

算例 1-022

框架- 具有静力和动力荷载的两维有侧移框架

例题注释

本例题中是一个 7 层两维底部固接的框架结构，承受的是水平地震荷载。水平地震荷载是通过四种不同的方法施加上去的：作为一个静力水平荷载、作为一个反应谱、作为一个模态时程函数和作为一个直接积分时程函数。结果与 Engineering/Analysis Corporation and Computers/Structures International 文献当中曾经发表过的另一程序的计算结果进行了对比。

本例题中使用的地震波是 1940 El Centro earthquake 波中 N-S 内容。地震反应谱函数如后面将谈到一样是直接输入给结构的。加速度数据文件名为 ELCENTRO，当分析运行时，它们已经读入了模型中。

重要注释：分析设置中只设置 U_x 、 U_z 和 R_y 自由度。而且，模型中只考了弯曲和轴向变形，剪切变形是通过设置剪切面积为 0 进行了忽略。

本例题中所有框架和荷载信息都与上面所谈到的文献中相关信息一致。模型中在每个楼层使用了刚性隔板使得每一层所有柱子的水平位移（X 方向）均相同。而且，在每个楼层的水平方向（X 方向）都指定了 $0.49 \text{ kip-sec}^2/\text{in}$ 的附加质量。这些建模技巧一般是用来减少矩阵维数，并且 Engineering/Analysis Corporation and Computers/Structures International 手算方法中得到了使用。刚性隔板约束了所有梁的轴向变形。这些以及竖向质量忽略都将使这个动力问题简化为 7 个振型的振动问题。所有 7 个振型都在反应谱分析和时程分析中进行了考虑。

手算方法采用了 SRSS（平方和再开方）组合技术进行反应谱振型组合。SAP2000 中考虑了两种反应谱分析，一种是使用 SRSS 组合方法，另一种是使用 CQC（完全二次方根组合）组合方法。CQC 组合方法是 SAP2000 程序默认的方法，也是程序推荐的方法。

手算方法所有振型使用的是阻尼比为 5% 的时程函数分析技术。SAP2000 中运行了两个时程分析工况。第一个是所有振型使用带有 5% 阻尼比的模态时程分析技术。第二种方法是直接积分时程，使用 Hilber-Hughes-Taylor alpha 方法进行时间积分，alpha 系数为 0。

。当在本例中包含了直接积分时程时，挑战在于，得到在振型时程分析中使用的 5% 阻尼和对直接积分时程分析指定的质量和刚度比例阻尼的匹配。在本例中，质量比例阻尼系数为 0.3686，并且刚度比例阻尼系数 0.005127。这些系数是由假定的阻尼比 5% 计算出来的；也就是说，周期为 1.2732 和 0.4313 秒时阻尼比是 5%。下面的表格显示的是 7 个振型不同模型的阻尼比系数对比。注意在高振型中比例阻尼系数与阻尼比更加接近，但质量参与系数是降低的。因此，越高的阻尼比对结果影响越小。

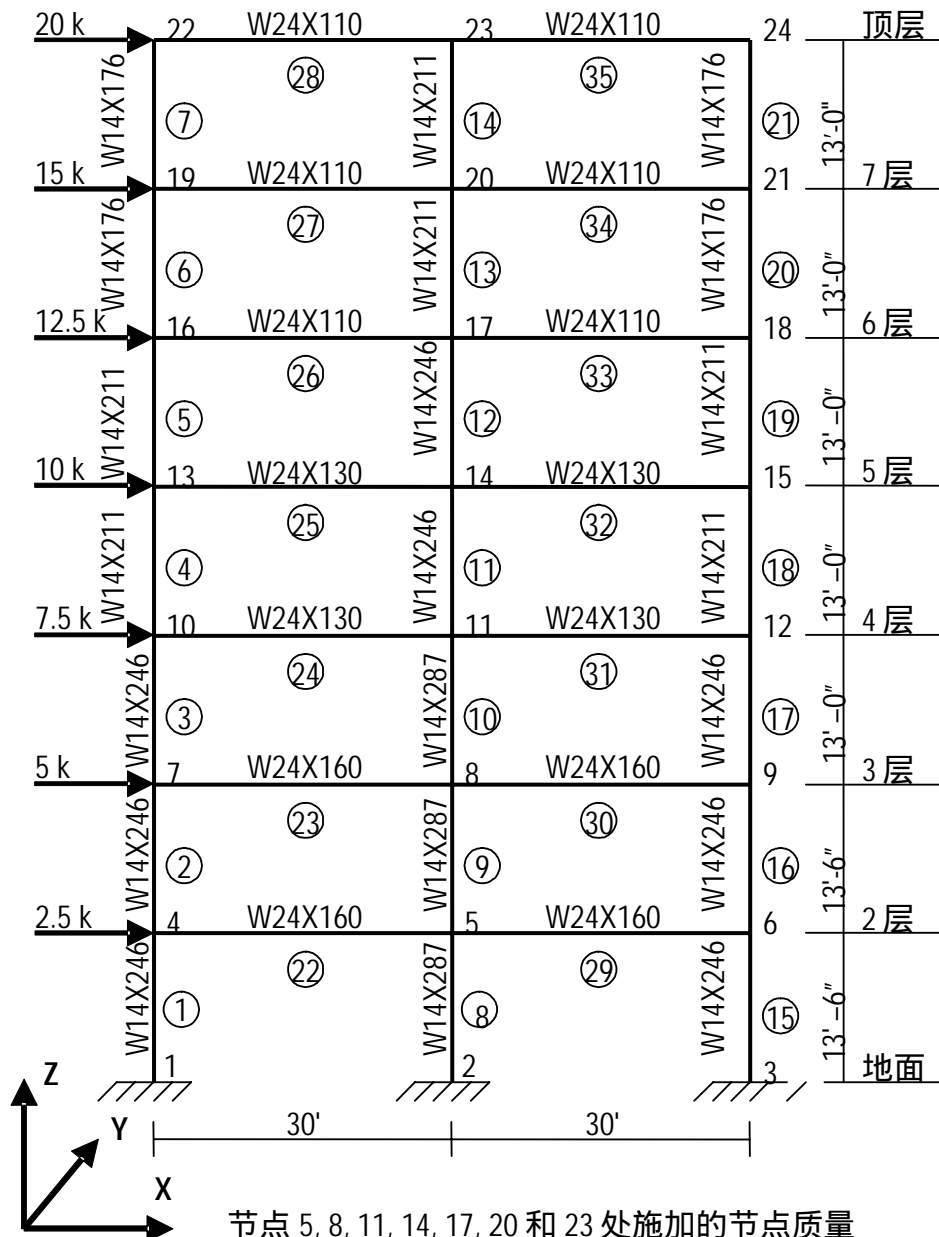
反应谱分析和模态时程分析中模态阻尼和 与直接综合时程分析中比例阻尼的比较				
模型	周期 (S)	质量参与系数	模态阻尼	比例阻尼
1	1.2732	0.800	0.05	0.05
2	0.4313	0.113	0.05	0.05
3	0.2420	0.042	0.05	0.073
4	0.1602	0.021	0.05	0.105
5	0.1190	0.014	0.05	0.139
6	0.0951	0.007	0.05	0.172
7	0.0795	0.003	0.05	0.205

SAP2000 时程分析中输出时间间隔为 0.02 秒，记录时间是前 8 秒钟。手算输出时间间隔为 0.1 秒。

重要注释:在本例题中每哟使用 AISC 的 SECTIONS8.PRO 截面数据库的截面属性，需要的截面属性是直接输入的。因为本例题中所使用的截面属性大部分都是以前的截面，而不是最新的 AISC 数据库中的截面。

PROGRAM NAME: SAP2000
REVISION NO.: 0

几何、属性和荷载参数



材料属性

$E = 29,500 \text{ k/in}^2$

截面属性

W14X176
 $A = 51.7 \text{ in}^2$
 $I = 2,150 \text{ in}^4$

W14X211
 $A = 62.1 \text{ in}^2$
 $I = 2,670 \text{ in}^4$

W14X246
 $A = 72.3 \text{ in}^2$
 $I = 3,230 \text{ in}^4$

W14X287
 $A = 84.4 \text{ in}^2$
 $I = 3,910 \text{ in}^4$

W24X110
 $A = 2.5 \text{ in}^2$
 $I = 3,330 \text{ in}^4$

W24X130
 $A = 38.3 \text{ in}^2$
 $I = 4,020 \text{ in}^4$

W24X160
 $A = 47.1 \text{ in}^2$
 $I = 5,120 \text{ in}^4$

节点 5, 8, 11, 14, 17, 20 和 23 处施加的节点质量

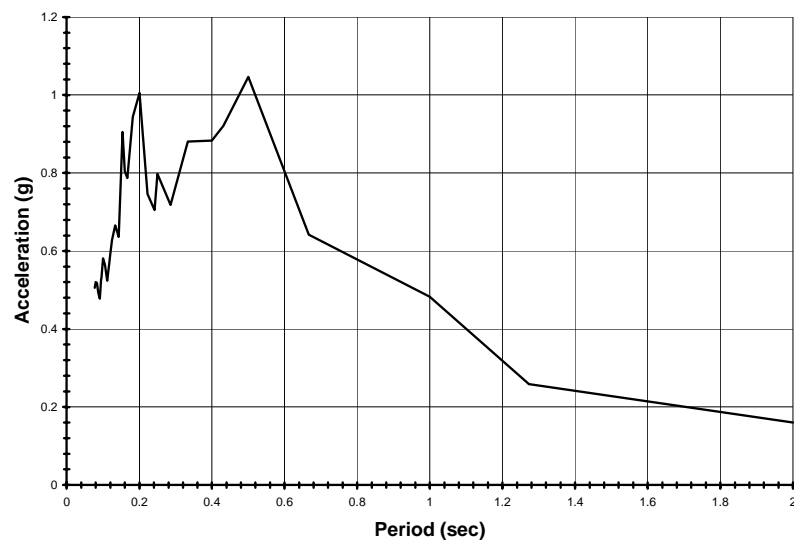
$m = 0.49 \text{ kip-sec}^2/\text{in}$ 仅 X 方向

PROGRAM NAME: SAP2000
 REVISION NO.: 0

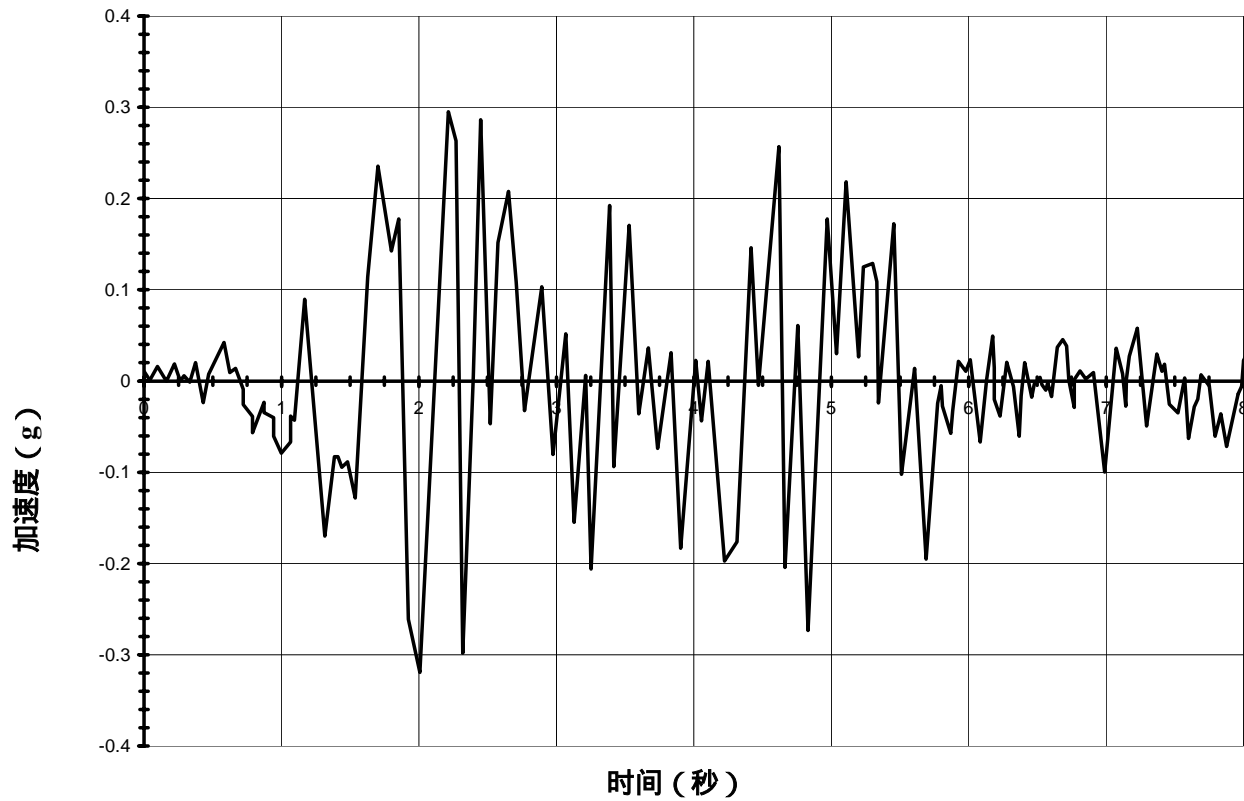
反应谱函数定义

周期(S)	加速度 (g)
0.0769	0.505311
0.0795	0.519598
0.0800	0.520045
0.0833	0.518093
0.0870	0.493366
0.0909	0.477599
0.0951	0.527825
0.0952	0.530631
0.1000	0.581609
0.1053	0.564412
0.1111	0.523663
0.1176	0.572438
0.1190	0.588211
0.1250	0.627807
0.1333	0.665413
0.1429	0.636531
0.1538	0.905796

周期(S)	加速度 (g)
0.1602	0.804605
0.1667	0.787220
0.1818	0.943909
0.2000	1.005620
0.2222	0.746135
0.2420	0.704753
0.2500	0.798052
0.2857	0.718264
0.3333	0.880624
0.4000	0.882996
0.4313	0.921167
0.5000	1.046620
0.6667	0.641750
1.0000	0.482251
1.2730	0.258617
2.0000	0.160189



底部激励时程分析定义



校验的 SAP2000 的技术特色

- 刚性隔板约束
- 节点力定义
- 节点质量指定
- 特征值模态分析 s
- 反应谱分析
- 底部激励模态时程分析
- 底部激励直接积分时程分析

结果对比

首选结果是采用 Engineering/Analysis Corporation and Computers/Structures International 中发表的值。

时间周期 (MODAL 分析工况)

输出参数	SAP2000	手算解	差异百分比
第一振型周期 (S)	1.2732	1.2732	0%
第二振型周期 (S)	0.4313	0.4313	0%
第三振型周期 (S)	0.2420	0.2420	0%
第四振型周期 (S)	0.1602	0.1602	0%
第五振型周期 (S)	0.1190	0.1190	0%
第六振型周期 (S)	0.0951	0.0951	0%
第七振型周期 (S)	0.0795	0.0795	0%

水平静力分析结果 (LAT 分析工况)

输出参数	SAP2000	手算解	差异百分比
节点 22 U_x 位移 (in)	1.45076	1.45076	0%
框架对象 1 中的轴向力 (kip)	69.99	69.99	0%
框架对象 1 中的弯矩 (k-in)	2324.68	2324.68	0%

下面第一个表格中显示的是当使用 SRSS 组合方法计算的反应谱分析结果。第二个表格中显示的是当使用 CQC 组合方法计算的反应谱分析结果。注意手算结果是基于 SRSS 组合方法进行的。

反应谱分析结果 (SPEC SRSS 分析工况)

输出参数	SAP2000	手算解	差异百分比
节点 22 U_x 位移(in)	5.436	5.438	-0.04%
框架对象 1 中的轴向力 (kip)	261.7	261.8	-0.04%
框架对象 1 中的弯矩 (k-in)	9864	9868	-0.04%

反应谱分析结果 (SPEC CQC 分析工况)

输出参数	SAP2000	手算解	差异百分比
节点 22 U_x 位移(in)	5.431	5.438	-0.13%
框架对象 1 中的轴向力 (kip)	261.5	261.8	-0.11%
框架对象 1 中的弯矩 (k-in)	9916	9868	+0.49%

下面第一个表格中显示的是使用模态时程分析方法计算的结果，第二个表格中显示的是使用直接积分程分析方法计算的结果

模态时程分析法结果 (MHIST1 分析工况)

输出参数	SAP2000	手算解	差异百分比
节点 22 U_x 位移(in)	5.486	5.46	+0.48%
框架对象 1 中的轴向力 (kip)	263.0	258.0	+1.94%
框架对象 1 中的弯矩 (k-in)	9104	8740	+4.16%

直接综合时程分析法结果 (DHIST1 分析工况)

输出参数	SAP2000	手算解	差异百分比
节点 22 U_x 位移(in)	5.485	5.46	+0.46%
框架对象 1 中的轴向力 (kip)	263.2	258.0	+2.02%
框架对象 1 中的弯矩 (k-in)	9183	8740	+5.07%

SAP2000 结果和手算结果不同是由于 SAP2000 输出间隔是 0.02 秒，而手算输出间隔是 0.1 秒。因此手算结果不能全部捕捉到 SAP2000 能够捕捉到的点。

SAP2000 模态时程分析和直接积分时程分析结果对比

上面的例子显示了 SAP2000 模态时程分析和直接综合时程分析结果的微小差异。这些微小差异是因为在这两个分析模型中阻尼比的值有微小不同，也因为 0.02 秒的输出时间间隔太粗糙，使结果不能完全收敛。

为了比较两种时程分析方法的结果，我们建立了两个新的工况，并且在其中将输出时间间隔改成了 0.001 秒。并且，模态时程分析方法阻尼比修改的与直接综合时程分析方法比例阻尼更为一致（见本例 2 页表格）。这两个新的工况分别叫 MHIST2 和 DHIST2。下面表格展示了这两个工况的结果。注意它们是相同的。

模态时程分析和直接积分时程分析结果对比 (输出时间间隔 0.001)

输出参数	SAP2000 模态 时程分析法 (MHIST2)	SAP2000 直接 积分时程分析 法 (DHIST2)	差异百分比
节点 22 U_x 位移(in)	5.499	5.499	0%
框架对象 1 中的轴 向力 (kip)	264.0	264.0	0%
框架对象 1 中的弯 矩 (k-in)	9200	9200	0%

计算模型文件: Example 1-022

结论

SAP2000 程序结果和手算结果对于静力分析是一致的，对于动力分析结果其差异是可以接受的。另外，当输出间隔足够小时，SAP2000 模态时程分析和直接积分时程分析结果是相同的。