

独立基础精度丢失警告

本案例主要介绍某独立基础节点精度丢失的两类原因及解决办法。

使用软件/SOFTWARE

SAFE v22.3.0

模型简介/MODEL

如图 1 所示为某柱下独立基础的模型，建模时首先导入上部结构的柱底反力，然后导入 CAD 建筑平面图绘制构件。模型中包含基础底板、上柱以及柱下刚域。

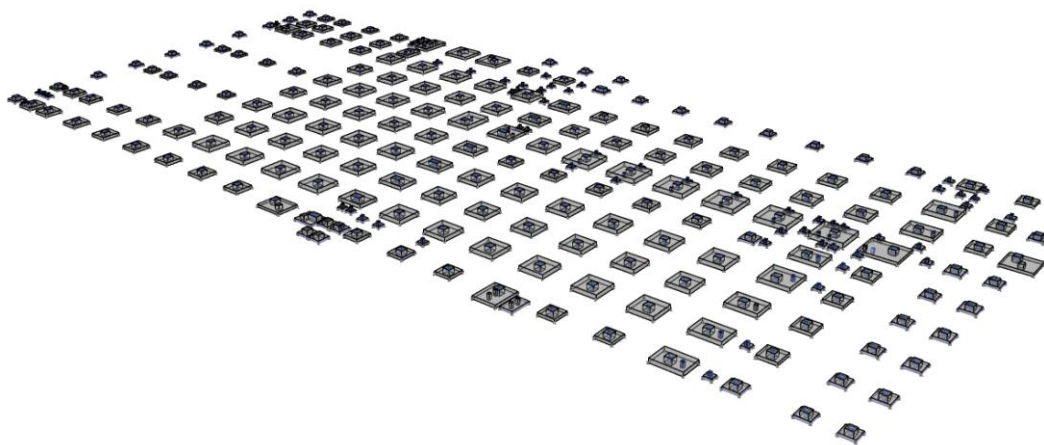


图 1 独立基础模型

问题描述/PROBLEM

采用标准求解器进行分析后，程序给出了警告信息。查看运行日志，发现若干节点显示“精度丢失 (Lost accuracy)”，如图 2 所示。检查这些节点的位移并没有异常大的情况，那么是什么原因导致了精度丢失呢？是否会影响计算结果？

S 分析完成						
File Name: E:\####2024年第四季度\2024年第四季度工程应用案例...\11939-原始模型 (FDB)						
Start Time: 2024/12/2 14:03:13 Elapsed Time 00:00:40						
Finish Time 2024/12/2 14:03:54 Run Status: 结束 - 分析完成						
Run 1						
NUMERICAL PROBLEMS ENCOUNTERED DURING EQUATION SOLUTION:						
TYPE	LABEL	DOF	X-COORD	Y-COORD	Z-COORD	PROBLEM
Joint	2053	UZ	108375.000	272675.000	.000000	Lost accuracy 6.0 digits
Joint	2045	UZ	15325.000	269625.000	.000000	Lost accuracy 6.0 digits
Joint	2061	UZ	122275.000	215675.000	.000000	Lost accuracy 6.0 digits
Joint	2081	UZ	108225.000	155675.000	.000000	Lost accuracy 6.0 digits
Joint	2077	UZ	105325.000	155675.000	.000000	Lost accuracy 6.0 digits
Joint	2065	UZ	9325.000	134075.000	.000000	Lost accuracy 6.0 digits
Joint	2085	UZ	82325.000	134075.000	.000000	Lost accuracy 6.0 digits
Joint	2089	UZ	82325.000	131175.000	.000000	Lost accuracy 6.0 digits
Joint	2069	UZ	9325.000	131025.000	.000000	Lost accuracy 6.0 digits
Joint	~12818	UZ	8100.000	269950.000	.000000	Lost accuracy 6.3 digits
Joint	2049	UZ	8425.000	269625.000	.000000	Lost accuracy 6.0 digits
Joint	2073	UZ	118375.000	14675.000	.000000	Lost accuracy 6.0 digits
Joint	2041	UZ	118375.000	10975.000	.000000	Lost accuracy 6.0 digits
Joint	126	UZ	.000000	272999.000	.000000	Lost accuracy 8.4 digits
Joint	115	UZ	44999.000	263999.000	.000000	Lost accuracy 8.0 digits
Joint	116	UZ	74999.000	263999.000	.000000	Lost accuracy 8.0 digits
Joint	29	UZ	44999.000	224999.000	.000000	Lost accuracy 8.0 digits
Joint	44	UZ	74999.000	224999.000	.000000	Lost accuracy 8.0 digits

图 2 节点精度丢失警告



解决办法/SOLUTION

该模型中导致节点精度丢失的原因有两类：一是建模几何误差引起的剖分面单元形状异常；二是刚域厚度不合理引起的构件之间刚度相差过大。接下来，我们将分别进行说明。

1) 建模几何误差

该原因引起的精度丢失，涉及的节点为柱底节点（对象节点）和基础底板中心点（有限元节点）。以报错的有限元节点~6106为例，SAFE 中可以通过变形图查看有限元节点，再通过节点坐标进行精确定位。如图 3 所示，逐渐放大视图后可以看到，该节点为基础底板中心点，而柱底节点与中心点并未重合：柱底节点坐标为（104.999m，209.999m），中心点坐标为（105m，210m），存在 1mm 的几何误差。程序在剖分面对象时生成了“细长条状”的四边形单元。根据《CSI 分析参考手册》第十章中关于“壳单元形状指导”的建议，一个单元的特征系数不应太大（至少小于 4，不得超过 10）。对于四边形单元，特征系数是指对边中点连线的较长距离与较短距离的比值。显然，“细长条状”四边形单元的特征系数已超过 10，导致了计算时的精度丢失。

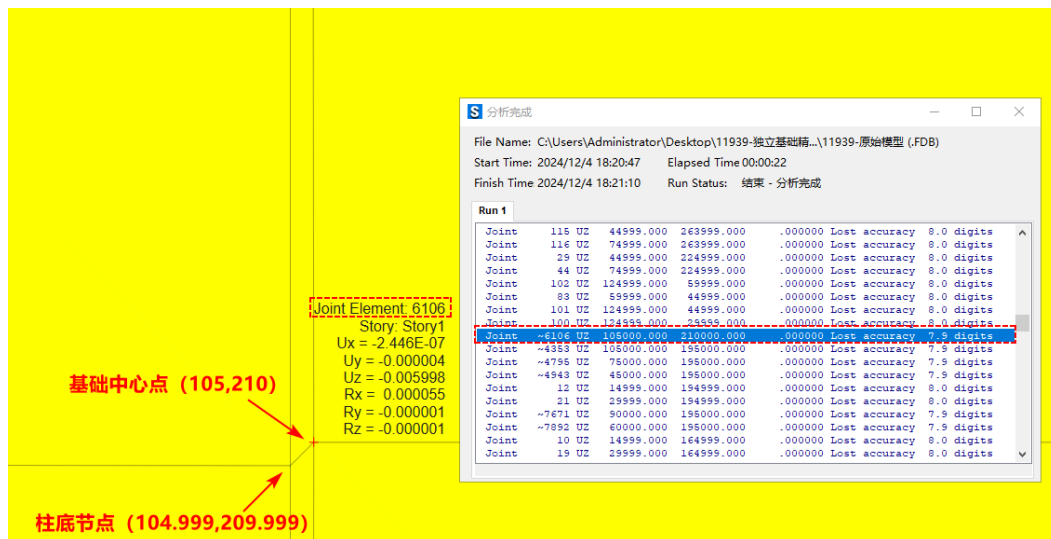


图 3 面单元形状异常引起的精度丢失

那么为什么程序没有直接基于柱底节点进行剖分，而是在基础中心点处产生了剖分点？1mm 的误差为什么没有进行合并呢？这就涉及到板自动剖分中的两个选项——“局部剖分”和“根据需要合并节点”，如图 4 所示。板的自动剖分选项中，“矩形网格”剖分生成的四边形单元为矩形，适用于矩形板的分析；选择矩形网格剖分后，程序默认勾选“局部剖分”和“根据需要合并节点”选项。

勾选“局部剖分”选项后，程序优先按照最大剖分尺寸进行剖分，并确保剖分线之间的最大距离为最大剖分尺寸的一半，最后再经过板包含的节点（包括梁/板/柱等构件的从属节点，以及指定楼板剖分选项的特殊节点）进一步剖分。因此，对于矩形板，剖分线必然首先经过中心点，最后经过柱底节点。勾选“根据需要合并节点”选项后，节点合并的容差为最大剖分尺寸的 10%。在该模型中，最大剖分尺寸为 1.2m，则节点合并容差为 120mm，远大于中心点与柱底节点间的几何误差，因此程序无法自动合并。

如果取消勾选“局部剖分”选项，程序会优先经过板包含的所有节点，最后根据最大剖分尺寸进行剖分。对于该模型，取消该选项后重新运行分析，几何建模误差引起的节点精度丢失警告消失，基础底板的剖分网格线只经过柱底节点，如图 5 所示。

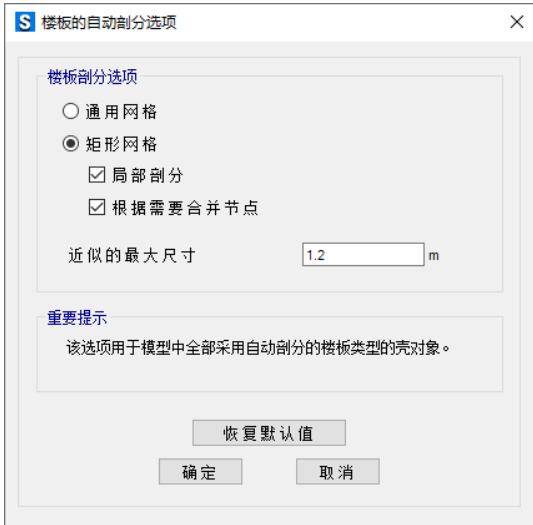


图 4 基础的自动剖分选项

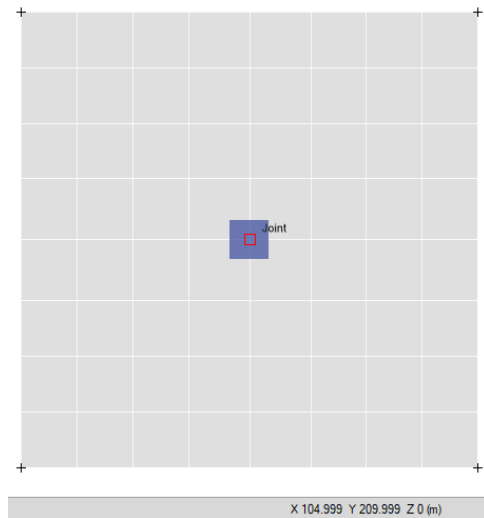


图 5 取消“局部剖分”选项的分析模型

2) 刚域厚度不合理

几何建模误差引起的节点精度丢失警告消除后，仍有少量节点存在精度丢失，如图 6 所示。经检查，精度丢失的节点均为刚域的角度点，且对应的基础厚度为 600mm。

该模型包含 15 种不同厚度的基础底板，最小为 600mm，最大为 1400mm，而刚域的厚度统一采用 1500mm。由于刚域的抗弯刚度默认被程序放大 100 倍，对于 600mm 厚的基础，1500mm 厚的刚域刚度过大，导致刚域角点周围单元的刚度差异过大，从而造成精度丢失。

基础建模时，刚域的厚度通常应与基础底板的厚度一致。因此，在该模型中，应定义不同厚度的刚域，并在绘制基础底板的同时，绘制相应厚度的刚域。修改报错节点所属刚域的厚度为 600mm 后，再次运行分析，节点精度丢失警告消除。

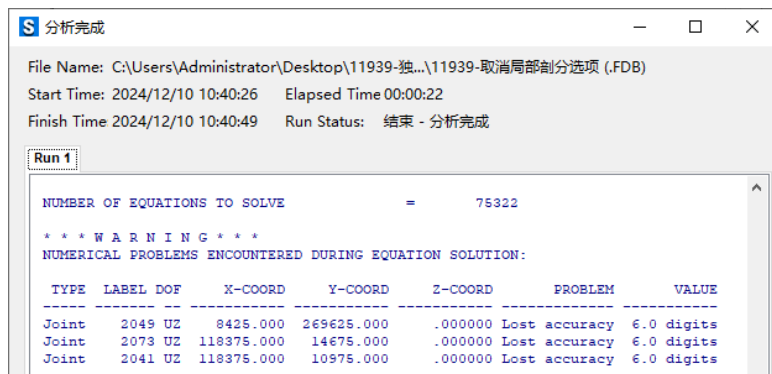


图 6 刚度相差过大引起的精度丢失

如果在高级求解器下运行分析，程序没有任何警告信息，说明节点精度丢失的数量对分析结果的影响不大，求解精度足够。关于精度丢失的更多内容，请参考知识库《[数值精度丢失和病态](#)》和工程应用案例解析《[精度丢失产生的原因](#)》。

综上，如果模型存在建模几何误差引起的节点精度丢失问题，可以检查板的自动剖分选项，避免生成形状奇异的面单元。对于包含刚域模型，刚域厚度宜与板厚度相同。如果是通过导入 CAD 建筑平面图创建模型，建议在 CAD 中将不同厚度的板和刚域轮廓绘制在不同图层，以便导入 SAFE 时能够按照厚度绘制板和刚域。