

城市道路工程软土地基处理实例分析

杨家鑫

中国市政工程西南设计院总院有限公司 四川 成都 610000

【摘要】：随着城镇化进程持续推进，城市道路建设越来越深入到城郊和农村等地区。城市道路工程不得不穿越更多的耕地、池塘和沼泽等软土地基。为避免道路在施工和运营过程中出现质量和安全问题，应根据项目特点选用适宜的软基处理方法进行处治。本文依托眉山市天府新区某市政道路工程，给出不同厚度软土地基处理对策，分析了处治要点及处治效果，以供参考。

【关键词】：城市道路；软土地基；处理对策

目前国内城市化进程总体上虽有所放缓，但大城市周边的开发建设强度仍较大。城郊及农村地区的土地性质决定了耕地、池塘和沼泽等软土地基分布较广，并且在城市道路的设计过程中，约束条件较多，几乎不能调整路线。因此城市道路建设不可避免面临着越来越多的软土地基的威胁^[1]。在面对软土地基时，设计人员应该首先分析工程沿线软土的分布情况，识别其种类。因地制宜提出合理的处治对策。

1 软土地基的主要分类

常见的软土有软粘土、人工填土、杂填土、部分沙土、垃圾土、有机土和泥炭土。这类软土的特点是天然含水量高、天然孔隙率高、抗剪强度低、压缩系数高、渗透系数低^[2]。另外还有湿陷性土、膨胀土、盐渍土和多年冻土等在水和温度等一种或多种因素作用下承载能力等指标会发生较大变化的土体。

(1) 软土地基承载力低。在外荷载作用下，地基沉降变形大，沉降稳定性持续时间长，工程建设中需要进行地基处理。(2) 常用的土壤人工填料为素填料和杂填料。平原填料是由一种或多种不含杂质的砾石、砂或粉砂、粘土等组成的填料。人工填土地基的性质取决于填土的性质、压实程度和填土时间。杂填土是由人类活动形成的不规则堆积物，成分复杂，性质各异，不规则。杂填土通常松散且不均匀。不同地区的地基承载力和压缩性也存在较大差异。(3) 饱和细砂、粉土和砂质粉土在静力荷载作用下具有较高的强度，但在机械振动、车辆荷载、波浪或地震力的反复作用下可能产生这些强度。液化或大地震沉降变形。地基土液化会使地基失去承载力。(4) 有机土和泥炭土。土壤有机质含量高，强度趋于下降，压缩性增加。特别是泥炭土具有极高的含水率、高的压缩性和不均匀性，不适合建筑地基。(5) 垃圾土是城市废弃工业废弃物和生活垃圾形成的地基土。垃圾土的性质在很大程度上取决于垃圾的种类和堆积时间。

2 软土地基对道路工程的危害

一般情况下，软土地基具有疏松多孔的结构，故其孔隙

比较大，压缩性强，在外加荷载的作用下会产生较大的形变，导致路基路面产生的沉降变形超过允许值，影响道路的正常使用^[3]。软土地基还将引起道路不均匀沉降问题^[4]，严重时将发展为路面局部塌陷、道路出现大量的裂缝的现象。软土地基易在外荷载的作用下产生局部或整体的剪切破坏，影响道路结构的完整性和稳定性。

由于软土具有疏松多孔的结构，一般情况下天然含水量比普通地基高得多，导致土的流动性较高，物理力学性质有所劣化。因此，在道路施工碾压后，路基常常无法满足压实度等指标质量要求。同时软土路基渗透系数小的特性导致软土路基孔隙水排除困难，沉降稳定需要的时间过长。

3 常见的软土地基处理方法

根据不同的加固原理可将地基处治方法简要分为以下几类：(1) 置换法。置换是将软土全部或部分挖除后回填物理力学性质较好的土石材料的方法^[5]。(2) 排水固结法。针对软土孔隙比大、含水量高的特性，施加一定荷载使软土路基排水固结，降低软土路基的孔隙比，提高其抗剪强度，提高地基承载力，减小施工后的沉降。(3) 化学加固法。通过向软土中加入化学固化剂，减少软土中含水率并使软土形成一定强度的增强体，达到加固地基的效果。(4) 振密、挤密。采用振动和挤压的方式，减小软土的孔隙比，使土体达到密实，提高地基承载力。(5) 软土地及加筋法^[6]。通过一定方法在地基土中植入强度高、模量大的筋材，使加筋体协同土体承载，达到土体整体承载力提高的效果。

4 工程实际应用分析

4.1 项目概况

(1) 第四系全新世系统人工填土层 (q4ml) 主要为平原填土、杂色、潮湿、松散结构、大孔隙，主要由中等风化泥岩碎屑和粘性土组成，部分含有少量卵、砾石等人工堆积物。岩块的最大粒径约为 1m，硬杂质含量约为 30%，均匀性较差。

(2) 新体系第四系 (q4al+pl) 的冲积洪积物，第一层

为软塑性粉质粘土层，呈黄褐色、灰褐色、软塑性状态，干强度低，富含铁、锰、钙质结核，含砂量高。第二层是塑性粉质粘土层，黄褐色，灰褐色，处于塑性状态，具有较平滑的切面，较高的干强度，无震动反应，较高的韧性，富含铁、锰和钙结核。第三层是卵石土，土黄色或浅灰色，稍微湿润，整体密度稍大，中等密度卵石土暴露在单个钻孔中。卵石的含量约为 55%-60%，主要由岩浆岩和变质岩组成，一般粒径为 5-15cm，单粒卵石的粒径大于 30cm。它为亚环形，风化作用强烈，风化程度适中。

(3) 白垩系灌口组泥岩 (K2g)。泥岩：棕红色、紫红色、部分棕色、灰白色、微湿至湿，主要由粘土矿物和少量粉砂组成，主要由泥质胶结物组成，层状构造薄至中厚，岩层近水平。(倾角 143°，倾向 3°)，构造裂隙发育不良，风化裂隙相对发育。根据岩性和风化作用的不同，将其划分为全风化、强风化和中风化三个亚层。全风化泥岩：泥质胶结作用强，胶结作用差，原岩结构基本破坏，发育风化裂隙，裂隙表面充填褐色氧化铁膜。岩体的完整性被破坏，手工易碎，可以用于钻法钻探。钻孔岩心多为碎屑或土柱，岩心抽出率一般在 70%-85%之间。强风化泥岩：泥质胶结物，胶结作用差，层状结构中厚，原岩结构部分破坏，风化裂隙发育，裂隙表面局部充填褐色氧化铁膜。钻井岩心多为碎屑岩，岩心采集率一般为 70%-85%，岩石质量指数 (rqd) 一般为 20%-40%。中风化泥岩：泥质胶结，中厚层状构造，风化裂隙发育，岩体完整，岩石质量指数 (rqd) 约为 50%-75%。该层的上部往往夹有少量强风化薄层，岩石较软，岩芯破碎。随着深度的增加，强风化薄层的分布减少。



图 1 项目现场情况

4.2 天然软土层物理力学指标

对项目路线范围内的土样进行室内试验，得到本项目场地内天然土的基本物理力学指标如表 1 所示。

表 1 天然土基本物理力学指标

土体	素填土	软塑粉质粘土	可塑粉质粘土
----	-----	--------	--------

天然重度/(kN/m ³)	18.5	20	20.5	
承载力/(kPa)	75	80	145	
天然含水率/%	35.1	29.7	25.7	
密度/(g/cm ³)	1.78	1.92	1.95	
压缩系数/(MPa-1)	0.55	0.51	0.40	
孔隙比	0.92	0.84	0.75	
抗剪强度	c/kPa	6.0	20.0	25
	φ/(°)	6.0	10.0	14
塑性指数 Ip	12.5	13.78	14.0	
液性指数 IL	0.82	0.71	0.53	

项目场地内典型软土钻芯土样如图 2 所示。



图 2 项目现场典型软土钻芯土样

4.3 项目浅层软土路基处治

根据《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2012)规定，浅层软弱土层或不均匀土层的地基处理可采用换填垫层的方法，厚度宜为 0.5~3.0m。

本工程道路桩号 K0+020~K0+220 段，天然路基上层为素填土，厚度 1.5~3.3m，下层为卵石土，厚度 1.5~3.0m。原设计采用换填砂砾石处治。但由于项目所处位置由于城市环保要求较高，造成弃土困难，并且外购砂砾石造价偏高，故本项目需尽可能利用现状土。对现状土成分进行分析后发现，该区域素填土主要由中风化泥岩碎块及粘性土组成，矿物成分较好，承载力不够的主要原因是其结构松散，孔隙率大，天然含水率较高。因此可以利用素填土成分较好的有利因素，采取适宜措施降低土体含水率和孔隙率，从而在不外购材料的情况下，提升路基承载能力并且减小施工后沉降。处治方法为：挖除现状浅层软土层，碾压基底至土基各项指标符合设计要求；将挖出的软土进行晾晒处理，降低其含水率，再分层回填碾压，提高压实度。

该方法的优势在于充分考虑了现场实际情况，利用了现状成分较好的素填土，通过晾晒、分层碾压等方式，将含水率和孔隙率较高的软土进行适当处治，使其达到合格材料要求后再回填，节约了外购换填材料的费用，同时减少了弃土

数量,满足区域环保要求。对本项目浅层软基处理来说,该方法合理的。

参考《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTGD31-02-2013)不同换填材料垫层承载力表,在保证施工质量的情况下,换填处治后承载力可达120~150kPa。实际承载力需通过处处治后路段土基现场荷载试验确定。

4.4 项目深层软土路基处治

软土层厚度超过4m的情况下,可采用强夯法、排水固结法、复合地基处理法等方式。其中强夯处治深度不宜超过10m并且对周围构筑物振动扰动较大;排水固结法处治深度一般不大于20m,并且施工周期较长;复合地基处理深度可达20m以上,适用性较强。

本工程道路桩号K0+440~K0+820段,天然路基第一层为素填土,厚度5.5~16.2m,第二层为粉质粘土,厚度2.5~4.5m,第三层为卵石土,厚度1.2~3.1m。

方案比选阶段时,拟定了强夯法和复合地基处理两种方式。后经现场考察,发现场道路两侧地块已将在开发,部分楼盘主体结构已完工。部分软土厚度较大段落采用强夯法需要较大的夯击能量,施工所引起的振动和侧向挤压会对临近建筑产生不利影响,故强夯法不适用。最终本工程在软度厚度较大段落采用碎石桩复合地基处理。处治要点及设计参数如下:

- (1) 桩体材料一般因地制宜选用,可采用碎石、卵石、砾石等比原图层性质好的硬质材料。
- (2) 砂石填料粒径不大于50mm。
- (3) 填料含泥量不得大于5%,以利于排水,保证桩体强度。
- (4) 桩径的选择要充分考虑施工设备的能力、地基土类型以及处理的要求。
- (5) 桩间距宜通过现场试验确定。

参考文献:

- [1] 陈永红.公路路基设计中软基的处理方案[J].建筑技术开发,2021(9).047.
- [2] 李秋刚,卢孟臣.道路桥梁施工中软土地基施工技术处理分析[J].中国设备工程,2021(10).146.
- [3] 吴其泰.排水板强夯置换复合工艺处理软基试验研究[J].施工技术,2021(11).
- [4] 蔡文隆.道路桥梁施工中软土地基处理技术的应用探讨[J].西部交通科技,2021(4).023.
- [5] 苑佳,周新雨.软土地基处理的几种方法综述[J].能源与环保,2021(1).009.
- [6] 姚鑫.道路桥梁施工软土地基处理对策[J].四川建材,2021(5).037.

作者简介:杨家鑫(1994-今)性别:男,民族:汉,籍贯:四川内江,学历:工学硕士,职称:助理工程师,研究方向:市政路桥设计。

(6) 桩长的选取需通过土层厚度、设计目的、可液化层厚度和有效桩长等因素,综合考虑确定。

(7) 桩孔内砂石填料量应通过现场试验确定。

(8) 处治后需进行现场试验确定地基的承载力。

本工程碎石桩采用振动沉管法,等边三角形布桩,桩径0.8m,间距1.8m。碎石桩复合地基承载力特征值可按散体材料增强体复合地基承载力公式估算:

$$f_{spk} = [1 + m(n - 1)]f_{sk}$$

式中: f_{spk} ——复合地基承载力特征值(kPa);

f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值(kPa),可按地区经验确定;

n ——复合地基桩土应力比,可按地区经验确定;

m ——面积置换率, $m = d^2/d_e^2$; d 为桩身平均直径(m), d_e 为一根桩分担的处理地基面积的等效圆直径(m)。

取 $f_{sk}=120\text{kPa}$, $n=3$,经计算,复合地基承载力特征值可达到162kPa,满足路基承载力的要求。说明该处理方式能够有效加强原软土地基的承载能力,并且效果良好。

5 结语

随着城市的扩张,市政道路建设延伸到软基较多的农村地区,对于浅层软土地基,采用换填法是合理的。若软土主要成分为垃圾土、有机质土和泥炭土等,可采用全部挖除,换填合格填料的方式处理;若软土主要矿物组成成分较好,仅仅是含水率和孔隙比较大,可以采取挖出现状软土后晾晒回填压实的处治方式,节约造价,保护环境。对于厚层的软土路基,可采用强夯法和复合地基处理等方式进行软基处理。但要根据项目实际情况选择适宜的处治方式。工程周边有房屋等结构时要慎用强夯处理方式,避免振动造成结构物损坏。复合地基选型应根据满足质量要求、方便施工和经济适用的原则。