

公路软土地基基本特征及处理技术

我国地域辽阔,地质复杂,土的种类繁多,需处理的地基大多为软弱土和不良土,如软粘土、杂填土、冲填土、饱和粉细砂、湿陷性黄土、泥炭土、膨胀土、多年冻土以及岩溶和土洞等不良地质作用和地质灾害。随着我国建设事业的发展,新建工程越来越多地遇到不良地基。由于软土具有强度较低、压缩性较高和透水性弱小等特性,因此在软土地基上修建建筑物,必须重视地基的变形和稳定问题。在软弱土地基上的建筑物往往会出现地基强度和变形不能满足设计要求的问题,因而常常需要采取措施,进行地基处理。处理的目的是要提高软弱地基的强度,保证地基的稳定,降低软弱土的压缩性,减少基础的沉降和不均匀沉降。目前针对软弱地基的不同构成有很多不同的处理方法,以下针对处理软弱地基的问题作一些研究分析。

2.2 软土地基的基本特征

2.2.1 软土地基及软土的概念

地基是指承受建筑物荷载的一部分土体(岩体)。如果建筑工程的基础(在铁路、公路等交通设施工程中则指下部构造)修建在软土中,则这一建筑物或构造物的地基就称为软土地基。

在静水或缓慢流水环境中以细颗粒为主的近代沉积物,其天然含水量大、孔隙比大、压缩性高、承载力低、渗透性小,是一种呈软塑到流塑状态的饱和粘性土。在土力学中软土与湿陷性黄土、膨胀土、冻土、盐渍土一起并称为特殊类型的土^[27]。

2.2.2 软土的基本特性

土是由固体颗粒、水和气体组成的体系。土颗粒则以粉、粘粒和胶粒为主,含少量有机物,以絮状胶结为主,结构疏松。天然软土的颜色以深灰色为主,粒度成分以细颗粒为主,有机质含量较高,当受到振动或一定程度的扰动时,其结构连接受到破坏,强度迅速降低,变成稀释状态,极易产生侧向滑动、挤出等现象。软

土的矿物成分、有机质含量、微结构与工程性质密切相关。高含水量、高压缩性、低强度和固结速度等的特性都直接受制于土的矿物成份和微结构。

用扫描电镜对软土进行微观结构观察,我国珠江三角洲的软土微观结构一般为粒状链接结构(见图2-1(a)),部分为絮状链接结构(见图2-1(b))^[28]。在粒状链接结构中,砂粒、粉粒散布在土中,颗粒间只有部分接触,而大部分不接触,由粘粒集合体和有机质聚集在一起,形成链状将颗粒连接起来。由于颗粒间距离不同,故链接有长链和短链之分。而絮状链接结构与上述结构不同之处在于土的基本结构单元体多为粘土粒和有机质形成的絮凝体,砂粒和粉粒的含量较少,絮凝体和少量砂粒、粉粒通过长链或短链连接起来,软土结构基本单元体的距离一般较大,故单元体间多为长链连接。

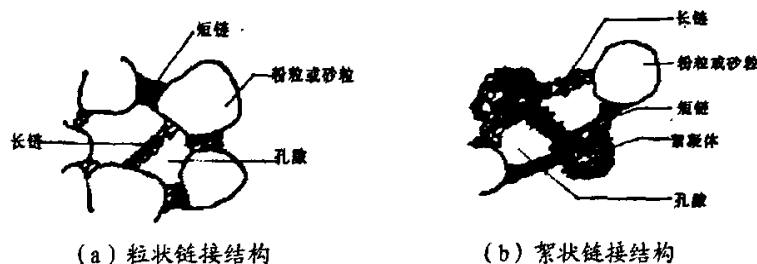


图2-1 软土微观结构示意图

2.2.3 软土的主要物理力学特性

我国各地不同成因的软土都具有大致相同的共性,其基本物理、力学特性如下^[29]:

- 1) 含水量高、空隙比大。含水量一般在34%~72%之间,孔隙比在1.0~1.9之间,饱和度一般大于95%,液限一般为35~60,塑性指数为13~30,天然容重约为 $15\text{kN/m}^3 \sim 19\text{kN/m}^3$ 。
- 2) 压缩性高。压缩系数为0.005~0.02,属高压缩性土。
- 3) 抗剪强度低。其快剪粘聚力在10kPa左右,快剪内摩擦角在 $0^\circ \sim 5^\circ$ 之间。
- 4) 透水性差。大部分软土的渗透系数为 $10^{-8}\text{cm/s} \sim 10^{-4}\text{cm/s}$ 。
- 5) 具有触变性。一旦受到扰动,土的强度明显下降,甚至呈流动状态。
- 6) 流变性显著。其长期抗剪强度只有一般抗剪强度的0.4~0.8倍。
- 7) 承载力低。地基承载力一般为20kPa~100kPa,不进行地基加固处理很难满足工程需要。

2.2.4 软土地基破坏的主要形式及破坏机理

软土由于其不良的工程力学特性,对工程有极大的危害性,综合分析主要有以下几种形式^[27]:

①剪切破坏,由于地基抗剪强度不足以承受其上的构筑物所施加的动、静荷载,造成破坏,表现为使邻近地基产生隆起;

②由于软土地基的高压缩性,发生不均匀沉降,使构筑物的基础由于应力集中出现裂缝,最终使构筑物遭到破坏,失去其使用功能;在构筑物有足够刚度,其抗拉、剪强度足以抵抗地基不均匀沉降,而产生拉剪应力时,建筑物就发生倾斜,著名的意大利比萨斜塔,建筑已数百年,塔身完好无损,但严重倾斜,其原因即地基不均匀沉降所致,且至今无好的解决办法;

③由于软土地基的高孔隙比与高含水率,在使用中发生排水固结,发生均匀沉降,使构筑物下沉量过高,影响使用功能。在工程应用实际中,由于公路、铁路路基是承受静、动双向荷载,其受力的复杂性,决定软土地基发生均匀沉降的可能性极小。

2.3 软土地基存在的问题

2.3.1 稳定问题

在软弱地基中最困难的问题就是地基强度不足引起的失稳问题,主要表现为以下几个方面。

①填土和边坡的稳定。在上部填土的情况下,当建造在软粘土上的路堤、海堤的地基土强度不够时,会产生圆弧滑动而造成整体剪切破坏,即使不产生整体剪切破坏,但由于地基产生过大的侧向位移和由此引起的附加沉降,也会造成地基局部剪切破坏而影响路(海)堤的正常使用。由于开挖地基形成的边坡,也存在稳定问题。

②地基承载力问题。

③挡土墙、板桩等土压力问题。

④桩的水平拉力问题(地震时或受水平力作用时)。当桩穿过软弱层作用在持力层上,即为支承桩,其垂直方向的承载力与穿过的软弱土层关系不大;但受到水平力作用时,由于桩间软土的强度太低,桩无法抵抗水平力引起的弯矩而发生折断,这时也要考虑对桩间土加以改良。

2.3.2 沉降问题

沉降问题是软弱地基的第二个大问题。软粘土地基含水量高、压缩性大,在荷重作用下会产生很大沉降;同时软粘土的渗透系数小,固结系数小,完成沉降所需的时间很长,即固结过程历时长,深厚粘性土层的沉降可达几十年,在这种情况下,次固结沉降在总沉降中占的比例也较大,不能忽视。当沉降超过建筑物的容许沉降时,将影响建筑物的正常使用。地基土的过大沉降会产生桩的负摩擦力问题,从而造成桩基或上部结构破坏。除了上部荷重引起的沉降外,地下水位降低也会产生沉降问题,如大城市由于抽吸地下水引起的地面沉降。这里讲的沉降是指固结沉降,即土中孔隙水消散引起的沉降(主固结沉降)以及土中孔隙水消散完了后,土骨架蠕变引起的沉降(次固结沉降)。这里特别要强调总沉降与不均匀沉降的关系,当总沉降大时,不均匀沉降必然也大,这是由于建筑物本身、场地条件、环境荷重都不可能完全对称所致。

2.3.3 液化问题

在动荷载(地震力、爆破、机器、车辆、波浪等等)作用下,饱和松砂的孔隙水压力增大,有效应力下降,当有效应力为零时,砂土就像液体一样,这时轻的构筑物,如管道(油、气、水管)就会浮起来,重的构筑物就会沉下去。公路、铁路路基由于受到车辆震动荷载,孔隙水压力上升,强度下降,产生翻浆冒泥,地面下陷。即使有效应力不为零,但由于有效应力下降,砂土的强度变低,地基就会发生稳定问题。对于非饱和砂性土,由于孔隙压力上升较小,不足以引起液化,但强度仍会下降,而且由于被振密而产生较大变形,所以不仅会产生稳定问题,还会产生沉降问题。

2.3.4 渗透问题

流砂和管涌等是在水利、基坑和人工挖孔桩成孔施工过程中经常会出现的问题。

2.4 软土地基的处理方法的分类及应用范围

软土地基处理的目的在于使低强度的土体达到稳定,强度提高,满足一定的沉降要求。在地基处理中,由于建筑物的种类很多,故需要进行地基处理的因素

很多,而地基处理的方法也很多,主要包括换填、预压、挤密、固化及桩基础等处理方法^{[27][29][30][31]}。

(1) 换填垫层法

当软弱土层厚度不很大时,可将路基面以下处理范围内的软弱土层部分或全部挖除,然后换填强度较大的土或其它稳定性能好、无侵蚀性的材料(通常是渗水性好的中粗砂)称为换填或垫层法。此法处理的经济实用高度为 $2\sim 3m$,如果软弱土层厚度过大,采用换填法则会增加弃土方与取土方量而增大工程成本。通过换填具有较高抗剪强度的地基土,从而达到增强地基承载力的目的,满足构筑物对地基的要求。主要加固方法有换填、抛石挤淤、垫层、强夯挤淤几种。

(2) 深层密实法

采用爆破、夯击、挤压和振动及加入抗剪强度高的材料等方法,对地基深层的软弱土体进行振密和挤密的地基加固方法称为深层密实法。适用软土厚度 $> 3m$ 的中厚软土的加固,分布面积广的软基加固处理,其加固深度可达到 $30m$ 。通过振动、挤压使地基中土体密实、固结,并利用加入的具有高抗剪强度的桩体材料置换部分软弱土体中的三相(气相、液相与固相)部分,形成复合地基,达到提高抗剪强度的目的。主要加固方法:强夯法、土(或灰土、粉煤灰加石灰)桩法、砂桩法、爆破法、碎石桩法(振冲置换法)、石灰桩法、水泥粉煤灰碎石桩(CFG桩法)、粉喷桩法、旋喷桩法。

(3) 置换法

由于深层密实法中的几种方法都有加入高抗剪强度的材料,置换软土中部分成分的加固机理,与原有的土体共同组成复合地基,达到加固地基的目的,因此深层密实法有时也称为置换法。

(4) 排水固结法

在软土地基上加压并配合内部排水,加速软土地基的排水,加快软土固结的处理方法称为排水固结法。适用于处理各类淤泥、淤泥质粘土及冲填等饱和粘性土地基。软土地基在附加荷载的作用下,逐渐排出孔隙水,使孔隙比减小,产生固结变形。排水固结法是加固软土地基的一种常用方法,从荷载方式来划分可以分为堆载预压、真空预压、真空联合堆载预压、砂井法、袋装砂井、真空预压法、电渗排水法、降低地下水位法、塑料排水板法等方法,下面对排水固结法的原理先做一简要介绍。

排水固结法的原理是软土地基在荷载作用下,土体孔隙中的水被慢慢的排出,孔隙体积逐渐减小,地基产生固结变形。同时,随着超孔隙水压力的逐渐消散,有效应力逐渐得到提高,地基土强度也逐渐增长。以图2-2为例说明。当天然固结压力为 σ'_0 时,其孔隙比为 e_0 ,在 $e \sim \sigma'_0$ 坐标上其相应的点为a点,当压力增加 $\Delta\sigma'$ 时,固结终了时,变为c点,孔隙比减小 Δe ,与此同时,抗剪强度与固结压力成比例的由a点提高到c点,所以,土体在受压固结时,一方面孔隙比减小产生压缩,另一方面抗剪强度也得到提高。如从c点卸除压力 $\Delta\sigma'$ 时,则土样发生膨胀,再从f点再加压 $\Delta\sigma'$,土样发生再压缩,沿虚线变化到c',其相应的强度包络线如图中所示。从再压曲线 $\widehat{fgc'}$ 可看出,固结压力同样从 σ'_0 增加 $\Delta\sigma'$,而孔隙比减小值为 $\Delta e'$, $\Delta e'$ 比 Δe 小得多。这说明,如果在建筑场地先加一个压力进行预压,使土层固结(相当于压缩曲线上从a点变化到c点),然后卸除荷载(相当于在膨胀曲线上由c点变化到f点)再建造建筑物(相当于再压曲线上从f的点变化到c'点),这样,建筑物所引起的沉降可大大减小。如果预压荷载大于建筑物荷载,即超载预压,则效果更好。因为,经过超载预压,当土层的固结压力大于使用荷载下的固结压力时,原来的正常固结粘土层将处于超固结状态,而使土层在使用荷载下的变形大为减小。在这个过程中,随着土体超静孔隙水压力的逐渐扩散,土的有效应力增加,并使沉降提前完成或提高沉降速度^[32]。

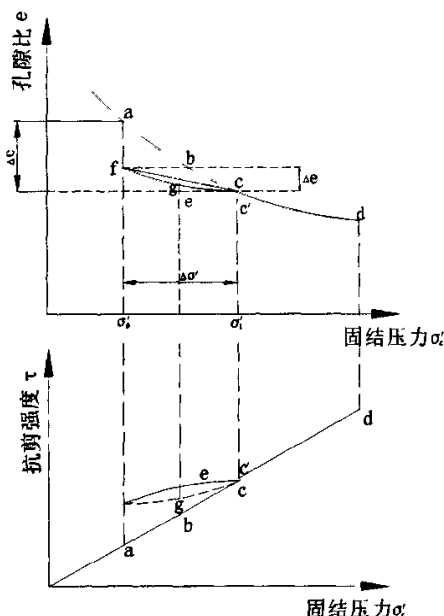


图2-2 排水固结法增大地基土密度的原理图

(5) 化学加固法

通过在软土地基中加入水泥或其它化学材料,进行软土地基处理的方法称为化学加固法。适用于处理砂土、粉土、淤泥质粘土、粉质粘土、粘土和一般人工填土,也可以在处理裂隙岩体及已有构筑物地基加强中。水泥或其它化学材料注入土体后,与土体发生化学反应,吸收和挤出土中部分水与空气,形成具有较高承载力的复合地基。主要加固方法:粉喷桩、旋喷桩、注浆、水泥土搅拌法。

(6) 加固路基法

通过在路基中埋入高强度、大韧性的土工聚合物、拉筋、受力杆件或柴(木)梢排等方法加强路基的自身强度,增加抵抗地基变形沉降的能力。适用于软弱岩体、土体中的路堤与路堑。主要加固方法:加筋土路基、土工聚合物、土钉墙、土层锚杆、土钉、树根桩法、柴(木)梢排法。

(7) 其它加固方法

除了上述软土路基处理方法外,比较常用的还有桩基、沉井、侧向约束法、反压护道法。桩基与沉井常用于在软土地基中建设重要构筑物(桥梁、大型涵洞等)的基础中,根据软弱土层的厚度及其下承层土质情况,桩基设计可分为柱桩与摩擦桩两种。常用的桩基有钻孔桩、挖孔桩、管桩、木桩。侧向约束与反压护道的加固机理均是限制软弱土体向旁挤出,以增加路堤的抗剪能力。侧向约束法适合软土层厚度较小,软土体面积较大的软土地基的加固。反压护道法适合软土体分布面狭窄而软土体厚度较大的软土地基的处理。

2.5 本章小结

通过查阅和总结国内外大量的文献,本章对软土地基的基本特征及常用的几种加固方法做了一些总结:

1. 分析了软土地基的成因,并总结了我国东部地区软土地基的主要基本性质和主要的物理力学特性。
2. 总结了软土地基的三种主要破坏形式,并将软土地基存在的问题总结为稳定、沉降、液化和渗透四个方面的问题。
3. 介绍了软土地基常用的几种加固方法和适用范围。