

名古屋工業大学 学生員 平田 忠士
名古屋工業大学 正員 松井 寛

1. はじめに 都市高速道路上で交通事故などの緊急事態が起きた際、発生する交通渋滞に対して、その拡大を防止しあるいはできるだけ早くその解消を図り、円滑な交通流を回復するための措置としてとられるのが緊急時制御である。本研究では緊急時制御の方法として特にオンランプ制御を取り上げ、新しい制御法を提案し制御効率の向上を図ることを目的とする。なお実際の制御効率を調べるため、阪神高速道路に適用し計算を行なった。

2. オンランプの制御方法 オンランプ制御とは、オンランプから本線上へ流入する交通量を抑えることによって本線上の混雑を緩和させようとするもので、具体的にはオンランプ閉鎖という措置がとられる。その制御方式であるが、本研究で取り入れた制御方式はある区間が事故等により本線片側2車線のうち1車線しか通行できない場合を想定し、事故を感知するとその時点で事故区間より上流側のある範囲内のオンランプを一斉に閉鎖し、その後一定時間間隔(以後判定時間間隔と呼ぶ)ごとに本線上の交通状況を確認し、渋滞が解消されているようであれば制御範囲内の最上流側ランプから順々に開放していくというものである。ここで制御範囲はあらかじめ予測されているオンランプからの流入交通量とオフランプへの流出交通量の差が、事故区間の交通容量以上になる1つ上流側のオンランプまでとし、オンランプの開閉の判断を下す指標としては交通密度を用いる。すなわち事故区間の交通容量以上にならないような限界密度を各セクション(セクションについては後述)について求め、この密度を下回る時点でランプを開放することにする。またその判断を下す地点としてはオンランプ接続セクション上とする。以上のような制御法を以後、逐次ランプ開放方式と呼ぶことにする。なおこの制御方式と比較するため、事故区間のすぐ上流側オンランプから閉鎖し、渋滞が解消しないようであればさらに上流側のオンランプを閉鎖していくという逐次ランプ閉鎖方式(ただし、ランプ開閉の判定時間間隔、その判断を下す指標、判定地点については前述の逐次ランプ開放方式と同様にする。)及び制御を加えないものについても比較計算を行なった。

3. 高速道路上交通流の数学的表示 実際に阪神高速道路に適用して計算を行なう際、高速道路上の交通流の動的挙動を数学的に表示するため過去の研究で得られた次のような状態方程式を用いる。

$$l_i \frac{d\ell_i(t)}{dt} = U_i(t) - C_{i-1,i} \cdot P_{i-1,i} \cdot \ell_{i-1}(t) \cdot V_{i-1}(\ell_{i-1}) - (1 - P_{i,i+1}) \cdot \ell_i(t) \cdot V_i(\ell_i) - C_{i,i+1} \cdot P_{i,i+1} \cdot \ell_i(t) \cdot V_i(\ell_i) \quad (1)$$

これは、対象とする高速道路を方向別に適当な区間(以下セクションと呼ぶ)に分け、その中の両端にオンランプ、オフランプを持つ標準的なセクション*i*に注目してその交通密度 $\ell_i(t)$ の変化率を表わしたもので、 l_i はセクション*i*の区間長、右辺第1項はオンランプ*i*からの流入交通量、第2項はセクション*i-1*から*i*への流入交通量 g_{i-1} 、第3項はオフランプ*j*への流出交通量 U_j 、第4項はセクション*i*から*i+1*への流出交通量 g_{i+1} を表わしている。(図1参照) ここで制御変数は U_i であり、 P はセクション間の推移確率、 C は交通渋滞の下流側から上流側への逆上現象を表わすため、下流側セクションの交通密度が臨界密度を越えると上流側セクションから下流への流出量が抑えられる働きを持つ流出係数である。なおオンランプ上の待ち台数についても同様な状態方程式を作成する。

いずれにせよ、式(1)は非線形微分方程式であるのでこのままでは解くのが困難である。そこで実際の計算にあたっては時間を微小時間ごとに離散化し、差分方程式として解くことにする。

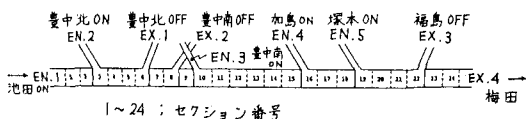
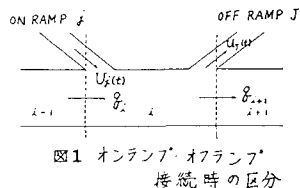


図2 対象高速道路網(阪神高速道路空港線より方向)

4. 計算例

ここでは実際に阪神高速道路池田～空港線より車線に適用した計算結果を示し検討を加えてみる。まずセクションの区分は図2のようにはぼ500mごとに行なった。なお事故は最下流のセクション24で発生したものとし、密度-速度曲線(K-V曲線)は過去の研究で得られた適合性の良いものを用いた。ただし、事故発生後の事故区間のK-V曲線は、実測に基づくものが得られなかったため片側1車線のK-V曲線を予測して用いた。また事故発生後、オンランプ制御に移るまでに要する時間は5分、事故処理までに要する時間は20分とし、逐次ランプ開放方式におけるランプ制御範囲はデータに基づいて計算した結果、オンランプ3までとなった。

表1 制御法の区分

区 分	制 御 法	所要時間 (min)	所要時間 (min)
Case1-1N	逐次ランプ 開放方式	1 min.	無
Case1-3N		3 min.	無
Case1-5N		5 min.	無
Case1-1C		1 min.	有
Case1-3C		3 min.	有
Case1-5C		5 min.	有
Case2-1N	逐次ランプ 閉鎖方式	1 min.	無
Case2-3N		3 min.	無
Case2-5N		5 min.	無
Case2-1C		1 min.	有
Case2-3C		3 min.	有
Case2-5C		5 min.	有
no-control	制 御 な し		

計算は表1に示すように13ケースについて行なった。その中で特に重要な最下流オンランプ5の接続しているセクション19の判定時間間隔1分待ち行列制限なしのものについて制御方式別に5分間ごとに出力した結果を図示したものが図3～図5である。これを見ると明らかにCase1-1Nの制御効率が良い。すなわちno-control, Case2-1Nでは大きく渋滞領域に入っているため処理できる交通量及伏速度の低下を招いているのに対し、Case1-1Nでは渋滞領域に入る時間が短く処理できる交通量、速度共に大きくなっており、しかもその時間的変動も小さくなっている。なおこれだけでは高速道路全体の制御効率をみることはできないため評価基準として総走行時間、総待ち時間、

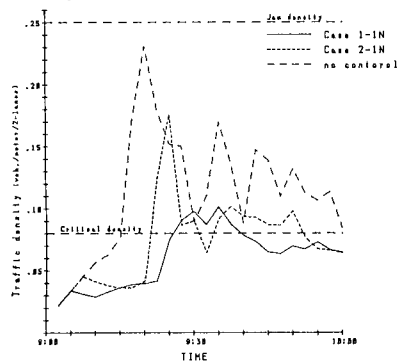


図3 Traffic density on SECTION 19

及伏この2つを加えた総旅行時間を用いて総合的な評価を下すことにする。各ケースについて得られた結果を示したものが、表2であるがこの結果より言えることは次の3つである。

1) 制御方式別については、本研究

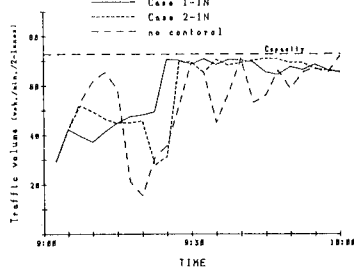


図4 Traffic volume on SECTION 19

究で取り入れた逐次ランプ開

放方式が、逐次ランプ閉鎖方式あるいは制御なしのものに比べ

良い制御効率を示した。

2) 判定時間間隔については、間隔を短くするほど効率が向上する。

3) 待ち行列制限については、制限を設けないほうが効率が良い。

ただし、Case1-3N, Case1-5Nについては上記のことが逆転している場合もみられるが、これは判定時間間隔が長いからランプ開放が下流側まで移るのに時間を要し、下流ランプでの待ち行列が非常に大きくなったことが原因と考えられる。

最後に今後の課題としては、実測に基づく式の得られなかった事故発生後の事故区間のK-V曲線など本研究の前提となる仮定のデータの裏付けをとることが上げられる。

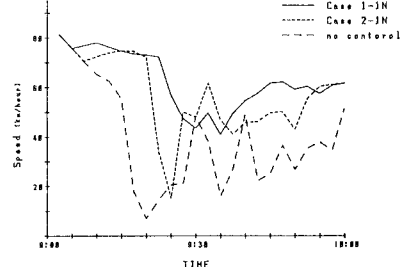


図5 Speed on SECTION 19

表2 各ケースの評価関数値

制 御 法 の 区 分	総走行時間 (veh.min)	総待ち時間 (veh.min)	総旅行時間 (veh.min)	総旅行時間比
Case1-1N	25473.63	14772.91	40246.54	81.3
Case1-3N	24826.91	22025.23	46852.14	94.6
Case1-5N	24740.45	27144.61	51885.05	104.8
Case2-1N	31922.79	12664.22	44587.01	90.0
Case2-3N	33304.64	13568.13	46872.77	94.6
Case2-5N	34575.41	13720.27	48295.68	97.5
Case1-1C	34611.90	9826.79	44438.78	89.7
Case1-3C	32070.91	10134.31	42205.22	85.2
Case1-5C	32081.98	9325.53	41407.51	83.6
Case2-1C	39814.50	9120.84	48935.35	98.8
Case2-3C	40561.11	7641.41	48202.52	97.3
Case2-5C	39880.00	8776.29	48656.29	98.2
no-control	47464.81	2063.76	49528.57	100.0

(ここで、総旅行時間比とはno-controlの総旅行時間を100)とした時の他のケースの総旅行時間の比を表す)

〈参考文献〉 松井 寛 「高速道路交通流の動的記述モデル」 交通工学 Vol.18 No.2 1983

明神 証 「都市高速道路の交通管制手法に関する研究」