

预制框架柱的抗剪接缝验算

韩义乐

国家大力推广装配式建筑的背景下，十四五规划中提出到 2025 年，装配式建筑占新建建筑的比例达 30%以上。盈建科装配式模块可以协助结构专业设计师快速计算出相关预制构件的接缝处所需要的所有纵向钢筋的面积。但是对于软件计算结果，大部分设计师通常会有以下疑问：

预制柱的配筋应该如何考虑接缝验算的 pc 值呢？为什么会出现预制柱接缝验算的 pc 结果，出现下一层小于上一层 pc 值的情况？

本文将结合工程项目案例，针对预制框架柱的接缝验算结果进行分析讲解，以供结构设计师参考。

首先，给大家讲解预制柱实际现场的安装情况。预制柱的通常做法是，预制柱在构件厂加工完成之后，运输到工地现场。预制柱顶钢筋进行预留，柱底预留套筒，之后在工地之后进行安装。本层柱的柱顶预留的钢筋，与上一层的柱顶套筒进行灌浆处理。因此本层预制柱接缝验算所需要计算的 pc 值，不仅应该满足本层柱底的接缝验算的结果，同时也应该满足上一层的柱底的接缝验算的结果。因此需要人为，按照本层与上一层同一位置的预制构件 pc 值取大值进行考虑。预制柱工地现场实际的现场安装情况，可参考下图一，图二的示意。



图一



图二

接下来，我们来分析一下出现这样的现象的原因。首先，我们看看软件计算预制柱接缝验算的设计依据。软件目前是根据《装配式混凝土技术规程》JGJ-1 2014 里面的 6.5.1 条的公式进行计算。如下图：

6.5 连接设计

6.5.1 装配整体式结构中，接缝的正截面承载力应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定。接缝的受剪承载力应符合下列规定：

1 持久设计状况：

$$\gamma_0 V_{jd} \leq V_u \quad (6.5.1-1)$$

2 地震设计状况：

$$V_{jdE} \leq V_{uE} / \gamma_{RE} \quad (6.5.1-2)$$

在梁、柱端部箍筋加密区及剪力墙底部加强部位，尚应符合下式要求：

$$\eta_j V_{msa} \leq V_{uE} \quad (6.5.1-3)$$

式中： γ_0 ——结构重要性系数，安全等级为一级时不应小于 1.1，安全等级为二级时不应小于 1.0；

V_{jd} ——持久设计状况下接缝剪力设计值；

V_{jdE} ——地震设计状况下接缝剪力设计值；

V_u ——持久设计状况下梁端、柱端、剪力墙底部接缝受剪承载力设计值；

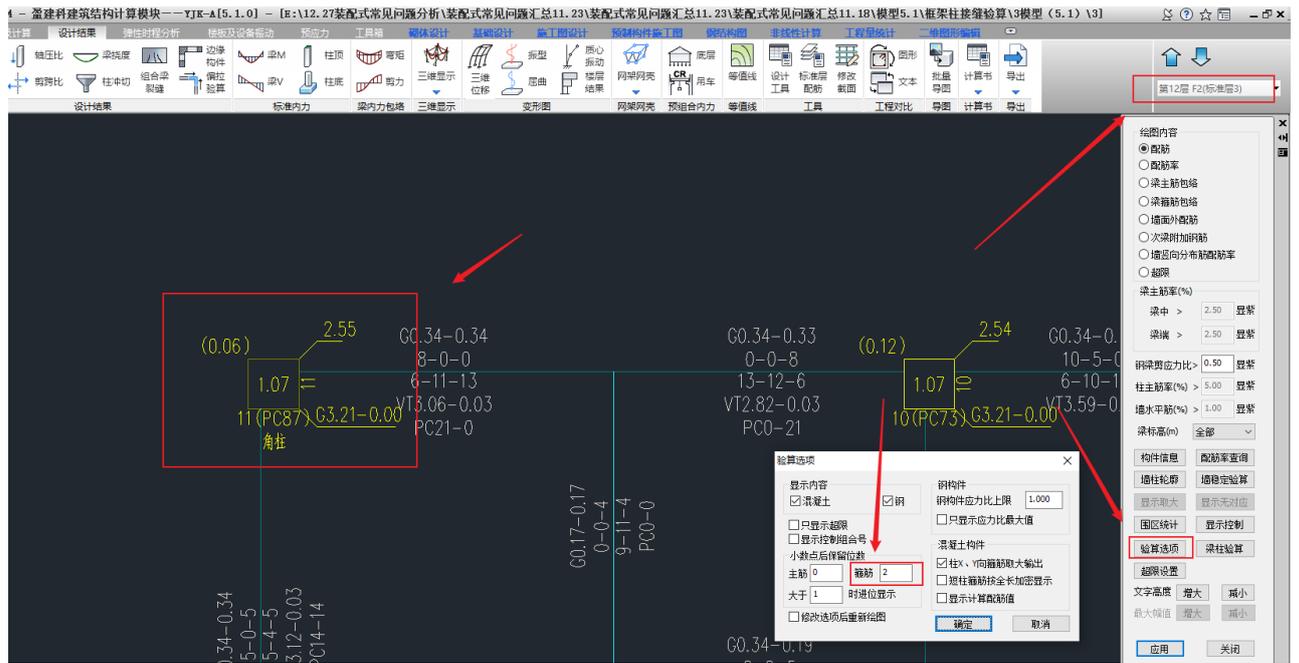
V_{uE} ——地震设计状况下梁端、柱端、剪力墙底部接缝受剪承载力设计值；

V_{mu} ——被连接构件端部按实配钢筋面积计算的斜截面受剪承载力设计值；

η ——接缝受剪承载力增大系数，抗震等级为一、二级取 1.2，抗震等级为三、四级取 1.1。

对于规范 6.5.1-1 的规定，主要是用于考虑竖向接缝验算的计算要求。对于预制框架柱不存在竖向接缝，仅有水平接缝。因此程序仅对 6.5.1-2 和 6.5.1-3 两条公式进行计算，并按照两个结果最终取大值进行结果的输出。

现以如下模型为例，采用 5.1.0 版本盈建科计算。本工程模型为装配式框架结构，地下一层，地上 11 层。以顶层（自然层 12）左上角的角柱为例进行分析。在设计结果里面的验算选项中的，小数点后保留位数，箍筋填写 2。具体如下图三：



图三

首先考虑 6.5.1-3 的公式 $\eta_j V_{muas} \leq V_{ue}$ 。其中 V_{ue} 是根据《装配式混凝土技术规程》JGJ1-2014 里面的 7.2.3 条公式进行考虑。

7.2.3 在地震设计状况下，预制柱底水平接缝的受剪承载力设计值应按下列公式计算：

当预制柱受压时：

$$V_{uE} = 0.8N + 1.65A_{sd}\sqrt{f_c f_y} \quad (7.2.3-1)$$

当预制柱受拉时：

$$V_{uE} = 1.65A_{sd}\sqrt{f_c f_y \left[1 - \left(\frac{N}{A_{sd} f_y} \right)^2 \right]} \quad (7.2.3-2)$$

式中： f_c ——预制构件混凝土轴心抗压强度设计值；

f_y ——垂直穿过结合面钢筋抗拉强度设计值；

N ——与剪力设计值 V 相应的垂直于结合面的轴向力设计值，取绝对值进行计算；

A_{sd} ——垂直穿过结合面所有钢筋的面积；

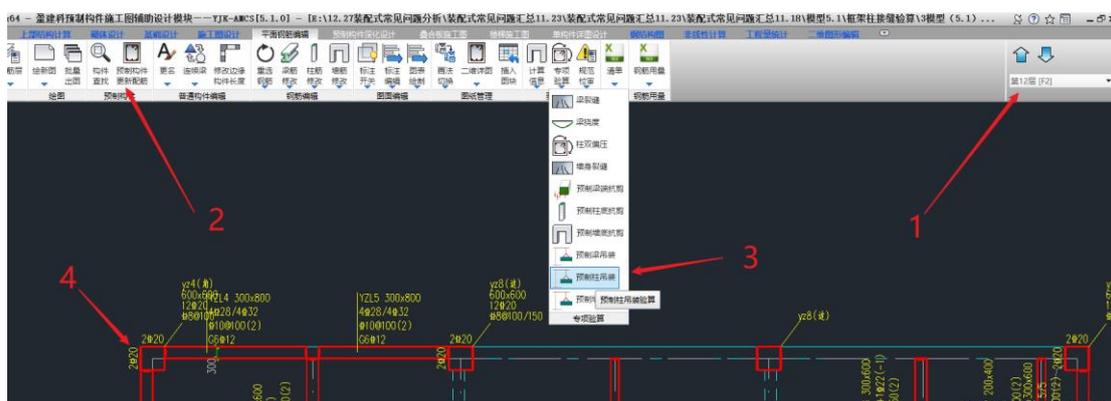
V_{uE} ——地震设计状况下接缝受剪承载力设计值。

由于【构件信息】中没有输出预制柱抗剪接缝验算的控制工况，需要通过【预制构件施工图】进行查询。如图四



图四

在平面钢筋编辑模块里面，第一步选中对应的楼层(自然层 12)，第二步点选预制构件更新配筋。第三步专项验算里面选择预制柱底抗剪，第四步点选对应的预制框架柱。具体操作如下图五



图五

3.2 验算公式 6.5.1-3

《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1-2014 公式 6.5.1-3 为：

$$\eta_j * V_{mua} \leq V_{uE}$$

根据《装配式混凝土结构技术规程》JGJ1-2014 公式 7.2.3 可知，地震设计状况下接缝抗剪承载力为：

$$\text{预制柱受压时: } V_{uE} = 0.8N + 1.65A_{sd}\sqrt{f_c f_y}$$

$$\text{预制柱受拉时: } V_{uE} = 1.65A_{sd}\sqrt{f_c f_y \left[1 - \left(\frac{N}{A_d f_y} \right)^2 \right]}$$

地震设计状况下补充验算剪力设计值 V_{mua} 参考《混凝土设计规范》GB 50010-2010(2015) 中第 11.4.7 条和第 11.4.8 条计算。

$$\text{预制柱受压时: } V_{mua} = \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1.05}{\lambda+1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.056N \right]$$

$$\text{预制柱受拉时: } V_{mua} = \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1.05}{\lambda+1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 - 0.2N \right]$$

验算时要遍历地震工况下所有组合，通过公式 $\eta_j * V_{mua} = V_{uE}$ 计算满足接缝验算时的计算所需 A_{sd} 。

遍历所有地震组合，计算所需 A_{sd} 的最大值对应组合如下表。

位置	控制组合号	轴力设计值 N (KN) (受压为正)	截面高度 (mm)
柱底	36	215.0	B(x)边:600

控制组合下 V_{mua} 计算过程如下：(预制柱受压)

$$\gamma_{RE}=0.85, h_0=h_{0c}=551\text{mm}, \lambda=\lambda_x=4.0 (\lambda>3.0 \text{ 时} \lambda \text{ 取 } 3.0),$$

$$N=215.0\text{KN}<0.3*14.3*600*600/1000=1547.79\text{KN}$$

$$V_{mua}=[1.05*1.43*600*551/(1+3.00)+360*201.0*551/100+0.056*214961.1]/0.85=629425.80$$

N

从计算书中可以查到此柱底在柱端箍筋加密区接缝验算的控制组合号为 36，轴力设计值 $N=215\text{KN}$ ，轴力（压力）为 215KN。《装配式混凝土技术规程》JGJ-1 2014 里面的 6.5.3 条 V_{mua} 为柱端按照实配钢筋面积计算的斜截面受剪承载力设计值。此 V_{mua} 的计算依据为《混凝土结构设计规范》11.4.7 或 11.4.8 条的公式进行考虑。

为柱轴向。

11.4.7 考虑地震组合的矩形截面框架柱和框支柱，其斜截面受剪承载力应符合下列规定：

$$V_c \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1.05}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 + 0.056 N \right] \quad (11.4.7)$$

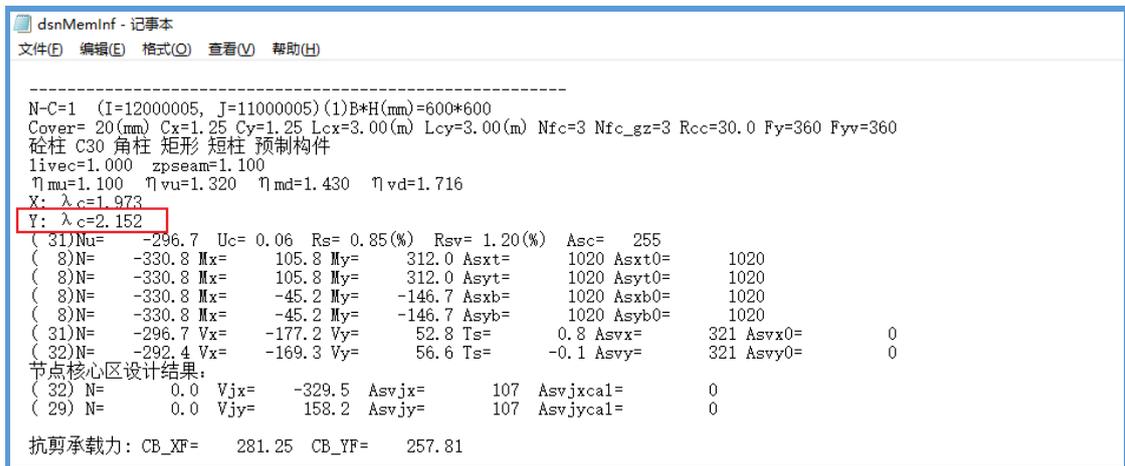
式中： λ ——框架柱、框支柱的计算剪跨比；当 λ 小于1.0时，取1.0；当 λ 大于3.0时，取3.0；
 N ——考虑地震组合的框架柱、框支柱轴向压力设计值，当 N 大于 $0.3 f_c A$ 时，取 $0.3 f_c A$ 。

11.4.8 考虑地震组合的矩形截面框架柱和框支柱，当出现拉力时，其斜截面抗震受剪承载力应符合下列规定：

$$V_c \leq \frac{1}{\gamma_{RE}} \left[\frac{1.05}{\lambda + 1} f_t b h_0 + f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0 - 0.2 N \right] \quad (11.4.8)$$

式中： N ——考虑地震组合的框架柱轴向拉力设计值。
 当上式右边括号内的计算值小于 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 时，取等于 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ ，且 $f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_0$ 值不应小于 $0.36 f_t b h_0$ 。

当 N 为轴压力的时候，考虑11.4.7条的公式。其中 γ_{RE} 取0.85， λ 的取值可以点击构件信息取值，此预制柱的 $\lambda=2.152$ 详图六，



图六

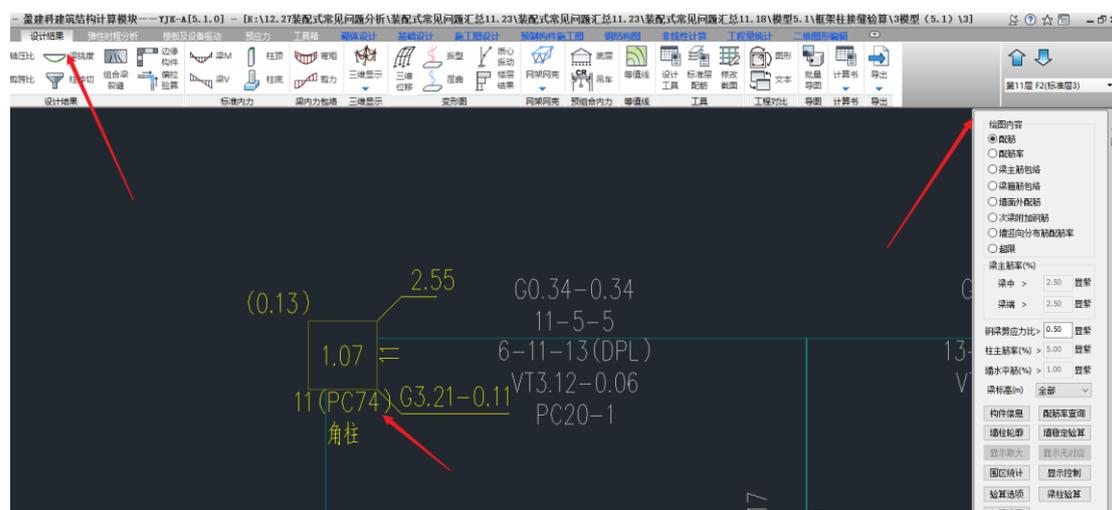
$f_t=0.00143\text{KN}/\text{mm}^2$ ， $f_{yv}=0.36\text{KN}/\text{mm}^2$ （预制柱混凝土标号C30）， $A_{sv}=321*1.15=369.15\text{mm}^2$ 其中为321为设计结果柱箍筋加密配筋面积，1.15系数为超配系数，此系数在前处理-设计信息，见图七。

pc=87cm² 基本一致。

接下来考虑 6.5.1-2 的公式 $V_{jdE} \leq V_{uE} / \gamma_{RE}$ 。由于上部结构计算中预制柱抗剪箍筋面积计算循环了所有组合，同时通过验算公式 6.5.1-2 得出地震状况下（非柱端）的 As_d 通常为负值，即不需要接缝钢筋。

此处不再手核公式 6.5.1-2 的内容。

同样的方法，计算 11 层同一位置的预制柱得出 $As_d=7391 \text{ mm}^2$ ，与软件计算的结果 pc=74cm² 基本一致。具体详图八。



图八

综上所述，软件计算的结果与手核结果基本一致。这说明出现下一层小于上一层 PC 值的情况是符合规范和相关计算的结果。接下来我们分析一下，出现这种情况的原因。我们可以看到：两层同一位置的预制柱的计算过程，12 层详见图九，11 层详见图十。

12层				
	执行规范		国标	
	抗震等级		三级	
	混凝土强度等级	f _{cu} k	30	
	钢筋强度等级		HRB400	
	柱截面B	B	600	mm
	柱截面H	H	600	mm
	柱高	L _{wc}	3000	mm
	墙一端钢筋合力点到边缘的距离	aa	42.5	mm
	柱截面有效高度	h ₀	557.5	mm
	柱箍筋间距	S _w	100	mm
	计算用柱箍筋面积	A _{sh}	321	mm ²
	墙剪跨比	λ _w	1.973	单位1
	接缝受剪承载力增大系数	η _j	1.1	单位1
	实配钢筋超配系数(前处理参数)	c _j	1.15	单位1
在偏心受拉	时斜截面受剪承载力抗震调整系数	γ _{RE}	0.85	单位1
	混凝土抗拉强度设计值	f _t	1.43	N/mm ²
	混凝土抗压强度设计值	f _c	14.33	N/mm ²
	钢筋抗拉强度设计值	f _{yv}	360	N/mm ²
	地震工况组合下的轴压力	N	215	kN
	地震工况	V _{mua}	1084543.223	N
	地震工况剪力设计值	V _c =η _j *V _{mua}	1192997.545	N
	计算所需的抗剪钢筋面积(地震设计)	A _{sd}	8615.22071	mm ²

图九

11层				
	执行规范		国标	
	抗震等级		三级	
	混凝土强度等级	f _{cu} k	30	
	钢筋强度等级		HRB400	
	柱截面B	B	600	mm
	柱截面H	H	600	mm
	柱高	L _{wc}	3000	mm
	墙一端钢筋合力点到边缘的距离	aa	42.5	mm
	柱截面有效高度	h ₀	557.5	mm
	柱箍筋间距	S _w	100	mm
	计算用柱箍筋面积	A _{sh}	321	mm ²
	墙剪跨比	λ _w	1.973	单位1
	接缝受剪承载力增大系数	η _j	1.1	单位1
	实配钢筋超配系数(前处理参数)	c _j	1.15	单位1
在偏心受拉	时斜截面受剪承载力抗震调整系数	γ _{RE}	0.85	单位1
	混凝土抗拉强度设计值	f _t	1.43	N/mm ²
	混凝土抗压强度设计值	f _c	14.33	N/mm ²
	钢筋抗拉强度设计值	f _{yv}	360	N/mm ²
	地震工况组合下的轴压力	N	414.2	kN
	地震工况	V _{mua}	1097666.987	N
	地震工况剪力设计值	V _c =η _j *V _{mua}	1207433.686	N
	计算所需的抗剪钢筋面积(地震设计)	A _{sd}	7391.978578	mm ²

图十

通过以上计算过程可以看出，两层同一位置的预制柱，仅地震工况组合下的轴压力值不同，其余条件均一样。根据《装配式混凝土技术规程》JGJ1-2014 里面的 7.2.3-1 公式 $V_{uE} = 0.8N + 1.65A_{sd}\sqrt{f_c f_y}$ 可知，在 V_{uE}, f_c, f_y 基本一致的情况下，轴力 N 的越大，计算结果的 A_{sd} 越小，

也就是预制柱底接缝验算的 pc 值越小。与盈建科计算的预制柱的 pc 值的趋势一致。

本期技术周刊小结：盈建科软件对于预制柱计算出来的接缝验算的 pc 值小于上层同一位置预制柱计算的结果是符合规范的计算要求，但是根据实际工地现场对于预制柱的安装的情况，本层预制柱接缝验算所需要计算的 pc 值，不仅应该满足本层预制柱底的接缝验算 pc 的结果，同时也应该满足上一层的预制柱底的接缝验算的 pc 结果。因此需要设计师，在绘制相关图纸的时候，按照本层与上一层同一位置的预制构件 pc 值取大值进行考虑绘制图纸。