

⑫ 二輪自動車サスペンション部の緩衝機構の有無が走行安全性に及ぼす影響

自動車安全研究領域

※波多野 忠

廣瀬 敏也

高橋 国夫

谷口 哲夫

1. はじめに

二輪自動車の運動には、四輪自動車にないロール運動による倒れこみがあり、二輪自動車単体では不安定な車両である。これを、ライダーのコントロールにより、いわゆるマンマシン系のフィードバック制御で安定性が保たれている。その中で、後輪に緩衝装置が装着されていない輸入大型二輪自動車があり一般道を走行している。このような形態の二輪自動車の走行安全性については今までに検討されていたことがないため、緩衝装置の有無によるライダーのコントロールおよび走行安全性への影響について評価検討した。

本調査では、二輪自動車の後輪緩衝装置を改造しての走行試験およびシミュレーション解析を実施し、走行安全性への影響について緩衝装置有無での比較を行った。

2. 走行試験

2. 1. 試験方法および試験車両

緩衝機構の単純なシミュレーション解析(2自由度モデル)では、緩衝機構を取り外しタイヤのみとした場合、路面変化や駆動・制動時でタイヤ接地性が悪化し、二輪自動車の運動性や安全性が低下する方向に向かうと考えられている。ただし、応答特性の位相遅れは特定領域で小さくなり、それを好むライダーには二輪自動車の運動制御に有利に働くと考えられる。また、二輪自動車は、四輪自動車のようにオープンループ系の評価試験ができにくく、ライダー操作等の影響を除いた二輪自動車単体の性能評価を導き出すことが困難であり、ライダー・二輪車の複合的な評価になってしまう。

このため、走行安全性の評価は、一般ドライバーが通常状態での走行条件で運転した場合を想定し、一般道で操縦性安定性に影響を与えると考えられる7パターンに集約し、これを下記走行試験に代えてテストコースにて走行試験を実施し検討した。

1. 急発進試験、2. 急加速試験、3. 制動試験、

4. スラローム試験、5. 旋回試験、

6. 2.5cm・5.0cm 段差乗越え試験、7. 登坂・降坂試験

このうち2.5cm 段差は、段差断面が半径2.5cmの半円である。5.0cm 段差は、段差断面が台形で高さ5.0cm 上底2m である。一般ライダー4名で走行試験を実施し、走行状況、官能評価から比較検討した。また、同時に二輪自動車の車両運動とライダーの操作量も計測した。

表1に試験車両の主要諸元を示す。①の標準車はいわゆるイーゼルライディングでフットレストが前方にあり、シートに座りこむスタイルのアメリカンモデルである。後輪に緩衝装置が無い輸入大型二輪自動車③に近いスタイルである。②は、①の後輪サスペンションの代わりに同質量の鋼板を取付けて後輪をリジットとしたものである。③はフレームビルダが後輪緩衝装置の無い形式で専用にフレームを製作したものである。

表1 試験車両の主要諸元

	①標準車	②標準車改(後輪サスリジット)	③後輪リジットフレーム車
長さ×幅×高さ(m)	2.34×0.89×1.20	2.34×0.89×1.20	2.44×0.58×1.20
ホイールベース(m)	1.65	1.65	1.735
エンジン総排気量(L)	1.44	1.44	1.2
車体形式	鋼製ダブルクレードル	鋼製ダブルクレードル	鋼製ダブルクレードル
緩衝装置形式(前輪)	正立式テレスコピック	正立式テレスコピック	正立式テレスコピック
キャスター角(deg)	30	30	41
緩衝装置形式(後輪)	スイングアーム	リジット	リジット
タイヤ(前輪・後輪)	100/90-19・160/70-17	100/90-19・160/70-17	3.00-21・5.00-16
試験時質量 前輪・後輪(kg)	137・183	137・183	100・140

次に、走行安全性の評価指標については、四輪自動車では一瞬ハンドルから手が離れた場合や、シートとドライバの間で相対的な動きがあっても、走行安全性に問題ないことが多いが、二輪自動車の場合にはハンドルから手が離れると自分自身の体の安定性が崩れ、かつ、ハンドルの保舵ができない状態になる。通常では、二輪自動車はライダーがハンドルを添えることで、腕がバネ・ダンパの役割を果たし、これにより操縦性・安定性のバランスが図れている。このため、ハンドルから手が離れることで走行安全性が大きく低下すると考えられる。また、シートに関しても同様と考えられるが、ハンドルから手が離れるのとは比べると保舵することはできるため、比較すると操縦性・安定性の悪化は小さいと考えられる。

そこで、走行安全性の評価をライダー・二輪自動車の動きから、

- 1.ハンドル・シートから手・臀部が共に離れて横転まで達してしまう程度の操縦・安定度を×
 - 2.シートから臀部が離れてしまう程度の操縦・安定度を▲(シートからの離れ具合・ヘルメットの動きの程度で大▲▲・小▲)
 - 3.ハンドル・シートから手・臀部は離れないがハンドルに保舵力・操舵力の修正が必要となる割合が多い操縦・安定度を△
 - 4.若干の修正操舵や保舵力を必要とするが操縦性・安定性に特に問題はないを○
- として、各試験を1から4までで段階的に評価した。

2.2. 試験結果

走行試験の結果を表2に示す。今回の試験の中では、ハンドルから手が離れ横転まで達してしまうほどの不安定になる二輪自動車はなかった。特に段差高さが2.5cmでは、急加速試験、制動試験、段差乗り越え試験において全車両で問題ないことがわかった。これは、この程度の段差高さではタイヤのエンベロープ特性、フレームの撓り等で吸収でき、後輪の緩衝装置がなくても安全に走行できることがわかった。

評価に差がでた段差高さ5.0cmでの段差乗り越え試験では、後輪緩衝装置のある①標準車では操縦性・安定性に問題はない。後輪緩衝装置が無い②と③の車両ではハンドルから手が離れることはないが、後輪の段差乗込み時に臀部がシートから外れた。直進して段差に乗り込むため垂直に体が上がるのみで、その後の段差から車両が降りた後のことも含めて、二輪自動車が

転倒するほどの不安定になることはなかった。

また、②標準車改と③後輪リジットフレーム車では、標準車改の二輪自動車の方が評価は悪くなった。これは後輪緩衝装置が有る前提でのフレームをリジットとしたため、ピッチング方向の剛性が、③後輪リジットフレーム車より高くなったと考えられる。このことから、③の二輪自動車のフレームは緩衝機能の役割を若干持っていることがわかる。

表2 走行試験結果

	①標準車	②標準車改 (後輪サスリジット)	③後輪リジットフレーム車
1. 急発進試験(100m区間)	○	○	○
2. 1急加速試験 (初速40km/h, 100m区間)	○	○	○
2. 2急加速試験(初速40km/h, 100m区間, 2.5cm段差)	○	○	○
3. 1制動試験(初速60km/h, 常温時制動)	○	○	○
3. 2制動試験(初速60km/h, 常温時制動, 2.5cm段差)	○	○	○
3. 3制動試験(初速80km/h, 常温時高速制動)	○	○	○
4. スラローム試験 (速度40km/h, パイロン20m間隔10本)	○	○	○(△) ⁽¹⁾
5. 1 旋回試験 (中速50km/h, 曲率半径60m)	○	△ ⁽²⁾	○(△) ⁽¹⁾
5. 2 旋回試験 (高速70km/h, 曲率半径63m)	○	○	○(△) ⁽¹⁾
6. 1 2.5cm段差乗り越え試験			
6. 1. 1車速10km/h	○	○	○
6. 1. 2車速30km/h	○	○	○
6. 2 5.0cm段差乗り越え試験			
6. 2. 1車速10km/h	○	▲	▲
6. 2. 2車速30km/h	○	▲▲	▲
7. 登坂・降坂試験 (勾配12~20%車速20km/h)	○	○	○
総合評価	1	3	2

注)

- (1) 前輪緩衝装置のジオメトリ(フロントフォークキャスト角41度)からの影響が大きく(車体のリーン角と保舵力の関係が一般的な二輪自動車の振舞いと相違しているため、ライダーの操作に違和感がでた)、後輪緩衝装置からくる影響は小さいと考えられるため、○(△)と表記した。
- (2) この車速時のエンジン回転数の場合ではエンジンからの振動が大きく、この影響が後輪をリジットにしたことでハンドルに強く振動が伝わる感じになった。

2.3. 走行試験データによる解析

走行試験中に計測したデータの中の4.スラローム試験の修正操舵率について解析したものを図1に示す。

この修正操舵率は、走行タスクに必要な操舵トルクのパワースペクトル密度関数(PSD)の第1ピークゲイ

ンを修正操舵の PSD 第 2 ピークゲインで割った値である。ライダーは車両の予測進路に向かわせるために操舵を行うが、意図した車両運動と異なる運動が発生すると更に修正操舵を行う必要がでてくる。この修正操舵が多いとライダーの運転負荷は高まり、走行安全性が低下すると考えられる。

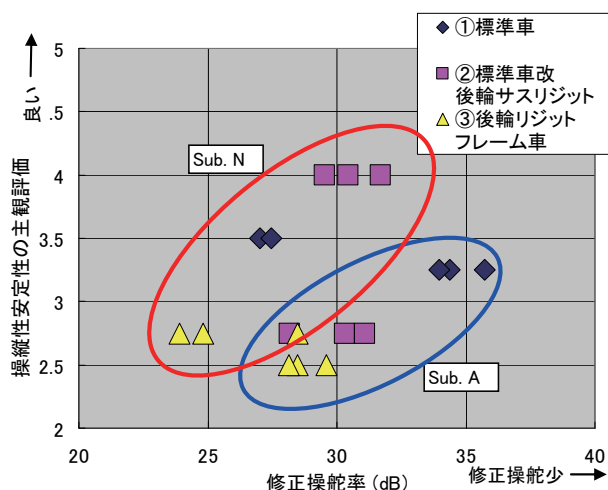


図1 スラローム走行試験結果

スラローム走行ではライダーが操舵トルクをパイロン間隔に見合う周波数近傍で入力しタスクを実行しようとするが、車両の特性(前輪懸架系のジオメトリ等)やライダー操作特性によっては、これ以外の周波数領域で修正操舵をしないと走行路から外れタスクが達成できなくなり、このため、修正操舵を必要とすると考えられる。

試験データから操舵トルクの PSD を算出すると、パイロン間隔に見合う周波数(第 1 ピーク、0.28Hz 前後)より高い領域に修正操舵の第 2 ピークが常に発生している。この第 2 ピークゲインは修正操舵の量を示す 1 つの指標となると考え、第 1 ピークゲインをスラローム走行に必要な操舵量、第 2 ピークゲインを修正操舵量とし、この二つの値の比をとって修正操舵率とした。この値が大きいと修正操舵が少なく二輪自動車の運動がライダーの意志にそって動き走行安全性が高いと判断できる。なお、PSD の算出には AR モデルを使用した。

図 1 の横軸は、修正操舵率で PSD の第 1 ピークゲイン/第 2 ピークゲイン(dB)である。また縦軸はライダーの主観評価である。図を見ると、被験者 N は②標準車改の後輪緩衝装置無しの方が①標準車より運転し易いと評価し、かつ、修正操舵も少なく運転している。これに比較して、被験者 A は逆になっている。2

人とも③の車両は主観評価を最低にしている、かつ、修正操舵も若干多い傾向を示し走行安全性が低いと考えられる。このように、ライダーによって後輪緩衝装置の有無の評価が逆転している場合があることがわかった。

3. シミュレーションによる検討

実車走行試験での段差乗り越え試験では、危険な走行条件での実施が難しいため、コンピュータシミュレーションソフトを使用して限界走行試験を実施した。転倒するまで低速から順次車両速度を上げて行き、転倒する最低車速で走行安全性を評価した。

また、走行試験の評価項目の中にハンドルグリップからライダーの手が離れたかどうかを走行安全性の指標としたが、これについてライダーの運転技量によりどの程度変化するか、ハンドルグリップ問題を単純化したスティックスリップフリクション現象に置き換えて検討した。

3. 1. 限界走行による比較

走行シミュレーションは Mechanical Simulation 社製の BikeSim を使用した。車両は多自由度モデルを使用している。車両の横方向運動制御は、目標点での横誤差を補正するように目標リーン角を設定し、これを PID 制御してライダーの操舵トルクを決定している。実車走行試験の 5.0cm 段差乗り越え試験と同じ形状の段差を使った。車両モデルは、BikeSim の中にあるビククルーザータイプを使用し、試験車両に使用したアメリカンタイプの車両に近い諸元を有している。標準車、標準車の後輪緩衝装置のばね定数を半分とした車両、後輪緩衝装置がリジットおよび前輪緩衝装置がリジットとなっている車両の 4 台で比較を行った。実車走行試験では段差へ直角に進入したが、このシミュレーションでは、車両運動の特徴の違いがでやすいように、段差に対して 35 度傾けて進入させた。

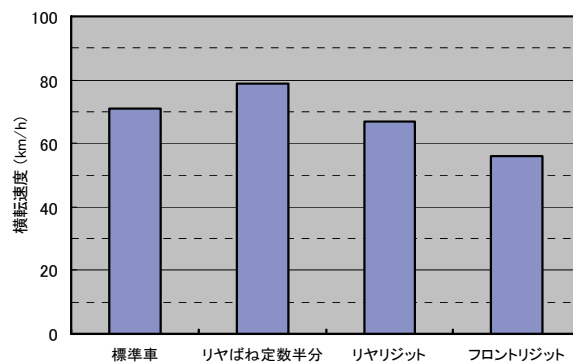


図2 5cm 段差乗り越え試験の横転限界速度

図2にその結果を示す。車両の安全性を図2の横転限界速度から見ると、後輪の緩衝装置のばね定数を下げたものが有利になり、後輪緩衝装置がリジットになっているものは悪く、前輪緩衝装置がリジットになっているものが一番悪い結果になった。

3. 2. ハンドルグリップによる走行安全性の評価

二輪自動車が凹凸路に進入し、ハンドルが \cos 波(片振幅 0.05m, 周波数 2.8Hz [路面空間周波数 1c/m、車速 2.8m/s 相当])で振動した場合について、ハンドルから手が離れ易い条件を握力と腕のばね定数の違いで解析を行った。図3のようなハンドルグリップの簡易モデルを使用し検討を行った。

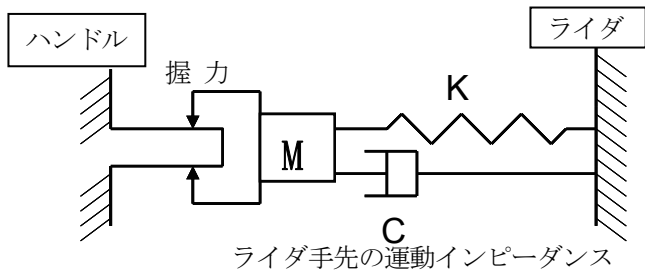


図3 ハンドルグリップの簡易モデル

ハンドルグリップとライダーの手の間の摩擦係数は、手袋の装着、グリップのゴムの材質などにより変化するが、ここでは静止摩擦係数 0.8、動摩擦係数 0.4 とした。なお、動摩擦係数は速度に依存しないこととした。解析は MATLAB Simulink を用いた。垂直抗力を握力とし、摩擦力は握力に摩擦係数を乗じたものとした。常時ハンドルグリップとライダーの手の状態を監視して、速度ゼロと非ゼロで静止摩擦状態か動摩擦状態かに場合分けを行いシミュレーションした。ライダー手先の運動インピーダンスは参考文献(1)から平均的な数値を基準にした。ライダーは、腕の上腕二頭筋と上腕三頭筋を伸筋・屈筋とし、両方を硬くすることでばね定数とダンピング係数を上下することが可能であり、ばね定数を高めることはいわゆる腕を硬くすることと同値である。なお、ここでは、ばね定数を高くすると同時にダンピング係数も同時に高くしている。

図4のZ軸は相対変位率でハンドルとライダーの手の相対変位をハンドル最大変位 0.1m で除した値である。相対変位率が大きいとハンドルから手が離れ易くなっていることを表している。図4を見ると、握力が高くなると相対変位率が小さくなるが、ライダーの手先ばね定数も同時に高くすると、相対変位率が大きくなってハンドルから手が離れやすくなり走行不安定性

が高くなる。これは初心者が陥りやすく道路走行中に急に路面の凸凹を発見した時にハンドルにしがみつこうとすることで握力を高くすると同時に腕も硬くなる傾向があり、この場合にハンドルから手が離れやすくなることを示している。これらのことから、二輪自動車の運動性能が同じでも、ライダーの技量の違いによりアクシデントを回避できる可能性に差がでることがわかる。以上のように、二輪自動車はライダーのコントロール技能が大きく係りあっているため車両の運動性能のみでの安全性の議論はできにくいと考えられる。

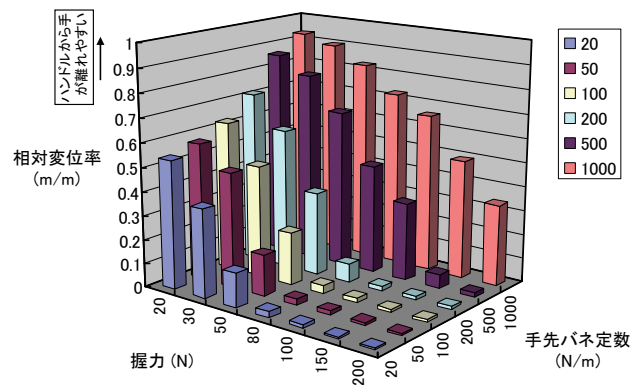


図4 シミュレーション結果
4. まとめ

今回実施した走行試験及び走行シミュレーションから以下のことがわかった。

- 今回の走行試験の範囲内では、後輪緩衝装置の有無に関係なくハンドルから手が離れ横転まで達するほどの不安定になる二輪自動車はなかった。特に、段差高さが 2.5cm での急加速試験、制動試験、段差乗越え試験で問題のないことがわかった。
- スラローム走行試験データから、ライダーによって後輪緩衝装置の有無による走行安全性の評価が逆転することがあることがわかった。
- 走行シミュレーション解析では、緩衝装置の有無により走行安全性に差がでることがわかった。
- ハンドルグリップに関するシミュレーション解析では、ライダーの技量によりハンドルから手が離れ易い条件が変化し、車両側が同一でもライダーの技量で安全性が変化することがわかった。今後、本解析手法について、妥当性の評価も含めて、より詳細な検討を行いたい。

参考文献

(1)伊藤宏司、身体知システム論、共立出版株式会社、(2005)