

整数LPを用いた高速道路ブース数制御

A BOOTH CONTROL ON EXPRESSWAY USING INTEGER LINEAR PROGRAMMING

井上 矩之^{*}、辻本 賀一^{**}、多和 健一^{***}

By Noriyuki INOUE, Yoshikazu TSUJIMOTO, Kenichi TAWA

The importance of traffic control has been increasing to function the road network at its fullest capacity. For urban expressway, on-ramp booth control based on LP control solution has been generally employed. However, the total available volume is not maximized because the obtained allowable volume is cut down to the multiple number of booth capacity. Then the authors newly apply Integer Linear Programming to formulate this optimal traffic control problem that determine the allowable number of toll booths. Using the present network and data of Hanshin expressway, we conclude that it is possible to calculate the Integer LP control on urban expressway and the total available traffic volume almost equal to that of the Real LP control.

1. はじめに

交通制御は、その道路の容量を最大限に利用する上で、また安全性・快適性を維持する上で非常に重要なものである。一般的にその方式は高速道路と平面街路で、また高速道路でも都市間高速道路と都市高速道路でかなり異なるが¹⁾、ここで検討するのは都市高速道路の制御方式である。

都市高速道路の交通制御は、大きく分けて平常時制御と緊急時制御がある。平常時制御は主に自然渋滞に対して、緊急時制御は事故など交通状態が急変したときに行われる制御である。理論的な研究の進

展は前者の方であり、各区間で交通量を容量以下に抑えて、総流入台数を最大にするよう流入台数を決定するLP制御が佐佐木・明神²⁾により最初に提案されて以来、現在まで次のような展開を見せている。

明神・坂本・岩本³⁾は、制御によって生じるブース手前の待行列長制約を付加した方式を開発している。明神・木村(1977)は、LP問題の分割により、計算時間が短縮できることを示している。枝村・森津・藤田⁴⁾は、区間交通量の予測誤差を明示的に考慮した方式を開発している。また、中川・佐佐木・井上⁵⁾は、本線を区間に分割して信号制御を行い、次の区間への進行量を調節するという本線貯留の考え方を示している。さらに、宮口⁶⁾は、都市高速道路の路線を制御単位とした路線LP制御方式について考察を行っている。

しかし、都市高速道路では料金前払制がとられており、ブースでの料金徴収作業が伴うため、実際の制御はブースの開口数を調節することによって流入

* 正会員 工博 福山大学教授 工学部土木工学科
(〒729-02 福山市東村町字三蔵985)

** 正会員 工修 JR西日本
(〒530 大阪市北区大深町1の1)

*** 正会員 日本情報サービス株式会社 大阪本社
(〒550 大阪市西区新町1丁目5の8)

台数を制御する「入路閉鎖・ブース制限方式」が一般的となっている⁷⁾。この「入路閉鎖・ブース制限方式」は、LP制御で求められた各入路の許容流入台数をブース容量で割り、整数化したものを許容開口ブース数とするものである。したがって整数化する際に切り捨てられる交通量が多く、制御解通り流入台数が最大になっているとは言い難く、道路の運用効率はかなり低下しているものと思われる。

そこで本研究では、この効率低下を防ぐため許容開口ブース数の決定に整数線形計画法(Integer Linear Programming)を用い、従来型のLPを用いたブース数制御との道路運用効率向上の程度を考察し、あわせて整数線形計画法を用いた制御の問題点、および限界を示すものである。

本来、入路の許容開口ブース数の決定は明らかに整数計画問題である。しかし、LP制御が提案された1960年代は計算機技術が未発達で、その解法が複雑でLP計算よりはるかに多くの時間を要するといわれている整数線形計画法は全く適用不可能であるとされていた。このような事情から、現在の制御もLP解をもとにして許容開口ブース数を決定する方式を踏襲しているわけである。しかし、今日の計算機技術の改進により、相当大規模な線形計画問題も計算可能となっていることから、今回整数計画法の制御問題への適用を試みるものである。

2. ブース数制御とスプリット制御の定式化

2-1 実数LPを用いた制御の定式化

佐佐木・明神によるLP制御は、決定変数である許容流入台数はすべての入路を対象としており、容量制約を設ける区間も入路・出路で区切られるすべての区間としていた。本研究では都市高速道路の最近の制御理念に基づき⁸⁾、この従来型LP制御を次のように単純化する。すなわち、放射線よりも環状線の円滑化を優先するため、容量制約を考える区間は環状線内のみとし、また都心流出交通優先のため環状線入路は制御対象入路から外す。したがって、以下のように定式化し直される。

$$\begin{aligned} \text{Obj. } F &= \sum_i u_i && \rightarrow \max \\ \text{S.T. } & \sum_j u_j Q_{ij} \leq C_j - \sum_k U_k Q_{kj} && \text{for all } j \end{aligned}$$

$$0 \leq u_i \leq U_i^d \quad \text{for all } i$$

ここに、

- u_i : 放射線入路 i からの許容流入量
- Q_{ij} : 放射線入路 i の区間 j に対する影響係数
- U_k : 環状線入路 k からの流入交通量
- Q_{kj} : 環状線入路 k の区間 j に対する影響係数
- C_j : 環状線区間 j の交通容量
- U_i^d : 放射線入路 i の需要交通量

波線部が都心流出交通優先のため、環状線入路は制御しない(需要を全て流入許容する)ことを意味する。

この制御解は一般に実数として算出されるので、実際にその許容解どおり流入させるには、例えば入路信号を設けてその信号周期に占める青信号の割合を決めるようなスプリット制御を行う必要がある。したがって、この方式を「実数LP入路スプリット制御」と呼び、以後RLP/Sと記す。

またこの方式で信号等は設置せず、現行の「入路閉鎖・ブース制限方式」を踏襲する場合は「実数LP入路ブース数制御」と呼び、RLP/Bと記す。その許容開口ブース数の決定はRLP/Sで得られた各入路の許容流入台数 u_i をブース容量で割り、整数化したものとする。すなわち、制約条件は同じで目的関数が以下のように変わる。

$$\text{Obj. } F = \sum_i A x_i \quad \rightarrow \max$$

$$\text{ただし } x_i = \text{INT}(u_i / A) \quad \text{for all } i$$

ここに、

- x_i : 放射線入路 i の許容開口ブース数
- A : 1ブースの容量

以上2方式が、実数LPを用いた制御方式として定式化される。

2-2 整数LPを用いた制御の定式化

整数LPは一般的なLP問題において、その決定変数を整数値しかとらないようにしたものであり、

定式化には実数LP問題の制約条件に整数制約を1行加えただけでよく、定式化は簡単であるがその解法は難しいとされている。またすべての変数を整数値として決定するものを全整数線形計画問題、一部の変数のみ整数値として決定ものを混合整数線形計画問題というが、本研究では前者の全整数線形計画問題を扱う。

整数LPを制御問題に適用する場合、目的関数は実数LPと同じように流入台数最大化であり、決定変数は各入路の許容開口ブース数とする。ただし整数LPではnブース開口した場合、需要台数(U_i^d)がブース容量(nA)以上であれば流入台数(u_i)は nA 、 nA 未満であれば U_i^d である。すなわち

$$\begin{aligned} \text{if } U_i^d \geq nA & \text{ then } u_i = nA \\ \text{if } U_i^d < nA & \text{ then } u_i = U_i^d \end{aligned}$$

したがって需要台数とブース容量、および許容流入台数の大小により、次のような2ステップを踏む問題に変形される。

第1ステップ

$$\begin{aligned} \text{Obj. F } \sum A x_i & \rightarrow \max \\ \text{S.T. } \sum A x_i Q_{ij} & \leq C_j = \sum_k U_k Q_{kj} & \text{for all } j \\ A x_i & \leq U_i^d & \text{for all } i \\ 0 \leq x_i & \leq X_{i\max} & \text{for all } i \\ x_i, X_{i\max} & : \text{ 整数} & \text{for all } i \end{aligned} \quad (2.1)$$

(2.1)式以下は次のようにも書ける。

$$\begin{aligned} x_i & \leq \min(U_i^d/A, X_{i\max}) & \text{for all } i \\ x_i, X_{i\max} & : \text{ 非負の整数} & \text{for all } i \end{aligned}$$

ここに

- A : 1ブースの容量
- x_i : 放射線入路iの許容開口ブース数
- $X_{i\max}$: 放射線入路iの最大ブース数

(2.1)は実数LP制御の $u_i \leq U_i^d$ に対応するものであるが、そのために制御不要な入路まで過剰に制御される恐れがある。したがって次の第2ステップが必要である。

第2ステップ

第1ステップで求められた各 x_i に対して

$$U_i' = U_i^d - A x_i \quad \text{for all } i$$

とおく。そして次のような0-1整数線形計画問題を解く。

$$\begin{aligned} \text{Obj. F } \sum U_i' y_i & \rightarrow \max \\ \text{S.T. } \sum U_i' y_i Q_{ij} & \leq C_j - \sum A x_i Q_{ij} \\ & \quad - \sum_k U_k Q_{kj} & \text{for all } j \\ y_i & = 0 \text{ or } 1 & \text{for all } j \end{aligned}$$

ここで $y_i = 1$ となる入路iがあれば、入路iの開口ブース数を $x_i = \text{int}(U_i^d/A) + 1$ とする。この時入路iの流入台数は、 $A x_i$ ではなく U_i^d である。 $y_i = 0$ の入路では第1ステップの x_i がそのまま許容開口ブース数となる。この制御方式を「整数LP入路ブース数制御」とよび、以下ILP/Bと記すことにする。そしてこの方式がRLP/Bよりどの程度効率的か、またRLP/Sとの差はどうかを見るわけである。

この問題を解くには最初、整数条件を除いたRLP問題を解き、整数でないある1つの変数について制約条件を整数に強めた2つのRLP問題に分枝し、整数解が得られるまでそのRLP計算を繰り返すという分枝限界法(Branch-and-bound method)を用いる⁹⁾。実際に計算機を使用して求解する場合には、分枝した問題などを記憶しておくための領域(リージョン)や反復回数を少なくするように、変数や制約条件をできるだけ減らすといった工夫が必要である。

2-3 方式の数学的考察

各方式の目的関数(総許容流入台数)、およびそのRLP/S制御との差を今一度示すと下記の様になる。

方式	目的関数	RLP/Sとの差
RLP/S	$\sum u_i$	-
ILP/B	$\sum (A x_i + U_i' y_i)$	$\sum (A x_i + U_i' y_i) - \sum u_i$
RLP/B	$\sum A x_i$	$\sum (A x_i - u_i)$

目的関数の大小関係は $\sum_i u_i \geq \sum_i (A x_i + U_i' y_i) \geq \sum_i A x_i$ 、すなわち $RLP/S \geq ILP/B \geq RLP/B$ である。 RLP/S と ILP/B との間の等号は、需要台数が十分少なく、 ILP/B の第2ステップで $\forall y_i = 0$ となり RLP/S と同じ問題になる時に起こるのが普通であり、 RLP/S の許容台数がブース容量のちょうど整数倍になって等しくなるようなことはほとんど有り得ない。

このILP/B制御の総許容流入台数は、放射線入路の数にほとんど関係なく、RLP/S制御との差は小さくなるものと思われる。これは第1ステップでILP/B解がRLP/S解（一般に実数解）に可能な限り近づけるように各整数値 x_i を選び、さらに第2ステップであい路区間に余裕がある限り $y_i = 1$ となる入路があるためである。

これに対し RLP/B 制御は入路 i ごとに許容開口ブース数が整数化されるため、RLP/S との総流入台数の差の最大は $\Sigma A - \varepsilon$ (ε : 微小台数) にまでおよぶ。このため放射線入路の数が多くなるにしたがい、RLP/B 制御は RLP/S 制御との総流入台数の差が大きくなる。これはすなわち各区間の容量をかなり下回って運用されることになり、またその分平面街路に多大な影響をおよぼすので、好ましくない。

また、個々の入路 i の流入台数は、特に ILP/B 方式では x_i の整数値のとり方が $x_i = \text{INT}(u_i/A)$ のような明確な関係にないため、入路によっては他方式との差が大きい場合があると予想される。

3. ケーススタディによる評価

3-1 入力データ、変数の決定

ここでは先述の制御方式を阪神高速道路網に適用してケーススタディーを行う。対象としたエリアは図-1に示すように、1985年現在の同大阪地区である。また入力データとして使用する需要交通量および影響係数行列は、1985年に実施された「第17回阪神高速道路起終点調査」における時間帯別ランプ間OD表に基づいている。このうち入路*i*の区間「*j*」に対する影響係数(Q_{ij})は、このランプ間OD表から作成した目的出路1の選択確率(P_{ij})と、別に作成した最短経路行列(T_{ij})から、 $Q_{ij} = \sum_j P_{ij} T_{ij}$ の計算で求めている。

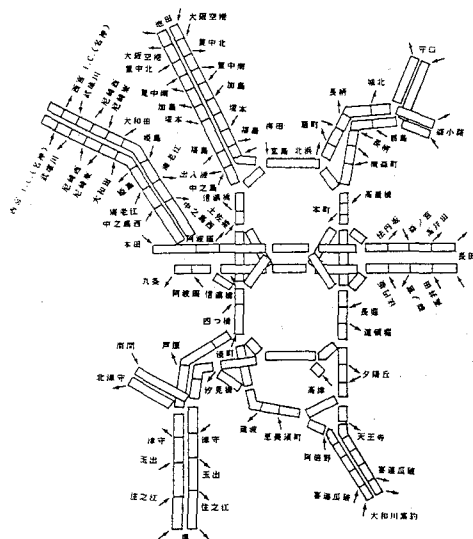


図-1 対象とするエリア

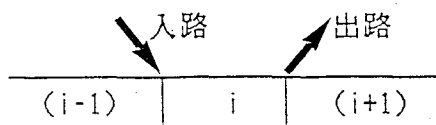


図-2 車線数不変の区間

まず区間容量の制約条件として考える環状線内の区間であるが、車線数、出入路、分合流地点で分けられた環状線の区間は32ある。従来のLP制御の研究ではこのすべての区間について制約条件を設けていたが、ILP問題を解くにあたり制約条件、変数を多くとることは得策ではない。連続する区間においてその車線数が不変の場合、図-2のような区間は、区間*i*の容量制約が満たされれば必ず区間(*i*-1)、(*i*+1)の容量制約も満たされている。したがって本図*i*のような区間と、車線数が増減し容量が変化する区間のみを取り扱うことにより、かなりの制約条件を減少させることができる。実際には図-3に示すように19区間のみ考慮すれば容量制約は満足される。

次に制御対象入路であるが、最も変数が少なくな
るように各放射線入路を同等に一括して扱う、いわ
ゆる路線方式（Aとする）が考えられる。この場合、
変数は放射線の数、6個である。これにより特に I
LP/B方式の計算可能性の検討、および他方式と

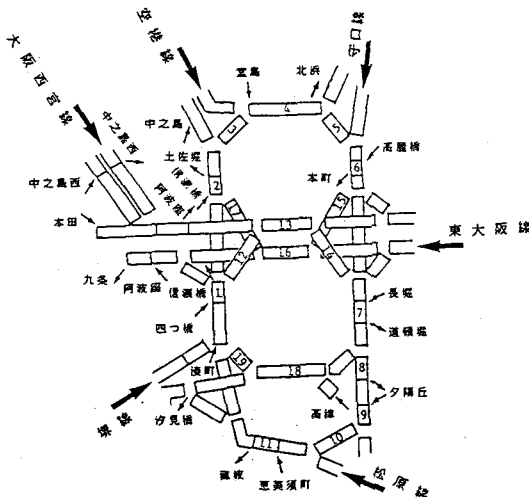


図-3 制約条件を考える環状線区間

の定量・定性的比較が可能である。この結果を踏まえ各放射線において、その端末の集約料金所と途中入路とに分けた方式（Bとする：変数は2倍の12個）を考える。これは、途中入路の利用車はその入路周辺部に限られているが、集約料金所はエリア外に起点を持つ長距離トリップが含まれており、利用パターンが途中入路と異なると考えられるためである。また変数が2倍になることより、ILPの計算時間や作業領域（リージョン）が著しく増加することが予想されるが、その増加の程度を見ることにより、22全放射線入路対象のILP計算（Cとする）が可能かを検討することができる。

各入路でのブース容量Aの決定は、堺線や松原線のような全ブース数9の放射線において、その最大流入台数が約5400台/時であることから、150台/15分/1ブースとする。

制御を検討するのは早朝・深夜時間帯を除いた午前7時から午後8時までで、制御の更新は15分ごとに行うものとする。ただし15分ごとの計算では実際には1時点前の流入交通量が各区間に残存している可能性があるが、本研究では定常性の仮定のもとに考慮しないものとする。また、制御による許容流入量より超過した需要交通量は、次の単位制御時間の需要交通量に加算して計算する。

制約条件となる環状線各区間の交通容量は、時間帯および区間などによって変化しないものと仮定し、

2160台/時/車線

1800台/時/車線

の2ケースを設定する。2160/時/車線は、1800/時/車線の20%増の値であり、阪神高速道路渋滞対策委員会が可能交通容量として使用している値である。1800台/時/車線を設定するのは、渋滞が発生しない安全側に容量の余裕をみるためと、サービス水準を上げた場合どう変化するかをみるためである。

各制御方式の評価基準としては

イ) 計算時間(CPU-Time)、作業領域(リージョン)

ロ) 許容流入台数

ハ) 制御による待ち時間

を考える。

このうち計算時間(CPU-Time)、作業領域(リージョン)はILP方式の計算可能性を検討するために重要である。また制御による待ち時間の算出は、制御地点で需要台数と流入台数の累積をカウントすることにより求める。図-4のように縦軸に累積台数、横軸に時刻をとり、需要交通量の累積と実際に通過した交通の累積をグラフに描く。このとき、2つの曲線で囲まれる範囲（図中の斜線部）が、制御による総待ち時間となり、総待ち時間を総台数で割ったものが制御による1台平均待ち時間となる。この場合、総台数としては「制御に巻き込まれた総台数」と「検討対象内の総台数」が考えられる。前者は制御に巻き込まれた場合に利用者が待たされる時間の期待値であり、後者は検討対象内の任意の時間に発生した交通が制御により待たされる時間の期待値である。本研究では後者を採用する。以下、順に考察する。

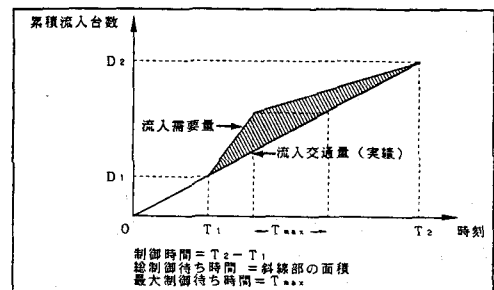


図-4 待ち時間算出原理

イ) 計算時間(CPU-Time)、作業領域(リジョン)

各方式の制御計算はすべて、京都大学の大型計算機 (FACOM M-780, 52MIPS) でFORTRAN 言語を用いて実行した。RLP計算や、ILPでのRLP反復計算には計算機センター組み込みのサブルーチンを使用している。前述のようにILP計算は分枝限界法によるRLPの繰り返し計算を行うので、計算時間を多く必要とするだけでなく、分枝した時の問題やその解を記憶しておかなければならないので、リジョンも相当量必要とする。それらを検討し、計算可能性を考慮することは十分必要である。表-1は方式間の計算時間、リジョンの大きさを示したものである。この場合、プログラム作成の巧拙等が各値に影響するが、相対的な比較は可能である。

まずRLP方式は、変数の多少に対して計算時間、リジョンの大きさとも小さく、計算には全く問題ない。一方ILP/Bは、両者ともRLPよりかなり多く必要としている。注目すべき点は、計算時間が設定容量の減少に対して急激に多くなることである。すなわち1800台/時/車線設定では2160台/時/車線設定より数倍要している。その理由としては、入力したデータが真の需要台数ではなく実績流入量であるため、2160台/時/車線では制御不要の入路が存在し、逆に1800台/時/車線設定ではほとんどすべての入路で制御が必要となり、問題が複雑に分枝したためと考えられる。これより計算時間に大きく影響するのは需要量と設定容量との大小より実際に制御を必要とする入路の数であることが言える。

表-1 各方式の計算時間・リジョンの大きさ

方 式		RLP/S	RLP/B	ILP/B	
				2160台	1800台
路線一括方式(A)	全時間帯 1時点 リジョン	1秒以内 約 150KB	1秒以内 約 150KB	8秒 0.15秒 約 370KB	48秒 0.91秒 約 370KB
	制約条件 32区間 の場合			16秒 0.30秒 約 500KB	123秒 2.32秒 約 500KB
増末途中 分離方式(B)	全時間帯 1時点 リジョン	1秒以内 約 170KB	1秒以内 約 170KB	36秒 0.68秒 約 1800KB	776秒 14.6秒 約 1800KB
	放射線全 入路方式(C)	2秒 約 190KB	2秒 約 190KB	10.2秒 約 4000KB	27.9秒 約 4000KB

注) *計算可能なリジョンの最高値は6144KB

**最小値である

また制約条件の多少に対する計算時間は、環状線32区間すべてに容量制約を設けた場合と、今回の19

区間のみ設けた場合とを比較した。32区間に容量制約を設けた場合、2160台/時/車線設定では2倍、1800台/時/車線設定では2.5倍以上要した。このことから今回、制約条件を必要最小限に設定したことは効果的であったことが明らかになった。

さらに変数の増加に対しては、計算時間・リジョンとも著しい増加がみられる。特に放射線全入路を個別に扱ったILP計算(C)は、リジョンサイズが約4000KB、1時点計算にも1800台/時/車線設定で27.9秒要している。現在使用している大型計算機の最大リジョンサイズは6144KBであるので、これ以上変数を増やすとその値を越える恐れがある。また計算時間も膨大なものとなろう。したがって現実的には路線一括(A)や端末途中分離(B)のような方式で計算し、各入路に分配するのがよいと思われる。

ロ) 許容流入台数

各方式の総流入台数の時間的变化(図-5)の傾向は、1800台/時/車線設定時では明瞭にRLP/S、ILP/B、RLP/Bの順になっている。2160台/時/車線設定時では制御不用の入路が多いためRLP/SとILP/Bがほぼ同じ流入台数になることが多い。

個別に各放射線入路をみると、許容流入台数(図-6から図-7)は1800台/時/車線設定時では、同じブース数制御でもRLP/BよりILP/Bの方が変化の激しいのが目だつ。離散的に全体の最適を目指すため、僅かな需要量、影響係数の違いで各々の値が大きく違ってくるものと思われる。2160台/時/車線設定時には、ほとんどの入路でRLP/SとILP/Bとが同じ許容流入台数である。そのため1800台/時/車線設定とは逆に、RLP/B方式の時間的変動に激しいものがみられる。

ハ) 制御による待ち時間(表-2参照)

1800台/時/車線設定時、1台当たりの待ち時間は東大阪線・神戸線を除きかなり大きなものになっている。これは許容流入台数とその時点における需要量の20%近くまで低下する結果であり、松原線などではこれほど長い待ち時間になるのは現実的には起こり得ない数値であり、またこのような高サービス水準を保ちながら制御を行うことは事実上不可能であることを示している。

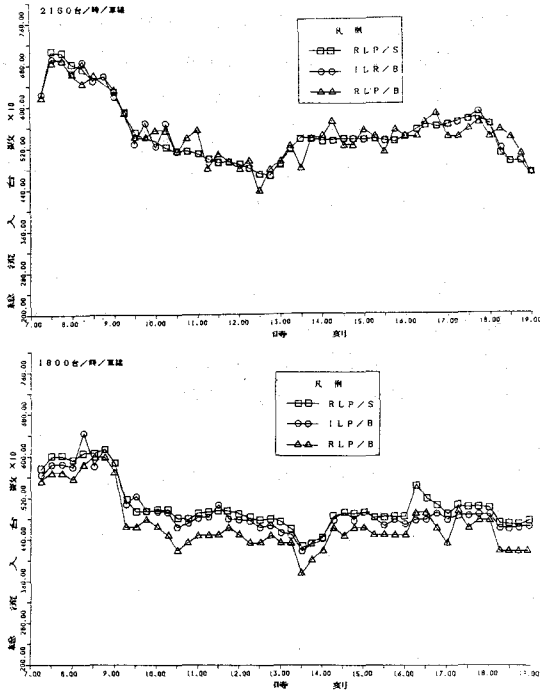


図-5 総流入台数の時間的変化

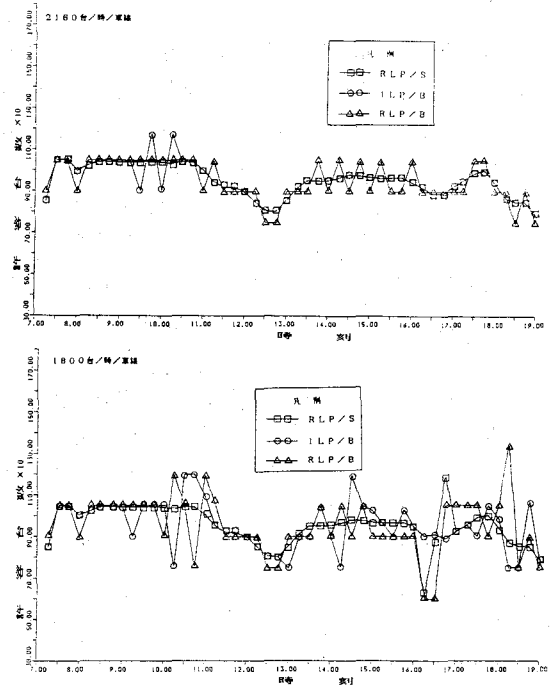


図-7 東大阪線許容流入台数

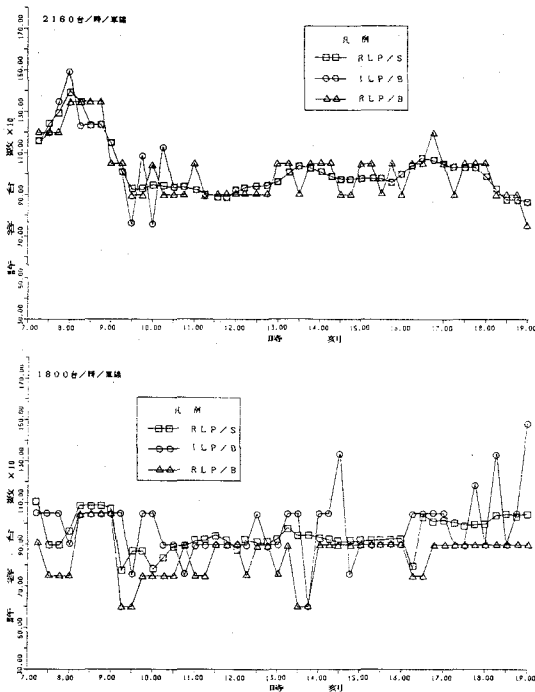


図-6 守口線許容流入台数

表-2 制御による1台当りの待ち時間(分)

方式	RLP/S (1800台/時/車線)	RLP/B	ILP/B	RLP/S (2160台/時/車線)	RLP/B	ILP/B
路線名						
空港線	38.25	67.81	64.28	0.02	1.39	0.17
守口線	39.24	80.82	28.40	0.16	0.97	0.24
東大阪線	0.19	1.27	0.94	0.00	0.00	0.09
松原線	88.00	149.30	126.91	0.88	3.73	2.10
堺線	31.24	47.42	15.64	1.50	3.16	1.47
神戸線	7.68	11.19	2.24	0.00	0.78	0.00
全線	32.45	57.30	37.56	0.38	1.45	0.59

2160台/時/車線設定では1800台/時/車線設定より大幅に少なく、各方式とも4分以内である。ここで問題になるのは入路での待ち時間だけではなく、入路に到着してから目的地までの到達時間も考慮し比較すべきではないかということである。どの放射線入路も、ブース数制御はスプリット制御より待ち時間が長くなっているが、流入台数が少ないので平均速度が高く、環状線内への到達時間は逆に短くなる。これを考慮すれば2160台/時/車線設定では入路に到着してから目的地までの所要時間には有意な差がみられないといえる。1800台/時/車線設定の東大阪線・神戸線以外の路線では、入路による待ち時間の差の方が、高速走行による短縮時間よりはるかに大きく、方式間の相違は明らかである。

4. まとめ

本研究は、都市高速道路に対する「整数LPを用いてブース数制御を行う流入制御方式（ILP/B 制御）」を提案し、従来から研究されている実数LPを用いてスプリット制御を行う流入制御方式（RLP/S 制御）・実数LPを用いてブース数制御を行う流入制御方式（RLP/B 制御）と比較検討し、阪神高速道路の現況道路網、現況交通需要量に対し実証的にその適用可能性を検討したものである。結果は次の通りである。

1) ILP/B方式は一応放射線全入路対象の計算が可能であったが、リージョン・計算時間とも膨大であるため、路線一括（路線制御）方式か、途中入路のみ一括方式で計算するのが実用的である。

2) またこのILP/Bの計算時間に大きく関係するのは入路の総数ではなく、容量と需要量から決まる制御の必要な入路数である。現状の需要量では計算には特に問題ない。

3) 総流入台数はRLP/S、ILP/B、RLP/Bの順に多いが、RLP/SとILP/Bの差は、需要台数の少ない場合、または高容量設定時に微小になる。これはILP/Bの第1ステップで過剰に制御されたものが、第2ステップでかなり復活するためである。

4) これよりブース数制御方式間では、現行型のRLP/BよりILP/B方式の方がかなり効率がよいことになる。

5) 区間容量は2160台/時/車線と、それよりサービス水準を若干上げた1800台/時/車線を設定した。1800台/時/車線設定では、許容流入台数は需要台数の約20%にまで低下し、待ち時間が膨大なものとなり、実際にこのようなサービス水準を保ちながら制御するのは不可能である。

以上より、道路の有効利用面からはRLP/SとILP/B方式が望ましいといえる。ただスプリット制御への移行には実用化への課題が多々あるため、当面のブース数制御には整数LPによる制御方式が最も望ましいものと思われる。

最後に本研究に残された課題について述べて終わりとしたい。

1) 今回ILP計算に用いた分枝限界法では、その反復回数を減らすため外部的に変数や制約条件の削減に努めたが、さらに計算の内部構造にわたって反復回数を減らす方法の研究が必要である。

2) ILP/Bの計算時間を短縮するためには、さらに第1ステップはRLP/Bで求め、第2ステップのみ0-1整数線形計画法を用いるといった方法が考えられる。

3) 需要台数として与えた交通量のデータは、実際は実績流入交通量である。そのため平面街路に離脱した交通量など潜在的な需要交通量が考慮されていない。それらを加味し計算する必要がある。

4) ODパターンの変化にともなう方式間の相違は、さらに検討し明確にする必要がある。

5) 長期的に道路網が変化し需要台数が増加した場合、計算が可能かどうか、またODペアに複数の経路が存在するようになった場合の対応を考えなければならない。

参考文献

- 1) 佐佐木；高速道路の交通制御理念、
高速道路と自動車、VOL.12 NO.6 1969
- 2) Sasaki and Myojin；Theory of Inflow Control
on an Urban Expressway System,
Proc.of JSCE, No.160, 1968
- 3) 明神、坂本、岩本；流入待ち行列を考慮したLP制御、
交通工学、Vol.8 No.5 1973
- 4) 枝村、森津、藤田；高速道路のLP制御と不確実性
交通工学、Vol.14 No.5 1979
- 5) 中川、佐佐木、井上；本線貯留を併用した待ち行列長制約付きLP制御による渋滞の軽減
土木学会第36回年次学術講演会概要集 1981.10
- 6) 井上、宮口、吉山；都市高速道路における路線制御方式についての考察、
土木学会関西支部年次学術講演会概要集 1987.4
- 7) 阪神高速道路公団・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、
1986.3
- 8) 前掲 7)
- 9) 若山、前田、佐塚共訳；整数計画法と非線形計画法
培風館