

立命館大学理工学部 学生員 ○外山正人
立命館大学理工学部 学生員 満子良市
立命館大学理工学部 正 員 巻上安爾

1. はじめに

本研究は、高速道路の本線合流部における合流交通流モデルを作成するものである。本線合流部では、局部的渋滞やそれによって生ずる衝撃波の発生、速度変化、車線変更などが頻繁に生じている。そこで、メモーションカメラ等を用いて合流交通現象の実態調査を行ない、調査結果に基づいて、これらの諸現象をシミュレートする合流モデルの作成を試みた。また、解析に際し、合流モデルに交通状態によって以下に述べるような二つの場合を想定して、それぞれの状態に対し(1)推移確率を用いて各断面の車線交通量を求めるマルコフ連鎖モデル、(2)衝撃波の伝播によって各車線上での渋滞の拡大解消現象を解析する圧縮流体モデルを考えた。

2. 合流部の交通流特性について

対象とする合流部は、図-1に示すような上流3車線と2車線との合流である。合流部では、特に2車線が1車線になる合流車線上で、単路部とは異なる特性、すなわち、急激な速度変化、渋滞の発生が現われる。しかし、他の車線では、この合流車線の影響を受けない時には、ほとんど特異な現象は見受けられず、同一の道路条件・交通条件を与えることができるであろう。

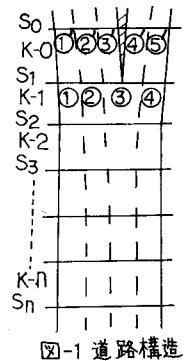


図-1 道路構造

3. 解析方法

まず、合流部を図-1に示すように、 n 個の区間に分け各断面各車線について、流入需要が各車線の交通容量を越えない場合(以下、定常モデルという)、および越える場合(以下、渋滞モデルという)に分けて解析する。このとき、各車線に与えられた交通量に対応する速行速度は、速度密度特性 K - V 特性を仮定して下記の式から求めるものとする。特に、合流部においては、図-3のように合流点からの距離によって最大交通密度(k_j)を変化させることを考えている。交通量は、ある一定時間帯 T において一定な交通量を与え、逐次時間帯によって変化させる。

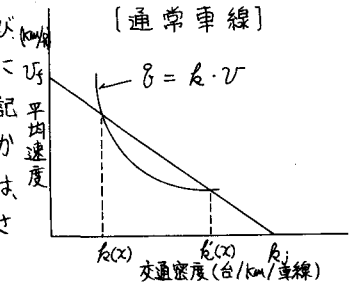


図-2 K-V特性図(通常車線)

$$\begin{aligned} \text{通常車線: } V_i(x, k(x)) &= \frac{V_f}{k_j} \{k_j - k_j(x)\} \quad \text{--- ①} \\ \text{合流車線: } V_i(x, k(x)) &= \frac{V_f}{k_j(1+x/L)} \{k_j(1+x/L) - k_j(x)\} \quad \text{--- ②} \end{aligned}$$

ここに、 x : 合流点からの距離 $0 \leq x \leq L$ (L : 合流部の長さ)

V_f : 自由速度, k_j : 最大交通密度

ただし、速度計算は、当区間が超過需要($q > C$ = 交通容量)であるか否かにより、図-2に示す $q = kV$ と K - V 特性の右側の交点の値か左側の交点の値を採用する。以下、左側の交通密度を $k(x)$ 、右側の交通密度を $k_j(x)$ で表わすことにする。

(1) 定常モデル(マルコフモデル)

各車線各断面の交通需要は、各時間帯についてマルコフ連鎖を利用して求める。つまり、合流部上流端(S_0)における車線分布率に流入交通量を乗じて S_0 で

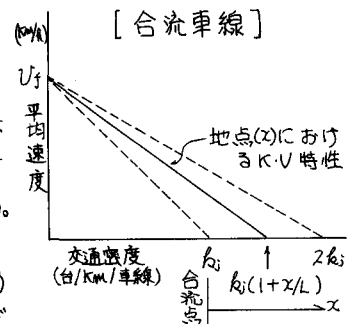


図-3 K-V特性図(合流車線)

の車線交通量 $Q_0(T) = (q_{00}, q_{01}, q_{02}, q_{03}, q_{04})$ を求め、次に、マルコフ性を仮定した車線変更率を推移確率行列 $P(n)$ で与え、下記の式により各断面 (S_n) の車線交通量 $Q_n = (q_{n0}, q_{n1}, q_{n2}, q_{n3}, q_{n4})$ を逐次求める。

$$\text{時間帯}(T) \text{において} \quad Q_{n+1} = Q_0(T) \cdot P(0) \cdot P(1) \cdots P(n) \quad (n=1, 2, 3, \dots) \quad \text{----- ③}$$

(2) 渋滞モデル(圧縮流体モデル)

衝撃波の伝播によって、合流車線上での後方および隣接車線への渋滞の拡大・解消現象を解析する。

(a) 渋滞挙動の追跡 渋滞発生の始まる地点は、定常モデルから計算される車線交通量が車線の地点容量を超過する区間のうち地点交通容量が最小となる地点とする。次に、図-4に示すように、渋滞の後尾が下流端から距離 x の点に達した場合について考える。ここで、 d_{i+1} は隣接車線への車線変更量であるが、この大きさは、密度差の関数として与えられる。 $g(x)$ は、地点 x における車線交通需要、すなわち定常モデルで与えられる区間交通量であり、次式で与えられる。このとき、 y を渋滞の境界線が含まれる断面 S の下流端からの距離とすると、

$$g(x) = g_i^s - g_i^s \frac{x-y}{L} (P_{i,i-1} + P_{i,i+1}) + \frac{x-y}{L} (g_{i-1}^s \cdot P_{i-1,i} + g_{i+1}^s \cdot P_{i+1,i}) \quad \text{----- ④}$$

ここに、 $\left\{ \begin{array}{l} g_i^s: i \text{ 車線 } S \text{ 断面における定常モデルからの交通量, } P_{i,i-1}: \text{車線 } i \text{ から } i-1 \text{ への推移確率行列} \\ L: \text{断面の区間長} \end{array} \right.$

$g(x)$ を、地点 x までの区間に流入する交通量とすれば、 $g'(x) = C_0 + d_{i-1} + d_{i+1}$ ----- ⑤ で与えられる。

したがって、地点 x における衝撃波の速度 $C(x)$ は、 x での渋滞領域(下流側)および定常領域(上流側)での交通密度をそれぞれ $k'(x)$ および $k(x)$ とすれば、 $C(x) = \{g'(x) - g(x)\} / \{k'(x) - k(x)\}$ ----- ⑥ で与えられる。ただし、地点 x において車線交通需要が交通容量を越えている場合には、 $g(x)$ は x における交通容量、すなわち $\frac{1}{2} k_j (1 + \gamma_L) v_j$ におきかえているものとする。以上の仮定により衝撃波の速度は、地点 x における車線交通需要が車線交通容量を越える場合としない場合に分けて、次の式で求めることができる。

$$C(x) = \frac{dx}{dt} = \left[k'(x) \left\{ v_j - \frac{v_j}{k_j(1+\gamma_L)} k'(x) \right\} - \frac{1}{2} k_j (1 + \gamma_L) v_j \right] / \left\{ k'(x) - \frac{1}{2} k_j (1 + \gamma_L) \right\} \quad \text{----- ⑦}$$

$$C(x) = \frac{dx}{dt} = \left\{ (C_0 + d_{i-1} + d_{i+1}) - g(x) \right\} / \left\{ k'(x) - k(x) \right\} \quad \text{----- ⑧}$$

上のいずれの場合も、渋滞の長さ $L_g(x)$ に達するまでの時間 T は、 $T = \int_0^T dt = \int_0^{L_g} \frac{dx}{C(x)}$ ----- ⑨ で与えられる。

ただし、上に述べた演算においては、 x における流量 $g(x)$ を求めるために渋滞領域からの車線変更量 d_{i-1} および d_{i+1} が定まっていなければならないが、両者共に合流車線の交通密度と隣接車線の交通密度の関数としているので、実際の演算にあたっては、区間長をさらに細分し、演算を繰り返して収斂させていく必要がある。また車線変更量と交通密度差との関係は、文献②では密度差の2次式で示したが、今後さらに調査を続けて、この関係を確かめていく予定である。また、渋滞領域の伝播が合流部上流へどのように分流していくかを追従するためには、合流内部を流入需要の比率に分けて、容量と需要の関係をチェックしていく必要があると考えられる。

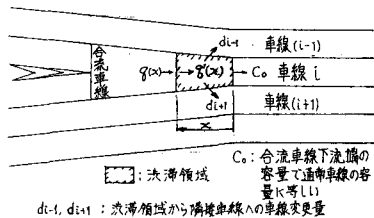


図-4 渋滞状態図

4. おわりに

以上の解析方法に基づいて行なった解析結果は、講演時に発表する予定である。また、データの使用を快諾していただいた阪神高速道路公団と調査に協力していただいた関係諸氏に深く感謝の意を表する。

参考文献 1) 第34回年次学術講演概要集IV-60「高速道路の本線合流部における交通実態調査について」

2) 昭和55年度 関西支部年次講演概要集「高速道路の本線合流部における交通挙動について」, 「マルコフ連鎖を用いた合流部の車線交通量の配分モデルについて」