

文章编号: 1001-1986(2006)03-0058-04

# 缓解深厚软基桥头跳车两种方法的现场试验

金小荣<sup>1</sup>, 俞建霖<sup>1</sup>, 龚晓南<sup>1</sup>, 朱建才<sup>2</sup>

(1. 浙江大学岩土工程研究所, 浙江 杭州 310027;

2. 浙江大学建筑设计研究院, 浙江 杭州 310012)

**摘要:** 分别采用真空联合堆载和低强度混凝土桩复合地基处理深厚软基, 成功解决了桥头段软基处理中的桥头跳车问题。介绍了两种软基处理方法的地基承载力、沉降和分层沉降等现场测试成果, 并对两种处理方法的加固效果和相关经济指标进行了比较分析。

**关键词:** 深厚软基; 桥头跳车; 真空联合堆载; 低强度混凝土桩

**中图分类号:** TU472 **文献标识码:** A

## Field test of two methods for alleviating bridge-head jumping at deep soft foundation

JIN Xiao-rong<sup>1</sup>, YU Jian-lin<sup>1</sup>, GONG Xiao-nan<sup>1</sup>, ZHU Jian-cai<sup>2</sup>

(1. Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Architectural Design and Research Institute of Zhejiang University, Hangzhou 310012, China)

**Abstract:** To alleviate the problem of vehicles jumping at bridge approaches, vacuum-surchage preloading and low strength concrete pile (LSCP) composite foundation are used to improve deep soft soil under the highway in Taizhou, Zhejiang Province. The field test results such as bearing capacity, settlement and deep settlement are presented. The performance and some economic index are compared and analyzed in detail.

**Key words:** deep soft foundation; bridge-head jump; vacuum-surchage; LSCP

## 1 引言

在深厚软基上修筑高等级公路时, 由于桥头段软基在荷载作用下会产生较大沉降, 而桥台通常桩基础沉降甚小, 因此在桥头连接部分容易发生较大的不均匀沉降, 由此产生桥头跳车<sup>[1]</sup>。消除桥头段差异沉降的主要方法是设置桥头过渡段, 目前主要采用堆载预压排水固结法和水泥搅拌桩复合地基法<sup>[2-3]</sup>。前者较经济, 但工期长, 工后沉降较大; 后者工期短, 工后沉降和不均匀沉降较小, 但处理费用较高, 且施工质量很难控制, 同时其处理的深度有限(一般在 10~15 m)。当路基填土较高和软基深厚时, 两种方法都存在一些问题。针对常用处理方法的不足, 浹里陈大桥两侧桥头段分别采用了真空联合堆载预压技术和低强度混凝土桩(LSCP)复合地基技术处理和现场试验研究。真空联合堆载预压是在堆载预压和真空预压基础上发展起来的, 综合了两者的优点, 工期短, 经济且质量可控制。LSCP 沉桩快, 工期短, 工后沉降和不均匀沉降较小, 地基处

理深度较大, LSCP 桩身强度较水泥搅拌桩高, 单桩承载力和桩身模量大, 因而置换率小于水泥搅拌桩复合地基。

以往对同一种方法加固深厚软基的性状研究得较多, 而对不同处理方法对相同深厚软基处理的比较试验研究则较少<sup>[4-5]</sup>。本文以浹里陈大桥软基处理工程实例为基础, 分别介绍了缓解桥头跳车现象的过渡段软土地基处理的两种设计方法, 并对软基处理效果和相关经济指标进行了对比分析。

## 2 工程概况

路桥至泽国一级公路起点为台州路桥区松塘大转盘, 同 104 国道复线相连, 终点为温岭市泽国镇下洪洋村, 与 76 省道泽国至太平复线一级公路起点连接。全线共涉及中小桥 11 座, 大桥 1 座, 立交桥 1 座。路线按一级公路工程技术标准进行设计, 全线桥梁采用钻孔灌注桩基础。在浹里陈大桥桥头段进行软基处理试验研究, 其中 K0+361~K0+433 段采用 C15 低强度混凝土桩复合地基处理, K0+657~K0+

收稿日期: 2005-12-20

作者简介: 金小荣(1977-), 男, 浙江萧山人, 浙江大学博士研究生, 主要从事基坑和地基处理研究工作。

表 1 地基土物理力学性质指标

Table 1 Physical and mechanical properties of foundation soils

编号	名称	层厚 /m	含水量 /%	密度 / $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	孔隙比	饱和度 /%	压缩系数 / $\text{MPa}^{-1}$
① <sub>1</sub>	粘土、亚粘土	1.60	31.4	1.90	0.901	96	0.43
① <sub>2</sub>	淤泥质粘土	1.70	44.7	1.76	1.258	98	0.95
② <sub>1</sub>	淤泥	12.5	59.3	1.65	1.664	98	1.79
③ <sub>1</sub>	粘土、亚粘土	2.50	31.4	1.93	0.864	99	0.33
③ <sub>2</sub>	淤泥质粘土	6.00	35.9	1.86	1.006	98	0.53
④ <sub>2</sub>	亚、淤积粘土	10.0	36.1	1.86	1.005	98	0.50
⑤ <sub>3</sub>	亚粘土、粘土	10.9	36.1	1.86	0.999	99	0.46

729 段采用真空堆载预压联合法处理。大桥两侧土层的物理力学性质指标见表 1。勘测资料表明大桥两侧地下水位埋深在 0.15~1.06 m 之间。

3 真空联合堆载预压设计方法<sup>[6]</sup>

3.1 设计参数

真空联合堆载预压区塑排板采用 SPB-IB 型(厚度 4.5 mm, 宽度 100 mm), 塑排打设深度为 21 m, 间距 1.2 m, 平面呈梅花型分布, 采用静压打设方式。铺设厚 50 cm 的砂垫层, 滤管和主管的管材选用 PVC 管, 主管不小于 80 cm, 滤管不小于 50 cm。联接采用软胶管, 以适应真空预压的差异沉降。滤管的间距为 6 m, 主管的间距为 15 m。膜下真空度要求不低于 85 kPa, 真空加固面积约为 3 300 m<sup>2</sup>, 按 800 m<sup>2</sup>/台布置真空泵, 共布置 6 台, 其中 2 台备用。铺设两层 PVC 土工膜, 每层厚度为 0.14 mm。膜上覆水 70 cm, 真空预压一个月后, 放干膜上覆水, 保持抽真空状态, 进行路基填筑。真空联合堆载至满足停泵要求。

3.2 现场试验布置

如图 1 所示, 在加固区内共埋设了 9 个沉降板, 加固区外埋设了 22 个沉降板。共埋设 5 根分层管(FC1~FC5), 长度均为 26 m, 磁环沿深度方向每隔 2 m 布置一个。现场共布置 6 根测斜管(CX1~CX6), CX1~CX3 与 CX4~CX6 为对称分布于加固区的两侧, 测斜管深 30 m。另外试验段还埋设 7 根水位管和 3 组孔压计(图中没有给出)。

4 低强度混凝土桩设计方法<sup>[7-8]</sup>

4.1 设计参数

低强度桩是指复合地基中的低强度混凝土竖向增强体, 常用水泥、石子及其他掺合料(如砂、粉煤灰、石灰等)制成, 强度一般为 5~15 MPa。本试验段采用了不改变置换率、只改变桩长的方式, 在处理范

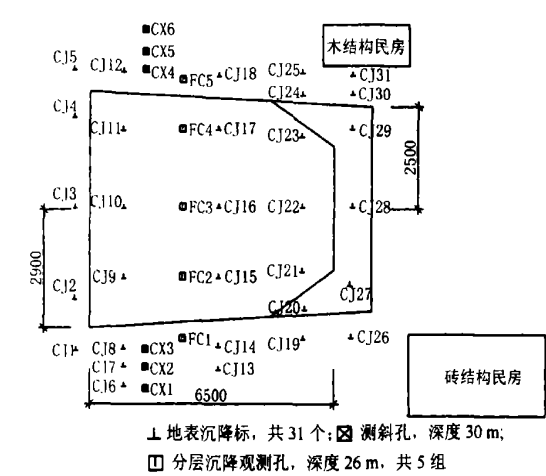


图 1 真空联合堆载预压平面图  
Fig.1 Plan of vacuum-surge preloading

围内所有桩距为 1.8 m, 桩径为 377 mm, 正方形布置, 置换率为 3.4%, 桩长由 9.2 m 渐变为 18 m。低强度混凝土桩的成桩采用振动沉管法, 混凝土配合比为: 水泥 140 kg/m<sup>3</sup>, 粉煤灰 120 kg/m<sup>3</sup>, 石灰 25 kg/m<sup>3</sup>, 含砂率在 38%~40% 之间。碎石最大粒径不超过 8 cm, 坍落度控制在 12~15 cm 之间。

4.2 现场试验布置

现场测试仪器配置如下: 土压力盒、孔隙水压力计、深层沉降管及磁环、测斜仪及测斜管、沉降盘及标杆、水准仪、载荷试验设备等。埋设测试元件在成桩后填土前定位、埋设好, 并取得初值, 其中土压力计、孔隙水压力计在埋设前, 经过事先标定、校验。各测试项目平面布置详见图 2。

5 深厚软基桥头段加固效果比较

5.1 地基承载力对比分析

图 3 为真空联合堆载预压前后地基土十字板强度变化图。由图 3 可知, 在加固区范围内土体的抗剪强度有较大幅度提高。在下卧层土体强度没有增加反而减少, 是由于试验土层位置不同所致。姜炎提出可由现场十字板剪切试验来推算加固区地层承载力, 具体估算办法详见文献[9]。本试验段加固前的地基承载力估算值为 60 kPa, 加固后的地基承载力估算值为 112 kPa。LSCP 复合地基承载力采用现场载荷板试验, 各种情况地基承载力见表 2。

表 2 现场承载力试验一览表 kPa

Table 2 Bearing capacity of soils by field tests

LSCP 复合地基载荷板试验				真空联合堆载十字试验	
天然地基	桩间土	LSCP 复合地基			加固后土体
		12 m	15.2 m	18 m	
47.5	34.3	73.0	75.0	114.5	112.0

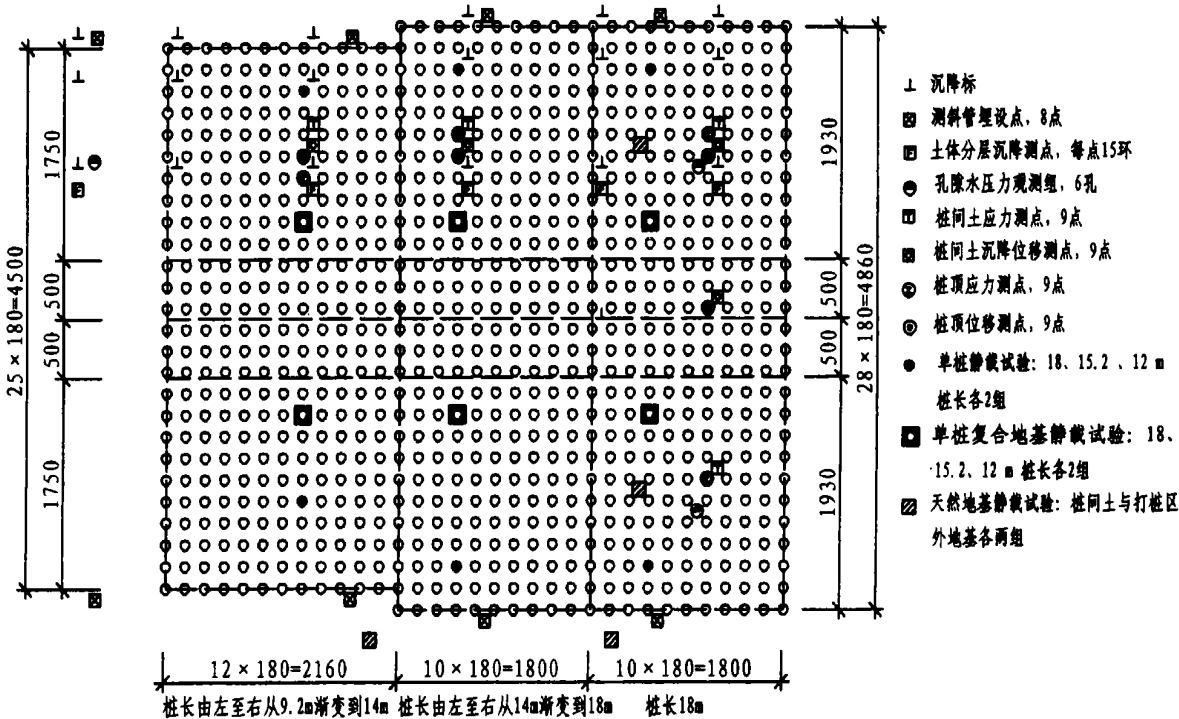


图 2 低强度混凝土桩软基处理平面图

Fig.2 Plan of low strength concrete piles treatment

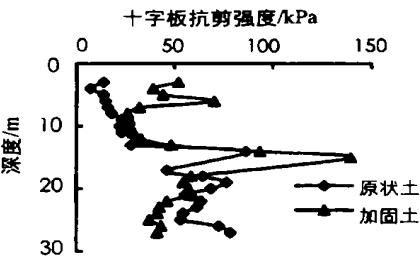


图 3 真空联合堆载预压前后十字板强度变化图

Fig.3 Vane strength before and after soil improvement

由表 2 可知,由于桩间土受一定扰动,其承载力要小于天然地基承载力。现场十字板估算原状土承载力与载荷板天然地基承载力基本相同。LSCP 复合地基随着桩长增加,承载力有所增加。复合地基最大承载力是天然地基的 2.4 倍;真空联合堆载预压地基承载力是原状土地基的 1.9 倍,两种处理方法都大大提高了地基承载力,加固效果十分明显。

5.2 沉降和工后沉降对比分析

由图 4、图 5 可知,工程后期沉降都开始趋于稳定,真空卸载后地基有一定反弹变形;LSCP 复合地基沉降较小,沉降量约是真空联合堆载预压法沉降量的 5%。由表 3 可知,真空联合堆载预压后地基的平均固结度约为 86%。加固区中心点(CJ16)的工后沉降为 51 mm(<100 mm),满足桥头段工后沉降要求。与真空联合堆载预压法相比,LSCP 复合地基

表 3 两种处理方法沉降比较 mm

Table 3 Comparison of settlement by two treatment methods

	测点	实测值	计算值			推算值
			总沉降量	最终沉降	工后沉降	
真空联合堆载	CJ9	1 601	1 789	188	1 805	87
	CJ10	1 672	1 789	117	1 903	88
	CJ11	1 410	1 789	379	1 639	86
	CJ16	1 738	1 789	51	2 107	82
LSCP	测点	实测值		推算值		
		总沉降量	加固区压缩量	下卧层沉降量	最终沉降	工后沉降
	WS2	95	73	22	101	6
	WS4	88	65	23	92	4

总沉降量和工后沉降都很小,后者的最大推算工后沉降约为前者的 12%。

5.3 深层沉降对比分析

图 6、图 7 依次为两种软基处理方法分层沉降变化图。由图 6 可知,地基土体的主要压缩量发生

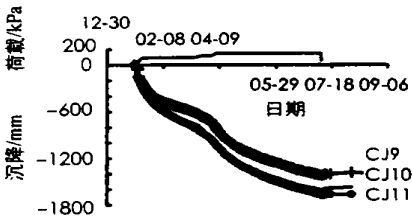


图 4 真空联合堆载预压沉降变化图

Fig.4 Variation of settlement of vacuum-surge preloading

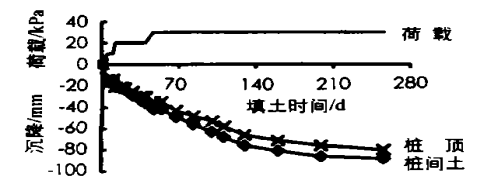


图5 LSCP 桩复合地基沉降变化图

Fig.5 Variation of settlement of LSCP composite foundation

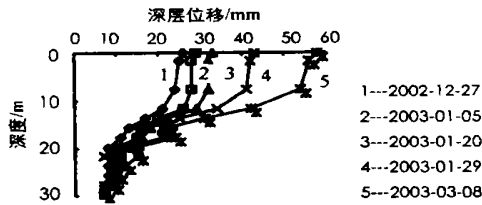


图6 LSCP 深层沉降图

Fig.6 Deep settlement of LSCP treatment

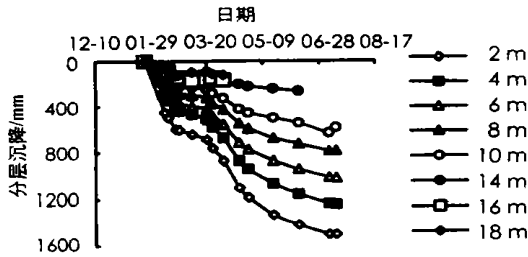


图7 真空联合堆载深层沉降图

Fig.7 Deep settlement of vacuum surcharge preloading

在 12~20 m 之间的土层内,即压缩量主要发生在加固区底面上下 4 m 范围之内(该处桩长约为 16 m)。由图 7 可知,2~14 m 处淤泥层压缩量最大,约占总沉降量的 70%,加固区下的淤泥质粘土尚有一定的压缩量。由此可知,两种处理方法的土体主要沉降量位置有较大差别。

5.4 加固经济指标比较分析

由表 4 可知,堆载预压单价最低,但施工工期最长。复合地基处理单价最高,但工期最短。真空联合堆载预压法单价比复合地基低,与堆载预压法相比,虽造价要高,但可大大减少施工工期,具有较好经济效益。与水泥搅拌桩复合地基相比,LSCP 施工速度快、工期短,且施工方法简单、直观,施工质量易保证,所形成的复合地基承载力高,安全度高,有效处理深度可达 20~25m,适用于各类土

表 4 4 种软基处理方法经济指标比较

Table 4 Comparison of economic index by four treatments methods

处理方法	处理单价/元·m <sup>-2</sup>	工期/d
真空联合堆载	150	170
堆载预压	80	360
LSCP 复合地基	310	120
水泥搅拌桩复合地基	410	120

层。同时 LSCP 桩身混凝土强度比水泥搅拌桩高得多,桩身模量大,因而置换率远小于水泥搅拌桩复合地基,由此带来的经济效益好于水泥搅拌桩复合地基。

6 结语

a. 现场承载力试验表明:复合地基最大承载力是天然地基的 2.4 倍,真空联合堆载预压地基承载力是原状土地基的 1.9 倍。用十字板剪切试验估算所得天然地基承载力与载荷板承载力试验值比较接近。

b. 两类处理方法的后期土体沉降都趋于稳定,LSCP 复合地基沉降较小,沉降量约是真空联合堆载预压法沉降量的 5%。与真空联合堆载预压法相比,LSCP 复合地基总沉降量和工后沉降都很小,后者的最大推算工后沉降约为前者的 12%,两者都完全满足桥头段工后沉降要求。

c. 现场深层沉降观测表明:LSCP 复合地基压缩量主要发生在加固区底面上下 4 m 范围之内;真空联合堆载预压法地基沉降主要产生在 2~14 m 处淤泥层,两者主要沉降量发生位置是截然不同的。

d. 真空联合堆载预压法与堆载预压法相比,虽造价要高,但可大大减少施工工期,具有较好的经济效益。与水泥搅拌桩复合地基相比,LSCP 复合地基施工速度快、工期短,且其置换率远小于水泥搅拌桩复合地基,由此带来的经济效益好于水泥搅拌桩复合地基。

参考文献

[1] 旷开萃,黄宏伟.高等级公路桥头跳车的综合分析和防治[J].华东公路,2001,132(5):77-81.

[2] 彦明礼,张东刚.CFG 桩复合地基技术及工程实践[M].北京:中国水利水电出版社,2001.

[3] 龚晓南.地基处理新技术[M].西安:陕西科学技术出版社,1997.

[4] 崖岗,黄嘉福.真空联合堆载预压和超载预压法加固软基[J].公路,2004,(8):205-208.

[5] 汪中卫,宰金璋.真空井点降水联合等载预压在桥坡路基加固中的对比试验研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(15):2579-2584.

[6] 朱建才.真空联合堆载预压加固软基机理及工艺研究[D].杭州:浙江大学,2004.

[7] 李海芳.路堤荷载下复合地基沉降计算方法研究[D].杭州:浙江大学,2004.

[8] 刘恒新.低强度桩复合地基加固桥头软基试验研究[D].杭州:浙江大学,2004.

[9] 姜炎.真空排水预压法加固软土技术[M].北京:人民交通出版社,2002.