

干振碎石桩复合地基的应用实例分析

张忠坤

(河海大学岩土工程研究所 南京 210098)

摘要 分析干振碎石桩处理可液化地基土及软土地基的基本原理,结合三个工程实例,分别对复合地基的桩体与桩间土进行了检测。桩体密度的检测采用重型圆锥动力触探($N_{63.5}$)试验;桩间土的加固效果检测采用双桥静力触探、标准贯入试验和取土样进行室内土工试验,并对比桩间土在加固前后的物理力学性质指标,具体评价和论证干振碎石桩复合地基消除地基土液化和提高地基承载力的作用,同时,指出了此类复合地基中,桩间粉土与杂填土的挤密效果要比其它软粘土的挤密效果好。

关键词 干振碎石桩 复合地基 重型圆锥动力触探 双桥静力触探 标准贯入试验 地基 碎石桩

干振碎石桩是一种采用预沉导管、重锤冲挤施工工艺的碎石桩,是根据综合冲击钻进和重锤夯实的原理和工艺发展起来的,利用管状机械设备在软土地基中成孔,再向孔内分批填入碎石且击实,形成一根根桩体,桩体与原来的软弱土层构成复合地基。干振碎石桩克服了振冲挤密碎石桩在施工过程中所存在的耗水量大和泥浆污染严重的缺陷,愈来愈得到广泛的应用。实践证明,干振碎石桩能够起到消除可液化土层的地震液化、提高地基土承载力和减小地基土在上部荷载作用下所产生的压缩变形量的作用。本文仅就其抗液化和提高地基承载力进行分析和讨论。

1 消除土层液化和提高地基承载力的基本原理

1.1 振密和挤密作用

采用振动法向可液化土层中下沉桩管和逐步拔出桩管成桩时,下沉桩管对周围土层产生挤密作用,拔出桩管时对周围土层产生振密作用,使周围土层孔隙比减小,密度增大,从而提高了土层的抗液化性能。同时,由于振密和挤密作用,也减小了土层的压缩系数和增加了土层的变形模量,增大了土体强度。

1.2 排水作用和减压作用

干振碎石桩在土层中形成良好的排水通道,缩短了土中地下水渗流途径,可加速超孔隙水压力的消散,有利于土体加速固结,增大土体的抗剪强度。在反复地震作用下,孔隙水压力不易增长,土层就不易液化。

2 应用实例分析

2.1 某部队营房碎石桩复合地基

2.1.1 工程概况

该营房为一列主体3层、局部4层的建筑群,

共计24栋,位于徐州市北郊西窑山南山脚下。由于场区地基土为冲、淤积形成,且存在中等液化土层,故采取碎石桩对地基进行加固,其目的在于消除液化和提高地基承载力,要求复合地基承载力达到130kPa。干振碎石桩按等腰三角形布置,桩径0.4m,桩长8m,桩行距为1.0m,同一行上桩间距为2.0m,施工顺序要求按照“先外围后中间,先软土后硬土,先长边后短边,向中间挤,隔排施打”的原则。

2.1.2 工程地质条件

各土层自上而下为:①I层为杂填土,主要由砖瓦碎石块及砂子组成,全区分布,厚度0.3~0.7m;②II层为粉质粘土,饱和,软塑~可塑,厚度0.5~1.0m;③III层为粉土,稍密~中密,局部夹粉质粘土,厚度0.7~1.6m;④IV层为粉质粘土,软塑~可塑,局部夹有薄层粉土及粘土,厚度1.0~2.1m;⑤V层为粉土,中密,含少量黑色有机质,局部夹有粉质粘土,饱和,软塑,厚度1.0~1.2m;⑥VI层为粘土,饱和,可塑,未钻透。其中III层和V层饱和粉土为中等液化土层。

2.1.3 碎石桩复合地基质量检测

2.1.3.1 碎石桩密度检测

本次检测随机抽取3根碎石桩进行重型圆锥动力触探($N_{63.5}$)试验,锤击数为7~21击,平均为13击,为中等密实程度,承载力标准值 $f_k = 450$ kPa。

2.1.3.2 桩间土加密效果检测

这次检测在桩间土共布置8个测试点,其中4个为标准贯入试验孔,4个为双桥静力触探孔,经检测,桩间土工程特性均有不同程度的改善。

a. 双桥静力触探测试指标如图1所示,从图中

作者简介:张忠坤,男,博士研究生,从事地基处理的研究,曾发表《浅谈干振碎石桩复合地基》等论文。

可以看出,粉土的锥尖阻力 q_c 值在加固前后变化明显,而粉质粘土和粘土变化较小。加固后各土层的锥尖阻力 q_c 和侧壁摩阻力 f_s 如表 1 所示。

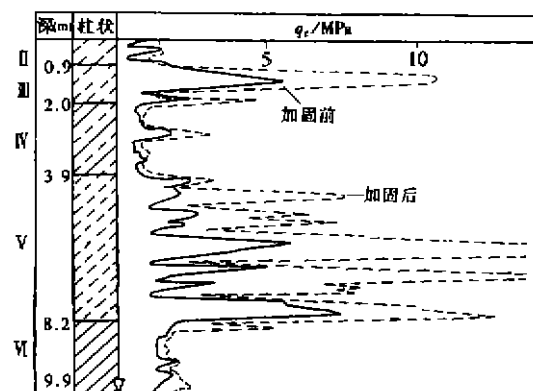


图 1 同一孔位加固前后 q_c 曲线对比

表 1 加固后各土层 q_c 和 f_s 值

项 目	II 层	III 层	IV 层	V 层	VI 层
q_c/kPa	800	2260	750	3440	1220
f_s/kPa	33	43	33	50	57

b. 标准贯入试验检测结果。本次检测共进行标准贯入试验 20 点,同加固前相比,标准贯入锤击数均有较大幅度的提高,加固前后标贯锤数如表 2 所示。

表 2 加固前后标贯锤数

项 目	II 层	III 层	IV 层	V 层	VI 层
加固前	—	6.0	—	9.0	—
加固后	—	10	11	15	16
提高幅度	—	67%	—	67%	—

c. 桩间土承载力标准值。桩间土承载力标准值是由标准贯入试验和双桥静力触探综合确定的,第 II ~ VI 层土承载力标准值分别为 120, 120, 110, 145, 170 kPa。

2.1.4 地震液化判别

根据《建筑抗震设计规范》(GB11-89)的地基土液化判别公式,临界标准贯入锤击数为

$$N_{cr} = N_0[0.9 + 0.1(d_s - d_w)]\sqrt{3/\rho_c} \quad (1)$$

参考场区原有勘察资料,III 层与 V 层饱和粉土粘粒含量 $\rho_c = 0 \sim 2$,据规范,取 $\rho_c = 3$;实测地下水位埋深 $d_w = 1.5m$,液化判别标准贯入锤击数基准值 N_0 按 7 度远震条件,取为 8。计算得出各深度临界标准贯入锤击数如表 3 所示。

由表 3 可见,加固前 III 层、V 层饱和粉土为中等液化土层,经碎石桩加固后的标准贯入击数均大于临界锤击数,判定 III 层、V 层饱和粉土在 7 度区为不液化土层,即液化土经碎石桩加固后消除了液化的可能性。

表 3 不同深度临界标准贯击数

项 目	III 层粉土		V 层粉土	
	1.65 m	3.65 m	5.65 m	7.65 m
临界击数	7.3	8.9	10.5	12.1
加固前击数	加固前为中等液化土层			
加固后击数	8~13	16	16~22	14~21

2.1.5 复合地基承载力的确定

如图 2 所示(图中阴影部分为单桩承担的处理面积),本场区碎石桩按等腰三角形布置,单桩承担的处理面积为 $2.0m^2$ 。

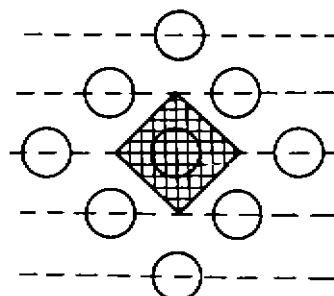


图 2 桩位布置示意图

复合地基承载力按下式进行计算:

$$f_{pk} = \frac{1}{A_p} [f_{pk} \cdot A_p + (A_c - A_p) \cdot f_{s,k}] \quad (2)$$

式中 f_{pk} 为复合地基承载力标准值, kPa; $f_{s,k}$ 为桩的单位面积承载力标准值, kPa; $f_{s,k}$ 为桩间土承载力标准值, kPa; A_c 为单桩承担的处理面积, m^2 ; A_p 为桩的横截面面积, m^2 。

得第 II ~ VI 层土复合地基承载力分别为 140, 140, 130, 164, 187 kPa, 显然各土层复合地基承载力均超过了所要求的 130 kPa。

2.2 徐州化肥厂造气车间干振碎石桩复合地基

2.2.1 工程概况

该造气车间长约 47m, 宽约 17m, 设计要求地基承载力不小于 160 kPa, 由于场地分布有约 10m 厚的软弱土不能作为天然地基, 经技术经济比较, 决定采用干振碎石桩进行地基加固, 桩的分布为正三角形, 桩距为 0.85m, 桩径 0.40m, 桩长 7.2m, 共布桩 1019 根, 要求地基土处理深度内土层全部消除液化, 复合地基承载力达到设计要求。

2.2.2 工程地质条件

地层自上而下依次为: ① I 层为杂填土, 由粘性土混炉渣及碎石组成, 厚 0.3~0.6m; ② II 层为粉土, 饱和, 稍密~中密, 厚 2.1~2.8m; ③ III 层为粉质粘土, 饱和, 可塑, 厚约 1.5m; ④ IV 层为粉土, 饱和, 稍密~中密, 厚 1.7~2.6m; ⑤ V 层为粉质粘土, 饱和, 软~可塑, 厚约 1.1m, 局部缺失; ⑥ VI 层为粉土, 饱

和,中密,厚1.3~1.7m;⑦Ⅶ层为粘土,饱和,可塑,未钻透,揭露厚度1.1m。

I~Ⅵ层为碎石桩处理的对象,据勘察报告提供的Ⅱ~Ⅵ层土承载力标准值分别为118,98,108,88,147kPa。

2.2.3 碎石桩复合地基检测

a. 碎石桩密度检测。以重型圆锥动力触探($N_{63.5}$)对碎石桩密实度及承载力作出判定,根据桩身平均击数 $\bar{N}_{63.5}=12.7$,判定碎石桩为中等密实,承载力标准值取为450kPa。

b. 桩间土挤密效果检测。在桩间土布置了6个检验孔,其中3个双桥静力触探孔,3个钻探技术孔(进行标准贯入试验与取土样做土工试验)。检测表明,粉土Ⅱ,Ⅳ,Ⅵ层的密实度及承载力提高比较明显,标贯击数分别提高为原来的1.60,2.50和1.65倍,贯入阻力 q_c 分别提高139%,43%和65%,承载力标准值分别提高54%,58%和42%,且处理深度范围内的粉土层全部消除了液化。粉质粘土Ⅲ与Ⅴ层贯入阻力 q_c 分别提高10%和14%,承载力标准值提高10%和32%。

地震液化的判据及复合地基承载力的计算仍同上例。

计算得第Ⅱ~Ⅵ层复合地基承载力分别为182,162,169,171,209kPa。显然,处理结果满足了设计要求。

2.3 徐州铁路枢纽改道拆迁安置楼碎石桩复合地基

2.3.1 工程概况

工程规模为两栋6层楼房,场区勘察资料表明,浅部10m以上土层为杂填土、粉土、淤泥质粘土及粘土,容许承载力为60~100kPa,为软弱土层,不宜作为天然地基,故采用干振碎石桩进行加固处理,桩径0.4m,桩长7.8m,桩距分别为1.1m和0.6m,呈等腰三角形布置。

2.3.2 工程地质条件

各土层自上而下为:①Ⅰ层为杂填土,主要成分为粉土混杂大量碎石和煤渣,结构松散,厚3~5m;②Ⅱ层为粉土夹粘土,饱和,中密,厚1.0~3.7m;③Ⅲ层为淤泥质粘土,软~流塑,厚4~5m;④Ⅳ层为粘土,可塑,厚2.0~2.5m,本层土工程特性较好。

I~Ⅲ层为处理的主要对象,尤其是Ⅲ层工程性质极差,含水量41.5%,孔隙比1.113,容许承载力值为70kPa。

2.3.3 桩间土的挤密效果检测

在桩间土中布置了12个检验孔,其中4个标贯取样孔,8个双桥静力触探孔,根据测试结果可知,加

固后各土层的工程特性均有不同程度的提高。对于杂填土Ⅰ,加固前 $q_c=5\text{MPa}$, $f_s=54\text{kPa}$,加固后 $q_c=14.3\text{MPa}$, $f_s=146\text{kPa}$;标贯击数由原来的7次提高到22次,提高3.14倍。Ⅱ层粉土夹粘土,加固前含水量 $w=29\%$,孔隙比 $e=0.793$,加固后含水量 $w=22.4\%$,孔隙比 $e=0.610$,使土层得到加密;从力学性质上看,加固前 $q_c=2.26\text{MPa}$, $f_s=35\text{kPa}$,加固后 $q_c=5.15\text{MPa}$, $f_s=111\text{kPa}$,分别提高了1.28和2.17倍,另外,标贯击数由6次提高到11次,提高83%,容许承载力提高79%。Ⅲ层淤泥质粘土,加固前含水量 $w=41.5\%$,孔隙比 $e=1.113$,加固后 $w=31.7\%$,孔隙比 $e=0.891$,地基土的物理特性明显改变,从力学性质上看,加固前 $q_c=1.71\text{MPa}$, $f_s=35\text{kPa}$,加固后 $q_c=2.32\text{MPa}$, $f_s=57\text{kPa}$,分别提高36%和63%;容许承载力提高为31%。

对于Ⅱ层粉土,原来被判为7度远震区的液化土层,经干振碎石桩处理后成为不液化土层。从测试结果看,对于不同性质的土层,干振碎石桩处理后,桩间土的挤密效果不同。

同样进行碎石桩密度检测,经过计算,复合地基承载力达到了设计要求。

3 结 语

本文分析了干振碎石桩处理可液化土层,提高软土地基承载力的基本原理,给出了三个碎石桩复合地基的应用实例,旨在说明干振碎石桩能够提高地基土强度,且达到消除(粉土地基)液化的效果;另外,桩间粉土与杂填土的挤密效果比其它软粘土的挤密效果好。

文献[1]详细论述了复合地基的多种效用,工程实践证明,干振碎石桩复合地基不仅改善了地基土的抗震性能,提高地基承载力,同时也改善了地基土的变形特性,减小在荷载作用下可能发生的沉降和不均匀沉降,它能够发挥出抗震效用、桩体效用、垫层效用、排水效用和挤密效用。由于干振碎石桩具有施工方便、施工效率高、效用多和成本低等多种优点,故在许多地区得到广泛应用。

参考文献

- 1 龚晓南.复合地基.杭州:浙江大学出版社,1992.169~181
- 2 孙更生,郑大同.软土地基与地下工程.北京:中国建筑工业出版社,1984.72~104
- 3 曾国照等.地基处理手册.北京:中国建筑工业出版社,1988.161~211

(收稿日期:1996-04-22 编辑:熊水斌)