

## 振動の基礎知識

- 振動の表現
- 1自由度系の自由振動
  - 無減衰の系
  - 減衰のある系
- 1自由度系の強制振動
- モード解析

NX Nastran動解析講習会



株式会社 エヌ・エス・ティ  
Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

## 振動の表現

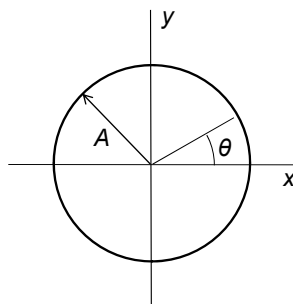
### 単振動の表現

半径 $A$ の等速円運動は、位相角 $\theta = \omega t + \varphi$  (角速度 $\omega$ の運動、 $\varphi$ は位相遅れ)とすると、

$$x\text{座標: } x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$$

$$y\text{座標: } y(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

で表されます。



NX Nastran動解析講習会



株式会社 エヌ・エス・ティ  
Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

## 振動の表現

### 等速円運動の写像

等速円運動

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi), y(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$$

を複素数で表すと、

$$z(t) = A e^{i(\omega t + \varphi)} \quad i \text{は虚数単位} \quad (i^2 = -1)$$

と書けます。(∵  $e^{i\theta} = \cos \theta + i \sin \theta$ :オイラーの公式)

NX Nastran動解析講習会



株式会社 エヌ・エス・ティ  
Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

## 1自由度系の自由振動

### 無減衰の系

この系の運動方程式は、

$$m \ddot{x} + kx = 0$$

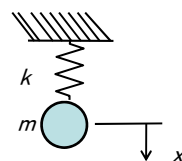
となります。ここで  $x(t) = C e^{\lambda t}$  とおくと、

$$\dot{x} = C \lambda e^{\lambda t}$$

$$\ddot{x} = C \lambda^2 e^{\lambda t}$$

になるので、運動方程式に代入すると、

$$m \ddot{x} + kx = m C \lambda^2 e^{\lambda t} + k C e^{\lambda t} = C (m \lambda^2 + k) e^{\lambda t} = 0$$



NX Nastran動解析講習会



株式会社 エヌ・エス・ティ  
Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

# 1自由度系の自由振動

## 無減衰の系(つづき)

となり、一般に  $C, e^{\lambda t}$  は0ではないので、これより、

$$m \lambda^2 + k = 0 \quad \leftarrow \text{特性方程式という}$$

これを解くと、

$$\lambda = \pm i \sqrt{\frac{k}{m}}$$

ゆえに一般解は、 $\bar{C}$  を  $C$  の共役複素数とすると

$$x(t) = C e^{i \sqrt{\frac{k}{m}} t} + \bar{C} e^{-i \sqrt{\frac{k}{m}} t}$$

NX Nastran動解析講習会



株式会社 エヌ・エス・ティ  
Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

# 1自由度系の自由振動

## 無減衰の系(つづき)

オイラーの公式をつかうと、

$$\begin{aligned} x(t) &= C \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + i C \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t + \bar{C} \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t - i \bar{C} \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t \\ &= (C + \bar{C}) \cos \sqrt{\frac{k}{m}} t + i(C - \bar{C}) \sin \sqrt{\frac{k}{m}} t = A \cos \omega_n t + B \sin \omega_n t \end{aligned}$$

$$A = C + \bar{C}$$

$$B = i(C - \bar{C})$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \leftarrow \text{固有円振動数}$$

NX Nastran動解析講習会

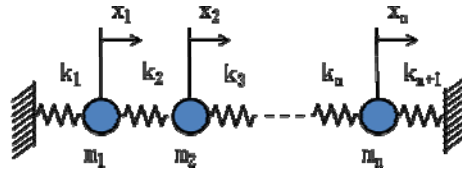


株式会社 エヌ・エス・ティ  
Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

## モード解析

### 多自由度系の自由振動

無重力中における図のような  
 $n$ 自由度の系を考えます。  
 この運動方程式は、



$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2 x_2 &= 0 \\ m_2 \ddot{x}_2 - k_2 x_1 + (k_2 + k_3)x_2 - k_3 x_3 &= 0 \\ &\vdots \\ m_{n-1} \ddot{x}_{n-1} - k_{n-1} x_{n-2} + (k_{n-1} + k_n)x_{n-1} - k_n x_n &= 0 \\ m_n \ddot{x}_n - k_n x_{n-1} + (k_n + k_{n+1})x_n &= 0 \end{aligned}$$

NX Nastran動解析講習会



株式会社 エヌ・エス・ティ  
 Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

## モード解析

### 多自由度系の自由振動(つづき)

ここで、

$$[M] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & m_2 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & m_n \end{bmatrix}$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & \cdots & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & k_{n-1} + k_n & -k_n \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & -k_n & k_n + k_{n+1} \end{bmatrix}$$

NX Nastran動解析講習会



株式会社 エヌ・エス・ティ  
 Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

# モード解析

## 多自由度系の自由振動(つづき)

および

$$\{x\} = \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{Bmatrix}$$

とおくと、 $n$ 個の運動方程式は

$$[M]\{\ddot{x}\} + [K]\{x\} = \{0\}$$

一般的にどのような系でもこのように書き下せます。

NX Nastran動解析講習会



株式会社 エヌ・エス・ティ  
Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

# NX Nastran動解析の定義

## 動解析に必要な定義

### ◆固有値解析

- 固有値解析手法の指定
- 計算周波数範囲の指定

### ◆周波数応答解析

- 固有値計算周波数範囲の指定(モード法のみ)
- 動的荷重の設定
- 周波数応答計算範囲の指定

### ◆過渡応答解析

- 固有値計算周波数範囲の指定(モード法のみ)
- 動的荷重の設定
- 計算時間範囲、時間刻みの指定

NX Nastran動解析講習会



株式会社 エヌ・エス・ティ  
Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

## NX Nastranのインプットデータ

### インプットデータの例

```

ID Femap, Femap
SOL SEMFREQ
TIME 10000
CEND
DISPLACEMENT (SORT1, PLOT, PHASE) = ALL
ACCELERATION (SORT1, PLOT, PHASE) = ALL
SPC = 2
DLOAD = 1
METHOD = 1
FREQUENCY = 1
BEGIN BULK
PARAM, POST, -1
PARAM, AUTOSPC, YES
EIGRL
PARAM, G, 1
RLOAD2
FORCE
DLOAD
FREQ
+
TABLED2
+
SPC1
SPC1
SPC1
SUPPORT
GRID
GRID
CONM2
+EL 4
ENDDATA
    
```

**Executive Control section**  
 解析手法の指定  
 計算時間(限度)の設定  
 など

**Case Control section**  
 荷重条件の指定  
 拘束条件の指定  
 出力データの指定など

**Bulk Data section**  
 パラメータ  
 構造データ  
 荷重データなど

NX Nastran動解析講習会



株式会社 エヌ・エス・ティ  
 Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

## 動解析で用いるNX Nastran のインプットデータ

- 固有値解析定義 EIGRL
- 周波数等解析定義 FREQ(FREQ1)
- 過渡応答解析定義 TSTEP
- 動的荷重セット定義 DLOAD
- 周波数依存荷重セット定義 RLOAD2
- 時間依存荷重セット定義 TLOAD1
- 荷重(倍率)セット定義 FORCE(DAREA)
- 周波数依存倍率テーブル定義 TABLED2

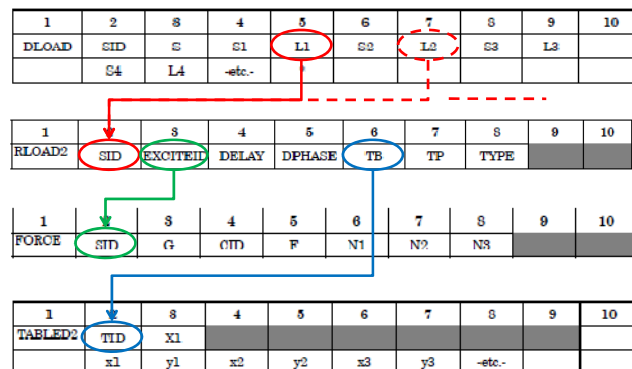
NX Nastran動解析講習会



株式会社 エヌ・エス・ティ  
 Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

## 動的荷重の定義について

### 動的な荷重定義のパターン(おさらい)



NX Nastran動解析講習会

Real FEA Made Easy  
**FEMAP**

株式会社 エヌ・エス・ティ  
 Numerical Simulation Tech Co., Ltd.

## 解析結果について

### NX Nastranのアウトプット

NX Nastranの解析実行をすると、\*\*\*\*.log、\*\*\*\*.f04、\*\*\*\*.f06などのファイルが出力されます。

解析結果などが出力されるf06ファイルについて、動解析結果出力の見方を紹介します。

f06ファイルに出力される情報は、

- (1) 計算条件などの確認 (ECHO)
- (2) モデル情報 (通常はサマリのみの出力する)
- (3) モデル全体の質量などの計算結果
- (4) 剛性の特異点リスト (SINGULARITY)
- (5) 固有値一覧
- (7) 有効質量比
- (5) エラーメッセージ

などになります。

NX Nastran動解析講習会

Real FEA Made Easy  
**FEMAP**

株式会社 エヌ・エス・ティ  
 Numerical Simulation Tech Co., Ltd.