

“橡皮土”地层施工作业面施工处理技术

代万庆,何雪梅,韩明耀,颜巧云,王志贤

(河南省地矿局第一地质勘查院,河南 郑州 450001)

摘要:以中蓝置业住宅地块项目为例,通过对“橡皮土”地层成因机理分析,得出“橡皮土”性状的出现与土层的粘粒含量和含水率相关性较高的结论。分析认为处理“橡皮土”的措施,就是改变“橡皮土”的流塑性状,降低土层的含水率。改变土层流塑性的措施有置换土质、深层搅拌添加水泥、生石灰等,增强其固结性能,或者压入碎石、卵石等增加其稳固性。改变含水率的措施,有置换土质、挖渠抽水晾晒、抽水降水等。本项目选择搅拌置换和抽水降水的作业方式,都达到了消失“橡皮土”性状的目的,满足了其做为施工作业面的需求。

关键词:“橡皮土”地层;施工作业面;抽水降水;搅拌置换

中图分类号: **文献标识码:** **文章编号:**1672-7428(XXXX)XX-0001-06

Treatment of "rubber soil" construction ground

DAI Wanqing, HE Xuemei, HAN Mingyao, YAN Qiaoyun, WANG Zhixian

(The First Geological Exploration Institute of Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources, Zhengzhou Henan 450001, China)

Abstract: In regard to Zhonglan Real Estate Residential Land Project, analysis of the formation mechanism of "rubber soil" led to the conclusion that treatment of "rubber soil" is to change the flow-plastic properties of "rubber soil" and reduce the moisture content in the soil layer. The measures to change the flow plasticity of soil layer include replacing with different soil, adding cement and quicklime with deep mixing to enhance the consolidation performance, or pressing in gravel and pebble to increase the stability. The measures to change water content include replacement with different soil, digging and drain water to dry, dewatering with pumping. For this project, mixing replacement and dewatering with pumping has been performed to achieve the purpose of eliminating the "rubber soil" characteristics, which met the requirement for construction ground.

Key words: "rubber soil"; construction ground; dewatering with pumping; mixing and replacement

在工程施工中,我们经常遇见“橡皮土”地层,它给施工带来了很大的不便和严重的不良后果,必须予以处理。在中蓝置业住宅地块项目工地,我们遇见了“橡皮土”地层,对其进行了分析和处理,取得了较为理想的效果。

1 工程概况

中蓝置业住宅地块项目,位于河南省新乡市平原大道与恒山路交叉口东北角。项目拟建的23栋高层住宅设计为CFG复合地基筏板基础,采用

ZKL-30型步履式长螺旋钻机进行施工。CFG桩施工采用基坑开挖后基坑内施工,基坑开挖深度5m左右,基坑底为项目《工程勘察报告》列明的③层粉质粘土地层^[1]。

工程平面分布见图1。

CFG桩施工先由24号楼开始,基坑内施工作业面稳固,施工进度顺利;而相邻的32号楼却出现了基坑底局部出水,大部底面软弱的情况,脚踩时出现震颤感,脚踩处地陷而四周隆起,起脚后土面回弹,呈弹簧状显现。

收稿日期:XXXX-XX-XX; 修回日期:XXXX-XX-XX DOI:XX.XXXX/j.issn.1672-7428.XXXX.XX.001

作者简介:代万庆,男,汉族,1971年6月生,从事探矿工程技术管理工作,河南省郑州市莲花街56号地矿高新大厦3002室,503403128@qq.com。

引用格式:代万庆,何雪梅,韩明耀等.“橡皮土”地层施工作业面施工处理技术[J].探矿工程,XXXX,XX(X):1-6.

DAI Wanqing, HE Xuemei, HAN Mingyao, et al. Treatment of "rubber soil" construction ground[J]. Drilling Engineering, XXXX, XX(X):1-6.

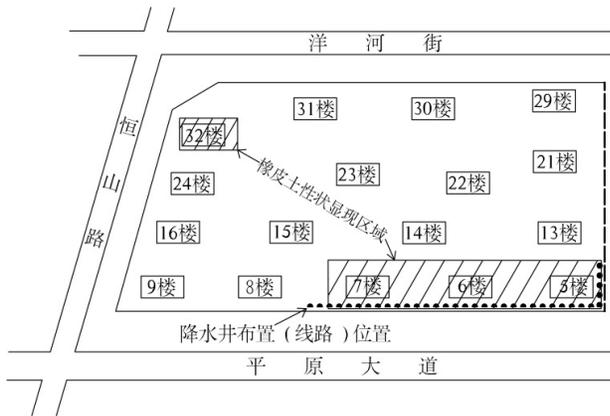


图1 工程平面布置

Fig.1 Project layout

2 基坑底地层性质判定

工程勘察揭示,基坑底地层为③层粉质粘土(Q^{4al+pl}),黄褐、灰黄色,软塑,含锈黄色条纹,灰色斑点,干强度中,韧性中,刀切面稍光滑,无摇晃反应。场地内该层起伏不大,普遍分布,为高层住宅基坑底施工作业面。

查阅项目《工程勘察报告》,32号楼基坑底地层的物理指标见表1^[1]。

表1 32号楼③层粉质粘土物理指标 Table 1 Physical index of the third clayey layer at Building 32[#]

勘探孔号	岩性	试样深度/m	天然含水率 ω (%)	液限 ω_L (%)	塑限 ω_P (%)	饱和度 S_r	液性指数 IL	塑性指数 IP
110	粉质	6.00—6.20	32.7	36.1	23.0	91.8	0.74	13.1
121	粘土	5.00—5.20	43.2	49.2	35.7	99.2	0.56	13.5

首先对32号楼基坑底土的性状进行了“软土”和“橡皮土”的鉴别。

所谓软土,含水率大多接近甚至超过液限,饱和度很大,一般在90%以上,内摩擦角几乎接近零,由于土体材料和有机质含量高,即便土体有合适的含水率也不易被压实。

“橡皮土”是指因含水率高于达到规定压实度所需要的含水率而无法压实的粘性土体,碾压后踩上去有一种颤动的感觉,像踩在弹簧上^[2-7]。其一般具有如下特征:

(1) 土体中含水率高于压实所需含水率,但低于液限,比最佳含水率大6%~8%。

(2) 含水率高于达到规定的压实所需的含水率,土壤呈现塑性,液限指数一般处于0.25~0.75之间,碾压时基底呈波浪不稳定状态而无法压实的粘性土体。

(3) 土体已受到外力扰动,在外力作用下,土体表面固结,甚至半硬化形成坚硬的土壳体;土体中所含水分被揉进土颗粒中,封闭在密闭的固体空隙中,很难排出。(4) 可承受一定荷载,当作用荷载低于表层壳体的承载力时,土体几乎无明显变化。在施工初期,不会出现橡皮土现象。随着施工的进行,压力不断变化及施工过程中水的注入,渐呈“橡皮土”特征甚至伴有液化现象。

由以上软土和“橡皮土”的定义可知,软土和“橡皮土”的区别是,“橡皮土”的含水率一般大于其最佳含水率,小于其液限,土质为粘土或亚粘土,它在土体含水率接近最佳含水率时,具有很好的可压实性,采用适当压实机械便可压实,压实后土体整体沉降量很小;而软土的含水率大多接近甚至超过液限,饱和度很大,一般在90%以上,内摩擦角几乎接近零,即便土体有合适的含水率也不易压实。

③层为粉质粘土,其含水率低于液限,结合现场土层表现的具体性状,我们判定为“橡皮土”,也叫“弹簧土”。

3 “橡皮土”机理简析

在含水率很大的原状粉质粘土上直接进行施工或者回填土碾压作业时,由于原状土的土质结构遭到扰动,颗粒之间的毛细孔结构遭到破坏,水分不易透出和散发。当对其进行碾压或者夯打时,其表面形成硬壳,进一步阻止了水分的渗透,这样土壤中的水分难以渗出,若土层含水率较高,液性指数较大,粉质粘土处于软塑或者流塑状态,与表面形成的硬壳共同组成“橡皮土”结构。受压处下陷,周边鼓起,波峰和波谷受压实力的大小而变化。呈“橡皮土”特质。

从力学方面分析,土的强度取决于土体颗粒的强度,还受土体颗粒间连接强度的影响。颗粒间连接强度主要是内摩擦力和粘聚力。对于砂土,内摩擦力是主要的,而粘性土则是粘聚力占主导作用。粘聚力又分为原始粘聚力和固化粘聚力,原始粘聚力主要是颗粒之间分子引力等造成,土体颗粒越紧密,原始粘聚力越大,固化粘聚力则由土颗粒周围

的岩类结晶胶结作用而引起。当粘土含水率增大,粘土的固化粘聚力迅速降低,土体处于软塑或流塑状态,而粘土表面由于受到扰动,土体变得相对致密,水分被挤出,原始粘聚力和固化粘聚力都增大,形成表面的“硬壳”,这样粘土层内部呈软塑或流塑状态而表面呈相对致密的“硬壳”表层,表层受力后下陷而受力点四周隆起,压力去除后下陷点四周回弹恢复原状,呈“橡皮土”状^[2--7]。

4 “橡皮土”地层的施工处理措施

“橡皮土”作为施工作业面,易导致钻机倾斜下沉,不利于质量控制和安全施工。必须得对该地层土进行处置。分析以前工程的经验,处理“橡皮土”的措施,就是改变“橡皮土”的流塑性状,降低土层的含水率。使“橡皮土”稳固,可以采取的措施有^[8--12]:

(1) 置换:将“橡皮土”层全部挖出,然后用干土、砂石等透水性好、稳固密实的材质回填压实,使施工作业面坚实稳固。这种方式效果较好,投入的工时较多,费用较大。

(2) 覆盖造基:用粒径 $>10\text{mm}$ 的石子在“橡皮土”上进行铺垫,厚度 $<400\text{mm}$,用筑路机械进行压实,人工制造砂砾层充当施工作业面基础层。覆盖的砂石一方面能排除“橡皮土”中的水分,降低含水率,使粉质粘土由软塑向可塑、硬塑转移,降低“橡皮”性状;另一方面,铺垫的砂石层能增大施工作业面在“橡皮土”上的面积,减缓“橡皮”性状的产生。此种方式,简单容易操作,但消耗砂石材料量较大。

(3) 挖沟排水晾晒:在施工作业面四周,根据粉质粘土层厚度,挖透“橡皮土”层或挖深 1.5m 左右、宽 1m 左右的沟渠,通过人工排水和自然晾晒,排除粉质粘土中的水分,降低土层含水率,使其由流塑状态向固结状态转化。此方式相对简单,消耗时间较长,若土层粘粒含量高,预期的结果会差强人意;遇见多雨天气等情况,则效果几乎为零。

(4) 抽水降水:在基坑施工作业面外,一字排开布设降水孔,将“橡皮土”土层及其下伏地层中的水抽出,降低“橡皮土”地层的含水率,促使其由流塑向固态转移,从而消除“橡皮土”性状的产生。

(5) 搅拌水泥:用挖掘机将水泥和粉质粘土进行搅拌混合,用挖掘机履带进行压实。这样既降低了粉质粘土中的含水率,又对粉质粘土进行了压实

加密,水泥也对土层颗粒进行了固化,最终使地层的流塑性状大大降低,坚固强度大大增强。

(6) 搅拌生石灰:操作方式及其机理和效果与搅拌水泥基本相同。

5 项目施工情况

5.1 “橡皮土”地层的分析

项目地势较为平坦,起伏不大,地层分布也较为规律。地层物理力学指标和试验数据等跳跃度不高。但是基坑底施工作业面却局部出现了“橡皮土”性状,其显现分布区域参见图1。

32号楼基坑底部③层呈现“橡皮土”性状,而②层和④层在施工时都没有出现相应性状,相邻的24号楼基坑底也未出现。依据《工程勘察报告》和现场的具体情况,我们判定“橡皮土”与下列因素相关度较高:

一是粉质粘土的粘粒含量,在同样含水率的情况下,粘粒含量过高或过低都会影响粉质粘土的流塑性能,粉质粘土的粘粒含量太低,在受到扰动时土层整体水分较易蒸发,粉质粘土表面不易单独形成硬壳,缺乏形成“橡皮土”的条件;若粘粒含量太高,粉质粘土受到扰动时,表面水分不易流失,粉质粘土整体含水率相差不大,其表面也形不成硬壳,无法成就“橡皮土”的条件。

项目场地③层粉质粘土、②层粉土及④层砂土的颗粒分析结果统计见表2^[1]。

表2 土层颗粒分析 Table 2 Particle analysis of the soil
地层特征值 >0.25 $0.075-0.25$ $0.005-0.075$ <0.005 定名

② 样本数 62 62 62

最大值(%) 9.1 89.7 12.3 粉土

最小值(%) 0.3 78.9 7.9

平均值(%) 0.8 88.6 10.6

③ 样本数 28 28 28

最大值(%) 10 78 23.8 粉质粘土

最小值(%) 2 67.3 18

平均值(%) 7.27 71.58 20.77

④ 样本数 46 46 46

最大值(%) 43.1 69.7 14.6 细砂

最小值(%) 17.4 47.9 10.7

平均值(%) 31.3 56.4 12.3

鉴别粉土而取的样品,所以黏粒含量偏低。其

数值低于项目层③粉质黏土真实的黏粒含量

由表2可见,③层粉质粘土的粘粒(粒径 $< 0.005\text{mm}$)含量平均值为20.77%(样品为鉴别粉土而取,粘粒含量偏低,真实的粘粒含量高于此值),而其上部的②层粉土的粘粒含量为10.6%,下部④层细砂的粘粒含量基本为零,所以在施工过程中,②层、④层处未曾出现“橡皮土”性状,③层则出现了“橡皮土”的状况。

二是含水率,在粉质粘土成分相同的情况下,若含水率高,则其流塑性就好,含水率低其流塑性就差,所以,当粉质粘土的液性指数较大时,较易形成“橡皮土”。32号楼基坑底部粉质粘土层由于近旁城市供水水管断裂,发生城市用水外泄,渗漏到32号楼基坑处,导致其基坑底的含水率比24号楼处高,所以32号楼处基坑底地层呈现“橡皮土”性状,而24号楼处则没有。

5.2 “橡皮土”地层处理措施的选择

经过与工勘单位专家共同讨论,就施工工期、经济性、实用性、方便性的综合考虑,决定对工期较为紧迫的32号楼基坑底地层采用搅拌置换的方法,即搅拌水泥加固、压实施工,在土层含水率过高的区域,采取挖土回填置换加水泥搅拌的措施;

其他工期相对宽松的工程部位呈现“橡皮土”性状的区域,采用抽水降水处置措施。

5.3 施工具体情况

32号楼基坑由自然地坪向下挖5m深,基坑底面处于③层粉质粘土层。勘察孔揭示基坑底面粉质粘土层厚度见表3。

表3 32号楼基坑③层地层厚度统计

Table 3 Thickness of the third layer at the Building 32# foundation pit

岩土(65#孔)(66#孔)(67#孔)(68#孔)(69#孔)(70#孔)

名称 埋深(m) 埋深(m) 埋深(m) 埋深(m) 埋深(m) 埋深(m)

③ 粉质粘土 1.70 1.40 2.20 1.20 1.80 2.20

根据表3数据和现场具体情况,施工安排如下:在粉质粘土含水率接近液化的66、69号勘察孔处用挖掘机向下挖掘至④层细砂层顶板,用粉土、粉质粘土和水泥混合搅拌后进行回填,水泥与干土比例大致为 1m^3 粉土中搅拌1—1.5袋(50kg/袋)左右的水泥。在基坑其他处则直接将水泥和粉质粘土用

挖掘机现场进行挖掘搅拌回填,挖掘机履带压实,水泥和粉质粘土的比例大致控制在 1m^3 土搅拌0.5—1袋水泥,搅拌深度由基坑底面至粉质粘土的底板。基坑西侧粉质粘土层含水率高的地方,掺搅水泥相对多些,基坑东侧粉质粘土层含水率相对低些的区域,掺搅的水泥量相对低些。

置换搅拌完工后,静置1天,次日用吊车吊起1t重夯实块进行夯实试验,基本消除了“橡皮土”现象。ZKL-30型步履式长螺旋钻机进入现场进行CFG桩施工,施工工作面稳固,施工顺利。搅拌置换作业效果显著。

项目南侧由于人工水渠的渗漏,5、6、7号楼基坑底部粉质粘土层含水率增大,出现明显的“橡皮土”性状。由于是后续计划施工项目,工期相对宽松,采用抽水降水作业,降低粉质粘土层的含水率,达到消除“橡皮土”性状的目的。

查阅项目《工程勘察报告》,抽水降水前,5、6、7号楼基坑底(基坑深度为5.00m,自然地面为±0.00m)③层粉质粘土的物理指标见表4。以下地层埋深情况见表3、表4、表5。

表4 5、6、7号楼③层粉质粘土物理指标 Table 4 Physical index of the third clayey layer at Building 5#, 6# and 7#

楼号 勘探孔号 试样深度/m 天然含水率 ω (%) 液限 ω_L (%) 塑限 ω_P (%) 饱和度Sr 液性指数IL 塑性指数IP

5 238 6.00—6.20 38.2 40.6 28.1 93.8 0.81 12.5

6 196 5.80—6.00 47.1 48.0 36.1 95.9 0.92 11.9

7 178 5.80—6.00 46.6 47.8 35.1 99.4 0.91 12.7

抽水降水施工情况如下:

在基坑底部基础南侧外围2m,间隔2m施工小型降水井,设计井深4.0m,井管滤水孔布置在③层粉质粘土下部及④层细砂地层中,井管高出基坑底面0.5m左右。每12~15口降水井为一组,用负压式水泵向外排水,24h不间断,抽出的水排至施工场地外,降低基础区域地下水水位,降低粉质粘土层含水率。三栋楼的南侧一共用6组抽水设备进行抽水作业。抽水降水井布置参见图1。

经过7天的抽水降水,基坑底粉质粘土层的含水率大幅下降,基坑底面趋于干燥。在每一栋楼的基坑中部,工程勘察各取样一份,做土工试验,试验数据见表5。

表 5 5、6、7 号楼③层粉质粘土降水后物理指标 Table 5 Physical index of the third layer after dewatering at Building 5#, 6# and 7#

楼号	试样深度/m	天然含水率 ω (%)	液限 ω_L (%)	塑限 ω_P (%)	液性指数 IL	塑性指数 IP
5	1.00—1.20	23.0	33.6	19.8	0.23	13.8
6	1.00—1.20	24.5	33.8	21.2	0.26	12.6
7	1.00—1.20	28.9	39.4	25.6	0.24	13.8

注：表中试样深度依据基坑底为±0.00m计算，基坑深度5m。

由表5可以看出，通过抽水降水，③层粉质粘土的天然含水率大幅下降，液性指数接近于硬塑范围。抽水降水施工实现了预期目的，达到了预期效果。

用车载吊车吊起1t重夯实块进行夯实试验，没有“橡皮土”现象出现。降水的效果十分显著。在随后的CFG桩施工过程中，基坑底施工作业面稳固，施工顺利。抽水降水作业最终的结果是令人满意的。

6 结语

在建筑施工领域，基坑开挖后，经常会遇到“橡皮土”的情况。

由于“橡皮土”与软土在感官性状上有诸多相似点，所以，首先是鉴别所遇到的地层是“橡皮土”还是软土，然后采取不同的措施。

“橡皮土”的产生与土层的粘粒含量和含水率相关性较高。地层粘粒含量高，具有良好的流塑性，是产生“橡皮土”性状的基础；本项目地层土质基本稳定，地下水水位在粉质粘土层底板之下，个别楼栋基坑底施工面出现“橡皮土”性状，是由于其近旁的城市用水渗漏，城市用水渗入粉质粘土层中，导致相应的局部区域粉质粘土层含水率增大，液性指数升高，粘土层处于软塑、流塑状态。在粘土表面受到扰动的前提下，土体表面变得相对致密，水分被挤出，原始粘聚力和固化粘聚力都增大，形成表面的“硬壳”，而粘土层内部为软塑、流塑状态，表层受力后下陷而受力点四周隆起，压力去除后下陷点四周回弹恢复原状，呈“橡皮土”性状。

处理“橡皮土”的措施，就是改变“橡皮土”的可塑性，降低土层的含水率。改变土层塑性的措施有置换土质、深层搅拌添加水泥、生石灰等，增强其

固结性能，或者压入碎石、卵石等增加其稳固性。改变含水率的措施，有置换土质、挖渠抽水晾晒、抽水降水等。根据项目的具体情况，在经济性、方便性和省时的前提下，选择适合自己项目的措施进行处理。

参考文献 (References) (References):

- [1] 姜文龙, 宋健交, 姚加民. 中蓝置业平原示范区项目住宅地块岩土工程勘察报告(详细勘察)[R]. 2019. JIANG Wenlong, SONG Jianjiao, YAO Jiamin. Geotechnical engineering investigation report of residential block of Zhonglan Real Estate Plain Demonstration Area (Detailed survey) [R]. 2019.
- [2] 徐艳, 汪稔, 安丽芬, 等. “橡皮土”的产生机理和防治措施[J]. 土工基础, 2007, 21(4): 38—41. XU Yan, WANG Ren, AN Lifen, et al. Mechanism of production and prophylactic—therapeutic measures of “rubber soil” [J]. Soil Engineering and Foundation, 2007, 21(4): 38—41.
- [3] 陈辉, 周海辉. 湿陷性黄土地区“弹簧土”的分析与处理方法[J]. 建筑技术开发, 2005, 32(1): 30—31, 43. CHEN Hui, ZHOU Haihui. Analysis and treatment method of “spring soil” in collapsible loess area [J]. Construction Technology Development, 2005, 32(1): 30—31, 43.
- [4] 陈志鹏, 李文盛. 浅析“橡皮土”[J]. 湖北科技学院学报, 2012, 32(11): 219—220. CHEN Zhipeng, LI Wensheng. Analysis of “rubber soil” [J]. Journal of Hubei University of Science and Technology, 2012, 32(11): 219—220.
- [5] 顾明华, 李勇. 施工过程中“橡皮土”的识别与防治[J]. 产业与科技论坛, 2012, 11(2): 93—94. GU Minghua, LI Yong. Identification and prevention of “rubber soil” in the construction process [J]. Industry and Science Forum, 2012, 11(2): 93—94.
- [6] 刘兴华. 路基施工中橡皮土的成因及处治[J]. 石河子科技, 2020(2): 41—42. LIU Xinghua. The cause and treatment of rubber soil in subgrade construction [J]. Shihezi Science and Technology, 2020(2): 41—42.
- [7] 祁文卿. 漫话橡皮土[J]. 建筑工人, 2000(7): 9. QI Wenqing. Shallow analysis rubber soil [J]. Construction Workers, 2000(7): 9.
- [8] 张国栋, 李铭, 张华. 路基施工中“弹簧土”的处理[J]. 筑路机械与施工机械化, 2000, 17(3): 34—35.

- ZHANG Guodong, LI Ming, ZHANG Hua. Treatment of "spring soil" in roadbed construction[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2000, 17 (3) : 34-35.
- [9] 刘慧萍,吴雯. 西安某高层住宅楼橡皮土地基处理方案研究[J]. 西安工业大学学报, 2014(4):299-303.
- LIU Huiping, WU Wen. Research on foundation treatment for rubber soil: A high rise residential building in Xi 'an[J]. Journal of Xi'an Technological University, 2014(4):299-303.
- [10] 罗善滨,戴承江. 橡皮土地基的处理[J]. 黑龙江科技信息, 2002(5):83.
- LUO Shanbin, DAI Chengjiang. Treatment of rubber soil foundation[J]. Heilongjiang Science and Technology Information, 2002(5):83.
- [11] 李利民. 快速解决橡皮土问题的办法[J]. 建筑工人, 2004(12):27.
- LI Limin. Methods to quickly solve the problem of rubber soil[J]. Construction Workers, 2004(12):27.
- [12] 尚菊萍. 橡皮土地基的预防和处理[J], 建材技术与应用, 2012(6):39-40.
- SHANG Juping. Prevention and treatment of rubber soil foundation [J]. Technology and Application of Building Materials, 2012(6):39-40.