

二輪車用バーチャルロードシミュレータの開発

Development of a Virtual Road Simulator for Motorcycles

長谷川 誠* 中 西 賢 司*
Makoto HASEGAWA Kenji NAKANISHI
原 島 正 吉* 山 口 秀 樹*
Shokichi HARASHIMA Hideki YAMAGUCHI

要 旨

ABSTRACT

二輪車が走行時に路面から受ける荷重に対する疲労強度を予測する手法の一つとして、ロードシミュレータ耐久テストでの動的挙動と応力を予測するバーチャルロードシミュレータ技術確立した。本技術は有限要素解析、機構解析、ロードシミュレータコントロール、疲労解析の各技術によって構成される。有限要素モデルを含む二輪車及びテストリグの簡略化モデルを使用し、挙動の良好な再現を可能とした。これにより、ロードシミュレータ耐久テストにおける疲労寿命、ダメージとその分布、最大ダメージ部の応力波形の算出を可能とした。

Virtual road simulator technology for motorcycles was established as a method for predicting motorcycle fatigue strength due to loading during running. This technology enabled prediction of dynamic behaviors and stresses during the road simulator durability test. The technology consists of the Finite Element Method, Multi Body Simulation, Road Simulator control, and fatigue analysis. The study enabled the reproduction of the behavior of motorcycles using a simplified model of motorcycles and test rigs including component Finite Element models. As a result, prediction of fatigue life, damage distribution, and stress waveforms of the high-stress regions in a Road Simulator durability test was achieved.

1. はじめに

二輪車の開発において、図面段階で仕様熟成を図るための強度予測手法として有限要素法を用いた線形静解析がある。これは拘束条件や荷重条件が明確な場合には有効な手段であり解析工数も少ないため、開発での適用数も増加している。しかし、線形静解析では異なるタイミングで複数の荷重がかかる部位や独立振動系部品の予測は困難な場合がある。

この問題を解決する一手法としてロードシミュレータ耐久テスト⁽¹⁾(Road Simulator 以下、RSという)の挙動を、機構解析技術を用いて動的に再現するバーチャルロードシミュレータ(Virtual Road Simulator, 以下、VRS という)を開発した。

2. ロードシミュレータ耐久テスト(RS)

Fig. 1 に RS の概観を示す。RS とは、開発期間の短縮を

目的として二輪車が走行時に路面から受ける荷重に対する疲労強度を確認する実走行耐久テストを台上で置換するテストである。RS装置は三本の油圧加振機を用いて実走行の挙動を再現する。加振機に入力される加振信号は実走行時に二輪車にかかる負荷状態を再現するように自社製ロードシミュレータコントロールソフトウェアを用いて算出される。以下にその手順を示す

- (1)実走行で目標信号を計測する。
- (2)台上で伝達関数を計測する。
- (3)目標信号と伝達関数から一回目の加振信号を算出する。
- (4)算出された加振信号で台上加振し、応答信号を計測する。
- (5)目標信号と応答信号の誤差を補正して新たな加振信号を算出する。
- (6)誤差が許容範囲に収まるまで手順4と5を繰り返す。

この繰返し補正計算の手順をイタレーションと呼ぶ。また、目標信号はフロントアクスル上下方向加速度・リアアクスル上下方向加速度・フロントフォーク曲げ応力の三種類である。

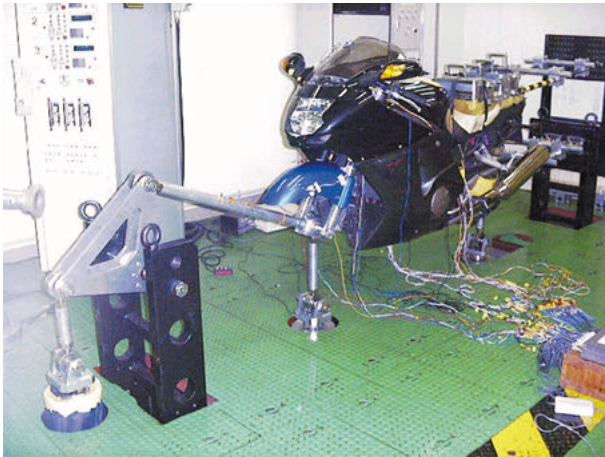


Fig. 1 Appearance of the Road Simulator (RS)

3. VRS システム概要

VRS のシステムフローを Fig. 2 に示す。本システムは以下に示す4つの技術を基本として構成される。

- (1)有限要素解析技術：機構解析モデルに有限要素モデルを取り込む際に必要となる質量特性，モード特性の解析を行う。
- (2)機構解析技術：剛体モデルと弾性体モデルで構成された機構解析モデルの挙動シミュレーションを行う。
- (3)ロードシミュレータコントロール技術：機構解析モデルにおいて伝達関数計測及び，繰返し補正計算を行うことにより加振信号を算出する。
- (4)疲労解析技術：機構解析の結果から，有限要素モデルにおける疲労寿命，応力波形の算出を行う。

上記の技術がそれぞれ異なる解析ツールを用いているためデータ形式やその受け渡しが複雑なものとなっている。

そこで手順の自動化や操作の簡便化を図りユーザに使い勝手の良いシステムとするため Graphical User Interface (以下，GUI という)を開発した。

3.1. シミュレーションモデル

Fig. 3 に VRS のシミュレーションモデルの全体を示す。VRS のシミュレーションモデルはテストリグモデルと二輪車モデルで構成される。モデル作成工数の削減と計算時間短縮のために剛体要素を多く用いた簡略化モデルとした。

3.2. テストリグモデル

テストリグモデルは加振機と伝達機構部及び基準面で構成される。外観のために形状を与えているが，質量特性を持たない拘束条件要素で成り立つため弾性体で構成するよりも計算時間の短縮が可能となった。また，計算モデルであるために，実際のテストでは油圧加振機性能の制約により実現不可能なテスト条件での加振も可能となった。

3.3. 二輪車モデル

二輪車モデルは簡略化のために，まず剛体要素で作成する。次に，着目する部位の良好な挙動を得るために必要な関連部位を有限要素モデルに置き換える。本稿の例では，メインフレームの疲労強度を予測するためにメインフレームボデー，エンジンクランクケース，リヤサブフレームを有限要素モデルとし，フロントフォークを弾性体として使用する。

有限要素モデルは，拘束モード法(Craig-Bampton 法)に基づき計算されたモード特性によって定義される。

剛体要素は質量特性(質量・慣性重量・慣性モーメント)によって定義され，外観に3次元 CAD データの形状を使用する。

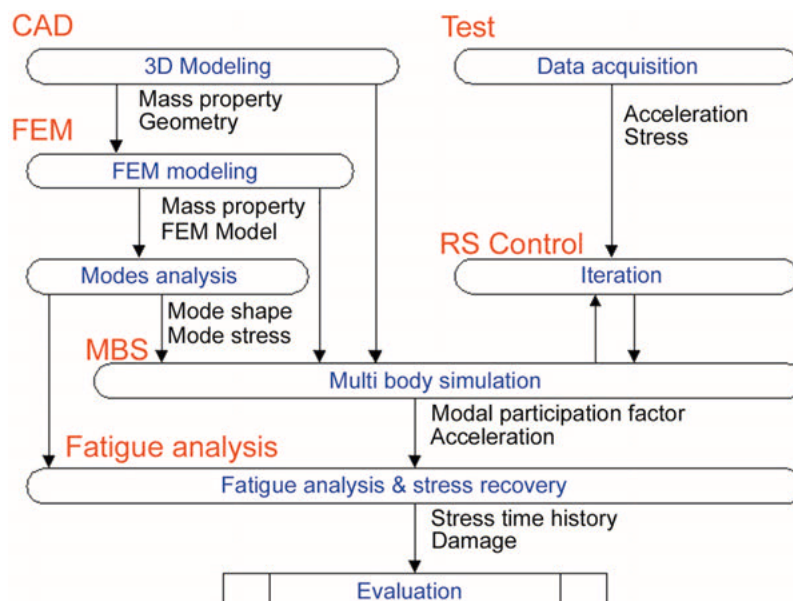


Fig. 2 System flow of virtual road simulator

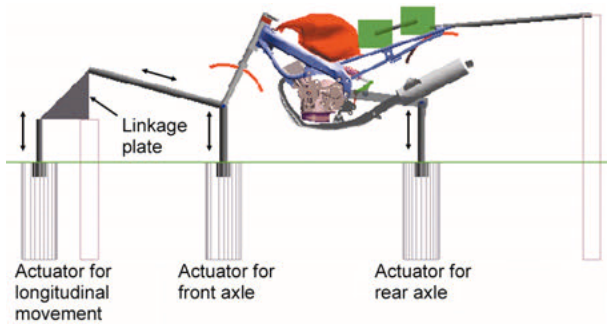


Fig. 3 Construction of virtual road simulator

3.4. フィルタリング

実走行での目標信号計測および RS での応答信号計測にはアンチエイリアスフィルタが組み込まれたデータレコーダを使用している。アンチエイリアスフィルタはその種類により固有の周波数特性があるため、フィルタを通した波形には原波形に対する振幅減衰や位相シフトが生じる。したがって、算出された結果と計測結果との比較を行う上で算出された結果にフィルタをかけなかったり、特性の異なるフィルタをかけた場合に正しい評価ができないことになる。このことから、VRS では算出した結果に対しデータレコーダに組み込まれているものと同じ特性を持つアンチエイリアスフィルタをかけている。

3.5. イタレーション

本システムでは実走行で計測された目標信号を用いて VRS 上でイタレーションを行い、加振信号を算出する。また、VRS 上でのイタレーションにはソフトウェアの違いによる差異を防ぐために RS と同じ自社製ロードシミュレータコントロールソフトウェアを使用する。

3.6. 疲労寿命予測と応力の算出

本システムでは有限要素モデルにおける疲労寿命予測のために以下のような結果を算出している。

- (1) 表面の応力振幅の分布
- (2) 表面のダメージ分布
- (3) ホットスポット(ダメージが高い場所)の位置
- (4) ホットスポットでの応力波形

ホットスポットの特定は対象部品表面の二次元応力変化を評価して行っている。時刻 t におけるホットスポット位置 x での応力 $\sigma_x(t)$ の算出には次式を用いている。

$$\sigma_x(t) = \sigma_{xi} \xi_i(t) \quad (1)$$

ここで、 σ_{xi} は位置 x における拘束モード及び固有モードを含めた i 番目のモード応力、 $\xi_i(t)$ は時刻 t における i 番目のモードの寄与率(変位)を示す。

4. 精度検証

直列四気筒のロードスポーツモデルの二輪車を用いて精度検証を行った例を示す。

4.1. 検証の基準

VRS の精度検証を行うための基準として RS 計測結果を採用した。これは実走行計測の場合、一回のテスト走行で計測できるチャンネル数が計測器の性能によって制限されるため、そのチャンネル数を超える計測に際してデータの一意性が期待できないのに対し、RS計測では再現性が良いため、同一条件での繰り返し計測を行うことができるからである。なお、RSの実走行に対する相関は、これまでに検証済みである⁽²⁾。Fig. 4a と Fig. 4b に実走行計測で得た目標信号に対する VRS 再現結果の比較と、RS 再現結果の比較をそれぞれ示す。

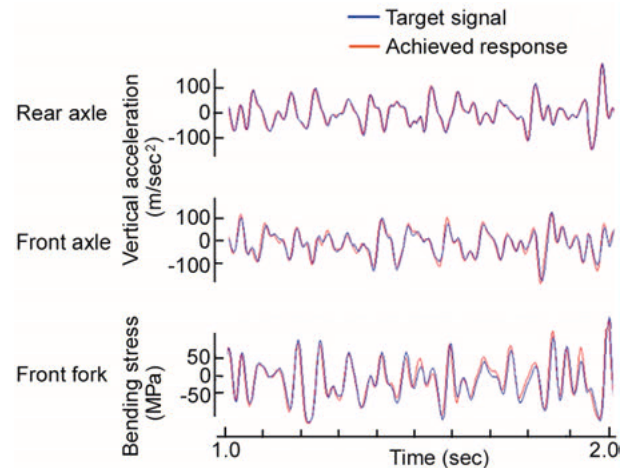


Fig. 4a Comparison between target signals (Actual running) and achieved responses on VRS

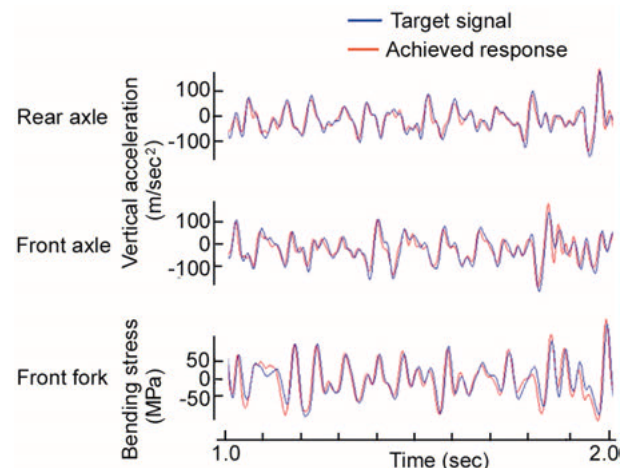


Fig. 4b Comparison between target signals (Actual running) and achieved responses on RS

4.2. 加速度波形

Fig. 5 に加速度計測位置を、Fig. 6 に各部加速度の波形比較を示す。車体の前部と中央部において上下方向加速度、前後方向加速度ともに計算結果と計測結果が良く一致しており、車体全体の挙動が良好に再現されていることが判る。これにより独立振動系の部品に対する入力予測が可能になったと考えられる。

4.3. 応力波形

フレームボデーについて応力比較を行った位置を Fig. 7 に、各部の時刻歴応力波形の比較を Fig. 8 に示す。フレーム前回り (Point A, B) においては、計算で得られた応力の時刻歴波形が計測結果と良い相関を示している。また、フレーム後ろ回り (Point C) においても、その絶対値に差が見られるものの良好な相関が得られていると言える。この絶対値の差は Point C における有限要素モデルの形状及び板厚の精度を上げることによって改善できるものと考えられる。

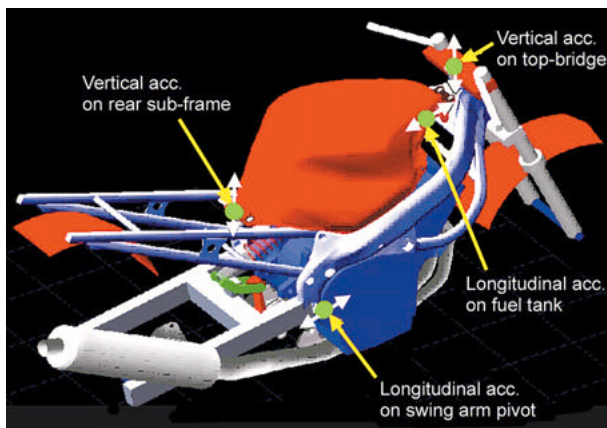


Fig. 5 Locations of acceleration measurement

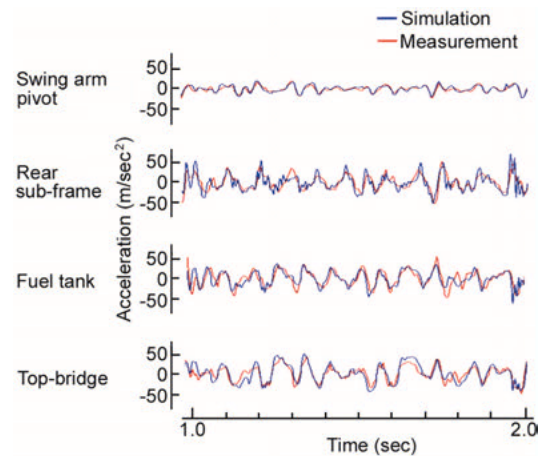


Fig. 6 Acceleration comparison between simulation and measurement

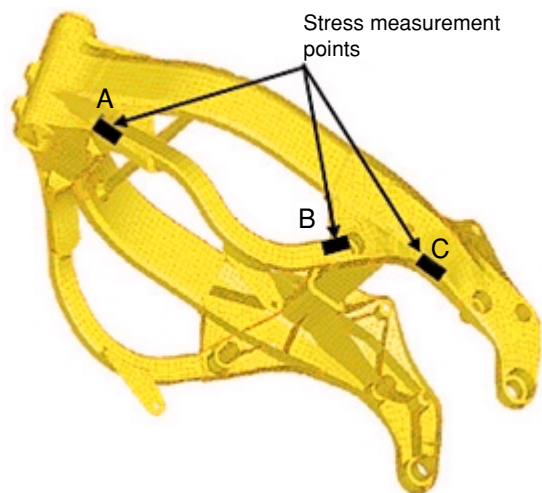


Fig. 7 Locations for stress measurement

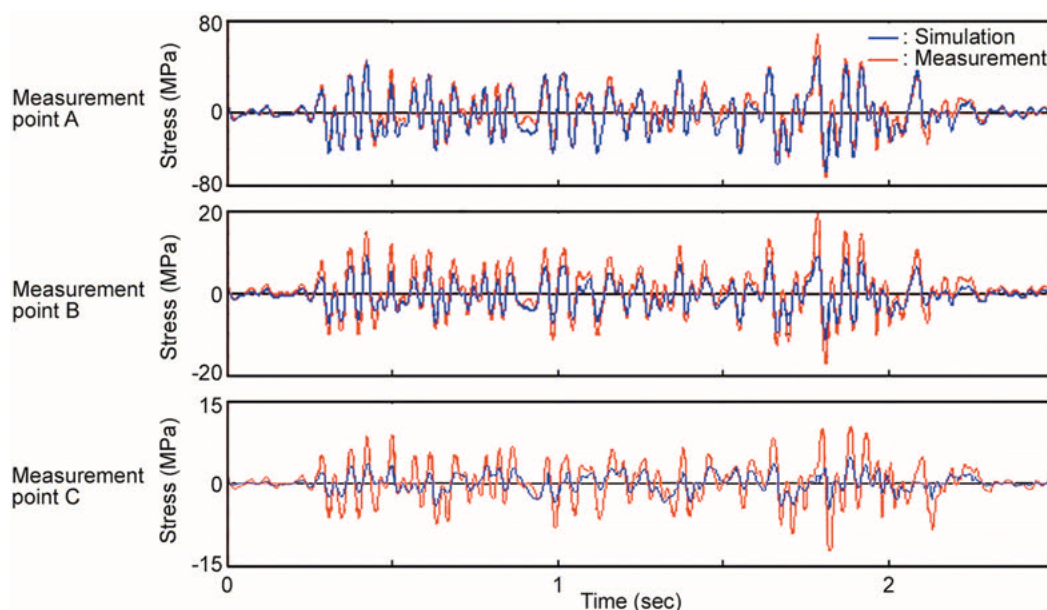


Fig. 8 Stress comparison between simulation and measurement

4.4. ダメージ分布

VRS 技術によって着目する部品についてのダメージ分布が得られるようになった。Fig. 9 に疲労解析結果の一例を示す。今後は、予測されたホットスポット位置の対策を早期に行うことができるようになり、また、対策したモデルに対し VRS を適用することによって、その対策効果を予測することも可能になる。

5. GUI の作成

VRS 技術を容易に扱うことができるように GUI (Graphical User Interface) を作成した。Fig. 10 に GUI の一例を示す。この GUI では以下の点を実現している。

(1) モデル作成手順の簡易化

モデル作成用に二輪車を主要な部位に分け、各部のテンプレートを用意した。これらの組合せと各パラメータの入力によりモデルを作成することができる。

(2) 解析手順の自動化

ソフトウェア間のファイルの受け渡し、ファイル形式変換、及び計算手順を自動化した。

(3) 結果出力の簡易化

計算結果を GUI 上で簡単に見ることができるように結果出力を簡易化した。



Fig. 9 Fatigue analysis result

6. まとめ

有限要素解析技術、ロードシミュレータコントロール技術、機構解析技術、疲労解析技術を組み合わせた VRS の開発により以下の結果を得た。

- (1) RSでの二輪車の挙動を精度良く再現することができた。
- (2) 再現した挙動からダメージ分布や最大ダメージ部の応力波形を算出することができた。
- (3) GUIを用いてモデル作成及び、手順の自動化ができた。

これにより、これまで線形静解析では捉えることのできなかった異なるタイミングで複数の荷重がかかる部位や独立振動系部品を含めた二輪車全体の疲労耐久性予測が可能となった。

参考文献

- (1) Harashima.S, et al., Development of Multi-use Road Simulator, SAE Paper 931912
- (2) Harashima.S, Evaluation Method of Motorcycle Fatigue Strength Using Road Simulator, SAE Paper 951817

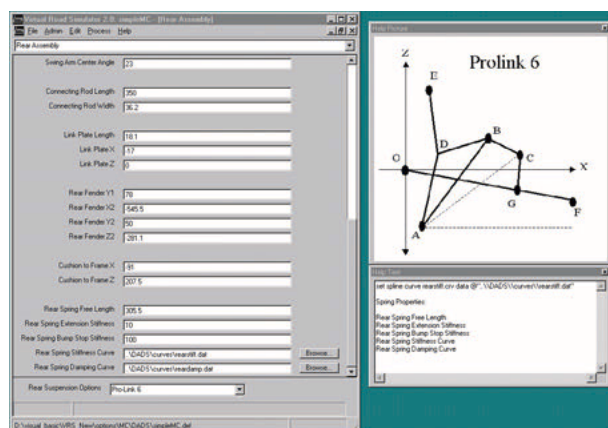
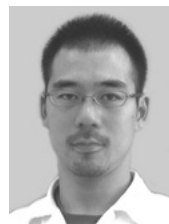


Fig. 10 GUI (Graphical User Interface)

■ 著 者 ■



長谷川 誠



中西 賢司



原島 正吉



山口 秀樹