

文章编号:1007-2993(2009)06-0316-05

西宁黄土状盐渍土作为回填材料的研究

王智明

(青海省核工业地质局,青海西宁 810008)

【摘要】通过对西宁地区黄土状盐渍土地基的分布、工程性质特点及其对建筑物危害的调查,分别从黄土状盐渍土的湿陷(溶陷)、盐胀和腐蚀性三大特点出发,对西宁黄土状盐渍土地基中回填料土含盐量的变化对地基土性质的影响作了一些试验研究,提出了一些观点,通过实践取得了一定的社会效益和经济效益。

【关键词】黄土状盐渍土;溶陷;盐胀;腐蚀;回填料

【中图分类号】 TU 448

【文献标识码】 B

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2009.06.012

Study on the Loess-like Saline Soil as Backfill Material in Xining

Wang Zhiming

(Nuclear Industry Geological Bureau of Qinghai Province, Xining 810008, Qinghai, China)

【Abstract】 Based on the investigation of distribution of the loess-like saline soil foundations in Xining, engineering characteristics and the damages to the building, respectively, from three characteristics of the settlement by soaking, salt expansion and causticity of the loess-like saline soil, the author research into the effects on the nature of the foundations from the changes of salinity in the backfill in the loess-like saline soil foundations in Xining. Some of the points raised by the practice has achieved a certain degree of social effects and economic benefits.

【Key words】 loess-like saline soil; melting depression; salt expansion; corrosion; backfill material

0 引言

《岩土工程勘察规范》GB 50021—2001 规定:岩土中易溶盐含量大于 0.3%^[1],并具有溶陷、盐胀、腐蚀性等工程性质时应定为盐渍土^[2]。

黄土状盐渍土是一种特殊地基土,即具有黄土湿陷的特点,也具有盐渍土的溶陷(湿陷)、盐胀(膨胀)性和腐蚀性的特点。

1 盐渍土作为地基材料方面的研究现状

西宁地区盐渍土主要是黄土状盐渍土,它不仅具有黄土湿陷(盐渍土溶陷)的特点,而且还多具盐胀性、腐蚀性。由于它具有湿陷性,因而部分工程技术人员容易忽视,将其误判为一般湿陷性黄土,从室内物理力学指标的测定,到评价方法,都单纯沿用黄土标准来评价,不能满足盐渍土地基工程建设的需要,导致勘察成果不全面,误导设计、施工,造成建筑物开裂、倾斜、设备基础的破坏、室内地坪隆起、墙体腐蚀等的事例屡见不鲜,造成了巨大的经济损失。特别是近年来,随着城市建设的需要,在盐渍土地区的建筑也越来越多,因此,研究盐渍土的工程性质,

有着特别重要的意义。

在盐渍土地区的工程勘察、土工试验以及工程的设计、施工方面存在着许多实际问题。目前在不少工程技术人员(勘察、设计、施工)中形成了一种片面的观点,既谈盐色变,一旦确定该地基土为盐渍土地基,便不再考虑含盐量的高低及其它物理力学性质和工程施工条件,一概认为该类土不宜作为基坑开挖后的回填料,应采用换土垫层法处理地基。这样不但在西宁难以找到含盐量较低的可供大量采用的非盐渍土,给施工带来了一定难度,而且也给建设单位造成了昂贵的造价。据我局多年的一些试验研究工作,我们初步认为西宁分布的易溶盐含量小于 1%的黄土状盐渍土,可以作为基础以下地基的回填料(对于含盐量大于 1%的,由于西宁分布较少,且较分散,范围不大,因而未作系统的研究),这样西宁大部分地段将不需换土,即使局部含盐量较高需换土时,也可就地取材,因而给该地区新建建筑物带来了可观的经济效益。

1.1 盐渍土地基对工程建筑物的危害

1.1.1 湿陷性造成的危害

西宁黄土状盐渍土具有湿陷性, 由于工程技术人员对盐渍土地基认识不足、地基处理宽度和厚度偏小、地基处理后消除湿陷效果差、剩余湿陷量偏大等多种原因, 地基土一旦浸水, 因土中易溶盐的溶解, 土体原有结构破坏, 使地基土承载力降低, 并产生较大的湿陷导致其上建筑物产生沉降。由于地基浸水范围、浸水量是不均匀的, 地基沉降也是不均匀的。如某监舍楼下沉、青海某电厂的水处理厂房下沉等。

1.1.2 膨胀造成的危害

西宁黄土状盐渍土易溶盐含量以硫酸盐为主, 由于青海日温差变化大, 由气候引起的干湿交替现象明显, 从而使盐渍土地基产生膨胀变形的机率增大, 主要表现在对建筑物的山墙、地坪、散水等的破坏。如西宁铁路分局某场地、某监房前后纵墙, 均因膨胀而产生裂缝等。

1.1.3 腐蚀性的危害

盐渍土地基对工程建筑物的腐蚀性也是相当严重的, 它不仅对混凝土结构具腐蚀性, 而且对各种金属管道均具腐蚀性。典型的有: 某厂围墙, 由于砖体本身及混凝土施工所用水中易溶盐含量高, 导致墙体材料由表及里逐渐疏松剥落, 使墙体破坏。

盐渍土地基对工程建筑物的危害往往是多方面的、几种作用同时存在的。如青海×厂, 环绕厂房的电缆沟已塌陷, 生产重地配电室底梁断裂, 所有建筑物墙壁有裂缝, 重达 50 t 的磨机被隆起的地面拱得东倒西歪, 厂车间已成危房, 该厂虽已投入维修加固费达 400 多万元, 但由于没有解决根本问题, 已无修缮价值, 需立即拆除的建筑物 4 座, 立即停用加固处理的建筑物 3 座, 需防腐加固处理的建筑物 3 座。盐渍土地基既具有湿陷性, 又具有膨胀性、腐蚀性的危害。只是在不同环境下以某种作用为主, 因此要根据场地盐渍土的类型、含盐量、成分及其是否进水等因素综合确定。

2 西宁黄土状盐渍土的类型、分布及野外特征

西宁黄土状盐渍土属内陆盐渍土, 形成来源于其母岩第三系强风化泥岩, 经地下水、地表水溶滤后, 随水流从山坡带到山脚, 经蒸发作用盐分凝聚而成。按含盐类的性质分类, 西宁黄土状盐渍土属硫酸、亚硫酸盐盐渍土的居多, 按含盐量多少分类, 西宁黄土状盐渍土多属中等硫酸盐渍土, 个别地段存在强硫酸盐渍土。

西宁黄土状盐渍土主要分布在西宁市凤凰山(南山)北麓和北山南麓(其余地段有零星分布)的坡洪积扇上、山前坡脚地带。该地带黄土状土中含盐量分布较高, 盐渍土的范围较广。典型的有青海省砖瓦厂至青海省皮毛被服厂, 即南路以南及以北部分地带和青海省朝阳电站至火车站以东造纸厂一带。

如何在野外正确判定该土是否属于盐渍土是工程勘察的关键, 应注意以下野外特征:

1) 在地面或探井内壁有白色盐类物质析出, 呈白色盐霜、松软的粉状或盐壳。

2) 西宁地区黄土或黄土状土层中见块状、粒状或层状石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 中溶盐), 则该土一般为盐渍土。也就是说, 石膏的存在是黄土层中含盐量较高的一个标志。

3) 基槽大面积开挖后, 太阳暴晒, 由于土层自然条件的变化, 产生收缩, 从而可见大量裂缝存在。

黄土层中具以上任何特征时, 应取样进行易溶盐分析, 以确定含盐量的高低及其它指标。

3. 土中含盐量对力学性质的影响

西宁地区黄土状盐渍土以硫酸盐渍土及亚硫酸盐渍土为主。本文将以硫酸盐渍土(亚硫酸)为主要研究对象。硫酸盐渍土与亚硫酸盐渍土的性质较接近, 地表常覆盖一层松软的粉状、雪状结晶。

土的击实性是回填材料控制的重要指标, 由两个指标构成: ①最大干密度 ρ_{dmax} ; ②最佳含水量, 这两个指标在工程建设中应用很广, 也是黄土状盐渍土地基施工中严格控制的两个指标^[3]。

黄土状盐渍土地基由于具有湿陷性, 因此需对地基进行加固处理, 其主要目的是消除湿陷性, 提高强度^[4]。土的压实性与含盐量有着很密切的关系, 当土中的含盐量增大时, 其最佳密度逐渐减少, 当含盐量超过一定限度时, 就不易达到规定的标准密度。如用含盐量较高的土作为填料, 就需要加大夯实能量。

据我局对西宁典型黄土状盐渍土地区土样的试验研究, 土体的击实性不仅与含盐量多寡有关, 而且还与土体液、塑限, 即土中粉粒、粘粒含量等因素有关, 且在含盐量较低时, 土体的击实性主要由土体本身的性质决定。如南路某厂住宅楼场地, 暗红、褐红色黄土状盐渍土, 易溶盐质量分数为 0.5010%~1.2355%, 重型击实试验结果 ρ_{dmax} 为 1.73~1.77 g/cm³, 最佳含水量为 12.5%~13.2%。×厂监狱教育楼场地西侧, 褐黄色黄土状粉土, 土中易溶盐质量分数仅为 0.22%, 重型击实

试验表明,最大干密度 ρ_{dmax} 为 1.79 g/cm^3 ,最佳含水量为 14.8% 。为了更准确的反映含盐量这一因素对土的击实效果的影响,我局用一种土作为母体,配制成不同含盐量的盐渍土,对其击实效果进行了研究。其结果见表1。

表1 含盐量与最大干密度关系

样号	含盐量/%	最大干密度 $\rho_{dmax}/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	最佳含水量/%
1	0.5	1.95	10
2	0.8324	1.76	15.2
3	0.9568	1.79	15.2
4	0.9582	1.74	15.0
5	1.2355	1.73	13.2 (重型)

从以上试验结果,可以得出:

① 随着土中含盐量的增高,土体的最大干密度略有下降,但含盐量在 1% 以内时,含盐量对土的击实性影响并不显著。

② 随着土体中含盐量的增高,土体的最佳含水量有增大的趋势。

③ 随着土中含盐量的增高,其击实曲线有变陡的趋势,表明该土稍超过最佳含水量或不足最佳含水量时,强度随即降低,因而施工时难以达到最佳干密度。只有严格控制回填土含水量,使其最大限度的接近最佳含水量,才能达到最佳压实效果。

④ 同一含盐量的土,随着击实能量的增高,其最大干密度增大,最佳含水量降低。如同一母体采用标准型击实仪击实时,最大干密度为 1.86 g/cm^3 ,最佳含水量为 16.1% ;采用重型击实仪击实时,最大干密度为 2.02 g/cm^3 ,最佳含水量为 12.8% 。

⑤ 当土中含盐量超过其影响力学强度的界限值时,土体的击实效果明显变差。如某监舍楼场地,褐红色黄土状盐渍土,含盐量为 2.42% ,经标准击实试验,其最大干密度仅为 1.29 g/cm^3 ,最佳含水量高达 34% ,这样的击实效果,表明地基处理后不仅不能消除湿陷,而且也达不到提高强度的作用,因而严禁用该类土作为回填料。

4 含盐量对膨胀(盐胀)的影响

盐渍土的盐胀程度与土中硫酸盐含量多少成正比相关,即盐渍土中硫酸盐含量的多寡是决定膨胀程度的主要因素^[1]。研究表明,盐渍土产生膨胀的硫酸盐含量界限为 1% 。当盐渍土中硫酸盐含量小于 1% 时,土体基本上没有膨胀,这一研究成果已纳入中国石油天然气总公司基建工程局编制的《盐渍土地区建筑规定》中的2.3.3条,但我局在我省西宁黄

土状盐渍土地区膨胀对室内外地坪、散水的破坏研究中发现,硫酸盐(硫酸根)含量小于 1% 的地基土中也发生了盐胀破坏现象。说明不同的土质,不同的气候环境存在不同的差异性。

了解盐渍土盐胀影响深度,对于建筑物基础埋深、地基处理深度的选择与确定具有重要的作用。

对于含硫酸盐一定的地基土,其膨胀量主要受温度变化的控制,显然,硫酸盐渍土地基的膨胀量影响深度取决于地基中温差变化的深度,一般在 1.5 倍标准冻结深度范围内的盐渍土盐胀明显,其下逐渐减弱。据此推算西宁黄土状盐渍土盐胀敏感深度为 2.01 m 。

5 含盐量与土体的腐蚀性

西宁黄土状盐渍土对工程建筑物的腐蚀破坏相当普遍。通过对西宁黄土状盐渍土的分析研究,土体中易溶盐含量达 0.1594% 时,硫酸根已达 843 mg/kg ,大于《岩土工程勘察规范》规定的对混凝土具弱腐蚀性的界限值。

土对钢筋混凝土结构中钢筋产生腐蚀性的界限易溶盐含量为 0.1210% , Cl^- 经 $\text{Cl}^- + 0.25\text{SO}_4^{2-}$ 折算为 328.25 mg/kg ,已大于《岩土工程勘察规范》所规定的腐蚀界限。

西宁黄土状土中易溶盐含量小于盐渍土的界限含盐量 0.5% 时,土的腐蚀性问题依然存在;当含盐量达 1% 时,一般均具中-强腐蚀性,所以西宁黄土状盐渍土的腐蚀性问题,是一个较普遍,却经常易被忽视的问题。应针对每个工程条件及土中易溶盐分析成果分别对待并采取相应的防腐蚀措施。

6 盐渍土地基回填料中含盐量界限值的确定

盐渍土地基对工程建筑物的危害主要表现在湿陷(溶陷)、盐胀及腐蚀性三个方面。所以能否用该类土回填,主要要看地基处理以后,消除这三大危害的程度如何,根据不同部位地基处理目的不同进行分部评价。

6.1 基础底面以下回填料含盐量界限值的确定

基础底面以下回填料土及地基处理,主要目的是消除湿陷、提高强度。笔者认为西宁地区当黄土状盐渍土含盐量小于 1% 时,可以作为基础底面以下的回填料,理由如下:

1) 我局1992—2005年,西宁658件土中易溶盐的试验结果:含盐量小于 1% 的占 73.7% ,含盐量 $1\% \sim 1.5\%$ 占 23.6% ,含盐量大于 1.5% 仅占 2.7% 。这说明西宁黄土状盐渍土绝大部分易溶盐含量小于 1% ,因而确定基础底面以下回填料土含

盐量小于1%,可以满足,不需另换非盐渍土,具有广泛的材料。

2)当地基土中含盐量小于1%时,地基土的物理力学性质主要由地基土本身的属性所决定,其强度受含盐量的影响较小。

3)当地基土中含盐量小于1%时,其击实效果较好,最大干密度 ρ_{dmax} ,一般大于 1.73 g/cm^3 ,地基处理后基本上消除了湿陷变形(一般干密度 $\rho_d \geq 1.63\text{ g/cm}^3$ 时,西宁黄土状盐渍土已不具湿陷性)。

4)当地基土中总含盐量小于1%时,其硫酸盐必定小于1%。据试验研究最大膨胀力不超过 23 kPa ,只有基底压力为零的测点其盐胀明显,由于一般的多层民用建筑物(不包括单层)基底压力均大于 23 kPa 因而不足以产生盐胀破坏。

5)当地基土中,含盐量小于1%时,土体对混凝土基础或各种地下管道均具弱-强腐蚀性(即使用含盐量小于0.3%的非盐渍土作为回填用料,仍然存在上述问题)。对混凝土、钢筋混凝土结构中的钢筋及钢结构,应根据防腐等级进行防腐。

6.2 基础底面以上至室内外地坪,散水以下(包括房心土)回填用料中含盐量界限值的确定

基础底面以上至室内外地坪,散水以下回填土中含盐量对工程建筑物的破坏,主要是盐胀和腐蚀破坏。加之接近地表温度和湿度易受气候及外部条件变化,因而极易产生上述破坏,故回填土含盐量界限值不宜超过0.5%。其理由如下:

1)基础底面以上,室内外地坪、散水以下回填土,一般夯压实效果较差,其压实系数小于0.93,因而铺设在其中的上、下水管一旦破裂,漏水,从而引起这部分土和下部地基土产生湿陷(溶陷),膨胀变形,并易产生腐蚀破坏。

2)基础设施施工完毕,应及时清理基坑,尽量用非盐渍土分层回填夯(压)密实,以防施工用水或雨水流入基坑,但基础或管道的现浇混凝土应达一定强度,不致回填夯(压)实而破坏。

3)据我局试验研究,土体中含盐量小于0.5%时,一般不具膨胀变形危害。

4)如果土体中含盐量略大于0.5%,可采取拌入少量生石灰(3%~9%)的方法,来清除膨胀,提高强度。但在现场大面积使用时,要解决好土块破碎参合料均匀和回填质量控制等施工技术问题,还应进行必要的现场试验和检测工作。亦可采用拌入一定量的砂来控制土体的含盐量,使其小于0.5%,且由于砂加入土体后,土体的压实性能得以改善,使

其地基土的干密度大于产生膨胀的最佳干密度,从而可有效的抑制膨胀

6.3 防水及结构措施

目前黄土状盐渍土湿陷性黄土,西宁地区地基处理方法多采用大开挖回填碾压,该方法只是部分消除湿陷,因而要采取以地基处理为主且与相应的防水措施、结构措施相结合的综合措施^[4]。

7 工程效果

在西宁市典型的黄土状盐渍土地区——南滩,对于基底含盐量为0.5%~1%的黄土状盐渍土地基回填处理的工程,我局进行了工程监测,其拟建物自建成投入使用以来,未发生任何质量事故,其经济效益也相当可观。如青海某厂住宅楼,原勘察报告,提出了“不宜采用上部盐渍土作为基坑回填用土的结论”。设计院地基处理方案采用了换土垫层的处理方法,甲方因费用太高,提出可否用原土回填的问题,后经我局进行取样化验,该回填土含盐量为0.5118%~1%,属中等硫酸盐渍土,经击实试验,最大干密度为 $1.73\sim 1.77\text{ g/cm}^3$,最优含水量为12.5%~13.2%。我局认为原基坑开挖土可作为基底回填用料,不需换土回填,但施工时,应严格控制回填土的含水量,使其接近最优含水量(仅不需换土一项节约资金近10万元);南山路某楼群(住宅四栋,办公室一栋,车库两座,锅炉房一座),场地土层主要为褐黄和棕红色新近堆积黄土状盐渍土,含盐量为0.5%~1%,原勘察报告提出该类盐渍土不宜作为回填土料,但考虑到该工程换土厚达6m,场区附近可供换填土中含盐量又较高,同样甲方提出可否用原土回填?并委托我局进行试验。经取样试验,当含盐量达1.0%时,其最大干密度仍达 1.91 g/cm^3 ,当压实系数为0.93时,已全部消除湿陷,我局提出了用该土作为基础底面以下回填土料可行的方案(仅不需换土一项节约资金40万元),南山路警校附近某住宅楼,基底下回填土含盐量为0.8000%~0.8649%,未进行换土,节约费用约6万元,其建成使用以来,均未发现任何质量事故。

8 结论

盐渍土地基对工程建筑物的危害主要表现在湿陷(溶陷)、盐胀及腐蚀性三个方面。能否用该类土回填,主要要看地基处理以后,消除这三大危害的程度如何,根据不同部位地基处理目的不同进行分部评价。

1)基础底面以下回填土及地基处理,主要目

的是消除湿陷、提高强度,通过试验研究,认为西宁地区当黄土状盐渍土含盐量小于1%时,可以作为基础底面以下的回填用土。

2)基础底面以上至室内外地坪,散水以下回填用土中含盐量对工程建筑物的破坏,主要是盐胀和腐蚀破坏。加之接近地表温度和湿度易受气候及外部条件变化,因而极易产生上述破坏,故回填用土含盐量应控制在0.5%以内。

3)目前黄土状盐渍土湿陷性黄土,西宁地区地基处理方法多采用大开挖回填碾压,该方法只是部分消除湿陷,因而要采取以地基处理为主且与相应的防水措施、结构措施相结合的综合措施。

4)盐渍土作为一种特殊性岩土,本文是从含盐量这一主要因素入手研究黄土状盐渍土地基回填问题,其实影响黄土状盐渍土力学性质的因素较多,如土的颗粒成分、液限、塑限、施工质量的控制等因素,影响黄土状盐渍土盐胀变形的因素也较多,如含水

量以及外界的温度变化、土的密实度、颗粒成分以及亲水性矿物(蒙脱石、伊利石含量)等因素,因而要根据工程地质条件,对症下药,只有这样才能达到提高经济和社会效益的目的。从而达到技术更先进,科学,经济,安全可靠的目的。

参 考 文 献

- [1] 徐攸任主编.盐渍土地基[M].北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [2] 中华人民共和国建设部.GB 50021—2001 岩土工程勘察规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2002.
- [3] 常士骥,张苏民主编.工程地质手册(第四版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [4] 中华人民共和国国家建设部.GB 50025—2004 湿陷性黄土地区建筑规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2004.

收稿日期:2009-09-25

(上接第315页)

- [2] 薛 茹,胡瑞林,毛灵涛.软土加固过程中微结构变化的分形研究[J].土木工程学报,2006,39(10): 87-91.
- [3] 唐益群,张 曦,周念青,等.地铁振动荷载作用下饱和软粘土性状微观研究[J].同济大学学报(自然科学版)[J],2005,33(5): 626-630.
- [4] HU R L, YEUNG M R, LEE C F, etc. Mechanical behavior and microstructural variation of loess under dynamic compaction[J]. Engineering Geology, 2001, 59(3-4): 203-217.
- [5] 周翠英,牟春梅.软土破裂面的微观结构特征与强度的关系[J].岩土工程学报,2005,27(10): 1136-1141.
- [6] 王国欣,黄宏伟,肖树芳.软土微结构特征的试验研究[J].水利学报,2005,36(2): 190-196.
- [7] Ferber Valery, Auriol Jean-Claude, Cui Yu-Jun, Magnan Jean-Pierre. Wetting-induced volume changes in compacted silty clays and high-plasticity clays[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2008, 45(2): 252-265.
- [8] 李顺群,郑 刚,赵瑞斌,等.黏土微结构参数的相关分析和主成分分析[J].岩土工程学报,2009,31(7): 1120-1126.

收稿日期:2009-08-17