

减小真空预压区外土体侧向变形的措施

艾英铎¹,蔡南树²,柯朝辉²

(1.河海大学土木工程学院,江苏 南京 210098;2.广州港集团有限公司,广东 广州 510700)

摘要 结合某真空预压加固软基工程中出现的临近建筑物拉裂问题,进行了真空预压对周围土体变形影响及减小其影响的防护措施的现场试验研究.研究表明,真空预压影响区范围与周围土体的土质条件有关,超软土地基的影响距离超过 50 m,而加固区外土层条件较好时的影响距离很小,在真空预压区外采取打设高压旋喷桩、水泥搅拌桩防护墙等技术措施可以减小上部土层的侧向变形.

关键词 真空预压 水平位移 水泥搅拌桩 高压旋喷桩 土体拉裂

中图分类号 :TU443 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-1980(2007)06-0686-04

真空预压加固软土技术具有工期短、无环境污染、费用低等优点,并在港口、高速公路、市政道路^[1-3]等工程建设中得到广泛应用.采用真空预压法加固软土地基,土体产生侧向收缩变形而没有侧向挤出变形,有利于地基的稳定,但在加固区周围有已建各种设施时,土体向真空预压区的侧向变形过大,将对周围房屋、道路等建筑物产生不利影响,危及周围建筑物安全,甚至出现管道断裂、围墙倒塌、路堤被毁等严重工程事故.过去对真空预压法加固机理研究较多并形成较为成熟的理论体系^[4-6],但对抽真空引起周围土体变形对周围建筑物的影响程度、防护措施等研究很少.关于真空预压法加固软土地基的影响范围,国内学者^[7-11]一般认为影响深度在砂井以下约 3 m 范围内,而对真空预压区外的影响距离一般在 15 ~ 20 m 之间.但在实际工程中,其影响距离及影响深度受密封、土质条件等因素影响往往不同,有些影响范围很小,而有些范围很大,甚至在 50 m 范围内都产生明显的构筑物或土体开裂.笔者结合某工程真空预压加固陆域软基中出现的周围土体拉裂问题,进行了减小真空预压影响的防护措施的现场试验研究.本文主要介绍试验研究结果并对其进行分析.

1 试验区概况

某港区陆域软基处理二期工程采用真空预压地基处理方式,塑料排水板打设深度为 21 m,间距 1.0 m,正方形布置,抽真空时间为 90 d,处理面积为 200 万 m².设计中已考虑真空预压的影响并预留 20 m 以上,但抽真空不久,真空预压区外就出现变电站围墙拉裂现象,其后,变电站工作区室外地坪严重开裂.因此,有必要进行真空预压对周围环境影响的研究.

试验区是在淤泥地基表面上吹填淤泥而形成的,吹填淤泥厚度为 2.30 ~ 4.30 m,吹填后铺填中、粗砂.根据地质钻孔资料,从上到下各主要土层情况如下:

- ① 层 中粗砂,灰黄色,饱和,松散,分散性差,级配良好,属人工回填砂,层厚 1.00 ~ 3.90 m;
- ② 层 淤泥 ~ 淤泥质土,饱和,流塑 ~ 软塑,灰色 ~ 灰黑,局部呈淤泥与细砂互层,层厚 10.70 ~ 14.60 m;
- ③ 层 淤泥质粉质黏土,饱和,软塑,灰色,黏性稍大,局部混有稍多中细砂,层厚 1.90 ~ 3.00 m;
- ④ 层 粉质黏土,饱和,软塑灰色,含较多细砂,局部呈粉土状,层厚 0 ~ 1.20 m.

2 抽真空引起的水平位移

各真空预压试验区自 2005 年 4 月 8 日陆续开始抽真空,测斜管埋设于真空预压区边界外 2 m 处,图 1 为

各试验区累计抽真空时间 90 d 时的水平位移.由图 1 可知,抽真空过程中,土体产生向加固区内的位移,且各试验区的水平位移都很大,最大超过 300 mm,主要发生在上部土层;17 m 以下土层的水平位移较小,一般小于 10 mm,水平位移随着土层埋深的增加,呈现减小趋势.这主要与试验区的地质条件、排水板打设深度等因素有关,土质条件越差,水平位移越大.

3 不同防护措施对水平位移影响的试验结果

3.1 N9 区现场试验结果

该区西侧 24.6 m 处有电缆沟,为了防止抽真空对电缆沟产生影响,在电缆沟与加固区之间打设了一排柔性隔离带.柔性隔离带由 2 排砂桩加格栅状水泥土桩组成.砂桩打设深度 10 m、直径 40 cm,水泥土桩打设深度 18 m、桩径 60 cm,格栅厚度 2 m.测斜管 A、B 分别埋设在距离加固区边界 2 m 及 18 m 处,如图 2 所示.

抽真空后,深层土体水平位移随着土层埋深的增加呈现减小趋势,如图 3 所示.测斜管 A、B 都反映出水平位移主要集中在上部 17 m 深的土层范围内,测斜管 A 水平位移约为测斜管 B 水平位移的 30% .

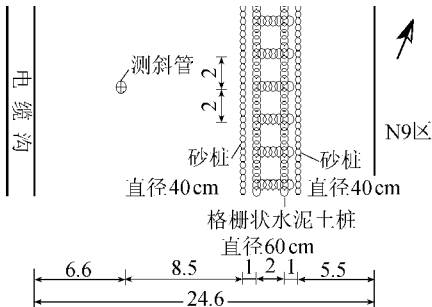


图 2 N9 区防护墙测点布置(单位:m)

Fig.2 Arrangement of measurement points around protective wall in area N9(unit:m)

3.2 N10 区现场试验结果

该区西北侧变电站大楼及围墙距离真空预压区分别为 16.7 m、23.7 m,如图 4 所示,在围墙与真空预压区之间打设了单排高压旋喷桩防护墙,旋喷桩直径 120 cm、深度 18 m.测斜管 A、B、C 分别布设在加固区边界外 2.0 m、7.4 m 及 15.2 m 处.抽真空后,测斜管 A、B、C 都反映出向加固区内位移,主要发生在地基约 18 m 以上的土层范围内.高压旋喷桩防护墙施工结束重新抽真空 60 d 后,测斜管 A、B、C 间水平位移比较如图 5 所示.在地表下 3 m 土层范围内,测斜管 A 的水平位移大于测斜管 B、C 的水平位移.但在 5 m 以下地层中,三测斜管所发生的水平位移较为接近,说明打设单排旋喷桩对改善上部土体的水平位移效果较好,而对减小下部土体的水平位移作用还有待进一步试验验证.

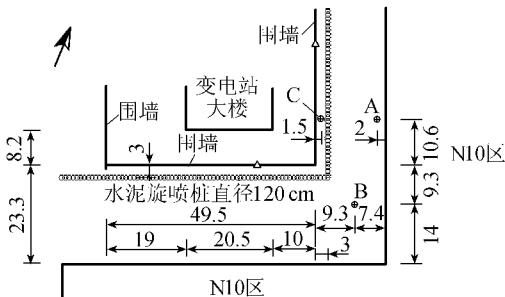


图 4 N10 区防护墙测点布置(单位:m)

Fig.4 Arrangement of measurement points around protective wall in area N10(unit:m)

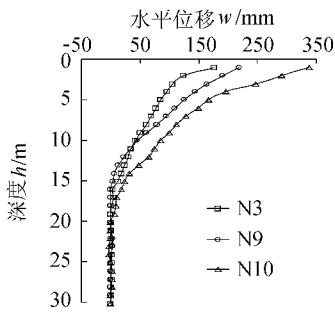


图 1 抽真空结束时水平位移沿深度变化

Fig.1 Distribution of lateral displacement along depth after vacuum preloading

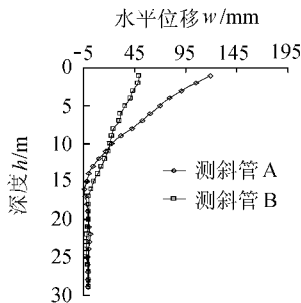


图 3 N9 区防护墙内外水平位移比较

Fig.3 Comparison of lateral displacements of soil inside and outside protective wall in area N9

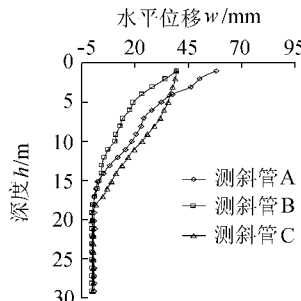


图 5 N10 区水平位移比较

Fig.5 Comparison of lateral displacement in area N10

3.3 N12 区现场试验结果

该区北侧为一期工程已加固区域,离加固区北侧边界 29 m 处已建港区大道,测点布置如图 6 所示.该区抽真空时间为 90 d.图 7 为真空预压结束时水平位移观测结果.结果表明,水平位移远小于上述采用防护措施的各区的位移,且除测斜管 A 水平位移较大外,其他各测点的位移都小于 10 mm.这说明区外土体已经进行真空预压加固,区外整个土层的工程地质条件明显改善,故抽真空引起的水平位移很小.

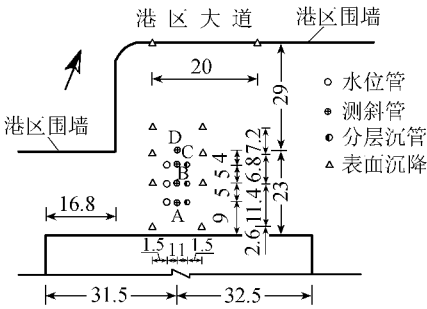


图 6 N12 区测点布置(单位:m)

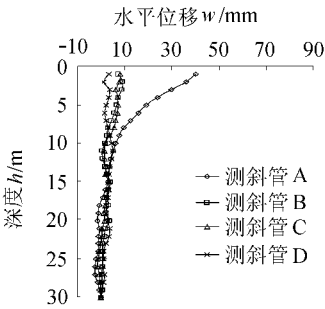


图 7 N12 区抽真空后水平位移

Fig.6 Arrangement of measurement points in area N12(unit:m)

Fig.7 Lateral displacement in area N12 after vacuum preloading

4 试验结果分析

根据真空预压加固软土地基对周围土体的影响的现场实测水平位移资料,结合真空预压加固区外土层、打设格栅状水泥搅拌桩和水泥旋喷桩防护措施等情况,对试验结果分析如下:

4.1 周围土体侧向变形影响范围

加固区外的水平位移沿竖直向变化较大,影响深度主要在 17 m 内,区外未加固土体的水平位移均大于 20 mm,表面位移最大,17 m 以下土体的水平位移很小.其原因主要是真空压力传递路径为真空管路→砂垫层→竖向排水体→地基土,而在真空传递过程中,真空压力损失不可避免.另一方面,17 m 以下土层的力学特性优于上部深厚的淤泥~淤泥质土,且上覆土层厚度大,自重应力大,限制了其下土层的侧向变形.区外已进行真空预压处理地基 10 m 以下水平位移小于 10 mm,是由于区外土层的力学特性明显改善,土体强度、压缩模量等大幅度提高,因此,其变形远小于区外未加固土体的侧向变形.

4.2 真空预压区外土体性质对侧向变形的影响

抽真空对加固区外的影响距离也与区外土层条件密切相关,N9,N10 和 N12 三个试验区的最大水平位移分别为 N9 区外 18 m 处 47 mm,N10 区外 16.7 m 处超过 40 mm,而 N12 区外 19 m 处小于 10 mm,说明真空预压区外土体性质对侧向变形影响很大,区外土体性质越好,真空预压引起的侧向变形越小,反之越大.对于土质条件很差的超软土地基,防护措施仅可以减小部分侧向变形,而抽真空引起的侧向变形仍很大.就抽真空引起侧向变形的影响距离而言,真空预压区外未进行地基处理的软土影响距离大,而区外已真空预压处理过的土质条件明显改善的影响距离小,如变电站地坪在真空预压区外近 50 m 仍有拉裂,而 N12 区在距离加固区边界 9 m 以外土体的水平位移已小于 10 mm,这与上述真空预压沿深度的影响一致.这说明加固区外土体的土质条件是抽真空对区外土体影响范围的主要因素.因此,改善区外土体的土质条件是减小抽真空引起周围土体侧向变形最有效的措施.

4.3 防护措施效果

加固区外采用格栅状水泥搅拌桩和砂桩防护措施后,上部 10 m 内土层的水平位移明显减小,最大减小量超过 100%.而采用水泥旋喷桩防护措施后,上部约 5 m 范围土体的水平位移减小近 20%.对 12 m 以下土体的水平位移,2 种防护措施的作用都不明显.从防护结构形式看,格栅状水泥搅拌桩尺寸大,单根水泥搅拌桩的刚度小,但整体刚度大,而高压旋喷桩尺寸小,单根高压旋喷桩刚度大,整体刚度小.从结构自重看,格栅状水泥搅拌桩由于格栅内土体参与共同作用,整体自重远大于单排高压旋喷桩.由于软土地基深厚,2 种防护结构的桩底都没有嵌入较好土层,因此,对于这种水平受力情况,防护结构的整体刚度及自重成为限制防护结构外土体侧向变形的主要因素.根据以上分析,防护结构应尽量采用整体刚度大、自重大的结构形式,若

防护结构底部能嵌入硬土层,防护效果会更好.

5 结 语

通过真空预压加固软基对周围土体变形影响的现场试验,研究了抽真空对加固区外土体变形的影响,以及格栅状水泥搅拌桩和水泥旋喷桩防护措施对区外土体变形的影响.结果表明:

- a. 加固区外土体的水平位移最大接近 300 mm,这样大的水平位移足以使加固区外土体产生拉裂破坏并危及周围建筑物的安全.
- b. 加固区外的侧向变形的影响深度主要在 17 m 以内,表面的变形最大,17 m 以下很小.
- c. 加固区外土体的土质条件是影响抽真空对区外土体影响距离的主要因素,因此,改善区外土体条件是减小周围土体侧向变形最有效的措施.
- d. 加固区外采取格栅状水泥搅拌桩和单排水泥旋喷桩防护措施后,防护体对区外上部土体作用明显,从防护效果来看,整体刚度大、自重大的格栅状水泥搅拌桩比单排旋喷桩好,但对采取何种防护桩及防护桩布置形式有待进一步研究.

参考文献:

[1] 焦淑贤.真空预压法在广州南沙港区特殊地基上的应用[J].水运工程,2003(10):55-58.
[2] 岑仰润,俞建霖,龚晓南.真空排水预压工程中真空度的现场测试与分析[J].岩土力学,2003,24(4):603-605.
[3] 谢弘帅,宰金璋,刘庆华,等.真空降水堆载联合预压加固高速公路桥坡软基技术研究[J].中国公路学报,2003,16(2):27-30.
[4] 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.
[5] 陈环.真空预压法机理研究十年[J].港口工程,1991(4):17-25.
[6] 徐立新,陈云敏,吕庆雷,等.真空预压法加固高速公路软基的有限元分析[J].河海大学学报:自然科学版,2004,32(5):587-591.
[7] 于志强,朱耀庭,喻志发.真空预压法加固软土地基的影响区分析[J].中国港湾建设,2001(1):26-30.
[8] 彭劼,刘汉龙,陈永辉,等.真空-堆载联合预压法软基加固对周围环境的影响[J].岩土工程学报,2002,24(5):656-659.
[9] 余湘娟,吴跃东,赵维炳.真空预压法对加固区边界影响的研究[J].水利学报,2002(9):123-128.
[10] 陈远虹,洪宝宁,龚道勇.真空预压法对周围环境影响的数值分析[J].岩土力学,2005,23(3):382-386.
[11] 董志良,胡利文,赵维军,等.真空预压对周围环境的影响及其防护措施[J].水运工程,2005(9):96-100.

Measures for reducing lateral deformation of soil outside vacuum preloading area

AI Ying-bo¹, CAI Nan-shu², KE Chao-hui²

- (1. College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China ;
- 2. Guangzhou Harbor Group Co., Ltd., Guangzhou 510700, China)

Abstract : The study was performed to investigate tension cracking of buildings close to the vacuum preloading area in a soft ground improvement project. Field tests were carried out to study the influences of vacuum preloading on the deformation of surrounding soil and the protective measures for its reduction. It is found that the influence range of vacuum preloading is related to soil characteristics, the influence distance being more than 50 m for super-soft soil ground, and it being small for good ground condition, and that the lateral deformation can be reduced by some technical measures, such as arrangement of high-pressure jet grouting pile-reinforced protective walls and cement-slurry mixing pile-reinforced protective walls along the side of vacuum preloading area.

Key words : vacuum preloading ; lateral deformation ; cement-slurry mixing pile ; high-pressure jet grouting pile ; tension cracking of soil