

岩溶发育区若干濒危建筑的岩土工程治理

方宗正

(桂林工学院勘察设计研究院, 541004)

摘 要 对岩溶发育区地基的稳定性以及胀缩性的分析研究得出: 在岩溶发育区, 除岩溶塌陷造成濒危建筑物外, 地基土的失水收缩及其它多种原因均会导致地基失稳, 基础下沉, 造成建筑物墙柱体开裂。应用托板技术治理由岩溶塌陷造成的老建筑物开裂; 对因地基土发生侧挤、流失而造成开裂的建筑物采用帷幕桩堵截并对流失地段灌浆加固; 而因地基土暂时失水收缩而引起的局部开裂则不一定必须进行地基处理。

关键词 岩溶发育区; 濒危建筑; 地基土; 治理; 岩土工程

分类号 P642.25; TU434; TU472.21

1 岩溶塌陷引起的老建筑物开裂

1.1 工程概况

我院建于1956年的教四楼, 高三至五层(砖混结构), 1983年秋, 暴雨之后, 在4103教室西北角沿基础轴线发现长2m多, 可见深度近2m的塌陷。该地段墙体与基础断开, 缝宽达5cm。当时对该地段地基进行了压力灌浆处理(用去水泥100多吨)。并对开裂部位做了部分修复后继续投入使用。1989年该地段的墙体再次出现开裂, 各种裂缝达20多条, 宽2~15mm, 长0.3~2.0m。北墙砖柱裂缝错位5~6mm。一层顶梁亦发现有1~2mm裂缝。而且4103教室室内地面下沉24cm, 下沉平面直径达6m。因此, 该教室变成濒危建筑, 1~3层被迫停止使用。

1.2 岩土工程分析研究

为了查清墙体开裂的原因, 沿基础边缘布置钻孔。钻探结果表明: 塌陷区位于一条深溶沟上(图1), 其深部土呈软一流塑状态, 原位标准贯入试验为1.0~2.9击。而塌陷区外土为硬塑状态, 标准贯入试验击锤数为6.0~7.9击。为了进一步研究塌陷区土的固结性质, 在塌陷区内外取了3件原状土样进行高压固结试验(表1)。

表中 P_{c-1} 是原状土的先期固结压力, P_{c-2} 为完全消除土体结构强度影响条件下土的先期固结压力值, 即土在原状结构状态下的 $e-lg\sigma$ 曲线与重塑土的 $e-lg\sigma$ 曲线的交点(图2)。

试验结果表明: 塌陷区上部及塌陷区外的土, 属超固结土, 固结比 $OCR=1.89\sim3.22$; 塌陷区内深部土层, 随着地下水的渗透潜蚀, 土的结构强度降低, 土体由超固结状态变为欠固结土($OCR=0.5$), 其在土的自重压力下逐渐固结沉降, 是4103教室室内地坪下陷的直接原因; 塌陷区外的土具有一定的结构强度, 表现为 OCR 由1.17增高至

1996年12月23日收稿, 1997年3月5日改回。

作者简介: 方宗正, 男, 1962年出生, 工程师, 工程地质专业。
? 1996-2012 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.89。塌陷区外土的先期固结压力 $P_c=300\text{kPa}$ 。

造成 4103 教室墙体开裂、柱体错位和地面沉降的原因主要是强岩溶发育的局部塌陷、潜蚀、土体强度降低。即在本场地岩溶发育地段，粘土颗粒在地下水（地表水下渗）渗透力的长期作用下发生潜蚀作用，并通过本场地的岩溶通道被带走使土体强度大大降低，并逐渐发育成土洞，由于土洞的进一步发展造成地面塌陷，建筑物的基础下沉与墙（柱）体开裂。通过对基础沉降量的计算发现：不论是柱基础之间，还是柱间填充墙与柱基础之间局部倾斜与沉降差均远远超过国家规范（GBJ7—89）允许值 0.002。此外紧靠 4103 教室的厕所、化粪池的大量漏水，渗入地下，加速了塌陷的形成。

1. 3 岩土工程治理

针对该场地塌陷区外的地基土承载力高，在上部荷载的作用下，经过 30 多年，土的固结绝大部分已经完成（固结度大于 95%），在现有建筑物荷载作用下不会再发生有害沉降，而墙体产生开裂是岩溶塌陷与塌陷区内土处于欠固结状态，使砖石承重结构的沉降差加大而造成这一特点，对该塌陷区的岩土工程治理方案应当是使塌陷区内的基础与塌陷区外的基础一样不再发生有害沉降，然后对开裂的墙体及室内地坪进行修复，教室即可继续使用。经分析研究，决定采用托板技术进行处理。即在基础两侧各打一排嵌岩钻孔桩，桩顶上浇注承台梁，梁上用预制托板将原有建筑物基础托住，再用压力灌浆将基础与托板连成一体，使塌陷区基础不再产生沉降，达到与塌陷区外一致。治理后经 109 天精密水准（Ⅱ等）观测，塌陷区基础的沉降量与塌陷区外的建筑物沉降均趋于零，证明治理取得成功。

本岩土工程治理模式仅适用于老建筑物（沉降已完成）的局部塌陷类型，而对新建筑或沉降未完成的已有建筑物则不适宜，以免造成塌陷区基础不沉降而塌陷区外基础继续沉

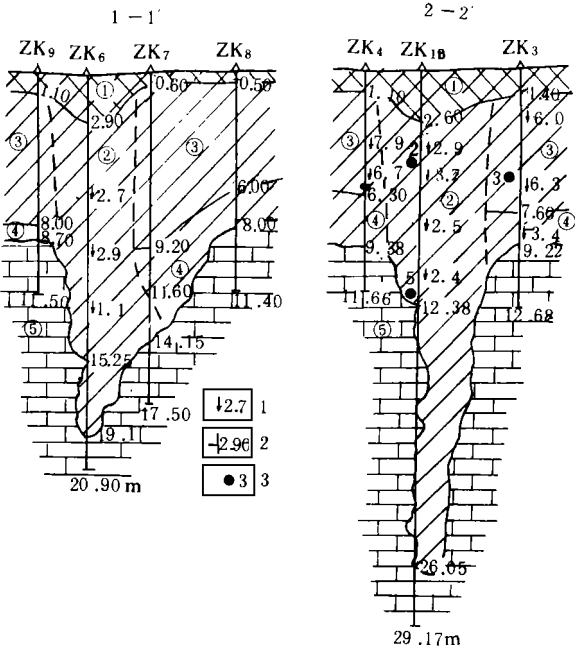


图 1 地质剖面图

Fig. 1 Geological profile

- ①—素填土；②—塌陷区红粘土；③—硬塑红粘土；④—可塑红粘土；⑤—石灰岩；1—原位标贯试验位置及锤击数；2—层（孔）底深度；3—取土试料位置及编号

表 1 高压固结试验结果

Table 1 High pressure consolidation test result

试样号	深度/m	先期固结压力/ kPa		自重压力 P_0 /kPa	固结比	
		P_{c-1}	P_{c-2}		$OCR-1$	$OCR-2$
ZK ₁₈ -2	4.95~5.20	300		93	3.22	
ZK ₁₈ -5	12.50~12.75	80		162	0.50	
ZK ₃ -3	5.85~6.10	210	130	111	1.89	1.17

降，产生与处理前相反的开裂等危害。

2 地基土侧挤引起的房屋开裂

2.1 工程概况

某住宅楼高五层，砖混结构，建于 1984 年。主要地层从上而下为填土、淤泥质土、粉质粘土和卵石。基础施工时将填土和淤泥质土局部挖除后用人工砂垫层铺设到设计标高，然后做宽为 700mm 的条形基础。1985 年建成投入使用。1990 年在该建筑物南面墙体发现有开裂现象，并继续发展。至 1993 年 11 月，经测定墙体裂缝宽度达 4mm，一般裂缝宽度为 1~3mm，长度约 10~50cm，最长达 120cm。裂缝位置主要位于建筑物南面⑤线以西和⑧线以东的墙体、窗上角和阳台上。此外在⑤~⑦线的阳台、门面角边及⑧~⑨线室外地面、一楼东北角阳台处也有开裂、下沉。一楼东头室内地面和 c 轴南面的室外地面曾发生过沉陷，后来用石灰、水泥等修补平整。且一楼部份房间的地面在人走动时发出空音（水泥地面与填土之间出现悬空状态）。这些现象威胁着建筑物和人身安全。

2.2 岩土工程勘察和研究

为了查清位于岩溶区建筑的墙体开裂是否属于岩溶塌陷的原因，沿墙体开裂的建筑物周边布置了 14 个钻孔、2 个探井，做了室内土工试验和原位标准贯入试验，并对基础和人工砂垫层的情况进行了调查。

结果表明，不属岩溶塌陷造成墙体开裂，而是施工中的局部地基处理不当。该人工地基的砂垫层厚度约为 2.4m，按应力扩散要求，其宽度应为 $B' \geq B + 2Z \tan \theta = 2.64\text{m}$ ，即基础外延宽度至少应达到 0.95m。而实际上砂垫层外延宽度远远不够，特别是 B 列根本没有外延宽度。而且由于基坑旁的人工填土层逐渐变深，且土质很松软，孔隙大，因而在上部荷载作用下，该砂垫层向南部深填土负地形方向侧向挤出，地面散水坡宽度小、破裂，地表水下渗使砂垫层中细砂颗粒不断流失，发生潜蚀作用而变松，造成地基失稳、基础下沉，最终导致墙体开裂。

2.3 岩土工程治理

鉴于原有建筑已建成 10 年，地基压缩已基本完成，只要不再出现基础砂垫层的潜蚀和侧向挤出使地基失稳，就可以达到治理的目的。为此，岩土工程治理方案是沿建筑物南面和东面（原填土深坑方向），距建筑物外墙 900~1 000mm 打一排帷幕桩墙，防止砂垫层再发生侧向挤出和潜蚀流失。

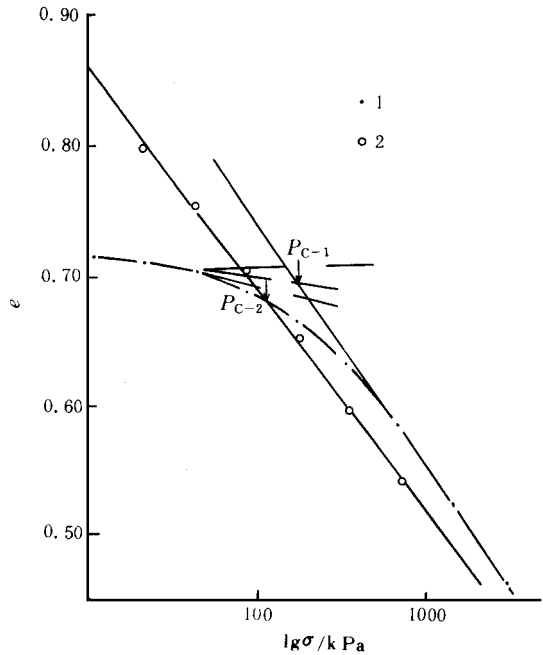


图 2 e—lgσ 曲线

Fig. 2 e—lgσ curve

1—天然湿度原状结构；2—液限状态

方案的实施是先打直径 146mm 的混凝土帷幕桩, 以卵石层作桩端持力层, 并使两桩之间有 10~20mm 重叠, 形成总长为 26m 的地下连续墙。为加强地下连续墙与基础之间土的强度, 帷幕桩墙完成以后用直径为 74mm 的灌浆孔, 按孔距为 1.5~2.0m, 分段以 0.1~0.2MPa 的压力往地基土中灌入浓度为 1:1 的水泥浆。最后对室内地坪和开裂的墙体进行修补。治理后, 经一年观察, 其效果良好, 原开裂部位不再开裂。

此例说明: 岩溶区的建筑物开裂也不完全是岩溶发育形成塌陷的结果。为此, 仍应针对濒危建筑的形成机理, 认真勘察、研究分析并对症下药才能达到理想的效果。

3 地基土失水收缩引起的墙体开裂

3.1 工程概况

1992 年桂林大旱之后, 一些老建筑物墙体开裂, 某厂两层实验楼为砖混建筑, 建于 1983 年, 基础荷载小, 主要以石灰岩作为持力层, 局部以红粘土作持力层。1992 年在该楼东南角出现“八”字裂缝, 裂缝宽为 1~3mm, 墙体砖块亦有断裂, 致使屋面漏水, 影响了该楼安全。

3.2 墙体开裂的原因

对墙体开裂地段布孔勘探以及调查发现: 该楼东南角红粘土层最厚达 6m 多, 而往北、往西分别相距 7.5m 和 6.8m 处的土层突然减薄为 0.7m 和 0.8m, 其余大部分基础直接置于石灰岩上。初步认为该墙体开裂似乎是由于地基土层厚薄不均匀致使地基压缩变形差异过大引起。但经过调查和地基计算得知: 该红粘土的承载力为 220kPa, 荷载仅为 90kN, 基础宽度为 0.75m; 基底压力为 120kPa, 基底附加压力为 102kPa。距 2 号孔 2.2m 处和 4 号孔 (距 5 号孔 2.2m) 处地基最终沉降量约为 3.46mm。由于 2 号、5 号孔处基础直接位于基岩上, 其沉降量为零。这样 2 号孔与之相距 2.2m 处和 5 号与 4 号孔间的地基沉降差引起的局部倾斜仅为 1.57×10^{-3} , 小于《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89) 中规定的允许值。且该建筑物建成使用已近 10 年, 在上部荷载作用下的压缩固结应基本完成。故墙体开裂主要不是由于上部荷载作用下产生的差异沉降而引起的。

对作为地基土的红粘土的胀缩性进行了分析研究。据试验资料, 土的胀缩指标如表 2。

由表 2 可知, 该土属弱膨胀潜势土。计算结果, 土的湿度系数 $\psi_w = 0.846$, 含水量变化的平均值 $\Delta W = 0.015$ 。由于产生裂缝时 (1992 年秋) 大旱, 故主要是地基土失水、收缩引起地基沉降。根据公式:

$$S = \psi \sum_{i=1}^n (\bar{\alpha}_{pi} + \lambda_{si} \cdot \Delta W_i) h_i$$

只考虑收缩变形, 按 $S = \psi \sum_{i=1}^n \lambda_{si} \cdot \Delta W_i h_i$ 计算与 2 号孔相距 2.2m 处和 4 号孔处地基的收缩沉降量为 18.09mm, 局部倾斜为 8.22×10^{-3} , 大于上述 (GBJ7—89) 规范的允许值。由荷载引起的压缩沉降量与收缩引起的沉降量之和为 21.55mm, 基础的局部倾斜达 1×10^{-2} , 超过规范允许值 5 倍以上。故地基土失水收缩变形是造成该建筑物墙体开裂的主要原因。

3.3 岩土工程治理

由于该建筑物上部荷载作用下的沉降已基本完成, 土与岩石的沉降差已不再发展, 而地基土的膨胀力 $< 20\text{kPa}$, 远小于该建筑物的附加荷载。即使今后地基土浸水, 其膨胀力也可不加考虑。故对该实验楼只须进行一般的维修即可。

表 2 膨胀试验结果

Table 2 Expansion test result

%

土名	状态	膨胀率	100kPa 下膨胀率	膨胀力/ kPa	自由膨胀率	线缩率	体缩率	缩限	收缩系数
红粘土	坚硬	1. 2	3. 5	10	58	1. 1	12. 2	26. 0	0. 55
红粘土	坚硬	0. 8	— 1. 1	16	61	4. 6	15. 9	17. 0	0. 34
红粘土	坚硬	0. 6	— 1. 4	18	51	4. 4	12. 0	19. 0	0. 55
红粘土	坚硬	0. 9	— 1. 0	19	53	5. 1	13. 7	15. 2	0. 39

4 结 论

- (1) 岩溶发育区因岩溶塌陷而造成的建筑物开裂比较普遍。对沉降已经基本完成的老建筑物用托板技术进行治理是有效的。
- (2) 作为处理软弱地基的砂垫层其宽度必须满足规范 (JGJ79—91) 规定的 $B' \geq B + 2z \cdot \tan\theta$ 的要求, 并必须采取防止砂垫层流失的工程措施。
- (3) 以往一般认为地基土的压缩变形产生的沉降差是引起老建筑物墙柱体开裂的主要原因, 而通过分析, 有的开裂是地基土因失水收缩变形起主导作用, 且可根据建筑物的具体情况不一定均必须作地基基础处理。

本文撰写过程中得到李忠铭高级工程师的指导, 谨此表示衷心感谢。

THE REGULATION OF GEOTECHNICAL ENGINEERING IN THE
DANGEROUS—FACINGBUILDINGS WITH IN KARST AREAS

Fang Zongzheng (Research Institute of Engineering Survey and Design, Guilin Institute of Technology)

Abstract Based on analysis and research on the stability and the expansibility and shrinkage of the foundation in the karst region, the author points out: In the karst region, apart from the close hazardous bulidings caused by karst collapse, foundation instability and foundation settlement and crack of building wall—body can be caused by foundation soil shrinkage because of water loss. Plate stock technique is used for the crack of older buildings caused by karst collopse; The building whose crack caused by lateral press or loss of foundation soil can be controlled by heavy curtain pile as wall as improved by grow ting in the loss foundation soil; The part crack of building caused by temporary water loss of foundation soil may be taken foundation treatment or not.

Key words karst region; close hazardous building; foundtion sort; geotechnical engineering; regulation