

車線閉塞度が変化する場合の事故渋滞の解析

京都大学工学部 正員 井上矩之

1. はじめに

事故処理の途中でとりあえず1車線の通行を再開させるという場合がしばしばみられる。このような車線閉塞度(平常時よりの交通容量減少率)が当初の α から α' ($\alpha > \alpha'$)に変化する場合の渋滞現象を考察する。上流より渋滞後尾へ向かう交通量は一定と仮定する。

2. 衝撃波の伝播特性

2.1 閉塞度が増加するまでの状況---時刻 $\theta = -d_1$, 位置 $\xi = 0$ (車の進行方向が正)で事故が発生し、閉塞度 α の状態が時間 d_1 継続すると、衝撃波の軌跡は次式で与えられる。¹⁾

$$\xi_1(\theta) = -v_f(S/2) \cdot (\theta + d_1), \quad S = \sqrt{\alpha - 1 + 2k_0/k_j}, \quad (-d_1 \leq \theta \leq \theta_1) \quad \text{---(1)}$$

ここに、 v_f : 自由速度, k_j : 飽和密度, k_0 : 事故前の密度である。

2.2 容量の一部回復後の状況-----時刻 $\theta = 0$ に閉塞度が α から α' に減少したとすると、 $k_1 > k' > k_0$ (k_1, k' : α, α' に対する平衡状態の密度)なる発進波が次々と交通流中に伝播し、衝撃波は伝播特性を変える。発進波 k_1, k' 、衝撃波の軌跡は次式で表わされる。

$$\xi_{k_1}(\theta) = -v_f \sqrt{\alpha} \theta, \quad \xi_{k'}(\theta) = -v_f \sqrt{\alpha'} \theta \quad \text{---(2)}$$

$$\xi_1(\theta) = v_f(1 - 2k_0/k_j)\theta - v_f \sqrt{RSd_1} \sqrt{\theta}, \quad R = \sqrt{\alpha + 1 - 2k_0/k_j}, \quad (\theta_1 < \theta \leq \theta_4) \quad \text{---(3)}$$

上式は衝撃波が発進波 k_1 に追いつかれる点(θ_1, ξ_1)より、発進波 k' に追いつかれる点(θ_4, ξ_4)の間で適用できる。ここに、 $\theta_1 = (S/R)d_1$, $\xi_1 = -v_f \sqrt{\alpha} \theta_1$ ---(4)

$$\theta_4 = (RS/R'^2)d_1, \quad \xi_4 = -v_f \sqrt{\alpha'} \theta_4 \quad \text{---(5)}, \quad R' = \sqrt{\alpha' + 1 - 2k_0/k_j}, \quad S' = \sqrt{\alpha' - 1 + 2k_0/k_j} \quad \text{---(6)}$$

である。 θ_4 以後は衝撃波下流側の密度が k_0 となるので、軌跡は次式のようになる。

$$\xi_1(\theta) = -v_f(S'/2)\theta - v_f(RS/R'/2)d_1, \quad (\theta_4 < \theta \leq \theta_5) \quad \text{---(7)}$$

2.3 容量の完全回復後の状況-----時刻 $\theta = d_2$ に事故処理がすべて終了し、疎通能力が原状態に回復したとすると、($d_2, 0$)を起点に新たに発進波 $k_1 > k > k_0$ (k : 平常時の交通容量に対応する密度)が伝播し、発進波 k' が衝撃波に追いつく点(θ_5, ξ_5)以後衝撃波は再び伝播特性を変える。

$$\xi_{k'}(\theta) = -v_f \sqrt{\alpha'} \cdot (\theta - d_2) \quad \text{---(8)}$$

$$\xi_1(\theta) = v_f(1 - 2k_0/k_j)(\theta - d_2) - v_f \sqrt{RSd_1 + R'S'd_2} \sqrt{\theta - d_2}, \quad (\theta_5 \leq \theta) \quad \text{---(9)}$$

ここに、(θ_5, ξ_5)は次式で与えられる。 $\theta_5 = (2\sqrt{R}/R')d_2 + (RS/R'^2)d_1$, $\xi_5 = -v_f \sqrt{\alpha'} \theta_5$ ---(10)

3. 最大渋滞長と渋滞解消時刻

閉塞度変化後の交通容量と上流よりの交通量の大小関係により最大渋滞長の式が異なる。

$$(1) S' > 0 \text{ のとき (図-1 参照)} \quad |S_2| = v_f(RSd_1 + R'S'd_2)/(1 - 2k_0/k_j)/4 \quad \text{---(11)}$$

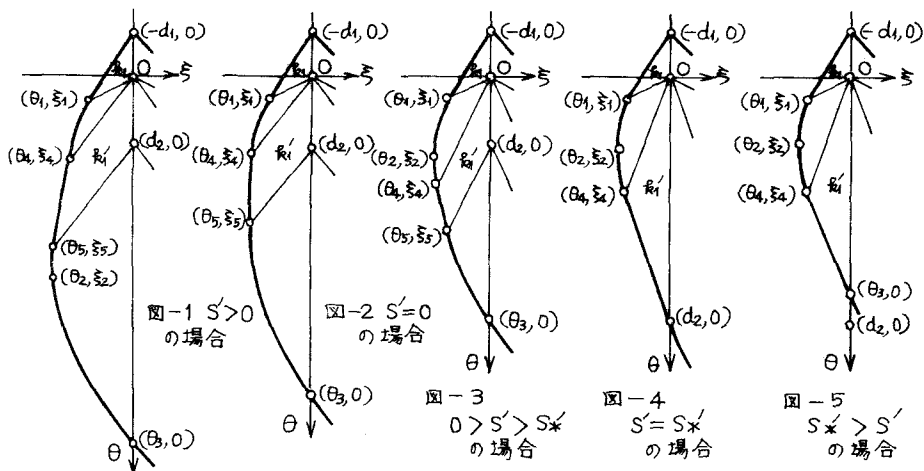
$$(2) S' \leq 0 \text{ " (図-2 ~ 5 参照)} \quad |S_2| = v_f(RSd_1)/(1 - 2k_0/k_j)/4 \quad \text{---(12)}$$

渋滞が $\theta = d_2$ 以前に解消するか否かにより渋滞解消時刻を与える式が異なる。

$$(1) S' > S'_* \text{ のとき (図-1 ~ 3 参照)} \quad \theta_3 = d_2 + (RSd_1 + R'S'd_2)/(1 - 2k_0/k_j)^2 \quad \text{---(13)}$$

$$(2) S' = S'_* = -RSd_1/(R'd_2) \text{ のとき (図-4 参照)} \quad \theta_3 = d_2 \quad \text{---(14)}$$

$$(3) S' < S'_* \text{ のとき (図-5 参照)} \quad \theta_3 = (RSd_1)/\{R'(-S')\} \quad \text{---(15)}$$



4. 一部車線疎通確保の効果

事故処理の途中で閉塞度を α から α' に減少せしめた場合、閉塞度が α のまま処理終了する場合に比べて、渋滞時間が何%減少するかを考察する。 d_1, d_2 を閉塞度がそれぞれ α, α' のときの閉塞時間 ($d = d_1 + d_2$) とする。

事故発生より渋滞解消までの渋滞時間 T_1 は

$$T_1 = \theta_3 + d \quad \text{--- (16)}, \text{ で求められる。一方、}$$

閉塞度が途中変化しない場合の渋滞時間 T_0 は

$$T_0 = (RSd) / (1 - 2k_0/k_j)^2 + d \quad \text{--- (17)}$$

で与えられるので、一部車線の疎通確保による渋滞時間の減少率を

$$\frac{T_0 - T_1}{T_0} = \frac{\alpha - \alpha'}{\alpha} - \left(1 - \frac{d_1}{d}\right), \quad 1 - \frac{(1 - 2k_0/k_j)^2 (\alpha - \alpha')}{\alpha R' (-S')} \cdot \frac{d_1}{d} \quad \text{--- (18)}$$

と表示できる。オ1式は $S' \geq S'_*$, オ2式は $S' < S'_*$ のとき適用できる。

図-6 に $\alpha = 1.0, \alpha' = 0.5$ の場合の減少率を示す。例えば、2車線高速道路上での $d = 60$ 分の事故に対して、 $d_1 = 0.4d = 24$ 分後に1車線の疎通を確保すれば、減少率は交通量が少なく $k_0/k_j = 0.05$ のときに約50%、交通量が多くて k_0/k_j が約0.1より大きければ30%と読みとれる。一般に交通量が少ないと1車線疎通確保の効果はかなり期待できる。しかし交通量が多くなれば減少率はある一定値でかまえられ、その効果は小さい。

5. おすび

以上の結果は波動理論に基づく理論解析により誘導されたものであり、実際の交通流に対する適合性については今後検討していかねばならない。

<参考文献> 1) I. Okutani & N. Imoue: Estimation of Traveling Time between Ramps and Discharge Control on Expressway, Proc. of JSCE, No. 211, 1979, p. 101; 2) 前掲1), p. 102

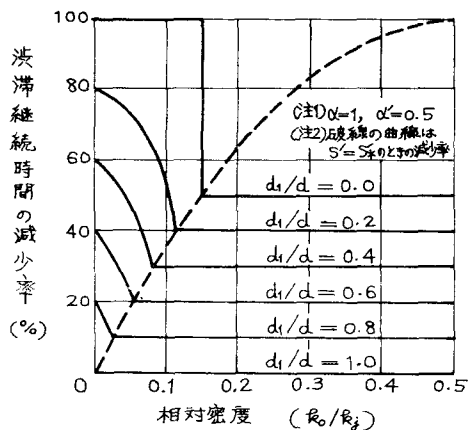


図-6 一部車線の疎通再開による渋滞継続時間の減少