

# 北京某住宅楼复合地基处理实践

赵杰伟<sup>1</sup> 王志智<sup>1</sup> 尚润祥<sup>2</sup>

(1. 中兵勘察设计研究院, 北京 100053; 2. 山西太行建筑安装有限公司, 山西阳泉 045000)

**【摘要】** 通过夯扩挤密桩对新近回填的杂填土和素填土进行加固处理, 消除了地层的湿陷性和其下的液化层; 并利用夯扩桩与CFG桩共同作用形成复合地基提高了地基承载力, 达到了设计目的。

**【关键词】** 砂土液化; 标准贯入临界值; 夯扩挤密桩

**【中图分类号】** TU 472

## Application Research on Composite Foundation in Beijing

Zhao Jiewei<sup>1</sup> Wang Zhizhi<sup>1</sup> Shang Runxiang<sup>2</sup>

(1. China Ordinance Industry Institute of Geotechnical Survey & Design, Beijing 100053;

2. Shanxi Taihang Construction Installation Co., Ltd., Yangquan Shanxi 045000 China)

**【Abstract】** The collapsibility is controlled when the new refilled soil is reforced by tamped and enlarged pile. At the same time, the upper sand liquefaction is controlled too. The foundation bearing capacity is improved by the interaction of CFG pile and tamped and enlarged pile.

**【Key Words】** sand liquefaction; critical N-value; tamped and enlarged pile

### 1 工程概况

拟建建筑物为地上10~12层、地下1层, ±0.00标高为27.755 m, 基础底板底标高均为-6.46 m; 基础形式为筏板基础。根据设计要求, 地基持力层经地基处理后, 地基承载力标准值应大于260 kPa, 沉降与倾斜满足地区规范要求, 并且消除基础下液化。

根据勘察报告与现场开挖实际情况了解到, 该建筑物位于原挖砂坑池塘位置, 地基持力层位于当年回填的杂填土和素填土形成的淤泥质的池塘上; 且其下卧层有严重液化的新近沉积的粉细砂和砂质粉土层。根据场地的地层条件、结合我方的设计与施工经验, 拟采用夯扩挤密桩对新近回填的杂填土和素填土进行加固处理, 消除新近回填土的湿陷性, 通过挤密作用对基础下的新近沉积的粉细砂和砂质粉土进行液化消除; 并利用夯扩桩与CFG桩共同作用形成复合地基以提高地基承载力。

### 2 岩土工程条件

#### 2.1 地层情况

①粘质粉土—砂质粉土填土: 灰黄色, 饱和, 含少量砖块、灰渣等杂物, 结构松散, 厚度0.70~8.30 m;

①<sub>1</sub>杂填土: 杂色, 主要成分为碎砖、生活垃圾等, 厚度0.50~6.90 m;

②新近沉积粉细砂: 灰色, 饱和, 松散, 夹砂质粉土②<sub>1</sub>透镜体, 厚度0.60~7.20 m;

③新近沉积中砂: 灰色, 饱和, 中密, 夹圆砾③<sub>1</sub>透镜体, 厚度0~2.70 m;

④新近沉积粉质粘土: 灰黄—褐黄色, 可塑, 夹粘质粉土④<sub>1</sub>和砂质粉土④<sub>2</sub>透镜体, 厚度1.10~3.00 m;

⑤细中砂: 褐黄色, 饱和, 中密—密实, 厚度2.30~6.30 m;

⑥粉质粘土—粘质粉土: 褐黄色, 湿—饱和, 中密, 厚度4.80~9.00 m。

#### 2.2 地下水

存在3层地下水。第1层为潜水, 赋存于中砂③层中, 水位埋深为2.80~5.10 m; 第2层为微承压水, 赋存于细中砂⑤层中, 承压水头埋深为8.00~10.70 m; 第3层为微承压水, 赋存于细砂⑨层中, 承压水头埋深为23.70 m。

#### 2.3 建筑抗震设计条件

按近3~5年最高地下水位液化计算, 根据现场标贯试验结果, 饱和粘质粉土—砂质粉土填土①层、新近沉积粉细砂②层、砂质粉土②<sub>1</sub>透镜体为严重液化层。

### 3 方案选择

因地基持力层大部分为当年回填的杂填土和素填土,呈淤泥质状态,而且其下卧层存在严重的液化砂土层,不能满足结构设计要求。根据该场地的地层条件、结合设计要求,经有关技术人员研究,拟采用夯扩挤密碎石桩对新近回填的杂填土和素填土进行挤密加固处理,以消除其湿陷性,通过挤密作用对基础下的新近沉积的粉细砂和砂质粉土进行液化消除;并利用夯扩桩与 CFG 桩共同作用形成复合地基以提高地基承载力。

### 4 设计原则

1) 满足设计要求的复合地基承载力标准值,消除持力层湿陷性以及砂土液化;

2) 满足规范及设计单位对建筑物地基沉降及倾斜的要求;

3) 满足桩土变形协调一致的原则。

### 5 地基处理设计

夯扩挤密碎石桩与 CFG 桩于槽底标高约为 -6.11 m 进行施工。夯扩挤密桩桩顶标高为 -6.61 m, 桩径  $\phi 500$ , 孔深 4.20 m, 桩间距 1.50 m  $\times$  1.50 m, 边线每侧向外扩不少于 2.0 m, 呈正方形排布; 桩端应穿过杂填土进入下部老土不小于 0.50 m; 桩身材料采用碎石进行夯扩。CFG 桩桩径为  $\phi 420$ , 地基持力层为夯扩挤密后的素填土—杂填土①层、新近沉积粉细砂②层; 桩顶标高 -6.11 m。桩长为 13.50 m, 预留 0.50 m 保护桩头, 桩端位于粉质粘土—粘质粉土⑥层; 桩间距为 1.5 m  $\times$  1.5 m。呈正方形排布, 个别桩间距局部调整; 桩身强度为 C15。为便于进行 CFG 桩施工, 夯扩挤密碎石桩桩位与 CFG 桩桩位按照 1:1 比例错开排布。

施工完毕后, 清桩头至标高 -6.61 m, 并虚铺 17 cm 压密至 15 cm 厚的碎石垫层至标高 -6.46 m 处。

### 6 设计计算

#### 6.1 液化处理设计

##### 1) 置换率的确定

根据常规设计, 对于采用打入式或挤密作用处理大面积(不少于 5 行  $\times$  5 列)液化土层时, 可按照以下公式进行液化处理计算<sup>[1]</sup>:

$$N_1 = N_p + 100m(1 - e^{-0.3N_p}) \quad (1)$$

式中:  $N_1$  为打桩后标准贯入锤击值, 为消除砂土液化, 可取该值为标准贯入临界值  $N_c$ ;  $N_p$  为打桩前标准贯入锤击值;  $m$  为桩的置换率, 如按照最不利位置进行计算, 该深度位置砂土标准贯入临界值为 14 击, 勘察时即打桩前标准贯入锤击值约 7.70 击, 则须夯扩挤密桩的置换率为  $m=0.07$ 。

##### 2) 桩位布置

选用夯扩挤密碎石桩进行液化消除, 桩径  $\phi 500$ , 地基持力层为房渣土, 桩尖以穿过液化层不小于 0.50 m, 有效桩长不小于为 4.20 m。

正方形布置:  $S = 0.886d / \sqrt{m}$  (2)

式中:  $S$  为桩间距。

经计算, 桩之间间距为 1.67 m  $\times$  1.67 m。为安全起见, 考虑到挤密效果, 间距适当加密取 1.50 m  $\times$  1.50 m。

#### 6.2 CFG 桩设计计算

##### 1) 单桩承载力标准值的确定

由于夯扩挤密桩施工时选用桩径  $\phi 500$ , 地基持力层为房渣土, 有效桩长不小于为 4.20 m, 桩尖位于粉细砂④层; 而 CFG 桩选用桩径  $\phi 420$ , 有效桩长为 13.0 m (施工时应预留 50 cm 保护桩头, 实际桩长 13.5 m), 则 CFG 单桩承载力为:

$$R_{k1} = \left[ U_p \sum_{i=1}^n q_{sik} \cdot h_i + A_p \cdot q_{pk} \right] / K \quad (3)$$

式中:  $R_{k1}$  为单桩承载力标准值, 为安全起见, 取  $R_k=410$  kN;  $U_p$  为桩的截面周长, m;  $q_{sik}$  为第  $i$  层桩周土的极限侧阻力, kPa;  $h_i$  为第  $i$  层土的厚度, m;  $q_{pk}$  为桩的极限端阻力标准值, kPa;  $A_p$  为桩的截面积,  $m^2$ ;  $K$  为桩的安全系数; 一般取  $K=2.0$ 。

##### 2) 复合地基承载力的确定<sup>[2-3]</sup>

由公式:

$$f_{ka} = m_1 \frac{R_{k1}}{A_p} + m_2 f_{p2} + \beta(1 - m_1 - m_2) f_s \quad (4)$$

$$m = m_1 + m_2$$

式中:  $f_{sp}$  为复合地基承载力标准值, 取 260 kPa;  $f_s$  为夯扩挤密后桩间土承载力标准值, 根据经验取 60 kPa;  $f_{p2}$  为夯扩挤密桩桩身单桩应力标准值, 取 360 kPa;  $m$  为桩的置换率, 为便于布桩, 将夯扩挤密桩与 CFG 桩交叉布置, 按照 1:1 比例布置, 即 CFG 桩布置呈正方形布设, 间距为 1.50 m  $\times$  1.50 m。则有:  $m_1=0.0616$ ;  $m_2=0.0873$ ;  $\beta$  为桩与桩间土发挥系数, 一般取  $\beta=0.90$ 。

##### 3) CFG 桩身强度的确定

桩体强度应由桩顶应力确定, 桩体强度  $R_{28}$  应大于 3.0 倍的桩顶应力;

$$\sigma_p = \frac{R_k}{A_p}$$

即

$$R_{28} \geq 3$$

式中:  $\sigma_p$  为桩顶应力, kPa;  $R_{28}$  为桩体设计强度,

C15。

#### 4) 桩间距的确定

$$S = 0.886d / \sqrt{m}$$

式中:  $S$  为桩间距,  $m$ 。经计算桩间距为  $1.50\text{ m} \times 1.50\text{ m}$ 。

### 6.3 沉降计算

根据已有相关资料<sup>[4-6]</sup>及勘察报告中的地质资料,当采用该复合地基方案时,根据地基沉降计算公式,最大沉降量  $s < 30\text{ mm}$ ,沉降量与倾斜均满足地区规范要求。

## 7 地基处理施工

为保证工程质量,消除液化施工与复合地基施工效果应满足设计及规范的要求。夯扩桩与 CFG 桩应严格控制桩顶标高、桩尖进入持力层标高、混合料强度等。桩的施工偏差应满足规范要求。

### 7.1 夯扩挤密桩施工工艺

放桩位线→冲击成孔→投放碎石夯扩成桩→铺设垫层。

根据场地地质条件、周边环境条件,利用 W-101 型夯扩桩机重锤冲击成孔,孔径为  $\phi 400$ 。成孔至设计深度时,边填天然级配砂石边夯扩,使碎石料通过

夯扩施工达到设计深度。填碎石时,孔底填料量不少于  $0.3\text{ m}^3$ ,确保桩端土夯扩挤密,保证桩径不小于  $\phi 500$ ;以后每次填料量  $0.3\text{ m}^3$  级配碎石,使用重锤进行夯扩直至桩顶设计标高。

### 7.2 CFG 桩施工工艺

测放桩位线→钻进成孔→泵送混凝土→提钻成桩→凿桩头→铺设垫层。

根据场地地质条件、周边环境条件,利用 ZKL800 型长螺旋钻机机械成孔,孔径为  $420\text{ mm}$ 。在泵送混凝土过程中应始终将钻头埋入混合料液面以下,连续灌注直至桩顶设计标高。

## 8 地基加固效果检验

### 8.1 载荷试验

在地基处理范围内共抽选 4 根 CFG 桩进行单桩复合静载试验,结果表明,桩最大沉降量为  $8.20\text{ mm}$ (见表 1),且  $s-Q$  曲线均呈直线型,地基的承载力均满足设计要求。

### 8.2 动测桩测试

为检测桩身质量,在基槽内任选 10% 的 CFG 桩进行动测,结果表明,桩身质量完整。

表 1 单桩复合静载试验结果

荷载/kPa	试验位置各级沉降量/mm			
	1	2	3	4
108	0.36	0.39	0.51	0.27
162	0.66	0.72	0.85	0.54
216	1.15	1.21	1.24	1.03
270	1.73	1.80	1.83	1.64
324	2.50	2.56	2.68	2.50
378	3.45	3.51	3.76	3.42
432	4.52	4.61	5.07	4.49
486	5.78	5.99	6.51	5.59
540	7.15	7.61	8.20	6.88

### 8.3 液化判别

经现场标贯试验,结果表明标贯入锤击数均大

于液化判别标准贯入锤击数临界值,地基土的液化得到了消除(见表 2)。

表 2 液化判别一览表

孔号	深度/m	饱和土名称	标准贯入锤击数 $N_{63.5}$	临界值 $N_{cr}$	判别
1	5.50	细砂	13	12.00	不 液
	6.00	细砂	23	12.50	
	6.50	中砂	37	13.00	
	7.00	中砂	54	13.50	
2	5.50	细砂	13	12.00	液 化
	6.00	中砂	22	12.50	
	6.50	中砂	26	13.00	
	7.00	中砂	29	13.50	

续表

孔号	深度/m	饱和土名称	标准贯入锤击数 $N_{63.5}$	临界值 $N_{cr}$	判 别
3	5.50	细砂	30	12.00	不 液 化
	6.00	细砂	29	12.50	
	6.50	中砂	37	13.00	
	7.00	中砂	42	13.50	
4	5.50	细砂	22	12.00	
	6.00	中砂	32	12.50	
	6.50	中砂	36	13.00	
	7.00	中砂	34	13.50	
5	5.50	细砂	15	12.00	
	6.00	细砂	16	12.50	
	6.50	细砂	17	13.00	
	7.00	细砂	17	13.50	
	7.50	中砂	30	14.00	

#### 8.4 沉降观测

该建筑物经近一年半的施工、在主体结构完全

封顶半年后,经过 11 次的沉降观测(见图 1),沉降位移见表 3。

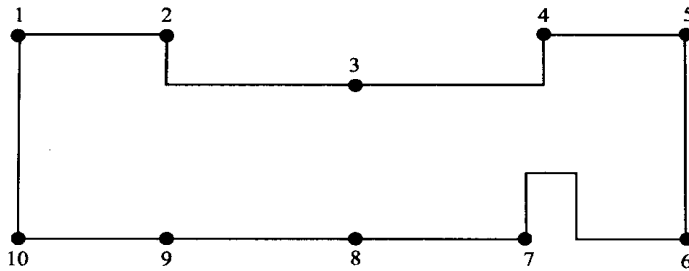


图 1 沉降观测点平面布置

表 3 沉降位移观测结果

观测位置	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
沉降量/mm	4.23	4.60	5.55	6.61	7.22	7.29	7.36	7.41	7.43	7.44

沉降观测结果表明,地基处理后,其沉降位移均满足设计要求。

## 9 结 论

采用夯扩挤密碎石桩对新近回填的杂填土和素填土进行挤密加固处理,不仅能够消除其湿陷性,而且通过挤密完全可以消除下部液化,并通过夯扩挤密碎石桩与中心压灌 CFG 桩联合复合地基处理可提高地基承载力,保证了建筑物的沉降量控制在规范允许范围之内。

### 参 考 文 献

[1] GB 50011—2001 建筑抗震设计规范[S].

[2] 赵杰伟,等. 某住宅楼长短 CFG 桩复合地基理论与实践[C].第六届全国岩土工程实录交流会实录集. 北京:兵器工业出版社,2004:345-349.

[3] 马 骥,等. 长短桩复合地基设计计算[J]. 岩土工程技术,2001(2):86-91.

[4] 化建新,等. 复合地基技术及应用[J]. 岩土工程技术,2001(2):73-79.

[5] 秦 峰,等. 刚性桩复合地基应用中的几个问题探讨[J]. 岩土工程技术,1998(2):20-23.

[6] 乔来军,等. CFG 桩复合地基讨论[J]. 岩土工程技术,1994(4):18-21.