

文章编号: 1000-7598-(2008)04-1093-05

真空预压的环境效应及其防治方法的试验研究

金小荣^{1,2}, 俞建霖², 龚晓南²

(1. 浙江大学 建筑设计研究院 岩土工程分院, 杭州 310012; 2. 浙江大学 岩土工程研究所, 杭州 310027)

摘 要: 真空预压极有可能引发相邻建(构)筑物倾斜、开裂、地下管线变形等环境效应。从加固区外地下水位、侧向变形和地表沉降变化看, 真空联合堆载预压试验的影响区为地基处理边线外 12.5 m。分别研究了采用水泥搅拌桩隔离、开挖应力释放沟和采用树根桩托换技术三类防治方法对减小周围土体变形的作用。现场测试结果表明: 土体向内侧向变形主要发生在地表下 6 m; 水泥搅拌桩外侧最大土体水平位移仅为内侧的 1/3, 堆载后外侧位移远小于内侧位移; 应力释放沟内侧最大水平位移仅为搅拌桩内侧水平位移的 3/10, 外侧最大水平位移仅为搅拌桩外侧位移的 3/8。试验中真空预压阶段对于减小侧向变形而言, 应力释放沟的作用要优于水泥搅拌桩, 而堆载后应力释放沟深部土体向外挤出较为明显; 树根桩托换后的铁塔基础在抽真空过程中沉降很小。

关 键 词: 真空预压; 环境效应; 防治方法; 应力释放沟

中图分类号: TU 472

文献标识码: A

Study on environmental effect induced by vacuum preloading and its control method

JIN Xiao-rong¹, YU Jian-lin², GONG Xiao-nan²

(1. Architectural Design and Research Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310012, China;

2. Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Vacuum preloading may endanger the surrounding buildings and buried pipes. From the variation of water table, lateral displacement and settlement out of the reinforcing area, the influence range of vacuum-surge preloading is 12.5 m outside the edge of treated area. To reduce the deformation of surrounding soil, three different control methods such as cement mixed piles wall, stress release trench and underpinned root piles are studied experimentally. Inward lateral displacements chiefly occur at 6 m below the ground. The maximum lateral displacements outside the cement mixed piles wall are 1/3 of the inside one and after loading the outside deformation is far less than the inside one. The maximum lateral displacements inside the stress release trench are 3/10 of those inside the piles; and the maximum lateral displacements outside the trench are 3/8 of those outside the piles. As far as reducing the lateral displacements at vacuum preloading stage in this experiment, the stress release trench is much better than the cement mixed piles wall; but at the vacuum-surge preloading stage, outward displacement of the deep subsoil near the trench is much more obvious. The settlement of underpinned foundation of iron tower by root piles is very small.

Key words: vacuum preloading; environmental effect; control method; stress release trench

1 引 言

真空排水预压法具有不需要堆载材料、无噪音、易施工、工期相对较短的优点。从堆载预压和真空预压发展起来的真空联合堆载预压法是一种较为有效的软基处理方法^[1], 该法工期短、工后沉降和不均匀沉降较小。真空预压时, 加固区土体在等向固结压力作用下土体侧向位移始终朝向加固区内

部, 有利于土体稳定, 而周围土体由于产生收缩变形而开裂。随着时间的增加, 裂缝逐渐变大、加深。江苏某工程由于真空预压致使加固区旁已施工好的灌注桩向加固区倾斜超过 10 cm^[2], 甬台温高速公路真空预压过程中, 曾出现周围民房开裂^[3]。另外, 真空预压时加固区外的地下水位有所下降, 已有报道膜外水位最大下降值在 2.0 m 左右^[4]。真空预压有可能导致临近建筑物的倾斜开裂或结构破坏、地

收稿日期: 2006-07-04

作者简介: 金小荣, 男, 1977 年生, 博士, 主要从事地基处理工程和基坑工程方面的研究 E-mail: jxr27@163.com

下管线变形开裂引起爆管或附近道路沉陷开裂等。以往对真空预压过程中的加固区土体性状研究的较多,而对真空预压引起的环境效应研究较少,对如何防治周围环境不利影响的研究则更少。

对于真空预压引起的周围环境问题的研究,一些学者从理论及实测方面作了探讨^[5-8]。本文结合 220 kV 港湾变电所软基处理现场试验研究,主要对真空联合堆载预压加固软基的环境效应进行初步分析,同时研究了采用水泥搅拌桩隔离、开挖应力释放沟和采用树根桩托换技术对减小周围土体变形的作用,得到若干有益结论以供工程界同行参考。

2 工程概况

港湾变电所软基处理面积约为 26 000 m²,变电所所址西侧为一村庄,北面和南面为低山,紧邻南面山坡坡度为 15°~25°。场地原为文旦树地、水田和养殖塘,所址东北面有一宽 25 m 左右的长条形养殖场,所址区内有一条 110 kV 线路、一条 35 kV 线路及两条通信线通过。本工程软基平均厚度在 10 m 左右,软土层厚度靠西南面山坡较小,其下为 4 层含承压水的圆砾层,场地部分区域存在③-1 夹砂层且靠南面山体处较明显,呈透镜体状分布。为防止真空预压对周围砖结构厂房的不利影响,在场地西北角设置 3 排水泥搅拌桩(隔离桩),场地西侧和南侧设置一排水泥搅拌桩阻止夹砂层与外界连通。为防止承压水贯通,打设塑排板采用撕膜与非撕膜施工工艺,塑排板间距为 1.2 m,平面呈梅花型分布。

地基处理影响范围内的土层自上而下依次为:

① 耕土层,土层厚度为 0.5~0.6 m; ② 粉质黏土层,土层厚度为 0.5~1.7 m; ③ 淤泥层,土层厚度为 3.9~10.8 m; ③-1 黏土夹砂层,该层分布于场地大部分孔位,为③的淤泥夹层,土层厚度为 1.1~0.5 m,呈透镜状体分布; ④ 圆砾层,土层厚度为 2.0~7.3 m; ⑤ 黏土层,土层厚度为 1.9~9.4 m; ⑥ 晶屑凝灰熔岩。场地浅部地下水类型为潜水,地下水位随季节变化较大,所区地下潜水位埋深一般为 0.8~1.2 m 左右,经调查常年地下潜水位埋深为 0.5 m 左右。据勘测调查,圆砾层为承压水层,承压水水位标高在 -0.67~-1.54 m 之间。

3 现场试验布置

在加固区内共埋设 22 个沉降标,加固区外共设置 19 个沉降标,以监测影响区的地表沉降特征;同时在周围建筑物、铁塔、临时办公用房设置沉降

观测点,监测真空预压对周围环境的影响;另外,在进港湾变电所道路的涵管上布置 2 个观测点,用来比较堆载预压和真空联合堆载预压的加固效果。本试验共打设了 7 根测斜管(CX1~CX7),其中 CX1 和 CX2 分别位于应力释放沟两侧,以研究应力释放沟对减少由真空预压引起的不利影响的作用;CX3~CX5 位于场地东侧,距加固区边线依次为 2.5, 12.5, 27.5 m; CX6 和 CX7 分别位于水泥搅拌桩两侧。

测斜管的埋设可了解土体侧向位移大小和水平位移对土体竖向变形影响,同时监测真空联合堆载预压的影响范围、水泥搅拌桩的隔断作用和评价应力释放沟的效果。本次试验共布置 8 根水位管(SW1~SW8),用于监测地下水位的变化,水位管深度为 8 m。分放管 FC6(场地内)和测斜管 CX6, CX7(场地外)分别打穿承压水层顶板,兼作承压水位观测,通过水位变化情况可分析加固区内外的承压水和非承压水在抽真空作用下的变化规律。现场测试平面布置见图 1。

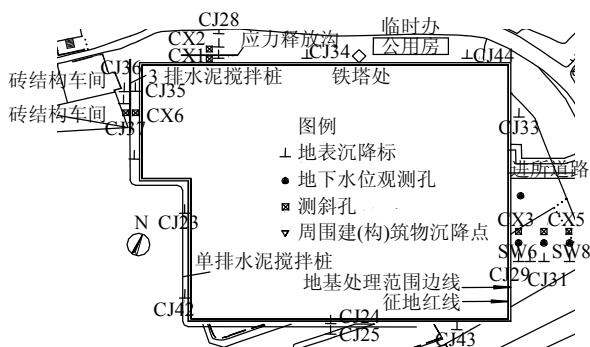


图 1 监测平面布置图

Fig.1 Sketch of treated area and layout of instrumentation

4 真空预压的环境效应

4.1 加固区外地下水位

加固区内在抽真空作用下地下水位开始下降。加固区外基本上不存在真空作用,其地下水位下降主要是由向加固区内补给引起,往往会出现类似基坑降水中形成的降水漏斗。本次试验在加固区四周循环蓄水对加固区边的水位变化有一定影响。现场实测资料表明,影响区地下水位变化较小,距加固区边 12.5 m 处 SW7 最大水位下降值为 0.3 m, SW8(距场地 22.5 m)内水位已几乎不下降,说明本次真空预压的降水影响范围为 12.5 m 左右。

4.2 加固区外土体水平位移

图 2 为场地东侧加固区边 CX3 处土体深层土体水平位移变化图,其中,负值表示水平位移朝加固

区内,正值表示朝加固区外(余同)。由图可知,真空预压阶段(2005-5-8~2005-8-18)土体水平位移朝加固区内迅速增加,加载后土体开始朝加固区外变形,但由于抽真空作用上部土体水平位移仍然朝向加固区,下部土体呈现明显的挤出状。恒载后土体侧向变形较为稳定。本次试验监测数据表明,距加固区 12.5 m 的 CX4 水平位移较小,距加固区 27.5 m 的 CX5 最大水平位移仅为 4 mm。

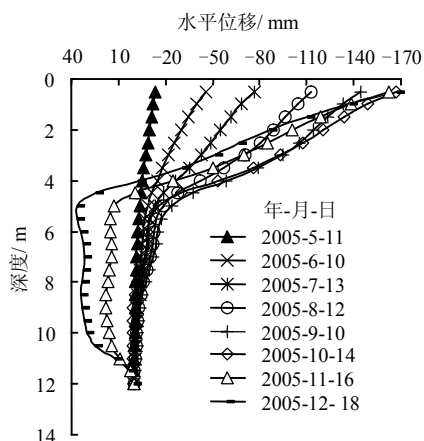


图2 场地东面加固区边(CX3)土体侧向变形图

Fig.2 Lateral displacements of CX3 near east treated area

4.3 加固区外土体沉降

本次试验在距加固区 2.5 m 共布置 11 个沉降标,平均累计沉降为 290 mm;距加固区 7.5 m 处平均累计沉降为 182 mm;距加固区 12.5 m 的 CJ31 沉降较小;距加固区 27.5 m 的 CJ32 几乎没有沉降。由此可见,随着距加固区边距离的增加,真空预压影响区土体沉降迅速减小。从加固区外水位、侧向位移和地表沉降变化看,本次真空联合堆载预压试验的影响区范围在 12.5 m 左右。

5 真空预压对环境影响的防治措施

5.1 水泥搅拌桩隔离

为减少真空预压对场地西侧砖结构厂房的不利影响,在场地西北处设置 3 排 $\phi 600 \text{ mm} @ 400 \text{ mm}$ 水泥搅拌桩,水泥搅拌桩桩底打设至 4 层圆砾层顶板。图 3、图 4 为水泥搅拌桩两侧深层土体水平位移变化情况。由图 2~4 可知,真空预压阶段(2005-5-8~2005-8-18)土体水平位移随时间变化规律基本相似,侧向变形主要发生在地表下 6 m 内,6 m 以下土体变形较小,隔离桩内侧的最大水平位移和无隔离桩处基本相同,说明搅拌桩设置不能减小内侧土体水平位移。桩外侧最大土体水平位移仅为内侧的 1/3,表明搅拌桩的隔离作用比较明显,能有效

地保护真空预压影响区内建筑物的安全。加载后内侧水平位移继续朝加固区发展,CX6 最大水平位移接近 200 mm,而外侧的水平位移变化较小。加载前后搅拌桩内外侧 6 m 以下土体变形量都较小,最大水平位移仅为 6 mm;无隔离桩处深部水平位移在加载后发生明显挤出,最大位移量接近 40 mm,说明水泥搅拌桩的遮拦效用明显,由于桩体的约束作用,减小了地基土体的侧向变形,使得软基更为稳定,并减小了其对周围地下管线和设施的不利影响。

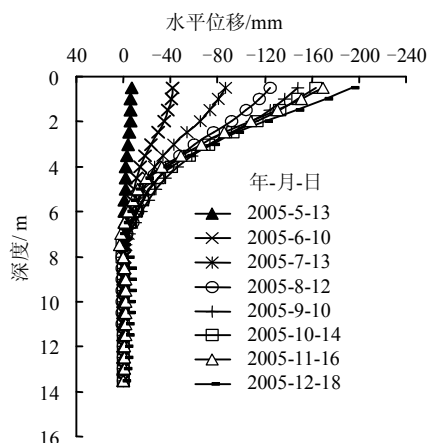


图3 搅拌桩内侧(CX6)土体侧向变形图

Fig.3 Lateral displacements of CX6 inside mixed piles

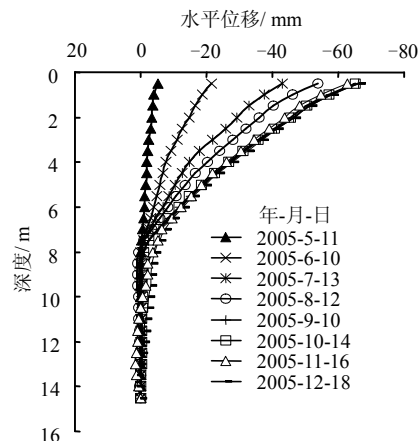


图4 搅拌桩外侧(CX7)土体侧向变形图

Fig.4 Lateral displacements of CX7 outside mixed piles

5.2 应力释放沟隔断保护

为防止预制桩沉桩过程危害周围建筑物和地下管线的安全,工程上常采用应力释放孔法减少沉桩挤土效应。本次试验提出采用应力释放沟减小真空预压对周围环境的不利影响,如图 1 所示。应力释放沟距加固区边线为 5 m,深 2 m,宽 2 m,长 15 m。图 5、图 6 为沟内外土体水平位移随时间变化情况。由图可知,真空预压阶段设置应力释放沟

可大大减小加固区外土体水平位移。沟内侧最大水平位移为 60 mm, 仅为搅拌桩内侧水平位移的 3/10; 沟外侧最大水平位移为 25 mm, 为桩外侧水平位移的 3/8, 说明对于减小侧向变形而言设置应力释放沟要优于设置水泥搅拌桩。但加载后应力释放沟下部土体向外挤出较为明显, 沟内侧最大向外水平位移达 35 mm, 沟外侧为 20 mm。为防止应力释放沟处在堆载工程中导致土体失稳, 在开始加载后不久及时对释放沟进行回填。因此, 在真空联合堆载预压工程中, 当填土较高或较快时应慎用应力释放沟。

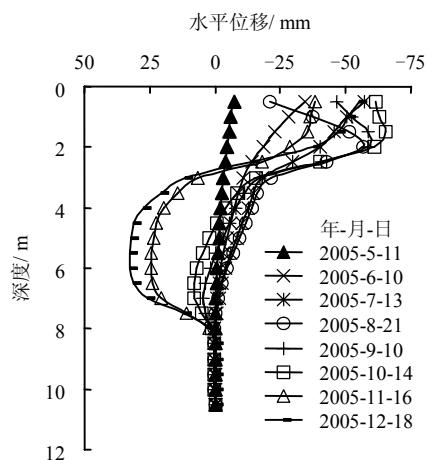


图 5 应力释放沟内侧(CX1)土体侧向变形图

Fig.5 Lateral displacements of CX1 inside release trench

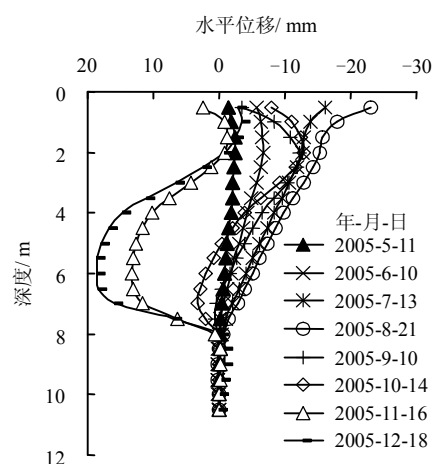


图 6 应力释放沟外侧(CX2)土体侧向变形图

Fig.6 Lateral displacements of CX2 outside release trench

5.3 铁塔基础树根桩托换

紧靠场地北侧有一 110 kV 线路的铁塔基础, 该线路为该市主要输电线, 在本工程完成后方能拆除。考虑到其重要性和真空预压有可能对其产生不利影响, 抽真空前对铁塔基础进行托换加固。原铁塔基础由 4 个 500 mm×500 mm×2 500 mm (深) 混凝土

土基础组成, 抽真空一个月前对靠近加固区的其中 3 个基础采用树根桩加固, 桩底进入 4 层圆砾层。同时在真空联合堆载过程对铁塔基础进行监测, 本次试验在加固后铁塔基础上设置 3 个沉降观测点。观测结果表明: 真空预压过程中铁塔基本无沉降; 而附近的临时办公用房的最大沉降量为 130 mm, 其混凝土土石底板基础出现明显裂缝, 说明树根桩托换技术保护铁塔是成功的。

6 结 论

(1) 从加固区外水位、侧向位移和地表沉降变化看, 本次真空联合堆载预压试验的影响区范围为加固区外 12.5 m。

(2) 真空预压引起的土体侧向变形主要发生在地表下 6 m, 隔离桩内侧的最大水平位移和无隔离桩处基本相同, 说明搅拌桩设置不能减小内侧土体水平位移。桩外侧最大土体水平位移仅为内侧的 1/3, 表明搅拌桩的隔离作用比较明显。

(3) 堆载后搅拌桩内侧水平位移继续朝加固区发展, CX6 最大水平位移接近 200 mm, 而外侧的水平位移变化较小。加载前后搅拌桩内外侧 6 m 以下土体变形量都较小, 最大水平位移仅为 6 mm; 无隔离桩处深部水平位移在加载后发生明显挤出, 表明水泥搅拌桩的遮拦效果明显。

(4) 真空预压阶段设置应力释放沟可大大减小加固区外土体水平位移。沟内侧最大水平位移为 60 mm, 仅为搅拌桩内侧水平位移的 3/10; 沟外侧最大水平位移为 25 mm, 为桩外侧水平位移的 3/8, 说明就本工程对于减小侧向变形而言设置应力释放沟要优于设置水泥搅拌桩。

(5) 堆载后应力释放沟下部土体向外挤出较为明显。在真空联合堆载预压工程中, 当填土较高或较快时应慎用应力释放沟。观测结果表明, 真空预压过程中树根桩托换后的铁塔基本无沉降。

参 考 文 献

- [1] 李就好. 真空-堆载联合预压法在软基加固中的应用[J]. 岩土力学, 1999, 20(4): 58—62.
LI Jiu-hao. The application of vacuum-heaped load combining precompression in the consolidation of soft clay[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 1999, 20(4): 58—62.
- [2] 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.
刘汉龙, 陈永辉, 顾长存, 等. 真空-堆载联合预压技术在高速公路深厚软基处理中应用研究[R]. 南京: 河海