

CFG 桩复合地基的讨论

乔来军 姬深堂 董长廷 杨永玉
(煤炭工业部选煤设计研究院, 河南平顶山 467002)

【摘要】 对 CFG 桩桩体材料、施工方法、褥垫层设置等进行了讨论, 并对其适用条件、设计方法等方面作了探讨。

【关键词】 CFG 桩; 复合地基; 讨论

【Abstract】 CFG-pile composite foundation is one of new foundation treatment technologies developed in recent decade. This paper discusses its conventional technology including makeup material, construction method and pile-low setting. In addition, its application conditions and design method are also discussed.

【Key words】 CFG-pile; composite foundation; discussion

0 引言

CFG 桩(Cement Flyash Gravel Pile)复合地基是 90 年代初出现的一种地基处理新技术。CFG 桩用少量的水泥加粉煤灰、石屑或砂及碎石, 加水搅拌, 用普通振动式沉管桩机施工的具有高粘结强度的桩, CFG 桩与桩间土和桩顶与基底间的褥垫层共同组成复合地基, 属刚性桩复合地基。与一般的柔性桩复合地基相比, 用 CFG 桩处理地基, 具有可使地基承载力提高幅度大并具有很大可调性的优点, 故特别是天然地基承载力较低而设计要求的承载力较高, 用柔性桩复合地基一般难以满足设计要求时, CFG 桩复合地基则有明显的优势。这一技术一经问世, 就在全国迅猛发展。

1 桩体材料

就 CFG 桩桩体材料组成来看, 实际上是粉煤灰混凝土。受沉管桩机施工能力所限, CFG 桩桩径、桩长一般较小, 单桩承载力不高, 故对桩身砼强度要求较低。现在市场上低标号水泥(225[#]、275[#]、325[#])很少供应, 若

采用高标号水泥(425[#]以上)配制桩身砼, 则水泥需用量很少, 导致配制的砼和易性很差, 无法使用。若想改善其和易性, 必须加大水泥用量, 这将导致桩体强度过高(与实际需要相比), 不甚经济。为了保证砼的和易性, 又不使水泥用量过大, 故在砼中掺入适量的粉煤灰, 从而形成所谓的“CFG 桩”。

1.1 粉煤灰的工程特征

粉煤灰是火力发电厂的一种工业废料, 它是以二氧化硅、三氧化二铝为主要成分的火山灰质材料, 含有大量的玻璃微珠。粉煤灰本身并不具有水硬性, 当其与水泥加水拌合之后, 首先是水泥熟料中的矿物成分硅酸三钙、硅酸二钙、铝酸三钙和铁铝酸四钙与水作用生成水化硅酸钙、水化铝酸钙和氢氧化钙等水化物。其中的氢氧化钙再与粉煤灰中含有的大量具有活性的二氧化硅和三氧化二铝相互作用, 再生成水化硅酸钙和水化铝酸钙等水化物, 即产生“二次反应”, 也就是它们在碱性激发剂的作用下, 粉煤灰能产生强度, 相当于低标号水泥。由于粉煤灰中含有大量

的玻璃微珠,在砼搅拌、震捣的过程中能起润滑作用,可增加其和易性,减少用水量,使之具有良好的工作性能。

1.2 粉煤灰质量等级

粉煤灰品质对砼质量具有重要影响。粉煤灰品质与煤种、燃烧条件和收尘方式等有关。为保证粉煤灰砼质量,建设部制定了《粉煤灰在砼和砂浆中应用技术规范》(JGJ28—86),在该规范中把可利用的粉煤灰分为三个级别,以0.080 mm方孔筛余量、需水量比和烧失量等指标加以划分,见表1^[1]。

表1 粉煤灰品质指标和分类

分类 序号	品质指标(质量分数)	粉煤灰级别		
		I	II	III
1	细度(0.080 mm方孔筛的余%) ∇	5	8	25
2	烧失量(%) ∇	5	8	15
3	需水量(%) ∇	95	105	115
4	三氧化硫(%) ∇	3	3	3
5	含水量% ∇	1	1	不规定

I、II级粉煤灰品质要求较高,市场上采取袋装供应,价格稍高,III级粉煤灰散装供应,价格很低。CFG桩一般选用II级粉煤灰。使用前应先到拟取灰地段取样化验,以确定粉煤灰质量是否符合要求及其级别。

1.3 桩体配比设计

CFG桩桩体配合比设计可按建设部《粉煤灰在砼和砂浆中应用技术规范》(JGJ28—86)进行。规范规定了粉煤灰的最大掺入量及取代水泥百分率的范围。由于CFG桩桩体砼掺入粉煤灰主要是提高其和易性,对强度要求不高,故应用中可适当加大水泥取代率。当设计配合比完成后应进行试配,若发现不合适应进行调整。

由于粉煤灰砼强度增长较慢且桩体本身强度较低,使CFG桩施工完成后,其处理效果及桩体质量难于及时检测,造成工期拖延,建设单位和施工单位不大情愿。散装粉煤灰

在运输和使用中污染也较大。由于水泥用量在CFG桩复合地基总的造价中占的比例较低,用粉煤灰取代部分水泥,经济效益并不明显。当工程量较小时,可直接采用素砼,其桩体强度等级一般可取C10或C15。

2 施工方法

CFG桩多采用振动沉管打桩机施工。使用比较多的是浙江瑞安建筑机械厂和兰州建筑机械总厂生产的设备。该种设备在使用中弊病较多,主要表现在以下几个方面:

①振动沉管桩机电机功率较大,对用电条件要求较高。大部分中小型工程施工初期很难满足。

②施工中噪音大,在居民区难以使用。

③设备体积大,场地狭窄时无法使用。

④该设备主要靠电机产生的偏心力沉管制桩,设备本身极易损坏,使工期很难保证。

⑤机械进出场及一次安拆费需约2.0万元,对中小型工程显得较高。

⑥需设置保护桩长,一般0.5~1.0m。施工时桩顶标高不易控制,造成桩顶标高超出设计很多,需增加人工挖土方量,还需进行截桩,影响工期,增加造价。

由于上述原因,限制了CFG桩的应用范围,特别是对大量的中、小型工程,迫切需要简单、易行的施工方法。

2.1 人工成桩法

所谓“人工成桩法”就是利用洛阳铲人工成孔,在孔内直接灌注砼,采用插入式振捣器分层密实,施工时应逐孔测出桩顶设计标高并作出标记,保证砼灌注时一次到位,以避免将来“剃”桩头或接桩。该方法适用于成桩范围内无地下水或水量较小的粘性土、粉土地层,也可用于素填土。若地下水位较浅时,也可结合降水使用。

2.2 工程钻机成桩法

所谓“工程钻机成桩法”就是使用勘察的车装式钻机或其它钻机成孔,在孔内下入注浆管,并投入碎石,再用注浆泵通过注浆管注

入水泥砂浆。当孔口溢出水泥石浆,即可停止注浆。由于水泥砂浆收缩性较大,施工时应及时补浆以保证桩顶质量。该方法适用于地下水位较浅的地区。若无地下水,也可以孔内直接灌注砼。

由于这种工程钻机功率有限,故一般成桩直径较小(150~300 mm),属小直径桩,也有人称之为“树根桩”。

以上两种施工方法均不需大型设备,对场地条件适应性强,效率高,成本低。

3 褥垫层的设置

按照传统的 CFG 桩复合地基理论,褥垫层是其重要组成部分,复合地基的许多特性都与褥垫层有关。这里所说的褥垫层不是基础施工经常做的 10 cm 厚的素混凝土垫层,而是由粒状材料组成的散体垫层。

3.1 CFG 桩复合地基承载特征

图 1 是实测到的 CFG 桩桩土应力比 n 、地基土分担荷载比 η_s 随荷载变化的关系曲线,该曲线反映了刚性桩复合地基的承载过程。荷载初期,由于褥垫层的作用,桩土共同承受荷载, n 值较小, η_s 值较大。随着荷载进一步增加,桩顶逐渐向垫层刺入,桩的作用逐渐显示出来,荷载向桩上集中, n 值逐渐增大, η_s 值逐渐减小。当荷载继续增加到一定值时($p/p_u = 0.5 \sim 0.6$), n 值与 η_s 值分别出现峰值及低谷,说明此时桩的应力集中现象最显著,与单桩极限承载力相比,此时桩已发挥极限承载力的 70% 左右,它标志着桩对垫层的刺入量已基本稳定。随着荷载的进一步增加,桩的刺入量增加很少, n 值有所降低, η_s 值有所增加,说明此时桩土变形已趋一致,桩间土分担的荷载增量比桩分担的荷载增量,并直至桩的承载力发挥至极限^[2]。若再进一步增加荷载,由于复合地基中桩的荷载-沉降(p_p-s)曲线呈加工硬化型^[3],故其仍可继续承载,但其桩顶荷载增加量很小,荷载增量绝大部分均由桩间土分担,直至达到

桩间土的极限承载力,这时复合地基才告破坏。同时 n 值又出现最小值, η_s 值出现最大值。因此,若不考虑桩与土的相互作用及群桩效应,复合地基极限承载力应为桩与桩间土极限承载力之和。

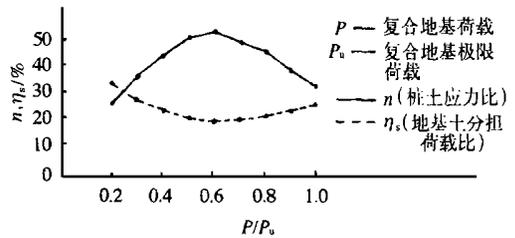


图 1 n 、(η_s)- p/p_u 关系曲线

3.2 无垫层时 CFG 桩复合地基承载特征

当桩顶直接与基础接触时,根据变形协调条件,桩与桩间土的变形相同。由于桩的变形模量远大于土的变形模量,当荷载小于桩的允许承载力时,其主要由桩承担,桩间土承担的荷载很少。随着荷载的增加,当桩顶荷载超过其允许承载力时,桩的荷载-沉降(p_p-s)曲线由直线段进入曲线段,桩端土也由弹性变形进入塑性变形阶段,沉降明显加大,此时桩间土开始承担荷载。随着荷载的增加,桩的承载力发挥至极限,桩的沉降可能已达 40~60 mm,由于沉降量较大,桩间土亦承担了相当的荷载增量,若再进一步增加荷载,由于复合地基中桩的荷载-沉降(p_p-s)曲线呈加工硬化型,故其仍可继续承载,但其桩顶荷载增加量很小,荷载增量绝大部分均由桩间土分担,直至达到其极限承载力,这时复合地基方告破坏,同时桩间土承担的荷载达到最大。若不考虑桩与桩间土的相互作用及群桩效应,复合地基的极限承载力应为桩与桩间土极限承载力之和。

3.3 设置褥垫层的必要性

CFG 桩复合地基有无褥垫层,其区别主要是桩间土的承载力发挥的过程不同。当设置褥垫层时,桩间土一开始就承担了较大比

例的荷载,在正常使用状态下,建筑物荷载主要由桩和桩间土共同承担;而不设褥垫层时,荷载一开始主要由桩来承担,桩间土基本不承担或承担很少。在正常使用状态下,建筑物荷载主要由桩来承担。当复合地基承载力达到极限时,无论是其承载力的大小以及桩、土的荷载分担比都是相同的,故可取消褥垫层。

取消垫层,让桩顶直接与基础接触,实际上就是在正常使用状态下充分发挥桩的承载力(接近极限),而让桩间土强度为作安全储备,这样虽然桩的安全系数 K 小于 2(一般 1.1 左右),但地基土的安全系数却较高,复合地基总的安全度并没有降低,就象桩基础在正常使用状态下,其摩阻力和端承力发挥程度不一样,其各自的安全系数也不一样,类似于“复合桩基”的设计思想。

与设置褥垫层的 CFG 桩复合地基相比,不设垫层时有以下优点:

①可以减少地基沉降量,这是显而易见的。

②如有单桩 p_p-s 曲线及天然地基荷载试验资料,依据变形协调原则,可较为准确地确定出在正常使用状态下,桩、土荷载分担比及复合地基沉降量。

③可减少施工工序,降低地基处理造价。

并不是任何情况下都可以不设褥垫层。如采用挤土桩,施工时使地面严重隆起而后桩间土发生再固结,容易使基础与桩间土脱离,则必须设置褥垫层,此外如桩端落在坚硬土层或岩石上,达到极限承载力时其沉降很小(其荷载-沉降曲线 p_p-s 不属加工硬化型),也必须设置褥垫层。

4 适用条件

根据 CFG 桩复合地基的特点,它既可用于多层建筑,也可用于高层建筑。就土性而言,CFG 桩复合地基可用于填土、饱和及非饱和和粘性土、松散砂土等。既可用于挤密效果好的土,又可用于挤密效果差的土。主要是

根据场地和土层条件,选择适宜的施工方法。

当 CFG 桩用于饱和软粘土时应特别慎重,一是因为 CFG 桩成桩时土的挤密分量为零,承载力的提高唯一取决于桩的置换率。由于桩间土承载力太小,土的荷载分担比太低,不宜再做复合地基。其次是 CFG 桩易发生整体失稳。由于桩间土强度很低,对 CFG 桩的侧限作用很小,类似于“豆腐里面插筷子”,在竖向及水平荷载作用下,极易发生整体失稳,使建筑物破坏。

5 设计方法

CFG 桩复合地基设计主要包括复合地基承载力、桩的布置、桩径、桩长、桩体强度、褥垫层等内容。

复合地基承载力即处理后要求达到的承载力一般由设计人员确定,通常以提高一倍左右为宜,这样设计上较为简单,可理解为荷载全部由桩承担,单桩承载力按极限取值,桩间土强度作为安全储备。

桩的布置主要根据基础型式来定,如条形基础(墙下或柱下条基),主要应在基础墙或梁的中心线下单排布桩,基础墙交点及柱下均应布桩,并通过调整桩径、桩长来满足设计承载力的要求。对(墙下或柱下)筏板基础和箱形基础可根据柱网和地下室墙体分布情况按网格布置。也可仅在柱下和墙下布桩,这样布桩,建筑物荷载可由基础直接传递到桩顶,荷载传递途径直接、简单,当不设褥垫层时也不存在桩对基础的冲切破坏问题。

参 考 文 献

- 1 中国建筑科学院、上海市建筑科学研究所. JGJ28-86 粉煤灰在砼和砂浆中应用技术规范. 北京:中国建筑工业出版社,1986
- 2 张雁,黄强. 半刚性桩复合地基性状分析. 岩土工程学报,1993,15(2):87~88
- 3 阎明礼. 地基处理技术. 北京:中国环境科学出版社,1996 243

收稿日期:1999-05-20