

# 貨物自動車のロール特性の解析

自動車安全研究領域

波多野 忠

谷口 哲夫

成 波

## 1. まえがき

貨物自動車の走行安定性の中で、横転に関連するロール特性は重要な因子である。しかし、貨物自動車は積載物を搭載することから、その位置や質量の違いで、慣性モーメント等が乗用車と比較して大きく変化し、積載状態によっては、自動車の運動特性に、より大きく影響をおよぼすことが考えられる。そこで、貨物自動車の積載状態の違いが、自動車の運動特性にどのように影響するか、横転限界を含むロール特性を中心に実験及び解析を行ったので報告する。

はじめに、静的横転限界について、貨物自動車の全般的な特徴を見るために、軽自動車から大型車までの代表的な車種を選んで、最大安定傾斜角から算出した最大安定横加速度を用い、車両の大きさ別に積載の有無による横転限界の影響について調査した。

次に、大型トラックにアウトリガを装着して、横転限界付近も含んだ静的特性と動的特性を把握するために、傾斜台試験、定常円旋回試験、過渡応答試験、Jターン試験、レーンチェンジ試験を実施し、積荷高さの違いによる運動特性の変化について調査した。

最後に、コンピューターシミュレーションを用いて、積載位置を上下・前後にずらして搭載した場合における、標準車両(二軸式中型トラック)と輪距を上げた場合等について、走行試験を行い運動特性の比較検討を行った。

## 2. 積載時の最大安定横加速度

### 2.1. 調査概要

静的な対転覆性能を見る指標として、傾斜台を使った最大安定傾斜角があり、法規でも空車状態での規定がある。これを用いて、同一車両での空積載と定積載(計算値)の場合を調査し、積載の有無による静的な安定限界の影響について検討した。

但し、ここでは、走行試験結果と比較しやすいように、最大安定傾斜角の正接による最大安定横加速度を用いた。自動車諸元表<sup>(1)</sup>より軽自動車から大型車までの代表的な車種(138台)を選んで調査した。普通車は、平ボデ

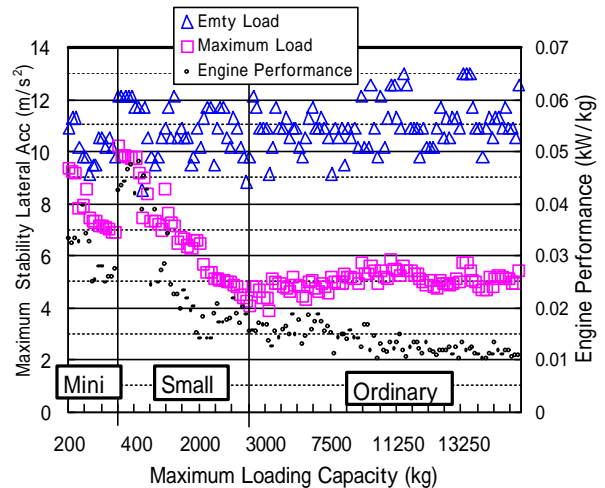


図1 最大安定横加速度(計算値)

ィのキャブオーバー形式のみである。定積載時は、荷室高さの1/2の位置に積載したものと仮定して算出した。また、キャブオーバー形式の場合には、荷室高さは法規で決められた上限高さとした。積載時のサスペンションのストロークは無視し、安定幅も空車と同じとした。

### 2.2. 調査結果

図1に、最大積載量の大小の順番で全車両について、空積載状態と定積載状態の最大安定横加速度を示す。最大積載量350kgまでが軽自動車、2000kgまでが小型自動車であり、これを超えると普通自動車になる。それぞれ車幅と高さの制限が法規上にあり、また、空積載状態での最大安定横加速度は、 $6.86\text{m/s}^2$ 以上の規定(最大安定傾斜角 $35^\circ$ 以上)がある。軽自動車の左端と小型車の左端が、乗用車に近いステーションワゴン形式のバンであり、空積載と定積載で最大安定横加速度の違いが、他と比べて小さい。空積載の最大安定横加速度は $10\text{m/s}^2$ を超える値が多く、ばらつきも大きい。普通車の定積載では $5\text{m/s}^2$ 前後であり、空積の安定限界値の半分程度に低下している。また、例えば車軸が4軸形式のような荷台床面が低い車両や、ダンプ形式のような荷台床面が高い車両も含め、定積載時の安定限界のばらつきは小さい。定積載時の安定限界の最低ピークが小型車の右端から普通車の左端付近に出ている。また、参考に車両の最大横加速度を発生させる重要な項目の中の動力性能について、エンジン最大出力を車両総質量で割った単位質量当りの出力性

能で見ると、乗用車形式に近いものに比べ、他がかなり低い値を示している。

### 3. 大型貨物自動車の傾斜台試験と走行試験

#### 3.1. 試験概要

積荷位置を上下方向に変化させた場合について、横転限界付近も含めた大型車両の運動特性の違いを見るために走行試験等を実施した。

試験車両は、最大積載量 14,000kg、車両総重量 24,431kg、後2軸の平ボディのキャブオーバートラックである。横転防止用のアウトリガが後軸の後方に装着されている。積載条件は、空積載と定積載とし、定積載の中で 12t の重錘の積荷高さを荷台床面から 100・500・1000mm とした場合の合計 4 条件とした。

試験は、静的特性を見るための傾斜台試験(後輪浮き上がりまで)、走行中での定常特性を見るための定常円旋回試験(旋回半径 40m)、過渡的動特性を見るためのサインスイープ過渡応答試験(速度 60, 80, 100km/h)と J ターン試験(直進から半径 40m の円に旋回)、ドライバの影響を含めた過渡的動特性を見るためのシングルレーンチェンジ試験(レーン幅 4m・レーン乗移り区間 20m; 速度 40, 60, 80km/h)を実施した。

#### 3.2. 試験結果

図 2 に、各積載条件における傾斜台試験結果を示す。ロール角は横加速度に対してほぼ線形に増加し、ある点から急にロール角が大きくなる。右傾斜と左傾斜で違いはあるが、積荷位置の高低によって特性が大きく異なっている。いずれの積載時においてもロール角 5~6 度程度で後輪が浮き上がる現象が見られ、この時の横加速度は積荷高さ 100, 500, 1000mm では、6.5, 5, 4m/s<sup>2</sup>程度で発生している。また、空車の場合は、積車に比べ横加速度が大きくなってもロール角は小さい値を示す。

図 3 に、各積載条件における定常円旋回試験結果を示す。傾斜台試験と比較すると同一横加速度でのロール角が大きくなっている。最終的に横転まで達したものは、積荷高 1000mm の左・右回転と 500mm の左回転の場合である。その他は、傾斜台試験結果の最大横加速度まで達していないことでもあり、車両の運動性能の制限で横転するまでの横加速度が発生できなかったため横転しなかったと考えられる。以上のことから、半径 40m の円旋回における定積載の大型トラックでは、乗用車のように大きな横加速度を発生することができないことも含め、定常走行状態においても、積荷高の違いで横転することの有

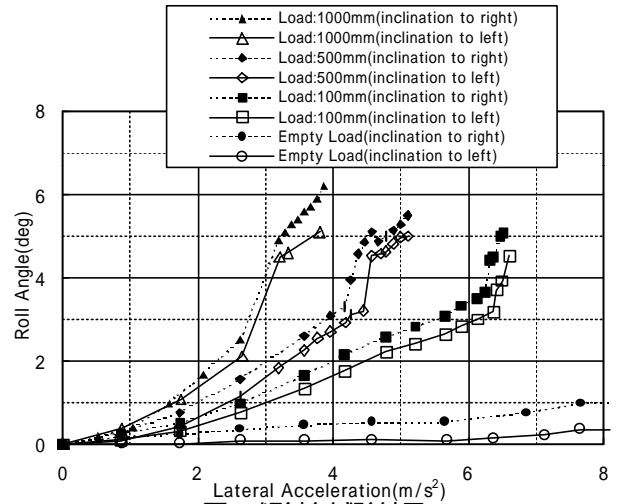


図2 傾斜台試験結果

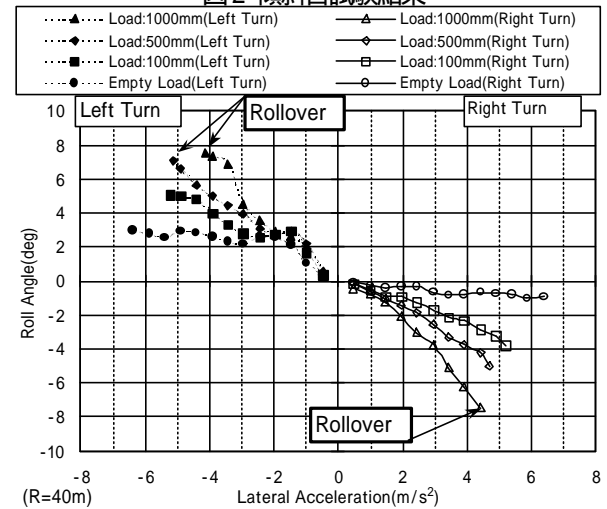


図3 定常円旋回試験結果

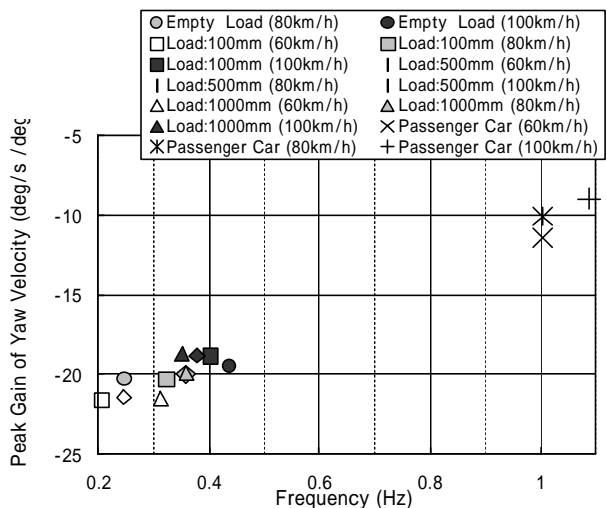


図4 ヨー角速度応答のピークゲインの比較

無があることがわかった。

図 4 は、過渡応答試験結果のヨー角速度周波数応答のピーク周波数とゲインの平均値を普通乗用車(エンジン総排気量 2.49 l のステーションワゴン)と比較したものである。積載条件別に、速度が上がるに従ってピーク周波数とゲインとも、若干大きくなる傾向を示す。また、ピーク周波数は 0.2~0.45Hz の範囲であり、乗用車のそ

れは1Hz前後であり、比較すると応答性は低い。

図5に、積載条件別のJターン試験結果を示す。横軸の横加速度は、速度と旋回半径から算出したものである。縦軸は、ステップ操舵入力後の最大ロール角を示す。横加速度が $2\text{m/s}^2$ 程度までは積載条件による違いは少ないが、 $3\text{m/s}^2$ を越えると差が大きくなる。

図6に、積載条件別のシングルレーンチェンジ試験の走行成功率を示す。この成功率は、指定速度でアウトリガが接地せずに走行できた割合を示す。但し、コース幅は限定していない。左右合計で6回行い、指定速度で走行できない場合は、その条件の最大速度までとした。空積と積荷高100mmではすべて成功しているが、積荷高500mmでは70km/h、積荷高1000mmでは65km/hで、かなり成功率が落ち、積載条件の違いが顕著にでた。

図7は、積載条件別に、レーンチェンジ時の第1ピークと第2ピークの横加速度とロール角の関係を示す。同一横加速度でも、第1ピークと第2ピークでロール角の最大値に違いがあり、ドライバの操舵によって大きく変化することがわかる。また、積載条件別で、横加速度に対するロール角の値に大きな違いが出ている。以上のように、ドライバを含めたクローズドループ試験においても、積載条件によって、ロール特性が大きく変化することがわかった。

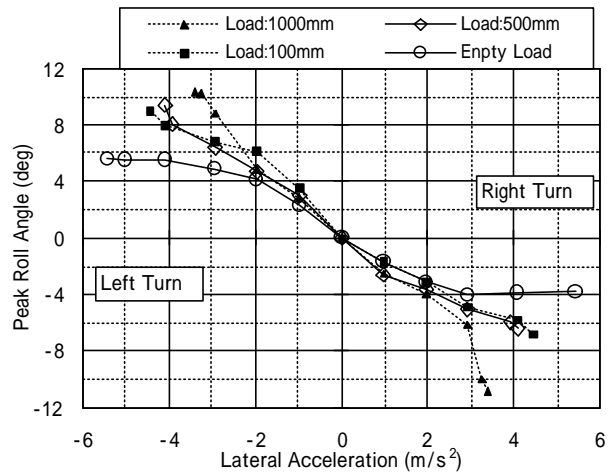


図5 Jターン試験結果

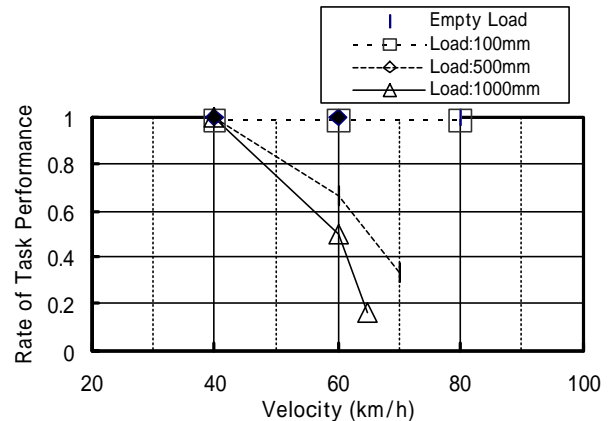


図6 シングルレーンチェンジ試験の成功率

#### 4. コンピュータシミュレーションによる走行試験

##### 4.1. 試験概要

積載状態の違いによる貨物自動車の運動特性が、車両の主要諸元を変えた場合にどのように変化するか検討した。標準車と、車幅を標準車の1.2倍(2.5→3.0m)にした場合と、ロール剛性を15%低下させた場合で、比較検討を行った。

試験車両は、エンジン出力180kW、積載量7600kgの2軸形式の中型トラックである。積載位置を上下2種類(0;+1m)と前後3種類(+2;0;-2m)の計6種類の場合について、オープンループ試験で車両の定常特性を見る定常円旋回試験(基準円半径70m;舵角一定)と、クローズドループ試験での過渡的特性を見るダブルレーンチェンジ試験(レーン幅4m;第1レーン乗移り区間30m;直進区間25m;第2レーン乗移り区間25m)を実施した。トラックモデルの運動の自由度は19であり、ドライバモデルは前方注視モデル(予見時間1.5s;遅れ時間0s)を使用した。

##### 4.2. 試験結果

図8に、標準車における定常円旋回試験結果の横加速

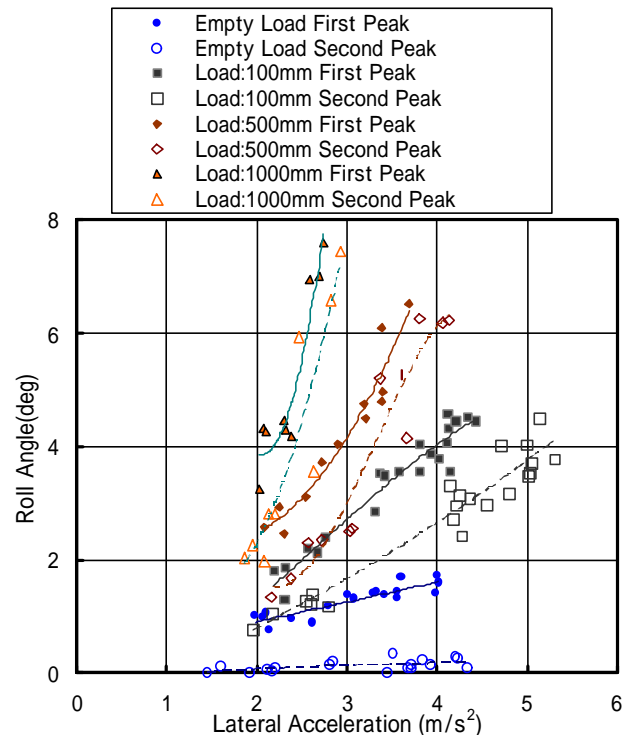


図7 ピーク値の比較(シングルレーンチェンジ試験)

度とロール角の関係を示す。線の傾きが小さいほどロール剛性が大きいことを示す。定積載状態の中では、軸荷重の違いによるバネ定数の変化から、積載物の重心位置

が後方に行くほどロール剛性が上がる傾向を示すが、最終的に横転まで達したのは、積荷を荷台の上方後部に積載したものである。これは、操舵角一定にした定常円旋回の場合では、ステア特性の違いで旋回半径が変化することとエンジン特性等の性能から最大横加速速度の限界が積荷状態の違いで変化するためである。このため、このような試験では、単純にロール剛性が低くても横転限界の横加速速度まで達しないと横転現象が生じない。

次に、ダブルレーンチェンジ試験結果を図9に示す。速度一定で走行し、レーンチェンジ後の脱出区間も含め、レーンの幅内に収まった車両の最大速度を試験条件別に示す。レーン逸脱は2回目のレーン乗移り区間と、ダブルレーンチェンジ後の直進走行中での横方向の振動運動によるものと、横転によるものである。上図は路面摩擦係数が0.85で通常乾燥路面状態を模擬し、下図は0.2で低摩擦状態である。また、この脱出最高速度は、ドライバも含め実際の車両による相関は取っていないため絶対値で見ることは避け相対比較で検討した。空積載と積荷位置の低い場合は、路面摩擦係数の大小に関わらず、車両の主要諸元を変えても、同一積載条件ではそれほど変化はないが、積荷を高く積載した場合は横転限界の影響から車幅を広げた車両の成績は良いが、それでも、後方に積載した場合はステア特性の影響から、ふらつきが大きくなり差が小さくなっている。また、車両諸元のロール剛性を低下させると、路面の摩擦係数が小さい場合でも、積載条件によっては、横転が起こり成績も悪い。

### 5.まとめ

貨物自動車の運動特性について、横転に関連するロール特性を中心に、積載状態の違いでどのように変化するか、走行実験と解析を行った結果、運動性能にかなりの影響を与えることがわかった。

貨物自動車の小型車の一部と普通車では、空積載と定積載で静的安定限界の指標である最大安定横加速速度の値が、他と比べ大きく変化する傾向がある。積載位置を上げると、空積載や積載位置を床面近くにした場合に比べ、ロール特性が悪化し、横転する可能性が大きくなる。また、横転限界については、運動性能の制限からくる最大横加速速度や、積載位置による操舵特性の影響も大きいことがわかった。一方、車両の幅を変更すると、積荷を高く積載した場合については、運動性能向上に有効であることがわかった。

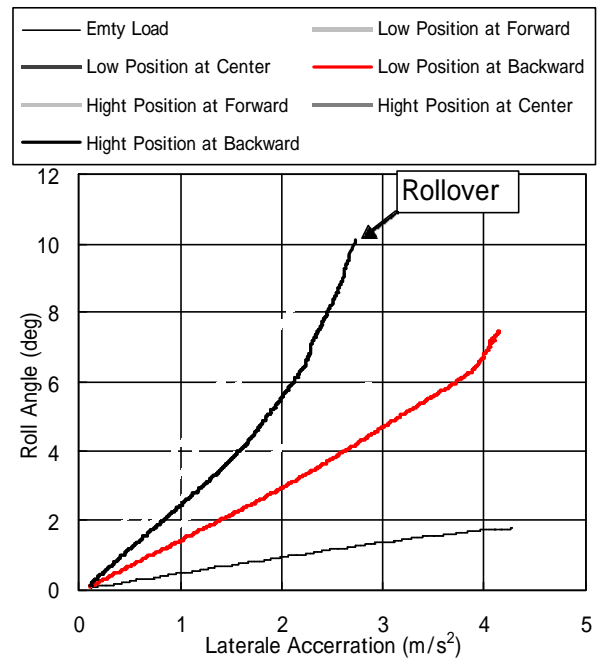


図8 標準車のロール特性(定常円旋回試験)

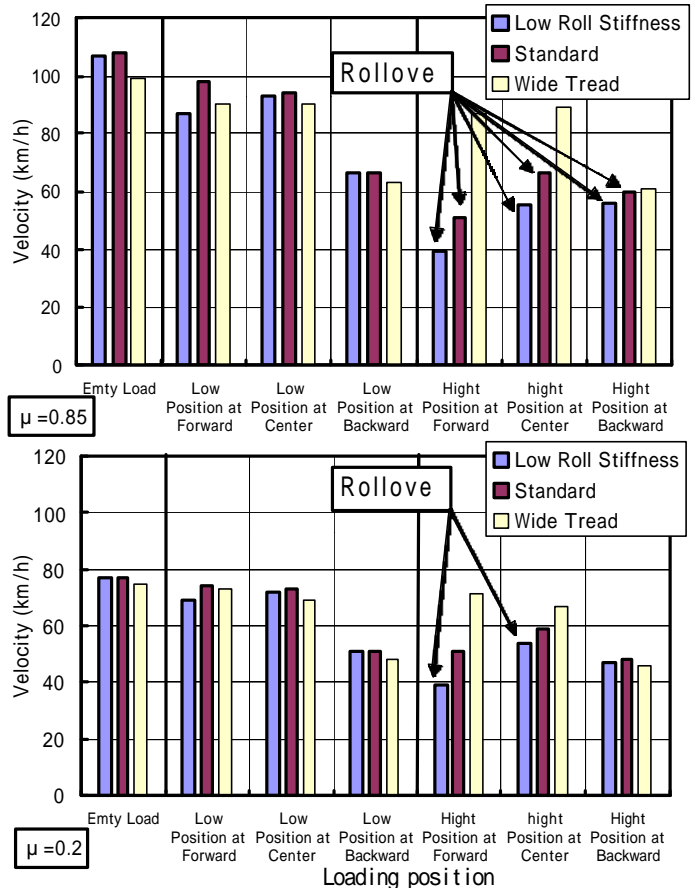


図9 レーンチェンジ試験結果

(参考文献)

(1) 自動車技術会, 1995年版自動車諸元表

