

免制振ダンパーの可搬型現地性能試験機の開発に向けたダウンスケール実験

名古屋大学 工学部 環境土木・建築学科
建築学コース 飛田研究室 前田理沙

1. 研究の目的と背景

今日、重要性が高まっている免震構造物に欠かせない免震部材の1つである免震用オイルダンパー（以下 OD）(図 1.a)⁽¹⁾の検査数値偽装問題が発覚し、OD の性能評価への関心が集まっている。またメンテナンスの面から竣工後の、地震による損傷や経年変化によるダンパーの性能を検査するためには、取り外して試験機のある工場まで運搬する必要があり、莫大なコストと時間を要する。そこで、OD の現地試験が可能な可搬型の簡易検査システム開発を目指し、ダウンスケール実験により基礎的検定を行う。可搬性を実現するためには少ない本数の蓄圧装置（アキュムレータ）でもダンパーを評価できるように評価方法の構築が必要である。現在、多数のアキュムレータを要する理由は、繰り返し加振である正弦波加振で行われているからである。アキュムレータの本数を大幅に減らして、可搬性を実現したい。

今回は、免震用 OD と近い内部構造を持つ車用のショックアブソーバー（以下 SA）(図 1.b) を供試体とし、実際の試験環境を模したダウンスケール実験を通して加振方法の検討を行っていく。

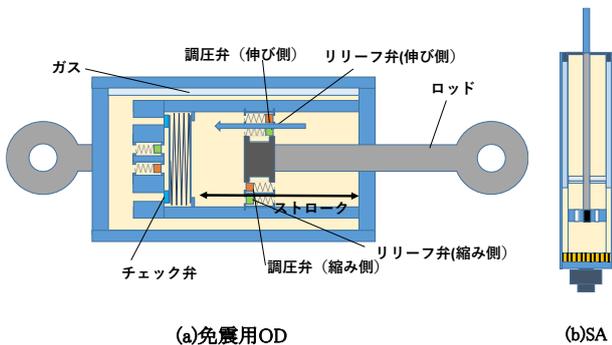


図 1 各種オイルダンパーの構造

2. ダンパー性能検査方法

2.1 等価減衰係数

一般的にダンパーは、速度比例型の減衰機構を示す。より厳密にはダンパーの内部は粘性要素と剛性要素を直列結合した Maxwell-Model で表される (図 2.a) これにより、ダッシュポットのみの場合 (図 2.b) に比べて、変位 x と力 F の関係が傾いている図となる。⁽²⁾ 現在の検査方法ではダンパーの特性値は粘性係数 C と剛性 K を併せた等価減衰係数 C_{eq} で定める。 C_{eq} の定義は図 2 に示すように、Maxwell-Model の吸収エネルギー W_1 と速度に比例する項 C' のみを考えたモデルの吸収エネルギーである W_2 が等価となるような C' としている。

2.2 従来手法と提案手法の比較

現在の検査は、基準値となる等価減衰係数 C_{th} と実験によって得られた等価減衰係数 C_{ex} (式 1) を比較し、一般的

に誤差が 10~15% 範囲の要求値以内であれば合格としている。従来手法と提案手法の最大の違いは基準値 C_{th} の定め方にある (表 1)。従来手法では入力が正弦波であることを前提として定式化されている (式 2)。正弦波に代わる加振方法を考えるには、加振方法に依存しない C_{th} の定め方が必要である。そこで新たに C_{th} を定めた (式 3)。この式の形としては式 1 と同じであるが、力 F に代入するものが実測値ではなく、モデルの解析値を代入する点異なる。

2.3 提案手法の優位性

提案手法の優位性は主に 3 つある。1 つ目は、正弦波を含む任意の波形に対応できること。2 つ目は、試験機側の誤差が含まれないことである。従来型では、理想的な正弦波加振を仮定していたが、現実では多少誤差がある。しかし、式 3 では変位に実測値を用いているので、同じ試験機を用いれば理論上、試験機側の誤差が打ち消されることになる。そして 3 つ目は、モデル化の厳密性を向上させることで、試験精度を高めることができる点にある。

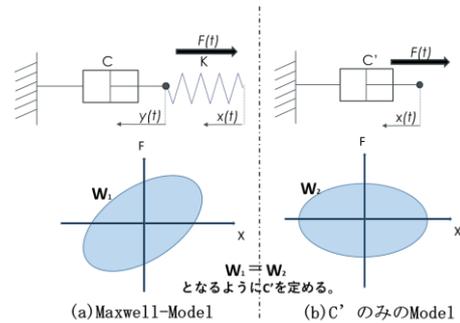


図 2 等価減衰係数の定義

表 1 評価手法の整理

	基準値 C_{th}	試験結果 C_{ex}
従来評価方法	$C_{th} = C_1 / \{ 1 + (\frac{2\pi f C_1}{K_1})^2 \}$ (式 2)	$C_{eq} = \frac{\int F \dot{x} dt}{\int \dot{x} \dot{x} dt}$ (式 1)
提案評価方法	$C_{th} = \frac{\int F \dot{x} dt}{\int \dot{x} \dot{x} dt}$ (式 3)	

..... 実測値 ——— 解析値

3. 実験

ダウンスケール実験環境を名古屋大学減災館の基礎免震層に整えた (写真 1)。試験機は現在行われている試験方法と同じ、変位制御で加振試験を行う。この試験機に入力する波形を決定し実現可能性を検討したい。



写真 1 実験体制

3.1 正弦波入力 - SA 特性を探る -

はじめに、供試体 SA の基本的特性を確認するため、条件を変化させた正弦波加振実験を行った。振幅条件 (図 3)、振動数条件 (図 4)、加振中心点 (図 5) を変化させると反力特性に違いが出た。また、速度の正負によって特性も異なった。これは車用特有の設計による影響に加え、内部構造であるガス層の影響によるものだと考えられる。具体的には、SA は縦に設置されるものであるが、今回は横に設置されたため、ガス層が回り込み変位が変化しても荷重が変わらない不感帯部分が生じるためと考えられる。以上に注意して、加振方法を検討する必要があるとわかった。

3.2 正弦波入力 - 一方向加振条件の決定 -

入力波形の検討の起点として、1 方向加振を行うことにした。具体的には、正弦波の 1/2 周期分の波形 (1/2 正弦波) を採用した。この実験では、1/2 正弦波の振動数と振幅を決定することを目的とした。評価方法に、ヒステリシスと分散と全高調波ひずみを用いた。ヒステリシスは 2.5Hz で最小となり、顕著な振幅依存性は見られなかった。分散では、1 波ごとの等価減衰係数で条件ごとにばらつきを比較した。分散と全高調波ひずみはともに 2.5Hz、10mm で最小値となった (図 6)。原因は、振幅・振動数が小さい時は、試験機の出力の関係によるもので、振幅・振動数が大きくなると、図 3、図 4 からわかるように波形が乱れていくからと推測される。以上の結果から、1/2 正弦波の最適条件は加振開始点の正負両者とも振幅 10mm、振動数 2.5Hz に決定した。

3.3 1/2 正弦波入力 - 一方向加振の精度 -

決定した 10mm、2.5Hz の 1/2 正弦波の条件で 1 方向加振を行った。同条件の正弦波での吸収エネルギー W 、等価減衰係数 C_{ex} を速度の正負でそれぞれ評価し、SA の特性値とした。 W 、 C_{ex} を使って往復加振である正弦波加振と 1 方向加振である 1/2 正弦波の結果を比較した (図 7)。結果は、 W 、 C_{ex} とともに往復運動の結果と数%ほどしか変わらず、1 方向加振でも OD 性能を評価できる可能性を見出すことが出来た。

4. 結論

4.1 まとめ

ダウンスケール実験を通して、少ない本数のアキュムレータでも実現可能な 1 方向加振試験で、ダンパー性能を評価できる可能性を見出した。この結果はダンパーの可搬型現地性能試験機の開発実現性を後押しする結果になると考えている。

4.2 今後の課題と展望

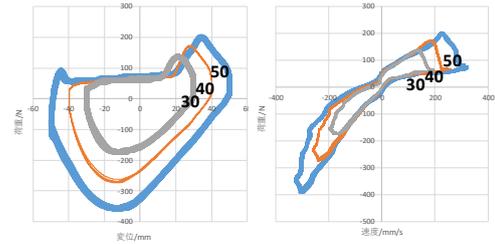
今後は、ダウンスケールと実物大との違いをリアルスケールの試験機を使って実験し確認していく。

謝辞

本論文の内容は(株)カヤバシステムマシナリーとの共同研究によるものである。記して謝意を表します。

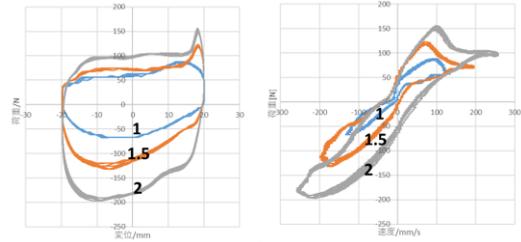
参考文献

- (1-1) 榎原健人: 可変減衰型オイルダンパ, KYB 技報, 第 55 号, 2017
- (2-1) 笠井和彦, 鈴木陽, 大原和之: 減衰力が速度の指数上に比例する粘性ダンパーをもつ精神構造の等価線形化手法, 日本建築学会構造系論文集, 第 574 号, 77-84, 2003



(a) 変位・荷重関係 (b) 速度・荷重関係

図 3 振幅を変化させたときの結果



(a) 変位・荷重関係 (b) 速度・荷重関係

図 4 振動数を変化させたときの結果

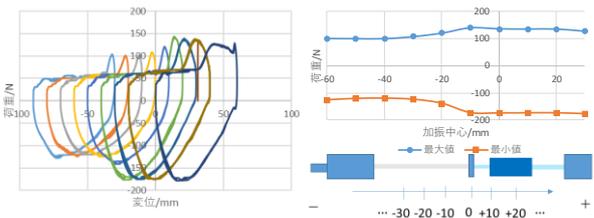
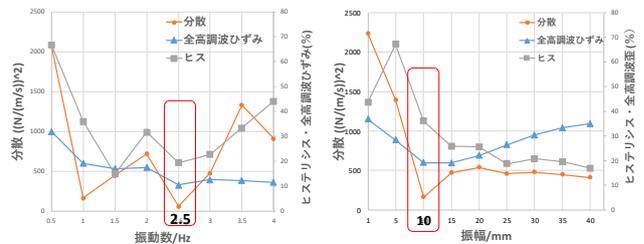
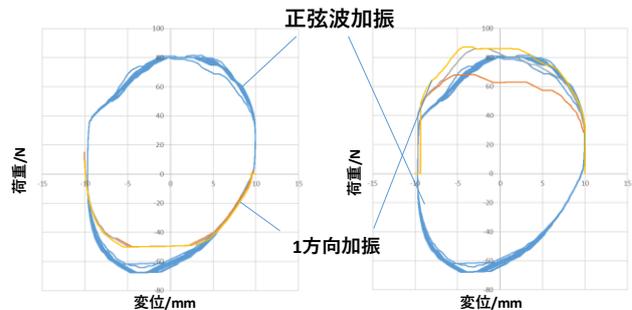


図 5 加振中心点を変化させたときの変位荷重関係



(a) 振動数ごとの評価 (b) 振幅ごとの評価

図 6 分散・全高調波歪・ヒステリシスの比較



(a) 伸び側の加振 (b) 縮み側の加振

図 7 1 方向加振と正弦波加振の荷重変位関係