

# 中山古镇镇某车库板式楼盖垮塌原因概略分析

(上海佳构 2018.11.17)

据了解，近5年以来，国内板式楼盖事故频繁发生。去年9月北京地区某板式楼盖垮塌，行业震动，主管部门曾专门发文要求加强设计、施工、监理各个环节的工作。但是，时隔一年之后，2018年11月12日，网传广东中山市古镇镇某工程地下车库板式楼盖再次垮塌。且成片垮塌，垮塌面积达到2000m<sup>2</sup>。

有报道称引发垮塌的直接原因是“载有PC板的平板车”，但基于常识认识，即便平板车重量严重超出设计荷载，局部超载只会引起局部破坏，怎么会大面积连锁倒塌？再退一步说，工程都是有安全储备(可靠度)，其目的就是意外超出设计荷载时不发生严重破坏。设计荷载大的承载冗余量也大，假设10kPa荷载的承载冗余量5kPa，则20kPa荷载的承载冗余能达到10kPa。按常识很难理解一辆平板车(即便满载)，能将按1m覆土设计的车库整个夷为平地？——**毕竟是一车建材，不是一车炸弹。**



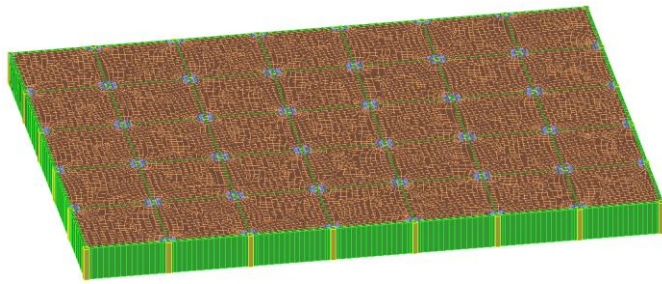
这里根据能找到的部分信息，尝试对中山市该板式楼盖进行设计复核。——校核结果仅供业内人士参考，不作为任何设计、鉴定、及其他经济和法律用途。

据了解，该结构一般技术参数为：

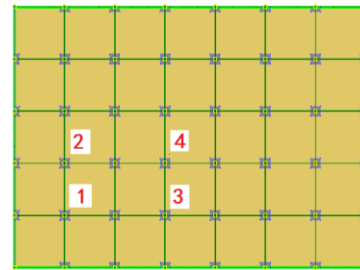
1) 柱跨 7.8m×8.1m，柱截面 0.5m×0.6m。板式楼盖大板厚度 0.35m，设 1.5m×1.5m 平板柱帽，柱帽厚度 0.8m(或托板厚 0.45m)。

2) 设计覆土 1.0~1.1m，混凝土 C30，钢筋 HRB400。

3) 原设计大板顶底面双向通长筋 D18@200，柱帽宽度范围设附加面筋 D14~D20@200(其中 D14@200 居多)，附加面筋长度 4m。柱帽 1.5m 宽度范围顶筋总面积 30.6~42.6cm<sup>2</sup>。



结构模型图

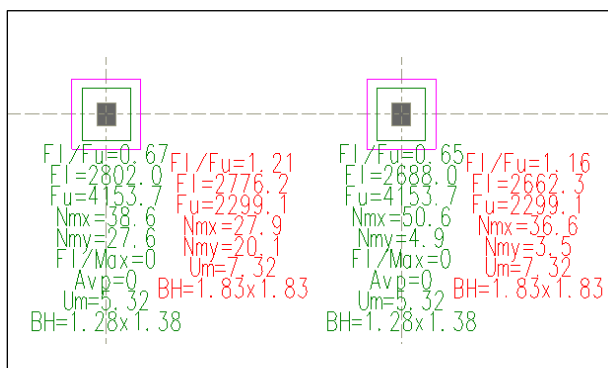


## 1. 复核结果

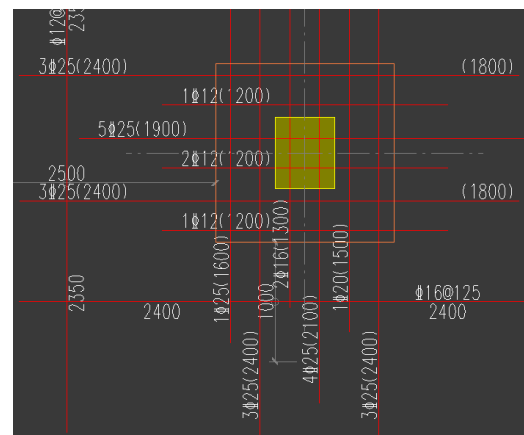
设计 7x5 标准跨，X 向柱跨 7.8m，Y 向柱跨 8.1m。周边设 0.3m 剪力墙模拟地下室外墙。其他结构、荷载参数如前所述。使用 JG-STRAT V2017 版，取恒载 20kPa，活载 4kPa。

下面列出几个典型结果，较详细结果见附录 1。

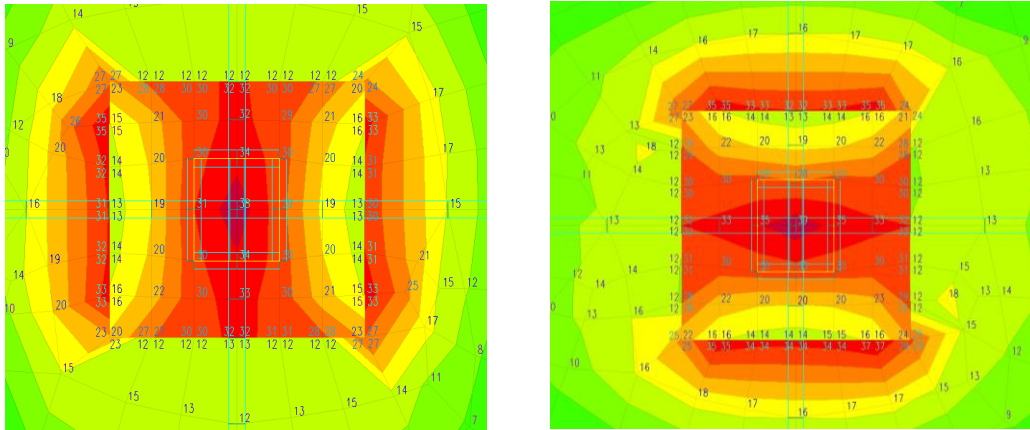
- 1) 冲切：柱截面对柱帽冲切比 0.61~0.68，有较大富余。柱帽对周边大板冲切，边跨邻近 1.16~1.21，其他 1.10，不足。
- 2) 抗弯配筋：柱帽外侧大板配筋，与柱帽中线配筋，相近甚至更大，但该部位大板仍能正常配筋、没有受压区高度超限。
- 3) 柱帽顶面钢筋量：取下图 4 个位置比较。由于配筋云图与最终施工图还是有差异，同时列出 JG 的配筋云图积分和施工图选筋。见下表。JG 实配钢筋范围 52.49~61.17cm<sup>2</sup>，原设计 30.60~42.60cm<sup>2</sup>。如果最小、最大钢筋位置一致，则原设计钢筋只有需要值的 0.58~0.70，严重不足。
- 4) 板底配筋：周边跨 $\Phi 10@100\sim\Phi 14@125$ ，中间跨 $\Phi 12@125$ 。原设计顶底通长 $\Phi 18@200$ ，稍大。



JG 柱截面对柱帽冲切(绿色)，柱帽对大板冲切(红色)



JG 典型柱帽配筋



JG 计算柱帽顶筋云图(左 x 向筋, 右 y 向筋)

柱帽顶面钢筋量统计 (单位:mm<sup>2</sup>)

		JG-STRAT 实配选筋	JG 实配	JG 计算	YJK 计算(倍数)	PKPM 计算	PKPM 实配
柱帽 1	x	11Φ25, 4Φ12	5853	5098	3733 (0.73)	3590 (0.70)	3810
	y	11Φ25, 1Φ20, 2Φ16	6117	5163	3954 (0.77)	3689 (0.72)	3810
柱帽 2	x	11Φ25, 4Φ12	5853	4976	3654 (0.73)	3372 (0.68)	3413
	y	10Φ25, 3Φ12	5249	4898	3500 (0.71)	3629 (0.74)	3413
柱帽 3	x	10Φ25, 2Φ20, 2Φ12	5764	4874	3467 (0.71)	3488 (0.72)	3413
	y	10Φ25, 4Φ12	5362	5055	3891 (0.77)	3509 (0.69)	3810
柱帽 4	x	10Φ25, 2Φ18, 2Φ12	5644	4726	3216 (0.68)	3206 (0.68)	3015
	y	10Φ25, 4Φ12	5358	4743	3071 (0.65)	3396 (0.72)	3413

模型总重量 (单位:T)

	JG-STRAT	YJK	PKPM
恒载质量	7002.72	6981.81	6929.19*
活载质量	442.26	442.26	442.26

注\*: 可能未含柱帽加厚部分自重, 约 88T

## 2. 其他软件的结果

在相关设计单位协助下, 针对该复核模型, 用目前普遍使用 PKPM (V4.2)、YJK (1.9.1) 计算并设计。柱帽配筋统计见上表, 其他见附录。

如果作为原设计的复核, 由于条件不完整只能是概略估算。但与对比软件结果, 各种条件完全相同, 是严密的。且是规则简单模型, 结果具有普遍性、规律性。

众所周知, 现在结构设计是基于结构软件的, 电算几乎完全替代了手算。虽然设计人员可以根据判断, 在软件基础上调整, 但毫无疑问这些调整是以软件结果为基础的。——人们可以 10%、20% 增大, 绝对想不到需要 50% 甚至 100% 增大。

从上表可以看出, 原设计在软件计算基础上, 应该是有所放大。

对比软件与 JG 结果相差悬殊。

### 3. 分析与讨论

1) 根据前面计算复核，可以确认，**柱帽顶面配筋不足是导致垮塌的首要原因**。抗弯钢筋严重不足(少一半)，在正常填土后柱周边柱帽板顶面已经开裂(因覆土不可见)，弯曲裂缝与板面垂直，深入柱帽版，减少截面有效高度，严重削弱柱帽冲切承载力。在抗弯承载力、冲切承载双不足的情况下，外载稍有增加、或有扰动，即发生脆性破坏(少筋弯曲破坏、冲切破坏均脆性破坏)。该项目并不是孤例，大量设计项目的复核都显示存在同样问题。其源头是相关设计软件计算不准确，计算配筋严重不足。虽然北京车库垮塌后，某些软件已经在改进，但技术仍不到位！

2) 有关冲切。虽然现场照片显示，结构破坏形态是柱冲切破坏，但这是现象和结果，并不是原因。该项目充分说明了这点。柱对柱帽冲切有富余，柱帽对大板冲切不足。如果冲切不足造成破坏，应该是柱帽完好、大板在柱帽周边切断并掉落。事实上不存在这种情况，仍是柱帽板在柱边破坏、整体塌落。——很多针对事故的分析，不分析现象背后的真实原因，就事论事，于事无补。

3) 有关暗梁。很多分析中均提到暗梁，认为不设暗梁是设计缺陷之一。我们在《对板式楼盖相关规范、规程更新的建议》提到“加强柱帽的横向钢筋”，是整个柱帽、不仅仅一个暗梁范围的的条带。从前面柱帽配筋云图可以看出，整个柱帽完整参与受力，不是一个条带，这正是“受力岛”理论所强调要点。更为重要的是，加柱帽横向钢筋、设暗梁箍筋，只是构造措施，避免在极端情况下不至于彻底垮塌。构造不能替代足够的受力钢筋面积，如果受力钢筋严重不足，暗梁的钢筋笼扎得再完美，也照样出问题！

#### 5、加强柱帽、大板的横向钢筋。

a) 抗冲切、抗剪之外的构造要求。

b) 目前大板很厚(400~800)，已经不是普通楼板，也不是传统意义上的无梁楼盖。仅仅上下两层钢筋，性能差不多是“素混凝土”。在柱帽复杂受力下，万一不足，极易脆性坍塌。

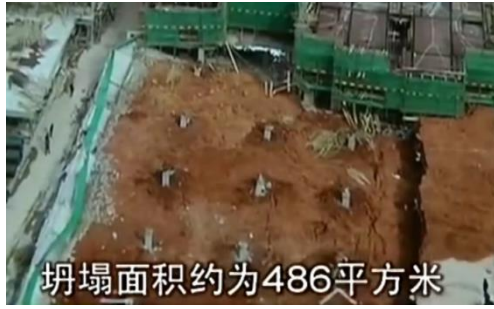
《对板式楼盖相关规范、规程更新的建议》中有关加强横向钢筋

### 4. 从事故中吸取教训

1) 要做到合理计算。即便不能达到高精度计算，起码也得基本吻合。设计软件应承担起社会责任！

2) 我们针对板式楼盖的设计建议，集中在《对板式楼盖相关规范、规程更新的建议》中。

3) 除此之外，为避免连续倒塌，我们建议应增加柱配筋。对于车库中柱，弯矩很小、基本轴压，配筋量较少。在 JG 已有针对地震的“强柱弱板”内力调整，将很快加上针对恒活作用的“强柱弱板”调整(用户可干预的选项)。——需要强调，这只是从工程事故中吸取教训的事后措施，不能理解为垮塌的原因。多数垮塌项目中柱子仍是直立、甚至完好，如下图



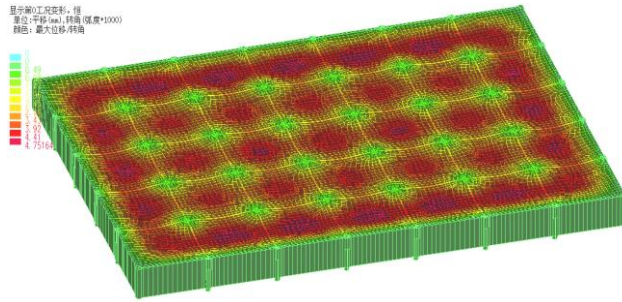
坍塌面积约为486平方米

此前各地板式楼盖垮塌，柱子仍直立、甚至完好

## 5. 附录

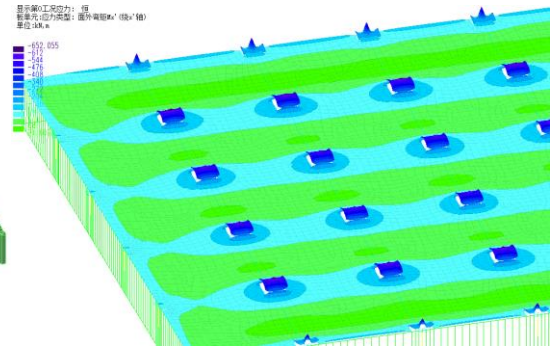
### JG 部分结果

显示板(工)总变形, 恒  
单位: 平移(mm), 转角(弧度\*1000)  
颜色: 最大位移方向



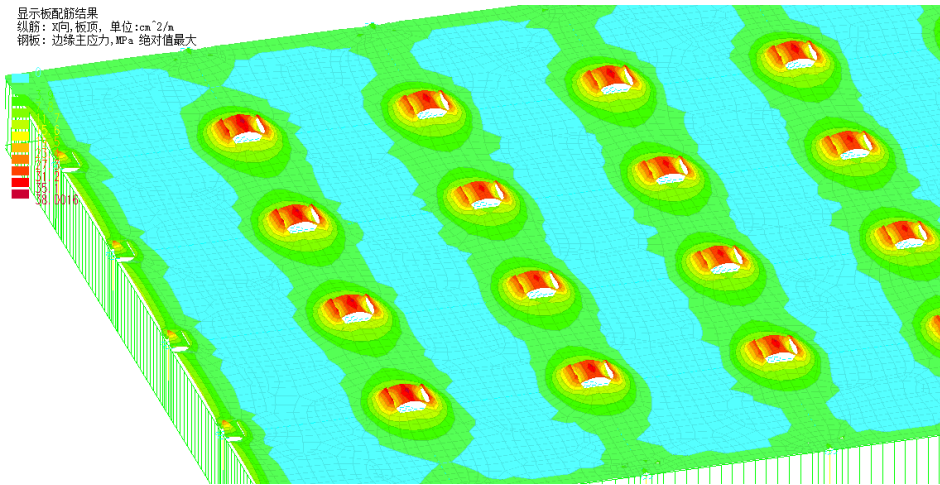
恒载变形图

显示板(工)总弯矩, 恒  
单位: 弯矩(kN·m)  
颜色: 最大弯矩方向



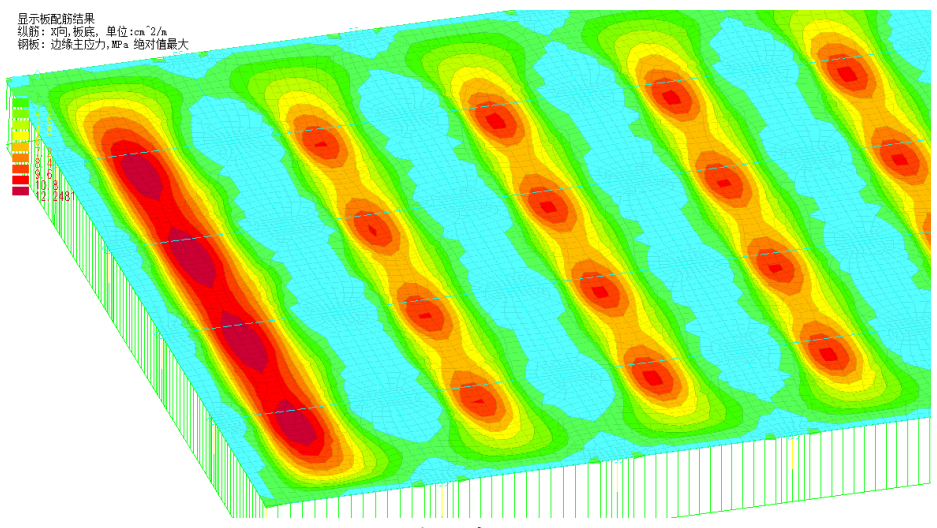
恒载弯矩 Mx

显示板配筋结果  
纵筋: X向, 板顶, 单位: cm<sup>2</sup>/m  
钢筋: 边缘主应力, MPa, 绝对值最大

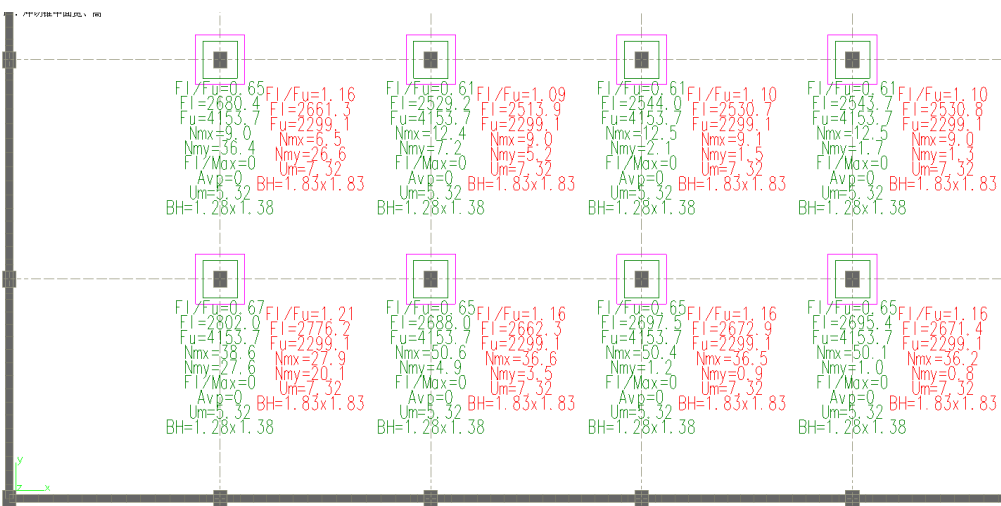


X 向板顶配筋

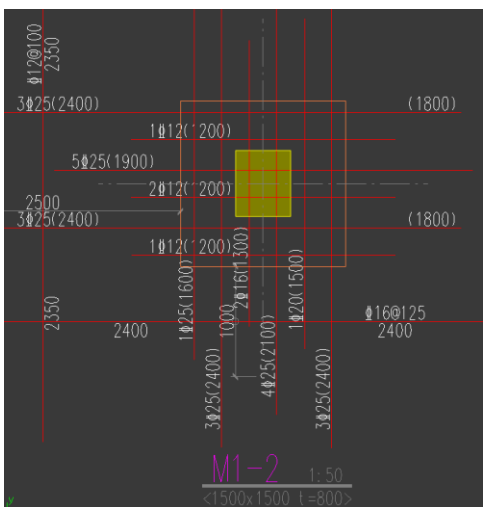
显示板配筋结果  
 视图: X向,板底, 单位: mm<sup>2</sup>/m  
 钢板: 边缘主应力,  $\sigma_x$  绝对值最大



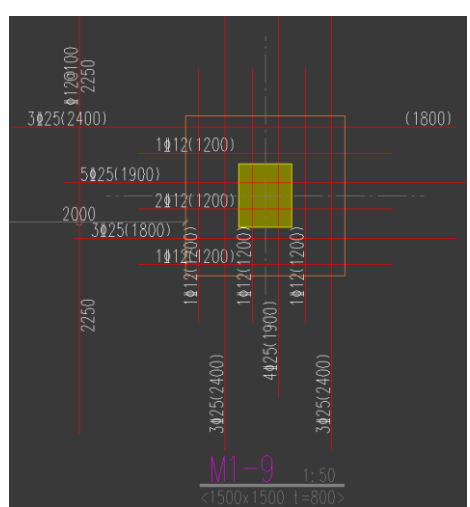
X向板底配筋



柱截面、柱帽抗冲切验算

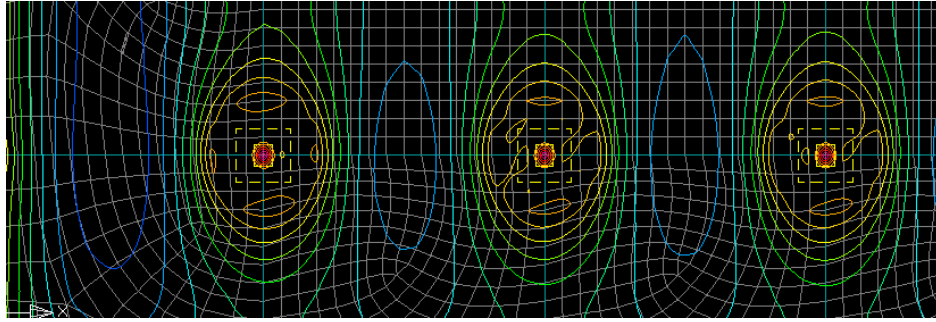


1 位置柱帽



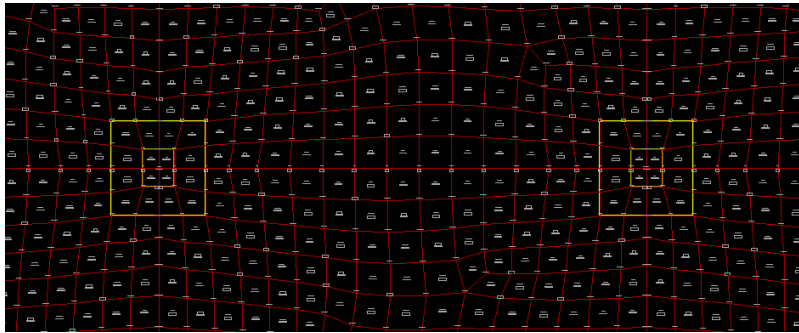
2 位置柱帽





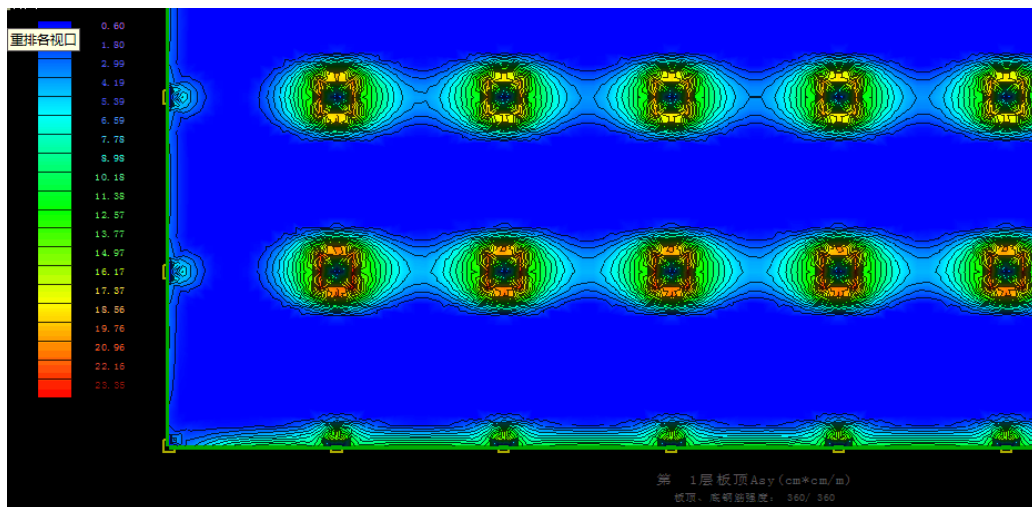
YJK 网格剖分长度 0.5m

## PKPM 部分结果



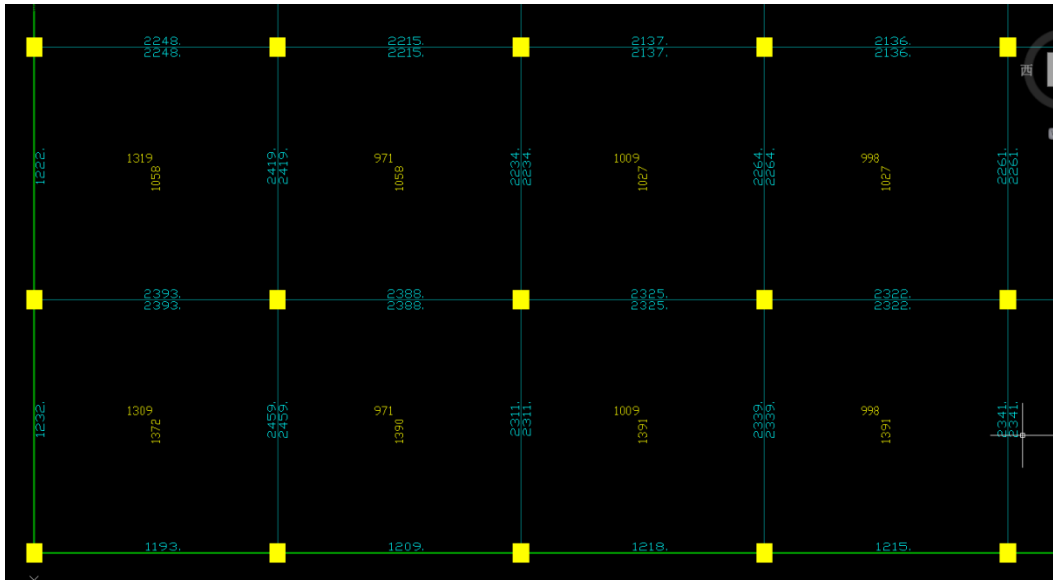
求解器	Pardiso(推荐)
网格划分方式	铺砌法
网格尺寸(mm)	500
柱帽区域网格尺寸(mm)	300
柱区域网格尺寸(mm)	300
洞口网格尺寸(mm)	500
<input checked="" type="checkbox"/> 考虑柱截面对板的面支撑作用	
<input checked="" type="checkbox"/> 绘图时是否裁剪边柱帽	

PKPM 网格剖分 (大板 0.5m, 柱帽、柱截面区域剖分 0.3m)

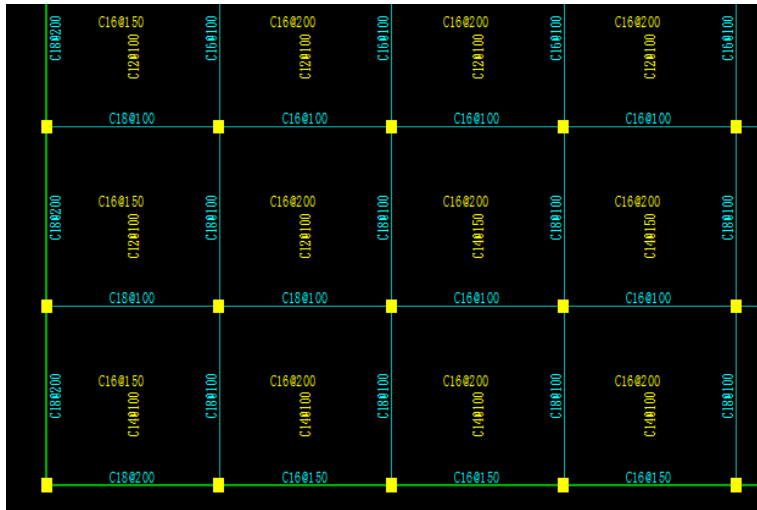


Asx 板顶配筋





统计配筋(计算值)



PKPM 实配筋 (顶面钢筋Φ8@200 双向拉通)