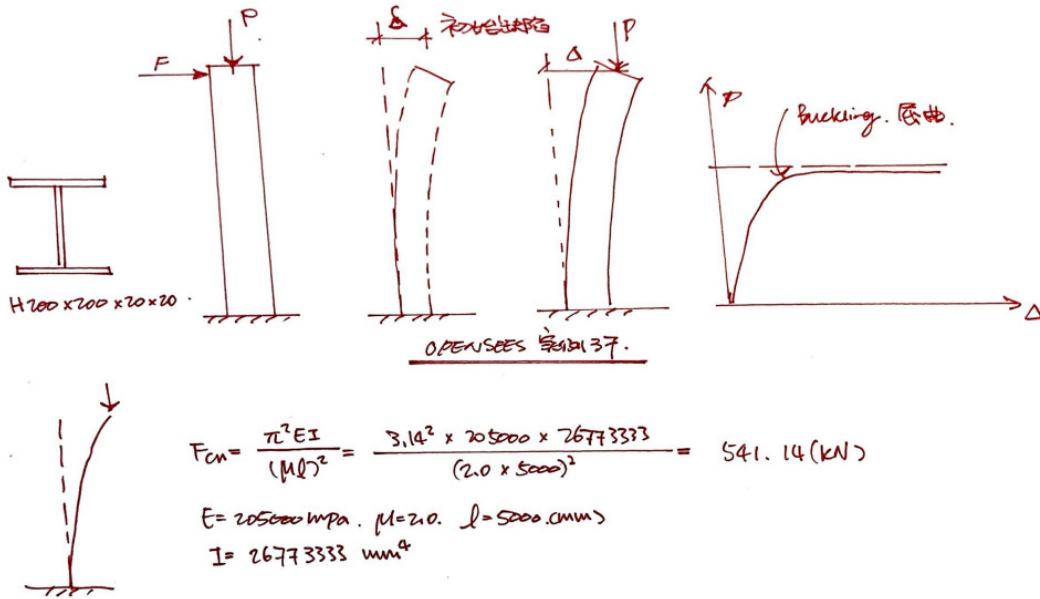


[OpenSEES]实例 37_基于壳元钢柱的屈曲分析

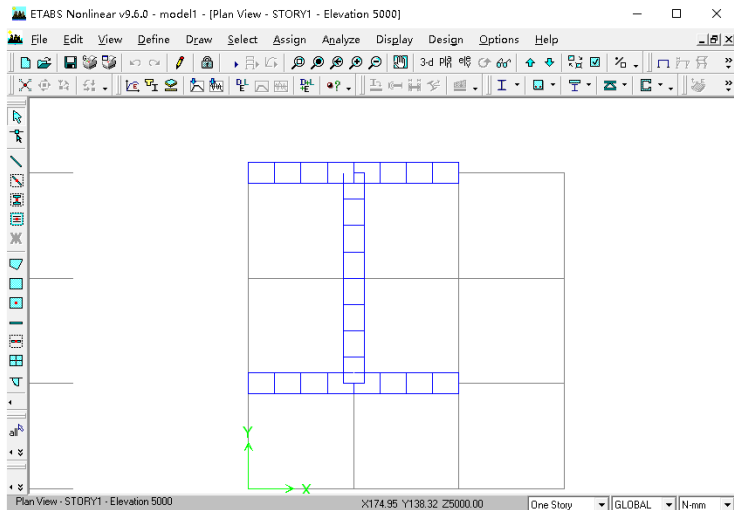
注意 OPENSEES 版本为 OPENSEES 3.0.3

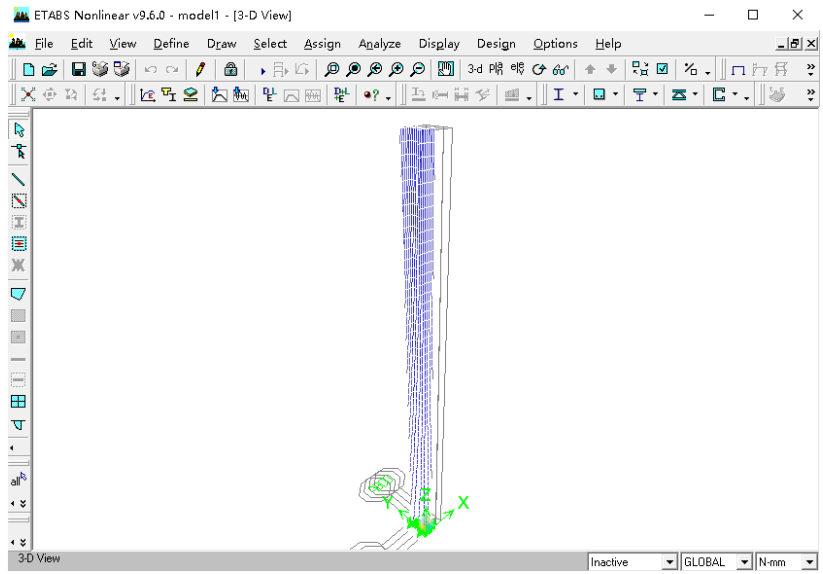


问题描述:

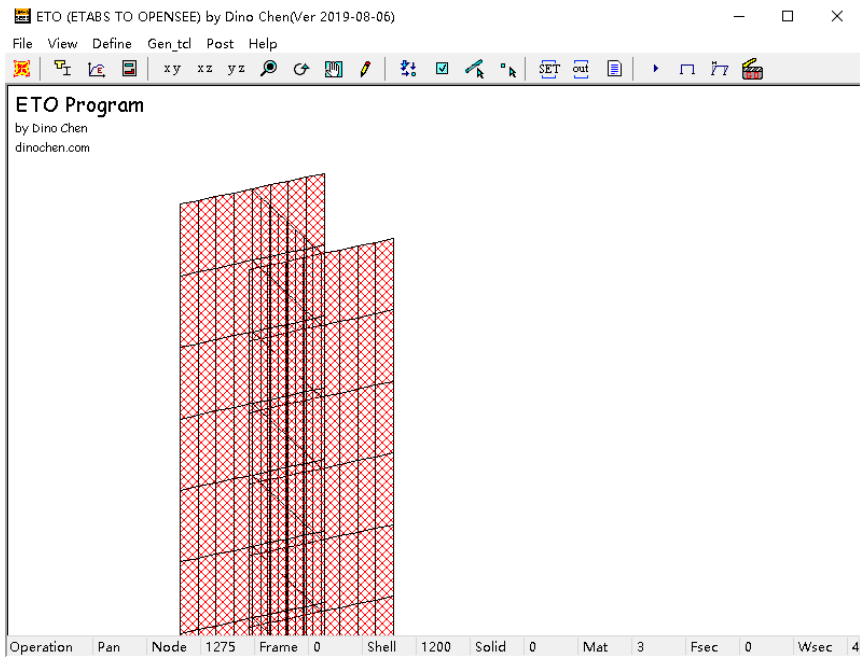
本算例介绍基于 Opensees 几何非线性壳元 ShellNLDKGQ 对工字钢柱进行几何非线性分析，再与手算公式进行对比。建模方式是基于 ETABS 与 ETO 程序进行快速建模。算例的描述如图所示，截面为 H200X200X20X20 的工字钢，钢材采用弹性模量为 205000MPa，柏松比 0.3，构件长度为 5000，在顶部施加集中力产生初始缺陷。构件考虑了几何非线性，施加初始缺陷后进行 pushover 的分析，得到几何非线性的曲线。

- (1) 在 ETABS 中建立工字型钢柱的三维壳元模型，如下图所示。对壳元进行了充分的划分，如下图所示。在 ETABS 中施加两种荷载，顶部施加节点荷载工况为 Dead，顶部施加水平荷载工况为 Push。





(2) 在 ETABS (ETABS V9.7.4) 导出 s2k 文件，再导入 ETO 程序中如下图所示。



- (3) 导入 ETO 程序后，在 SET 中设置如下图所示，将 PUSH 工况作为初始工况用于施加初始缺陷，而 DEAD 工况作为位移控制工况，控制节点 70 的竖向位移，方向是 u3，位置为-1mm，100 步加载。壳单元采用 ShellINLDKGQ，该单元考虑了材料的几何非线性，不要采用 ShellMITC4，该单元没有考虑非线性。



- (4) OPENSEES 命令流的局部修改:

材料本构的修改命令流如下:

```
nDMaterial ElasticIsotropic 1 205000 0.3//采用二维材料
```

```
nDMaterial PlateFiber 601 1
```

```
section PlateFiber 701 601 20.00
```

施加初始缺陷与 Pushover 分析代码做以下修改:

```
## Load Case = PUSH
```

```
pattern Plain 3 Linear {
```

```
load 34 1.000E+003 0.000E+000 0.000E+000 0.000E+000 0.000E+000 0.000E+000
```

```
.....
```

```
load 150 1.000E+003 0.000E+000 0.000E+000 0.000E+000 0.000E+000 0.000E+000
```

```
}
```

```
constraints Penalty 1e20 1e20;
```

```
numberer RCM;
```

```
system UmfPack//采用 UmfPack 速度加快
```

```
test NormDisplnCr 1.0e-4 1000 2;
```

```
algorithm Linear
```

```
integrator LoadControl 0.1//初始缺陷以荷载形式加上
```

```
analysis Static ;
```

```
analyze 1
```

```
loadConst -time 0.0; //荷载恒定
```

```
## Load Case = DEAD
```

```
pattern Plain 1 Linear {
```

```

load 34 0.000E+000 0.000E+000 -1.000E+004 0.000E+000 0.000E+000 0.000E+000
.....
load 150 0.000E+000 0.000E+000 -1.000E+004 0.000E+000 0.000E+000 0.000E+000
}
puts "analysis"
constraints Penalty 1e20 1e20;
numberer RCM;
system UmfPack//采用 UmfPack 速度加快
test NormDisplncr 1.0e-4 1000 2;
algorithm KrylovNewton;
integrator DisplacementControl 70 3 -0.5//控制节点为 70，位移向下
analysis Static
analyze 100

```

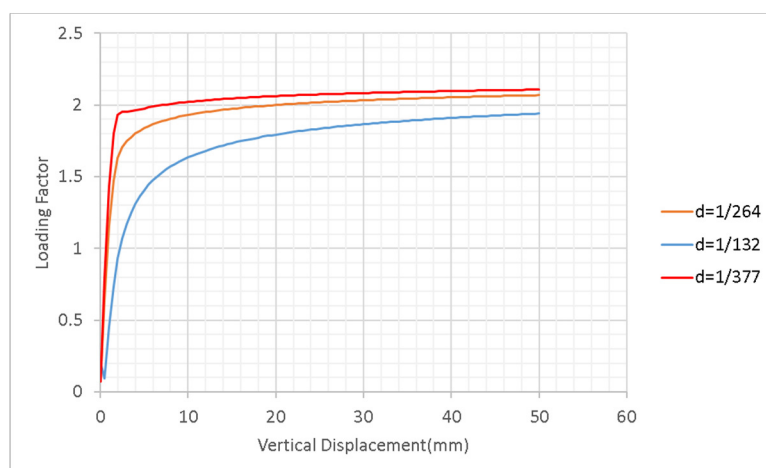
(5) OpenSEES 的分析结果如下所示：荷载倍数为 2.1 倍时，换算成荷载为 550kN，构件进入屈曲状态，施加初始缺陷为 18.9mm (1/264)。

Case1:初始缺陷 18.9mm (1/264)

Case2:初始缺陷 37.86mm (1/132)

Case3:初始缺陷 13.25mm (1/377)

修改不同的初始缺陷得到的 PUSHOVER 曲线如下图所示。

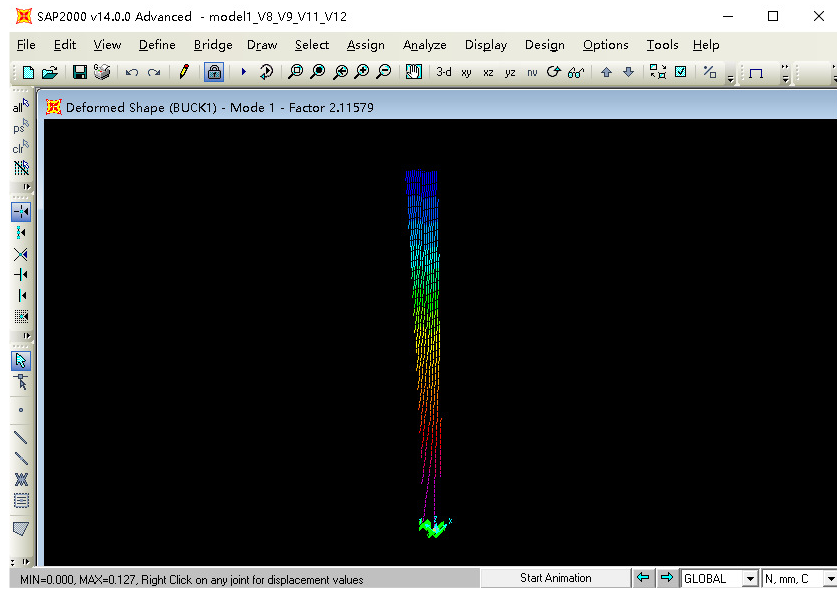
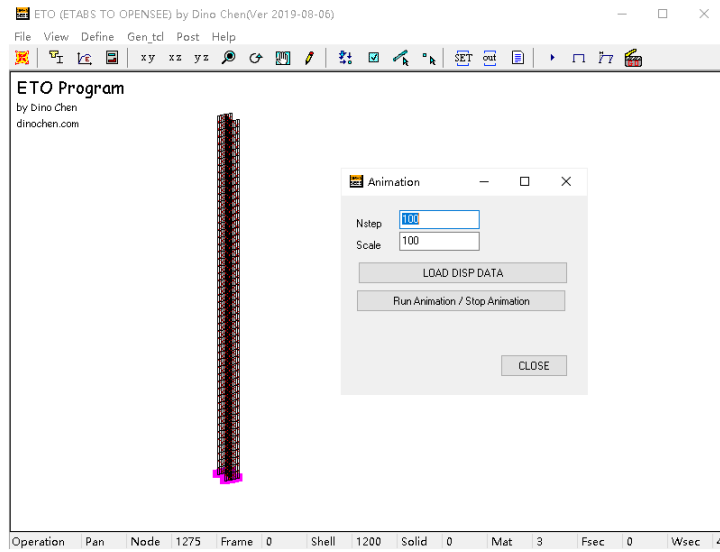


OpenSEES 计算所得构件的屈曲荷载为 525kN 左右，SAP2000 进行构件的屈曲分析所得结果如下图所示，特征值屈曲分析所得屈曲荷载为 $2.11 \times 250 = 527.5 \text{ kN}$ 。那么验证的手算过程如下式所示：

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2} = \frac{3.14^2 \times 205000 \times 26773333}{(2.0 \times 5000)^2} = 541.14 \text{ (kN)}$$

$E = 205000 \text{ MPa}$, $\mu = 2.0$, $l = 5000 \text{ (mm)}$
 $I = 26773333 \text{ mm}^4$

通过 ETO 展示构件屈曲分析动画如下图所示。



知识点回顾:

- (1) 介绍 OPENSEES 的几何非线性壳元 ShellINLDKGQ 的使用
- (2) 介绍了 OPENSEES 进行弹性材料的构件几何非线性分析方法
- (3) 介绍 ETO 显示结构变形的动画功能
- (4) 展示不同初始缺陷对结构几何非线性性能的影响