

## 算例 2-011

### 壳 – ASME 冷却塔受静力风荷载

#### 问题描述



这个例子来自 ASME 1972 程序校验和验证库问题 9 (参考 ASME 1972)。在对称风压荷载作用下，分析一个三维固定基础冷却塔。沿塔的高度径向位移与发表的结果进行对比。

几何、属性、荷载如 ASME 1972 建议，除了对整个塔进行建模，不考虑按对称条件考虑一半塔。塔用一个 24x17 的网格剖分（与高度相切）。塔壁厚 7in。

#### 加载

风压沿塔高是恒定的，但是沿塔的周边是变化的。下表显示荷载。所有的风压作用与冷却塔正交。

θ 度	压力 lb/ft <sup>2</sup>	θ 度	压力 lb/ft <sup>2</sup>
0	+151.726	180	+21.244
15	+134.641	195	+20.661
30	+82.338	210	+21.286
45	+13.165	225	+20.883
60	-47.142	240	+22.840
75	-66.998	255	+14.908
90	-27.801	270	-27.801
105	+14.908	285	-66.998
120	+22.840	300	-47.142
135	+20.883	315	+13.165
150	+21.286	330	+82.338
165	+20.661	345	+134.641

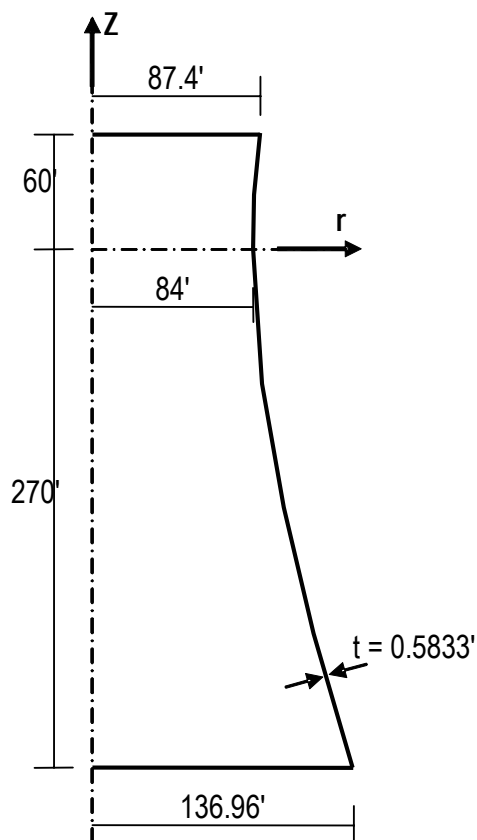
SAP2000 中，创建一个节点模式定义风压变化。风压指定到冷却塔面对象作为压力，压力用指定的节点模式确定。

PROGRAM NAME: SAP2000  
REVISION NO.: 0

## SAP2000 测试的技术特性

- 用壳单元进行三维分析
- 节点模式
- 用节点模式施加壳表面压力

## 几何属性



### 壳几何形状

$$\frac{r^2}{a^2} - \frac{z^2}{b^2} = 1$$

$$a = 84 \text{ ft}$$

$$b = 209.661 \text{ ft}$$

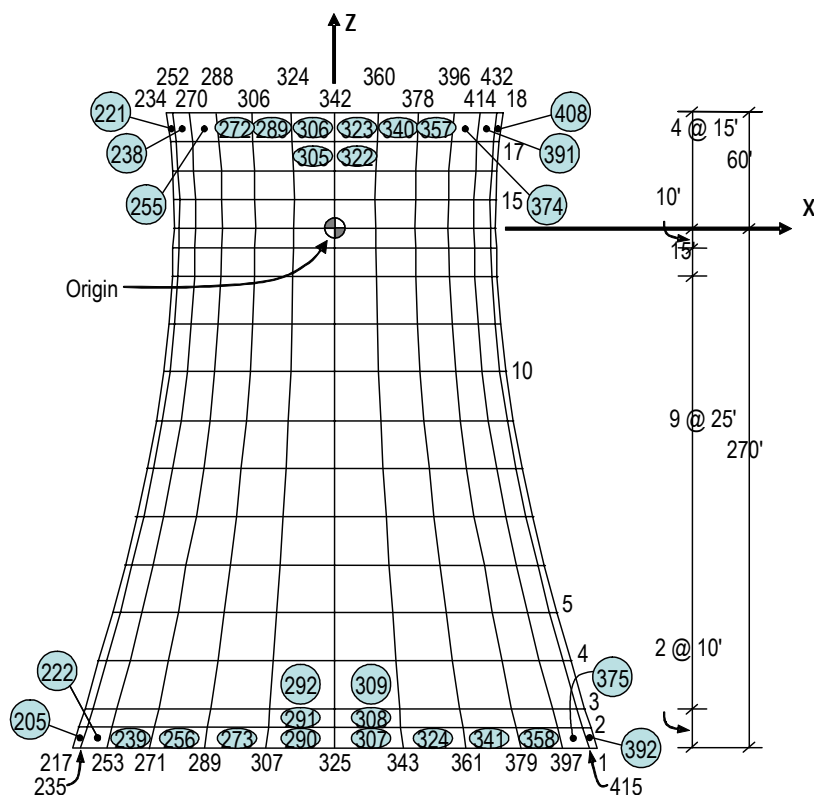
### 材料属性

$$E = 432,000,000 \text{ lb/ft}^2$$

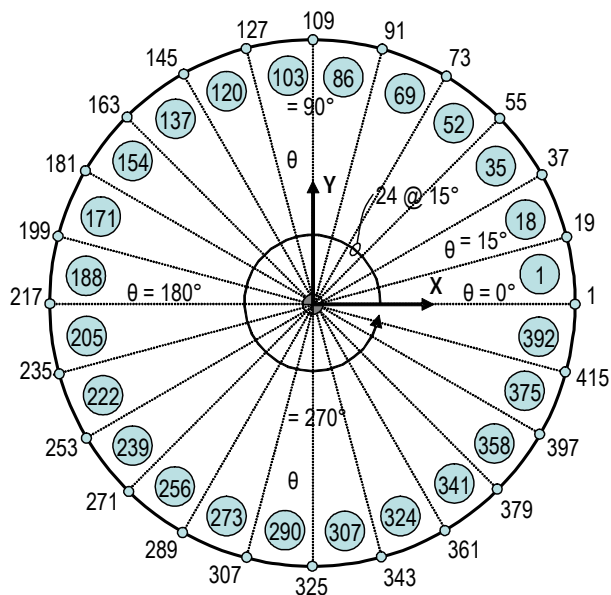
$$\nu = 0.15$$

$$G = 187,826,087 \text{ lb/ft}^2$$

PROGRAM NAME: SAP2000  
REVISION NO.: 0



冷却塔立面图



冷却塔基部平面图

1 - 节点编号  
① - 面对象编号

## 结果比较

SAP2000 结果对薄板和厚板分别显示。手算解从 Zienkiewicz 1977 中  $\theta = 0^\circ$  径向位移绘图结果放大，使用 Albasiny and Martin 1967 中描述的理论。

### 薄板选项 - 在 $\theta = 0^\circ$ 径向位移

标高 Z (ft)	输出参数	SAP2000	手算解*	百分误差**
60	$U_x$ (jt 18) ft	-0.276	-0.26	+4%
45	$U_x$ (jt 17) ft	-0.325	-0.31	+3%
30	$U_x$ (jt 16) ft	-0.366	-0.35	+4%
15	$U_x$ (jt 15) ft	-0.397	-0.39	+2%
0	$U_x$ (jt 14) ft	-0.416	-0.41	+1%
-10	$U_x$ (jt 13) ft	-0.423	-0.42	+1%
-25	$U_x$ (jt 12) ft	-0.423	-0.43	-2%
-50	$U_x$ (jt 11) ft	-0.400	-0.41	-2%
-75	$U_x$ (jt 10) ft	-0.355	-0.37	-3%
-100	$U_x$ (jt 9) ft	-0.297	-0.31	-3%
-125	$U_x$ (jt 8) ft	-0.235	-0.25	-3%
-150	$U_x$ (jt 7) ft	-0.176	-0.18	-1%
-175	$U_x$ (jt 6) ft	-0.124	-0.13	-1%
-200	$U_x$ (jt 5) ft	-0.081	-0.08	0%
-225	$U_x$ (jt 4) ft	-0.048	-0.05	0%
-250	$U_x$ (jt 3) ft	-0.028	-0.02	+2%
-260	$U_x$ (jt 2) ft	-0.016	-0.01	+1%
-270	$U_x$ (jt 1) ft	0.000	0.00	0%

\* 手算解从参考文献 Zienkiewicz 1977 中 348 页图 13.10b 中量出（近似）。因为图中结果荷载是按本例中 1/100 比例的，表中手算解是从图中放大 100 倍的。

\*\* 百分比参照手算解最大的值 0.43 计算。

PROGRAM NAME: SAP2000  
REVISION NO.: 0

## 厚板选项 - $\theta = 0^\circ$ 处径向位移

标高 Z (ft)	输出参数	SAP2000	手算解	百分误差**
60	$U_x$ (jt 18) ft	-0.274	-0.26	+3%
45	$U_x$ (jt 17) ft	-0.323	-0.31	+3%
30	$U_x$ (jt 16) ft	-0.365	-0.35	+3%
15	$U_x$ (jt 15) ft	-0.396	-0.39	+1%
0	$U_x$ (jt 14) ft	-0.416	-0.41	+1%
-10	$U_x$ (jt 13) ft	-0.423	-0.42	+1%
-25	$U_x$ (jt 12) ft	-0.424	-0.43	-1%
-50	$U_x$ (jt 11) ft	-0.401	-0.41	-2%
-75	$U_x$ (jt 10) ft	-0.356	-0.37	-3%
-100	$U_x$ (jt 9) ft	-0.298	-0.31	-3%
-125	$U_x$ (jt 8) ft	-0.236	-0.25	-3%
-150	$U_x$ (jt 7) ft	-0.177	-0.18	-1%
-175	$U_x$ (jt 6) ft	-0.124	-0.13	-1%
-200	$U_x$ (jt 5) ft	-0.081	-0.08	0%
-225	$U_x$ (jt 4) ft	-0.049	-0.05	0%
-250	$U_x$ (jt 3) ft	-0.028	-0.02	+2%
-260	$U_x$ (jt 2) ft	-0.015	-0.01	+1%
-270	$U_x$ (jt 1) ft	0.000	0.00	0%

\* 手算解从参考文献 Zienkiewicz 1977 中 348 页图 13.10b 中量出 (近似)。因为图中结果荷载是按本例中 1/100 比例的, 表中手算解是从图中放大 100 倍的。

\*\* 百分比参照手算解最大的值 0.43 计算。

PROGRAM NAME: SAP2000  
REVISION NO.: 0

**文件:** Example 2-011-thick, Example 2-011-thin

## 结论

SAP2000 结果与手算解对薄板和厚板选项都比较吻合。考虑到手算解是从出版物图上量出的，位移结果比较是很好的。