

算例 2-019

壳 - 大弯曲位移

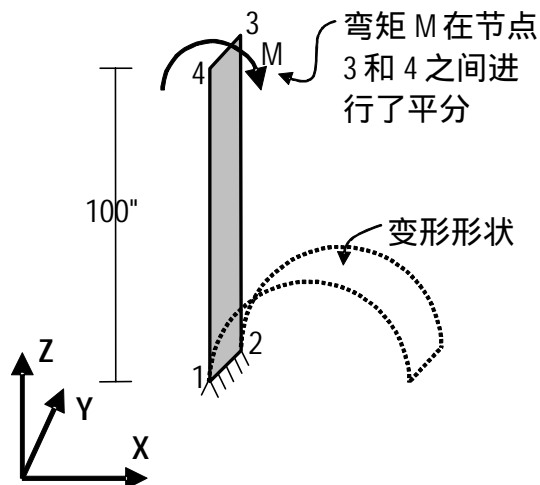
例题注释

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，并在两个节点之间进行了等分。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 1x4 (宽乘高), 1x16 和 1x64。为了检验 SAP2000 中面自动剖分特征，所有的模型都是单一的面对象，并按照指定进行自动剖分。

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，在表格区域内不要选择三次曲线选项，选择显示比例调整系数为 1。

几何、属性和荷载参数



材料属性

$E = 3600 \text{ k/in}$

截面属性

宽度 = 12 in

厚度 = 1 in

节点 1 和 2 的约束

U_x, U_y, U_z, R_y

面对象的剖分

模型 A: 宽度 1 高度 4

模型 B: 宽度 1 高度 16

模型 C: 宽度 1 高度 64

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壳结构弯曲大变形的静力非线性分析。
- 面自动剖分

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。

薄板选项

模型	剖分数 量	输出参数	SAP2000	手算解	差异百分 比
A	1x4	U _x (节点) in	65.334	63.662	+2.6%
		U _z (节点 4) in	-99.999	-100	0%
		M _y (节点 1) k-in	-56.574	-56.549	0%
B	1x16	U _x (节点 4) in	63.764	63.662	+0.2%
		U _z (节点 4) in	-99.999	-100	0%
		M _y (节点 1) k-in	-56.550	-56.549	0%
C	1x64	U _x (节点 4) in	63.669	63.662	0%

Software Verification

PROGRAM NAME: SAP2000
REVISION NO.: 0

		U _z (节点 4) in	-99.997	-100	0%
		M _y (节点 1) k-in	-56.546	-56.549	0%

PROGRAM NAME: SAP2000
REVISION NO.: 0

厚板选项

模型	剖分数 量	输出参数	SAP2000	手算解	差异百分 比
A	1x4	U_x (节点 4) in	65.333	63.662	+2.6%
		U_z (节点 4) in	-99.999	-100	0%
		M_y (节点 1) k-in	-56.574	-56.549	0%
B	1x16	U_x (节点 4) in	63.764	63.662	+0.2%
		U_z (节点 4) in	-99.999	-100	0%
		M_y (节点 1) k-in	-56.550	-56.549	0%
C	1x64	U_x (节点 4) in	63.669	63.662	0%
		U_z (节点 4) in	-99.997	-100	0%
		M_y (节点 1) k-in	-56.546	-56.549	0%

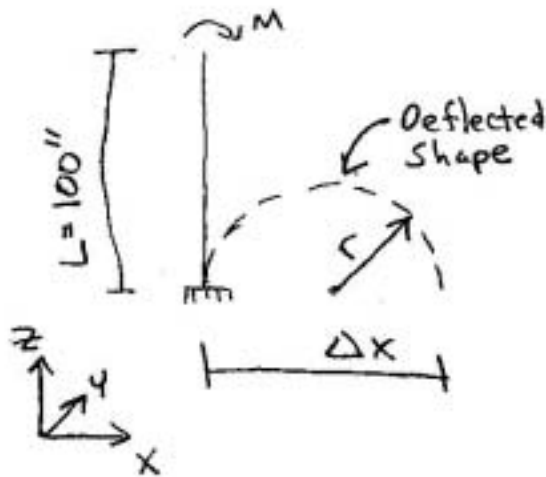
PROGRAM NAME: SAP2000
REVISION NO.: 0

计算模型文件: Example 2-019a-thick, Example 2-019a-thin,
 Example 2-019b-thick, Example 2-019b-thin,
 Example 2-019c-thick, Example 2-019c-thin

结论

无论对于厚板还是薄板，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，剖分后模型将更接近圆形。SAP2000 结果和手算结果将更加接近。

手算过程



$$\underline{\underline{\Delta z = -100 \text{ in}}}$$

$$L = \pi r$$

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

$$\Delta x = 2r = \frac{2L}{\pi}$$

$$\Delta x = \frac{2 \times 100}{\pi}$$

$$\underline{\underline{\Delta x = 63.661977 \text{ in}}}$$

Roark and Young 1975
Chapter 7, Article 7.1, page 91, equation 4

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

$$M = \frac{EI}{R} \text{ and } R = \frac{L}{\pi}$$

$$M = \frac{\pi EI}{L} = \frac{\pi \times 3600 \times \left(\frac{12 \times 1^3}{12}\right)}{100} = 113.0973 \text{ k in}$$

M is split equally between joints 1 and 2

$$M_{\text{at joint 1}} = \frac{113.0973}{2} = \underline{\underline{56.549 \text{ K in}}}$$