

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	免震層の非線形性を考慮したアクティブ制御系の等価モデルの構築と設計手法（その1：等価線形化モデルの構築）
Title(English)	Design method for active base isolation with nonlinear component Part 1: Construction of equivalent linear model
著者(和文)	宮本皓, 陳引力, 佐藤大樹, 余錦華
Authors(English)	Kou Miyamoto, Yinli Chen, Daiki Sato, Jinhua She
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, , pp. 545-546
Citation(English)	, , pp. 545-546
発行日 / Pub. date	2021, 9
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

免震層の非線形性を考慮したアクティブ制御系の等価モデルの構築と設計手法 (その 1: 等価線形化モデルの構築)

アクティブ制御 非線形 LQR
免震構造 アクティブ免震

正会員 ○宮本 皓^{*1} 同 陳 引力^{*2,3}
同 佐藤大樹^{*4} 同 余 錦華^{*5}

1. はじめに

地震から建築物を防ぎ、被害を最小限にすることを目的として、多くの建築物で免震構造を採用するケースが増えている¹⁾。特に日本では、兵庫県南部地震の後からその採用数が急激し、住宅やオフィスをはじめ、様々な用途の建築物に適用されている。また、近年では、制御性能をさらに向上させることを目的として、アクティブ制御と組み合わせる手法(アクティブ免震)も提案され、実現例も報告されている²⁾。アクティブ制御を用いることで、従来のパッシブ制御よりも見掛け上高い減衰定数が得られ、優れた制御性能が得られる一方で、設計のためのパラメーターが増える欠点がある。制御設計時のパラメータチューニングの方法はさまざまな方法が提案されており、特に、建築物のアクティブ制御を対象としたものとしては、筆者らによって、ベイズ最適化を用いたもの³⁾や、建築物の構造設計で用いられている応答スペクトルをアクティブ制御へ拡張した手法⁴⁾などがある。これらの研究は線形系を対象としたものであったが、多くの免震構造は非線形要素を含むため、非線形系への拡張を行うことで、より多くの建築物へ適用が可能となる。

本論文では、この問題を解決するために、履歴型ダンパーを有し、非線形特性を有する免震構造建築物を対象として、制御系設計時のパラメータチューニング法の提案を行う。本報その 1 では、等価線形化手法を用いて、非線形ダンパーを有するアクティブ免震モデルを等価な線形モデルへと変換し、そのときの系の減衰定数および固有周期である、等価減衰定数および等価剛性(等価固有周期)を算出する。本報その 2 では、その 1 で得られた等価線形化モデルと、非線形モデルの解析結果を比較することにより、妥当性の検討を行い、さらに、応答スペクトルを用いた、非線形特性をもつアクティブ免震の設計手法の提案を行う。

2. 制御対象モデルと入力地震波の概要

本研究では Fig. 1 で示される非線形ダンパー(履歴型ダンパー)を有するアクティブ免震のモデルを用いる。なお、モデルのパラメーターは Table 1 の通りである。

このモデルの運動方程式は次式により与えられる。

$$m\ddot{x}(t) + c_f\dot{x}(t) + k_f x(t) + F_d(t) = -m\ddot{x}_g(t) - u(t) \quad (1)$$

ここに、 x : 応答変位、 m : 質量、 k : 剛性、 c : 減衰係数、 F_d : ダンパーの復元力、 $\ddot{x}_g$: 地動加速度、 u : 制御力である。本研究は履歴型ダンパーを用い、その復元力の特性を Fig. 2 に示す。ここで、履歴ダンパーの剛性 k_d は次式で定義される。

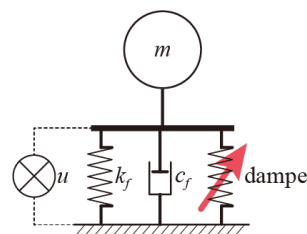


Fig. 1. Active isolation with hysteresis damper

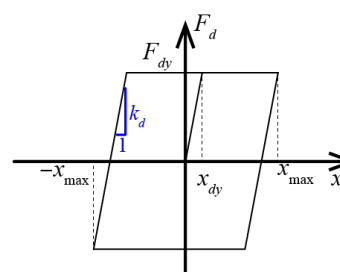


Fig. 2. Restoring force characteristics of hysteresis damper

Table 1. Parameters of structure

Mass	Stiffness	Damping coefficient
1.00 kg	9.87 N/m	0.13 Ns/m

$$k_d = \frac{F_{dy}}{x_{dy}} \quad (2)$$

式において、 F_{dy} はダンパーの降伏力であり、 x_{dy} は降伏変位である。ここで、ダンパーの降伏力は

$$F_{dy} = \alpha_{dy} mg \quad (3)$$

で与えられる。ここに、 g は重力加速度であり、 α_{dy} はダンパー降伏時のせん断力係数である。Table 2 に履歴型ダンパーのパラメーターを示す。

Table 2. Damper parameters

Parameter	Symbol	Value
Shear-force ratio	α_{dy}	0.03
Yield displacement	x_{dy}	0.03 m
Yield Force	F_{dy}	0.29 N
Initial stiffness	k_d	9.80 N/m

3. 制御系の設計

式(1)の運動方程式を次式の状態方程式に変換する。

$$\dot{\mathbf{z}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{z}(t) - \mathbf{B}_d F_d(t) + \mathbf{B}_g \ddot{x}_g(t) - \mathbf{B}_u u(t) \quad (4)$$

になる。ここに、 $\mathbf{z}$: 状態ベクトル、 $\mathbf{A}$: システムマトリックス、 $\mathbf{B}_d$: ダンパー入力ゲイン、 $\mathbf{B}_u$: 制御入力ゲイン、 $\mathbf{B}_g$: 地震入力ゲインである。 $\mathbf{z}$, $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}_u$, $\mathbf{B}_d$ は式(5)による。

$$\mathbf{z}(t) = \begin{bmatrix} x(t) \\ \dot{x}(t) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k}{m} & -\frac{c}{m} \end{bmatrix} \quad (5a, b)$$

$$\mathbf{B}_d = \mathbf{B}_u = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{m} \end{bmatrix}^T, \quad \mathbf{B}_g = \begin{bmatrix} 0 & -1 \end{bmatrix}^T. \quad (5c, d, e)$$

ここで、制御力 $u(t)$ は以下の制御則に従う。

$$u(t) = \mathbf{K}_p \mathbf{z}(t) = [\mathbf{K}_{PD} \quad \mathbf{K}_{PV}] [\mathbf{x}(t) \quad \dot{\mathbf{x}}(t)]^T \quad (6)$$

