

信丰岩溶场地地基稳定性评价

符勋¹, 彭来明¹, 朱博²

(1. 赣南地质调查大队, 江西 赣州 341000; 2. 宁波市岩土工程有限公司, 浙江 宁波 315000)

摘要: 随着社会经济的发展, 岩溶地区工程建设项目越来越多, 由岩溶引发的岩溶地基稳定性问题也越来越受到人们的关注。本文结合现场实际岩土工程勘察资料, 就研究区内岩溶的形成机理及发育规律进行了分析, 对场地地基稳定性进行分析评价。

关键词: 岩溶; 发育规律; 地基稳定性

中图分类号: TU91

文献标志码: A

文章编号: 2096-7195(2021)02-0143-07

Analysis on stability of the karst foundation in Xinfeng

FU Xun¹, PENG Lai-ming¹, ZHU Bo²

(1. Gannan Geological Survey Group, Ganzhou 341000, China;

2. Ningbo Geotechnical Engineering Co., Ltd., Ningbo 315000, China)

Abstract: With the development of social economy, there are more and more engineering construction projects in karst area. The stability of karst foundation has been paid more and more attention. In this paper, based on the actual geotechnical engineering investigation data, the formation mechanism and development law of karst in the study area are analyzed, and the stability of the site foundation is analyzed and summarized.

Key words: karst; law of development; foundation stability

0 引言

江西省信丰县普遍分布有碳酸盐岩, 且岩溶较为发育, 近年来, 该区域内的工程建设项目越来越多, 由岩溶引发的岩溶地基的稳定性问题也越来越受到人们的关注。因此, 分析和总结岩溶的形成机理及发育特征, 评价岩溶地基的稳定性, 分析其对工程建设的影响, 提出合理的地基处理措施及基础选型方案, 对工程建设有着重要的意义。本文以工程实例对岩溶的发育规律进行了分析, 对场地地基稳定性进行分析研究。

1 研究区岩溶发育规律

据本地区工作资料, 研究区岩溶总体发育程度属中~强烈发育, 但由于地层组合、断裂构造以及裂隙的发育程度、地形切割程度等的差异, 使得岩溶分布各处不尽相同, 主要表现在地表及地下岩溶分布的不均匀特性。

1.1 地表岩溶发育特征

研究区为覆盖型岩溶盆地, 上覆地层为粉质黏土, 区内的地表岩溶并不发育。

1.2 地下岩溶发育特征

研究区西北侧地下岩溶较发育, 表现形式有溶洞、溶缝、溶洞等。溶缝、溶孔等微观溶蚀现象在场区常见, 孔径一般 2~5 cm。溶洞在场区不同部位形态有所差异。研究区内发育的溶洞主要表现为地下的隐伏溶洞, 分布规模较大, 数量较多。据勘探钻孔资料显示, 研究区内施工的 178 个钻孔中揭露有溶洞的钻孔有 117 个, 揭露溶洞 183 个, 见洞率为 63.9%, 其中发育有 2 个及以上溶洞的钻孔个数为 48 个, 占见溶洞钻孔数量的 41.0% (见表 1)。

在所揭露的溶洞中, 洞高最小的 0.2 m, 最大的 20.3 m。其中洞高 0.2~1.0 m 的溶洞 52 个, 占总数的 28.4%; 洞高 1.0~2.0 m 的 31 个, 占 16.9%; 洞高 2.0~5.0 m 的 58 个, 占 31.7%; 洞高 5.0~10.0 m 的 21 个, 占 11.5%; 洞高大于 10 m 的 21 个, 占 11.5%。溶洞顶板为灰岩, 大部分溶洞发育在基

表1 部分钻孔溶洞统计
Table 1 Statistics of karst caves in some boreholes

孔号	溶洞/个	孔口标高/m	孔深/m	基岩埋深/m	溶洞埋深范围/m	溶洞充填情况
ZK32	1	162.92	30.22	15.83	15.83~25.10	溶洞均为全充填， 充填物主要为可塑 状黏土，含少量砂、 砾石及灰岩碎块
ZK36	1	158.32	31.35	10.80	11.20~12.90	
ZK37	1	158.81	26.30	15.10	15.80~19.50	
ZK38	1	159.52	25.67	18.30	19.30~19.80	
ZK39	1	160.32	44.75	17.50	18.00~38.30	
ZK40	1	161.85	27.30	17.00	18.10~18.70	
ZK57	2	161.65	22.49	8.50	10.50~12.20 16.70~17.00	
ZK62	1	161.40	24.39	12.70	13.20~19.24	
ZK74	2	159.19	24.60	15.00	15.20~17.20 19.00~19.60	
ZK186	4	155.25	30.33	11.00	11.30~13.00 15.10~15.60 17.00~18.10 20.00~21.60	
ZK187	1	155.31	24.00	10.80	12.60~16.00	
ZK188	1	155.46	23.85	11.30	14.50~15.30	
ZK189	1	156.20	18.34	8.80	9.70~10.20	

岩面附近的位置，顶板埋深与基岩埋深相距不大。

2 岩溶地基稳定性评价

岩溶对地基稳定性的影响主要包括地基发生不均匀沉降、地基岩层沿倾向临空面的软弱结构面滑动、由较复杂的水文地质条件导致新的工程地质问题等^[1]。因此，在岩溶区进行岩土工程活动需要事先进行岩溶地基的稳定性评价^[2]。

岩溶地基稳定性评价由场地评价与单体评价 2 部分组成^[3]。前者按照岩溶的发育强度，在场地范围内划分出不同稳定性的地段，从整体上分析场地的适宜性和稳定性；后者分析单体岩溶的形态和特征，确定局部的稳定性，有定性半定量 2 种方法。

2.1 场地评价

根据区域资料及地质勘察资料可知，研究区的岩性特征和地下水特征均非常有利于岩溶的发育，区内发育的岩溶属于亚热带岩溶，岩溶的总体发育程度属中~强烈发育。研究区地基属于覆盖型岩溶地基，进行稳定性评价时需同时考虑上部建筑荷载与土洞的共同作用^[4]。

研究区内的地表岩溶并不发育，而地下岩溶却

十分发育，在勘察深度 48.08 m 内，未发现规模较大的呈水平层状发育的隐伏溶洞。溶洞大部分为全填充，充填物主要为可塑状黏土，含少量砂、砾石及灰岩碎块。研究区场地地基整体稳定性较差，局部差。

2.2 单体评价

通过场地评价，研究区场地地基整体稳定性较差，需进行地基处理并采取适宜的基础型式才可进行拟建工程的建设。由于岩溶在研究区的地下分布各处不尽相同，因此，对于研究区岩溶的单体评价十分重要。这里选取 3 个典型地质剖面（见图 1~3）共 15 个的钻孔信息以及水文地质勘察信息来进行场地的地基稳定性评价。

(1) 定性评价

定性评价适用于初勘阶段选择场地及一般工程地基稳定性的分析评价，评价方法主要有综合分析法和经验比拟法。

1) 评价方法

(A) 综合分析法。根据岩溶洞隙各项边界条件，如溶洞大小、形状，顶板厚度及岩性，裂隙状况、岩层产状、洞穴形态及埋藏条件、地下水、上覆土层情况等条件，对比《岩土工程手册》^[5]中所列的

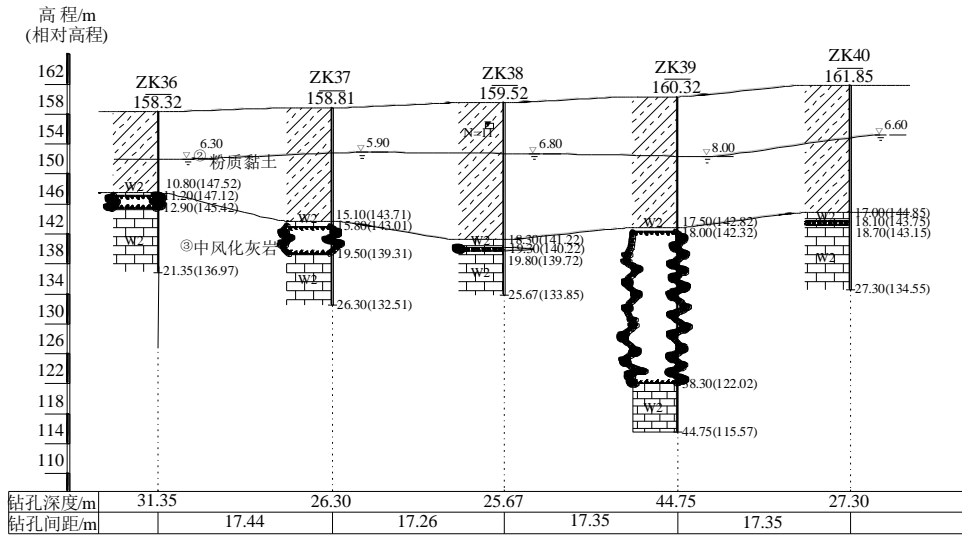


图 1 地质剖面 2-2'图

Fig. 1 Geological profile map 2-2'

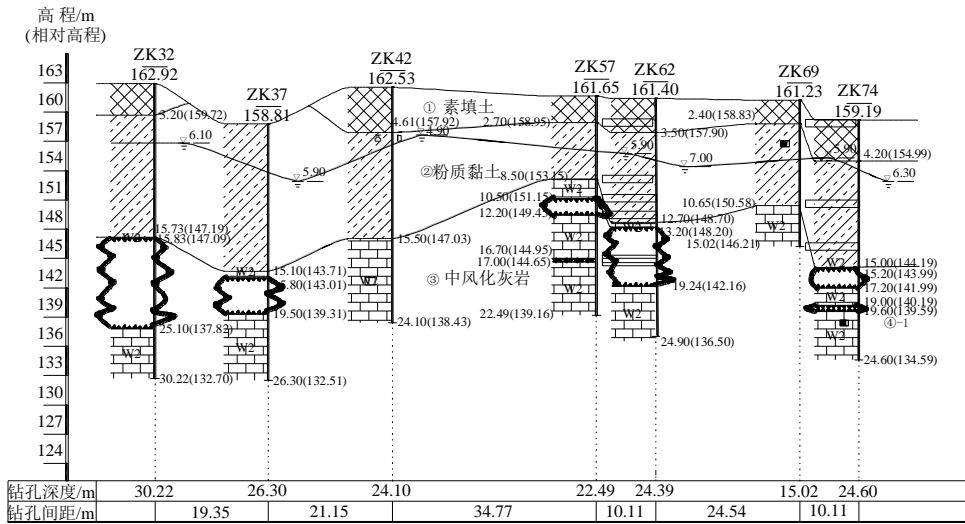


图 2 地质剖面 10-10'图

Fig. 2 Geological profile map 10-10'

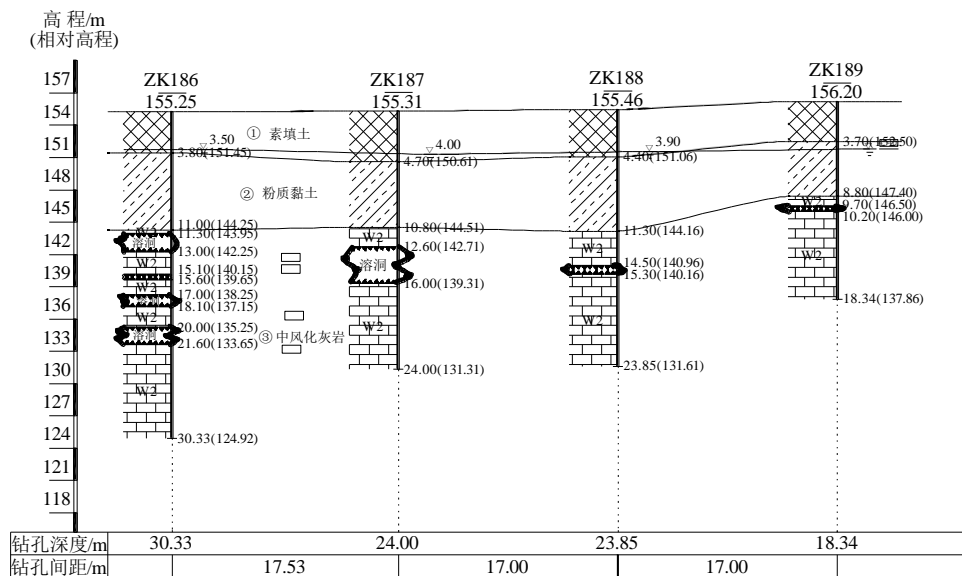


图 3 地质剖面 14-14'图

Fig. 3 Geological profile map 14-14'

诸因素进行综合分析并作出评价。

(B) 经验比拟法。由于涉及岩溶问题的公路、铁路、桥梁、隧道与民用建筑以及大型的水利水电枢纽坝基等工程实例较多, 经验比拟法是根据评价对象的工程地质条件, 与条件相似的已有成功或失败工程实例进行类比评价^[6]。

根据上述方法, 对3个典型地质剖面进行岩溶地基稳定性评价。3个地质剖面岩溶地基稳定性的定性评价见表2。

2) 评价结果

从表2中可以看出, 场地的岩性及厚度、溶洞的充填情况均对地基的稳定性有利, 而裂隙状况、洞穴形态及埋藏条件及地下水条件均对地基的稳定性不利。在所有的7项指标中, 剖面2-2'有4个不利因素, 剖面10-10'有5个不利因素, 剖面14-14'有3个不利因素。因此, 定性评价的角度看, 剖面

14-14'的相对稳定性最好, 剖面2-2'次之, 剖面10-10'最差。

(2) 半定量评价

1) 评价方法

(A) 溶洞顶板坍塌堵塞法

该方法适用于碳酸盐岩体浅部有隐伏溶洞的地基^[7]。其基本原理是坍塌后溶洞顶板岩体的体积会发生松胀, 当坍塌向上发展至一定高度时, 洞体可被坍塌的岩体堵塞, 此时便可认为溶洞顶板已稳定。溶洞坍塌的高度Z的计算式为:

$$Z=H_0/(K-1) \quad (1)$$

式中: H_0 为溶洞高度; K 为岩石的松胀系数(灰岩取1.2)。

当计算出的Z小于洞顶板实际厚度时, 可认为地基是稳定的。

表2 3个地质剖面岩溶地基稳定性的定性评价

Table 2 Qualitative evaluation of stability of karst foundation in three geological sections

影响因素	剖面					
	2-2'		10-10'		14-14'	
	条件	是否有利	条件	是否有利	条件	是否有利
岩性及厚度	隐晶质结构, 中厚层状构造, 岩质坚硬	有利	隐晶质结构, 中厚层状构造, 岩质坚硬	有利	隐晶质结构, 中厚层状构造, 岩质坚硬	有利
裂隙状况	裂面弯曲, 微张, 裂隙较发育	不利	裂面弯曲, 微张, 裂隙较发育	不利	裂面弯曲, 微张, 裂隙较发育	不利
岩层产状	呈块状构造, 起伏较小	有利	呈块状构造, 起伏较大	不利	呈块状构造, 起伏较小	有利
洞穴形态及埋藏条件	扁平状、埋藏浅、靠近基底, 个别钻孔溶洞洞径大	不利	扁平状、埋藏浅、靠近基底, 个别钻孔溶洞洞径大	不利	扁平状、埋藏浅、靠近基底, 个别钻孔溶洞洞径大	不利
顶板情况	顶板岩层厚度与洞径比值小, 有悬挂岩体	不利	顶板岩层厚度与洞径比值小, 有悬挂岩体	不利	顶板岩层厚度与洞径比值较大	有利
充填情况	为全填充, 充填物主要为可塑状黏土, 含少量砂、砾石及灰岩碎块	有利	为全填充, 充填物主要为可塑状黏土, 含少量砂、砾石及灰岩碎块	有利	为全填充, 充填物主要为可塑状黏土, 含少量砂、砾石及灰岩碎块	有利
地下水	有水流或间歇性水流, 有承压性	不利	有水流或间歇性水流, 有承压性	不利	有水流或间歇性水流, 有承压性	不利

表3 3个地质剖面岩溶地基稳定性半定量评价

Table 3 Semi-quantitative stability evaluation of karst foundation in three geological sections

剖面	溶洞总数	孔号	溶洞/个	基岩埋深/m	溶洞埋深范围/m	顶板厚度/m	溶洞高度/m	上覆土层平均厚度/m	顶板平均厚度/m	溶洞平均高度/m
2-2'	5	ZK36	1	10.80	11.20~12.90	0.4	1.7	15.74	0.74	5.36
		ZK37	1	15.10	15.80~19.50	0.7	3.7			
		ZK38	1	18.30	19.30~19.80	1.0	0.5			
		ZK39	1	17.50	18.00~38.30	0.5	20.3			
		ZK40	1	17.00	18.10~18.70	1.1	0.6			
10-10'	7	ZK32	1	15.83	15.83~25.10	0.0	9.3	13.33	1.39	3.37
		ZK37	1	15.10	15.80~19.50	0.7	3.7			
		ZK42	0	15.50	—	—	—			
		ZK57	2	8.50	10.50~12.20	2.0	1.7			
					16.70~17.00	4.5	0.3			
		ZK62	1	12.70	13.20~19.24	0.5	6.0			
		ZK69	0	10.65	—	—	—			
14-14'	7	ZK74	2	15.00	15.20~17.20	0.2	2.0	10.48	1.66	1.37
					19.00~19.60	1.8	0.6			
					11.30~13.00	0.3	1.7			
		ZK186	4	11.00	15.10~15.60	2.1	0.5			
					17.00~18.10	1.4	1.1			
					20.00~21.60	1.9	1.6			
		ZK187	1	10.80	12.60~16.00	1.8	3.4			
ZK188	1	11.30	14.50~15.30	3.2	0.8					
ZK189	1	8.80	9.70~10.20	0.9	0.5					

表4 钻孔 ZK1 及 ZK2 信息表

Table 4 Information of borehole ZK1 and ZK2

孔号	土洞个数	孔口标高/m	孔深/m	上覆土层厚度/m	溶洞埋深范围/m	土洞高度/m	土洞充填情况
ZK1	1	160.10	40.30	14.20	12.30~14.20	1.90	半充填, 充填物主要为软塑状粉质黏土
ZK2	1	162.12	41.50	13.40	11.60~13.40	1.80	

3 结 语

信丰岩溶地基稳定性评价包括场地评价和单体评价2种,即整体评价和局部评价。整体评价通常采用定性评价方法为主,从岩溶分布的总体规律和特征对场地稳定性进行分析评价,通过相关资料分析结果,研究区的场地为不均匀地基,稳定性较差。结合各单位分布和发育特征,可采用定性和半定量2种方式对稳定性进行评价。从定性评价的角度,可以建立由岩性及厚度、裂隙

状况、岩层产状、洞穴形态及埋藏条件、顶板情况、充填情况及地下水条件等7项指标组成的评价体系对岩溶地基稳定性进行初步的评价;而从半定量角度看,可按照溶洞顶板坍塌堵塞法对岩溶地基稳定性进行初步的评价。为更有利于指导工程建设,通常采用2种方法结合的方式对单体稳定进行评价。通过整体评价和局部评价可以对岩溶地基稳定性进行初步的评价和认识,对工程建设能够起到一定的指导作用,为后续结合物探、有限元数值分析法等方法准确评价岩溶地基稳定性提供了方向和资料基础。

表5 溶洞稳定性计算结果
Table 5 Stability results of karst cave

剖面	溶洞总数	孔号	溶洞个数	顶板厚度/m	溶洞高度/m	溶洞坍塌高度 Z/m	顶板平均厚度/m	溶洞平均高度/m	溶洞坍塌平均高度 Z/m
2-2'	5	ZK36	1	0.4	1.7	8.5	0.74	5.36	26.8
		ZK37	1	0.7	3.7	18.5			
		ZK38	1	1.0	0.5	2.5			
		ZK39	1	0.5	20.3	101.5			
		ZK40	1	1.1	0.6	3.0			
10-10'	7	ZK32	1	0.0	9.3	46.5	1.39	3.37	16.85
		ZK37	1	0.7	3.7	18.5			
		ZK42	0	无	无	无			
		ZK57	2	2.0	1.7	8.5			
				4.5	0.3	1.5			
		ZK62	1	0.5	6.0	30.0			
		ZK69	0	无	无	无			
14-14'	7	ZK74	2	0.2	2.0	10.0	1.66	1.37	6.85
				1.8	0.6	3.0			
				0.3	1.7	8.5			
		ZK186	4	2.1	0.5	2.5			
				1.4	1.1	5.5			
				1.9	1.6	8.0			
		ZK187	1	1.8	3.4	17.0			
		ZK188	1	3.2	0.8	4.0			
		ZK189	1	0.9	0.5	2.5			

参考文献

- [1] 蒋小珍. 岩溶塌陷发育条件的试验研究[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(S): 187-191.
JIANG Xiao-zhen. The experimental study of karst collapse condition[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control, 1998, 9(S): 187-191.
- [2] 倪宏革, 时向东. 工程地质[M]. 北京: 北京大学出版社, 2009.
- [3] 唐辉明. 工程地质学基础[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
- [4] 项伟, 唐辉明. 岩土工程勘察[M]. 北京: 北京大学出版社, 2012.
- [5] 岩土工程手册编委会. 岩土工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.
- [6] 刘会武, 李芝军, 陈卫兵. 变电站岩溶地基的勘察设计与地基基础处理[J]. 能源技术经济, 2010, 33(3): 45-49.
LIU Hui-wu, LI Zhi-jun, CHEN Wei-bing. Geotechnical investigation and design of substation on karst foundation[J]. Energy Technology and Economics, 2010, 33(3): 45-49.
- [7] 金瑞玲, 彭跃能, 李献民. 岩溶地基稳定性评价方法[J]. 公路与汽运, 2003(99): 29-31.
JIN Rui-ling, PENG Yao-neng, LI Xian-min. Evaluation method of stability of karst foundation[J]. Highways & Automotive Applications, 2003(99): 29-31.
- [8] 陈洪江. 工程地质与地基基础[M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2011.