

## 选择施工模拟三时恒载下的变形“异常”

上部结构计算时，用户习惯于选择施工模拟三，即恒载计算时模仿楼层施工的次序，此时模型采用由用户指定施工次序（简便起见，按照一层定义为一个施工次序）的分层集成刚度、分层加载进行恒载下内力的计算，该方法可以同时考虑刚度的逐层形成及荷载的逐层累加。

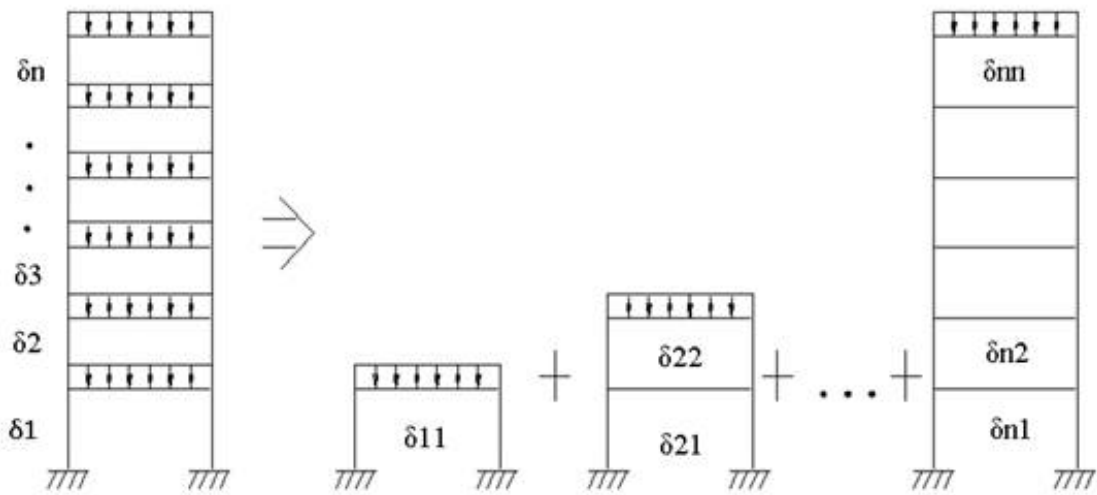


图 1 施工模拟三的刚度及加载模式

这种方式假定每个楼层加载时，它下面的楼层已经施工完毕，由于已经在楼层平面处找平，该层加载时下部没有变形，下面各层的受力变形不会影响到本层以上各层，因此避开了一次性加载常见的梁受力异常的现象（如中柱处的梁负弯矩很小甚至为正等）。这种模式下，该层的受力和变形，是由该施工步及后序施工步的效应累加；软件最终提供的施工模拟工况下的位移，也是各层的累加位移的表达，和普通静力荷载工况（活荷载、风荷载等）相比，它不具备一致性和协调性。用这种方式进行结构分析需要形成最多  $N$ （总施工步数）个不同结构的刚度阵，解  $N$  次方程，计算量相应增加。

### 问题：

近期收到部分用户的反馈，选择施工模拟三时查看恒载、活载下竖向位移：活载下竖向位移是正常的，从底至顶依次增大，竖向位移为累加状态；恒载下竖向位移为中间大，两端小。为何？

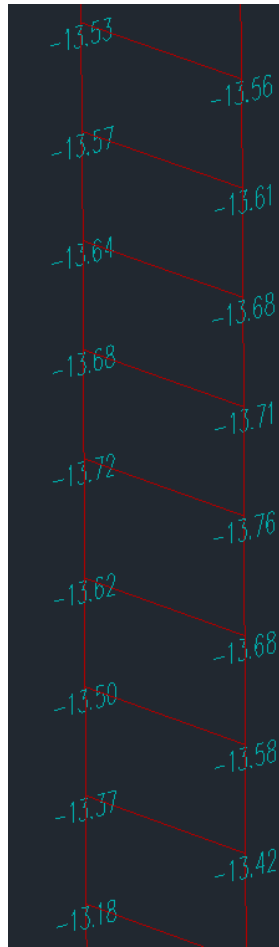


图 2. 恒载下位移

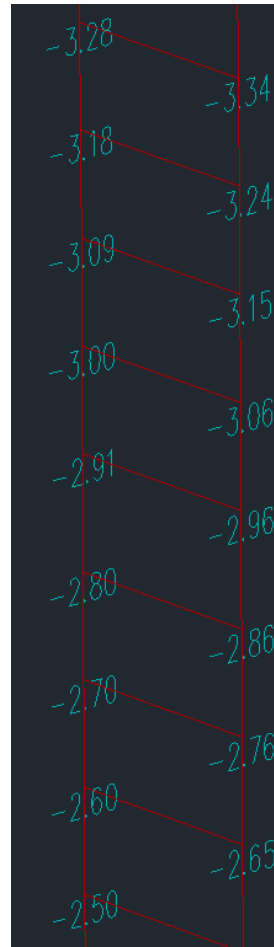


图 3. 活载下位移

一般情况下，恒载与活载分布相同，内力及变形发展趋势也应相同，但二者却有一个最大的不同，即：施工次序的选择对恒载下的变形及内力有影响，对活载没有影响。施工次序选择一次性加载，重新计算，计算结果如下图所示：

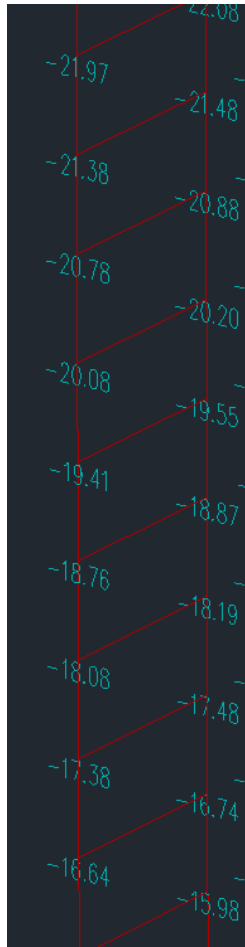


图 4. 恒载下位移

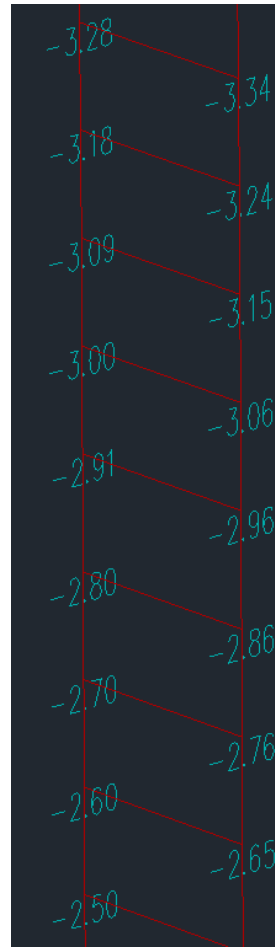


图 5. 活载下位移

竖向位移为累加状态，由下向上逐渐增加，恒、活荷载下变形发展趋势相同。因此，初步判断恒载下的变形“异常”即是选择施工模拟三引起的。

### 电算验证：

为排除用户模型本身的干扰因素，建立一个 10 层的框架结构模型进一步验证，每层的构件截面、荷载及层高均相同，选择施工模拟三计算，恒载下竖向位移如下：

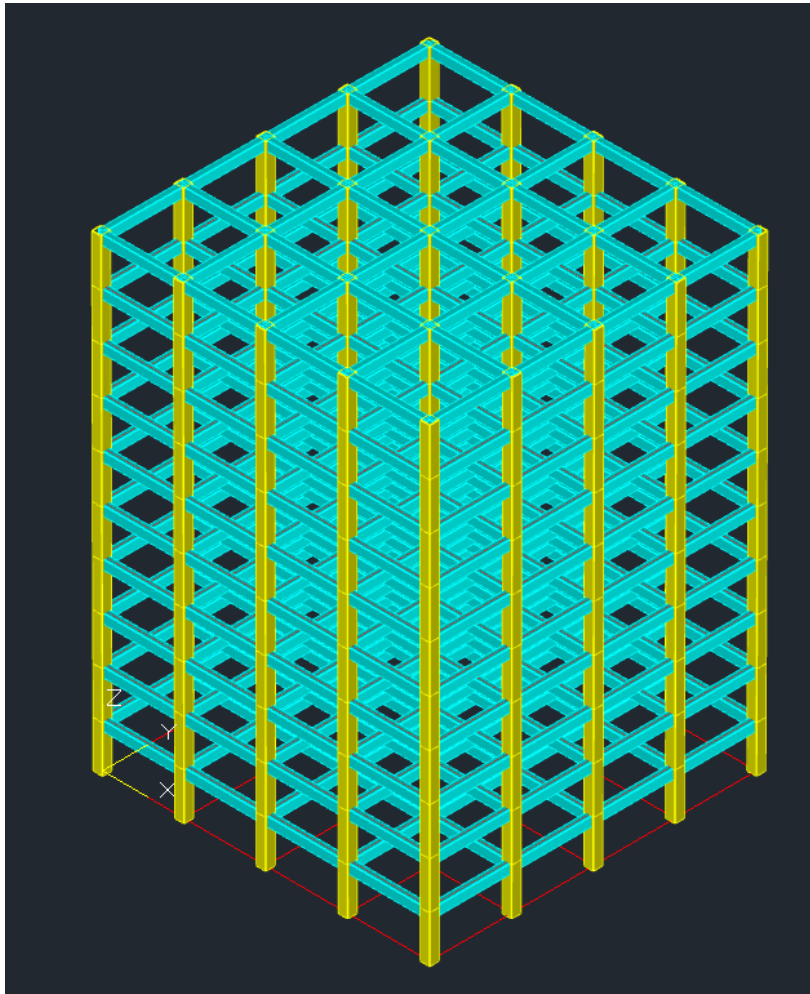


图 6. 验证模型三维图

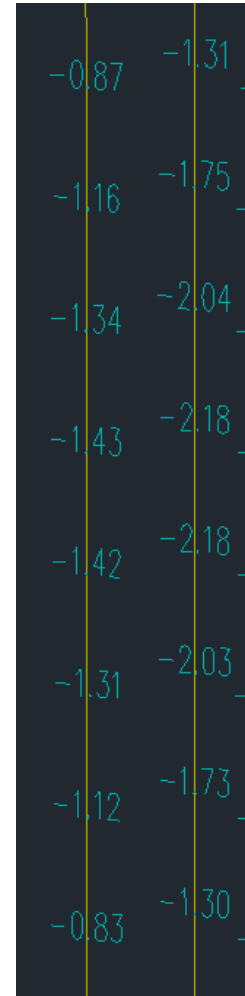


图 7. 恒载下位移

由上可见，选择施工模拟三时，验证模型与用户的模型在恒载下的位移自下至上的趋势是一致的，即中间大，两端小。这是程序的 bug？

### 理论推导：

针对验证模型，根据施工模拟三的加载过程从理论上推演恒载下位移的发展趋势，总结为下表：

加载次序 楼层号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	总位移
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10
2		2	2	2	2	2	2	2	2	2	18
3			3	3	3	3	3	3	3	3	24
4				4	4	4	4	4	4	4	28
5					5	5	5	5	5	5	30
6						6	6	6	6	6	30
7							7	7	7	7	28
8								8	8	8	24
9									9	9	18
10										10	10

表 1. 施工模拟三时竖向位移统计

注：表中位移为相对值，“1”代表在本层恒载作用下本层的竖向位移。

由表 1 中可见，在选择施工模拟三时，每次加载，第 1 层都会产生当量为“1”的变形，而第 2 层在每次加载过程中本层也会产生当量为“1”的变形，但由于和第 1 层变形的叠加，第 2 层实际产生了当量为“2”的竖向位移，依次类推，每次加载，第 3 层都会产生当量为“3”的竖向位移，第 4 层都会产生当量为“4”的竖向位移.....，最后统计每层的竖向总位移，确实呈现中间大，两端小的特征，而且底端和顶端的竖向位移在数值上表现出对称的特征，与验证模型电算的结果吻合。

### 总结：

因此，选择一次性加载时，恒、活荷载下竖向位移为累加状态，由下向上逐渐增加，变形发展趋势相同；选择施工模拟三时，活载下的竖向位移与选择一次性加载时相同，而恒载下的竖向位移呈现中间大，两端小的特点，这是由施工模拟三的加载特征导致的，并非异常。