

华南沿海开发建设区的道路软基处理方法研究

康伟中

中国华西工程设计建设有限公司深圳分公司

摘要: 华南沿海地区自改革开放以来, 一直是我国经济发展的主要增长极及产业聚集地, 城市化程度已较为发达。以珠三角地区为例, 经济发展水平近年来持续增加, 城市建设用地仍保持持续增加, 各地的新区建设、市政基础投入仍得到各地方政府的大力支持。本文以广东省珠海市平沙新城为例, 结合地区场地地质条件, 对华南沿海开发建设区的道路软基处理方法进行了研究, 以供相关设计人员参考, 为沿海开发区的市政道路软基处理设计提供了可参考的成功经验。

关键词: 华南沿海开发区建设; 软基处理; 真空联合堆载预压

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2022.08.052

一、工程概况

珠海市平沙新城规划区是珠海市西部高栏港区重要的配套发展新区, 整个区域西侧与黄茅海相邻, 南侧边界至南水十字沥, 东侧边界至三虎大道, 北侧边界至海泉湾用地边界。总用地规划分为南北两个片区, 北片区称为“平沙新城起步区”, 总规划用地面积约为740公顷; 南片区称为“装备制造区北区”, 总规划用地面积约为807公顷。平沙新城规划区的市政基础设施开发建设主要包括: 城市主干路、城市次干路各两条, 城市支路七条, 共计市政道路十一条, 工程建设内容包括了道路工程、桥涵工程、岩土工程、交通工程、给排水工程、照明工程等。

二、工程水文地质概述

(一) 场地地质条件

平沙新城场地原始地貌形态属于滨海堆积地貌, 地形主要以鱼塘及河涌为主。根据项目

勘察外业钻探结果显示, 揭露场地内的地层构成主要为人工填土层(Q^m)、第四系海陆交互相沉积层(Q^{mc})、第四系残积层(Q^{e1}), 下伏基岩是燕山期花岗岩。场地内地层顺序, 按自上而下依次描述如下:

1. 松散状的黄褐、灰褐色人工填土层, 主要由黏性土混合少量石英砂组成, 层厚0.80~6.50m。

2. 第四系海陆交互相沉积(Q^{mc})层由淤泥②-1、黏土②-2、淤泥质黏土②-3及粗砂②-4组成: 深灰、灰黑色淤泥②-1, 韧性及干强度偏低, 呈饱和、流塑状态, 层厚10.10~19.70m; 褐黄、灰褐、深灰色黏土②-2, 干强度及韧性高, 呈饱和、流塑状态, 层厚0.60~14.00m; 灰黑色淤泥质黏土②-3, 干强度及韧性高, 呈饱和、流塑状态, 层厚0.70~18.80m; 黄褐色, 灰白色粗砂②-4, 呈饱和、中密状态, 层厚0.50~8.40m。

3. 褐灰、灰白色第四系残积(Q^{e1})砂质黏性土③层, 由花岗岩原地风化残积而成, 干强度及韧性中等, 呈饱和, 硬塑状态, 揭露厚度0.90~7.00m。

4. 青灰色燕山期(γ_y)侵入花岗岩层, 主要矿物成份为石英、长石及黑云母, 按其风化程度不同, 可分为全风化花岗岩④-1、强风化花岗岩④-2及中风化花岗岩④-3三带。

同时根据项目勘察结果揭示, 拟建项目所在的平沙新城场地在勘察深度范围内未发现断裂构造, 场地建设条件稳定。

(二) 场地水文条件

平沙新城规划区场地内地表水系较为发达、鱼塘密布、河道交错, 来自通往黄茅海的河道内海水, 是场地区域地表水的主要补给水源。水位深度因受潮汐的影响, 勘察测量外业期间测得项目场地内的水位深度变化幅度约为1.90m。根据勘察结果综合评价为: 拟建场地环境类型属II类, 在强透水性的地层中, 该地下水及地表水质对砼结构具弱腐蚀性, 在弱透水性的地层中, 该地下水及地表水质对砼结构具微腐蚀性; 按长期浸水考虑, 该水质对钢筋砼结构中的钢筋具有弱腐蚀性; 按干湿交替考虑, 该水质对钢筋砼结构中的钢筋具有强腐蚀性。勘察结果表明: 勘察场地内粗砂②-4为强透水性地层, 其他地层均为弱透水性地层。

(三) 各地层岩土性能评价

表1为各地层工程特性指标建议值。表2为各地层桩基设计参数建议值。

表1 各地层工程特性指标建议值

地层	指标						
	承载力基本容许值 [f _{ao}]/kPa	压缩模量E _s / MPa	变形模量 E ₀ /MPa	抗剪强度		天然重度P/ (kN/m ³)	水泥土搅拌桩侧阻 力特征值/kPa
				内摩擦角φ/°	凝聚力C/kPa		
人工填土①	尚未完成自重固结			10	10	18.4	10
淤泥②-1	45	1.5		2.4	4	15.8	6
黏土②-2	160	5.0		10	26	19.1	16
淤泥质黏土②-3	70	2.5		5	9	17.1	9
粗砂②-4	300		30	32		19.3	20
砂质黏性土③	210	6.5		18	26	18.7	20
全风化花岗岩④-1	350						
强风化花岗岩④-2	550						
中风化花岗岩④-3	2000						

注: 当路堤路基跨越不同地层或下卧层性质变化较大时, 应考虑不均匀沉降对道路(包括管道)的不利影响。

表2 各地层桩基设计参数建议值

地层	岩土状态	指标					
		承载力基本容许值 [f ₉₀]/kPa	桩侧土的摩阻力 标准值q _{sk} /kPa	岩石饱和抗压强度 标准值/MPa	基底摩擦 系数μ	持力岩层总端阻力 特征值计算系数C ₁	桩侧岩总摩阻力 特征值计算系数C ₂
人工填土①	松散				未完成自重固结		
淤泥②-1	松散	45	12		0.30		
黏土②-2	流塑	160	65		0.25		
淤泥质黏土②-3	可塑	70	15		0.25		
粗砂②-4	中密	300	80		0.35		
砂质黏性土③	硬塑	210	75		0.25		
全风化花岗岩④-1	坚硬	350	100		0.40		
强风化花岗岩④-2	极软岩	500	180		0.45		
中风化花岗岩④-3	较软岩	2000		20	0.60	0.4 0.03	

注：（1）当桩嵌入基岩深度 $h \leq 0.5m$ ， C_1 乘以0.75折减系数， $C_2=0$ ；（2）对于钻冲孔桩，系数 C_1 、 C_2 值降低20%采用；（3）桩端宜进入设计持力层中一定深度，孔底沉渣厚度应满足有关规范要求；（4）当基础砌置于不同地层时，或采用不同的基础型式时，应考虑不均匀沉降对桥梁的影响；（5）当采用上表数值时，须进行试桩校核及桩身质量检测。

三、路基软弱土层处理设计

本项目拟建场地内分布有大量的软弱淤泥和淤泥质黏土层，淤泥层平均厚度约15m，最大厚度超过30m，淤泥质黏土平均厚度约10m，属于深厚软土层。结合深厚软基处理不同方法的特点及实用性，满足该类场地的软基处理方法分别有堆载预压法、真空联合堆载预压法、水泥搅拌桩、素砼桩和PHC管桩。路面设计使用年

限（沥青路面20年）内软基处理工后的沉降要求路基段 $\leq 30cm$ ，桥台段 $\leq 10cm$ 。

（一）技术对比

根据上表对比分析所述，从技术角度考虑，能够满足本项目拟建场地的软基处理方法有真空联合堆载预压法及管桩法。

（二）造价对比

表3 软基处理方法比较表

处理方法	处理原理概述	优点	缺点	备注
堆载预压	将竖向排水体（塑料排水板或袋装砂井）插入软土地基，通过预压堆载的荷载，使软土中的孔隙水通过插入的竖向排水体排出，加快土体固结的速度，提高土体的强度及性能。原土料整体式排水板的设计板长20m，板间距1.0m，正方形布置。	处理后可较为显著地提高软土地基的物理力学性能，软土的残余沉降小，并能够降低部分管线开挖支护的费用。	需大量土方，在处理淤泥施工过程中堆载路堤易发生失稳，工期长，一般需12个月。施工中沉降量较大，对周边建筑物影响较大。	珠海地区土源紧缺，同时工期较紧，不推荐使用。
真空联合堆载预压	处理原理与堆载预压基本一致，增加了抽真空的工序，对施工及检测的控制环节要求较高。竖向排水体材料与堆载预压一致。	土方需求量较少，处理过程中稳定性容易保证，工期比普通堆载预压法大幅缩短，一般为6~9个月。处理后可提高软土物理力学性质，残余沉降小，能降低部分管线开挖支护的费用。	软土层中有夹砂层时容易漏气，施工中沉降量较大，对周边建筑物影响较大。	本项目场地空旷，经造价比较后使用。
水泥搅拌桩	通过深层搅拌机械，利用水泥作为固化剂，将软土或沙等和固化剂在拟建项目场地的地基中强制拌和，使软基硬结从而提高地基的整体强度。其适用性受泥炭土及地下水的侵蚀性影响，遇到此类情况需通过试验确认适用程度。桩径60cm，桩间距1.4m，正三角形布置，设计桩长15m。	处理后可较为显著地提高软土地基的物理力学指标及受力性能，沉降量小，处理效果佳。	根据珠海地区相关工程经验，处理深度一般不大于15m，同时施工过程中的质量不易把控。	本项目拟建场地软土厚度一般都大于15m，不推荐使用。
CFG桩或素砼桩	利用桩身具有较高的强度和刚度特性，全长发挥桩的侧摩阻力，将荷载传递至地下岩性相对硬层，对桩间土起到挤密作用，能够较大幅度地提高地基承载力。桩径50cm，桩间距1.7m，正三角形布置，设计桩长30m。	处理后，大部分路堤填土荷载由桩体承担，沉降量小，处理效果佳。	处理深度超过30m时施工较困难，且造价较高。	本项目软土层厚度最大超过30m，不推荐使用。
管桩	常用桩型为PTC桩或PHC桩，桩身的竖向荷载承载能力很高，能够穿过多种土层抵达埋藏很深的坚硬持力层，同样对桩间土起到挤密作用，能够较大幅度地提高地基承载力。桩径40cm，桩间距3.0m，正方形布置，设计桩长34m。	其桩身强度高，桩体质量有保障，在处理深厚软土有较大优势。	桩间距较大，埋深较大的管线基础需单独处理。综合造价较高。	经造价比较后使用。

表4 真空联合堆载预压处理方案造价

项目	单位	数量	单价/元	总价/元	备注
真空联合堆载预压面积	m ²	6600	150	990000	整平标高2m
砂垫层	m ³	7310	120	877200	厚1.1m, 可用海砂
排水板(设计板长23m)	m	153800	4.2	645960	SPB100-C型原生料整体板
密封膜	m ²	43350	15	650250	3层
土工布	m ²	32110	20	642200	2层
黏土密封墙	m	8378	38	318364	双排布置, 桩径70cm, 咬合20cm
合计				4123974	
每平方米造价				608	

表5 PHC管桩方案造价

项目	单位	数量	单价/元	总价/元	备注
PHC管桩处理面积	m ²	7810			
PHC管桩(设计桩长35m)	m	32080	200	6416000	桩径40cm
碎石垫层	m ³	3104	120	372480	粒径20~50mm
塑料土工格栅	m ²	7706	30	231180	双向、抗拉强度50kN/m
盖板C30钢筋砼	m ³	1139.45	1500	1709175	钢筋含量202kg/m ³
合计				8728835	
每平方米造价				1076	

根据地质纵断面图揭示本项目拟建场地淤泥层一般厚度均大于15m, 采用真空联合堆载预压法处理时, 塑料排水板的长度约为22m。采用管桩处理形成复合地基、桩端宜穿透淤泥质黏土层, 桩基长度约33m。按照本项目城市主干路标准横断面宽度65m, 选取100m标准段处理长度进行造价比较, 如表4、表5所示。

从表4、表5可以看出, 软基处理方式每平方米造价对比: 真空联合堆载预压法<管桩。

经过工程技术和工程经济两个方面的综合比选, 本项目推荐的软基处理方式为: 一般路基段软基处理采用真空联合堆载预压法; 桥头段软基处理采用真空联合超载预压法+管桩结合处理。

五、本项目软基处理推荐方案描述

真空联合堆载预压法: 竖向排水体采用SPB100-C型原生料整体式排水板, 板间距为1m, 呈正方形布置, 板长详见岩-02《软基处理工程设计表》, 密封膜设置3层, 密封膜保护土工布设置两层。黏土搅拌墙直径为70cm, 咬合20cm, 双排布置, 深度为6m。砂垫层厚度为1.1m。预压期时间为7个月。

PHC管桩: 桥台段为了保证运行期减缓跳车现象, 考虑先采用真空联合堆载预压处理克服淤泥的欠固结特性, 再采用PHC管桩处理, 从而达到减少工后沉降的目的。

管桩采用长短桩过渡设计, 长桩40m, 桩长渐变为3m, 同一桩长布置3排桩, 详见剖面图。PHC管桩规格为PHC-A400(95), 壁厚95mm, 桩外径400mm, 桩身混凝土强度等级为C80。

六、检测与监测

(一) 效果检测

(1) 真空联合堆载预压

检测内容: 钻孔取样+室内土工试验、现场十字板剪切试验和静载试验。

检测数量: 钻孔取样的数量是重点监测断面数的2倍, 且应在重点监测断面上取样; 现场十字板试验数量是重点监测断面数的2倍, 处理前与处理后均应试验, 以评价处理效果; 静载试验数量与重点监测断面数一

致, 目的在于检验处理后地基承载力。

(2) 管桩检测

检测内容: 低应变、单桩承载力和复合地基承载力。

检测数量: 低应变为总桩数的20%, 单桩承载力为总桩数的1%, 单桩复合地基承载力0.1%。

(二) 真空堆载预压监测

(1) 一般监测断面

监测内容包括: 地表沉降和地表位移, 一般监测断面每100m布置一个。

(2) 重点监测断面

监测内容包括: 地表沉降、分层沉降、地表位移、深层位移、土压力、孔隙水压力、土中真空度和排水板真空度, 重点监测断面每500m布置一个, 但不少于2个。

(三) PHC管桩重点断面监测

监测要求: 桩顶土压力计和桩间土压力计应在同一标高设置, 土压力计埋设应在垫层施工之前埋设, 桩顶土压力计应埋设在桩顶中心位置, 桩间土压力计应埋设在桩间土的中心位置。地表沉降包括: 桩顶地表沉降和桩间土地表沉降。

七、结束语

本项目自开工以来, 所有道路的软基处理均已完工, 十一条道路均已竣工验收通车, 软基处理施工均达到了设计标准, 满足了建设方对市政基础建设的要求, 取得了良好的社会效益及评价。

参考文献

[1]任宗朋.堆载预压法在软土地基处理中的应用及效果评价[J].广东建材, 2021(02): 38-41.
 [2]邓康乐.水泥搅拌桩在市政道路和公路工程软基处理中的应用[J].工程建设与设计, 2021(04): 29-31.
 [3]武丽雨.软基处理施工技术在高速公路施工中的应用[J].城市建筑, 2020(32): 176-178.

作者简介: 康伟中(1978.09-), 男, 汉族, 甘肃金昌人, 硕士, 路桥高级工程师, 研究方向: 道路交通。