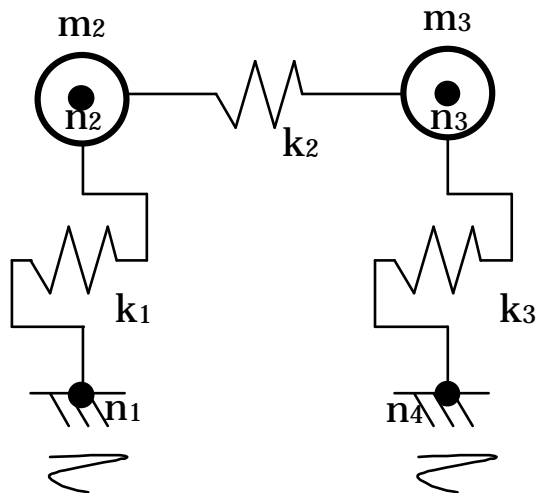


## 建物の2地点以上に複数の地震波を入力して解析したいとき（位相差入力）

建物の2地点に異なる地震波が入力される場合の力の釣り合いを考えます。

## （方法1）履歴入力を用いて解く場合

- 絶対地動加速度  $\ddot{z}_1, \ddot{z}_4$  を履歴入力で  $n_1, n_4$  に与えます。



$n_1$  の釣り合い

$$k_1 \cdot (y_1 - y_2) = R_1 \quad (R_1 \text{ は } n_1 \text{ 支点の反力}) \quad \dots (1)$$

$n_2$  の釣り合い

$$m_2 \cdot \ddot{y}_2 + k_1 \cdot (y_2 - y_1) + k_2 \cdot (y_2 - y_3) = 0 \quad \dots (2)$$

$n_3$  の釣り合い

$$m_3 \cdot \ddot{y}_3 + k_3 \cdot (y_3 - y_4) + k_2 \cdot (y_3 - y_2) = 0 \quad \dots (3)$$

$n_4$  の釣り合い

$$k_3 \cdot (y_4 - y_3) = R_4 \quad (R_4 \text{ は } n_4 \text{ 支点の反力}) \quad \dots (4)$$

$m_2$  :  $n_2$  節点の質量

$m_3$  :  $n_3$  節点の質量

$k_1, k_2, k_3$  : 剛性

$y_1, y_2, y_3, y_4$  : 各節点の絶対応答

上式を整理すると

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{y}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_1 \\ 0 \\ 0 \\ R_4 \end{Bmatrix} \quad \dots (5)$$

ここで変数  $\ddot{y}_1, \ddot{y}_4, y_1, y_4$  は履歴入力値で既知であり  $\ddot{y}_1 = \ddot{z}_1, \ddot{y}_4 = \ddot{z}_4, y_1 = z_1, y_4 = z_4$  です。

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{z}_1 \\ \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \\ \ddot{z}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} z_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ z_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} R_1 \\ 0 \\ 0 \\ R_4 \end{Bmatrix} \quad \dots (6)$$

よって(6)式を残りの未知数に関する式に書き直すと

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2+k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} k_1 \cdot z_1 \\ k_3 \cdot z_4 \end{Bmatrix} \quad \dots (7)$$

**履歴入力により現れる荷重**

上式を解くことにより絶対応答  $\ddot{y}_2, \ddot{y}_3, y_2, y_3$  を求めることができます。

<補足>

減衰を考慮した場合に(7)式は以下ようになります。

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{y}_2 \\ \ddot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2+c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{y}_2 \\ \dot{y}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2+k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} y_2 \\ y_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} c_1 \cdot \dot{z}_1 \\ c_3 \cdot \dot{z}_4 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} k_1 \cdot z_1 \\ k_3 \cdot z_4 \end{Bmatrix} \quad \dots (7)$$

**履歴入力により現れる荷重項**

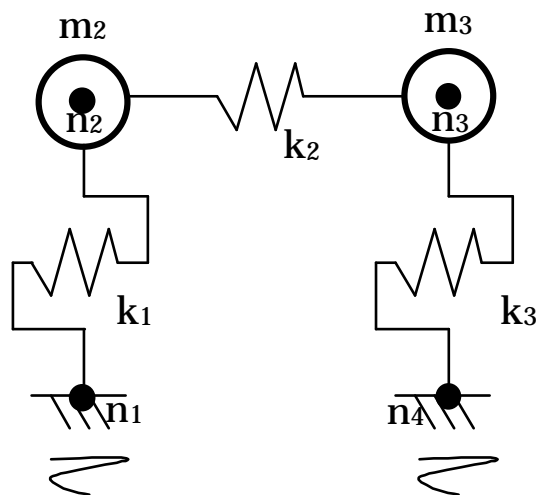
SNAP を使用して解析する場合の注意事項：

$n_1, n_4$  節点の絶対地動変位  $z_4$  と絶対地動速度  $\dot{z}_4$  は、プログラムが Newmark- 法により積分して算出します。

解析結果として、 $n_1 \sim n_4$  節点の絶対変位（速度、加速度）応答が得られます。 $n_1$  節点に対する相対変位にする場合は、別途、 $n_1$  節点の絶対地動変位（速度、加速度）を差し引く必要があります。

(方法2) 地動加速度入力と履歴入力を組み合わせて用いる場合

- ・ 支点  $n_1$  を基準とし、その点に絶対地動加速度  $\ddot{z}_1$  を通常の入力地震波として与えます。
- ・ 支点  $n_4$  に  $n_1$  からの相対地動加速度  $\ddot{z}_4$  を履歴入力を与えます。



支点  $n_1$  を基準点とした場合、建物の応答  $x_1, x_2, x_3, x_4$  は基準点からの相対値となり下式のように定義します。

$$y_1 = x_1 + z_1 \quad \dots (8)$$

$$y_2 = x_2 + z_1 \quad \dots (9)$$

$$y_3 = x_3 + z_1 \quad \dots (10)$$

$$y_4 = x_4 + z_1 \quad \dots (11)$$

(8) ~ (11)を(1) ~ (4)に代入します。

$$(1)から \quad k_1 \cdot (x_1 - x_2) = R_1 \quad \dots (12)$$

$$(2)から \quad m_2 \cdot (\ddot{x}_2 + \ddot{z}_1) + k_1 \cdot (x_2 - x_1) + k_2 \cdot (x_2 - x_3) = 0 \quad \dots (13)$$

$$(3)から \quad m_3 \cdot (\ddot{x}_3 + \ddot{z}_1) + k_3 \cdot (x_3 - x_4) + k_2 \cdot (x_3 - x_2) = 0 \quad \dots (14)$$

$$(4)から \quad k_3 \cdot (x_4 - x_3) = R_4 \quad \dots (15)$$

上式を整理すると

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{x}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1 + k_2 & -k_2 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{Bmatrix} = - \begin{Bmatrix} 0 \\ m_2 \\ m_3 \\ 0 \end{Bmatrix} \ddot{z}_1 + \begin{Bmatrix} R_1 \\ 0 \\ 0 \\ R_4 \end{Bmatrix} \quad \dots (16)$$

ここで入力地震波  $\ddot{z}_1 = \ddot{y}_1$  から (8) 式より  $\ddot{x}_1 = 0, x_1 = 0$  となります。また、変数  $\ddot{x}_4, x_4$  は履歴入力値で既知であり  $\ddot{x}_4 = \ddot{z}_4, x_4 = z_4$  です。

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{z}_4 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 & -k_1 & 0 & 0 \\ -k_1 & k_1+k_2 & -k_2 & 0 \\ 0 & -k_2 & k_2+k_3 & -k_3 \\ 0 & 0 & -k_3 & k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 0 \\ x_2 \\ x_3 \\ z_4 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ m_2 \ddot{z}_1 \\ m_3 \ddot{z}_1 \\ 0 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} R_1 \\ 0 \\ 0 \\ R_4 \end{Bmatrix} \cdots (17)$$

よって残りの未知数に関する式に書き直すと下式のようにになります。

$$\begin{bmatrix} m_2 & 0 \\ 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2+k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} m_2 \\ m_3 \end{Bmatrix} \ddot{z}_1 + \begin{Bmatrix} 0 \\ k_3 z_4 \end{Bmatrix} \cdots (18)$$

地動加速度入力による荷重項 履歴入力により現れる荷重項

上式を解くことにより支点  $n_1$  からの相対応答  $\ddot{x}_2, \ddot{x}_3, x_2, x_3$  を求めることができます。

< 補足 >

減衰を考慮した場合に(18)式は以下のようにになります。

$$\begin{bmatrix} m_2 & 0 \\ 0 & m_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1+c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2+c_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1+k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2+k_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_2 \\ x_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} m_2 \\ m_3 \end{Bmatrix} \ddot{z}_1 + \begin{Bmatrix} 0 \\ c_3 \dot{z}_4 \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} 0 \\ k_3 z_4 \end{Bmatrix} \cdots (18)$$

履歴入力により現れる荷重項

SNAP を使用して解析する場合の注意事項：

$n_4$  節点の相対地動変位  $z_4$  と相対地動速度  $\dot{z}_4$  は、プログラムが Newmark- 法により積分して算出します。

解析結果として、 $n_2 \sim n_4$  節点の  $n_1$  節点に対する相対変位（速度、加速度）応答が得られます。