

IV-5 任意の路面形状における車両走行のモデル化（その2）

北海道大学工学部 学生員 瀬ノ田 明 敏
 同 正 員 萩 原 亨
 同 正 員 中 辻 隆
 同 正 員 加 来 照 俊

1 はじめに

今日の自動車の普及による交通量の増大は、道路網の建設・整備を促進してきたが、主要な幹線道路では、路面上に流動と摩耗によるわだち掘れが生じている。

わだち路面の走行に関しては従来から車線逸脱などその危険性が指摘されてはいるが、その車両の動的挙動の理論的な解明にはいたっておらず、その対策は経験的なものでしかないのが現状である。わだち路面と危険度の評価を総合的に行うことは実車による走行試験が限定される（多数の路面形状を作成し走行するのは困難）ことから難しい。そこで、筆者らは自動車工学の分野において用いられている車両の力学的モデルにより、わだち路における車両の走行安定性を計算により求める研究を行ってきた。

本研究は、10自由度と3自由度からなる車両の力学モデルを提案し、そのシミュレーション結果を、実車走行試験結果の結果も加えて、わだち走行時の車両の動的特性に関して比較検討するものである。

2 車両走行のモデル化

ここでは、車両の走行時における運動を表現するための力学的モデルを二つ提案する。自動車は厳密には数百の自由度を有していると言われ、実際に走行している車両の示す挙動を厳密に解析し論じることが困難である。このため、目的に応じた自由度の選択を行う。

わだち乗り移り試験を実施した結果から、車両の各質点における高周波領域成分およびバネ上横方向成分に特徴的な挙動が示されることが、過去の研究により明らかになりつつある。そこで、高周波成分の再現を目的とした10自由度モデルと、操舵と車両の挙動の遅れを適切な再現が可能な3自由度モデルを作成し、それぞれのモデルの原理とその長所、短所について以下に記す。

2-1 10自由度モデル（図1）

車体を剛体と考え、その主な振動部分は一質点とし、バネ・ダッシュポットにより連結する。自動車を有限自由度のバネ・質量系としてその振動特性と運動特性を捕らえたモデルを考える。路面からの入力を重視するため、車両を重心点におけるバネ上、路面を直接うけるバネ下の質点に分け、各変量を独立とし（互いに相関的に自由に動くことができる）、自由度の選択を10とした。従って普通、車両の操縦・安定性の解析に用いられる2-5自由度のものに比

表1 モデルの自由度

10 自由度	バネ上重心前後方向の振動 (x_0) バネ上重心左右方向の振動 (y_0) バネ上重心上下方向の振動 (z_0) バネ下重心ピッチ角運動 (θ) バネ下重心ロール角運動 (ϕ) バネ下重心ヨー角運動 (ψ) 前輪左バネ下質量中心上下方向の振動 (z_{31}) 前輪右バネ下質量中心上下方向の振動 (z_{32}) 後部バネ下質量中心上下方向の振動 (z_4) 後部バネ下質量中心ロール角運動 (ϕ_4)
3 自由度	横すべり角 (β) ヨー角 (γ) ロール角 (ϕ)

べ複雑な車両の運動を扱えうるものとなっている。

10自由度モデルは、並進運動系と回転運動系のそれぞれに自由度をもつため上下、前後、左右方向の振動のほか、重心点においては6方向の振動を論ずることが出来る。なお、モデルの実行に必要な入力値としては操舵と路面形状である。

また、自動車の懸架形式についてはシミュレーション結果と以前に行った実車走行試験結果と比較するため、試験車と同じく前輪独立懸架・後輪車軸懸架形式を採用した。

このような多くの自由度を持つ力学的モデルとすることにより、10Hz前後の周波数特性を再現できる特徴を持つ反面、必要な車両のパラメータ数が増加し、それぞれについて非線形的な特性を考慮する必要がある。

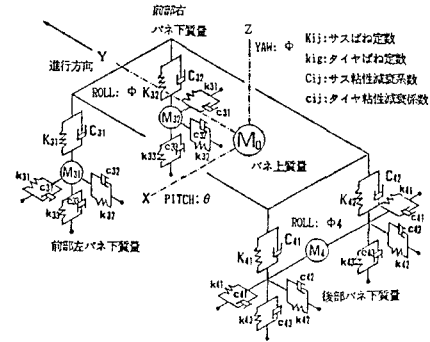


図 1 10自由度モデル

2-2 3自由度モデル (図2)

車両の運動に影響を及ぼす路面状況の把握をより簡易に、また高自由度モデルの短所を補うため3自由度モデルを作成した。その長所には、車両の運動についての入力となる路面、出力となる車両の任意位置における応答に関して入出力相互の影響が線形関係である点があげられる。作成した3自由度モデルは自由度として表-1の値をとり車両を重心における剛体の運動として捕らえたものである。さらに操舵に関してフィードフォワードによる進路方向の予測を行い、その値を実舵角として入力している。

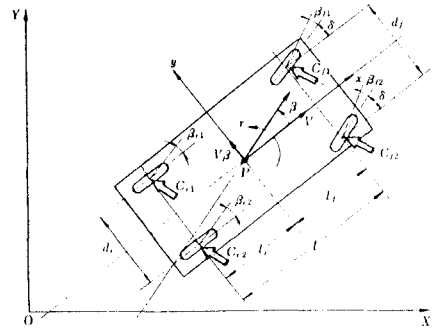


図 2 3自由度モデル

3 走行シミュレーション

10及び3自由度力学モデルについて以下に示す条件のもとで、わだち路乗り移り走行シミュレーションを行った。

3-1 モデルによるわだち路乗り移りの計算について

力学的モデルを用いて図3に示す条件のもとで、わだち路乗り移り走行シミュレーションを行った。

1)路面変位は上下方向のみを考え、入力に用いたわだち路面は、正弦波で近似し進行方向に対しては形状が一定であるものと仮定した。

2)懸架バネ及びタイヤのバネ定数は、実際には非線形であるが、この非線形関係が的確に把握出来

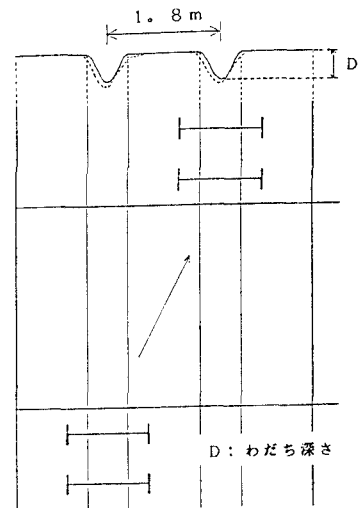


図 3 わだち路乗り移り

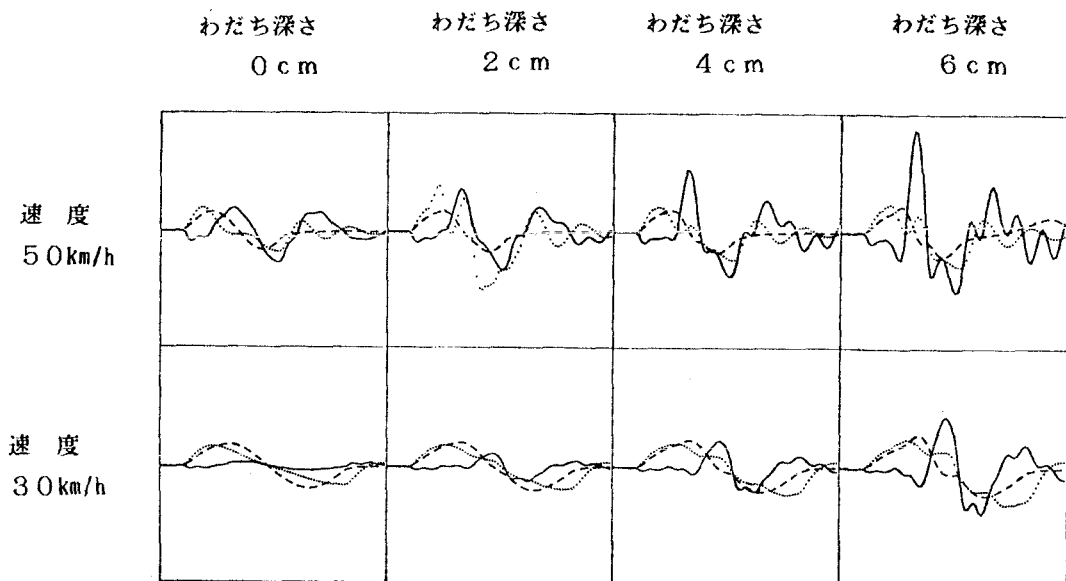


図 4 10自由度モデルと3自由度モデルによる
わだち路乗り移りにおける重心Y方向加速度

ないため、線形性を仮定した。

3)路面の傾きにより発生する車両の横方向力は、車輪ごとにキャンバフォースとして入力した。

4)10自由度モデルにおいては実舵角、横すべり角は正弦波で近似し、横すべり角は左右輪、前後輪ともに等しいと仮定した。 3自由度モデルでは、実舵角は数秒先のコースと現在の位置の差から操舵を行う、いわゆるフィードフォワードによる実舵角入力を実現している。

5)運動方程式の連立常微分方程式の数値計算法として4次のRUNGE-KUTTA-GILL法を用い、刻み幅を0.02秒として計算した。

3-2 モデルによるわだち路乗り移り走行の結果

乗り移り距離を固定し ($L=30\text{m}$)、乗り移り速度 (30km/h , 50km/h) とわだち深さ ($0, 2, 4, 8\text{cm}$) を変えて、3自由度、10自由度の二つのモデルについてシミュレートした。 その結果を重心Y (左右) 方向加速度について示したのが図4である。 実線が10自由度、破線が3自由度のものであり、点線は3自由度においてフィードフォワードにより操舵をあたえたものである。ここには示していないが、ロール、ヨー角速度についても同様に計算されている。

3-3 実車走行試験結果と力学的モデル (10OR 3自由度) のシミュレート結果の比較

車両の動的挙動におけるモデルの再現性は両者とも、その目的を考えれば十分満足すべき結果であったと言えよう。 図5に示す実車走行試験の結果と

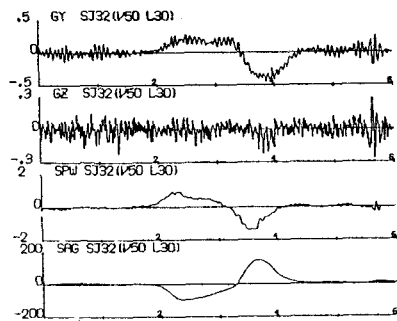


図 5 実車走行試験の結果

比較すると、図に示したのは重心の横方向のみであるが、振幅および低周波数に関しては差がなく路面の評価基準を確立するためのモデルとしては十分その役割を果たすように思われる。また、3自由度に比べ、10自由度のほうに時間的な遅れが見られるのは10自由度のほうの車両がバネ上、バネ下を通して弾性体としての挙動を示した、またその操舵系の違いからであろう。わだち深さが大きくなるほど、また速度が大きくなるほどY方向加速度は大きくなるが、その影響度は3自由度のものより10自由度のものが大きい傾向が見られる。

4 あとがき

10自由度及び3自由度力学モデルを用いてわだち路乗り移りのシミュレートを行った。その結果、任意の路面形状における車両走行のモデル化は、可能であり、実験のみを通してその結果を得ることの困難な路面（例えば、わだち路）における車両の動的挙動を予測する有効な手法であることが実証されたと言える。

しかし、多くの解決しなければならない課題は多い。即ち、

- 1) わだち路面により、車両が不安定になるが、その評価手法を確立し、実車走行試験結果とモデルによる結果を比較検討する。
 - 2) 複雑な路面形状を走行するタイヤの受ける外力の把握。
 - 3) 車両の諸元の推定手法の確立。
- 等が上げられよう。

最後に、本研究にあたり試験コースの利用に便宜をお計り下さいました関係各位に記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 安部 : " 車両の運動と制御 " 共立出版社
- 2) 近藤 : " 基礎自動車工学（前、後期編）" 養賢堂
- 3) 平尾ほか: " 理論自動車工学 " 山海堂
- 4) 亘理 : " 自動車の運動に関する研究 " 東大生産研究所報告VOL.14,
NO.3, 1965