

岩溶场地岩土体特征及地基稳定性分析

周坤现*

(贵州省煤田地质局一五九队, 贵州 盘州 553500)

摘要: 贵州属碳酸盐岩广泛分布地区, 在进行岩溶场地勘察时需对场地的岩土体发育特征详细掌握, 了解其特性发育规律。为解决岩溶场地勘察工作时场地数据的不足, 造成勘察数据失真, 造成设计资源浪费和基础设计缺陷的问题。通过查明岩溶场地岩土工程地质条件, 分析岩土体发育特征, 为设计、施工提供基础地质资料。对地基基础方案的论证和分析, 天然地基方案应提出持力层和基础埋深的建议, 进行承载力、沉降的分析和验算, 必要时对倾斜方向和倾斜作出预测; 桩基方案应提出桩型、桩端持力层、桩端承载力或单桩承载力和沉桩可能性的分析和建议, 必要时应进行桩基沉降分析; 其它合适的地基基础方案的分析和论证。以某岩土工程勘察项目为例, 根据岩土体发育特征确定基础型式、基础埋深, 对地基稳定性进行评价分析, 最终选择合理的基础施工方案, 为类似项目提供借鉴。

关键词: 岩溶场地; 岩土体发育特征; 地基稳定性分析

中图分类号: P642.25 **文献标识码:** B **文章编号:** 1004-5716(2024)09-0040-04

贵州碳酸盐岩广泛分布, 由于城市建设规模不断扩大, 岩溶地区的勘察越来越多, 在岩溶地区进行岩土工程勘察应彻底弄清岩溶场地岩土体的发育特征, 避免安全事故的发生, 从而造成成本增加, 工期延长。

1 岩土体特征

根据工程钻探揭露, 建筑场地的覆盖层由素填土(Q^m)组成, 下伏基岩为三叠系下统嘉陵江组(T_j)石灰岩, 各岩、土层的厚度分布情况详见地质剖面图, 单栋分述如下:

(1) 素填土(Q^m)(①素填土): 杂色, 结构松散, 欠固结, 主要由粘土及强风化石块组成, 由近期平场所开挖所致。钻探揭露厚度为0.3~2.0m, 平均厚度约0.60m, 碎石含量在75%~85%, 粘土含量在15%~25%, 为碎石素填土。场地有110个钻孔有分布。剖面图上用①表示。

(2) 岩层: 场地内出露地层为三叠系下统嘉陵江组(T_j)石灰岩, 灰、深灰色中至厚层状灰岩, 岩石节理、裂隙及缝合线构造较发育, 节理面局部被方解石脉充填, 且有铁质性浸染现象, 岩石为较硬岩, 岩体较破碎, 岩芯呈柱状、短柱状、块状^[1]。

②₁ 强风化石灰岩, 发育于岩体表层, 钻孔揭露厚度0.3~0.6m, 场地分布不连续。灰、深灰色薄层状灰

岩, 岩体破碎, 节理裂隙较发育, 岩芯呈碎块状、砂状。剖面图上用②₁表示。

②₂ 中风化石灰岩: 灰、深灰色中至厚层状灰岩, 岩体较破碎, 节理裂隙较发育, 岩芯呈柱状、短柱状, 场地分布连续。剖面图上用②₂表示。

2 岩土体物理力学参数分析评价

2.1 岩土质量单元的划分

2.1.1 基本岩土单元的划分

拟建场地上覆土层划分为素填土一个土质单元; 下伏基岩根据风化程度可再划分为强风化和中风化两个岩质单元。

2.1.2 岩石的坚硬程度

场地内出露地层为三叠系下统嘉陵江组(T_j)石灰岩: 灰、深灰色中至厚层状灰岩, 岩石节理、裂隙及缝合线构造较发育, 节理面局部被方解石脉充填, 且有铁质性浸染现象, 岩石为较硬岩, 岩体较破碎, 岩芯呈柱状、短柱状、块状。

经钻探揭露, 场区地层岩性主要为灰、深灰色中至厚层状灰岩。根据风化程度不同, 拟建场区岩体质量单元可分为强风化和中风化两个岩质单元:

A: 强风化石灰岩: 灰、深灰色薄层状灰岩, 岩体破

* 收稿日期: 2024-06-03

作者简介: 周坤现(1993-), 男(汉族), 贵州盘州人, 助理工程师, 现从事工程勘察、现场施工负责、报告编写等方面的技术工作。

碎,节理裂隙较发育,岩芯呈碎块状、砂状,岩块锤击声不清脆,无回弹,轻易击碎,岩石质量差。岩体基本质量等级为V类。

B:中风化石灰岩:灰、深灰色中至厚层状灰岩,岩体较破碎,节理裂隙较发育,岩芯呈柱状、短柱状。该场地岩性为单一石灰岩。由于受岩体构造运动的影响,节理裂隙发育。参考前期勘察:饱和状态下的单轴抗压强度标准值为36.596MPa,属较硬岩。通过对钻孔的岩质段进行了纵波波速 V_p 测试,另在相应层位取岩样进行波速测试,采用岩体纵波波速与岩样纵波波速比的平方计算岩体完整性指数 K_v 。经测试:岩样纵波

波速 $V_p=3987\sim 5796\text{m/s}$,取最大波速值 $V_{p\text{max}}=5496\text{m/s}$,场地声波测试得出场地中风化岩体纵波波速 $V_p=2013\sim 4696\text{m/s}$,平均波速值 $V_p=3901\text{m/s}$,计算得完整性指数 $K_v=0.45$,强风化岩体波速不大于2500m/s,场地中风化石灰岩岩体的完整程度分类为较破碎。根据岩石的坚硬程度和岩体完整程度,按《岩土工程勘察规范》(GB500221-2001)(2009年版)表3.2.2-3,场地中风化石灰岩的岩体基本质量等级为Ⅳ级。

2.2 岩土单元的物理力学指标

2.2.1 中风化石灰岩

主要力学指标见表1。

表1 参考前期实验数据:岩样室内试验主要指标统计表

岩土单元	指标	统计数	区间值	平均值	标准差	变异系数	统计修正系数	标准值
中风化石灰岩	饱和容重(kN/m ³)	12	25.774~27.048	26.346	0.371	0.014		
	饱和单轴抗压强度(MPa)	12	34.6~42.3	37.767	2.284	0.060	0.969	36.596

说明:本次勘察所取试件高径比为2:1。

依据《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)第5.2.6条规定,内插得折减系数 $\varphi=0.11$,计算得场地中风化石灰岩地基承载力特征值为:

$$f_a=\varphi\times f_{rk}=0.11\times 36.596=4025.56(\text{kPa})$$

场地石灰岩节理发育,岩体较破碎,考虑岩体结构

面对地基稳定性的影响,岩石风化作用的继续等因素,建议本场地中风化石灰岩地基承载力特征值 $f_a=4000\text{kPa}$ 。

2.2.2 岩土单元地基承载力参数

综上分析计算,结合黔西县的工程经验,场地主要岩土单元的地基设计参数建议使用值见表2。

表2 各岩土单元地基设计参数表

岩土单元	容重(kN/m ³)	内聚力(kPa)	内摩擦角(°)	承载力特征值(kPa)	基底摩擦系数	f_{rk} (kPa)值(经验)
强风化石灰岩	23.5(经验值)	—	—	300(经验值)	0.35	800
中风化石灰岩	26.346	—	—	4000	0.40	2000

3 地基稳定性及适宜性评价

3.1 场地区域稳定性评价

场区内及附近无活动性断层存在,地形平缓,地层分布连续,无产生整体转移失稳的潜在转移面存在;无滑坡、崩塌、泥石流等不良地质作用存在,场地的区域稳定性良好。

3.2 场地环境稳定性评价

场地地形平缓,场区内无大型高陡边坡分布,工程环境简单,场地环境稳定性良好。

3.3 场地建筑适宜性评价

拟建场地地势较开阔,无断层、褶皱构造,岩石地层单斜产出。场地及周围未发现地裂缝、地面塌陷,历史上也未发生过滑坡、崩塌、泥石流等地质灾害,区域地质环境比较稳定,场地整体稳定性较好;鉴于拟建物特征,中风化石灰岩分布广厚,承载力较高,适宜建设本工程。

3.4 场地边坡的稳定性分析与支护方案建议

场地现阶段,单栋建筑已基本开挖回填到±0.00标高,场地平场开挖后,在1#东南侧将形成高约2~7m的岩质边坡。边坡长度约60m,边坡坡度约76°,走向为东南→东北走向,为永久性边坡,目前稳定。根据《建筑边坡工程技术规范》GB50330-2013表3.2.1,边坡工程安全等级为二级^[2]。

考虑到后期因风化掉块的可能,建议对该段岩质边坡进行挂网喷浆,确保边坡稳定。

3.5 地基稳定性及均匀性评价

3.5.1 地基稳定性评价

根据钻探揭露,场区近期进行了平场开挖工作,上覆填土较小,主要为平场时松动的碎石组成。经钻探揭露,场地内回填土厚度在0.3~0.20m,平均厚度约0.6m,由于场区较平缓,无较大的高陡边坡,不会产生填方体整体转移失稳现象;下伏基岩为中风化石灰岩,

承载力高,对岩面起伏较大的相邻桩位做加深处理,地基强度能满足拟建工程的要求,场地岩质地基稳定。

3.5.2 岩土地基的均匀性

岩质地基均匀性。强风化石灰岩:场地的强风化石灰岩厚度小,局部缺失,分布不连续且不均匀;中风化石灰岩:岩石为中至厚层状石灰岩,岩石强度高,分布连续广厚,地基均匀性良好。

3.6 场地及地基地震效应评价与抗震设防

(1)场地卓越周期。本次勘察的君悦城住宅小区项目1#楼场地岩土性质相同。引用前期勘察资料:根据“君悦城住宅小区项目3#、6#、7#勘察所做的地微振测试成果资料”,即场地卓越频率取值为6.608Hz,卓越周期为0.165s(详见《君悦城住宅小区项目1#楼楼场地地微振测试报告》)。

(2)场地地基岩土的抗震性能与地震效应评价。

①场地及周围,地形平缓,无断层通过,地层分布连续,对抗震有利。

②岩石地基完整性较好,中风化石灰岩属场地地基岩石的主体,抗震性能良好。

③场地素填土属松软地基土,抗震性能很差,在地震动力作用下将产生不同程度的压缩和变形。

(3)抗震设防。场地地基基础抗震设防应考虑如下几个方面:

①场地地基岩体因溶蚀风化的差异性明显,应选择溶蚀风化轻微的层位作持力层。

②结构体系受力要明确,传力要合理连续。

③建筑物的固有周期应避开场地地微振卓越周期(0.165s)。

④抗震设防应以加强结构构造措施为主,可不考虑液化、震陷及其它地基失效的影响。

综上所述:场地覆盖层由素填土组成,按单栋±0.00标高计算,上覆土层平均厚度一般小于5m,将场地覆盖层等效剪切波速估计值为350m/s,介于250~500m/s之间,根据《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)(2016年版)表4.1.3和4.1.6规定,场地类型可划分为中硬土,下伏为坚硬岩石,场地类别为Ⅰ₁类。据(GB50011-2010)(2016年版)附录A第A.0.24条,《中国地震动参数区划图》(GB 18306-2015)表C.24(续)规定黔西县(水西街道)属抗震设防烈度为Ⅵ度,场地设计基本地震加速度值为0.05g,基本地震动加速度反应谱特征周期0.35s(Ⅱ场地),地震分组为第一组。场地为可进行建设的有利地段,设计应按相关规定进行递减设

计及抗震设防^[3]。建筑物的结构设计应避开场地地基微振卓越频率6.068Hz,卓越周期0.165s,以避免地基与建筑物产生共振。

4 地基基础方案评价

4.1 持力层的选择

拟建物为16F建筑物,根据钻探揭露做以下建议:

(1)场地素填土:结构松散,土层较薄,局部缺失,分布不均,承载力低,无工程意义,不能作为地基持力层。

(2)强风化石灰岩:厚度变化0.2~2.0m之间,平均厚度为0.6m。有一定强度,但分布较薄且不均匀,局部缺失,不满足建筑物荷载要求,不考虑作地基持力层。

(3)中风化石灰岩:岩质较硬,分布广厚,岩层平缓,连续稳定,强度高,埋藏浅,是场地唯一可选的理想的地基持力层^[4]。

4.2 基础方案建议

根据拟建物荷载分布特征,建筑物荷载大(最大柱荷载为7500kN),场地唯一可采用的持力层为中风化石灰岩。根据建筑物特征,结合拟建场地工程地质条件,拟建物建议的地基持力层及基础方案为:采用独立基础和桩基础相结合的基础形式,以中风化石灰岩作持力层。根据《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011第8.5.3-3桩端进入持力层的深度:为桩身直径的1~3倍,且嵌入中风化岩石内不宜少于0.50m,从单栋设计标高起算,基础埋深大于3.0m,采用桩基础,基础埋深小于等于3.0m,采用柱基。成孔工艺建议采用人工挖孔工艺,将基础置于稳定的中风化基岩上,各基础嵌入中风化岩石不宜小于0.5m。基坑开挖中如遇溶隙发育的泥槽地段,需将泥槽清理干净并将基础置于稳定的中风化石灰岩内,基坑施工在开挖到基础底标高以上1.5m时,应禁止爆破,以免造成岩石松动圈,降低岩石承载力,为保持岩石完整性,宜采用人工冷打方式进行^[5]。覆盖层较厚的人工挖孔桩施工时易垮塌,要降低作业深度,一般 $h \leq 0.50\text{m}$ 为宜,必须加强护壁厚度和护壁刚度并加强抽排水,以保证孔桩施工安全和施工人员安全。桩基埋深应避免桩底应力扩散范围内有岩石临空面(特别在部分岩溶发育和泥槽发育的桩位),各住宅楼各柱位基础埋深及基础方案建议见《建议地基基础埋深及承载力建议表》表9。

5 结语

(1)推荐以中风化石灰岩为基础持力层,基础形式采用柱基或桩基础,中风化石灰岩地基承载力特征值取

$f_a=4000\text{kPa}$ 。

(2)采用桩基础时,基础置于完整稳定的中风化石灰岩内。由于桩基断面大,单一钻孔无法对岩溶形态进行控制,桩基施工时,可能会出现尚未发现的岩溶洞隙等特殊情况,当不能满足设计要求需进一步勘察时,建议按规范进行施工勘察工作,进一步查明场地地基持力层特征,将基础置于稳定的中风化基岩上,各基础嵌入中风化岩石不宜小于0.5m,确定拟建物安全^[6]。对于溶洞旁的桩基埋深应避免桩底应力扩散范围内有岩石临空面,有岩石临空面的柱位相应加大埋深。采用独立基础时,我方在表9中建议的基底标高是个人保守经验,供参考。施工中要以基坑开挖后的具体情况现场验槽来确定。电梯间及核心筒基坑开挖的深度过深时要考虑周边相邻独立基础的基础埋深。如有临空面产生,要加深相邻柱位嵌岩深度或改为桩基础。

(3)桩基应按倒挂护壁设计和施工,溶洞较大的柱

位,人工成孔难度较大,在施工过程中,针对溶洞较大的空洞,施工人员应先做好按错施工措施,防止人员发生掉落事件。

参考文献:

- [1] 卜丹.某岩溶地区坡地建筑基础设计与施工[J].施工技术,2020,49(17):80-82.
- [2] 曾梦笔.岩土工程勘察与地基施工处理技术探讨[J].工程技术研究,2020,5(18):106-107.
- [3] 张志刚.张恩重.岩溶地基岩土工程勘察及地基处理分析[J].工程建设与设计,2020(17):46-47,50.
- [4] 朱家宏.地基设计和岩土工程勘察过程中的问题与对策研究[J].城市建筑,2020,17(26):167-168.
- [5] 李志文.水务工程岩土工程勘察外业安全文明生产动态管理监督制度研究[J].中国勘察设计,2022(8):84-87.
- [6] 林晓春.市政工程勘察岩土地层划分标准研究:以东南沿海滨江平原地区为例[J].中国市政工程,2019(6):83-88,108.

(上接第39页)

该部分土体对桩身可能产生负摩阻效应。基桩设计应考虑该层的负摩阻效应。未经按设计压实处理的回填土建议负摩阻力系数建议按0.25取值,天然状态下综合内摩擦角建议取值 $\phi=8^\circ$,饱和状态下综合内摩擦角建议取值 $\phi=5^\circ$ 。建议设计或施工时应采取相应措施降低负摩阻力不利作用^[3-4]。

4 结论

(1)拟建场地地形地貌简单,地基土由第四系全新统填土、第四系全新统冲洪积层及白垩系上统夹关组泥质砂岩组成,区域稳定性好,适宜建筑。其中③-2中等风化泥质砂岩承载力较高,分布稳定,厚度较大,是理想的地基持力层。

(2)场地地下水对混凝土及混凝土中钢结构腐蚀

性等级属弱,土对混凝土结构的腐蚀性等级属微。

(3)基础施工过程中将出现各类岩土工程问题,应加强地基施工、填土的自重沉降引发的地面开裂、降水影响的环境工程问题、填土对桩基础的危害及防治措施。

参考文献

- [1] 潘志伟,陈东兴.浅议岩土工程勘察在边坡治理中的应用[J].西部探矿工程,2022,34(6):5-7.
- [2] 陈丹,邹娟.高层建筑岩土工程勘察工作的影响因素及要点分析[J].工程技术研究,2022,7(3):126-128.
- [3] 许特利.岩土工程勘察的重点及其对基坑支护施工的影响研究[J].工程建设与设计,2022(9):208-210.
- [4] 徐光标,王龙,周鹏飞,等.毗邻赣江某高层住宅项目岩土地质工程勘察实例分析[J].四川建材,2022,48(10):51-54,97.