

文章编号: 1008-1542(2011)02-0187-05

强夯振动对复合地基水平冲击作用的模型试验研究

马卫华¹, 乔京生¹, 李娄山²

(1. 唐山学院土木工程系, 河北唐山 063000; 2. 河北联合大学建工学院, 河北唐山 063000)

摘要: 基于曹妃甸工业区的强夯工程实例, 利用模型试验台, 分别对 9 375.00, 4 687.50, 2 343.75, 1 000.00 kN·m 等 4 种夯击能及不同的夯击距离作用下强夯振动对 CFG 桩复合地基的水平冲击作用进行检测, 揭示了在强夯振动作用下桩身水平应力分布规律及群桩受力特性, 研究了夯击能和夯击距离的影响效果。

关键词: 强夯; 复合地基; 水平应力; 模型试验

中图分类号: TU43 文献标志码: A

Model test study on level impact of composite foundation influenced by dynamic compaction

MA Wei-hua¹, QIAO Jing-sheng¹, LI Lou-shan²

(1. Department of Civil Engineering, Tangshan College, Tangshan Hebei 063000, China; 2. Institute of Civil Engineering, Hebei United University, Tangshan Hebei 063000, China)

Abstract: Based on the compaction engineering examples in the Caofeidian industry zone and using model test, the paper studied the level impact of CFG piles composite foundation influenced by dynamic compaction of 9 375.00, 4 687.50, 2 343.75, 1 000.00 kN·m. The pile body stress distribution and pile stress characteristics are discussed in this paper.

Key words: dynamic compaction; composite foundation; level impact; model test

强夯法处理地基是 20 世纪 60 年代末 Menard 技术公司首先创立的^[1]。该方法将 80~400 kN 重锤从落距 6~40 m 处自由落下, 给地基以冲击和振动, 从而提高地基土的强度并降低其压缩性^[2]。中国强夯法常用来加固碎石、砂土、黏性土、杂填土、湿陷性黄土等各类地基土。由于具有设备简单、施工速度快、适用范围广、经济可行、效果显著等优点, 强夯法处理地基受到各国工程界的重视, 并得以迅速推广, 取得了较大的经济效益和社会效益^[3]。

强夯时所产生的巨大冲击波^[4]对场地附近的建(构)筑物有可能造成震害, 但在规范^[5]中基本上没有提到如何评价及预防强夯对邻近建筑物、构筑物的有害影响。目前国内外学者对强夯作用对周边建筑的影响开展了研究, 但对复合地基等地下结构的影响, 学术界和工程界研究甚少, 这使强夯法的使用受到很大限制。笔者利用自行研制的模型试验台, 研究了强夯对 CFG 桩复合地基力学性状的影响。

1 模型试验设计

模型试验几何相似比为 1/25, 模型台高 2 m, 长 4 m, 宽 3 m, 内填曹妃甸工程现场吹填砂, 采用 4 种夯

收稿日期: 2011-03-01; 责任编辑: 冯 民

作者简介: 马卫华(1978-), 男, 河北唐山人, 讲师, 硕士, 主要从事土木工程方面的教学与研究工作。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

击能(夯锤重 30 kg, 落距分别为 2, 1, 0.5, 0.2 m, 所得夯击能分别为 9 375. 00, 4 687. 50, 2 343. 75, 1 000. 00 kN·m), 以每种夯击能夯击 3 次。设 9 根 CFG 模型桩, 桩长 1 000 mm, 桩径 20 mm, 平面布置图见图 1。沿桩身贴压力传感器, 见图 2, 设备及测试元件见表 1。

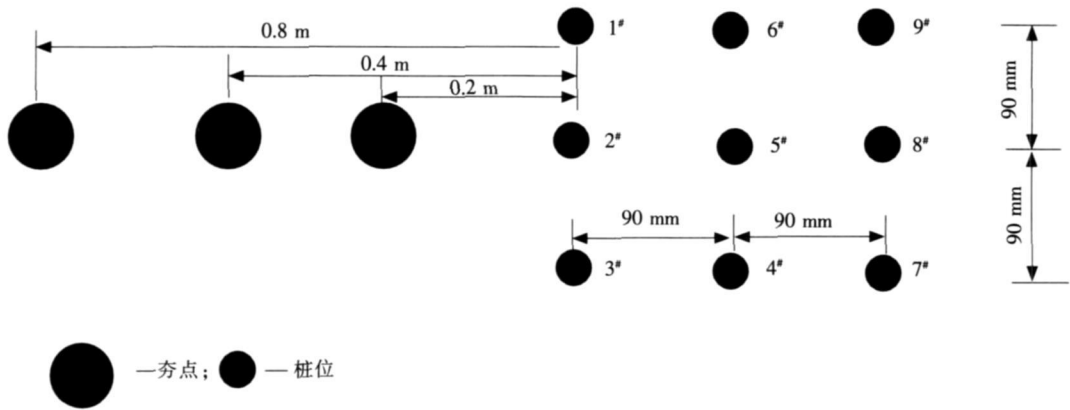


图 1 模型试验平面布置图

Fig. 1 Model test layout

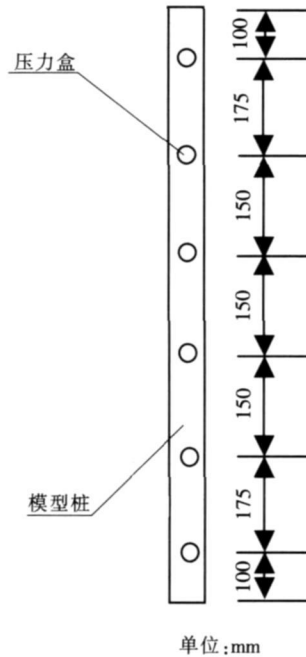


图 2 桩身传感器布置图

Fig. 2 Pile body sensor arrangement

表 1 设备及测试元件

Tab. 1 Equipment and testing devices

测试元件	规格	型号	技术参数	厂家
Strainbook	616			美国热电科技仪器公司
数据采集仪	SDA-810c			日本东京测器研究所
应变片	5 mm 3 mm	BX120-5AA	灵敏系数 2.08 1%	上海应变计厂
土压力传感器	17 mm 7 mm	BX-1	0~ 600 F S	丹东市电子仪器厂
单向加速度传感器	14 mm 20.5 mm	SG1701	160 Hz, 30.3 mV/g	秦皇岛市信恒电子科技有限公司
双向加速度传感器	14 mm 20 mm	SG2702	160 Hz, 26.5 mV/g	秦皇岛市信恒电子科技有限公司

2 强夯振动对 CFG 桩复合地基桩身水平冲击作用

强夯振动对复合地基的影响主要表现在对桩身的水平应力和垂直方向振动对桩产生的压应力^[6]。在本模型试验中主要研究强夯振动的水平冲击作用对 CFG 桩复合地基桩身水平应力的影响。

2.1 直接承受强夯影响的桩身受力分析

模型试验中设 9 根模型桩, 模型桩桩长 $L = 1 \text{ m}$, 其中 2[#] 桩属前排桩, 是最直接承受强夯作用的桩, 表 2- 表 6 展示了 2[#] 桩在不同夯击能影响下桩身应力分布。

表 2 距夯击点 5 m (模型试验中距离为 0.2 m) 时 2[#] 桩桩身土压力
Tab.2 Soil pressure on 2[#] pile, 5 m away from ramming hit point (the model is 0.2 m)

夯击能/(kN·m)	2 [#] 桩桩身土压力/kPa					
	距桩顶 0.1L	距桩顶 0.275L	距桩顶 0.425L	距桩顶 0.575L	距桩顶 0.725L	距桩顶 0.9L
1 000.00	65.235	42.413	27.206	18.851	20.226	13.205
2 343.75	104.609	68.625	35.158	12.471	18.636	14.147
4 687.50	135.203	94.746	43.100	29.635	15.171	15.718
9 375.00	175.123	126.749	80.237	43.709	31.189	19.603

表 3 距夯击点 7.5 m (模型试验中距离为 0.3 m) 时 2[#] 桩桩身土压力
Tab.3 Soil pressure on 2[#] pile, 7.5 m away from ramming hit point(the model is 0.3 m)

夯击能/(kN·m)	2 [#] 桩桩身土压力/kPa					
	距桩顶 0.1L	距桩顶 0.275L	距桩顶 0.425L	距桩顶 0.575L	距桩顶 0.725L	距桩顶 0.9L
1 000.00	25.350	16.386	10.535	7.024	6.245	5.076
2 343.75	46.741	27.889	14.354	19.029	4.386	5.744
4 687.50	56.702	40.328	18.065	12.184	11.144	6.370
9 375.00	72.415	56.445	32.054	17.207	12.447	7.608

表 4 距夯击点 10 m (模型试验中距离为 0.4 m) 时 2[#] 桩桩身土压力
Tab.4 Soil pressure on 2[#] pile, 10 m away from ramming hit point(the model is 0.4 m)

夯击能/(kN·m)	2 [#] 桩桩身土压力/kPa					
	距桩顶 0.1L	距桩顶 0.275L	距桩顶 0.425L	距桩顶 0.575L	距桩顶 0.725L	距桩顶 0.9L
1 000.00	13.651	8.825	5.678	3.788	3.367	2.735
2 343.75	26.221	15.646	8.056	15.061	2.145	3.227
4 687.50	33.753	24.741	18.758	16.258	4.256	3.756
9 375.00	47.259	34.029	21.645	11.617	3.376	5.137

表 5 距夯击点 15 m (模型试验中距离为 0.6 m) 时 2[#] 桩桩身土压力
Tab.5 Soil pressure on 2[#] pile, 15 m away from ramming hit point(the model is 0.6 m)

夯击能/(kN·m)	2 [#] 桩桩身土压力/kPa					
	距桩顶 0.1L	距桩顶 0.275L	距桩顶 0.425L	距桩顶 0.575L	距桩顶 0.725L	距桩顶 0.9L
1 000.00	7.569	4.635	3.488	1.688	1.485	0.939
2 343.75	16.789	10.626	5.266	4.478	3.126	1.027
4 687.50	18.796	14.645	7.968	6.753	2.606	1.554
9 375.00	29.368	14.009	9.995	5.938	3.987	2.112

表 6 距夯击点 20 m (模型试验中距离为 0.8 m) 时 2[#] 桩桩身土压力
Tab.6 Soil pressure on 2[#] pile, 20 m away from ramming hit point(the model is 0.8 m)

夯击能/(kN·m)	2 [#] 桩桩身土压力/kPa					
	距桩顶 0.1L	距桩顶 0.275L	距桩顶 0.425L	距桩顶 0.575L	距桩顶 0.725L	距桩顶 0.9L
1 000.00	5.236	3.547	1.738	1.392	0.437	0.255
2 343.75	9.347	4.034	1.847	1.058	0.279	0.420
4 687.50	12.489	9.216	5.839	2.114	1.553	0.988
9 375.00	16.346	12.424	6.814	3.510	0.439	0.868

由表 2 表 6 数据可知, 强夯振动下通过土体对桩产生水平压力, 此水平压力沿桩身快速减小, 应力最大值主要分布在桩上部, 1/5~ 1/4 桩长范围内, 而桩底部分所受水平压力很小。夯击距离为 10 m 时, 桩底应力只占最大应力的 10%~ 20%, 所以桩上部受振动影响最大。

将试验中不同夯击距离及夯击能对应的桩身最大水平应力进行比对, 见表 7。

表 7 不同夯击距离及夯击能下桩身最大水平应力

Tab. 7 Maximum horizontal stress of pile body with different ramming distance and ramming energy

夯击距离/m	桩身最大水平应力/kPa			
	夯击能为 1 000.00 kN·m	夯击能为 2 343.75 kN·m	夯击能为 4 687.50 kN·m	夯击能为 9 375.00 kN·m
5.0	65.235	104.609	135.203	175.123
7.5	25.350	46.741	56.702	72.415
10.0	13.651	26.221	33.753	47.259
15.0	7.569	16.789	18.796	29.368
20.0	5.236	9.347	12.489	16.346

由表 7 可知, 随着夯击距离的增大, 桩身水平应力迅速衰减, 以 1 000.00 kN·m 夯击能为例, 10 m 夯距时水平压力占最大值的 21%, 20 m 时水平压力占最大值的 8%。

过大的水平压力, 会导致 CFG 桩上部发生裂缝甚至断裂, 因此在复合地基周边近距离进行强夯施工时, 对桩的上部结构必须采取相应的减振措施。

2.2 不同位置的桩受力分析

受力分析见表 8 和表 9。

表 8 距夯击点 5 m(模型试验中距离 0.2 m)时 5# 桩桩身土压力

Tab. 8 Soil pressure on 5# pile, 5 m away from ramming hit point(the model is 0.2 m)

夯击能/(kN·m)	5# 桩桩身土压力/kPa					
	距桩顶 0.1L	距桩顶 0.275L	距桩顶 0.425L	距桩顶 0.575L	距桩顶 0.725L	距桩顶 0.9L
1 000.00	14.957	9.663	6.218	4.146	3.683	2.993
2 343.75	25.940	14.285	7.357	4.626	3.786	2.945
4 687.50	35.743	27.122	9.466	6.389	3.748	3.309
9 375.00	53.752	36.552	20.758	10.753	7.756	4.756

表 9 距夯击点 5 m(模型试验中距离 0.2 m)时 8# 桩桩身土压力

Tab. 9 Soil pressure on 8# pile, 5 m away from ramming hit point(the model is 0.2 m)

夯击能/(kN·m)	8# 桩桩身土压力/kPa					
	距桩顶 0.1L	距桩顶 0.275L	距桩顶 0.425L	距桩顶 0.575L	距桩顶 0.725L	距桩顶 0.9L
1 000.00	8.125	5.258	3.375	2.253	2.456	1.625
2 343.75	18.390	9.186	4.725	2.975	2.437	1.892
4 687.50	24.908	13.448	6.021	4.067	2.385	2.109
9 375.00	35.252	22.956	12.037	6.458	4.653	2.857

由表 8、表 9 及图 3 可见, 不同桩位水平应力发生快速衰减, 1 000 kN·m 时, 5# 桩、8# 桩分别比 2# 桩桩身最大应力下降了 78%, 88%, 桩对水平压力的阻挡作用非常明显。其随着夯击能的增大, 桩的阻挡能力减弱, 对于 5# 桩, $E = 1 000.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 时下降 78%, $E = 2 343.75 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 时下降 75%, $E = 4 687.50 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 时下降 73%, $E = 9 375.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$ 时下降 70%, 见表 10。

由表 10 可知, 由于竖直桩的存在, 对强夯振动引起的水平应力有较好的阻挡作用, 但阻挡效果不及减振沟。

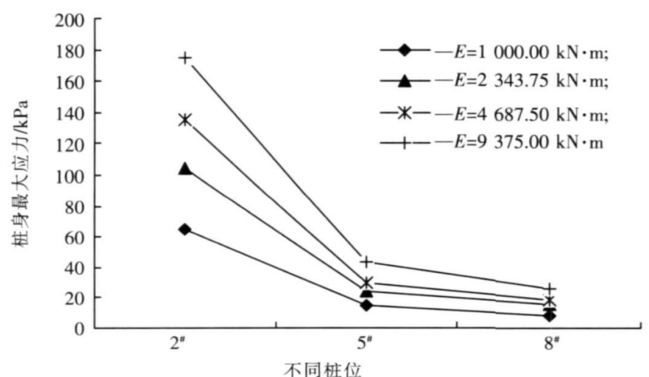


图 3 不同桩位桩身最大水平应力衰减情况

Fig. 3 Maximum horizontal stress of different piles

表 10 桩对压力的阻挡与自然地面相比较
Tab. 10 Pile resistance to stress compared with natural ground

夯击能/ kN m	不同桩位及距夯点距离的水平应力及衰减幅度			自然地面不同位置(距夯点距离)的水平应力及衰减幅度		
	2# 桩 5 m	5# 桩 7.25 m	8# 桩 9.5 m	5 m	7.25 m	9.5 m
1 000.00	65.23 kPa	14.957 kPa 衰减 87.5%	8.125 kPa 衰减 87.5%	30.198 kPa	18.345 kPa 衰减 39.3%	9.569 kPa 衰减 68.3%
2 343.75	104.63 kPa	25.94 kPa 衰减 75.2%	18.19 kPa 衰减 82.6%	48.303 kPa	26.985 kPa 衰减 44.5%	18.31 kPa 衰减 62.1%
4 687.50	135.203 kPa	35.74 kPa 衰减 73.5%	24.908 kPa 衰减 81.5%	60.794 kPa	34.642 kPa 衰减 43.0%	19.903 kPa 衰减 67.3%
9 375.00	175.123 kPa	53.75 kPa 衰减 69.3%	35.25 kPa 衰减 79.8%	75.459 kPa	39.306 kPa 衰减 47.8%	22.879 kPa 衰减 69.6%

3 结 语

通过模型试验,研究了不同夯击能下强夯振动对 CFG 桩复合地基的水平冲击作用,揭示了强夯振动的作用:

- 1) CFG 桩复合地基桩身水平应力最大值主要分布在桩上部 1/5~ 1/4 桩长范围内,工程上可针对此范围采取必要的减振措施;
- 2) CFG 桩复合地基群桩在受强夯振动时,边桩对水平冲击有较好的阻挡作用,但阻挡效果不及减振沟,不可忽视强夯对中心桩的破坏作用。

参考文献:

[1] 黄 瑛. 强夯对周围已建建筑物的影响[J]. 中国港湾建设(China Harbour Construction), 2007(3): 24-26.
 [2] 刘振国, 吕淑然, 杨 军. 强夯振动效应研究[J]. 安全与环境学报(Journal of Safety and Environment), 2003(6): 14-17.
 [3] 蔡袁强, 王大力, 徐长节, 等. 强夯加固机理及环境影响的数值分析[J]. 岩土力学(Rock and Soil Mechanics), 2005(5): 159-162.
 [4] 靳国礼, 金 刚, 任正为, 等. 强夯施工对周围环境振动影响分析及施工方案优化[J]. 施工技术(Construction Technology), 2010(6): 75-78.
 [5] YSJ 209 1991, YBJ 45 1992, 强夯地基技术规程[S].
 [6] 方 磊, 经 纬, 刘松玉. 强夯振动影响与构筑物安全距离研究[J]. 东南大学学报(自然科学版)(Journal of Southeast University (Natural Science Edition)), 2001, 31(3): 29-32.
 [7] 赵全胜, 张春会. 改进 Duncan-Chang 模型及其在基坑开挖数值模拟中的应用[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2009, 30(2): 146-151.

(上接第 176 页)

[8] 高松福, 毛卫民, 白月龙. 半固态 A356 合金的流变压铸充填性与组织分布[J]. 特种铸造及有色合金(Special Casting and Nonferrous Alloys), 2005, 25(10): 598-600.
 [9] 杨柳青, 康永林, 张 帆. A357 铝合金半固态流变压铸成形组织工艺研究[J]. 材料工程(Journal of Materials Engineering), 2009(6): 64-66.
 [10] 谭建波, 李志勇, 王英杰. 倾斜冷却剪切流变参数对半固态 AlSi9Mg 合金组织的影响[J]. 中国有色金属学报(The Chinese Journal of Nonferrous Metals), 2009, 19(4): 607-612.
 [11] 谭建波, 李 迅, 李立新, 等. 半固态金属成形技术的发展及应用现状[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2003, 24(4): 24-28.
 [12] 谭建波, 李增民, 李立新, 等. 浇注长度对流变压铸 AlSi9Mg 组织及性能的影响[J]. 河北科技大学学报(Journal of Hebei University of Science and Technology), 2010, 31(6): 568-571.