

文章编号:1001-4179(2011)20-0068-04

南京浦口区滨江大道高路堤深厚软基处理设计

姚劲松,董志超

(长江勘测规划设计研究有限责任公司,湖北武汉430010)

摘要:在高路堤道路工程中,软土路基易产生较大的地基沉降和路堤滑移失稳问题,不但影响工程建设质量,也对工程完建后的运营、维护及安全留下较大隐患。因此,须采取必要的工程措施,以确保工程质量和安全。以南京市浦口区滨江大道工程为例,从设计角度对深厚软基处理方法进行分析,确定塑料排水板法及水泥土搅拌桩的方案对软土路基进行加固。施工过程中,对路基沉降情况进行了监测,沉降监测成果证明了设计的合理性。

关键词:深厚软基处理;塑料排水板法;水泥土搅拌桩;沉降监测;南京市

中图法分类号:U416.12 文献标志码:A

我国软土分布广泛,特别是江浙一带沿海地区。目前,公路软基处理方法较多,由于不同地区软土性质差别较大,因而处理方法也因地制宜。软基处理的主要目的是控制工后沉降和保证路堤的稳定性。在设计中,往往需要根据工程具体情况,对软基处理方案进行适用性对比与分析,因地制宜,选用技术先进、安全可靠、经济合理的处理方法。

本文以南京市浦口区滨江大道工程为例,从设计角度对深厚软基处理方法进行对比分析,并利用施工过程中的沉降观测成果检验设计方案的可靠性。

1 工程概况

南京市浦口区滨江大道(城南河路-珍珠南路)位于浦口区东侧长江北岸宽广的长江漫滩上,走向基本与长江平行。滨江大道线路全长约14.7 km,为城市次干道,设计车速40 km/h,双向4车道,路基宽度42 m,路堤填土高度6~7 m。

2 工程地质条件

工程区第4系岩性由上到下依次为:①-2层素填土,灰褐色,湿润,以可塑状黏性土为主,层厚2.0~13.5 m,整个场地均有分布;②-1层粉质黏土,分布

于地表,厚1.0~9.0 m;②-2层淤泥质粉质黏土,软塑状,局部夹砂土、粉土透镜体,厚5.0~23 m,整个场区均有分布;②-3层粉土,灰色、饱和、局部夹粉质黏土,层厚0.7~10.0 m,在K1+305~K2+075之间分布;②-4层粉质黏土与粉土互层,灰色、灰褐色、饱和、粉质黏土以软塑状为主,局部可塑,层厚1.2~32.1 m,在K1+310~K4+030之间分布;③-1层细砂夹粉质黏土,灰色、青灰色、饱和、稍密至中密状,局部夹粉质黏土,层厚一般9.0~35.0 m,整个场区均有分布。

路基代表性地质剖面各土层物理力学指标值如表1所示。

3 软基处理设计

3.1 软基处理设计标准

(1) 稳定安全系数。滨江路路堤正常运用条件下稳定安全系数大于1.30,地基抗剪强度采用固结快剪指标。

(2) 容许工后沉降。一般路段不大于30 cm。

3.2 稳定性及沉降计算分析

按照设计拟定的路堤堤身断面,结合堤基土层情

表 1 滨江大道路基物理力学性质

地层代号	土类土层	天然含	湿重	干重	比重	孔隙比	渗透系数	固结系数	压缩模量	凝聚力	内摩擦角	地基承载力
		水量 $\omega / \%$	$Y / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	$Y_d / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	f_{ao}	e	$k / (\text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$	$C_v / 10^{-3} (\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	E_s / MPa^{-1}	C_{cq} / kPa	$\varphi_{cq} / (^\circ)$	特征值 f_{ak} / kPa
Q ^{mc}	①-2 素填土	30.5	18.5	14.0	2.72	0.927	2×10^{-6}	1.8	4.0	16	10	120
	②-1 黏土、粉质黏土	34.1	18.4	13.7	2.73	0.993	2×10^{-6}	0.9	3.9	9/10	7/15	110
	②-2 淤泥质黏土、淤泥质粉质黏土	42.7	17.6	12.0	2.72	1.209	2×10^{-6}	2.0	2.8	6/8	4/12	70
Q ⁴	②-3 粉土	31.1	18.4	14.0	2.70	0.924	2×10^{-5}	5.5	4.9	11/13	15/22	110
	②-4 粉质黏土与粉土互层	36.2	17.9	13.0	2.72	1.078	2×10^{-6}	1.8	3.3	8/9	6/14	120
	③-1 细砂夹粉质黏土	24.3	18.8	15.2	2.68	0.770	2×10^{-3}	0.9	11.4	3	28	130

况,进行路堤整体稳定性及路基沉降计算。

3.2.1 路堤稳定计算

本次路堤稳定采用瑞典圆弧滑动法计算,基本表达式:

$$F_s = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot \cos\theta_i \cdot \tan\varphi_{cui} + C_{cui} \cdot l_i)}{\sum_{i=1}^n (W_i \cdot \sin\theta_i)} \quad (1)$$

式中, W_i 为单元土条重量,浸润线以上用湿容重,浸润线与坡外水位之间用饱和容重,坡外水位以下用浮容重; θ_i 为单元土条圆弧切线倾角; C_{cui} 为单元土条凝聚力; φ_{cui} 为单元土条内摩擦角。

通过对多个典型剖面进行稳定性计算分析,路堤稳定安全系数均满足规范要求,针对路堤稳定性而言,软基不需特殊处理。

3.2.2 路基沉降分析计算

路基主固结沉降采用分层总和法计算,按下式进行:

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_i}{E_i} \Delta h_i \quad (2)$$

式中, E_i 为压缩模量; ΔP_i 为地基中各分层中点的附加应力增量; Δh_i 为分层厚度。

地基的总沉降(S)根据沉降系数(m)与主固结沉降(S_c)按下式进行计算:

$$S = mS_c \quad (3)$$

沉降系数 m 为经验系数,与地基条件、荷载强度、加荷速率等因素有关,取值范围为 1.1 ~ 1.7。

任意时刻的地基沉降 S_t 计算如下:

$$S_t = (m - 1 + U_t) S_c \quad (4)$$

式中, S_t 为任意时刻的地基沉降, m ; m 为沉降系数; S_c 为主固结沉降, m ; U_t 为地基总的平均固结度。

通过对多个代表性剖面进行计算,路基总沉降在 100 ~ 120 cm 之间,工后沉降为 40 ~ 60 cm,均大于规范允许沉降 30 cm 的要求,因此,必需对软土路基进行加固处理。

3.3 软基处理方案

3.3.1 方案比选

目前,对深厚软基的主要处理措施有:水泥搅拌桩、强夯法、塑料排水板、预应力管桩及高真空击密法等。

(1) 水泥搅拌桩。通过水泥浆与地基土之间发生的物理—化学反应,提高地基土强度,减小路基沉降。该工法施工工艺成熟,效果明显,施工工期短,故搅拌桩能满足本工程要求。但由于该工法需加入水泥加固地基,造价较高。

(2) 强夯法。该法利用夯击能量固结地基,提高软弱地基承载力,适用于砂土、卵(碎)石土,含水量低于 25% 的杂填土以及粉质黏土地基,一般可获得 3 ~ 6 m 的有效夯实深度。由于本工程软土层较厚,含水量较高,不适合采用强夯法施工。

(3) 塑料排水板。利用塑料排水板作为竖向排水体,增加孔隙水排出途经,有效缩短地基排水距离,大幅提高地基排水固结速度,从而提高地基强度和稳定性。该工法施工工艺成熟,造价较水泥搅拌桩便宜,但对深厚软基处理需一定的预压荷载及预压时间。本工

程可利用高路堤填筑料作为预压荷载,故该方案较适合本工程。

(4) 预应力管桩。将管桩打穿软基层进入持力层,通过桩顶浇筑的桩帽及桩帽上铺设的垫层形成“桩一网”结构的复合地基,使上部荷载均匀传递到下卧土层,以满足地基承载力及控制工后沉降要求。该方案施工工序简单,技术可靠,但投资较高,较适合软基下有明显持力层的地基处理。

(5) 高真空击密法。通过高真空压差排水并结合夯击击密,达到降低土层的含水量,提高地基密实度和承载力,控制工后沉降要求。该工法施工工艺较为复杂,工期长,且强夯夯击能量对大堤有一定的影响,不适合本工程。

因此,排水板预压法和水泥土搅拌桩法较适合本工程软基处理。从经济性方面分析,塑料排水板远较搅拌桩经济,应作为主要方案选用。考虑到本工程部分路堤与长江大堤结合,防渗要求较高,当软土层下层为透水层地段时,为避免江水由透水层经排水板渗漏至大堤内侧,塑料排水板方案需谨慎使用或不用。而搅拌桩方案则可避免此类情况。经综合比较,结合本工程路基不同地质条件,对路基软土层下层为弱透水性土层段,采取塑料排水板方案,其余路段采用水泥土搅拌桩方案。

3.3.2 塑料排水板法

塑料排水板作用原理和计算方法与袋装砂井排水法相同,计算时把塑料排水板的断面换算成直径相当的袋装砂井,换算公式如下:

$$d_w = \alpha \frac{2(b + \delta)}{\pi} \quad (5)$$

式中, d_w 为塑料排水带等效直径; b 为塑料排水带宽度; δ 为塑料排水带厚度; α 为换算系数; 取 0.6 ~ 0.9。

在提高地基稳定性方面,主要是考虑因排水固结引起的强度增长,按有效应力法计算提高的地基固结度,公式如下:

$$\begin{cases} S_u = (S_0 + \Delta S_u) \eta \\ \Delta S_u = U \Delta \sigma_i \sin \varphi' \cos \delta' / (1 + \sin \varphi') \end{cases} \quad (6)$$

式中, S_u 为增强后的地基抗剪强度; S_0 为天然地基抗剪强度; η 为考虑剪切蠕变作用等因素的强度综合折减系数; U 为地基平均固结度; $\Delta \sigma_i$ 为破坏面上最大主应力增量; φ' 为地基固结不排水剪有效内摩擦角。

堆载预压取路堤填土高度,预压期限为 12 个月,通过对沉降控制的计算,对淤泥质软土层下层为弱透水区段采用宽 100 mm,厚度 4 mm 的标准型塑料排水板按正三角形布置,打穿淤泥质粉质黏土层,间距 1.0 ~ 1.2 m。方案布置图如图 1 所示。

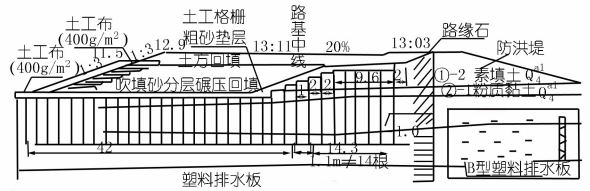


图 1 塑料排水板方案布置(单位:m)

3.3.3 水泥土搅拌桩

搅拌桩复合地基主要是通过提高地基承载力,减小路基沉降来满足工程设计要求。本工程设计复合地基承载力不小于 120 kPa。复合地基承载力按下式计算:

$$f_{spk} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1 - m)f_{sk} \quad (7)$$

式中, f_{spk} 为复合地基承载力特征值, kPa; m 为面积置换率; R_a 为单桩竖向承载力特征值, kN; A_p 为桩的截面积, m^2 ; f_{sk} 为处理后桩间土承载力特征值, kPa, 宜按当地经验取值, 如无经验时, 可取天然地基承载力特征值; β 为桩间土承载力折减系数。

单桩竖向承载力应通过现场载荷试验确定, 设计时按以下两式计算取小值:

$$R_a = \eta f_{cu} A_p \quad (8)$$

或

$$R_a = \mu_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha q_p A_p \quad (9)$$

式中, f_{cu} 为与搅拌桩桩身水泥配合比相同的室内加固土试块(边长 70.7 mm 的立方体)在标准养护条件下 90 d 龄期的立方体抗压强度平均值, kPa; η 为桩身强度折减系数; μ_p 为桩长范围内所划分的土层数; q_{si} 为桩周第 i 层土的侧阻力特征值; l_i 为桩长范围内第 i 层土的厚度, m; q_p 为桩端地基土未经修正的承载力特征值, kPa; α 为桩端天然地基土的承载力折减系数。

根据满足复合地基承载力设计要求确定的搅拌桩面积置换率,对路基沉降进行复核。搅拌桩控制路基沉降,主要表现为通过搅拌桩面积置换,提高复合地基的压缩模量。由复合地基压缩模量可按下式进行主固结沉降计算:

$$\begin{cases} S_c = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta P_i}{E_{si}} \Delta h_i \\ E_{sp} = m E_p + (1 - m) E_s \end{cases} \quad (10)$$

式中, E_{sp} 为复合地基压缩模量; E_p 为桩的压缩模量; E_s 为桩间土的压缩模量; m 为面积置换率。

考虑到本工程局部地段软基处理搅拌桩深度达到 25 m, 普通搅拌桩成桩效果很难保证。本次设计对搅

拌桩深度超过 15 m 的,选用了一种全新的施工工法,即钉形与双向水泥土搅拌桩。钉形水泥土双向搅拌桩是通过对现有的常规水泥土搅拌桩成桩机械进行简单改造,配上专用的动力设备与多功能钻头,采用同心双轴钻杆,通过内外钻杆上叶片的同时双向旋转而形成的桩体。在施工过程中,利用土体的主、被动压力,使钻杆上叶片打开或收缩,桩径随之变大或变小,形成钉形桩。钉形水泥土双向搅拌桩包括了常规水泥土搅拌桩的优点,在充分利用水泥土搅拌桩复合地基应力传递规律的基础上,取得了良好的复合效果,大大提高了水泥土搅拌桩的成桩质量与经济效益。钉形水泥土双向搅拌桩由于桩身强度的大幅度提高及柱身结构的更趋合理,与常规水泥土搅拌桩相比复合效果更佳,比常规水泥土搅拌桩节省投资 15% ~ 35%,并且随着处理软土深度的增加,其经济效益越发明显。

通过对复合地基承载力计算及沉降控制复核,搅拌桩采用正三角形布置:普通搅拌桩桩径 0.6 m,桩间距 1.2 ~ 1.4 m;钉形双向搅拌桩下部桩径 0.6 m,扩大头桩径 1.0 m,扩大头段长 4.0 m,间距 1.6 ~ 2.0 m。方案布置如图 2 所示。

3.3.4 沉降稳定监测

为了检验软基处理效果及控制路堤填筑速度,施工过程中同步进行了完整的路堤监测。监测项目主要有沉降观测、水平位移观测及孔隙水压力观测等。

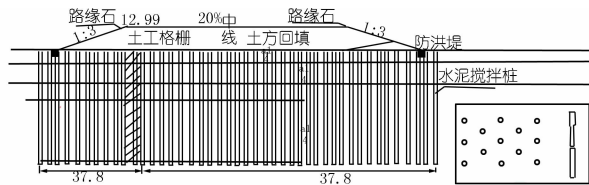


图 2 水泥搅拌桩方案布置(单位:m)

通过对已完成填筑部分路堤沉降观测成果的分析,沉降趋于稳定的堤段,塑料排水板处理堤段平均已累计沉降约 100 cm,搅拌桩处理堤段平均已累计沉降约 30 cm,与设计计算沉降规律相符。

4 结语

高路堤深厚软基沉降稳定处理是路基设计中的难点,也是保证道路工程质量安全的关键。在设计中,需要根据工程具体情况,确定合适的软基处理方案。堆载预压 + 塑料排水板对于加快软基沉降固结,减小路基完工后沉降效果较好。对于施工工期较紧或对地基防渗有特殊要求时,可采用水泥土搅拌桩法。水泥土搅拌桩加固处理可较大地提高软土地基承载力,减少路基沉降。软基加固的施工过程需进行必要的监测、检测工作,实现对软基沉降、位移的动态监控,为指导后续施工提供重要的依据。

(编辑:常汉生)

Design of treatment for thick - soft foundation of high embankment of road by riverside in Nanjing City

YAO Jingsong, DONG Zhichao, WANG Xiaomao

(Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: In the road project with high embankment, the soft foundation easily leads to larger settlement, embankment sliding and instability, which not only influences project construction quality, but also causes concealed troubles in future operation, maintenance and safety after project completion. Therefore, necessary engineering measures must be adopted to guarantee project quality and safety. Taking the road by riverside in Nanjing city as an example, the treatment method for thick - soft foundation is analyzed from the aspect of design and the scheme with water drainage by plastic plate and cement - soil mixing pile is determined to consolidate the soft foundation. In the construction, the settlement of road foundation is monitored and the monitoring results indicate that the design is reasonable.

Key words: treatment for thick - soft foundation; water drainage by plastic plate; cement - soil mixing pile; settlement monitoring; Nanjing city

维护健康长江

促进人水和谐