

CFG 桩复合地基在中央电视台摄影棚的应用

曹凤学, 王之军, 何世鸣

(北京建材地质工程公司, 北京 100102)

摘 要 中央电视台 1、2、3 号摄影棚地层有一定湿陷性, 采用 CFG 桩复合地基进行处理, 详细介绍了 CFG 桩复合地基方案的设计步骤, 并简要叙述了施工情况及检测结果, 实践证明, 该 CFG 桩复合地基方案是合理的。

关键词 CFG 桩; 复合地基; 中央电视台摄影棚; 湿陷性黄土; 地基承载力; 最终沉降量; 倾斜值; 夯实水泥渣土桩

中图分类号 : TU472.3⁺5 **文献标识码** : B **文章编号** : 1000-3746(2002)SI-0115-05

1 工程概况

拟建中央电视台 1、2、3 号摄影棚位于河北省涿州市码头镇影视城内, 占地面积约 8600 m², 基础埋深 -2.50 m, 为条形基础。地面标高约 28.00 ~ 28.50 m。投资方为中国电视剧制作中心, 设计单位为中国建筑技术开发总公司。按设计要求, 处理后地基承载力标准值达 300 kPa, 最终沉降量 $\nlessgtr$ 5 cm, 倾斜值 $\nlessgtr$ 1.5‰。

2 地层及地下水情况

根据冶金工业部勘察研究总院提交的《中央电视台涿州基地二区摄影棚施工图设计阶段岩土工程勘察报告》(库号 6G1903), 场地地层情况如下:

①层植物层: 主要由粘性土组成, 松散, 层厚 0.5 m, 层底标高 27.94 ~ 28.26 m;

②层粉土: 褐黄色, 含氧化铁和云母, 稍湿 ~ 湿, 稍密, 层厚 2.00 ~ 2.60 m, 层底标高 25.53 ~ 25.76 m, 地基承载力标准值 110 kPa;

③层粉质粘土: 黄褐色, 含氧化铁, 夹粉土薄层和粘土薄层, 稍湿 ~ 湿, 软塑 ~ 可塑, 层厚 1.90 ~ 2.30 m, 层底标高 23.38 ~ 23.64 m;

④层粘土: 灰色, 含有机质和螺壳, 很湿, 可塑, 层厚 3.40 ~ 4.30 m, 层底标高 19.29 ~ 20.03 m, 地基承载力标准值 100 kPa;

⑤层粘土: 黄褐色, 含氧化铁, 很湿, 软塑 ~ 可塑, 层厚 2.30 ~ 2.60 m, 层底标高 20.92 ~ 21.11 m;

⑥层粉质粘土: 黄褐色, 含氧化铁, 夹粉砂薄层, 湿, 软塑 ~ 可塑, 层厚 1.10 ~ 3.00 m, 层底标高

18.00 ~ 18.24 m;

⑦层粉砂: 黄褐色, 石英 ~ 长石质, 含云母, 夹细砂薄层, 饱和, 稍密, 层厚 3.00 ~ 3.20 m, 层底标高 15.00 ~ 15.09 m;

⑧层中砂: 黄褐色, 石英 ~ 长石质, 含云母, 饱和, 稍密, 层厚 4.40 ~ 4.50 m, 层底标高 10.50 ~ 10.59 m;

⑨层粉质粘土: 灰色, 含有机质和螺壳, 湿 ~ 很湿, 软塑 ~ 可塑, 层厚 3.00 ~ 3.20 m, 层底标高 7.38 ~ 7.54 m;

⑩层粉质粘土: 黄褐色, 含氧化铁和姜结石, 湿 ~ 很湿, 可塑, 未钻穿此层。

地下水埋深约 6 m, 潜水, 对钢筋混凝土无腐蚀性。

按勘察报告, 场地地基属 I 级(轻微)非自重湿陷性地基。地震烈度按 VII 度设防, 场地中 2 层砂层均为不液化土层。

3 地基处理方案选择

鉴于上述地层及地下水情况, 勘察单位建议采用预制桩或沉管挤密碎石桩。预制桩由于需要重新制模、制作, 准备时间长, 工期要求紧, 不能满足开工要求, 同时也由于其成本高, 有噪声及振动, 无法选用。振动沉管挤密碎石桩经初步计算, 由于其提高承载力及控制变形均不适用于该场地, 故也无法选用。

根据场地条件及设计要求的承载力、最终沉降量及倾斜值, 选用 CFG 桩外围加夯实水泥渣土桩作保护桩复合地基方案, 该方案可以马上开工, 能满足

收稿日期: 2001-12-05

作者简介 曹凤学(1968-), 男(蒙古族), 内蒙古赤峰人, 北京建材地质工程公司第一项目部主任工程师, 工程师, 工程地质专业, 从事岩土工程设计施工管理工作, 北京市东直门外南湖渠; 王之军(1968-), 男(汉族), 河北怀安人, 北京建材地质工程公司第一项目部项目经理, 工程师, 探矿工程专业, 博士在读, 从事岩土工程设计与施工管理工作; 何世鸣(1965-), 男(汉族), 河北涉县人, 北京建材地质工程公司副总工程师, 高级工程师, 岩土工程专业, 硕士, 从事岩土工程设计与管理工作。

开工要求,既能满足地基承载力要求,又能满足沉降量及倾斜值的要求,施工质量易于保证,造价低,施工方便,施工速度快,工期短,不受地下水影响,可以实现干作业,易于实现文明施工。

局部地段(No.18 探井)浅层土(1.00~2.50 m)具Ⅰ级(轻微)非自重湿陷性,可在开槽后通过验槽确定处理范围,采用 $\varnothing 400$ mm 夯实水泥渣土桩进行加固,桩长达 10 倍桩径,即槽底下 4 m,具体布桩数待验槽后确定。

4 CFG 桩复合地基方案设计

4.1 设计依据

- (1)《中央电视台涿州基地二区摄影棚施工图设计阶段岩土工程勘察报告》;
- (2)《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7—89);
- (3)《水泥、粉煤灰、碎石桩(CFG 桩)复合地基技术规定》(Q/JY 06—1997);
- (4)《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—91);
- (5)《基桩低应变动力检测规程》(JGJ/T 93—95);
- (6)中国建筑技术开发总公司设计要求。

4.2 单桩承载力计算

$$R_K = (U_P \sum q_{si} h_i + q_p A_p) / k \quad (1)$$

式中: R_K ——单桩承载力标准值,kN; U_P ——桩周长,m; q_{si} ——第*i*层土极限侧摩阻力标准值,kPa; q_p ——桩极限端阻力标准值,kPa; h_i ——第*i*层土厚度,m; A_p ——单桩截面积,m²; k ——调整系数,取值范围为 1.5~1.75。

该地基采用 $\varnothing 400$ mm 的 CFG 桩,桩尖持力层为⑦层粉砂,桩长 11.6 m,有效桩长 11.1 m,且进入⑦层砂层不少于 1.0 m,根据勘察报告中提供的各层土物理力学指标及有关经验确定各层的极限侧阻力标准值 q_{si} 和桩的极限端阻力标准值 q_p :

$$R_K = [1.256 \times (1.8 \times 40 + 2.5 \times 45 + 3.8 \times 50 + 1.5 \times 40) + 1100 \times 0.1256] / 1.75$$
$$= 433.86 \text{ kN}$$

取 R_K 为 400 kN。

4.3 桩间距选择

初选桩间距为 1.3 m×1.3 m,如果由于布桩的需要,局部可调整为小于 1.3 m,呈正方形或矩形布置。

4.4 置换率计算

$$m = (\pi/4) d^2 / 1.3^2 = 0.0743 \quad (2)$$

万方数据

式中: m ——面积置换率; d ——桩直径,m。

4.5 复合地基承载力的计算

$$f_{sp,k} = m R_K / A_p + \alpha \beta (1 - m) f_{s,k} \quad (3)$$

式中: $f_{sp,k}$ ——复合地基承载力标准值,kPa; α ——桩间土强度提高系数,取 1; β ——桩间土强度发挥系数,取 0.9; $f_{s,k}$ ——桩间土承载力标准值,综合取值为 100 kPa。

$$\text{则 } f_{sp,k} = 0.0743 \times 400 / 0.1256 + 1 \times 0.9 \times 100 = 319.9 \text{ kPa} > 300 \text{ kPa}$$

4.6 桩体强度

$$\sigma = 3.0 R_K / A_p = 9554 \text{ kPa} \quad (4)$$

根据现行规范要求,同时考虑施工影响因素,取桩体强度为 C15,施工时以试验室提供的配合比为准。

4.7 沉降量及倾斜值计算

根据勘察报告中的地层资料及已有资料,采用 CFG 桩复合地基方案时,地基沉降按下式计算:

$$S = \psi_s S' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{P_0}{E_{si}} (Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}) \quad (5)$$

式中: S ——地基最终沉降量,mm; S' ——按分层总和法计算出的地基沉降量; ψ_s ——沉降计算经验系数; n ——地基沉降计算深度范围内所划分的土层数; P_0 ——对应于荷载标准值时的基础底面处的附加压力,kPa; E_{si} ——基础底面下第*i*层土的压缩模量,加固区按复合模量计算; Z_i 、 Z_{i-1} ——基础底面至第*i*层土、第*i*-1层土底面的距离,m; $\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ ——基础底面计算点至第*i*层土、第*i*-1层土底面范围内平均附加应力系数。

沉降量计算采用复合模量法,计算深度确定采用应力比为 0.1 确定的深度,其中桩顶应力采用设计荷载的 80%,压缩模量采用勘察报告推荐的综合数据,偏于安全,选取 7 个有代表性的条基(参见图 1),采用中国科学院秦四清教授开发的“大力神”系列软件的“复合地基设计与地基基础沉降集成分析系统”进行验算,计算结果列于表 1(A 表示角点, A_{i-1} 表示该条基的中点)。

由以上计算结果可知,最终沉降量及倾斜值均能满足设计要求。

4.8 CFG 桩布置

根据以上计算结果,CFG 桩桩径为 400 mm,桩长 11.6 m,桩尖进入⑦层砂层 ≤ 1.0 m,桩间距为 1.3 m×1.3 m,局部可调整为小于 1.3 m,呈正方形或矩形布置,该基础布桩共 1483 根,见图 1。

4.9 夯实水泥渣土保护桩布置

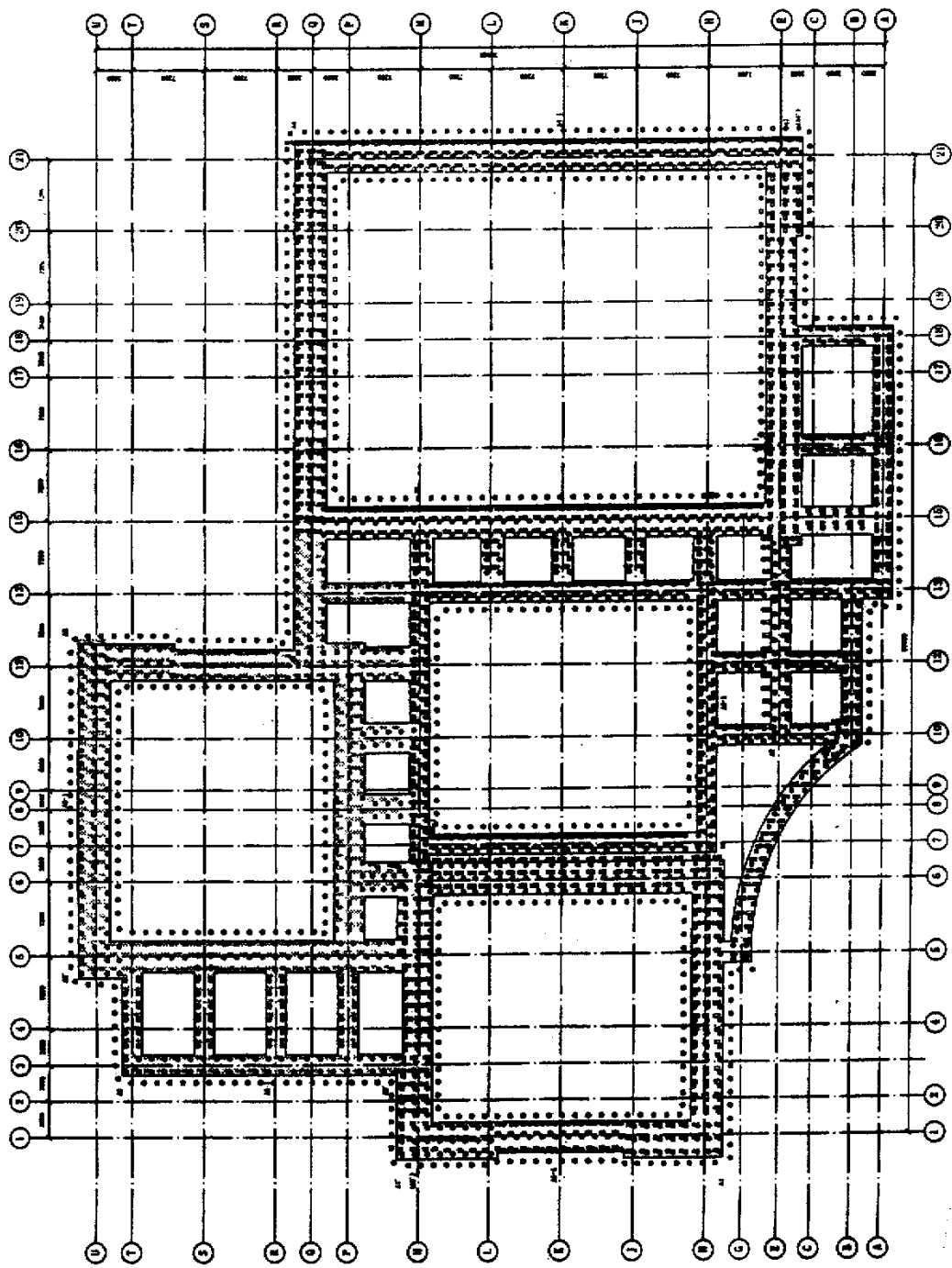


图 1 钻孔布置示意图

表 1 最终沉降量、倾斜值计算结果

点序	基础长度 /m	基础宽度 /m	最终沉降量 /mm	倾斜值 /‰
A ₁	36.00	3.60	27.18	0.82
A ₁₋₁			41.92	
A ₂	32.80	2.00	21.78	0.51
A ₂₋₁			30.13	
A ₃	32.00	3.20	25.77	0.77
A ₃₋₁			38.12	
A ₄	50.80	3.20	25.60	0.49
A ₄₋₁			37.97	
A ₅	63.40	2.00	21.74	0.26
A ₅₋₁			30.08	
A ₆	32.40	2.00	21.63	0.52
A ₆₋₁			29.97	
A ₇	69.40	2.50	24.15	0.35
A ₇₋₁			34.50	

考虑地层土的特点,为减少沉降,控制桩间土的变形,在基础外围布一排保护桩,此保护桩可采用 CFG 桩,也可采用振动沉管碎石桩,其桩长可以与基础桩一样,但考虑综合造价及保护桩的作用机理,选择了夯实水泥渣土桩,一则起到减少沉降、控制桩间土变形的效果,一则经济实用,方便施工,选择桩长 6 m,桩径 400 mm,保护桩距 CFG 桩 1.10 m,保护桩之间距离为 1.30 m,与 CFG 桩呈矩形布置。夯实水泥渣土桩采用人工洛阳钎或长螺旋钻机成孔,机械夯实孔底,填料可先过 20 mm×20 mm 的网筛,用搅拌机搅拌均匀,水泥与土的体积为 1:8,边填料边夯实,直至桩顶。具体保护桩布置如图 1 所示,总数为 582 根。

4.10 桩施工质量要求

4.10.1 CFG 桩施工质量要求

- (1)桩长允许偏差 100 mm。
- (2)桩径允许偏差 20 mm。
- (3)垂直度允许偏差<1%。

(4)桩位允许偏差:条形基础,垂直于轴线方向的桩位允许偏差 0.25 倍桩径,顺轴线方向的桩位允许偏差为 0.3 倍桩径。

(5)已施工完的 CFG 桩,严禁挖掘机、铲车或其他大型车辆或设备上碾压,避免造成断桩。

(6)桩头处理:找出桩顶标高位置,用钢钎等工具,沿桩周向桩心逐次剔除多余的桩头,直到设计桩顶标高,并把桩顶凿平,不可用重锤或重物横向击打桩体,避免造成桩顶标高以下的桩体横向断裂,桩头剔至设计标高处,桩顶表面不可出现斜截面。如果在基槽开挖和剔除桩头或施工中造成桩体断至设计标高以下,必须采取补救措施,假如断裂面距桩顶标高

不深,可用 C20 或 C25 豆石混凝土接至设计桩顶标高,方法如图 2 所示,注意在接桩头过程中保护好桩间土。

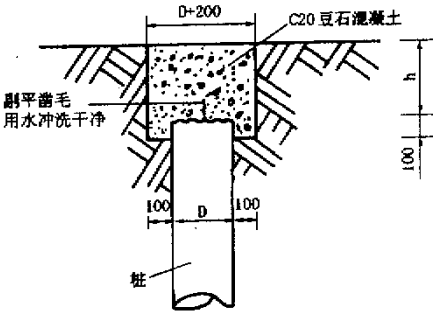


图 2 桩头处理示意图

(7)褥垫层铺设:褥垫层铺设在桩头处理完后进行,褥垫层材料为中粗砂,厚度为 20 cm,保证夯填度达 0.87~0.9。褥垫层的宽度比基础的宽度要大,其宽出的部分等于褥垫层的厚度。

4.10.2 夯实水泥渣土桩施工质量要求

(1)桩长、桩径、垂直度及桩位允许偏差同 CFG 桩要求。

(2)拌合料:水泥与土体积比为 1:8,采用原位土,包括 CFG 桩施工散落的干料及孔内返出的废料,加干土采用搅拌机拌合,在加入搅拌机前过 20 mm×20 mm 网筛。保证拌合料为最佳含水量,现场鉴别最佳含水量的方法是“一攥成团,落地开花”。

(3)夯实:采用机械夯实,锤重>90 kg,填料前先将孔底夯实,要求每次填料厚度为 20~30 cm,重夯 5~6 次后,再填料,确保桩体密实,每天用 N₁₀ 轻型动力触探器抽测不少于 3 根,要求上部 1.5 m 范围内,每步(30 cm)不少于 20 击。

4.11 CFG 桩加固效果检测设计

4.11.1 静载试验

CFG 桩养护 14 天,可进行静载试验,以检验复合地基的承载力,可进行单桩承载力检测或进行复合地基承载力检测。进行静载试验由业主选定有资质的单位完成,其试桩的桩位及桩数可由业主与设计单位共同选定,但一般不少于 3 组;试验前,应将桩头用钢护筒套住,避免桩头压裂。试验过程和方法应由试验单位编写方案。

4.11.2 桩身低应变检测

桩身完整性检测采用低应变动测方法,由业主指定的有资质的检测单位完成。检测数量一般为总桩数的 10%~20%。

4.11.3 试块强度检测

每天(或不超过 100 m³)做 2 组试块,其中 1 组做同条件养护,检验其强度能否满足设计要求(C15)。

5 CFG 桩复合地基施工概述

我公司组织了 2 台 CFG20 型钻机分别于 2001 年 3 月 27、28 日开工,2 个机组分别于 4 月 10、11 日施工完毕,工期为 15 天,分别完成 865、618 根 CFG 桩,共计 1483 根,浇筑 CFG 料 2500 m³。保护桩采用人工洛阳铲成孔,孔深 6.0 m,机械搅拌,机械夯实,共完成 582 根。

投入的人力为 项目经理 1 人,技术负责 1 人,质检员 1 人,施工员 2 人,搅拌组 36 人,成桩组 16 人。

投入的机械设备为 :CFG 桩 :CFG20 型长螺旋钻机 2 台,0.5 m³ 强力式搅拌机 2 台,磅秤 4 台,手推车 8 辆,塌落度仪 1 套,试块模具 2 组(6 个);夯实水泥渣土桩 洛阳铲 20 把,0.35 m³ 搅拌机 1 台,90 kg 机械夯 1 台,20 mm×20 mm 网筛 1 架。

CFG 桩施工基槽开挖后,发现共有 42 根桩的桩头破损严重,分析原因是由于灌注 CFG 料时为避免浪费,控制桩顶标高造成的,同时也未采取振捣措施,造成桩头松散、破碎。后来按照前述‘CFG 桩施工质量要求’进行了全部桩头凿除,用 C20 豆石混凝土接至设计标高,满足了设计要求,达到了合同要求。

6 CFG 桩复合地基检测结果

CFG 桩施工完成后,由中国电视剧制作中心委托中国石化集团勘察设计院工程测试中心于 2001 年 4 月 25 日~5 月 11 日对该 CFG 桩复合地基进行

了 4 组单桩复合地基静载荷试验,检测结果如表 2 所示。

表 2 复合地基静载荷试验结果

试验点号	承载力基本值 /kPa	300 kPa 对应沉降 /mm	最大沉降 /mm
A315	480	6.17	196.8
B268	406	7.51	30.56
C189	455	7.22	21.23
C400	442	7.70	24.50

因其极差小于平均值的 30%,故取其平均值作为复合地基承载力标准值,即 446 kPa。

低应变动力检测 304 根桩,其中 I 类桩 224 根,占检测总数的 73.68%;II 类桩 80 根,占检测总数 R 26.32%。均为合格桩。检测中共发现 42 根桩桩头破损严重,将桩头破损处凿除后再行检测,桩身完整或基本完整。

7 结语及建议

(1)采用 CFG 桩复合地基对中央电视台 1、2、3 号摄影棚进行地基处理,满足了业主紧急开工的要求,同时节约了造价,缩短了工期,满足了设计要求的承载力、最终沉降量及倾斜值,而且通过载荷试验发现,沉降相当均匀,说明该设计方案是成功的。

(2)采用夯实水泥渣土桩作保护桩,有效地限制了桩间土变形,减小了沉降,尤其在孔隙比较大的、有一定湿陷性的地层中有明显的效果。同时也是一种经济合理的桩型。

(3)在以后的 CFG 桩复合地基施工中,应充分重视桩头的控制,合理控制桩头标高,避免浪费,同时要采取振捣措施使桩头密实,只有这样才能把 CFG 桩工程做得更好。