## IV—20　安全度による街路設計について

京都大学工学部　　正員　　佐佐木　綱

1. 安全度　一連の車両が等速度$v_0$で同方向に走行しているとき，先頭車が$t=0$において正弦波状の攪乱をうけ，次の式で表わされる運動に入ったと仮定しよう。

$$\left.\begin{aligned} v_1(t) &= v_0 - A\sin\omega t, && \text{for } t \geqq 0,\quad v_0 \geqq A \\ &= v_0 && \text{for } t < 0 \end{aligned}\right\} \tag{1}$$

ここに，$\omega$は攪乱の角速度である。この先頭車の運動は反応時間Tだけの遅れをもって後続車に伝達される。時間が十分経過した後では$k+1$番目の車は

$$v_{k+1}(t) = v_0 - A|E_{k+1}(j\omega)|\sin[\omega t + \arg E_{k+1}(j\omega)] \tag{2}$$

で表わされる定常運動を行う。ここに$E_{k+1}(j\omega)$は伝達関数であって参考文献1)に示されている。先頭車が式(1)で示される運動に入って$t$時間後の先頭車と2番目の車との車頭間隔は参考文献2)によって次のとおり与えられる。ただし式(3)は定常状態の車頭間隔である。

$$r(t) = (n+m)Tv_0 + b_0 - AT|U|\cos(\omega t + \arg U) \tag{3}$$

ここに

$$|U| = \sqrt{\frac{n^2+m^2+2mn\cos\omega T}{1+n^2\omega^2T^2-2n\omega T\sin\omega T}},\quad \arg U = \tan^{-1}\frac{-m+mn\omega T\sin\omega T-n\cos\omega T}{n(-n\omega T+\sin\omega T-m\omega T\cos\omega T} \tag{4}$$

もし先頭車が定常的な正弦波状運動にあるときに急停車した場合，後続車が先頭車に追突せずにすむ必要条件は

$$r(t) > \int_t^{t+T} v_2(t)\,dt + \mu_2 v_2^2(t+T) - \mu_1 v_1^2(t) + b \tag{5}$$

である。ここに$\mu_1$，$\mu_2$はそれぞれ先頭車および2番目の車の制動係数，$b$は車長である。しかして式(5)の右辺第1項は

$$\int_t^{t+T} v_2(t)\,dt = v_0T - ATW\sin(\omega T + \phi')$$

ここに

$$W = (2/\omega T)|E|\sin(\omega T/2),\qquad \phi' = (\omega T/2) + \arg E$$

であるから式(5)は次のように変形することができる。

$$(n+m-1)v_0 + l_0 - l - A|U|\cos(\omega t + \arg U) + AW\sin(\omega t + \phi') + \mu_1' v_1^2(t) - \mu_2' v_2^2(t+T) > 0, \tag{6}$$

式(6)が任意の$t$という時間に成立する確率を安全度と定義しておく。

$$\text{安全度} = \Pr[\,t;\ \text{式}(6)\,] \tag{7}$$

ここに　$l_0 = b_0/T$，$l = b/T$，$\mu_1' = \mu_1/T$，$\mu_2' = \mu_2/T$　である。

2. "必然的"に発生する追突事故を防止する理論的条件　追従時の車頭間隔が負にならないためには

$$(n+m)v_0 + l_0 - l - A|U(\omega T)| \geqq 0$$

でなければならない。従って追突事故の必然的発生を防ぐためには

$$\frac{A}{v_0} < \frac{n+m}{|U(\omega T)|} + \frac{l_0 - l}{v_0|U(\omega T)|} \tag{8}$$

なる関係が満足されていなければならない。右辺第2項は第1項にくらべて小さく街路設

計にあたっては無視して差支えないので，オ2項を省いて考える。いま $A=v_0$ という攪乱をうけても追突が発生せずにすむためには

$$\frac{n+m}{|U(\omega T)|}>1 \tag{9}$$

が成立していなければならない。式(9)がすべての $\omega T$ に対して成立するためには式(4)を式(9)に代入して

$$n>2 \tag{10}$$

となる。これまでの実測では $n$ の値はすべて2以下であったことから考えると，すべての周波数の攪乱に対して安全であるような追従は不可能であろう。従って，われわれのなしうることは攪乱による速度変化の振幅 $A$ を極力押えるようにするか，あるいは $|U(\omega T)|>n+m$ の成立するような $\omega T$ をもつ攪乱がひき起されないように街路を整備するかいずれかである。$\omega T$ なる先行車の速度変化に対して追突事故の必然的発生を避けるためには $A/v_0$ が表-1に示した値以下でなければならないということが式(9)から算出される。

表-1

| $\omega T$ | 0.2 | 0.4 | 0.6 | 0.8 | 1.0 | 1.2 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $A/v_0$(%) | 98 | 93 | 64 | 72 | 58 | 48 | 48 | 66 | 96 | 123 |

3. 安全度が1であるための必要条件としての交通容量

安全度は $n+m$ の値が約1の大きさであると，車の制動能力および攪乱周波数にほとんど影響されなくなるので，実際の交通に対する安全度を算出するには $\omega T\to 0$ に対する安全度を計算しておけば実用上差支えない。$\omega T\to 0$ に対する安全度は

$$\Pr\left[\sin\omega t>-\frac{(n+m-1)v_0+l_0-l}{(n+m+1)A}\right] \tag{11}$$

で与えられるので，常に安全度が1であるためには

$$n+m \geqq \frac{v_0+A-(l_0-l)}{v_0-A} \tag{12}$$

でなければならない。$A=v_0$ に対して常に式(12)が成立するためには $l_0-l>2v_0$ でなければならない。このとき平均車頭間隔は $(n+m+2)Tv_0+b$ となり，交通容量は

$$\frac{v_0}{(n+m+2)Tv_0+b} \tag{13}$$

で与えられる。ここに $v_0$ は平均速度であるが，街路における最高速度を $C$ とするならば $v_0=C/2$ とおく必要がある。

以上各項のほか，街路における走行速度曲線に2，3のパターンを与えることによって与えられた街路について安全度を簡単に算出する方法について述べ，安全度の値と追突事故の発生頻度（実測）との相関について調査結果を示し，最後に信号交差点間隔について安全度という見地から考察を進める予定である。


参考文献 1) 米谷栄二，佐佐木綱，"A Safety Index for Traffic with Linear Spacings", Opns. Res., 7, (1959), p. 704-720.

〃 2) 米谷栄二，佐佐木綱，"Car Following Theory and Stability Limit of Traffic Volume", J. Opns. Res. Soc. Japan, 3 (1961), p. 176-190.