

都市高速道路の容量設計に関する一つの考え方

Combined Network Design and Management on an Urban Expressway
in a Decision of Highway Sizing

若林拓史*，井上矩之**

By Hiroshi WAKABAYASHI, Noriyuki INOUE

Abstract——The alternative procedure of the determination of highway sizing of an urban expressway using a specific time band OD-pattern instead of the current procedure which focuses on road sections using the 30th highest hourly volume is discussed in this article. This method has several advantages as follows:(1) In the design time band, since a difference between the demand OD-pattern and a spatial distribution of capacity is small, inflow control is less necessary. (2) And if necessary, it is easy to control since the difference is impartial. (3) In another time band, traffic control is used positively. (4) It is possible to take the important activity of the city into consideration. (5) It is possible that the efficiency achieved by control consists with the impartiality of control.

1. はじめに

現在の都市高速道路の運用は、主として渋滞対策としての交通管制が中心である。交通管制はさまざまな手法が研究、実用化され効果をあげており、その重要性は今後も変化しないと考えられる。しかし、現実には交通需要の増加やODパターンの変化に対し交通管制のみでの対応は困難となってきた。そこで、今後のネットワーク整備の際には、現在の交通管制で対応が困難な諸点を整理して設計にとり込み、供用後に制御が必要になっても交通管制が容易になるよう考慮することが重要であると考えられる。

ところで、交通管制の必要性は、高速道路の車線

数、言い換えれば区間の交通容量の空間分布と、交通需要のランプ間ODパターンとが乖離していることから生じる。現在のネットワークは1日交通量すなわち1日ODパターンをもとに、K値あるいはピーク率を用いて断面や区間に着目して設計されている。しかしこの方法では、需要の空間分布および朝、昼、夕方と時間帯により大きく変化するODパターンの時間変動を考慮することはできないと考えられる。そのため、計画対象年次の計画交通量に対しては、渋滞発生問題は起こりにくい、年月の経過につれて需要が増加するとODパターンの時間変動が顕在化してどの時間帯でも渋滞発生の可能性が生じ、交通管制の必要性が高まると考えられる。そこで本文では、平均的なODパターンではなしに時間帯別のODパターンを利用して容量設計を行なうという観点からこの設計法を論じ、簡単な例および京都に計画中の高速道路を例にとりあげて考察したものである。

*正会員 工修 大阪府立工業高等専門学校助教
土木工学科 (〒 572 寝屋川市幸町)

**正会員 工博 京都大学助教授 工学部交通土木工学科 (〒 606 京都市左京区吉田本町)

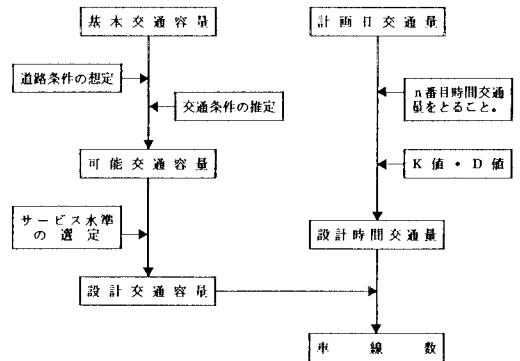
2．現在の容量設計法とその問題点

道路の容量設計（車線数決定）の手順は図－1のとうりであり¹⁾、その基本となる設計時間交通量は、計画日交通量にK値つまり計画日交通量に対する30番目交通量の割合（％）を乗じて求められる。これは、交通量の多い上位29時間（年間の0.33％）については渋滞してもやむを得ないという考えである²⁾が計画水準の考え方を導入しているために、計画対象年次の計画交通量に対しては、渋滞発生の問題は起こりにくいと考えられる。この考え方は、ある断面や区間に着目した設計法であって、ネットワーク全体としての処理可能交通量を増加させようとする立場では、この考え方で対処できないと考えられる。つまり、仮に計画水準を考慮しない場合、その区間では年間29時間は渋滞が発生することになり、その渋滞が延伸すると他の区間にも影響を及ぼす。複数の区間での渋滞の発生時間（つまり、年間29時間）が異なる場合には、年間30時間以上ネットワークのどこかで渋滞が発生することになり、さらに1回の渋滞は通常数時間続くから、渋滞時間はこの数倍に達すると考えられ、ネットワークとODパターンの整合性はとれていないことになる。都市高速道路は平面街路から独立して閉じたネットワークであるので、ネットワークとODパターンとの整合性をとる別な設計法があるのではないかと考えられる。

3．現在の交通管制とその問題点

3－1．流入制御の問題点

都市高速道路の交通管制は流入制御を主体としている。これは、都市高速道路が料金前払い制であること、交通需要が多く自然渋滞が頻繁に発生すること、トリップ長が短くわずかの時間損失に対しても敏感であること、等がその理由である³⁾。流入制御方式の理論的研究として、LP制御、比例制御、一樣制御等が考えられてきた⁴⁾。これらの制御は入路を対象としていることから入路制御とも呼ばれる。そして現実には、これらの理論的研究を背景に阪神高速道路では『入路閉鎖・ブース制限方式』と呼ばれる入路制御を採用している。これらの入路制御のうちLP制御は、本線の区間交通量を交通容量以下に抑えることを制約条件に、ネットワークへの流入交通量を最大にしようとする流入制御方式である。



図－1 車線数決定までの手順

この方式は、均一料金制を採用している都市高速道路において流入量最大化が料金収入最大化を意味し、利用者側と運用者側の双方で最適な解となるため、好ましい方式とされているが、LP制御に代表される入路制御は一般に次の欠点を持っている。

- ①流入待ち行列が延伸することによって平面街路の交通を疎外する。
- ②他の入路への迂回が生じる。
- ③制御・非制御入路間での不公平が生じる。
- ④影響係数の小さい入路での制御効果が低い。
- ⑤制御効果に時間遅れが生じる。

3－2．効率性と公平性

LP制御は上記のように流入量最大の解であることから制御量最小の解でもあり、そのことは隘路に対して影響係数の最大の入路が集中的に制御対象となることを意味している。このことは、需要量が非常に多いにもかかわらず、0もしくは極めて少ない流入量しか許容されないケースや上記①のように流入待ち行列が平面街路の交通混雑をひきおこすようなことが予想される⁵⁾。これを避けるため、1つの隘路に対して複数の入路で制御を行なう方法が考えられ、これが一樣制御や比例制御である。これらの制御法を効率という観点から比較すれば、一樣制御は影響係数の小さな入路でも制御量が等しいため、LP制御に比べると効率は悪くなると考えられる。比例制御では各制御量を区間におけるランプ流入量の構成比に比例させているので、一樣制御方式に比べて他の区間に対する交通量減少の影響が小さいという点で、比較的効率のよい方式である⁶⁾とされて

いる。一方、利用者の立場からみると次のように考えられる。ODパターンの日変動は固定化される傾向にあり、LP制御では特定の入路が集中的に制御の対象となるので入路間での不公平が問題となると考えられる。一様制御はどの入路からも同一の比率で制御されるから数字の上では平等であるといえるが、隘路に対する影響の大小が考慮されておらず公平であるとはいえない。比例制御は隘路の構成比率が考慮に入るので責任者負担ということができ、公平性という点では望ましいといえる。

3-3. 交通管制の容易なODパターンと困難なODパターン

次に、ODパターンと交通容量の空間分布との乖離が著しくなると一部のランプに流入待ち行列が集中する。その流入待ち行列がネットワーク上の入路に対して分散した場合と集中した場合とを比較すると次のようになると考えられる。仮に入路制御によって、少数特定の入路に待ち行列が生じた場合、その制御パターンを続行すると、前記①により、流入制御をあきらめなければならず、制御の可能限界が小さくなる。流入制御を続行しようとする、この場合は入路閉鎖をせざるを得ず、前記②に示すように、他の入路への迂回が生じる。その量が多い場合、上記のことが連鎖的に発生し、その地域からの流入が極端に抑えられることになる。一方仮に、待ち行列が全入路に分散すると、各入路の待ち行列長も比較的小さくなると考えられ、LP制御の解としてのブース制限で対処できる。以上のことから、少数特定の入路に大きな待ち行列が生じるODパターンは交通管制が困難なODパターン、多くの入路に小さな待ち行列が分散するODパターンは交通管制が容易なODパターンであるといえる。

3-4. まとめ

制御手法の選択により、総流入台数や入路間の待ち行列長差に相違があり、運用者側と利用者側について以上述べたことを整理すると次のようになると考えられる。

(1) 総流入台数

- ・運用者：料金収入から考えて最大化が望ましい。
- ・利用者：最大化が望ましい。

(2) ランプ間制御台数差

- ・運用者：上述のように交通管制の容易性から小さい方が望ましい。
- ・利用者：利用者間の公平性から小さい方が望ましい。

以上のことから運用者、利用者の双方にとって、総流入台数の大きな、そしてランプ間制御台数差の小さな流入制御法とODパターンがネットワークにとって望ましいことになると考えられる。

4. 運用の容易性を考慮したネットワーク設計

現在の交通管制の状況は、昼の時間帯でも制御が行なわれており、ネットワークや都市にとって大切な交通を制御していると考えられる。ネットワークや都市にとって大切な交通を保護・育成するという考え方は現在の容量設計法にはなく、この点の考慮が都市の発展のためには必要と考えられる。

また、前節で述べたようにLP制御では少数特定の入路に制御が集中する。そのため、効率性という点では優れた制御法であるが、ランプ間制御台数差が大きく運用者の立場からは入路制御がしにくい、利用者の立場からは不公平である等の問題点があった。一方、一様制御や比例制御はランプ間の制御量の公平性では優れているが効率性では劣っている。

そこで、交通管制が容易で都市にとって重要な交通を保護する考え方として、次に述べるネットワークの容量設計法を提案する。

- 1) その都市にとって重要なODパターンで容量を設計しその時間帯でのネットワークの交通処理能力を増加させる。
- 2) それ以外の時間帯に対しては交通管制で対応する。
- 3) ODパターンの選択については例えば次のようにする。
- 4) 通勤・通学交通を主体とするODパターンは、その都市に鉄道等の大量輸送機関がある場合、自動車抑制策からみてこのODパターンを選択するべきでない。
- 5) 都市機能の維持・発展は、その都市の活動の担い手に依存しており、そのようなODパターンを保護・育成する必要がある。したがって、このようなODパターンの選択が望ましい。一例を挙げれば、

商業都市ならば業務トリップ，観光都市ならば観光交通などである。

ODパターンとネットワークの交通容量の空間分布が一致すれば，流入制御を必要としない限界の総流入需要量つまり不必要限界¹⁾の値が高くなり，その時間帯での交通管制の必要度が小さくなる。平面街路の渋滞緩和にも寄与できる。また，需要が大きくなってもランプ間制御台数差が小さく，プース制限等で対処でき，交通管制が容易であると考えられる。そして，効率と公平の両立が可能ではないかと考えられる。したがって，ある時間帯のODパターンでネットワークの容量設計を行なうことは，以上述べた点で意義があると考えられる。

5. 3区間を対象とした計算例

5-1. 前提条件

本節では，3区間からなる簡単なネットワークを対象とした計算例を示し，4節で述べた容量設計法の利害・得失を明らかにする。

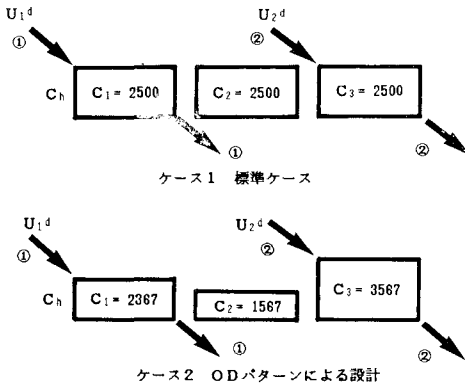


図-2 比較する交通容量の組合せ
(単位: 台/Unit time)

表-1 ランプ間OD表

ON \ OFF	1	2	合 計
1	800	1200	2000
2	0	2000	2000
合 計	800	3200	4000

(単位: 台/Unit time)

考察の対象とするネットワークを図-2に示す。ケース1を標準ケースとし，ケース2は表-1のODパターンで設計したケースである。ネットワークの総容量は両ケースとも同一である。交通容量は，制御の特性を容易に把握できるように連続変数として扱い，ケース2では区間の需要量と交通容量との乖離を最小とする交通容量を用いる。

$$\sum_h \left\{ \sum_i U_{id} \cdot Q_{ih} - C_h \right\}^2 \rightarrow \min$$

$$\text{S.T. } \sum_h C_h = C$$

これを解くと次式を得る。

$$C_h = \sum_i U_{id} \cdot Q_{ih} - \left(\sum_h \sum_i U_{id} \cdot Q_{ih} - C \right) / h$$

ここに，

U_{id} ; 入路 i での流入需要量

Q_{ih} ; 入路 i の区間 h に対する影響係数

C_h ; 区間 h の交通容量

C ; ネットワークの総交通容量

h ; 総区間数

である。

そして，両ケースを効率性と公平性の2つの観点から比較する。効率性は流入台数で測り，公平性はランプ間制御台数差をもって尺度とした。ケース2について，効率性で優れるLP制御の解が公平性をも満足するかどうかを検討する。具体的には，ケー

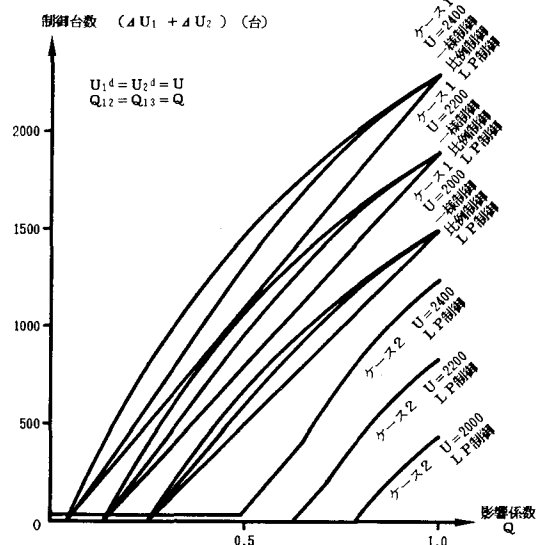


図-3 影響係数の変化に対する制御台数の変化

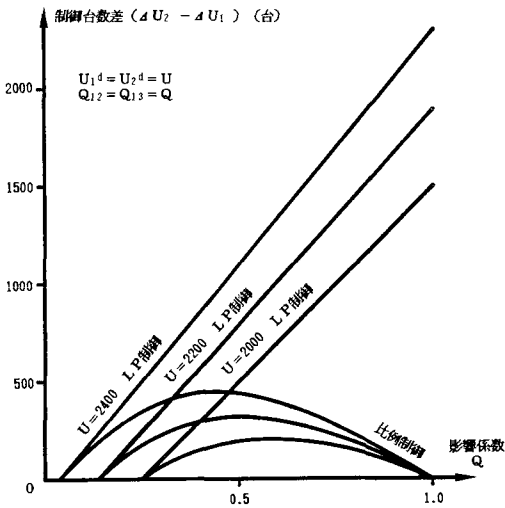


図-4 影響係数の変化に対する制御台数差の変化(ケース1)

ス2のLP制御の解について、効率はケース1のLP制御の解(「ケース1+LP制御」と比較し、公平性はケース1の、ランプ間での制御負担量が責任者分担により公平であるとされる比例制御(「ケース1+比例制御」と比較する。

5-2. 影響係数の変化に対する制御特性

図-3は、各制御の制御特性を示したものである。ケース1に対しては一様制御も図示しており3つの制御方式に対してすべての解が存在している。ケース2では、隘路が複数となっていて比例制御・一様制御の解がない場合があるのでLP制御のみを表示している。

制御量は、同一ケース内では前節で述べたようにLP制御が最も制御量が少なく効率的であり、一様制御が最も多くて比例制御はその中間となっている。ケース2がケース1に比較して言えることは制御台数を相当小さくすることができる点であり、ODパターンとの整合性の効果ははっきりと表れている。制御台数のケース1とケース2との差は各ランプへの流入需要量 $U=2000$ 台のときに約1000台、 $U=2400$ 台のときは約1300台である。

一方、ランプ間制御台数差を図-4、図-5に示す。図-4において、LP制御は、影響係数が最も大きい入口のみを対象に制御するため、隘路が1区間のこの場合は制御台数差は制御量に一致している。

また、一様制御では明らかに制御台数差は0であり、比例制御は前二者の中間となっている。図-5において、ランプ間の制御台数差は隘路区間が変化し、それに応じてそれぞれの隘路に対してLP制御が行なわれるためグラフに変曲点が多く存在している。ランプ間制御台数差は、ケース1にLP制御を適用した場合と比較して小さいのは明らかである。この場合、前述のようにケース1の比例制御とケース2

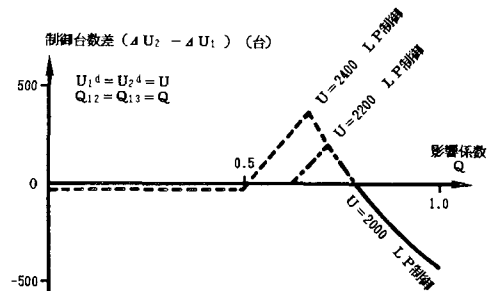


図-5 影響係数の変化に対する制御台数差の変化(ケース2)

のLP制御とを比較する。影響係数 Q が約0.85~1.00の間ではケース2の方の制御台数差が大きくなるが、それ以外の Q の範囲ではケース2の方がケース1を下回っており、特に標準ケースの $Q=0.60$ 、 $U=2000$ 台に対して、また $U=2400$ 台のときも「ケース1+比例制御」の半分程度である。

これらの結果より、ODパターンとの整合性を重視した容量分布の方が管制の容易性および効率・公平性の面で優れているといえる。

5-3. 流入需要量の変化に対する制御特性

図-3~5では影響係数を変数としたが、一般に影響係数はそれほど変化が大きいと考えられる。そこで、 Q :一定のもとでネットワークに対する流入需要量が様に变化する場合を示したのが図-6である。ケース1では流入台数各ランプ1563台から既に流入制御が必要。LP制御に限っていえば、流入需要量の増加に応じて制御量は急激に増加していく。制御量の差は隘路が複数になった時点から一定となる。比例制御では各2000台から解がなくなるが制御量ではLP制御より大きく、制御台数差では200台から400台まで変化していてLP制御による制御台数差より小さい。一方、ケース2では、流入

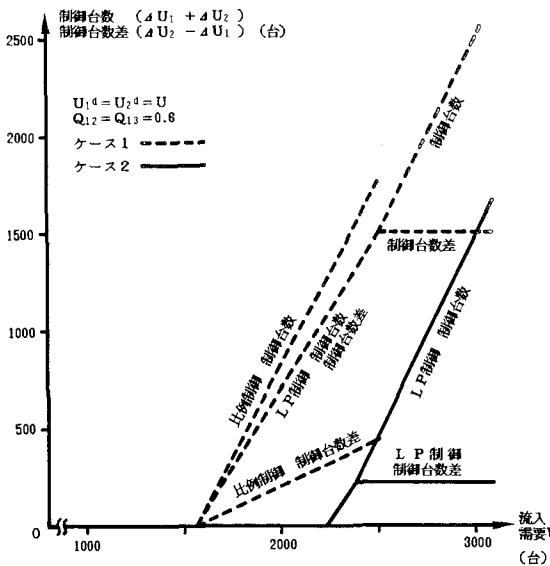


図-6 流入需要の増加に対する制御特性の変化

需要量が各ランプ2230台まで制御が不要で、それ以降はケース1と同様に急激に制御量が増加するが制御量はケース1よりつねに約900台少ない。そして、制御台数差は隘路が複数となる $U=2370$ 台までは制御量と同じ値で推移するが、それ以降は約220台と一定となる。この制御台数差はケース1の比例制御による台数差よりも小さいことが明らかとなった。したがって、流入需要量の様な増加に対しては、このネットワークの容量では交通管制が容易であると考えられる。

5-4. ODパターンの変化に対する制御特性

次に、ケース2の制御ではODパターンの変化に対して弱点があると考えられ、これについて検討してみる。ODパターンが交通容量から乖離する方向は2つある。グラフでは総流入需要量を4000台で一定とし、 Q ：一定のもとで2つの流入需要量 U_1^d 、 U_2^d を1000~3000台の間で変化させている(図-7)。ケース2がケース1より劣りだす流入交通需要量の範囲を図-8に示す。これらの図より判断して制御台数差では需要ODパターンが設計ODパターンから乖離すると、一方の乖離方向では全く問題がなく、もう一方の乖離方向では制御台数差は早い段階でケース1より劣り、制御台数ではODパターンの変化に対して比較的良好に耐えられると考えられる。

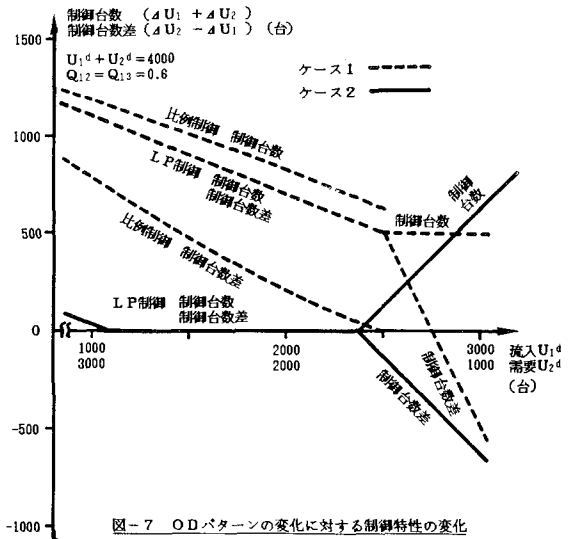


図-7 ODパターンの変化に対する制御特性の変化

ケース1の比較対象	U_1^d	1000	2000	3000
	U_2^d	3000	2000	1000
L P制御				
制御台数				
L P制御				
ランプ間制御台数差				
比例制御				
制御台数				
比例制御				
ランプ間制御台数差				

図-8 ケース2がケース1より劣る流入需要

5-5. まとめ

本節では、時間帯別ODパターンを用いた容量設計法の利害・得失を明らかにするため、3区間からなる簡単なネットワークを対象としてケース間比較を行なった。

その結果、影響係数の変化や流入量の様な増加に対しては、ODパターンを用いた設計(ケース2)の方が交通管制の容易性および効率・公平性の点でそうでない設計(ケース1)よりも優れていることが明らかとなった。また、ODパターンの変化に対してケース2をケース1と比較すると、制御台数の点では比較的良好であり、制御台数差については比較的早くから問題が生じることがわかった。しかし、需要ODパターンが設計値より乖離しても鋭敏に制御特性が変化するとはいえず、比較的ODパターンの変化にも耐性があることが明らかとなった。

6. 京都に計画中の高速道路を対象とした簡単な計算例⁸⁾

次のような簡略化した手順で計算を行なった。

(1) 時間帯を、時間帯1：朝の通勤時間帯（7時～11時）、時間帯2：昼間の業務時間帯（11時～18時）、時間帯3：夕方の帰宅時間帯（18時～20時）、時間帯4：夜間・早朝を含む時間帯（20時～7時）のように設定した。

(2) 昭和55年情勢調査OD表と昭和75年予測OD表とから計画年次（昭和69年）のOD表を内挿法で求めた。

(3) 1日OD表を用いて需要配分を行なった。これは、昭和55年を対象にした配分実績値および分担率をもとに、経路を与件とした需要配分である。

(4) 昭和55年情勢調査から時間帯別OD表を作成した。各トリップの時間帯への帰属の決定は、基本的には対象地域に近いトリップエンドの発着時刻を優先とした。

(5) (4)を使用して計画年次のOD表を現在パターン法的に時間帯別OD表に分解した。

(6) (3)と同様の方法で需要配分を行ない、各道路区間の交通需要量を求めた。

以上のようにして時間帯別の容量設計を行なう。次に、例として時間帯2を用いて容量設計を行なった場合、他の時間帯に対して流入制御を必要としない不必要限界流入量を限界需要解析⁹⁾を用いて算定した（図-9～11参照）。その結果、次のことが明らかとなった。

(1) 限界需要解析の結果では確かに設計対象時間帯2に対しては制御の不必要限界量が大きくネットワークが有効に使われ交通管制の必要性も小さいと考えられる。そして、他の時間帯に対しては需要と容量とが乖離するために不必要限界量の値は小さくなっている。

(2) 時間帯による車線数の差はほとんどない。とくに時間帯2と3は全く同一となり、また1日交通量による車線数とも一致した。これは区間の交通需要量が一車線当たりの交通容量内で変動したためであるがこの理由としては次の3点が考えられる。

- ・ネットワークの形状が単純であること。
- ・ネットワークが郊外部に位置しており、ネットワーク全体が放射線として機能していること。
- ・交通量の変動が比較的安定している都市間都市高速道路に接続していること。

(3) 以上のことから今後、放射・環状型に代表され、都心部に位置するネットワークを対象に検討を行なう必要があると考えられる。

7. むすび

ネットワークは、建設後の運用の容易性を建設時に考慮することが今後、必要になると考えている。そして、交通管制の必要性は、ランプ間の交通需要とランプ間の交通容量とが乖離することにより生じると考えられる。都市のODパターンに最も適合するネットワークは大量の交通需要を流入させることができ、ネットワークの利用効率も高まる。本研究

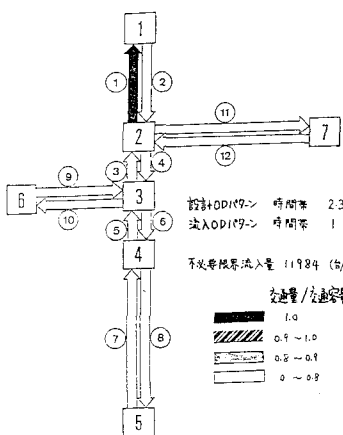


図-9 時間帯1における臨路区間と制御不必要限界流入量

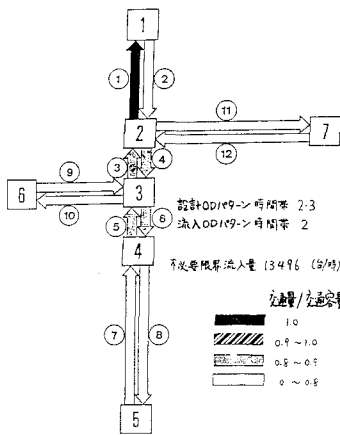


図-10 時間帯2における臨路区間と制御不必要限界流入量

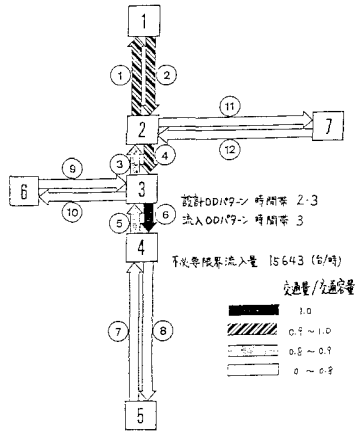


図-11 時間帯3における臨路区間と制御不必要限界流入量

では交通施設供用後の運用を考え、交通管制の必要性の低いネットワークの検討を行なった。

本手法の特徴は次のとおりである。

- (1) ネットワークとODパターンの整合を考慮できる。
- (2) その都市にとって、重要な交通を考慮できる。
- (3) 設計ODパターンでは交通管制の領域が小さく大量の交通が処理できる。交通管制の必要が生じても、その需要は交通管制の容易なODパターンである。それ以外の時間帯では交通管制で対応する。
- (4) 効率性と公平性の両立が可能である。

今後の課題は次のとおりである。

- (1) 放射・環状型のネットワークへの適用。
- (2) 従来の方法との全時間帯での比較と評価。
- (3) 道路建設によるODパターンの変化の考慮。
- (4) 設計対象外の時間帯の交通需要の救済対策。

最後に本研究を遂行する上で多大な御協力をいただいた京都大学学生福井弘高君（現在、京阪電鉄株式会社勤務）に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 松尾新一郎編：道路工学，pp.51，山海堂，昭和46年。
- 2) たとえば，河島 恒，市川義博他：高速道路の計画と設計，pp.47-48，山海堂，昭和59年。
- 3) 佐佐木綱：高速道路の交通制御理念，高速道路と自動車，Vol.12, No.6, pp.27-32, 1969.
- 4) 明神 証：都市高速道路の交通管制手法に関する研究，京都大学学位論文，昭和49年3月。
- 5) 前掲4)
- 6) 前掲4)
- 7) 井上矩之，橋田之宏：流入制御の限界需要についての解析，土木学会関西支部年次学術講演会概要集，pp. IV-48, 昭和54年。
- 8) 若林 拓・井上矩之・福井弘高：時間帯別ODパターンを考慮した都市高速道路の容量設計について，土木学会第39回年次学術講演会概要集，1984.
- 9) 前掲7)