

都市高速道路における渋滞水準を考慮した LP 制御モデルの検討

HEROINE の適用 *

On-Ramp Control used LP Method with Congestion Level On Urban Expressway*

大藤武彦**・西林素彦***・奥島正嗣****・井上矩之*****

1. はじめに

(1) 背景と目的

都市高速道路網においては、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、およ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こと、制御を実行するための施設整備や運用方法に課

*キーワード：流入制御，交通シミュレーション，
渋滞対策

**正員，株式会社交通システム研究所

(大阪市淀川区西中島 7 丁目 1-20，

Phone:06-6101-7001，E-mail:daito@tss-lab.com)

***正員，阪神高速道路公団

(大阪市中央区久太郎町 4 丁目 1-3，

Phone:06-6252-8121，

E-mail:motohiko-nishibayasi@hepc.go.jp)

****正員，岐阜大学工学部社会基盤工学科

(岐阜県岐阜市柳戸 1-1，

Phone:058-293-2446，

E-mail: okushima@cc.gifu-u.ac.jp)

*****正員，福山大学工学部建設環境工学科

(広島県福山市学園町 1 番地三蔵，

Phone:084-936-2111，

E-mail:inoue@fucc.fukuyama-u.ac.jp)

題があることなどから、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²⁾。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。

このような背景に基づき、本研究では、“予防制御”に対する利用者の抵抗意識を鑑みて、LP 制御手法をもとに、渋滞水準の限界までの範囲で渋滞を容認し、その限界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際的な手法を構築して、適用可能性を探ることとする。

(2) 研究の概要

本研究では、まず、渋滞水準を考慮した LP 制御モデルを構築する。“渋滞水準を考慮した”という意味は、渋滞を全く発生させない“予防制御”に対する利用者の抵抗は大きく、渋滞はやむをえないとしつつ制御が必要であると理解されていることを反映させようとするものである。この場合、入路から対象とする渋滞区間までの制御対象時間帯内での動的に変化する到達時間も反映することを考える。次に、構築した流入制御手法を検証するために、交通シミュレーションモデル：(HEROINE: Hanshin Expressway Real-time Observation-based & Integrated Network Evaluator)⁵⁾への組み込みを行う。さらに、ケース・スタディを通して、モデルの適用が可能かどうかを評価する。

2. 渋滞水準を考慮した LP 制御モデルの構築

(1) 制御モデルの考え方

実際的な流入制御手法を考えるに際しては、利用

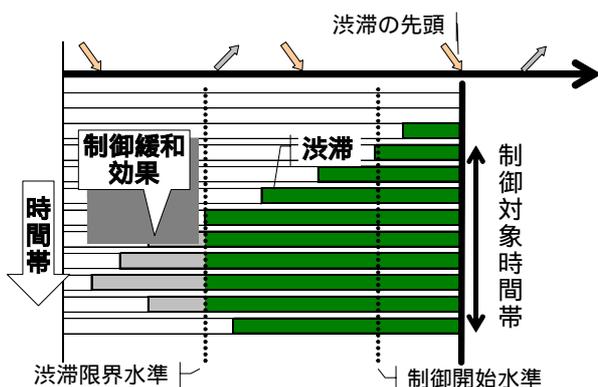


図-1 渋滞水準制約による流入制御のイメージ

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の最も大きな点が、LP 制御が予防制御である所以である。実際に、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⁶⁾。

本研究では、図-1 に示すような制御手法を考える。まず、「制御開始水準」と「限界渋滞水準」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、限界渋滞水準は、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渋滞限界水準を超えることが予測される場合には、渋滞が限界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。

(2) 制約条件と目的関数

LP 制御は、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、「渋

滞限界水準を超過しない」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ではなく、走行速度制約を指標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、最大交通量の流出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。

(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。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、この LP 制御の定式化をもとに、「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、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。

$$\max \sum_{i \in I} U_i^s \quad (\text{for } \forall s) \quad (1)$$

subject to

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

$$0 \leq U_i^s \leq U_i^{sd} \quad (\text{for } \forall s) \quad (3)$$

$$D_i^s \leq D_i^{\max} \quad (4)$$

U_i^s : 時間帯 s における入路 i への流入交通量

Y_a^s : 時間帯 s における区間 a への流入台数

X_a^s : 時間帯 s における区間 a からの流入台数

D_i^s : 時間帯 s 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)~(4)が制約条件であり、式(2)はリンク a の走行速度制約、式(3)はオンランプ i の流入需

要制約，式(4)は入路 i の許容待ち行列長制約を表している．なお，式(2)は，高速道路の本線区間について，速度 密度関係式を式(5)に示すドレイクらの式を採用したことによる．

$$V_a = V_f e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{K}{K_0} \right)^2} \quad (5)$$

V_f : 自由走行速度 , K_0 : 臨界密度

(4) 制御の実行手順

制御計算のフローを図-2に示す．ここでは，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が渋滞限界水準判定を行う．予測渋滞長が渋滞限界水準を超えない場合は，制御を実行しない．予測渋滞長が渋滞限界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 から車輛が流入する時刻 s と，区間 a への到達する時刻の間には，車輛が本線上を移動する旅行時間 T_{ias} 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．

3. ケース・スタディによるモデルの評価

(1) 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，およ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

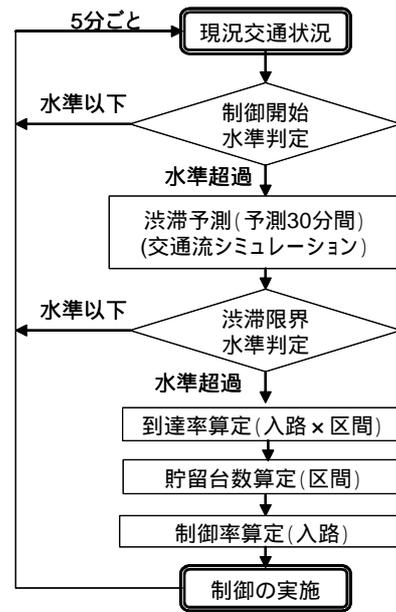


図-2 制御の実行手順

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ケースを設定し，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

また，評価ツールとして交通シミュレーション：HEROINEを使用する．なお，ここで適用する HEROINE は，制御とフローを実行する時間軸で動作する外部モデルであり，2.(4)で適用する内部モデルとは区別して取り扱う必要がある．

(2) 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-3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，

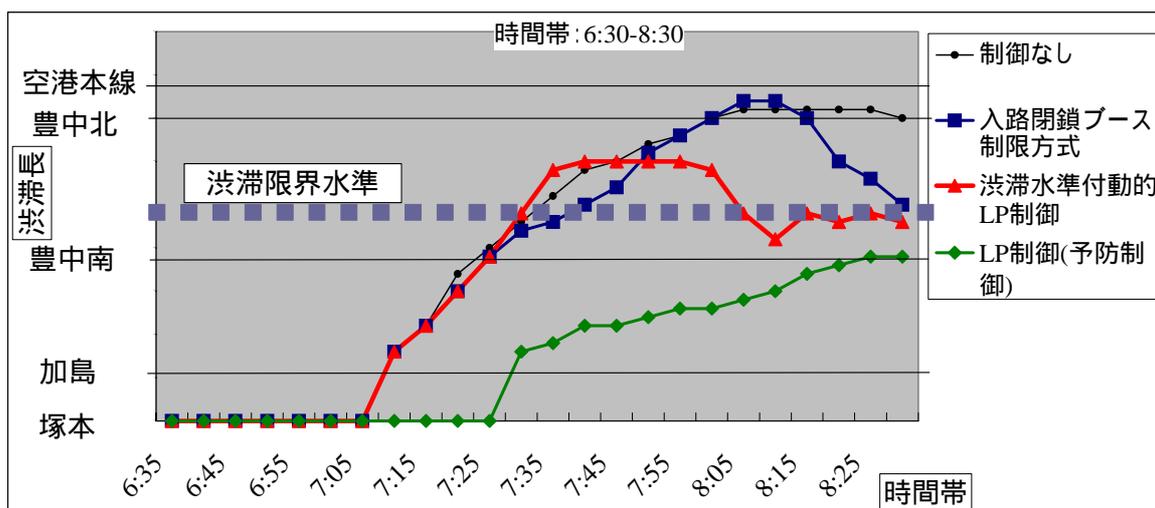


図-3 渋滞予測結果の比較例

限界渋滞水準である渋滞長：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。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すぐに許容待ち台数に達してその後は許容町代タが許される範囲で制御が実行されることとなるが、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。

さらに、流入台数については、制御によってそれほど減少することはなく、一般道路への影響もマクロ的には微少であった。

4. 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、利用者に理解が得られることを念頭に、「渋滞水準付動的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。

この結果、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少であること、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る。

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きたい。

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)(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)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)T.Yukimoto, M.Okushima, N.Uno, T.Daito: Evaluation of On Ramp Metering on Hanshin Expressway Using Traffic Simulator(HEROINE), 9th ITS World Congress, 2002
- 6)土居聡，雪本雄彦ほか：都市高速道路における「入路流入調整方式」による交通制御現地適用調査，第23回交通工学研究発表会論文報告集，2003(投稿中)