

二輪車を運転するライダーの振動特性に関する研究

日大生産工(院) ○井上 陽心 日大生産工 景山 一郎

1. 緒言

通常二輪車の運転において、ライダーはアクティブな運動行動だけではなく、二輪車の挙動から受けるパッシブな振動特性からも車両の運動に影響を与える⁽¹⁾。特に二輪車は運転するライダーと車両の質量差が小さいため、合成重心の位置等が容易に変化し、二輪車の車体の釣り合い位置が異なる。これに依存してタイヤ特性（特にキャンバスラスト）が大きく影響を受け、場合によっては等価的にその基本諸元をも変更してしまうことがある。同様に、二輪車走行時の乗車姿勢は基本設計において大きく異なるため、車体との釣り合い位置は変化し、ライダーが車両から受ける影響は変化すると考えられる。しかし、ライダーのパッシブな挙動変化については、過去にライダーの腕の振動特性や身体の振動特性などについて検討が行われているが、その概要を十分に把握するまでには至っていない⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。これらはライダーの挙動変化が二輪車の実走評価のバラつきを生じさせていると共に、シミュレーション精度向上のボトルネックとなっている。そこで、実走評価のバラつき低減、車体挙動シミュレーション精度の向上に向け、ライダー動特性の把握およびライダーモデル構築用データの取得を行う必要がある。本研究では加振装置を用いてライダーに走行時の振動を模擬した振動を与えることで、二輪車に乗車するライダーのパッシブな挙動の把握を行い、ライダーの挙動を考慮したモデルを構築し、車両設計に還元することを目的とする。その第一段階として、ライダーのパッシブな振動特性の測定を行った。本報告ではライダーの振動特性の測定方法及び測定結果、乗車姿勢の違いによる影響、ライダーモデルの推定までを行う。

2. 実験装置

2.1 走行時の振動

直線走行時の操縦安定性における重要な要素として、非振動系のキャブサイズモードと振動系のウィーブモードとウォッブルモードが存在する⁽⁴⁾。走行時に発生する振動に関して、ウィーブモードは車体の横、ロール、ヨー運動が連成した1~4Hz程度の振動であり、車速に依存して固有振動数が増加する振動モードである。ウォッブルモードは操舵系において発生する振動であり、車速の増加と共に不安定化が進む、6~10Hz程度の振動モードである。これらは車体のロール運動、ヨー運動と操舵系に影響

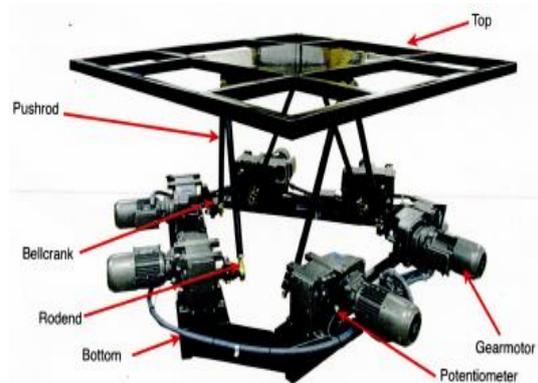


Fig.1 6 axis motion base

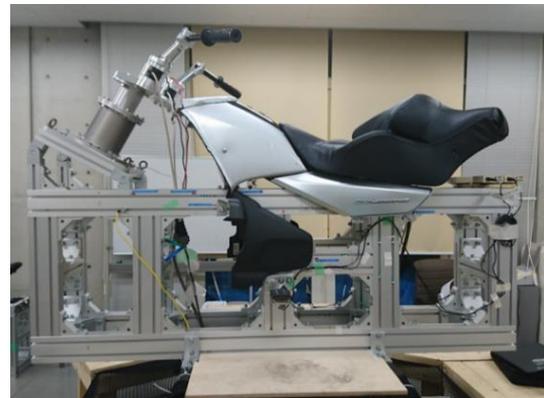


Fig.2 Vehicle model (American)

を及ぼす振動であり、同時に発生するものであるが、本研究では基本的な振動特性を取得する第一段階として、ライダーが操舵に力を与えないことを想定したウィーブモードに関して検討する。このため、加振装置に関しても、上記の動きを再現できるものを用いた。

2.2 加振装置

加振装置は Servos&Simulation, Inc 社の6軸モーションベース、Generic Six Axis Motion System Model 710-6-2000-220を使用した。本装置は6つのモータを搭載し、それぞれが独立して動くことで様々な動作を行うことが可能となっている。モータとトッププレートは6つのロッドとピローボールにより支えられている。モーションベースは専用のコンピュータにより動作を制御され、これにより二輪車のロール、ヨー、ピッチ運動及びそれらを連成した運動の再現を可能としている。使用した加振装置について図1に示す。

Study on vibration characteristics of a rider driving a motorcycle

Yoshin Inoue

Ichirou Kageyama

2.3 車両モックアップ

加振装置のトッププレート上に固定し、ライダーが乗車するオートバイ部として図2のようなモックアップを構築した。外形をアルミフレームにて構築することで、高周波の振動に対する剛性を十分に有し、車両のステップ、シート、ステアリング部分を忠実に模擬している。車両モックアップはネイキッドタイプを模擬した車両を用いて実験を行い、ライダーの振動特性について検討を行う。

3. 実験方法

3.1 実験概要

本実験は人を対象とする研究に係る倫理審査委員会において承認を受けている(承認番号：S2015-018)。実験はインフォームドコンセントを得た実験参加者に対して、6軸モーションベースを用い、オートバイを模擬したモックアップに乗車し、ロールやヨー、上下、横などの振動を与えた。その際の車両とライダーの体との振動伝達率を計測することで、モックアップがライダーに与える周波数領域での伝達特性を計測した。その際の実験風景を図3に示す。

3.2 実験参加者

基礎的なデータを計測するため、一般ライダーの中から実験協力の募集を行い、募集を行った中から異なるパラメータを有した10代~20代の若年層ライダー14名を選出した。実験参加者についてはおおよそ免許取得から1年未満~5年程度の経験の浅いライダーである。

3.3 計測項目

ライダーの振動特性計測及びモデル構築の基礎データ計測のため、左右のステップ六分力、左右のステア六分力、シート六分力、車体3軸加速度、車体3軸角速度、人体3軸加速度、人体3軸角速度、これらを各種計測器により計測する。計測器の取り付け位置を図5に示す。

3.4 加振条件

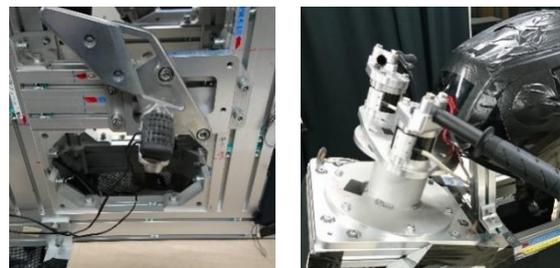
前述のように、ウィーブモードはロール、ヨー運動の連成した振動である。ここで連成された振動を分解し、一軸回りにおける振動をライダーに対して与えることで、ライダーのロール、ヨー運動に関するパッシブな振動特性を計測する。その際、ライダーに与える振動条件をISO連続加速度の規定に基づいて決定した。ロール、ヨー加振ともに0.5~4.0Hzを基準に設定し、加振機により約30秒間の振動を与える。この時、ロール加振では加速度を約0.05G一定、ヨー加振は振幅一定を約0.5°一定の条件下で実験を行った。実験時、実験参加者に対して、普段の運転している際の直線走行時をイメージして乗車してもらいように指示し、服装や靴などに関しても



Fig.3 Experiment landscape



(a) Seat bottom six-component force meter
(b) Body and human three axis angular velocity meter



(c) Step six-component force meter
(d) Steer six-component force meter

Fig.5 Sensor mounting position

普段乗車している際の服装で実験を行った。

4. ライダーのパッシブな振動特性

4.1 計測データの処理

計測データの処理として、加振実験で入力として与える振動が4Hzまでであり、出力される振動がこれを大きく超えることはないと考えられるため、20Hzのローパスフィルタをかけた。また、加振装置とライダーが安定して振動している領域(振動開始から15秒程度)から周期的なデータを抽出し、振動1周期ごとの重ね合わせを行い、波形の平均化を行った。モックアップのロールレイト及びヨーレイトを入力、人のロールレイト、ヨーレイトを出力とし、同じ時間軸の入出力に対してフーリエ級数展開を行い、cos成分、sin成分の係数からそれぞれの振幅、位相を求めた。これにより入出力の振幅比であるゲインと位相差を算出し、周波数特性をbode線図の形に整理した。

4.2 パッシブな周波数特性

図6、7は計測結果から求められたロール、ヨー加振の際の周波数特性である。ロール加振におい

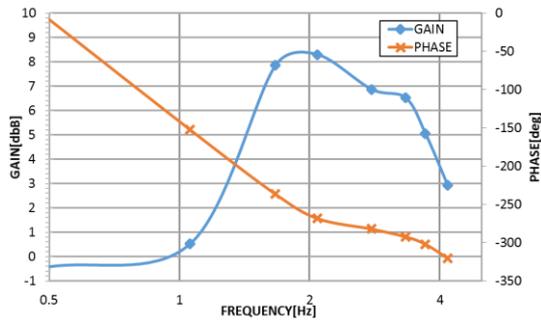


Fig.6 Roll rate result on roll excitation

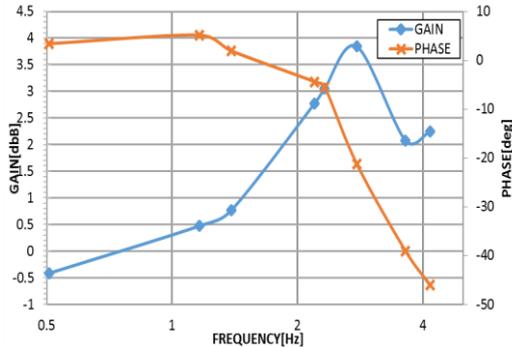


Fig.7 Yaw rate result on yaw excitation

ては 2Hz 付近, ヨー加振では 3Hz 付近に共振点が存在している. 両者のゲインの大きさを比較するとロール加振が約 2 倍程度の数値になっている. これはヨー加振における回転軸がライダーの体幹軸に対して並行であり, 車両の振動の影響を受け辛かったのに対し, ロール加振は体幹軸に垂直に回転軸が存在しているため, 重い頭が振り回され, ライダに与える影響が大きいことがわかる. また, 位相をみるとロール加振の際, 位相差が非常に大きくなっている. 安定した走行を行うための要素の一つとして, 一般的にライダーは目線を出来るだけ水平に保って運転する. この際, 車体の傾きとは逆位相で身体を傾げることで目線が一定に保たれる. これにより, 低周波から 180deg 以上の位相差が生じ, 4Hz においてはさらに遅れて 300deg 以上の位相差となり, 同位相に近くなったと考えられ以上の結果から本報告における実験装置, 方法において, ライダの挙動を十分に把握することが出来, 今後のライダーモデル構築においても本装置を用いて実験を行う.

5. ライダモデル構築

5.2 モーションキャプチャを用いた検討

上述の実験ではセンサの数が複雑な構造をしている人間の詳細なライダーモデル構築のため, モーションキャプチャによる位置情報を取得する. 使用したモーションキャプチャはマーカーの赤外線反射光から位置計測を行う. ライダの動きを把握できるように, 頭, 上半身, 下半身にまんべんなくマーカー

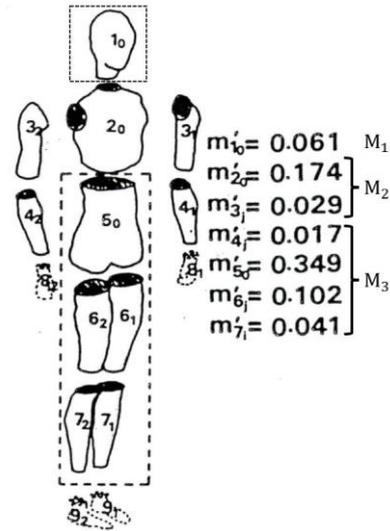


Fig.8 Rider's mass distribution (5)

を取り付け, 加振状態時のライダーの動きを計測した. その際, ライダの頭, 体幹上部, 下体の部分が車体と相対運動を行っていると思なすことができた. このため, 図 9 に示すように頭を M1, 体幹上部と上腕, 前腕を M2, 腰より下を M3 として分割したモデルを考える. この時, 個々の部分における質量比は参考文献(5)に基づいている. また, モーションキャプチャデータの精度確認のため, 人と車体に取り付けた角速度センサの計測データを比較したところ, センサとの誤差は低周波, 高周波共に少なく, センサとの相関関数が車体角速度では 0.936, 人角速度では 0.860 であり, モーションキャプチャの位置情報を問題なく使用できると考えられる.

5.3 上下方向加振実験

ライダーモデル構築のための第一段階として, 上下方向に対する加振を行った. 加振条件として 0.5[Hz]~6[Hz]までポイントを絞って計測し, 上下方向に 0.2[G]一定で振動させた. 実験参加者は普通二輪免許を保有している身長 1.78[m], 体重 70[kg]の一般ライダー 1 名である. ここから車体-ライダー下体, ライダ下体-ライダー体幹上部, ライダ体幹上部-ライダー頭の 3 部分における周波数特性を算出し, 上下方向の等価的なばね定数及びダンピング比を求めた. 図 9 はライダー体幹上部-ライダー頭における周波数特性を示したものである. ここから伝達関数を同定した結果を図 10 に示す. ゲイン曲線を 2 次遅れの伝達関数で推定し, ライダ体幹上部-ライダー頭の固有振動数は 1.91[Hz], ばね定数は 0.614[kN/m], 減衰比は 0.778, 減衰定数は 56.3[Ns/m]であった. 他の部位についても多自由時計の運動方程式から伝達関数を推定し, 必要なパラメータを求めた.

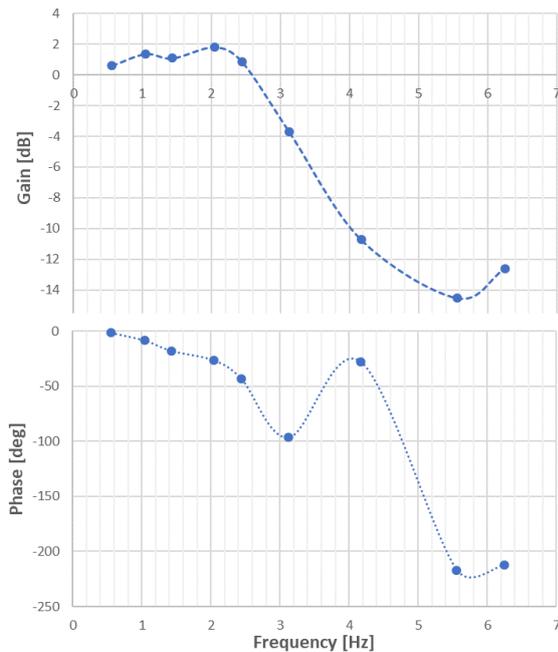


Fig.9 Bode diagram of heave vibration

5.4 今後構築するライダモデル

実験結果から比較的減衰の低い質量・バネ・ダンパー系、及び慣性モーメント、ねじりばね、ねじりダンパー系で近似できる可能性がある。そこで、多くの自由度を考慮した仮モデルを図 11 に示す。このモデルはシート面、ステップ面、ハンドル面、ニーグリップで拘束されたモデルであり、回転方向は図中のピローボールにより表現している。図中では表現自由度方向を矢印でしめしている。今後、上下方向だけでなく、横ばねやねじり剛性などを求め、それぞれの部分の周波数特性を計測することで各位置の伝達関数を把握し、これによりばね、ダンパー係数を決定し、ライダのパッシブな挙動を考慮したモデルの構築を目指す。

6. 結論

本報告では加振装置と車両モックアップを用いることで二輪車を運転するライダのパッシブな振動特性の計測を行い、モーションキャプチャによる詳細なライダ情報の計測を行った。その結果を以下にまとめる。

- ・6軸モーションベースを用いた加振実験により、ライダのパッシブな振動特性が計測可能なことを確認し、モデル構築のための基礎データを取得した。
- ・モーションキャプチャの計測データからライダモデルに関する自由度の選定、使用する伝達関数の推定を行い、今後構築するモデルの雛形を作成した。

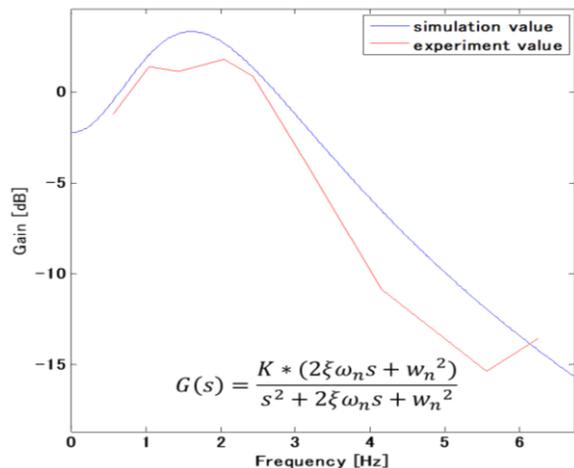


Fig.10 Transfer function

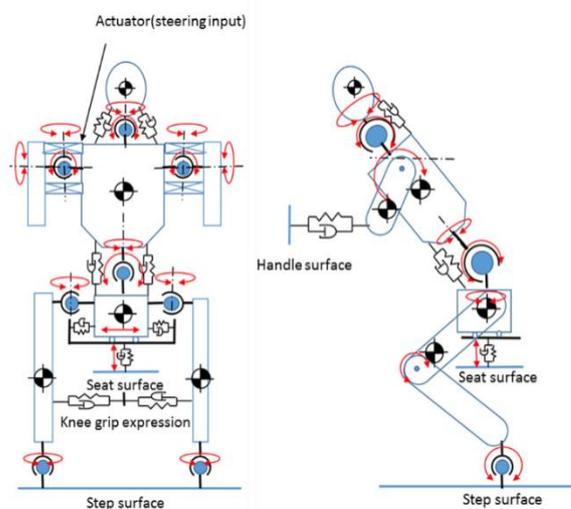


Fig.11 Concept of rider model

参考文献

- (1) 青木章・片山硬・西見智雄・岡山巧, ライダの振動特性が二輪車の直進安定性に及ぼす影響の解析, 日本機械学会論文集, 65-634, C(1999), 2294-2301
- (2) 景山一郎・向後明彦 二輪車のハンドル系における人間の要素, 日本機械学会論文集, Vol50, No458, 2037/2045 (1984)
- (3) 片山硬・西見智雄・青木章 ライダの振動特性の測定, 自動車技術会論文集, No.35 (1987), 147-153
- (4) R.S.Sharp, The Stability and Control of Motorcycles, Journal of Mechanical Engineering Science, 13-5(1971), 316-329
- (5) Chandler, R.F. et al., INVESTIGATION OF INERTIAL PROPERTIES OF THE HUMAN BODY, The 10th International Conference on ESV, (1985) Oxford.