

京都大学工学部 正会員 ○明神 証
京都大学大学院 学生員 多田英司

1. まえがき

ランプと本線との合流部の交通性状に関しては、待ち行列理論の応用やシミュレーションによるものなど比較的多くの研究がなされている。これに対して本線合流部に対するアプローチは少ないようである。とくにいわゆるY型合流部については、たとえば待ち行列理論の応用などは困難とみられること、Y型合流そのものの実際例が少ないことなどの理由によると思われるが、研究例があまりみあたらない。本文は、これまでに考察してきたY型合流に対する圧縮性流体モデルによるアプローチについて若干の吟味をあこない、ついでこのモデルをいわゆる側方型合流に拡張することについて検討するものである。

2. Y型合流モデルの記述^{1), 2)}

図-1のようなY型合流の場合について、つぎの諸量を考える。

$g_i(x, t)$: 断面 x , 時刻 t における交通量

$k_i(x, t)$: " " 単位巾当り密度

$u_i(x, t)$: " " 速度

$p_i(x, t)$: " " 単位巾当り圧力, $b_i(x)$: 断面 x の巾員。ただし, $i=1, 2$ であって合流区間の

下側, 上側車線をそれぞれ示す。また, 1 -ズから下流にむかって距離 x をとる。

合流区間において x 軸を横切って相手側車線に移る交通があると、このために移られた側の車線では減速せられるものとする。いま、つぎの2つの量を追加する。

$g_{12}(x, t)$: 断面 x , 時刻 t において車線1から2へ移る交通量

$\phi(x, t)$: $g_{12}(x, t)$ によって、2の流れに対して x 軸上負のむきに作用すると仮想する力であって、図-2に示したむきを正とする。

さて、圧力 p_i について $p_i = \alpha k_i^n$ なる仮定をあく。また、 g_{12} および ϕ については種々の形が考えられるが、それぞれつぎの形を仮定する。

$$g_{12}(x, t) = \beta \{ k_1(x, t) - k_2(x, t) \} \quad (1)$$

$$\phi(x, t) = \gamma g_{12}(x, t) \{ u_2(x, t) - u_1(x, t) \} \quad (2)$$

α, β, γ および n は定数である。 g_{12} は車線1, 2の密度の差に比例するという直感的なものであり、またでは移る交通量が大きいほどそして車線1, 2の速度差が大きいくほど大きくなるであろうということから2量の積に比例する形を仮定したものである。 $n=1$ とし、式(1), (2)をもちいて連続の式および運動方程式から定常流について

$$\left. \begin{aligned} \frac{dU_1}{dx} + U_1 \left(\frac{1}{k_1} \frac{dk_1}{dx} + \frac{1}{b_1} \frac{db_1}{dx} \right) &= -\frac{\theta}{b_1} (1 - k_2/k_1), \quad \frac{dU_2}{dx} + U_2 \left(\frac{1}{k_2} \frac{dk_2}{dx} + \frac{1}{b_2} \frac{db_2}{dx} \right) = \frac{\theta}{b_2} (k_1/k_2 - 1) \\ U_1 \frac{dU_1}{dx} + \left(\frac{1}{k_1} \frac{dk_1}{dx} + \frac{1}{b_1} \frac{db_1}{dx} \right) &= \frac{\theta \gamma}{b_1} (1 - k_2/k_1) (U_2 - U_1), \quad U_2 \frac{dU_2}{dx} + \left(\frac{1}{k_2} \frac{dk_2}{dx} + \frac{1}{b_2} \frac{db_2}{dx} \right) = -\frac{\theta \gamma}{b_2} (k_1/k_2 - 1) (U_2 - U_1) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$U_1 = u_1/\sqrt{\alpha}, \quad U_2 = u_2/\sqrt{\alpha}, \quad \theta = \beta/\sqrt{\alpha}$$

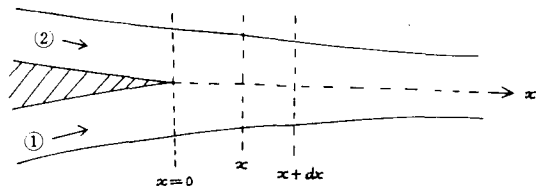


図-1 Y型合流

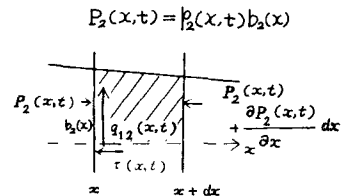


図-2 微小部分に働く力

ただし, k_1, k_2 に関してつぎの条件をあく。 $k_1 > k_2$ 。この条件は, $k_1 < k_2$ (したがって $u_1 > u_2$) のとき $\rho_{12} < 0$ にもかかわらず > 0 , すなわち車線 2 から 1 への移行があくにもかかわらずこのために車線 2 の流れを減速させるむきに力むがゆらくという矛盾を除くためである。Y 型合流の場合にはこの条件をあくことによってモデル自体の一般性を失うことはない。まったく対称な合流区間を考えているので, $k_1 > k_2$ の範囲内の解をえてあげばよいからである。

式(3)を初期条件 $U_2(0), k_2(0)$ に対してとけば断面 x における U_2, k_2 がえられる。ここで, U, k に対しては $U = -\ln(k/k_j)$ の関係が成り立つことが示されている。また, $\sqrt{u}$ は限界速度であることも示されている。

3. Y 型モデルの検討

式(3)から k_1, k_2 の挙動について吟味する。式(3)から

$$\begin{aligned} \frac{dk_1}{dx} &= \frac{k_1}{b_1} \left[-\frac{db_1}{dx} + \frac{\theta(1-k_2/k_1)\{\gamma(U_2-U_1)+U_1\}}{1-U_1^2} \right] \\ \frac{dk_2}{dx} &= \frac{k_2}{b_2} \left[-\frac{db_2}{dx} + \frac{\theta(1-k_1/k_2)\{\gamma(U_2-U_1)+U_2\}}{1-U_2^2} \right] \end{aligned} \quad (4)$$

ここで, 中置換数 b_1, b_2 を x の減少関数とすると $-db_1/dx, -db_2/dx > 0$ である。初期密度の与え方によってつぎの三つのケースが生じる。式(4)の右辺に $\square$ 内 2 項を i_1, i_2 とおく。また, $\theta, \gamma > 0$ である。

(イ) $k_c > k_1(0) > k_2(0), k_c = k_j e^{-1} (U_c = 1)$ のとき: $U_2(0) > U_1(0) > 1$ より, $x=0$ にあいて $i_1 < 0, i_2 > 0$ すなわち, 合流区間において入口近くでは, 車線 2 の密度は常に増加傾向にあるのに対し, 車線 1 では密度は

$$-db_1/dx + i_1 > 0 \quad \text{のとき増加}$$

$$-db_1/dx + i_1 < 0 \quad \text{のとき減少}$$

する。 b_1 が与えられたとき, このいずれであるかは $k_1(0), k_2(0)$ の大きさに依存する。一定の $k_2(0)$ に対して $k_1(0) \rightarrow k_c$ とすると $U_1 \rightarrow 1+0$ したがって $i_1 \rightarrow -\infty$ となる。すなわち $dk_1/dx \rightarrow -\infty$ よって密度は急激に減少する。

(ロ) $k_1(0) > k_c > k_2(0)$ のとき: $i_1 > 0, i_2 > 0 (x=0)$ 。車線 1, 2 ともに密度増加傾向を示し, さらに下流にむかって増加しつづける。この結果 $k_2(x) \rightarrow k_c - 0$ となつてある断面で $i_2 \rightarrow \infty$ 。すなわち $dk_2/dx \rightarrow \infty$ となり, これより下流にむかつての計算はできない。 $k_1(0) > k_c$ なる初期条件を与えてあいて, 下流にむかって計算を進めることが問題であらう。

(ハ) $k_1(0) > k_2(0) > k_c$ のとき: $i_1 > 0, i_2 < 0$ 。したがって密度の小さい車線 2 の方に減少傾向が存在することとがうかがわれ, 実際現象としても納得できな。い。

4. 側方型合流への拡張に関する考察

この場合には側方から通過本線にむかつての車の移行だけがあり, 逆むきの移行があくことはない。Y 型合流の場合には式(1),

(2) の形を仮定して, $k_1 > k_2$ の範囲について

考えても, 構造的に対称であるために, 一般

性を失なうことはなかつたのであるが, 側方型の場合には ρ_{12} を式(1)のように仮定するわけにはいがない。一つの方法として

$$\rho_{12} = \beta' k_1 (1 - k_2/k_j) \quad (5)$$

のような形が考えられるが, 式の形は幾分複雑になる。また, この形は式(1)と基本的に異なるので, Y 型と側方型の交通性状の比較という問題にたえられな。い。式(5)を仮定するとしても式(2)をもちいるとすると > 0 であるためにはやはり $k_1 > k_2 (u_1 < u_2)$ でなければならな。いので, この点についても改良を要する。

参考文献 1) 明神 証; 高速道路合流部の交通流モデル, 第 28 回土木学会年次講演概要, 第 4 部, 48 年 10 月
2) " " ; " " " " " " (2), 昭和 49 年度土木学会関西支部講演概要, 49 年 5 月

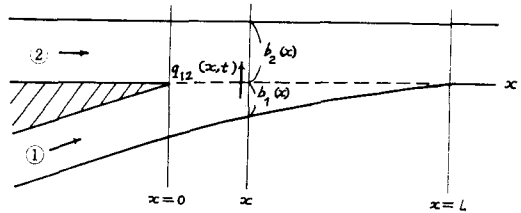


図-3 側方型合流