

IV-97 路面のすべり抵抗と自動車の運動

建設省土木研究所 正員 市原 薫

1. まえがき

道路上の自動車の運動は路面のすべり抵抗との関係から明らかにされるものが多い。従来これらについて各種の計算式が用いられている。最近路面のすべり抵抗に関する性質がかなり明らかになったので、これによってさらに正確な新しい計算式を作成した。以下にその結果についてのべる。

2. 発進駆動時の縦横断こう配とすべり抵抗

道路上で発進駆動が問題になるのは雪氷路面とか、特に急こう配の道路区間である。発進駆動の可能な道路の縦断こう配(j)と路面のすべり摩擦係数(f_r)の関係は次式でえられる。

$$f_c \alpha = j + f_r \quad (1)$$

ここで α は自動車の駆動輪にかかる荷重の全重量に対する比、 f_r はこすり抵抗係数である。現在わが国で使用されている自動車を調査した結果 α の一般的最低値は乗用車で0.41、トラックで0.43、トレーラーで0.38程度である。さらに縦断こう配(j)と横断こう配(i)を重ねた地点での発進可能こう配を考える。自動車が合成こう配の方向に発進駆動すればその関係式は(1)式に準いて考えられる。いまここでは自動車が道路中心線方向に発進するものと考えると次式のようになる。

$$f_c = \left\{ \left(\frac{j + f_r}{\alpha} \right)^2 + i^2 \right\}^{1/2} \quad (2)$$

種々の路面について(2)式の計算結果をまとめたものが図-1である。

図によると横断こう配の影響は比較的少ないことが分る。

3. 制動停止距離とすべり摩擦係数

従来制動停止距離(S)と制動開始時の速度(V)およびすべり摩擦係数(f)の関係は次式で計算されている。

$$S = \frac{V^2}{2 \cdot g \cdot f} \quad (3)$$

しかし(3)式は路面のすべり摩擦係数が一定の場合、すなわち乾燥路面および雪氷路面に適用される。湿潤路面では一般にすべり摩擦係数は速度と共に変化する。その関係を $f = aV^2 + bV + C$ とすると制動停止距離は次式のようになる。

$$S = -\frac{1}{a \cdot g} \log_2 \left\{ \frac{\cos \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{-2aV - b}{D} \right) \right\}}{\cos \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{-b}{D} \right) \right\}} \right\} - \frac{b}{a \cdot g \cdot D} \left\{ \tan^{-1} \left(\frac{-b}{D} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{-2aV - b}{D} \right) \right\} \quad (4)$$

ここで $D = \sqrt{4ac - b^2}$ であり、 a 、 b 、 C は路面状況によって決まる常数である。(3)式と(4)式による計算結果は図-2のとおりである。(4)式による制動停止距離は常に従来の(3)式によるものより小さく、速度の大きい場合および摩擦係数の小さい場合は特にその差が大きくなりほぼ20%となる。これは一定速度で測定した摩擦係数と制動停止距離から計算した摩擦係数に差があることを表わしている。

4. 曲線部での走行時の横すべりと制動時の偏走

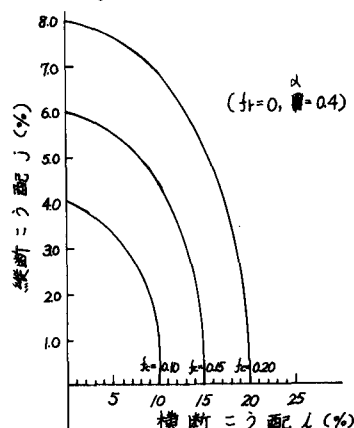


図-1. 縦断こう配、横断こう配とその合成方向力に対する摩擦係数との関係。

従来半径(R)の曲線部を走行している自動車の遠心力と横すべり摩擦係数(f)との場合は次のとおり表わされている。

$$(f+i)g = \frac{V^2}{R} \quad (5)$$

しかし曲線部を走行中にロック制動すると(5)式には関係なく自動車は斜め方向に偏走する。自動車の走行中心線からの変移量をEとすると次のように近似計算することはできる。ここでX, V_x , Y, V_y は走行方向およびそれに直角方向の変移量と速度である。

$$\begin{aligned} V_{x_{n+1}} &= -\frac{g \cdot f \cdot dt}{2 \left(1 + \frac{V_{yn}^2}{V_{xn}^2}\right)^{1/2}} + \frac{1}{2} \left\{ \frac{(g \cdot f \cdot dt)^2}{\left(1 + \frac{V_{yn}^2}{V_{xn}^2}\right)} + \left\{ V_{xn}^2 - \frac{g \cdot f \cdot V_{xn} \cdot dt}{\left(1 + \frac{V_{yn}^2}{V_{xn}^2}\right)^{1/2}} \right\}^2 \right\}^{1/2} \\ V_{yn+1} &= -\frac{g \cdot A \cdot dt}{2} + \frac{1}{2} \left\{ (g \cdot A \cdot dt)^2 + 4 \left(V_{yn}^2 - g \cdot A \cdot V_{yn} \cdot dt \right) \right\}^{1/2} \\ A &= \frac{f}{\left(\frac{V_{xn}^2}{V_{yn}^2} + 1 \right)^{1/2}} - \frac{i_0}{\left\{ 1 + \left(\frac{\sum X}{R - \sum Y} \right)^2 \right\}^{1/2}} \\ \sum_n X &= \sum_n V_{x_{n-1}} \cdot dt, \quad \sum_n Y = \sum_n V_{y_{n-1}} \cdot dt \quad E_n = \left\{ (\sum_n X)^2 + (R - \sum_n Y)^2 \right\}^{1/2} - R \end{aligned} \quad (6)$$

(6)式による計算結果の1例を図3に示す。従来曲線部の走行の安全性について主として(5)式によって判断していたが、むしろ(6)式によって判断すべきであり、図3からも小曲線部の走行の危険性が十分考えられる。

道路構造令の解説と運用で規定されている望ましい曲線半径もこれを併せ考慮して定められるべきであり、現在の規定が適正であると考えられる。

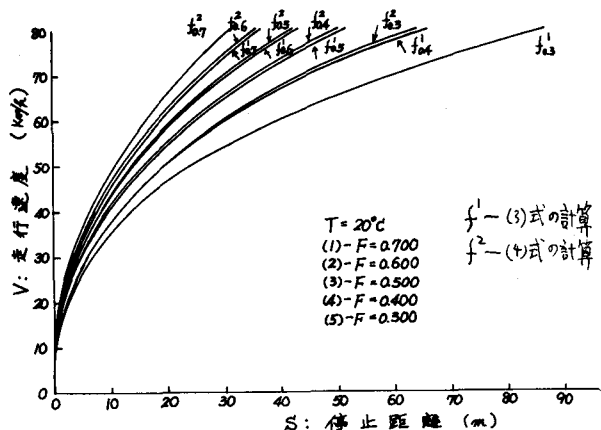


図12-2 制動停止距離計算図(湿潤、普通気温)

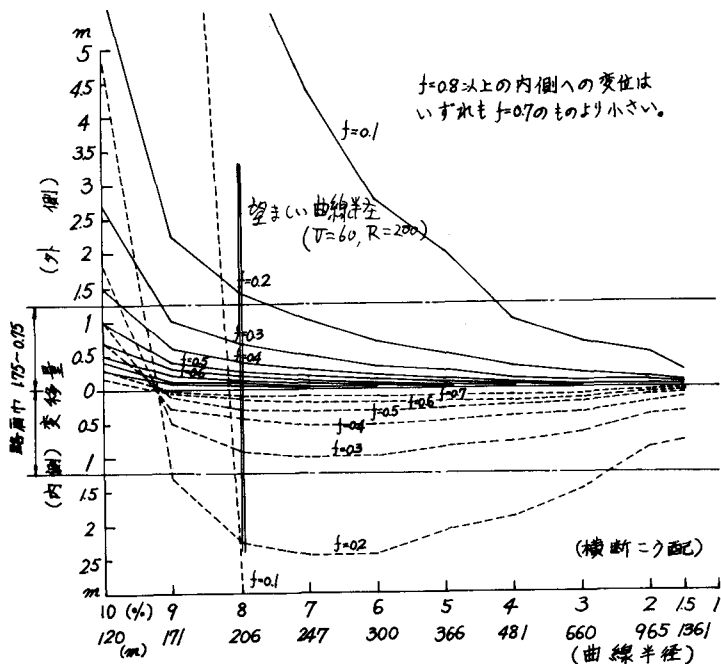


図12-3 曲線部ロック制動時の変移量(設計速度60km/h)