Ⅳ－21 路面摩擦係数の不均一に原因するスリップの解析

岐阜大学工学部 正員 加藤 晃

最近自動車事故が非常に多くなり一般人の注目を集めている。この中にはスリップによる事故もかなりの量に達するので、ここでは特に道路々面とタイヤー向の摩擦係数が左右輪で相違する場合のスリップについて解析を試みた。このような状態は一方の車輪が何かの原因で正常な路面摩擦係数を得られない時に生ずる。例えば片側が日陰で凍結している場合とか降雨時に路側が雨水と泥によつて滑り易い状態とか路面上に油が漏落している所などでブレーキをかけた場合に車が回転、偏走して事故を起す場合がこれに相当する。この場合スリップによる回転角、滑り距離は走行速度が大である程、また路面摩擦係数の大きさが小である程、同時に左右輪の摩擦係数の差が大である程大きくなるので、今後高速自動車道路の建設が促進され、またかなりの積雪凍結をみる所にも着々と規格の高い道路が建設される今日ではかなり注意をしなければならない点である。

さて左右輪が異つた路面状態の所でブレーキをかけてスリップする時を考えると各車輪は図－1のような動きを示す。ここでXは道路中心線方向の距離を、Yは X に垂直な方向の距離を示し、そのとき各車輪の合成速度を V_1, V_2, V_3, V_4 とすれば

$$V_i=\left\{\left[\dot{X}+r_i\dot{\theta}\sin(\phi_i-\theta)\right]^2+\left[\dot{Y}+r_i\dot{\theta}\cos(\phi_i-\theta)\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}} \qquad (1)$$

となりその時の回転角 ρ_i は(2)式で求められる。

$$\tan^{-1}\rho_i=\frac{\dot{Y}+r_i\dot{\theta}\cos(\phi_i-\theta)}{\dot{X}+r_i\dot{\theta}\sin(\phi_i-\theta)} \qquad (2)$$

このとき路面とタイヤー向の滑り摩擦力は車輪の合成速度のベクトル V_i に抵抗すると考えられるので、この速度に抵抗する力をFとすればFは路面摩擦係数 μ とタイヤーにかかる垂直力 N との積として示される。

$$F=\mu N \qquad (3)$$

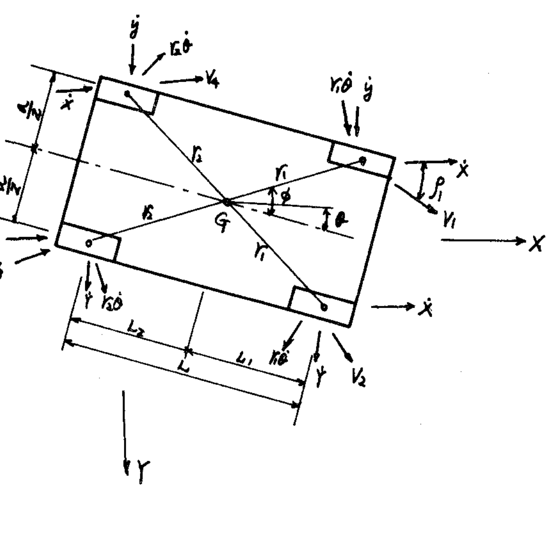
車重Wが4車輪に等分にかかるものとし、かつタイヤーにかかる力 N はブレーキによる振動を省略して一次的なモーメントがかかるものと考えるならば図－2から

$$\left.\begin{aligned}&\text{前輪に対して}\quad N_1=\frac{W}{4}+\frac{m\ddot{x}h}{2L_1}\\&\text{後輪に対して}\quad N_2=\frac{W}{4}-\frac{m\ddot{x}h}{2L_2}\end{aligned}\right\}\qquad (4)$$

ここでmは車の質量であり、hは重心から路面までの高さ、L_1, L_2 は重心から前後輪までの距離である。

スリップ現象をX方向とY方向に分けて考えることにし、X方向に対する各輪の抵抗係数を C_1, C_2, C_3, C_4、Y方向に

図－1



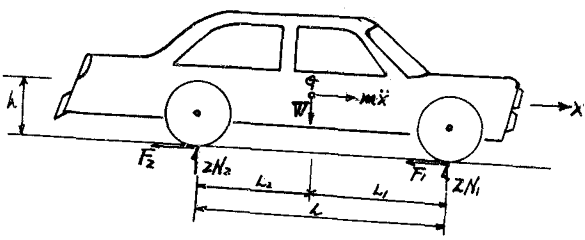
対するものを K_1, K_2, K_3, K_4 とすれば 図－1 の関係から (1)式の算出と同様に

$$\left.\begin{aligned}\frac{C_1}{K_1}=\frac{C_4}{K_4}=\frac{\dot{x}+r\dot{\theta}\sin\phi}{r\dot{\theta}\cos\phi}\\ \frac{C_2}{K_2}=\frac{C_3}{K_4}=\frac{\dot{x}-r\dot{\theta}\sin\phi}{r\dot{\theta}\cos\phi}\end{aligned}\right\}\quad(5)$$

と求め得る。各タイヤーの摩擦抵抗力は X, Y 方向に働く力の合成ベクトルとして考えられるから (6) 式が常に成立する。

$$C_i^2+K_i^2=1 \qquad (6)$$

図－2



ここで車のスリップに対して X 方向，Y 方向および重心 G についての回転の運動方程式を立てると重力の加速度を g として (7.a)～(7.c) 式が得られる．

$$\Sigma F_X=\ddot{X}W/g \qquad (7.a)$$
$$\Sigma F_Y=\ddot{Y}W/g \qquad (7.b)$$
$$\Sigma M_G=\ddot{\theta}I_G \qquad (7.c)$$

$\dot{x}$ および $\dot{\theta}$ を算出するため境界条件として (5)式で $K=0$ をとれば $C=1$ となり，スリップの最初の状態で横方向の滑りをしない時の運動方程式が成立する．

$$\Sigma F_X=-\mu_R\left\{\frac{W}{4}+\frac{m\ddot{x}h}{2L_1}+\frac{W}{4}-\frac{m\ddot{x}h}{2L_2}\right\}-\mu_L\left\{\frac{W}{4}+\frac{m\ddot{x}h}{2L_1}+\frac{W}{4}-\frac{m\ddot{x}h}{2L_2}\right\}$$

となる．$L_1=L_2$ ならば

$$\Sigma F_X=-\frac{W}{2}(\mu_R+\mu_L) \qquad (8)$$

ここで μ_L, μ_R はそれぞれ左右輪の摩擦係数である．(8)式と(7)式から

$$\dot{X}=-\frac{(\mu_R+\mu_L)}{2}gt+V_0 \qquad (9)$$

V_0 はスリップし始めたときの初速である．同様に車の重心 G に対する回転モーメントは

$$\Sigma M_G=\frac{Wa}{8}(\mu_R-\mu_L) \qquad (10) \qquad\qquad \dot{\theta}=\frac{Wa}{8I_G}(\mu_R-\mu_L)t \qquad (11)$$

求められた $\dot{x}$, $\dot{\theta}$ を (5) (6) 式に代入すれば $C_1\ C_2\ C_3\ C_4$，$K_1\ K_2\ K_3\ K_4$ が求まる。従って左右車輪の摩擦係数に差がある時の運動方程式は (13.a)～(13.c) 式として表わされる．

$$\Sigma F_X=\frac{W}{4}[\mu_L(C_1+C_4)+\mu_R(C_2+C_3)] \qquad (13.a) \qquad \Sigma F_Y=\frac{W}{4}[\mu_L(K_1+K_4)+\mu_R(K_2+K_3)] \qquad (13.b)$$

$$\Sigma M_G=\frac{W}{8}[\mu_R(aC_2+aC_3-LK_2-LK_3)-\mu_L(aC_1+aC_4+LK_1+LK_4)] \qquad (13.c)$$

(13.c) 式に (12)式の結果を代入して積分すればスリップをするときの角速度 $\dot{\theta}$ が求められる．またスリップによる全回転角 Θ を求めるためには $\dot{\theta}=0$ になるまでの時間 t' を求めて $\theta=\int_0^{t'}\dot{\theta}\,dt$ を計算すればよい。同様に X 方向の全滑り距離を計算するのには $X=\int_0^{t'}\dot{x}\,dt$ を計算して算出し得る．

この研究では小型乗用車と普通トラックについて速度を 60 Km/h 40 Km/h μ_R（摩擦係数の大きい側）＝ 0.6～0.35 μ_L（摩擦係数の小さい側）＝ 0.45～0.25 の間を変化させて全回転角を計算したものである．なお本研究は昭和35年度文部省試験科学研究費の交付を受けて行った実験および解析の一部である。