

FEM車両モデルを用いた二輪車運動特性解析

Vehicle Dynamics Simulations for Motorcycles Using FE Models

浅野俊二 Shunji Asano

大富部寿一 Juichi Otombe

●MC事業本部 技術開発室

要旨

二輪車の運動特性を評価する手法の一つとして、有限要素モデルをベースとする複素固有値解析法を開発した。本手法の特徴は微小変形領域をカバーする有限要素モデルに運動機構系の大変位効果とタイヤ動特性、空力、重力、およびジャイロ効果を考慮したもので、実走行中の車両を対象とした剛性バランスや質量分布に関して、詳細かつ実用的な影響調査を可能とするものである。

本報告ではインライン4スポーツモデルを供試機種として行なったパラメータスタディ結果を示すと共に、この開発手法の有効性を紹介する。

1 はじめに

二輪車の運動性能を論ずるうえで、定常直進時のウィーブとウォブルモードの特性を把握することは、最も基本的な検討項目の一つである。これら二つの振動モードは大勢としてタイヤ動特性と車両ジオメトリ、および重量分布に大きく依存するものであり、これまでこれらに関するいくらかの定性的知見も得られている。

しかしながら、詳細な車両の剛性バランスや質量と慣性モーメントの分布、またこれらとタイヤ動特性とのマッチング等、個々の車両固有な問題に関する定量的検討は未だ十分になされていないのが現状である。その理由としては、

- (1) 従来の剛体、質点系モデルをベースとする比較的少ない自由度の解析モデルでは、上記の要求には十分に対応できない
- (2) 最近の運動機構系解析コードに有限要素法による弾性効果を取り込む手法では、モードの抽出や選択に相当のノウハウが必要であり、また解析作業や時間の制約等、多くの仕様検討にはクリアすべき課題も多い

以上の理由から、筆者らは有限要素モデルをベースとする複素固有値解析を試みた。これはマン・マシン系の車両静止モデルに、走行中に発生する各種の力（タイヤ動特性、運動座標に起因す

る慣性力、ジャイロ効果、空力・重力効果）を内力として定式化することにより、定常走行中のマン・マシン系を線形な有限要素モデルとして構築したものである。これにより車両のウィーブとウォブルモードの抽出のみならず、周波数・過渡応答解析等にも展開可能となる実用的な仕様検討ツールを開発した。

また実機検証においてもその有効性が確認された⁽¹⁾。この手法を用いることにより、理論上すべての車両部材を有限要素でモデル化し、そのウィーブとウォブルモードに関する詳細な影響調査を現実的な手法で実現することが可能となった。

以下にインライン4-スポーツモデル（図1）を供試機種として本手法を用いて行なったパラメータスタディの結果を紹介する。

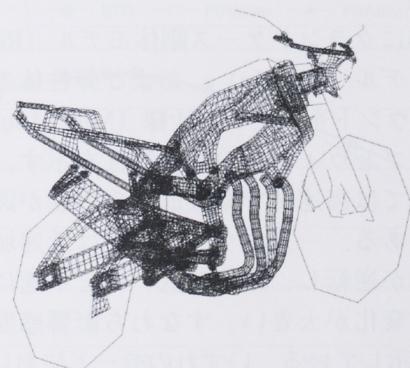


図1 インライン4-スポーツモデル

2 クランクケースの剛性

2.1 有限要素モデル

二輪車のクランクケースは、車両の剛性部材としての機能を兼ねる場合が多く、その形状やマウント仕様は車両の運動特性を大きく左右する。本例では剛体モデルと弾性体モデルについてウィーブとウォブルモードへの影響を調査した。

図2に示す弾性体モデルは解析自由度が百万自由度を超える。これを直接車両モデルに付加して多くの仕様検討を行なうのは実用性に問題があり、本例ではCraig-Bampton法を用いてモデルを縮退し、解析自由度を大幅に低減した後、車両モデルに結合した。Craig-Bampton法は構造モデルの動的縮退法の一つであり、グヤンの静的縮退とモーダル縮退（拘束モード法）の合成により、解析精度の低下を抑えた実用性の高い縮退手法である。

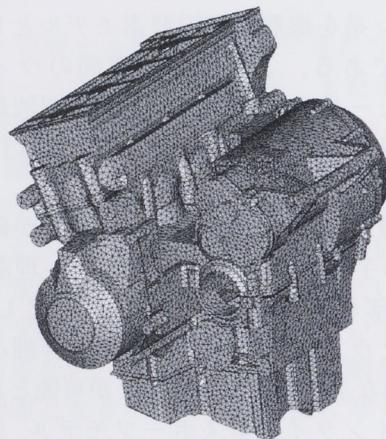


図2 ケース弾性体モデル

2.2 結果

図3、4にクランクケース剛体モデル（Rigid）、弾性体モデル（Elastic）、および弾性体モデルで中央のマウントを廃止した仕様（Mid Mount off）のウィーブとウォブルの減衰特性を示す。ウィーブについては高速域で剛性低下の影響が顕著になる傾向がある。一方、ウォブルでは低速域と高速域で傾向が逆転し、剛性が低いほど車速に対する減衰比の変化が大きい、すなわち影響感度が大きい傾向を示している。いずれのモードにおいても、クランクケースの剛性が車両の運動特性に大きく影響していることが理解される。

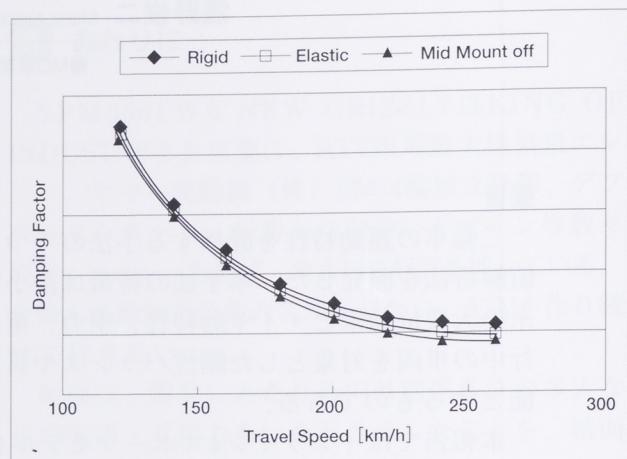


図3 ウィーブモード減衰比

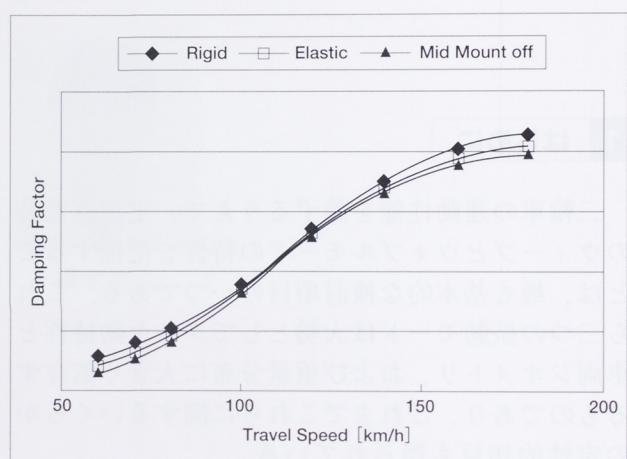


図4 ウォブルモード減衰比

一方、固有周波数に対する計算結果を図5、6に示す。

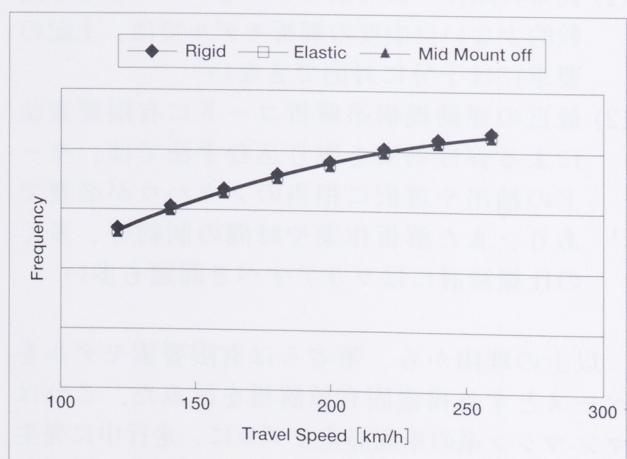


図5 ウィーブモード固有周波数

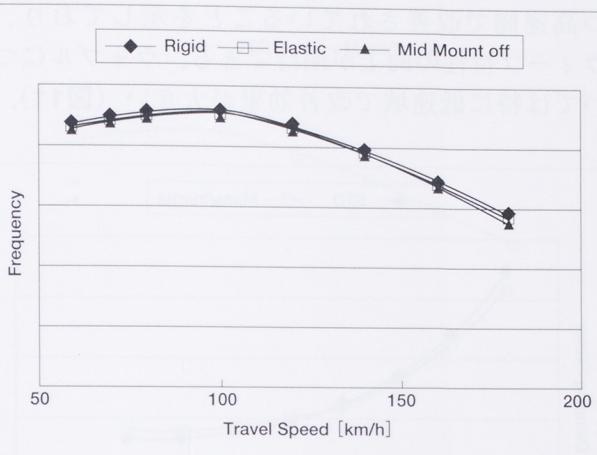


図6 ウオブルモード固有周波数

ウィーブはほとんど変化がないのに対し、
ウォブルでは低・高速域で剛性低下に伴い、周波数が若干低下する傾向が見られる。剛性変化に対応して、周波数ではなく減衰特性の影響感度がより敏感であることは非常に興味深いところである。

車両の剛性変更が、二輪の運動特性向上の有効な手段の一つであることが理解される。

3 ホイールの取り付け剛性

ホイールシャフトとフロントフォークあるいはリヤスイングアームとの取り付け剛性が、車両の運動特性に少なからず影響を及ぼすことは以前から指摘されているところである。本例ではフロント、リヤの取り付け剛性をそれぞれ30%低下させた仕様について検討を試みた。なお、クランクケースは弾性体モデルを採用した。図7と図8にその結果を示す。

ウィーブ、ウォブル共に減衰比に対するフロント側の影響感度が大きいという結果が得られた。一方、固有周波数については、ウィーブモードではほとんど変化がないのに対し、ウォブルにおいては図9に示すように減衰比同様フロント側の高速域で低下が見られ、リヤ側では変化がなかった。

本結果を他の車両についても同様に、定性的傾向として適用するにはもう少し検討が必要である。それはホイール取り付け部に対する剛性が、フロントフォーク、リヤスイングアーム、さらにはタ

イヤ動特性等、他の部材との剛性バランスから決定されるものであり、単独には評価できない特性によるためである。各車両それぞれの影響要因として、個々に検討されるべきものといえる。

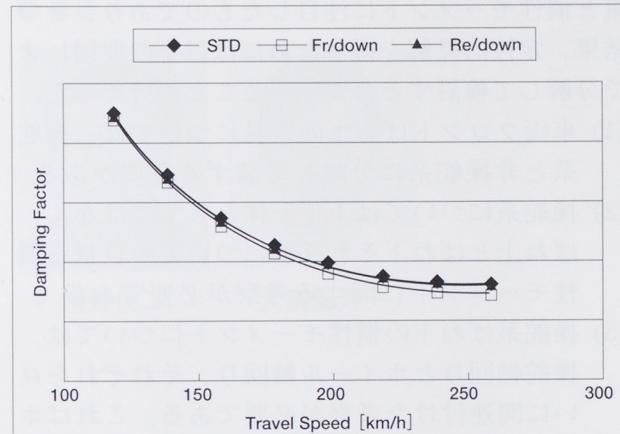


図7 ウィーブモード減衰比

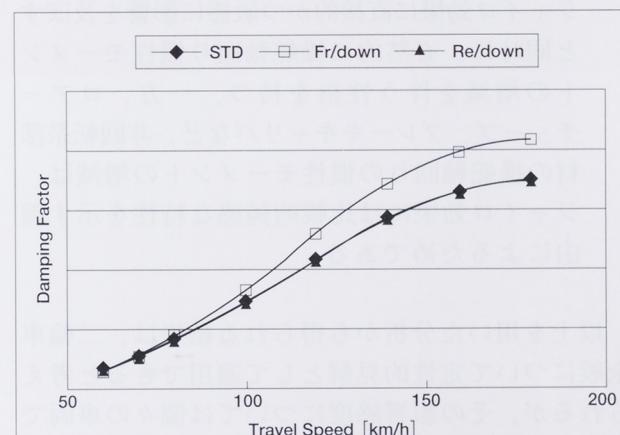


図8 ウォブルモード減衰比

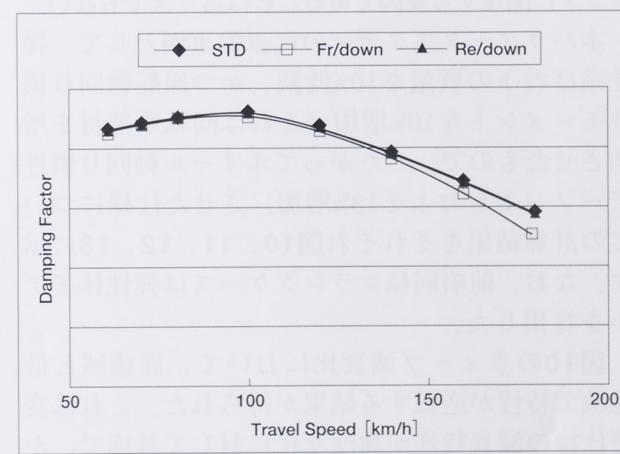


図9 ウォブルモード固有周波数

4 操舵系質量、慣性モーメント

操舵系と車両フロントばね上系の質量と慣性モーメントに関するパラメータスタディを試みた。

本スタディは、操舵系を含め車両の前回りの質量と慣性モーメントに注目したものであり、その結果、定性的見解を得るために以下のような要因にまで分解して検討する必要があることが分かった。

- (1) 車両フロントばね上の質量については、操舵系と非操舵系に分離して論ずる必要がある
- (2) 操舵系については上下一体としてではなく、ばね上とばね下それぞれについての質量と慣性モーメントに関する考察が必要である
- (3) 操舵系ばね下の慣性モーメントについては、操舵軸回りとホイール軸回り、それぞれを互いに関連付けた考察が必要である。これはホイール、ブレーキディスク等、回転系部材のホイール軸回り慣性モーメントの増減は、ジャイロ効果に直接的かつ敏感に影響を及ぼすと同時に、必然的に操舵軸回り慣性モーメントの増減を伴う性格を持つ。一方、ロアーチューブ、ブレーキキャリパなど、非回転系部材の操舵軸回りの慣性モーメントの増減は、ジャイロ効果には比較的鈍感な特性を示す理由によるためである

以上を用いた分析から得られる結果は、二輪車全般について定性的見解として適用できると考えられるが、その影響度については個々の車両で異なるものになることは十分想像されるところである。これは特に車両の各構成部材の剛性バランスに関する要因であることは言うまでもない。

本パラメータスタディの代表的事例として、操舵系ばね下の質量を10%低減、かつ操舵軸回り慣性モーメントを10%増加（これは回転系部材を増加させたもので、したがってホイール軸回り慣性モーメントもおよそ13%増加）させた仕様についての計算結果をそれぞれ図10、11、12、13に示す。なお、前項同様クランクケースは弾性体モデルを採用した。

図10のウィーブ減衰比において、高速域と低速域で特性が逆転する結果が得られた。これは変更仕様の減衰特性が速度変化に対して鈍感で、か

つ高速側で改善されていることを示しており、ウィーブ特性の向上が期待できる。ウォブルについては特に低速域で改善効果が大きい（図11）。

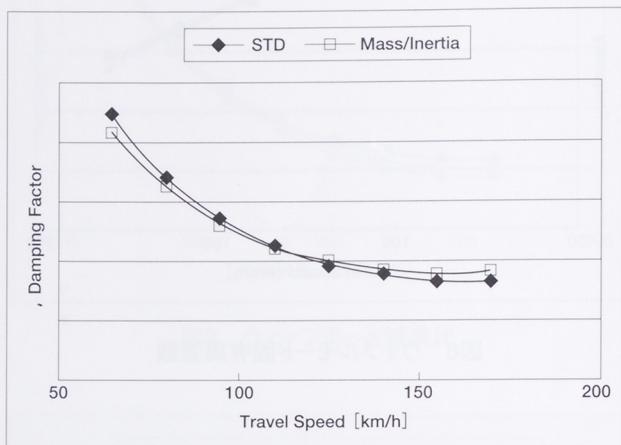


図10 ウィーブモード減衰比

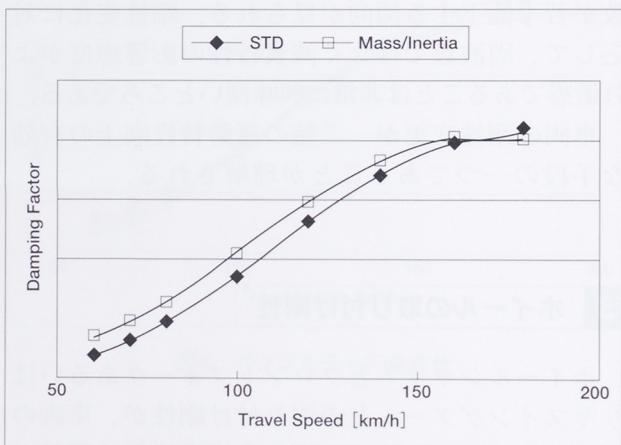


図11 ウォブルモード減衰比

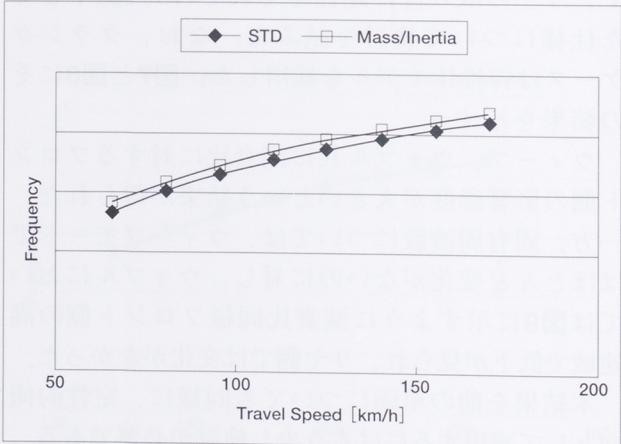


図12 ウィーブモード固有周波数

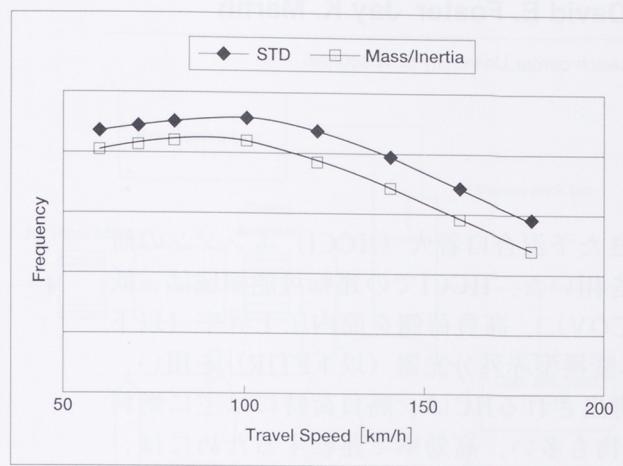


図13 ウォブルモード固有周波数

一方、固有周波数については、ウィーブで増加する反面ウォブルでは低下する傾向が得られた(図12, 13)。これは主に慣性モーメントの増加に起因するものである。

■参考文献

- (1) モータサイクル直進安定性シミュレーション, MSC Forum 2000 前刷集, 自動車, 浅野俊二, (2000)

●著者



浅野俊二



大富部寿一

5 おわりに

有限要素モデルをベースとした、二輪車の運動特性解析ツールを開発し、車両のすべての主要部材に関して、詳細な仕様検討が実用的な手法で可能となった。

本手法を用いてクランクケース剛性と前後ホイール取り付け剛性、および操舵系質量/慣性モーメント分布に関するパラメータスタディを試み、有用な知見が得られた。今後とも、パラメータスタディの結果を検証するために実機検証を進めていく所存である。

また小排気量モデルについては、車両重量に比べライダー重量の比率が高まる。このため、より一層の精度向上を図る目的から、本手法のライダーモデル(1剛体系)に対し人体特性を考慮したばね/ダンパ結合によるマルチボディライダーモデルの開発も必要と考えている。