

# 高速公路工程中软土地基的处理方法与路基施工

宁亮<sup>1,2</sup>, 贾晓蕾<sup>3</sup>

(1. 西安理工大学, 陕西 西安 710048; 2. 杨凌职业技术学院, 陕西 杨凌 712100;

3. 宝鸡冯家山水库管理局凤鸣管理处, 陕西 宝鸡 722400)

**摘要:**对软土路基处理以及加固方法进行全面分析, 结合近几年国内对软土地基的处理经验, 软土地基处理应结合当地工程地质条件、经济技术条件和施工工期要求, 制定切实可行、经济合理的处理措施。

**关键词:**加固方法; 软土路基; 路基施工

中图分类号: U416.1

文献标识码: A

文章编号: 1671-9131(2009)03-0048-04

## Brief Analysis of Construction Techniques and Disposal Method of Soft Earth Foundation in the Freeway Engineering

NING Liang<sup>1,2</sup>, JIA Xiao-lei<sup>3</sup>

(1. Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2. Yangling Vocational and Technical College, Yangling, Shaanxi 712100, China;

3. Fengming Administrative Office, Baoji Fengjiashan Reservoir Administrative Bureau, Baoji, Shaanxi 722400, China)

**Abstract:** The article all-sidedly analyses the disposal and reinforcement method of the soft earth foundation, in the light of the disposal experience of the soft earth foundation of our country in recent years. The disposal method should combine with the condition of engineering geology, economic technology and the requirement of construction time limit, only in this way can we work out practical and economical disposal method.

**Key words:** reinforcement method; soft earth foundation; construction of earth foundation

### 1 概述

高速公路不仅要求路基稳定, 而且对工后沉降有较高要求, 特别是需要严格控制工后不均匀沉降量。从已建软土地基上高速公路运行情况看, 工后沉降较大, 特别是造成“桥头跳车”是目前存在的主要问题。桥涵一般采用桩基础, 工后沉降很小, 路基工后沉降较大, 不均匀沉降造成“桥头跳车”, 轻者影响车辆行车速度, 严重的导致交通事故。不均匀沉降大于 20~40 mm 时, 如不及时修补, 将严重影响车辆行驶。因此在保证工程质量的前提下, 究竟采取何种地基加固方式才能达到减小工后沉降、降低施工周期、并且经济合理, 是软土地基上修建高速公路需要高度重视和解决的课题。目前复合地基处理方法因为其工期短、处理效果好等优点, 应用也越来越广泛。如 PHC 管桩从用于桥梁桩基、处理桥头

跳车等病害或作为公路常规软土地基预压处理的补救措施, 发展到与其它类型桩组成组合桩加固软土路基或单独用作加固软土路基。由于软土具有天然含水量高, 孔隙比大, 强度低等特征, 它的存在不仅对公路大中型构造物的安全具有危害, 还会引起路基的失稳和不均匀沉降, 导致路面破坏及行车不舒适感。因此, 对此类不良地质进行处治是高等级公路施工中不容忽视的问题。针对软土地质的实际情况, 即软土的分布范围、厚度、路堤高度、所处的位置以及可允许的工期等诸多方面因素, 施工中对不同软土地段采用了不同的加固措施。广东省西部沿海高速公路珠海段在设计中考虑运用多种处理方式进行软土路基处理。桩复合地基、常规堆载预压处理对比试验研究, 以指导施工和动态设计。工程中处理软土地基的方法有很多如: 砂垫层法、粉喷桩、塑料排水板、等(超)载预压法等一系列措施。

\* 收稿日期: 2009-02-13

作者简介: 宁亮(1979-), 男, 陕西城固人, 助理讲师。

## 2 软土地基处理方法

### 2.1 砂垫层法

铺筑砂垫层是软土地基常用的浅层处治方法,通常用于松软过湿地表面,形成填土的底层排水,在一定程度上能提高地基强度,补偿土中抗剪强度的不足,可防止由于局部承载力丧失而引起的路基填土与软土地基相互混杂,减少路堤的不均匀沉降。该方法主要用于软土层较薄,工后沉降量不大的地段。排水砂垫层是在路堤底部地面上铺设一层砂层,作用是在软土顶面增加一个排水面,在填土的过程中,荷载逐渐增加,促使软土地基排水固结渗出的水就可以从砂垫层中排走。为确保砂垫层能通畅排水,要采用渗水性良好的材料。宜选用中粗砂,砂的含泥量(小于0.074 mm砂粒)不宜大于15%。砂垫层一般的厚度为0.6~1.0 m。为了保证砂垫层的渗水作用,在砂垫层上应该填一层黏性土封住水不让水返上路基。在路基两侧要修好排水沟,通过砂垫层渗出的水通过排水沟排出路基外,保持路基的稳定。

### 2.2 粉喷桩

粉喷桩加固软土地基主要是利用专用设备,借助压缩空气,将水泥喷射,并在加固的深层软土中强制原位搅拌压缩,吸收周围水分,产生一系列物理化学反应,形成具有一定强度的水泥桩体,它与柱间土共同作用形成复合地基,经过处理的土体可比天然地基容许承载力提高1.0~1.5倍,抗侧向变形能力有所提高。粉喷桩施工的主要步骤及施工工艺:①平整场地,准确测放轴线及桩位;②拌机就位、调平,与桩位误差不大于50 mm,搅拌轴垂直度偏差不超过1%;③开动转机,预搅下沉,钻至设计厚度;④升粉喷搅拌,当提升至停灰标高时,慢速原地搅拌1~2 min;⑤为使粉喷材料均匀,全桩长重复搅拌;⑥钻机提升至地面0.5 m时,停止喷粉;⑦移动钻机,施工下根桩;⑧养护、取样、送检。粉喷桩施工前,必须根据室内配合比进行成桩试验,以确定下述参数:①满足设计喷粉量的各技术参数:如钻机钻进速度、搅拌提升速度、喷粉时管道内压力等;②水泥搅拌的均匀程度,下钻及搅拌提升的困难因素。

试桩不少于5根,抽取其中2根做28 d钻芯取样试验,要求芯样连续、完整、强度合格。

### 2.3 塑料排水板

在软土层内插入塑料排水板是人为地在土层内造成渗水通道,增加排水途径,缩短排水距离,从而在路堤填土的自重负荷作用下加快排水固结,提高软弱地基强度及承载力。但塑料排水板也有不足之

处,如破坏硬壳层,增加软土的沉降量,土体扰动使原状结构破坏等。对于地势较低的路段,塑料排水板插入后形成无数的排水通道,当地下水受江河水位影响时可能会侵入路基。塑料排水板的施工步骤为:①打设塑料板前先铺设30 cm厚的砂垫层,为打设塑料排水板提供操作场地。②按照设计要求进行测量放线,确定板位。③步履式套管插板机就位后,将监理工程师同意且中心试验室试验合格的塑料排水板由后部的卷筒通过井架上方滑轮,插入套管内,用套管的输送滚轴夹住排水板。④将套管和排水板一起压入土中,达到设计深度后,输送滚轴反转松开排水板,上拔套管,留排水板于土中。⑤在压入过程中,对压入的板长和竖直度作详细的施工记录以备查。⑥留20 cm于砂垫层中,从顶端将排水板切断。⑦打设过程中保证排水板不扭曲,滤膜不被撕破和污染,否则将排水板拔出后重新打设。⑧打设后外露的排水板孔周围带出的泥土立即清除后,用砂砾填实,并将排水板曲线弯贴于已铺筑的下半层砂垫层表面,验收合格后,尽快铺筑上半层(20 cm厚)砂垫层,最后整平压实。

### 2.4 等(超)载预压法

等(超)载预压法是利用路基荷载对地基施加压力使之不断沉降且渐趋稳定。这是软基处理中最经济的方法,它加固效果实在,减少工后沉降量作用明显。由于该项目软土层中普遍存在砂夹层或下卧砂层,固结排水条件较好,因此只要有一定的预压期,就可达到排水固结的目的,从而节省大量的工程处治费用。由于高速公路对不同部位的工后沉降量要求不同,故对不同部位、不同的工后沉降控制标准采用了不同的预压高度。该项目对计算沉降量不大的段落采用预压高度为0.4 m、0.6 m、0.8 m的欠载预压方案,对计算工后沉降量比较大的段落,采用等(超)载预压法,加载高度为1.2 m、1.5 m对构造物两端的沉降量控制采用以等载预压为主的预压方案,对少数沉降较大的构造物两端,采用更大的预压荷载。为保证路基稳定和压实效果,预压土应在路基宽度内满幅施工,分层碾压。因土质含水量大,填筑速率不大于5 m/d,边坡坡比取1:1.5,以保证加载土顶面宽度。

## 3 冲积地带软土路基施工

### 3.1 对过湿土的处治

由于项目所在地为冲积平原地貌,各取土地表虽有1~3 m的粘土、亚粘土或亚砂土,但土质天然含水量高,多为过湿土。加之3 m以下为淤泥质

土,故各土场可取土层较薄,土源缺乏。为满足路基用土,确保路基稳定和工后沉降的控制,必须采取措施对过湿土进行改良。过湿土含水量超过规定容许值,不可能压实到规定的密实度,给路基施工带来很大的困难,施工中采用掺生石灰并结合翻耕晾晒的方法对过湿土进行处理,效果较好。因为用生石灰粉处理过湿土时,能吸收较多的水份,此外生石灰消解时放出大量的水化热和发生的化学反应能促使较多的水分蒸发和吸收。同时,土中掺入的生石灰粉可促进土粒重新排列形成团状结果,改善土的物理力学性质。

根据路基设计的规定,路基填料 CBR 值为:上路床大于或等于 8%,下路床大于或等于 5%,上下路床压实度均要求不小于 96%。为使填料满足 CBR 值的要求,保证路基的压实度,整体强度和水稳性,对于路床 80cm 厚的过湿土,必须依据现场施工情况掺生石灰粉进行改良,施工中上路床的生石灰掺量为 8%,下路床的石灰掺量为 6%。路基地部除已填砂垫层外,都需在清理表土后,翻挖 30cm 再进行压实。当压实度达不到 86% 时,需掺拌 5% 的生石灰粉进行改良,改良后的基底压实度必须满足规定的要求。路基其他部位的填土视土质含水量大小、施工季节等情况确定是否掺生石灰粉以及掺拌的数量。

### 3.2 填砂路堤施工

该项目 k0~k2 路段,地处软土地基,沿线可取土场天然含水量大, CBR 值小,虽经采取掺生石灰和减水固化改善措施,作为路基填料,但多数土场的改良土仍需进行晾晒,运距较远加之施工期间雨水频繁,施工进度受到制约。为克服不利因素,利用有利的资源条件,采用当地丰富的河砂作为路基填料,既具有施工不受雨季影响,又确保了路基施工的质量。

(1)对填料的要求:塑指小于 6,含泥量小于 20% 的河砂均可作为填砂路堤材料。

(2)施工机械配置:每标段需配置重型振动压路机,胶轮压路机,平地机以及各类适用于在砂路基上行走的运输车辆。

(3)施工要求及注意事项:填砂路堤仅适用于下路堤及上路堤施工,路床部分必须采用整体性材料填筑。填砂前,地基按一般技术规范要求进行处理,并按设计要求铺设砂垫层,挖好排水沟,满足渗排水需要。填砂层由下至上连续填筑,其松铺厚度按试验路试验结果确定,一般不大于 50 cm,碾压时按照先边后中,先轻后重,先静后振的顺序进行,每层压实度必须达到规定的要求。对已碾压成型的填层,

要经常洒水养生。填砂路堤对包边土的要求:①填砂路堤采用先填砂后包边的方法施工,当填砂至分层厚度时,及时填筑包边土,包边土宜采用符合要求的素粘土或石灰改良土。②包边土要分层填筑宽度一般为 2 m,也可使用机械以适合碾压宽度为宜。填时要挖出宽度不少于 50 cm。砂路堤边坡台阶,同步进行碾压。每层压实厚度为 20 cm 压实度必须达到要求。③包边土外边坡应符合设计要求,路床底面在包边土与填砂路堤衔接处要铺设土工格栅。包边土底部与砂垫层之间铺设无纺土工(反滤层)。

(4)填砂路堤压实度检验要求:①含泥量大于或等于 20% 的填砂路基,可按填土路基检验方法进行压实度检验,当含泥量变化过大时,应现场取样进行击实试验,及时校正最大干密度。②含泥量小于或等于 20% 的填砂路基,可用长杆贯入仪进行压实度检验,检验前要做压实度试验段,绘制出随深度而变化的贯入击数曲线,找出满足压实度要求的锤击次数合格线。

### 3.3 浸水路堤施工

在一定高度范围内,浸水路堤有可能长时间处于水流浸泡中,使该部分土体达到充分饱水的极端状态。因此必须根据水流对路基破坏的性质、程度进行加固处理。路基施工前应进行排水、清淤、晾晒、基底开挖、分层填筑石灰土或水稳性好的材料至常水位标高处,常水位以下的坡面采用混凝土预制块护面,以阻止或减少水分进入路基内部。

## 4 软土路基处治主要施工程序

软土路基处治施工分为施工准备、路基处治、预压三个阶段,必须保证预压阶段有足够的时间。软土路基处治的主要施工程序如下。

### 4.1 真空联合堆载预压

真空联合堆载预压横向处理范围为路堤坡脚外 2.0 m,具体施工步骤如下:池塘抽水清淤。铺设 50 cm 厚中粗砂垫层,埋设沉降标。按 1.0 m 间距正方形布桩。用插板机打设塑料排水板至设计标高。观测沉降标沉降,埋设监测仪器。铺设真空滤管主管,安装真空设备。开挖密封沟,铺设密封膜。抽气检查密封膜漏气及各系统运转情况,正常后正式抽气进行真空度及沉降观测。路基土石方分层填筑。真空联合堆载预压两个月后卸载。堆载预压至沉降符合路面施工的要求。

4.2 真空联合堆载预压+水泥搅拌桩墙真空联合堆载预压+水泥搅拌桩墙具体施工步骤如下:池塘抽水清淤。回填素土,整平场地,打设水泥

搅拌墙,打设粘土搅拌密封墙(如有需要)。铺设50 cm厚中粗砂垫层,埋设沉降标。按1.0 m间距正方形布桩。用插板机打设塑料排水板至设计标高。观测沉降标沉降,埋设监测仪器。铺设真空滤管主支管,安装真空设备。开挖密封沟,铺设密封膜。抽气检查密封膜漏气及各系统运转情况,正常后正式抽气进行真空度及沉降观测。路基土石方分层填筑。真空联合堆载预压2个月后卸载。堆载预压至沉降符合路面施工的要求。

#### 4.3 管涵段软土路基处治

管涵段软土路基采用相应路段的处治方法,在预压期满后反开挖埋设管涵。

#### 4.4 箱涵段软土路基处治

箱涵采用水泥搅拌桩复合地基。水泥搅拌桩直径0.6 m,正三角形布置,间距1.0 m。箱涵两端路基设置水泥搅拌桩复合地基过度段,水泥搅拌桩直径0.6 m,正三角形布置,桩间距过渡段1.2 m左右,打穿软土层。水泥搅拌桩水泥掺入量20%,水灰比0.5,采用P.O 32.5级普通硅酸盐水泥,桩体90d强度不小于0.75 MPa。

#### 4.5 桥头段软土路基处治

桥头段软土路基处治设计长度48 m,其中25 m为连续段,过渡段为7.5 m+7.5 m,采用水泥搅拌桩复合地基。水泥搅拌桩直径0.6 m,正三角形布置,间距按连接段1.0 m,过渡段1.1 m和1.2 m。长度按打穿软土层计。水泥掺入量为20%,水灰比0.5,采用P.O 32.5级普通硅酸盐水泥,桩体90d强度不小于0.75 MPa。桥头段软土层厚度大于20 m时,采用真空联合堆载预压的方法处治。该路段的施工顺序为:软土路基处治和路堤填筑,桥的桩基施工,反开挖、桥台施工。

### 5 施工要求

不同类型的软土路基处治开始前,应先铺筑长度不小于100 m的先导施工路段并进行成桩试验,先导施工路段和成桩试验的试验结果经确认后,方可进行规模施工。真空联合堆载预压处治路段与复合地基处治路段相邻时,应先进行真空联合堆载预压施工,在真空联合堆载预压土体水平位移稳定后进行复合地基的施工。在每个标段施工前,按20~50 m的间距布设静力触探试验孔,以查明软土层的

确切深度和浅部透气砂层的分布情况,同设计单位确定塑料排水板 and 水泥搅拌桩的确切打设深度,及是否需要设置粘土密封墙。强化施工期地面沉降和水平位移观测工作,施工单位必须设立专门的观测组,按设计要求布置观测设施并进行观测。

### 6 结束语

软土地基处理的目的是使路堤不会产生局部和整体剪切破坏,满足强度及稳定性要求;公路使用期不致发生较大的沉降和不均匀沉降,以保证路面结构完整和车辆高速平稳行驶,由于软土分布情况较为复杂,软土尤其是淤泥的土性较差,而高速公路要求路堤的稳定和沉降标准较高,因此,软土地基处理设计对整个工程的质量至关重要。

进行软土地基处理,特别是软土层较厚的地基,处理的方式是否到位,对工程的施工质量、工程进度和工程造价有着直接的影响。对于软土地基处理采用什么方法应根据不同的地质条件、施工条件、土质的物理、力学性能等综合考虑,同时还应考虑其施工的方便性、可行性及经济性。

分期修建的建设思路在许多情况下对于处理软土路基还是一种成功的办法。一方面,它可以将复杂的加固处理方法更换为简单方法处理,另一方面,延长了工期,使得固结沉降大部分完成,在修筑路面后路基变形很小,甚至不再变形。因此,分期修筑是一种较为经济的处理方法。随着科学技术的不断发展,新材料、新工艺的开发,对于软土地基处理的方法会越来越多,越来越经济、方便、更有效,将更有利于高等级公路路基的处理,充分发挥出高等级公路的优越性。

#### 参考文献:

- [1] JTJ071-98,公路工程质量检验评定标准[S].
- [2] JTJ017-96,公路软土地基路堤设计与施工技术规范[S].
- [3] JTJ017-96,公路路基施工技术规范[S].
- [4] 王晓谋,袁怀宇,贾其军,等.路堤下河滩相软土地基变形研究[J].中国公路学报,2003,16(2):22-26.
- [5] 姚玲森.桥梁工程[M].北京:人民交通出版社,2002:24-26.
- [6] 周晓龙,廖红.高压旋喷桩桩身强度统计计算与载荷试验分析[J].徐州建筑职业技术学院学报,2005,(1)