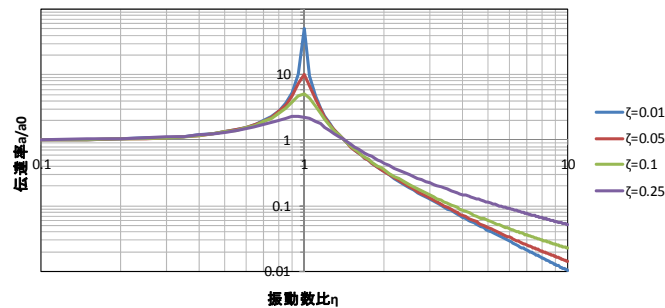


マスバネモデルによる周波数応答解析



株式会社エヌ・エス・ティ

1 周波数応答解析について

1.1 解析手法

周波数応答解析では、モード法と直接法を選択することができる。モード法は固有値解析の結果から得られる固有値とモードベクトルを用いて線形の応答解析を行うのに対して、直接法では組上げた剛性マトリクスと質量マトリクスから各加振振動数ごとに運動方程式を解いて応答を計算する。それぞれの特徴を以下に示す。

解析手法

① モード法

- ・ 規模が大きいモデルや、広い周波数範囲での計算に有利
- ・ モード減衰(周波数ごとに減衰係数を指定)を使用することが可能
- ・ モード数が多い場合(高次のモードまで必要な場合)には時間がかかる場合がある。

② 直接法

- ・ 比較的小規模のモデルや全体自由度数に対して対象となるモードが多い場合、もしくは計算する振動数範囲が狭い場合に有利
- ・ 非線形問題にも適用可能

周波数応答解析では一般に固有振動数近傍でより詳細に応答を求めることが多いことから、モード法を使用した例題を説明する。モード法では、解析対象の固有振動数とモード形状がどうなっているかをあらかじめ把握しておくことが重要であるため、周波数応答解析の前段階として固有値解析の実施についても説明する。

1.2 荷重定義

本例題では、周波数応答解析で広く利用される「ノード荷重」を使用する。荷重条件の設定方法は、力やモーメントを入力する場合と強制運動を入力する場合とで異なり、特に強制運動を入力する場合には大質量法(ラージマス法)による定義と直接強制運動定義のどちらかを選択する必要がある。直接強制運動定義は大質量法に比べて設定が容易であるが、モードのピーク値近傍以外でも精度よく応答を得たい場合は大質量法を使用する。

荷重条件

荷重(力 or モーメント)入力 : 構造物に正弦波振動荷重が入力される場合。

〈例〉 冷蔵庫内部のコンプレッサが、ある荷重・周波数で振動している

強制運動入力 : モデルの拘束点に強制加速度を作用させたい場合

〈例〉 構造物(モデル)が振動試験機に設置されており強制加速度が与えられる
(※強制変位・強制速度の場合も、周波数ごとに対応する加速度に直して定義する)

大質量法(ラージマス法)による定義

- 幅広い周波数で精度よく応答が求められる

直接強制運動定義

- 定義が容易
- ピークでの応答は精度よく求められる
- 実固有値解析からのリスタート解析ができない

1.3 減衰の定義

周波数応答解析では、減衰の値が応答に大きく影響する。

まず、減衰の定義について説明する。速度に比例する減衰力を生じる粘性減衰係数 C により運動方程式は以下のように記述される。

$$F = m\ddot{x} + C\dot{x} + Kx$$

一般的な比較を容易にするために減衰を無次元化したものが、次式の減衰比(臨界減衰比、減衰定数)である。

$$\text{減衰比: } \zeta = \frac{C}{C_0} = \frac{C}{2\sqrt{m \cdot K}}$$

C : 粘性減衰係数 単位は[力]÷[速度](単位例 [N・s/m]=[Kg/s])

m : 質量 (単位例 [kg])

K : 剛性 (単位例 [N/m])

C_0 : 臨界減衰係数 (単位例 [Kg/s])

単一材料に比べて機械構造物では締結や摩擦の影響により減衰比が大幅に大きくなり、実験により求めるか、実験をベースとする経験値を使用しなければならない。減衰の値の例を以下に示す。

一般機械構造物: $\zeta = 0.01 \sim 0.1$ (1~10%)

「機械のモーダルアナリシス」P.9 大久保信行

工作機械構造 : $\zeta = 0.005 \sim 0.04$ (0.5 ~ 4.0%) 「振動工学ハンドブック」P1106 谷口修
※「構造解析のための有限要素法実践ハンドブック」P.148(岸 正彦) に、代表的な著作物での減衰の一覧が記されている。

NASTRAN では、減衰比の定義方法が複数あり、Femap の「動解析に関する荷重セットオプション」(図 1.1.3-1)では、オーバーオール構造減衰係数(G)と、モーダル減衰テーブルの入力が可能である。

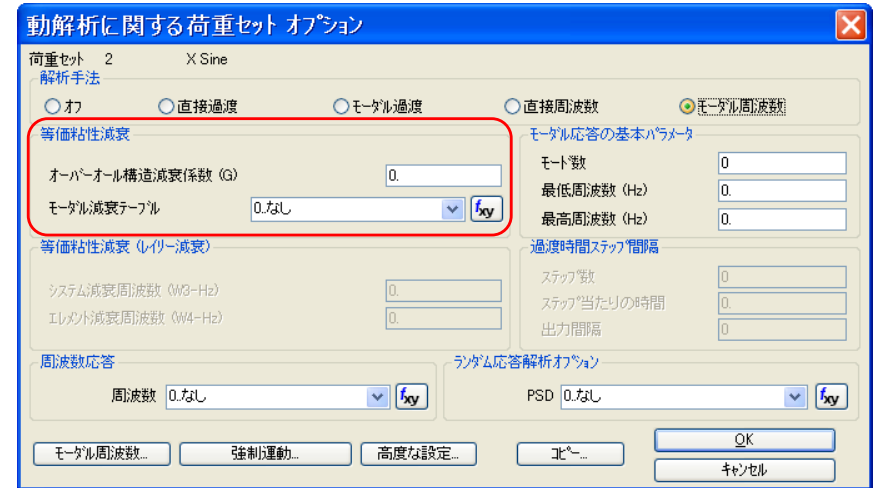


図 1.1.3-1 動解析の荷重設定

(1) オーバーオール構造減衰係数

各モードの応答ピークでは次式が成立する。

$$\text{構造減衰: } G = 2\zeta$$

(2) モーダル減衰テーブル

周波数ごとに減衰を定義することができる。この関数作成時に、「構造減衰比(2ζ) vs 周波数」「臨界減衰比($\zeta = C/C_0$) vs 周波数」「 Q 値 vs 周波数」を指定する。

$$Q \text{ 値: } Q = 1/G = 1/(2\zeta)$$

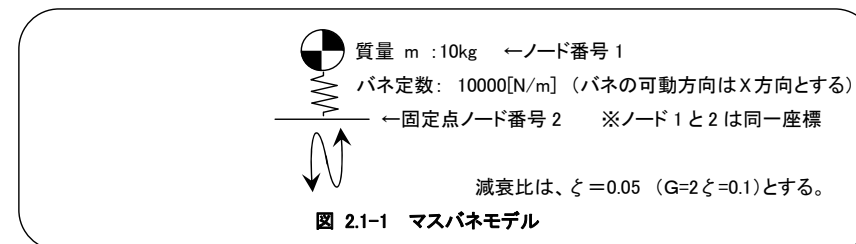
(3) マテリアルにおける減衰比の定義に関する注意

Femap のマテリアル定義において、「構造減衰比(M), $2C/C_0$ 」を入力することができるが、オーバーオール構造減衰・モーダル減衰テーブルと二重に減衰が考慮されてしまうため、モード法周波数応答解析ではマテリアルの構造減衰比はゼロとしておくべきである。

2 マスバネモデルによる周波数応答解析

2.1 解析モデル

図 2.1-1 に示すように、10kg の質量要素に、バネ定数 10000 [N/m] のバネを結合したマスバネモデルを作成する。このマスバネモデルの固定点側に強制加速度を与えた場合の質量要素の応答を求める。一般的な振動に関する専門書の多くに「1 自由度系」として記載されている例題であり、条件設定や大質量法について理解を深めることを目的とする。



Femap を立ち上げ、ファイルをあらかじめ名前を付けて保存しておく。今後、ファイルの保存については記載しないが、随時、必要に応じて実施する。

まず、同一座標に、2 つの節点(ノード番号 1 と 2)を作成する。

操作 【Menu】モデル ▶ ノード

→ID=1, X=0.,Y=0.,Z=0.

→ID=2, X=0.,Y=0.,Z=0. →

質量プロパティ 1 を作成し、質量要素を作成する。

操作 【Menu】モデル ▶ プロパティ →「質量」を選択→

→「質量,M または M_x 」に 10 を入力 →

操作 【Menu】モデル ▶ エレメント (「質量エレメントの定義」ウィンドウが開く)

→プロパティ 1 を選択

→「ノード」に 1 を入力 →

バネ要素のプロパティ(番号 2)を作成し、バネ要素を作成する。

操作 【Menu】モデル ▶ プロパティ →「DOF スプリング」選択→

→(2.1-2)接続自由度の端点 A・B ともに TX を選択、「剛性」10000 を入力

→

操作 【Menu】モデル ▶ エlement (「DOF スプリング エlement定義」ウィンドウが開く)

→(2.1-3)プロパティ 2 を選択、「ノード」に 1 と 2 を入力 →

以上で、図 2.1-4 に示すようなマスバネモデルが作成された。

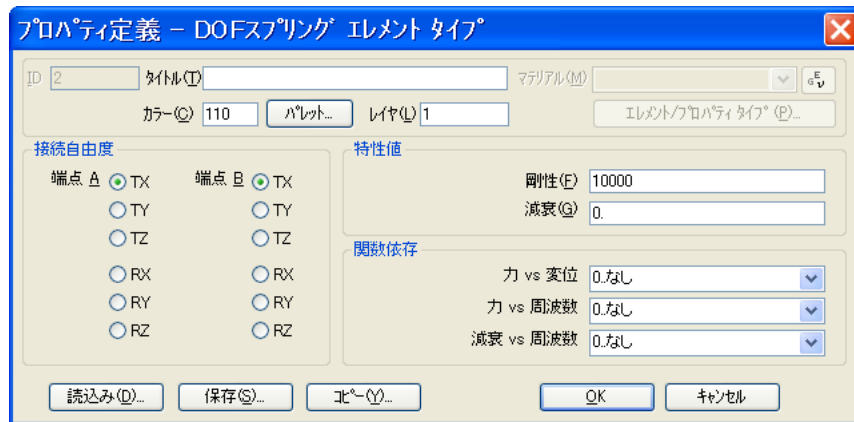


図 2.1-2 バネ要素プロパティの定義

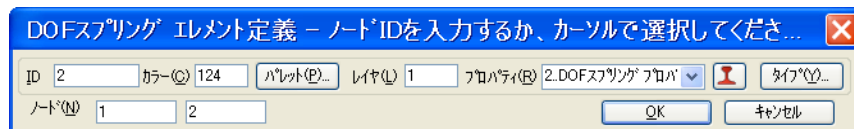


図 2.1-3 バネ要素の作成

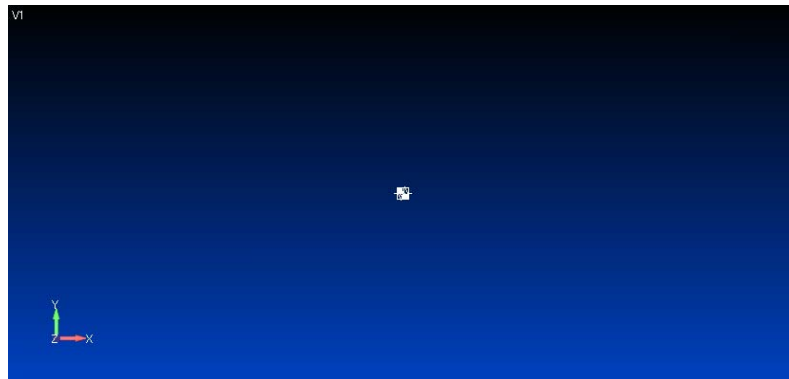


図 2.1-4 マスバネモデル