

文章编号: 0451-0712(2006)01-0092-04

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

干振碎石桩法在处理可液化地基中的应用研究

陈开圣

(长安大学公路学院 西安市 710064)

摘 要: 根据高速公路工程液化地基加固试验研究, 对干振碎石桩加固液化地基的原理、设计和施工参数进行讨论。通过地基处理前后桩间土物理力学性质、标准贯入试验、瑞利波试验、静力触探试验和孔隙水压力试验等测试结果的对比分析, 表明干振碎石桩用于处理液化地基具有较大的优越性, 处理后地基强度得到增强, 消除了液化。

关键词: 干振碎石桩; 液化地基; 处理

饱和松散的无粘性土在振动荷载作用下会产生液化, 结果是土体孔隙水压积聚, 地基承载力逐步丧失。研究表明, 无粘性土的液化既受内在条件的影响, 同时受外界因素(动荷载、水位等)制约。因此, 对某一场地土而言, 如能改变其内在条件(密实度、应力状态等), 就有可能取得满意的抗液化效果。实践表明, 干振挤密碎石桩(干振碎石桩)可以在多方面改善液化土的性质, 是处理液化地基土的一种理想方法。事实证明, 干振碎石桩能提高地基承载力, 增强土的抗液化性能^[1]。

干振碎石桩是一种利用振动荷载预沉导管, 通过桩管灌入碎石, 在振、挤、压作用下形成较大密度的碎石桩。由于它克服了振冲法存在的耗水量大和泥浆排放污染等缺点, 因此, 在我国发展迅速, 已在工业、交通、水利等建筑工程中得到了广泛的应用。

1 干振碎石桩加固可液化地基的原理

干振碎石桩复合地基以密实的碎石、砂取代了与桩体体积相同的低模量、低强度土体, 在承受外荷时, 地基中应力按桩土应力比重新分配, 应力向桩体逐渐集中, 桩周土所承受的压力相应减小, 大部分荷载由碎石桩体承受。由于桩的强度和抗变形能力均优于桩周土, 故成型后的复合地基承载力、模量也优于原土体, 从而达到减小变形、提高承载力的效果。其加固机理通常有振密、挤密、排水、垫层、预振等作用^[2~4]。

(1) 振密作用: 在成桩过程中, 激振器产生的振

动通过导管传递给土层, 使其附近的饱和土地基产生振动孔隙水压力, 导致部分土体液化, 土颗粒重新排列趋向密实, 从而起到振密作用。

(2) 挤密作用: 下沉桩管时桩管对周围土体产生很大的横向压力, 将土体中等于桩管体积的土挤向周围土体使之密实; 灌注碎石后振动、反插也使周围土体受到挤密, 从而提高了地基强度。

(3) 排水作用: 因碎石桩体排水畅通, 形成的挤密桩成为地基中的良好排水通道, 大大缩短孔隙水水平渗透路径, 从而加速复合地基排水固结, 提高地基强度; 成桩振动产生的桩间土超静孔隙水也迅速地由碎石桩体排出, 孔隙水压力相应减小, 液化的可能性得到消除或减小。

(4) 垫层作用: 干振碎石桩与桩周土体构成具有一定刚度的复合地基, 其强度高、整体性好, 使上部结构传来的荷载应力得到扩散, 并使应力分布趋于均匀, 从而达到提高承载力、减小变形的目的, 起到良好的垫层作用。

(5) 预振作用: 干振碎石桩施工时强烈的振动作用使土颗粒重新排列密实, 地基土体得到预振的效果。西特等人(1975 年)研究表明, 经预振过的砂土, 虽其振后的密实度仅为 54%, 而其抗地震液化的能力却相当于密实度为 80% 的未经预振的砂土抗地震液化的能力。

2 干振碎石桩法在处理可液化地基中的应用

2.1 工程概况

宿淮高速公路淮安段沿线广泛分布了第四系全新统(Q₄)砂土、亚砂土、亚粘土、粉细砂土,区域地下水位较高,地基土呈松散或中密状态,天然地基承载力低。据工程地质勘察资料表明,该段在深度 12 m 范围内地层可分为 4 层,自上而下为:第 1 层,亚砂土夹粉土,黄褐色,层厚 4.0 m;第 2 层,亚砂土夹粉土,灰色,层厚 2.0 m;第 3 层,亚砂土夹粉细砂,灰色,层厚 3.0 m;第 4 层,粉质亚粘土,灰绿色,层厚 1.0 m。

其物理性质指标见表 1。

表 1 土层的物理指标

取土深度 m	天然含水量 w %	天然容重 γ kN/m ³	液限 w_L /%	塑限 w_P /%	塑性指数 I_p	天然孔隙比 e
1.5~1.8	28.3	1.951	27.5	20.5	7	0.738
2.0~2.5	27.6	1.961	32.3	18.5	13.8	0.719
2.8~3.1	21.7	1.943	33	23.5	9.5	0.658
4.0~4.3	23.6	1.935	29	21	8	0.661
5.0~5.3	22.5	1.924	30	20	10	0.685
6.5~6.8	22.7	1.958	27.6	18.1	9.5	0.680
8.0~8.3	22.8	1.942	30	21	9	0.671
8.3~8.5	23.6	1.963	34	21	13	0.671
9.0~9.3	24.2	1.910	39	20	19	0.668

淮安地区地震烈度为 7 度,这类土在地震作用下会产生液化现象,《根据公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—89),必须对地基进行加固处理,以达到消除液化和提高承载力的目的。

2.2 干振碎石桩施工和试桩设计参数

试桩施工采用平底活页式走管振动打桩机,振动锤为 DZ—40 型,激振力为 280 kN,振动频率为 950 次/min,锤重为 36 kN,桩管直径为 377 mm,碎石采用粒径为 1~3 cm 的自然级配,施工顺序采用跳打形式并由外缘向中心进行。

试桩设计参数如表 2 所列。

表 2 干振碎石桩的有关设计施工参数

桩型	干振碎石桩	
布置形式	正三角形	正三角形
桩距/m	1.3	1.5
桩长/m	10	10
桩径/mm	500	500
桩数/根	88	99
碎石粒径/cm	1~3	1~3
容许承载力/kPa	150	150

2.3 加固效果检验与分析

(1)土层物理力学性质的变化。

成桩 28 d 后桩间土的物理力学性质试验结果见表 3。通过试桩前后土的物理力学指标对比,表明加固前后桩间土的物理力学性质得到了明显改善,土的孔隙比明显减小,密度略有增加,抗剪强度明显增加。

表 3 加固前后土的物理力学指标

取土深度 m	土样状态	密度 ρ g/cm ³	孔隙比 e	粘聚力 c kPa	内摩擦角 φ (°)
1.5~1.8	试验前	1.951	0.738	22	25
	试验后	1.993	0.639	20	34
2.0~2.5	试验前	1.961	0.719	20	33
	试验后	1.972	0.672	12	47
2.8~3.1	试验前	1.943	0.658	24	31
	试验后	1.979	0.608	16	40
5.0~5.3	试验前	1.924	0.685	11	28
	试验后	1.946	0.631	16	32
6.5~6.8	试验前	1.958	0.680	10	29
	试验后	2.045	0.611	13	40
8.0~8.3	试验前	1.942	0.671	12.6	30
	试验后	2.086	0.535	12.1	38

(2)标准贯入试验。

标准贯入试验的结果见表 4。从表 4 可以看出,经碎石桩处理后地基的标贯击数 $N_{63.5}$ 大幅度提高,深度 4 m 以上 $N_{63.5}$ 均大于 8 击,而 4~7 m 标贯击数比处理前提高 2~3 倍,深部也有一定程度提高,均消除了液化;在地面下 4~7 m 范围内加固效果最好。

表 4 加固前后标贯试验测试结果

深度/m	1.3 m 桩距的 $N_{63.5}$ /击			1.5 m 桩距的 $N_{63.5}$ /击		
	成桩前	成桩后	提高率/%	成桩前	成桩后	提高率/%
2.0~2.3	4	13	225	4	12	200
4.0~4.3	8	35	337	5	17	240
5.0~5.3	12	28	133	6	30	400
8.0~8.3	10	12	20	8	11	37.5

(3)静力触探试验结果。

成桩结束后 7 d,对不同位置处桩间土层的加固效果进行了静力触探(CPT)测试,试验结果如图 1 所示。

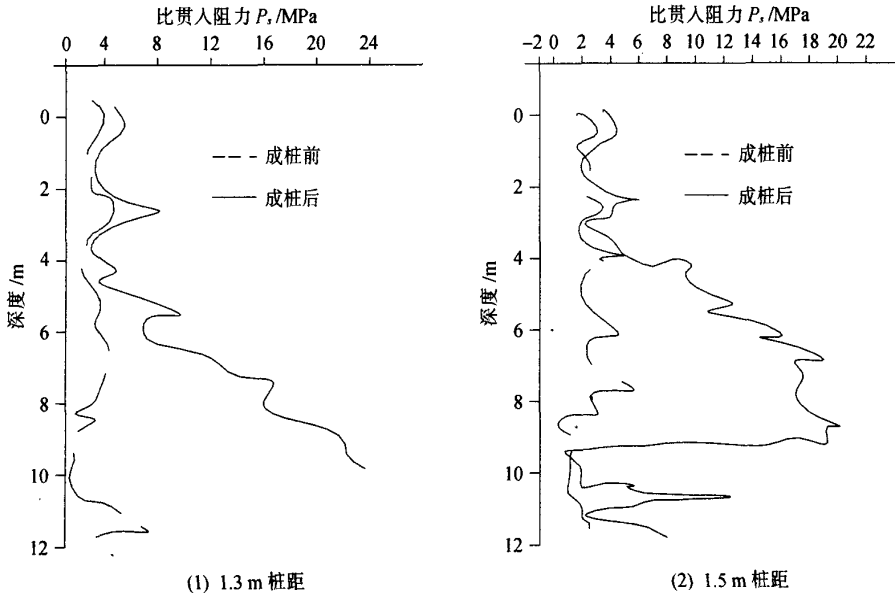


图1 加固前后静力触探试验结果

从图1可知,地基土经碎石桩处理后,桩间土静力触探比贯入阻力 P_s 显著提高,超过了液化临界比贯入阻力 P_{cr} ,消除了液化。地表下部4~8 m范围内加固效果最好,比贯入阻力比处理前提高了3~4倍;地表浅部加固效果不明显,甚至略有降低,这主要是由于施工扰动引起的以及与试验区桩数较少有关,但随着时间增长地表加固效果有一定提高。

(4)瑞利波法测试。

在干振碎石桩法处理地基试验区,成桩前后进行了瑞利波法测试,结果见表5。

表5 瑞利波法测试结果

深度/m	剪切波速 $V_s/(m \cdot s^{-1})$						
	成桩前	1.3 m 桩距			1.5 m 桩距		
		2 d	15 d	30 d	2 d	15 d	30 d
1.0~1.5	111	203	212	225	196	207	225
2.0~2.5	108	207	216	229	207	225	231
3.0~3.5	98	218	214	228	220	229	264
4.0~4.5	102	238	255	259	244	255	281
5.0~5.5	120	257	266	275	272	285	295
6.0~6.5	116	278	296	318	302	298	327
7.0~7.5	140	293	298	311	309	318	335
8.0~8.5	145	264	285	320	289	307	317
9.0~9.5	151	266	295	309	274	289	306

由表5可知,成桩后地基土剪切波速提高,一般大于200 m/s,在地表下4~7 m处剪切波速增幅最大,说明该范围内加固效果最好。成桩后随龄期增长,复合地基剪切波速有一定增长,但幅度不大。

(5)载荷试验。

为确定碎石桩处理对地基承载力的影响,进行了4组复合地基载荷试验,结果见表6。

表6 载荷试验成果

试验号	载荷板尺寸/(m×m)	桩间距/m	容许承载力/kPa
1	1.5×1.6	1.6	159
2	1.5×3.0	1.6	178
3	1.3×1.3	1.4	153
4	1.3×2.4	1.4	158
试验前	1.5×1.5		89

由表6可见,处理后复合地基容许承载力比处理前提高了将近1倍,说明加固效果较好。

(6)孔隙水压力测试(图2、图3)。

由图2、图3可知:(1)成桩过程中,离地表一定深度(6~7 m)处产生的孔隙水压力最大,说明该深度振动挤密效果最为明显;(2)随着碎石桩的形成,孔隙水压力随时间消散很快,一般在90 min内消散至90%,表明了干振碎石桩具有良好的排水效果,从而降低或消除了液化的可能性。

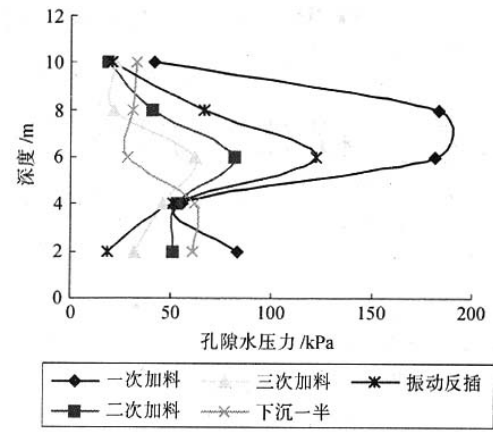


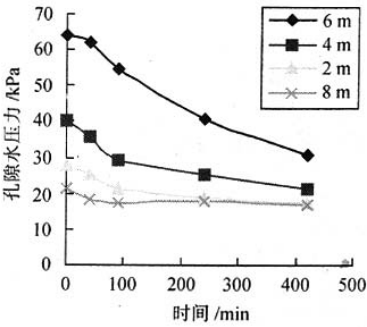
图 2 孔隙水压力与深度关系曲线

3 结语

通过对标贯试验、静力触探试验、孔隙水压力试验、载荷试验等成果的分析,干振碎石桩法不仅对地基土的液化有明显的处理效果,而且显著改善了地基土的物理力学性质,加固后土的强度明显提高,变形减小。这主要是由于干振碎石桩形成了良好的排水通道,缩短了水平排水路径,增强了排水效能,抑制了孔隙水压力的上升,使其不能增长,从而使加固土层液化问题全部消除。

参考文献:

[1] 杜永清,冯红民,赵金龙.振冲碎石桩消除砂土地基液化效果的评价[J].西部探矿工程,2003,(2).



(1) 1.3 m 桩距

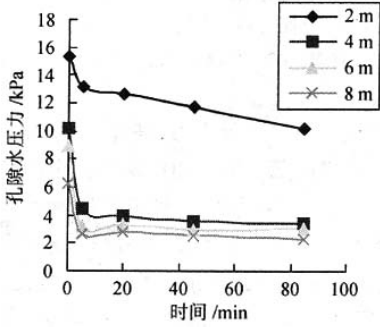


图 3 孔隙水压力随时间消散规律

[2] 钱让清,等.振冲碎石桩加固液化土地基的应用与分析[J].水文地质工程地质,2003,(3).

[3] 赵明华,等.碎石桩复合地基承载力分析[J].公路,2003,(1).

[4] 汪双杰,等.高速公路不良地基处理理论与方法[M].北京:人民交通出版社,2004.

Application of Dry-Vibro Gravel Piles to Liquefied Foundation Treatment

CHEN Kai-sheng

(Highway College of Chang'an University,Xi'an 710064,China)

Abstract: On the basis of field tests of the liquefied foundation reinforced with dry-vibro gravel piles of expressways, the theory of reinforcement with dry-vibro gravel piles and parameters of design and construction are discussed in this paper. The tests of physical and mechanical properties, standard penetration test, static sounding test,pore water pressure test and SASW test are taken before and after treatments. The results show that the treatment of liquefied foundation with gravel piles has many advantages. After treatment of dry-vibro gravel piles, the strength of soil is improved and the liquefaction potential reduced.

Key words: dry-vibro gravel pile; liquefied foundation; treatment