

MT 車の急発進におけるエンジンマウント入力予測技術

Technology to Predict Input Force to Engine Mount at Rapid Start of MT Vehicle

城 靖 章*

Yasufumi JO

奥 本 雅 規*

Masaki OKUMOTO

村 田 恭 彦*

Takahiko MURATA

山 下 哲*

Satoshi YAMASHITA

要 旨

MT 車のエンジンマウント強度設計に用いる急発進時のエンジンマウント入力を予測可能とする技術を構築した。急発進におけるクラッチ締結は、実測のクラッチペダルに対する遅れと締結時間から求めたクラッチ押付け荷重の時系列特性でモデル化し、エンジンマウントは高荷重まで試験した荷重、変位曲線を与えてモデル化した。機構解析フルビークルシミュレーションによりホイールトルクおよびエンジンマウント入力を予測することができた。また、そのモデルのパラメータを取り得る範囲の上限値と下限値に変更し、ホイールトルク、エンジンマウント入力の変化率を確認した。

ABSTRACT

Technology was created that gives the capability to predict engine mount input force during rapid starts. This input force is used for the strength design of the engine mounts for cars with a manual transmission (MT). Clutch engagement during a rapid start was modeled from time series characteristics of the clutch clamping force derived from actual measurements of clutch pedal delay and engagement time. The engine mount was modeled by applying force-displacement curves that had been tested up to high load. Wheel torque and engine mount input force were successfully predicted by means of full vehicle simulation using multi-body analysis. The parameters of that model were then changed to the upper limit and lower limit values within their obtainable range to confirm the rate of change in wheel torque and engine mount input force.

1. はじめに

顧客ニーズに即応するために、開発期間のさらなる短縮が求められている。それに対応するためには、開発初期段階における設計精度を高める必要がある。強度領域においては、実走にて車両に発生する入力をもとに強度評価をおこなうため、各部位の入力を精度良く予測する必要がある。その手法として、機構解析を用いたフルビークルシミュレーションによる入力予測技術が報告されている^{(1)~(5)}。これらは実車による入力測定や、車両諸元をベースとした簡易的な入力予測に代わる手法として活用されている。しかしながら、悪路走行や縁石乗り越し等の路面凹凸によるサスペンション入力やボデー入力に着目した事例が多く、エンジンマウント強度設計に必要な駆動反力によるエンジンマウント入力に着目したものはみられない。

そこで、強度領域にて活用されているフルビークルモデルに、クラッチを含む駆動系モデルと高荷重非線形を考慮したエンジンマウントモデルを追加することで、MT 車の急発進におけるエンジンマウント入力を予測可能とする技術を構築した。また、そのモデルを用いてエンジンマウン

ト入力に及ぼす車両パラメータの影響について検討した結果を報告する。

2. MT 車の急発進について

MT 車での発進は半クラッチ操作をおこなうが、本稿で扱う急発進は、通常より高いエンジン回転数を維持した状態でクラッチペダルから足を放すと同時にアクセルペダルを踏み込む操作をおこなう。すると、クラッチが急激に締結することにより駆動系やエンジンマウントにはエンジントルクを超える入力が発生する。そして車両はホイールスピンを伴いながら急発進する。これは実使用環境でのミسユースを想定している。

Fig. 1 に主な入力と挙動を示す。矢印は路面側からボデー側が受ける力の方向である。エンジンやクラッチから車輪へ伝達される駆動トルクによりタイヤ接地点に前後力が発生し、車体はピッチング挙動を示しながら急発進する。同時に、駆動反力によりパワープラントは回転挙動を示しそれを支持するエンジンマウントに入力が発生する。

エンジンマウント強度は急発進時の入力ピーク値を用い

* 四輪 R&D センター

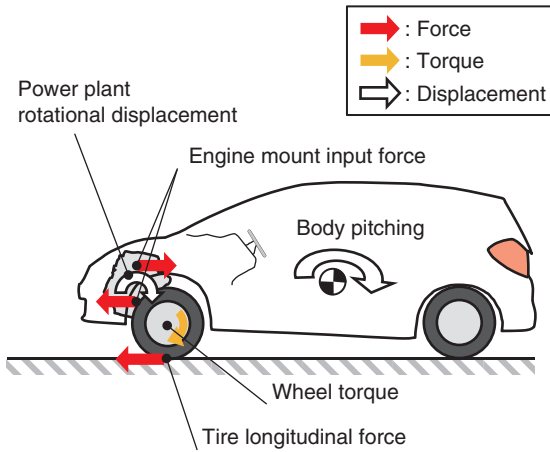


Fig. 1 Rapid start of MT vehicle

た台上試験にて評価されるため、入力ピーク値を精度良く予測する必要がある。

3. モデルの概要

MT 車の急発進におけるエンジンマウント入力には車両の多くの物理的要素が影響する。そのため、機構解析によるフルビークルモデルを作成した (Fig. 2)。

3.1. エンジンモデルとクラッチモデル

エンジンは、Fig. 3 に示すスロットル開度ごとのエンジ

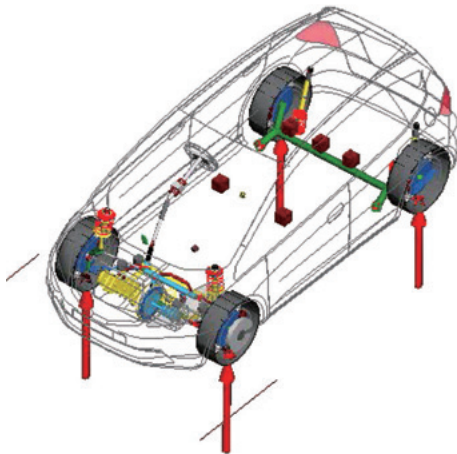


Fig. 2 Full vehicle model

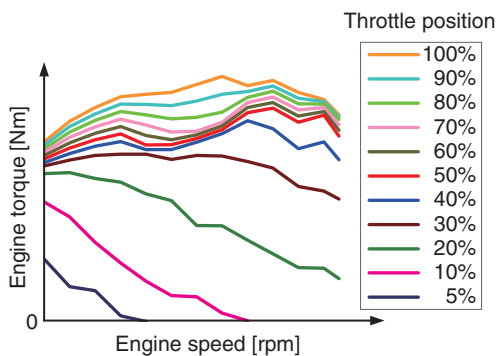


Fig. 3 Engine torque map

ントルクマップでモデル化した。急発進でのアクセルペダル操作に応じた時系列スロットル開度をインプットすることにより、エンジントルクが計算されフライホイールに負荷される。

Fig. 4 に MT 車のクラッチを示す。クラッチは、クラッチ摩擦係数 μ 、押付け荷重 F 、有効半径 R を用いた式 (1) により、伝達トルク T が計算されるモデルとした。

$$T = 2\mu FR \quad (1)$$

急発進でのクラッチペダル操作によるクラッチ締結は、押付け荷重の時系列特性でモデル化することにした。そこで、時系列特性を検討するために、急発進時のクラッチペダルストロークとメインシャフトトルクを実測した。その一例を Fig. 5 (a) に示す。クラッチペダルから足を放すとペダルはストロークし始める。しかしながら、メインシャフトトルクは同時に立ち上がらずに、約 0.04 sec 遅れてから

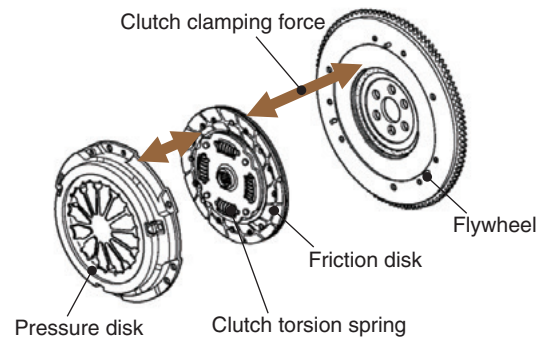
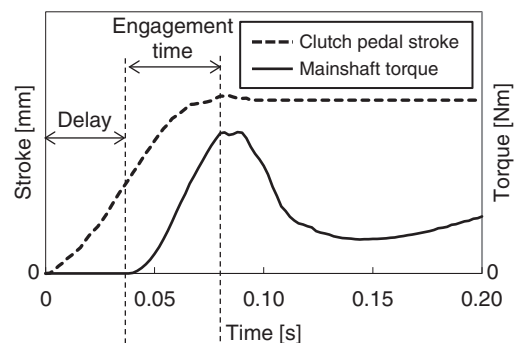
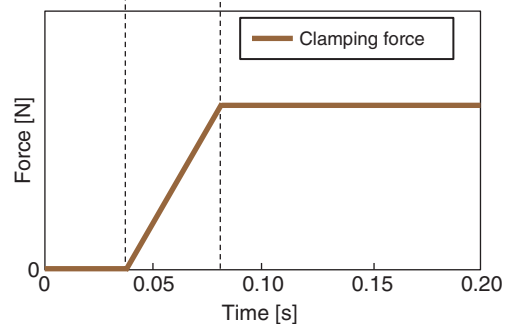


Fig. 4 Main structure of MT clutch



(a) Measurement data



(b) Model input data

Fig. 5 Identification of clutch clamping force characteristic

立ち上がることがわかった。また、クラッチ締結にかかる時間は約 0.05 sec と短いこともわかった。この結果から求めた Fig. 5 (b) に示す時系列特性をモデルにインプットした。なお、遅れやクラッチ締結にかかる時間は車種により異なるが、時系列特性を変更することでモデル化できる。

クラッチトーションスプリングやドライブシャフトは、それぞれのねじり特性でモデル化した。

3.2. その他のモデル

エンジンマウントは、急発進で発生する荷重の大きさを考慮し、Fig. 6 に示すとおり、高荷重まで試験した荷重、変位曲線を与えてモデル化した。これにより、プッシュばねの立ち上がり特性の影響を考慮した。

サスペンションは剛体リンク機構モデルとした (Fig. 7)。

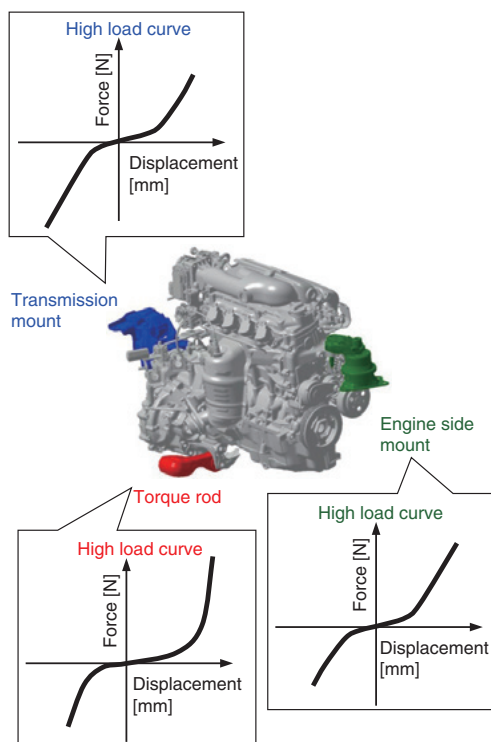


Fig. 6 Engine mount model

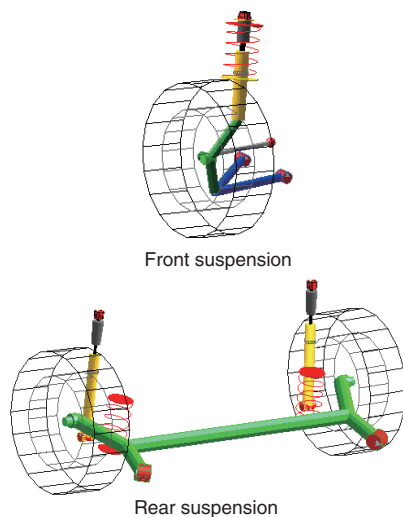


Fig. 7 Suspension model

タイヤモデルには、輪荷重やスリップ率等からタイヤ前後力を計算可能なマジックフォーミュラを用いた。

4. シミュレーション検証結果

駆動反力であるホイールトルクとエンジンマウント入力について、シミュレーションと実測との比較をおこなった。

4.1. 小型車の比較結果

Fig. 8 に排気量 1.5 L のガソリンエンジンを搭載した小型車のホイールトルク比較結果を示す。急発進によりホイールトルクが立ち上がり、波形の 1 山目が最大ピークとなった。ピーク値差異は小さく、時系列波形も良好な一致を示すことを確認した。

Fig. 9 にエンジンマウント入力比較結果を示す。エンジンマウント入力もホイールトルクと同様、波形 1 山目が最大ピークとなった。強度評価に必要なピーク値の差異は小さく、十分な予測精度を有することを確認した。

4.2. 大型車の比較結果

エンジントルクが大きい排気量 2.2 L のディーゼルエンジンを搭載した大型車に対してもシミュレーションと実測

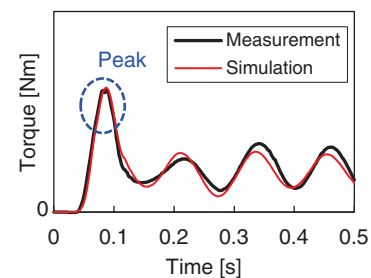


Fig. 8 Wheel torque comparison for small vehicle

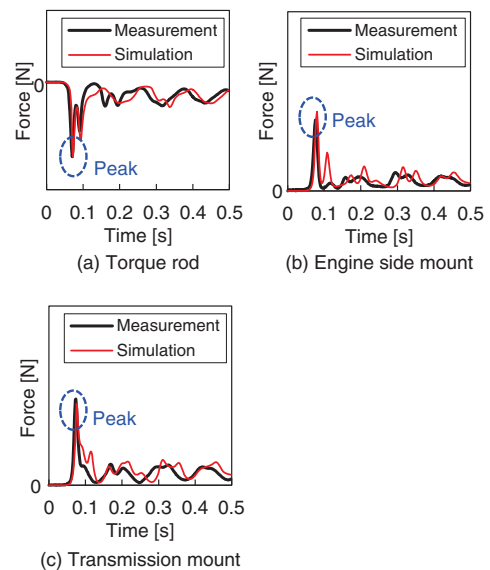


Fig. 9 Engine mount input force comparison for small vehicle

の比較をおこなった。ホイールトルク比較結果を Fig. 10, エンジンマウント入力比較結果を Fig. 11 に示す。ホイールトルク, エンジンマウント入力ともピーク値差異は小さいことがわかる。小型車のみならず大型車も予測可能なことを確認した。

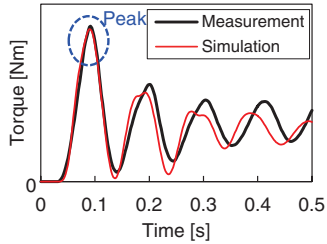


Fig. 10 Wheel torque comparison for large vehicle

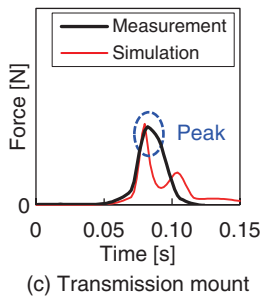
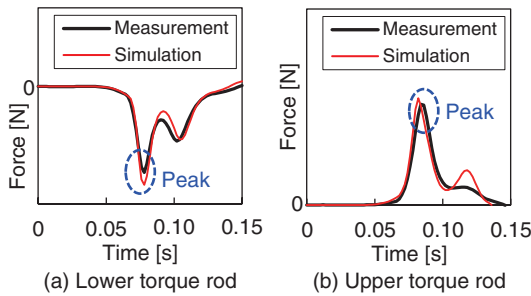


Fig. 11 Engine mount input force comparison for large vehicle

5. 入力に及ぼすパラメータの影響

5.1. 入力低減パラメータ

入力に影響が大きい車両パラメータとそれを変化させた時の入力増減の傾向を把握しておくことは、開発初期段階の設計において有用である。そこで、Table 1 に示す車両パラメータをそれぞれが取り得る範囲の上限値と下限値に変更した。ホイールトルクピーク値, エンジンマウント入力ピーク値の変化率を確認し、本稿では低減率に着目した。

ホイールトルク低減率が大きかったパラメータとその低減率を Fig. 12 に示す。クラッチ締結時間, クラッチ押付け荷重, ドライブシャフトねじり剛性は低減率が大きいことがわかる。

Fig. 13 にトルクロッド入力低減率が大きかったパラ

Table 1 Vehicle parameter

Power plant	Power plant center of gravity coordinate
	Power plant mass
	Power plant inertia moment
	Flywheel inertia moment
Drivetrain	Clutch clamping force
	Clutch engagement time
	Mainshaft inertia moment
	Driveshaft torsional stiffness
Engine mount	Engine mount coordinate
	Engine mount bush spring
	Engine mount stopper clearance
Suspension	Suspension coil spring constant
	Suspension buffer clearance
Tire	Wheel inertia moment
	Tire friction
	Tire radius
	Tire inertia moment
Vehicle body	Body inertia moment

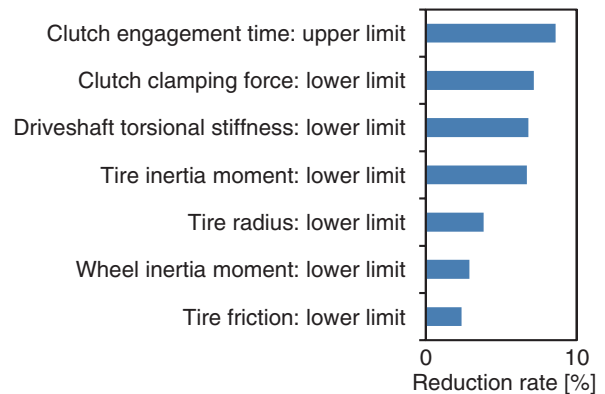


Fig. 12 Wheel torque reduction rate

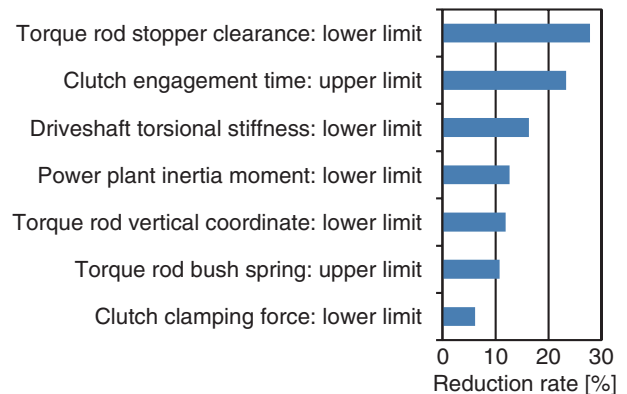


Fig. 13 Torque rod input force reduction rate

メータとその低減率を示す。ホイールトルク低減率が大きいパラメータはおおむねトルクロッド入力低減率も大きいことがわかる。その他には、トルクロッドのストッパクリアランス、上下座標、ブッシュばね、パワープラント慣性モーメントがある。これらのことから、エンジンマウント入力は、駆動系パラメータとエンジンマウント系パラメータにより低減可能といえる。

5.2. トルクロッドストッパクリアランスの影響

前述したとおり、トルクロッド入力にはストッパクリアランスの影響が大きい。また、クリアランスは小さい方が入力は減少する。このシミュレーション結果を検証するために、ストッパクリアランスが 2 mm、6 mm、11 mm と異なるトルクロッドを製作して実車による入力測定を実施した。

Fig. 14 にシミュレーションと実測を比較した結果を示す。縦軸はストッパクリアランス 6 mm のトルクロッド入力に対する入力変化率、横軸はストッパクリアランスである。これより、実測もシミュレーションと同様の入力増減傾向を示すことを確認した。また、変化率を十分な精度で予測できていることも確認した。

トルクロッド入力には急発進時のパワープラント動的回転挙動による慣性力の影響が大きい。そのため、ストッパクリアランスが小さいとパワープラント角速度が増大する前にストッパが効くことにより入力は小さくなると考えられる。また、パワープラント慣性モーメントが小さい方がトルクロッド入力は減少するという結果も慣性力の影響によるものといえる。

5.3. サスペンション系パラメータの影響

サスペンション系パラメータを変更すると、急発進時

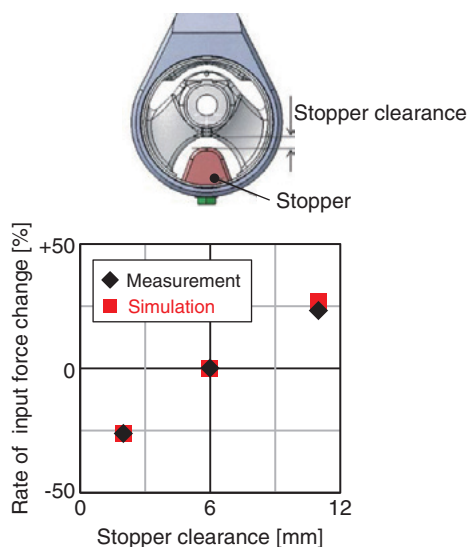


Fig. 14 Rate of input force change to stopper clearance

の車体ピッチング挙動による輪荷重移動が変化する。それにともない、タイヤ前後力が変化するため、ホイールトルクやエンジンマウント入力は増減すると考えられる。しかしながら、サスペンション系パラメータの影響は小さかった。

そこで、急発進時の前輪ホイールセンタ上下力を実測し、輪荷重移動を確認した。実測結果にシミュレーション結果を加えたものを Fig. 15 に示す。まず、シミュレーションは実測と良好な一致を示しており、輪荷重移動を予測できていることがわかる。次に急発進前からホイールトルクピーク時刻までの輪荷重に着目すると、ほとんど変動していないことがわかる。このように 4 章で示した入力ピーク発生は、輪荷重移動がおこらないほど短時間の現象である。そのため、サスペンション系パラメータの影響は小さい結果となったと考えられる。

サスペンションによらずエンジンマウント入力を予測可能なことは、例えば車両開発の早期段階においてサスペンション特性が決まっていなくとも入力予測できることを示している。

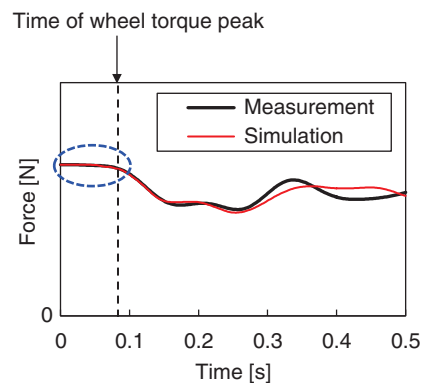


Fig. 15 Vertical force at front wheel center

6. まとめ

MT 車のフルビークルモデルを作成して急発進シミュレーションをおこない、以下の結果を得た。

- (1) 小型車と大型車のホイールトルクピーク値およびエンジンマウント入力ピーク値を実測と比較し、十分な予測精度を有することを確認した。
- (2) ホイールトルクピーク値には、クラッチ締結時間、クラッチ押付け荷重、ドライブシャフトねじり剛性の影響が大きいことがわかった。
- (3) エンジンマウント入力ピーク値には、ホイールトルクの他に、エンジンマウントのストッパクリアランス、上下座標、ブッシュばね、パワープラント慣性モーメントの影響が大きいことがわかった。

参考文献

- (1) 芳賀斉:弾性体を含む機構解析による路面入力予測の精度検証ータイヤモデルを使った耐久性入力予測ー,自動車技術会学術講演会前刷集, No.21-06, p.9-12(2006)
- (2) 芳賀斉:弾性体を含む機構解析による路面入力予測の精度検証(第2報)ータイヤモデルを使った耐久性入力予測ー,自動車技術会学術講演会前刷集, No.136-06, p.11-14(2006)
- (3) 芳賀斉:完成車悪路走行入力予測シミュレーションの精度検証(第2報)ータイヤモデルを使った耐久性入力予測ー,自動車技術会学術講演会前刷集, No.123-08, p.23-26(2008)
- (4) 下平貴政, 片岡俊介, 森理史, 横山真吾:サスペンション耐久条件設定のための路面入力予測技術の構築, Honda R&D Technical Review, Vol.25 No.1, p.78-84
- (5) 坂井英児, 富永秀和, 加藤益久, 山本典史, 松木大樹:悪路耐久走行時のサスペンション入力予測技術開発, 三菱自動車テクニカルレビュー, No.17, p.45-48(2005)

■著 者■



城 靖章



村田恭彦



奥本雅規



山下 哲