

# 交通流解析の CAE 構築

—信号制御による渋滞低減効果—

上野 篤司 加藤 征三 久連石 一毅  
(三重大学大学院) (三重大学) (日立製作所)

## 1. 緒 言

現在、自動車台数の増加と非現実的な交通施策のために交通渋滞は慢性化している。それに伴う交通事故や環境・エネルギー問題といった世界的規模の問題も深刻化している。この問題を現在のインフラのままでは解決するには、信号制御や一方通行などの交通管制の改善が最も有効であると考えられる。そこで、その交通管制効果を高速かつ定量的に表すために、交通流シミュレーションは非常に有効な手段であり、様々な交通管制を模擬することで交通対策や道路計画等に寄与することができる。

本論文では、短時間で効率的に種々の交通運用計画を立てることを可能とする、高機能で知的な高度道路管制に関する CAE を構築することを目的とする。そして、本 CAE システムを用いて各車両の挙動をシミュレーションし、渋滞の時間的変化を計算することによって、交通管制の改善効果を定量的に示す。

## 2. CAE システムの概要

本研究で開発した CAE は、交通シミュレータを柱としたいくつかの支援ツールから構成されており、道路形状・交通量や、信号時間等の容易に入手可能な情報から、個々の車両の走行状態を再現し、渋滞の予知を行ない交通管制の支援を行なうものである。Fig. 1 に CAE システムとその利用法を示す。

### 2.1 入力

入力部は、交通流シミュレーションの対象となる道路網の形状・走行車両に関する情報や信号時間等の情報を利用者が対話形式で入力するようになっている。実際に入力は、関連性のある項目ごとに整理し、いくつかの行程に分割して作業を行なう。作業内容としては、計算対

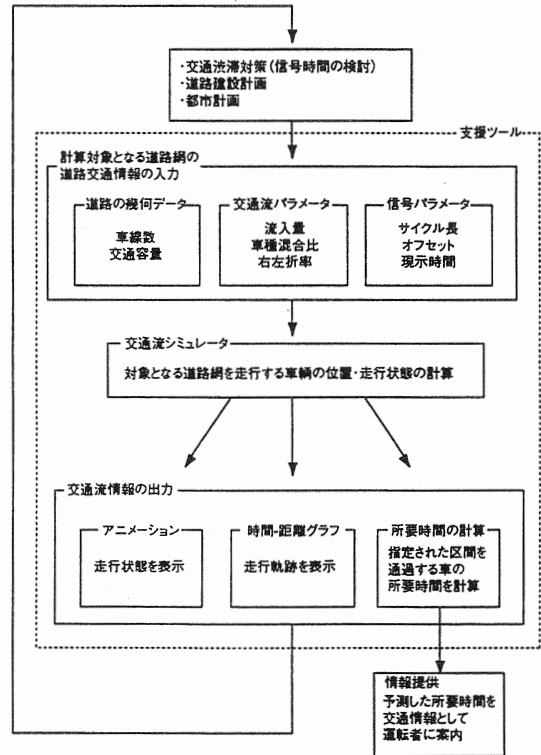


Fig.1. CAE system.

象となる道路網の配置を行ない、次に配置した各道路における道路形状や交通量・右左折率等の道路と車両に関するデータの設定を行なう。最後に、各交差点に対して信号時間の設定を行なう。

### 2.2 交通流シミュレータ

入力された道路交通情報に基づいて走行車両の位置・状態を時間を追って計算する。本シミュレータにおいて交通流の算出は、個々の車両の運動や車両間の相互関係に注目し、いくつかの仮定をおくことによって交通流モデルを作成し、微視的に車両 1 台毎の運動を取り扱う方法を採用した。その理由として、交通流を

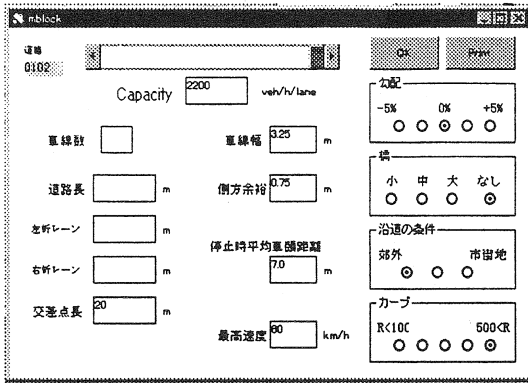


Fig.2. Input screen.

構成する車両間の距離が小さくなると、車両1台1台の運動と車両相互の関係は密接な関係を持つと考えられる。つまり、車両の加減速が多く、接近する機会が多いと考えられる交差点付近を対象としている場合には、この方法はより正確に交通現象を再現できるからである。

車両の運動のモデル化として、本研究では

- 車両は前方を走行する車両との車頭距離に応じた速度をとる

と仮定した。そして、速度と車頭距離の関係は以下の式で表される。

$$v = e q_{\max} S_0 \ln \left( \frac{s}{S_0} \right) \quad (s \leq e S_0)$$

$$v = e^2 q_{\max} S_0 \exp \left( -\frac{e S_0}{s} \right) \quad (s > e S_0)$$

ここで、 $v$ は速度、 $q_{\max}$ は交通容量、 $s$ は車頭距離、 $S_0$ は停止時の車頭距離、 $e$ は定数である。速度と車頭距離の関係は、道路の制限速度や運転手が右左折や車線変更の意志がない限り、交通流を構成する1台1台の車両が走行状態を決めるために用いる、最も基本的な前提関係であると考えられる。あらゆる走行状態においても、車両の次の時刻の速度（仮の速度）としてこの関係から速度を決めるものとした。加えて、信号の現示に起因する加減速、右左折のための加減速、車線変更などを行なう場合にもそれらに応じた速度を計算するモデルを用いている。

さらにここでは、道路を交差点と交差点で区切られた1車線を単位とする基本ブロックに分割し、道路網をその組合せとして表現した。この方法で道路網を表現し、各ブロックの内部に存在する車両の運動に関する計算を行ない、それを全ブロックについて繰り返すという計算方法を採用することによって、以下のような利点を得られる。

- 対象となる道路網や交通情報が任意に与えられた場合でも対応可能
- 車両の運動を計算するプログラムをどのブロックにおいても共通化できる

### 2.3 出力

シミュレーションの結果として、車両のアニメーション・時間-距離グラフ及びある区間の所要時間を出力できる。所要時間は、指定された任意の区間を通過する全ての車両について、指定区間に進入した時刻とその区間から流出するまでの所要時間を計算することが可能である。このように、個々の車両に対する所要時間の変化を知ることによって、交通管制の改善効果が走行時間に対してどの様に反映されるのかという事を定量的に把握することができる。

## 3. シミュレーション

本研究で構築したCAEシステムを用いて、いくつかの道路網について交通流シミュレーションを行ない、シミュレータで導入した交通流モデルの検証と信号制御を行なった時の渋滞低減効果を所要時間を用いて定量的に表し、考察を行なった。

### 3.1 交通流モデルに関する考察

本研究で用いた交通流モデルの妥当性を検証するため、速度と車頭距離の関係を調べた。前述の通り本交通流モデルは、車両の速度と車頭距離の関係に基づいているため、その理論値とシミュレーション結果を比較することによって考察を行なう。また、実際に道路で測定された速度と車頭距離の関係との比較も行なう。

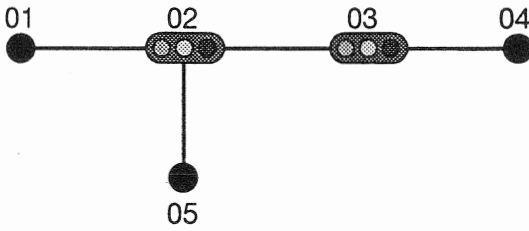


Fig. 3. Simulation area.

計算対象となる道路網を、Fig. 3に示す。各道路長は、500[m]である。この道路網において、交通容量を2000[veh/h/lane]として車両の速度と車頭距離を求め、その理論値と比較した。Fig. 4より、速度と車頭距離の関係が良く再現できているのがわかる。さらに、車両の発進時における発進遅れから生じる加速時と減速時のヒステリシス [1] が表されている。また、実測値と比較してもこのシミュレータは車両の走行状態を良く再現しているのもわかる。

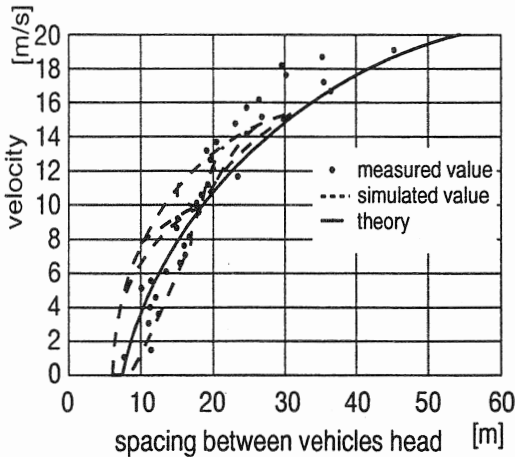


Fig. 4. Relationship between velocity and spacing between vehicles head.

### 3.2 信号制御による渋滞低減効果

信号制御の改善効果を所要時間の変化によって定量的に表すために、Fig. 5に示す道路網について、様々な信号パターンについて交通流シミュレーションを行なった。ここでは、各交差点における信号サイクル及びスプリットは変化させずにオフセットのみを変化させることに

よって、系統信号制御を行なった時の効果をより明らかなものにするにことにした。

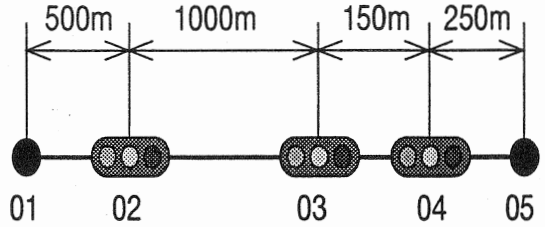


Fig. 5. Simulation area.

オフセットの決定方法としては、ある系統制御区間に対して任意に選んだ系統速度に基づいて各信号のオフセットを求めるものとした。Fig. 5に示した道路網において、交差点 01 から交差点 05 までの 1900[m] の区間についてオフセットを変化させた時の所要時間の変化を計算した。サイクル・信号時間は Table. 1に、オフセットは Table. 2に示す。

所要時間の計測は、シミュレーション開始後 500[s] から 1000[s] の間行ない、その間道路の流入端からは交通流モデルに従って、車両を一様な速度で流入させた。また、その他の交通条件は全ての道路において、

最高速度	70	[km/h]
交通容量	2000	[veh/h/lane]
交通量	1500	[veh/h/lane]
		(交差点 01 → 交差点 05 方向)
	1200	[veh/h/lane]
		(交差点 05 → 交差点 01 方向)

とした。ここで、計算例 1a・1b はオフセットなし、2a・2b は交差点 01 から交差点 05 方向優先で 50[km/h] の系統速度で系統制御を行なった場合である。また、3a・3b は交差点 01 から交差点 05 方向優先で 40[km/h] の系統速度で系統制御を行なった場合である。それぞれ、a は交差点 01 から交差点 05 方向の計算例で、b は交差点 05 から交差点 01 方向の計算例である。

計算の結果、得られた所要時間を Table. 3に示す。

1a・1b の結果からオフセットを全く考慮し

Table 1. Signal cycle.

	Signal02	Signal03	Signal04
Blue	90[s]	120[s]	120[s]
Red	90[s]	60[s]	60[s]
Cycle	180[s]	180[s]	180[s]

Table 2. Offset time.

	Signal02	Signal03	Signal04
1a	0[s]	0[s]	0[s]
2a	0[s]	70[s]	80[s]
3a	0[s]	90[s]	90[s]
1b	0[s]	0[s]	0[s]
2b	0[s]	70[s]	80[s]
3b	0[s]	90[s]	90[s]

ない場合、所要時間が最大になる。この場合、全ての信号が同時刻に青に変わるため、この道路を走行するほぼ半分の車両が信号で停止する。このため青信号時間が有効に使われず、渋滞が発生する。

次に、50[km/h]の系統制御を行なった場合は、優先方向の2aで所要時間が平均で150[s]減少し、通過台数は約120[台]増加している。非優先方向の2bの場合50[km/h]の系統制御の優先方向でないにも関わらず、系統制御なしと比較して所要時間が平均で60[s]減少し、通過台数は約100[台]増加している。この場合の、交差点05から交差点01方向への系統速度を次式で計算する。

$$\text{系統速度} = \frac{\text{交差点間距離}}{\text{青信号開始時間のずれ}}$$

交差点距離は1150[m]、青信号開始時間のずれは100[s]であるので41.4[km/h]と求められる。すなわち片方向に優先として設定したオフセットが非優先方向に対してもある程度有効なオフセットになっているので、所要時間の減少、通過台数の増加が認められることが分かる。

また、40[km/h]の系統制御を行なった場合、優先方向の3aで所要時間が平均で120[s]減少し、通過台数は約100[台]増加している。これは50[km/h]で系統制御した場合よりも、系統

Table 3. Necessary time and passing number.

	Necessary time[s]	Passing number
1a	401	181
2a	266	300
3a	284	285
1b	283	207
2b	224	310
3b	183	320

制御効果は小さくなっている。非優先方向の3bでは、50[km/h]の系統制御と比較してさらに改善効果が大きくなっている。これは、オフセットの設定がより適切なものになっていると考えられる。

このような6つの計算例を考慮すると、この道路網においては交差点01から交差点05方向を優先方向として、通過台数を最大とするには場合には系統速度を50[km/h]として交差点03のオフセットを70[s]、交差点04のオフセットを80[s]とするのが最適であると考えられる。

#### 4. 結 言

本研究では、様々な交通現象を再現するための交通流モデルを考案し、これを導入した交通流シミュレータを開発した。この交通流シミュレータを利用して高機能で知能的な高度道路交通管制に関するCAEを構築した。このCAEを用いることで実際には試みることができない信号管制や新たな道路設置時の交通流への影響を予測することができる。

また、このCAEを用いて信号のオフセットを変化させた場合の所要時間や渋滞長の時間的変化を計算することによって、信号の系統制御による交通管制の改善効果を定量的に示した。これにより、最適のオフセット値を見つけだし渋滞解消の信号制御を提案できた。

#### 文 献

- [1] 岩崎征人、越正毅、大蔵泉、試験走路における車両の追従挙動特性、土木学会論文報告集、Vol.366,1983.8