

ABS におけるポンピング周期最適化に関する研究

金沢大学 中山 裕介, 神谷 好承, 関 啓明, 疋津 正利

Research on optimization of pumping cycle in ABS

Kanazawa University Yusuke NAKAYAMA, Yoshitsugu KAMIYA, Hiroaki SEKI, Masatoshi HIKIZU

An ABS (Anti-lock Braking System) is one of the systems equipped in a vehicle for driving safely. The ABS system gains the braking force without stopping the rotation of the tire. However the following two issues make the control of the ABS system difficult: the vehicle speed cannot be measured accurately, the frictional force between the tire and the road is unknown. In such ABS, the most important parameter is a pumping cycle of a brake. For safety, an efficient pumping cycle must be applied at a variety of frictional conditions between the tire and the road. In this paper, the optimization of the pumping cycle in ABS was performed via the computer simulation.

1. 緒言

制動時に車輪がロックすると、車両の操舵性や方向安定性が失われ、危険である。この危険を回避するために、車輪のロックを防ぐ ABS (Anti-lock Braking System) がある。しかし、ABS は、制動時の車両速度は正確に測定できないことやタイヤと路面間に発生する摩擦力は未知であることが、制御をより困難なものにしている。こうした ABS において、最も重要なパラメータはブレーキのポンピング周期である。安全のためにはタイヤと路面との摩擦係数の変化に対して効率的なポンピング周期が求められる。本研究では、シミュレーションを通して ABS のポンピング周期の最適化を試みたので報告する。

2. シミュレーションモデル

2.1 車両モデル

ABS の 4 輪独立制御を想定し、制御対象とする車両モデルを 1/4 車両モデル(quarter car model)で表現する。車両は図 1 に示すように、実際の車体の 1/4 の質量をもつ単輪としてモデリングする。その運動は、車両と車輪に関する運動方程式によって以下のように記述できる。

$$M\dot{v} = -F - Mg \sin \theta \quad (1)$$

$$I\dot{\omega} = rF - T_b \operatorname{sgn}(\omega) \quad (2)$$

$$T_b = \mu_b P_b A_b r_b \quad (3)$$

ここで、 M は車両の 1/4 の質量、 v は地面に対する車両の速度、 ω は車輪の回転角速度、 F は制動力、 r は車輪半径、 I は車輪慣性モーメント、 θ は路面傾斜角度、 T_b は制動トルク、 μ_b はブレーキパッドロータ間摩擦係数、 P_b はブレーキ圧、 A_b はキャリパピストン面積、 r_b はブレーキロータ有効半径である。

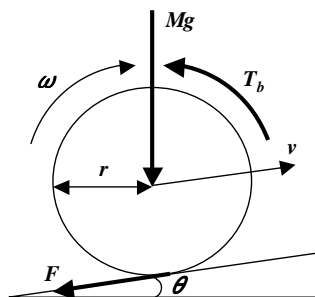


Fig.1 Quarter car model

2.2 タイヤモデル

制動力はスリップ率 λ に依存する制動摩擦係数 μ_x により決まる。スリップ率および制動力を以下のように定義する。

$$\lambda = \frac{v - r\omega}{v} \quad (4)$$

$$F = \mu_x(\lambda) Mg \cos \theta \operatorname{sgn}(v - r\omega) \quad (5)$$

(4)式から、車輪がロックしているとき($\omega = 0$)は $\lambda = 1$ で、車輪が自由回転しているとき($r\omega = v$)は $\lambda = 0$ となることから、タイヤと路面間の摩擦特性はスリップ率に依存し、スリップ率に対する制動摩擦係数、横滑り摩擦係数はそれぞれ図 2、図 3 のように表せる。また、シミュレーションで使用するパラメータを表 1 に示す。

3. 車両速度を既知とした場合のポンピング周期の最適化

ABS におけるブレーキ圧の制御には、スリップ率を用いて制御することが望ましいが、実際のブレーキ動作時にはスリップ率の算出に用いる車両速度の測定は難しい。これより、制動時の車両速度を既知とし、制動中に車輪がロックしたらブレーキ圧を 0 にし、車輪速度が車両速度まで回復したら再び制動を

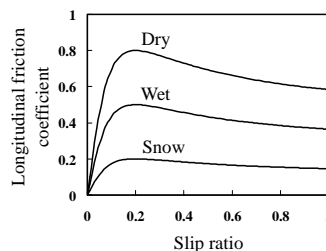


Fig.2 Longitudinal friction coefficient by slip ratio

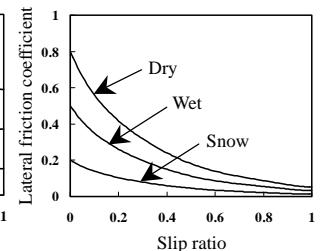


Fig.3 Lateral friction coefficient by slip ratio

Table.1 Simulation parameter

| Item | Symbol | Value | |
|--------------------------------------|----------|-----------------------|------------------|
| Vehicle mass | M | 400 | kg |
| Slope angle | θ | 0 | deg |
| Moment of inertia of wheel | I | 0.849 | kgm ² |
| Wheel radius | r | 0.316 | m |
| Brake disk-pad friction coefficient | μ_b | 0.400 | |
| Initial pressure of hydraulic brake | P_b | 11.5 | MPa |
| Hydraulic brake calliper piston area | A_b | 2.29×10^{-3} | m ² |
| Effective radius of brake rotor | r_b | 0.124 | m |

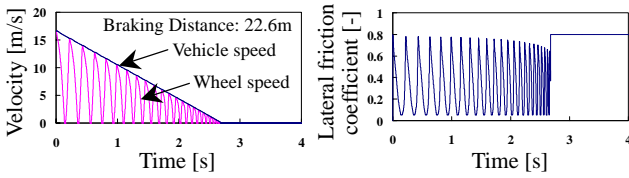


Fig.4 Simulation results of dry road

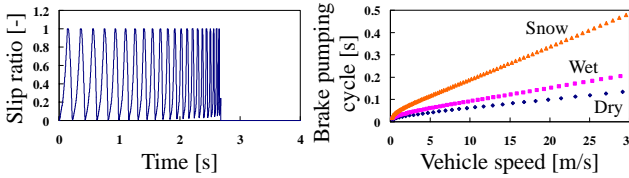


Fig.5 Slip ratio

Fig.6 Relation between vehicle speed and brake pumping cycle

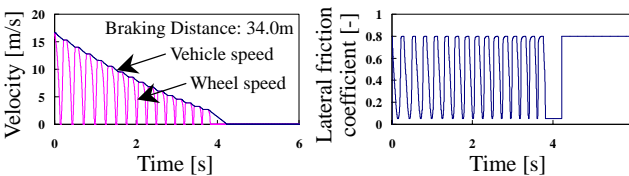
開始するという動作を繰り返す制御方法でブレーキ動作をシミュレーションし、スリップ率の算出が不要な制御を行い、結果として得られるスリップ率の大きさを評価する。ここで、ブレーキ圧を0にしてから再び制動を開始するまでの時間をブレーキポンピング周期(Brake pumping cycle [sec])と定義する。乾いた路面での制動を想定したシミュレーション結果を図4、図5に示す。車両速度を既知とした場合は、横滑り摩擦係数が高い値を示していることがわかる。路面別にシミュレーションを行ったところ、ブレーキポンピング周期は車両速度に対して図6に示すような関係があることがわかった。

4. 実車におけるブレーキ動作とポンピング周期の評価

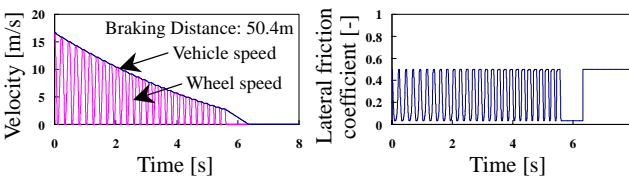
実車での制御を想定し、車両速度情報を不要とする制御を行う。このためには、ブレーキポンピング周期を図6の結果を用いてある最適な値に固定し、ブレーキ動作をシミュレーションする。車両初速度を60km/hとし、ABSは車両速度が10km/h以下では動作しないようにした。

4.1 全路面に共通する最適なポンピング周期

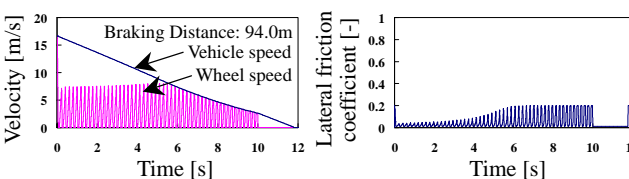
ABSを用いず車輪をロックさせ続ける制動は、制動距離は短くなるが、操舵性は無いに等しい。このような制動に比べ、



(a) Braking on dry road

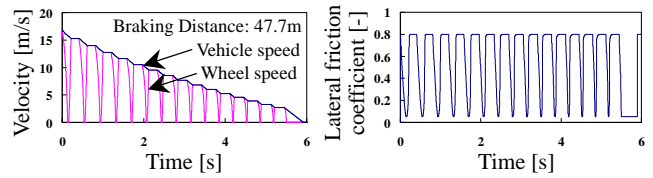


(b) Braking on wet road

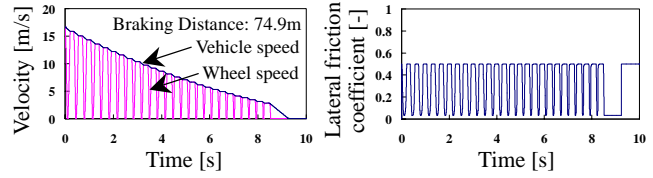


(c) Braking on snow road

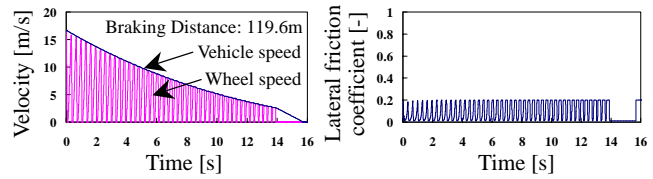
Fig.7 Simulation results (Brake pumping cycle: 0.157sec)



(a) Braking on dry road



(b) Braking on wet road



(c) Braking on snow road

Fig.8 Simulation results (Brake pumping cycle: 0.269sec)

乾いた路面において制動距離が10m伸びるが、操舵性は確保できるブレーキポンピング周期をとして0.157secを用いた。このブレーキポンピング周期を用いた走行路面ごとのシミュレーション結果を図7に示す。横滑り摩擦係数は、乾いた路面と濡れた路面においては高い値を示しているが、積雪路面においては制動初期に低い値を示す領域があることがわかる。

4.2 滑りやすい路面に対する最適なポンピング周期

4.1 で用いたブレーキポンピング周期では積雪路面において、横滑り摩擦係数の値が低い領域があった。そこで、積雪路面において、制動初期から横滑り摩擦係数を確保する制動を行うためのブレーキポンピング周期を与えた。このブレーキポンピング周期を用いた走行路面ごとのシミュレーション結果を図8に示す。図8(c)から、積雪路面においても制動初期から横滑り摩擦係数が高い値を示していることがわかるが、4.1の場合(図7(c))と比べ制動距離が25.6m伸びる結果となった。同様に、4.1の場合と比べ、乾いた路面において制動距離は13.7m伸び、濡れた路面において制動距離は24.5m伸びる結果となった。これは、車輪速度が車両速度まで回復したとき、直ちに制動が開始されないことによる空走時間が生じていることが原因である。

5. 結言

本研究では、車両速度情報を不要とするABS制御における最適なブレーキポンピング周期をシミュレーションによって求めた。ABSは車輪のロックを防ぐので、制動時の操舵性は向上するが、ABS自身は制動距離を短くするためのシステムではないことがわかった。また、ドライバーが制動距離短縮を求めるのか、操舵性の向上を求めるのかによって、最適なブレーキポンピング周期は異なることがわかった。

参考文献

- 1) 日本エービーエス(株):自動車用ABSの研究,山海堂(1993)
- 2) 安部正人:自動車の運動と制御,山海堂(1992)