

西北地区残积淤泥类土的工程地质特性

⑪

余侃柱

p642.133

41-63.52 (甘肃省水利水电勘测设计研究院, 甘肃 兰州 730000)

摘要:通过对临夏—临洮、定西—榆中盆地等代表西北地区残积淤泥类土资料的研究和分析,系统阐述了该类土的分布规律及成因、物理力学性质、工程地质特性。提出该类土是一种分布于西北地区以残积成因形成为主的区域性特殊类型土,有别于我国沿海一带分布的典型淤泥质土,并针对该类土的工程地质特性,提出工程对策。

关键词:残积淤泥类土;工程特性;地质特性

中图分类号:P642.13+3

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2000)05-0041-03

我国西北地区一些地槽、盆地中普遍分布着残积淤泥类土,它有别于我国沿海一带分布的典型淤泥质土,是一种区域性特殊类型土。残积淤泥类土天然含水量高、孔隙比大、透水性低、中压缩性、高灵敏性、强度低、固结缓慢,具有触变、流变特性。在水利、交通、工业、民用建筑和其它行业建设开发中,该类土往往构成各类工程建筑物的地基和边坡,因其特性危害到地基和边坡的稳定性。本文以甘肃省临夏—临洮、定西—榆中、内官—香泉等盆地的残积淤泥类土为代表,研究该类土的工程特性。

1 残积淤泥类土的分布规律与成因

近年来,在位于临夏—临洮、定西—榆中、内官—香泉等盆地的南阳渠灌溉工程、引洮灌溉工程等勘测设计中发现残积淤泥类土,并且在甘肃省东部、南部和我国西北地区其它地方也发现此类土的分布。该类土分布一般与周围环境有直接关系,与古地貌形态、水文气象条件、水文地质条件、地层岩性等密切相关。主要表现在以下几方面:

a. 分布与地貌密切相关。一般分布于我国西北地区相对封闭的盆地、地槽内。盆地底部相对厚度大,而盆地边缘、丘陵斜坡地带则相对厚度小,且各地厚度不等,厚者达200m,薄者仅0.5m。

b. 呈间断性、不连续分布。在分水岭有分布,而在山麓、冲沟中无分布,阶地一侧分布而另一侧无或者厚度差异较大。

c. 分布区既有半干旱气候区,也有高寒阴湿地区。气候类型不同,分布厚度相差较大。一般高寒阴

湿地区分布厚度略大于干旱地区。干旱区颗粒粒度较粗,而高寒阴湿地区颗粒粒度较细。

d. 残积淤泥层底部一般为形成该土的母岩第三系红色岩层,岩性以粘土岩、粉质粘土岩、砂岩等为主。有些地方该层裸露地表,有些地方则上覆新近堆积黄土状土或第四系全新统堆积物。

e. 残积淤泥类土根据地层的成因类型可分为残积、残坡积、洪积、河湖相沉积等。本区以残积多见。甘肃省东部、南部盆地中所分布该类土就以残积形成。湖积土在内官—香泉盆地中亦有分布。虽然目前对残积淤泥类土的成因说法不一,但这类土的形成与地貌、第四系构造运动、区域性断裂分布、水文气象条件、水文地质条件、地层岩性等密切相关,尤以风化作用为主。

2 残积淤泥类土的物理性质

残积淤泥类土的物理力学性质指标见表1和表2,且有以下特点:

a. 颜色呈灰、灰绿、灰兰、青灰、灰褐色,结构不均,颜色各地分布有差异。

b. 颗粒组成以粉粒为主,含量为61%~68%,粘粒含量17%~24%,砂粒含量为13%~20%。不同高程,分水岭两侧颗粒组成略有差异,分布越高,粒度越细。有机质含量各地不同,一般为1%~4%。局部底部含有植物根茎和树木碎片。

c. 天然密度高,一般大于 1.7g/cm^3 ,含水量高,饱和度高达86%~97%,呈饱和状态。天然含水量一般大于液限,一般为30%~89%,呈软塑~流塑

表 1 残积淤泥类土物理指标

地 点	粒径颗粒组成/%			天然密度 /(g·cm ⁻³)	含水量 /%	孔隙比	饱和度 /%	液限/%	塑限/%	塑性 指数
	>0.05 mm	0.05~0.005 mm	<0.005 mm							
西北地区残积淤泥类土	13~20	61~68	17~24	1.48~1.86	30~89	0.8~1.2	86~97	25~70	16~42	11~37
沿海淤泥类土经验范围值		55~63	30~45	1.49~1.80	40~85	>1.0	>95	35~60	18~27	15~48

表 2 残积淤泥类土物理力学指标

地 点	原状快剪		饱和快剪		原状固结快剪		十字板剪 切试验 c_u /kPa	压缩系数 a_{1-2} /MPa ⁻¹	湿陷系数 δ_s
	凝聚力 c /kPa	内摩擦角 φ /°	凝聚力 c /kPa	内摩擦角 φ /°	凝聚力 c /kPa	内摩擦角 φ /°			
西北地区残积淤泥类土	9.8~30	22~30	3.2~16.4	14.6~17.4	9.8~30	3~30	16~20	0.07~0.4	0.007~0.01
沿海淤泥类土经验范围值	1~8	1.5~10			5~15	2~12	10~40	>0.5	

状态,孔隙比一般为 0.9~1.2。

d. 力学强度低,现场十字板剪切强度指标 $c_u \leq 20$ kPa,干燥状态下抗剪强度稍高,非湿陷性,中压缩性,承载力低,允许承载力为 0.05~0.1 MPa。

e. 透水性低,固结速度缓慢,产生不均匀沉降,饱和状态下具有流变性、触变性。

f. 有别于我国沿海一带淤泥类土,表现在天然含水量、有机质含量、孔隙比接近沿海淤泥类土经验值的下限值;粘粒含量、液限、塑限、塑性指数、压缩系数、灵敏度均小于沿海淤泥类土经验值的下限值;渗透系数、饱和度基本相同;而力学强度明显高于沿海淤泥类土。

3 残积淤泥类土的工程地质特性

3.1 抗剪强度低

残积淤泥类土的抗剪强度与其结构、密度、含水量有着密切的关系,结构密实,孔隙小,有机质含量、含水量较小时,抗剪强度较大。当含水量为 9.8%,原状快剪 $\varphi_{\max}$ 为 34.8°, $c_{\max}$ 为 43.4 kPa,而在饱和状态下, $\varphi_{\min}$ 为 11°,降低 68.4%, $c_{\min}$ 为 0 kPa,降低 100%。从图 1 知原状快剪和饱和快剪试验粘聚力变化不大,而内摩擦角降低 28.4%;原状固结快剪和固结残余快剪粘聚力和内摩擦角变化都不大,上述四种试验状态除饱和快剪内摩擦角较其它三种小外,其余三种试验内摩擦角变化不甚明显,而粘聚力变化较大,这是因为土粒间水膜与相邻土粒间的分子引力、土中化合物的胶结作用发生变化,土体中孔隙水压力、土粒间的排列组合结构、联结数量等发生变化。

含水量对残积淤泥类土抗剪强度指标影响表现为随含水量(w)的增大内摩擦角(φ)和粘聚力(c)都有减小的趋势。从图 2 知,随 w 的增大, φ 总的具有降低的趋势;饱水时 φ 值减小,为天然土体 φ 值的 1/15~1/25;当 w 小于塑限而大于 9.8% 时, φ 值在 34.8°~28° 间;当 w 大于塑限而小于液限时, φ 值随 w 的增高而急剧降低, φ 值变幅 28°~14°;当 w 大于液限时, φ 值随 w 的增高而继续降低,但变幅缓慢, φ 值

一般小于 14°,随 w 进一步增大, φ 值最低为 2°~1°。

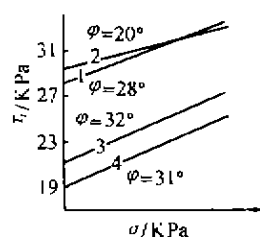


图 1 不同试验条件下抗剪强度曲线

1. 原状快剪; 2. 饱和快剪; 3. 原状固结快剪; 4. 固结残余快剪

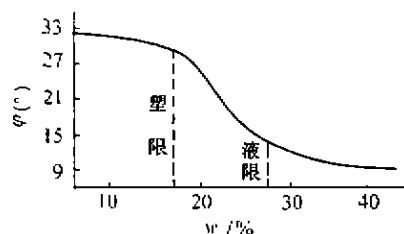


图 2 内摩擦角与含水量关系曲线

c 值随 w 增大变化表现为:当 w 小于 3% 时, c 值较大;当 w 大于 3% 而小于塑限或者饱和含水量时, c 值随 w 增大急剧降低,仅为原值的 1/3~1/8;当 w 大于饱和含水量时, c 值随 w 变化不甚明显,但总是趋于降低趋势。

残积淤泥类土单轴抗压强度为 0.187 MPa,原状三轴抗剪强度指标 $\varphi = 5^\circ$, $c = 127$ kPa,饱和三轴抗剪强度指标 $\varphi = 2^\circ \sim 4^\circ$, $c = 8 \sim 64$ kPa,该类土三轴试验 φ 值明显小于直剪试验, c 值则大于直剪试验。该类土的强度同其结构有着密切的关系,当土体的结构受到破坏或扰动时,强度迅速降低,十字板剪切试验原状土 $c_u \leq 20$ kPa,重塑土 $c_u \leq 14$ kPa,降低 30%,随着深度增加 c_u 也在增大,但增加幅度不大。

3.2 固结性

固结系数平均值 $C_v = 3.12 \times 10^{-3}$ cm²/s,次固结系数平均值 $C_\alpha = 0.0123$,表明初始压缩瞬时完成,主固结变化很微弱,次固结占主导地位,为主要压缩阶段。固结过程中排水和沉降速率很慢,按时间平方根法计算,土体固结度达 90% 时,土体最大排水距

离按 0.5 m 和 1.0 m 计算,则固结所需时间 t_{90} 分别为 1.2 a 和 5.14 a.

3.3 中压缩性

压缩性用压缩系数 a_{1-2} 来衡量. a_{1-2} 越大则土的压缩性越强. 残积淤泥类土 $a_{1-2\max}$ 为 0.4 MPa^{-1} , 无论在天然或饱和状态下 $a_{1-2\max}$ 均小于 0.5 MPa^{-1} , 属于中压缩性土. 土体结构破坏, 含水量增大, 压缩性系数也增大.

压缩指数平均值 C_c 为 0.032, 表明压缩过程缓慢, 孔隙随压力变化十分缓慢, 在压力增大的过程中, 孔隙比减小幅度很小. 该土的沉降量与压力增大近似呈线性关系.

回弹指数平均值 C_s 为 2.08×10^{-3} , 表明回弹过程中, 随着压力减小土体回弹不明显, 土体弹性部分变化很小, 孔隙比变化亦很小, 以塑性变性为主.

3.4 非湿陷性

湿陷系数 $\delta_{\max} = 0.001$, $\delta_{\text{sumax}} = 0.0101$, 均小于 0.015, 属非湿陷性土. 湿陷起始压力为 252 kPa. 非湿陷原因与该土天然含水量大、可溶盐含量小等有关.

3.5 低透水性

残积淤泥类土垂直渗透系数 $K = 10^{-5} \sim 10^{-6} \text{ cm/s}$, 由于各向异性, 渗透系数水平较垂直向大数倍. 因透水性差, 该类土在荷载作用下不易排水固结, 建筑物基础易产生沉降和变形, 沉降延续时间较长.

3.6 触变性

触变性大小用灵敏度 S_i 来表示, 该类土一般 $S_i = 2 \sim 5$, 大者达 16, 属高灵敏性土. 在饱水状态下, 经扰动或振动其结构受到破坏, 土体的强度显著降低, 使土体呈稀释流动状态, 产生侧向滑动、沉降及向基底两侧挤出, 形成土溜体、滑坡体危害工程的建设. 如南阳渠工程 2 号隧洞至 3 号隧洞间明渠段, 渠道开挖边坡还未衬砌, 就几乎淤平, 并产生小坍塌体; 3 号隧洞进口洞脸、掌子面边坡难以成形, 无法施工, 其它地段和工程也曾出现此现象, 曾改线数次以避开残积淤泥类土的影响.

3.7 流变性

流变性是指土体在一定剪应力作用下, 土体随时间增长发生缓慢而长期的剪切变形, 并可导致抗剪强度的衰减, 土体结构的破坏. 该类土体天然含水量高, 塑性流变严重. 试验在饱水状态下, 蠕变变形占总变形的 25% ~ 51%, 最大为 89.6%, 蠕变应变平均速率 $3.27 \times 10^{-4} \text{ h}^{-1}$, 蠕变系数为 $1/2500 \text{ h}^{-1}$, 最大 $1/357 \text{ h}^{-1}$, 相差 7 倍. 室内试验大部分试件都在 100 ~ 200 h 即发生蠕变破坏. 流变长期强度 $c = 7.6 \text{ kPa}$, $\varphi = 2^\circ$, 破坏强度 $c = 13 \text{ kPa}$, $\varphi = 6^\circ$. 在施工开挖过程中, 蠕变变形量大, 速率缓慢, 使边坡随时

间增长而缓慢失稳, 侧向挤出或鼓起, 渠道边坡发生松动、侧向流变或土溜体, 已建成渠道失稳或衬砌支护被拉裂. 如老南阳渠灌溉工程, 经过 40 多年变化大部分地段现已发展成多级台阶状滑坡、土溜体.

4 残积淤泥类土的主要工程地质问题评价

残积淤泥类土的主要工程地质问题是边坡的稳定性和地基的稳定性, 而地基的稳定性主要为地基承载力、沉降与变形、固结和压密. 尽管残积淤泥类土工程条件很差, 对工程的影响很严重, 在地下水作用下, 工程地质条件更加恶化, 但只要正确认识它, 并掌握它的工程特性, 对其作为不同建筑物基础采取有效地防治措施, 就可有效地防止它对工程产生的危害, 从而保证工程的安全. 针对该土的工程特性, 在一些工程中主要采取以下防治措施:

a. 施工开挖中应尽量减小对该土的扰动和振动, 尽量避免雨季施工.

b. 施工过程中尽量排除地表水和地下水, 加快土层固结, 对深基础开挖应采取支护措施. 该土在疏干地下水后边坡比不宜小于 1:1.25.

c. 在有地下水分布地段, 地下水位埋深浅地段可采用疏干地下水, 降低地下水位或天然、人工冻结土体, 尔后开挖, 建筑物基础应设置永久排水设施.

d. 建筑物结构型式不同, 对地基要求不同, 该类土的分布厚度不一, 采用地基处理方法应结合地质条件、施工期限、建筑物结构及防渗要求、地下水位等因素综合考虑. 对于该土厚度小于 5 m 的, 宜全部清除. 厚度大于 5 m 的, 地下水位埋深浅, 可选用排水砂碎石垫层法、排水砂井法、扩大建筑物基础、土工织物加其它方法、抛石挤淤法、放缓边坡法、沉井及振冲碎石桩、水泥搅拌桩法、水泥旋喷桩法、复合地基法等. 如南阳渠灌溉工程采用砂碎石垫层法、放缓边坡法、土工织物法、水泥搅拌桩法效果较好.

e. 水利水电工程与工民建工程施工工期、地基条件要求略有差异, 选用地基处理方法应结合建筑物结构、土的分布厚度等有关因素, 但处理都应加强排水、加快土层固结速率, 控制沉降和变形速率, 防止挤出、滑移为原则.

f. 无论采用何种方法处理地基, 现场观测、检测及控制标准尤为重要. 现场观测孔隙水压力、位移和沉降量可直接判定地基变形特性、固结程度、强度变化、地基稳定等, 从而鉴定地基处理质量和效果.

5 结 语

淤泥类土(包括淤泥质壤土、淤泥质砂壤土、淤泥质粘土、淤泥质粉质粘土)作为一种(下转第 52 页)

(MPa)和单位注入量 $V(\text{L}/\text{m})$ 的乘积来表示:

$$\text{GIN} = p \cdot V \quad (1)$$

也可以表示为

$$\text{GIN} = p \cdot C$$

式中 C 为单位灌浆长度的注入水泥量。

GIN 灌浆方法的要点是:在整个灌浆过程中,以中低速注入单一配比、具有宾汉流体特性的中等稠度的稳定浆液,根据 GIN 曲线,随时监视灌浆压力和注入量,监视 $p \sim C$ 灌浆过程曲线在选定的 GIN 曲线图上的运作趋势,根据 $p \sim C$ 曲线和 $(F/p) \sim C$ 可灌性曲线(F 为浆液流量),判断灌浆工作的完成情况,随着注入量的增加,压力缓慢上升,当注入量达到预定的限值,或压力达到预定的限值,或单位注入量与压力的乘积达到预定的限值(GIN 值),即可结束灌浆。

小浪底 GIN 灌浆法生产性试验在主坝右岸 2 号灌浆洞内,2 号灌浆洞帷幕轴线长 110 m,将其中的轴线长 42.5 m,共 28 个帷幕孔进行 GIN 法灌浆试验,计进尺 1564 m。在灌浆过程中,微机屏幕显示时间、压力、流量、注入总量、水泥单耗量、GIN 值等参数,同时显示灌浆压力和时间($p \sim t$)、流量和时间($F \sim t$)、累计注入量和时间($C \sim t$)、可灌性和时间($(F/p) \sim t$)、可灌性和注入水泥量($(F/p) \sim C$)、灌浆压力和注入水泥量($\text{GIN} = p \cdot C$)共 6 种过程曲线,在灌浆结束后,将这些参数和曲线打印出来。

本次试验采用的最大灌浆压力、GIN 值和最大注入量如表 3 所示,灌浆结束标准为达到 GIN 值时,流量小于 $2 \text{ L}/\text{min}$,持续 10 min 结束。

表 3 GIN 法试验强度指标

段次	孔深 /m	最大压力 /MPa	GIN 值/ (MPa·L·m ⁻¹)	GIN 值/ (MPa·kg·m ⁻¹)	单位注入量 (L·m ⁻¹)
1	0~2	0.7	80~120	78~117	185
2	2~5	1.0	80~120	78~117	185
3	5~10	1.5	80~120	78~117	185
4	10~15	2.0	80~120	78~117	185
5	15~20	2.5	80~120	78~117	185
6	20~25	3.0	150~200	146~194	200
7	25~30	3.5	150~200	146~194	200
8	30~35	3.5	150~200	146~194	200
9	35~40	3.5	150~200	146~194	200
10	40~45	3.5	200~250	194~243	250
11 以下	>45	3.5	200~250	194~243	250

在灌浆结束后,GIN 法试验区共布置 6 个检查孔,进行压水试验 64 段,合格率(小于 5 Lu)为 100%,最大吕容值为 2.96 Lu 。GIN 法平均水泥单耗量为 $149 \text{ kg}/\text{m}$,是常规段灌浆法(水泥单耗量为 $275 \text{ kg}/\text{m}$)的 54.4%;每孔段平均纯灌浆时间为 92 min,是常规段灌浆法(纯灌浆时间为 127 min)^[2] 的 72.4%。由此可以得出:本次 GIN 法采用的参数是合

适的,工程质量满足规范要求,且在节省材料和工期上有巨大的经济效益,是值得推广应用的。

参考文献:

- [1] SL62-94 水工建筑物水泥灌浆施工技术规范[S].
- [2] 赵存厚,韩伟.小浪底水利枢纽 2 号灌浆洞 GIN 法帷幕灌浆试验[A].见:孙国伟,黄河小浪底建设工程技术论文集[C].北京:中国水利水电出版社,1997.114~121.

(收稿日期:2000-02-29 编辑:张志琴)

(上接第 12 页)

3.5 推进水土保持生态环境建设

甘肃省水土流失面积 38.9 km^2 占全省土地总面积的 85.6%,水土保持为甘肃省治理了水土流失,生态环境明显改善,初步形成“山顶林草带帽,山坡梯田缠腰,沟底坝库穿靴”的治理方式,拦水效率达 86%,拦泥效率达 97%。土地产出率有了大的提高,使跑水、跑肥、跑土的“三跑田”,变为“三保田”,改善了农业生产条件。

甘肃今后实施以建设秀美山川为目标,以治理水土流失为中心,以退耕还林(草)为重点,以基本农田建设为基础,以小流域为单元,实行山水田林路统一规划,综合治理的战略,工程措施、生物措施和耕作措施合理配置,实施分区防治战略,依靠科技进步加强管理,突出保护,努力为西部大开发和全国经济社会的可持续发展创造良好的生态环境。

(收稿日期:2000-07-14 编辑:马敏峰)

(上接第 43 页)

区域性特殊类土,具有天然含水量高、孔隙比大、透水性低、中压缩性、高灵敏度、抗剪强度低、承载力低,饱水状态下还具有触变、流变等特性,对工程的地质条件有着特殊影响,一般工程上仅根据颗粒分析或塑性图定名为粉质壤土或粉质粘土,而缺乏深入细致的工程特性研究,对该土对工程造成危害重视不够,在施工中和工程运行中发生较大危害和破坏,甚至无法施工或采取防治处理措施不够经济合理。随着大量的工程实践和试验,总结该类土的鉴定方法、形成成因、工程特性和防治措施等,加强这方面的研究对未来的工程建设有着积极的意义。

(收稿日期:1999-03-22 编辑:张荣安)

