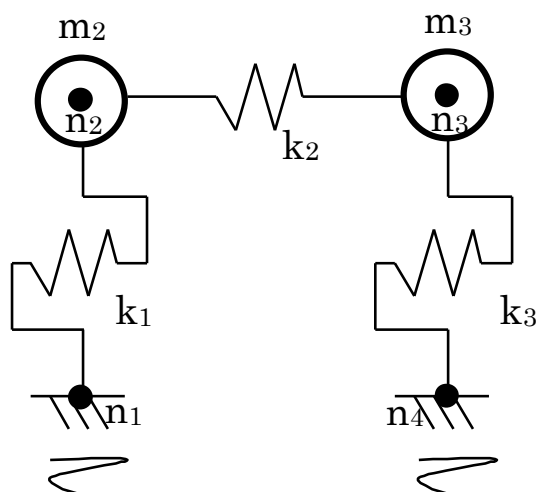


在 2 点以上设置多条地震波记录的时程分析（相位差输入）

在 2 点以上设置多个不同地震波时需考虑力的平衡关系。

（方法 1）使用输入记录时

- 在 n_1, n_4 点设置绝对地动加速度 \ddot{z}_1, \ddot{z}_4 。



在 n_1 处的平衡关系

$$k_1 \cdot (y_1 - y_2) = R_1 \quad (R_1 \text{ 为 } n_1 \text{ 支座反力}) \quad \dots (1)$$

在 n_2 处的平衡关系

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

在 n_3 处的平衡关系

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

在 n_4 处的平衡关系

$$k_3 \cdot (y_4 - y_3) = R_4 \quad (R_4 \text{ 为 } n_4 \text{ 支座反力}) \quad \dots (4)$$

m_2 : n_2 节点质量

m_3 : n_3 节点质量

k_1, k_2, k_3 : 刚度

y_1, y_2, y_3, y_4 : 各节点的绝对相应

整理上述可得：

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

式中、变量 $\ddot{y}_1, \ddot{y}_4, y_1, y_4$ 根据输入记录为已知参数: $\ddot{y}_1 = \ddot{z}_1, \ddot{y}_4 = \ddot{z}_4, y_1 = z_1, y_4 = z_4$ 。

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

从而, 式 (6) 的未知参数可表示为:

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

作为荷载项的输入记录

从上式可计算绝对相应 $\ddot{y}_2, \ddot{y}_3, y_2, y_3$ 。

<补充>

若考虑结构阻尼衰减式(7)可改写为:

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

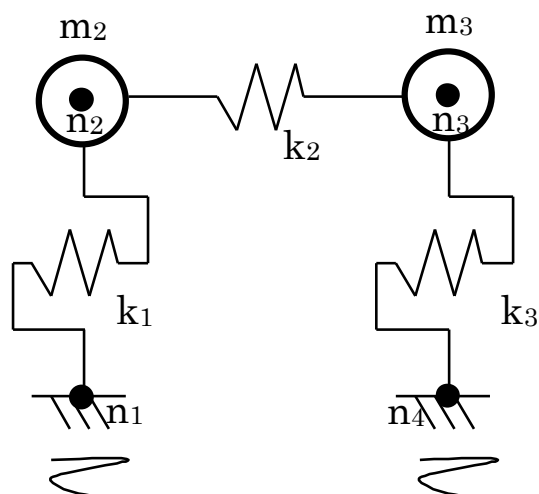
作为荷载项的输入记录

使用 SNAP 程序的注意事项:

- ① 程序采用 Newmark- β 法, 积分计算 n_1 、 n_4 节点的绝对地动位移 z_4 和绝对地动速度 \dot{z}_4 。
- ② 计算结果为 $n_1 \sim n_4$ 节点的绝对位移 (速度、加速度)。若计算相对于 n_1 节点的相对位移, 需减去 n_1 节点的绝对地动位移 (速度、加速度)。

(方法 2) 使用地动加速度和时程记录时

- 以制作 n_1 为基准、以地震波作为该点的绝对地动加速度 \ddot{z}_1 。
- 在支座 n_4 处输入相对于支座 n_1 的**相对**地动加速度 \ddot{z}_4 。



当以支座 n_1 为基准时、结构相应 x_1, x_2, x_3, x_4 均为基准点的相对值，并按下式计算。

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

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

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

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

将式(8)~(11)代入(1)~(4)。

$$\text{式(1)改写为 } k_1 \cdot (x_1 - x_2) = R_1 \quad \dots (12)$$

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

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

$$\text{式(4)改写为 } k_3 \cdot (x_4 - x_3) = R_4 \quad \dots (15)$$

整理上式可得：

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

这时, 根据输入地震波 $\ddot{z}_1 = \ddot{y}_1$ 和式 (8) 可得 $\ddot{x}_1 = 0, x_1 = 0$ 。另外, 参数 \ddot{x}_4, x_4 为已知输入记录值 $\ddot{x}_4 = \ddot{z}_4, x_4 = z_4$ 。

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

整理上式, 未知参数可表示为:

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

作为荷载项的地动加速度 作为荷载项的输入记录

求解上式, 可根据支座 n_1 计算相对相应 $\ddot{x}_2, \ddot{x}_3, x_2, x_3$ 。

<补充>

若考虑结构阻尼衰减式(18)可改写为:

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

作为荷载项的输入记录

... (18)'

使用 SNAP 程序的注意事项:

- ① SNAP 程序采用 Newmark- β 法积分计算支座节点 n_4 的相对地动位移 z_4 和相对地动速度 \dot{z}_4 。
- ② 节点 $n_2 \sim n_4$ 的计算结果为相对于节点 n_1 的相对位移 (速度、加速度)。