

IV-10 車-路面系の動挙動解析について

函館工業高専 川村 彰
北大 工学部 加来 照俊

1. はじめに

今日における道路交通の問題に対処するには、人間-車-環境（道路）で構成されるシステム全体の問題として取り扱う必要がある。特に、車-路面系に関しては、従来より、道路の舗装に関しては、乗り心地を主たる対象として、また、線形面、交通事故の面からは、車の操縦性、安定性面を対象として種々の研究がなされてきた。このようなことから、車-路面系の解析に際しては、種々の路面状況が車の運動に及ぼす影響を的確に知ることのできる車の運動モデルの開発が要求されるわけである。本研究は、これまで筆者らが行ってきた路面の凹凸と車の運動解析に加えて、車の操縦性、安定性を解析すること目的として行なった車の車線乗り移り走行試験結果に対して、従来より開発のされている車の数学的運動モデルによるシミュレーションを行ない、理論計算と実測値との対比を行なったものである。尚、対象とする路面は、夏期におけるアスファルト舗装のされている平坦路面とわだち状路面を用いた。

2. 車線乗り移り走行試験

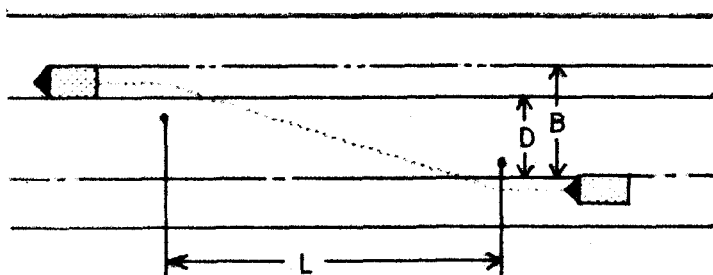
車線乗り移り走行試験は、車の操縦性、安定性（操安性）を解析する際の代表的走行試験として、又、運転者の操舵特性や事故回避性能を知るために用いられる試験であり、コース追従性、ロール特性、操舵のし易さを評価要因として行なわれる。本研究で行なった車線乗り移り試験コースは図-1で示される状況のもとで行なった。試験に用いた車両は、三菱JEEP J30型（総重量1854kg、トレッド1.3m）であり、乗り移り距離 L は、15m、30m、50mの3通り、走行速度は時速40km、50km、60kmである。又、わだち路面においては、わだち掘れの最深部間の距離 $D=1.8$ mであり、最大わだち掘れ深さは50mmであった。

図-2に平坦路における車線乗り移り走行試験結果を示す。図で示されるように、乗り移り距離が小さくなるにつれ、操舵角、車の重心位置における横方向加速度の値が大きくなっていくのがわかる。

また、操舵角と車の横方向加速度間においては、わだち路においても、低周波数域（1Hz以下）において相関性の高いことが示されている。

● コース用ラバーコーン

このことは平坦路においても実験結果の波形より推察され、車の運動モデルを作成する際にも、操舵角を入力、横方向加速度を出力としたとき、入出力間で線形関係の成立するモデルを考慮する必要があることを示しているといえよう。



L = 乗り移り距離

B = 乗り移り幅

D = わだち掘れ最深部間距離

図-1 車線乗り移り試験コース

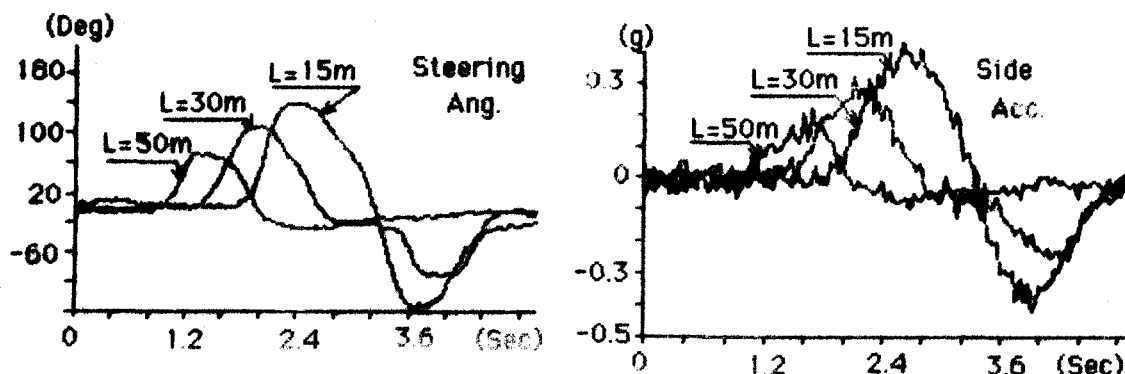


図-2 平坦路における車線乗り移り走行試験結果 $V = 40 \text{ km/h}$

3. 車の運動モデル

従来より、自動車工学の分野では、車の運動を解析するために、数多くの車の運動モデルの開発が行なわれ、それぞれの解析目的に応じたモデルが提案されてきている。今日、提案されているモデルは大きく分類すると3通りの流れがあると思われる。1つは、車の振動乗り心地の解析に主として用いられるモデルであり、車の上下方向の運動が支配的であり、舗装における構造設計の検討にも用いられ、バネ-ダッシュポット-質点系で構成され、最大7自由度程度である。

他の1つは、車の操舵特性の解析に用いられ、路面と平行な車の横方向運動が支配的であり、車の操舵を考慮する時、車自体の向きと進行方向が異なるスベリ現象を扱う時などに用いられ、2自由度から5自由度程度まで見受けられる。

もう1つのものは、先の2つを組合せた形式のものであり、一般に、車の運動の非線形要因を考慮しなければならないような複雑な車の運動を扱う場合に用いられ、自由度も他のものに比べ大きくなる。

本研究においては、車の運動に影響を及ぼす路面状況の把握を目的とすることから、車の運動モデルを作成する際にも車の運動についての入力となる路面、出力となる車の任意位置における応答に関して、入出力相互の影響の把握が容易である低自由度のモデルを用いた。運動モデルは次式で示される3自由度のモデルを用いた。運動方程式は、横方向の力の釣り合い、ヨーイングモーメントの釣り合い、ローリングモーメントの釣り合い条件より作成される。

横方向力；

$$mV \frac{d\beta}{dt} + 2(K_f + K_r)\beta + [mV + \frac{2(l_f K_f - l_r K_r)}{V}]r - mshs \frac{d^2\phi}{dt^2} - 2V\phi\dot{\phi} = 2K_f\delta$$

$$2(l_f K_f - l_r K_r)\beta + l \frac{dr}{dt} + \frac{2(l_f^2 K_f + l_r^2 K_r)}{V}r - 2N\phi\dot{\phi} = 2l_f K_f \delta$$

$$-mshsV \frac{d\beta}{dt} - mshsVr + l\phi \frac{d^2\phi}{dt^2} + C_\phi \frac{d\phi}{dt} + (K_\phi - mshgs)\phi = 0$$

ここで、

δ : 実舵角 β : ロール角 l : ホイールベース h_s : ロールアーム

l_f, l_r : 重心位置へ前、後車軸間距離 I, I_β : フロント、リアタイヤコーナリングバウ

β : すべり角 r : ヨー角 Y_β, N_β : ロールステアに関する力、モーメント

K_β : ロール剛性係数 C_β : ロール粘性減衰係数

計算に用いた車の諸元は次の通り

$Mg = 196.5 \text{ kg}$, $l = 2.64 \text{ m}$, $l_f = 1.2 \text{ m}$, $l_r = 1.44 \text{ m}$, $h_s = 0.35 \text{ m}$

$I = 200.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $I_\beta = 65.0 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$, $K_f = 2000.0$

$\text{kg} \cdot \text{m}/\text{rad}$, $K_r = 3400.0 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{rad}$, $K_\beta = 2450.0 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{rad}$,

$C_\beta = 108.0 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}/\text{rad}$

なお以上のモデルは、実舵角と操舵角間に関するステアリング系を考慮したい時は、ステアリング系に関する方程式

$$I_s \ddot{\delta} f = -C_s \dot{\delta} f - K_s (\delta f - \delta / N_g)$$

δf : 操舵角 K_s, C_s : ステアリング系剛性、粘性減衰係数 N_g : ステアリングギヤ比
を付加し4自由で計算が可能である。

4. シミュレーション結果と実験結果との比較

a) 平坦路

先の車線乗り移り試験結果により得られた操舵角のデータをもとに、運動モデルによりシミュレーションした結果と実験結果との比較を図-3に示す。図は、走行速度を一定にし、乗り移り距離を3通りに変化させた時の車の重心位置における横方向加速度のものであるが概ね良い一致をみた。尚、本論文には掲載していないが、他の運動変数（ロール角、ヨーレート）の値についても良い一致をみた。このことは平坦路においては、本実験のような通常の走行をする際の車の運動モデルは上記のように入出力間で線形関係の成立するモデルにより操安特性評価が可能であると推察される。

b) わだち路

わだち路面における車線乗り移り走行試験結果により得られたデータとシミュレーションした結果との比較を図-4に示す。

図においては、走行速度と乗り移り距離を一定にし、車の運動モデルにおける各運

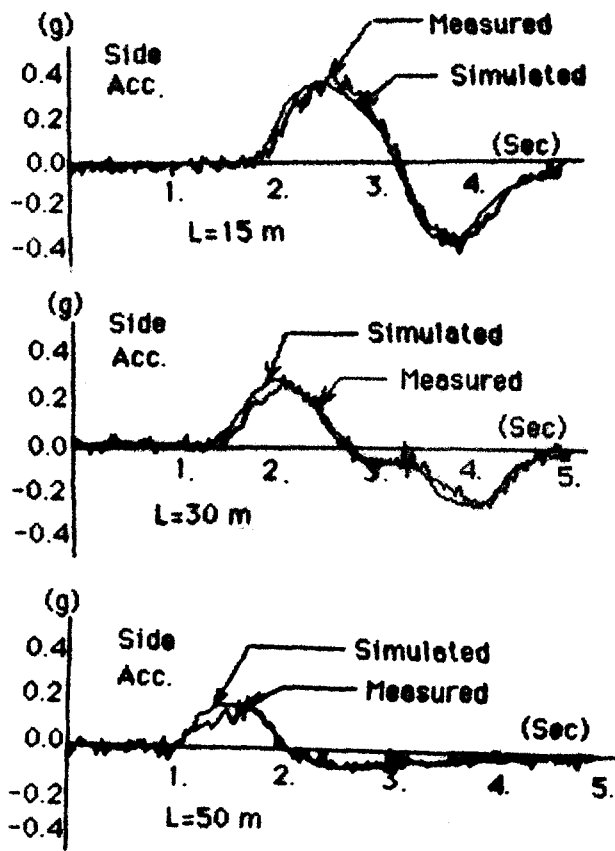


図-3 シミュレーション結果と実験値との比較（平坦路）

動方向に関する影響を考察するため横方向加速度、ヨーレート、ロール角に關し示した。図より、わだち路面においては、横方向加速度において懸架系、タイヤ系のもと推察される振動の影響がみられ、ヨーレートに關しては、他の運動変数（ピッチ角変化等）の影響により、シミュレーションによる値は一般に実験値より大きく示されている。このように、わだち路面の車線乗り移り走行のように、車の運動を支配する自由度がより多く必要とされる状況においては、3自由度モデルでは車の運動解析に關しては不十分である。

4. おわりに

車-路面系の評価は、初めにも述べたが人間のファクターも考慮に入れてなされるものであり、車が路面上を走行する際、人間の心理面に及ぼす影響、乗り心地面、事故との関係等により評価される。本研究においては、既存の車の運動モデルの適用性に関し考察を行なったが、人間の制御動作を組み入れた車の運動モデルについても現在検討中であり、図-5に予測制御モデルによる車線乗り移り走行のシミュレーション結果を示す。図は、運転者が前方における将来の車間の位置を現在における車の運動状態から予測し、目標コースとの誤差に応じ操舵を行なうという仮定により計算されたものであり、操舵系の運動を考慮し4自由度で行なったものである。

本研究をさらに進めていくにあたり、主として路面入力系の車の運動を再検討し、路面への評価へと言及する予定である。

参考文献

- 1) 川村・加来 ; わだち路面が車の操縦性・安定性に及ぼす影響について、土木学会北海道支部論文報告集、第41号、1985。
- 2) 平尾ほか ; 理論自動車工学、山海堂
- 3) E・マルカード ; 高速自動車における振動、図書出版社
- 4) 安部 ; 車間の運動と制御、共立出版社
- 5) 近藤 ; 基礎自動車工学 前・後期編、美賢堂

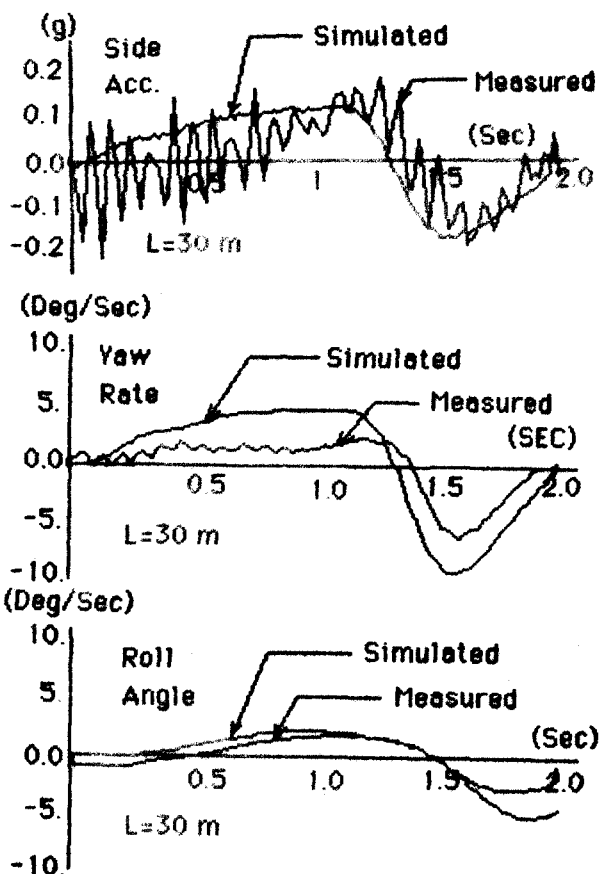


図-4 シミュレーション結果と実験値との比較（わだち路）

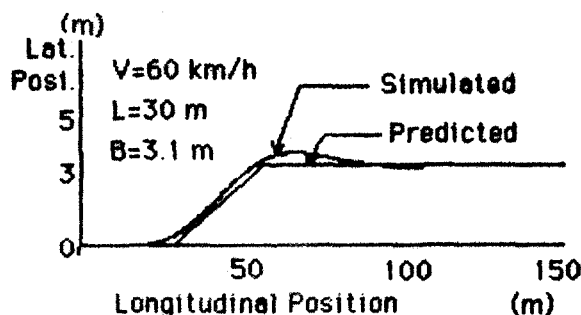


図-5 予測制御モデルによる走行軌跡のシミュレーション