

1218 非対称復元力特性を示す 車両用ダンパーアセンブリの振動応答解析

Response Analysis of Damper Assembly with Asymmetric Restoring Force Characteristics

○ 学 飯田 和幸(日大) 学 高橋 亜佑美(日大)
正 見坐地 一人(本田技研) 正 柴田 耕一(日大)

Kazuyuki IIDA, Nihon University, Izumichou1-2-1, Narashino-shi, Chiba
Ayumi TAKAHASHI, Nihon University, Izumichou1-2-1, Narashino-shi, Chiba
Kazuhiro MISAJI, HONDA, 4630 Shimotakanezawa, Haga-machi, Haga-gun, Tochigi
Kouichi SHIBATA, Nihon University, Izumichou1-2-1, Narashino-shi, Chiba

It is commonly recognized that characteristics of damper assembly significantly affect to vehicle dynamics. However, approach to understand its dynamic characteristics is dependent on physical testing, and effects of each component are hard to examine in detail. Therefore, the main subject of this study is to develop a method which gives easy way for designers in examining each component of damper assembly. Conventional "analytical method of equivalent linear system using the restoring force model of power function type" was modified and applied to damper assembly modeling. By comparison between analysis and experiment of vibration response, the validity of this modeling method was confirmed.

Key Words: Damper, Coil Spring, Suspension, Hysteresis Restoring Force Curve,
Analytical Model, Multidegree of Freedom System, Asymmetric Restoring Force,
Method of Vibration Analysis, Non-Linear Vibration

1. 序論

車両用ダンパーアセンブリ(図1)の特性は、車両の運動性能に大きく影響を与える。また、ダンパーアセンブリを構成する個々の要素の多くは、車両への実装状態において入力荷重の振幅及び周波数に対して非線形・非対称復元力特性を示すものもある¹⁾。

ダンパーアセンブリの特性を解析する上では、上記のような個々の構成要素の特性を考慮することが不可欠である。また、車両運動性能(乗り心地、ハーシュネス、操縦安定性)の開発段階において、個々の構成要素の特性を反映し、ダンパーアセンブリの動特性を容易に予測できる手法を構築することは、開発効率の観点からも非常に有用である。

筆者らは、前編(非対称復元力特性を持つ振動系の解析モデル)において、非線形非対称特性のモデル化手法を新たに提案し、ダンパーアセンブリを構成する個々の要素へ適用した時の妥当性について検証した。

本論では、これらの個々の構成要素モデルを組み合わせたダンパーアセンブリの非線形振動応答解析手法を構築することを目的とし、このダンパーアセンブリ4自由度非線形解析モデルを用いて、応答計算を行った。

様々な周波数、振幅での正弦波入力、及び矩形波入力での実験結果と応答計算結果の比較により、本モデル化手法の妥当性を検証した。

2. ダンパーアセンブリ4自由度系解析モデル

ダンパーアセンブリの各構成要素(図1中①, ②, ③, ④)に対し、文献¹⁾で示した手法を改良して、さらに広い周波数、振幅に依存する各要素の非線形減衰係数、非線形ばね定数を求める。そして、それらを用い、新たにダンパーアセンブリ4自由度系モデル(図1)を構築した。

これらのモデル図において、質点 m_2 に外力が一切かからないものとし($F=0$)、運動方程式を立てると(1)式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} m_2 \ddot{x}_2 + c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_3(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) \\ + k_3(x_2 - x_3) + k_2(x_2 - x_1) &= -m_2 \ddot{X} \\ m_1 \ddot{x}_1 + c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_0) - c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \\ + k_1(x_1 - x_0) - k_2(x_2 - x_1) &= -m_1 \ddot{X} \\ m_0 \ddot{x}_0 + c_0 \dot{x}_0 - c_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_0) + k_0 x_0 \\ - k_1(x_1 - x_0) - k_4(x_3 - x_0) &= -m_0 \ddot{X} \\ m_3 \ddot{x}_3 - c_3(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + k_4(x_3 - x_0) \\ - k_3(x_2 - x_3) &= -m_3 \ddot{X} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

3. 解析結果

ダンパーアセンブリを本論で示した4自由度系でモデル化し、そのモデルを用いた応答計算値と実測値との比較により、解析モデルの精度検証を行った。

正弦波入力に対するダンパーアセンブリの相対変位振幅と復元力の時系列波形を図2, 3に、履歴ループを図4に示す。また、矩形波入力に対する相対変位振幅と復元力の時系列波形を図5, 6に示す。点線が実測値を、実線が応答計算値を示す。実測値との比較より、過渡状態の応答特性を精度良く計算可能であることを確認した。

4. 結論

本論では、車両の運動性能に大きく影響を与えるダンパーアセンブリについて、その非対称復元力特性をモデル化するための手法として、従来の“べき関数型復元力モデルを用いた等価線形系解析手法²⁾”を適用した。非線形特性を示す個々の構成要素モデルを組み合わせた4自由度系のダンパーアセンブリモデルを構築し、文献¹⁾に対してさらに幅広い周波数・振幅に対する解析モデルを用いて変位入力に対する復元力の応答計算を行った。計算結果と実験結果との比較により、本モデル化手法の妥当性を検証し、その結果以下のことが明らかになった。

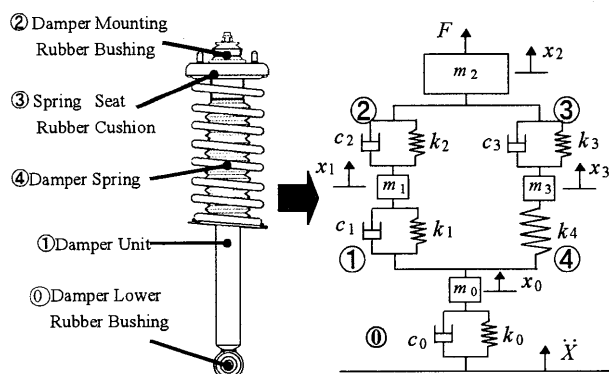


Fig.1 Four-degree-of-freedom-system-model of damper assembly

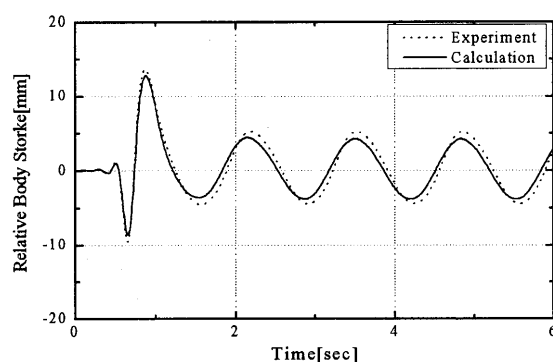


Fig.2 Stroke displacement waveforms of damper assembly (0.75Hz, ±20.0mm)

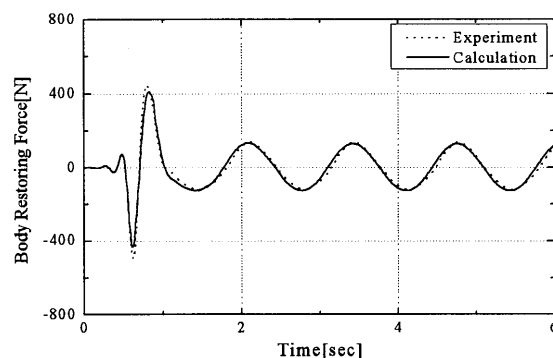


Fig.3 Restoring force waveforms (0.75Hz, ±20.0mm)

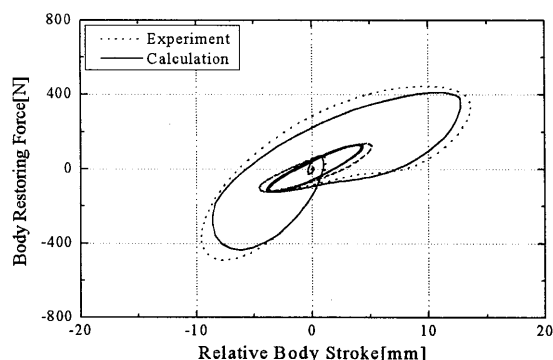


Fig.4 Hysteresis loops (0.75Hz, ±20.0mm)

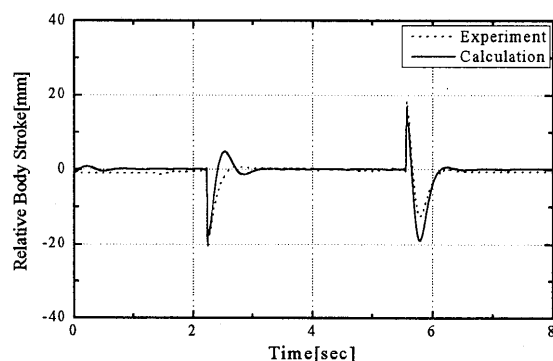


Fig.5 Stroke displacement waveforms of damper assembly (Rectangular wave, 0.15Hz, ±10.0mm)

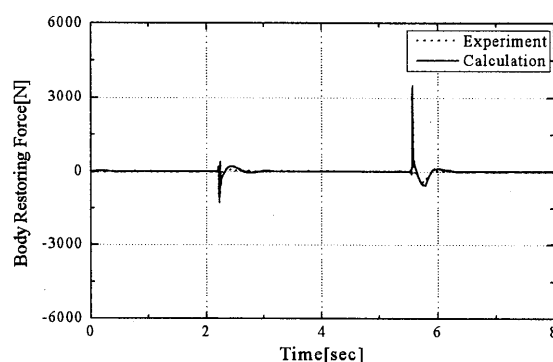


Fig.6 Restoring force waveforms (Rectangular wave, 0.15Hz, ±10.0mm)

- 1) 様々な変位振幅及び周波数の加振条件に対する復元力の応答計算値と実験値の比較から、4自由度系のダンパーアセンブリモデルによる応答計算結果が、加振初期の過渡状態から定常状態まで高い精度で実験結果と一致していることを確認できた。このことから、本モデル化手法により構築した車両用ダンパーアセンブリの非線形解析モデルの妥当性を検証できたと考える。
- 2) 矩形波入力に対する復元力の応答についても精度の高い計算結果が得られたことで、本モデルのより高い周波数領域での有効性を確認することができた。これにより、本モデルを用いて、乗り心地、ハンドリング領域からハーシュネス領域まで幅広い振幅・周波数範囲にわたる復元力応答解析を実行できる可能性が示された。

今後これに続く研究では、解析モデルの周波数帯を更に広げ、高い精度での計算結果を得るための検討を進めるとともに、サスペンションのリンクや車輪の特性も含めたサスペンションモデルへの拡張を図る。

文献

- 1) Uoi, A., Oda, K., Jinbo, H., Tokunaga, H., Misaji, K., Shibata, K., Modeling Method for Vibration System with Asymmetric Restoring Force Characteristics (Dampers of Vehicle Suspension), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.73, No.729 (2007-5), pp.42-48.
- 2) Shibata, K., Misaji, K., and Kato, H., Vibration Characteristics of Rubber (Nonlinear Vibration Characteristics Depending on Frequency and Amplitude of Displacement), *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C*, Vol.59, No.564 (1993), pp.144-150.