

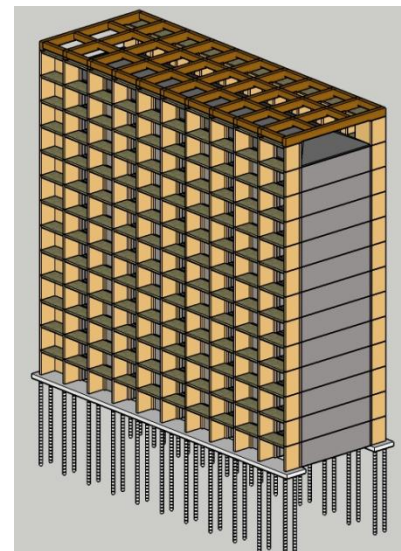
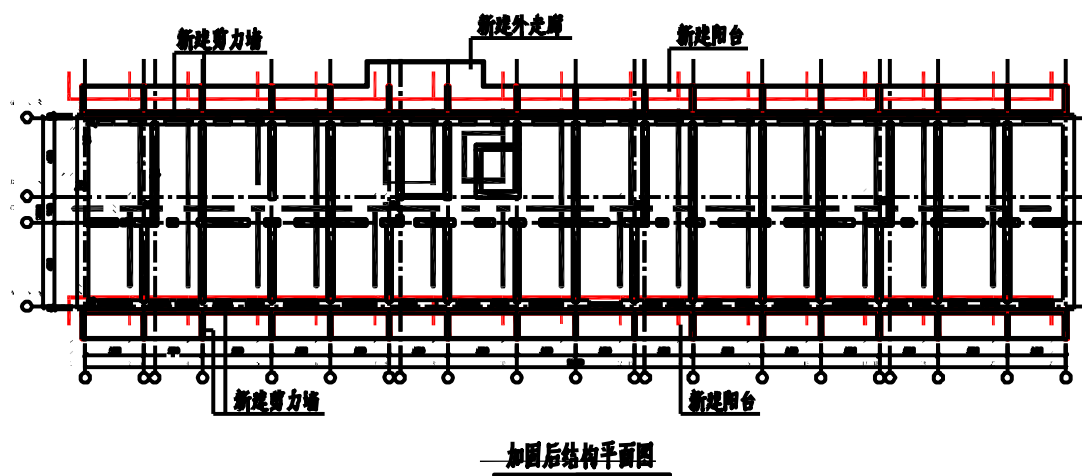
结构有限元弹塑性时程分析

邓开来

2012-4-11

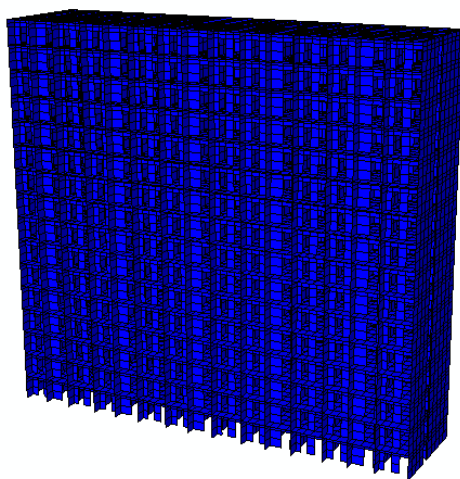
结构选型

- ▶ 结合课题组现有实验项目，采用多种结构计算软件对剪力墙结构进行弹塑性时程计算
 - 原结构为前三门地区老旧建筑，鱼骨式剪力墙结构，配筋率低，需要进行加固
 - 对加固方案进行抗震验算



软件选择

- ▶ 用三种不同的有限元分析软件对一个建筑进行地震弹塑性时程分析
 - 软件选择：PKPM，SAP，**Abaqus**
 - 分析模型：16层高的剪力墙结构



- 选用地震波：El-centro-NS地震波

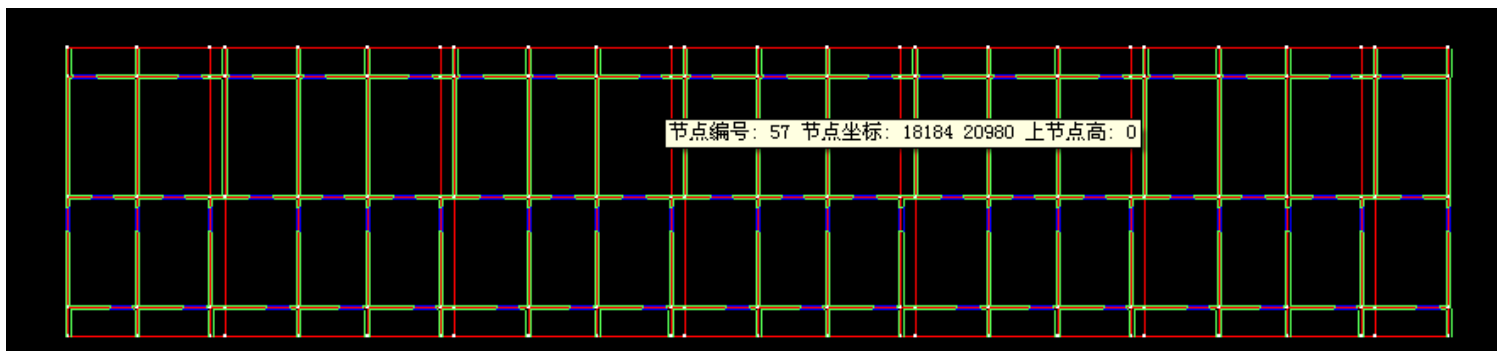
PKPM-SATWE

- ▶ PKPM软件SATWE计算模块是一款基于壳理论的三维有限元计算软件
 - 采用空间杆单元模拟梁、柱及支撑等杆件
 - 在壳元基础上凝聚而成的墙元模拟剪力墙
 - 楼板——刚性，分块刚性，连接部位弹性，弹性
 - 用于高层钢筋混凝土框架、框架—剪力墙、剪力墙结构
 - 可完成建筑结构在恒、活、风、地震力作用下的内力分析及荷载效应组合计算
 - 对钢筋混凝土结构还可完成截面配筋计算
 - 没有单一的数据文件，项目以工作目录方式保存

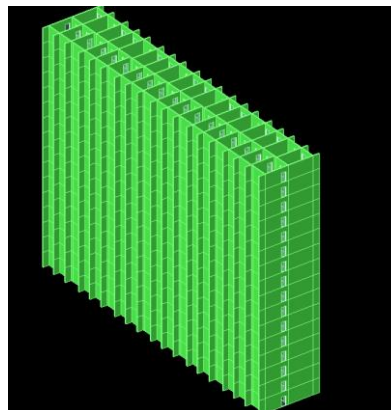
PKPM-SATWE

▶ 建立模型

- Revit建模方式，以构件作为基本单元，建模效率高
- 标准层的概念（多用于房屋建筑结构，不规则结构不太适用）



- 模型组装
- 0标高位置自动固接



PKPM-SATWE

▶ 材料定义

- 根据规范的材料定义
 - 混凝土标号，钢筋等级

▶ 单元划分

- 自动划分
- 容错性高

▶ 分析设置

- 所有计算参数根据规范设定
 - 场地分组，特征周期等
- 只能进行弹性时程分析

The screenshot displays the 'Analysis Settings' (分析设置) window in the PKPM-SATWE software. The window has a tabbed interface with the following tabs: 配筋信息 (Reinforcement Information), 荷载组合 (Load Combination), 地下室信息 (Basement Information), 砌体结构 (Masonry Structure), 总信息 (General Information), 风荷载信息 (Wind Load Information), 地震信息 (Earthquake Information), 活荷载信息 (Live Load Information), 调整信息 (Adjustment Information), and 设计信息 (Design Information). The '地震信息' (Earthquake Information) tab is currently selected.

Under the '地震信息' tab, the '结构规则性信息' (Structural Regularity Information) section includes dropdown menus for: 结构规则性信息 (Irregular), 设防地震分组 (First Group), 设防烈度 (8 (0.2g)), 场地类别 (II Class), 砼框架抗震等级 (Level 2), 剪力墙抗震等级 (Level 3), 钢框架抗震等级 (Level 3), 抗震构造措施的抗震等级 (No Change), and 中震(或大震)设计 (Not Considered). A button for '自定义地震影响系数曲线' (Customize Earthquake Influence Coefficient Curve) is also present.

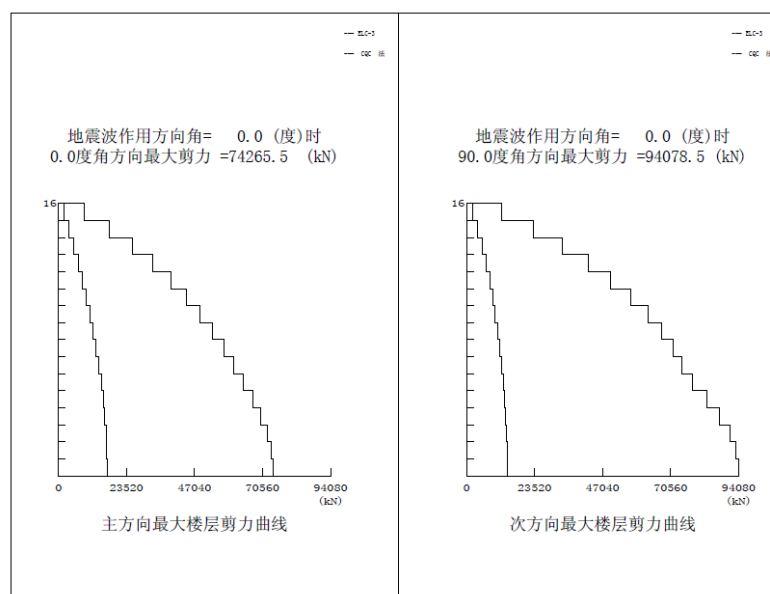
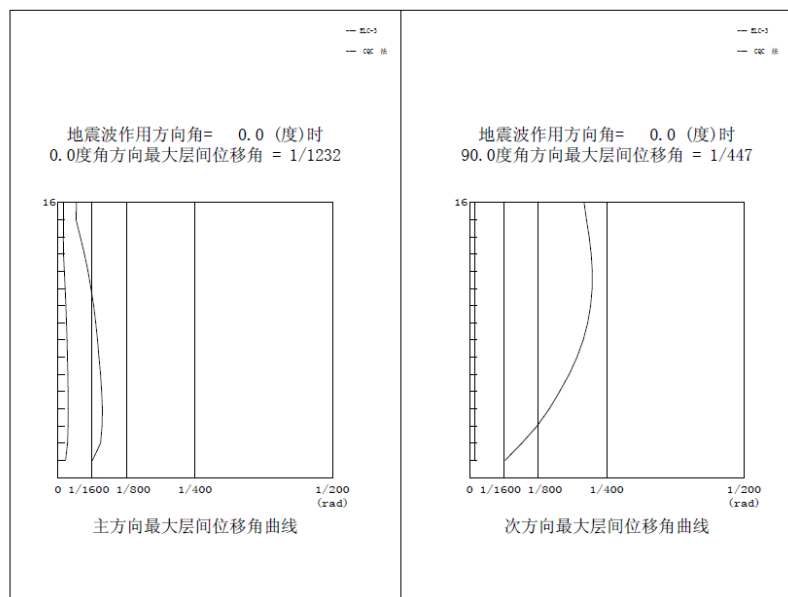
The '考虑偶然偏心' (Consider Accidental Eccentricity) section includes checkboxes for '考虑偶然偏心' and '考虑双向地震作用', along with a '指定偶然偏心' (Specify Accidental Eccentricity) button. Below these are input fields for 'X向相对偶然偏心' (0), 'Y向相对偶然偏心' (0), '计算振型个数' (15), '活荷重力荷载代表值组合系数' (0.5), '周期折减系数' (1), '结构的阻尼比 (%)' (5), '特征周期 T_g (秒)' (0.45), '地震影响系数最大值' (0.16), '用于12层以下规则砼框架结构薄弱层验算的地震影响系数最大值' (0.9), '竖向地震参与振型数' (9), and '竖向地震作用系数底线值' (0.1).

At the bottom, there are input fields for '斜交抗侧力构件方向附加地震数' (0) and '相应角度(度)' (). The window concludes with '确定' (OK) and '取消' (Cancel) buttons.

PKPM-SATWE

▶ 结果输出

- 计算结果包含在WDYNA.OUT文件中，无法选择输出特定数据
 - 文本形式，无可视化效果
 - 只能输出最大值，无时程结果
 - 以楼层为基本单位，输出最大位移，最大位移角，最大剪力，最大楼层弯矩，地震波反应谱与规范反应谱对比等信息。



PKPM-SATWE

▶ 分析总结

◦ 优点

- 建模快速简单
- 计算速度快
- 自动完成配筋，选择地震波等工作

◦ 确定

- 建模自由度太低
- 计算准则多依据规范，而非经典力学理论
- 结果仅输入最大值，非时程量
- 只能进行弹性分析

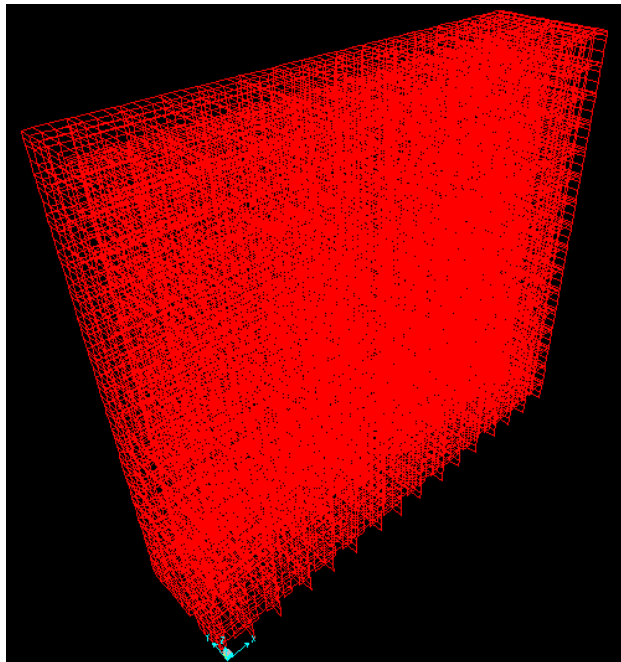
SAP2000

- ▶ SAP2000是三维的结构分析，设计软件（CSI公司）
 - 三维结构整体性能分析，空间建模方便，荷载计算功能完善，可从CAD等软件导入，文本输入输出功能完善。
 - 结构弹性静力及时程分析功能相当不错，效果高，后处理方便。
 - 最新的SAP2000 Nonlinear版除了包括全部Plus的功能之外，再加上动力非线性时程反应分析和阻尼构材、减震器、Gap和Hook构材等材料特性，它主要适用于分析带有局部非线性的复杂结构。
 - 不足之处在于弹塑性分析方面功能较弱，有塑性铰属性，非线性计算收敛性较差。

SAP2000

▶ 创建模型

- 以构件作为基本单元进行建模
- 三维建模方式灵活，支持不规则的模型
 - 空间网架，体育场等



SAP2000

▶ 材料定义

- 按照经典力学的方式定义材料
 - 弹性模量，泊松比，屈服强度等

▶ 单元划分

- 程序可自动划分，同时支持操作人员手动修改
- 容错性高

▶ 分析技术

- 逐步大变形分析、多重P-Delta效应、特征向量和Ritz向量分析、索分析、单拉和单压分析、Buckling屈曲分析、爆炸分析、针对阻尼器、基础隔震和支承塑性的快速非线性分析、用能量方法进行侧移控制和分段施工分析等。

SAP2000

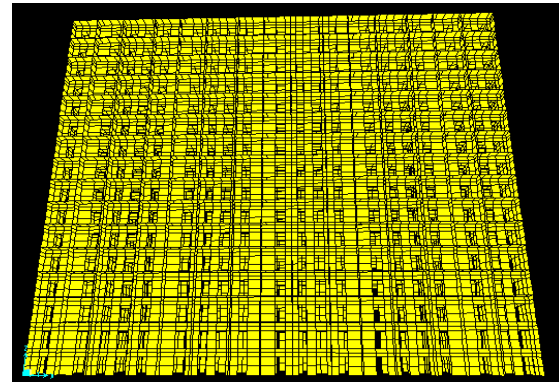
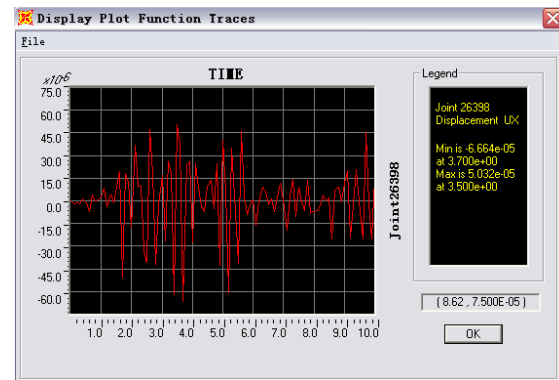
► 非线性

- link/support单元的非线性
- 考虑框架单元拉伸或者压缩极限
- 框架单元塑性铰
- P-delta效应
- 无法考虑面单元的非线性
- 分析设置
 - 非线性振型叠加法（FNA），它适用于结构本身必须是线性的，非线性单元里的刚度可以为非线性的结构体系。
 - 非线性直接积分法，如果结构或结构中的一部分结构（例如：索）体现非线性，选用该方法

SAP2000

▶ 结果输出

- 结果分为3个层次进行输出，无法进行人工选择
 - 节点——位移，反应，质量（集成质量）
 - 单元——轴力，弯矩，剪力，应力（面单元）
 - 结构——基底反力，模态信息
- 可以输出完整的时程结果
- 有良好的可视化界面
- 自带完善的数据接口
 - 能直接导入excel
access等软件



SAP2000

► 分析总结

◦ 优点

- 建模快速简单，模型不局限于简单的房屋建筑结构
- 分析效率较高，FNA算法
- 计算理论已知，没有太多的经验性设定
- S2K数据文件，用一个简单的文本文件包含模型所有信息

◦ 缺点

- 非线性功能不强
- 直接积分算法成本太高
- 基于截面的塑性铰恢复力模型需要较多的人为设定

Abaqus

- ▶ 通用非线性有限元分析软件。在非线性力学方面表现尤为出色。
- ▶ 提供了丰富的材料库与单元库
 - 混凝土塑性损伤模型，弥散裂缝模型等
 - B31（铁木辛柯梁），S4R（三维壳单元）C3D8R
- ▶ 可视化效果
 - 建模在CAE模块中以所见即所得的方式建立，结果也用CAE导入，具有非常直观的可视化效果
- ▶ 求解器
 - Standard（隐式）/Explicit（显示）两个求解器，适用于不同问题

Abaqus

▶ 建模

- CAD式建模

- 基于点线面的建模方式,CAE交互式模型设计

- 导入模型

- Inp数据文件

- 材料设定

- 丰富非线性材料库，钢材强化，混凝土塑性损伤等

- 单元划分

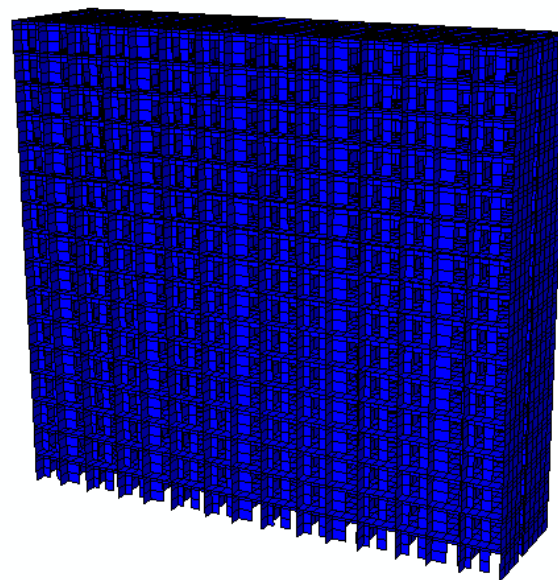
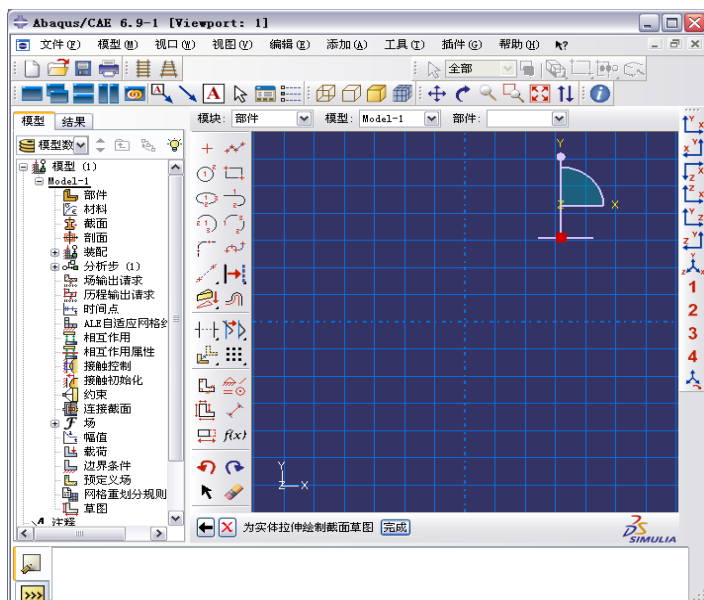
- 程序自动划分，单元类型丰富

Abaqus

► 建立模型

◦ CAE模块——CAD式建模

- 支持一般的修改命令，较为方便的参数化建模



Abaqus

▶ 建立模型

- INP数据文件——对结构工程建模的强大支撑
- *.inp文件结构
 - *node——节点信息
 - *element——单元信息
 - *instance——实例
 - *assemble——部件
 - *boundary——边界
 - *section——截面
 - *material——材料
 - *step——分析步

Abaqus

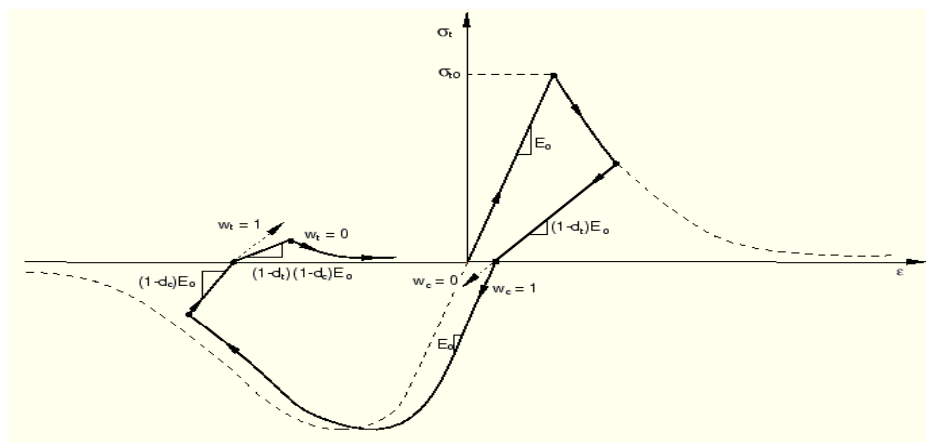
▶ 建立模型

- 结构动力分析常用信息
- 集合——*Nset, *ELset
 - 力的施加点, 位移施加点, 控制结果输出
- 时程曲线——*amplitude
 - 用于导入地震波信息
- 混凝土钢筋层——*rebar layer
 - *SHELL SECTION, ELSET=EL-new100, MATERIAL=MAT-C30
0.2
*REBAR LAYER, ORIENTATION=WALL-REBAR
new100-HT, 0.000079, 0.1, 0.050000, MAT-HRB335, 90, 1

Abaqus

▶ 材料设定

- 混凝土采用塑性损伤模型



- 钢筋采用von mises屈服准则，随动硬化

Abaqus

▶ 网格划分

- CAE建模自动划网格
 - 全局网格大小、边界节点数、不均匀网格等
- INP导入模型，继承SAP模型网格
 - 通过导入单元节点编号的形式保留网格
- 剪力墙选取S4R单元
 - 4节点双曲通用外壳，减少沙漏控制一体化，有限薄膜应变

Abaqus

► 分析步设定

- Gravity 分析步，隐式计算
 - 施加重力
- EL-centro分析步，隐式计算
 - 对结构施加地震作用
- 荷载施加
 - 基底加速度
 - 等效体力
 - 经过验证，两种方法计算结果一样，注意结果的数据提取。
 - 位移，速度为相对值
 - 加速度为绝对值

Abaqus

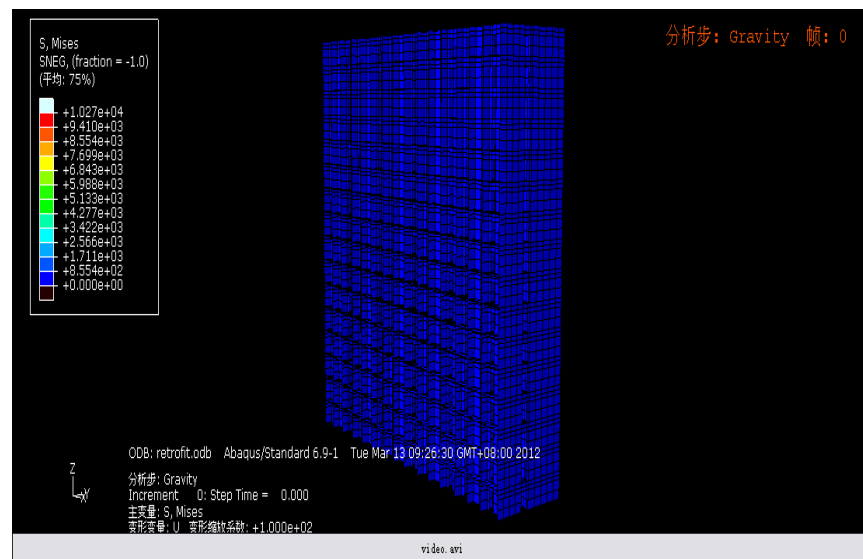
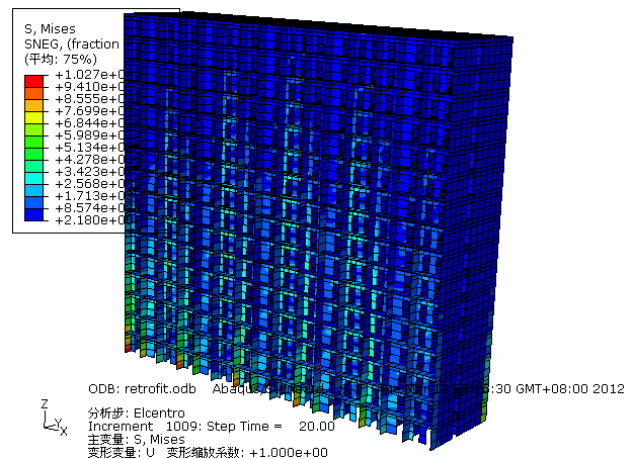
▶ 分析设定

- 隐式/显示方法
 - 两种计算内核，各有长处
- 非线性功能强大
 - 材料非线性，几何非线性都可以考虑
 - 基于材料的恢复力模型
- 动力时程计算功能强大
 - 施加各种各样的荷载，速度场，加速度场均可
 - 选取施加体力的计算方法
 - 计算效率很高

Abaqus

▶ 结果输出

- 可视化功能强大
 - 应力，损伤均可输出
- History output/Field output
 - 历史变量与场变量输出设置较多
 - 输出视频，图片等
- 可开发度较强
 - 编写方便的提取数据插件
 - DLL动态链接库使用方便



Abaqus

► 分析总结

◦ 优点

- 非线性功能强大
- 材料，单元种类丰富，可最大限度地模拟真实情况
- 计算速度快
- 可视化界面良好，结果输出可控性强

◦ 缺点

- 不易上手
- 结构专业性不强，需要进行二次开发
- 计算机硬件配置要求较高

结果比对

	PKPM	SAP2000	ABAQUS
基剪剪力 (KN)	74256	36000	31260
楼层位移 (mm)	22	5.6	6.2
计算时间 (min)	3	4	420
模态计算时间 (s)	—	90	15

1. PKPM加入了规范设定的楼面荷载与材料强度折减
2. SAP计算结果与ABAQUS较为接近，没有考虑荷载等因素
3. 双向地震ABAQUS同时输入，SAP分为两个工况同时输入，也可以在一个工况内同时输入
4. Abaqus可以考虑结构损伤，而SAP无法考虑此情况，故SAP中结构刚度较大，剪力大，位移小

总结

- ▶ 本次作业重点在于比对软件性能，而在计算结果的正确性方面没有做严格校对。综合自己的使用感受，总结经验如下：
 - 1. 设计院工作人员推荐使用PKPM，基于规范的设计分析流程，且操作简单
 - 2. 特殊工程需要用SAP或者ETABS进行验算
 - 3. 如果要进行某个节点，或者某个特别重要的建筑结构的弹塑性时程分析，ABAQUS优势更加突出
 - 4. 全套分析流程，已开发接口
 - PKPM2005—ETABS—SAP—ABAQUS

谢谢，请批评指正

Report from

