

非線形ばねで支持された粘弾性ブロックの 振動減衰特性の有限要素解析

○ 山口 誉夫 齊藤 友明 永井 健一 丸山 真一 黒沢 良夫 松村 修二
(群馬大) (群馬大院) (群馬大) (群馬大) (富士重工) (富士重工)

Vibration Analysis of Damping Properties for a Viscoelastic Block Supported by a Nonlinear Spring Using FEM

Takao YAMAGUCHI Yoshio KUROSAWA Shuuji MATSUMURA
(Gunma Univ.) (Fuji Heavy Industries) (Fuji Heavy Industries)

非線形集中ばねで支持される粘弾性ブロックで発生する連成振動について、数値シミュレーションによる有限要素解析を行った。物理座標で定義された非線形離散化方程式を、系の線形固有振動形を基準座標とする非線形連立常微分方程式に変換して自由度を大幅に削減し、実用問題にも適用できる形式とした。非線形集中ばねと、粘弾性ブロックの散逸エネルギー分担量を解析し、系の振動減衰特性の変化による非線形共振応答への影響を検討した。

Key Words: 制振材、有限要素法、モード減衰、MSK法、調和バランス法

1. 緒言

機械構造物を集中ばねで支持し振動絶縁することがある。防振要素には荷重と変位の間に非線形性を持つものもある。一方、機械構造物は一般に弾性体であり、弾性体と非線形ばねを接続した問題の解明が重要である。著者らは構造物を線形有限要素により弾性体としてモデル化し、非線形集中ばねで支持した系の連成振動解析を行ってきた⁽¹⁾。本論では、線形ヒステリシス減衰を有する非線形集中ばねで粘弾性ブロックを支持し、鉛直方向の周期加振力を加え動的応答を解析する。また、ブロックと集中ばねの散逸エネルギー分担量を解析し、共振応答への影響を検討した。

2. 解析モデル

非線形集中ばねを接続した粘弾性ブロックのモデルを図1に示す。粘弾性ブロックは微小変形を仮定し、さらに複素弾性率を導入した有限要素法を用いた。図中の剛なガイドを設置し、ブロックのガイド面に法線方向の運動を拘束した。減衰を考慮しない条件での非線形集中ばねの復元力 $R_{\alpha x}$ -変位 $U_{\alpha x}$ 曲線を図2に示す。三次の非線形復元項を有する漸硬ばねとした。この特性に線形ヒステリシス減衰を与え以降の計算を行った。

3. 基礎式

図1のように粘弾性ブロックに非線形集中ばねが接続される場合を考える。この系の有限要素による離散化方程式を求める。

3.1 非線形集中ばねの離散化方程式 非線形集中ばねは図1の x 方向に弾性主軸を有するとする。非線形集中ばねと粘弾性ブロックが接合される節点 α の x 方向変位を $U_{\alpha x}$ とおく。ばねによる節点力 $R_{\alpha x}$ が次式で与えられる場合を考える。

$$R_{\alpha x} = \gamma_1 U_{\alpha x} + \gamma_2 U_{\alpha x}^2 + \gamma_3 U_{\alpha x}^3 \dots (1)$$

ただし、この集中ばねには線形ヒステリシス減衰を導入し $\gamma_1 = \bar{\gamma}_1(1+j\eta_s)$ とする。ここで、 $\bar{\gamma}_1$ は γ_1 の実数部、 η_s は集中ばねの材料損失係数、 j は虚数単位である。この関係をマトリックスで記述すると次式となる。

$$\{r\} = [\gamma_1]\{U_s\} + \{d\} \dots (2)$$

$$\{r\} = \{R_{\alpha x} \ R_{\alpha y} \ R_{\alpha z}\}^T, \quad \{U_s\} = \{U_{\alpha x} \ U_{\alpha y} \ U_{\alpha z}\}^T,$$

$$[\bar{\gamma}_1] = \begin{bmatrix} \gamma_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad \{d\} = \begin{Bmatrix} \gamma_2 U_{\alpha x}^2 + \gamma_3 U_{\alpha x}^3 \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix},$$

$$R_{\alpha y} = R_{\alpha z} = 0$$

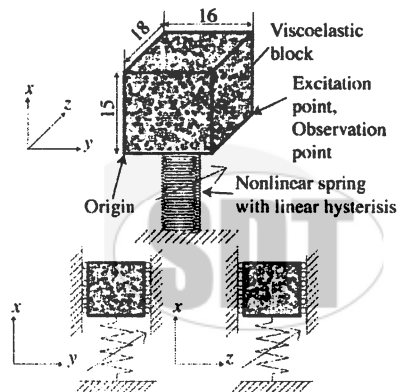


Fig.1 Schematic model for numerical analysis

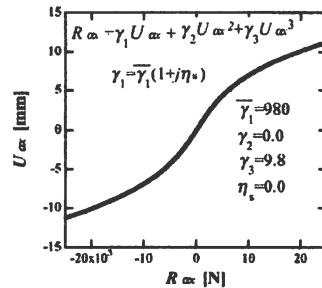


Fig.2 Restoring force of nonlinear concentrated spring