

都市高速道路における流入調整による交通制御手法の事前評価

Ramp Metering Method using Traffic Simulator and Its Experimental Application on Urban Expressway

西林素彦 阪神高速道路公団
大藤武彦 株式会社交通システム研究所
奥嶋政嗣 岐阜大学工学部
井上矩之 福山大学工学部

都市高速道路網における交通制御手法の一つである「入路流入調整方式」について、実際のフィールドで実験的に「入路流入調整方式」を現地適用して効果を検証するとともに、ドライバーの意識調査を通じた導入可能性と要件を検討した。また、ドライバーに受認され得る方式として、「渋滞水準を考慮した動的LP制御モデル」を構築して交通シミュレータを活用して効果と影響を評価し、実用化に向けた課題を提案した。検討の結果、「入路流入調整方式」は、現在実施されている「入路閉鎖・ブース制限方式」よりも渋滞緩和に効果があり、利用者の理解も得やすいことがわかったため、より有用な入路制御方式として実用化を目指した検討を重ねることが望まれる。

Key Words : traffic management, ramp metering, LP control method, traffic simulation

1. 研究の概要

1 - 1 研究の背景と目的

都市高速道路においては、自然渋滞の緩和や緊急時(事故・工事規制など)の渋滞の早期解消を目的として交通管制システムが導入され、道路交通情報の提供や流入制御が実施されている。このうち、流入制御は、新線の建設や施設整備による渋滞緩和策とともに重要な施策として位置付けられ、これまでに多くの手法について研究がなされてきた。

代表的な流入制御の方式としては、その理論的な明快さ、及び取り扱いの容易性ということを考慮した場合、LP (Linear Programming) 制御方式が代表的な手法として挙げられ^{[1],[2]}、流入需要量の時間変動やネットワーク上の交通状態の時間変動などを考慮するなど、動学化の試みがなされてきた^{[3],[4]}。

一方、LP制御手法は、予防制御を前提としているために利用者から理解が得られないこと、制御を実行するための施設整備や運用方法に課題があることなどから、阪神高速道路公団では、LP制御手法のコンセプトは踏襲しつつも「入路閉鎖・ブース制限方式」による流入制御が採用されてきた^[5]。しかしながら、「入路閉鎖・ブース制限方式」の問題点への対応要請とともに、近年の情報通信技術の高度化、

ITSの進展、交通管理施策の拡充、そしてネットワークの拡大に伴う複雑な交通状況への対応の必要性などから、より合理的な流入制御への期待が高まっている。

このような背景から、本研究では、「入路閉鎖・ブース制限方式」に代わる「入路流入調整方式」、なかでもLP制御方式に基づく実用的な流入制御手法の実現可能性を探ることを目的とする。

1 - 2 研究の概要

まず、現在、阪神高速道路公団で適用している「入路閉鎖・ブース制限方式」による入路制御の概要とその問題点を整理し、問題点への対応の方向性と「入路流入調整方式」の必要性を示す。つぎに、実際のフィールドで実験的に「入路閉鎖・ブース制限方式」と「入路流入調整方式」を創出して、交通状態を比較してその効果と影響を検証するとともに、ドライバーへのアンケートを実施して、「入路流入調整方式」の導入可能性と要件を分析する。さらに、LP制御手法に基づいて、許容される渋滞水準の範囲で渋滞を容認し、その許容値を超過しないように入路から流入する交通量を最適化するという実的な流入制御手法を構築するとともに、交通流シミュレータ: HEROINE (Hanshin Expressway Real-time

Observation-based & Integrated Network Evaluator) [6] を使用して、「入路閉鎖・ブース制限方式」及び「入路流入調整方式」を適用した場合の交通状況を予測して比較することにより、「入路流入調整方式」による制御がより有用であることを明らかにする。最後に、研究の結果をとりまとめるとともに、「入路流入調整方式」の実用化に向けた課題を整理する。

2. 入路制御の現状と課題

2-1 「入路閉鎖・ブース制限方式」の概要

阪神高速道路では、高速道路上の渋滞を緩和することを目的として、「入路閉鎖・ブース制限方式」による入路制御を実施しており、相当程度の効果が得られてきたことが知られている[7]。

「入路閉鎖・ブース制限方式」は、阪神高速道路上に渋滞が発生して延伸する状況に応じて、料金所ブースを閉鎖するというものであり、料金所の全てのブースを閉鎖するときは入路閉鎖、一部のブースを閉鎖するときはブース制限と称している[8]。

制御対象入路は、隘路区間及び渋滞区間の交通量を減少させるのに効果のある入路から順次対象とし、本線上の渋滞が長くなるに従って開口ブース数を減少させることとしている。ただし、閉鎖や最小ブース数は、入路固有の条件を考慮することとしている。ここで、ブースの閉鎖は、人手によって実行することや閉鎖による影響を考慮して、30分を単位としている。

これらの制御方法は、「交通管制要領」としてあらかじめ渋滞発生・延伸状況に応じた料金所ブースの開口数を設定し、制御を実施するときは、料金収受員が料金所ブースで閉鎖ゲートの操作やカラーコーン設置などのマニュアル対応によって実現している。

2-2 「入路閉鎖・ブース制限方式」の問題点

現行の「入路閉鎖・ブース制限方式」を導入して20年以上を経過した現在、交通制御を取り巻く様々な環境も変化し、制御方法運用に際してもいくつかの問題点が指摘されている(表-1参照)。

まず、運用上の問題点として、料金所の構造的もしくは利用上の制約から、閉鎖あるいはブース制限が困難な入路が増加しており、制御対象入路を設定することが困難になっていることが挙げられる。たとえば、料金所の構造的条件としては、上下両方向対応の料金所、国幹道との接続入路料金所などではなるべく閉鎖しないこととされているし、近年拡充されている「無料乗継制」では、乗継先入路での流入を確保しなければならないために閉鎖対象としな

表-1 現行「入路閉鎖・ブース制限方式」の問題点

(1)運用上の問題点
1. 閉鎖が困難な入路の増加
2. ブース制限が困難な入路の増加
3. マニュアル制御の限界
(2)方式固有の問題点
1. 30分単位でのブース開閉に起因する非効率性
2. 閉鎖に伴う迂回交通の一般道路への影響

いというような運用になっている。また、緊急車両が日常的に利用する入路、空港バス利用入路、都心主要交差点への接続入路などでは、利用条件に基づく条件としてなるべく閉鎖しないというような運用がなされている。さらに、ETCの整備に伴い、2ブース営業料金所で、第1ブース：収受員による料金収受、第2ブース：ETC専用ブースという運用の場合もブース制限は困難である。

また、交通管制員が制御の判断や実行する際の負荷が大きく、マニュアル的な制御の限界に近いという問題点が挙げられる。これは、前記の入路固有の条件の考慮だけでなく、関連する一般道路の交通状況を考慮したり、時間帯別交通量の変動を考慮したうえでブース制限の効果を見通す必要があることに加え、輻輳する渋滞への対応や障害発生時には、交通管制員の作業量が非常に大きくなることに起因するものである。

さらに、方式としての問題も大きい。「入路閉鎖・ブース制限方式」は、30分を単位としてブースの開閉を行うため、ブース制御の場合は効果が得られない時間帯が発生したり、逆に過剰制御になる場合があるなど、制御の効果や効率性に問題があることが知られている。また、入路閉鎖の場合は、利用予定入路以外の入路に迂回したり、代替する一般道路の利用を余儀なくされるため、関連する一般道路への影響が発生するなどの問題点が指摘される。

2-3 入路制御の方法改良の方向性

表-1に示す現行「入路閉鎖・ブース制限方式」の問題点から、今後は、以下に示すように、料金所ブースのマニュアル的な閉鎖を自動化して、流入間隔を制御する方式に改良するという方向性が提案される。

- ・管制員などの負荷を軽減して制御の運用を支援するために、交通管制システム内に運用方法を定めた「交通管制要領」を格納して、現在の交通状態に基づいて出力提案する。
- ・制御の実効性を高めるために、「30分を単位とする料金所ブースの閉鎖」から「料金所ブース

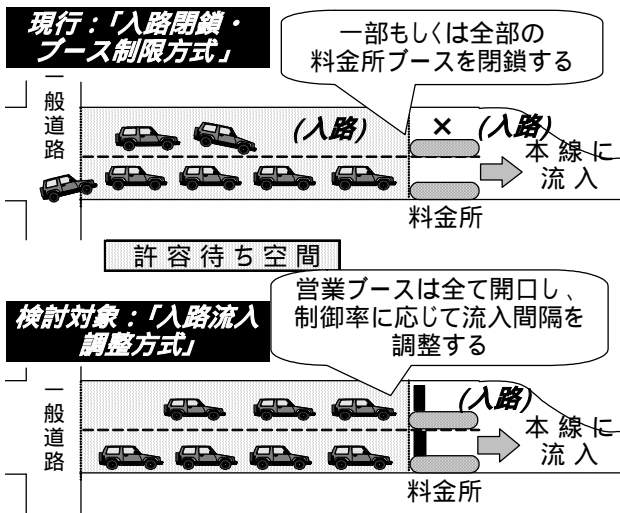


図 - 1 入路制御の方法のイメージ



図 - 2 11号池田線位置図

で車両流入間隔を調整」する方式に改良する。
このような方向性は、交通管制システムの高度化に伴う動的かつ大量のデータの活用、ITSの進展による多様な道路交通情報提供、そして交通需要マネジメントなどの交通管理施策の拡充や社会実験などの施策への利用者参画機会の増加など、近年の交通管制を取り巻くいくつかの環境の変化を考慮すると、実現性は高いと思われる。

したがって、ここでは図 - 1 に示すような「入路流入調整方式」を対象として、実現可能性を探ることとする。

3. 現地適用調査による「入路流入調整方式」の効果と影響分析

3-1 現地適用調査の概要

現地適用調査は、恒常的に交通集中渋滞が発生している11号池田線上りを対象に(図 - 2)、「入路閉鎖・ブース制限方式適用日」、「入路流入調整方式適用日」、そして「制御なし日」を創出して、それぞれの日の交通状態を調査することとした。現地適用調査の概要を表 - 2 に示す。

「入路閉鎖・ブース制限方式」による制御は、交通管制要領であらかじめ定められているプロセスに基づいて実施することとし^[8]、「入路流入調整方式」は、原則として「入路閉鎖・ブース制限方式」で設定される制御対象入路を対象に、開口するブース数で通過可能な容量に相当する交通量を流入車頭間隔時間で制御することとした。具体的には、制御対象料金所において、調査員が調査票配布とあわせて渋滞対策への協力をドライバーに依頼(呼びかけ)することによって、入路から流入する車両の車頭間隔を調整する。

間隔の調整は、あらかじめ入路時間帯別交通量と

表 - 2 現地適用調査

適用ケース	調査日時	制御対象入路
「入路流入調整方式」	平成14年2月19日(火) 午前7時～午後7時	豊中北、豊中南(島田口)、加島、塚本
「入路閉鎖・ブース制限方式」	平成14年2月21日(木) 午前7時～午後7時	空港本線、豊中北、豊中南(島田口)、加島、塚本
制御なし	平成14年2月26日(火) 午前7時～午後7時	-

表 - 3 現地適用調査調査項目

(1)入路流入調整方式	
調査名称	調査項目
制御実施記録	制御実施手順
ビデオ撮影調査	制御時流入車頭間隔受け取り拒否率
流入交通量調査	ブース別5分間流入交通量
入路待ち行列調査	制御時5分毎待ち行列長許容待ち行列超過の有無
アンケート調査	入路流入調整方式の反応, 意識
(2)入路閉鎖・ブース制限方式	
調査名称	調査項目
制御実施記録	制御実施手順
流入交通量調査	ブース別5分間流入交通量
入路待ち行列調査	制御時5分毎待ち行列長許容待ち行列超過の有無

交通管制要領に基づく開口ブース数を考慮して異なるメッセージパターンを設定し、料金所でドライバーに協力を依頼する。メッセージパターンの呼びか

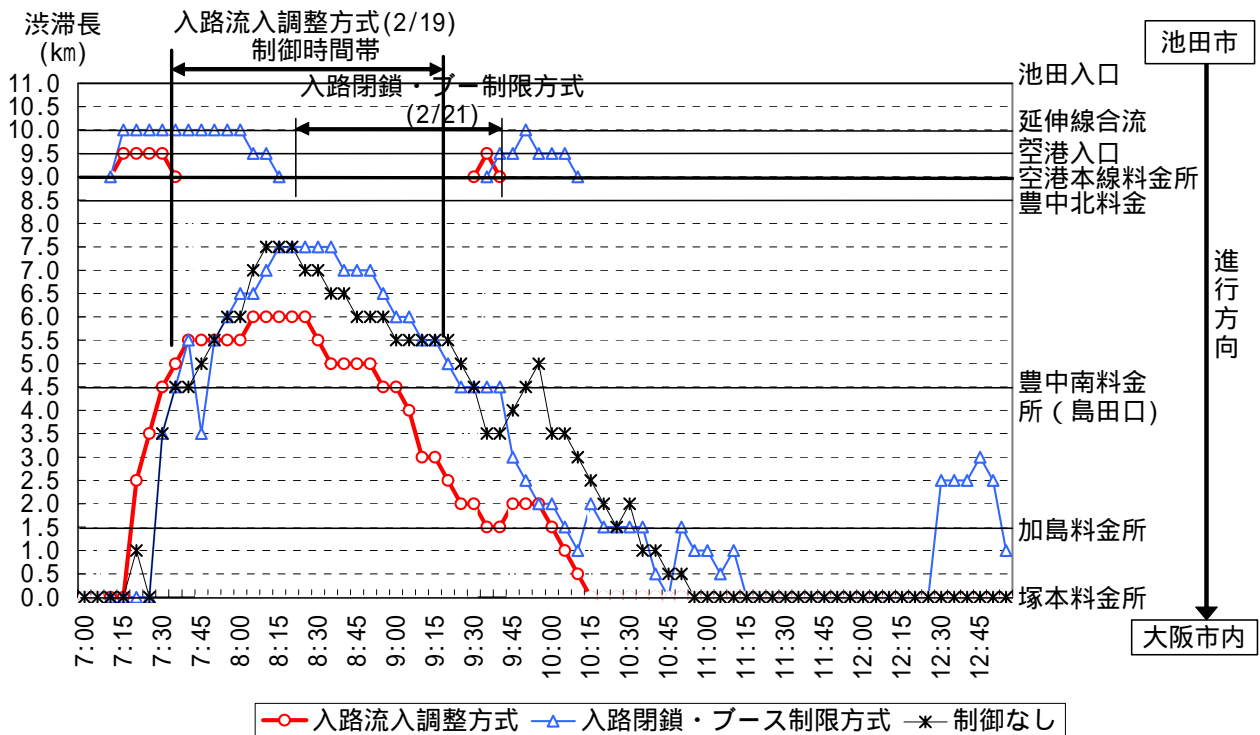


図 - 3 現地適用調査時の11号池田線上り渋滞状況と制御状況

け秒数は、0秒（調査票配布しない）～14秒の5パターンを設定した。たとえば、「おはようございます。お忙しいところ申し訳ありません。渋滞緩和のための調査を実施しています。アンケート調査へのご協力をお願いします。調査票と、こちらは粗品です。ご協力、よろしくお願ひいたします。」：制御パターン2（車頭間隔:15秒〔料金收受6秒+メッセージ時間9秒〕の例）というようなものである。適用調査時の調査項目を表 - 3 に示す。

3 - 2 アンケート調査の概要

制御対象入路で実際に「入路流入調整方式」による制御を適用している時間帯にアンケート調査票を配布し、郵送回収によってドライバーの入路制御に関する利用者意識の把握を行った。調査項目は、入路制御を実施しているときの通過時間に関する意識、入路で待てる時間、望ましい入路制御の方法などである。調査票配布枚数は2,740票、有効回収枚数は303票、回収率11%となった。

また、「制御なし日」に、11号池田線上り入路で交通制御に関するアンケート調査票を配布し、交通制御の方法に対する意見を求めた。ここでの調査票配布枚数は18,731票、有効回収枚数は2,008票、回収率11%となった。

なお、アンケート調査票には、「入路閉鎖・ブース制限方式」及び「入路流入調整方式」の概要を示し

表 - 4 11号池田線上り豊中-福島間：8.7Kmの平均所要時間比較(7時～12時)

分類	所要時間 平均値(分)	差(分)	比
制御なし(2/26)	12.6	-	1.000
「入路流入調整方式」 (2/19)	10.7	-1.9	0.847
「入路閉鎖・ブース制限 方式」(2/21) ^{注)}	21.9	9.3	1.742

出典：交通管制データ：AVIデータに基づく5分間平均所要時間

注) . 9:25-12:00の間は欠例

て、理解を求めることとした。

(1) 現地適用時の交通影響

「入路流入調整方式」適用時には 7:35～9:12 と 17:35～18:38 の間に塚本、加島、豊中南、豊中北の4入路で制御パターン2の流入調整が、「入路閉鎖・ブース制限方式」適用時には、8:24～9:45、15:08～15:20、17:00-17:28 の間に空港集約料金所で3ブースへのブース制限が実行された。

適用実験 3日間の午前中の渋滞延伸状況と制御状況を図 - 3 に示す。

「入路閉鎖・ブース制限方式」適用時には、出勤時間帯では制御開始後渋滞は解消に向かったものの、空港本線料金所の交通量も3ブース処理能力を下回り、料金所からの待ち行列もあまり発生しなかった

Q. この調査票を受け取られた時の料金所を通過するまでの時間についてどう感じましたか？

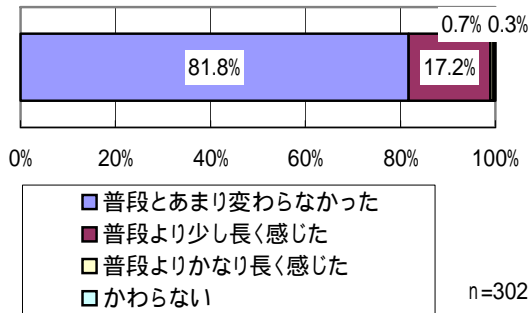


図 - 4 流入調整適用時の料金所通過時間の印象構成

ことから、顕著な効果はなかったものと考えられる。

一方、「入路流入調整方式」適用時の渋滞状況をみると、制御開始後延伸していた渋滞に対して、渋滞延伸が止まって解消に向うとともに、他の日より最大渋滞長が小さく、渋滞量が最も少なくなった。

さらに、11号池田線上の所要時間は、「入路閉鎖・ブース制限方式」適用時には顕著な効果があったとは見受けられなかったが、「入路流入調整方式」適用時には、制御なし日と比べると約5分(21%)所要時間が短縮した(表-4)。

ここで、11号池田線全入路の流入交通量は3日間ともほぼ同程度であり(制御なし:16,806台/7時~12時、「入路閉鎖・ブース制限方式」:16,975台/7時~12時、「入路流入調整方式」:16,756台/7時~12時)、渋滞発生時間帯における時間交通量もほぼ同程度であったことを考慮すると、今回実施した「入路流入調整方式」による入路制御は、「入路閉鎖・ブース制限方式」より渋滞緩和の効果があったとよいものと考えられる。

(2) 現地適用調査時のドライバーの反応

「入路流入調整方式」適用時の料金所通過時間に関する印象を聞いたところ、いずれの料金所についても「普段とあまり変わらなかった」が80%以上を占め、ふだんより長いと感じたドライバーは2割に満たなかった(図-4)。実際の流入調整時には、普段の料金収受時間6秒に加えて調査票配布とメッセージによる依頼時間が平均9秒増えたのであるが、この程度では、大半のドライバーは入路で待たされたという印象を持つにいたらないという結果となった。もちろん、「流入制御で待たされている」という意識がないこと、調査票配布作業に擬していることによるストレスの少なさの影響はあるものの、後述する「料金所での許容待ち時間」に対する要求とも合わせても、入路で流入を少し待っていただくことは充分許容されるのではないかと推察される。

Q. 入口制御の考え方について、どう思われますか？

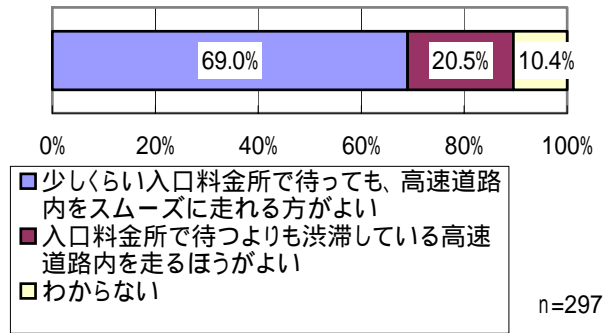


図 - 5 入口制御の考え方

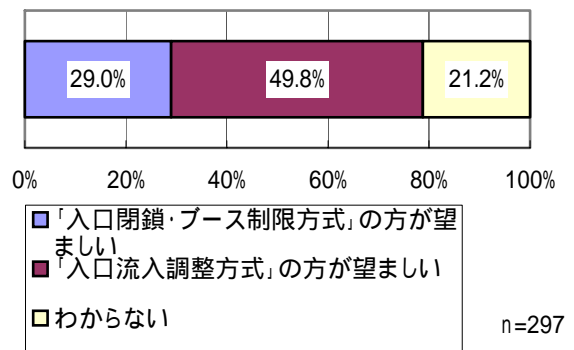


図 - 6 入路制御の方法に対する意見

Q. 仮に、料金所手前で待っていただく場合、料金所を通過するまでの時間は、どの程度までなら許容できますか？

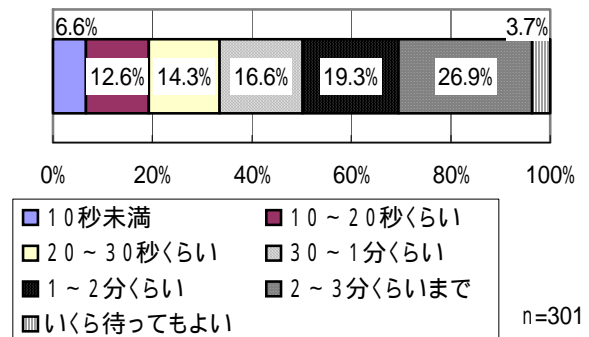


図 - 7 入路料金所での許容待ち時間

3-3 ドライバーの入路制御に対する要請

入路制御の考え方についてドライバーの意見をお聞きしたところ、「入口で待っても高速道路内をスムーズに走れる方がよい」と回答した方が「入口で待つよりも渋滞する高速道路内を走る方がよい」と回答した方を大きく上回った(図-5)。また、「入路閉鎖・ブース制限方式」と「入路流入調整方式」の方法を説明したうえで、望ましい方式を選択していただいたところ、「入路流入調整方式」を支持するドライバーが約半数となり、「入路閉鎖・ブース制限方式」を指示するドライバーを上回った(図-6)。さらに、阪神高速道路の渋滞を緩和するための入路

制御に対しては、“やむをえない”と許容するドライバーが7割を占める一方で、「入路閉鎖」の実施は容認できないとするドライバーが約半数を占めること、そして“渋滞を全く発生させない制御”を支持するドライバーは約1割に過ぎず、“必要最小限の制御”を求めるドライバーが大半を占めることなど、入路制御を容認しながらも必要最小限にとどめるべきであるという意見が大勢を占めることとなった。

また、料金所で待つ場合の許容待ち時間をお聞きしたところ、1分くらいまで待ってもよいとするドライバーが約半分を占め、3分を越えてもよいとするドライバーはほとんどいなかった（図-7）。これは、都市内での信号待ち時間のイメージが現れているのではないと思われる。

4. 交通シミュレーションによる「入路流入調整方式」の効果と影響分析

4-1 入路制御の考え方

実際の流入制御手法を考えるに際しては、利用者は、「渋滞が発生した後に必要最小限の制御を実施する」ことを要求していることが最も大きな課題として指摘される。LP制御手法が実際に適用され

てこなかった理由が、LP制御が予防制御であるために“渋滞が発生していないのに制御をなぜ実施するのか”という利用者の疑問に対して理解を得られなかった点であり、事前の策としての対応として位置付けられるものである。前記のように、利用者へのアンケート調査結果からも、渋滞が全く発生しないような制御を求める利用者はほとんど無く、渋滞の発生はやむをえないものとして容認した上で必要最小限の制御を求める利用者が大半であることが知られている。

本研究では、図-8に示すような制御手法を考える。まず、「制御開始水準」と「許容渋滞水準」を定義する。制御開始水準は、制御の必要性を判断する閾値、許容渋滞水準は、渋滞を許容する最大値である。すなわち、渋滞が発生して制御開始水準を超えた時点で制御を開始するかどうかを判別し、渋滞長が短ければ許容される。また、近い将来の渋滞長が許容渋滞水準を超えることが予測される場合には、渋滞が許容渋滞水準を超えないような制御率をLP制御手法で求めることとする。ここでいう近い将来とは、せいぜい30分程度とする。

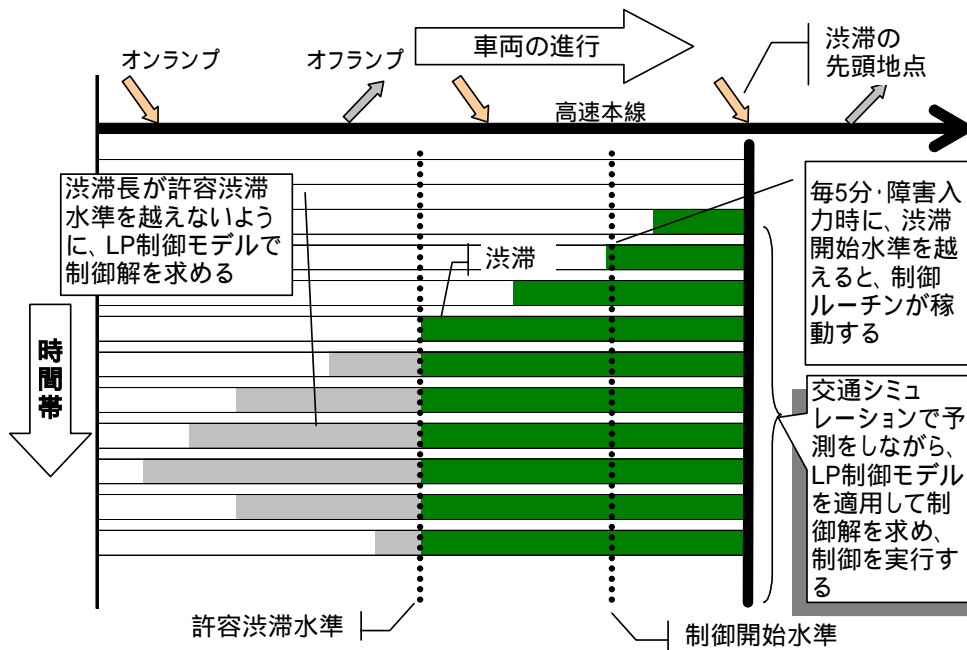


図-8 渋滞水準制約による流入制御のイメージ

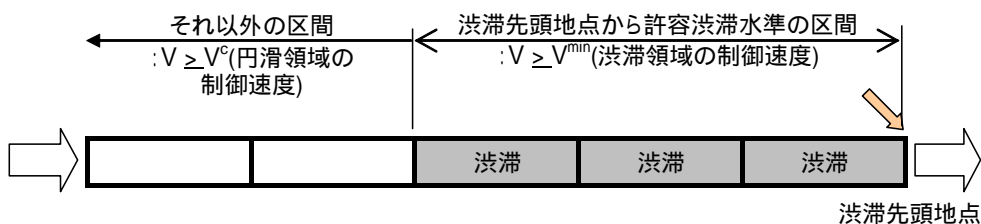


図-9 渋滞水準制約による流入制御のイメージ

4 - 2 制約条件と目的関数

LP制御手法は、高速道路の区間交通量がその区間の交通容量を上回らない(渋滞が発生しない)という条件のもとに、高速道路への流入台数あるいは総走行距離が最大になるように(他の目的関数も提案されているが、代表的な目的関数として提案されている)各入口からの流入交通量を決定するという考え方である。本研究では、渋滞を容認した上で、「許容渋滞水準を超過しない」ことを制約条件とする必要があるため、従来のLP制御手法で採用されてきた容量制約に加えて走行速度も制約条件として用いることとする。

すなわち、非渋滞区間においては、最大交通量の流入を可能とする臨界速度以上になるように速度制約を設定する。渋滞区間においては、停止状態にならないような最低速度の制約を設ける。

制御の目的関数については、総流入台数最大化を目指すこととする。

なお、各入路では、流入需要制約、許容待ち台数の制約を受けるものとする。

4 - 3 モデルの定式化

都市高速道路網におけるLP制御モデルは、既に定式化されている^[1]。本研究で提案する渋滞水準を考慮した流入制御の定式化は、“高速道路の区間交通量がその区間の交通容量を上回らない”という制約を“高速道路の区間速度が設定した水準以下にはならない”という制約に変更することで記述できる。区間速度制約、区間の容量制約、流入需要量制約、入路待ち行列長制約のもとに、総流入台数最大化問題として定式化すると、以下のとおりである。

$$\text{MAX} \sum_{i=1}^I U_i^t \quad (\text{for } \forall t) \quad (1)$$

subject to

$$V_a^{t+1} = V_f e^{\frac{-1}{2} \left(\frac{K_a^t + (Y_a^t - X_a^t) / L_a}{K_0} \right)^2} \geq V_a^{\min} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^I Q_{ia} U_i^t \leq C a_a \quad (\text{for } \forall a \cdot A) \quad (3)$$

$$0 \leq U_i^t \leq U_i^{td} \quad (\text{for } \forall t) \quad (4)$$

$$D_i^t \leq D_i^{\text{MAX}} \quad (5)$$

U_i^t : 時間帯 t における入路 i への許容流入交通量

V_a^t : 時間帯 t における区間 a の速度

Y_a^t : 時間帯 t における区間 a への流入台数

X_a^t : 時間帯 t における区間 a からの流入台数

L_a : 区間 a の延長

Q_{ia} : 入路 i から流入する交通量が区間 a に及ぼす影響(影響係数)

C_a : 区間 a の最大需要量

D_i^t : 時間帯 t における入路 i での待ち行列長

式(1)は、目的関数で、総流入台数最大化を表している。式(2)~(5)が制約条件であり、式(2)は区間 a の走行速度制約、式(3)は区間 a 交通量の容量制約、式(4)はオンランプ i の流入需要制約、そして式(5)は入路 i の許容待ち行列長制約を表している。なお、式(3)は、高速道路の本線区間について、速度/密度関係式を式(6)に示すドレイクの式を採用したことによる。

$$V_a = V_f e^{\frac{-1}{2} \left(\frac{K}{K_0} \right)^2} \quad (6)$$

V_f : 自由走行速度, K_0 : 臨界密度

4 - 4 制御の実行手順

制御計算のフローを図 - 10 に示す。ここでは、

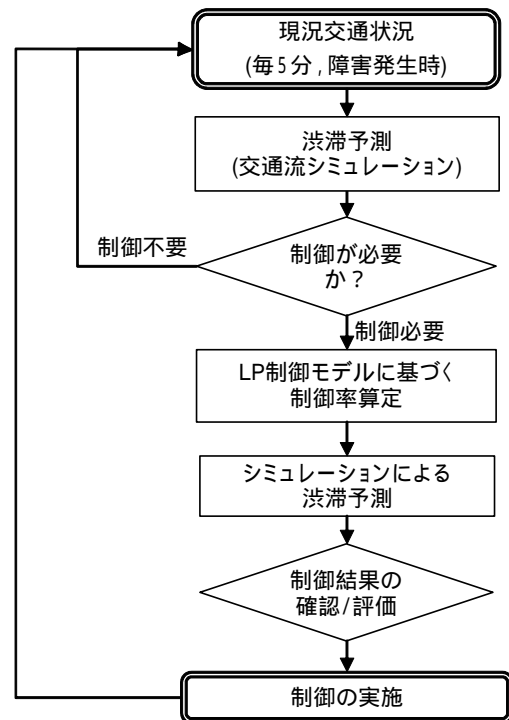


図 - 10 制御の実行手順

リアルタイムで交通状況を把握しながら運用することを前提に、手順を整理する。

まず、現況の交通状況から、制御開始水準の判別を行う。現況の渋滞長が制御開始水準を超過していないときは、制御は実行されない。超過しているときは、渋滞予測を通して得られる予測渋滞長に対して許容渋滞水準判定を行う。予測渋滞長が許容渋滞水準を超えない場合は、制御を実行しない。予測渋滞長が許容渋滞水準を超過するときに、制御を実行する。手順中の渋滞予測は、交通シミュレーション：HEROINE^[6]を使用する。

また、制御率算定の単位時間間隔は5分、渋滞予測時間は30分先、そして制御率を算定するための単位到達時間間隔を5分として制御を実行することとする。

なお、速度制約の式(2)については、両辺の対数を取って整理することにより、存在台数制約に置き換えることができ、区間 a の存在台数(貯留台数)制約としてLP問題を解くことになる。さらに、入路 i から車両が流入する時刻 t と、区間 a への到達する時刻の間には、車両が本線上を移動する旅行時間 T_{iat} の分だけ差が生じるので、これをモデルに反映するが、これらの詳細の記述は別の機会に譲る。

4 - 5 ケース・スタディによるモデルの評価方法
構築したモデルが、期待した制御を実行できるかどうかを検証すること、及び実行する制御の影響を評価することを目的として、ケース・スタディを行う。

ケース・スタディの枠組みは、次のとおりとする。まず、検討対象路線は阪神高速11号池田線上市とし、第22回阪神高速道路起終点調査実施日(平成11年10月21日(木))の交通量データを使用する。また、評価のために、下記に示す制御手法を適用する4つのケースを設定し、それぞれ出勤時間帯(6:30~8:30)、昼間(14:00~16:00)、帰宅時間帯(17:00~19:00)の3種類の時間帯に適用することとする。

- ・ ケース1：制御なし(情報提供あり)
- ・ ケース2：「入路閉鎖・ブース制限方式」適用
- ・ ケース3：「渋滞水準付動的LP制御」適用
- ・ ケース4：「LP制御(予防制御)」適用

ここで、ケース1は現在の交通管制システムと同様に経路選択地点で道路交通情報提供をするケースであり、ケース2は、その上で現在阪神高速道路公団で実施している「交通管制要領」に基づく入路閉鎖・ブース制限方式を適用する場合^[8]、ケース3は、前記で提案する「渋滞水準付動的LP制御」を適用する場合、そして、ケース4は、単純な静的LP制御手法

を適用する場合である。

また、評価ツールとして交通シミュレーション：HEROINE^[6]を使用する。HEROINEは、個々の車両は独立した属性を持って、車両を進行させる際には群としてブロック密度法に基づくメソ・シミュレーションである。また、経路選択モデルを内蔵しており、経路選択地点である入路で道路交通情報を受け取り、予定通り高速道路を利用する、次善の高速道路利用経路に迂回する、一般道路に迂回するなどの経路選択を行う。なお、入路の料金所では、設定される制御率に応じて、シミュレーションのタイムスキャンを単位としてランプリングに流入する。

4 - 6 ケース・スタディ結果と考察

まず、構築した「渋滞水準付動的LP制御」モデルは、期待した制御を実行することができた。事例として、出勤時間帯における渋滞発生状況を図-11に示す。ここでは、「渋滞水準付動的LP制御」実施時は、渋滞発生直後は制御なしと同様に渋滞が延伸し、許容渋滞水準である渋滞長：約6Kmで延伸しなくなっていることが明らかに見て取れる。渋滞緩和効果も、LP制御(予防制御)に比べると渋滞緩和効果が小さいものの、制御なしと比較すると明らかに緩和されており、入路閉鎖・ブース制限方式よりも効果が大きいところとなっている。

ここで、流入台数は各ケースともほぼ同程度であり、一般道路への影響もマクロ的には微小であった(表-5)。

なお、入路許容待ち台数を超えないという制約についても、LP制御(予防制御)では、制御効果のある入路では、制御量が大きいため待ち台数が増加して短時間のうちに許容待ち台数に達して、その後は許容待ち台数が許される範囲で制御が実行されるところとなるが、渋滞水準付動的LP制御では、それほどまでに待ち台数は延伸しないことを確認した。たとえば、隘路区間直上流側に位置する塚本入路では、LP制御(予防制御)の場合は6:50に制御が開始されて20分後には許容待ち台数76台まで待ち台数が延伸して制御解除まで同程度の待ち行列が継続するが、渋滞水準付動的LP制御適用時には最大25台程度しか待ち台数が延伸しないといった結果となった。

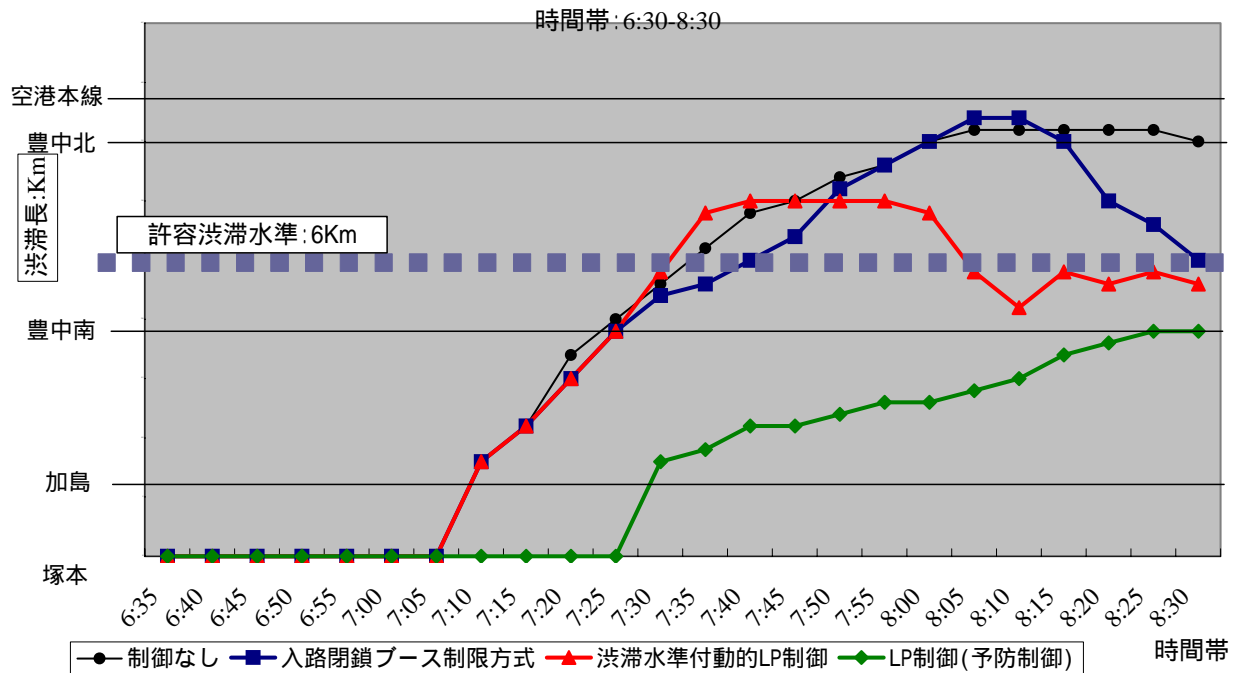


図 - 1 1 渋滞予測結果の比較例(渋滞長の推移)

表 - 5 ケース別評価指標例(出勤時間帯：6:30-8:30)

ケース	流入交通量		渋滞量		高速平均旅行速度		一般道路走行台キ口	
	(台/2h)		(Km時/2h)		(km/h)		(台キ口/2h)	
制御なし	10,267	1.000	9.7	1.000	40.7	1.000	388,352	1.000
入路閉鎖ブース制限方式	10,183	0.992	8.9	0.918	40.9	1.005	388,445	1.000
渋滞水準付動的LP制御	10,179	0.991	6.9	0.711	40.6	0.998	388,833	1.001
LP制御(予防制御)	9,991	0.973	5.7	0.588	45.9	1.128	450,918	1.161

注). 一般道路: 11号池田線と競合補完する幹線道路(府道以上)

5. まとめと今後の課題

本研究は、都市高速道路における流入制御の手法として、利用者に理解を得て実用化を図ることを念頭に、「入路流入調整方式」を実際に適用し、現行の「入路閉鎖・ブース制限方式」と比較して「入路流入調整方式」の渋滞緩和効果と影響を検証し、利用者アンケートを通して支持が得られるかどうかを検討した。また、「渋滞水準を考慮した動的LP制御」モデルの構築を行い、交通シミュレーションを用いて検証・評価して適用可能性を検討した。

現地適用実験では、「入路流入調整方式」による入路制御は渋滞緩和の効果が得られ、周辺街路への影響も見られないことがわかり、利用者にも、必要最小限の入路制御を実施することで理解を得られ、「入路閉鎖・ブース制限方式」よりも「入路流入調整方式」の方が支持されていたことなどから、「入路流入調整方式」の適用は充分可能であると考えられる。

また、提案した「渋滞水準付動的LP制御」手法は、静的なLP制御(予防制御)ほどではないものの、制御効果があるとともに一般道路への影響も微小であること、現行の入路閉鎖・ブース制限方式よりも有用であることなどから、充分実用に供することが可能であると理解された。

今後は、水準の設定方法の検討を行うとともに、運用方法やシステム化などの実行方法について検討を行い、実用化を目指した検討を重ねていく必要があると考えている。

参考文献

- [1] 佐佐木綱,明神証:都市高速道路網における流入制御理論,交通工学,Vol.3, No.3, pp. 8-16, 1968
- [2] 佐佐木綱,井上矩之:阪神高速道路松原線供用時交通制御の検討と検証,土木計画学研究発表会講演集,vol4, pp. 450~455, 1982

- [3] 山内敏道, 朝倉康夫: 観測データの利用による都市高速道路の動的な LP 型流入制御モデル, 土木計画学研究・講演集 No18, pp. 257-260, 1995
- [4] 飯田恭敬, 宇野伸宏ほか: 流入需要の時間変動を考慮した準動的 LP 制御問題, 第 15 回交通工学研究発表会論文報告集, pp.113-116, 1995
- [5] (社)交通工学研究会: 阪神高速道路の交通渋滞対策に関する調査研究報告書, 1981.3
- [6] K. Saita, F. Kurauchi, M. Okushima and T. Daito, “ESTABLISHMENT OF HEROINE (Hanshin Expressway Real-time Observation-based & Integrated Network Evaluator), 9th ITS World Congress, CD-R, 2002.
- [7] (社)交通工学研究会: 阪神高速道路の交通渋滞対策に関する調査研究報告書, 1993.3
- [8] (財)阪神高速道路管理技術センター: 交通管制要領改定業務, 2003.3

Ramp Metering Method using Traffic Simulator and Its Experimental Application on Urban Expressway

This paper introduces a new dynamic and systematic on-ramp metering method for traffic control as a substitute of current manual ramp/toll booth closure method on busy urban expressway. Its applicability and effect are examined by one-day trial control on a chronically congested route in Hanshin Expressway network in Osaka. The results shows that the ramp metering can reduce the congestion length faster and, through the survey to the controlled drivers, it is acceptable if enforced not as a preventive measure but only in case that congestion reaches a certain untorelable level. This controlling concept is reflected on a new LP control model with considerations of congestion levels of control initiation and allowable limit. Also, the interval of vehicle entrance allowed in the main flow is determined by estimating a progress state of congestion in advance with the new traffic simulator developed for Hanshin Expressway. A test run of the model proves that it helps alleviating the congestion more effectively while minimizing negative effects on surface road traffic and drivers' convenience.