

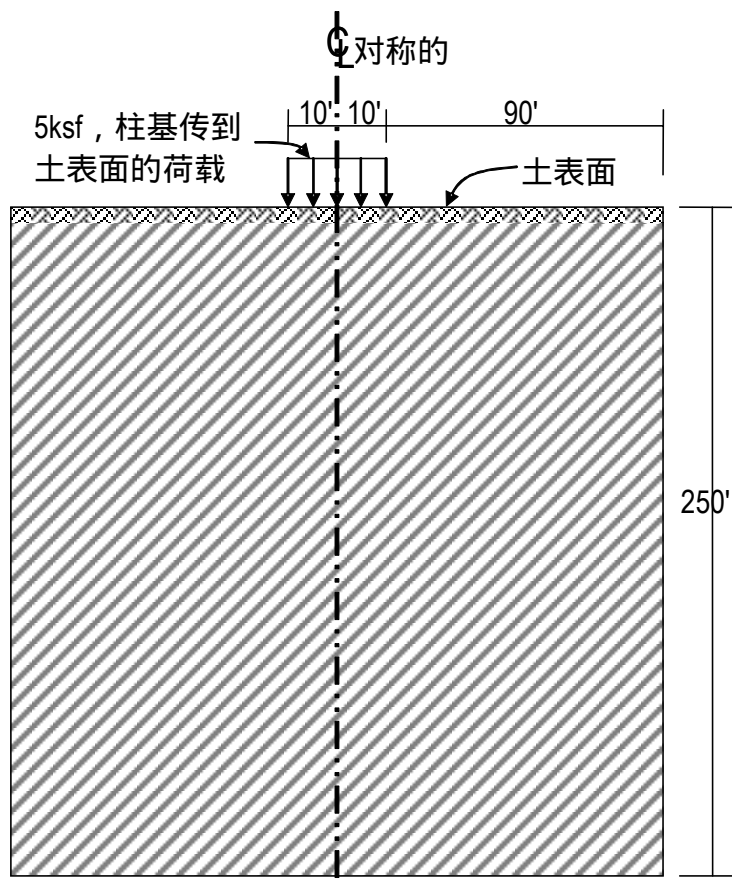
## 算例 4-001

### 轴对称实体 – 被土体支撑的均布荷载下的圆形柱基

#### 问题描述

本例中，使用轴对称实体单元模拟土中的圆形柱基在均布压力下的竖向位移和竖向应力分布。将 SAP2000 的轴对称模型的结果与手算结果进行了对比。

只模拟了半无限大土体的一小部分。柱基的半径是 10 英尺。模拟了一个 250 高、半径为 100 的圆柱形土体。假定土的弹性模量为 2000ksf，泊松比为 0.25。柱基对土产生一个 5ksf 的均匀荷载。



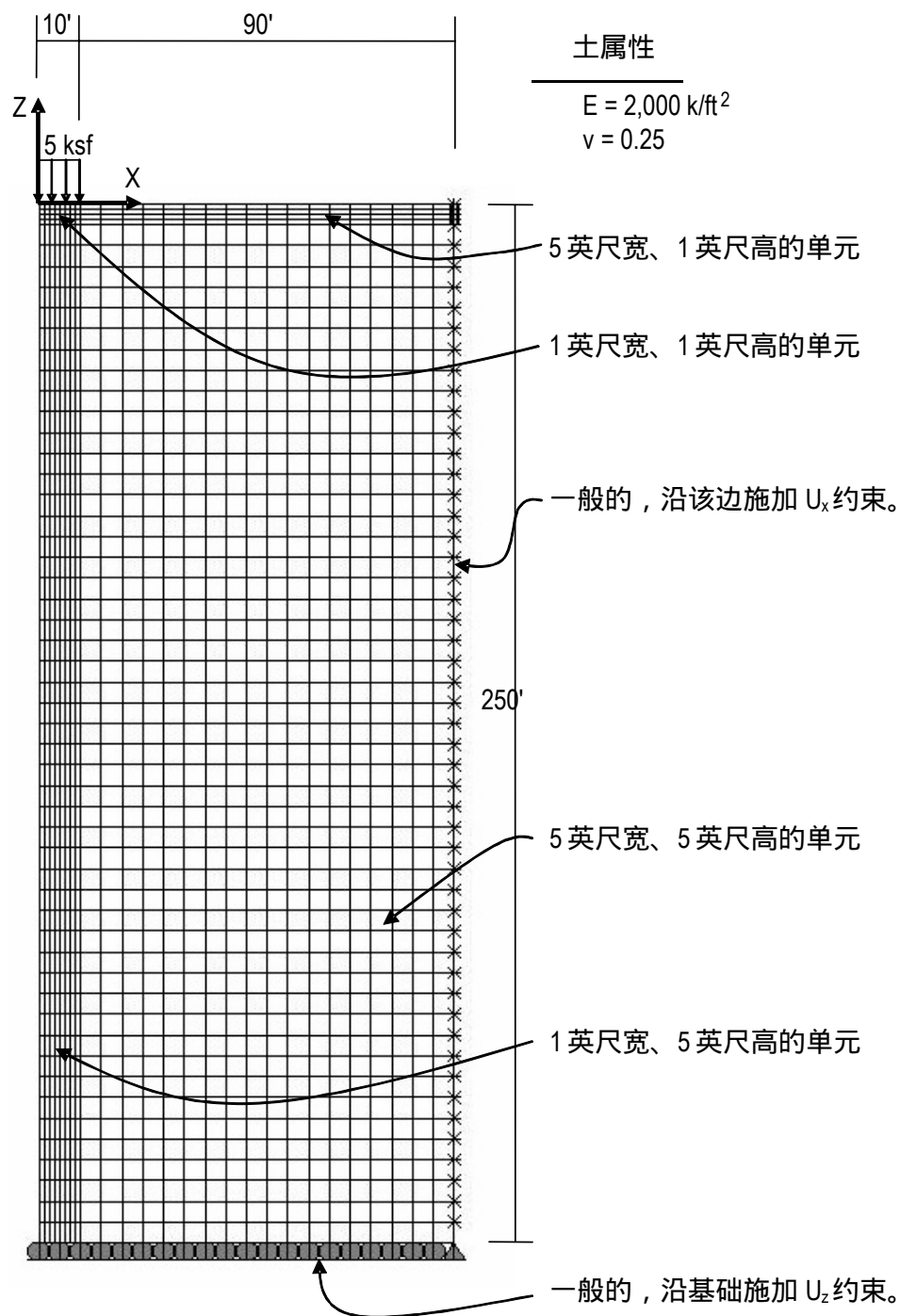


## Software Verification

PROGRAM NAME: SAP2000  
REVISION NO.: 2

几何特性、属性和荷载

PROGRAM NAME: SAP2000  
 REVISION NO.: 2



## 校验的 SAP2000 的技术特色

- 使用轴对称实体单元的分析
- 轴对称实体单元表面压力荷载
- 轴对称实体对象的不相容弯曲模式

## 结果比较

使用 Poulos and Davis 1974 出版的数据计算得到独立结果。分别为模型给出包括不相容弯曲模式选项和不包括不相容弯曲模式选项的结果。

### 包括不相容弯曲模式

输出参数	竖向位置	SAP2000	独立结果	差异百分比*
$U_z$ ft 在 $x = 0$ 英尺处	$z = 0$ ft	-0.0467	-0.0469	0%
	$z = -5$ ft	-0.0374	-0.0376	-1%
	$z = -10$ ft	-0.0284	-0.0286	-1%
	$z = -40$ ft	-0.0094	-0.0095	-1%
	$z = -80$ ft	-0.0047	-0.0048	-2%
竖向应力 ksf 在 $x = 0$ 英尺处	$z = 0$ ft	-4.993	-5.000	0%
	$z = -5$ ft	-4.298	-4.553	-6%
	$z = -10$ ft	-3.285	-3.232	-2%
	$z = -40$ ft	-0.433	-0.435	0%
	$z = -80$ ft	-0.122	-0.115	+6%

## 不包括不相容弯曲模式

输出参数	竖向位置	SAP2000	独立结果	差异百分比*
$U_z$ ft 在 x = 0 英尺处	z = 0 ft	-0.0464	-0.0469	-1%
	z = -5 ft	-0.0371	-0.0376	-1%
	z = -10 ft	-0.0282	-0.0286	-1%
	z = -40 ft	-0.0094	-0.0095	-1%
	z = -80 ft	-0.0047	-0.0048	-2%
竖向应力 ksf 在 x = 0 英尺处	z = 0 ft	-5.260	-5.000	+5%
	z = -5 ft	-4.265	-4.553	-6%
	z = -10 ft	-3.127	-3.232	-3%
	z = -40 ft	-0.436	-0.435	0%
	z = -80 ft	-0.122	-0.115	+6%

计算模型文件: Example 4-001-incomp, Example 4-001-comp

## 结论

在使用和不使用不相容弯曲模式选项情况下，SAP2000 的结果与独立结果都吻合的很好。

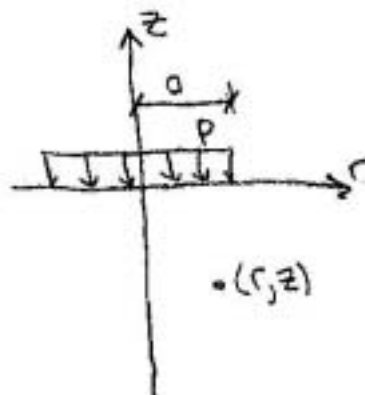
本例中的结果不受弯曲行为控制。因此不相容弯曲模式选项对结果影响很小。

一般地，当一个问题中的弯曲对结果影响很明显时，不使用不相容弯曲模式选项的模型与使用不相容弯曲模式选项的模型相比，需要精细得多的剖分，才能得到与不使用不相容弯曲模式选项模型相同的结果。

一般地，对轴对称实体单元总是应当使用不相容弯曲模式。

手算过程

Reference: H.G. Poulos and E.H. Davis  
Elastic Solutions for Soil & Rock Mechanics  
Chapter 3, Section 3.3  
Pages 43 - 49



$$\sigma_z = -P[A+B]$$

$$\Delta_z = -P \frac{1+\nu}{E} a \left[ \frac{z}{a} A + (1-\nu) H \right]$$

A is from Table 3.6

B is from Table 3.7

H is from Table 3.13

$z$	$z/a$	A	B	H
0	0	1.0	0	2.0
-5	-0.5	0.55279	0.35777	1.23607
-10	-1	0.29289	0.35355	0.82843
-40	-4	0.02986	0.05707	0.24620
-80	-8	0.00772	0.01526	0.12448

$$\text{At } z=0: \sigma_z = -5(1+0) = -5 \text{ Ksf}$$

$$\Delta z = -5 \left( \frac{1+0.25}{2000} \right) \times 10 \times \left( \frac{0}{10} \times 1 + (1-0.25) \times 2 \right)$$

$$\Delta z = -0.0469 \text{ ft} \downarrow$$

$z$	$\Delta z \text{ (ft)}$	$\sigma_z \text{ (ksf)}$
0	-0.0469	-5.000
-5	-0.0376	-4.553
-10	-0.0286	-3.232
-40	-0.0095	-0.435
-80	-0.0048	-0.115