

算例 2-007

壳 – 静载下的半球壳结构

问题描述

在本例中，分析了一个半球壳结构的四个 2kip 边部点荷载的效应，这些荷载位于球的水平大圆上，间隔 90 度，符合交错发生变化。将点荷载作用位置的荷载作用方向上的位移与已发表的手算解进行了比较。

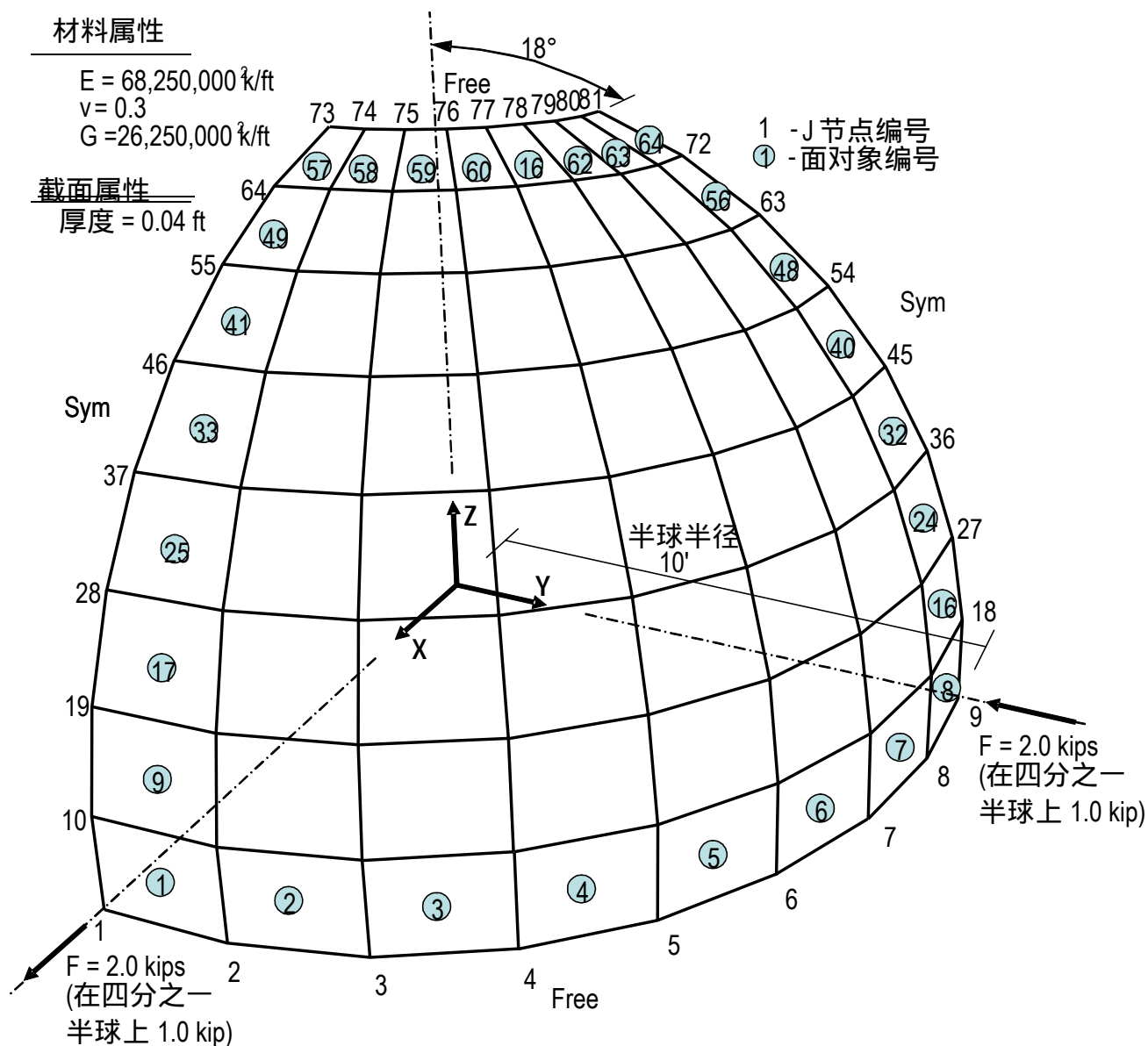
MacNeal and Harder 1985 一书给出了模型的几何特性、属性和荷载。该半球壳体厚 4ft，半径为 10ft。为了避免引进三角形单元，在半球的顶部开洞，如下页的图所示。

半球的顶边和底边是自由的。按照 MacNeal and Harder 1985 的建议，只对其四分之一部分进行了建模。对该四分之一半球施加了对称的边界条件。对该四分之一结构采用了 8x8 网格剖分。

为了正确地施加对称边界条件，将每个节点的局部坐标轴旋转，以使局部坐标 1 轴的方向与从半球中心点到所考察点的向量方向一致。换句话说，局部坐标 1 轴的方向为所考察点的径向。局部坐标 2 轴的方向为水平向，于半球表面相切。

按照上一段所述的节点局部坐标轴的描述，按如下方法施加边界条件。节点 1, 10, 19, 28, 37, 46, 55, 64 和 73 的 U_2 和 R_3 自由度被约束。节点 9, 18, 27, 36, 45, 54, 63, 72 和 81 的 U_2 和 R_3 自由度也被约束。另外，在底边的中心（节点 5 处）施加了竖向约束以维持结构稳定。

几何特性、属性和荷载



所测试的 SAP2000 技术要点：

- 采用壳元时的三维分析
- 节点局部坐标轴
- 节点荷载

结果比较

MacNeal and Harder 1985 一书指出，当壳体顶部中心没有开洞时，在荷载方向该点作用处的位移的最小理论解为 0.0924。用于与中心点存在的模型比较时，该书进一步建议取 0.0940ft。在比较中采用的值为 0.0940ft。

壳类型	输出参数	SAP2000	手算解	差值百分比
薄板	U_x (节点 1) ft	0.0939	0.0940	0%
	U_y (节点 9) ft	-0.0939	-0.0940	0%
厚板	U_x (节点 1) ft	0.0927	0.0940	-1%
	U_y (节点 9) ft	-0.0927	-0.0940	-1%

注意到本例中厚板模型的变形比薄板模型的变形小。这是因为厚板的弯曲刚度比薄板的大。因此，对于薄板模型，如果与弯曲变形相比剪切变形为小值的话，厚板的变形会比薄板变形小。

计算模型文件: Example 2-007-thick, Example 2-007-thin

结论

采用薄板和厚板选项时，SAP2000 与非完备解的差异都是可以接受的。