

京都大学工学部 正員 井上矩文
 正員 〇森岡秀悟

1. はじめに

近年、高速道路を利用する交通が増大するにつれ、自然渋滞や事故などが増加してきており、そのため事故渋滞時の交通現象の解析が必要となってきた。渋滞が上流ランプに及ばない場合の渋滞現象については、従来から解析が行なわれている。本研究では渋滞が上流ランプを越えて拡大する場合の交通現象の考察を行なった。

2. 上流ランプにおける流出率

事故発生前の上流区間の交通量を q'_0 、事故区間のそれを q_0 とすれば、流出率 β は次式で定義される。 $\beta = (q'_0 - q_0) / q'_0$ --- (1) したがって $q_0 = (1 - \beta) q'_0$ --- (2) となる。また、流出率 β は事故発生後も不変であるとの仮定を設けているため、事故発生後、衝撃波の通過した後の上流区間の交通量を q'_1 、事故区間のそれを q_1 とすれば、 $\beta = (q'_1 - q_1) / q'_1$ --- (3) とあらわされる。

3. 衝撃波の伝播特性の変化

上流ランプから下流距離 x_0 のところで、時刻 $\theta = -\alpha$ (α : 閉塞時間) に事故が発生したとすると、衝撃波の軌跡は上流ランプに到達するまでは $\xi_1(\theta) = -\frac{U_f}{2} S(\theta + \alpha)$ --- (4)、以後は $\xi_1(\theta) = -\frac{U_f}{2} S'(\theta + \alpha) + x_0(\frac{S'}{S} - 1)$ --- (5) であらわされる。ただし U_f : 自由速度、 $R = \sqrt{\alpha} + 1 - 2P_0$ 、 $S = \sqrt{\alpha} - 1 + 2P_0$ 、 $S' = \sqrt{\frac{\alpha-\beta}{1-\beta}} - 1 + 2P_0$ 、 α : 閉塞度、 P : 相対密度である。また、衝撃波が上流ランプに到達する時刻 θ_0 は $\theta_0 = \frac{2x_0}{U_f} \frac{1}{S} - \alpha$ --- (6) で与えられる。時刻 $\theta = 0$ において疎通が再開すると発進波が発生し、交通流中を伝播するが、その軌跡は上流ランプに到達するまでは $\xi_p(\theta) = U_f(1 - 2P)\theta$ --- (7)、以後は $\xi_p'(\theta) = U_f(1 - 2P')\theta - x_0 - \frac{x_0(1-2P')}{\sqrt{\beta+(1-\beta)(1-2P')}} \theta$ --- (8) であらわされる。したがって衝撃波と発進波はともに上流ランプにおいて屈折する。

i) β が正の場合 すなわち上流区間の交通量が事故区間のそれより大きい時には、衝撃波の伝播速度の絶対値は大きくなり、一方発進波の伝播速度の絶対値は小さくなるため、 $\beta = 0$ の場合に比べ渋滞は拡大する。

ii) β が負の場合 すなわち上流区間の交通量が事故区間のそれより小さい時には、衝撃波の伝播速度の絶対値は小さくなり、一方発進波の伝播速度の絶対値は大きくなり、 $\beta = 0$ の場合に比べ渋滞は減少する。

次に衝撃波と最初の発進波との交点 (θ_1, ξ_1) は次式で得られる。 $\theta_1 = \frac{2}{R} (\sqrt{\frac{\alpha-\beta}{\alpha(1-\beta)}} - \frac{S}{S'}) \frac{x_0}{U_f} + \frac{S'}{R} \alpha$ 、 $\xi_1 = \xi_1(\theta_1)$ --- (9)。ただし $R = \sqrt{\frac{\alpha-\beta}{1-\beta}} + 1 - 2P_0'$ である。¹⁾

(θ_1, ξ_1) 以後の衝撃波の軌跡は $\frac{d\xi_1(\theta)}{d\theta} = U_f(1 - P_0' - P')$ を初期条件 (θ_1, ξ_1) のもとに解けば求めることができるが、これを解くことは困難であるので、ここでは以下に示す数値計算によった。つまり、まず (θ_1, ξ_1) を与え、その時刻および位置における相対密度 P' を

求めて衝撃波の速度を計算し、次に微小時間 $\Delta\theta$ (ここでは1秒) だけ衝撃波を進め、新しい (θ, χ) を求める。そして以下同様の計算を行なうて衝撃波が再び上流ランプに到達するまでの軌跡を求めていくものである。

4. 計算および考察

(θ, χ) 以後の衝撃波の軌跡を流出率 β に関して比較検討を行なうために q_0 について、600台/時、1200台/時、1800台/時の3通り、 β について -0.5, -0.25, 0.0, 0.25, 0.5 の5通り、 α について 0.5, 1.0 の2通り、 x_0 について 5km, 10km の2通り、 d について 0.5時間, 1時間, 1.5時間の3通りについて計算を行なった。

図1は $q_0 = 1200$ 台/時, $\alpha = 1$, $x_0 = 5$ km, $d = 1$ 時間の時の $\beta = -0.25$, $\beta = 0.0$, $\beta = 0.25$ の3通りについて衝撃波の軌跡を図示したものであり、表1は $\alpha = 1$, $x_0 = 5$ km, $d = 1$ 時間の場合について最大渋滞長さおよび衝撃波が再び上流ランプに到達する時刻 θ_3 に関して、それぞれ $\beta = 0$ の場合との比較を行なったものである。これらのことより、この計算法のもとでは最大渋滞長は流出率 β に関してほぼ直線的に増加することになる。また θ_3 について $\beta < 0$ の場合は $\beta = 0$ の場合にほとんど等しく、 $\beta > 0$ になると β が大きくなるにつれて $\beta = 0$ の場合に比べて大きくずれてくることとなる。

5. おわりに

閉塞時間が小さいと点 (θ, χ) が事故区間内に存在する場合もあるが、同様の方法で計算を行なうことができる。

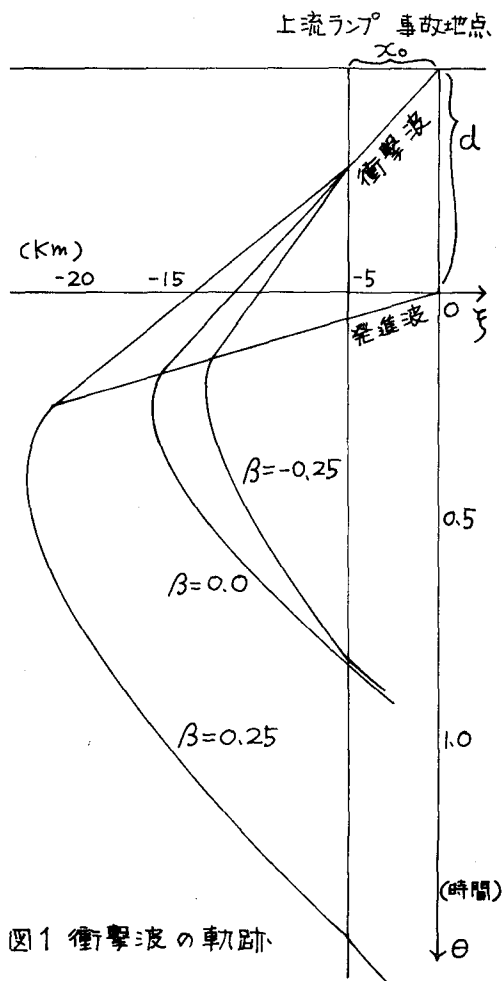


図1 衝撃波の軌跡

表1 $\beta = 0$ の場合との比較

註 最大渋滞長は上流ランプからの距離

q_0	600 台/時		1200 台/時		1800 台/時	
	最大渋滞長の比	θ_3 の比	最大渋滞長の比	θ_3 の比	最大渋滞長の比	θ_3 の比
-0.5	0.633	1.000	0.577	0.994	0.471	0.960
-0.25	0.775	1.000	0.730	0.997	0.632	0.982
0.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.25	1.415	1.078	1.633	1.752		
0.5	2.451	1.650				

<参考文献> 1) 奥谷・井上・中浜：高速道路における強制流出制御に関する一考察，第11回 日本道路会議論文集，昭和48年10月，PP.715～716