

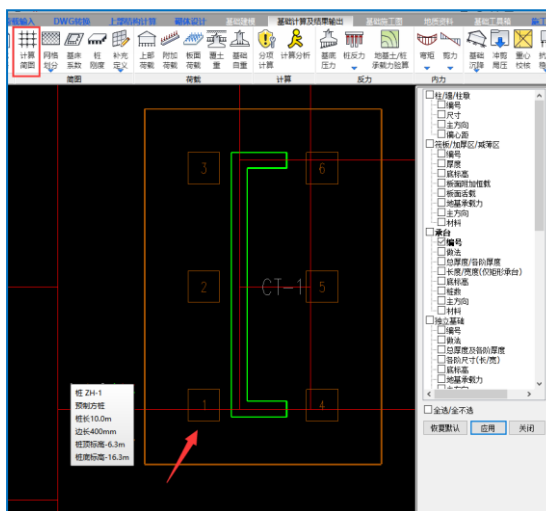
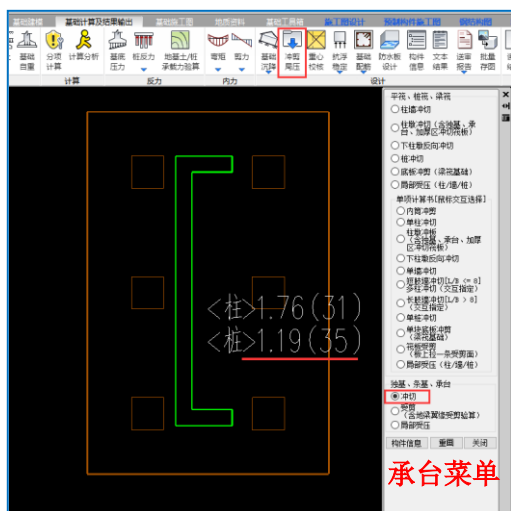
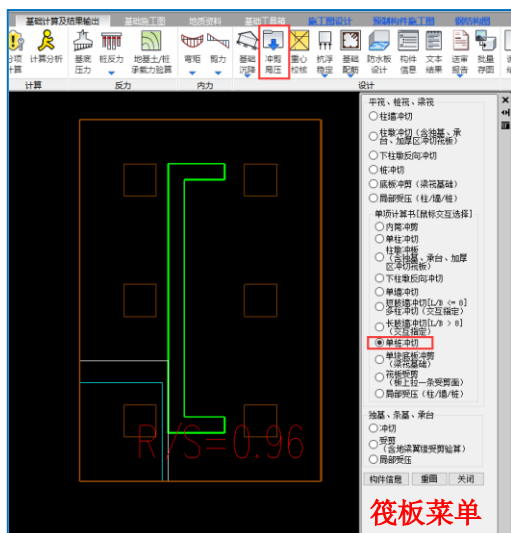
墙下承台角桩冲切结果看哪一个？

王晓可

近期有用户对墙下承台角桩冲切结果的查看提出了疑问：筏板菜单、承台菜单下的角桩冲切结果不一致，应该看哪一个？本文对两个菜单下角桩冲切的冲切力、冲切抗力进行校核和对比，分析了产生差异的原因，给出结论和建议。

一、用户疑问

墙下六桩承台在筏板菜单下查看单桩冲切结果，角桩冲切结果 R/S 是 0.97，查看承台冲切同样位置的角桩冲切结果 R/S 是 1.19，如下图，两个结果相差较大，应该以哪一个为准？



承台菜单

* 以下输出承台的桩冲切验算结果(不包括冲切破坏锥体范围内的桩)
 * 依据规范: 建筑桩基技术规范(JGJ94-2008)第5.9.8条
 * (1)四桩以上(含四桩)承台,角桩冲切验算公式

$$N_1 \leq [\beta_{1x} * (c_2 + a_{1y}/2) + \beta_{1y} * (c_1 + a_{1x}/2)] * \beta_{hp} * f_t * h_0$$

$$\beta_{1x} = 0.56 / (\lambda_{1x} + 0.2)$$

$$\beta_{1y} = 0.56 / (\lambda_{1y} + 0.2)$$
 * 当锥形承台角桩冲切按斜坡全面积计算时,验算公式为:

$$N_1 \leq (\beta_{1x} * A_{1x} + \beta_{1y} * A_{1y}) * \beta_{hp} * f_t$$

$$A_{1x}, A_{1y} \text{ 为斜坡全面积}$$
 * (2)三桩“三角形”承台,底部角桩冲切验算公式

$$N_1 \leq \beta_{11} * (2 * c_1 + a_{11}) * \beta_{hp} * \tan(\theta/2) * f_t * h_0$$

$$\beta_{11} = 0.56 / (\lambda_{11} + 0.2)$$
 * (3)三桩“三角形”承台,顶部角桩冲切验算公式

$$N_1 \leq \beta_{12} * (2 * c_2 + a_{12}) * \beta_{hp} * \tan(\theta/2) * f_t * h_0$$

$$\beta_{12} = 0.56 / (\lambda_{12} + 0.2)$$
 * (4)多桩(墙)承台,内部基桩受冲切承载力验算公式

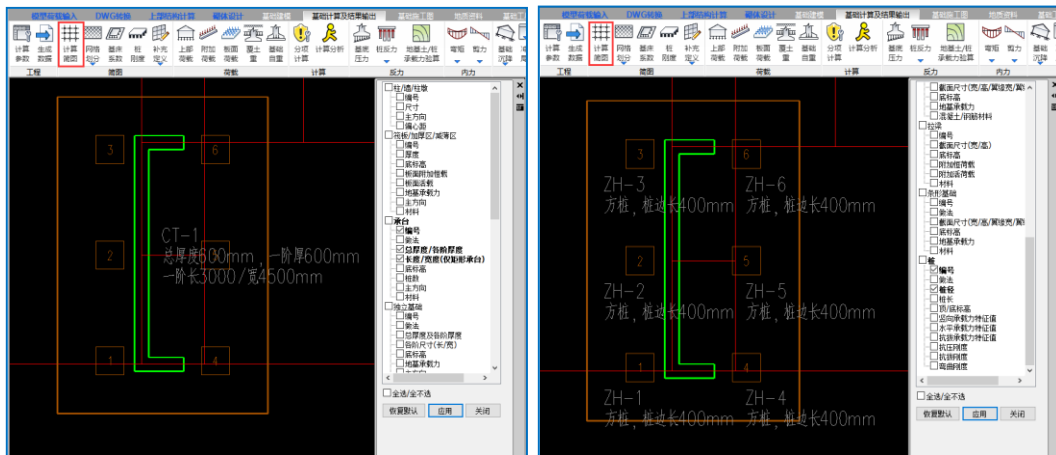
$$N_1 \leq 2.3 * (b_p + h_0) * \beta_{hp} * f_t * h_0$$
 * 各变量意义参见相应规范条文
 * 单桩、两桩承台,不验算桩冲切
 * 依据混凝土结构设计规范11.1.6条规定,地震组合下受冲切承载力除以0.85

四桩以上(含四桩)承台,角桩冲切验算结果:

桩号	Comb	N1	a1x	a1y	c1	c2	β_{1x}	β_{1y}	β_{hp}	$f_t(k)$	h_0	λ_{1x}	λ_{1y}	R/S	验算结果
ZH-4	(35)	928.1	250	0	950	950	0.86	1.24	1.00	1.43	550	0.45	0.25	1.83	满足
ZH-6	(29)	814.8	250	0	950	950	0.86	1.24	1.00	1.43	550	0.45	0.25	2.08	满足
ZH-3	(31)	1488.7	150	0	950	950	1.18	1.24	1.00	1.43	550	0.27	0.25	1.27	满足
ZH-1	(35)	1594.1	150	0	950	950	1.18	1.24	1.00	1.43	550	0.27	0.25	1.19	满足

二、两个菜单下冲切结果校核

针对上述两个菜单下角桩冲切结果不同,我们以承台左下角的角桩 ZH-1 为例,分别手核两个菜单下的角桩冲切力和抗力,来验证软件计算的正确性。承台基本信息如下:承台厚 600mm,有效高度 $h_0=550mm$,方桩 $400mm \times 400mm$,角桩距承台边缘距离 $c_1=c_2=950mm$ 。



1. 筏板菜单下角桩冲切

筏板菜单下勾选单桩冲切,选择左下角桩 ZH-1,计算简图上画出单桩对承台冲切的破坏锥用白色线表示,蓝色线是冲切临界截面,简图上标记此桩的冲切抗力与效应的比值 $R/S=0.96$,同时弹出单桩冲切的计算书。查看计算书,得到荷载信息、验算结果如下。

三、荷载信息

```

*-----*
* 以下输出各基本组合下的桩净反力N1 (kN)
* Np: 桩反力 (kN)
* N1: 桩净反力, N1 = Np - Fz, 当桩受拉时Np为0, N1为0
* Fz: 竖向力 (kN)
* 一般情况下, Fz仅含有冲切锥体范围内的自重、板面荷载、覆土重,
* 当桩上有柱(墙)时, Fz含柱(墙)竖向荷载。
*-----*

```

组合号	N1	Np	Fz
(23)	1462.5	1494.7	32.2
(24)	1160.1	1192.3	32.2
(25)	1010.2	1042.3	32.2
(26)	1253.2	1285.4	32.2
(27)	1403.2	1435.4	32.2
(28)	1434.6	1466.8	32.2
(29)	1490.5	1522.7	32.2
(30)	1344.6	1376.8	32.2
(31)	1580.5	1612.6	32.2
(32)	1339.2	1371.4	32.2
(33)	1432.3	1464.5	32.2
(34)	1189.3	1221.4	32.2
(35)	1582.3	1614.5	32.2
(36)	1210.1	1242.3	32.2
(37)	1524.2	1556.4	32.2
(38)	1065.4	1097.6	32.2
(39)	1669.0	1701.1	32.2
(40)	1200.8	1233.0	32.2
(41)	1026.1	1058.3	32.2
(42)	1533.6	1565.7	32.2
(43)	1708.3	1740.4	32.2
(44)	1514.9	1547.1	32.2
(45)	1629.7	1661.8	32.2
(46)	1219.4	1251.6	32.2
(47)	1104.7	1136.9	32.2

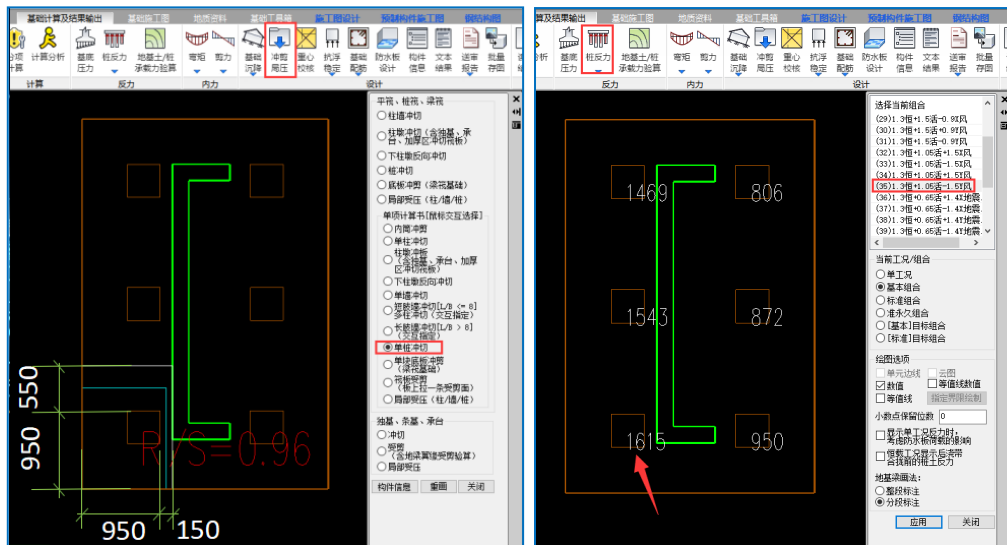
四、验算结果

```

*-----*
* 以下输出单桩对筏板的冲切验算结果
* Comb: 最不利组合号
* N1: 桩净反力设计值 (kN)
* um: 冲切临界截面周长 (mm)
* β: 冲切系数, 当各方向冲跨比不同时按下式计算
*   β = Σ(βi*umi) / Σumi
*   βi为各方向冲切系数, umi为各方向临界截面边长
* βhp: 筏板受冲切承载力截面高度影响系数, 按桩基规范第5.9.7条计算
* ft: 筏板混凝土轴心抗拉强度设计值 (MPa)
* ftk: 筏板混凝土轴心抗拉强度标准值 (MPa)
* h0: 筏板有效高度, 按(筏板厚度-保护层厚度-10)计算 (mm)
* R/S: 冲切安全系数, 小于1.0时不满足要求
* 当有剪力墙横跨冲切面时, 不验算冲切, R/S输出50.00
*-----*

```

桩编号	Comb	N1	um	β	β _{hp}	ft(k)	h0	R/S	验算结果
1	(35)	1582.3	2250	0.86	1.00	1.43	550	0.96	不满足



从计算简图上可以看到，角桩冲切破坏锥桩边到竖向构件的距离 $a_{1x}=150\text{mm}$ ，因为 y 方向没有竖向构件，沿 45 度发生冲切破坏， $a_{1y}=h_0=550\text{mm}$ 。

冲切锥的底面尺寸： $1100\text{mm}\times 1500\text{mm}$ ，承台上恒载、活载均为 0 ，无覆土，混凝土容重 25kN/m^3 。故冲切锥隔离体上的冲切力和冲切抗力如下：

(1) 冲切力 F_l

控制工况（35）1.3 恒+1.05 活-1.5Y 风下：

桩反力 $N_p=1615\text{kN}$ ，

冲切锥底面 $1100\text{mm}\times 1500\text{mm}$ 范围内上部荷载仅有自重，混凝土容重 25kN/m^3 ，

冲切锥内上部荷载只有自重 $F_z=G_1=1.3\times 1.1\times 1.5\times 0.6\times 25=32.18\text{kN}$ ，35 工况恒载分项系数 1.3，

冲切力 $N_l=N_p-F_z=1615-32.18=1582.82\text{kN}$ 与构件信息一致。

(2) 冲切抗力 R

根据《桩规》5.9.7、5.9.8 条，各参数如下：

$$\lambda_x = a_{1x}/h_0 = 150/550 = 0.273$$

$$\lambda_y = a_{1y}/h_0 = 550/550 = 1$$

$$\beta_x = 0.56 / (\lambda_x + 0.2) = 0.56 / (0.273 + 0.2) = 1.184$$

$$\beta_y = 0.56 / (\lambda_y + 0.2) = 0.56 / (1 + 0.2) = 0.467$$

冲切临界截面边长： $u_{mx}=950+150/2=1025\text{mm}$ ， $u_{my}=950+550/2=1225\text{mm}$

$$\beta = \sum \beta_i \cdot u_{mi} / \sum u_m$$

$$= (\beta_x \cdot u_{my} + \beta_y \cdot u_{mx}) / (u_{mx} + u_{my})$$

$$= (1.184 \times 1225 + 0.467 \times 1025) / (1025 + 1225) = 0.86$$

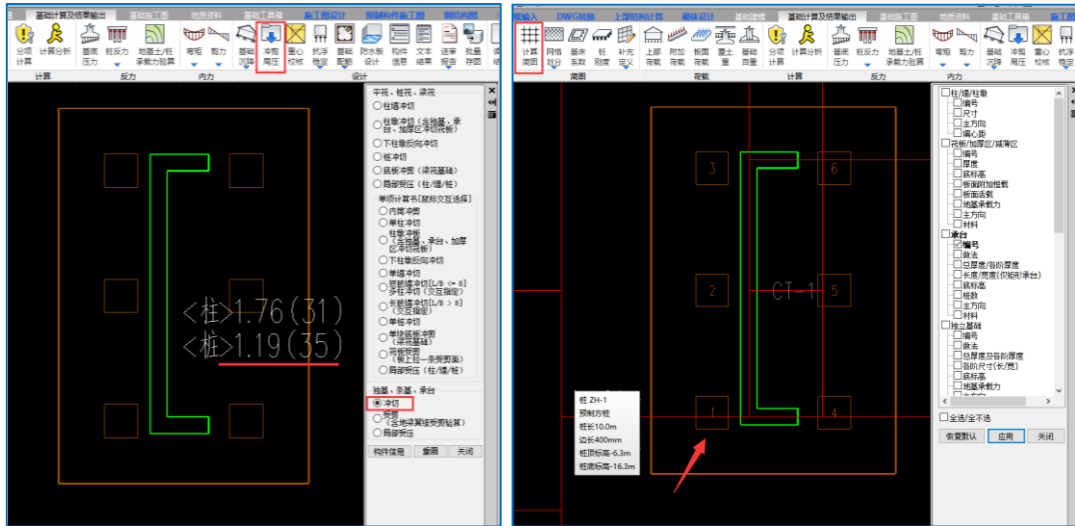
根据《桩规》公式（5.9.7-1） $N_l \leq [\sum (\beta_i \cdot u_{mi})] \cdot \beta \cdot h_p \cdot f_t \cdot h_0$

$$R = \beta \cdot u_m \cdot \beta_{hp} \cdot f_t \cdot h_0 = 0.86 \times (1025 + 1225) \times 1 \times 1.43 \times 550 = 1521.88\text{kN}$$

故 $R/S = 1521.88/1582.82 = 0.96$ 与构件信息一致。

2. 承台菜单下角桩冲切

承台菜单下点冲切，计算简图上显示的是最不利的桩冲切结果及控制工况，查看承台构件信息得到所有桩的冲切计算书，如下，桩 ZH-1 冲切结果 $R/S=1.19$ 刚好是最不利的桩冲切结果。下面我们根据承台角桩冲切公式，验证桩 ZH-1 的冲切结果。



* 以下输出承台的桩冲切验算结果(不包括冲切破坏锥体范围内的桩)
 * 依据规范: 建筑桩基技术规范(JGJ94-2008)第5.9.8条
 * (1)四桩以上(含四桩)承台, 角桩冲切验算公式

$$N_1 \leq [\beta_{1x} * (c_2 + a_{1y}/2) + \beta_{1y} * (c_1 + a_{1x}/2)] * \beta_{hp} * f_t * h_0$$

$$\beta_{1x} = 0.56 / (\lambda_{1x} + 0.2)$$

$$\beta_{1y} = 0.56 / (\lambda_{1y} + 0.2)$$
 * 当锥形承台角桩冲切按斜坡全面积计算时, 验算公式为:

$$N_1 \leq (\beta_{1x} * A_{1x} + \beta_{1y} * A_{1y}) * \beta_{hp} * f_t$$

$$A_{1x}, A_{1y} \text{ 为斜坡全面积}$$
 * (2)三桩“三角形”承台, 底部角桩冲切验算公式

$$N_1 \leq \beta_{11} * (2 * c_1 + a_{11}) * \beta_{hp} * \tan(\theta/2) * f_t * h_0$$

$$\beta_{11} = 0.56 / (\lambda_{11} + 0.2)$$
 * (3)三桩“三角形”承台, 顶部角桩冲切验算公式

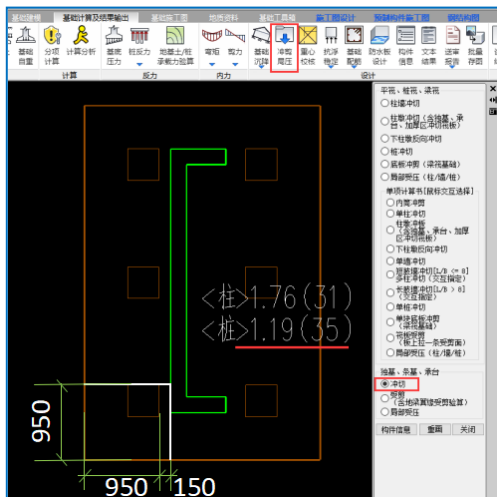
$$N_1 \leq \beta_{12} * (2 * c_2 + a_{12}) * \beta_{hp} * \tan(\theta/2) * f_t * h_0$$

$$\beta_{12} = 0.56 / (\lambda_{12} + 0.2)$$
 * (4)多桩(墙)承台, 内部基桩受冲切承载力验算公式

$$N_1 \leq 2.8 * (\beta_{ph} * h_0) * \beta_{hp} * f_t * h_0$$
 * 各变量意义参见相应规范条文
 * 单桩、两桩承台, 不验算桩冲切
 * 依据混凝土结构设计规范11.1.6条规定, 地震组合下受冲切承载力除以0.85

四桩以上(含四桩)承台, 角桩冲切验算结果:

桩号	Comb	N1	a1x	a1y	c1	β_{1x}	β_{1y}	β_{hp}	ft(k)	h0	λ_{1x}	λ_{1y}	R/S	验算结果
ZH-4	(35)	928.1	250	0	950	0.86	1.24	1.00	1.43	550	0.45	0.25	1.83	满足
ZH-6	(29)	814.8	250	0	950	0.86	1.24	1.00	1.43	550	0.45	0.25	2.08	满足
ZH-3	(31)	1488.7	150	0	950	0.86	1.24	1.00	1.43	550	0.27	0.25	1.27	满足
ZH-1	(35)	1594.1	150	0	950	0.86	1.24	1.00	1.43	550	0.27	0.25	1.19	满足



承台菜单中, 角桩对承台的冲切按《桩规》5.9.8-1, 根据图 5.9.8-1, $a_{1x}=150$, $a_{1y}=0$ 。因为左下角角桩 ZH-1 的 y 向在墙内, y 向桩边到墙边的距离为负值, 所以软件取 $a_{1y}=0$ 。冲切锥底面尺寸: x 向: $c_1 + a_{1x} = 950 + 150 = 1100\text{mm}$, y 向: $c_{12} + a_{1y} = 950 + 0 = 950\text{mm}$

(1) 冲切力 F1

控制工况 (35) 1.3 恒+1.05 活-1.5Y 风下:

冲切锥底面 1100x950 范围内上部荷载仅有自重，混凝土容重 25kN/m³，
冲切锥内上部荷载只有自重 $F_z=G_1=1.3 \times 1.1 \times 0.95 \times 0.6 \times 25=20.38$ ，1.3 为控制工况 35 工况恒载分项系数。

冲切锥内桩反力 $N_p=1615\text{kN}$

冲切力 $N_l=N_p-F_z=1615-20.38=1594.62\text{kN}$

(2) 冲切抗力 R

根据《桩规》5.9.8-1，各参数如下：

$a_{1x}=150$ ， $a_{1y}=0$

$\lambda_{1x}=a_{1x}/h_0=150/550=0.273$

$\lambda_{1y}=a_{1y}/h_0=0$ ，取 $\lambda_{1y}=0.25$

$\beta_{1x}=0.56/(\lambda_{1x}+0.2)=0.56/(0.273+0.2)=1.184$

$\beta_{1y}=0.56/(\lambda_{1y}+0.2)=0.56/(0.25+0.2)=1.24$

$R=[\beta_{1x} \cdot (c_2+a_{1y}/2)+\beta_{1y} \cdot (c_1+a_{1x}/2)] \cdot \beta_{hp} \cdot f_t \cdot h_0$
 $=[1.184 \times (950+0)+1.244 \times (950+150/2)] \times 1.0 \times 1.43 \times 550$
 $=1887.52\text{kN}$

$R/S=1887.52/1594.62=1.18$ 与构件信息一致。

三、两个菜单结果差异的原因分析

从上述两个菜单的角桩冲切结果校核中，发现软件的计算结果分别与手核结果一致，那么是什么原因导致两个结果不同呢？

1. 计算公式的对比

筏板菜单中是将墙下承台看成是一个小筏板，验算角桩对筏板的冲切，计算书中采用了通用冲切公式《桩规》公式（5.9.7-1）：

$$N_l \leq \beta_{hp} \cdot \beta \cdot u_m \cdot f_t \cdot h_0 \quad (1-1)$$

并考虑各方向冲垮比不同冲切系数不同，引入各方向的冲切系数 β_i 和临界截面长度 u_{mi} ，其中 β 是各方向冲垮比在各方向临界截面上的加权平均值，即 $\beta = \sum(\beta_i \cdot u_{mi}) / \sum u_{mi}$ ，故冲切计算公式（1-1）可写为

$$N_l \leq [\sum(\beta_i \cdot u_{mi})] \cdot \beta_{hp} \cdot f_t \cdot h_0 \quad (1-2)$$

其中边桩、角桩对筏板的冲切系数按《桩规》公式（5.9.8-2）、（5.9.8-3） $\beta_i=0.56/(\lambda_i+0.2)$ 。

5.9.7 轴心竖向力作用下桩基承台受柱（墙）的冲切，可按下列规定计算： 《桩规》

1 冲切破坏锥体应采用自柱（墙）边或承台变阶处至相应桩顶边缘连线所构成的锥体，锥体斜面与承台底面之夹角不应小于 45°（见图 5.9.7）。

2 受柱（墙）冲切承载力可按下列公式计算：

$$F_l \leq \beta_{hp} \beta_0 u_m f_t h_0 \quad (5.9.7-1)$$

承台菜单中的角桩冲切直接按《桩规》5.9.8 条，四桩以上承台角桩对承台的冲切公式：

$$N_l \leq [\beta_{1x} \cdot (c_2+a_{1y}/2)+\beta_{1y} \cdot (c_1+a_{1x}/2)] \cdot \beta_{hp} \cdot f_t \cdot h_0 \quad (2-1)$$

其中临界截面长度 $u_{my}=c_2+a_{1y}/2$ ， $u_{mx}=c_1+a_{1x}/2$ ，将其带入公式（2-1）：

$$N_l \leq [\beta_{1x} \cdot u_{my}+\beta_{1y} \cdot u_{mx}] \cdot \beta_{hp} \cdot f_t \cdot h_0 = \sum(\beta_i \cdot u_{mi}) \cdot \beta_{hp} \cdot f_t \cdot h_0 \quad (2-2)$$

所以，两个公式本质是一样的，只是书写形式不同，其中 $\sum(\beta_i \cdot u_{mi})=[\beta_{1x} \cdot (c_2+a_{1y}/2)+\beta_{1y} \cdot (c_1+a_{1x}/2)]$ 。

5.9.8 对位于柱（墙）冲切破坏锥体以外的基桩，可按下列规定计算承台受基桩冲切的承载力： 《桩规》

1 四桩以上（含四桩）承台受角桩冲切的承载力可按下列公式计算（见图 5.9.8-1）：

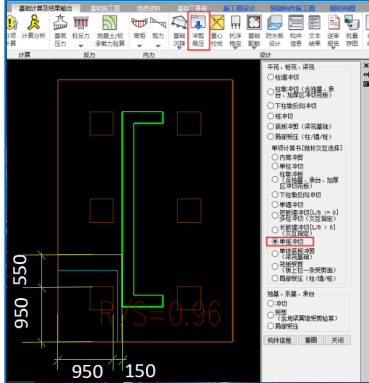
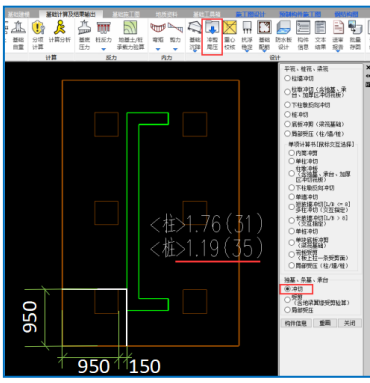
$$N_l \leq [\beta_{1x}(c_2 + a_{1y}/2) + \beta_{1y}(c_1 + a_{1x}/2)]\beta_{hp}f_t h_0 \quad (5.9.8-1)$$

$$\beta_{1x} = \frac{0.56}{\lambda_{1x} + 0.2} \quad (5.9.8-2)$$

$$\beta_{1y} = \frac{0.56}{\lambda_{1y} + 0.2} \quad (5.9.8-3)$$

2. 计算参数对比

我们将两个菜单下参数对比如下表，标记颜色的数字是两个菜单下有差异的参数，可以看到由于冲切锥桩边到墙边的距离 a_{1y} 不同，导致后面和 a_{1y} 相关的各参数：冲切锥底面、冲切临界截面、剪跨比、冲切系数不同，进而求得的冲切抗力、冲切力不同。

		筏板菜单	承台菜单
冲切锥形状			
桩边到墙边	a_{1x}	150	150
距离	a_{1y}	550	0
冲切锥底面 边长	c_1+a_{1x}	950+150=1100	950+150=1100
	c_2+a_{1y}	950+550=1500	950+0=950
冲切锥临界 截面边长	$c_1+a_{1x}/2$	950+150/2=1025	950+150/2=1025
	$c_2+a_{1y}/2$	950+550/2=1225	950+0=950
冲跨比	$\lambda_x=a_{1x}/h_0$	150/550=0.273	150/550=0.273
	$\lambda_y=a_{1y}/h_0$	550/550=1	0/550=0<0.25, 取 0.25
冲切系数	$\beta_{1x} = \frac{0.56}{\lambda_{1x}+0.2}$	0.56/(0.273+0.2)=1.184	0.56/(0.273+0.2)=1.184
	$\beta_{1y} = \frac{0.56}{\lambda_{1y}+0.2}$	0.56/(1+0.2)=0.467	0.56/(0.25+0.2)=1.244

3. 两个菜单差异分析

两个菜单下计算公式一致，只是冲切锥底面尺寸有差别，桩边到墙边的距离 a_{1y} 不同。筏板菜单中 y 方向，由于没有竖向构件，故 y 向冲切锥沿 45° ， $a_{1y}=h_0=550$ 。承台菜单中，直接套用《桩规》公式（5.9.8-1），按《桩规》图 5.9.8-1， y 方向桩边到墙边 a_{1y} 在竖向构件内部，是负值，所以取 $a_{1y}=0$ 。正是由于 a_{1y} 数值的不同，导致两个菜单下冲切力、冲切抗力有差异，最终抗力效应比 R/S 不同。

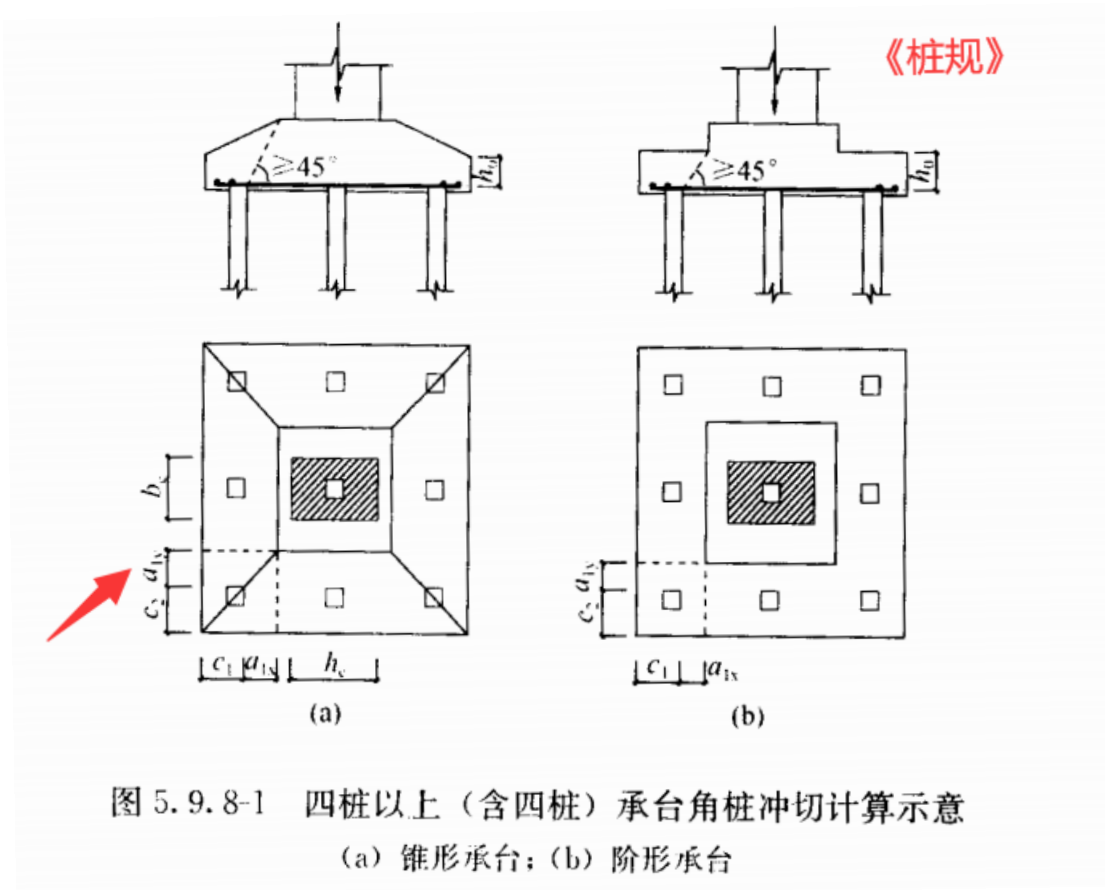


图 5.9.8-1 四桩以上（含四桩）承台角桩冲切计算示意

(a) 锥形承台；(b) 阶形承台

承台菜单中，软件严格按规范公式及图形，取 $a_{1y}=0$ ，没有灵活的根据实际情况进行判断，其更适合完全符合规范的条件——规则承台、桩的布置按常规分散在竖向构件周边。

承台菜单没有考虑本算例中的这种特殊情况，这时候用筏板菜单，将承台看成是一个小筏板，验算角桩对筏板的冲切更合理。工程师也可以根据自己的工程经验进行判断，选取合适的菜单的冲切结果。

后续软件也会完善，在承台菜单中增加一些特殊情况，特别是与规范不同的情况的判别，按更合理的方式计算。

目前，承台菜单更适合规则、与规范前提条件完全一致的承台。对于特殊情况的承台，用筏板菜单中的通用规范计算更加合理。

四、结论

1. 筏板菜单中角桩冲切采用通用冲切计算公式《桩规》5.9.7，承台菜单中采用《桩规》5.9.8 四桩及以上承台角桩冲切公式。两个公式本质一样，只是书写形式不同。

2. 由于两个菜单下 a_{1y} 取值不同，导致冲切力、冲切抗力不同，冲切抗力与效应比值 R/S 不同。

3. 承台菜单更适合规则、与规范前提条件完全一致的承台。对于特殊情况的承台，用筏板菜单中的通用规范计算更加合理。

4. 后续软件会完善，在承台菜单中增加特殊情况的判别，让承台菜单下结果更加合理。