

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	起振機を用いた多層制振フレームの簡易振動実験手法の提案（その5）逆伝達関数を用いた実験手法の提案および実験的検証
Title	
著者(和文)	石田琢志, 佐藤大樹, 北村春幸, 佐々木和彦, 宮崎充, 岩崎雄一, 吉江慶祐, 石井正人
Authors	Takushi ISHIDA, daiki sato, Haruyuki Kitamura, Kazuhiko Sasaki, Mitsuru MIYAZAKI, IWASAKI Yuichi
出典 / Citation	日本建築学会大会学術講演梗概集, Vol. B-2, No. , pp. 99-100
Citation(English)	, Vol. B-2, No. , pp. 99-100
発行日 / Pub. date	2010, 9
rights	日本建築学会
rights	本文データは学協会の許諾に基づきCiNiiから複製したものである
relation	isVersionOf: http://ci.nii.ac.jp/naid/110008123767

起振機を用いた多層制振フレームの簡易振動実験手法の提案

その5 逆伝達関数を用いた実験手法の提案および実験的検証

制振構造 速度依存型ダンパー 振動実験
逆伝達関数 慣性質量装置 モーダルアナリシス

正会員 ○石田 琢志^{*1} 佐藤 大樹^{*2} 北村 春幸^{*2}
佐々木 和彦^{*3} 宮崎 充^{*3} 岩崎 雄一^{*3}
吉江 慶祐^{*4} 石井 正人^{*4}

1. はじめに

本報その3, 4では, 振動台加振時に得た速度応答波形を加振力として, その振幅倍率を変化させることで強震下の動的挙動を再現する実験手法の実験的検証を行った。しかし, 提案した手法には, 最適加振力の算出が容易でないことや, 変位応答では強震下の動的挙動を精度良く再現できるが速度応答ではその再現性が低下するなどといった問題点が確認されている。また, 最適加振層を決定するためには, 全層について時刻歴応答解析を行わねばならず, 煩雑であった。そこで, 本報では, より実用的な方法を目指し, 逆伝達関数を用いた加振力の作成手法およびモーダルアナリシスの考えに基づいた最適加振層の推定手法を提案し, その妥当性を検証する。また, 本報その4と同様, 提案した手法を用いた加振実験を行い, その有効性を実験的に検証する。

2. 強震下の全体挙動を再現する振動実験手法

2.1 解析概要

解析モデルは, 前報までと同様, せん断10質点系とする。地動加振に用いる地震波は, 前報までと同様の告示波3波とするが, 本報では目標の応答レベルが層間変形角 $R = 1/400$ (Case-1) と $1/200$ (Case-2) になるよう各地震波の振幅を調整した。本報では, 全層に速度依存型ダンパーを配置したモデルのみを対象とし, ダンパーのモデル化は, 事前に実施した部材実験結果から, ダッシュポット要素とばね要素を直列に配列した Maxwell モデルとして作成した。図1に正弦波の振動数を1.0Hz, 振幅を2mmに制御した時の, 10層における実験値と解析値の比較を示す。図1より, 解析値は実験値を精度良く再現できることが確認できる。

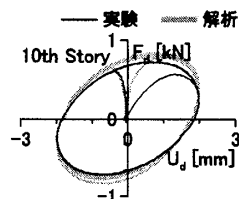


図1 解析モデルの精度

2.2 逆伝達関数を用いた加振力の作成

地動加振時の高次応答まで精度良く再現するため, 逆伝達関数により加振力を作成する。粘性ダンパーに用いている, 線形Maxwellモデルは, 内部剛性 K_d と粘性係数 C_d を周波数領域で ω の関数として表現でき, 逆伝達関数の適用が可能である。しかし, より汎用性を高く非線形性への適応を考慮すると, 等価線形化したモデルにおいても十分な精度で目標応答を再現する必要がある。そこで, 等価線形化により線形Maxwellモデルを等価なKelvinモデルに置換した

後, 状態方程式と出力方程式から伝達関数を求め, 加振力 $F(t)$ を作成した。なお, 等価粘性係数はCaugheyの等価線形化法に従い算出し, 等価内部剛性は振動数を1 Hz, 振幅を2 mmに制御した正弦波加振時に得られる値とした。伝達関数の算出式を以下に示す。式(1)をラプラス変換することで, 入力から出力までの伝達関数 T は式(3)に導かれる。なお, 式中の s はラプラス演算子, k は加振層を示す。

(1a-d)

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = Ax(t) + BF(t) \\ y(t) = Cx(t) + Df(t) \end{cases} \quad (2a-d)$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 \\ M^{-1} \tilde{f}^{(k)} \end{bmatrix}, C = [I \ 0], \tilde{f} = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$y(s) = T(s)F(s), T(s) = C[sI - A]^{-1}B \quad (3a, b)$$

A : システム行列, B : 入力行列, C : 出力行列, M : 質量行列, K : 剛性行列, D : 減衰行列, I : 単位行列, x : 状態ベクトル, y : 出力ベクトルである。これより, 目標応答 $y^{(k)}$ を再現する加振力は逆伝達関数 $T^{(k)-1}$ を用いて下式から求められる。

$$F(s) = T^{(k)-1}(s) \cdot y^{(k)}(s) \quad (4)$$

上式は周波数領域での表現であり, これを逆ラプラス変換すれば, 時間領域での加振力 $F(t)$ が算出できる。

2.3 最適加振層の推定

本節では, 時刻歴応答解析を行わずに最適加振層の推定を試みる。その際, 対象モデルは非比例減衰系システムであるため, 本来ならば複素固有値解析を行うのが妥当であるが, 利便性を考え本研究では, 質量と等価剛性を用いた実数固有値解析から最適加振層を推定する。

今, k 層加振時における各層の最大相対変位応答の推定について考える。各次の応答の最大値は同時に生じないと考え, 最大応答の近似値を各次応答成分の2乗和平方 (SRSS) を用いて, 次式により評価する。

$$\|x_{\max}\| = \sqrt{\sum_{j=1}^N |\beta_j u_j| q_{\max}^2}, q_{\max} = \alpha \cdot y \quad (5a, b)$$

モーダルアナリシスでは応答スペクトルから各次の応答最大値 $q_{\max}$ を予測するが, 本研究では再現する応答が与えられており, 目標応答である k 層の相対変位フーリエスペクトルから各次の応答比率 α を直接算出できる。ただし, j

α はスペクトルの起伏に依存するため、等価線形化の精度やダンパーの内部剛性による周期変動を考慮する必要がある。そこで、各固有振動数でのフーリエスペクトル値は、1 次固有振動数の $\pm 10\%$ の帯域幅の平均値を用いることとした。

次に、応答を再現する k 層の最大値が同じとなるように応答量 $y(>0)$ を式(6)により求める。

$$y = \frac{|x_{\max}^{(k)}|}{\sqrt{\sum_{j=1}^N |\beta_j u_j^{(k)} \cdot \alpha|^2}} \quad (6)$$

応答量 y が求まれば、式(5)より k 層加振時の最大相対変位応答を推定できる。これを全層について行い、各加振層での最大相対変位応答(添え字: v)と目標応答(添え字: s)との誤差を次式から評価し、誤差が極小となる最適加振層を推定する。

$$r^{(k)} = \frac{\sum_{j=1}^N (x_{v,j} - x_{s,j})^2}{\sum_{j=1}^N x_{s,j}^2} \quad (7)$$

図2に、地動加振波Case-2における推定式から予測した目標応答との誤差分布と、全層について時刻歴解析を行い算出した誤差分布(精解値)の比較を示す。なお、図2の横軸は、推定、精解値ともそれぞれの誤差の最小値で基準化した $r^{(k)}$ である。また、図中の●印は推定値での最適加振層を、×印は精解値での最適加振層をそれぞれ示し、○印は最適加振層を除き、推定値の誤差が小さかった上位4つを表している。図2より、いずれの地震波の場合も推定値は、推定した最適加振層と精解の最適加振層は異なるが、●、○印で示した加振層の中に×印が含まれており、精解値とはほぼ調和的で、提案した手法の妥当性を確認できる。

2.4 応答比較

2.3節で算定した最適加振層での地動加振時と起振機加振時の応答比較を行い、本実験手法の妥当性を検証する。地動加振波ART-KobeのCase-2での、加振層である9層と、1層の相対変位時刻歴波形の比較を図3(a)に示す。9層の応答結果から、周期や特性が多少異なるモデルの逆伝達関数から作成した加振力であっても、目標応答と良好な対応を示すことがわかる。このため、本加振方法は非線形性の小さいモデルに対しては、十分に適用可能であると判断できる。1層の応答結果では、加振方法の違いから立ち上がり時間に遅れが生じ、位相ずれが確認できる。しかし、波形の傾向は良く捉えており評価できる。また、図3(b)に示す最大相対変位応答からも地動加振時応答との精度の良い一致を確認できる。図4に示した相対速度応答においても、時刻歴、最大値応答の両者において、起振機加振時応答は地動加振時応答と良好な対応を示すことが確認でき、本手

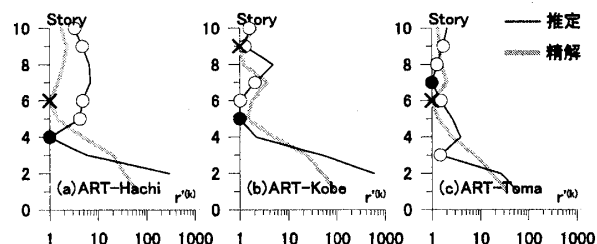


図2 推定値と精解値の誤差分布

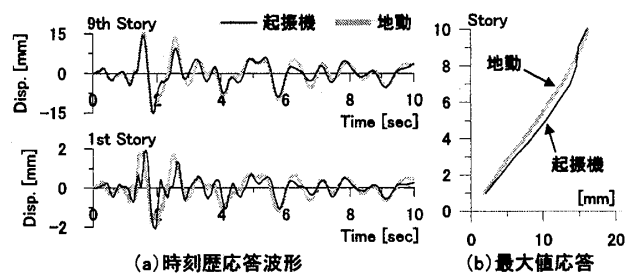


図3 相対変位応答の比較

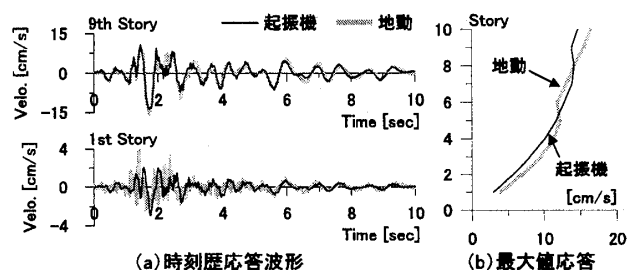


図4 相対速度応答の比較

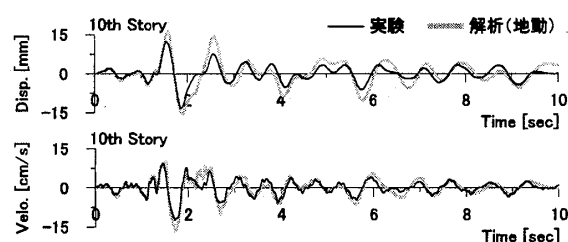


図5 実験値と解析値の応答比較

法の妥当性を検証することができた。

3. 実験結果

本報その4と同様、提案した実験手法の実験的検証を目的として、慣性質量装置を用いた加振実験を行った。実験値と解析値の比較として、地動加振波ART-KobeのCase-2、10層加振時における、当該層の相対変位・速度時刻歴応答結果を図5に示す。図5から、本報その4と同様、実験値は地動加振時の振動現象を再現できており、本実験手法の有効性を実現現象においても確認することができた。

4. まとめ

逆伝達関数を用いた加振力の作成手法およびモーダルナリシスの考えに基づいた最適加振層の推定手法を提案した。また、その有効性を解析と実験の両面から検証した。

*1 戸田建設(株) (元東京理科大学) *2 東京理科大学
*3 オイレス工業(株) *4 (株)日建設計

*1 Toda Corporation
*3 Oiles Corporation

*2 Tokyo Univ. of Science
*4 NIKKEN SEKKEI Ltd.