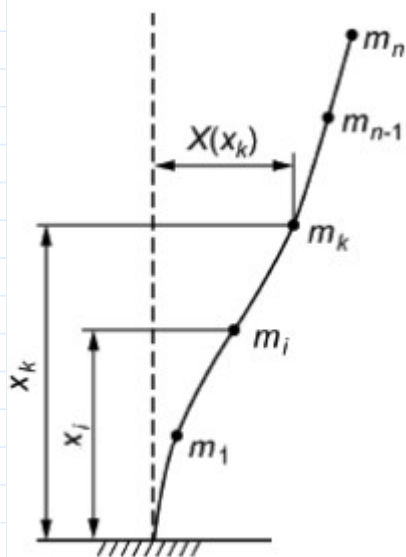


Расчёт на сейсмическое воздействие с применением консольной РДМ по линейно-спектральному методу СП 14.13330.2018 методом сил

Расчётная динамическая модель РДМ

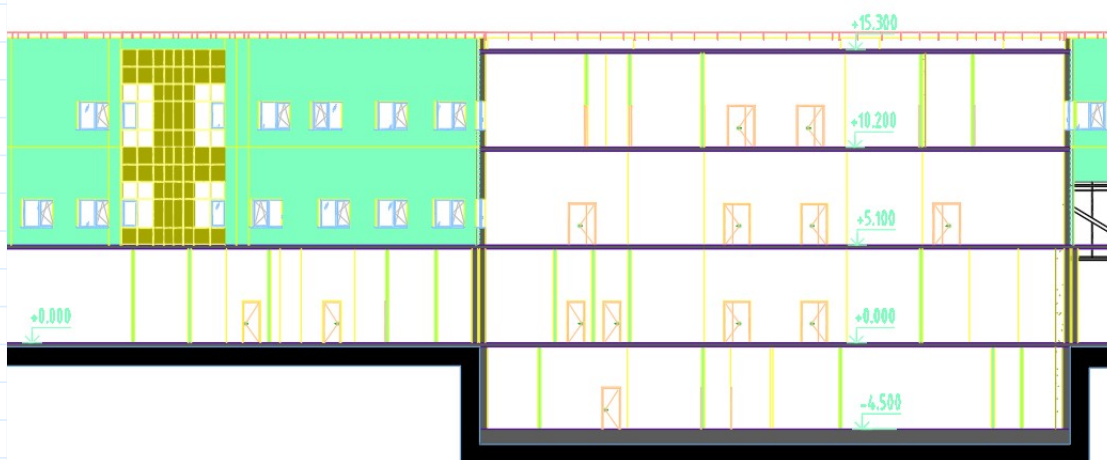


Модуль упругости бетона

$$E := 36000 \text{ МПа}$$

Плотность бетона

$$\gamma := 2750 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$



Толщина диафрагм

$$td := \begin{bmatrix} 300 \\ 300 \\ 300 \end{bmatrix} \text{ мм}$$

Длина диафрагм

$$ld := \begin{bmatrix} 7.2 \\ 7.2 \\ 7.2 \end{bmatrix} \text{ м}$$

Количество диафрагм

$$n_d := 8$$

Толщина перекрытий

$$tp := \begin{bmatrix} 200 \\ 200 \\ 200 \end{bmatrix} \text{ } m$$

Отметки этажей

$$x_i := \begin{bmatrix} 5.1 \\ 10.2 \\ 15.3 \end{bmatrix} \text{ } m$$

Площади этажей

$$la := \begin{bmatrix} 1650 \\ 1650 \\ 1650 \end{bmatrix} \text{ } m^2$$

Постоянные нагрузки

$$dlv := \begin{bmatrix} 2 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} \cdot kPa$$

Временные нагрузки

$$llv := \begin{bmatrix} 4 \\ 4 \\ 2 \end{bmatrix} \cdot kPa$$

Момент инерции диафрагм

$$I := \frac{\overrightarrow{td} \cdot ld^3}{12} \cdot n_d$$

$$EI := E \cdot I$$

$$n := \text{rows}(x_i) = 3$$

Общая длина

$$L := x_{i_{n-1}} = 15.3 \text{ } m$$

коэффициент учёта
других конструкций

$$k_w := 1.1$$

Матрица масс

$$M := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \left\| M_{i,i} \leftarrow \left(tp_i \cdot \gamma + \frac{dlv_i}{g} + \frac{llv_i}{g} \right) \cdot la_i \cdot k_w \right\| \\ M \end{array} \right\|$$

$$M = \begin{bmatrix} 2.108721 \cdot 10^3 & 0 & 0 \\ 0 & 2.108721 \cdot 10^3 & 0 \\ 0 & 0 & 1.923642 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \text{ } \textit{tonne}$$

Моменты от единичных сил

$$M_i(x, xi, S) := \begin{cases} \text{if } x \leq xi \\ \quad \| M \leftarrow S \cdot xi - S \cdot x \\ \text{else} \\ \quad \| M \leftarrow 0 \quad \textcolor{blue}{kN} \cdot m \end{cases}$$

Матрица податливости

$$\delta := \begin{array}{|l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \begin{array}{|l} \text{for } j \in 0..n-1 \\ \quad \quad \quad \int_0^L \frac{M_i(x, x_{i_i}, 1 \text{ } \mathbf{kN}) \cdot M_i(x, x_{i_j}, 1 \text{ } \mathbf{kN})}{EI_i} dx \\ \quad \quad \quad D_{i,j} \leftarrow \end{array} \end{array}$$

$$\delta = \begin{bmatrix} 0.000000016461 & 0.000000041174 & 0.00000006583 \\ 0.000000041174 & 0.000000131621 & 0.000000230376 \\ 0.00000006583 & 0.000000230376 & 0.000000444246 \end{bmatrix} \quad kN \cdot m$$

$$d := \delta \cdot M = \begin{bmatrix} 0.00003471 & 0.00008682 & 0.00012663 \\ 0.00008682 & 0.00027755 & 0.00044316 \\ 0.00013882 & 0.0004858 & 0.00085457 \end{bmatrix} \quad \text{tonne} \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Собственные значения

$$\lambda := \text{eigenvals}(d) = \begin{bmatrix} 0.00113514 \\ 0.00002785 \\ 0.00000385 \end{bmatrix} \quad \text{tonne} \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Круговая частота

$$\omega := \sqrt{\frac{1}{\lambda}} = \begin{bmatrix} 29.680754 \\ 189.506777 \\ 509.927222 \end{bmatrix} \frac{1}{s \cdot kN}$$

Период

$$T := \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = \begin{bmatrix} 0.211692 \\ 0.033155 \\ 0.012322 \end{bmatrix} s \cdot kN$$

Техническая частота

$$f := \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \begin{bmatrix} 4.723839 \\ 30.16094 \\ 81.157438 \end{bmatrix} \frac{1}{s \cdot kN}$$

Собственные векторы

$$U := \text{eigenvecs}(d) = \begin{bmatrix} -0.137345 & -0.571014 & -0.802976 \\ -0.465668 & -0.66231 & 0.564473 \\ -0.874237 & 0.485065 & -0.191312 \end{bmatrix}$$

$$vx := \text{stack}(0 \ m, x_i) = \begin{bmatrix} 0 \\ 5.1 \\ 10.2 \\ 15.3 \end{bmatrix} m$$

$$vy := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0..n-1 \\ \quad \left\| \begin{array}{l} vy_i \leftarrow \text{stack}(0, U^{(i)}) \\ \end{array} \right\| \\ \quad vy \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} [4 \times 1] \\ [4 \times 1] \\ [4 \times 1] \end{bmatrix}$$

$$c0 := \text{cspline}(vx,vy_0)$$

$$U_0(x) := \text{interp}(c0,vx,vy_0,x)$$

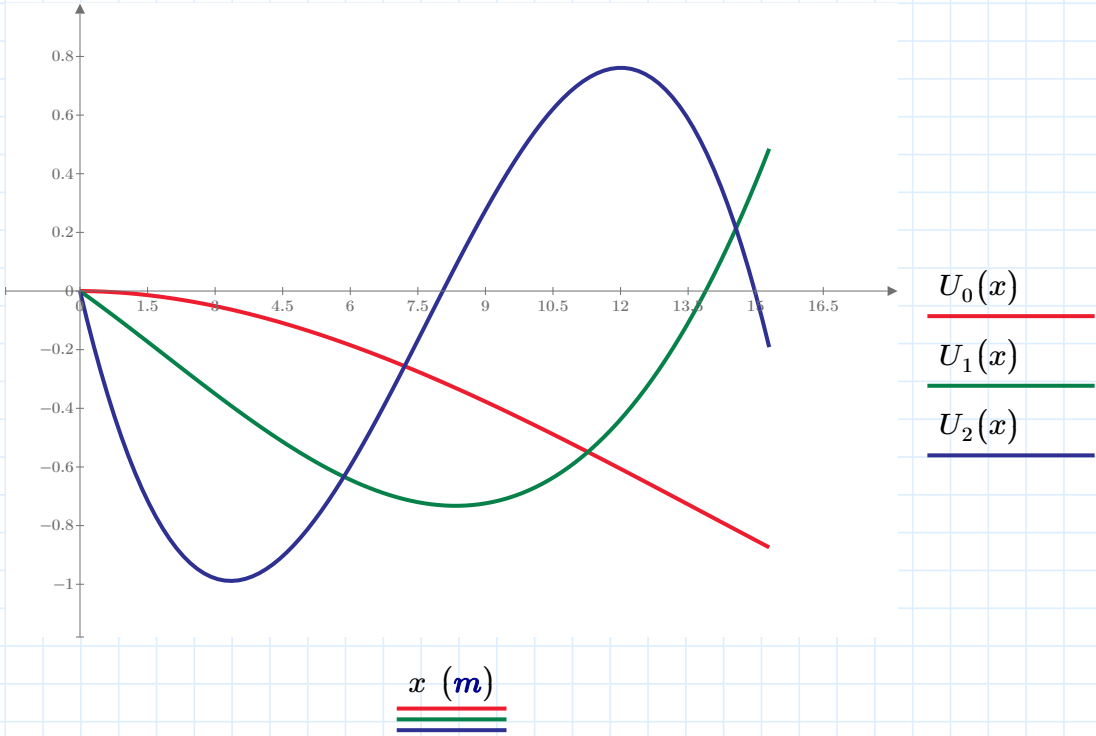
$$c1 := \text{cspline}(vx,vy_1)$$

$$U_1(x) := \text{interp}(c1,vx,vy_1,x)$$

$$c2 := \text{cspline}(vx,vy_2)$$

$$U_2(x) := \text{interp}(c2,vx,vy_2,x)$$

Формы колебаний $x := 0 \text{ } \textcolor{blue}{m}, \frac{L}{100} .. L$



Матрица весов масс

$$G := M \cdot \textcolor{green}{g} = \begin{bmatrix} 2.067949 \cdot 10^4 & 0 & 0 \\ 0 & 2.067949 \cdot 10^4 & 0 \\ 0 & 0 & 1.886449 \cdot 10^4 \end{bmatrix} \textcolor{blue}{kN}$$

$$E1 := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0 \dots n-1 \\ \quad \left\| E_i \leftarrow 1 \right\| \\ \quad E \end{array} \right\| \right\| = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

коэффициент, зависящий от формы деформации здания или сооружения при его собственных колебаниях по i-й форме, от узловой точки приложения рассчитываемой нагрузки и направления сейсмического воздействия

$$\eta := \left\| \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0 \dots n-1 \\ \quad \left\| \eta_i \leftarrow \frac{\langle U^{(i)} \rangle^T \cdot G \cdot E1}{\langle U^{(i)} \rangle^T \cdot G \cdot U^{(i)}} \cdot U^{(i)} \right\| \right\| \right\| = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.206186 \\ 0.699071 \\ 1.312423 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 0.461098 \\ 0.53482 \\ -0.391694 \\ 0.332716 \\ -0.233892 \\ 0.079271 \end{bmatrix} \end{bmatrix}$$

Проверка

$$\left(\eta_0 \right)_0 + \left(\eta_1 \right)_0 + \left(\eta_2 \right)_0 = 1$$

$$\left(\eta_0 \right)_1 + \left(\eta_1 \right)_1 + \left(\eta_2 \right)_1 = 1$$

$$\left(\eta_0 \right)_2 + \left(\eta_1 \right)_2 + \left(\eta_2 \right)_2 = 1$$

значение ускорения в уровне основания

$$A_s := 4 \frac{m}{s^2}$$

коэффициент, учитывающий назначение сооружения и его ответственность

$$K_0 := 1.1$$

коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения зданий и сооружений

$$K_1 := 0.3$$

коэффициент, учитывающий способность зданий и сооружений к рассеиванию энергии

$$K_\psi := 1$$

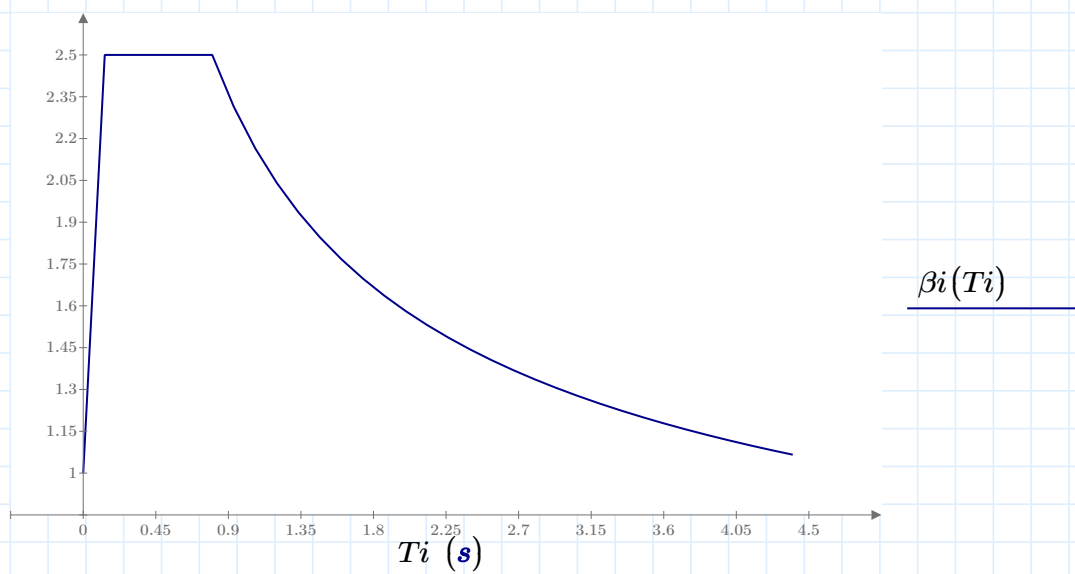
Категории грунтов

$$soil := 3$$

$$\beta_i(T) := \begin{cases} \text{if } soil = 1 \\ \quad \text{if } T \leq 0.1 \, s \\ \quad \quad \beta_i \leftarrow 1 + 15 \cdot \frac{T}{s} \\ \quad \text{else if } 0.1 \, s < T < 0.4 \, s \\ \quad \quad \beta_i \leftarrow 2.5 \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad \beta_i \leftarrow 2.5 \cdot \left(\frac{0.4 \cdot s}{T} \right)^{0.5} \\ \text{else} \\ \quad \text{if } T \leq 0.1 \, s \\ \quad \quad \beta_i \leftarrow 1 + 15 \cdot \frac{T}{s} \\ \quad \text{else if } 0.1 \, s < T < 0.8 \, s \\ \quad \quad \beta_i \leftarrow 2.5 \\ \quad \text{else} \\ \quad \quad \beta_i \leftarrow 2.5 \cdot \left(\frac{0.8 \cdot s}{T} \right)^{0.5} \\ \text{if } \beta_i < 0.8 \\ \quad \beta_i \leftarrow 0.8 \\ \beta_i \end{cases}$$

Значения коэффициента динамичности

$$T_i := 0 \text{ s}, \frac{2 \text{ s}}{15} .. 4.5 \text{ s}$$



$$\beta := \left\| \left\| \text{for } i \in 0 .. n-1 \right. \right\| = \begin{bmatrix} 2.5 \\ 1.497332 \\ 1.184826 \end{bmatrix}$$

$$\left\| \left\| \beta_i \leftarrow \beta_i \left(\frac{T_i}{kN} \right) \right. \right\|$$

$$S_0 := \left\| \left\| \text{for } i \in 0 .. n-1 \right. \right\|$$

$$\left\| \left\| S_{0_i} \leftarrow M \cdot \eta_i \cdot A_s \cdot \beta_i \cdot K_\psi \right. \right\|$$

$$\left\| S_0 \right\|$$

Расчетная сейсмическая нагрузка

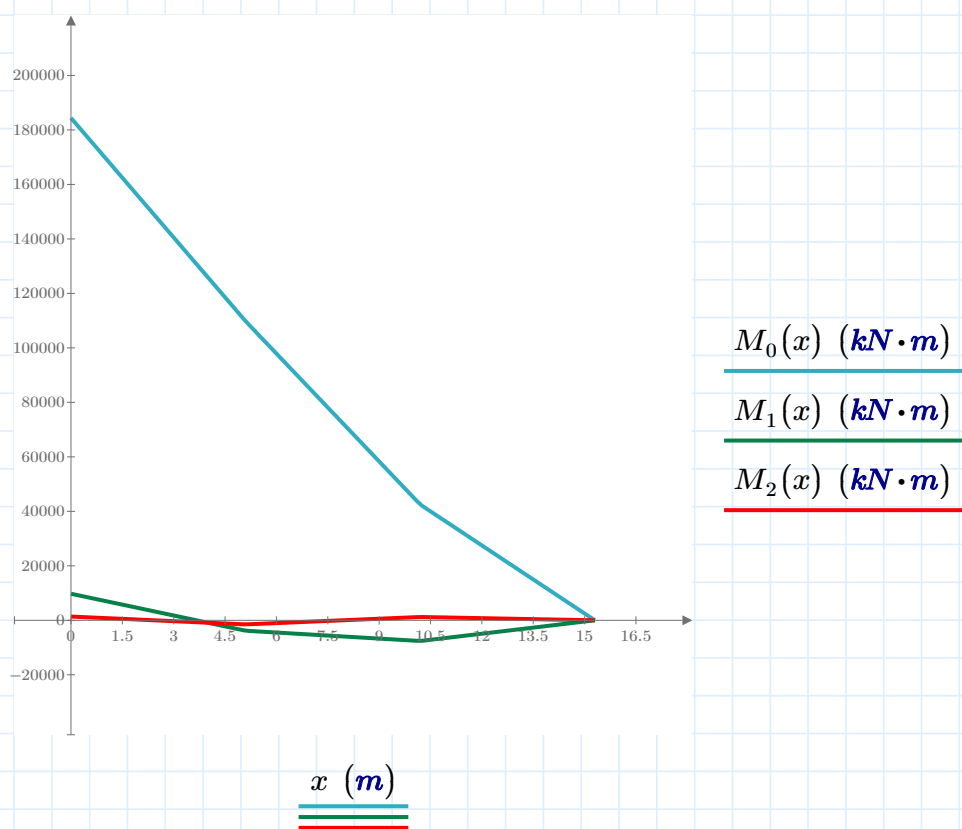
$$S := K_0 \cdot K_1 \cdot S_0 = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} 1.434801 \cdot 10^3 \\ 4.864683 \cdot 10^3 \\ 8.331289 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1.921783 \cdot 10^3 \\ 2.229047 \cdot 10^3 \\ -1.489235 \cdot 10^3 \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} 1.097291 \cdot 10^3 \\ -771.36976 \\ 238.487732 \end{bmatrix} \end{bmatrix} \text{ kN}$$

$$M_0(x) := M_i \left(x, x_{i_0}, \left(S_0^{\widehat{0}} \right)_0 \right) + M_i \left(x, x_{i_1}, \left(S_0^{\widehat{1}} \right)_0 \right) + M_i \left(x, x_{i_2}, \left(S_0^{\widehat{2}} \right)_0 \right)$$

$$M_1(x) := M_i \left(x, x_{i_0}, \left(S_1^{\widehat{0}} \right)_0 \right) + M_i \left(x, x_{i_1}, \left(S_1^{\widehat{1}} \right)_0 \right) + M_i \left(x, x_{i_2}, \left(S_1^{\widehat{2}} \right)_0 \right)$$

$$M_2(x) := M_i \left(x, x_{i_0}, \left(S_2^{\widehat{0}} \right)_0 \right) + M_i \left(x, x_{i_1}, \left(S_2^{\widehat{1}} \right)_0 \right) + M_i \left(x, x_{i_2}, \left(S_2^{\widehat{2}} \right)_0 \right)$$

Изгибающие моменты в диафрагмах по формам



$$M_0(0 \text{ m}) = 184405.971 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

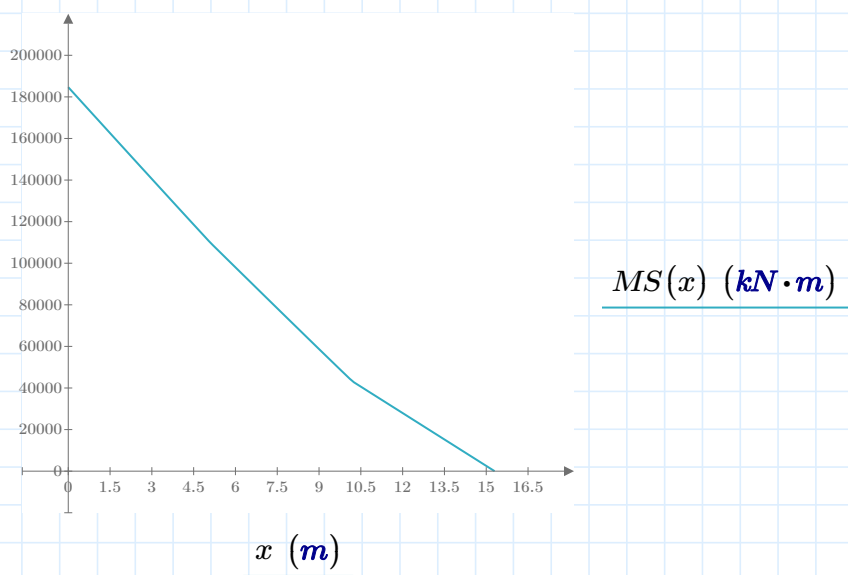
Суммарная эпюра моментов

$$M_0(x) := \left(M_i \left(x, x_{i_0}, \left(S_0^{\widehat{0}} \right)_0 \right) + M_i \left(x, x_{i_1}, \left(S_0^{\widehat{1}} \right)_0 \right) + M_i \left(x, x_{i_2}, \left(S_0^{\widehat{2}} \right)_0 \right) \right)^2$$

$$M_1(x) := \left(M_i \left(x, x_{i_0}, \left(S_1^{\widehat{0}} \right)_0 \right) + M_i \left(x, x_{i_1}, \left(S_1^{\widehat{1}} \right)_0 \right) + M_i \left(x, x_{i_2}, \left(S_1^{\widehat{2}} \right)_0 \right) \right)^2$$

$$M_2(x) := \left(M_i \left(x, x_{i_0}, \left(S_2^{\widehat{0}} \right)_0 \right) + M_i \left(x, x_{i_1}, \left(S_2^{\widehat{1}} \right)_0 \right) + M_i \left(x, x_{i_2}, \left(S_2^{\widehat{2}} \right)_0 \right) \right)^2$$

$$MS(x) := \sqrt{M_0(x) + M_1(x) + M_2(x)}$$



$$MS(0 \text{ m}) = 184668.788 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Перемещения от сейсмического воздействия

$$\Delta := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0 \dots n-1 \\ \left\| \begin{array}{l} \Delta_{i,0} \leftarrow \int_0^L \frac{M_i(x, x_{i_i}, 1 \text{ } \textcolor{blue}{kN}) \cdot M_0(x)}{EI_i} dx \\ \Delta_{i,1} \leftarrow \int_0^L \frac{M_i(x, x_{i_i}, 1 \text{ } \textcolor{blue}{kN}) \cdot M_1(x)}{EI_i} dx \\ \Delta_{i,2} \leftarrow \int_0^L \frac{M_i(x, x_{i_i}, 1 \text{ } \textcolor{blue}{kN}) \cdot M_2(x)}{EI_i} dx \end{array} \right\| \\ \Delta \end{array} \right\|$$

$$\Delta_i := \left\| \begin{array}{l} \text{for } i \in 0 \dots n-1 \\ \left\| \begin{array}{l} \Delta_{i_i} \leftarrow \frac{\sqrt{\Delta_{i,0}^2 + \Delta_{i,1}^2 + \Delta_{i,2}^2}}{\textcolor{blue}{kN}} \end{array} \right\| \end{array} \right\| = \begin{bmatrix} 0.772445 \\ 2.618627 \\ 4.916202 \end{bmatrix} \textcolor{blue}{mm}$$

$$vy\Delta := \text{stack}(0, \Delta_i) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.772445 \\ 2.618627 \\ 4.916202 \end{bmatrix} \textcolor{blue}{mm}$$

$$c := \text{cspline}(vx, vy\Delta) \quad \Delta i(x) := \text{interp}(c, vx, vy\Delta, x)$$

Перемещения

