

慣性力駆動型ダンパー載荷試験装置による 非線型ダンパーの動的応答の検出

京都大学大学院 学生員 鈴木 陽介
京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和
京都大学工学研究科 正会員 五十嵐 晃

1. 概要

構造物との相互作用を反映した現実的な動的応答載荷条件下での実大ダンパーの動的特性を検出する手法として、慣性力駆動型ダンパー載荷試験装置が提案されている。本研究では、試験装置における質量駆動機構の工学的な制約条件とダンパー載荷能力の関心の解析的な評価、および非線型特性を有するダンパーを用いた実験に基づき、応答予測および加振入力設定法の検討を行った。

2. 試験手法の原理

本試験装置の原理を図1に示す。基本的には、1自由度振動系の上に質量駆動型の加振装置が配置された構成となっている。起振力 f_d により、 m_d の補助質量が振動し、これに伴って生じる慣性力 $m_d(\ddot{x} + \ddot{x}_d)$ により、実地震動が入力したときの状態と同様な振動を質量 M の桁に発生させる。この桁の振動を性能試験の対象であるダンパー供試体 (図中のダッシュポット c) に直接作用させることにより、このダンパーの動的載荷と動的応答の検出を行おうとするものである。本試験手法を用いれば、ダンパーの減衰力による構造物応答の低減や、ダンパーへの載荷入力となる構造物応答の変位・速度・加速度の3成分を考慮することができる。本試験装置で、地震時や強風時に構造物に発生する振動に対するダンパーの応答および振動低減効果を発揮するのかを、実物大かつ実時間スケールで正確に評価することができる利点を有している。

3. 試験装置の実装

前節で述べた原理に基づいて製作された慣性力駆動型ダンパー載荷試験装置による実証試験が行われている。試験装置の外観を写真1に、また、寸法・重量を表1に示す。桁と桁支持体の間に設けているゴム支承が図1における復元力を生じさせる弾性要素 (剛性 $= k$) として機能する。このゴム支承は交換可能となっており、剛性の異なるゴム支承と交換することにより、試験装置自体の固有周期を変え異なった振動数範囲における試験を行うことが可能となる。

ダンパー供試体を設置しない状態における同定実験 (正弦波定常加振実験、自由振動実験) により、固有振動数は 0.57Hz 、減衰比は 3.2% であった。

4. 載荷能力の検討

ダンパー装置の性能試験において載荷変位振幅、荷重振幅などの載荷条件を制御した実験を行うことから、まず加振入力と応答の対応関係を検討する。

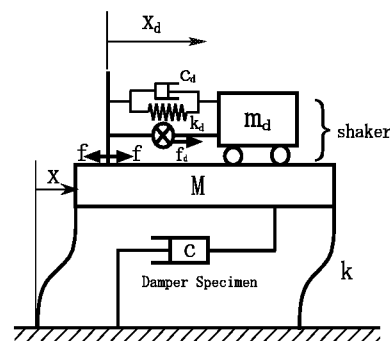


図1 試験手法の力学モデル

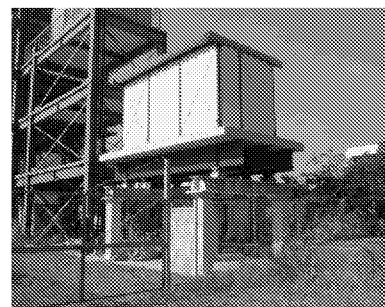


写真1 試験装置の外観

表1 試験装置の仕様

桁の重量	26.9ton
高さ	3.0m
長辺全長	7.0m
短辺全長	4.0m

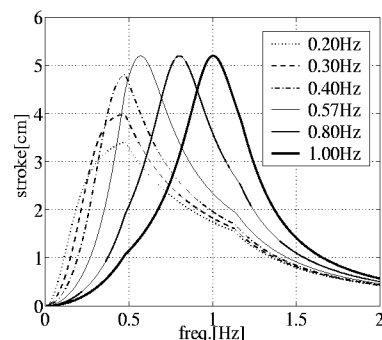


図2 試験装置の変位載荷能力
($h=0.30$)

Key Words: 実大ダンパー, 動的応答載荷試験手法

〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町 tel.(075)753-5088 fax.(075)753-5926

ダンパー供試体を完全な線形粘性と仮定すると、正弦波加振での性能試験においては、調和外力に対応する定常解を考えることにより、変位最大応答 $x_{\max}$ は次式のように評価できる。

$$x_{\max} = \frac{m_d}{M + m_d} \frac{\omega^2 X_d}{\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2h\omega_0\omega)^2}} \quad (1)$$

ここで、 ω は加振振動数、 ω_0 は試験装置の固有振動数、 h は試験装置の減衰比、 X_d は加振装置の変位振幅を表す。

加振装置には以下のような制約条件が存在する。

- ・マスの最大変位に関する制約

$$X_d \leq 50\text{cm}$$

- ・マスの最大速度に関する制約

$$\omega X_d \leq 150\text{kin}$$

- ・最大制御力に関する制約

$$f_d = m_d(\ddot{x}_d + \ddot{x}) + k_d x_d \leq 1.6tf$$

実際に加振を行う際には、この制約条件を満たす範囲で入力を決しなければならない。制約条件を満たす加振装置の最大変位振幅と式 (1) から本試験装置の変位载荷能力が求まる。様々なゴム支承を想定した場合、つまり様々な固有振動数での減衰比 $h = 0.30$ における変位载荷能力を図2に示す。

地震波入力時の最大桁変位および最大減衰力の予測には、地震動と最大応答の関係を示す応答スペクトルの適用が有効である。

5. 非線形ダンパーへの適用と検討

ダンパーが非線形の減衰特性を有する場合においては等価線形化を用いることが考えられる。ここでは、予備試験によりダンパーの履歴特性の傾向が明らかになっていることを前提として、非線形の減衰特性を等価線形化した粘性ダンパーに近似して応答振幅を算定する手法を採用する。

地震波加振時には固有振動数付近で応答が卓越すると見なし、固有振動数と再現したい最大振幅での等価減衰係数を用いるものとする。

実際のダンパーを用いて、正弦波加振時の応答予測法の検証試験を行った。対象としたダンパーはオイレス工業株式会社製ビンガムダンパーである。構造を図3に、履歴ループを図4に示す。複数の加振振動数、加振装置振幅を組み合わせ正弦波加振を行い、得られた変位応答から等価線形モデルを仮定した予測法により必要な加振装置の変位振幅を逆算し、実際の振幅と比較するという方法で検証を行った。実験結果を図5に示す。この図によると0.8Hzでの加振ケースでは予測と実験値は良好な一致を示している。一方で、左図のような低振動数領域においては、予測よりも実際の応答が小さくなる傾向が見られた。この傾向より試験系に周波数依存の非線形性が存在することが推測される。このようなケースについてはさらに検討の必要がある。

6. 結論

- ・ダンパーの性能試験を行う際の入力から応答を予測する手法を提案し载荷能力の評価を行った。
- ・非線形ダンパーの応答予測手法を提案し、実際のダンパーを用いることによりその妥当性を確認した。
- ・本手法は、非線型ダンパーの動的応答の検出に有効な実験法であることが示された。

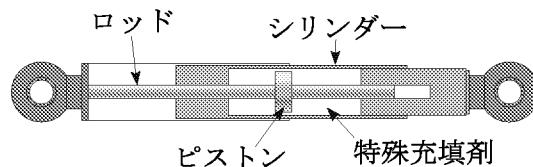


図3 ビンガムダンパーの構造

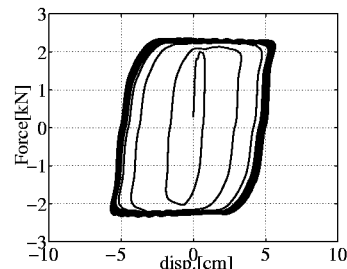


図4 ビンガムダンパーの履歴ループ

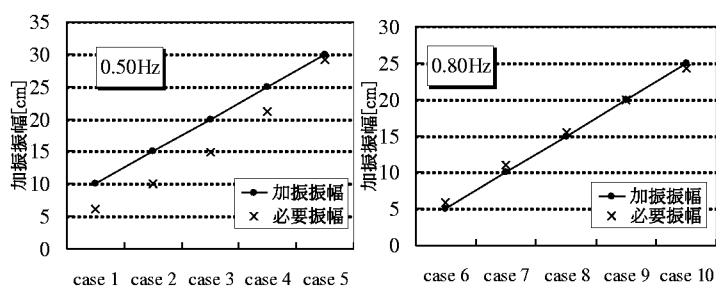


図5 入力振幅と必要振幅の関係