



CAE 特集

## 二輪車の操縦安定性解析

**Analyzing Handling and Stability in Motorcycles**

内藤 重男 Shigeo Naito

● MC 事業本部 技術開発室 システム技術グループ

Handling and stability is an important function of motorcycles that are expected to offer enjoyable running performance. The handling and stability of today's motorcycles is something that has been developed over a long period of time through the efforts for highly skilled test riders and experienced development staff. However, as the future calls for shorter product development schedules, fewer prototypes and building in handling and stability aspects at a much earlier stage in the development process than was ever possible with conventional methods, CAE will become increasingly effective and important in development work.

There are many aspects of evaluating motorcycle handling and stability that depend on human sensibilities and are hard to express in terms of quantitative values. However, it has become possible to attach quantitative analytical values to a limited number of these aspects of handling and stability where the quantitative component attainable through calculation is particularly high. The analytical role of the development team's test riders will always be prominent in achieving the kind of fine settings that bring excitement to the users. However, the use of CAE technology in the earlier stages of development when the basic machine characteristics are being set can make it possible to reduce the development work considerably.

In this paper we introduce some of the motorcycle stability-analysis technologies that have been developed by YMC.

### 1 はじめに

操縦安定性は、軽快な運動特性を持つ二輪車にとって重要なものである。現在の二輪車の操縦安定性は、高度な技術を持った評価ライダーと経験豊かな開発チームによって長い時間をかけて作り出されたものである。従来の方法では実現できない程の開発期間の短縮、試作回数の削減、設計初期段階での操縦安定性の作り込みが要求されるこれからの商品開発では、CAEの活用が有効かつ重要となってくる。

二輪車の操縦安定性は人間の官能による評価が多く定量的に表わし難い。そのなかで、定量的な評価ができる割合が多い安定性解析については、部分的ではあるが計算による評価予測が可能になってきた。ユーザーに感動を与える絶妙なセッティングは、開発ライダーの官能評価によるところが大きい、その前段階の基本特性の作り込みにおいては、CAE技術を用いることにより開発負荷の軽減が可能である。

ここでは、当社での二輪車の安定性解析について紹介する。

## 2 二輪車の安定性

安定性とは、乱れを与えられた時に元の状態に戻ろうとする性質である。乱れとしては、例えば、路面の凹凸によりタイヤに加わる力、横風、ライダーの姿勢変化、急激な操舵がある。このような乱れが走行中に生じた場合でも短時間で元の走行状態に戻る性質すなわち安定性が二輪車に備わっている。

中高速で走行中の二輪車には、安定性を支配すると言われている2つの振動現象がある。一つはウィーブモード (weave mode) と呼ばれ、車体のヨー軸とロール軸回りの回転が連成した振動モード (図1) で高速域において問題となることがある。周波数は1~5Hzと比較的低く、車速の上昇に伴い高くなる特徴がある。もう一つは、ウォブルモード (wobble mode) と呼ばれ操舵系軸回りが主に振動する振動モード (図2) で中高速域において問題となることがある。周波数は6~10Hzと高く、車速依存性がある。

### 2.1 実験による安定性評価方法<sup>1)</sup>

簡易的に安定性を調べる方法としては、ライダーの意思で行える急激な操舵や腰の移動により生じる車両のヨーレートおよびロールレートを計測する方法がある。

外乱によって生じた車体のヨーレートの収まり具合で評価している。この収まり具合を定量的に表すために、周波数と減衰比を用いている。1自由度系の減衰振動で考えるとそれらの物理的意味が理解しやすい。図3のように、周波数が高ければ短い時間で揺れは収まる。また、図4のように減衰比が大きければ1周期の間での振幅の減少度合いが大きくなる。

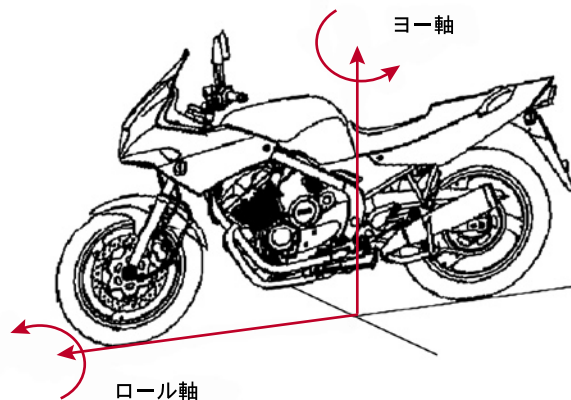


図1 ウィーブモード

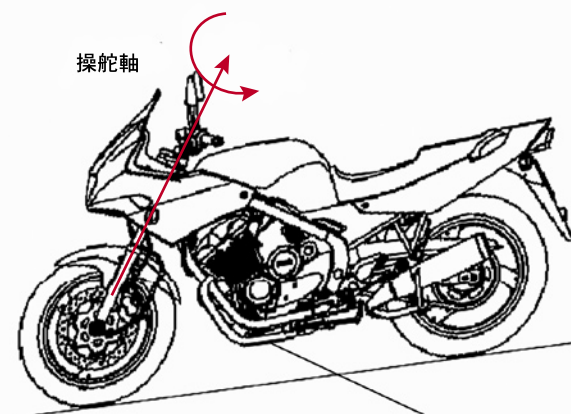


図2 ウォブルモード

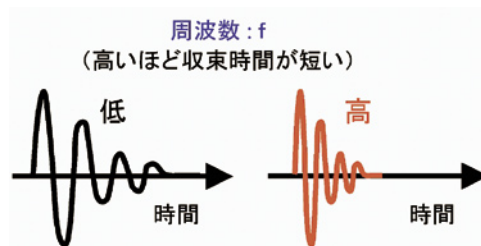


図3 周波数の高低

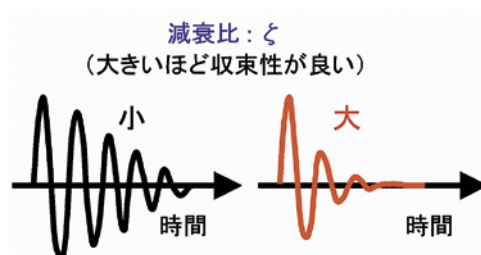


図4 減衰比の大小

### 3 安定性計算モデル

二輪車の安定特性解析を考える場合、キャスト角、トレール、重心位置等の車両基本諸元に加えて車体剛性、タイヤ特性そしてライダーの特性という3つの特性のモデル化が重要かつ問題となる。

まず、車体剛性。3つの特性の中で唯一当社が設計製造している部品の特性である。二輪車の車体は、ライダーおよび原動機を載せるメインフレーム、操舵を前輪に伝えるとともに路面からの振動を吸収するフロントフォーク、駆動力を伝える後輪の支持をするリヤアームからなる。この3つの車体部品の剛性が車両の安定性に影響することが知られており、解析モデルで考慮する必要がある。

次は、タイヤ特性。タイヤは、路面からの力を受ける唯一の部品である。前後に配置された二本のタイヤのみで走行する二輪車の解析においてタイヤ特性のモデル化は重要である。走行中のタイヤには、「タイヤの6分力」と呼ばれる3つの力（前後力、横力、接地荷重）と3つのモーメント（オーバーターニングモーメント、転がり抵抗モーメント、セルフアライニングトルク）が作用する（図5）。これらの力とモーメントは、タイヤの横すべり角、キャンバ角、前後すべり比および接地荷重の関数として表わされる。直進走行のような小横すべり角、小キャンバ角では、線形モデルが使われる。大横すべり角、大キャンバ角となるような旋回や任意走行ではオランダのデルフト工科大学で考案された「Magic Formula Tyre」と呼ばれる非線形モデルが使われる。

最後は、ライダーの特性。二輪車は軽く、車両総質量に対するライダーの割合が高いため、車両の運動に与える影響は大きい。乗車姿勢に応じた重心位置、慣性モーメントを計算モデルで定義する必要がある。これらのことを考えた計算モデルは、図6のようになる。

フレーム、フロントフォーク、リヤアームは剛性を考慮できるように弾性体とし、前後のサスペンションはばね特性と減衰特性をモデル化している。また、走行中の車両およびライダーに作用する抗力および揚力等の空気力学的力は風洞実験による計測値を用いている。

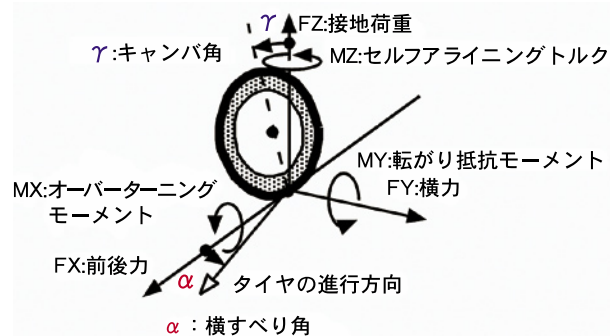


図5 タイヤに作用する力とモーメント

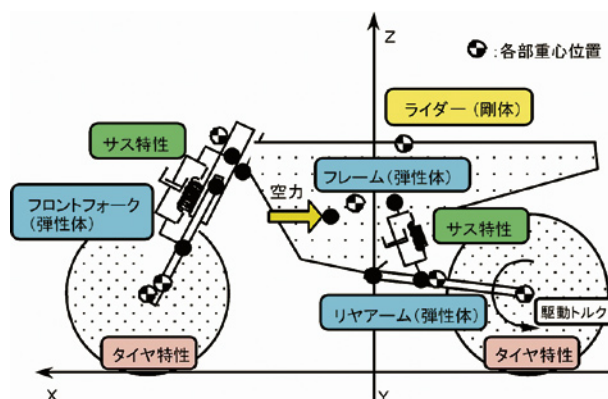


図6 計算モデル



## 4 安定性計算手法

当社では、二輪車の安定性解析を以下に述べる2つの方法を組み合わせて行っている。

一つは、有限要素法解析（FEM）でソフトウェア MSC/NASTRAN（米国 MSC Software 社）を使った直進安定性解析（図7）である。この手法の特徴は、強度剛性解析に有限要素法を使っているため比較的容易に車体剛性の影響を詳細に検討できることにある<sup>2),3)</sup>。

もう一つの手法は、運動機構解析ソフトウェア DADS（ベルギー LMS 社）を使った旋回安定性解析（図8）である。DADS では、ばね、ダンパおよびリンクで結合された多数の剛体の3次元挙動計算が複雑な運動方程式を立てることなく行える。そのため、直進走行、旋回走行のみならず操縦性解析等のさまざまな走行状態の計算に発展させることが可能である。しかしながら、剛体系の運動解析は非線形計算を行うため、自由度の多い FEM モデルをそのまま使用すると膨大な時間が掛かる。そこで車体剛性を考慮した計算を行うために、モード法により自由度を縮小して計算を行うコンポーネントモード合成法（component mode synthesis method）という手法を使っている<sup>4)</sup>。

旋回走行時のウィーブの周波数と減衰比を実験と計算で比較した結果を図9、10に示す。

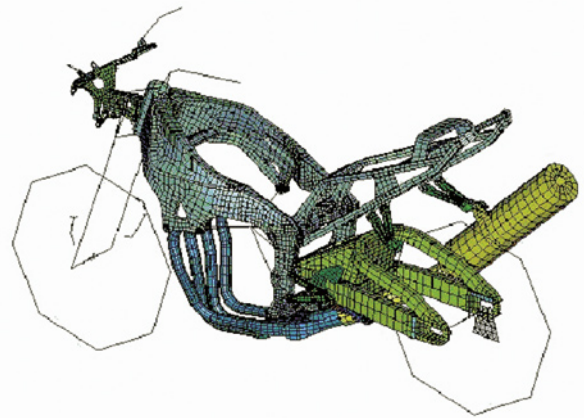


図7 FEMを使った直進安定性解析

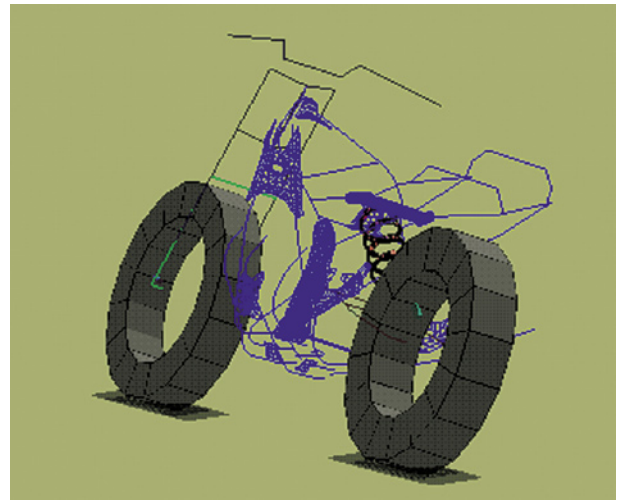


図8 DADSを使った旋回安定性解析

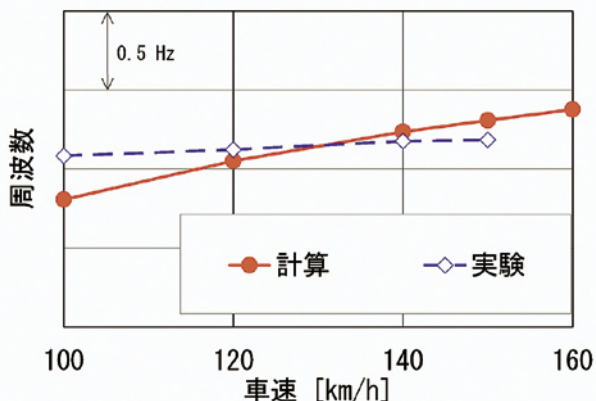


図9 ウィーブの周波数（旋回半径 400m）

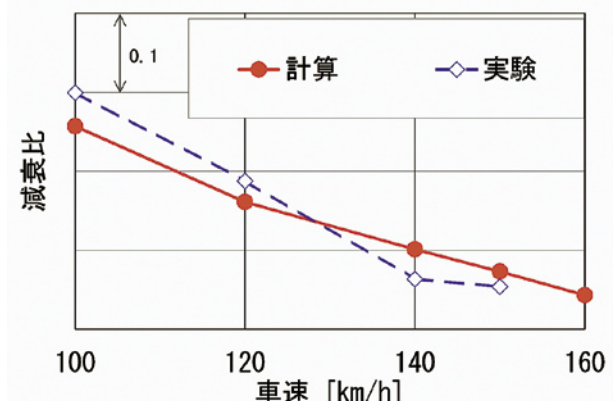


図10 ウィーブの減衰比（旋回半径 400m）

## 5 車体剛性の影響

車両諸元、タイヤ特性、車体剛性、ライダー特性等様々なものが安定性に関係している。その中で開発時に時間を掛けて検討される車体剛性が安定性に与える影響について計算を行ったので紹介する。対象は大型オンロード用二輪車である。

車体剛性の影響を調べるために、フレーム、フロントフォークおよびリヤアームの横曲げ剛性および振り剛性をそれぞれ独立に変化させて計算を行った。ウィーブおよびウォブルモードへの影響度合い

をまとめた結果を表1に示す。ウィーブモードの固有振動数は、車体剛性の影響が小さい。ウィーブモードの減衰比にはフロントフォークの横曲げ剛性の影響が大きく、続いてフレームの振り剛性、リヤアームの横曲げ剛性および振り剛性が影響している。ウォブルモードの固有振動数にはフロントフォークの振り剛性が僅かに影響している。ウォブルモードの減衰比にはフレームの振り剛性およびフロントフォークの横曲げ剛性が非常に大きく、続いてフレームの横曲げ剛性が大きく影響している。フロントフォークの振り剛性の影響は僅かである。結果は、同様の形態の二輪車について定性的に適用できると考えられるが、定量的には車両の仕様や走行速度で影響の大きさは変わる。

表1 車体剛性の影響の大きさ  
( ◎：大、○：中、△：小、－：極小 )

		ウィーブモード		ウォブルモード	
		周波数	減衰比	周波数	減衰比
フレーム	横曲げ	-	-	-	○
	振り	-	△	-	◎
フロントフォーク	横曲げ	-	○	-	◎
	振り	-	-	△	△
リヤアーム	横曲げ	-	△	-	-
	振り	-	△	-	-

## 6 おわりに

今まで述べたように、CAE 技術を利用することにより一部分であるが安定性評価予測が可能になってきた。しかし、このような計算を精度良く行うには、走行特性に影響を与えるパラメーターを高い精度で入力する必要がある。商品開発にこのような手法を使うことの成否は、如何に効率良く入力データを入手できるかにかかっている。車両を構成する多数の部品の特性データを用意するのは簡単ではない。部品を供給して頂いているメーカーの方々とのさらに進んだ連携が必要になる。

## ■参考文献

- (1) Juichi Otombe, Akira Hasegawa : Experimental Analysis of Sense of Stability in Motorcycle , SAE891993, Passenger Car Meeting and Exposition, 1989 p1 ~ 7
- (2) 浅野 俊二 : モーター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, 2000
- (3) 浅野 俊二, 大富部 寿一 : FEM 車両モデルを用いた二輪車運動特性解析, 自動車技術会 学術講演会前刷集 No.69-01, 2001-5 p17 ~ 20
- (4) 内藤 重男, 北川 洋, 大富部 寿一 : 車両の弾性変形を考慮した二輪車の安定性解析モデル, 自動車技術会 学術講演会前刷集 No.108-01, 2001-10 p1 ~ 4

## ●著者



内藤 重男