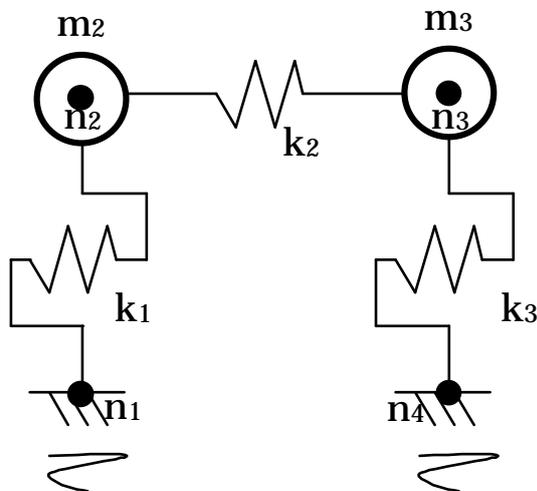


建物の2地点以上に複数の地震波を入力して解析したいとき（位相差入力）

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

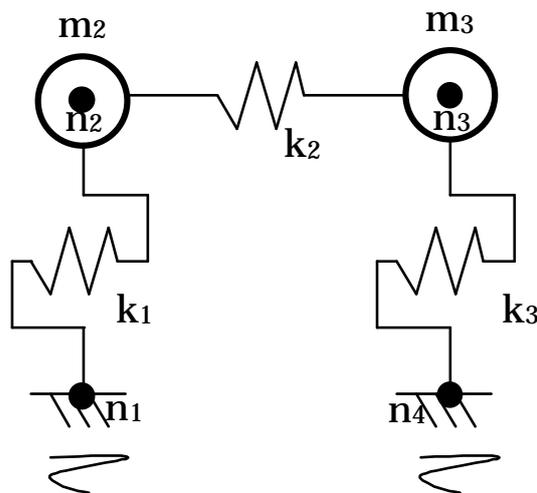
SNAP を使用して解析する場合の注意事項：

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ようになります。

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

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)式は以下ようになります。

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

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。