

# 市政路桥工程软土地基处置方法研究

雷芳芳

(广东省建科建筑设计院有限公司, 广东 广州 510000)

**摘要:**随着我国基础设施的大量建设,软土地基的结构日趋复杂。因此,软土地基处理的改进已成为当今工程设计人员不得不面对的难题。本文从软土地基的主要特点和分布情况出发,论述当前常见的几种软土地基处理措施,并介绍了包括 MICP 技术、胶体二氧化硅处置技术和化学电渗法在内的几种新的软土地基处置措施,系统回顾了我国软土地基处理技术的发展,重点介绍了国内外特别是我国近年来地基处理技术的发展历程,体现了各种地基处理技术的交叉、综合应用,形成的独特的复合加固技术,以期后续工程建设过程中的软土地基综合处理提供理论参考。

**关键词:**市政路桥工程;软土地基;地基设计;处置方法

中图分类号:U416.16

文献标识码:A

文章编号:1004-7344(2022)36-0088-03

## 0 引言

软土地基在我国分布广泛,主要分布于江、河、海水系周边,在滨海地区和水系发达的长江中下游平原地区更为常见。软土颗粒粒径小,外观呈灰色,天然孔隙比大于或等于 1.0,天然含水量大于液限。它具有天然孔隙比大、高的特点压缩性差,透水性差,土层分布复杂,作为工程材料其抗剪强度较低,在市政路桥建设项目中难以直接被作为路基填料。因此,往往需要对软土进行物理或化学改性,从而提高软土强度,满足设计施工要求。

对于软土地基而言,由于土壤的高压缩性和低渗透性,沉降会持续很长时间并积累到相当大的规模。因此,地基加固方法对控制路基的工后沉降起着重要的作用。

## 1 软土地基常见处理方法

在工程建设中,传统的软土地基加固方法可以分为置换法、加筋法、胶结法和加密法四大类。其中置换法是将砂或者碎石掺入软土地基中的软弱土层,用砂或碎石在土层中形成粗骨架结构,软土作为细料填充骨架结构使土层形成整体的骨架密实结构,从而提高整体强度。加筋法则是在土层埋设一定的结构部件(如土工聚合物、拉筋、受力杆件等)从而提高整体土层的稳定度,减小沉降。胶结法的主要是通过水泥或者石灰改良,由于水泥在遇水后会产生一系列水硬性产物,如水化  $\text{CaSiO}_3$  和水化  $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{O}_6$  等,这些水化产物填充土体结构的孔隙,并进一步强化土颗粒之间的粘结作用,从而提高了土体自身的强度和抗水损害的能力。加密法在工程中的应用主要为强夯法,通过将 10~40t 的

重锤,以 6~40m 的落锤距离下落给地基以冲击力和振动,从而密实土层,使软土的压缩性降低,承载力提高。

## 2 软土地基处理新方法

浅层软土地基改造技术包括清除和置换软弱土、使用石柱、脱水技术、使用砂压实桩、砂排水管或预制垂直排水管等。这些方法是根据所遇到的土壤类型、地下水位位置和场地中提出的结构类型选择的。最近在一些研究表明微生物诱导碳酸盐沉淀(MICP)等新方法表明,某些微生物可以改变土壤的力学性质。这主要适用于砂粒,因为砂粒的渗透性非常高,粒度也很大。但在软粘土中的实验表明,这一技术也可以用于软粘土中作为黏合剂。在这种方法中,微生物被用来增加土壤颗粒之间的粘结,从而增加剪切强度,降低压缩性。

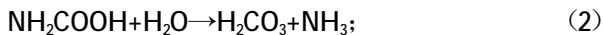
### 2.1 微生物诱导碳酸钙沉淀(MICP)技术

微生物诱导碳酸钙沉淀(Microbially induced calcium carbonate precipitation, MICP)是自然界中广泛存在的一种生物矿化过程,而巴氏芽孢杆菌产生的尿素水解是最常见的矿化过程之一。巴氏芽孢杆菌可以利用环境中的尿素作为氮源,水解尿素产生大量自身代谢产生的活性较高的脲酶。氨( $\text{NH}_3$ )溶解到水中,产生铵离子( $\text{NH}_4^+$ )和氢氧根离子( $\text{OH}^-$ ),从而使局部 pH 升高,形成碱性环境,导致钙离子( $\text{Ca}^{2+}$ )和碳酸盐离子( $\text{CO}_3^{2-}$ )发生化学反应,最终形成碳酸钙沉淀。

具体反应过程如下:首先,巴氏芽孢杆菌在自身的代谢过程中会产生脲酶,在脲酶的催化作用下,尿素会加速水解形成氨和氨基甲酸盐( $\text{NH}_2\text{COOH}$ ),反应过程如式(1)所示。



由于甲基酸盐及其容易水解,因此在溶液中会发生自发水解,生成碳酸与氨。由于氨极易溶于水,在溶于水后会电离出铵根离子和氢氧根离子,同时由于碳酸分子在环境中发生解离,形成氢离子和碳酸根离子,结合这两种反应,整体 pH 呈现出上升趋势,溶液呈碱性,其过程如式(2)~式(4)所示。



最后,胶结液中掺入的可溶性钙盐或土中游离的金属离子( $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 等)与尿素水解产生的碳酸根离子( $\text{CO}_3^{2-}$ )产生化学反应,生成碳酸盐沉淀。相应的反应过程,如式(5)所示。



在这些生化反应过程中,巴氏芽孢杆菌主要有以下两个作用:①细菌。表面带有大量负电荷,可吸附环境当中游离的金属离子,并为碳酸盐的沉积结晶提供晶核,以利于其生成碳酸盐沉淀。②细菌分泌的脲酶有较高的活性,可催化细菌内部尿素水解,提高细菌周围环境中的碳酸根浓度和溶液的 pH 值,对细菌所需的碱性溶液环境进行良性调节。

国内外学者在 MICP 方法的工程应用方面,展开了大量的研究。近几十年来,微生物诱导碳酸钙沉淀方法,被广泛用于治理重金属污染、修补裂缝、防渗、固砂和软土改良等领域,并取得了很好的效果。蚁曼冰<sup>[1]</sup>开展了 MICP 技术加固软土性能的试验研究,结果表明软土在经过 MICP 技术处理后,其抗剪强度提高 1.15~4.86 倍。同时,其压缩性随养护时间的增多,降低愈发明显,并且即使采用低浓度(0.3%)的菌液浓度对软土进行加固,其压缩特性也低于泥浆固结重塑软土。

## 2.2 胶体二氧化硅处置法

随着纳米技术的发展,许多研究人员提出将纳米材料引入地基处理,以改善土层的力学性能并降低液化风险。用于土壤处理的最便宜和最广泛的是胶体二氧化硅(胶体二氧化硅)。胶体二氧化硅是一种功能强大的材料,胶体二氧化硅被用来稳定地面,通过注入土壤来减缓液化。胶体二氧化硅是二氧化硅颗粒在液相中的悬浮体,它们能够形成氢键。通过调节溶液的 pH 浓度,可将二氧化硅颗粒转化为凝胶。胶体二氧化硅在被诱导进入土壤时起吸水作用,因此防止土壤液化。也可用作高温粘结剂。这是一种非常经济有效的技术,因为胶体二氧化硅具有低粘度和无毒的特性,因此它不会污染地下水资源。

采用胶体二氧化硅处置软土,需要在结构主体的两侧构造注入井和排出井,借助于地下水流和水力梯

度,从地下水的上游方向注入胶体二氧化硅。胶体二氧化硅沿着地下水流动方向流动,分布在地下土层中。从而对土颗粒形成了胶结和保护作用,同时,排出井的抽水会降低土层的含水率,形成排水固结效应。土层整体的承载能力得到提高,沉降量降低(图 1)。

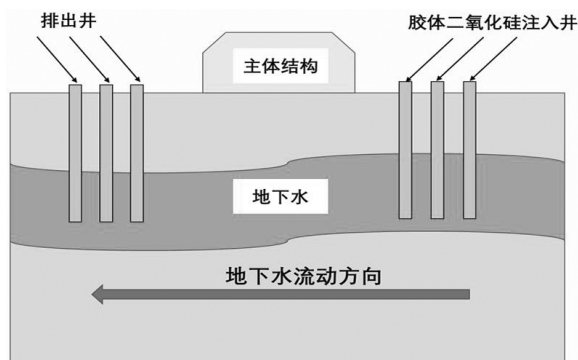


图 1 胶体二氧化硅处置软土结构

Zhao 和 Wong<sup>[2-3]</sup>等人均对胶体二氧化硅处置土开展了试验研究,研究表明,在较低的应力值(100kPa)下,胶体二氧化硅的存在减小了体积变形,增加了刚度。这是因为胶体二氧化硅灌浆粘土保持着土和胶体二氧化硅的不同子区域,这些子区域争夺孔隙水,导致材料更加致密和坚硬。这种水分含量的差异随着压缩量的增加而减小,水被排出。

胶体二氧化硅的存在增加了峰值和极限抗剪强度,但不影响排水黏聚力。这可能是因为胶体二氧化硅的子区域阻碍了剪切面的形成,从而增加了峰值剪切应力,并且二氧化硅对二氧化硅接触比土颗粒之间的接触具有更高的摩擦阻力,从而增加了极限剪切强度(图 2)。

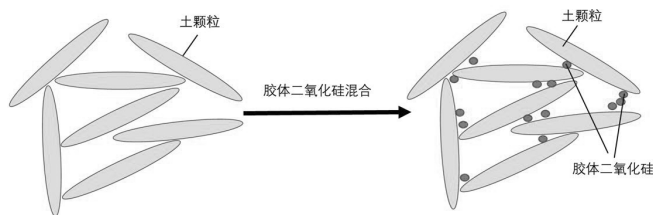


图 2 胶体二氧化硅混合土颗粒

## 2.3 化学电渗法

软土地基处理的化学电渗法是在传统电渗法的基础上发展而来的。它的主要工作原理是在阴极和阳极电极附近分别注入化学溶液。在直流电场作用下,化学溶液发生化学反应,产生相应的沉淀物来加固土体,从而提高土体的强度,加快土体的固结速率。Ou<sup>[4]</sup>等人开展了一系列的化学溶液浓度、适宜土壤类型和处理效果的室内试验,并丰富和完善了相应的施工技术。这项技术在国内的研究和应用仍处于起步阶段。

### 3 软土地基处理综合处理方式

#### 3.1 软土地基处理材料

材料方面的发展主要体现在土工合成材料和灌浆材料方面。土工材料主要体现在土工合成针刺土工布、非织造土工布、PVC、EP、EVA 等新型土工膜、粘土衬垫(GCL)、塑料排水板等。注浆材料主要体现在超细、干磨、湿磨水泥、稳定浆体、膏体浆体等无机注浆材料的研究上。丙烯酸酯、酸性水玻璃、环氧树脂、聚氨酯等已发展成为有机灌浆材料<sup>9</sup>。

#### 3.2 复合负压固结技术

在工程中面对含水量大、渗透能力差、零承载力的软土体时,常规的地基处理方法无法进行,地基处理面临诸多困难。针对这一问题,许多学者提出了复合负压固结技术。该工艺包括改良真空预压、电渗透脱水和动态固结三道工序。改良真空预压可使基础初步固结并具有一定强度,为后续工作做好准备。

电渗脱水可以有效降低夯筑前的地下水位和土壤含水量,促进夯筑后超孔隙水压力的消散。

采用电渗脱水和动力固结多次耦合的方法对挖泥船填筑地基进行加固。研究表明:将改良真空预压法应用于挖泥船填方地基处理时,可迅速提高地基承载力,电渗法可迅速降低地下水位,有效避免强夯过程中“弹簧土”现象的发生,从而提高最佳夯击能。复合负压固结技术可有效地应用于新填软土地基。

#### 3.3 表面预处理竹网技术

在生态环境建设的大背景下,软土处理的材料逐渐向生态化,可再生化发展,鉴于此,表面预处理竹网技术被应用于处理表层软土,实现了工程需求和生态环境发展的有机结合。

表层软土常用的预处理技术有多层土工格栅+土工布+砂垫层技术、荆棘和竹套预处理技术、无砂真空预压等。表面预处理竹网技术是一种基于筏板技术的表层预处理技术,它将垂直的竹子插入软土中,使竹网成为框架竹网结构。由于该技术使竹筏成为三维框架,竹网络趋于在平面内稳定。表面预处理技术对于改良含水量大于100%的流动性软土和软土地基具有很强的现实意义。

超软地基表层竹网加固技术的主要工艺流程如下:①在软土表面铺设一层编织布。编织布的作用主要是在软土表面形成工作面。②铺设垂直竹网。竹网间距相同。竹的厚实部分重叠在竹网中较细的部分。搭接长度大于1m。用钢丝绑扎搭接段。绑扎铁丝的方向必须相反。③首先,在竹网上铺一层编织布。随后,在竹网上铺设沙垫层。铺设沙垫层需要使用小型设备。在中间区

域铺设道路后,铺设两侧。同时,要防止竹网边缘隆起。

在汕头某工程试验段的原位试验结果表明,在竹网铺设前,软土表层承载力平均为7.7kPa。3个月后表层承载力平均为32.6kPa。根据上述计算值,3个月后软土表层承载力比早期处理提高323%,比未处理提高695%。结果表明,表层承载力改善效果突出。

### 4 结语

本文通过对一系列软土地基处理方法的简要介绍,着重介绍了新技术、新方法、新材料的研究和使用前沿,得出以下结论和建议。

(1)随着加固方法的不断改进和发展,软土地基处理从单一的加固方法逐渐发展为多种方法的复合形式,并从单一的物理加固方法逐渐转变为物理加固法和化学加固法的结合。

(2)随着材料科学的发展和国家节能环保管理的加强,软土地基处理手段正从高能耗、高污染技术逐步向低碳、人与自然和谐发展的新技术发展。

(3)随着管理方法的创新,软土地基处理从消耗大量人力、材料和费用逐步发展到实现机械、经济的方法。

(4)随着沿海城市填海工程和跨海桥梁工程的兴起,在建设中会面临更的软土的问题,需要相关工程技术人员和单位加大技术经济投入。

#### 参考文献

- [1] 蚁曼冰. MICP 技术加固软土的物理力学性能研究[D]. 汕头: 汕头大学, 2020.
- [2] ZHAO M, LIU G, ZHANG C, et al. State-of-the-art of colloidal silica-based soil liquefaction mitigation: An emerging technique for ground improvement [J]. Applied Sciences, 2020, 10(1): 15.
- [3] WONG C, PEDROTTI M, EL MOUNTASSIR G, et al. A study on the mechanical interaction between soil and colloidal silica gel for ground improvement[J]. Engineering Geology, 2018, 243(4): 84-100.
- [4] OU C Y, CHIEN S C, LEE T Y. Development of a Suitable Operation Procedure for Electroosmotic Chemical Soil Improvement [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2013, 139(6): 993-1000.
- [5] 熊燕舞. 土工合成材料的发展与新技术[J]. 交通世界, 2003(7): 30-35.

作者简介:雷芳芳(1996—),女,汉族,广东广州人,本科,助理工程师,主要从事市政路桥设计相关工作。