

連続流体モデルによる系統信号路線のシミュレーション

山口大学大学院 学生会員○樋口 貴幸
山口大学工学部 正会員 久井 守
日立ソフトウェアE(株) 豊田 洋一

1. はじめに

本研究は信号交差点を含む一般道路を対象とし、連続流体モデルで交通密度分布を再現することを試みたものである。このモデルのこれまでの研究^{1), 2), 3), 4)}に基づいて、本研究では信号交差点が連続する1本の系統信号路線を対象として、信号交差点の青信号開始時に発生する発進波の上流への伝播速度と、先頭車の下流への走行速度の再現性に特に着目した。また $q-k$ 曲線と交通密度分布との関係について考察したほか、オフセット最適化について検討した。

2. 交通流の再現方法

本研究では、対象路線を10m程度の小区間(セグメント)に分割し、各セグメントの交通密度をスキャンタイム Δt ごとに更新し、対象路線の時間的空間的な交通密度分布を再現する。各セグメントの交通密度の変化は上流セグメントからの流入量と下流セグメントへの流出量から求める。時刻 t においてセグメント i からセグメント $i+1$ に移動する交通流率 f_i は井上の方法⁴⁾に基づき次の4ケースに分けて求める。ただし道路条件は一様とする。

1) 上・下流セグメントがともに非渋滞流のときは

$$f_i(t) = q(k_i(t)) \quad (1)$$

2) 上・下流セグメントがともに渋滞流のときは

$$f_i(t) = q(k_{i+1}(t)) \quad (2)$$

3) 上流側が非渋滞流、下流側が渋滞流のときは

$$f_i(t) = \min\{q(k_i(t)), q(k_{i+1}(t))\} \quad (3)$$

4) 上流側が渋滞流、下流側が非渋滞流のときは

$$f_i(t) = q_{\max} = q(k_c) \quad (4)$$

ここで、 k_c は臨界密度、 q_{\max} は最大交通流率である。 f_i は上流側セグメントの存在台数より大きく、下流側セグメントの飽和密度 k_j に対する余裕分より小さくなければならないので、 f_i には次式に示す制約を設ける。ただし Δx はセグメント長である。

$$f_i \Delta t = \min\{f_i \Delta t, k_i \Delta x, (k_j - k_{i+1}) \Delta x\} \quad (5)$$

発進波の伝播速度 v_s と自由速度 v_f はあらかじめ設定し、この速度で発進波と先頭車がセグメント間を伝播するようにする。すなわち、発進波が到達していない飽和セグメントからの流出量はゼロとし、また先頭車が到達するセグメントは自由速度で到達できるセグメントまでとなるように制約をつける。

3. $q-k$ 曲線と交通密度分布の関係

発進波の伝播速度は、 $q-k$ 曲線の k_j における接線勾配となる。例えば $k-v$ 式を Greenshields のような1次式と仮定すると、 $q-k$ 曲線は2次式となり、 k_j における接線勾配は自由速度に等しく、実際の観測で得られる発進波の伝播速度(20km/時前後)を大きく上回り再現性が悪い。そこで例えば Fig.1 のような三角型の $q-k$ 曲線を仮定し、これを用いて1つの信号交差点付近を対象としてシミュレーションを行った結果は Fig.2 のような密度分布となった。発進波の下流側ではどのセグメントも臨界密度となる。また Fig.3 のように $q-k$ 関係を関数表で与え、これを用いてシミュレーションを行った結果、Fig.4 のような密度分布が得られた。Fig.2 および Fig.4 は青開始10秒後の密度分布である。これらを求めるのに用いた計算条件は次のとおりである。

総セグメント数=40, $\Delta x=10\text{m}$, $\Delta t=0.5$ 秒

$k_j=0.15$ 台/m, $v_f=16.7\text{m/秒}$, $v_s=5.6\text{m/秒}$

信号位置=第20セグメント(200m地点)

サイクル長=100 秒

青時間=60 秒

赤時間=40 秒

三角型 $q-k$ 曲線: $k_c=0.375$ 台/m

$q_{\max}=0.625$ 台/秒

関数表 $q-k$ 曲線: $k_c=0.06$ 台/m

$q_{\max}=0.424$ 台/秒

到着交通量: q_{\max}

初期交通密度: 全セグメント 0 台/m

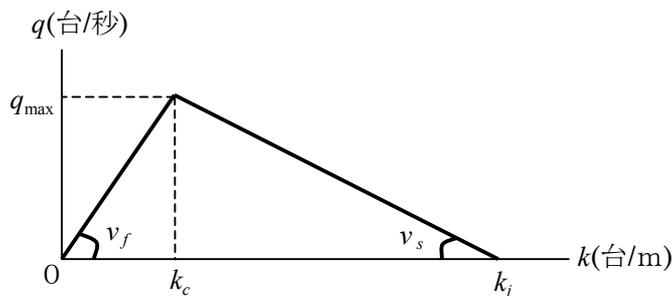


Fig.1 三角型の $q-k$ 曲線

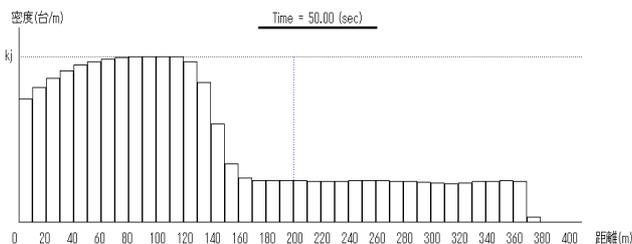


Fig.2 三角型 $q-k$ 曲線を仮定した場合の密度分布

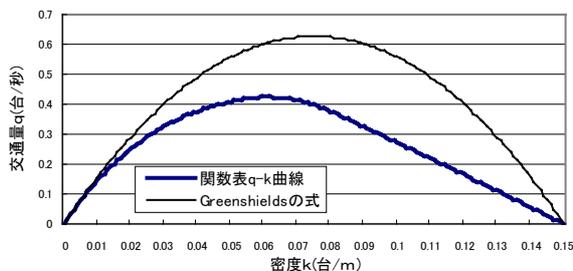


Fig.3 関数表で与えた $q-k$ 曲線

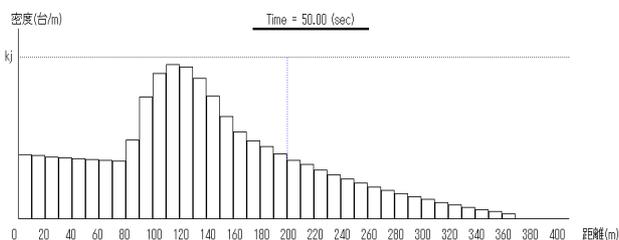


Fig.4 関数表 $q-k$ 曲線を仮定した場合の密度分布

4. 過飽和時の遅れ最小化オフセット

いま Fig.5 に示すような3信号2リンクからなる系統信号路線のシミュレーションを行い、その結果から遅れ最小化オフセットについて考える。この計算例では信号2の青時間を短くし、その交差点を先頭にして上りおよび下りの両方向とも渋滞が発生するような条件とした。シミュレーションの結果から、2つのリンクの上り下り両方向の総遅れ時間の等高線を求めそれを Fig.6 に示す。最適オフセットは $x_1 = 0.68$, $x_2 = 0.32$ となった。この結果は、上りと下りのうち一方が過飽和で他方が非飽和となるような交通状況では、非飽和方向を優先するようなオフセ

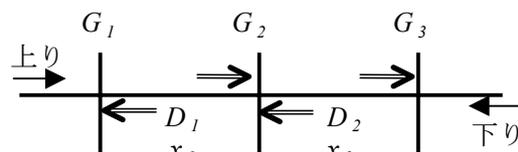


Fig.5 対象道路

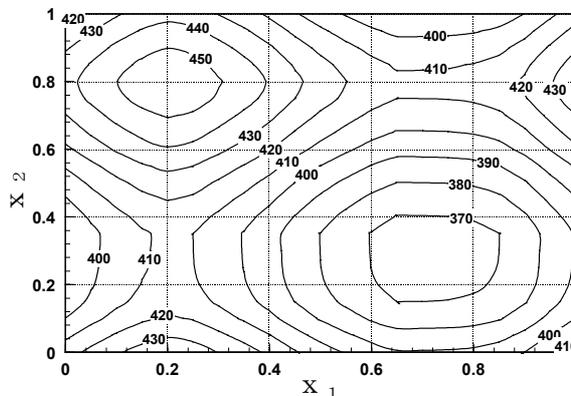


Fig.6 総遅れ時間の等高線図

ットが最適であることを示している。計算条件は次のとおりである。

総セグメント数=100, $\Delta x = 10\text{m}$, $\Delta t = 0.5$ 秒

$k_j = 0.15$ 台/m, $v_f = 16.7\text{m/秒}$, $v_s = 5.6\text{m/秒}$

リンク長 $D_1 = 300\text{m}$ ($\tau_1 = 0.33$)

$D_2 = 300\text{m}$ ($\tau_2 = 0.33$)

サイクル長=100 秒

青時間 $G_1 = 60$ 秒, $G_2 = 40$ 秒, $G_3 = 60$ 秒

関数表 $q-k$ 曲線: $k_c = 0.06$ 台/m

流入需要量は上り, 下りとも $q_{max} = 0.424$ 台/秒

5. むすび

本研究では、連続流体モデルで系統信号路線の青信号開始時に発生する発進波と先頭車に着目して交通密度分布の再現を試みた。その結果、仮定する $q-k$ 曲線によって密度分布が異なることがわかった。また小規模路線を対象として遅れ時間最小化オフセットを求めた。

参考文献

- 1) 久井守, 岡本哲典: 重交通時を対象としたシミュレーションモデルと交通信号系の最適制御について, 山口大学工学部研究報告, Vol.38, No.2, pp.91-96, 1988
- 2) 尾崎晴男: 街路網信号制御の評価シミュレーションモデル (DESC), 交通工学, Vol.24, No.6, pp.31-37, 1989
- 3) 桑原雅夫, 吉井稔雄, 堀口良太: ブロック密度法を用いた交通流の表現法について, 交通工学, Vol.32, No.4, pp.39-43, 1997
- 4) 井上博司: 連続流体モデルによる混雑したネットワーク交通流の動的シミュレーション手法, 土木学会論文集, No.569/IV-36, pp.85-94, 1997