

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
 京都大学工学部 学生員 ○ 鈴木 陽介

1 概要 本研究では、慣性力駆動型ダンパー载荷試験装置の制御入力より応答を予測する手法を検討し、実際にダンパー供試体を用いた試験によりその妥当性を検証した。さらに、载荷条件および制約条件と载荷能力の関係を解析的に評価するとともに、非線形特性を有するダンパーを用いて慣性力駆動型ダンパー载荷試験装置の入力設定法の検討を行った。

2 試験手法の原理 本試験手法の原理を図1を用いて説明する。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载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り構造物の応答が低減し、この低減された応答をダンパーに载荷される際の変位・速度・加速度の影響を考慮することができる。すなわち、本試験は大地震時や強風時に構造物に作用する振動に対してダンパーがいかなる応答を示し、いかなる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。

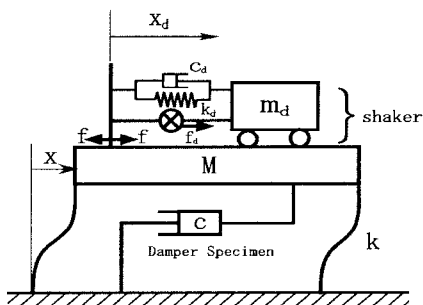


図1 試験手法の力学モデル

3 試験装置の実装 以上の原理に基づいて製作された慣性力駆動型ダンパー载荷試験装置による実証試験が行われている。試験装置の外形を写真1に、また、寸法・重量を表1に示す。



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

桁と桁支持体の間にはゴム支承を設けている。これは、図1における復元力を生じさせる弾性要素(剛性 $= k$)であるが、このゴム支承は交換可能となっている。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 载荷能力の検討 ダンパー装置の性能試験において、特性を検討する上で载荷変位振幅、荷重振幅などの载荷条件を制御する必要がある。そのために、まず加振入力と応答の対応関係を検討する。

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
$$\omega X_d \leq 150\text{kine}$$
- ・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定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。

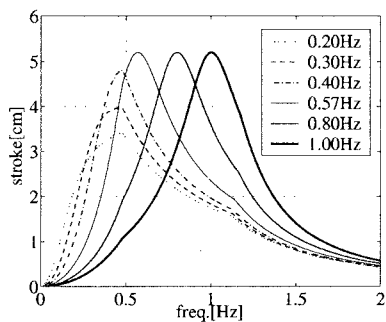


図 2 試験装置の変位载荷能力 ($h=0.30$)

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が利用が有効である。

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。

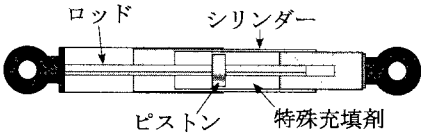


図 3 ビンガムダンパーの構造

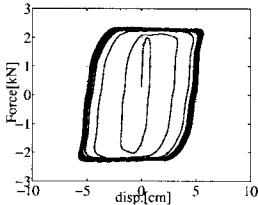


図 4 ビンガムダンパーの履歴ループ

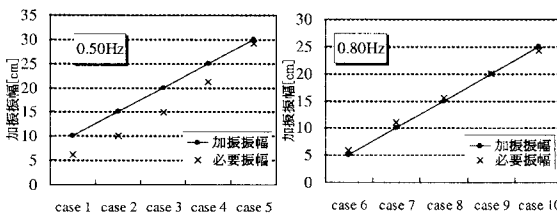


図 5 入力振幅と必要振幅の関係

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