# 实例 32 基于分层壳的剪力墙弹塑性分析

### 1) 问题描述:

本例通过 OPENSEES 对一个剪力墙构件进行推覆(Push-over)分析,在这个过程中采用陆新 征教授(清华大学)团队开发的分层壳单元进行分析。剪力墙通过 ETABS 进行单元划分与 建模,最后通过 ETO 生成命令流进行分层壳的分析。以下是这个剪力墙构件尺寸的描述: 构件高为 6.0m,剪力墙的墙厚为 200mm,墙宽度为 1.5m。通过 ETABS 建模后的剪力墙如 下图所示。剪力墙的顶部结点施加侧向力,作为推覆分析的侧向力模式。



结构模型简图

### 2) ETABS 模型建模

(1) 建立 ETABS 模型, 定义材料和剪力墙构件的截面及建立几何模型, 如下图所示。墙 截面定义时, 名字的首字母应为"W200", 即本实例将采用分层壳来代替 W200 的 剪力墙属性。



图 ETABS 中梁柱截面属性

图 ETABS 建立框架的几何模型

(2) 定义静荷载工况,如下图所示。DEAD 与 PUSH 工况,自重乘数为 0,添加新荷载 工况 "PUSH",类型为 "OTHER"。其中 PUSH 工况为荷载模式,DEAD 工况为初 始重力荷载。



图 ETABS 定义静荷载工况窗口

- (3) 定义质量源,质量定义来自对象及指定质量。注:如果不是动力分析,可以不需要定义质量与质量源
- (4) 定义节点的约束条件,除了底部的节点为固支(UX,UY,UZ,RX,RY,RZ 全部锁死以 外),上部的其它全部节点锁死(RX,RY,RZ).
- (5) 指定 PUSH 荷载,如下图所示。对每个结点施加 100KN 的侧向荷载,合计总共为 600kN。指定 DEAD 荷载。对每个结点施加水平方向 X 方向 100KN 的水平力,合 计总共为 600kN(竖向荷载)。需要注意的是荷载的单位是 kN。



图 ETABS PUSH 工况的点荷载

- (6) 完成上述步骤后建立完 ETABS 整体模型。
   注意:实例的 ETABS 模型存放在光盘 "/EXAM32/ETABS/" 目录。
- 3) OPENSEES 建模

## since clinochen.com

(1) 打开 ETABS 的模型(单位采用 N,MM),导出 S2K 文件。打开 ETO 程序,导入 S2K 文件,得到转化的 OPENSEES 模型,如下图所示。再打开转化 TCL 按扭,将模型 转化成 OPENSEES 代码,如下图所示。将代码另存为"Exam32.tcl"。

File View Define Genital Post Help	ETO (ETABS TO OPENSEE) by Dino Chen(Ver 20160801)					
W       Yz       Yz       Yz       P (Z)       Yz       P (Z)       Yz       P (Z)       P (Z)	le View Define Gen_tcl Post Help					
by Diro Chen dirochen.com						
uperation iran ivode oo irrame u joneii jou jonid u infat (4 i Fsec U Wisec (4	reration ivan ivode po ivrame iv isneli isv isolid iv imat i4 Mise V Wise i4					

图 ETO 导入 ETABS 模型

(2) 在 ETO 程序中的按钮 为显示与修改壳元截面的属性,点击后显示以下窗口。

SLAB1	Shell Sec Name W200 Shell Thickness 200 Sec Material C45 Shell Nonlinear Type ShellMITC4 ▼ Modify

图 ETO 程序定义壳单元补充截面定义

默认情况下,剪力墙或壳元的单元采用 SHELLMITC4 单元(弹性壳单元),这次采用 SHELLDKGQ 单元(由清华大学陆新征教授及其团队开发的非线性分层壳单元)。选择采用【SHELLDKGQ】,点击【MODIFY】进行修改。如下图所示。

Shell Nonlinear Type	ShellDKGQ	•
	Modify	

### since

(3) 在 ETO 程序中,点击按钮
 的分析类型为【Gravity+PushOver】,即进行重力后进行静力 PUSH-OVER 分析。
 控制 66 点节点,每步推 1mm,共推 400 步。

Analysis Type Gravity+PushOver 💌	Disp Control Case (Linear)
Load Case DEAD  Load Case 10 Load Steps 10 Load Factor 0.1	Load Vector PUSH Control Node 66 Control Disp 1 Control Dof 1 Analysis Step 400
Nonlinear Setting Force/Disp Beam Column numIntgrPts 3 Rebar Material Number 1	Modal Number Modal Number
-Section Aggregator	Gen Node Mass
Gen ND Material Plate Fiber Information	ок

### 图 分析设置窗口

- (4) 点击按钮 里皮 OPENSEES 命令流。
- (5) 以下将对 OPENSEES 命令流进行解释并修改,最后提交运算。

### 4) OPENSEES 命令流解读

- (1) 从 ETO 程序中生成的 OPENSEES 的命令流主要分以下内容,不一一详细列出。
  - Ⅰ 初始设置
  - Ⅰ 节点空间位置
  - Ⅰ 节点约束情况(全部节点锁死 RX,RY,RZ)
  - Ⅰ 材料与面截面(弹性材料)
  - **一**壳单元定义
  - Ⅰ 重力荷载定义与分析指定
  - Ⅰ PUSH-OVER 荷载模式与分析指定

以下是需要注意与修改的地方

### (2) 非线性材料的定义:

ETO 生成的命令流,生成的弹性材料命令流如下所示: uniaxialMaterial Elastic 1 1.999E+005 uniaxialMaterial Elastic 2 3.600E+000 uniaxialMaterial Elastic 3 1.999E+005 uniaxialMaterial Elastic 4 2.000E+004 nDMaterial PlateFiber 601 4 section PlateFiber 701 601 200.00

需要修改成非线性的材料与截面如下所示:

nDMaterial PlaneStressUserMaterial 2, 40, 7, 30.6549, 3.06549, -6.13e6, -0.00234, -0.03, 0.001, 0.05

nDMaterial PlaneStressUserMaterial \$matTag, 40, 7, \$fc, \$ft, \$fcu, \$epsc0, \$epscu, <mark>\$epstu, \$stc</mark>

\$matTag integer tag identifying material 材料编号

\$fc concrete compressive strength at 28 days (positive) 混凝土抗压强度

\$ft concrete tensile strength (positive) 混凝土抗拉强度 约为 0.1\*fc

\$fcu concrete crushing strength (negative) 压碎后的混凝土强度 约为 0.2\*fc

\$epsc0 concrete strain at maximum strength 峰值抗压强度对应的应变

\$epscu concrete strain at crushing strength 压碎时对应的应变值

\$epstu ultimate tensile strain (positive) 极限抗拉应变值, 一般取值 0.001

\$stc shear retention factor 剪力维持系数,一般取值 0.05~0.08



#nDMaterial PlateFromPlaneStress \$matTag \$PlaneStressMatTag \$OutOfPlaneShearModulus nDMaterial PlateFromPlaneStress 4 2 12.77e9

\$matTag<</li>
 \$PlaneStressMatTag
 \$OutOfPlaneShearModulus
 混凝土

混凝土壳元材料编号(非线性壳元组合材料编号) 混凝土单轴材料编号,平面内 混凝土平面外抗剪模量

以下是钢筋的(单轴材料)模型, steel02 材料,设置与纤维单元是一致的。 uniaxialMaterial Steel02 5 582 205000 0.0033 14 0.925 0.15 uniaxialMaterial Steel02 6 441 205000 0.00127 14 0.925 0.15

以下是分层壳中,钢筋网的材料指定。 nDMaterial PlateRebar 7 5 90 nDMaterial PlateRebar 8 6 0 代表采用 5 号材料作为 90 度方向的钢筋(纵筋) 6 号材料作为 0 度方向的钢筋网, since

即水平筋。



0反为90反的初期

以下是非线性壳元(分层壳)的截面定义:





以下是非线性壳元(分层壳)的截面 701 与每一个材料编号之间的继承关系如下图 所示。



(3) 非线性壳元的定义:

element ShellDKGQ 46 52 62 63 53 701 以上参数代表: 非线性壳单元,46 号单元,四个结点号分别是 52,62,63 及 53。该壳单元采用 701 截面。

(4) 记录结构关键的变形

记录框架的顶点位移 66 号节点的 X 位移,保存于以下文件中: recorder Node -file node66.out -time -node 1234566 -dof 123 disp 基中 node66 记录全部节点的变形,用于变形显示。

- (5) 在进行重力荷载分析后,必须把重力荷载恒定下来,采用以下命令流 loadConst 0
- (6) 进行重力分析后进行静力 PUSHOVER 分析的命令流

constraints Penalty 1e20 1e20; numberer Plain; system BandGeneral; test NormDispIncr 1.0e-4 2000 2; algorithm KrylovNewton integrator DisplacementControl 66 1 0.1 analysis Static analyze 400

- (7) 综上所述,完成命令流修改后,可以提交进行分析,修改后的文件可查看 "Exam32\OpenSEES\Exam32.tcl"。
- 5) OPENSEES 分析及分析结果
- (1) 打开 OPENSEES 前后处理程序 ETO,点击按钮,显示结构变形。弹出窗口如下图



~~	<u> </u>
<b>卜</b> 十	不
//1	~ <b>J</b> '

📰 Deformation Shape	
Load Node Deform Data	Section Deformation
Load Sec Deform Data	Deformation Axial Strain
Load Model Shape	Min Value -0.0001
Load Step	
Disp Scaling	
Scaling Factor 100	min max
Modal Shape	
Mode Num 1	OK Cancel

点击【Load Node Deform Data】,选取 Exam32.tcl 文件,窗口显示结构变形。 【Scaling Factor】需要调整合适,如 100,可以显示合理的变形形状如下图所示。 【load step】为 189,即 189步,即为最后一步的变形。



(2) ETO 程序的显示动画功能,如下图所示。点击显示动画按钮 ,输入总步数 189 步,输入变形倍数 scale factor 100,点击 LOAD DISP DATA 按扭,选取文件 node0.out 位置,即可显示结构变形动画。





结构的整体变形的动画显示

(3) 通过提取 66 号结点的变形数据 node66.out (详见 Recorder 设置),可以提取出荷载 倍数与 66 号结点侧向位移的关系,我们将以下的图形称为静力弹塑性 PUSH-OVER 曲线,如图所示。



图 剪力墙的 PUSH-OVER 曲线

 (4) 将上述的命令流保存为文件 "Exam32.tcl",或打开光盘目录 "/EXAM32/ OPENSEES/",找到 "Exam32.tcl" 文件,结构后处理放于 result.xls 中。



### 6) 知识点回顾:

- (1) 介绍 OPENSEES 基于分层壳的剪力墙弹塑性分析
- (2) 介绍了 OPENSEES 中的 ShellDKGQ 单元(陆新征教授研发)
- (3) 介绍用于壳元非线性的多轴材料、单轴材料及截面的设置
- (4) 介绍了材料 PlaneStressUserMaterial 的混凝土参数设置
- (5) 介绍 ETO 显示结构剪力墙变形的方法