

软土改良方法的微观机理

左威龙¹, 李明东², 黄志洪¹

(1. 江苏省水利勘测设计研究院有限公司, 江苏 扬州 225009; 2. 淮海工学院, 江苏 连云港 222005)

摘要 :从土粒作用的角度形象地对软土处理的常用方法原理进行了分析,并按照原理的不同相应将处理方法分为 4 类:固结处理、固化处理、局部强化和水平连接,并详细介绍了近期开发的轻质土处理方法,为各处理方法提供了一个近期工程实例。

关键词 :软土处理;土粒作用;固结处理;固化处理;局部强化;水平连接;工程实例

中图分类号 :TU470+.1 **文献标志码** :A **文章编号** :1006-7647(2012)S1-0015-04

在我国东部沿海地区软土分布十分广泛,如渤海湾、天津塘沽、长江三角洲、浙江、珠江三角洲以及福建广东的沿海地区^[1]。软土因其含水率高、孔隙比大而存在强度低沉降大的缺点,容易引起地基的稳定破坏和上部结构的开裂^[1],给工程建设带来了很大困难。然而该地区经济最发达,土木工程量也最大,例如,我国计划用 30 年的时间建成 8.5 万 km 国家高速公路网^[2],其中大量路段通过该地区,软土的改良处理是不可避免的。软土的改良方法很多,新方法、新材料、新工艺不断涌现,对一个具体工程来说,如何选择合适的软基处理方式是工程师颇费心思的问题^[3]。正确理解各种处理办法的基本原理,对正确选用软土改良的方法会有很大帮助。

本文从微观的角度对软土改良的原理进行分析,对地基处理的方式进行分类,并为各种处理方法提供近期的工程实例。

1 软土的天然形态

软土具有孔隙比大、含水率高、粒间连接弱的特点。其形态可以概化为如图 1 所示,图中黑色的圆

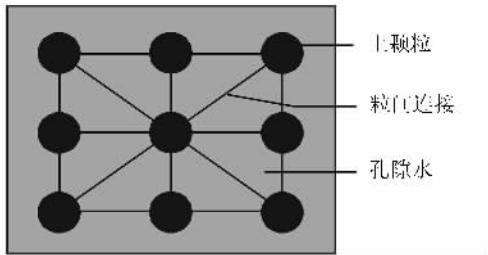


图 1 未处理软土形态示意图

圈代表土颗粒,灰色的代表孔隙水,土粒间的线条代表土颗粒之间的微弱作用。

2 改良原理和方法

2.1 固结处理方法

2.1.1 原理

固结处理就是通过各种方法排出软土中的部分水分,降低含水率和孔隙比,减小土颗粒之间的距离,使土颗粒之间的作用增大,从而起到提高土体强度、降低压缩性的目的,是最常用的软土处理方法。

固结处理方法有两个条件:①施加固结应力;②提供排水通道,如图 2 所示。固结应力的施加使得土体中产生超静孔隙水压力,成为土体中的水排出的源动力;当荷载施加到饱和软黏土上时,最先承受外力的是土体中的水,随着荷载的持续作用,孔隙中的自由水开始逐渐排除。排水系统的提供则是给了孔隙水以出路,使得孔隙水能够顺利排出。孔隙水的排出过程即为固结过程。

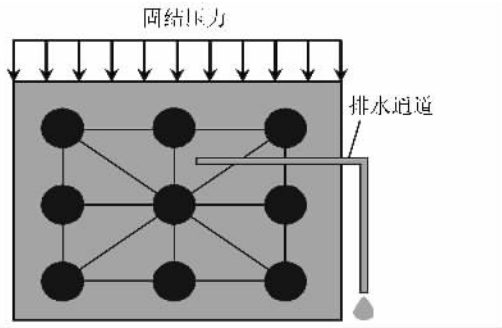


图 2 固结处理的条件

软土经过排水固结后如图 3 所示,孔隙水排出,

粒间距离减小,粒间作用增强,土体强度提高,从而满足工程所需承载力。另一方面,土体固结过程中产生沉降,由于土粒和水不可压缩,沉降量就等于排水量。由于该沉降在工程开始前已完成,工程的沉降量也相应减少,从而满足工程的变形要求。

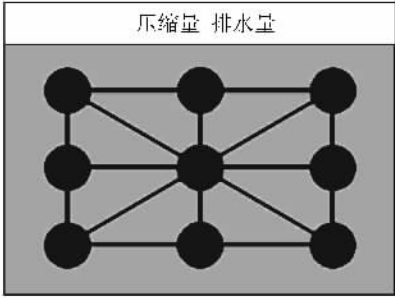


图3 软土固结处理后的形态示意图

2.1.2 具体方法及工程实例

固结处理方法按照加压方式的不同可以分为静力固结和动力固结。静力固结又有堆载预压或超载预压、真空预压和真空堆载联合预压,动力固结主要是强夯法,对于软土一般采用强夯置换法。排水系统一般由塑料排水板、砂井、碎石井、袋装砂井、排水盲沟、砂垫层等不同方式中的一种或几种组合形成。各常用方法的最近工程实例见表1。

表1 固结处理工程实例

方 法	近期工程实例
降水预压法	宁通一级公路 ^[4]
真空预压法	太浦河堤防 ^[5]
砂井堆载预压法	深圳地铁 ^[6]
电渗排水法	少用
真空-堆载联合预压法	杭金衢高速公路 ^[7]
强夯置换法	江苏南通某电厂 ^[8]

2.2 固化处理方法

2.2.1 原理

固化处理就是在软土中加入胶结材料,如水泥、石灰等,利用胶结材料的水化反应生成的胶结物质将土颗粒联系起来形成一个整体,故称为固化处理。

固化处理方法有3种作用:①胶结作用。固化材料与水产生水解水化反应,可以生成水化硅酸钙、水化铝酸钙等胶结物质,同时生成的氢氧化钙会和土中的活性二氧化硅、三氧化二铝等产生硬凝反应,进一步生成上述胶结物质,正是这些物质将固体颗粒胶结在一起,得以形成整体。②减水作用。固化材料的水化反应会消耗掉土体中的水分,土中水的减少会进一步提高土体的强度。③填充作用。水化生成物除了胶结物质以外,还有一些晶体,它们填充在土体内,进一步提高了土体强度^[9]。

软土经过固化处理后的形态如图4所示,粒间连接因胶结物质的产生大增,胶结物质和晶体置换

了孔隙水,使土体含水率降低,土体强度提高,从而满足工程所需承载力。另一方面,土体固化成为一个整体,研究表明其破坏变形很小^[9],因而满足工程的变形要求。

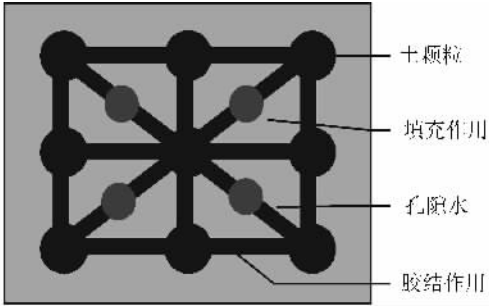


图4 软土固化处理后的形态示意图

2.2.2 具体方法及工程实例

固化方法中常用的胶结材料有水泥、石灰、粉煤灰、水玻璃等,也有它们的组合材料,如二灰土。常用胶结材料和最近工程实例见表2。

表2 固化处理工程实例

胶结材料	近期工程实例
石灰	南邓高速公路 ^[10]
二灰土	南徐路拓宽改造工程 ^[11]
水泥	较少

2.3 局部强化方法

2.3.1 原理

局部强化方法就是在软土的局部加入强度较高的断面,之所以名为局部强化方法,是因为它不像固结方法和固化方法一样对整个软土进行强化。软基在局部增强之后,往往和周围的软土组合形成复合地基,进一步提高整体强度。

局部强化方法除了局部强化和复合地基作用外,可能的作用还有:①挤密作用。挤密施工的桩都会对土体产生挤压作用,从而产生超静孔隙水压力,随后的排水过程产生固结效果。②减水。水泥、石灰等材料都会吸收软土中的水分,降低其含水率,也能起到一些提高强度的作用,如粉喷桩、石灰桩和二灰桩。③排水。散体材料的桩,如砂桩、碎石桩,这些材料渗透性好,可以为软土提供排水通道。

软土经过局部强化处理后的形态如图5所示,强化部分的桩体承担了大部分的荷载,减小了土体所承担的荷载,从而满足承载力要求;另一方面,桩体刚度较大,变形较小,满足工程的变形要求。

2.3.2 具体方法及工程实例

局部强化方法一般都是在土体中加入桩,其区别体现在桩体材料和施工工艺上。根据桩体材料可以分为砂桩、碎石桩、石灰桩、土桩、水泥桩及其混合材料桩和钢筋混凝土桩。根据施工工艺的不同可以分为挤

密桩和非挤密桩。常用方法及近期工程实例见表 3。

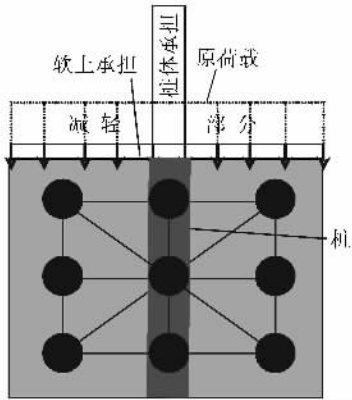


图 5 软土局部强化处理后的形态示意图

表 3 局部强化处理工程实例

方 法	近期工程实例
砂 桩	天津港 ^[12]
碎石桩	某水利工程 ^[13]
粉喷桩	天汉路 ^[14]
旋喷桩	上海世博填筑 ^[15]

2.4 水平连接法

2.4.1 原理

水平连接法就是在软土中加入抗拉材料,通过抗拉材料与软土之间的摩擦力对土产生侧向限制,阻止侧向挤出,从而减小变形特别是侧向变形,起到提高地基稳定性的作用。抗拉材料的在承受拉力的同时,对土体产生压力,也就是围压。根据摩尔库仑准则,围压的增加提高了土体承受竖向荷载的能力,也能起到提高地基稳定性的作用。

水平连接法除了侧向限制作用外,还会将上下层土的联系增强,增强土体的整体性。另外,作为连接材料的土工织物往往具有较好的透水性,可以加快软土的排水。

软土经过水平连接处理后的形态如图 6 所示,在外荷载作用下,土工织物的侧向限制作用、侧向压缩作用以及对整体性的提高,提高了土体的承载能力和抗变形能力,以满足工程的要求。

2.4.2 具体方法及工程实例

工程中常用的水平连接材料是土工格栅和土工

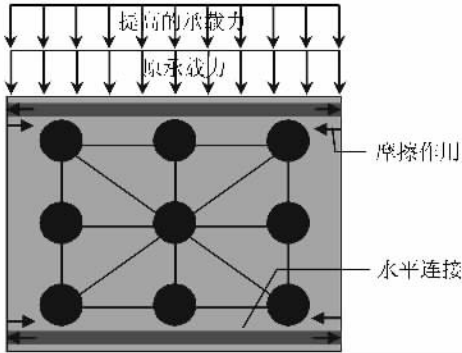


图 6 水平连接处理原理及结果

布,近期工程实例见表 4。

表 4 水平连接处理工程实例

连接材料	近期工程实例
土工格栅	秦沈线 ^[16]
土工布	沈阳至大连高速公路 ^[17]

2.5 降低荷载法

2.5.1 原理

提高软土的稳定性,减小其沉降,有两种办法,一种是提高软土的强度,另一种是减小上覆荷载。前述的 4 种方法都属于第一类。从 20 世纪 50 年代开始有了第二类方法,又称为轻质土法,20 世纪 90 年代开始引入我国,并得到了较快的发展。

降低荷载法原理是将软土变成密度较小的材料,从而减小施加到下层软土上的荷载,以满足下层土的承载力要求;另一方面,荷载的减小也会减小下层软土的沉降,从而满足工程的变形要求。降低荷载法原理如图 7 所示。

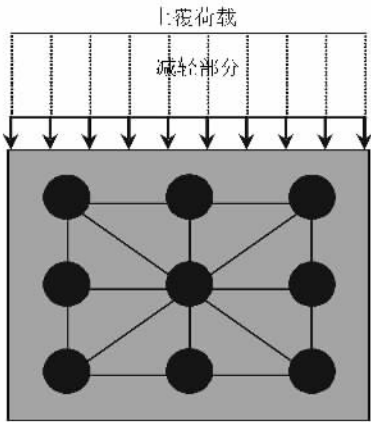


图 7 降低荷载法软土处理原理

2.5.2 具体方法及工程实例

按照轻质材料的不同轻质土可以分为单一型轻质材料和复合型轻质材料。单一型轻质材料有泡沫塑料、粉煤灰、废旧轮胎、木屑等,复合型轻质土则是上述轻质材料与土的混合物,为了提高强度,往往还会加入水泥等胶结材料。现在最高级的轻质土就是在土中以气泡的方式加入空气,在固化材料固化后形成具有大量空洞的轻质高强的轻质土,称为气泡混合轻质土。上述轻质土中应用最广泛的有粉煤灰、EPS 块材、EPS 颗粒混合轻质土和气泡混合轻质土,其工程实例见表 5。

表 5 常用轻质土及工程实例

轻质土种类	工程实例
粉煤灰	镇江平政桥桥头回填 ^[18]
EPS 块材	某高速公路涵洞 ^[19]
EPS 颗粒混合轻质土	宁波市通途路 ^[20]
气泡混合轻质土	东京国际机场 ^[21]

3 结 语

本文从微观的角度对软土处理的方法、原理进行了分析,希望对新方法的产生具有启发作用。整理给出了各种方法最近的工程实例,以便于工程人员借鉴和参考。

参考文献:

[1] 杨顺安,冯小腊,张聪辰.软土理论与工程[M].北京地质出版社,2000.

[2] 中华人民共和国交通部.国家高速公路网规划[R].北京:中华人民共和国交通部,2005.

[3] 殷宗泽,龚晓南.地基处理工程实例[M].北京:中国水利水电出版社,2000.

[4] 卢廷浩,殷宗泽,田孝发.宁通一级公路南通段软基处理研究[J].水利水电科技进展,1999,19(4):31-33.

[5] 林毅峰.真空预压法在太浦河泵站堤防滑坡加固中的应用[J].水利水电科技进展,2004,24(4):47-50.

[6] 宋绪国,隋孝民.深圳地铁南头车辆段软基处理设计[J].铁道勘测与设计,2000(4):24-26

[7] 彭杰,刘汉龙,陈永辉.真空-堆载联合预压法加固机理讨论[J].河海大学学报:自然科学版,2003,31(5):560-563.

[8] 高有斌,沈扬,徐土龙等.高真空击密法加固后饱和吹填砂性土室内试验[J].河海大学学报:自然科学版,2009,37(1):86-90.

[9] 张春雷.淤泥固化土力学性质及固化原理研究[D].南京:河海大学,2002.

[10] 张海彬.石灰改良膨胀土的理论与实践[J].铁道建筑,

2005(10):38-40.

[11] 赵淑敏.二灰土现场试验检测方法探讨[J].公路,2003(4):123-124.

[12] 李宝强.挤实砂桩加固饱和软粘土岸坡地基的应用研究[J].中国港湾建设,2005(6):29-34.

[13] 王保田,张福海,王炳奇.碎石桩复合地基及其在水利工程中的应用[J].水利水电科技进展,2001,21(4):56-58.

[14] 叶传浩.粉喷桩土工格栅方案在天汉路改建工程中的应用[J].华东公路,2005(4):61-62.

[15] 陈国栋,梁永辉,詹金林.高压旋喷桩复合地基在世博项目中的应用[J].岩土工程学报,2010(增刊2):414-417.

[16] 李志清,胡瑞林,付伟等.土工格栅在加固高速公路路堤中的应用研究[J].岩土力学,2008(3):795-799.

[17] 张荣博.高速公路改扩建工程的路基施工[J].辽宁交通科技,2005(12):17-19.

[18] 沈正,董祥,宗兰.固化剂.JNS-1 固化粉煤灰在台背回填中的应用研究[J].铁道建筑,2010(3):103-106.

[19] 郭婷婷.EPS 板在上埋式涵洞土压力减荷中的应用与分枰[J].水利水电科技进展,2011,31(1):74-78.

[20] 周晔,郑荣跃,刘干斌.EPS 轻质土强度试验及在软土路基沉降控制中的应用[J].公路交通科技,2010(8):34-39.

[21] TSUCHIDA T,KANG M. Use of lightweight soil method in seaport and airport construction projec[C]/Proceeding of the International Workshop on Lightweight Geo-Materials. Tokyo : JSCE,2002.

(收稿日期 2011-08-08 编辑 熊水斌)

· 简讯 ·

首届中国湖泊论坛在南京举办

由中国科学技术协会主办,江苏省科学技术协会、江苏省水利厅、淮安市人民政府等单位共同承办的首届中国湖泊论坛于 2011 年 12 月 10—11 日在南京举办。本届论坛的主题是“湖泊健康与可持续发展”,来自全国的 800 多名水利湖泊研究的学者和工作人员参加了本届论坛,对湖泊资源利用、湖泊生态保护、流域综合治理及水科技创新等开展跨学科、跨行业、综合性的交流和研讨。主论坛上,国家自然科学基金委员会主任陈宜瑜围绕“强化湖泊分类管理 促进湖泊生命健康”这个主题,从湖泊富营养化、湖泊生态退化、生物多样性减少等角度剖析了中国湖泊面临的问题,并提出生态系统重建等解决方案;中国环境科学研究院院长孟伟从城市化发展对湖泊的污染和综合治理措施等角度阐述了国内水与污染的问题;中国水利水电科学研究院水资源研究所所长王浩作了“内陆河流典型湖泊生态水文机理与生态需水”的报告。4 个分论坛的主题分别为湖泊保护与资源利用、湖泊流域发展与综合治理、湖泊水环境治理与生态保护、水科技创新与产业转型升级。与会人士对湖泊健康与可持续发展的研究成果进行了交流和探究,最终达成共识并发表《南京宣言》。

(本刊编辑部供稿)