミュレーション時間を40分(25サイクル)とし、はじめの5サイクルを除いた20サイクルを解析対象とする。各リンクの断面交通量を一定、流入部の飽和度を一定、交差点の飽和度を0.9(近飽和を想定)、直進流入交通量を一定、上り方向のみ直進流入に対する交差流入の割合は10%、30%、50%の3パターンを設定した(下り方向は直進流入が卓越で固定)。以上の条件より現示の正規化交通量を求め、スプリットを設定した。

オフセットを12.5%毎に8パターン(L=180m、360m時の上り優先オフセットを含む)と、L=270m時の上り優先オフセット(18.75%)の合計9パターンに設定して、感度分析を行う。

(2) 結果分析

a) 交差流入交通が系統効果に与える影響

図3はL=180mの例である。交差流入が0%では優先オフセット(12.5%)で遅れ時間が最小となるが、交差流入が多くなるとオフセット値に対する遅れ時間の変動幅が小さくなり、系統信号制御効果が小さくなることわかる。

b) リンク長別交差流入交通の与える影響

図4は交差流入30%の例であるが、L=180m、270mではあまり系統効果が見られないが、L=360mでは優先オフセット(25%)において遅れ時間が最小

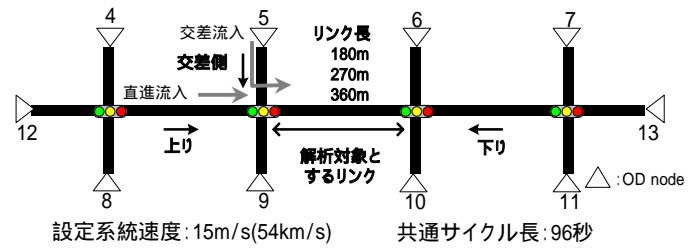


図2 方向別交通需要偏在実験路線

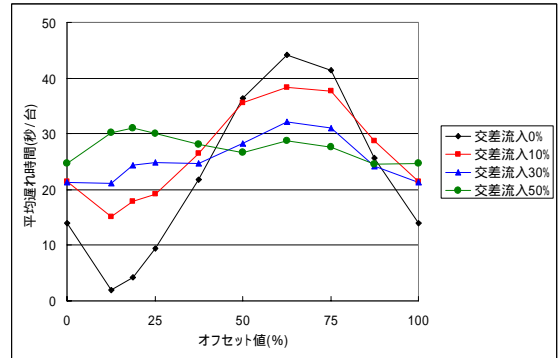


図3 交差流入比率別平均遅れ時間(リンク長 180m)

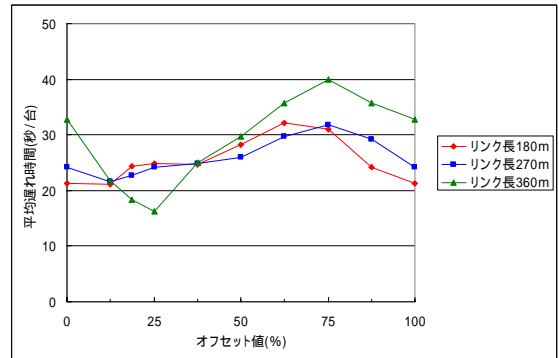


図4 リンク長別平均遅れ時間(交差流入 30%)

化され、系統制御の効果があることがわかる。つまり、リンク長が長いと信号待ち行列の影響が相対的に小さくなって、交差流入交通の影響が小さい。

(3) 総遅れ時間最小となるオフセットの設定方法

交差側流入が少ない場合は、上下両方向の交通量が等しければ、上下方向均等な遅れとなる平等オフセットにすればよい。ただし式(2)を満たすリンク長では系統効果は得られない。また上り方向交通量が下りより卓越していれば、上り優先オフセットとしてよい。いずれも図1の考え方に当る。

一方、上り方向の交差流入比率が高い場合には、上下両方向交通量が均等でも、上り方向が卓越する場合でも、図4のように短いリンク長では上り方向は系統効果がないので、下り優先オフセットにすれば総遅れを最小化できる。つまり交差流入比率が高いと、交通量の多少によらず反対方向を優先オフセットに設定することが最適解となる。

3. 過飽和交通需要時の最適オフセット

(1) 実験概要

図5の下流側交差点をボトルネック交差点とし、上流側交差点で先詰まりを起こす条件で、このボトルネックを原因として生じる遅れ時間の感度分析を、シミュレーション実験により行う。上流側交差点からの流入交通量、流入比率、および下流側リンク長を変化させ、オフセットを10%ずつ変化させて総遅れ時間を計算する。結果の一例として図6に総遅れの構成割合、図7に流入方向別平均遅れ、図8に下流リンク長と下流リンクで費やされる平均遅れの関係を示す。遅れ時間は下流側交差点容量を超える交通需要を発生ノードから発生させた時間帯の車両についてのみ集計している。

(2) 過飽和リンクを含む場合のオフセット設定方法

以上の計算結果にもとづいて、過飽和リンクでのオフセット設定方法には、総遅れ時間最小化 幹線方向優先制御 上流リンクでの遅れ時間平等化制御の3つを考えることができる。

総遅れ時間最小化：純粋に対象エリアでの総遅れ時間を最小にするオフセットを設定する方法で、図5・8より下流側リンクでの総遅れ時間はオフセットによらず変化しないので、上流側リンクでの遅れ時間を少なくするオフセットがこの場合最適である。

幹線方向優先制御：上流側交差点の方向別流入交通量が異なる場合は、交通量の多い方向の車両を優

先して通行させるオフセットにすれば、上流側リンクからのどちらか一方の流入を優先させるオフセットとなる。しかしこの場合、もう一方から流入する車両の平均遅れ時間が大きくなる欠点がある。

上流リンクでの遅れ時間平等化制御：上流交差点への需要比率に応じて遅れ時間を配分し、上流リンクの両流入方向の公平性を保つ制御である。需要比率が1:1で平等な図7の場合、直進・交差の平均遅れ時間曲線の2交点のオフセットを選べばよい。2つのオフセットのうち反対方向(非飽和方向)の遅れ時間が小さいオフセットが最適となる。

このように、過飽和リンクにおいてオフセットに対する遅れ時間の感度分析を行って、3つの信号オフセット設定方法を検討し、目的に応じて各々異なるオフセットを設定する必要があることが分かった。

4. 交通需要の時間変動に対するオフセット追従

(1) 実験概要

図9に対象ネットワーク、片側2車線主道路と交差する片側1車線従道路で、各流入部右折車線を有する3交差点・2リンクの条件を示す。リンク長Lは、上下方向の平等オフセットが0%(L=180m)と50%(L=540m)、オフセットによらず系統制御効果の得られないもの(L=360m)の3パターンとする。

上り卓越から上下方向均等へ交通量の時間変化を設定する(図10の下側は1つのシミュレーションの例)。右左折率、流入部の飽和度、および各リンクの断面の交通量を一定とし、現示の正規化交通量よりスプリットを求める。交差点飽和度が0.8(混雑時)と0.6(混雑度が低い)の2パターンの交通需要とし、シミュレーション実験によりオフセット追従時間・タイミングに対する遅れ時間の感度分析を行う。

表1に例示するように、交通量変動に合わせて、上り優先オフセットから平等オフセットへ変更するオ

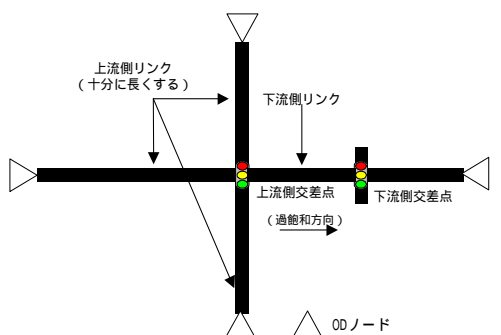


図5 過飽和実験路線

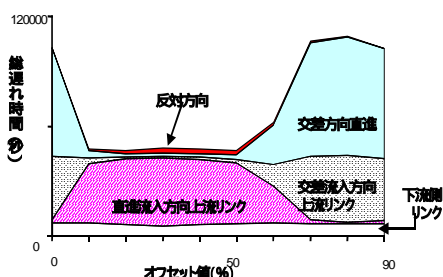


図6 対象エリアの総遅れ

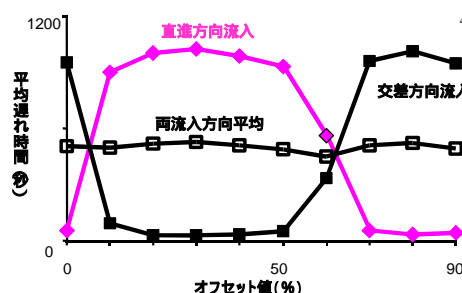


図7 流入方向別平均遅れ

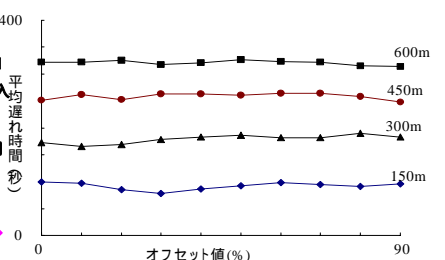


図8 下流側リンク長と平均遅れ

フセットの変更パターンを設定する．シミュレーション時間を2時間(75サイクル)とし，はじめの5サイクルを除いて解析を行う．

表 1 オフセットパターン変更例(リンク長 180m 時)

オフセット追従前後	Node 0	Node 1	Node 2
前(上り優先オフセット)	0%	12.5%	25%
後(平等オフセット)	0%	0%	0%
オフセット変更量	±0%	-12.5%	-25%

(2) 結果分析

a) オフセット追従時間が交通に与える影響

図 10 のように交通量が変化する時間帯の中間時刻にオフセット追従の中間時刻を合せて，追従時間長による感度分析を行った．オフセット追従 1・2 サイクルでは，追従時または追従直後に図 10 のような大きな遅れが生じる場合があるが，4 サイクル以上ではそのような例は見られない．また全体の平均遅れ時間は追従時間長によらずほとんど差は見られなかった．短い追従時間長による交通への継続的な悪影響も確認されず，オフセット追従時間は 4 サイクル程度でも構わない可能性が示唆できる．

b) オフセット追従の開始時刻が交通に与える影響

オフセット追従の開始時刻を交通量変動の開始 / 完了時刻に合せた場合には，交通量変動開始時には上り方向交通量がまだ卓越しているため，この時点で急に平等オフセットに切替えると遅れが大きくなる．したがってこの場合はオフセット追従時間を長くするほうがよい．逆に上下の交通がほぼ等しくなってからオフセットを変更した場合には，その時刻まで上り優先オフセットを維持しているために遅れが大きくなっており，速やかな追従が望ましい．

つまり，オフセット追従を開始する時刻における交通量の状態に応じて，最適なオフセット追従時間は異なることが分かる．実際の交通量変動特性は，毎日変化しているものと考えられ，定時でオフセットを切替える場合には，交通量状態に応じて追従時間を調整すると遅れを減少できる可能性がある．

5. おわりに

幹線方向に対して交差方向からの流入交通量が有意に大きい場合には系統制御の効果が得られにくく，対向方向優先オフセットが最適であることが分かった．これはこうしたリンクでサブエリア分割してもよいことを示唆する．また過飽和時のオフセット設

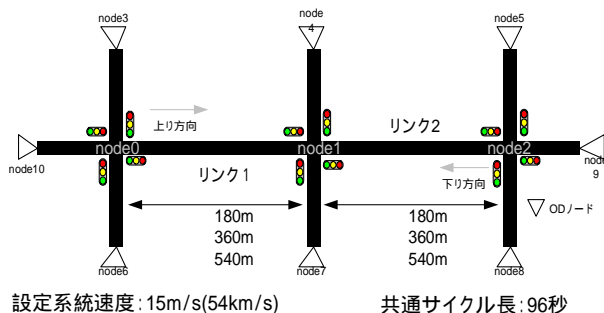


図 9 オフセット追従実験路線

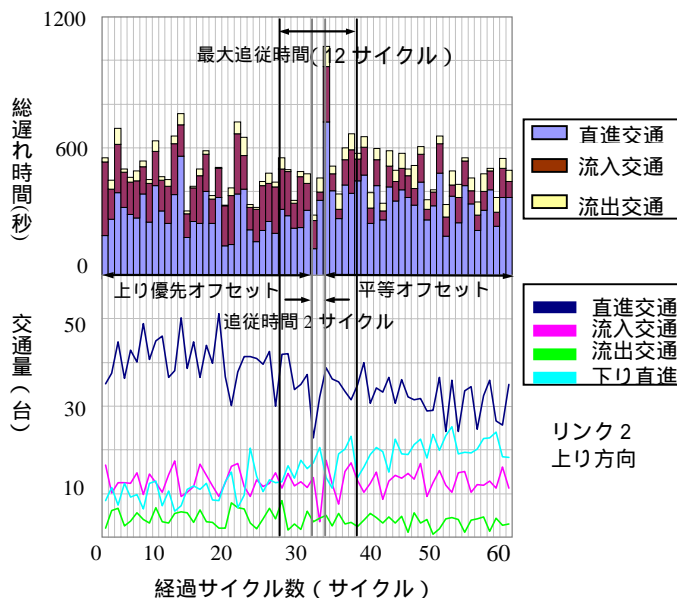


図 11 L=540m, 追従 2C, 交差点飽和度 0.8 の例

定に関する3つの制御方策を整理した．さらにオフセット追従の開始時刻と追従時間長に関して，追従時間が短くできる可能性を示唆することができた．しかし今後の検討の余地も多く残されており，こうした検討にあたっては，本研究で行ったシミュレーション感度分析が一つの有効な手法と考えられる．

なお本研究は堀口良太氏((株)アイ・トランスポート・ラボ)にご指導を頂くと共に，実験解析には藤井裕氏(東日本旅客鉄道(株))，荒井健太氏(藤沢市)にご尽力頂いた．ここに深謝の意を表す．

参考文献

- 1) R. Horiguchi, M. Kuwahara, M. Katakura, H. Akahane and H. Ozaki : A Network Simulation Model for Impact Studies of Traffic Management 'AVENUE Ver. 2', Proceedings of the Third Annual World Congress on Intelligent Transport Systems, Orlando, CD-ROM, 1996.
- 2) 藤井裕, 片倉正彦, 鹿田成則, 大口敬:信号系統制御評価のための街路網交通シミュレーションモデル~ AVENUE~ の利用について, 土木学会年次学術講演会概要集, No.52-4, pp.262-263, 1997.
- 3) <http://www.i-transportlab.jp/products/avenue/verification/index.html>