

袋装砂井堆载预压软基处理施工技术

刘利民¹, 刘保存²

(1. 珠海金海公路大桥有限公司, 广东 珠海 519000; 2. 中铁建大桥工程局集团第四工程有限公司, 哈尔滨 150006)

摘要: 对于海滩深层淤泥软基处理, 采用袋装砂井+堆载预压的处理方式。其主要原理是: 在软基区域布设钻孔, 打设袋装砂井, 使淤泥层内的水通过袋装砂井排出, 同时预压荷载将下层软基挤密, 达到加速沉降使地基提前稳定的目的。软基沉降监测是软基处理方案的重要技术环节。通过不同阶段的数据处理及分析, 对堆载土方进行有层次地加载和卸载, 既能保证预压效果, 又能控制合理的工作量。

关键词: 海滩; 软基; 袋装砂井; 预压

中图分类号: U46.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2024)21-0341-07

中国沿海地区经济发达, 公路交通需求日益增长, 而沿海地区降水多、地质淤泥层较厚, 海域地区软土性质较内陆更差, 海域中的土体比内陆中的空隙比更大、压缩模量更小, 含水率更高^[1], 对于建造百年工程的建设者带来很大的技术挑战。沿海淤泥层较深的公路路基软基, 需通过对深层软基处理, 以消除公路运营后行车荷载长期作用下造成的不均匀沉降的问题。由此堆载预压、真空预压、排水固结与强夯法应用于越来越多的软土地基处理项目^[2]。本项目需要软基处理的主线路基, 填方路堤较高, 而临近的匝道路基为石质高边坡开挖路堑, 为使石质边坡开挖与主线路基软基处理相结合, 采用袋装砂井堆载预压处理方式。袋装砂井是用透水型土工织物长袋装砂砾石, 采用深层钻设备钻孔后将砂砾石袋设置在软土地基中形成排水砂柱, 以加速软土排水固结的地基处理方法^[3]。堆载预压与袋装砂井组合应用, 能够加速软基的工前沉降, 且尽量保证均匀沉降, 减少公路通车后的不均匀沉降。袋装砂井施工时段相对集中, 堆载预压工艺则是相对时间较长的一个静态过程, 期间需要进行严密的沉降监测, 通过监测数据判定软基处理的效果及后续施工程序的开始时间。

1 工程概况

1.1 工程地质描述

珠海市金海公路大桥紫竹湾互通地处沿海滩

回填造路路段, 为海陆交互及人工填筑平坦地貌, 局部段也残留有隆起的残丘, 丘坡前较低洼平坦地带及丘坡间低洼地带填方路基段, 基岩为砂岩, 软土以淤泥、淤泥质粉质黏土为主, 为海滨滩涂沉积形成, 除剥蚀残丘外, 低洼地带均大多有软土分布。软土表现为淤泥质土, 靠海岸线最近处 58 m, 最大淤泥层深度为 17.0 m, 净厚度在 3.0~8.5 m 范围内, 可造成填方路堤失稳或不均匀沉降等不良现象, 工程地质条件一般。

1.2 具体施工段落

SYK0+950~SYK1+630、YK16+644.099~YK16+748.6、K16+864.87~K17+400、AK0+564.99~AK0+936.02 共 4 段, 41 587 根, 79.8 万 m。

1.3 具体设置形式

软基处理平均深度 19.0 m, 清表后填筑砂砾厚 50 cm, 按等边三角形布置打设袋装砂井, 间距 1.5 m, 需打穿淤泥层至少 0.5 m, 砂袋头埋入砂垫层 20 cm, 外露 30 cm。砂垫层整平后上铺 2 层土工格栅, 其上为路基本体填筑及等载预压土方, 如图 1 所示。

2 袋装砂井施工工艺

2.1 主要工艺流程

铺设砂垫层→测量放样→机具定位→套管与桩头安放→套管打入→安装砂袋→拔出套管→袋头处理→铺设土工格栅。

收稿日期: 2024-05-15

作者简介: 刘利民(1989—), 男, 河北邯郸人, 工程师, 研究方向为工程管理; 刘保存(1986—), 男, 河北沧州人, 工程师, 研究方向为工程管理。

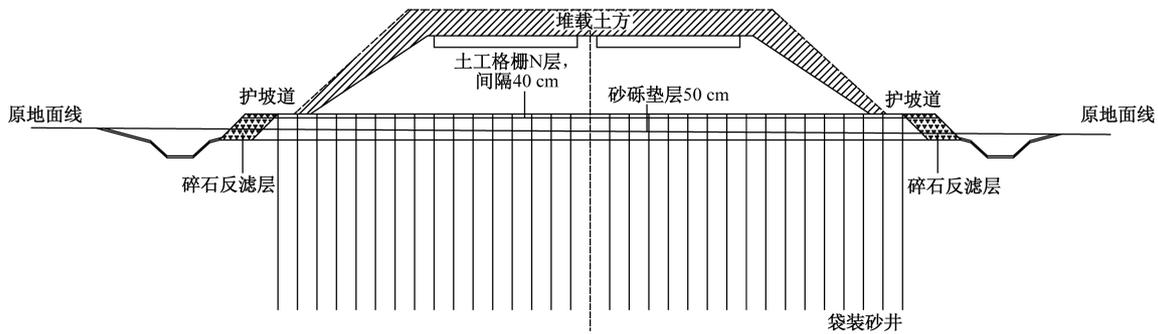


图1 袋装砂井软基处理设置示意图

2.2 具体实施步骤

2.2.1 铺设砂垫层

(1)材料的选用。本工程选用的是透水性好、洁净、级配良好的中、粗砂,测定含泥量不应大于5%。

(2)施工砂垫层时采取的主要技术措施。①因该砂垫层的主要用途为横向排水,故50cm的砂垫层进行了一次性摊铺,但其又是路基基底的一部分,本工程采用的是22t压路机进行碾压,现场压实度按照90%控制;②为了确保砂井析出的水能够顺利排出,根据原地表的地形(实际是左高右低),进一步设置排水坡,以右侧排水为主,左侧排水为辅,两侧均挖了纵向排水沟;③砂垫层宽出路基坡脚100cm,避免路基超宽填筑将砂垫层掩埋,影响排水。砂垫层边缘设置0.5m宽的碎石反滤层。

2.2.2 机具定位

设备采用履带臂架导管式打桩机,套管直径9cm,长18.0m,为便于拔管,上设桩头桩帽,砂井施工依据从低处往高处的原则施打。定位时保证桩锤中心与地面定位在同一垂线点上,并用全站仪控制桩锤导向架的垂直度^[4]。袋装砂井采用 $\phi 7$ cm直径的砂袋,砂井间中心距离为1.50m,呈正三角形布置。深度按照全部打穿软土层,进入硬层0.5m控制。

2.2.3 套管与桩头安放

将导向架固定在孔位,在孔位处下挖10~15cm深小坑,稳住管尖,放下套管,戴上桩帽,放好重锤。套管顶端设有便于起吊的吊钩或吊环,并在套管上划出控制标高的刻度线。活瓣式桩尖固定在套管上作为一个整体,套管的定位是利用桩机的起吊设备将其吊起,上端送入桩帽中,下端用人扶住准确安插在定位点上。

2.2.4 套管打入

定位好后,在套管上用油漆画出控制标高的刻画线,即可开振动锤下插套管。开始时落锤要轻、缓,防止套管突然偏斜。插管前先将套管底部活瓣桩尖系拢,使其活瓣与套管封闭。套管打至设计标高后测量出孔深,并做好深度记录。孔深用钢尺丈量,先在套管顶部作一明显标志,记录到钻尖总长,套管打入完成后,再测量标志处到地面距离,用总长减去该距离即为孔深^[5]。砂井垂直度控制在1.5%范围内,用吊垂球进行测定。

2.2.5 安装砂袋

(1)预先准备好长度比砂井长约1m的用聚丙烯编织的土工布制成的砂袋,将底部扎紧,在袋底装一定数量重的砂,然后放入套管中,将袋的上端固定在装砂漏斗口上,然后向袋中填充砂直至砂装到齐袋口为止并捣固密实,用臂架吊起垂直放入管中。

(2)砂袋长度应与砂井深度一致,超长部分应予剪除。如产生回带则进行冲水拔出,查明原因重新安装砂袋。再回带则在旁重新打孔安装。砂袋安装完成后及时进行埋头,防止阳光暴晒使砂袋老化。

(3)灌入砂袋的砂采用干净的中、粗砂,含泥量控制在3%以下,大于0.6mm的砂含量占总重的50%以上,渗透系数 >0.005 cm/s,灌砂率均达到95%以上。保持砂袋顺直畅通,每一砂袋充填密实,袋口扎紧。

2.2.6 拔出套管

砂袋到位后,开动震箱振动套管,同时上拔套管,起拔时要连续缓慢地进行,中途不得放松吊绳,防止因套管上提而损坏砂袋。

2.2.7 袋头处理

套管拔出后,通过二次灌砂把砂井袋头填充饱

满,然后绑扎好,使砂袋露出井口 30 cm 以上,并将其竖直埋入砂垫层中,不得卧倒。

2.2.8 铺设土工格栅

软基段待砂井完成并经验收合格后,在砂垫层平整后的表面铺设两层聚氯乙烯土工格栅。摊铺时应拉直平顺,紧贴下承层,不使出现扭曲、折皱、重叠。一般路段采用普通单向聚乙烯土工格栅,抗拉强度为 60 kN,伸长率不超过 10%;桥头段为双向钢塑土工格栅,抗拉强度为 60 kN,伸长率不超过 4%。土工格栅采用搭接法连接,搭接长度不小于 0.5 m,并采用土钉锚固。

3 堆载预压

3.1 预压荷载选择

根据工期、软土层厚度、对工后沉降的要求和路堤填筑高度等因素综合考虑,本工程选用的是等载预压。总体而言,在达到同样的沉降效果的前提下,等载预压比欠载预压工期要短,而比超载预压能减少非路基主体土方的使用,减少借方和工后弃方工作量,因此等载预压对于本工程来说是最经济合理的。

3.2 等载的计算

等载预压指的是预压期的填土高度包括路基填土荷载(设计路床至砂垫层顶面部分)和路面当量的土层荷载(该部分为临时填土),本工程路面结构层为 0.15 m 级配碎石垫层+0.18 m 4.0%水泥稳定碎石底基层+0.36 m 5%水泥稳定碎石基层+0.08 m 沥青 AC-25C 下面层+0.06 m 改性沥青 AC-20C 中面层+0.04 m SMA-13C 上面层,路面结构层总厚度 0.87 m。

根据试验室的配合比数据,级配碎石密度按 1.7 t/m^3 、水稳的平均密度按 2.1 t/m^3 、沥青混凝土的密度按 2.5 t/m^3 、堆载土方按碎石土密度 1.6 t/m^3 ,则路面结构层当量的填土厚度估算为 $(1.7 \times 0.15 + 2.1 \times 0.54 + 2.5 \times 0.14) / 0.87 \text{ m} / 1.6 = 1.25 \text{ m}$,即在设计路床顶面再填筑 1.25 m 的碎石土可达到等载预压的要求。

3.3 预压土方填筑

3.3.1 预压土方分层

预压土方的填筑分两个层次,考虑设计给了平距 50 cm 的沉降预估量,因此路基主体填筑至设计路床高程时,继续填筑预压部分土方,按照 30 cm 分层,下面 60 cm 按照上路床的压实度控制,预压期满后直接将该部分作为沉降下去的路床补偿,剩余上面 65 cm 按照一般路堤的压实度标准进行控制,预

压期满后该部分土方要弃除。

3.3.2 堆载预压过程控制

堆载过程中进行沉降及稳定性观测,严格控制堆载加荷速率,避免局部荷载过高导致地基破坏。每层填筑控制标准为:路堤中心线垂直沉降小于 1.0 cm/d ,侧向位移小于 0.5 cm/d 。堆载结束的控制标准为:路堤中心线处连续 3 个月观测沉降速率每月小于 0.5 cm ,堆载结束。

4 沉降观测

主要监测项目为地面沉降监测、深层土体水平位移监测、地基分层沉降监测、孔隙水压力监测、地表位移^[6]。

4.1 监测点布设

一般段落每 100 m 一个断面,每个断面设 5 个沉降观测点、2 个位移边桩监测点。对于结构物与路基的过渡段,在设置沉降观测点和位移观测点的基础上,增加 1 个分层沉降观测点、1 个孔隙水压观测点、2 个深层土体水平位移监测(测斜管)。各监测点具体布置位置如图 2 所示。

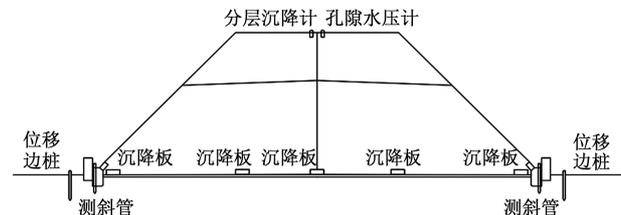


图 2 监测点布置

4.2 监测数据判定及报警值设定

4.2.1 数据判定

结合路堤和软土地基状况,综合分析监测资料,利用表观法、监测指标法及拐点法等综合分析判断路基的稳定状况。

4.2.2 报警值设定

(1)报警值应根据软土厚度与性质、地基处理方法、地区经验等因素综合确定。

(2)对天然地基路基、排水固结法路基,当加载速率约为 5 kPa/d 时,可按表 1 确定沉降速率报警值,按表 2 确定水平位移速率报警值。

(3)对天然地基、排水固结法路基,孔隙水压力系数报警值可取 $0.7 \sim 1.0$ 。

(4)当连续两天的沉降速率或水平位移速率大于报警值的 60%,或者连续 3 d 的沉降速率或水平位移速率大于报警值的 40%时,应进行危险报警。

表 1 沉降速率报警值

Z/m	沉降速率/(mm·d ⁻¹)	
	C _u =10~20 kPa	C _u =20~35 kPa
Z≤10	10	6
10<Z≤20	15	10

注:C_u为软土不排水抗剪强度;Z为软土厚度。

表 2 水平位移速率报警值

B/m	水平位移速率/(mm·d ⁻¹)	
	C _u =10~20 kPa	C _u =20~35 kPa
B≤15	6	4
15<B≤30	8	6

注:C_u为软土不排水抗剪强度;B为路基底宽与顶宽的平均值的一半。

4.3 典型断面沉降观测数据统计

以本工程 SYK1+080 监测断面为例,监测数据统计如下。

4.3.1 地表沉降监测结果

采用闭合水准线路法,固定仪器、固定人员、固定线路进行施测,使用徕卡电子水准仪 LS10,按二等沉降测量精度要求作业。地表沉降数据见表 3,沉降量及沉降速率如图 3 所示。

4.3.2 地表位移监测结果

采用后方交会法,固定仪器、固定人员、固定线路进行施测,使用徕卡全站仪 TS60,按要求作业。地表位移数据见表 4,地表位移及速率如图 4 所示。

4.3.3 分层沉降监测结果

采用分层沉降仪监测,分层沉降数据见表 5,分层沉降数据如图 5 所示。

4.3.4 深层位移监测结果

采用埋管测斜法进行深层水平位移观测,将测斜仪探头沿埋设于土层中的测斜管十字定向槽放至

表 3 SYK1+080 监测断面地表沉降数据

日期	沉降量/mm					中杆累计沉降量/mm
	左坡脚	左	中	右	右坡脚	
2022-09-10	1.69	—	2.03	—	0.39	231.58
2022-09-13	0.11	—	0.16	—	0.20	231.74
2022-09-16	0.12	—	0.21	—	0.13	231.95
2022-09-19	1.43	—	0.12	—	0.14	232.07
2022-09-22	1.32	—	0.19	—	0.09	232.26
2022-09-25	1.22	—	0.11	—	0.07	232.37
2022-09-28	3.82	—	6.47	—	2.11	238.84
2022-10-01	3.45	—	5.56	—	1.30	244.40
2022-10-04	2.79	—	0.51	—	0.33	244.91
2022-10-07	1.97	—	0.29	—	0.18	245.20

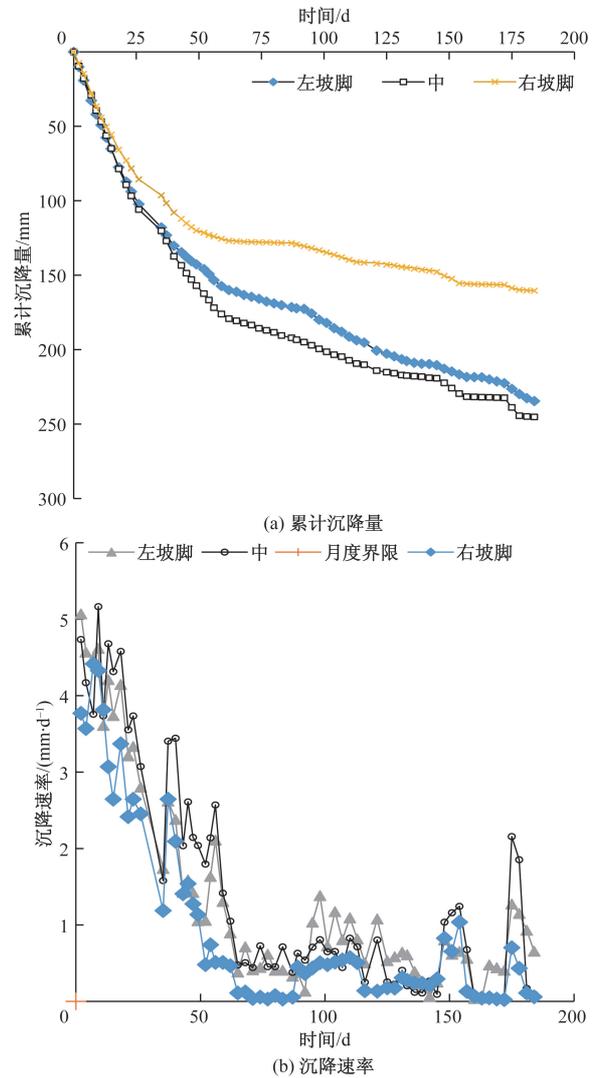


图 3 SYK1+080 监测断面累计沉降量及沉降速率

表 4 SYK1+080 监测断面地表位移数据

参数	上次监测日期 2022-09-07	本次监测日期 2022-10-07
工程段	SYK1+080	SYK1+300
本次最大位移点	左侧	右侧
位移量/mm	-0.8	-0.8
位移速率/(mm·d ⁻¹)	-0.3	-0.3
累计最大位移点	右侧	左侧
位移量/mm	-53.7	-54.0

表 5 SYK1+080 监测断面分层沉降数据

参数	上次监测日期 2022-09-07	本次监测日期 2022-10-07
工程段	SYK1+080	SYK1+300
本次最大沉降点	CJ3	CJ4
沉降量/mm	5.1	3.9
沉降速率/(mm·d ⁻¹)	1.71	1.31
累计最大沉降点	CJ3	CJ4
沉降量/mm	255.5	247.6

测斜管底,从底至顶每 1 m 测一次数值(正测),再旋转探头180°重复测一次(反测)。深层位移数据见表 6,深层位移如图 6 所示。

表 6,深层位移如图 6 所示。

4.3.5 孔隙水压监测结果

孔隙水压力数据见表 7,孔隙水压力随时间变化如图 7 所示。

4.4 典型断面监测结论

(1)地表沉降观测数据显示,监测区域沉降点沉降速率均未超过设计报警值。

(2)水平位移变形观测数据显示,监测区域位移点位移速率均未超过设计报警值。

(3)分层沉降观测数据显示,监测区域沉降点沉降速率均未超过设计报警值。

(4)深层水平位移观测数据显示,监测点增长速率均未超过设计报警值。

(5)空隙水压力观测数据显示,监测区域压力均未超过设计报警值。

(6)所测区域最大沉降 0.647 cm,结合设计指标及《软土地路基基监控标准》(GB/T 51275—2017)将卸载指标沉降速率确定为 7 mm/月(指标确定依据:工后允许沉降<300 mm,总沉降量<1 000 mm),即通过数据分析,现场工况达到了卸载标准。

5 结语

袋装砂井结合堆载预压软基处理方法适用于各等级公路的不良地质处理,通过排水固结和加荷促进沉降达到软基处理的目的,其优点是具有显著的改善软基不均沉降的能力且工艺操作起来比较简单,缺点是工期较长,且不适用于结构物、建筑物的地基处理。紫竹湾互通项目地处海滩区域,经综合比选采用了工期可控、技术可行、造价合理的袋装砂井+堆载预压软基处理方案。本文中所述 SYK1+080 断面所属区段路基已预压 10 个月,就目前数据来看已达到最终设计及相关标准要求的卸载指标,说明软基处理效果较明显,基本达到沉降稳定状态。通过严格按照工艺程序进行袋装砂井施工、路基填筑施工、分层堆载施工及后续的定期严密进行监测、分析数据,积累了相关施工经验,并为后续路面工程顺利施工提供了条件。

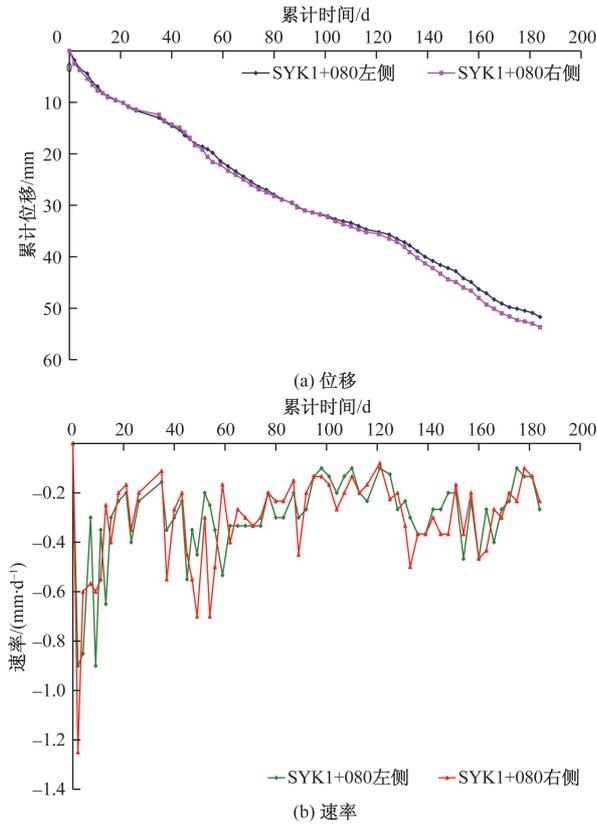
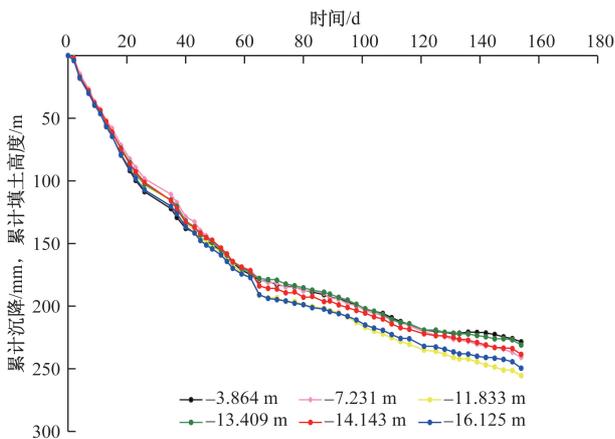


图 4 SYK1+080 监测断面地表位移、速率

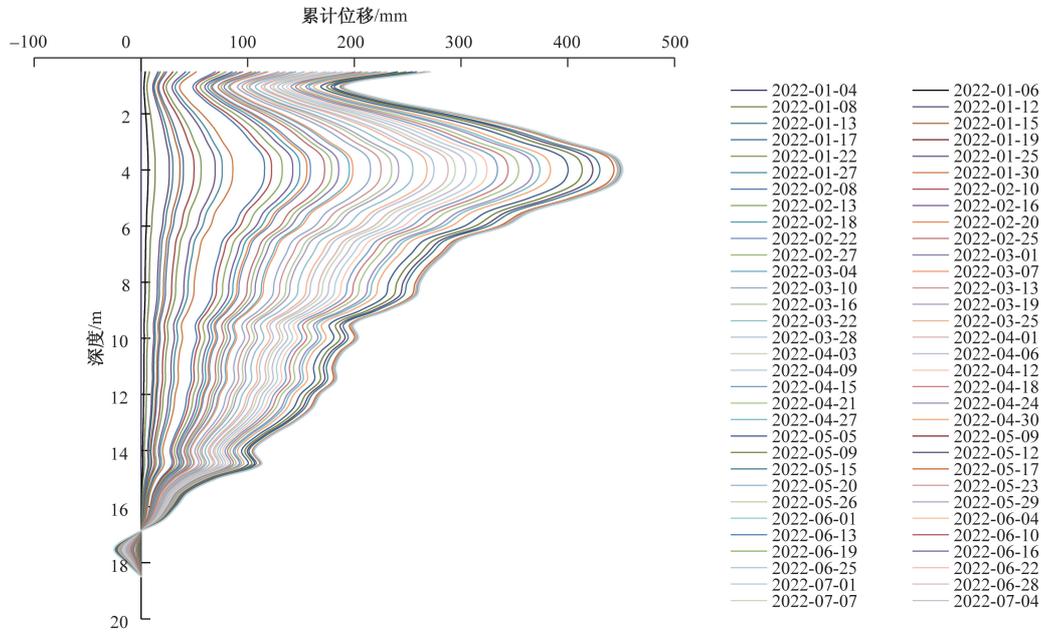


图例数值为沉降观测点的相对标高位置

图 5 SYK1+080 监测断分层沉降数据

表 6 SYK1+080 监测断面深层位移数据

监测区域	监测断面	监测日期	测斜点位置	本次最大位移深度/m	位移量/mm	位移速率/(mm·d ⁻¹)	累计最大位移深度/mm	位移量/mm	报警值/(mm·d ⁻¹)	超过报警值的深度/倾斜速率/(mm·d ⁻¹)	备注
SYK1+080	SYK1+080	2022-10-07	左侧	4	0.92	0.306	4.0	450.81	—	—	正数为外扩,负数为内缩
			右侧	1	5.51	1.835	1.0	304.84	—	—	



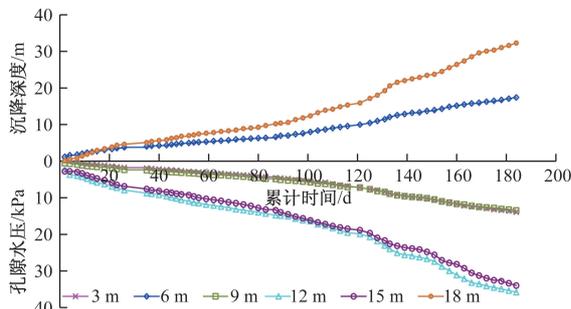
(a) 左侧深层位移

(b) 右侧深层位移

图6 SYK1+080 监测断深层位移

表7 SYK1+080 监测断面孔隙水压力数据

监测区域	监测断面	监测日期	最大位移深度/m	变化量/kPa	变化量速率/(kPa·d ⁻¹)	累计最大位移深度/m	变化量/kPa	报警值	超过报警值的点号/变化速率/(kPa·d ⁻¹)	备注
SYK1+080	SYK1+080	2022-10-07	15	0.7	0.23	12	35.8	—	—	正数为增加,负数为消散



图例数值为孔隙水压力传感器在孔中的相对位置

图7 SYK1+080 监测断孔隙水压力

参考文献

- [1] 刘贺, 高明军, 王剑. 真空-堆载联合预压加固海域吹填土地基的适用性及特点探讨[J]. 科学技术与工程, 2017, 17(7): 224-227.
- [2] 赵羚子. 软基真空预压动力固结排水三维仿真及沉降控制分析[J]. 科技和产业, 2022, 22(9): 352-360.
- [3] 王贤辉. 市政道路工程中软土路基施工技术应用[J]. 科技资讯, 2018, 16(34): 89, 91.
- [4] 薛鹏. 袋装砂井在深层软基处理中的应用[J]. 广东科技,

- 2010, 19(2): 177-178.
- [5] 于继军. 高速公路桥梁软土地基处理技术刍议[J]. 东方企业文化, 2012(14): 201, 203.
- [6] 建筑变形测量规程: JGJ 8—2016[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [7] 软土地基路基监控标准: GB/T 51275—2017[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.

Construction Technology of Pre-compressed Soft Foundation Treatment in Bagged Sand Well

LIU Limin¹, LIU Baocun²

(1. Zhuhai Jinhai Highway Bridge Co., Ltd., Zhuhai 519000, Guangdong, China;

2. China Railway Construction Bridge Engineering Bureau Group Fourth Engineering Co., Ltd., Harbin 150006, China)

Abstract: For the treatment of deep silt soft foundation on the beach, the method of bagged sand wells and preloading is often used. The main principle is to set up boreholes and bagged sand wells in the soft foundation area, so that the water in the silt layer is discharged through the bagged sand wells. At the same time, the preloading load compacts the lower soft foundation, achieving the goal of accelerating settlement and stabilizing the foundation in advance. Soft foundation settlement monitoring is an important technical link of this treatment plan. Through data processing and analysis at different stages, the stacked soil is loaded and unloaded in a hierarchical manner, ensuring the preloading effect and controlling reasonable workload.

Keywords: beach; soft foundation; bagged sand well; prepressure