

京都大学工学部 正員 ○佐佐木 綱

日本国有鉄道 正員 星野 鐘雄

交通動学理論は一名追従理論ともいわれ、1車線上の車の流れにおいて諸現象を説明するものである。追突事故発生に関する理論である。したがって、この交通動学理論をもちいて、追突事故の発生を防止するための道路設計の条件、交通規制、交通管理のあり方について理論的な説明を得ようとするものである。これまで各方面において交通動学の基礎式が提案されてきたが、従来の研究では、車頭間隔は先行車および追従車の速度によつて一意的に定まると考えられていた。しかしわれわれの実験の結果では、追従車が加速している場合の車頭間隔は、減速している場合の車頭間隔より大きくなることが知られたので、両者の場合で、基礎式の定数として異なる値をもちいなければならぬ。したがって、車頭間隔-速度平面上に履歴特性を有する追従運動がひきおこされることになる。

車頭間隔が履歴特性を有する場合の基礎式はつぎのとおりである。

$$\left. \begin{aligned} \dot{v}_{kn} > 0 \text{ なら} \quad x_k(t-T) - x_{kn}(t-T) &= n_1 T v_{kn}(t) + b_1 \\ \dot{v}_{kn} < 0 \text{ なら} \quad x_k(t-T) - x_{kn}(t-T) &= n_2 T v_{kn}(t) + b_2 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに $x_k - x_{kn}$ は車頭間隔、 v_{kn} は追従車の速度、 T は反応時間であり、 n_1, n_2, b_1, b_2 はすべて定数である。いま先行車の速度 v_{kn} が $v_k(t) = v_0 + A \sin \omega t$

(2)

で与えられ、その追従車の速度 $\dot{v}_{kn}$ は近似的に次式で表わされると仮定する。

$$\dot{v}_{kn}(t) = v_0 + X \sin(\omega t - \varphi) = v_0 + a \sin \omega t + b \cos \omega t \quad (3)$$

式(2)、式(3)と式(1)に代入して展開し、両辺の $\sin \omega t$ 、 $\cos \omega t$ の係数を等しいとおいて、これと X について解くと

$$\left. \begin{aligned} \dot{v}_{kn} > 0 \text{ なら} \quad X_1 &= A \sqrt{1 - 2n_1 \omega T \sin \omega T + n_1^2 (\omega T)^2} \\ \dot{v}_{kn} < 0 \text{ なら} \quad X_2 &= A \sqrt{1 - 2n_2 \omega T \sin \omega T + n_2^2 (\omega T)^2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

加速状態の場合の振巾 X_1 と減速状態の場合の振巾 X_2 との平均を X とし、これと追従車の速度の振巾と考える。

$$X = (X_1 + X_2) / 2 \quad (5)$$

先行車の速度の振巾 A 、基礎式の係数 n_1, n_2 と与えれば、式(5)によつて、いろいろな ωT の値に対する X を計算することができる。1例として $A = 10 \text{ m/sec}$ 、 $T = 1 \text{ sec}$ 、 $n_1 = 1$ 、 $n_2 = 0.6, 0.8, 1.0, 1.2$ に対する周波数応答を求めて図示すると図-1のとおりである。また $n_2 = k n_1$ とおき、 $k = 1.2$ なる場合の周波数応答を $n_1 = 1.0, 1.5, 2.0, 2.5$ に対して求めて図示すると図-2のとおりである。

つぎにトライフックシミュレーションによる解法についてのべる。この方法は、電子計算機の使用によつて容易に過渡応答を求めることができる。

$$\left. \begin{aligned} \text{式(1)と変形すると} \quad \dot{v}_{kn} > 0 \text{ なら} \quad x_k(t) - x_{kn}(t) &= n_1 T v_{kn}(t+T) + b_1 \\ \dot{v}_{kn} < 0 \text{ なら} \quad x_k(t) - x_{kn}(t) &= n_2 T v_{kn}(t+T) + b_2 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\text{ところで} \quad x_k(t) - x_{kn}(t) = \Delta t \{ v_k(t-\Delta t) - v_{kn}(t-\Delta t) \} + X_k(t-\Delta t) - X_{kn}(t-\Delta t) \quad (7)$$

式(7)と式(6)に代入して、 v_{kn} について解くと

$$\dot{v}_{kn} > 0 \text{ なら} \quad v_{kn}(t+T) = \frac{1}{n_1 T} \{ \Delta t \{ v_k(t-\Delta t) - v_{kn}(t-\Delta t) \} + X_k(t-\Delta t) - X_{kn}(t-\Delta t) - b_1 \} \}$$

$$\dot{v}_{k+1} < 0 \text{ なら } v_{k+1}(t+T) = \frac{1}{k_2 T} \{ A \{ v_k(t-\Delta t) - v_{k+1}(t-\Delta t) \} + X_k(t-\Delta t) - X_{k+1}(t-\Delta t) - b_{k+2} \} \quad (8)$$

式(8)が初期条件 $X_k(0) = X_k(0)$, $v_k(t)$ (for $t=0 \sim \infty$) $v_{k+1}(t)$ (for $t=0 \sim T$) を満足するようにして、 t と Δt さみごとに計算して行けば $t = T \sim \infty$ に対する $v_{k+1}(t)$ の値を求めることができる。

つぎに交通流の安定問題について考える。先行車の速度攪乱が拡大されて後方へ伝えられる場合と不安定といい、減衰して伝えられる場合を安定ということにする。先行車、追従車の速度が式(2)、式(3)の形で与えられるならば最初の正弦波的振動は $X > A$ のとき拡大されて、 $X < A$ のとき減少して追従車に伝わる。したがって安定の条件は $X/A < 1$ で与えられる。式(3)の X とおくと伝播の安定条件はつぎのようになる。

$$\frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{1 - 2N_1 \omega T \sin \omega T + N_1^2 (\omega T)^2}} + \frac{1}{\sqrt{1 - 2N_2 \omega T \sin \omega T + N_2^2 (\omega T)^2}} \right) < 1 \quad (9)$$

式(9)がすべての ωT に対して成立するための条件を求めるつぎのとおりである。

$$k > 1 \text{ なら } N_1 > 2, \quad k < 1 \text{ なら } N_1 > 2/k \quad (\text{ただし } k = N_2/N_1)$$

最後に安定性からみた交通量を求めてみる。車頭間隔が履歴特性を有する場合は、追従しているときの平均車頭間隔が $\frac{1}{2} \{ (N_1 T v_0 + b_1) + (k N_1 T v_0 + b_2) \}$ で与えられるから、平均速度を v_0 、交通量を X (台/時) とすれば平均車頭間隔は v_0/X となるので追突しないためには

$v_0/X > \frac{1}{2} \{ (N_1 T v_0 + b_1) + (k N_1 T v_0 + b_2) \}$ でなければならぬ。したがって $X < \frac{1}{\frac{1}{2} \{ \frac{1}{v_0} N_1 T + \frac{b_1 + b_2}{2 v_0} \}}$ ところで実際の交通流においては $k=1.2$ と考えられるので、すべての攪乱周波数に対して伝播安定であるためには $N > 2$ と代入して $X < \frac{1}{(2.2 T + \frac{b_1 + b_2}{2 v_0})} \quad (10)$ を得る。したがって v_0 に対する安定な交通量を求めることができる。

また車頭間隔に履歴特性がないと考えた場合の安定交通量は、 $k=1$ であるから

$X < \frac{1}{(2 T + \frac{b_1}{v_0})} \quad (11)$ で与えられ、履歴特性の存在のため 8~9% 低下することになる。(表-1、表-2 参照)

図-1 $N_1=1$ のときの
振中 X (°/sec)

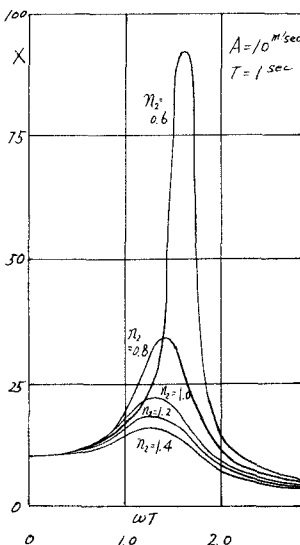


図-2 $k=N_2/N_1=1.2$ のとき
の振中 X (°/sec)

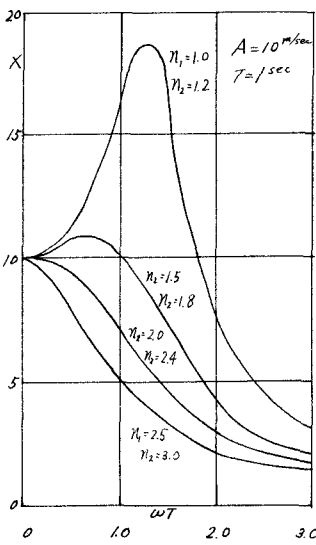


表-1 車頭間隔が履歴特性を有すると考えた場合の安定交通量(台/時)

$\frac{T}{v_0}$ sec	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
40	1,710	1,350	1,120	950	830	740
60	1,840	1,430	1,170	990	860	760
80	1,910	1,480	1,200	1,020	880	770
100	1,960	1,510	1,220	1,030	890	780
120	1,990	1,530	1,240	1,040	890	790

表-2 車頭間隔が履歴特性を有しないと考えた場合の安定交通量(台/時)

$\frac{T}{v_0}$ sec	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00
40	1,840	1,460	1,220	1,040	920	800
60	1,990	1,560	1,280	1,090	940	840
80	2,080	1,610	1,320	1,160	960	850
100	2,140	1,660	1,340	1,130	970	860
120	2,180	1,670	1,350	1,140	980	860