

算例 1-029

框架-大弯曲变形

例题注释

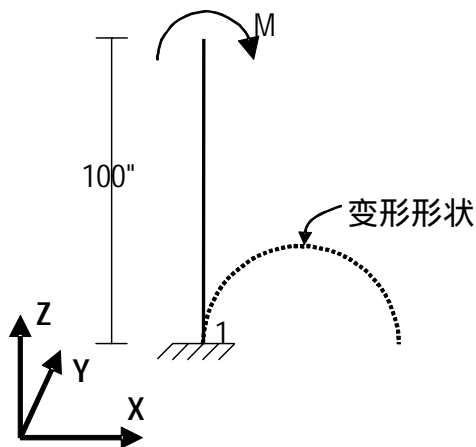
本例中使用了一个基底固接的悬臂柱进行 SAP2000 中大弯曲变形的静力非线性分析。一个集中弯矩 M 被施加在柱子的顶部。弯矩 M 不断的增加直到柱顶的转角等于 π 弧度 (180 度)。达到假设变形形状后的柱顶竖直和水平位移以及所需要的弯矩值都与手算结果进行了对比。

本例中运行了标签为 A、B 和 C 的不同模型。除了柱子剖分的细致程度不同外，模型的其它方面是相同的，柱子剖分细度对与 A、B 和 C 模型分别为 4, 16 和 64。

经过运行分析，使用 **显示菜单 > 显示变形形状** 命令显示变形形状。为了得到较好的变形形状，不要选择三次曲线选项，选择显示比例调整系数为 1。

注意对于这个具有弯曲大变形的问題，非线性静力分析工况的交互作用收敛容差被设为 1E-06。大变形问題经常需要严格的收敛容差。

几何、属性和荷载参数



材料属性

$E = 29,000 \text{ k/in}$

截面属性

W4X13

$A = 3.83 \text{ in}^2$

$I = 11.3 \text{ in}^4$

框架对象的剖分

模型 A: 每个框架对象 4 等分

模型 B: 每个对象 16 等分

模型 C: 每个框架 64 等分

校验的 SAP2000 的技术特色

- 在 SAP2000 中使用 P - 效应与大变形叠加来进行框架结构弯曲大变形的静力非线性分析。

结果对比

因为本例中柱子仅抵抗弯矩作用，它将有一个圆形的弯曲。因此，手算结果是从一个圆形属性计算出位移的。手算弯矩结果是使用 Roark and Young 1975 中 91 页文章 7.1 的等式 4 进行计算的。对于薄板和厚板结果进行了分别输出。

模型	剖分数量	输出参数	SAP2000	手算解	差异百分比
A	4	$U_x(\text{节点 } 2)_{in}$	65.328	63.662	+2.62%
		$U_z(\text{节点 } 2)_{in}$	-100	-100	0%
		弯矩 k-in	10295	10295	0%
B	16	$U_x(\text{节点 } 2)_{in}$	63.764	63.662	+0.16%
		$U_z(\text{节点 } 2)_{in}$	-100	-100	0%
		弯矩 k-in	10295	10295	0%
C	64	$U_x(\text{节点 } 2)_{in}$	63.668	63.662	+0.01%
		$U_z(\text{节点 } 2)_{in}$	-100	-100	0%
		弯矩 k-in	10295	10295	0%

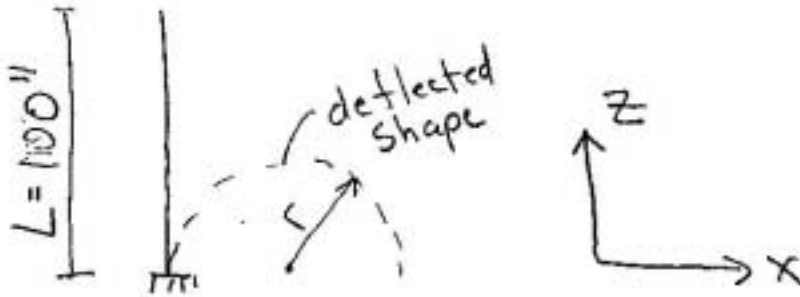
PROGRAM NAME: SAP2000
REVISION NO.: 0

计算模型文件: Example 1-029a, Example 1-029b, Example 1-029c

结论

SAP2000 的结果与手算结果之间的误差都是可以接受的。当面单元剖分数量增加时，剖分后模型更接近原型时。SAP2000 结果和手算结果将更加接近。

手算过程



$$\underline{\underline{\Delta_z = -100''}}$$

$$L = \pi r$$

$$r = \frac{L}{\pi}$$

$$\Delta_x = 2r = \frac{2L}{\pi} = \frac{2 \times 100}{\pi}$$

$$\underline{\underline{\Delta_x = 63.661977}}$$

Roark and Young
Chapter 7, Article 7.1, page 91, equation 4

$$R = \frac{EI}{M} = \text{radius of curvature}$$

$$M = \frac{EI}{R}$$

$$R = \frac{L}{\pi}$$

$$M = \frac{\pi EI}{L} = \frac{\pi \times 29000 \times 11.3}{100}$$

$$M = \underline{\underline{10295 \text{ K-m}}}$$