

沿海地区软弱下卧层地基处理方式浅析

李雪峰, 徐 辉, 孙晨然

(中国市政工程华北设计研究总院有限公司, 天津市 300202)

摘 要: 沿海地区的软弱土以及不良土是工程建设中常遇到并且比较棘手的问题, 特别是处理场地受限于轨道交通等地下构筑物限界时, 难度更大。拟处理的软卧地基为江苏沿海某城市规划轨道交通线上的软弱地基, 由于地基下埋设远期规划的轨道交通线, 处理深度受限, 最终处理方式确定为咬合排桩方式, 设计验算采用实体深基础方法并运用 MIDAS gts 软件进行复核性验算。

关键词: 软土地基; 水泥土搅拌桩; 应力扩散角

中图分类号: TU447

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2021)04-0170-03

0 引 言

在土木工程建设中常常将下述地基土称为软弱土和不良土: 软黏土、人工填土、部分沙土和粉土以及有机质土、膨胀土等。沿海地区经常碰到较多的地基土为软黏土, 这种土多为第四纪后期形成的海相、三角洲相、溺谷相和湖泊相的黏性土等沉积物或河流冲击物。软黏土大部分处于饱和状态, 其特点为天然含水量大, 天然孔隙比大, 抗剪强度低, 压缩性高, 渗透系数小。这类土在荷载作用下, 承载力低并且沉降较大。针对此类土的地基处理方式有, 挤淤置换法、排水固结、灌入固化物和加筋处理(如长短桩或树根桩等)^[1]。挤淤置换法、排水固结两种类型的地基处理方法将地表处理成一个硬壳层, 利用应力从高刚度向低刚度扩散的原理获得足够的地基承载力; 灌入固化物和加筋处理则是通过桩将荷载卸到周边的土中, 并最终传递到硬土层中^[2]。常规的地基处理按照既定的设计方案从上述方法进行优选即可, 但对特殊场地条件下的地基处理则可能需将上述方法进行综合考虑。

1 工程背景

本文以江苏一处靠近海边的一个箱涵地基处理为例进行论证, 箱涵尺寸为长×宽×高 16 m×15 m×6 m, 经计算需要地基承载力为 100 kPa。根据现状地基资料揭示土体的 3 层为该次设计坐落的土层,

承载力容许值为 60 kPa。此层土的工程性质如下: 灰色~灰黑色, 流塑, 饱和。均匀细腻, 孔隙比大, 压缩性高, 强度低。有轻微腐臭味, 玻璃光泽、摇震反应无、干强度高、韧性高、土层结构为片堆结构。地层分布稳定, 地层平均厚度为 20 m。工程示意如图 1 所示。由于此处箱涵下有规划的轨道交通线穿越, 加固深度只能达到 15 m, 且无法达到坚硬土层, 初步考虑采用高压注浆加固, 但鉴于前期工程采用高压灌浆法后, 短期内地基承载力无法达到工程需要, 且由于此处淤泥土含水量较高, 高压灌浆后效果并不理想, 长期地基沉降较大。采用换填等方式无法达到工程需求的地基承载力, 经过方案必选确定采用水泥土搅拌咬合桩处理地基。常规的搅拌桩地基持力层为坚硬土层, 而该次设计的搅拌桩端部依然是软弱土, 故该次计算不仅仅是按照胶体状进行灌注桩的承载力计算, 更应考虑桩端持力层的承载力。

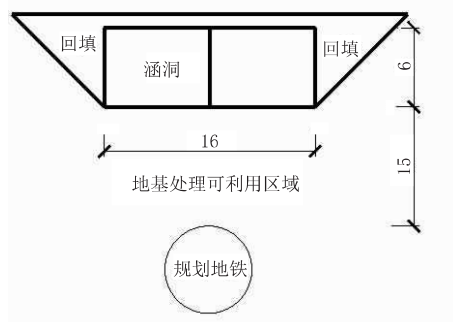


图1 工程示意图(单位:m)

该次设计按照《公路桥涵地基与基础设计规范》^[3](JTG D63—2007)附录 R 中群桩作为整体基础计算, 其中应力扩散角可以仿照土层置换采用地基扩散角的方式进行计算, 咬合桩加固范围根据咬合桩应力扩

收稿日期: 2020-06-05

作者简介: 李雪峰(1976—), 男, 本科, 高级工程师, 主要从事道路桥梁的设计研究工作。

散范围设置。采用地基扩散角的方式计算的关键是地基扩散角的选取,其决定了结果的可信度。

2 计算过程

2.1 土体置换情况

设计采用直径 1 m 的水泥土搅拌桩,为保证应力在纵横向的有效传递,设计采用了咬合桩,咬口尺寸为 200 mm,咬口桩尺寸如图 2 所示;该次设计考虑应力扩散方向为沿着涵洞横轴方向,横向咬合桩间距设置为 3 m,纵向咬合桩仅为满足整体性要求,间距设置相对较大,经计算,置换率为 0.4。

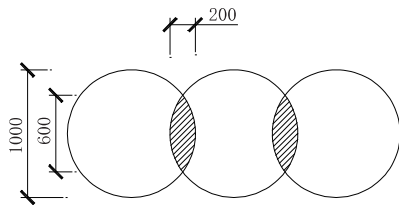


图 2 旋喷桩咬口图(单位:mm)

2.2 应力扩散角

根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011)^[4]表 5.2.7 知,应力扩散角度和上下层的土体的压缩模量有关,该工程中的 $Z/B>0.5$,此处不在赘述。根据地勘提供的资料,下层软弱土的压缩模量为 2 MPa,加固后的土体横向压缩模量根据《建筑地基处理技术规范》^[5](JGJ 79—2012) 7.3.2

$$E_{sp} = mE_p + (1 - m)E_s \tag{1}$$

式中: E_{sp} 为搅拌桩复合土层的压缩模量,kPa; E_p 为搅拌桩的压缩模量,kPa; E_s 为桩间土的压缩模量,kPa; m 为置换率。根据此公式计算得到 $E_{sp}=0.4 \times 50000 + (1 - 0.4) \times 2000 = 21\ 200$ kPa。

故 $E_{s1}/E_{s2}=10.6>10$,故根据《建筑地基基础设计规范》(GB 50007—2011) 表格 5.2.7 可得到应力扩散角为 30° ,综合现场情况,该次设计考虑扩散角为 25° 。

2.3 地基承载力计算

在确定了应力扩散角后,沿横向水泥土搅拌桩每侧超过涵洞边缘 7 m,以满足应力扩散需求,单桩承载力计算属于常规计算,该处不再赘述,本文主要计算桩底持力层的承载力情况,按照《建筑地基设计规范》(GB 50007—2011) 5.2.7,

$$p_z = \frac{lb(p_k - p_c)}{(b + 2z \tan \theta) + (l + 2z \tan \theta)} \tag{2}$$

式中: l 为矩形基础底边的长度,m; b 为矩形基础或条形基础底边的宽度,m; p_c 为基础底面处土的自重

压力值,kPa; z 为基础底面至软弱下卧层顶面的距离,m; θ 为地基压力扩散线与垂直线的夹角, $^\circ$ 。由于地基持力层均为淤泥质土,根据《建筑地基设计规范》(GB 50007—2011)表 5.2.4 知,地基的宽度修正系数为 0,深度修正系数为 1,故计算地基承载力时候,承载力和荷载两侧的地基本身的重量直接扣除,不加入公式,由于仅考虑沿着轴向既横向的应力扩散,故可直接得到桩端平面的扩散应力为 $P_z = \frac{15 \times b \times 100}{(15 + 2 \times 15 \times \tan 25^\circ) \times b} = 51.7 < 60$ kPa,地基承载力能满足荷载要求。

3 有限元模拟

3.1 计算模型

本文采用 MIDAS GTS 软件对计算结果进行复核,计算模型如图 3 所示,涵洞尺寸按照实际尺寸建模,为了消除边界效应的影响,模型长度选取基坑长度和深度的 3~5 倍,半无限体模型尺寸为 $210\text{ m} \times 210\text{ m} \times 40.5\text{ m}$ 。体边界约束条件为:模型顶面为自由面,左右两侧施加法向约束,底面为三向平动约束。复合地基水泥搅拌桩采用实体单元建模。

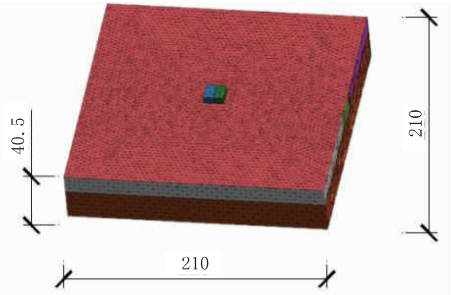


图 3 计算模型(单位:m)

网格采用混合四面体生成,从 0.5 m 到 2 m 分布,模型生成大单元数约 198 012 个。为了使数值计算简单化,假设忽略桩体、土体之间界面的相对滑移现象,结构和土体的网格共结点,在荷载作用下共同变形,且不发生相互嵌入和重叠,土体参数见表 1。

表 1 土体参数表

土体名称	容重 γ / ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	弹性模量 E_0 /MPa	泊松比 ν	粘聚力 c /kPa	摩擦角 ϕ / ($^\circ$)
淤泥质土	17.1	2.0	0.35	18	14

3.2 计算结果

本文主要考虑涵洞下 100 kPa 压应力的扩散情况,故荷载仅仅施加了 100 kPa 的压应力,为得到应力在土体的详细扩散情况,本文在涵洞底部以及垂直轴线共布设了 8 条线上荷载,具体位置如图 4 所示。

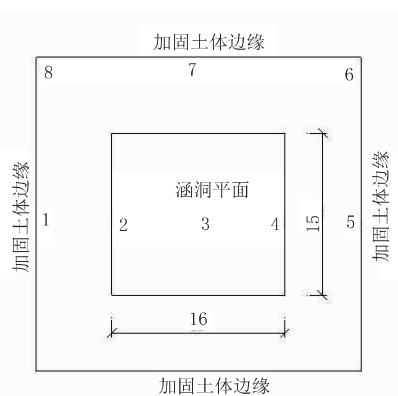


图4 土体中应力测点位置(单位:m)

经过数据提取,由于结构的对称性,选用1、2、3、6、7点位的沿着深度方向的应力扩散图,如图5所示。

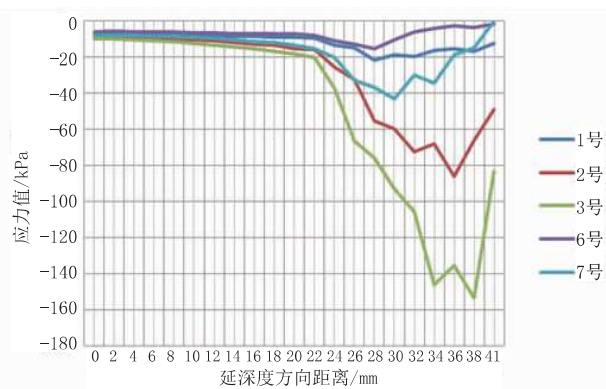


图5 应力沿土体深度扩散图

从图5可见,3号点位既涵洞正下方的应力扩散位置,基底应力首先由于刚度的不均匀出现了部分应力集中,后逐渐下降,到达桩底-15 m左右时,应力值降低到60 kPa左右,这个数值和理论计算数值相接近,2号点位靠近涵洞中轴边缘,应力规律和3号相似,7号为横向加固应力扩散方向的边缘区域,很明显在-10 m左右深度,应力扩散达到7号点位,

应力出现增加,后逐渐衰减,到-15 m区域,应力值在40 kPa以内。1号和7号测点均位于桩基扩散的边缘,由于此次设计时只考虑应力沿着横向轴线传递,在纵向方向仅仅布置了维持整体性的搅拌桩,很明显应力和预设情况并不一直沿着纵向传递,故1号和7号测点的应力始终处于低应力状态。

有限元模型计算的应力扩散情况与理论计算情况比较吻合,同时证明采用实体深基础法计算此类桩端位于软卧土层结构的可行性。

4 总 结

(1)常规水泥土搅拌桩加固地基设计时应使桩端处于相对坚硬的土层中,若不能设置在坚硬的土层中,设计时应充分考虑桩端平面的地基承载力能否满足设计要求。

(2)桩端处于软卧下卧层中的水泥搅拌桩软桩端平面承载力的验算可采用实体深基础法,应力扩散可采用垫层扩散角计算方法。

(3)压应力的扩散沿着刚度连续的方向扩展,设计时要充分朝向那个方向传递应力,在应力扩散方向布置咬口桩等刚度相连的桩体,不建议做散布的桩体,应力扩散效果不好。

参考文献:

- [1] 龚晓南.地基处理手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2008.
- [2] 徐洋,谢康和,徐志峰.影响复合地基应力扩散的因素[J].工业建筑,2003,33(1):36-38.
- [3] JTG D63—2007,公路桥涵地基与基础设计规范[S].
- [4] GB 5007—2011,建筑地基基础设计规范[S].
- [5] JGJ 79—2012,建筑地基处理技术规范[S].

(上接第142页)

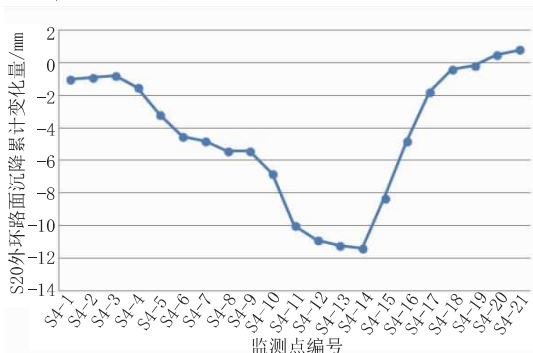


图13 S20外环路面沉降累计变化量与监测剖面S4关系曲线图
少隧道开挖时的掌子面失稳和对周边围岩的扰动,是一种方便可行的下穿隧道施工方法。

(2)在下穿S20高速公路及周边环境较为复杂的

条件下,采用钢管幕超前支护的形式并在顶进施工中采用姿态控制、变形控制等针对性的措施,可以有效控制钢管幕的顶进精度及地表变形。钢管幕的姿态偏差可以控制在30 mm以内,为后续顶管施工创造了有利条件;S20外环高速路面最大沉降量控制在11.8 mm,保证了外环高速的顺利运行。

参考文献:

- [1] 胡学兵.地下立交设计施工关键技术研究[J].公路交通技术,2012(3):91-95.
- [2] 黄宜明.大型地下立交隧道施工技术探讨[J].地下空间与工程学报,2007,3(4):765-769.
- [3] 葛金科,沈水龙,许焯霜.现代顶管施工技术及工程实例[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.