

弾性フレームに非線形集中ばねを接続した系の FEM 衝撃応答解析

山口 誉夫
(群馬大学)

○ 平野 雄大
(群馬大学院)

永井 健一
(群馬大学)

丸山 真一
(群馬大学)

Analysis of Impact Responses for Elastic Frames Connected by Nonlinear Springs with Hysteresis Using FEM

Takao YAMAGUCHI Yuta HIRANO
(Gunma Univ.) (Graduate School of Gunma Univ.)

Ken-ichi NAGAI Shinichi MARUYAMA
(Gunma Univ.)

有限要素を用いて、弾性フレームと非線形ばねを接続した系の解析を行った。弾性フレームは Z 軸方向のみ非線形集中ばねで支持し、XY 軸方向からは線形ばねで支持した。非線形集中ばねの復元力は三次の非線形を考慮し、ばねの減衰として線形ヒステリシス減衰を導入した。さらに、弾性フレームの剛性の相違による非線形衝撃応答への影響を考察した。

1. 緒言

機械構造物において、フレームを集中ばねで支持し振動絶縁することが行われる。そのため、フレームと非線形ばねを接続した系の振動の解析が必要となる。本論では、弾性フレームを、ヒステリシスを有する非線形集中ばねで Z 軸方向に 4 点支持し、X,Y 軸方向から線形集中ばねで支持した系を取り扱う。非線形離散化方程式を、線形固有振動形を基準座標とする運動方程式に変換し、大規模自由度問題の応答を自由度縮小し高速に解析を行った。さらに、フレームの剛性の相違による衝撃応答への影響を考察した。

2. 計算モデル

弾性フレームのモデルを図 1 に示す。外形寸法は 600mm × 200mm × 80mm で、中空部分の寸法は 500mm × 100mm × 80mm とし、フレーム質量密度は $7.8 \times 10^3 [\text{kg/m}^3]$ とした。弾性フレームは微小変形を仮定し、有限要素法を用い非適合モードを考慮した 8 節点 isoparametric solid 要素でモデル化した。集中ばねはフレームのコーナー部の 4 点に、それぞれ X,Y,Z 方向の 3 個を配置した。Z 方向は 3 次の非線形集中ばねとし、荷重 R_{mz} - 変位 U_{mz} 曲線を図 2 に示す。図 2 中の集中ばねは漸硬形の復元力を持ち、その線形成分は $\gamma_{1mz} = \bar{\gamma}_{mz} (1 + \eta_s)$ で表せる複素ばねとする。原点座標を、フレームの XY 平面の底面の中心とする。加振点座標をフレーム上の (-275,0,0)、応答点座標もフレーム上の (-275,-70,80) とする。また、剛性の低いフレームとして厚さを 10mm としたモデルを使用する。

3. 基礎式

図 1 のように、弾性フレームが複数の非線形集中ばねで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 非線形ばねの離散化方程式

$R_{mz} = \gamma_1 U_{mz} + \gamma_2 U_{mz}^2 + \gamma_3 U_{mz}^3$ のように m 番目の非線形集中ばねの節点力は変位 U_{mz} ($m=1,2,3,4$) の 3 次のべき級数で表現されるとする。行列で記述すると次式を得る。

$$\{r_m\} = [\bar{\gamma}_{1m}] \{U_s\} + \{\bar{d}_m\} \tag{1}$$

$\{r_m\}$ は非線形集中ばねの復元力ベクトル、 $\{U_s\}$ は節点変位ベクトル、 $[\bar{\gamma}_{1m}]$ は線形項の係数 r_{1m} のみを含む線形複素剛性行列、 $\{\bar{d}_m\}$ は非線形復元力ベクトルである。

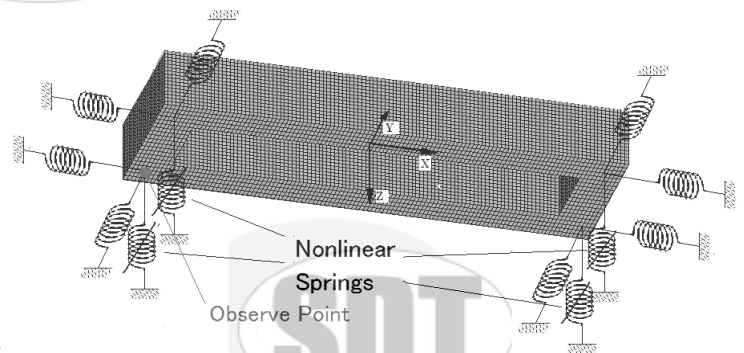


Fig1. Simulation model

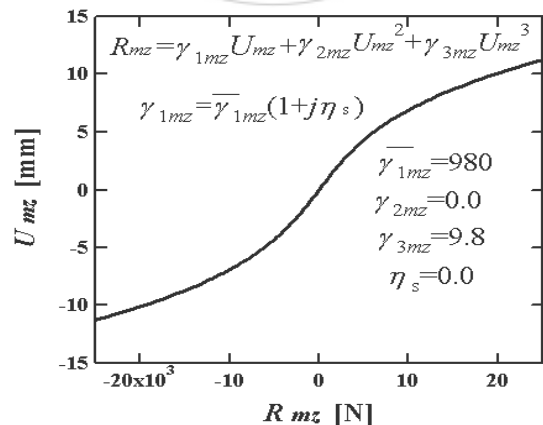


Fig2. Restoring force of nonlinear concentrated springs