

ICEM划分结构网格

ICEM结构网格划分——以AIJ Guidebook Case D为例

作者：[沈佳磊](#)

邮箱：jialeishen@smail.nju.edu.cn

创建：2016-12-19

编辑：2017-06-24

[ICEM结构网格划分——以AIJ Guidebook Case D为例](#)

[0.前言](#)

[1.几何模型导入ICEM](#)

[2.几何模型修复](#)

[3.创建part](#)

[4.创建block](#)

[5.分割block](#)

[6.删除block](#)

[7.设定网格参数](#)

[8.生成网格](#)

[9.输出网格](#)

0.前言

本教程PDF版[点这里](#)下载。

对于城市微气候的模拟（主要是城市风环境），日本建筑协会（AIJ）公开了几个典型案例的风洞试验数据，供CFD模拟的实验数据验证，具体的案例数据可以查看[这里](#)。这里需要提到的是，AIJ所给的几个验证案例的建筑类型较为丰富，包括简单的单体建筑模型、理想几何形态的城市模型、真实几何形态的城市模型，还包括植被模型、污染物扩散模型。对于一般的城市风环境问题而言，几乎是囊括了所有可能的情况，因此非常有必要对此进行深入的学习与研究。可以这样说，只要能够将这几个案例在CFD软件中较好地实现模拟，那么对于其他的城市风环境的问题而言，至少在软件应用方面已经不成问题。我们这里使用常见的CFD 商用软件ANSYS Fluent为例，实现几个验证案例的模拟。

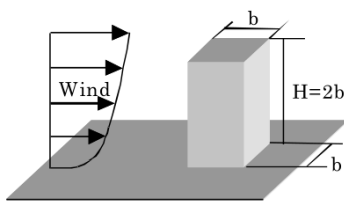


Figure 1 Single high-rise building (2:1:1 square prism)

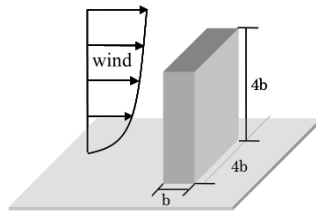


Figure 2 Single high-rise building (4:4:1 square prism)

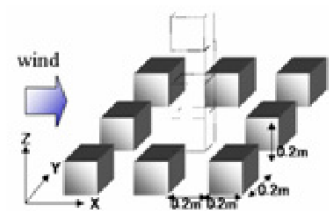


Figure 3 Simple city block

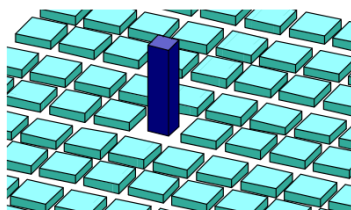


Figure 4 High-rise building in city

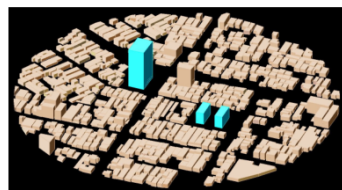


Figure 5 Building complexes in actual urban area (Niigata)

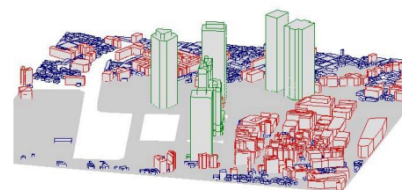


Figure 6 Building complexes in actual urban area (Shinjuku)

接触过CFD的人都知道，CFD模拟主要包括三大部分：

- 前处理
- 求解
- 后处理

其中，前处理又包括**几何建模**和**网格划分**，其中**网格划分**是CFD中非常重要的一块。一般来说，如果使用商业CFD软件，类似Fluent来进行数值模拟的话，大部分的时间是花在网格划分上。网格的概念与CFD有限体积法下控制方程的求解有关，在此不进行介绍，有兴趣的同学可以去阅读CFD相关书籍，推荐[《数值传热学》](#)。需要了解的是，**网格质量会严重影响计算精度和计算所需时间**，如果网格质量太差，有可能会计算出计算发散的情况。因此，需要对网格划分有足够的重视。对于Fluent的网格划分，有大量相关软件都可以完成，包括ANSYS自带的ICEM和Meshing工具，以及其他的类似Gambit，Hypermesh等，其中目前比较常用的主要是ICEM和Gambit。Gambit比较早期，功能强大，对于结构和非结构网格都能较好划分，之前我一直用的Gambit，现在慢慢转到ICEM，但也经常会用Gambit来处理一些ICEM里比较难处理的问题。但是Gambit在使用中也存在一些问题（可能跟我用的是盗版有关），目前软件已经停止更新。目前比较新兴和时髦的网格软件是ICEM，ICEM功能强大，对于结构和非结构网格都能很好处理，尤其是其结构网格划分，功能非常强大。对于各网格软件的对比和讨论，可以参见[这里](#)。

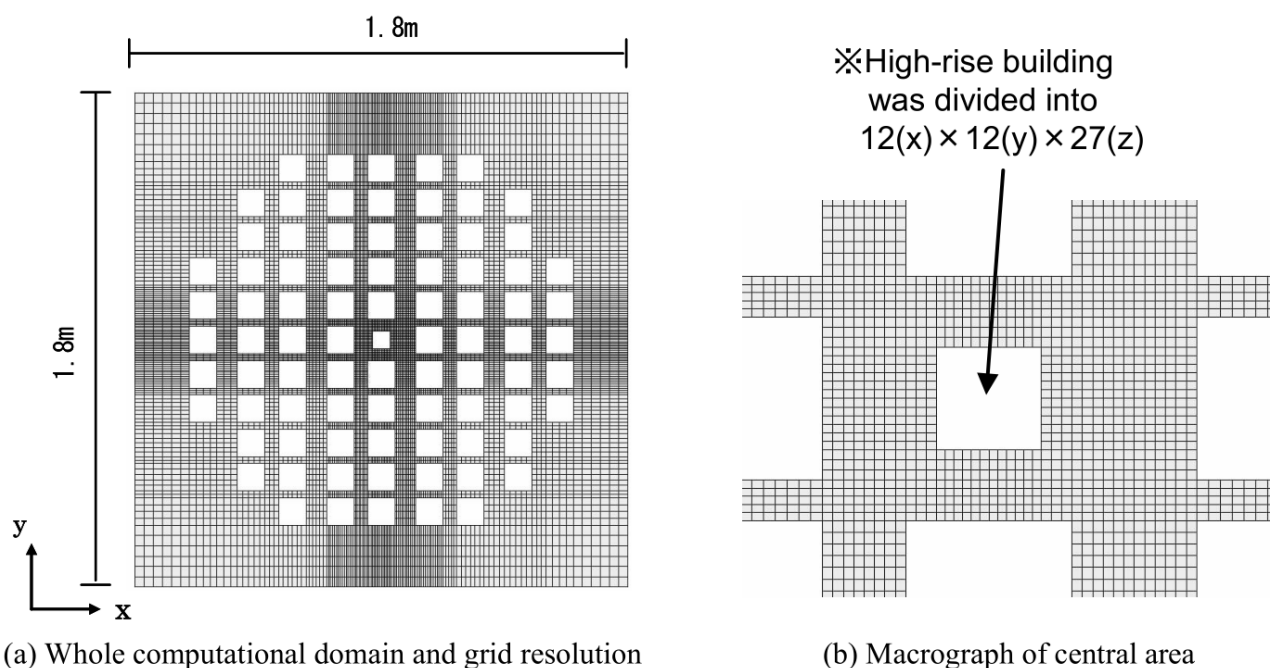


Figure 9 Computational domain and grid resolution for standard calculation conditions

我们这里选取AIJ案例中的Case D进行网格划分讲解，考虑到Case D的几何模型规整，便于划分**结构网格**，对于网格质量的控制较好，因此我们这里介绍**使用ICEM对Case D案例进行结构网格划分**。对于什么是结构网格和非结构网格，可以参见[这里](#)。

1.几何模型导入ICEM

ICEM最大的特点在于其划分**结构化网格**时，采用**块（Block）**的思想，通过建立块（Block），并将块（Block）与几何体进行**映射（Associate）**，**对块（Block）进行网格划分，而不是直接对几何体进行网格划分**，这样可以把相对复杂的几何结构转换为简单的块（Block）的组合。这样对块（Block）进行划分，一方面可以简化几何结构，把复杂的问题简单化，另一方面又同时有很强的操作性。

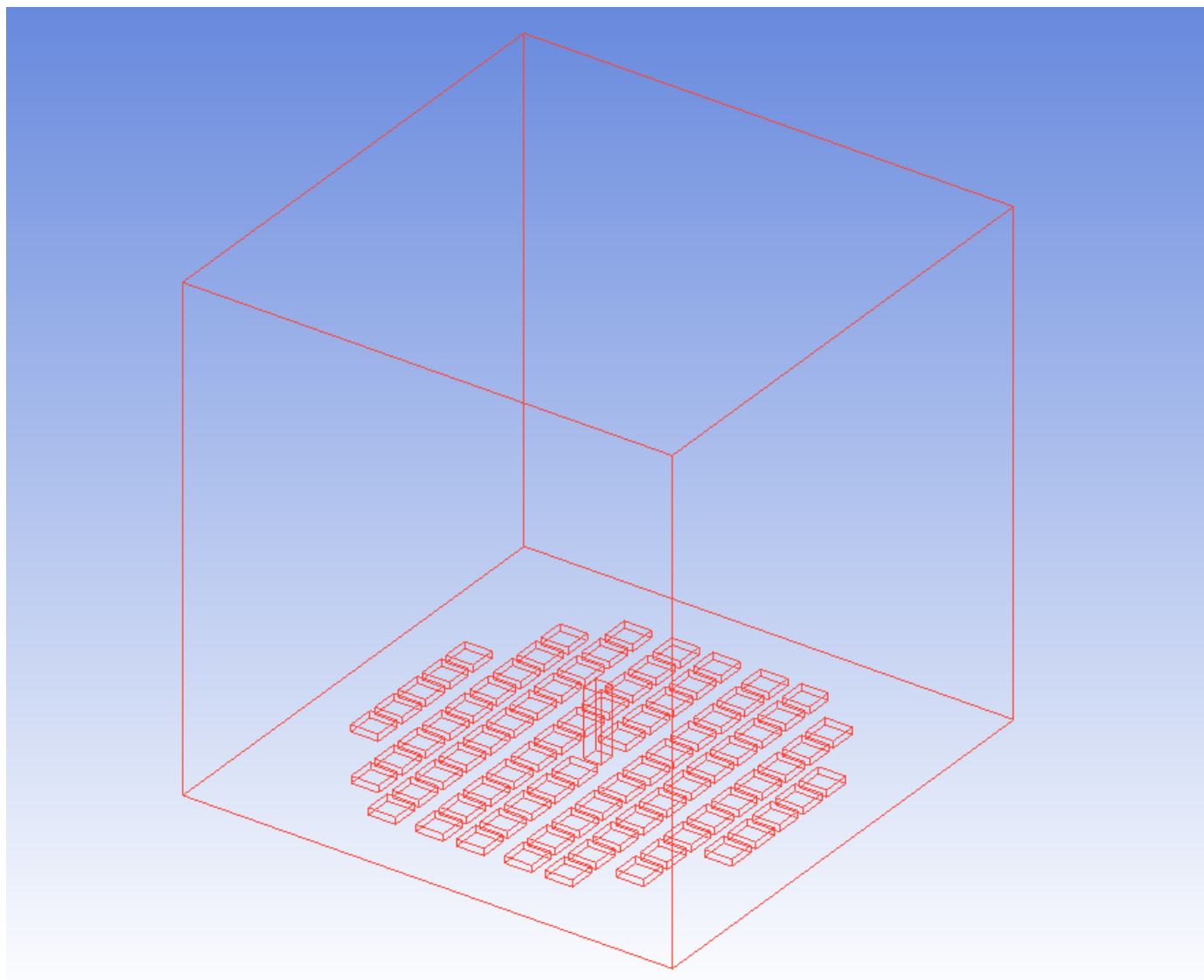
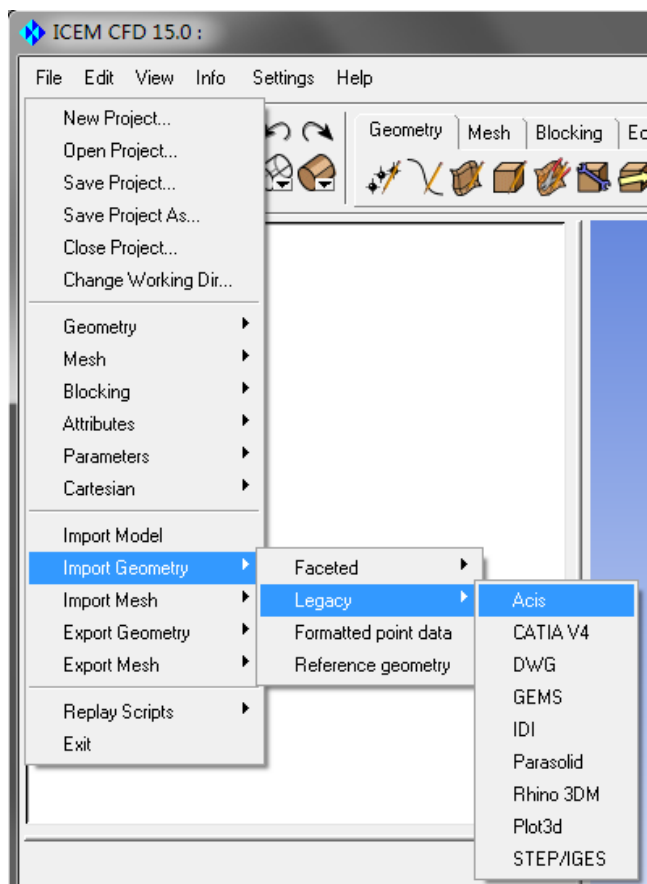
AIJ网站给出的几何文件是dxf格式，需要进行一定的格式转换后才可以导入到ICEM中，ICEM中能够较好地识别的几何文件格式为acis（即.sat格式）或iges格式。我这里已将其转换成acis格式，大家可以下载直接使用：

用：[CaseD\(Highrise+Blocks\).sat](#)

具体步骤：

- 打开ICEM；
- 选择File——Import Geometry——Legacy——Acis
- 选择需要导入的acis文件，我们这里以CaseD(Highrise+Blocks).sat为例；
- 之后的跳出的窗口全部选择Yes；

- 完成；



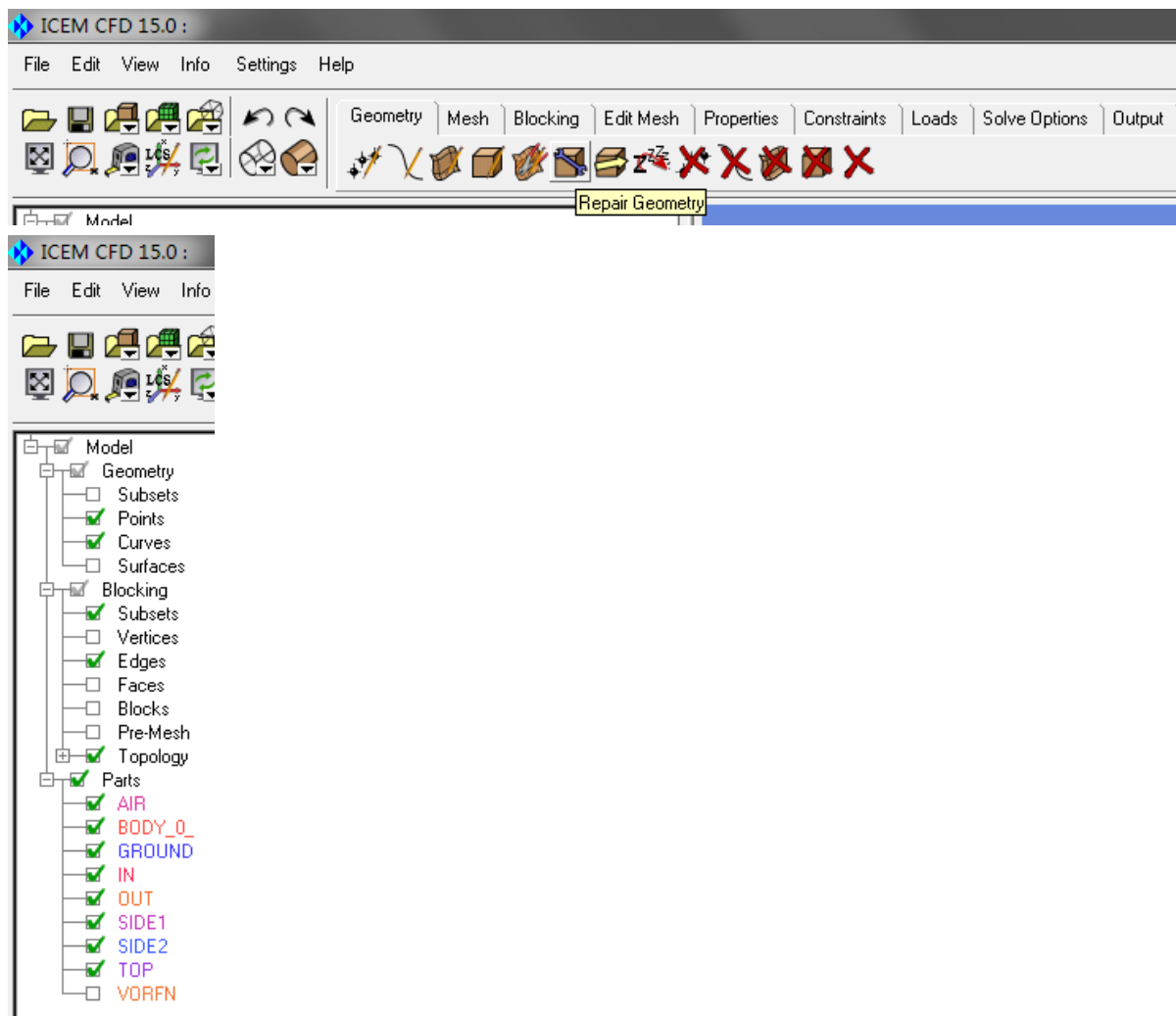
2.几何模型修复

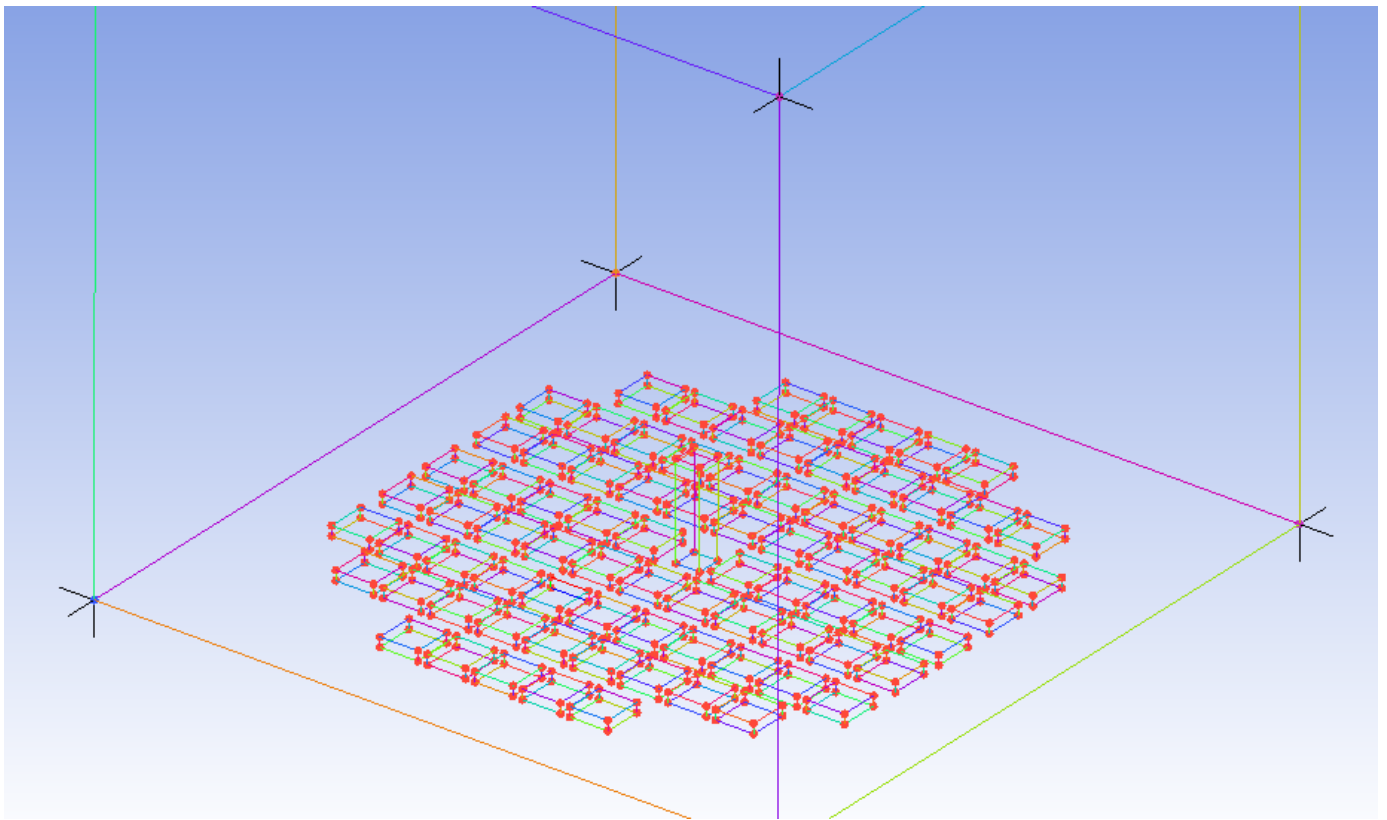
模型导入ICEM之后，常常会出现丢失一些点或线的情况，例如本案例中，将acis导入进来后，会发现几何模型上的点point丢失，在其他一些类似的案例中，也常常会出现点point丢失的情况。因此这里进行必要的几何修复，便于之后的操作。

具体步骤：

- 选择Geometry——Repair Geometry
- 直接在默认的Build Diagnostic Topology下选择Apply；
- 完成；

会发现结合模型的点point出现了。在Model——Geometry下勾选points可以查看点point。



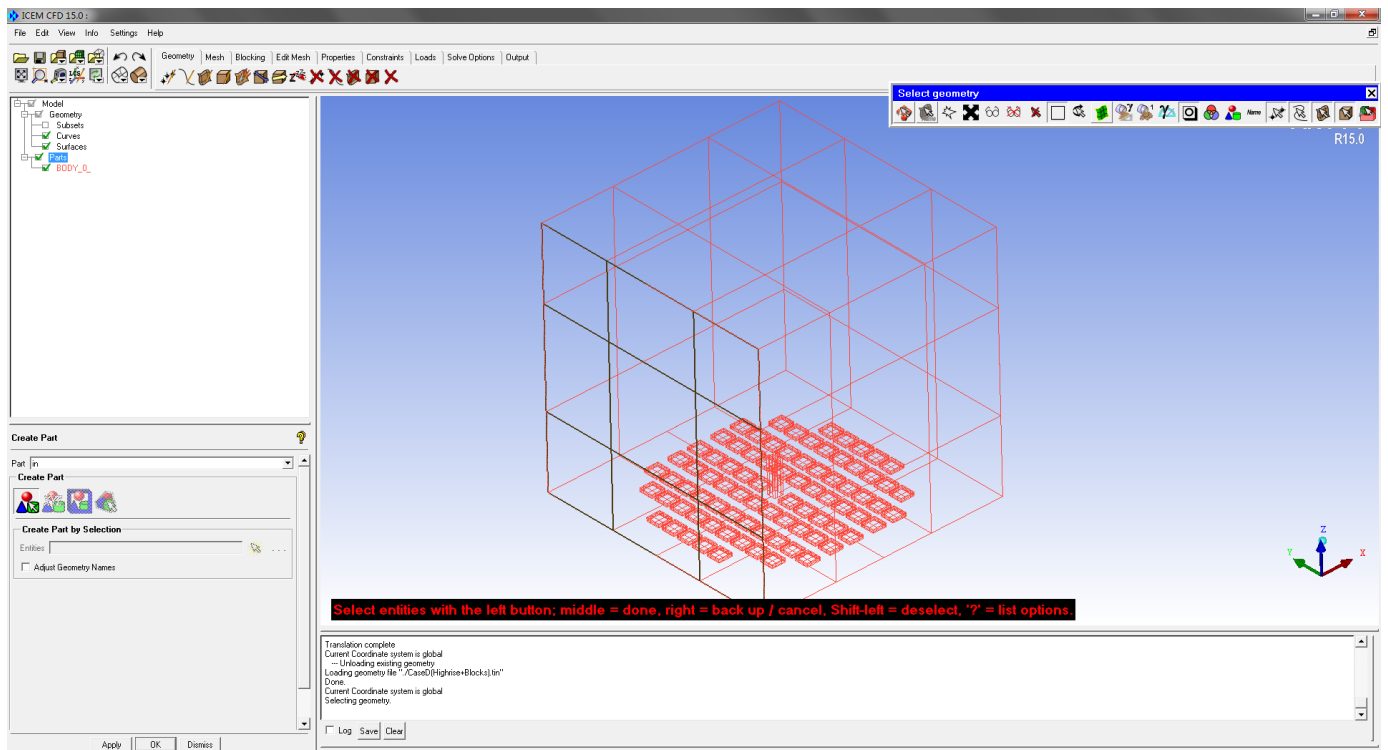
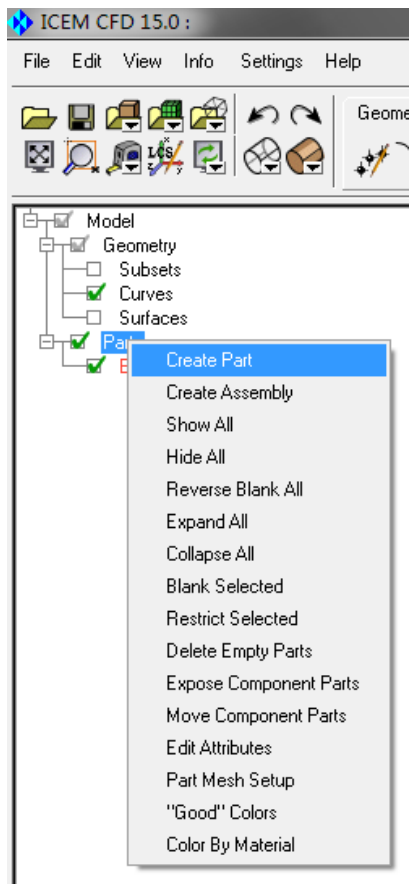


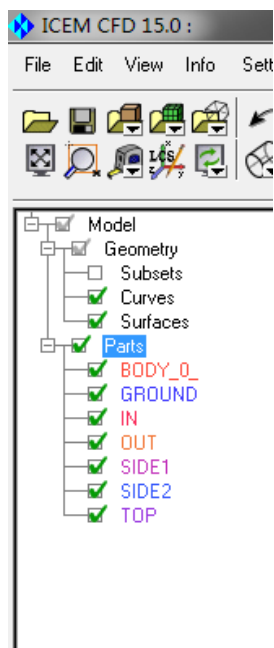
3.创建part

为模型的各个面创建part，包括**入口in**、**出口out**、**两个侧面side1&2**、**顶部top**和**地面ground**。建筑表面可以不用专门创建part。

具体步骤：

- 右键Model——Part——Create Part
- 选择不同的面，并将其命名为不同的part（这里包括IN, OUT, SIDE1, SIDE2, TOP, GROUND）；
- 完成；





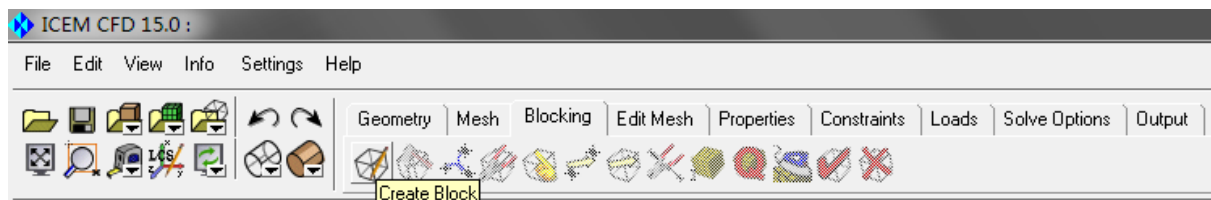
4.创建block

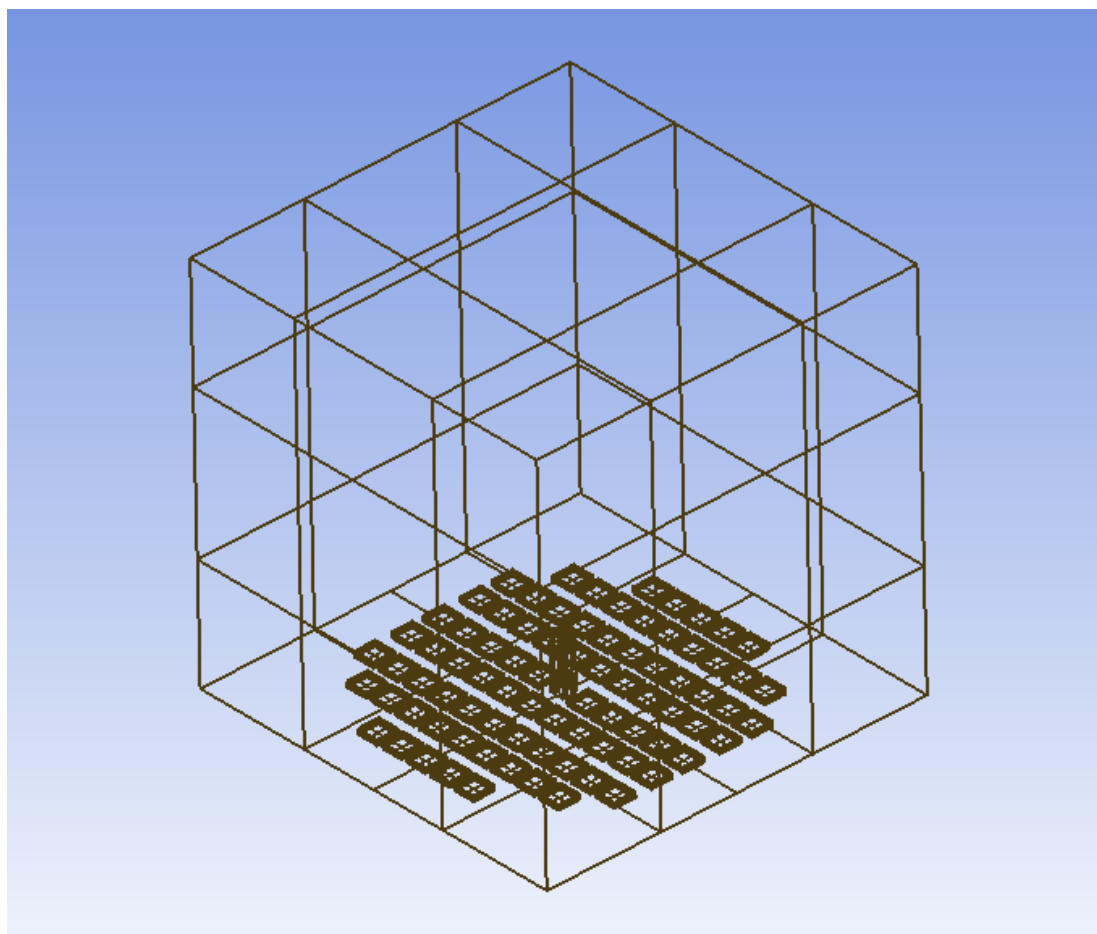
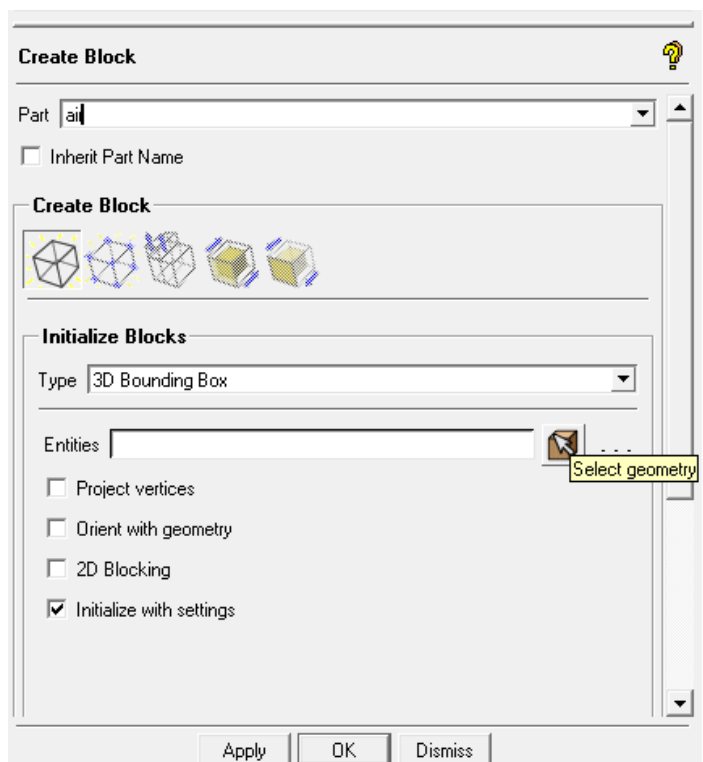
ICEM结构网格划分的核心：块block的创建

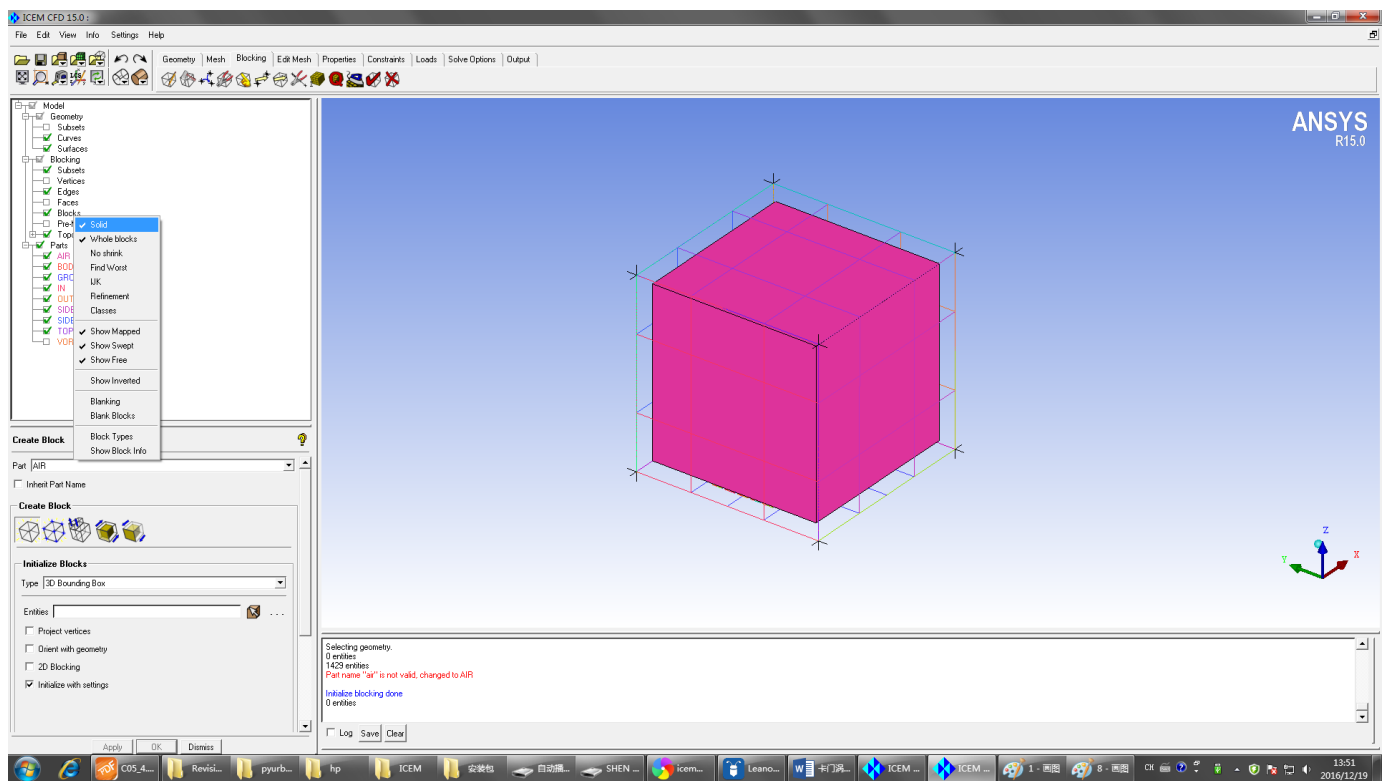
具体步骤：

- 选择Blocking——Create Block
- 将生成的block的part命名为air；
- 全选所有几何体创建block；
- 完成；

可以通过选择Blocking——Blocks，右键勾选Solid来观察生成的block，可见已经生成一整个规则的方形block。







5.分割block

（此为关键步骤）

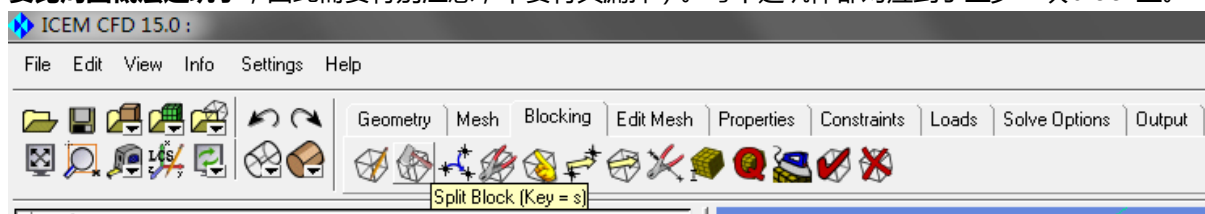
创建完的block与整个几何体相拓扑映射，我们需要**挖去底部表示建筑的几何体所对应的block**，只保留表示空气的部分。“**挖去**”部分block首先需要将这一大块整的block分割成一小块一小块，这样只要挖去建筑所对应的子block就可以了。因此首先，我们需要对已经生成的block进行**分割**。

在本案例中，block分割的参考点是建筑几何体上的点point，这样子分割得到的子block与建筑很好地——对应。这也是为什么我们一开始需要进行**几何修复**，重新生成点point的原因。

具体步骤：（请将点point可视化，方法：Model——Geometry下勾选Points）

- 选择Blocking——Split Block
- 操作窗口下，选择分割方法为根据预定义点进行分割（注意：对Edge的分割默认都是**垂直于Edge**的），Split Method——Prescribed points
- 选择边Edge，根据每个点point的位置，对Edge进行分割，对每条边均进行分割；（详见图）
- 完成；

完成以后可以发现，之前一整块的block已经被分割成很多个子block，其中，**高度方向**上分割成了3层（Z方向），包括最底下的低层建筑那个高度为一层，往上到中间高层建筑高度为第二层，再往上直到计算域顶部为第三层；**平面两个方向**上，则分别被分割成了21层（X方向）和25层（Y方向），将建筑和街道清晰地分割开了（注意：**中间高层建筑的长和宽要比周围低层建筑小**，因此需要特别注意，不要将其漏掉）。每个建筑体都对应到了至少一块block上。



Split Block



Split Block



Split Block

Block Select

☒ Visible ☐ Selected


Block(s)  ...

Edge  ...

☐ Copy distribution from nearest parallel edge

☐ Project vertices

Split Method

Split Method 
Screen select
Prescribed point
Relative
Absolute
Curve parameter

Apply

OK

Dismiss

Split Block




Split Block



Split Block

Block Select

☒ Visible ☐ Selected

Block(s)  ...

Edge  ...

☐ Copy distribution from nearest parallel edge

☐ Project vertices

Split Method

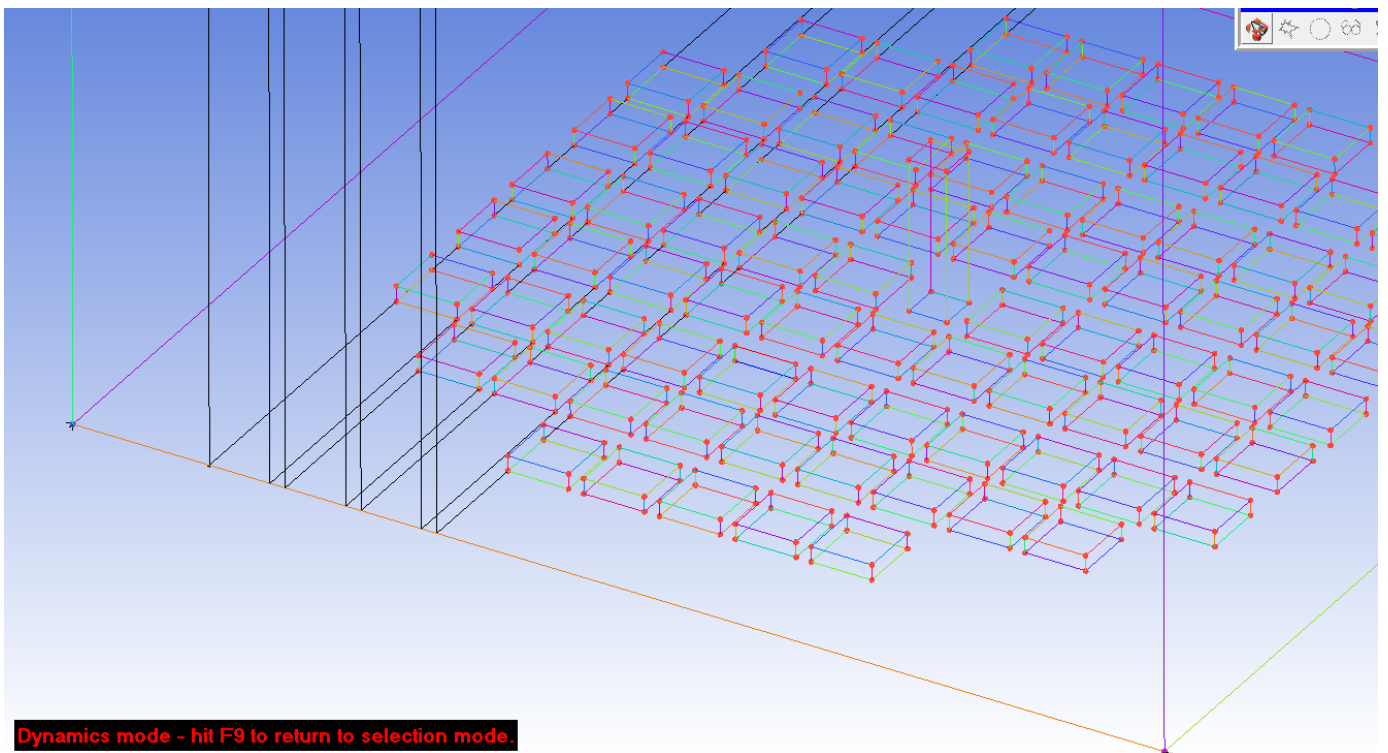
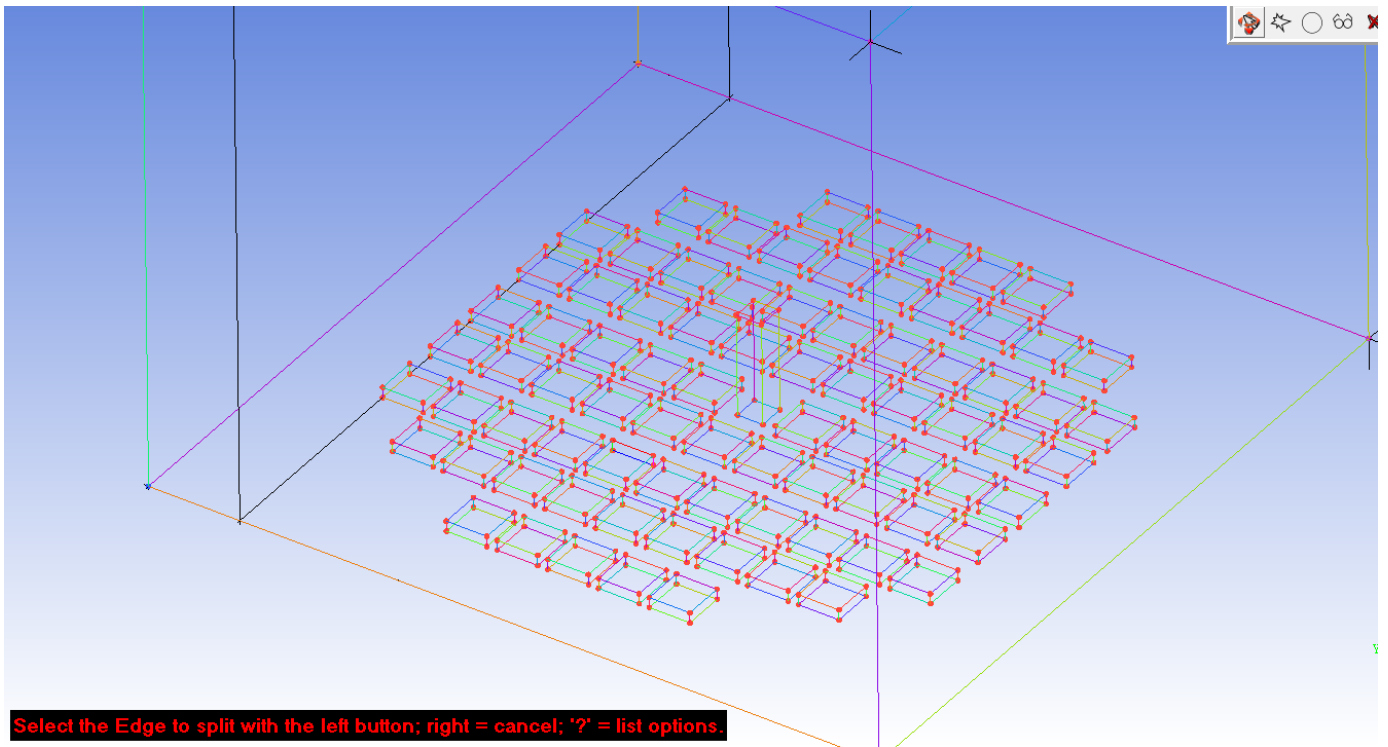
Split Method 

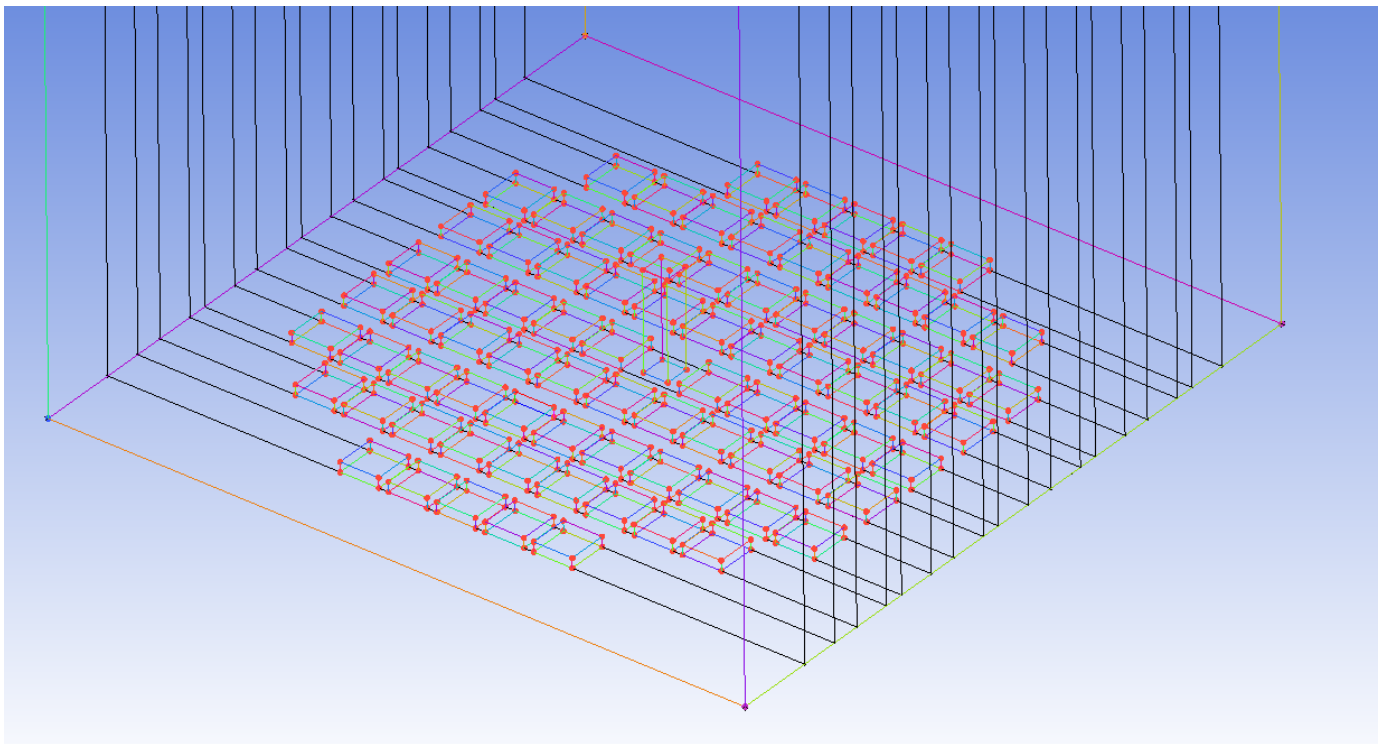
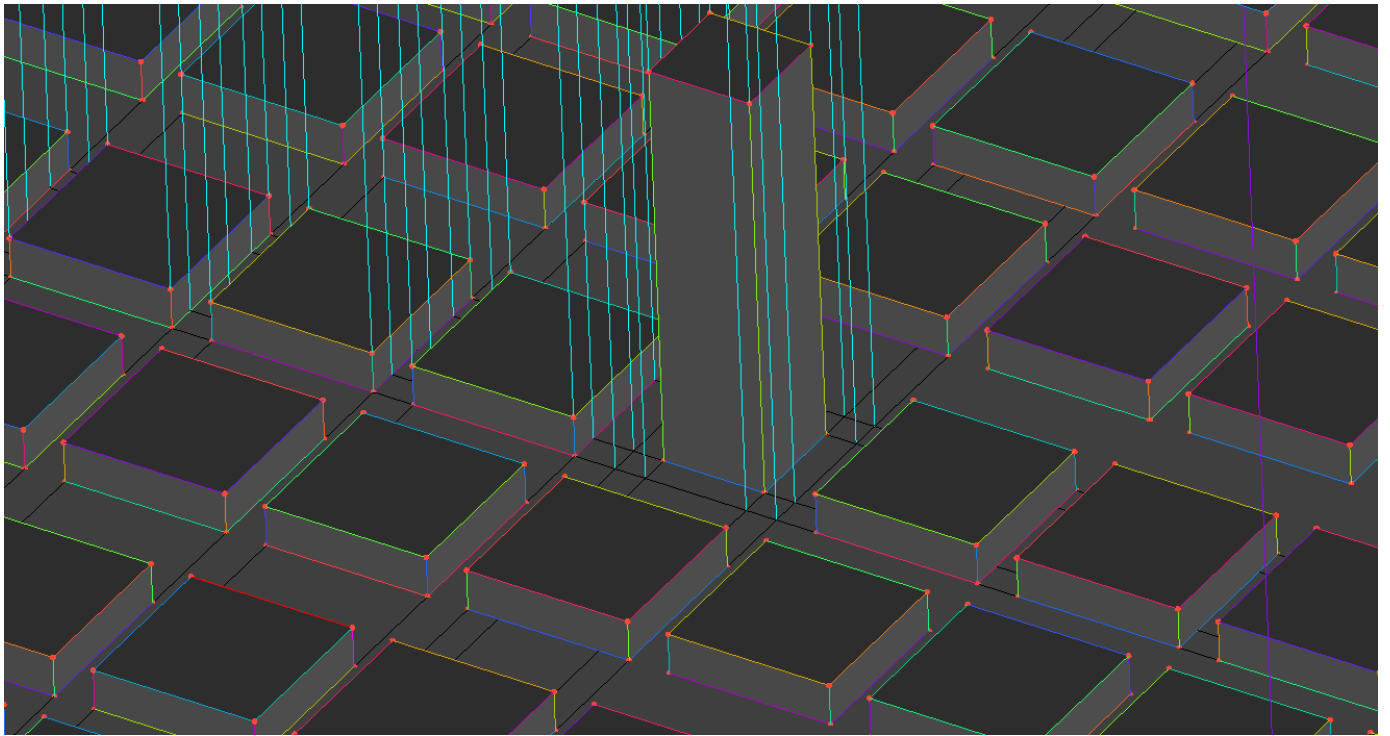
Point  ...

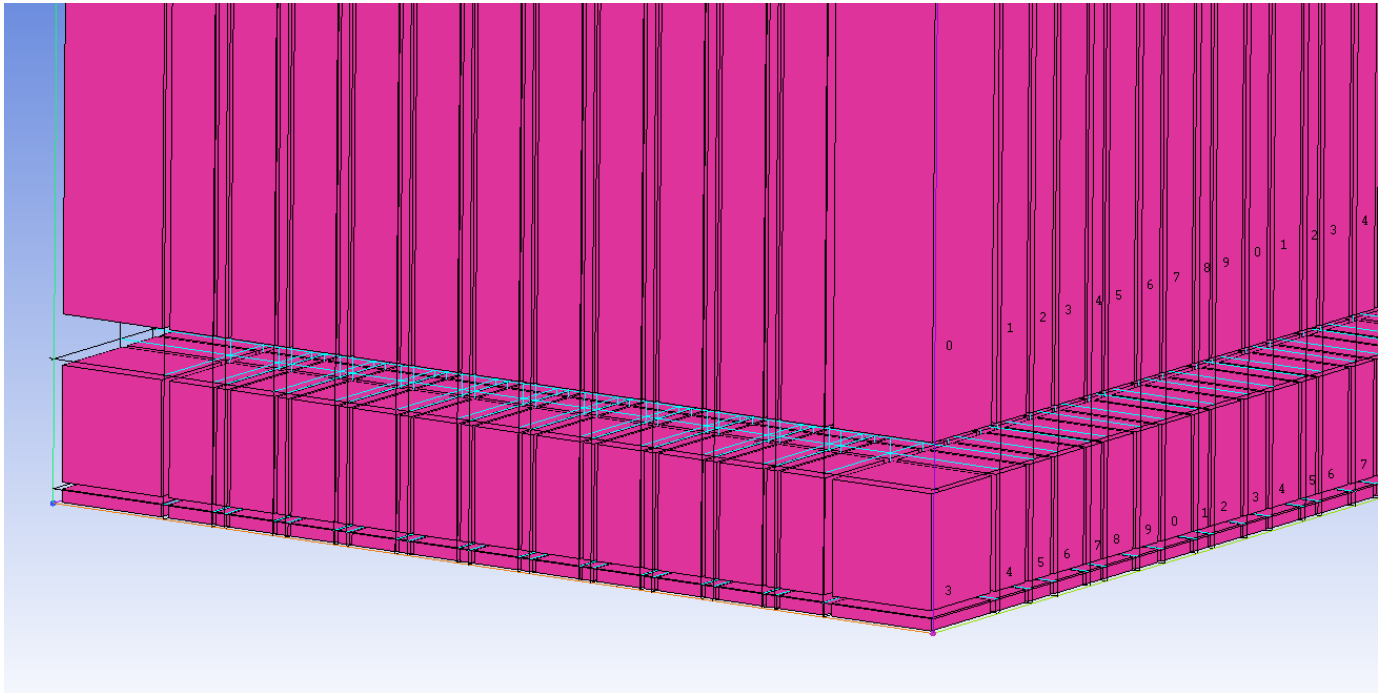
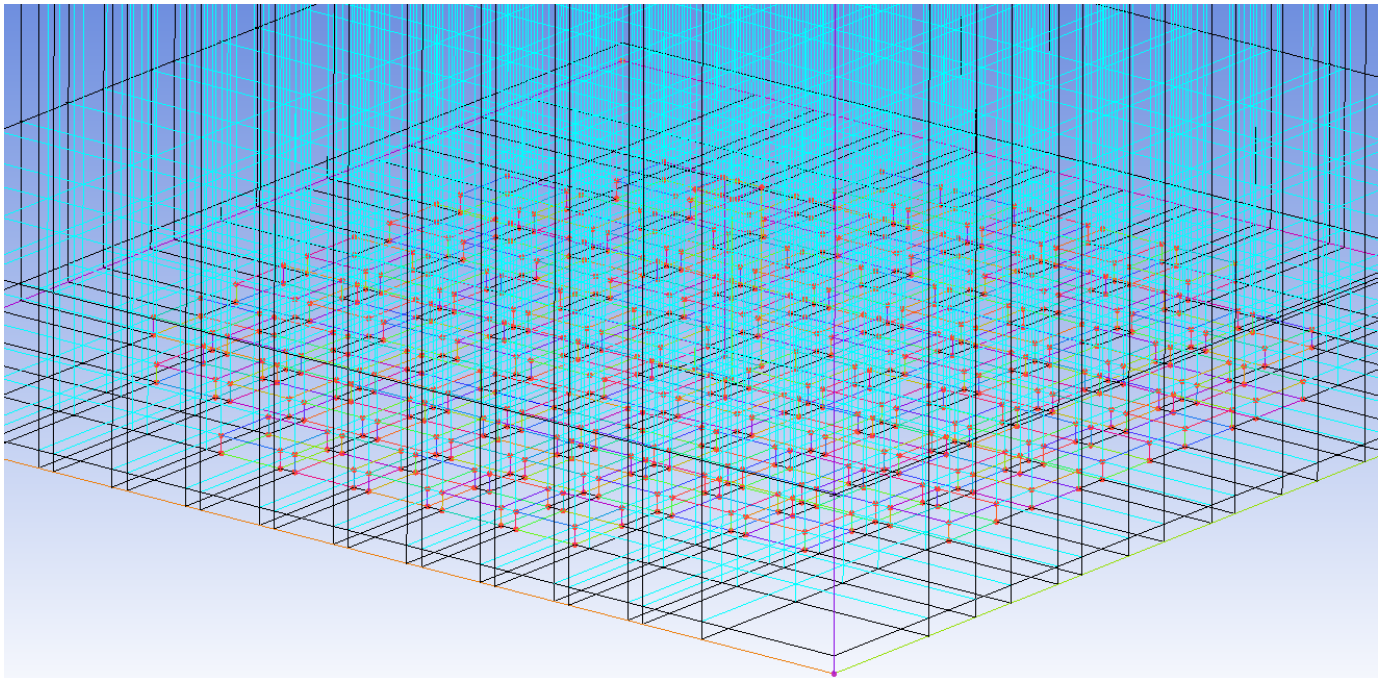
Apply

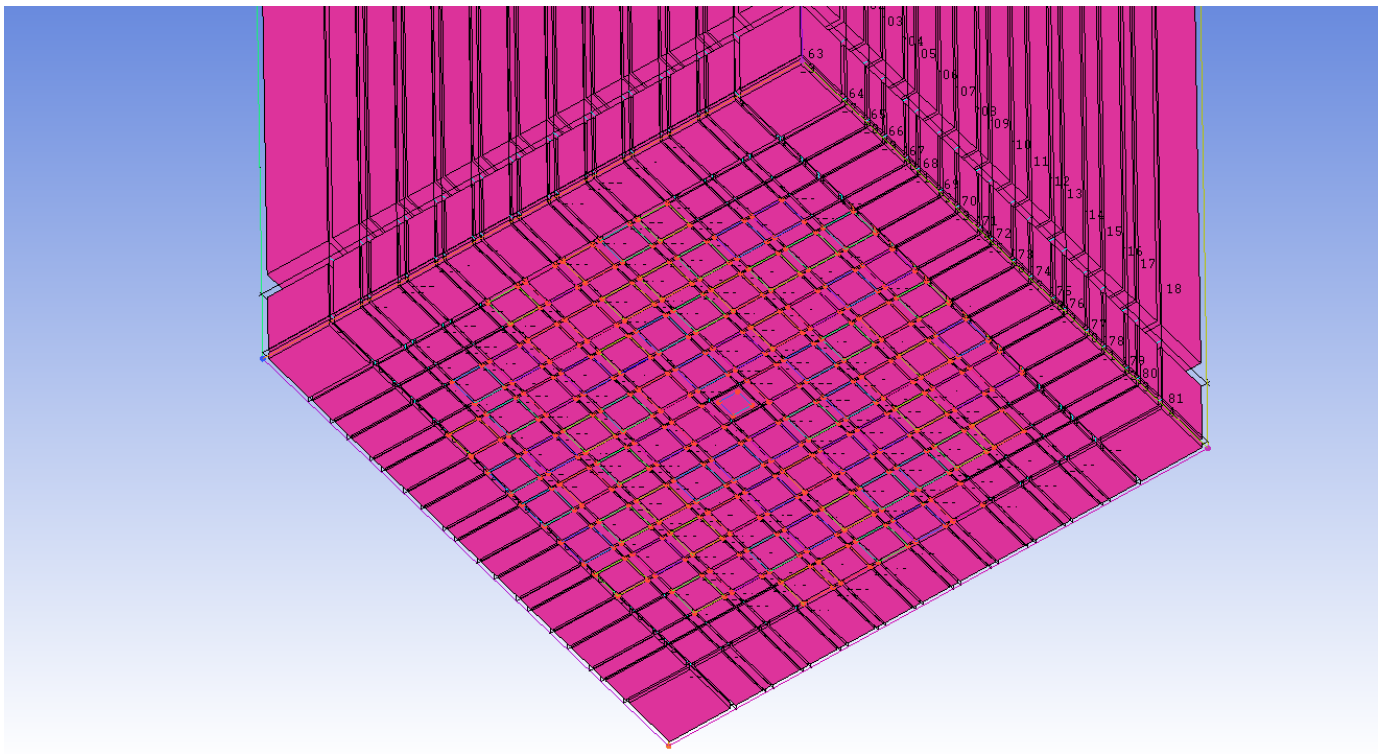
OK

Dismiss







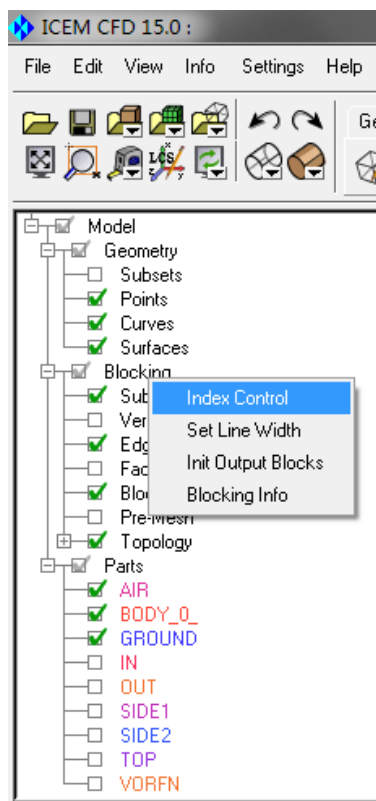


6. 删除block

分割完block后，需要删除掉建筑所对应的子block，因为我们将建筑几何所在的位置看成是**对于风场的障碍物 obstacle**，因此可以将建筑看成是“空的”（类似于Airpak中将建筑看成是Hollow）。

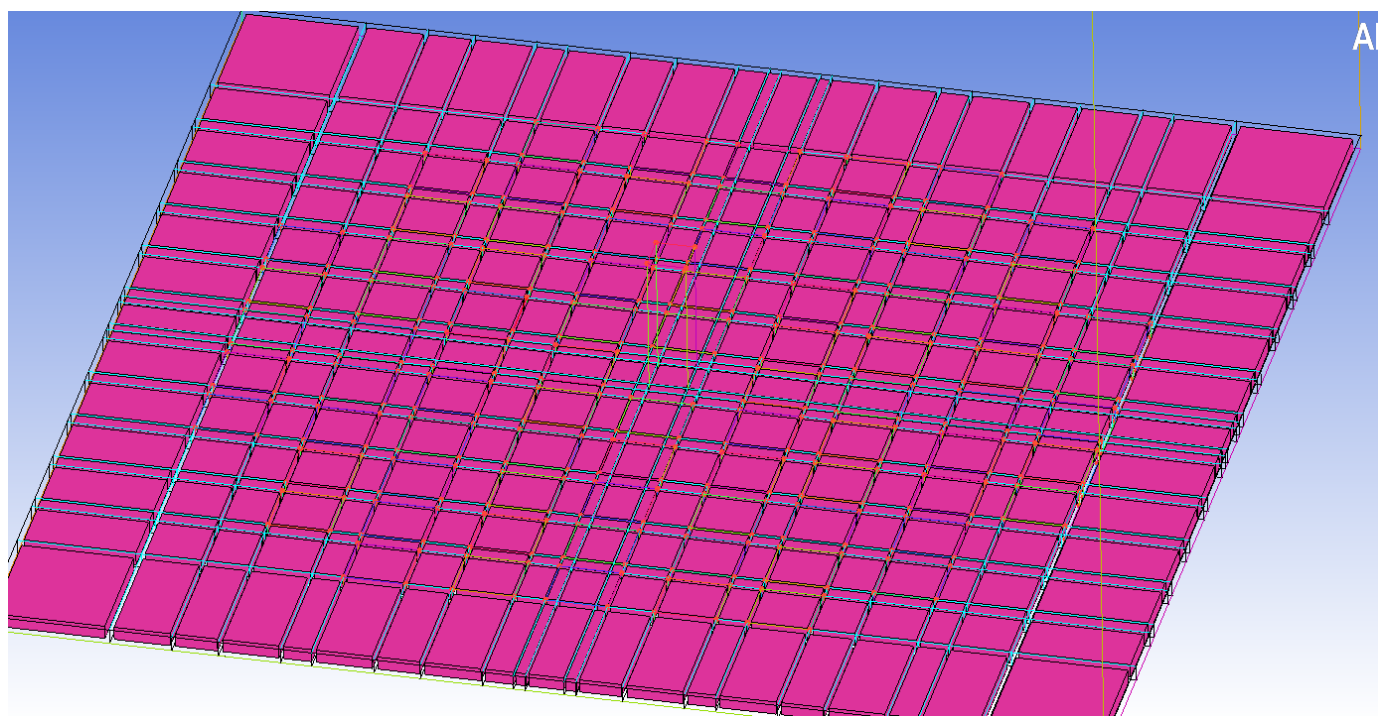
具体步骤：（请将block可视化为Solid模式，方便观察，方法：Model——Blocking下勾选Blocks，并右键选择Solid）

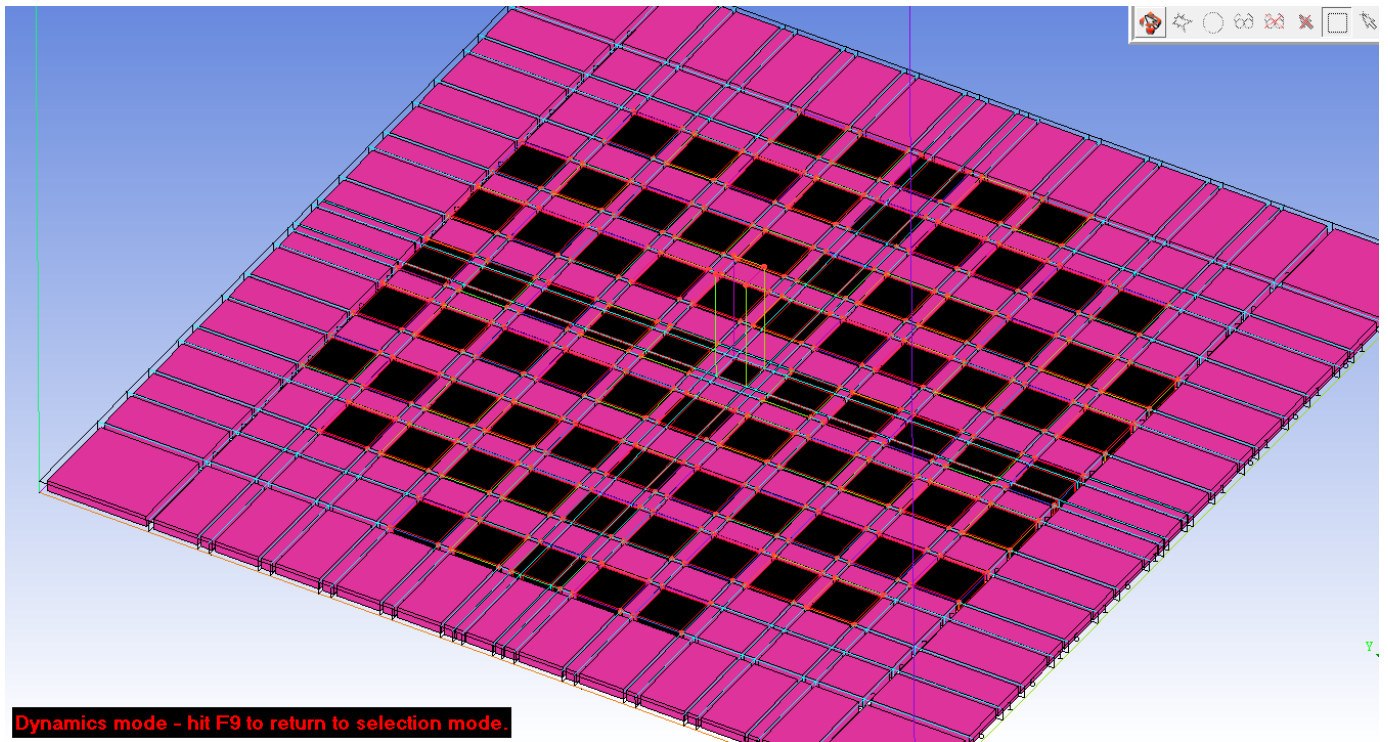
- 选择显示的子block的范围，将顶上两层子block先隐藏，只保留最底下一层block可视化，方便之后的操作。方法：Model——Blocking，右键选择Index Control。右下角窗口显示的是block节点的数量，XYZ方向各有21、25、3层block，因此节点分别有24、26、4，再各自加上0，即这里显示的0-25，0-27，0-5。这里先将K的Max调整为2，即只保留Z方向的第一层网block（ $K=0-2$ ）；
- 选择Blocking——Delete Block，选择删除建筑物对应的子block（注意，靠近中间的部分建筑对应了不只一个block）；
- 对Z方向第二层block进行类似的删除block操作，此时调整Index Control为 $K=2-3$ ，即只显示中间层，因为中间层只有中心高层建筑，因此只需删除中心一个block即可；
- 完成；



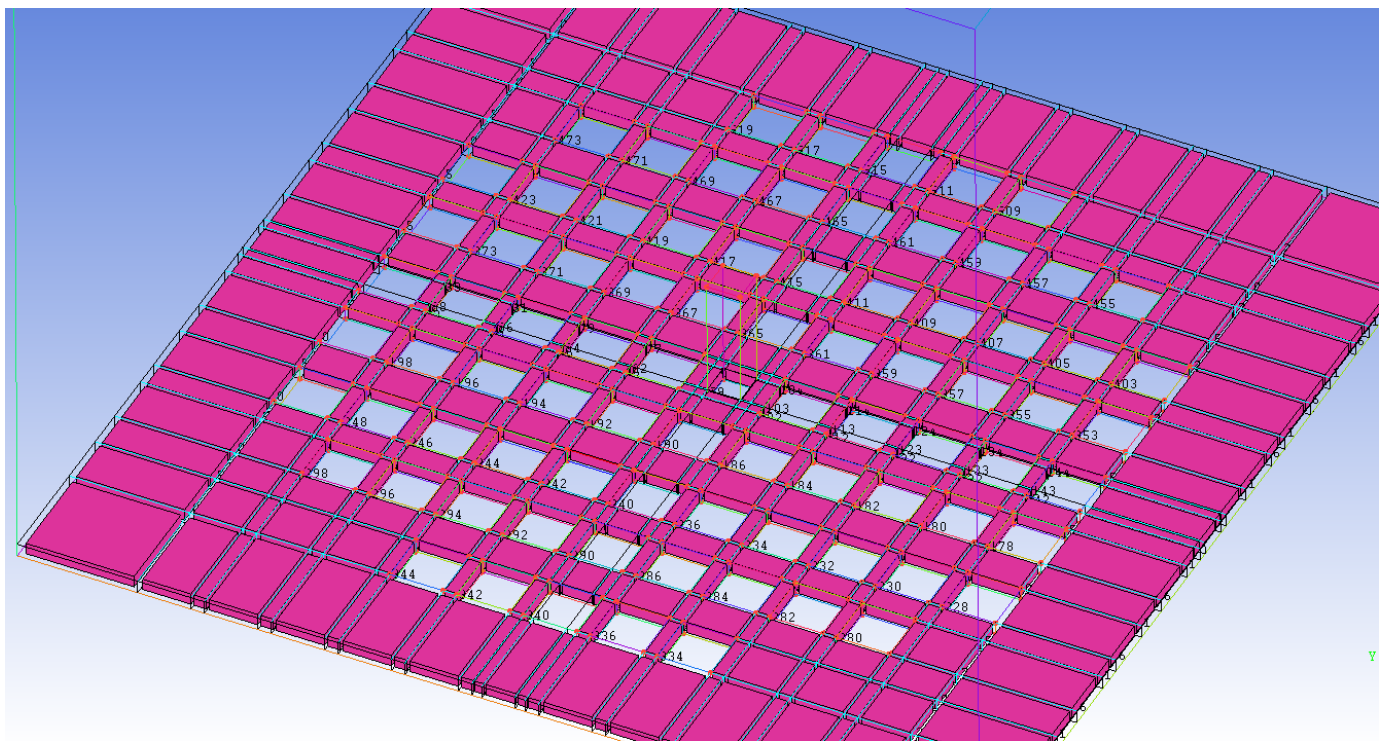
Dim	Min		Max	
I	0	↑ ↓	23	↑ ↓
J	0	↑ ↓	27	↑ ↓
K	0	↑ ↓	2	↑ ↓

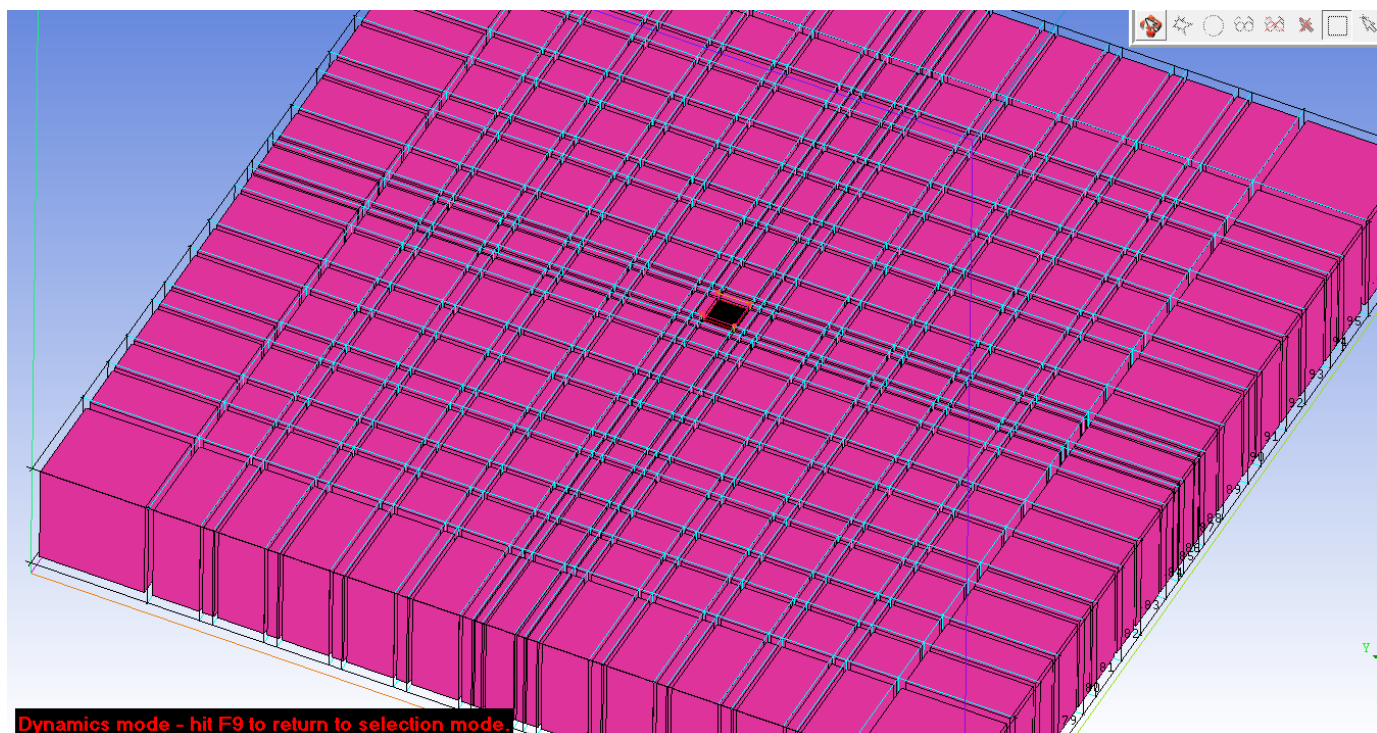
Buttons: Select corners, Reset, Query Edge, Index Sets, Done





Dynamics mode - hit F9 to return to selection mode.



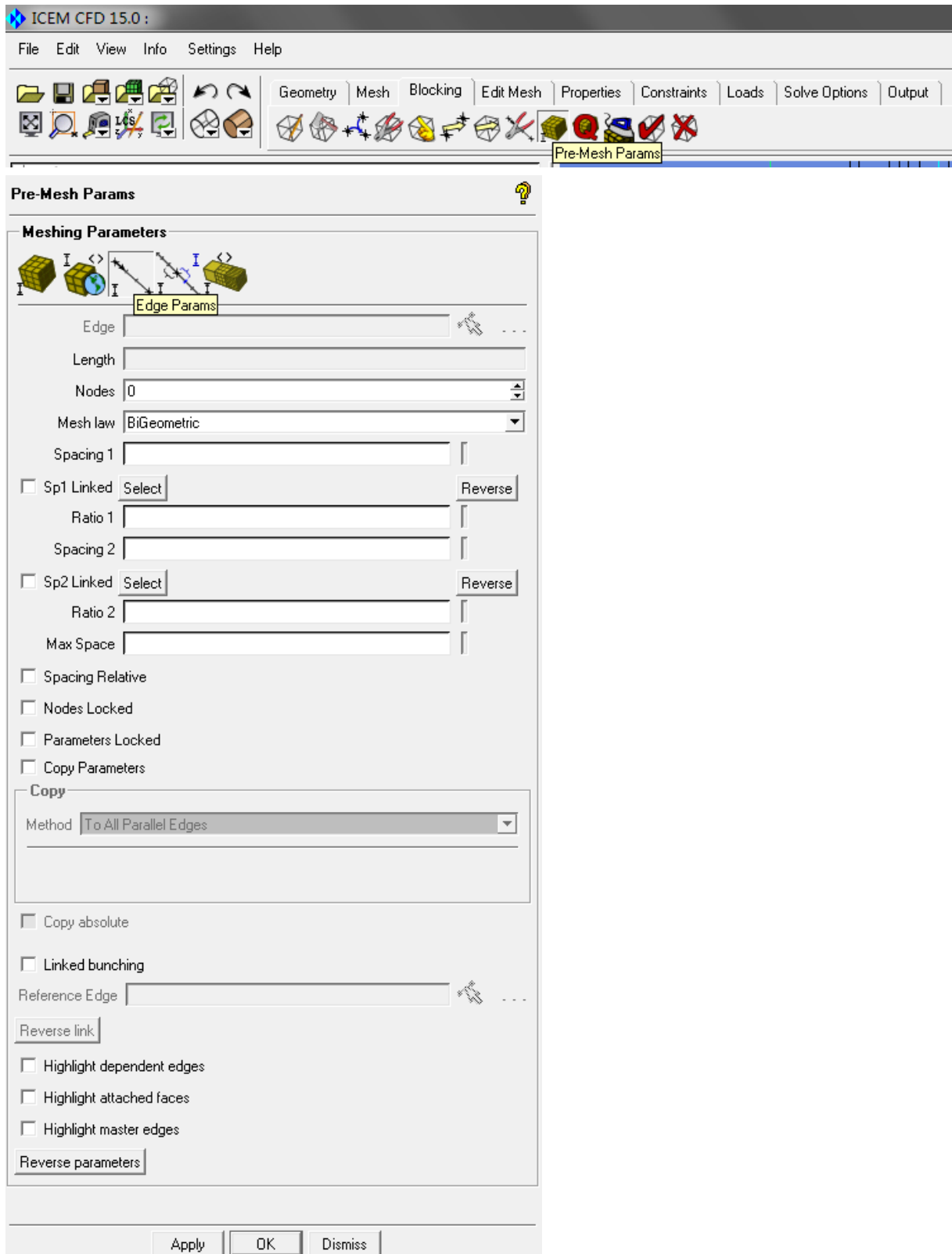



7. 设定网格参数

接下来就可以对每条边Edge进行网格参数设定了，即每条Edge上划分多少网格。步骤重复较多，只进行简单介绍。本案例研究的重点区域为中心高层建筑周围区域，因此对于该部分区域进行网格细化，即网格精度更高；而周围区域则可以相对粗糙。

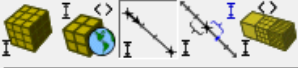
具体步骤：


- 选择Blocking——Pre-Mesh Params
- 操作窗口中，选择Meshing Parameters——Edge Parameters
- 选中某条Edge进行参数设置，例如我们这里先选中Y方向中间的Edge，设置其上节点数量Nodes为21，即划分为20个网格，勾选Copy Parameters，选择Copy——Method为To all parallel edges，即将此edge的网格参数复制到与之平行的其他edge中（并不完全是数学上的平行的概念）。其余保持默认，在这种情况下，edge上的网格或者说节点node默认是**均匀分布**的。点击Apply，完成此edge的网格参数设置；
- 对其他edge进行类似的操作，注意，**靠近中心区域网格密一些，外围区域网格可以相对粗糙一些**（但也不能太粗糙尽量保证每条街道内至少有五个网格左右）；
- 默认的网格参数都是均匀的，即每条edge上的所有网格的间隔spacing是默认相同的。对于某些区域，例如从精细到粗糙网格的过渡，我们希望网格在edge上不是均匀分布的，比较常见的有，**一侧相对细，另一侧相对粗糙**；或者是**两端相对细，中间部分相对粗糙**。对于这样的不均匀的网格，可以这样设置：选中某条edge，设定节点数nodes，选择Mesh Law为Geometric 1或Geometric 2（一侧细，一侧粗），以及BiGeometric（两侧细，中间粗）。首先是Geometric 1或Geometric 2，这两者其实是一样的，只是对于相反方向的edge选择不同，例如Geometric 1，可以设定spacing 1的值，表示edge上第一个网格的间隔（或者叫长度也可以），设定ratio 1的值，表示edge上网格的膨胀率（即后面的网格长度比上前面一个网格长度的比值），这样就可以很好地控制网格的精度；同样地，对于Geometric 2，因为方向相反，所以需要设置的是spacing 2和ratio 2的值；对于BiGeometric，则需要同时设定两侧的网格参数spacing 1、ratio 1和spacing 2、ratio 2。一般对于建筑物高度在Z方向上的edge，需要设定为两侧细，中间粗的网格类型，即BiGeometric，大家可以自己尝试一下；
- 选择勾选Model——Blocking——Pre-Mesh进行预网格划分；
- 完成；



Pre-Mesh Params 

Meshing Parameters



Edge 

Length

Nodes

Mesh law

Spacing 1

☐ Sp1 Linked

Ratio 1

Spacing 2

☐ Sp2 Linked

Ratio 2

Max Space

☐ Spacing Relative

☐ Nodes Locked

☐ Parameters Locked


☒ Copy Parameters

Copy

Method

☐ Copy absolute

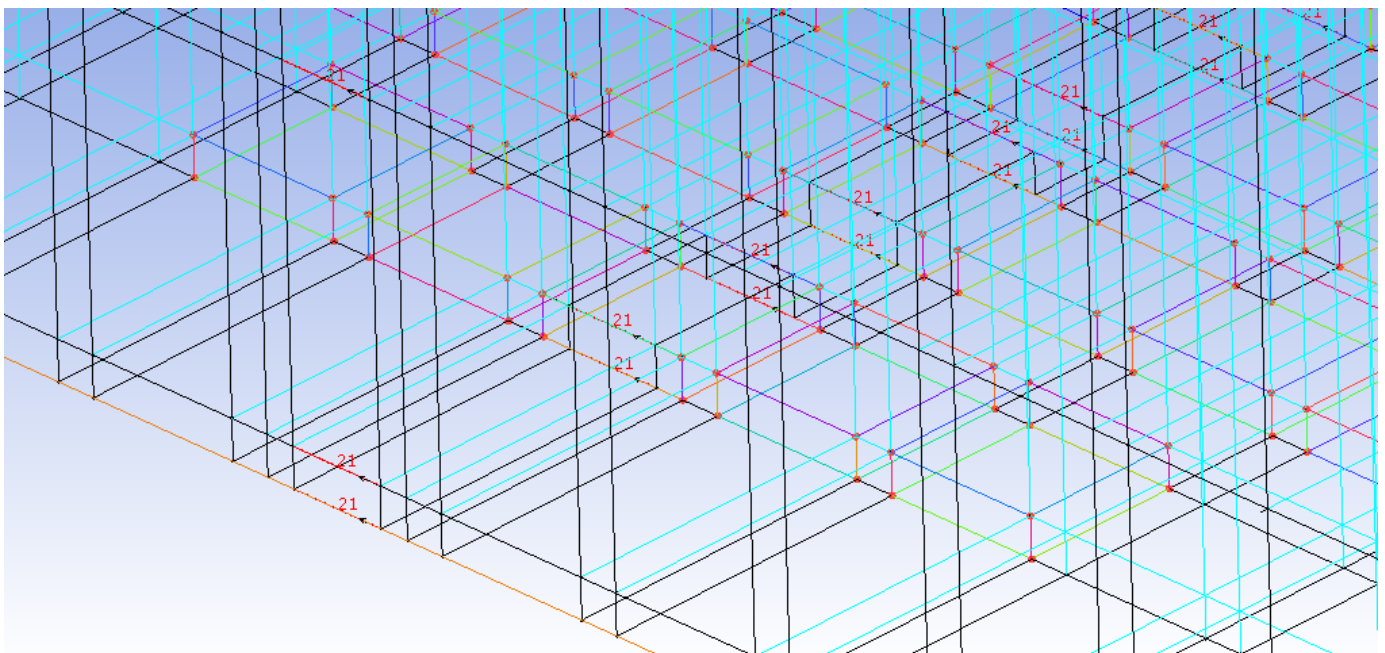
☐ Linked bunching

Reference Edge 

☐ Highlight dependent edges

☐ Highlight attached faces

☐ Highlight master edges



Pre-Mesh Params

Meshing Parameters

Edge: 213 197 -1

Length: 100.0

Nodes: 16

Mesh law: Geometric1

Spacing 1: 4.0 [4]

☐ Sp1 Linked: Select [Reverse]

Ratio 1: 1.2 [1.06933]

Spacing 2: 10000000000.0 [10.2243]

☐ Sp2 Linked: Select [Reverse]

Ratio 2: 2 [0.935157]

Max Space: 1e+010 [10.2243]

☐ Spacing Relative

☐ Nodes Locked

☐ Parameters Locked

☒ Copy Parameters

Copy

Method: To All Parallel Edges

☐ Copy absolute

☐ Linked bunching

Reference Edge: [Reverse link]

Apply OK Dismiss

ANSYS R15.0

File Edit View Info Settings Help

Geometry Mesh Blocking Edit Mesh Properties Constraints Loads Solve Options Output

Model

- Geometry
 - Subsets
 - Points
 - Curves
 - Surfaces
- Blocking
 - Subsets
 - Vertices
 - Edges
 - Faces
 - Blocks

Pre-Mesh Params

Meshing Parameters

Edge: 213 197 -1

Length: 100.0

Nodes: 16

Mesh law: Geometric1

Spacing 1: 4.0 [4]

☐ Sp1 Linked: Select [Reverse]

Ratio 1: 1.2 [1.06933]

Spacing 2: 10000000000.0 [10.2243]

☐ Sp2 Linked: Select [Reverse]

Ratio 2: 2 [0.935157]

Max Space: 1e+010 [10.2243]

☐ Spacing Relative

☐ Nodes Locked

☐ Parameters Locked

☒ Copy Parameters

Copy

Method: To All Parallel Edges

☐ Copy absolute

☐ Linked bunching

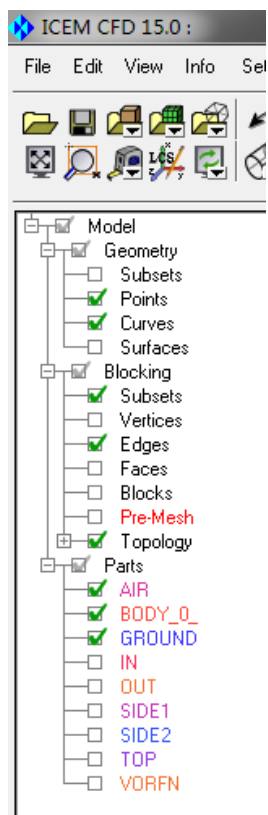
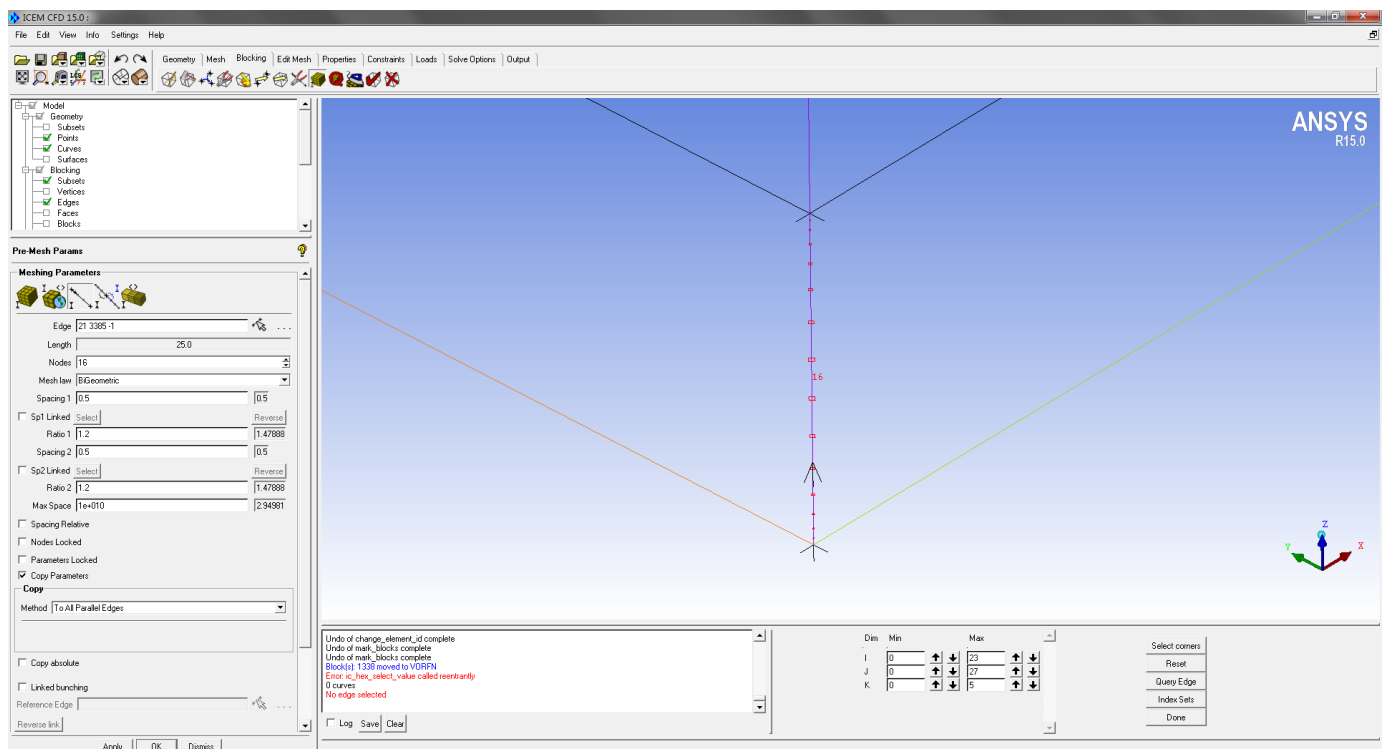
Reference Edge: [Reverse link]

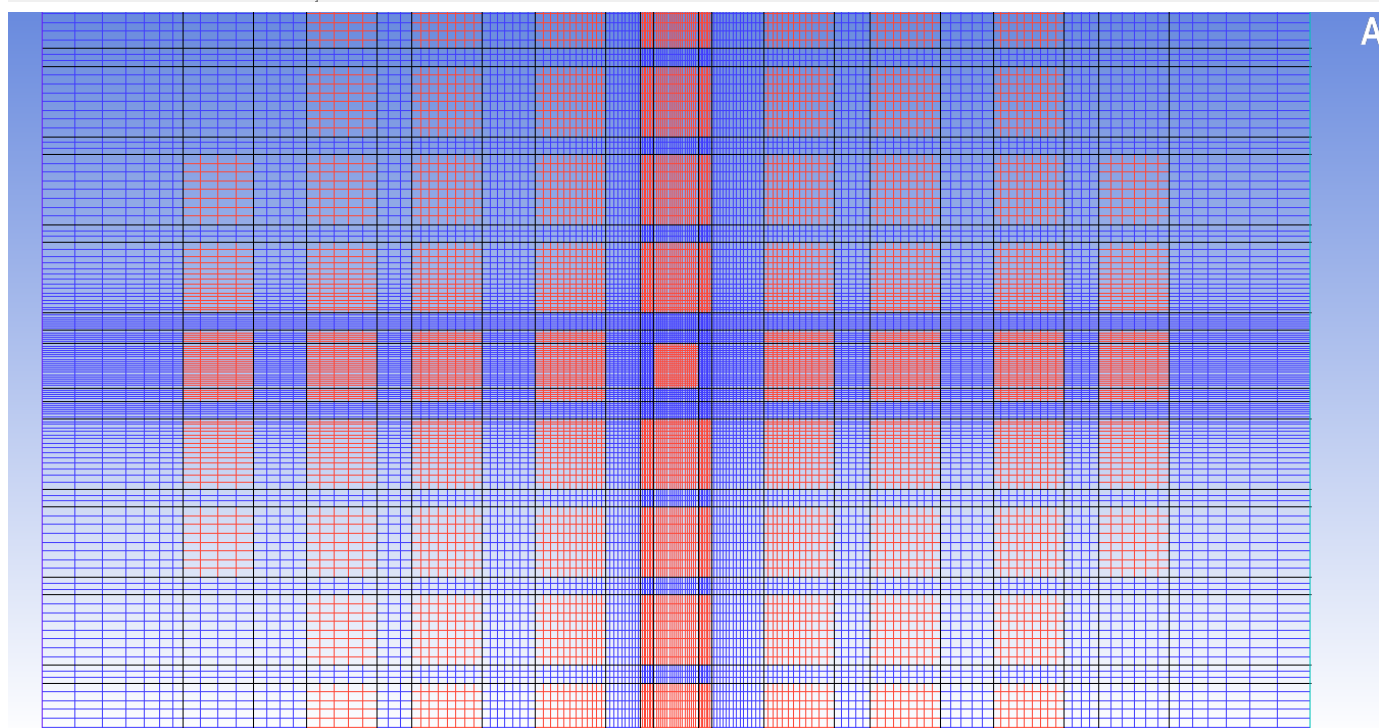
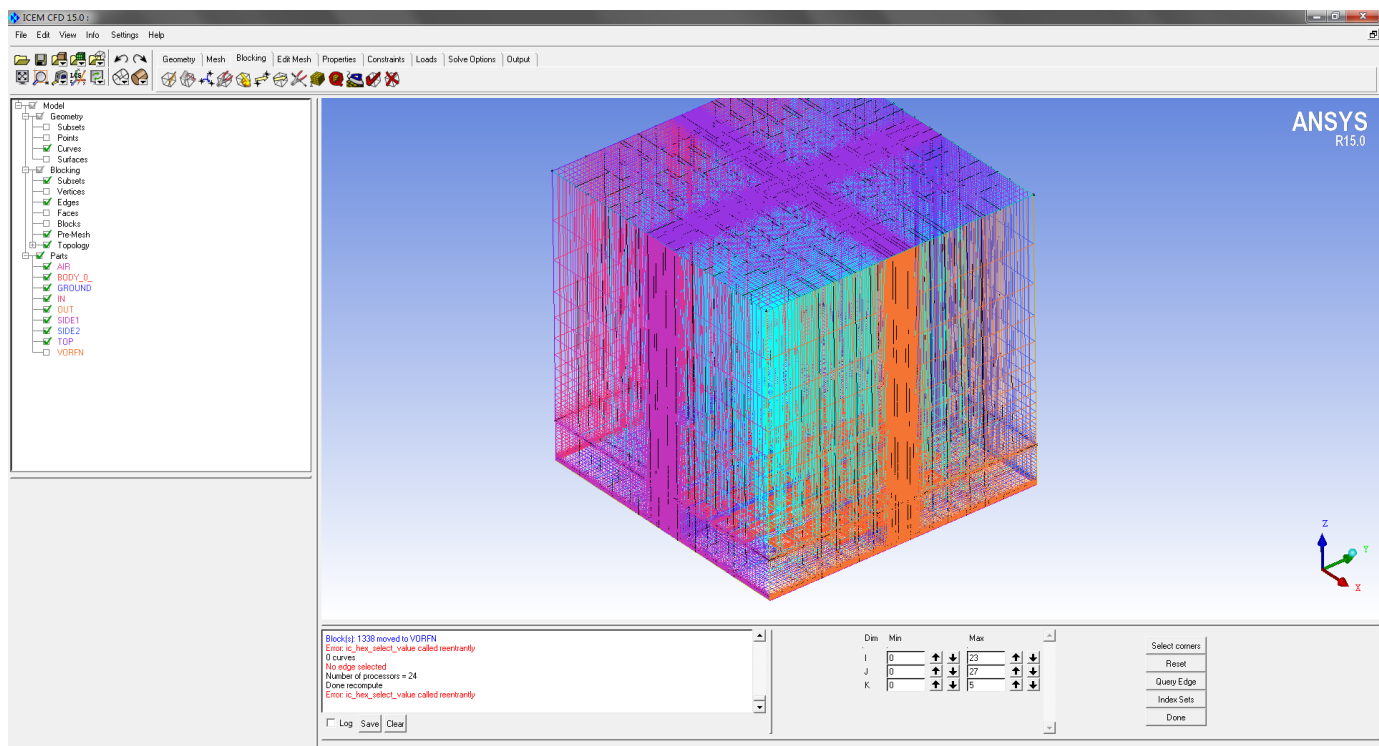
Apply OK Dismiss

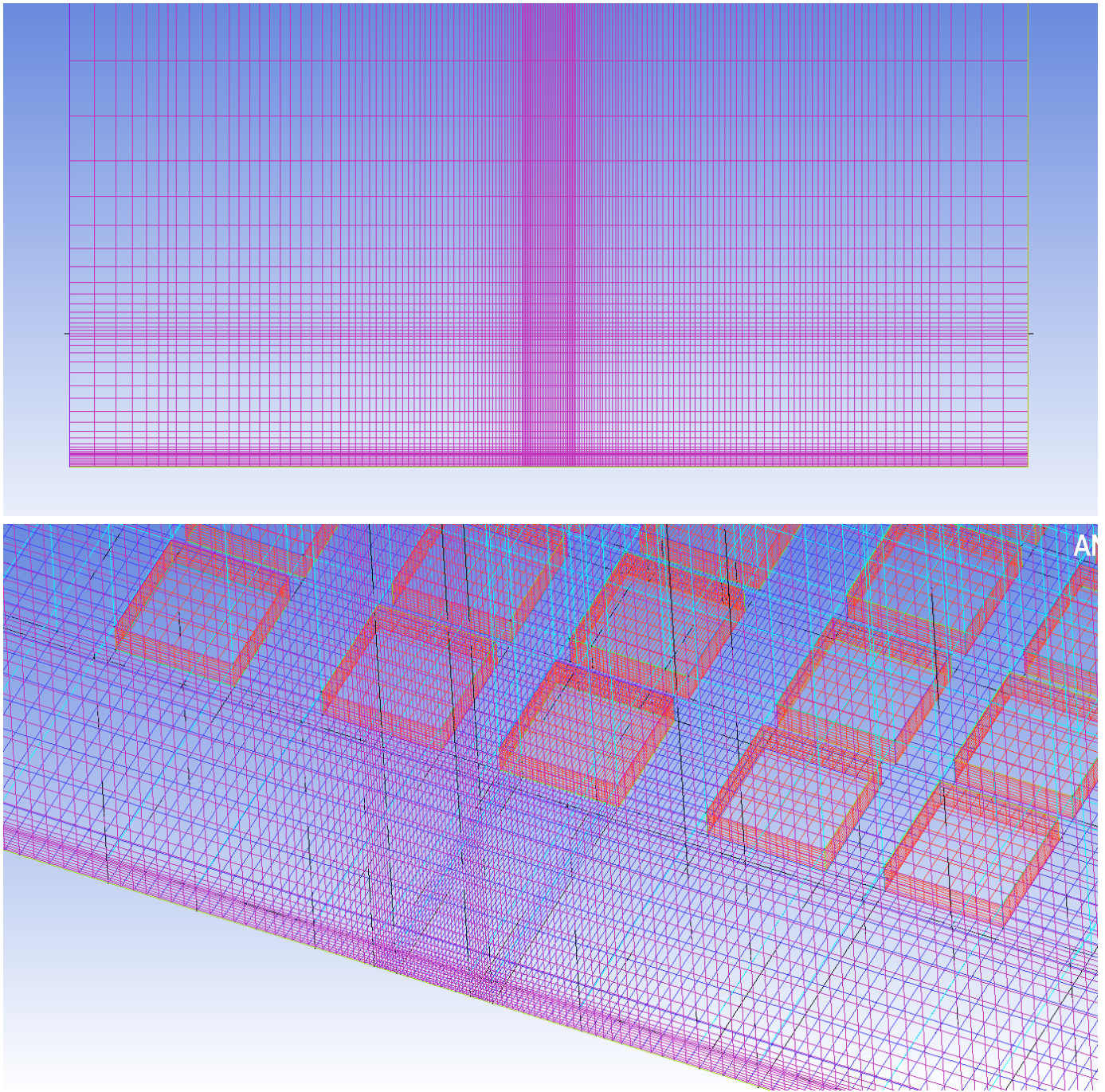
Undo of change_element_id complete
 Undo of mask_blocks complete
 Undo of mask_blocks complete
 Block(s) 1338 moved to VORFN
 Error: ic_hex_select_value called recursively
 0 curves
 No edge selected

Dim	Min	Max
I	0	23
J	0	27
K	0	5

Select corners
 Reset
 Query Edge
 Index Sets
 Done







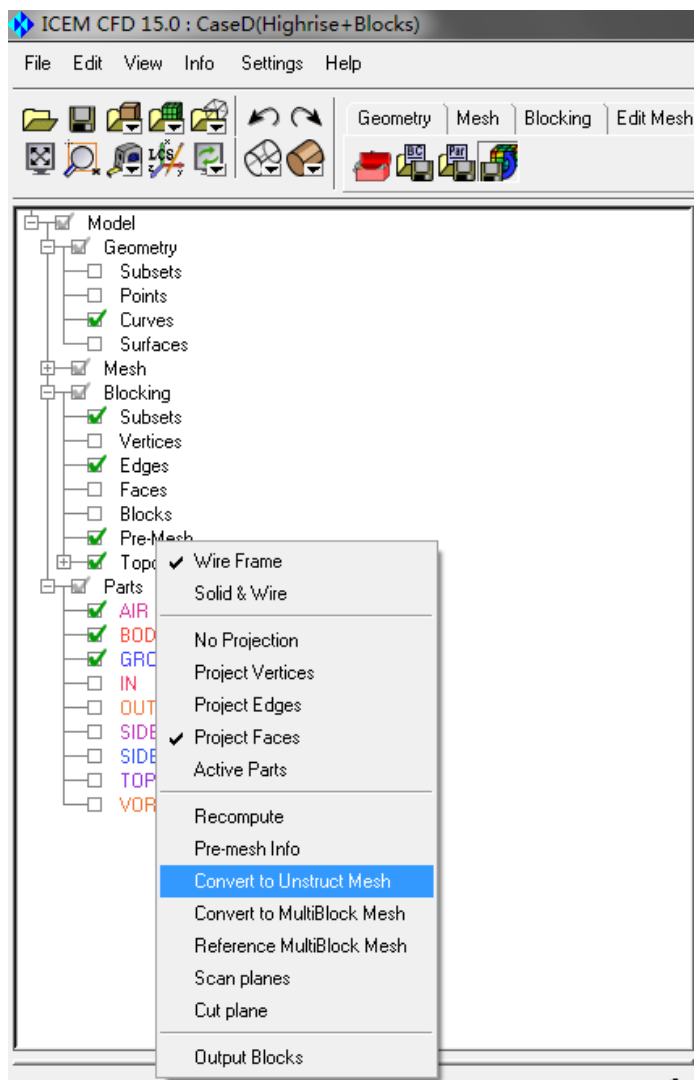
8.生成网格

Pre-Mesh只是生成预划分的网格，并没有实际生成网格，需要对预网格进行转换。

具体步骤：

- 选择Model——Blocking——Pre-Mesh，右键选择Convert to Unstruct Mesh
- 完成；

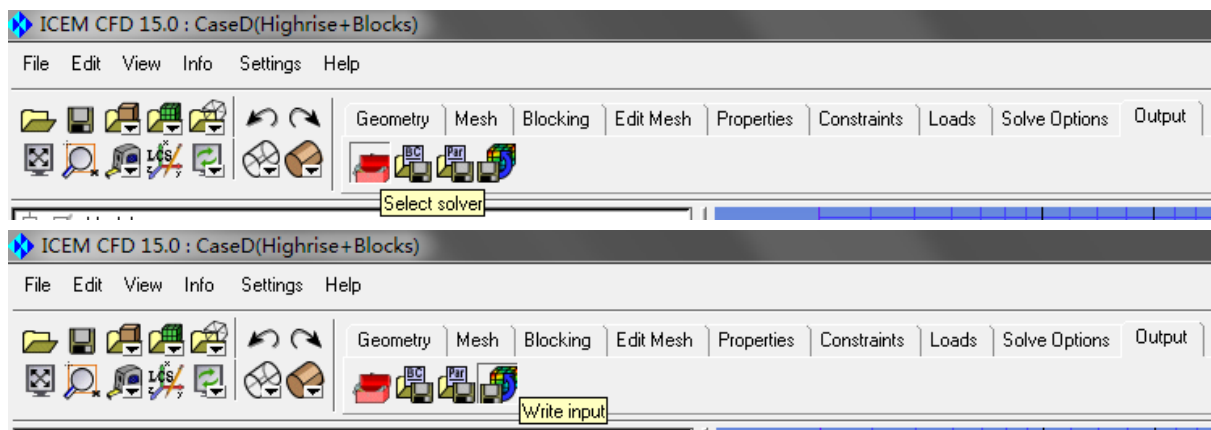
至此，网格划分已经结束，接下来就需要将生成的网格输出为Fluent能读取的格式，一般为.msh格式网格；



9.输出网格

具体步骤：

- 选择Output——Select Solver，选择输出求解器Output Solver为ANSYS Fluent，确定后注意点击Apply
- 选择Output——Write Input选择保存的路径，并命名生成的网格；
- 完成；



ANSYS Fluent X

Please edit the following ANSYS Fluent options.

Grid dimension: ☒ 3D ☐ 2D

Scaling: ☐ Yes ☒ No

x scaling factor:

y scaling factor:

z scaling factor:

Write binary file: ☐ Yes ☒ No

Ignore couplings: ☐ Yes ☒ No

Boco file:

Output file:

Done No help is available for this option