

杭州某新建地面道路工程地质勘察与评价

张全志¹, 杨敏², 张成武³, 李国伟¹, 孙杨¹, 周喻⁴

¹中国水利水电第六工程局有限公司, 辽宁 沈阳

²中电建路桥集团有限公司, 北京

³中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州

⁴北京科技大学土木与环境工程学院, 北京

收稿日期: 2021年9月23日; 录用日期: 2021年10月8日; 发布日期: 2021年10月26日

摘要

本文以杭州大江东产业集聚区地面道路的工程地质勘察工作为背景, 通过工程地质调查、钻探、室内试验和原位测试等方法, 获取地层岩性及物理力学指标, 确定地层承载力基本容许值的建议值, 判别场地地震效应, 开展场地稳定性、适宜性评价及路基工程地质评价, 提出桥涵设计建议。

关键词

道路, 工程地质勘察, 工程地质评价

Geological Survey and Evaluation of a New Ground Road Engineering in Hangzhou

Quanzhi Zhang¹, Min Yang², Chengwu Zhang³, Guowei Li¹, Yang Sun¹, Yu Zhou⁴

¹Sinohydro Bureau 6 Co., Ltd., Shenyang Liaoning

²PowerChina Roadbridge Group Co., Ltd., Beijing

³PowerChina Huadong Engineering Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

⁴School of Civil and Resources Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing

Received: Sep. 23rd, 2021; accepted: Oct. 8th, 2021; published: Oct. 26th, 2021

Abstract

Taking the engineering geological survey of the ground roads in the Hangzhou Dajiangdong industrial concentration area as the background, the engineering geological surveys, drilling, indoor tests and *in-situ* tests were used. The research obtained the stratum lithology and physical and mechanical indexes, determined the recommended value of the basic allowable value of the stra-

tum bearing capacity, distinguished the seismic effect of the site, carried out the site stability, suitability evaluation and the roadbed engineering geological evaluation, and put forward the bridge and culvert design recommendations.

Keywords

Road, Engineering Geological Survey, Engineering Geological Evaluation

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

工程地质勘察与评价,是土建、交通、水利等工程建设中必须采取的前期先导性工作,是保障工程安全经济施工与正常运营的重要手段。国内外许多学者已在各类工程中开展了工程地质勘察与评价方面的研究工作。例如,王志伟[1]在高层建筑领域开展了岩土工程勘察重点和难点研究;马百财[2]采用综合勘探方法并结合计算分析,研究了印度尼西亚西瓜哇岛火山堆积层工程地质特性;项京[3]采用探地雷达测试法、跨孔电磁波 CT 法等先进勘察技术,开展了隧道复杂地质环境下的岩土工程勘察与评价研究。Zhou [4]、李向群[5]、赵俐[6]等学者针对不同工程也做了类似的工程地质勘察与评价研究。本文以杭州大江东产业集聚区地面道路的工程地质勘察为例,通过资料收集、工程地质调查与测绘、钻探、物探、室内试验、原位测试相结合的综合勘察方法,依据最新规范、标准基本查明所建公路地基工程地质条件,为路基桥涵方案、市政配套工程方案及初步设计,提供必要的工程地质依据。相关工作可为类似工程提供有益借鉴。

2. 工程概况及地质条件

2.1. 工程概况

本项目为杭州大江东产业集聚区地面道路工程初步设计的工程地质勘察工作(图 1)。工程起点位于六工段钱江通道南接线高架下地面道路与规划滨江二路交叉处(即在钱江通道南接线六工段出口以西约 600 m),起点桩号为 K0+000;终点位于钱江通道南接线党湾互通高架桥下地面道路与党湾镇红十五线(规划省道萧山至磐安公路)交叉处,终点桩号 K14+900。本项目全线为新建项目,规划为一级公路兼顾道路功能,路线自北向南全长 14.9 km,道路总宽 50 m,道路横断面为双向 6 车道,两侧各 3.5 m 宽的非机动车道及 2.5 m 宽的人行道,设计速度为 80 km/h。路面为沥青砼路面结构,排水管线为钢筋混凝土管,全线桥涵情况为桥梁 9 座,涵洞 60 道。

2.2. 地层岩性及物理力学指标

开展地层钻探并取芯进行土工试验分析,是进行地层划分及工程地质特性评价的基础。参照《公路土工试验规程》(JTG 3430-2020) [7]的有关规定开展本工程地层的物理力学特性试验。物理性质试验采用比重瓶法测定土粒比重,环刀法测定土的密度,液限和塑限采用联合测定法,测定土的液限和塑限主要采用锥质量为 76 g 的圆锥仪,锥角为 30°,读数显示形式采用游标式或光电式。压缩试验采用固结仪测定土的压缩系数和压缩模量。直剪快剪试验的快剪剪切速率 0.8 mm/min,固快在预压仪上固结后移入直

剪仪中, 剪切速率 0.8 mm/min。固结快剪试验中试样在垂直压力施加后, 每 1 h 测读垂直变形一次, 直至试样固结变形稳定后, 再按快剪方法进行剪切。固结系数试验中压力等级采用 50、100、200、400 kPa, 施加每级压力后, 每小时变形达 0.01 mm 时, 测定试样高度变化为稳定标准, 完成逐级加压至试验结束并记录测试数据。



Figure 1. Project construction plan

图 1. 项目建设平面图

通过钻探、土工试验及地质综合分析获取的本工程地层岩性及其物理力学指标如表 1 所示, 线路区揭示地层主要勘探地层共划分为 4 个工程地质层组、13 个工程地质层。

Table 1. Rocky nature of the formation and its physical and mechanics indicators

表 1. 地层岩性及其物理力学指标

地层 层号	地质 年代	地层 名称	层顶/m	层厚 /m	含水量 /%	重度 $\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	塑性 指数	液性 指数	直接快剪		固结快剪		压缩试验	
									黏聚力 /kPa	摩擦角 /°	黏聚力 /kPa	摩擦角 /°	压缩 系数	压缩 模量
① ₀	Q_4^{me}	杂填土	0.0~0.0	0.6~4.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
① ₁	Q_4^{me}	素填土	0.0~3.2	0.9~4.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
① ₂	Q_4^{3al+m}	粘质 粉土	1.3~3.7	2.0~8.0	29.4	18.8	9.0	1.41	22.5	7.9	21.3	12.1	0.238	7.83
① ₃	Q_4^{3al+m}	砂质 粉土	0.6~10.7	2.1~12.4	26.4	19.4	—	—	27.3	6.2	29.1	7.0	0.147	12.16
① ₄	Q_4^{3al+m}	砂质 粉土	5.3~14.0	1.1~12.1	24.8	19.6	—	—	28.0	6.2	29.4	4.9	0.152	11.48
① ₅	Q_4^{2al+m}	粉砂	9.0~19.5	1.8~9.9	27.8	19.5	—	—	—	—	—	—	0.160	11.63
② ₁	Q_4^{2m}	粉质 黏土	21.3~23.6	3.1~5.4	34.5	18.3	11.5	1.32	10.5	18.4	—	—	0.568	3.49
② ₂	Q_4^{2m}	淤泥质粉 质黏土	18.9~28.1	6.2~24.6	38.9	17.6	12.8	1.44	9.4	17.0	4.4	12.3	0.642	3.37

Continued

③ ₁	Q_3^{2at}	粉质黏土	29.4~35.2	7.2~9.8	34.1	18.5	12.2	1.13	10.2	17.3	—	—	0.544	3.60
③ ₂	Q_3^{2at}	黏土	33.2~41.6	3.6~14.8	47.6	16.9	22.7	0.85	10.3	25.4	—	—	0.676	3.60
④ ₁	Q_3^{2at}	粉质黏土	41.7~50.7	2.7~17.4	31.3	18.7	13.0	0.70	14.3	29.7	—	—	0.430	4.62
④ ₂	Q_3^{2at}	粉砂	50.7~59.5	0.8~4.8	25.2	19.4	6.8	1.10	9.1	22.0	—	—	0.274	6.49
④ ₃	Q_3^{2at}	圆砾	54.6~60.4	10.0~11.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Table 2. Field *in situ* test mechanics indicators

表 2. 现场原位试验力学指标

地层 层号	标准贯入试验				静力触探试验				动力触探试验					
	平均值(击)		标准值(击)		锥头阻力 q_c (MPa)		侧阻力 f_s (kPa)		摩阻力		平均值(击)		标准值(击)	
	实测值	修正值	实测值	修正值	平均值	标准值	平均值	标准值	平均值	标准值	实测值	修正值	实测值	修正值
① ₀	—	—	—	—	5.30	4.90	55.9	50.6	1.1	1.0	—	—	—	—
① ₁	—	—	—	—	2.98	2.87	30.8	29.5	1.1	1.1	—	—	—	—
① ₂	9.8	9.0	9.2	8.6	6.06	5.93	59.2	58.0	1.0	1.0	—	—	—	—
① ₃	10.5	9.1	10.1	8.9	6.72	6.62	60.9	60.1	1.0	1.0	—	—	—	—
① ₄	13.0	9.9	12.6	9.7	11.61	11.38	92.3	90.6	0.9	0.8	—	—	—	—
① ₅	13.0	9.4	12.5	9.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
② ₁	14.0	9.8	13.0	9.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
② ₂	2.3	1.5	2.2	1.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
③ ₁	12.0	8.4	9.2	6.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
③ ₂	11.1	7.7	9.6	6.7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
④ ₁	11.8	8.3	10.8	7.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
④ ₂	15.2	10.6	11.9	8.3	—	—	—	—	—	—	13.5	8.2	11.8	7.6
④ ₃	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	24.8	11.8	23.9	11.6

2.3. 现场原位试验力学指标

室内土工试验试样易受不同程度扰动, 因此为对地层工程地质特性进行更准确评价, 必须开展一定数量的现场原位试验。标准贯入试验、静力触探试验、动力触探试验为工程地质勘察中常用的现场原位试验方法, 是判断地基土承载力及地层变化的重要手段。

本工程中标准贯入试验时采用 42 mm 触探杆、锤重 63.5 kg (自由下落, 落距 76 cm)。先用钻具钻至试验位置以上 15 cm 处, 将贯入器打入土层 15 cm (不计击数)后, 记录每打入 10 cm 的锤击数, 累计打入 30 cm 的锤击数为标准贯入击数, 当土层坚硬、密实, 未到 30 cm 即达 50 击时, 记录击入深度并终止试验, 并按有关公式换算为相当于入土 30 cm 时的标准贯入击数。

本工程中静力触探试验采用 CLD-3T 型静力触探机 1 台套, 探头采用 10 cm² 双桥探头, 数据用 LMC-D310 型静探微机采集, 试验资料按《静力触探技术标准》(CECS04:88) [8]并结合钻探资料进行整理。开工前, 均对使用的双桥探头进行率定, 其率定操作及率定结果符合国家有关计量标准。

本工程中动力触探试验在圆砾层中进行, 锤重 63.5 kg, 落距 76 cm, 自上一回次孔底后记录每 10 cm 的击数, 当每 10 cm 击数超过 50 击, 停止试验。

表 2 为采用上述三种试验方法按规范计算后获取的最终现场原位试验力学指标。标准贯入试验方面, 针对①₂至④₂地层开展了 10 类连续地层的试验, 其中, ①₄砂质粉土地层锤击数标准修正值最高, 达 9.7 击, 而②₂淤泥质粉质黏土地层锤击数标准修正值最低, 仅为 1.4 击。静力触探试验方面, 针对①₀至④₄地层开展了 5 类连续地层的试验, 其中, ①₄砂质粉土地层锥头阻力标准值最高, 达 11.38 MPa, 而①₁素填土地层锥头阻力标准值最低, 仅为 2.87 MPa。动力触探试验方面, 针对④₂至④₃地层开展了 2 类连续地层的试验, 其中, ④₃圆砾地层锤击数标准修正值最高, 达 11.6 击, 而④₂粉砂地层锤击数标准修正值最低, 仅为 7.6 击。

2.4. 地层承载力建议值

以表 1 地层物理力学指标及表 2 原位试验力学指标为基础, 根据《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG 3363-2019) [9]物理指标查表法、抗剪强度计算、原位测试三种方法进行综合计算确定了地层承载力基本容许值的建议值, 如表 3 所示。

Table 3. The proposed value of the strata carrying capacity parameter
表 3. 地层承载力参数建议值

地层 层号	查表法	抗剪强度法	原位测试法	地基承载力 基本容许值	钻孔桩桩侧 阻力标准值
			标贯试验		
			$[f_{a0}]$		
	$[f_{a0}]$	$[f_{a0}]$	$[f_{a0}]$	q_{ik}	
	kPa	kPa	kPa	kPa	kPa
① ₀	—	—	—	—	—
① ₁	—	—	—	—	—
① ₂	115	—	126	115	30
① ₃	125	—	125	125	32
① ₄	140	—	135	130	35
① ₅	135	—	140	135	35
② ₁	130	135	—	130	30
② ₂	65	70	—	65	10
③ ₁	115	120	—	110	30
③ ₂	105	102	—	90	20
④ ₁	155	152	—	135	35
④ ₂	180	—	168	160	40
④ ₃	270	225	—	260	65

研究发现, ④₃圆砾地层按照各类方法计算得到的地基土承载力均最高, 承载力均超过了 200 kPa, 后期可考虑作为各类基础的持力层; 而②₂淤泥质粉质黏土地层按照各类方法计算得到的地基土承载力均最低, 承载力均低于 100 kPa, 后期施工中需特别注意该地层, 以防地基承载力不足造成的工程事故。

3. 场地地震效应

工程路面建筑设计施工前, 必须对建筑场地地震动力特性进行评价。根据国家质量技术监督局 2016 年发布的《中国地震动参数区划图》(GB18306-2015) [10], 勘察区域地震动参数峰值加速度基本值为 0.05 g, 根据其附录调整后地震动峰值加速度为 0.065 g。

根据区域地质资料结合场地钻孔资料, 预测覆盖层厚度大于 80 m, 经统计等效剪切波速 $250 \geq V_{se} \geq 140$ (m/s), 根据《公路工程抗震设计规范》(JTG 2232-2019) [11] 判别, 场地地基土类别属于 III 类, 特征周期为 0.45 s。

拟建线路区抗震基本设防烈度为 VI 度, 根据《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001) [12] 判别, 场地可不作液化判别、不考虑软土震陷的影响。

4. 工程地质评价

通过上述钻探、取芯室内土工试验、现场原位试验、地基土承载力分析、场地地震效应等工作, 明晰了工程所在场地地层分布情况, 基本掌握了各类地层的工程地质特性, 因此, 便可开展所建工程场地的稳定性及适宜性评价, 分析路基工程地质特性, 针对场地上地面道路所建桥梁、涵洞等设施提出相关设计建议。

4.1. 场地稳定性和适宜性评价

工程位于冲海积平原区, 地形较平坦。场地上部分布全新统上组冲海积稍密~中密状粉土、粉砂层, 厚度一般在 20.0 m 左右; 其下为全新统中组流塑状淤泥质土、全新统下组软塑状黏土, 厚度一般在 20.0~25.0 m 左右; 中部为第三系上组冲湖积、海积的粉质黏土、黏土层, 厚度一般在 5.0~8.0 m 左右, 其下为第三系上组冲积圆砾(砾砂层), 厚度一般大于 20.0 m, 分布稳定。

勘察区域属扬子地层区, 地貌为长江中下游冲积平原, 线路区地形起伏较平稳, 地形总体上变化不大, 对线位的影响很小; 线路区沿线道路水系发育, 部分路段跨越河道、渠道, 区域内排水系统畅通, 不影响线路的走向; 工程区位于地震动峰值加速度 0.065 g 范围, 无影响稳定性的断裂破碎带通过, 区域稳定性较好; 线路区存在的不良地质为区域地面沉降、沼气等, 对工程影响较小, 特殊性岩土为软土、填土, 无其它特殊性岩土分布及不良地质作用存在。

综上所述, 本场地在采取适当措施的情况下基本适宜工程建设。

4.2. 路基工程地质评价

本工程位于萧绍平原, 上部粉土、粉砂层厚度较大, 属于正常路基, 工程性质一般。沿线上部 20.0 m 大多为粉土、粉砂, 稍密~中密状, 工程力学性质一般, 地基土承载力一般在 110~130 MPa 之间, 适合作为路基的基础持力层。

沿线地下水主要为松散岩类孔隙潜水, 水位埋深在 0.5~2.7 m, 对混凝土结构为微腐蚀性, 长期浸水下对钢筋混凝土中钢筋呈微腐蚀性, 干湿交替状态下呈弱腐蚀性, 腐蚀性对路基建设影响较小。上部地基土未作土腐蚀试验, 上部地基土长期受大气降水及地下水的淋滤作用, 可视为与地下水具同等腐蚀性, 即对混凝土结构、混凝土结构中的钢筋均呈微腐蚀性, 腐蚀性对路基建设影响较小。

沿线特殊性岩土主要淤泥质土为主, 少量软塑状的黏土、粉质黏土等。主要分布在线路的 17.0~50.0 m 范围内, 厚度一般在 10.0~20.0 m 之间, 厚度自北向南渐变, 含水量介于 36.6%~40.0% 之间, 性质差。借鉴附近工程经验, 该层软土对厚度较小的路基填方影响较小, 结合本项目特点, 线路路基填方高度一般在 1.0~4.5 m, 可不作路基处理。

总体而言, 拟建场地工程地质条件及水文地质条件较好, 不良地质及特殊性岩土对线路影响较小, 适合公路路基工程建设。

4.3. 桥涵设计建议

所建道路路面主要构筑物形式为桥梁和涵洞, 基于上述地层工程地质特性分析, 对桥涵设计做出以下建议。

桥梁设计建议。大中桥桥梁跨径较少、相对较短、荷载相对稍小, 桥梁基础建议选用钻孔灌注桩基础, 按摩擦桩, 可采用④₃层圆砾为中小桥梁桥跨桩端持力层考虑。以进入④₃层圆砾层深度不小于 $3d$ (d 为桩径)为宜, 具体桩长的选择需根据各桥梁跨度、结构荷载计算确定。中小桥可采用④₃圆砾作为桩端持力层; 具体可按各拟建桥梁承载力要求计算确定桩长, 设计时, 单桩承载力建议按摩擦桩进行计算。

涵洞设计建议。涵洞结构主要为圆管涵、箱涵, 功能主要为排水、灌溉, 建议采用钢板桩等支护方式, 应采取相应的止水、排水措施, 尤其是雨季施工; 依据本次勘察各土层工程地质性质, 可采用复合地基方案, 可选用①₁层作为地基持力层, 若沉降验算不满足设计要求, 可采用桩基础。

5. 结论

1) 结合工程地质条件以及场地地震效应等因素, 勘察区域属于相对稳定区域, 无不良地质作用, 拟建工程可以进行。

2) 根据拟建工程的地质特征、地下水情况以及岩土情况分析, 拟建工程地基④₃圆砾地层承载力较高, 不良地质及特殊岩土对线路总体影响较小, 适合公路路基建设。

3) 由于场区桥梁跨径少, 荷载小, 桥梁基础建议选用钻孔灌注桩基础, 按摩擦桩。中小桥可采用④₃圆砾作为桩端持力层。

4) 拟建涵洞建议采用钢板桩等支护方式, 可采用复合地基方案, 选用①₁层作为地基持力层, 若沉降验算不满足设计要求, 可采用桩基础。

基金项目

中电建路桥集团有限公司科技项目经费资助(No. LQKY2018-10)。

参考文献

- [1] 王志伟. 高层建筑岩土工程的勘察重点和难点研究[J]. 城市建筑, 2021, 18(18): 144-146.
- [2] 马百财. 印度尼西亚西爪哇岛火山堆积层工程地质特性研究[J]. 铁道勘察, 2021, 47(3): 65-68.
- [3] 项京. 隧道复杂地质环境下的岩土工程勘察与评价研究[J]. 世界有色金属, 2021(1): 205-206.
- [4] Zhou, Y., Feng, S.W. and Li, J.W. (2021) Study on the Failure Mechanism of Rock Mass around a Mined-Out Area above a Highway Tunnel—Similarity Model Test and Numerical Analysis. *Tunnelling and Underground Space Technology*, **118**, 104182. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104182>
- [5] 李向群, 张杰, 李宗效. 杭州市萧山区地质勘察及基础方案评价[J]. 吉林建筑大学学报, 2020, 37(6): 19-22.
- [6] 赵俐. 桂林市岩溶区坝库勘察实践与研究[J]. 水利规划与设计, 2020(2): 142-148.
- [7] 中华人民共和国交通运输部. 公路土工试验规程(JTG 3430-2020) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2020.
- [8] 建设部综合勘察研究院. 静力触探技术标准(CECS04: 88) [S]. 北京: 中国工程建设标准化委员会, 1988.
- [9] 中华人民共和国交通运输部. 公路桥涵地基与基础设计规范(JTG 3363-2019) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2019.
- [10] 全国地震标准化技术委员会. 中国地震动参数区划图(GB18306-2015) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015.
- [11] 中华人民共和国交通运输部. 公路工程抗震设计规范(JTG 2232-2019) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2020.
- [12] 中华人民共和国建设部. 岩土工程勘察规范(GB 50021-2001) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.