

岩土工程有限元分析软件

PLAXIS 3D 2016[®]

案例教程

建筑物自由振动与地震分析



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层, 100043

版 权

计算机程序 PLAXIS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Plaxis bv。如果没有 Plaxis 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可，未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下获得：

北京筑信达工程咨询有限公司

北京市古城西街 19 号研发主楼 4 层 100043

电话：86-10-6892 4600

传真：86-10-6892 4600 - 8

电子邮件：support@cisec.cn

网址：www.cisec.cn

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有©, 2017.

目录

| | |
|-------------------|----|
| 建筑物自由振动与地震分析..... | 1 |
| 几何建模..... | 2 |
| 1.1 几何模型..... | 2 |
| 1.2 土层定义..... | 2 |
| 1.3 结构单元定义..... | 4 |
| 网格生成..... | 8 |
| 执行计算..... | 9 |
| 结果查看..... | 11 |

建筑物自由振动与地震分析

本例研究一个长条形五层建筑在自由振动和地震荷载作用下的固有频率问题。

该建筑地上五层,地下一层,宽 $10m$,高 $17m$ (含地下室)。地面以上总高度为 $5 \times 3m = 15m$,地下室埋深 $2m$ 。楼板和墙体重度按照 $5kN/m^2$ 计算。建筑物建造在 $15m$ 厚的黏土层之上,黏土层下部为深厚砂层。模型中考虑 $25m$ 厚的砂层。

几何建模

建筑物的长度远大于其宽度，假设地震在建筑物宽度方向上起主要作用。考虑以上因素，模型中只考虑 3m 长的代表段以减小模型尺寸。模型几何体系如图 1.1 所示。

1.1 几何模型

1. 启动输入程序，从快速选择(Quick select)对话框中选择开始新工程(Start a new project)。
2. 在工程属性(Project properties)窗口的工程(Project)页面中，输入合适的名称。
3. 保持默认单位并设置模型边界为 $X_{min}=-80$ ， $X_{max}=80$ ， $Y_{min}=0$ ， $Y_{max}=3$ 。

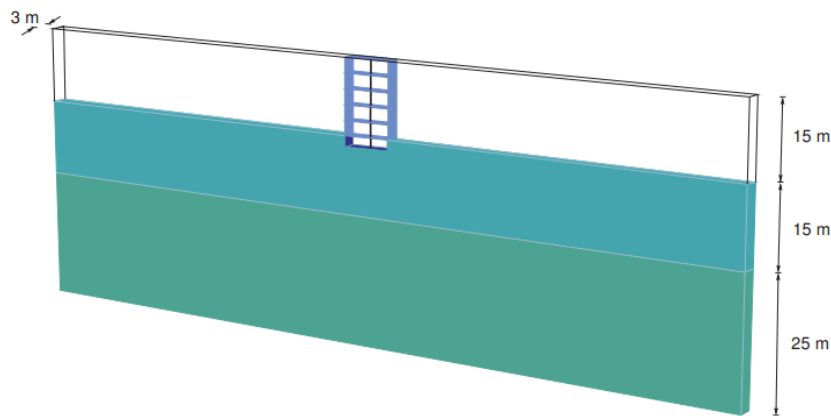


图 1.1 几何模型

1.2 土层定义

1. 地基土包含两层。上部黏土层，位于 $z=0$ 和 $z=-15$ 之间，下卧下部砂层展开至 $z=-40$ 。通过设置钻孔的水头(Head)为-15m 来定义潜水位。按照表 1.1 创建材料组集并赋给对应土层。上层土主要为黏土，下层土主要为砂土。忽略地下水作用。

表 1.1 地基土层材料属性表

| 参数 | 名称 | 上部粘土层 | 下部砂层 | 单位 |
|---------------|------------------|---------------------|---------------------|----------|
| 一般属性 | | | | |
| 材料模型 | Model | HS small 模型 | HS small 模型 | -- |
| 排水类型 | Type | 排水 | 排水 | -- |
| 地下水位以上重度 | γ_{unsat} | 16.0 | 20.0 | kN/m^3 |
| 地下水位以下重度 | γ_{sat} | 20.0 | 20.0 | kN/m^3 |
| 参数 | | | | |
| 标准三轴排水试验的割线刚度 | E_{50}^{ref} | 2.0×10^4 | 3.0×10^4 | kN/m^2 |
| 主固结加载下的切线刚度 | E_{oed}^{ref} | 2.561×10^4 | 3.601×10^4 | kN/m^2 |
| 卸载/重加载刚度 | E_{ur}^{ref} | 9.484×10^4 | 1.108×10^5 | kN/m^2 |
| 刚度与应力水平相关的幂值 | m | 0.5 | -- | -- |

| | | | | |
|-------------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------|
| 内聚力 | c'_{ref} | 10 | 5 | kN/m^2 |
| 摩擦角 | φ' | 18 | 28 | ° |
| 剪胀角 | ψ | 0 | 0 | ° |
| 泊松比 | ν'_{ur} | 0.2 | 0.2 | -- |
| $G_s = 0.722G_0$ 时的剪切应变 | $\gamma_{0.7}$ | 1.2×10^{-4} | 1.5×10^{-4} | -- |
| 小应变剪切模量 | G_0^{ref} | 2.7×10^5 | 1.0×10^5 | ° |

2. 当作用周期剪切荷载时，*HS small* 模型将表现出明显的滞后效应。从小应变剪切刚度 G_0^{ref} 开始，实际刚度将随着剪应变的增加而减少。图 1.2 和 1.3 展示了模量衰减曲线，比如剪切模量随应变的衰减。

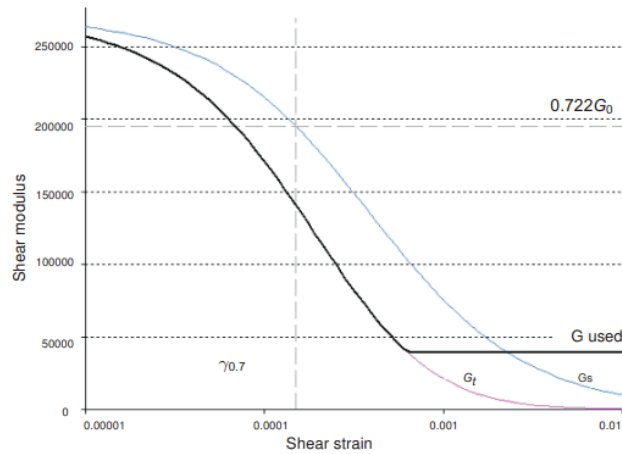


图 1.2 上部粘土层模量衰减曲线

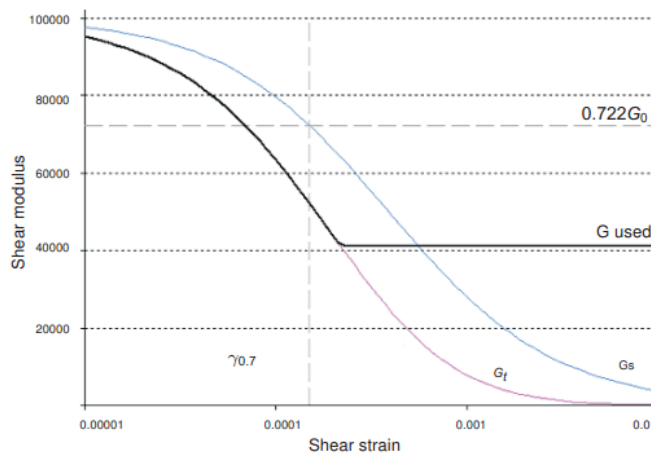


图 1.3 下部砂土层模量衰减曲线

3. 在 *HS small* 模型中，切线剪切模量下限值为 G_{ur} :

$$G_{ur} = \frac{E_{ur}}{2(1+\nu_{ur})}$$

4. 表 1.2 为上部黏土层和下部砂土层的 G_{ur}^{ref} 值，及其与 G_0^{ref} 的比值。该比值决定了能够得到的最大阻尼比。

表 1.2 G_{ur} 值及其与 G_0^{ref} 的比值

| 参数 | 单位 | 上部粘土层 | 下部砂层 |
|----------------------|----------|-------|-------|
| G_{ur} | kN/m^2 | 39517 | 41167 |
| G_0^{ref} / G_{ur} | -- | 6.75 | 2.5 |

5. 图 1.4 和 1.5 为模型中材料的阻尼比与剪应变的函数关系。关于从模量衰减曲线到阻尼曲线的详尽描述可以参看相关文献。

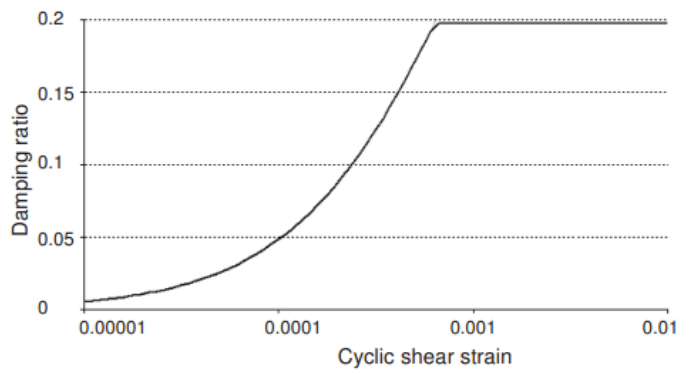


图 1.4 上部黏土层阻尼曲线

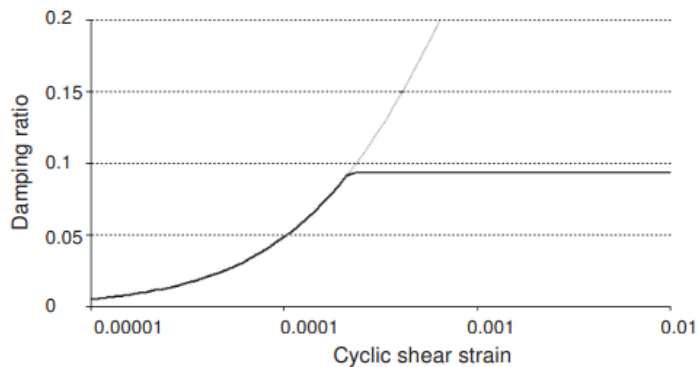


图 1.5 下部砂土层阻尼曲线

1.3 结构单元定义

模型的结构单元在结构(Structures)模式下定义，步骤如下：

1. 定义通过点(-5 0 -2)，(5 0 -2)，(5 3 -2)和(-5 3 -2)的面
2. 通过在 z 方向上定义一维阵列来复制面。设置列数为 2，间距为 2m。
3. 选中 z=0 的面，定义一个 z 方向的一维阵列，设置列数为 6，间距为 3m。
4. 定义通过点(5 0 -2)，(5 3 -2)，(5 3 15)和(5 0 15)的面



5.  通过在 x 方向上定义一维阵列来复制面。设置列数为 2，间距为-10m。
6. 选择 $z=0$ 处垂直和水平方向的面
7. 右键点击选中面，在弹出的菜单中选择**相交并重组(Intersect and recluster)**选项。在**结构(Structures)模式**下进行相交运算非常重要，因为不同的材料组将分别赋给地下室和建筑物的其他部分。
8.  选中所有代表建筑物的面(包括地下室，楼层，墙体)，点击右键并从弹出菜单中选择**创建板(Create plate)**选项。
9. 按照表 1.3 为表示结构的板定义材料组。注意地下室和建筑物其他部分采用两种不同的材料组。
10. 对 $z=-2$ 的水平板和地表以下的竖向板赋予地下室(**Basement**)材料属性。
11. 对模型中其余的板赋予对应的材料属性
12. 为了模拟建筑物地下室的结构-土相互作用，在地下室外侧创建界面。注意按照面的局部坐标系，创建正向或负向界面。

表 1.3 建筑物材料属性(板属性)

| 参数 | 符号 | 上部结构 | 地下室 | 单位 |
|------|------------|--------------------|--------------------|----------|
| 厚度 | d | 0.3 | 0.3 | m |
| 重度 | γ | 33.33 | 50 | kN/m^3 |
| 材料属性 | $Type$ | 线性、 各项同性 | 线性、 各项同性 | -- |
| 杨氏模量 | E_1 | 3×10^7 | 3×10^7 | kN/m^2 |
| 瑞利阻尼 | α | 0.2320 | 0.2320 | -- |
| | β | 8×10^{-3} | 8×10^{-3} | -- |
| 泊松比 | ν_{12} | 0 | 0 | -- |









13. 结构的中柱采用**点对点锚杆(Node-to-node anchor)**模拟，按照以下步骤建立结构中柱：
 - 1)  创建一条通过点(0 1.5 -2)和(0 1.5 0)的线，对应地下室的柱。
 - 2)  创建一条通过点(0 1.5 0)和(0 1.5 3)的线，对应首层柱。
 - 3)  通过定义一个 z 方向的一维阵列，复制后一条线，设置列数为 5，间距为 3m。
 - 4)  选中创建的直线，右键点击并在弹出的菜单中选择创建**点对点锚杆(Create node-to-node anchor)**选项。
 - 5) 按照表 1.4 创建材料组并赋给点对点锚杆。

表 1.4 点对点锚杆材料属性

| 参数 | 符号 | 柱 | 单位 |
|------|--------|-------------------|------|
| 材料类型 | $Type$ | 弹性 | -- |
| 轴向刚度 | EA | 2.5×10^6 | kN |

14. 在建筑的左上角施加一个 $10kN/m$ 的横向力，步骤如下：

- 1)  创建一条通过(-5 0 15)和(-5 3 15)的直线。
 - 2) 指定荷载分量为(10 0 0)。
15. 地震作用通过在底边界上施加指定位移来模拟。建立指定位移的步骤为：
- 1)  创建一个通过点(-80 0 -40)，(80 0 -40)，(80 3 -40)和(-80 3 -40)的指定面位移。
 - 2) 指定位移的 x 分量设为指定(*Prescribed*)并赋值为 1.0，然后将指定位移的 y , z 分量设为固定(*Fixed*)。分布形式默认为统一。
16. 定义指定位移的动力乘子：
- 1) 在模型浏览器(*Model explorer*)中展开属性库(*Attributes library*)子树，右键点击动力乘子(*Dynamic multipliers*)并在弹出菜单中选择编辑(*Edit*)选项。乘子(*Multipliers*)窗口弹出并显示位移乘子(*Displacement multipliers*)页面。
 - 2)  在乘子(*Multipliers*)窗口点击对应的按钮来添加一个乘子。
 - 3) 在信号(*Signal*)下拉菜单中选择表(*Table*)选项
 - 4) 包含地震数据的文件可以在 PLAXIS 知识库中得到 (<https://kb.plaxis.nl/search/site/smc>)。复制所有数据到一个文本编辑器文件(如记事本 *notepad*)并保存到你的电脑。
 - 5) 在网页浏览器中打开上述页面并复制所有数据。
 - 6)  在乘子(*Multipliers*)窗口中点击打开(*Open*)按钮，选择已保存的文件。在导入数据(*Import data*)窗口中的解析方法(*Parsing method*)下拉菜单中选择强震动观测 CD-ROM 文件(*Strong motion CD-ROM files*)选项，单击确定(*OK*)关闭窗口。
 - 7) 动力乘子(*Dynamic Multipliers*)窗口中显示数据表和数据图(图 1.6)。
 - 8) 在数据类型(*Data type*)下拉列表中选择加速度(*Acceleration*)选项。
 - 9) 在模型浏览器(*Model explorer*)中展开面位移(*Surface displacement*)子树，通过在下拉菜单中选择对应选项，将 *DisplacementMultiplier_1* 赋给 x 分量。

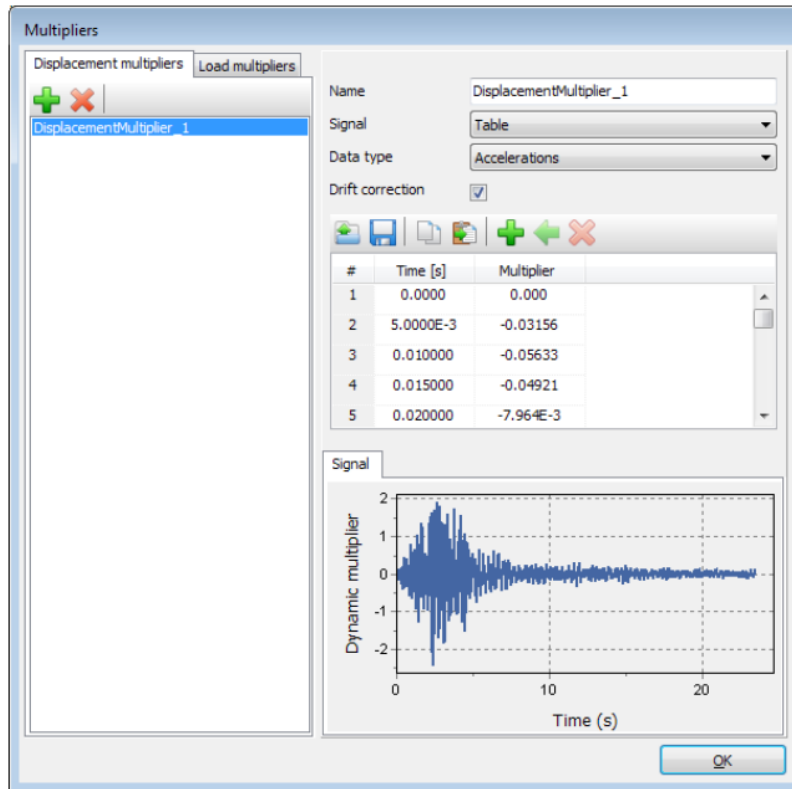


图 1.6 动力乘子窗口

网格生成

1. 进入网格(Mesh)模式。
2. 点击生成网格(*Generate mesh*)按钮。设置单元分布为细(*Fine*)。
3. 观察生成的网格(图 2.1)。

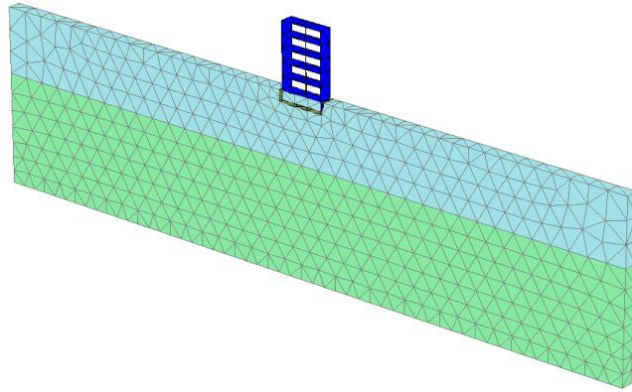


图 2.1 几何模型及网格


执行计算

计算过程包括初始条件阶段，建筑施工模拟，加载，自由振动分析和地震分析。

1. 初始阶段

- 1) 点击分步施工(*Staged construction*)页面，定义计算阶段。
- 2) 初始阶段已自动定义。本章将使用初始阶段的默认设置。
- 3) 在分步施工(*Staged construction*)模式中确认建筑物和荷载未激活。

2. 阶段一

- 1)  添加一个新的阶段(阶段_1)。本计算阶段将使用默认设置。
- 2) 在分步施工(*Staged construction*)模式中建造建筑物(激活所有板，界面和锚杆)，冻结地下室的实体单元(图 3.1)

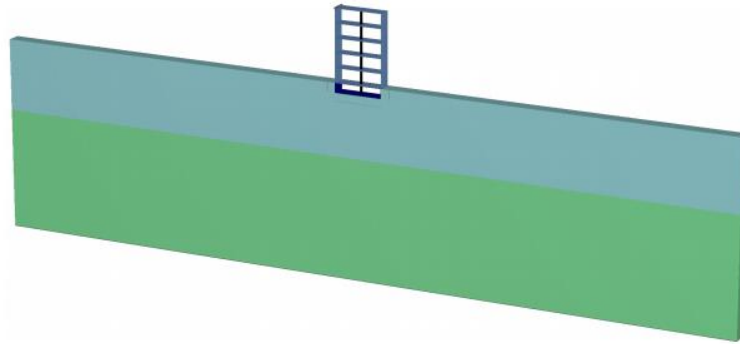





图 3.1 建筑物施工

3. 阶段二

- 1)  添加一个新的阶段(阶段_2)
- 2) 在阶段(*Phases*)窗口中的变形控制(*Deformation control*)参数子树中选择重置位移为 0(*Reset displacement to zero*)。本计算阶段的其余参数将使用默认值。
- 3) 在分步施工(*Staged construction*)模式下激活线荷载。已经在结构(*Structures*)模式中已经定义了荷载值。

4. 阶段三




- 1)  添加一个新的阶段(阶段_3)。
- 2)  在阶段窗口中选择动力 (*Dynamic*) 选项作为计算类型。
- 3) 设置时间间隔(*Time interval*)参数为 5 秒。
- 4) 在分步施工(*Staged construction*)模式中冻结线荷载。
- 5) 在模型浏览器(*Model explorer*)中展开模型条件(*Model conditions*)子树。
- 6) 展开动力(*Dynamic*)子树。默认 *x*, *y* 方向边界条件为粘性(*Viscous*)边界。*y* 方向边界条件选为无(*None*)。设置 *Z_{min}* 边界条件为粘性(*Viscous*)。

注：为了更好的查看结果，自由振动和地震可以创建为动画。为了创建动画，建议增加保存的计算步数，可以在阶段窗口的参数 (*Parameter*) 页面中将保存的最大步数 (*Max steps saved*) 参数设置为一个合适的值(图 3.2)。



图 3.2 动力计算的边界条件

5. 阶段四

- 1)  添加一个新的阶段(阶段_4)。
 - 2) 在阶段窗口设置开始阶段(*Start from phase*)选项为阶段 1(建筑物施工)。
 - 3)  选择计算类型为动力计算。
 - 4) 设置动力时间间隔参数为 20 秒。
 - 5) 在变形控制参数子树中选择重置位移为零。本计算阶段的其余参数将使用默认值。
 - 6) 在模型浏览器(*Model explorer*)中激活面位移(*Surface displacement*)及其动力分量。此阶段中 Z_{min} 边界为非粘滞边界
6.  选择荷载位移曲线点(0 1.5 15)，(0 1.5 6)，(0 1.5 3)和(0 1.5 -2)。开始计算。

查看结果

1. 图 4.1 显示了阶段 2 结束时结构的变形情况(施加了水平荷载), 图 4.2 显示了自由振动阶段选定点 A(0 1.5 15),B(0 1.5 6),C(0 1.5 3)和 D(0 1.5 -2)处的位移时程曲线。从图中可以看出由于土体和建筑物的阻尼作用, 振动随时间逐渐衰减。
2. 在设置窗口的图表(Chart)页面的动力 (Dynamics) 框中, 选择使用频率表示法 (频谱) (Use frequency representation(spectrum)) 和 使用标准频率 (Use standard frequency(Hz)) 选项, 结果如图 4.3 所示。从图中可以估算出该建筑的主频率约为 1Hz。也可以创建自由振动与地震的结果动画以更好的查看结果。
3. 图 4.4 显示了地震阶段点 A(0 1.5 15)处的位移时程曲线。从图中可以看出由于土体和建筑物的阻尼作用, 振动随时间逐渐衰减。
4. 地震作用的时程特征通过快速傅立叶变换, 转化为标准化功率谱, 如图 4.5 所示。

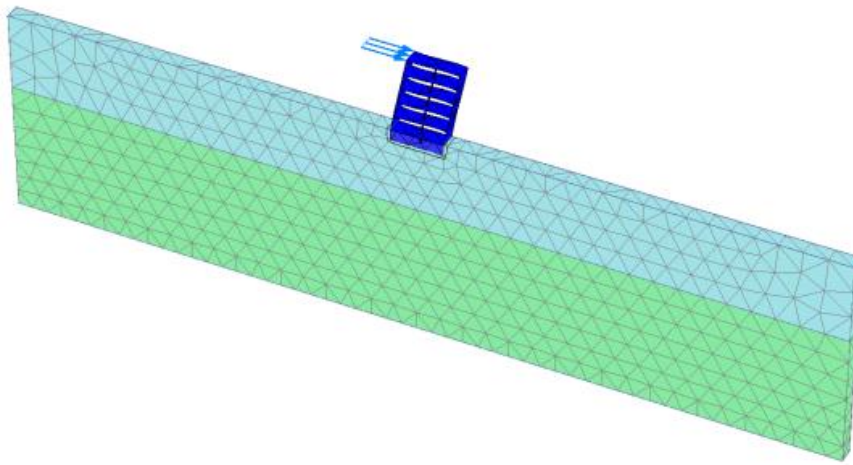


图 4.1 系统变形网格

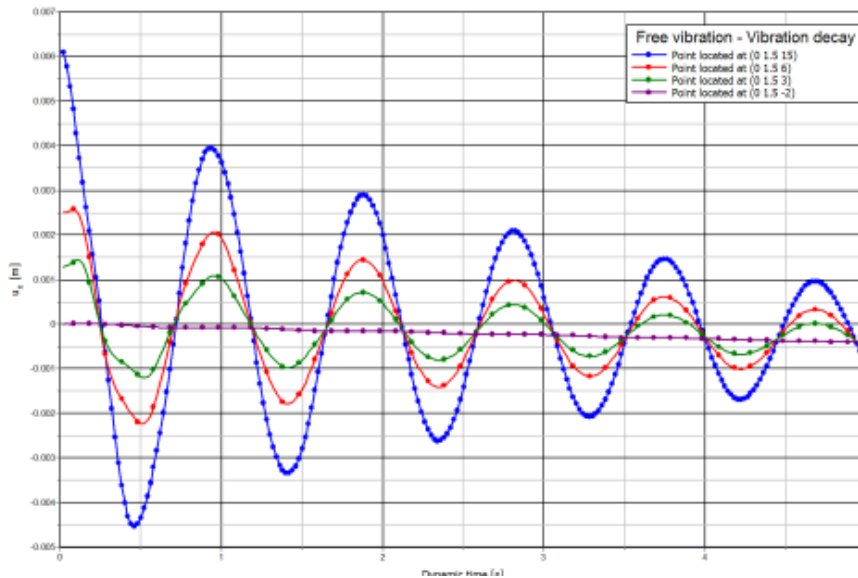


图 4.2 位移时程曲线(自由振动)

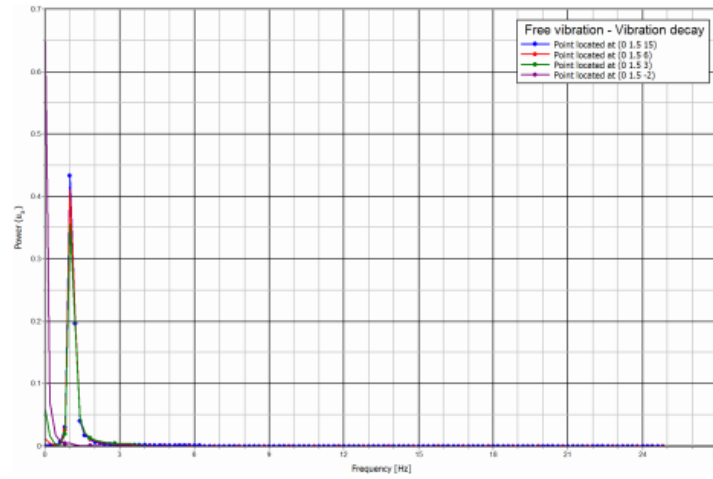


图 4.3 频率表示法(频谱-自由振动)

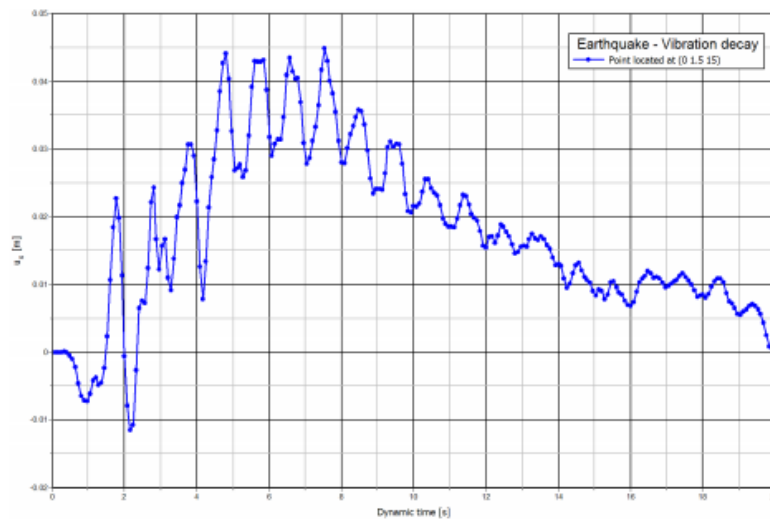


图 4.4 建筑物顶部的位移时程曲线(地震)

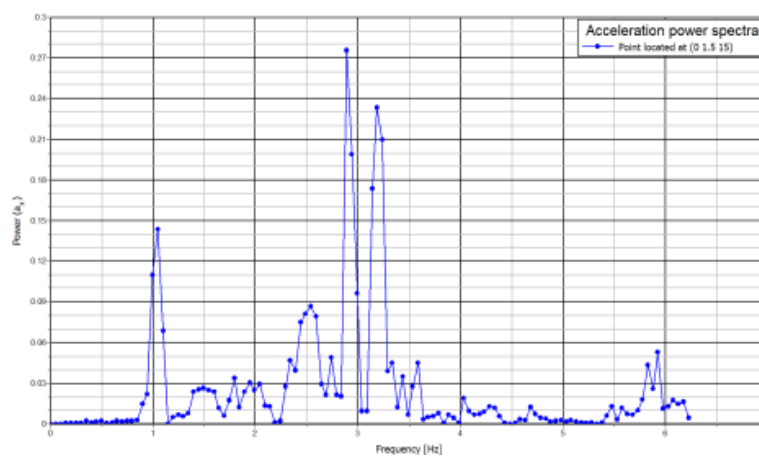


图 4.5 点(0 1.5 15)处的加速度功率谱

本教程到此结束！