

涂 婧,李慧娟,彭 慧,等.武汉市江夏区大桥新区红旗村黏土盖层岩溶塌陷致塌模式分析[J].中国岩溶,2018,37(1):112-119.
DOI:10.11932/karst20180107

武汉市江夏区大桥新区红旗村黏土盖层 岩溶塌陷致塌模式分析

涂 婧¹,李慧娟¹,彭 慧¹,魏 熊¹,贾 龙²

(1.湖北省地质环境总站,武汉 430034;

2.中国地质科学院岩溶地质研究所/中国地质科学院岩溶塌陷防治重点实验室,广西 桂林 541004)

摘 要:武汉市江夏区大桥新区红旗村文化大道附近发生岩溶塌陷,其上覆盖层为黏土。文章针对该类型岩溶塌陷,结合岩溶发育特征、土体物理力学性质、水文地质条件和人类工程活动等影响因素,对致塌模式进行了综合分析,得出在溶沟底部分布有软塑至流塑状的力学性质较差的红黏土,溶沟底部发育的溶蚀裂隙与下部的溶洞或通道相联通;流塑状红黏土流失至下部岩溶通道中,形成土洞;钻探施工、楼房载荷、振动作用加速黏土体的软化、崩解和溶蚀作用,进而加速土洞向上发展。此外,地基开挖减少上覆黏土厚度,降低了土体抗剪强度,最终在上覆土体自身重力和附加荷载作用下发生塌陷。根据土体受力情况,得出塌陷力学模型,并利用数据进行验证,其验证结果与实际相符合,并结合致塌模式和力学分析提出应增强土体抗塌性能、增加建筑物地基稳定性和减缓岩溶系统水动力因素变化的防治措施。

关键词:黏土盖层;岩溶塌陷;致塌模式;力学模型;防治措施

中图分类号:P642.26

文献标识码:A

文章编号:1001-4810(2018)01-0112-08

0 引 言

武汉地区发育有 10 条碳酸盐岩条带(图 1)^[1-3],覆盖型岩溶广泛发育,岩溶塌陷地质灾害频发。以前武汉市岩溶塌陷大多集中于主城区的“白沙洲岩溶条带^[1]”的长江沿岸,上覆第四系盖层为“上黏下砂”的双层结构。近几年随着武汉市城区范围的不断扩大以及远城区城镇化的推进,岩溶塌陷也向远郊新城区扩散。分布于蔡甸—江夏一带的“沌口岩溶条带^[1]”亦逐渐引起人们的重视,该条带上覆第四系中更新统单层黏土,其隐伏可溶岩分布面积远大于“白沙洲岩溶条带”,发生的塌陷规模也较大,损失也较高。目前针对武汉市黏土盖层分布区岩溶塌陷成因机理的解释较少,大多数是针对下部为砂性土的双层或多层结

构土体分布区的岩溶塌陷的分析^[4-6]。本文以武汉市江夏区大桥新区红旗村岩溶塌陷为例,探讨武汉市黏土盖层分布区岩溶塌陷的成因机理,以期为该地区岩溶塌陷地质灾害的防治提供参考。

1 岩溶塌陷概况

塌陷发生于江夏区大桥新区红旗村文化大道在建小区内。据调查,2014 年 4 月 29 日下午 2 时 30 分许,该小区 1# 楼房建设过程中,工地附近有沉降现象后。随后该工程建设部门组织补充岩土勘查,围绕沉降部位在 1# 楼东侧补充施工三个勘探钻孔。5 月 2 日 10 时 50 分钻机与旁边的土方之间出现裂缝,随后很快发生了地面塌陷。塌陷发生在 1# 楼东北

资助项目:中国地质调查局地质调查项目“湘西鄂东皖北地区岩溶塌陷 1:50 000 环境地质调查(DD20160254)”;中国地质调查局地质调查项目“武汉市岩溶塌陷调查(1212011220189)”;国家自然科学基金资助项目“红层溶蚀对岩溶塌陷的作用机理研究(41402284)”

第一作者简介:涂婧(1987—),硕士,工程师,主要从事水工环方面的研究工作。E-mail:445216579@qq.com。
收稿日期:2017-04-10

角边的深基坑中,补充勘探孔 3 井钻孔西侧。塌陷初期,塌陷处呈圆柱状,北侧坑壁近垂直,从筏板基础处算起,塌陷坑深度约 12 m,如若加上施工基坑深约 7 m,则深度将近 20 m。塌陷坑口呈椭圆形,东西向展

布,长轴长度超过 15 m,短轴长 10 余米,总面积约 200 m²。塌陷导致 2 人失踪,一台钻机被掩埋,在建的 1 井楼筏板基础垫层塌陷,筏板基础东侧悬空,工程建设停工,造成较大的经济损失^[7]。

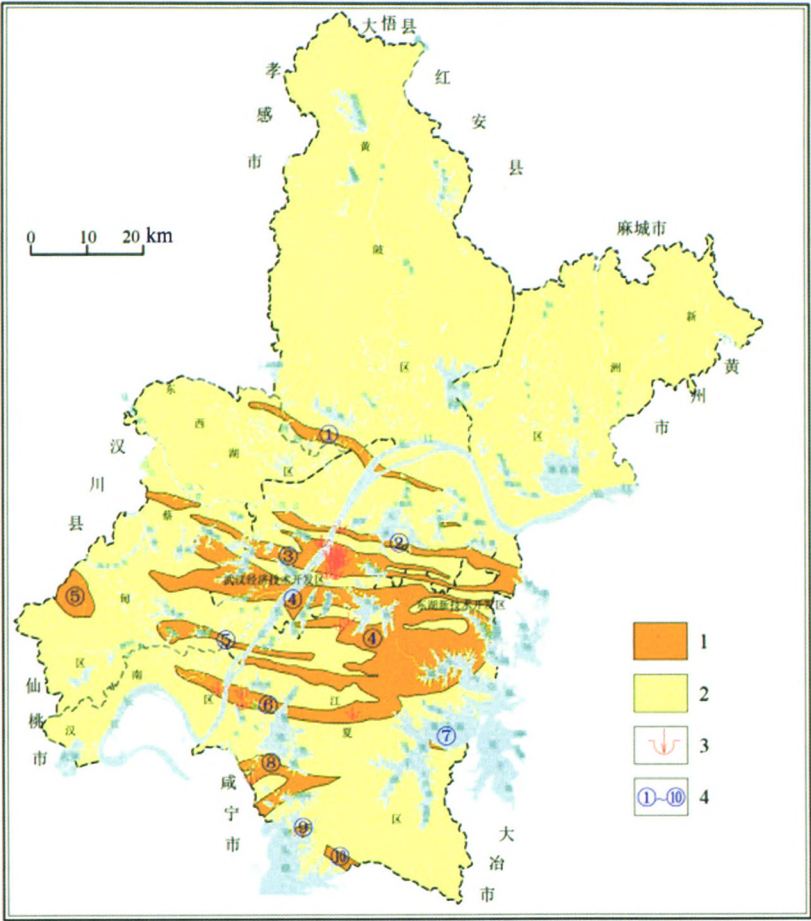


图 1 武汉市岩溶条带分布图

Fig. 1 Distribution map of karst in Wuhan City

1—碳酸盐岩条带 2—非碳酸盐岩分布区 3—岩溶塌陷点 4—碳酸盐岩条带编号 ①天兴洲岩溶条带 ②大桥岩溶条带 ③白沙洲岩溶条带 ④沌口岩溶条带 ⑤军山岩溶条带 ⑥金水闸岩溶条带 ⑦梁子湖南咀岩溶条带 ⑧老桂子山岩溶条带 ⑨斧头湖岩溶条带 ⑩贺胜桥岩溶条带

2 塌陷区地质环境条件

2.1 地形地貌

岩溶塌陷点位于武汉市江夏区大桥新区红旗村文化大道在建小区 1 井楼基础东侧边缘(图 2)。此处属剥蚀垄岗地貌,位于长江南岸三级阶地,海拔高程为 25~45 m,相对高差为 10~20 m。工程施工期间经人工整平,地形较平坦,地面高程在 20.5~27.5 m。

2.2 地层岩性

塌陷区地层自上而下依次为(图 3):

(1)人工填土(Q^{ml})

人工填土主要由黏性土组成,夹碎石、灰渣及植物根系,色杂,结构松散,强度不均,厚度为 0~5.6 m。

(2)第四系中更新统洪冲积层(Q_{p2w^{pal}})

黄褐—褐红色,可塑—硬塑状态,含褐色铁锰氧化物;局部夹有少量砾石,成分以石英砂岩为主,含少量硅质岩,粒径为 0.1~2.0 cm,最大达 3 cm,呈次棱角状~亚圆状,厚度为 5.2~17.2 m。

(3)第四系残积土(Q^{el})

红黏土,褐黄—褐红色,含铁锰氧化物,黏性大。呈可塑—硬塑状态,厚度为 0~10.8 m;局部下部呈可塑—流塑状态,厚度为 0~9.7 m。

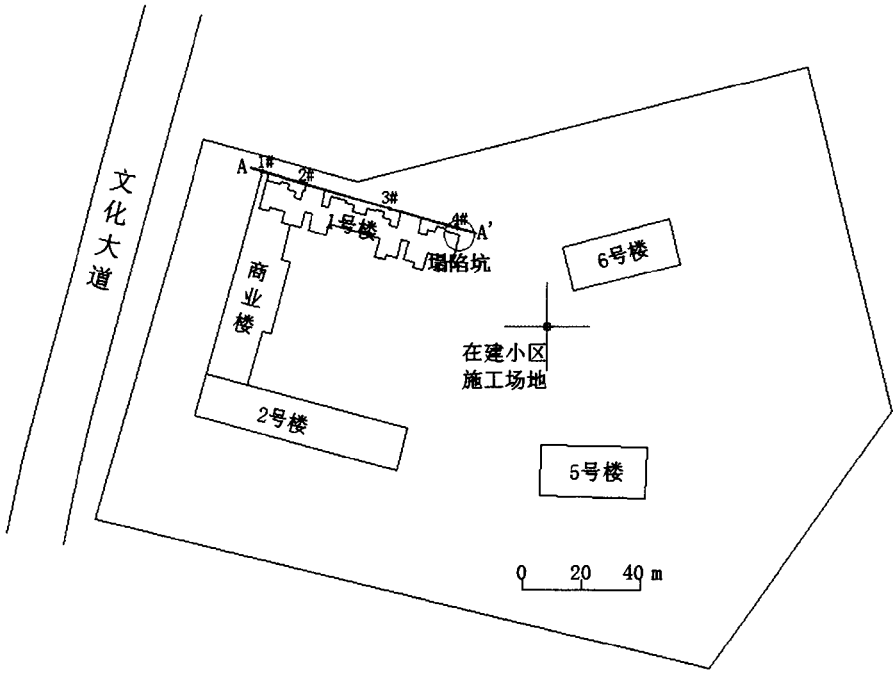


图 2 塌陷区地质平面图
Fig. 2 Geological plane map of the karst collapse area

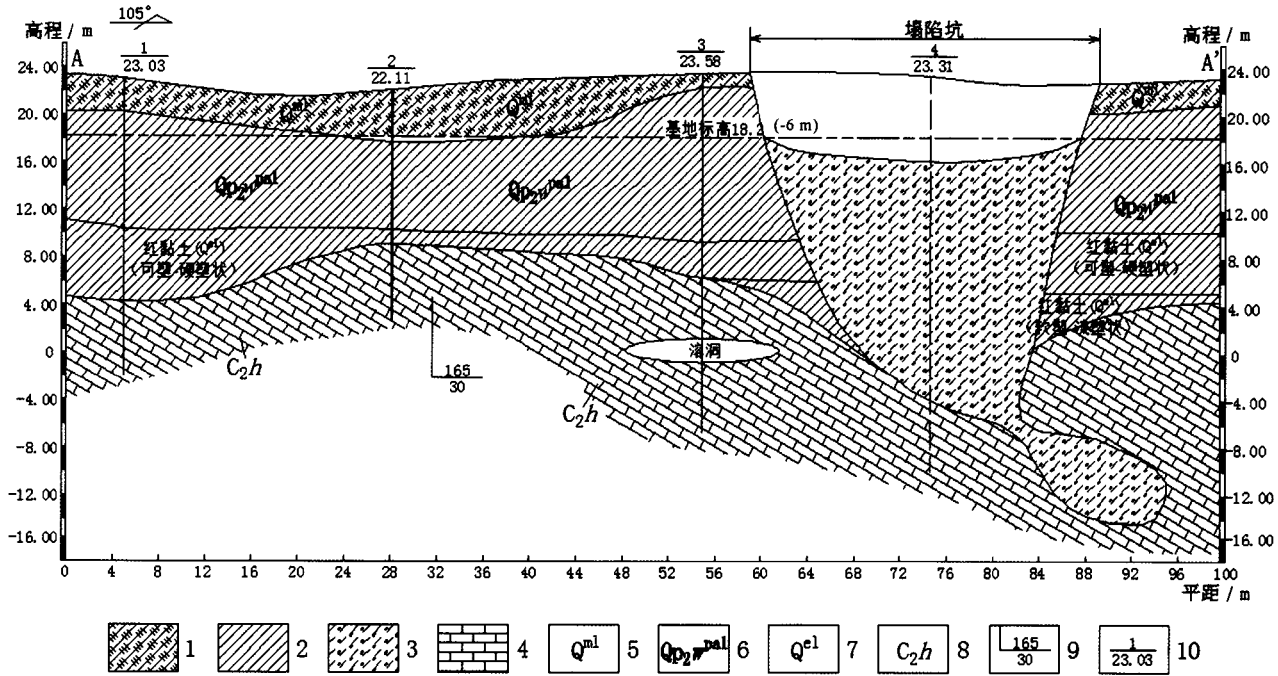


图 3 塌陷区地质剖面图
Fig. 3 Geological profile of the karst collapse area
1—杂填土 2—黏土 3—塌陷填充物 4—灰岩 5—填土 6—第四系中更新统王家店组洪冲积层 7—残积层 8—石炭系上统黄龙组灰岩 9—地层产状 10—钻孔编号及地面标高

(4) 石炭系上统黄龙组灰岩(C_2h)

灰—灰白色,主要矿物成分为碳酸盐类矿物,细晶结构,块状构造,钙质胶结,裂隙一般发育,充填白

色方解石脉,局部弱岩溶发育;岩芯平均采取率为60%~80%,部分钻孔中揭露溶洞;溶洞中充填有软—可塑状态黏土或夹碎灰岩块,或有掉钻及失水

现象。

2.3 地质构造

塌陷区位于沌口倒转向斜北翼,此处褶皱相对开阔,形态不协调,枢纽在垂向上波状起伏,造成褶皱倾伏和扬起,使得走向上核部地层发生变化,褶皱宽度也相应变化,并出现轴面分叉现象,发育次级小褶皱。塌陷点位于次级褶皱马场咀向斜北翼,临近呈北北东向的五通口断裂和呈北西西向的马场咀断裂构造。

塌陷区位于武汉台地褶皱带内的东南角,临近梁子湖凹陷。晚三叠世—侏罗纪时,受印支运动余幕和燕山运动的影响^[8],武汉东部及东南部的梁子湖地区,在襄樊—广济等断裂的控制下,逐步开始凹陷,地表、地下水总体向东部汇集,梁子湖凹陷中的水体为侵蚀基准面,地下暗河系统总体向梁子湖凹陷排泄。与此同时,武汉以西及北部等地隆起,地势抬升,受到风化与剥蚀作用。由于构造与风化、剥蚀的共同作用,碳酸盐岩组已分别于向斜核部和翼部露出地表,一方面遭受地表水的冲刷侵蚀,形成溶沟、溶槽等地表岩溶现象,同时,因地表水入渗及地下水侵蚀,地下岩溶系统逐渐发育。

在新近纪—早更新世,碳酸盐岩地区总体地势东高西低的特点比较明显。此时,地表、地下水由东向西流动,武汉以西的凹陷区水体为侵蚀基准面,控制着武汉地区古地表的侵蚀速率和岩溶地下水自东向西的运移。

中、晚更新世时期,武汉市总体下沉,广泛形成厚 10~30 m 不等的老黏性土层覆盖于岩溶之上,相对不透水,碳酸盐岩组中地下水活动微弱。正是由于前两期岩溶作用共同造成了塌陷区灰岩顶界面较大起伏的形态。

2.4 灰岩顶界面起伏形态

塌陷区灰岩埋深在 12.7~36.7 m,灰岩面起伏

较大,发育较多的溶沟、溶槽,且通过溶蚀裂隙与下伏溶洞相连通。

2.5 水文地质条件

塌陷区地下水类型主要为第四系上层滞水和岩溶裂隙水。上层滞水主要赋存于第四系填土中,受大气降水、生产和生活用水补给,随季节变化,无统一水位,水量较小。岩溶裂隙水赋存于下伏石炭系上统黄龙组(C_{2h})灰岩溶洞、裂隙及岩溶洞穴、通道内,为承压水。该岩溶水分别与顶板二叠系中统栖霞组灰岩、底板泥盆系上统石英砂岩的裂隙水有水力联系,志留系坟头组粉砂质泥岩形成隔水边界。区内该含水岩组顶部埋深为 12.70~36.70 m,水位标高一般为 14.99~38.92 m;单井涌水量为 11.50~142.13 m³·d⁻¹,富水性为贫乏—中等。

2.6 岩土物理力学指标

塌陷区上覆土层总厚度为 12.70~36.70 m。上部为第四系中更新统洪冲积层黏性土。上部土体中富含铁锰质结核及薄膜;中下部土体中灰白色的高岭土在顶端呈网状构造产出。该岩组土体黏性强,局部呈团块结构,呈可塑—硬塑状,干燥时坚硬;该岩组为良好的隔水层,分布稳定,压缩性小,容许承载力较高。下部为第四系残积层红黏土,以原生红黏土为主^[9],工程地质性质较为特殊(表 1)。其总体呈硬塑—可塑状态,但土质不均一;各处高岭土或碎石含量不一,局部底部含次棱角状灰岩碎石,局部高岭土富集处表现为软塑状;另外,红黏土层力学性质受地下水及岩溶作用的影响很大,尤其在灰岩顶板埋藏较深的凹形槽地段软弱红黏土力学性质相差很大,向下随着深度的增加,分别有可塑、软塑,甚至流塑状态,土的含水量、孔隙比和含水比随深度增加而增大,相应土的强度则逐渐降低,压缩性逐渐增大。

表 1 塌陷区土体物理力学指标统计表
Table 1 Physical and mechanical indexes of the karst collapse soil

	含水量/ %	容重/ kN·m ⁻³	孔隙比	液限/ %	塑限/ %	塑性 指数	液性 指数	含水比	压缩系数/ MPa ⁻¹	压缩模量/ MPa	内聚力/ kPa	摩擦角/°
黏土	23.6	19.3	0.722	41.9	21.9	19.7	0.08	0.56	0.14	13.1	37.2	16.3
红黏土(上部)	29.2	18.8	0.857	52.4	25.6	26.9	0.14	0.57	0.11	16.5	28.9	14.5
红黏土(下部)	37.9	17.7	1.142	52.2	26.2	26.1	0.55	0.77	0.35	6.5	22.7	6.2

3 岩溶塌陷的成因机理

上覆黏性土由于渗透系数很小,在一般水文地质意义上为相对隔水层。而在基岩裂隙、溶洞和管道中有地下水的运动和交替,地下水的渗流和紊流则主要发生在岩溶介质中,那么地下水运动对盖层稳定性的影响首先要通过岩溶通道的充填物来对其作用^[10]。

一方面,塌陷区灰岩面起伏较大,分布有较深的溶沟、溶槽,溶沟底部则分布有软塑至流塑状的红黏土,其位于裂隙岩溶水水位以下(图 4)(仅指溶沟底部的红黏土,即是基岩面以下,且此处承压岩溶水水位较高),含水率较高,力学性质较差,自稳能力也较差。溶沟底部发育的溶蚀裂隙与下部的溶洞或通道相联通,在岩溶水动态变化或外部振动的作用下,软塑一流塑状红黏土很容易随水流失到下部岩溶通道

中。由于基岩具有开口的岩溶形态(较深的溶沟、溶槽、溶隙),地下水位的波动容易在溶沟、溶槽内形成小径流,在漫长的潜蚀过程中将红黏土带入岩溶通道中,使上覆黏性土层中形成“土洞”。初始状态“土洞”较小,上部黏性土存在拱效应,土体保持稳定。

另一方面,钻探贯穿黏土、红黏土和灰岩顶板层,为地下水及钻探循环水提供了垂直渗流的通道,沿通道渗流时产生接触冲刷,加速对上部土体的软化、崩解及溶蚀作用,使得土体颗粒脱离母体被水流带走,使得土洞不断扩大并向地表发展。另外,在人工荷载(已建成 3 层的楼房)和振动等作用下,加速了黏土层向岩溶通道的运移。

此外,地基开挖减少上覆黏土厚度,降低了土体抗剪强度,最终在上覆土体自身重力和附加荷载作用下发生塌陷。

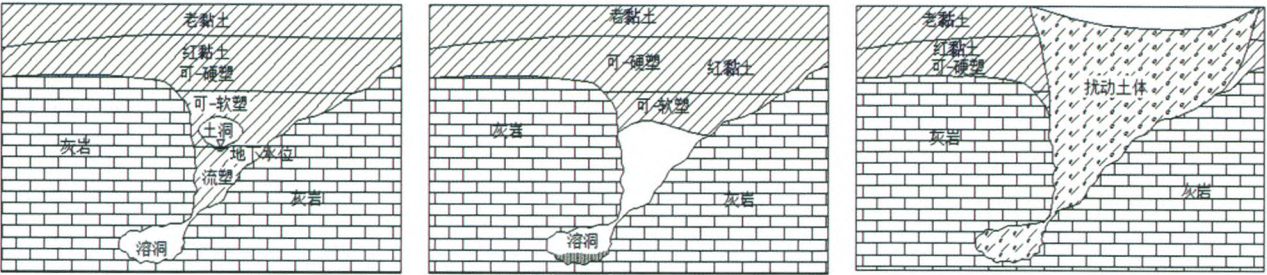


图 4 黏土盖层岩溶塌陷过程示意图

Fig. 4 Karst collapse evolution under the clay capping

4 岩溶塌陷的力学模型

随着充填物塑性流动产生空间的扩展,土洞首先在盖层与水直接接触面处开始扩展。根据上述岩溶塌陷的成因理论,影响塌陷的因素,除塌陷产生的基本条件外,还有盖层土体的厚度、强度、溶洞或土洞规模、地下水位降深、大气压力及外部载荷。为推导模型,将做以下假设:

(1)黏土盖层破坏遵循土体破坏的莫尔—库伦准则和塑性平衡理论^[11],即材料达到极限状态时,某剪切面上的剪应力达到一个取决于正应力与材料性质的最大值(用莫尔应力圆来表示应力状态)。在本次计算中,应用直线型强度线,也就是莫尔—库伦强度线。该直线与 d 轴的交角(f)称为内摩擦角,在 t 轴上的截距为内聚力(C)。

设岩土体内某个单元体的最大主应力圆与库伦—莫尔强度线相切,则可得:

$$\sin\varphi = \frac{\delta_1 - \delta_3}{(\delta_1 + \delta_3) + 2C/\text{tg}\varphi} \tag{1}$$

土的侧向压力系数为 K_0 ,则 $\delta_3 = K_0\delta_1$,代入式(1)可得:

$$\delta_1 = \frac{2C\cos\varphi}{1 - \sin\varphi - K_0(1 + \sin\varphi)} \tag{2}$$

式中: δ_1 和 δ_3 为土体中的最大和最小主应力; C 为内聚力; φ 为内摩擦角。

(2)溶洞开口或盖层中的土洞呈圆形,半径为 R 。

(3)大气压强 P_0 与土洞(溶洞)中压强之差 $\Delta P = P_0 - P'$,作用在盖层土体之上,其中心点下垂直压应力按圆形面积基础上均布垂直载荷作用之下的垂直压应力来计算^[12]:

$$\delta z = \Delta P \left\{ 1 - \left[\frac{Z^2}{R^2} / (1 + Z^2 / R^2) \right]^{3/2} \right\} \tag{3}$$

式中: δz 为土中深度 Z 处的垂直压应力。

(4)由于地下水位下降使得土体失去的浮托力为:

$$P = \gamma_w(h_0 - h_1) \tag{4}$$

相当于地下水位降低使得土体失去的浮托力。

(5)土体自重产生的压应力为 $\gamma_i Z$ 。土体自重应力是指单位面积上的土压力,和面积载荷是一样性质,“应力”是指单位面积的压力。

(6)外加载荷 $G_{\text{外}}$ 是以均布面积载荷形式施于地面的载荷,如房屋建筑、堆放物料等。

如此,在地表以下深度 Z 处的正应力为:大气压力+水压力+土体自重压应力+外加载荷。

经整理换算后得到岩溶塌陷的力学模型为:

$$\frac{2C\cos\varphi}{1-\sin\varphi-K_0(1+\sin\varphi)}=\gamma_i Z+\gamma_w(h_0-h_1)+\Delta P\left[1-\left(\frac{Z^2/R^2}{1+Z^2/R^2}\right)^{3/2}\right]+G_{\text{外}}$$

(5)

式中: C 为内聚力; φ 为内摩擦角; K_0 为土的侧向压力系数; γ_i 为土体容重; Z 为土体厚度; γ_w 为水容重; R 为土洞或溶洞半径; $G_{\text{外}}$ 为外加面积载荷。式(5)左

边为盖层承受应力(F),右边为正应力(F')。对于某一特定洞穴之上盖层土体来说, F 为一定值。当 $F>F'$ 时,土体处于稳定状态;当 $F=F'$ 时,土体处于极限平衡状态;当 $F<F'$ 时,土体被破坏,塌陷产生。

以江夏区大桥新区红旗村岩溶塌陷点为例,将数据带入模型中进行计算验证(表 2)。实际数据处理过程中做了如下假设:

塌陷点处各层土体的内聚力(C)和内摩擦角(φ)值,采用各层的厚度加权平均值;式中黏土的 K_0 取值为 0.58(塌陷区土层上部 9.4 m 是老黏土,中部 7.5 m 是红黏土,下部 8 m 为饱水红黏土,所以该取值综合各层黏土的工程性质);式中的 $\gamma_i Z$ 项, Z 按盖层厚度最大值计算,即 $\gamma_i Z=\gamma_1 Z_1+\gamma_2 Z_2$, $Z_i=Z_1+Z_2$, γ_1 、 γ_2 分别为各层土体的容重, Z_1 、 Z_2 分别为其厚度; ΔP 分别假设为 100、50、0 kpa 进行计算分析。

表 2 塌陷坑处土体参数和计算结果

Table 2 Soil parameters and calculation results at the collapse pit

塌陷坑半径 (r)/m	土洞半径 (R)/m	地层厚度 (Z)/m	内聚力 (C)/kpa	内摩擦角 (φ)/°	容重(γ)/ kpa	土体自重 (γZ)/kpa	水压力/ kpa	气压力/ kpa	承受应力(F)/ kpa
6	1.5	9.4	37.2	16.3	19.3				
		9.5	28.9	14.5	18.8	501.62	9.8 Δh	0.27 ΔP	793.13
		8	22.7	6.2	17.7				

由力学模型可看出,基坑开挖会降低上覆老黏土的厚度,降低盖层承受应力(F);不同空气压力差、地下水位变幅及外加载荷均会影响正应力(F')的大小。

经计算结果对比(表 3,表 4)表明,地面附加载荷

和基坑开挖降低黏土层厚度是引起岩溶塌陷的主要诱发因素,疏排水引起的地下水位波动和大气压强差对岩溶塌陷起到一种加速作用。

表 3 水位降深及外加载荷对岩溶塌陷影响分析表

Table 3 Effect of drawdown and loads on karst collapse

$\Delta P=100$					
Δh	0	5	10	15	20
极限 $G_{\text{外}}$	264.27	215.27	166.27	117.27	68.27
$\Delta P=50$					
Δh	0	5	10	15	20
极限 $G_{\text{外}}$	277.89	228.89	179.89	130.89	81.89
$\Delta P=0$					
Δh	0	5	10	15	20
极限 $G_{\text{外}}$	291.51	242.51	193.51	144.51	95.51

表 4 不同黏土层厚度对岩溶塌陷影响分析表
Table 4 Effect of the capping thickness on karst collapse

老黏土/Qp ₂ w 厚度/m	Z ₁ =30	Z ₁ =20	Z ₁ =15	Z ₁ =10	Z ₁ =8
自重(Z _γ)/kpa	899.2	706.2	609.7	513.2	474.6
承受应力(F)/kpa	2 045.0	1 349.6	1 068.4	820.9	730.0

5 结论及防治建议

5.1 结 论

本文以武汉市江夏区大桥新区红旗村岩溶塌陷为例,通过对其地质背景、形成条件、发育规模及危害的研究,总结该岩溶塌陷的形成机理,建立成因模型,在此基础上建立力学模型,得出结论:

(1)黏土盖层岩溶塌陷的形成条件主要有:下伏浅层岩溶发育是岩溶塌陷形成的基础,尤其是基岩面起伏较大、岩溶洞隙、溶沟、溶槽发育地段;黏土盖层底部存在特殊性质的红黏土;含水量的变化影响红黏土的力学性质及其塑性流动也是形成岩溶塌陷的重要基础。

(2)岩溶塌陷的机理是:在溶沟底部裂隙岩溶水水位以下分布有软塑至流塑状的力学性质较差的红黏土,溶沟底部发育的溶蚀裂隙与下部的溶洞或通道相联通。流塑状红黏土在水的作用下转化成流塑状,流塑状红黏土流失至下部岩溶通道中,形成土洞。钻探施工、楼房载荷、振动作用加速黏土体的软化、崩解和溶蚀,进而加速土洞向上发展。另外,地基开挖减少上覆黏土厚度,降低了土体抗剪强度,最终在上覆土体自身重力和附加荷载作用下发生塌陷。

(3)地面塌陷的产生,均是土体受力失去平衡从而使得土体发生破坏的结果。根据土体破坏的莫尔—库伦准则和塑性平衡理论,分析土体的受力情况,得出土体力学模型:

$$\frac{2C\cos\varphi}{1-\sin\varphi-K_0(1+\sin\varphi)}=\gamma_iZ+\gamma_w(h_0-h_1)+\Delta P\left[1-\left(\frac{Z^2/R^2}{1+Z^2/R^2}\right)^{3/2}\right]+G_{\text{外}}$$

通过实例验证,此模型的计算结果与实际情况是吻合的,这也验证出该计算模型的正确性。

5.2 防治建议

(1)增强土体抗塌性能:红黏土因与岩溶伴生,且

含水量、液限均较一般黏土高,力学性质较差,稳定性差,为不良土体,可采用深层搅拌法、水泥稳固处理等土性改良法,对下部红黏土进行加强处理,提高土层的抗塌性能。

(2)增加建筑物地基稳定性:应查明岩溶发育分布状况、岩土盖层性质、塌陷区分布及可能的危害等,对地面塌陷及土洞的治理可采用钻孔灌注桩等相应措施。

(3)减缓岩溶系统水动力因素的变化:在岩溶塌陷危险区,应避免因地下工程、基础工程的施工疏水造成地下水位的大幅降低。

参考文献

[1] 中国地质环境监测院,湖北省地质环境总站.武汉市岩溶塌陷调查项目成果报告[R].2016.

[2] 湖北省地质环境总站.武汉市岩溶塌陷调查(H50E011001,H50E012001)项目成果报告[R].2016.

[3] 湖北省地质环境总站.湖北江夏地区(土地堂幅)岩溶塌陷1:5万环境地质调查项目成果报告[R].2017.

[4] 郑先昌,卫中营.武汉市岩溶地面塌陷诱发因素分析[J].城市勘测,2004(1):15-19,22.

[5] 余泰敏,喻理传.武汉地区砂土渗流—漏失型岩溶地面塌陷致塌模式分析[J].资源环境与工程,2015,29(6):887-891.

[6] 范士凯.武汉(湖北)地区岩溶地面塌陷[J].资源环境与工程,2006,20(S1):608-616.

[7] 湖北省地质环境总站.武汉市江夏区鵬湖湾二期地面塌陷应急调查报告[R].2014.

[8] 罗小杰.试论武汉地区构造演化与岩溶发育史[J].中国岩溶,2013,32(2):195-201.

[9] 罗坤,官善友,蒙核量.武汉地区红粘土地基承载力确定方法的探讨[J].城市勘测,2008(2):155-157,160.

[10] 王建秀,杨立中,刘丹,等.阻水盖层分布区岩溶塌陷的物质基础及成因研究[J].水文地质工程地质,2000(4):25-29.

[11] 沈明荣.岩体力学[M].上海:同济大学出版社,2000:8-36.

[12] 钱丽丽.泰安市岩溶塌陷的水岩耦合模型研究[D].青岛:山东科技大学,2008.

Analysis on collapse model of the karst area covered by clay in Wuhan City Jiangxia district Hongqi village

TU Jing¹, LI Huijuan¹, PENG Hui¹, WEI Xiong¹, JIA Long²

(1. Hubei Province Geological Environmental Terminus, Wuhan, Hubei 430034, China;

2. Institute of Karst Geology, CAGS/Key Laboratory of Karst Collapse Prevention, CAGS, Guilin, Guangxi 541004, China)

Abstract Karst is widely distributed and karst collapses frequently happen in Wuhan City. The karst collapses used to occur along the Yangtze River in the main urban area where and the quaternary overburden over the subsidence area is of dual-layered structure with clay layer in upper and sandy one in the lower. However, in recent years, along with the development of urbanization and the intensification of human engineering activities in the exurban areas of the city, karst collapse has also occurred in the clay area, such as Jiangxia district. The karst collapse studied in this paper occurred on April 29, 2014, at 2:30 p. m. in a residential community due to a new construction project implemented at the Jiangxia district. The collapse's area size was about 200 square meters. It caused two people missing, a drill rig buried and the building's 1# floor raft foundation completely collapsed, which put an end to the engineering construction and resulted in a large economic loss. Through a comprehensive analysis of the karst characteristics in the area, soil physical and mechanical properties, hydrogeological conditions and human engineering activities, the collapse mode is obtained. Our research findings show that the limestone surface in the subsidence area has a large number of dissolved channels and grooves which are connected by the dissolution fissure and the underlying karst cave. This led to the the red clay with poor mechanical properties in the bottom part of the ditch lost to the lower karst channel, forming a soil cave. Moreover, the foundation drilling, building load and vibration all accelerated the softening, disintegration and dissolution processes of the clay, thus accelerated the development of the soil cave. The foundation excavation reduced the thickness of clay and subsequently reduced the shear strength of the soil. Finally, collapse occurred under the action of gravity and additional load of the overlying soil. On the basis of Mohr-Coulomb criterion and plastic equilibrium theory, the force conditions of the soil were analyzed, from which the mechanical model of the collapse were gained. The results of the collapse mechanics model are verified, which are in line with the data derived from fieldwork. By comparison, firstly the calculation results show that the additional load on the ground and the reduction of clay thickness due to the foundation pit excavation are main inducing factors of the karst collapse. Secondly, the fluctuation of underground water level caused by drainage and atmospheric pressure difference play an important role in accelerating collapse occurrence. Finally, based on the collapse pattern and mechanics analysis, the prevention and control measures has been proposed, that is, to increase the anti-collapse properties of the earth, increase the stability of the building foundations and reduce the hydrodynamics of the karst system.

Key words clay capping, karst collapse, collapse model, mechanical model, prevention and control measures

(编辑 黄晨晖)