

某湿陷性黄土地基下陷事故实例分析

胡爱萍

(甘肃省陇东学院建筑工程系,甘肃 庆阳 745000)

摘要:黄土是一类具有湿陷性的特殊土体,由此引发的地基沉陷变形、建筑开裂破坏事故时有发生,造成重大安全隐患和经济损失。通过对陇东黄土高原某湿陷性黄土地基工程事故的调查和检测分析,对湿陷性黄土地基工程事故原因进行了探讨。

关键词:地基下沉;原因;分析

1 工程概况

2004 年 10 月甘肃庆阳某办公楼发现南部①~⑤轴线范围内地基局部沉陷,墙体及楼板出现裂缝,并逐步从一层发展到三层,多为斜向裂缝;地坪有空鼓下陷现象,局部最大沉降量达 12.0cm。

该办公楼建成于 1997 年,其南北向长约为 43.00m,宽约为 11.00m,为三层局部四层建筑物,砖混结构,属丙类建筑物。设计地基处理采用大开挖,基础埋深为 -1.80m,开挖深度为 -4.80m,槽底纵横间距 1.0m 中间加点布梅花型探孔,孔深 4.0m,3:7 灰土捣实回填,素土回填至 -2.1m,要求压实系数不小于 0.93;再用 300mm 厚的 3:7 灰土回填至 -1.80m,要求压实系数不小于 0.95。

2 现场调查与检测

2.1 岩土工程条件

该办公楼设计前,未进行岩土工程勘察工作,设计时仅根据当地经验,选择在一 4.80m 作为整片垫层的下限深度,以下的马

兰黄土①为垫层的下卧层。为了查清事故原因,对该工程沉陷区域进行了补充岩土工程勘察,并对地基处理深度、垫层土质量和场地周围土质含水量进行了检测分析。

该场地地处陇东黄土高原——董志塬的中心地带,其湿陷性黄土层主要以全新统新近堆积黄土 Q_4 和晚更新统马兰黄土 Q_3 为主,湿陷强烈,压缩性高。本次补充勘察主要采用以人工探井为主,洛阳铲探孔为辅的方式进行,沉陷区及勘探点平面布置见图 1。场地地层自上而下为:(1)回填土;(2)垫层土;(3)马兰黄土①;(4)马兰黄土②。岩性特征分述如下:

(1)回填土:厚度约为 1.4m 左右,土质松散不均,含有少量生活垃圾及砖瓦碎片等,色泽杂乱,压实程度低,胶结性差。

(2)垫层土:基础底面下 3:7 灰土垫层厚度约为 0.1m,较明显,但灰土拌合欠均匀,压实不均,疏松,固结程度较差。素土垫层厚度约为 3.0m,西部压实程度较好,土质较密实,东南部压实程度较差。

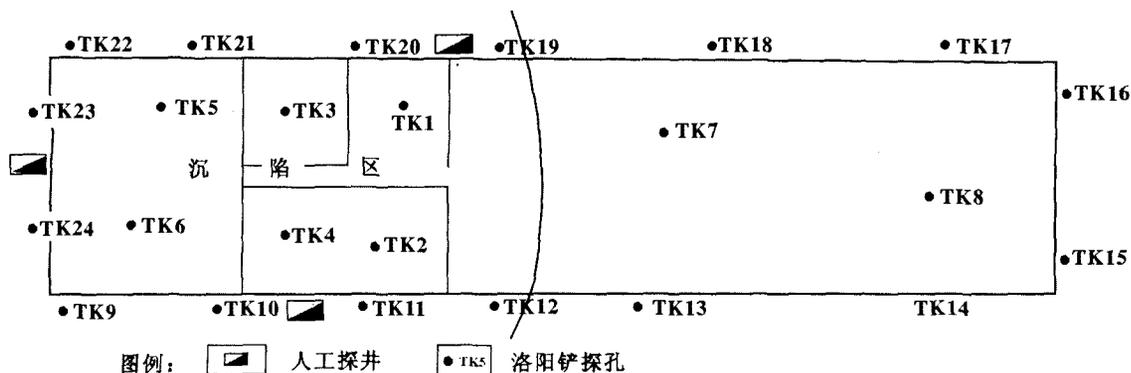


图 1 沉陷区及勘探点平面布置示意图

(3)马兰黄土①:黄色—灰黄色粉质粘性黄土,质地较均匀,稍密,稍湿—湿,呈坚硬—硬塑状态,针孔发育,有虫孔及大孔隙,固结性较差,偶见白色钙质粉末。由于水的淋滤作用,大孔隙中充填有异色土柱。层厚约为 8.0~9.0m。

(4)马兰黄土②:上部为深褐色,下部为黄色,土质均匀,稍密—中密,稍湿,坚硬—硬塑状态,结构密实,针孔及大孔较发育,大孔内有充填痕迹,上部含丰富白色钙质菌丝,有零星钙质结核。该层土上部具湿陷性,下部基本不具湿陷性。

2.2 各层土的主要物理力学性质

根据室内试验结果,采用数理统计方法,将各层地基土的物

理、力学性质指标统计于表1。

由统计结果可知:

表1 各层地基土的物理、力学性质指标统计表

土名及土层	指标	含水量 ω (%)	密度 ρ (g/cm ³)	干密度 ρ_d (g/cm ³)	孔隙比 E	饱和度 Sr (%)	液限 WL (%)	塑限 Wp (%)	塑性指数 Ip (%)	压缩系数 a_{1-2} (MPa ⁻¹)	压缩模量 Es ₁₋₂ (MPa)	湿陷系数 δ_s	自重湿陷系数 δ_{zs}
垫层土	频数	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
	X _{min}	15.49	1.55	1.34	0.54	41.31	26.35	17.41	7.07	0.07	4.28	0.005	0.012
	X _{max}	21.60	2.05	1.75	1.01	84.51	29.85	19.93	10.27	0.47	24.43	0.012	0.035
	X	18.81	1.83	1.54	0.76	69.27	27.79	18.92	8.87	0.18	14.03	0.008	0.023
	δ	2.43	0.17	0.13	0.16	15.89	1.22	0.91	0.97	0.14	6.93	0.006	0.01
马兰黄土	频数	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	21	22
	① X _{min}	16.53	1.46	1.21	0.80	39.10	27.16	17.80	7.20	0.15	2.73	0.015	0.019
	X _{max}	28.62	1.72	1.36	1.23	75.94	31.53	20.89	12.38	0.79	14.20	0.055	0.092
	X	21.50	1.55	1.27	1.13	51.92	29.79	19.31	10.48	0.43	6.68	0.030	0.049
	δ	2.73	0.08	0.06	0.09	8.31	1.16	0.85	1.18	0.19	4.38	0.01	0.02
马兰黄土	频数	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7
	② X _{min}	13.92	1.57	1.38	0.84	39.22	26.26	17.57	8.69	0.13	9.33	0.021	0.022
	X _{max}	19.13	1.75	1.47	0.96	61.09	30.29	18.98	11.31	0.21	14.15	0.032	0.035
	X	16.91	1.67	1.43	0.90	51.24	27.76	18.23	9.53	0.17	11.32	0.026	0.030
	δ	2.21	0.07	0.04	0.05	9.31	1.52	0.53	1.06	0.04	2.35	0.01	0.01
马兰黄土	频数	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7
	② X _{min}	13.92	1.57	1.38	0.84	39.22	26.26	17.57	8.69	0.13	9.33	0.021	0.022
	X _{max}	19.13	1.75	1.47	0.96	61.09	30.29	18.98	11.31	0.21	14.15	0.032	0.035
	X	16.91	1.67	1.43	0.90	51.24	27.76	18.23	9.53	0.17	11.32	0.026	0.030
	δ	2.21	0.07	0.04	0.05	9.31	1.52	0.53	1.06	0.04	2.35	0.01	0.01
马兰黄土	频数	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7
	② X _{min}	13.92	1.57	1.38	0.84	39.22	26.26	17.57	8.69	0.13	9.33	0.021	0.022
	X _{max}	19.13	1.75	1.47	0.96	61.09	30.29	18.98	11.31	0.21	14.15	0.032	0.035
	X	16.91	1.67	1.43	0.90	51.24	27.76	18.23	9.53	0.17	11.32	0.026	0.030
	δ	2.21	0.07	0.04	0.05	9.31	1.52	0.53	1.06	0.04	2.35	0.01	0.01
马兰黄土	频数	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7
	② X _{min}	13.92	1.57	1.38	0.84	39.22	26.26	17.57	8.69	0.13	9.33	0.021	0.022
	X _{max}	19.13	1.75	1.47	0.96	61.09	30.29	18.98	11.31	0.21	14.15	0.032	0.035
	X	16.91	1.67	1.43	0.90	51.24	27.76	18.23	9.53	0.17	11.32	0.026	0.030
	δ	2.21	0.07	0.04	0.05	9.31	1.52	0.53	1.06	0.04	2.35	0.01	0.01
马兰黄土	频数	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7
	② X _{min}	13.92	1.57	1.38	0.84	39.22	26.26	17.57	8.69	0.13	9.33	0.021	0.022
	X _{max}	19.13	1.75	1.47	0.96	61.09	30.29	18.98	11.31	0.21	14.15	0.032	0.035
	X	16.91	1.67	1.43	0.90	51.24	27.76	18.23	9.53	0.17	11.32	0.026	0.030
	δ	2.21	0.07	0.04	0.05	9.31	1.52	0.53	1.06	0.04	2.35	0.01	0.01
马兰黄土	频数	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	7	7
	② X _{min}	13.92	1.57	1.38	0.84	39.22	26.26	17.57	8.69	0.13	9.33	0.021	0.022
	X _{max}	19.13	1.75	1.47	0.96	61.09	30.29	18.98	11.31	0.21	14.15	0.032	0.035
	X	16.91	1.67	1.43	0.90	51.24	27.76	18.23	9.53	0.17	11.32	0.026	0.030
	δ	2.21	0.07	0.04	0.05	9.31	1.52	0.53	1.06	0.04	2.35	0.01	0.01

(1) 垫层土: 稍湿一湿, 中密, 压缩系数介于 0.07~0.47 MPa⁻¹, 干密度介于 1.34~1.75g/cm³, 说明该楼素土垫层压实程度不均匀; 自重湿陷系数均<0.015, 湿陷系数介于 0.012~0.035, 平均值为 0.023, 说明处理后的垫层土局部还未消除湿陷性。

(2) 马兰黄土①: 稍湿一湿, 稍密, 压缩性中偏高, 自重湿陷系数介于 0.015~0.055 之间, 平均为 0.030, 湿陷系数介于 0.019~0.092 之间, 平均为 0.049, 本层土为自重湿陷性黄土。

(3) 马兰黄土②: 稍湿, 稍密, 压缩性中偏低, 上部湿陷性土自重湿陷系数平均为 0.026, 湿陷系数平均为 0.030, 仍为自重湿陷性黄土。

2.3 场地的湿陷性评价

根据室内土工试验结果, 按照《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ50025-2004), 计算出地基土的自重湿陷量介于 21.96~32.40cm, 总湿陷量介于 44.88~75.42cm, 经地基处理后, 场地为Ⅲ级自重湿陷性黄土场地。

2.4 场地含水量分析

经初步分析, 事故原因为有水体长期下渗, 使地基产生湿陷变形, 引起该楼地基产生不均匀沉降, 造成安全隐患。因此在建筑物室内布置 8 个洛阳铲探孔(TK1-TK8), 室外沿建筑物外墙布置 16 个洛阳铲探孔(TK9-TK24), 取土样进行含水量测试。

结果表明, 该办公楼除场地北部局部含水量稍低外, 楼体内及楼体外其余部位地基土含水量普遍较大, 土质湿软。另从勘察现场可见, 办公楼所处部位自然地坪较周围偏低, 上部地表水排水不畅, 导致水体长期下渗。

3 建筑物地基下沉、墙体和地面裂缝原因分析

该楼的墙体和地面裂缝, 是由于地基不均匀沉降所引起。主

要原因是:

3.1 地基处理方案不合理

根据《湿陷性黄土地区建筑规范》(GBJ50025-2004) 第 6 节(地基处理) 第 6.1.2 及 6.1.5 条的规定, 当地基湿陷等级为Ⅲ级时, 对多层建筑宜采用整片处理, 地基处理厚度不应小于 3m, 且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量不应大于 200mm; 每边超出建筑物外墙基础外缘的宽度, 不宜小于处理土层的 1/2, 并不应小于 2m, 而该办公楼地基处理深度及宽度均不满足规范要求。

3.2 地基处理施工质量差, 剩余湿陷量大

通过调查、检测可知, 该办公楼采用整片土垫层法处理地基, 上部 3:7 灰土垫层厚度不满足设计要求, 地基土经处理后, 场地仍为Ⅲ级自重湿陷性黄土场地, 剩余湿陷量最大达 75.42cm, 且处理后的素土垫层压实程度欠均匀, 局部压缩性高, 并具湿陷性, 是造成该楼地基产生不均匀沉降的原因之一; 下卧层马兰黄土①具强烈湿陷性, 并具较高压缩性, 若有水下渗, 必将产生湿陷变形, 同时, 上部回填土回填质量差, 造成了地坪空鼓下陷。

3.3 周边环境的影响

建筑物场地较周围自然地坪稍低, 且向西南部倾斜, 场地地表水排泄不畅, 水体长期下渗, 使地基土产生湿陷变形。

4 结束语

通过对本次事故的分析, 应该认真吸取以下的经验教训:

(1) 应高度重视岩土工程勘察工作, 任何忽视岩土工程勘察, 仅凭地区经验就进行地基设计的做法都是不妥的, 也不符合规范要求, 将给建筑安全埋下隐患。

(2) 在制定地基处理方案时, 应以岩土工程勘察报告为依

据,认真分析场地的工程地质条件,在满足现行规范要求的前提下,有针对性地选择合理的技术方案,确保建筑物的安全。

(3)通过本次事故认识到,湿陷性黄土场地的地基处理,如采用整片垫层时,地基处理深度及剩余湿陷量应同时满足规范

(上接第6页)

6.5m处异常幅值大,其相位与激振信号同相,反映桩身存在较为明显的波阻抗界面。6.5m左右的波阻抗界面性质,亦即桩身存在的缺陷性质及缺陷程度需用钻芯法进一步查证。

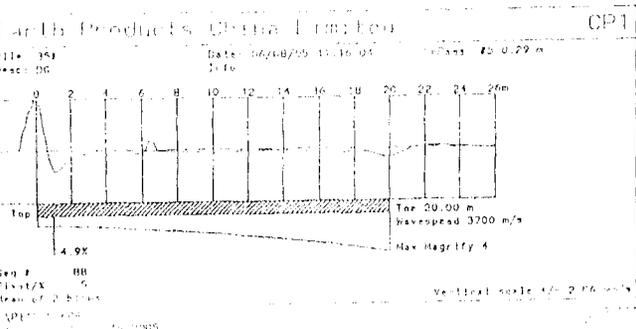


图2 35#桩 PIT完整性测试记录

此桩经钻探抽芯检验,结果是:

桩长为20.0m,6.50~6.80m段离析,无沉渣、虚土,入中风化花岗混合岩,抗压强度值为18.5MPa。

结合抽芯检验结果分析,波形曲线上6.5m处的同相位异常反映了桩身6.5m左右存在缺陷,此异常的特征反映桩身存在的缺陷较为严重。经钻孔的抽芯检验,异常因为厚0.3m(6.50~6.80m得)的混凝土局部离析。持力层强度高,无沉渣,与混凝土接触完好。

5 桩端持力层测试对比分析

在桩顶面观测到的反射波中,包含有桩身阻抗变化引起的反射波、桩底反射波、桩周土、岩引起的反射波和持力层引起的反射波。

当桩端持力层为中风化岩及其抗压强度足够大时,桩端反射异常特征是:桩端反射波异常为一与入射波呈反相位的异常,即反相位异常,反映桩底无沉渣、虚土,桩端与持力层中风化岩吻合好,持力层中无软弱夹层存在。

当桩端持力层中存在软弱层时,由于软弱层具有低波阻抗特性,即其密度、纵波传播速度都偏低,易产生同相位的反射波异常。据此,可推断桩底下有软弱层存在。现以某场地面42#、32#桩为例加以说明。

(1)42#桩:桩径为1.4m,桩长为22.0m,入岩1.5m。检测结果如图3,在波形曲线上21.3m,处于一明显的异常,其相位与激振信号同相,此异常为桩底的反应。推断同相位的桩底信号反映桩底砼胶结较差或持力层较差。

此桩经钻孔抽芯检验,其结果为:桩长为21.35m,21.35~22.80m段砼有沉渣,9.50~9.60m段砼胶结稍差,桩底下有0.65m(21.35~22.00段)的沉渣。持力层为中风化花岗混合岩,抗压强度值为15.9m。

由抽芯检验结果可知桩底下面有沉渣。鉴于桩底下面有厚0.65m(21.50~22.15m段)的沉渣存在,致使曲线上21.3m处异

要求,而确保垫层土的压实质量也是至关重要的。

(4)地基处理时应加强监理和检测,保证施工质量。

(5)湿陷性黄土场地,建筑物基础周围必须实施排水措施,防止水体入渗。

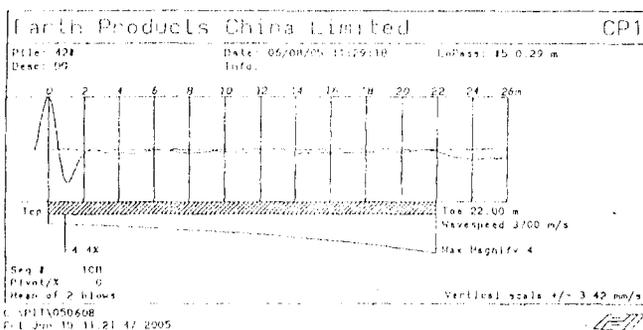


图3 42#桩 PIT完整性测试记录

常的相位与入射波相位相同,同相位的异常特征反映异常的性质为具低波阻抗特性的软弱层。

(2)32#桩:桩径为1.6m,桩长为18.0m,入岩1.6m。检测结果如图4,在波形曲线上18.0m处有一明显的异常,其相位与激振信号相同,此异常为桩底的反应,推断同相位的桩底信号反映桩底砼胶结较差或持力层较差。

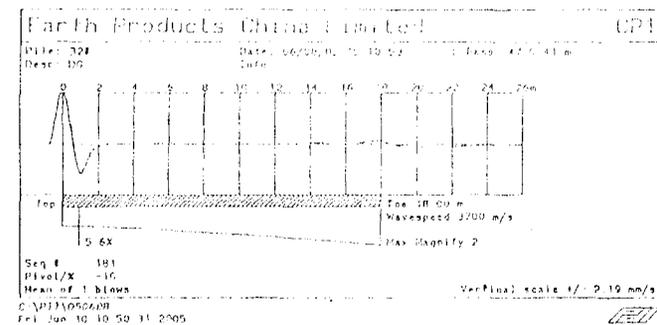


图4 32#桩 PIT完整性测试记录

此桩经钻探抽芯检验,其结果是:

桩长为18.0m,桩身连续、完整,无沉渣、虚土,18.0~18.7m段为强风化花岗混合岩,以下为中风化花岗混合岩,其桩抗压强度值为20.1MPa。

结合抽芯检验结果分析,曲线上18.0m处异常是一个明显的与入射波同相位的单一异常,反映18.0m左右存在一低阻抗界面。由抽芯检验结果可知,桩底下面有0.7m厚的强风化花岗混合岩。曲线上18.0m处反射波异常是持力层中存在的强风化花岗混合岩所引起。

6 结束语

通过以上实例的分析、判断、查证,认为利用反射波法可检测嵌岩桩桩身完整性、持力层的好坏,是否有软弱层,同时认为每个工程必须有一定数量钻芯检测来核对反射波法检测,以便对同批同地的嵌岩桩作出正确的评价,因为嵌岩桩在桩基中占有一定的比例,所以认真研究此方法,对今后的检测工作是有一定的参考意义。