

既有高速公路软基沉降的夯扩桩支托处理技术

陈 军,卢传忠

(江苏沿海高速公路管理有限公司,江苏 盐城 224045)

摘要:针对在软弱土地基上修建高等级公路存在的不均匀沉降问题,结合江苏沿海高速公路连盐段工程,分析沉降产生原因的分析及加固方案的论证,提出夯扩桩处治方案,采用分层总和法进行沉降计算。计算结果表明:若不进行地基处理,路基还将产生约29.0 cm的残余沉降量;采用夯扩桩方案处治之后,路基工后沉降量为3.1 cm,比不处理地基降低了25.9 cm,有效解决了既有高速公路路基的工后沉降问题。

关键词:既有高速公路;软土地基;夯扩桩;现场监测;数值模拟;加固效果

中图分类号:TU473.1 **文献标志码:**B **文章编号:**1006-7647(2014)S2-0032-04

目前我国绝大部分高速公路建于经济发展较快的沿海、长江三角和珠江三角等地区,而这些地区的软土地基通常具有含水率高、渗透性差、压缩性大、强度低、灵敏度高和厚度不均等特点。在软土地基上修建高速公路,会带来很多问题,例如在路基填筑过程中出现不稳定,严重影响高速公路的施工质量和施工进度;在建成通车后软土地基不均匀沉降过大,又严重影响了高速公路的正常使用。从已建成通车的高速公路情况看,路堤稳定的条件相对容易满足,但高速公路不仅要求路堤稳定,而且对工后沉降的要求也很高,特别是高速公路上与构造物相邻路基的工后不均匀沉降量需要严格控制。

夯扩桩是一种技术性能可靠、工艺科学、无泥浆污染、施工进度快、工程造价低、经济效益可观的新型桩^[1],它是在扩底桩与价廉的沉管灌注桩基础上发展起来的,桩身采用现浇混凝土,由于夯扩桩是以桩端扩大头的承载力为主,以桩身的摩阻力为辅,桩端扩大头形成的同时,对桩端地基土强制夯击挤密,因此它具有较高的承载力。郑玉辉等^[2]研究了夯扩桩在复杂地基工程中的应用,实践表明夯扩桩在复杂地层环境下具有较好的承载性能,能适应复杂地质环境;仇凯斌等^[3]采用有限元方法分析了夯扩桩的承载性能,计算结果表明夯扩桩由于下端设有扩大头,其承载性能得到了显著提高;李广信等^[4]研究了夯扩桩最优间距问题,认为夯扩桩最优间距为4倍桩半径。

本文以沿海高速公路连盐段路面沉降病害成因分析及处治技术研究项目为依托,针对沿海高速公路的高压缩性软土上已通车高速公路路面沉降病害问题进行专项全面应用研究,提出路面沉降病害的处理措施,确保高速公路顺畅运行,并为其他类似沉降病害处治工程提供参考和借鉴。

1 沉降病害调查分析

1.1 沉降资料分析

沿海高速公路连盐段自2006年底开通运营至今已有7年,每年都会出现差异沉降较大的段落,主要集中在结构物过渡段和一般路段。通过两年运营期的现场沉降观测,将运营期的实测沉降量与设计堤高、施工期沉降量进行比较,如图1和图2所示。由图1和2看出,运营期两年沉降量与设计堤高的关系不甚明显,而与施工期沉降量分布规律较为一

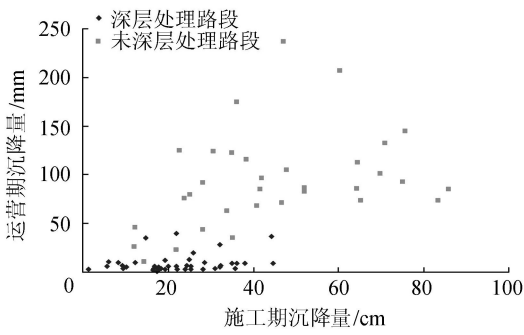


图1 运营期沉降量与施工期沉降量的关系

作者简介:陈军(1980—),男,江苏盐城人,工程师,硕士,主要从事道路工程的设计与科研工作。E-mail:125283001@qq.com

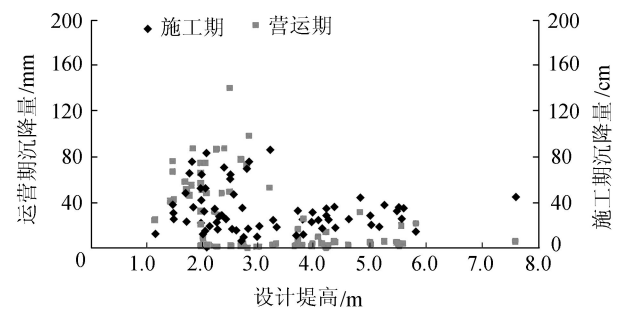


图2 沉降量与设计堤高的关系

致,也即施工期沉降量大的观测点,运营期沉降量也大。

1.2 沉降原因分析

1.2.1 路基工后沉降

桥涵、通道与路基大都是平行施工,桥涵是刚性体,一般对地基强度有较高的要求,因此施工时对其进行加固处理,沉降较小或不沉降(岩石地基)。由于考虑投资等原因,台后填方段一般不可能像桥涵结构物一样进行处理,所以或多或少会有一些的工后沉降,从而使桥台和台后填方产生差异沉降,形成台阶,引起桥头跳车。此外,一般路段不同的地基处理方法存在差异,也可能产生差异沉降。

1.2.2 路基工后压缩

a. 设计原因。设计时对于填料的要求不严格,台背排水考虑欠佳。桥涵结构物两端的路堤,由于过水、跨线或通道的要求,一般填土都较高,低的3 m左右,高的可达10 m或更高,除了过水的桥涵两侧路堤往往受水浸淹,地基条件也较差,设计上对路基断面结构和边坡防护有所考虑外,其他多数情况对高路堤设计上并无特别的要求,如压实度等指标均与一般路堤无异。但由于路堤较高,在填筑以后受到自重和行车荷载的作用,路堤填土必然要产生较大的竖向变形。

b. 台后填料不施工原因。施工时对桥台台后的回填土未能慎重考虑,施工人员用料不当、控制不严,未能达到要求,而造成构造物台后填料的下沉。目前江苏省大部分高速公路桥头跳车所引起的根本原因主要是由于地基工后沉降所引起。

2 夯扩桩加固技术

2.1 工程概况

江苏连盐高速公路灌云路段全长7.092 km,所经区域主要为海陆交互沉积的滨海平原区,西高东低呈微倾斜状,地势低平,水系发育,地面标高一般为2~4 m,浅部新近沉积的软土分布较为普遍。本路段最主要的不良地质现象为浅部有较厚软土分布,主要包括2-2层淤泥和2-3层淤泥质(亚)黏土~亚

黏土。该路段自通车以来沉降一直没有稳定,每年新增沉降量达到5~10 cm之多。经过比较各种加固方法,并在详实的现场调查基础上,对该路段拟采用夯扩桩支托加固方案。

2.2 施工参数

本路段处理长度为30 m,参照相关规范^[5-6],夯扩桩设计参数的确定跟软土深度及荷载大小有关,基于本段软土深度、荷载大小及相关工程经验,确定设计引孔直径为150 mm,夯扩桩长度14 m,直径700 mm,间距1.8 m,总桩数为306根,总桩长为4284 m。夯扩桩采用C30混凝土,加固处理完毕后,引孔路堤段用中粗砂回填振实,路面结构层用混凝土浇灌回补,处理路段上部用约4 cm沥青罩面。加固方案布置图如图3所示。

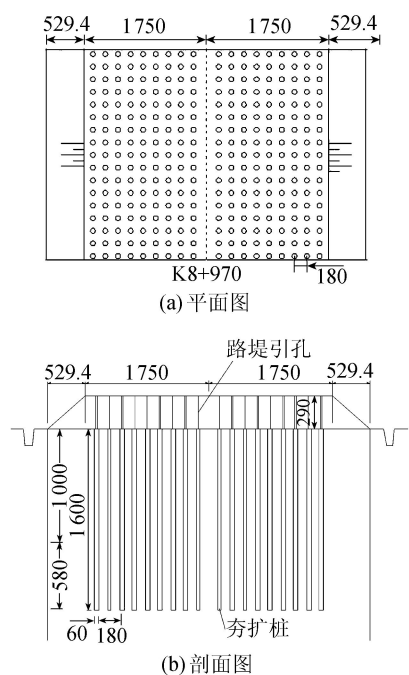


图3 加固方案布置(单位:cm)

2.3 施工工艺

采用夯扩桩技术处理既有高速公路软土地基的施工工艺流程如图4所示。

3 地基沉降计算

3.1 地基未处理沉降计算

a. 简化公式计算。高速公路路堤在运营期间的沉降问题不同于正常静荷载作用下的沉降,在车辆动荷载、冲击荷载作用下,路堤的沉降特性更加复杂。对于这一问题,相关学者做了一定研究,通常在计算中将车辆荷载拟静力化,然后采用分层总和法计算路堤在运营期间的沉降^[7-11]。该路段自通车以来,沉降一直没有稳定,每年路面加铺厚度为23.37 cm。根据地质勘测资料,2006年该路段K853+990断面

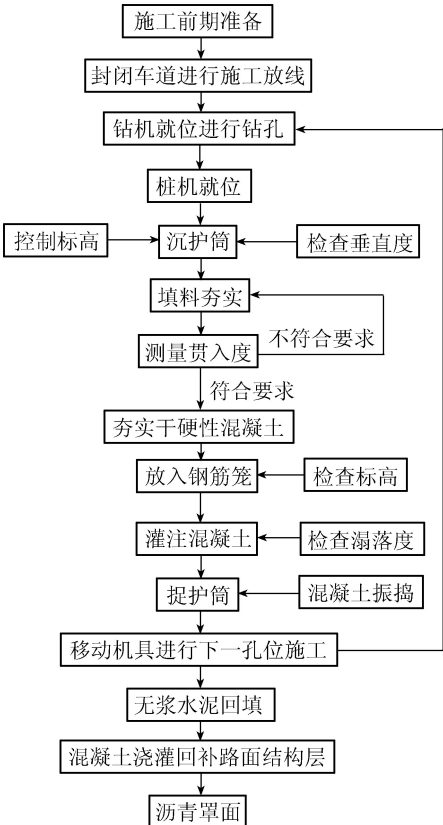


图4 夯扩桩施工工艺流程

的土层参数如表1所示。对该路段原设计方案的沉降进行计算,计算中考虑了路面加铺0.8 m增加的荷载,2-2层软土固结系数取为0.005 cm²/s。运用分层总和法计算地基未处理时的总沉降量。计算结果表明,按照原设计方案,计算总沉降量为89.1 cm,当前已发生的沉降量为60.1 cm,若不进行加固处理,还将产生29 cm的残余沉降。

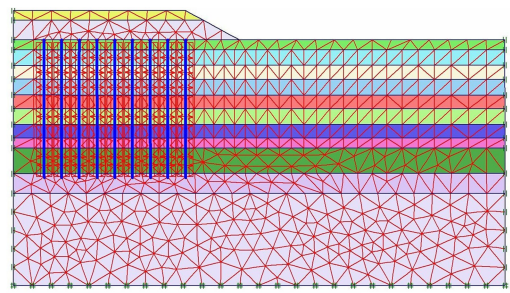
b. 有限元计算。采用二维岩土工程有限元软件Plaxis程序进行计算,土体采用一般单元模拟,采用面单元进行分析,断面水平方向无位移,底部将约束竖直方向位移,路堤轴线处不发生渗流。土样及粉喷桩物理力学参数指标同表1。计算断面共划分为1476个单元,共13111个节点,计算单元网格划分如图5(a)所示。根据地下水位线和土体的自重应力得出K853+990断面的水应力分布和土体自重应力分布,沉降量计算如图5(b)所示。

3.2 夯扩桩处理沉降计算

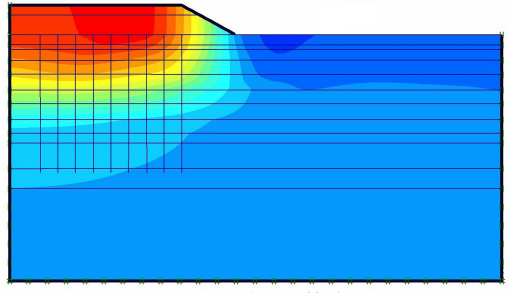
取K853+990断面进行沉降计算,路基基础为

表1 K853+990断面土层参数

层次	岩土名称	层厚/m	层底标高/m	孔隙比	天然含水率/%	塑性指数	压缩模量/MPa	渗透系数/(10 ⁻⁷ cm·s ⁻¹)
1	亚黏土	2.5	1.12	1.087	34.0	35	1.26	3.29
2	淤泥	11	-9.88	1.936	72.7	46	1.78	2.81
3	淤泥	6.9	-16.78	1.294	33.1	16	3.85	0.826
4	黏土夹亚砂土	2.9	-19.68	1.334	36.2	21	4.88	3.96
5	黏土	5.6	-25.28	0.974	34.0	13	3.85	



(a) 计算单元网格



(b) 沉降量计算结果

图5 地基未处理有限元计算

平面问题。土体采用一般单元模拟,夯扩桩采用面单元进行分析,断面水平方向无位移,底部将约束竖直方向位移,路堤轴线处不发生渗流。简化公式计算参数见表2,有限元计算结果如图6所示。从计算结果分析可知:

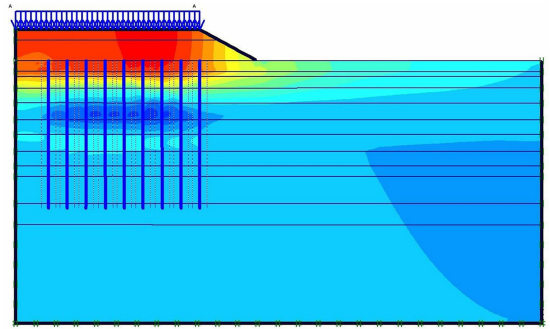


图6 有限元计算沉降量结果

a. 当对现有路基不作任何处理时,在不断增加的车辆荷载的作用下路基将以每年5~6 cm的速率下沉,尽管沉降速率在慢慢收敛,但是收敛的速率非常慢,最终工后沉降还有29 cm。

b. 当采用夯扩桩进行加固处理后,简化公式计算所得工后沉降量为2.6 cm,有限元计算所得工后沉降量为3.1 cm,与原设计方案相比残余沉降量减小了25.9 cm,有效解决了既有高速公路路基的工后

表 2 K853+990 断面简化公式计算参数

土层	土样编号	取样深度/m	孔隙比	含水率%	塑性指数	压缩模量/MPa	渗透系数/(10 ⁻⁷ cm·s ⁻¹)
1 层	K8+985-1	3.5	0.90	25.8	35		
-1 层	K8+985-2	5	1.80	65.6	38	1.44	0.414
-2 层	K8+985-3	6.5	1.59	58.1	40	2.30	1.710
-3 层	K8+985-4	8	1.55	56.2	47	2.40	0.493
-4 层	K8+985-5	9.5	2.05	74.7	43	1.91	0.769
-5 层	K8+985-6	11	1.67	58.4	37	1.98	0.329
-6 层	K8+985-7	12.5	1.37	49.7	37	2.44	39.600
-7 层	K8+985-8	14	1.76	64.2	46	1.85	0.804
D-1 层	K8+985-9	16	0.76	26.9	32	4.01	0.826
D-2 层	K8+985-10	18	0.70	25.6	16	6.55	0.624
D-3 层	K8+985-11	20	0.64	23.1	21	5.11	0.309

沉降问题。根据有限元数值模拟可知,采用夯扩桩进行路基加固处理方案,可以有效减少软土地基路堤的沉降,使工后沉降满足高速公路的使用要求。

4 结 语

对沿海高速公路路面沉降现状及软土地基灾害变形进行了调查,分析了影响沿海高速公路施工期及运营期沉降大小的各种因素。针对沿海高速公路灌云路段 K853+990 断面,采用夯扩桩支托技术进行地基加固,采用分层总和法进行沉降计算。计算结果表明,若不进行地基处理,在不加铺的情况下该断面还将产生约 29.0 cm 的工后沉降量;若采用路面加铺,工后沉降量将更大;采用夯扩桩支托技术处治之后,路堤工后沉降量为 3.1 cm,比不处理地基降低了 25.9 cm。

参考文献:

[1] 沈保汉. 我国夯扩桩的发展现状[J]. 工业建筑,2004,34(2): 45-49.

(上接第 24 页)

3 结 论

- a. 吊脚桩受力时,最大基坑壁横向位移发生在土体中部的冠梁附近区域,不同倾角锚索支护效果顺序为 20°、25°、15°,随下部桩体嵌岩部分桩前预留平台宽度的增加,坑壁的横向位移逐渐减小。
- b. 吊脚桩上部锚索倾角为 20°,下部桩前平台预留宽度为 1.2 m 时即可保证桩底的稳定性。
- c. 现场变形监测结果与变形计算结果对比表明,两者吻合较好,最大变形位于桩顶部,均在 40 ~ 50 mm 之间,表明数值计算得到的结果可用于指导工程实践。

参考文献:

[1] 应宏伟,章丽莎,谢康和,等. 坑外地下水位波动引起的

[2] 郑玉辉,陈追田,王惠昌. 复合载体夯扩桩在复杂地基工程中的应用[J]. 土工基础,2008,22(5): 25-27.

[3] 仇凯斌,介玉新,李广信,等. 复合载体夯扩桩承载力性状有限元分析[J]. 工程力学,2002,19(3): 90-94.

[4] 李广信,王继忠. 复合载体夯扩桩最优桩距的研究[J]. 工业建筑,2002,32(1): 29-31.

[5] GB50202—2002 建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].

[6] JGJ/T135—2001 复合载体夯扩桩设计规程[S].

[7] 高玉峰,黎冰,刘汉龙. 车辆荷载作用下公路软基沉降的拟静力计算方法研究[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(增刊2).

[8] SAKAI A, SAMANG L, MIURA N. Partially-drained cyclic behavior and application to the settlement of a low embankment road on soilty-clay[J]. Soils and Foundations, 2003,43(1): 33-46.

[9] 杨晖,车辆荷载作用下复合路基沉降研究的现状[J]. 交通科技,2001(1): 64-47.

[10] 李世壮,车辆荷载作用下复合路基的沉降研究[J]. 长春工程学院学报:自然科学版,2002(2): 33-35.

(收稿日期:2014-09-21 编辑:周红梅)

基坑水土压力响应[J]. 浙江大学学报:工学版,2014(3): 492-497.

[2] 刘焕存,黎良杰,王程亮,等. 紧临地铁站基坑支护设计与变形控制[J]. 岩土工程学报,2012,34(增刊1): 654-658.

[3] 陈军. 深基坑支护工程的设计、施工与监测[J]. 湖南大学学报:自然科学版,2002,29(增刊1): 117-121.

[4] 刘红军,王亚军,姜德鸿,等. 土岩组合双排吊脚桩桩锚支护基坑变形数值分析[J]. 岩石力学与工程学报,2011,30(增刊2): 4099-4103.

[5] 毕经东,张自光. “吊脚桩”支护型式应用及计算方法分析[J]. 石家庄铁路职业技术学院学报,2013,12(1): 28-32.

[6] 肖武权,冷伍明. 深基坑支护结构设计的优化方法[J]. 岩土力学,2007,28(6): 1201-1204,1211.

[7] 杨林德,时蓓玲,杨超. 基坑变形及其安全性的随机预测[J]. 同济大学学报:自然科学版,2002,30(4): 403-408.

(收稿日期:2014-09-03 编辑:刘晓艳)