

北海道大学 正員 加来 照 俊
北海道庁 正員 本 多 満

1. まえがき

近年、高速自動車道の延伸により、自動車車両(以下車両)の高速走行時の安定性について、ブレーキの問題をはじめとして、多くの問題が生じてきた。ほぼ速度の自乗に比例して増大する空気が車両の安定性、操縦性に及ぼす影響も上述した諸問題の一つである。本文はこの空気のうち、横風を受けた車両の運動から走行安定性を理論的に考察を加えたもので、道路線形設計の一助にしようとするものである。

2. 車両の運動理論

平坦路を直線走行中の車両が、突然横向きの突風を受け、車両の定常直線走行運動が乱された場合を考える。この様なとき、運転者は直ちに適切な操舵を加えるのが普通であるが、ここでは操舵を加えずに、ハンドルは真直ぐに保持し、横風は左より加わるものとする。車両の重心は、元の進路より右へ移動し、車体の中心線は元の進路に対して $-\Delta\theta$ (姿勢角、右回頭を正とする)だけ左に向いている。重心の速度 V は元の進路に対し $\Delta\varphi$ (進路角、右向きを正)だけ右向きであるので、車両は重心点において $\Delta\beta$ (横すべり角、右横すべりを正)の対地右横すべり運動をすることになる。各車輪、および重心点に働く力、モーメントは以下の様である。(図1)

(1) 前輪のコナリングフオース(以下CF)よりのモーメント: 左右前輪によるCFは $-2K_f\Delta\beta$ (右向きを正)、このCFによる重心まわりのモーメントは $-2K_f\Delta\beta l_1$ (右回頭を正)、 l_1 は重心と前軸間の距離、左前輪のCFを C_1 、右前輪のCFを C_2 。(2) 後輪のCFよりのモーメント: 左右後輪によるCFは $-2K_r\Delta\beta$ 、このCFによる重心まわりのモーメントは $2K_r\Delta\beta l_2$ 、 l_2 は重心と後軸間の距離、左後輪のCFを C_3 、右後輪のCFを C_4 。(3) 空気力学的横向力 C_a : $C_a = dC_y/d\beta \cdot \Delta\beta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S \cdot V^2$ 、 C_y は横向力係数、 ρ は空気密度、 S は車両前面投影面積。(4) 空気力学的モーメント M_a : $M_a = dC_m/d\beta \cdot \Delta\beta \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S \cdot V^2 \cdot l$ 、 l は軸間距離、 C_m はヨーイングモーメント係数。(5) 前輪のころがり抵抗、および後輪の駆動力より生ずるモーメント M_{gt} : 両前輪のころがり抵抗 $U_r W l_2/l$ から、これによるモーメントは $-U_r \cdot W \cdot l_2/l \cdot l_1 \Delta\beta$ 、 U_r はころがり抵抗係数、 W は車両重量、両後輪に作用する駆動力 T が両前輪のころがり抵抗と車体の空気抵抗 $C_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S \cdot V^2$ が釣り合うとすれば、

$T = U_r W l_2/l + C_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S \cdot V^2$ 、 C_r は空気抵抗係数、この T による重心まわりのモーメントは $-T l_2 \Delta\beta$ 、よって $M_{gt} = -(U_r W l_2/l \cdot l_1 \Delta\beta + T l_2 \Delta\beta)$ 、また $l_1 + l_2 = l$ から $M_{gt} = -(U_r W + C_r \cdot \frac{\rho}{2} \cdot S \cdot V^2) l_2 \Delta\beta$ とする。

(6) 減衰力 C_d 、および減衰モーメント M_d (図2): 図より $C_d = -2(K_f l_1^2 + K_r l_2^2)/V \cdot d\theta/dt$ 、

$M_d = -2(K_f l_1^2 + K_r l_2^2)/V \cdot d\theta/dt$ 。

(7) 外乱力(右向き横向力 $F(x)$ 、右回頭モーメント $M(x)$):

外乱力として横風突風を表すの K は正弦波、二次曲線などが考えられるが本文では以下の様な指数曲線で横風突風を表すこととし(図3)。

$F(x) = K(e^{-mt} - e^{-nt})$ 、 $M(x) = M(e^{-mt} - e^{-nt})$ 、これらの式で $m = 0.5/s$ 、 $n = 1.0/s$ 、 $K = 500^{\text{kg}}$ 、 $M = 120^{\text{kg}} \cdot \text{m}$ を代入すると $t = 1.4$ 秒で $\text{Max } F(1.4) = 125^{\text{kg}}$ 、 $\text{Max } M(1.4) = 30^{\text{kg}} \cdot \text{m}$ とする。

3. 運動方程式

遠心力と求心力のつり合いから重心の横運動方程式は

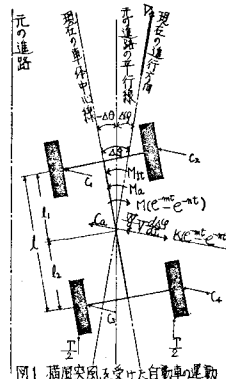


図1 横風突風を受けた自動車の運動

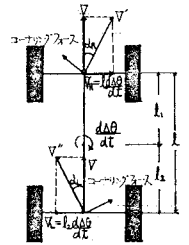


図2 減衰力、減衰モーメント

$$W_g \cdot V \cdot d\Delta\theta/dt = -2(K_f \Delta\theta + 2K_r \Delta\theta + dC_y/d\delta \cdot \Delta\theta \cdot S \cdot V^2) - 2(K_f l_1 - K_r l_2)/V \cdot d\theta/dt + K(e^{m\tau} - e^{n\tau}) \dots (1)$$

重心周りのモーメントのつりあいからヨーイングの運動方程式は

$$J_z d^2\theta/dt^2 = 2K_r \Delta\theta l_2 - 2K_f \Delta\theta l_1 + dC_m/d\delta \cdot \Delta\theta \cdot S \cdot V^2 l - (U_r W + C_r \cdot S \cdot V^2) l_2 \Delta\theta - 2(K_f l_1^2 + K_r l_2^2)/V \cdot d\theta/dt + M(e^{m\tau} - e^{n\tau}) \dots (2)$$

J_z は重心を通る上下軸周りの慣性モーメント。ここで $\Delta\theta = \Delta\phi - \Delta\delta \dots (3)$ とおき

未知変数として $\Delta\phi, \Delta\delta$ をとることとし、上の3つの式から $\Delta\theta$ を消去すれば

$$A_{12} d\Delta\phi/dt + B_{10} \Delta\phi - A_{10} d\Delta\delta/dt = K(e^{m\tau} - e^{n\tau}) \dots (4)$$

$$A_{22} d^2\Delta\phi/dt^2 - A_{21} d\Delta\phi/dt - B_{22} d^2\Delta\delta/dt^2 + B_{21} d\Delta\delta/dt - B_{20} \Delta\delta = M(e^{m\tau} - e^{n\tau}) \dots (5)$$

ここで $A_{12} = W_g V + 2(K_f l_1 - K_r l_2)/V$ 第2項 < 第1項なので $A_{12} \approx W_g V = A_{11}$ とする。

$B_{10} = \{2(K_f + K_r) + dC_y/d\delta \cdot S \cdot V^2\}$, $A_{10} = 2(K_f l_1 - K_r l_2)/V \approx 0$ となるので(4)式の第3項は無視する。

$A_{22} = A_{21} = J_z$, $A_{21} = A_{21} = -2(K_f l_1^2 + K_r l_2^2)/V$

$B_{20} = \{2(K_r l_2 - K_f l_1) + dC_m/d\delta \cdot S \cdot V^2 l - (U_r W + C_r \cdot S \cdot V^2) l_2\}$ とすると(4)式は

$$A_{11} d\Delta\phi/dt + B_{10} \Delta\phi = K(e^{m\tau} - e^{n\tau}) \dots (6)$$

式(1),(2)は動的安定の基礎方程式であるが、近似式(5)から $\Delta\phi, \Delta\delta$ を求める。初期条件は、かく乱前の定常直線走行状態である $t=0$ で $\Delta\phi=0, \Delta\delta=0, d\Delta\phi/dt=0$ である。

以上から車両の重心の動く経路は

走行距離 $x = \int_0^t V \cos \Delta\phi dt \approx Vt$, 横変位量 $y = \int_0^t \Delta\phi dt$ から求められる。

4. 計算例

以上の理論により、1500ccクラスの乗用車について計算をおこなった結果を図4に示す。図4は車速 $V=10, 15, 20, 25, 30$ m/s で走行する車両に横風突風が作用した場合の重心の経路を示してある。計算に使用した諸元、数値は以下の様である。

$W=1000$ kg, $l=2.7$ m, $l_1=1.54$ m, $l_2=1.16$ m, $K_f=22$ kg/deg,

$K_r=33$ kg/deg, $dC_y/d\delta=0.04$ deg, $dC_m/d\delta=0.03$ deg, $U_r=0.012$

$C_r=0.3$, $J_z=150$ kg, $I=0.125$ kg, S/m^2 , $S=2.0$ m, $K=500$ kg, $M=120$ kg

$m=0.55$, $n=10.5$,

図4から、車両に横風突風が作用した場合には、計算上ではあるが、一般予想されるよりも大きな横変位が生ずることがわかる。

5. あとがき

以上、横風突風を受ける車両の運動についておこなった理論計算の概略を述べた。自動車は航空機や船舶などの他の交通機関と異なり、横変位に対して許容され得る中は限られており、横方向への移動は直に交通事故にもつながるものである。本文は理論解析のみの結果であるが、今後事故の実例および、何らかの方法により実験解析をおこなって比較検討を行いたい。なおこの研究は昭和48年度文部省科学研究費によっておこなったものである。

参考文献

近藤 政一、基礎自動車工学、前後期編

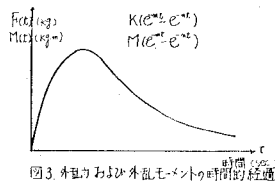


図3. 外乱力および外乱モーメントの時間的経過

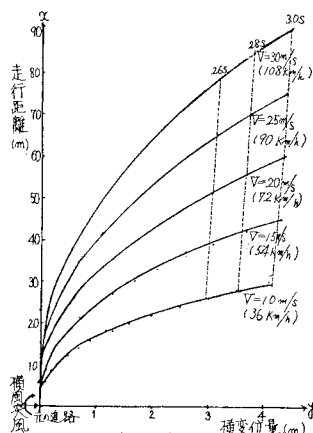


図4. 横風突風を受ける自動車の重心経路