文章编号: 0451- 0712(2008)04- 0040- 04 中图分类号: TU 472. 3 文献标识码: B

宁夏冲湖积平原软弱土地基袋装砂井处治技术

马洪林[1], 魏松涛[2], 汪海年[3]

(1. 东北大学资源与土木学院 沈阳市 110004; 2. 中交第一公路勘察设计研究院有限公司 西安市 710075;
3. 长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室 西安市 710064)

摘 要: 由于沿黄(河)冲湖积平原地区地质的特殊性, 路基下伏的软弱土层极大地影响了道路的长期稳定与安全使用。银川绕城高速公路西北段工程, 采用袋装砂井处治技术对软弱土地基进行综合处理。从袋装砂井的处治原理、设计参数、材料要求及施工工艺等方面, 对袋装砂井处治技术进行综合阐述。后期的砂井复合地基沉降观测资料表明, 采用"袋装砂井、砂砾垫层加土工织物"处治措施具有良好的效果。

关键词: 道路工程; 软弱土; 袋装砂井; 处治措施

本课题依托的工程是银川绕城高速公路西北段。银川绕城高速公路西北段全长37 km, 起点位于正在建设的银川绕城高速公路南段, 沿途经贺兰农场, 跨包兰铁路及西湖农场渠, 止于贺兰县北环路, 与已建成的石中高速公路相连。它是国道主干线25号和35号高速公路交汇连网的重要工程, 是宁夏"X"型公路主骨架的重要组成部分。

工程所在地属于冲湖积平原(即黄河西岸二级阶地), 第四纪以来区内新构造运动强烈, 使黄河河道不断由西向东迁移。在不断迁移过程中形成许多牛轭湖, 使二级阶地上部湖沼发育, 形成流塑~软塑淤泥、淤泥质土, 颜色呈灰色、灰黑色等。本工程中第6合同段的软土状况最为严重, 对于经过稻田的K43+ 000~ K43+ 100路段, 采用袋装砂井方法对地基进行加固处理。

1 袋装砂井的处治原理

袋装砂井是将散体砂装入化纤纺织物做成的细长袋子, 内置于软土中作为竖向排水体的一种软土处治方法。它可以做成很细的形状, 直径通常为7~12 cm, 同时, 根据"细而密"的原则, 能将井间距大大缩小, 从而加快排水固结时间, 是一种有效、简便而又普遍采用的软基处理方法。

现有研究与工程实践表明, 袋装砂井在处理公路软弱地基时主要起到3个作用。

(1) 排水固结作用。在软土地基中设置袋装砂井这个排水"通道", 改变了原有地基的边界条件, 增加了孔隙水的排除途径, 在逐级填筑路堤荷载作用下, 使得软基中的水分能够快速排出, 从而缩短固结时间、加快软土固结速率, 使土体强度增长、地基承载力提高。

(2) 承重作用。袋装砂井起到一定的加密与置换软土的作用, 随着砂井间距的缩短, 其承重作用将更为突出。

(3) 加筋和抗滑作用。由于装砂的砂袋通常由化纤纺织物制成, 它具有较大的拉伸强度, 工程在施工加载时竖向砂袋正好处在与土体滑动带相交位置, 所以起到了竖向加筋和抗滑作用。

袋装砂井法主要适用于软土厚度大、路堤稳定、填土高的软土路基, 如软粘土、淤泥和淤泥质土地基。如果天然土层的水平排水性比垂直方向大, 或软土中有薄层粉细砂夹层时, 效果会更好。根据本项目实际情况, 工程中采用"袋装砂井+ 砂砾垫层+ 土工织物"的综合处理方案。袋装砂井顶部铺设50 cm厚砂砾垫层与单向土工格栅, 并且坡脚各包裹2 m 宽无纺针刺土工布(上下各压入坡脚50 cm), 以达到最

基金项目: 宁夏回族自治区交通科技项目
收稿日期: 2007- 10- 16

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

优的处治效果。工程处治方案如图 1 所示。

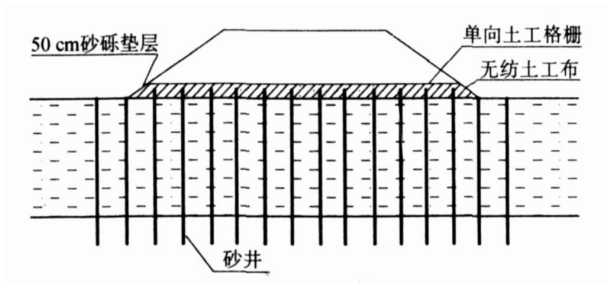


图 1　袋装砂井处治软土地基示意

2　袋装砂井的设计参数

袋装砂井法的主要设计指标有井径、井间距和井长。设计时要根据勘察调查的数据, 考虑到工期、容许工后沉降、路堤高度、施工条件等因素, 并通过固结理论计算来确定袋装砂井的直径、间距和长度。在预压期内要求完成的固结度大小, 则根据路基剩余沉降以及不均匀沉降可能造成道路面层结构破坏这一因素来考虑, 一般取固结度 U = 80%～95%。

2.1　直径和间距

袋装砂井的布置形式一般有两种, 即等边三角形(梅花形)和正方形。设袋装砂井的设置间距为 L, 当砂井按等边三角形排列时, 其影响圆的直径 d_e 为:

$$d_e = \sqrt{2\frac{\sqrt{3}}{\pi}} \times L = 1.05L \qquad (1)$$

根据本区软弱地基处治经验, 并考虑到经济和施工的因素, 本项目采用直径为 10 cm, 间距分别为 1.2 m、1.4 m 两种砂井, 并采用梅花形布井。

2.2　砂井长度

砂井的长度主要取决于软土层排水固结效果。本项目所处的路段淤泥质软土层较薄, 层厚一般为 2～5 m, 所以取 4～6 m 的砂井长度。具体长度应根据所处路段软弱土层的具体厚度确定。

2.3　袋装砂井地基固结度的计算

软土地基在预压荷载作用下, 经过一段时间(t)所产生的变形量(S_t)与土层的最终变形量(S)之比, 称为固结度(U_t)。软土地基经袋装砂井处理后, 其固结属三维固结。设置砂井后按三维固结理论进行计算时, 可以分为竖向固结与水平(径向)固结两种情况, 分别确定在指定时间内的固结度。

(1) 竖向排水固结度。在天然地基上进行堆载预压, 其固结度一般采用一维固结理论计算。竖向排水固结度的计算公式为:

$$U_v = 1 - (8/\pi^2)\, e^{-\frac{\pi^2}{4}T_v} \qquad (2)$$

$$T_v = (C_v \cdot t)/H^2 \qquad (3)$$

式中: T_v 为竖向固结的时间因素(无量纲); H 为单面排水土层的厚度或双面排水时土层厚度的一半, cm; C_v 为竖向固结系数, cm^2/s。

(2) 径向排水固结度。当软土地基中设置了竖向排水体时, 需用三维固结理论求解。径向固结度的计算公式为:

$$U_r = 1 - e^{-\frac{8}{F}T_h} \qquad (4)$$

式中: T_h 为径向固结的时间因素; F 为与井径比有关的系数。

则软土砂井地基的平均固结度为:

$$U_{rv} = 1 - (1 - U_v)(1 - U_r) \qquad (5)$$

式中: U_{rv} 为砂井地基的平均固结度。

此外, 当砂井间距较密或软土层很厚时, 竖向平均固结度 U_v 的影响很小, 常可以忽略不计, 因而能够直接采用径向固结度作为砂井地基的平均固结度。

对砂井地基的固结度计算的目的, 是为了求出在给定的预压荷载、预压时间以及容许沉降量条件下, 求出井径和井距。表 1 是袋装砂井设计依据及技术参数表。

表 1　袋装砂井设计依据及技术参数

设计项目	单位	K38+ 622～K38+ 980	K43+ 000～K43+ 480
最大填土高度	m	3.5	6.3
工后沉降基准期	月	180.0	180.0
井直径	m	0.1	0.1
井间距	m	1.4	1.2
预压期	月	6.0	6.0
固结度	%	80.0	89.0
预压结束时沉降量	cm	19.0	34.0
基准期内残余沉降量	cm	5.0	4.0

3　袋装砂井的材料

3.1　砂袋

砂袋采用聚丙烯编织袋, 具有足够的抗拉强度, 耐腐蚀, 价格低廉。但编织袋抗老化能力差, 在应用时应避免阳光长时间直接照射。成品砂袋的周长为 28.8 cm, 为设计尺寸的 91.7%, 当其脱离导管进入井孔之后, 直径将有所增大。砂袋的渗透系数大于 0.005 cm/s, 膨胀系数为 1.107。砂井袋装满后弯折(7.5 m 半径), 应无断裂、无拔丝现象。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.2　砂

采用银川镇北堡的中、粗砂作为砂井材料，其级配如图2 所示，粒径大于0.6 mm 的砂含量占总量的70%。砂料的实测含泥量为2.6%，含水量为3.5%，渗透系数大于0.005 cm/s。

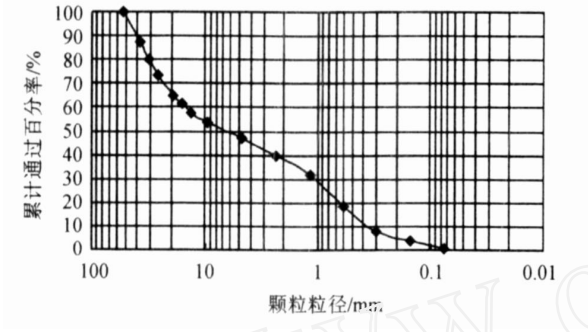


图2　砂料的筛分级配曲线

4　袋装砂井的施工工艺

袋装砂井施工机具采用振动锤打桩机，带单活瓣桩靴，内径108 mm，外径133 mm。打桩机采用轨道门架式行进方式。砂井的成孔速度约为2 m/min。施工过程中采用垂球控制垂直度，实测成孔倾斜度为0.8%。本文结合实际工程，研究并总结了套管成孔法的施工工艺(见图3)。

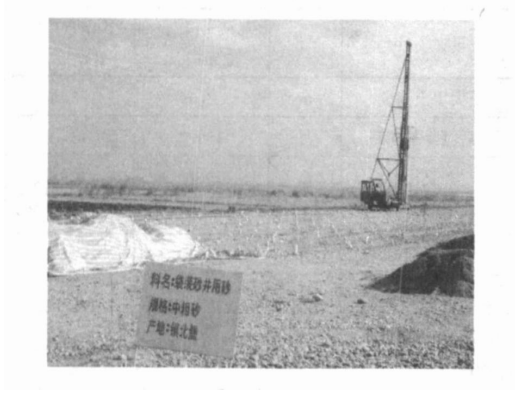


图3　砂井施工

4.1　施工流程

(1) 平整场地。清除草皮及表土，用推土机将场地大致平整，铺设30 cm 厚下垫砂砾层。

(2) 施工放样。在平整好的场地上，按坐标法用全站仪进行中桩、边桩的放样。根据处理宽度、设计桩距绘出布桩图，并用白石灰做出明显标记。

(3) 机具定位，沉入套管。将带有可开闭底盖的套管或带有预制桩尖的套管(内径略大于砂袋直径)按井孔定位沉入到要求的深度。

(4) 沉入砂袋。原则上应用桩架将砂袋垂直吊起沉入。当受桩架高度限制(袋装砂井长度超过桩架高度)时，可采用两节套管。砂袋输入时用人工输入。

(5) 拔出套管，同时做好施工记录。记录内容具体包括井距、井长、井径、竖直度、灌砂率等。

(6) 重复进行(3)～(5) 工序至全部砂井施工完毕。

(7) 施工完毕后，整平场地，测量标高，整理施工记录。试验检测后编写袋装砂井施工总结并铺筑砂砾垫层和土工格栅(见图4)。



图4　铺设土工格栅

4.2　施工要点

(1) 定位要准确。沉入砂袋时应采用经纬仪或重锤控制垂直度，这样就可确保排水距离和理论计算一致。

(2) 砂料含泥量要小，这对于小断面的砂井尤为重要，因为直径小、长细比大的砂井井阻效应较为显著。一般含泥量要求小于3%。

(3) 袋中砂宜用风干砂，不宜采用潮湿砂，以免袋内的砂干燥后体积变小，造成袋装砂井缩短后与排水垫层不搭接等质量事故。

(4) 聚丙烯纺织袋在施工时应避免太阳光长时间直接照射，以免老化。

(5) 砂袋入口处的导管口应装设滚轮，避免刮破砂袋而漏砂。

(6) 施工中要经常检查桩尖与导管口的密封情况，避免导管内进泥太多，影响加固深度。

(7) 确定袋装砂井施工长度时，需考虑袋内砂体积减少的影响，还需考虑袋装砂井在孔内的弯曲、超深以及伸入水平排水垫层内的长度等因素，避免砂井全部沉入孔内，造成与砂垫层不连接。同时，砂袋露出孔口的长度应保证超出砂垫层至少30 cm (见图5)，并不得卧倒。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net



图 5　露出地面砂袋

(8) 拔钢套管时应注意垂直起吊, 以防止带出或损坏砂袋。为避免拔套管时将砂袋带出, 可采取向管内注水等措施。施工中若发现带出或损坏砂袋现象, 应在原孔边缘重打; 连续两次将砂袋带出时, 应停止施工, 待查明原因后再施工。

5　袋装砂井地表沉降分析

在软弱土地基上修筑高等级公路路堤时, 最突出的问题是稳定和沉降。路堤与地基在施工中的变形动态对路基稳定也非常重要, 本文对施工期间袋装砂井处治地基进行了沉降和稳定的动态跟踪观测(目前此工程的路堤铺设刚完工, 路面铺设仍未进行。沉降观测数据截止到 2007 年 6 月)。

图 6 是袋装砂井复合地基观测断面的沉降曲线图。图 6 中两个观测断面的水平沉降管于 2006 年 8 月 21 日埋设, 埋设时填土高度为 0. 5 m。

从图 6 中可以看出, 袋装砂井复合地基的最大沉降点不在路堤中心线。K43+ 060 断面的最大沉降点在距管口(所有断面的管口均设置在路基右侧)约 42 m 处, 初步推测可能是此处地基土排水固结效果较差, 承载力较低, 造成沉降过大。K43+ 100 断面的最大沉降点在距管口约 31. 5 m 处。

从最大沉降点的沉降值来看, K43+ 060 断面最大沉降点距管口 42 m 沉降值为 10. 07 mm, K43+ 100 断面最大沉降点距管口 33. 5 m 沉降值为 15. 67 mm, 平均沉降速率分别为 0. 13 mm/d、0. 24 mm/d, 远小于设计判断的不稳定状态值(10 mm/d)。

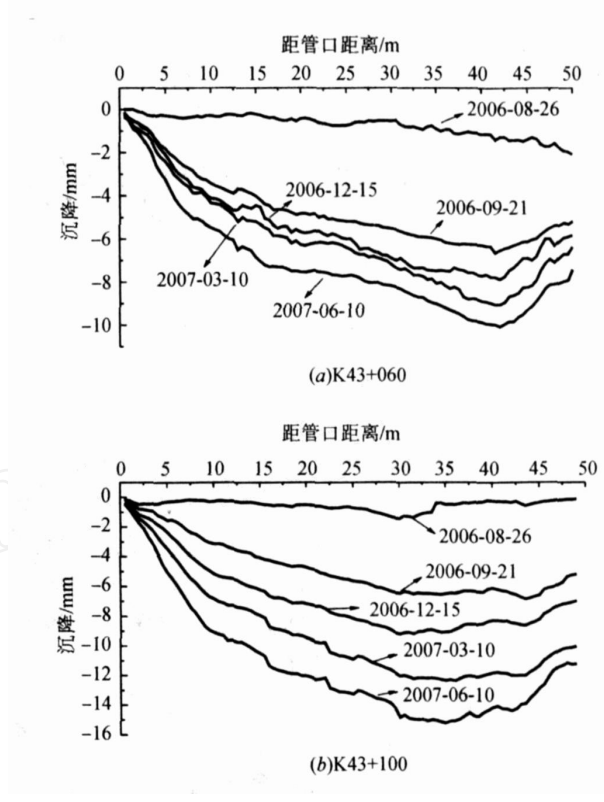


图 6　袋装砂井复合地基不同观测时期的断面沉降曲线

6　结语

本文结合银川绕城高速公路西北段工程, 对冲湖积平原软弱土地基的袋装砂井处治方法的处治原理、设计参数、材料要求及施工工艺进行了阐述。后期的砂井复合地基的沉降观测数据表明, 本项目采用的"袋装砂井+ 砂砾垫层+ 土工织物"处治方法可显著减少软弱土地基的沉降, 对于加速软土排水、稳定填土路堤具有显著效果。

参考文献:

[1] JTJ 017- 96, 公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].

[2] 陈艺南, 潘华良, 刘松玉, 缪林昌. 连云港滨海相软土工程特性[J]. 岩土工程技术, 2001, (4).

[3] 刘玉卓. 公路工程软基处理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.

[4] 魏松涛. 冲湖积平原软弱地基沉降规律及处治措施研究[D]. 西安: 长安大学, 2007.

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net