

2、宽度 b' :应满足压力扩散的要求, 即:

$$b' \geq b + 2z \tan \theta, l' \geq l + 2z \tan \theta \quad - \quad \text{垫层压力扩散角,} \\ \frac{z}{b} = 0.25 : 20^\circ, \frac{z}{b} \geq 0.50 : 30^\circ。$$

b' 确定后, 再按当地经验挖土边坡延伸至地面, 所以垫层顶面宽度要比底面宽度为大。

3、沉降量验算: 对于重要的建筑物, 还应验算垫层及垫层下软土层的压缩量, 压缩量的计算一般采用分层总和法。

(三)、砂垫层的施工

1、就地取材: 一般以级配良好、质地较硬的中砂、粗砂或砾砂为好, 含泥量不得大于 3%, 在砂垫层中也可掺入一定数量的碎石或卵石, 含石量 $\leq 50\%$, 其最大粒径不宜大于 50mm, 且应与砂拌和均匀。

2、垫层应分层夯实, 每层厚度约 20~30cm 左右, 压实过程中应酌量洒水, 以利达到最大的密实状态。压实方法有: 平振法、夯实法、碾压法、水撼法及插振法。

插振法: 用插入式振捣器, 同时使砂砾垫层达到饱水状态。

二、砂桩挤密法

适用于松散砂土, 素填土和杂填土地基, 置换饱和粘性土地基。砂桩不仅可挤密地基土, 还能与挤密后的土共同形成复合地基, 整体承载力高, 同时, 砂桩是良好的排水通道, 可以加速软弱土层的固结。桩径 d : 300~600, 桩距一般为 $\leq (3\sim 5)d$, 材料为级配良好的中砂、粗砂或砾砂, 含泥量不得大于 5%, 最大颗粒粒径 $\leq 50\text{mm}$ 。

下面主要讨论针对粘性土地基的加固处理。

(一)、加固机理

1、砂石桩置换: 在粘性土中形成大直径密实砂石桩桩体, 与粘性土形成复合地基, 提高了地基承载力和整体稳定性。

2、上部荷载产生对砂石桩的应力集中, 减少了粘性土的应力, 从而减少了地基的固结沉降量。经统计, 对粘性土地基的加固处理后, 可减少沉降量 20%~30%。

3、砂石桩是良好的排水通道, 可以加速软弱土层的排水固结。

(二)、用砂石桩处理地基的实例

1、工程地质概况

都江堰市平义村四社村民搬迁房二号地一号楼位于都江堰市观景路南侧, 建筑面积 2160m², 六层砖混结构, 条形基础, 局部为独立柱基, 基础埋深 2.4 米。根据设计单位计算基础底面尺寸时对承载力的取值, 要求加固处理后复合地基承载力 $f_{spk} \geq 200\text{KPa}$ 。

地质剖面自上而下由耕土、杂填土、素填土、粉质粘土、粉土、中砂及卵石层构成。各土层地基承载力标准值 f_k 如下:

素填土: $f_k = 90 \text{ KPa}$

粉质粘土: $f_k=110$ KPa

粉土: $f_k=100$ KPa

中砂: $f_k=120$ KPa

稍密卵石: $f_k=240$ KPa

中密卵石: $f_k=400$ KPa

该场地卵石层上覆土层承载力低, 变形大, 不宜作天然地基, 卵石层承载力较高, 变形较小, 是良好的天然地基, 但卵石层顶板埋深 4.3~6.3 米, 结合拟建物特点, 选该层为天然地基持力层不经济, 经分析比较确定, 采用振冲碎石桩复合地基, 桩端处理至稍密卵石层下 0.5 米处。

2、砂石桩设计

(1)、要求: 复合地基承载力标准值 $f_{spk} \geq 200$ KPa, 处理深度: 基底下, 卵石层顶板下 0.5m 以上地基土层。

(2)、砂石桩参数: 以基础外边线为基准, 采用正方形布桩, 间距 900×900 , 桩径 $\phi 620$, 面积置换率 $m=0.38$ 。

(3)、处理范围: 要求开挖 1.5m 深后进行地基加固, 进入卵石层 0.5m。平面处理范围为沿基础外边线进行处理, 设保护桩两排, 布桩根数 809, 处理面积 726.44m^2 , 平均桩长 5.0m。

(4)、砂石桩材料: 主要为砂卵石, 粒径 2~8cm, 砂采用中砂, 砂石比例为 20%, 80%。

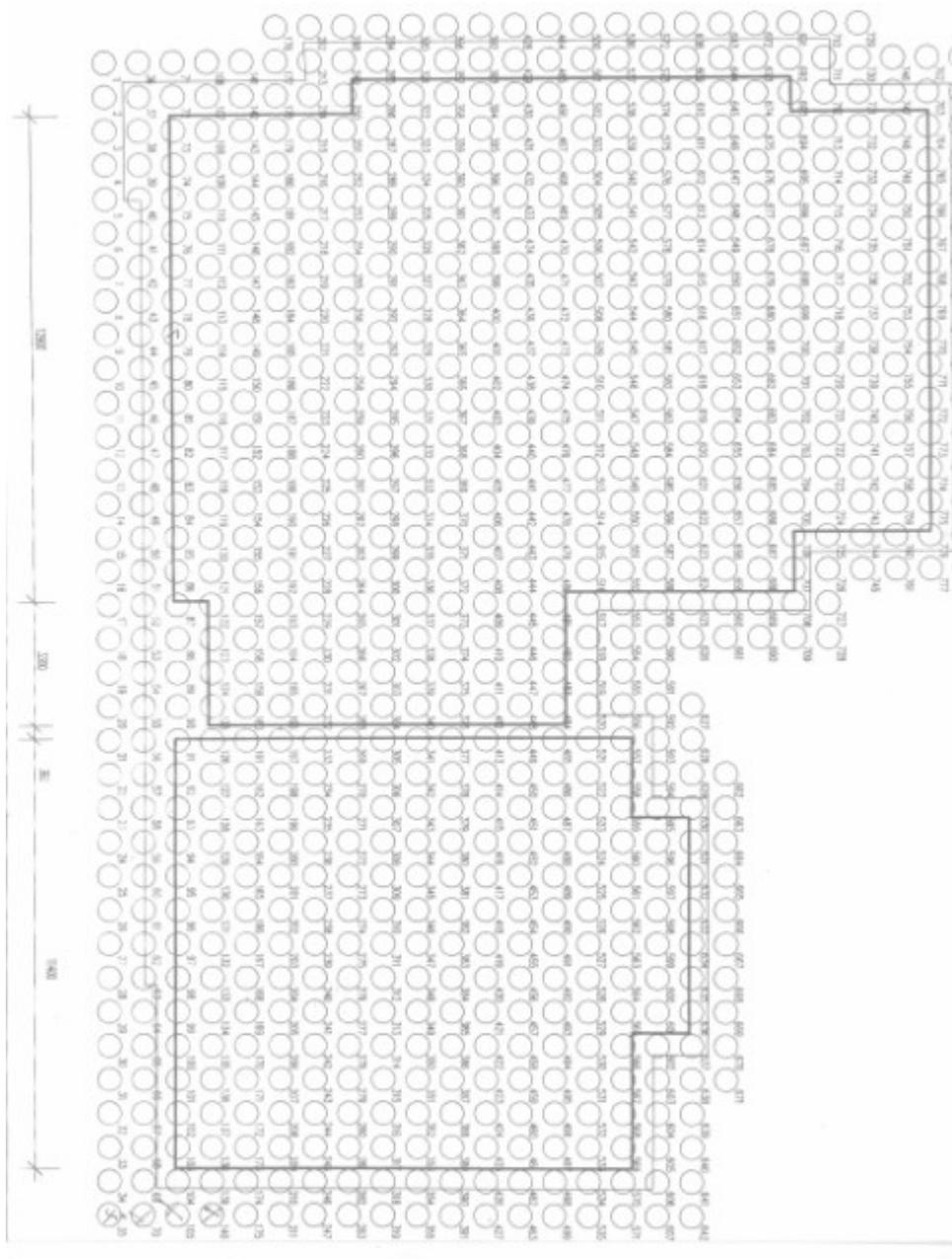
(5)、铺设褥垫层: 在砂石桩施工完成后, 在基底满铺设 0.3m 厚的级配砂卵石褥垫层, 砂量为 30%, 卵石料粒径 $\leq 4\text{cm}$, 范围为基础垫层外 10cm。

(6)、处理效果:

按公式 $f_{spk} = m f_{pk} + (1-m) f_{sk}$ 计算复合地基承载力标准值 $f_{spk} \geq 200$ KPa。

3、砂石桩平面布置图, 如图 1:

图1 砂桩平面布置图



4、施工方法及质量控制

(1)、施工方法：采用 CZ-15 型挤密碎石桩机，其取土管外径 $\phi 325$ ，成孔直径 420，锤重 8KN。冲击落距 $\geq 1.5\text{m}$ ，桩体直径 ≥ 620 。

(2)、质量控制

①、成桩工序：冲击取土成孔，空击，投料，击实成桩四个步骤。

②、投石量以每延米计，投料量为 $0.30\text{m}^3/\text{m}$ ，不得小于计算投石量的 95%，控制量为 4 斗车。

③、每延米捣实成桩冲击数由锤重、落距采用标准能量 $3500\text{KNm}/\text{m}^3$ 控制，即每斗车冲击数控制在 8~10 击。

④、记录与施工同步进行，记录内容包括成孔深度，投石量及成桩过程中的异常情况。

⑤、施工中应保证桩位准确，其偏差应不大于成孔直径，桩应保持连续和垂直，垂直度偏差不应大于 1.5%。

⑥、施工顺序采用一边推向另一边方式。

⑦、施工结束后，用载荷试验及动力触探法检测桩体，采用工程地质勘察方法测定桩间土承载力标准值等全面质检工作。

5、地基承载力检测结果及分析

(1)、动力触探结果及分析，见表 1、表 2。

$N_{63.5}$ 桩体动力触探试验汇总表 表 1

序号	桩号	测 试 深度 (米)	范围值 ($N_{63.5}$)	统计值 ($N_{63.5}$)	承载力标准值 f_{pk} (KPa)	备注
1	72	5.5	6~41	10.8	430	
2	94	5.0	5~54	10.6	425	
3	103	5.9	6~62	9.7	385	
4	219	5.3	7~24	10.4	415	
5	754	5.6	4~28	11.6	465	
6	265	5.0	2~30	9.1	365	
7	353	5.4	6~41	10.9	435	
8	569	5.7	7~32	11.8	470	
9	312	5.8	6~72	11.1	445	
10	600	5.7	6~32	10.9	435	
11	511	5.8	6~35	10.0	400	

12	759	5.7	5~41	9.2	370	
----	-----	-----	------	-----	-----	--

N_{63.5}土体动力触探试验汇总表 表2

序号	桩号	测试深度 (米)	范围值 (N _{63.5})	统计值 (N _{63.5})	承载力标准值 f _{sk} (KPa)	备注
1	712#土	5.0	1~10	2.3	105	
2	270#土	4.9	1~20	3.1	140	
3	460#土	5.9	1~14	3.3	150	
4	523#土	5.9	1~19	2.8	125	
5	553#土	5.7	1~16	2.7	120	

(2)、静载荷试验结果及分析，见表3、表4，各点压力Q与沉降量S的关系见图2。

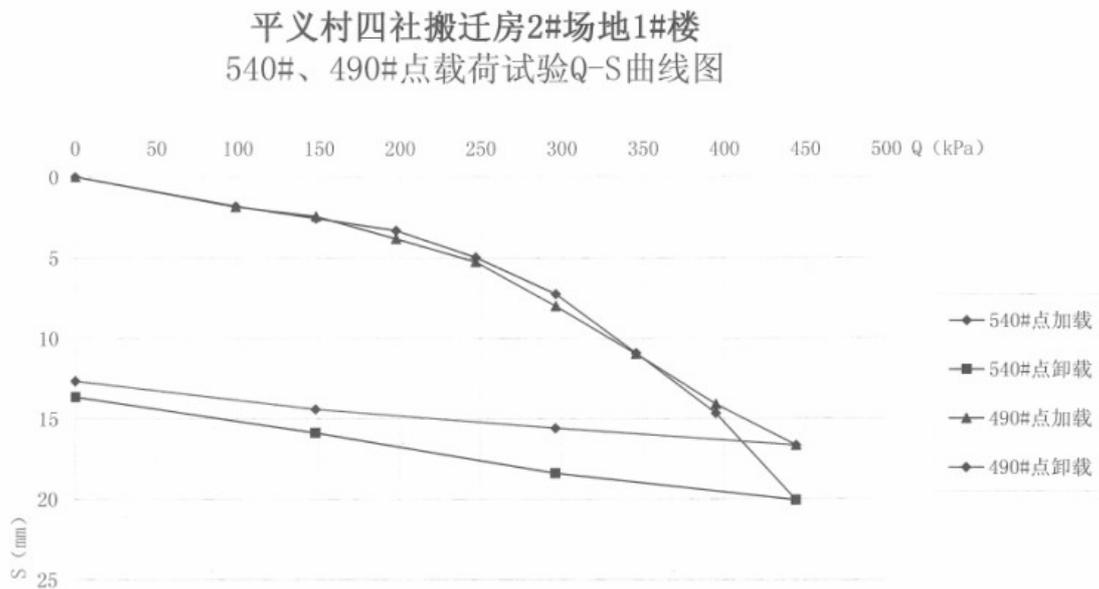
540#点各级荷载下对应的沉降量 表3

荷载 (KPa)	历时 (min)	本级沉降 (mm)	累计沉降 (mm)
0	0	0	0
98.77	90	1.825	1.825
148.15	120	0.743	2.568
197.53	120	0.760	3.328
246.91	150	1.657	4.985
296.30	150	2.270	7.255
345.68	150	3.673	10.928
395.06	180	3.742	14.670
444.44	210	5.394	20.064
296.30	60	-1.667	18.397
148.15	60	-2.505	15.892
0	180	-2.210	13.682

490#点各级荷载下对应的沉降量 表 4

荷载 (KPa)	历时 (min)	本级沉降 (mm)	累计沉降 (mm)
0	0	0	0
98.77	90	1.855	1.855
148.15	120	0.592	2.447
197.53	120	1.388	3.835
246.91	120	1.426	5.261
296.30	210	2.755	8.016
345.68	240	2.964	10.980
395.06	210	3.130	14.110
444.44	210	2.553	16.663
296.30	60	-1.060	15.603
148.15	60	-1.171	14.432
0	180	-1.749	12.683

图 2 平义村四社 2#地 1#楼 540#、490#点荷载试验 Q—S 曲线图



对上述结果分析可知：540#、490#荷载点的 Q—S 曲线均无明显拐点，根据相关规范，结合本场地地基土上部地质情况，取沉降量 $S=9\text{mm}$ 对应的荷载为复合地基承载力基本值：分别为 319 KPa、312 KPa。由于只有 2 个静载试验点，取其最小值为复合地基承载力标准值，即 312 KPa。

按公式 $f_{spk} = m f_{pk} + (1-m) f_{sk}$ 计算复合地基承载力标准值 $f_{spk} = 0.38 \times 420 + (1-0.38) \times 108 = 226.56 \text{KPa} \geq 200 \text{KPa}$ 。

6、结论

本工程复合地基通过动力触探及静载试验进行检测，经统计分析、计算，认为：

- (1)、根据动探资料显示：该场地复合地基加固效果一般。
- (2)、根据静载试验结果，确定该场地地基竖向承载力标准值 312 KPa，满足设计要求。
- (3)、复合地基竖向承载力以静载试验为准，动力触探为参考。
- (4)、该房屋经 5.12 地震后检测，完好无损，结论为可使用；相邻的未经地基处理的房屋严重破坏，有的已经拆除，见图 3、图 4、图 5、图 6。



图3 平义村四社2#地1#房5.12地震后完好无损，可使用



图 4 四川农业大学都江堰校区 23#楼地基沉降使墙体破坏



图 5 四川农业大学都江堰校区 23#楼地基沉降，可见图中已是人去楼空



图 6 5.12 地震后，平义村四社 2#地 1#房对面的玉华酒店严重破坏已拆除