

土的超固结性地质成因分析

孙开军

(盐城市交通建设工程有限公司 江苏 盐城 224001)

摘要:以经历红土化作用的红土、东部沿海平原区的浅层硬土层及地表硬壳层等超固结土为例,论述了它们形成的地质历史;形成过程中的成土作用及垂向变化特征。结论是堆积后风化淋滤作用是造成上述超固结性土的主因,其次是上覆土层的自重压密。

关键词:似超固结土;第四纪环境;成土作用

中图分类号: TU411.2

文献标识码: A

文章编号: 1671-5322(2008)03-0054-03

1 超固结土特征

高速公路路基勘测设计中经常会遇到超固结土层,在地表及地面以下均有分布。对它的工程特性的评价关系到合理选择路基加固处理方案、简化施工和节省工程费用。土的工程特征与其形成的地质历史过程密切相关。在国内,对土的超固结特征的形成因素已明确地归纳为应力作用和非应力作用两类,后者主要指天然粘结物的胶结作用、孔隙水离子交换等,并将此类成因的超固结土称之为似超固结土。工程地质学强调土的成分、结构和性质,与其形成后经历的物理、化学过程密切相关。

在我国,广泛分布在平原、盆地的松散土层,主要形成于第四纪时期。从第四纪地质历史看,地质与自然环境具有明显的特征。

(1)气候上出现多次干冷与湿热(暖)的交替。寒冷时(冰期)冰川流行,我国第四纪时期曾出现4~5次冰川流行,规模为山谷或山麓冰川;冰期之间温暖湿热(间冰期),从冰期至间冰期气候变化甚大,同一地区的年均气温变幅可达10~20℃。

(2)植物群落出现多次冷期(冰期)和暖期(间冰期)的演替。冷期中在东部平原出现高山苔原植被或草原、干草原植被;暖期植物群落以喜暖树种占优势,在长江以南广大地区以常绿阔叶

林或常绿落叶阔叶林为主,反映出植被茂盛,气候湿热或温暖的环境。

(3)海面的升降变迁。冰期中海面普遍下降,如晚更新世冰期中,海面普遍下降约120m,大陆架出露成为广阔的平原。冰后期气候转暖,冰川消退,大陆架被海水淹没,才形成近代海岸展布。

气候、植被、时间是影响成土作用进行的主要因素。第四纪环境剧变,尤其是从干冷到湿热环境所引起物理的、化学的、生物的风化作用,深刻地影响着土工程性质的形成。

2 典型实例分析

2.1 红土化作用与土的超固结性

我国广泛分布的红土,是一种含有大量粘粒,富含次生铁、铝氧化物的土,具有较高的强度和较低的压缩性。它主要是第四纪中更新世热带和亚热带湿热气候环境下风化淋滤作用的产物^[1],因富含高价铁而使粘粒呈红色,故称之为红土。南方网纹红土,北方红色土层,均形成于此时期。以江西庐山红色网纹泥砾及邻近网纹红土为例,它们形成于寒冷的冰期(大姑冰期),泥砾是冰川消融的堆积物,红色及网纹则是大姑—庐山间冰期湿热风化作用的产物^[2]。风化淋滤过程具2个明显特征:一是土层中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 淋失,高价铁、铝氧化物富集。前者含量平均仅0.24%,后者达45%~54%;二是易风化碎屑物粘粒化,土层中易

收稿日期:2008-05-25

作者简介:孙开军(1974-),男,江苏盐城市人,工程师,主要研究方向为路桥施工管理。

风化碎屑如长石、角闪石以及石灰岩、结晶岩等砂砾,在湿热和茂盛植被环境下,经弱酸性水溶液风化淋滤形成粘土,使土层中粘粒增加。此从太行山东麓红土卵石层中仅看到结晶岩砾石的外形,手搓之即成粘泥,以及庐山结晶岩山坡下的红色堆积物中很难找到结晶岩砾石即是佐证。说明红色土层的形成,经历了堆积和堆积后风化两个阶段。由于后期的风化促使土层中高岭石、多水高岭石等粘土矿物增加,粘粒表面离子高价化(Fe^{3+} , Al^{3+}),扩散层厚度变薄,粒间吸引力加大,土层中细粒物质排列得更紧密。氧化铁凝胶可把粘土颗和团聚体粒胶结成更大的次生团聚体,从而产生粒间附加的结构连接,使粒间强度增

高,此在电镜下可清晰看到。土的化学、物理化学的变化使土的工程特性得到明显改善,成为低压缩性、高强度的土^[3](表1)。红色泥砾和网纹红土的天然密度为 $1.93 \sim 2.28 \text{ g/cm}^3$,压缩系数在 $0.1 \sim 0.17 \text{ MPa}^{-1}$ 间,说明具有高密度低压缩性的特征。经野外大型载荷试验,太行山东麓红土卵石层的承载力高达 1.1 MPa 。它们出露在地表时即为早期地表硬壳层;在地面下埋藏较浅时则为硬土层,土的超固结性特征十分明显。

从垂直剖面看,自上至下颗粒级配由细变粗;土的强度由高降低,进一步说明风化淋滤是形成土具超固结性的主因。

表1 红色泥砾及网纹红土物理力学性质表
Table 1 Physical and mechanical properties of red boulder clay and vermiculated red soil

土层	含水量 W/%	天然密度 $\rho/\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	比重	孔隙比 e	塑性指数 IP/%	指标				
						压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}	粘聚力 C/kPa	内摩角 $\phi(^{\circ})$	承载力 R/MPa	变形模量 E_0/MPa
红色泥砾(庐山细粒部分)	25.2	2.04	2.72	0.67	12.4	0.17	63	27	-	-
网纹红土(江西进贤)	25	1.93	2.73	0.77	19	0.1	76	30	-	-
红土卵石层(太行山东麓)	-	2.16~2.28	-	-	-	-	84~90	22~27	1.11	145

2.2 东部沿海平原浅层硬土层超固结性的成因

我国东部平原在第四纪时期属沉降区,沉积物厚达数十米至数百米,常有多层硬土层出现。其中浅层硬土层(或称第1硬土层)分布较广,地质时代为晚更新世晚期沉积物,在上海埋深 $20 \sim 30 \text{ m}$,上部暗绿色下部黄褐色;在天津埋深 $18 \sim 23 \text{ m}$;浙江杭州、萧山埋深 $17 \sim 28 \text{ m}$,为棕黄、黄褐色硬土层。土的工程性质基本特征是呈可塑——硬塑状,压缩性低,承载力高(见表2),具有超固结性。因埋深较浅,故是这些地区大型和重型工程桩基础的主要持力层^[4]。

此类超固结土在垂向层序上,多处在软土层之间。以上海地区为例,上下软土均属正常固结土,前期固结压力 PC 随深度增加并有良好的线性关系^[5],唯第1硬土层强度好(图1),前期固结压力值(PC)在散点图上有明显的偏离现象,超固结比 OCR 达2.15。从地质历史分析此层形成于晚更新世晚期寒冷气候环境,为湖沼相沉积,后经

过全新世初期暖湿气候环境下的风化淋滤,而形成富含铁、锰质硬土层^[6]。浅层硬土层分布在第四纪沉降区,不存在地表厚土层被流水冲刷掉的问题,同一地质时代,大面积的分布,也说明环境变迁是形成此类超固结土的主因,其次是被掩埋后上覆土层的自重压密作用。

2.3 沿海平原地表硬壳层的风化淋滤成因

东部沿海平原淤泥质软土广泛分布,地表常发育一层黄褐色的固结程度较高的粉质粘土层,常称之为地表硬壳层,即淤泥质软土表层的硬壳。尽管其层顶面裸露地表,不存在上覆土压力,但其压缩曲线多反映存在先期固结压力,即地表土层也具超固结化。岩性特征,上部铁质和铁锰质结核含量较多,呈褐黄色,下部则渐趋消失,呈黄——黄灰色,厚 $1 \sim 4 \text{ m}$ 。硬壳层与下部软土物理力学性质上都有显著的差异,前期固结压力 PC 在散点图上明显偏离,上部优于下部。

表 2 沿海平原浅层硬土层及地表硬壳层物理力学性质成果表

Table 2 Physical - mechanical property of coastal plain of shallow hard layer and hard crust layer

类型	地点	地质时代	岩性	含水量 W %	天然密度 ρ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	孔隙比 e	压缩系数 a_{1-2} MPa^{-1}	内摩擦角 ($^{\circ}$)	粘聚力 C kPa
浅层硬土层	上海 杭州 萧山 天津	Q_3^3	暗绿、黄褐色粘土	25	1.97	0.74	0.24	-	-
			棕黄色粘土	25.9	1.98	0.74	0.16	26.0	64.0
			黄褐色粘土	23.0	2.04	0.64	0.16	20.3	54.1
			黄褐色粘土	23.4	2.00	0.68	-	25	24.0
地表硬壳层	上海 杭州 揭阳	Q_4^3	褐黄色粉质粘土	31.5	1.94	0.82	0.30	17	15.5
			褐黄色粉质粘土	27.8	1.95	0.79	0.27	16.3	34.0
			褐黄色粉质粘土	44.1	1.71	1.19	0.40	18.3	32.0

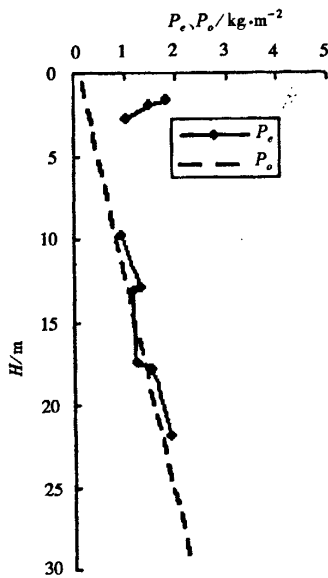


图 1 PC 随深度变化散点图

Fig. 1 Variation of scatter plot of data with depth

据地质历史研究,距今约 6 000 年前,正是全球气候温暖的高海面期,沿海地区海浸范围较广,随后海水退出,软土层(尤其是海相沉积物)出露地面后遭受了风化淋滤,氧化铁含量相对增加,胶结力加强。故氧化铁的胶结作用是土具超固性的主因。此类地表硬壳层在沿海地区分布较普遍,成因基本相同,唯厚度有变化。

3 结束语

(1)土的工程特性的形成一般是经历了堆积和堆积后风化改造 2 个阶段。堆积后的风化淋滤造成土层中粗碎屑物风化成土,粘粒增加颗粒间排列更紧密,以及土中易溶、难溶元素如 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的迁移,惰性状态的高价铁、铝的富集。氧化铁凝胶的胶结作用,明显地提高了土的强度,可表现在前期固结压力中。

(2)第四纪气候环境的多次冷暖、干湿变化,以及伴随着生物(主要是植被)、海面的变迁,是影响土层堆积后风化淋滤作用的主要因素,由此引起的物理化学力、化学力不同程度地改变着土层的工程特性,其中红土化作用历时长、影响广,土层的工程特性也最为良好。地表硬壳层则历时最短,土的超固结性也最弱。

(3)超固结土的工程特性除受风化淋滤作用强度及持续时间的制约外,还要受埋藏条件、土质成分、成因类型以及所处地球化学环境等多种因素及其组合情况的影响,同一时期形成的超固结土,在工程特性上也存在一定的差异性。因而超固结土的变形特征研究一定要结合第四纪地质历史,环境特征进行宏观与微观的综合分析。

(下转第 59 页)

济两方面考虑,都是可信和可行的方法。磷石膏和粉煤灰的掺入比例,应根据软土中有机质含量确定,当有机质含量低时,粉煤灰的作用较大;当有机质的含量较高时,可适当加大磷石膏的含量。

参考文献:

- [1] 黄新. 工业废石膏在地基加固中的应用[J]. 工业建筑, 1994(9): 24 - 28.
- [2] 胡同安, 杨晓刚, 刘毅. 水泥磷石膏固化剂的试验研究[A]. 第七届土力学及基础工程学术会议论文集[C]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994: 525 - 528.
- [3] 荀勇. 含工业废料的水泥系固化剂加固软土试验研究[J]. 岩土工程学报, 2000(2): 210 - 213.

Research on the Strengthening Organic Cement Soil With Industrial Waste

PAN Yong-can¹, XUN Yong^{1,2}

(1. Department of Construction Engineering of Yancheng Institute of Technology, Jiangsu Yancheng 224003, China;
2. Civil Engineering Institute of Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096, China)

Abstract: Through tests, this article researches the influences of phospho - gypsum and fly - ash on the strengthening organic soil, and the measures for resisting the influences of organic matter are studied. The results indicate that adding industrial wastes to cement soil, not only the construction cost is decreased, but also the cement - soil strength is increased.

Keywords: organic matter; phospho - gypsum; fly - ash; cement soil; strength

(上接第 56 页)

参考文献:

- [1] 向春尧. 网纹红土的工程地质特性和地基评价[J]. 水文地质工程地质, 1985(3): 1 - 8.
- [2] 彭汉兴. 庐山羊角岭红色泥砾泥石流成因质疑[J]. 地理学报, 1988(4): 363 - 366.
- [3] 张成恭, 王思敬, 张伟元, 等. 中国工程地质学[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 94 - 95.
- [4] 邵水松. 对萧山市区地基土层的分析研究[J]. 勘察科学技术, 1995(4): 21 - 27.
- [5] 魏道堃, 胡中雄. 上海浅层地基土的前期固结压力及有关压缩性参数的试验研究[J]. 岩土工程学报, 1980(12): 13 - 22.
- [6] 竹淑贞, 陈业裕, 孙永福, 等. 上海地区第四纪地层与古气候[J]. 科学通报, 1980(5): 220 - 223.

Geologic Reason Analyses on Super Consolidation of Soil

SUN Kai-jun

(Yancheng Communications Construction Project Co, Ltd Jiangsu Yancheng 224001, China)

Abstract: This article give some examples, as the red soil of laterization, coastal plain of shallow hard layer and hard crust layer, discuss the geologic history which it come out and the course of pedogenesis and characteristics of perpendicular changes. Results that the leaching process is the major reason of the soil owns super consolidation during the course of pedogenesis after deposition, the minor reason is the pressure of its own weight on the surface of soil layer.

Keywords: super consolidation soil; quaternary environment; pedogenesis