

文章编号: 1002-0268 (2004) 07-0045-03

徐宿高速公路挤密碎石桩 处理液化地基试验研究

朱志铎¹, 姜竹生², 刘松玉¹

(1. 东南大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210096; 2 江苏省高速公路建设指挥部, 江苏 南京 210004)

摘要: 本文详细介绍了徐宿高速公路挤密碎石桩处理液化地基试验段研究工作, 从地基处理前后桩间土物理力学性质试验、标准贯入试验、重型动力触探试验、瞬态瑞利波试验 (SASW)、静力触探试验等测试结果的对比分析, 经过碎石桩处理后该地区的液化势得到消除, 土体强度得到增强, 该试验研究工作对类似工程有一定的参考价值。
关键词: 碎石桩; 液化势; 标准贯入; 重型动力触探; 瞬态瑞利波 (SASW)
中图分类号: TU472 35 **文献标识码:** A

Test Research for Composite Foundation of Stone Columns of Xu-Su-Expressway

ZHU Zhi-duo¹, JIANG Zhu-sheng², LIU Sang-yu¹

(1 Institute of Geotechnical engineering, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China;
2 The Expressway Construction Directing Office of Jiangsu Province, Jiangsu Nanjing 210004, China)

Abstract: The test for the composite foundation of stone columns of Xu-Su-Expressway is described in details in this paper. The tests of physical and mechanical properties, standard penetration test, dynamic sounding test, static sounding test and SASW test are taken before and after the treatments. The results are compared and analyzed, which show that the liquid potential has been eradicated when the stone columns are used to treat the soil foundation in this area. The tests and results have a value of reference to the similar engineering work.
Key words: Stone column; Liquied potential; Standard penetration; Dynamic soundings; SASW

0 概况

徐宿高速公路沿线广泛分布废黄河泛滥沉积物, 为消除液化地基的液化势, 选取典型路段进行碎石桩处理试验, 以确定碎石桩加固效果及碎石桩设计与施工参数。针对徐宿高速公路穿越多个地貌单元、土层变化较大的特点, 选择分布在不同地质单元区内的 4 个试验段进行测试工作, 地貌特征为废黄河高漫滩区及废黄河低漫滩区, 各试验段主要特征见表 1。

1 试验设计参数及测试内容

碎石桩地基处理试验设计参数见表 1。碎石桩地

表 1 试验段主要特征表

桩号	碎石桩 桩长/m	碎石桩 桩间距/m	土层情况
K1+967 ~K2+002	8.5	2.0	表层以低液限粉土为主, 中部夹淤泥质土, 下部为低液限粉土。
K5+398 ~K5+448	12.0	1.5	上部以低液限粘土为主, 中部为低液限粉土, 下部为粉土质砂。
K15+257 ~K15+320	6.5	2.0	为低液限粉土, 中部为低限粘土, 下部为基岩。
K18+610 ~K17+635	10.5	1.5	上部为低液限粉土, 中部为低液限粘土, 下部为低液限粉土。

基处理试验测试内容为成桩前后的标准贯入试验、静力触探试验、瑞利波测试、常规土工试验、重型动力触探试验等。

收稿日期: 2003-05-23
作者简介: 朱志铎 (1963—), 男, 江苏兴化人, 副教授, 主要从事岩土工程的教学与科研工作。

2 沉管干振碎石桩施工工艺

(1) 采用 DZ40-60 系列走管式振动沉桩机，内置平底活页式，桩管直径一般应为 $\Phi 377\text{mm}$ 或 $\Phi 426\text{mm}$ ，并设有二次投料口，最大沉桩深度达 20m，锤重 $\geq 35\text{kN}$ ，激振力 $\geq 280\text{kN}$ ，配套发电机功率 $\geq 120\text{kW}$ 。

(2) 准备碎石，碎石级配为自然级配，最大粒径不超过 4cm，含泥量不大于 3%。挤密碎石桩施工前，必须进行成桩试验，桩数宜为 9~16 根。如发现质量不符合设计要求时，应调整桩间距、碎石用量、振动频率、留振时间、反插深度等参数。

(3) 施工顺序从四周边开始向中心进行，相邻两根桩必须跳跃间打；桩机就位，校正桩管垂直度应 $\leq 1.5\%$ ；校正桩管长度及投料口位置，使之符合设计桩长。

(4) 边振动边下沉至设计深度，每下沉 0.5m 留振 30s；稍提升桩管使桩尖打开。停止振动，灌料、直至灌满为止；启动拔管，拔管前留振 1min，以后边振动边拔管，拔管速度需均匀且每拔管 1m 留振 1min；根据单桩设计碎石用量确定第一次投料的成桩长度（约为 $\Phi 377\text{mm}$ 桩管长度的 50%， $\Phi 426\text{mm}$ 桩管长度的 64%），进行数次反插直至桩管内碎石全部投出；提升桩管，开启第二投料口并停止振动，进行第二次投料直至灌满；启动拔管，边振动边上拔，并进行数次反插，至管内碎石全部投出，反插深度应小于桩管长度的一半；提升桩管高于地面，停止振动，进行孔口投料（第三次投料）直至地表；启动反插，并及时进行孔口补料至该桩设计碎石桩用量全部投完止；孔口加压至前机架抬起，完成一根桩施工。

(5) 碎石灌入量按每延米不少于 0.224m^3 计算；提升和反插速度必须均匀；反插深度由深到浅，每根桩在保证桩长和碎石灌入量的前提下，总反插次数一般不得小于 12 次（ $\Phi 377\text{mm}$ ）或 9 次（ $\Phi 426\text{mm}$ ）。

3 处理效果测试分析

3.1 碎石桩地基处理前后桩间土物理力学性质试验

碎石桩地基处理前后桩间土物理力学性质试验结果见表 2。从试验结果可知：经挤密碎石桩处理后，总体上可液化土的含水量、孔隙比、压缩系数减小，而密度、强度增大，但部分软粘土的物理力学性质指标处理前后相差不大，这主要是由于软粘土强度增长缓慢及施工对土的扰动所引起的。

3.2 标准贯入试验测试结果分析

表 2 试验区地基处理前后土的主要物理力学参数

	天然含水量 $w/\%$		天然孔隙比 e		压缩模量 E_s/kPa		内聚力 c/kPa		内摩擦角 $\phi/^\circ$	
	前	后	前	后	前	后	前	后	前	后
低液限粉土	25.3	24.0	0.688	0.678	9.4	10.8	18	18	22	23
低液限粘土	33.9	30.9	1.020	0.894	4.3	5.7	22	40	10	13
低液限粉土	24.8	24.0	0.751	0.700	11.5	11.3	17	22	22	21

测试结果见表 3。由表 3 可知：

(1) 处理前后桩间土的标准贯入击数增长率在液化土层中有明显提高，原地基土以粉土、粉土质砂为主的层位，处理后其标准贯入击数均大于 8 击，反映出在此类土层中，碎石桩地基处理效果明显。

(2) 在以软粘性土为主的土层中，处理后标准贯入试验击数增加不明显。

表 3 地基处理前后桩间土标准贯入试验测试结果对比表

深度/m	处理前	处理后（龄期 15d）	增长率/%
1.15~1.45	3.0	9.7	223
2.65~2.95	6.5	8.3	28
4.15~4.45	4.0	4.7	18
5.65~5.95	2.2	3.2	45
7.15~7.45	2.8	14.0	400
8.65~8.95	3.6	6.7	86

3.3 重型动力触探试验

桩身质量检测采用重型动力触探试验，检测成果见表 4。

表 4 碎石桩桩身抽检成果表

总测点数	碎石桩桩身全长					
	≥ 5 击测点数	≥ 6 击测点数	≥ 7 击测点数	≥ 8 击测点数	≥ 9 击测点数	≥ 10 击测点数
752	724	706	685	671	665	648
达到预期目标值的百分比/%	96.3	93.9	91.1	89.2	88.4	86.2

对实测及统计资料分析可得以下几点认识：

(1) 随深度增加，碎石桩桩身密实性显著增大，该段碎石桩桩身上部密实度稍差，其重型动力触探击数 ≥ 5 击的百分比为 96.3%， ≥ 10 击的百分比为 86.2%。

(2) 碎石桩桩身的重型动力触探击数变化范围在 2~35 击之间，反映不同碎石桩或同一碎石桩的不同部位，其桩身密实度相差较大。

(3) 从桩身重型动力触探分层统计资料分析，其分层统计的变异系数大多为 0.2~0.3 左右，参数变异性属中等，说明在同一层位上桩身密实度有一定的差异。

3 4 瞬态瑞利波试验 (SASW)

瞬态瑞利波法 (SASW) 的测试结果见表 5。

表 5 碎石桩复合地基瞬态瑞利波法 (SASW) 测试结果

测试 孔号	AS1		AS2		AS3	
深度 /m	0.0~1.1	145.9	0.0~1.1	141.5	0.0~1.0	146.9
	1.1~1.8	185.1	1.1~1.8	173.8	1.0~1.8	167.6
	1.8~3.2	170.2	1.8~2.7	162.8	1.8~2.7	161.4
	3.2~4.7	193.1	2.7~4.1	180.9	2.7~3.9	179.3
	4.7~6.8	234.1	4.1~5.9	200.5	3.9~6.3	215.1
	6.8~9.2	267.0	5.9~7.6	245.6	6.3~8.3	271.3
	9.2~11.2	295.2	7.6~9.3	294.6	8.3~10.3	293.1
	11.2~13.5	323.6	9.3~12.7	311.0	10.3~12.6	321.6

从碎石桩复合地基的瞬态瑞利波测试数据分析,可得到以下几点认识:

(1) 在上部 3m 以上的土层中,测试层位的剪切波速一般小于 200m/s,这主要是由于土层上部处理不密实所引起的。

(2) 在 3m 以下的液化土层中,测试层位的剪切波速均大于 200m/s。

4 结论

(1) 在上述 4 个挤密碎石桩试验段,根据地基土层性质及结构采用相应的地基处理设计参数和施工工艺,消除了液化地基的液化势。淤泥质软土经碎石桩处理后,其土体强度增长不明显。

(2) 液化土经挤密碎石桩处理后,其物理力学性质总体上含水量、孔隙比、压缩系数减小,而强度增大。

(3) 试验段碎石桩桩身施工质量总体较好,但部分碎石桩桩身上部 1.0m 左右深度内的碎石处于松散状态,建议适当改进施工工艺或由后续工艺克服这一缺陷。

(4) 瞬态瑞利波试验 (SASW) 的测试结果表明,经碎石桩处理后,地基土的性质得到了改善,同时其测试结果与标准贯入试验的测试结果有较好的对比性。

(5) 地区性经验,采用标准贯入试验、瞬态瑞利波测试和重型动力触探试验等方法检测碎石桩复合地基的处理效果是可行的。

参考文献:

[1] 中华人民共和国交通部. 公路工程抗震设计规范 (JTJ004-89) [S]. 北京: 人民交通出版社, 1990.

[2] 中华人民共和国标准. 建筑抗震设计规范 (GBJ11-89) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.

[3] 《地基处理手册》编委会. 地基处理手册 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.

[4] 交通部第一公路勘察设计院. 徐宿高速公路工程地质详细勘察报告 [R]. 2000.

[5] 交通部第一公路勘察设计院. 徐宿高速公路两阶段施工图设计 [Z]. 2000.

[6] 东南大学. 高等级公路液化地基与桥梁地基抗震处理技术研究总报告 [R]. 1998.

[7] 东南大学. 连徐高速公路徐州段液化土与软土交互地基特殊地基处理研究报告 [R]. 1999.

[8] 东南大学. 徐宿高速公路特殊地基处理研究报告 [R]. 2001.

(上接第 44 页)

参考文献:

[1] 程良奎. 岩土锚固新技术 [M]. 北京: 人民交通出版社, 1998.

[2] 张治强, 张国, 等. 边坡预应力锚固结构的试验研究 [J]. 东北大学学报, 1999, 20 (5).

[3] 谢建清, 夏柏如. 节理岩体中锚索加固作用分析 [J]. 探矿工程, 1998, 3.

[4] 黄福德. 群锚加固机理研究 [M]. 电力部西北勘测设计研究院, 1995.

[5] 葛修润, 刘建武. 加锚节理面抗剪性能研究 [J]. 北京: 岩土工程学报, 1988, 10 (1): 8-19.