



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	わだち部における車両の挙動に関する研究 : タイヤと路面との間に働く力について
Author(s)	加来, 照俊; Kaku, Terutoshi; 佐藤, 清二 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 118, 81-92
Issue Date	1984-02-07
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41835
Type	departmental bulletin paper
File Information	118_81-92.pdf



わだち部における車両の挙動に関する研究

—タイヤと路面との間に働く力について—

加 来 照 俊 佐 藤 清 二* 中 辻 隆
藤 原 隆 小野寺 雄 輝

(昭和58年 9 月30日受理)

Kinetic Behavior of vehicle on Rutted Road

—Study on Forces Applied to Tire from Road Surface—

Terutoshi KAKU, Seiji SATO, Takashi NAKATSUJI

Takashi FUJIWARA, Yuki ONODERA

(Received September 30, 1983)

Abstract

A tendency for unstable steering on rutted road is seen. This can be experienced on arterial roads with heavy volume of traffic, and on roads covered with snow. It can be ascertained this tendency has been aggravated owing to the remarkable increase of traffic volume on arterial roads, and the usage of studded tires in the season when roads are not covered with snow.

Although many extensive work has been reported regarding the stability of driving on rutted roads, the kinetic mechanisms remain unclarified.

We carried out running tests on rutted roads in summer and winter.

The results obtained are summarized as follows.

- 1) When driving along a rutted road, the difficulty lies in frequent steering changes and large lateral acceleration.
- 2) When a lane is changed on a rutted road, the steering alters rapidly and unexpectedly according to the abrupt changes faced.

This tendency is remarkable when a lane is traversed with low angle.

- 3) A likely cause of instability of driving on a rutted road is time lag necessary to develop the sideway force caused by friction between tires and the road surface.

1. ま え が き

自動車の安全な走行性には、実に多くの要因が関与するが、タイヤを通しての路面状態の入力とそれに対する運転者の応答とを、安定した状態に保つことが基本的かつ重要な要因であることは言うまでもない。しかし、近年の道路整備事業の著しい進展によって路面の平坦性が大きく確保されるようになって来たので、安全で快適な交通環境を供給するための道路・交通工学においても、“ハードからソフトへの転換”が叫ばれて久しい。路面の凹凸と自動車の運動に関しても、

土木工学科 交通工学講座

* 運輸省港湾局港湾計画課

道路が未整備の時代には主に悪路における乗り心地の問題として議論されてきたが、近年においては、橋梁のジョイント部や段差などの局部的な路面の凹凸や、雨天時のハイドロプレーニングや路面わだち部の滞水の飛水など限られた状況、条件における問題として議論されている。

しかしながら、最近の爆発的な交通需要の発生が、舗装路面の流動や摩耗を引き起こし、路面上に比較的深いわだちを形成し、安定した走行上の大きな障害となっている例が見られる。特に積雪地方においては、冬期間の積雪時に路面上に形成されるわだちの存在は安全な交通を損う一大要因であるばかりではなく、非積雪時におけるスパイクタイヤの使用は舗装路面の摩耗を著しく増大させ夏季乾燥路面においてもハンドルがとられるという危険な例が見られる。

わだち路の走行安定性に関しては、これまでにハイドロプレーニングや飛水などの研究は行なわれてきているが、路面形状を直接入力しての理論的な解析はあまり行なわれておらず、ヨーロッパなどにおいても、実験的な研究が主に行なわれているのみである。

本研究においては、理論的なアプローチの第一段階として、わだち路を走行する車のタイヤに作用している力の作用過程を明らかにするために、夏季と冬季のわだち路面における走行試験を行ない、得られた結果について、タイヤと路面の摩擦とすべりに基づく考察を行なった。走行試験は、夏季には直線走行試験と車線乗り移り試験を、冬季には車線乗り移り試験を実施した。

ここで得られた主な結果は以下のように要約出来る。

(1) わだち路を直線走行する時の走行安定性の評価は、従来の乗り心地を評価するための上下方向加速度では不十分であり、操舵の忙しさと横方向加速度も考慮しなければならない。

(2) わだち路を乗り移り走行する時には、時々刻々の操舵の修正を要求される。この傾向は、ゆるやかな乗り移りをするときにより著しい。

(3) わだち走行時の不安定性は、路面とタイヤの間の横方向摩擦力がタイヤ転動時に小さく、タイヤ材料が粘弾性であるために、わだち斜面に沿う輪荷重成分に抵抗する横力の発生までに時間の遅れをとまうことに帰因する。

2. 摩擦とすべり

2.1 ゴムの摩擦

ゴムの摩擦は、固体の摩擦とは異なり、Coulomb の法則は成り立たない。即ち、

- (1) 摩擦力は垂直力に比例しない。
- (2) 摩擦力は接触面積により変化する。
- (3) 動摩擦力はすべり速度に依存する。

ゴム材料の摩擦は、主に次の二つの要因による。

- (1) adhesion によるもの
- (2) 変形のための hysteresis によるもの

他に潤滑や掘りおこしもその要因に数えられるがそれらの影響は小さく、一般的には、乾燥時には主に adhesion に、湿潤時には hysteresis によると考えられている。adhesion は、真の接触面積に比例するものであるが、ゴム状物質の場合、真の接触面積と垂直力は比例しないため、摩擦力は垂直力に比例しない。

ゴム材料の摩擦係数は速度に依存し、乾燥した金属表面上では 20 cm/s の、また木版の表面上では数 cm/s のすべり速度で最大の摩擦力を生じると言われているが、図 2-1 に示すような三要素モデルによって摩擦係数の速度依存性を説明することが出来る¹⁻²⁾。ゴム-路面間の摩擦係数の

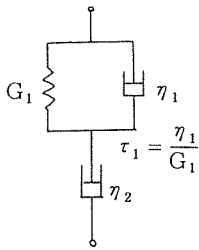


図2-1 ゴムのクリープ現象を説明するための三要素モデル

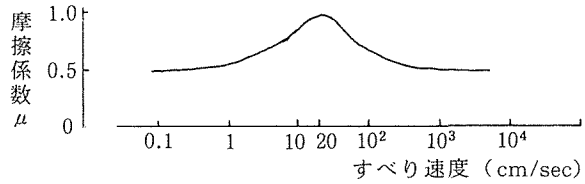


図2-2 摩擦係数のすべり速度依存性の計算例

数値計算例を図2-2に示す。

2.1 ゴムの摩擦

タイヤの前後方向剛性は自動車のパワーホップ、ブレーキホップ現象などへ影響を与える要因の1つである。路面すべり測定用の標準タイヤ(6.45-13 4PR リブ型)を用いて、前後方向バネ定数と周ひずみの測定を行なった。測定方向は、タイヤをロック状態にしておき、垂直荷重をかけた状態でタイヤを前後方向に引っ張り、引っ張り力と前後方向変位、周ひずみを求めた。垂直荷重と引っ張り力の検知、および前後方向への引っ張りには北海道大学道路すべり抵抗測定車を、前後方向変位は、歪計を用いた。また、周ひずみの測定は、タイヤに予め埋め込み座標を設け、写真撮影によって行なった。(図2-3参照)

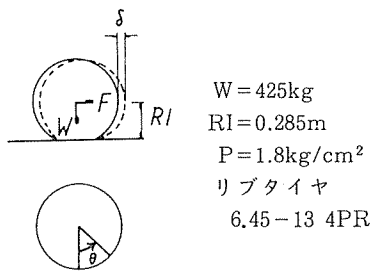


図2-3 タイヤの前後方向バネ定数と周ひずみの測定

図2-4に、前後方向たわみ δ と前後方向力 F の測定結果を示す。 $\delta \leq 1\text{cm}$ で1回、 $1\text{mm} \sim 2\text{mm}$ ほどのすべりの発生が見られるが³⁾、これは、より安定な状態に移ったためと考えられる。

図2-5は、 $\delta = 1.15\text{cm}$ の時のひずみの状態である。接地始端付近のひずみが最も大きく伸びており、接地中心付近から接地終端にかけては縮んでいる。今、接地中心に作用する単位インパルス(単位摩擦力)によるインパルス応答(周ひずみ)関数を左右逆対称な指数関数、また、実際の入力(摩擦力分布)を一様分布と仮定すると、周方向のたたき込み積分により、図2-6に示すような応答(周ひずみ

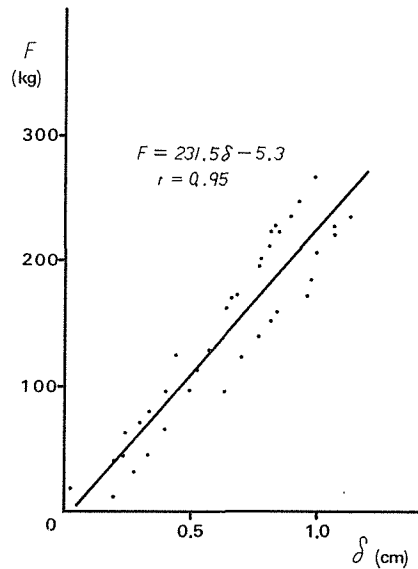


図2-4 標準タイヤの前後方向剛性

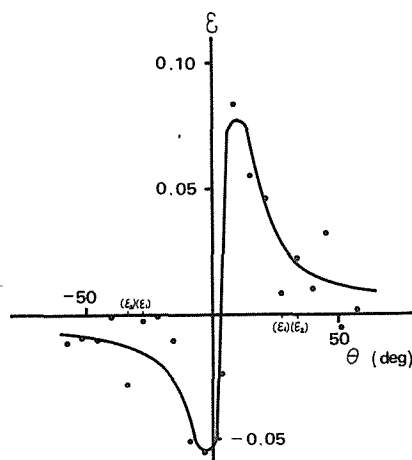


図2-5 標準タイヤの周ひずみ分

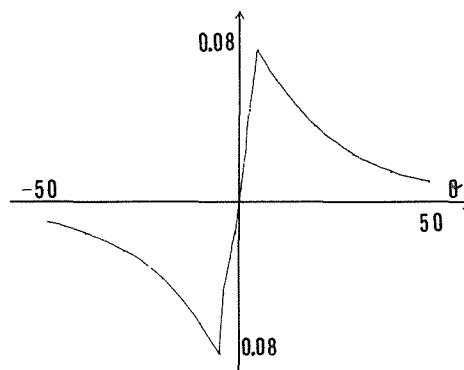


図2-6 周ひずみの数値計算例

分布)を理論的に得る事が出来る。これは、先に実測された図2-5の結果に非常によく合致していることから、ロック時の摩擦力分布は、ほぼ周方向に一樣であると考えられる。

タイヤに制動力が作用しているとき、周ひずみが発生しており、接地始端付近で最大になると考えられる。S.R. (slip ratio) が、最大の S.N. (slip number) を与える S.R. より小さいとき、接地始端付近では、路面とトレッドゴムの相対的なすべりが生じないものと仮定する。これは、接地始端における引張歪のために、この部分のゴムの回転速度が大きくなっていることを想定したものである。接地始端付近の周ひずみは、すべらないために、タイヤの回転とともに、接地終端に向けて伝わる。図2-6から、接地始端から一定の引張りひずみが分布するためには、接地終端に近づくにつれて、分布摩擦力が增大することが推察される。分布摩擦抵抗力は最大静止摩擦力を越えることが出来ないで、ある部分以降はすべりが発生する。2.1 に述べたゴムの摩擦の速度依存性を考慮すると、すべり域における単位面積当りの摩擦力は、粘着域におけるものよりも大きい場合がある。この状態から、さらに S.R. が増大すると、すべり出す地点が接地始端に近づき、最大の S.N. を発揮する S.R. 付近で全域すべり状態となる。また、接地部のすべり速度は一樣ではないため、断定的には言えないが、S.N. のピークとゴムブロックにおけるすべり速度による摩擦係数のピークとは相関関係があるものと考えられる。S.N. のピーク付近までの S.R. に対する直線的な立上りは、主にすべり域が、S.R. の増大とともに増えることによるものと考えられる。S.N. のピークからさらに S.R. を大きくすると、接地部の対路面すべり速度が大きくなるため、S.N. は単調に減少する。

キャンバ角零の状態、S.A. (slip angle) を持ちながら転動しているタイヤのトレッドゴムは、図2-7に示す変形を受ける。接地始端から X' (車の進行方向) に平行な部分は、すべらない粘着域であり、ある部分からすべり域となり、X' に平行とはなくなる。横力の分布は、接地面の後部に向かって直線的に増加し、すべり域の終端に向かって直線的に減少する三角形に近い分布をしているが、S.A.

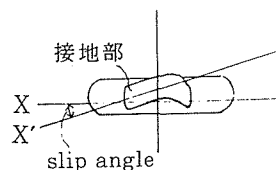


図2-7 タイヤが横すべりする時の接地部の変形

の増加とともにピークの形が尖ったものから丸いものになる傾向が見られる。

3. 走行試験によるわだち部の走行安定性

わだち路面における車両の振動特性を得るために、夏季および冬季の実路面上において、車両走行試験を実施し、車両の各部位の加速度、ハンドルの操舵角および操舵力の測定を行なった。

車両の振動特性を論ずる時に、得られた振動記録のスペクトルを分析する事が最も一般的に行なわれるので、ここでも、得られた各変動量のパワースペクトル、2つの変動量間のコヒーレンス、および平均パワーの平方根である r.m.s. 値を用いて結果の考察を行なった。

3.1 走行試験

(1) 夏季走行試験 夏季の走行試験として、1982年10月23, 24日に、北海道いすゞテストコース (Hokkaido Proving Ground) において、直線走行試験と車線乗り移り試験を行なった。試験車は三菱 Jeep (J-30型：総重量1854kg, トレッド1.3m) を用い、ピックアップは車の重心 (GX, GY, GZ), 左右フロント板ばね下 (FLZ, FLY, FRZ) と左右リアスプリングシート (RLZ, RRZ) の各位置に加速度計を、ハンドルに操舵角計と操舵力計を設置した。表3-1に各ピックアップの諸元を示した。

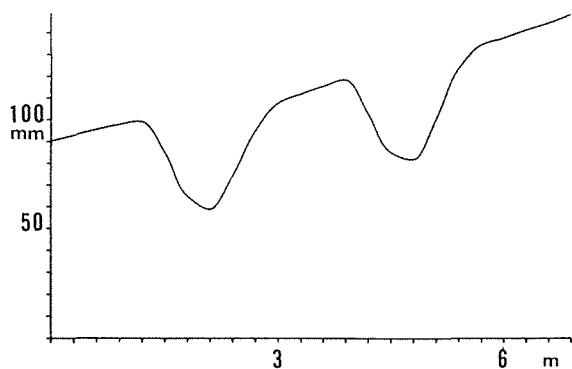


図3-1 テストコースの横断 profile

表3-1 ピックアップの諸元

記号	取り付け位置	方向	型式
GX	重心	前後	(KYOWA) AS-1 GB
GY	"	左右	"
GZ	"	上下	AS-2 GB
FLZ	左フロント板バネ下	"	AS-10GB
FLY	" "	左右	AS-2 GB
FRZ	右フロント板バネ下	上下	AS-10GB
RLZ	左リアスプリングシート	"	AS-5 GB
RRZ	右リアスプリングシート	"	"
操舵角	ハンドル	左回り正	
操舵力	"	"	

走行試験は、わだち路面だけでなく良路としての高速周回路直線部と悪路としての砂利路においても実施され、わだち路との比較検討を行なった。なお、この時の路面状態はすべて Dry 状態である。

a. わだち路面の Profile の測定 いすゞテストコースのわだち路の横断および縦断の Profile の測定を水準測量によって求めた。横断方向の Profile を図3-1に、また、図3-2には、試験車が車線中央を走行する時の左右の車輪位置に沿った2測線の縦断凹凸のパワースペクトル (横軸は空間周波数) を示した。なお、図3-2中の A~E は、路面の縦断凹凸パワースペクトルによる路面の分類 (A: 極良路, E: 極悪路) に関する ISO の基準案を示したものであるが¹⁰⁾、図に見られるように、本試験路が、極良路あるいは良路に分類されることがわかる。

b. 直線走行試験 わだち路面では、わだちと左右車輪の位置関係によって、図3-3に示すように、7つの水準 (Lev 1~Lev 7) を設定し各5回ずつの走行試験を行なった。また、砂利路

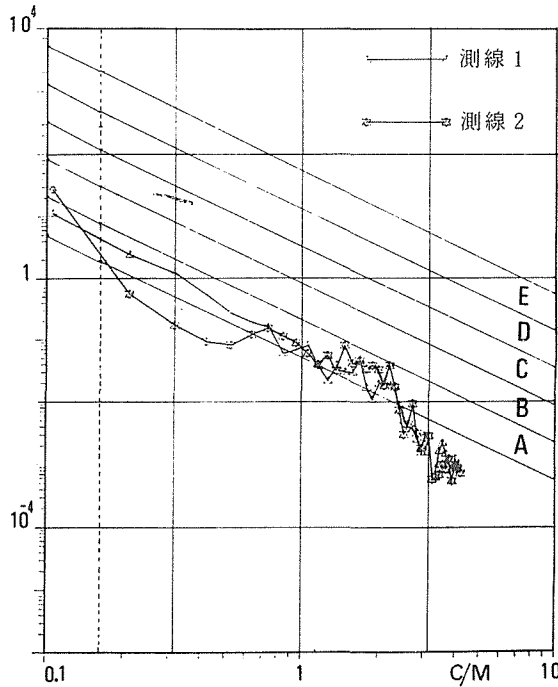


図3-2 テストコースの縦断凹凸のパワースペクトル

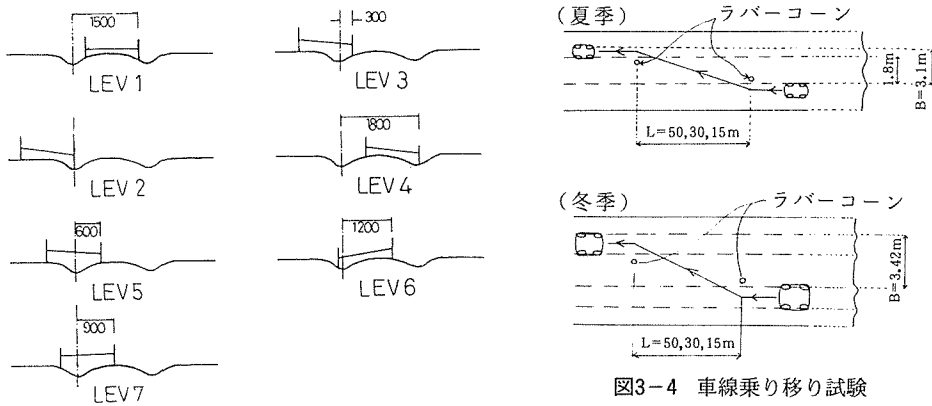


図3-3 わだち路直線走行時のホイールパス

図3-4 車線乗り移り試験

(Lev 13) と平坦路 (高速周回路直線部: Lev 14) では、それぞれ 2 回と 3 回の走行を行なった。

c. 車線乗り移り走行試験 わだち路面と高速周回路において、図3-4に示すような車線乗り移り試験を実施した。乗り移り幅は $B=1.8+1.3=3.1\text{m}$ とし、乗り移り距離を $L=50, 30, 15\text{m}$ と変えて速度 $V=40\text{km/h}$ で走行した。各走行レベルの設定と走行回数を表3-2に示した。

(2) 冬期走行試験 冬期の走行試験を、1983年1月24日に、北海道大学構内西8丁目通りの工学部前路上において、交通量の比較的小さい午後8時頃より実施した。天気は雪で路面は圧雪状態であった。

冬期は車線乗り移り試験のみで、その仕様は夏季とはほぼ同様である。表3-2に各走行レベル

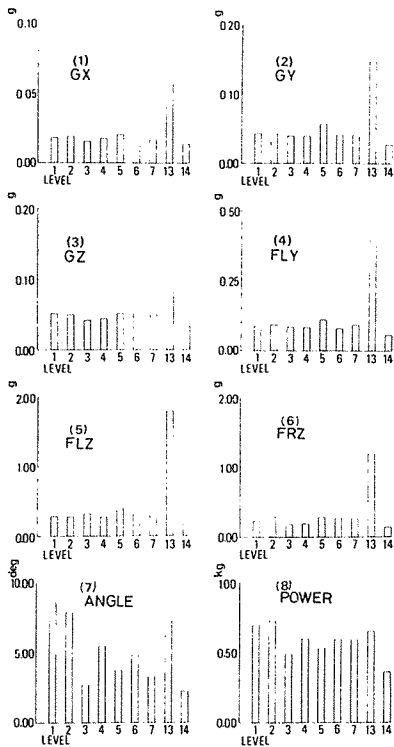


図3-6 各走行レベルに対する測定加速度のr.m.s. 値

表3-2 車線乗り移り試験の各走行レベル

(夏季)

Level	速度(km/h)	乗り移り幅 B(m)	乗り移り距離 L(m)	走行回数	路面
Lev 8	40	3.1	50	5	わだち
" 11	"	"	30	"	"
" 12	"	"	15	"	"
" 15	"	"	50	3	平坦路
" 16	"	"	30	3	"
" 17	"	"	15	3	"

(冬季)

Level	速度(km/h)	乗り移り幅 B(m)	乗り移り距離 L(m)	走行回数	路面
Lev18	40	3.42	50	5	圧雪わだち
" 19	"	"	"	5	"
" 20	"	"	"	5	"

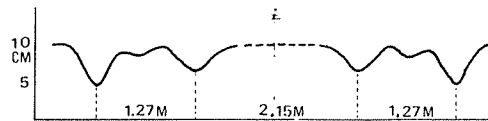


図3-5 圧雪わだち路面の横断 profile

(Lev 18~Lev 20) を示すとともに、図3-5に測定した圧雪わだち路面の横断 Profile の一例を示した。

3.2 解析結果

(1) 直線走行試験の r.m.s. 値 図3-6の(1)~(8)はそれぞれ、夏季走行試験における GX, GY, GZ, FLY, FLZ, FRZ, 操舵角, および操舵力の r.m.s. 値を各走行レベルに関して求めたものである。ここで得られた結果は以下のように要約出来る。

a. 全ての上下, 左右, 前後方向の加速度の r.m.s. 値は, 砂利路, わだち路, 平坦路の順に大きく, 特に砂利路において顕著である。

b. ばね下とばね上とは, ばね下の加速度の r.m.s. 値の方が, 上下方向では7~10倍, 左右方向では2~3倍大きくなっている。この事は, 自動車の運動モデルを考える場合に, ばね上とばね下との関係を剛と仮定する事が, 左右方向においてもかなりの誤差を生じさせる事を表わしている。

c. 加速度の r.m.s. 値が, 砂利路において著しく大きいのに対し, 操舵角や操舵力においては, わだち路の Lev 1 や Lev 2 の状態が, 砂利路より大きな値を示している。この事は, わだち路走行時の外乱に対する不安定性を示すとともに, わだち路面の評価が, 乗り心地性と密接な関係にある上下方向加速度のみによっては判断出来ない事を表わしており, 本試験で得られた結果の中で最も興味ある事項の一つであるので, 路面の傾き, 曲率と横すべり摩擦, キャンバスラストの影響などについて後に詳しく言及したい。

d. Lev 1 ~ Lev 7 の各走行レベルと加速度 r.m.s. の関係を見ると, 三方向とも各走行レベル

による大きな差異は認められないが、左右方向(GY, FLY)において Lev 5 の値がやや大きくなっているのは、そのホイールパスの影響と推測される。

(2) 直線走行試験のパワースペクトルとコヒーレンス 凹凸のパワースペクトルが $P_x(f)$ なる路面を走行したとき、自動車のある部分に生じる加速度のパワースペクトルを $P_y(f)$ とする。この系を入力 $P_x(f)$ 、出力 $P_y(f)$ の線形系が成立するならば、その系の周波数応答関数 $A(f)$ ¹²⁾ は、

$$|A(f)|^2 = P_y(f)/P_x(f)$$

から求める事が出来る。図3-7は、図3-2に示した路面パワースペクトルと、FLZの加速度スペクトルを用いて求めた周波数応答関数(OTO)である。応答関数は、1 Hzの低周波成分から、ばね下の共振周波数と考えられる14Hz成分まで単調増加し、それ以上の周波数では、若干の変動はあるが、ほぼ平坦な特性を有している。

各変動量の周波数特性を分析するために、図-8に、各変動量のパワースペクトルと二変動量間のコヒーレンスを示した。以下に結果の考察を行うが、わだち路としては Lev 1 のみを対象とした。

a. GX-GY (図3-8 (1)~(3))

r.m.s. 値では、わだち路に比べて砂利路の方が格段に大きな値であったが、パワースペクトルでは、1 c/s 付近では砂利路よりもわだち路の方がパワーが若干大きい。また、砂利路では、コヒーレンスに顕著なピークは見られないが、わだち路や平坦路では、21c/sあるいは28c/sでのコヒーレンスは大きい。これは次のように説明する事が出来る。

測定された出力加速度 $Y(t)$ の中には、路面の凹凸入力 $X(t)$ の車両の振動応答である $Z(t)$ なる成分と、それとは独立

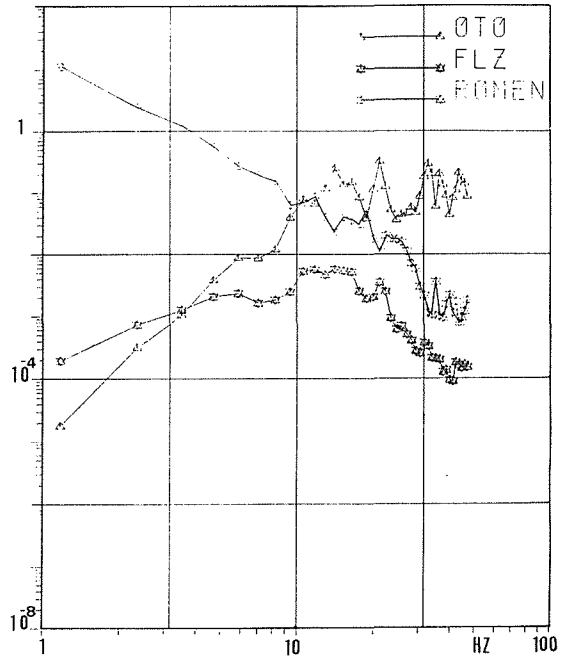


図3-7 車のばね下構造の周波数応答関数

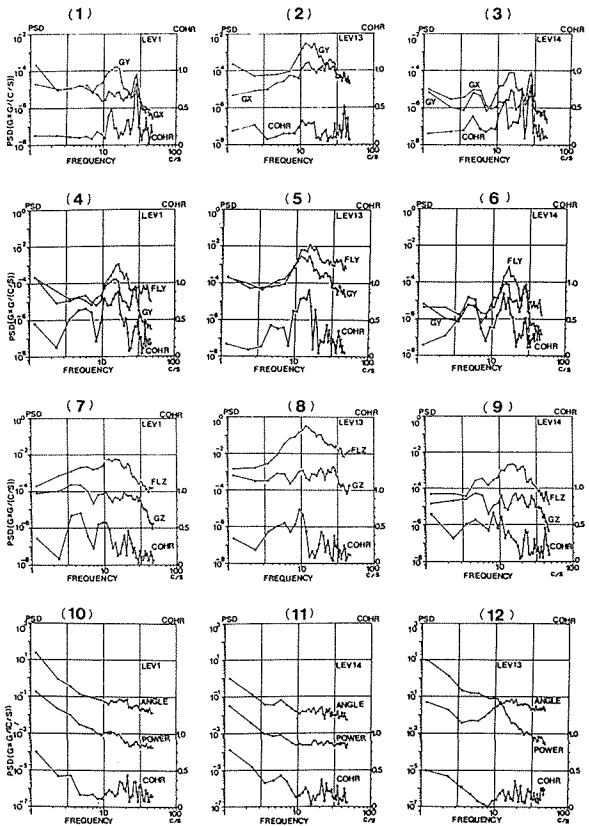


図3-8 測定変動量のパワースペクトル・コヒーレンス

なノイズ $N(t)$ が含まれている。路面からの加振による振動の寄与を、 $Y(t)$ の r.m.s. 値に対する $Z(t)$ の r.m.s. 値として表わす時、悪路においては、自動車の振動は、ほとんど路面の凹凸による加振で左右され寄与率は90%以上と言われている。一方、良好な舗装平坦路においては、路面の凹凸による影響は小さく寄与率は25~40%程度である¹¹⁾。すなわち、わだち路、平坦路におけるコヒーレンスに見られる21c/s, 28c/sのピークは、自動車のエンジンやその他の固有振動のいわゆるノイズの成分であり、砂利路では、路面凹凸による加振の影響が大きいために、ピークがあらわれなかったものと思われる。

b. GY-FLY (図3-8 (4)~(6)) 1~2 c/sの低周波数成分においては、わだち路は、砂利路と同じ位のパワーを有しているが、それより大きい周波数域では、すべてわだち路より砂利路のパワーが大きくなっている。

14c/s付近に見られるピークは、タイヤの横ばね定数は縦ばね定数とほぼ等しい⁹⁾と言われていることから、あるいはまた、tramp (地だんだ振動) が横方向にも影響を及ぼすことから推察して、ばね下の共振周波数のあらわれと考えられる。このピークより低い周波数領域では、わだち路と砂利路においては、ばね下とばね上のパワーがほぼ同じであり、それ以上の周波数領域では、ばね下の方が大きくなっている。すなわち、路面の凹凸入力が、ばね下において14c/s以上の成分として現われてきているとともに、先に r.m.s. 値の考察で述べた、ばね下とばね上の関係を剛と仮定する時の誤差は主に14c/s以上の成分であることがわかる。平坦路においては、広い周波数範囲にわたって、ばね下とばね上のパワーに差異が見られないのは、路面の影響が小さいことによる。

c. GZ-FLZ (図3-8 (7)~(9)) 上下方向の加速度パワースペクトルをバネ上とばね下とについて比較すると、ばね下では、共振周波数の14c/s付近にピークが見られる。その傾向は、砂利路、わだち路、平坦路の順に見られる。一方、ばね上においては、サスペンションの減衰作用とばね上構造の周波数応答特性によって、パワーが小さくなるとともに、その形も比較的平坦であるが数 c/s 成分にややピークが見られるものとなっている。

d. 操舵角—操舵力

(図3-8 (10)~(12))
操舵角と操舵力のパワースペクトルの形は非常によく似ている。コヒーレンスも3c/s以下の低周波数領域において大きい。操舵力は砂利路の場合だけ11c/s付近に卓越が見られる。

わだち路は、操舵角の低周波数領域において、砂利路よりも大きなパワーを持っている。この事は、わだち路での走行安定性や乗り心地を論ずるときには、

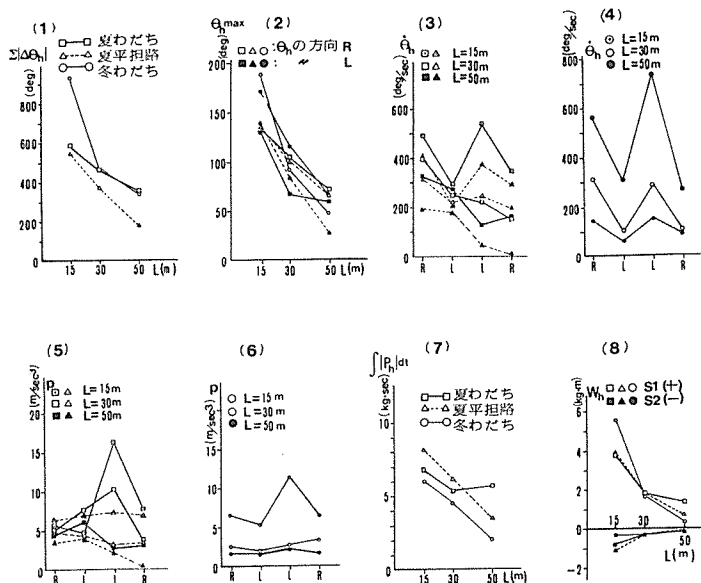


図3-9 夏季および冬季における車線乗り移り試験

上下振動ではなく、この操舵角である事を意味している。

人体の共振周波数は、左右方向 2 c/s 付近、上下方向 $3\sim 5\text{ c/s}$ 、内臓 $3\sim 5\text{ c/s}$ ⁹⁾ と言われているが、 $1\sim 2\text{ c/s}$ の範囲におけるパワースペクトルと各走行レベルの関係を調べると、Lev 1, Lev 2, 砂利路, Lev 4, Lev 6, Lev 3, Lev 5, Lev 7, 平坦路という結果が得られた。

(3) 車線乗り移り走行試験 夏季および冬季に、乗り移り距離 $L=50, 30, 15\text{m}$ で車線乗り移り走行を行なった。横加速度（左右方向）、操舵力、操舵角に関してわだち走行の特徴がよく現われたので考察をしたい。

a. 総操舵量（図3-9 (1)） 平坦路とわだち路では、総操舵量はわだち路の方が大きく、乗り移り距離が大きくなると、その差は顕著となっている。わだち路では、外乱に対する収束性はきわめて悪く、運転者はフィードバック走行に頼り、小さきみなハンドル修正を余儀なくされる。なお、冬道で総操舵量が大いなのは、コーナリングフォース及びコーナリングパワーが小さいことによると考えられる。

b. 最大操舵角（図3-9 (2)） 平坦路とわだち路では、乗り移り距離が小さいときは有意な差は見られないが、乗り移り距離が大きくなると若干わだち路の方が大きいとの結果が得られた。圧雪わだちは乗り移り距離が小さいとき非常に大きな操舵角を必要とするが、これは乗り移り幅 B が夏季よりも広いこと（夏季 $B=3.1\text{m}$ 、冬季 $B=3.42\text{m}$ ）、コーナリングフォース、コーナリングパワーが小さいためと考えられる。

c. 操舵角速度（図3-9 (3)(4)） わだち路における操舵角速度は、平坦路におけるものよりも大きい。これは運転者の力み過ぎにもその一因があると考えられる。圧雪わだちでは、コーナリングフォース、コーナリグパワーが小さいので、操舵角速度は夏路面より大きい。

d. 横加速度の変化率（図3-9 (5)(6)） わだち路と平坦路では、わだち路の方が、特に車線乗り移りの完了する直前で、一本のタイヤがわだちに落ちる時と、ハンドル振しと同時に発生する場合に横加速度の変化率が大きく、乗員の乗車姿勢の安定がきわめて悪くなる。

e. 操舵力積（図3-9 (7)） わだち路と平坦路では、乗り移り距離が $L=15, 30\text{m}$ の時に、平坦路の方が大きな力積となる。これは、この時のわだち路でのハンドルのとられがうまく進路に合っているためと考えられる。一方、 $L=50\text{m}$ では、逆にわだち路の方が大きくなっているが、これは、ハンドルのとられに任せれば 50m 以内で乗り移りが完了してしまうため、逆に操舵力を必要とする結果となったものと考えられる。また、圧雪わだちでは、サイドウェイ・フォースが小さいのでセルフライニングトルクも小さくなり、操舵力積は夏季に比し小さい。

f. 操舵仕事量（図3-9 (8)） わだち路と平坦路では大きな差は認められなかったが、 15m では平坦路の方が、また 50m ではわだち路の方が大きな値となっている。この量が負の値となるのは、操舵角速度の方向と操舵力の方向が逆向きで、いわゆる kick-back の状態の時であるが、わだち路と平坦路とはほとんど同じような値であることから、仕事量から見たわだち路における操縦性は極端に悪いとは言えない。

3.3 わだち部走行中のタイヤに働らく力

わだち路面を走行する車両の走行安定性に関しては、わだち路面の形状や物性の評価、あるいはタイヤや車体の運動力学特性の分析など未解明の分野が多く、理論的な取り扱いには困難を残している。ここでは、車がわだち部を走行する時タイヤに働らく力について考察を加え理論的アプローチの1ステップとしたい。

まず、路面とタイヤの接触部で、路面がタイヤに及ぼす路面反力は、垂直反力と摩擦力の合力と表わすことが出来るが、タイヤは粘弾性体であるので、タイヤに図3-10の(1)示すような横方

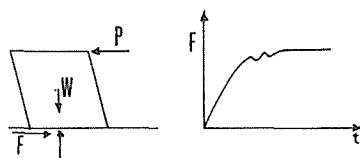


図3-10 横力が作用した時の粘弾性体の挙動

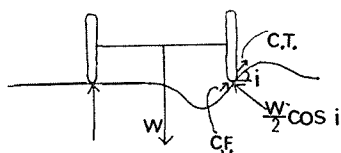


図3-11 わだち路走行中のタイヤに働く力

向力 P が作用しても、タイヤに生じるひずみ ϵ や摩擦抵抗力の出現には(2)の図に示すように時間的な遅れをとまう。

実際の車の運動を考察するために、一軸二輪車を想定する。平坦路を定速走行していた車が路面の急変に遭遇し、図3-11のような状況におかれたと仮定する。輪荷重のわだち面に沿う成分により、タイヤがわだち面をすべる時、このすべりに抵抗する横力の出現には時間の遅れをとまう。(但し、ここでは、タイヤと路面の傾きによって生じるキャンバースラストの影響については、後に別個に考えるものとする。) すなわち、わだち面をすべる速度が徐々に大きくなり、ある距離以上すべることによってタイヤの軸方向と車の進行方向に差(スリップアングル)が生じ、初めてすべりに抵抗する横力の出現を見る。この時間遅れをとまなった横力の出現によって輪荷重を支えることが出来た後にすべる速度が一定に近づく。この横力の発生過程は、横断勾配部を走行したり、横風突風を受ける車の挙動においても見られる。

わだち部におけるハンドルのとられは、キャンバ・トルクによるものである。キャンバ・トルクの原因は、接地面の内側と外側の半径が異なるために、路面とタイヤ踏面の間にすべり摩擦が発生するためである。実際のわだち路面では、非常に大きなキャンバ角が期待されるため、ハンドルのとられも大きくなるものと考えられる。

走行の不安定さは、外乱に対する収束性の悪さで代表させることが出来る。なめらかな路面で外乱がなければ、定常走行も可能であるが、実際には、路面の微小な凹凸、横風、ハンドルの遊び等外乱の生ずる機会が多い。上に述べたように、路面がタイヤに及ぼす力を垂直反力と摩擦力とに分けて考える事によって、わだち部を走行する自動車の外乱に対する収束性の悪さ、すなわち走行の不安定性は、わだち路の Basin 形状、特に曲率、傾きで論ずることが出来る。

夏期直線走性試験における Lev1 と Lev3 の走行安定性を例にすると、Lev1 では、外乱により、横方向にシフトした時、垂直反力のわだち路面に沿う成分の変動が、両輪とも外乱を助長する方向に働く。すなわち、両輪から外乱を増幅する力が働き、非常に不安定な走行になると考えられる。一方、Lev3 では、一輪だけが外乱を増長するだけであるので、Lev1 よりは不安定でないと考えられる。

車線乗り移り走行試験においては、進入角度が小さいほど、垂直反力の左右方向成分が大きいので、乗り移り距離が長いほど、すなわち、ゆるやかな車線変更の方が、わだちによる影響は大きいと予想出来るが、実際 3.1 に述べた結果もそのようになっている。

4. ま と め

直線走行試験により、わだち部の走行性で問題となるのは操舵の忙しさと横方向加速度の低周波数成分の影響が大きいことである。このため、従来の上下方向加速度を主とした乗り心地の評

価では、わだち部の走行特性が表面に現われてこない。

車線乗り移り試験で、わだち部において、路面の傾きが大きく変化するために、ドライバーは決った手順に基づくプログラム走行をすることが困難となり、状況に応じたフィードバック走行をしなければならず、操舵の修正に忙しく、たえず緊張と疲労にさらされる。この傾向は、ゆるやかな車線乗り移りをしたときほど、平坦路との差が大きくなる。また、乗り移り完了点を、タイヤがわだちの底を走行するように設定すると、非常に大きな横方向加速度の変化を生じ乗員の姿勢保持が困難となる。

路面反力は、摩擦力と垂直抗力に分けることが出来るが、摩擦力は横すべり角がつくまでは小さいので、わだちに落ちようとする。また、わだち路の走行安定性は、わだちの曲率が大きいときわめて不安定となる。

わだち路の走行安定性を改善するには、わだちをなくすることと、自動車を改良することである。タイヤのキャンバラストを最適化することにより、わだち路の底部へのすべりは解消できるが、キャンバトルクによってハントルのとられが生じる。これをパワーステアリングの導入で解決すれば、わだち路の走行安定性は格段に向上する。

参考文献

- 1) 酒井秀男：自動車技術，21 (1967), 7.
- 2) 古市堯久，平沢隆：JARI 研究速報，34 (1975).
- 3) 落合敏男，加来照俊，松下良弘，小野寺雄輝，吉川登一：北海道大学道路試験車によるスノータイヤの雪上 μ -s 特性測定結果 (未発表).
- 4) 酒井秀男：自動車技術，30 (1976), 10, 11, 12.
- 5) 松原宏幸：自動車技術，29 (1975), 10.
- 6) 河野俊之，馬場孝，広瀬弘，田路義雄：自動車技術，21 (1967), 7.
- 7) 安部正人：車両の運動と制御 (1979)，共立出版.
- 8) 近藤政市：基礎自動車工学 (1965)，養賢堂.
- 9) 社自動車技術会編：自動車工学便覧 (1979).
- 10) 山川新三：自動車技術，30 (1976), 8.
- 11) 川合平夫，森崎健二：新三菱重工技報，6, No. 1.
- 12) 兼重一郎：自動車技術，21 (1967), 4.
- 13) 市原薫，越正毅：路面のすべり，技術書院.
- 14) 加来照俊：日本機械学会誌，82, No. 730.
- 15) 醍醐秀博，望月常次：JARI 自動車研究，4 (1982), 1.
- 16) 武田峻：運技研報告，10 (1960), 5.
- 17) 兼重一郎：いすゞ技報，33 (1960).
- 18) 市原薫：路面の凹凸，技術書院.
- 19) 赤池弘次，兼重一郎：いすゞ技報，No. 40.
- 20) 木保成洋，林典夫，茂呂克己：いすゞ技報，No. 64.
- 21) 市原薫：自動車技術，30 (1976), 8.
- 22) 川村彰，加来照俊：土木学会学術講演会概要集IV，(1982).
- 23) 南雲貞夫，永康進：土木技術資料，16 (1974), 7, 8.
- 24) 久保宏，熊谷茂樹，佐藤彪武：土木試験所月報，No. 347, (1982).
- 25) 菅原照雄：道路建設 (昭55, 12).
- 26) Dr. E. Fiala : V.D.I., 96 (1954), 29
- 27) Bayand E. Quinn, David R. Thompson : H.R.B., 328 (1962).
- 28) A.C. Benkalman : H.R.B., SR 73.
- 29) J.C. Burns : T.R.R., No. 602.