

ZHENCHONG SUISHIZHUANG FUHE DIJI



振冲碎石桩 复合地基

何广讷 编著

● 人民交通出版社

振冲碎石桩复合地基

何广讷 编著

人民交通出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

振冲碎石桩复合地基/何广讷编著. -北京: 人民交通出版社, 2001.5

ISBN 7-114-03960-3

I . 振… II . 何… III . 夯实加固-地基
IV . TU472.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 033668 号

Zhenchong Suishizhuang fuhe Dijī

振冲碎石桩复合地基

何广讷 编著

正文设计: 王静红 责任校对: 尹 静 责任印制: 张 凯

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 9.625 插页: 1 字数: 258 千

2001 年 8 月 第 1 版

2001 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001 — 3000 册 定价: 22.00 元

ISBN 7-114-03960-3

TU • 00078

内 容 提 要

振冲碎石桩加固松、软土地基,形成复合地基或复合土体,以提高其承载力、增强稳定性、减小沉降量,同时还显著地增强其抗震性能,不论是公路、桥梁、堤坝和房屋等建筑的软基均可采用振冲碎石桩处理成复合地基以满足工程使用与抗地震的要求。而且该法施工简便、快速、不用工程紧俏的三材,是一种较经济、合理的加固松、软土的技术。

本书系统、详尽地论述了振冲碎石桩复合地基的加固机理及设计、施工、检验方法,并附有若干工程实例,可供交通运输、土木建筑、水利电力等系统从事岩土工程勘察、设计、施工和检验的技术人员使用;亦可作为高等院校相应工程专业的教学参考书。

前 言

松、软土是泛指松散的无粘性土和软塑至流塑状态的粘性土。前者包括砾砂以下至粉砂的各类松散砂土,后者有软粘土、淤泥质土和淤泥等。除此之外,还包括近期堆(冲)填的素填土和杂填土,其中有的甚至含相当部分的生活垃圾。显然,这类土基远不能承担建筑物的荷载。地基承载力不足,容易失稳;或沉降与不均匀沉降过大;或于地震震动下产生严重的液化与震陷。因此,对这类松、软土地基必须采取有效的工程措施进行加固处理,或采用桩基、沉井等深基础,或开挖置换,或在松、软土中构筑柔性桩与散体材料桩,例如水泥土桩、砂土桩、碎石桩、水泥粉煤灰碎石桩等等,这些桩体与桩间软土形成复合地基,共同承担其上建筑物的荷载。复合地基既充分发挥桩体的功能,又适当地调动桩间松软土的负载能力,故复合地基较原软土地基的强度大为提高,稳定性好,沉降与不均匀沉降小,且施工简便、快速,也比较经济,是适合我国国情的一种人工地基。

鉴于一些工程部门和技术人员对振冲碎石桩复合地基的情况还不甚了解,因而,很需要一本既简明、实用,又比较系统地探讨这种技术的书籍。本书就是在这样的背景下,基于作者多年的工程实践和研究编写而成。本书除详尽地阐述振冲碎石桩复合地基的理论、设计、施工与检验外,还介绍了若干如何采用振冲碎石桩构筑复合地基或复合土体。顺利地克服了松、软土地基给建筑物带来严重危害的工程实例,以使读者更好地了解和具体地运用这一新技术。书中同时附录了有关设计计算等资料,以及相应的规范和规程,以期做到一书在手,即可方便地进行振冲碎石桩复合地基的技术设计、指导施工和检验。

本书吸收了许多科研、教学、设计和施工单位的研究与实践的

成果,除书后所列参考文献外,作者还介绍了中日合资大连金波土木工程有限公司于洪治、韩玉令、戴薇、高明、王大为、邓文有、刘成明;浙江省水电建筑工程总公司沈兆琛;浙江省水电勘测设计院来妙法;浙江省宁海县水利水电勘测设计院吴黎华;浙江省绍兴市公路管理处胡坚锋;浙江省绍大线建设工程指挥部金耘;绍兴市交通工程公司候义辉;大连理工大学黄才良、颜娟,以及交通部第二公路勘察设计院、广东省航务工程总公司等设计的振冲碎石桩,并引用了中日合资大连金波土木工程有限公司施工的振冲碎石桩复合地基的若干工程实例,在此一并表示感谢。

书中亦介绍了著者在振冲碎石桩复合地基方面的某些探讨,例如振冲碎石桩复合地基的功效、复合地基承载力标准值修正的探讨、Priebe 方法确定碎石桩复合地基粘聚力强度指标的修正、散体材料桩极限承载力的近似理论计算、碎石桩复合地基的沉降计算与固结度分析、振冲碎石桩复合地基的液化势判别以及振冲碎石桩复合地基抗地震液化的设计方法等内容。限于著者水平,上述内容难免有错误与不当之处,敬请读者给予指正。

何广讷

2001 年 3 月于大连

目 录

第一章 概论	1
一、复合地基	2
二、振冲技术加固松软土地基的概况	3
第二章 振冲技术改善松软土地基性能的机理	13
一、振冲碎石桩改善土工程性态的机理	13
二、振冲碎石桩复合地基的功能	16
三、振冲碎石桩的成桩条件、极限承载力与承载力	24
第三章 振冲技术加固松软土地基的设计	32
一、振冲置换碎石桩复合地基的设计	32
二、振冲密实砂石桩复合地基	75
第四章 振冲碎石桩复合地基的施工	91
一、施工机具与设备	91
二、施工前期工作	96
三、施工	102
第五章 振冲碎石桩复合地基的检验	110
一、概述	110
二、复合地基的荷载试验	113
三、碎石桩体的动力触探检验	115
四、振冲碎石桩复合地基液化势的检验	123
五、振冲碎石桩复合地基施工质量的总体评价	124
第六章 公路软基的振冲碎石桩加固	128
一、概述	128
二、京珠高速公路广珠东段灵山试验路的振冲碎石桩加固	129
三、绍大线市区段鉴湖大桥桥台北侧过渡段振冲碎石桩	

加固	133
四、肇庆大桥端州立交 AB 及 AE 匝道软基振冲碎石 桩加固	138
五、大连市快速轨道三号线车辆段填海路工程地基 振冲碎石桩加固方案	147
第七章 振冲碎石桩复合地基的若干工程实例	157
一、房屋松软土地基的振冲加固	157
二、水工建筑松软地基的振冲加固	172
三、大罐松软土地基的振冲加固	198
附录一 盘锦辽河大堤地基振冲加固试桩施工组织设计	209
附录二 绍兴市汤浦水库坝基振冲碎石桩加固工程 施工组织设计	213
附录三 附加应力系数 α 、平均附加应力系数 $\bar{\alpha}$	228
附录四 重型动力触探技术规定	251
附录五 砂土、碎石土地基承载力标准值	254
附录六 砂土、碎石土及粉土变形模量标准值 E_0	256
附录七 砂土、碎石土内摩擦角标准值 φ_k	258
附录八 建筑地基处理技术规范(JGJ 79—91)(节选)	259
附录九 公路软土地基路堤设计与施工技术规范 (JTJ 017—96)(节选)	270
附录十 石油化工钢储罐地基处理技术规范 (SH/T 3083—1997)(节选)	272
附录十一 火力发电厂振冲法地基处理技术规范 (DL/T 5101—1999)	279
参考文献	298

第一章 概 论

我国地域辽阔,土类繁多,其中松、软土类就占有相当大的比例。其成因类型有海岸沉积、浅海沉积、湖泊沉积、河滩沉积或残积,以及近期人工吹填、堆填的土。这些土多是我们在建筑地基中遇到的含水量高、孔隙率大的泥炭、淤泥、淤泥质土或极松散的砂类土、素填土、杂填土,甚至还含有生活垃圾。这些土的强度很低,压缩性大、抗震性极差。在含有这类土的地基上建造建筑物时,常常发生各种工程事故。以往在选址时多避开这种不利的建筑场地。随着人类建筑事业的发展,建筑占地迅猛增长,我国虽然领域辽阔,但我们日常生息活动的领域里,土地资源却很紧张,必须充分合理地运用。再加上使用上或其它种种原因,常使我们不得不在不良的地基上建造各种建筑物。此时就必须发挥人的主动创造性,运用科学技术改造自然,改造不良地基,将其转变为我们所需要的良好地基。地基加固处理就是直接改造不良地基的技术之一。

近几十年来,由于工业技术的发展,给地基处理工程提供了有力的手段,重型起吊机械促成强夯技术,潜水电机的产生造就了振冲技术,高效真空泵的出现导致真空预压加固,高能空气压缩机问世引出了高压喷射注浆法。加之生产的需要,促使地基处理技术的发展十分迅速。从加速软土排水固结的观点出发,建立了砂井、塑料排水板的预压法;出于深层土挤压密实的考虑,形成了强夯法与振冲法;基于以粗粒土置换地基中的部分软土的垫层法、开挖置换法等,逐渐发展了振冲置换法、强夯置换法;从电硅化法拓展出水泥深层搅拌法、粉喷桩法、高压注浆法等,并形成了复合地基的新概念。

一、复合地基

本书所探讨的复合地基是指在松软土中构筑各类桩体(亦即竖向增强体),与桩体间原有的松软土体共同承担其上建筑物的荷载,以提高地基的承载力,增强地基的稳定性,减小沉降与不均匀沉降,弥补原松软土地基的不足,保证了工程的需要。这种由两类不同强度和刚度介质组成的人工地基,即称为复合地基,又称为桩体



图 1-1 复合地基示意图

复合地基,如图 1-1 所示。基于在松软土中所构筑桩体的刚硬程度不同,又可分为散体材料桩复合地基,如砂桩复合地基、碎石桩复合地基;柔性桩复合地基,如石灰桩复合地基、水泥土搅拌桩、粉喷桩、旋喷桩等复合地基;刚性桩复合地基,即预制桩、灌注桩等复合地基。这三类复合地基中桩体破坏的机理不同,桩的极限承载力以及各自复合地基承载力的计算方法亦不相同。但复合地基中的桩体和桩间土的刚硬度都相差较大,即压缩模量不同,因此,作用于复合地基上的荷载将通过二者的变形协调,分别传递给桩体和桩间土,合理、协调地发挥桩体与桩间土的负载能力,故复合地基是一种经济、合理的加固松软土地基。

改革开放促进了我国的现代化建设,尤其是近期来在土建方面取得了显著的成就。一些高楼大厦拔地而起、道路、桥梁、海港、码头、机场等许多建筑已达到令人欣慰的现代化标准。但我们还应注意我国仍属发展中的国家,经济实力有限,这就构成我国现代化建设的特点,即必须处理好高速建设与有限资金的合理协调。为加固高层和重型结构的地基以及松软土地基,就需本着投资少,充分利用原土体的功能,结合构筑于其中的桩体,以形成复合地基承担其上的荷载。这种复合地基既充分发挥了土的负荷能力,又加入了强度高的桩体承担土所不能承受的部分荷载,故复合地基能提高承载力、增强稳定性、减少沉降与不均匀沉降,且施工简便、快速、

缩短工期。多年的工程实践充分表明,复合地基为适合我国国情的一种人工地基,故不论在理论、设计和施工以及控制的法规方面都发展得很快,许多方面已处于国际先进水平,有的甚至为领先水平。

根据具体条件,可以优选在土中筑成不同种类的桩体,例如砂土桩、水泥土桩、碎石桩、水泥粉煤灰碎石桩等等,构成不同桩体的复合地基。下面介绍振冲碎石桩构成的复合地基。

振冲碎石桩法在我国还不太普及,在有些地区和领域里也不甚了解,很少采用。然而由于其自身的一些优点,加固软土地基效果好,速度快,适用性广,投资较少而又是可靠的一种地基加固处理技术,近期已在我国获得较快的应用和推广。

二、振冲技术加固松软土 地基的概况^[1~12]

振冲技术亦称振冲法,依其加固松软土的途径、手段不同,可分为振冲挤密法和振冲置换法或称振冲碎石桩法。

振冲法是以起重机吊起振冲器,启动潜水电机带动偏心块,使振冲器产生高频振动,同时开动高压水泵,使高压水由喷嘴射出,在振冲作用下,将振冲器逐渐沉入土中的设计深度。清孔后即从地面向孔内逐段填入碎石。每一填石段为 30~50cm,不停地投石振冲,经振挤密实达到设计要求后方提升振冲器,再填筑另一桩段。如此重复填料和振密,直到地面,由此在地基中构成大直径的密实碎石桩体,形成桩体与桩间土共同工作的复合地基。建筑物及其承担的荷载即由地基中的碎石桩和振密了的土体共同承担,因此,复合地基的承载力较原松软地基大为提高,而沉降与不均匀沉降将显著地减小。振冲法施工过程的示意如图 1-2 所示。

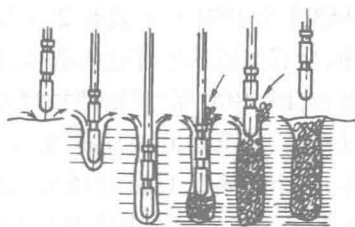


图 1-2 振冲法施工顺序稳固

(一)振冲技术的产生、发展及其在国外的应用概况

振冲法于 1937 年首次用于处理柏林某大楼深达 7.5m 的松砂地基,使该砂基的密实度由 40% 振密为 80%,承载力提高了 1 倍。50 年代振冲法引入美国,试用于安德斯坝工地,有效地提高了砂基的密实度,随即在美国和西欧推广应用。例如美国鲍尔特门 (PortMann) 桥基,以振冲法加固深达 25m 的松砂。箱峡水电站拦河闸闸基细砂层处理前其密实度仅为 25%,处理后高达 70%。英国曾采用振冲法处理建筑垃圾堆填的地基与粉煤灰场地等。1957 年日本也引进了这种技术处理油罐松砂地基。1964 年和 1968 年,日本新潟与十胜冲地区曾先后发生 7.7 级和 7.8 级强烈地震,结果凡采用振冲法处理过的砂基,液化现象大为减轻,建筑物基本上保持完好。而未经处理的砂基上,建筑物则受到严重的破坏,由此更扩大了振冲技术的应用。如埃及 (1962 年) 阿斯旺坝坝内砂棱体经振冲处理后,细砂的密实度达 70%;尼日利亚 (1965 年) 20 层办公楼的松砂地基处理后,其密实度高达 80%;美国 (1972 年) 卡尔隆原子能电站厂房的松砂和粉细砂地基处理后,其密实度高达 80% ~ 90%,承载力由 150kPa 增至 300kPa。

德国凯勒 (Jahann Keller) 公司和英国西曼特辛 (Cementation) 地基工程公司,分别于 1959 年和 1960 年将振冲法拓广用于处理软粘性土地基,在软土中筑碎石桩组成复合地基,满足设计要求,应用于许多房屋、油罐和堤堰软基的处理。其中英国的曼彻斯特自 1963 年至 1974 年中就有 2.6 万多栋房屋的地基采用了振冲法处理,所有经振冲处理过的地基,其上之建筑物至今仍处于良好的状态;英国 (1970 年) 底斯港料罐直径 44m,地基为河口沉积软粘土经处理后,其沉陷由 485mm 减小为 150mm,沉降差 33mm;德国 (1970 年) 两个油罐高 18m,直径 55m,建于回填的粘土和淤泥地基上,经振冲法处理后两端沉陷差小于 1/800,满足了设计要求。

近十多年来国外以振冲法处理松、软土地基与土构物的实例^[7~12]有:1985 年报导美国一污水处理厂地基为松散堆填土与河

口沉积土,厚为 5~15m,采用振冲法处理后,获得沉降减少 30%~50%的满意结果;1988 年报导,俄罗斯第聂伯一顿巴斯运河航线上一建筑场地,为水力冲填砂,采用振冲挤密处理提高了地基的稳定性,减缓了液化势,效果很好;1989 年报导,美国宾夕法尼亚州中部的吉尔柏顿电力工程粉煤灰处理场的粉煤灰地基,经振冲置换加固后能支承其上的重型粉煤灰处理设备,满足设计与使用要求;1991 年又报导了爱尔兰首都——都柏林港于水力冲填土上修建 6 个大罐和砂堤,为此采用了振冲法处理冲填土地基,经动力标贯检验、施工期与负荷期的沉降观测以及具体验算,均表明振冲处理后的冲填土地基完全达到满意的程度;1992 年又报导了在 1989 年 10 月 17 日旧金山地震中,加州阿克兰大港第 7 街的航运站,遭到严重的液化破坏,修复中为消除今后再发生液化的可能性,于码头沿线的围堤四周 12m 宽的范围内,采用了振冲法加固地基,满足了设计要求;1992 年报导了土耳其的安卡拉市某港的 2 个谷仓软土地基,采用振冲置换法成功地提高了地基承载力,减少了沉降和液化势。

(二)国内运用振冲技术的概况

1977 年振冲法引进我国后即获得迅速地推广,大量用于土建、水利、冶金和交通等工程的地基与土构物的加固处理。例如官厅水库下游坝基松砂的加密,消除了液化;四川铜街子水电站工地漂卵石层下的细砂加密;南京船舶修造厂船体车间淤泥软基的处理;南通天生港电厂烟囱、厂房的粉细砂地基处理后,其极限承载力由 150kPa 提高到 600kPa;江阴澄西船厂宿舍及重型设备地基为吹填粉细砂,处理后其承载力达 200kPa;龙口电厂主厂房的砂基,为防止液化,处理后其密实度由 40%~67%提高至 69%~117%,消除了 7 级地震液化的可能性;徐州铜山水泥厂的粉砂地基的标贯仅 6.5 击,处理后增至 23.7 击,承载力大于 250kPa,消除了 7 级地震液化的可能性;天津塘沽长芦盐场化工厂烟囱,锅炉车间的软粘土地基、十字板强度仅 16.4kPa,处理后复合地基承载力由

40kPa 增至 90kPa;烟台 18 层的交通大厦,地基土层为杂填土、粉土、淤泥、细砂、粉砂、砾砂等,处理后复合地基承载力达 310 ~ 380kPa,满足设计要求;华东石油销售公司高桥油罐地基为粘质粉土、淤泥、粉质粘土等,其承载力为 90 ~ 100kPa,处理后复合地基的承载力达 200kPa,并可抗阻 7 度地震液化。

近年来大连金波土木工程有限公司对各种不同的松软土地基进行了振冲处理,满足了工程的要求,缩短了工期,取得了相当好的经济效益和社会效益,现列举若干工程实例如下:

引碧入连供水工程(北段)大沙河倒虹吸深挖槽地基的粉细砂地段于 7 度地震下可产生液化。而淤泥质粉土段呈软塑状,地下水又极丰富,埋藏深度距地表仅 0.7m 左右,强度极低,给深槽下软土处理带来极大的困难。若采用灌注桩等其它处理方法实难实施,而且容易出现缩颈、断桩等弊病,难以保证施工质量。后以振冲碎石桩顺利地完成了加固任务,复合地基承载力达 400kPa,远超过设计值 210kPa,消除了液化,缩短了工期,取得了巨大的经济效益与社会效益,获得一致好评,定为省优工程;长海县第一中学教学楼地基土主要为淤泥、淤泥质软土等,厚达 8m 左右,承载力仅 40 ~ 100kPa,远不满足上部荷载的要求。经多种加固方案比较后采用振冲碎石桩处理,获得了满意的结果,复合地基承载力标准值均大于设计要求的 200kPa,比原拟采用的预制桩方案,可节约总投资近 50%,而且不用三材,缩短了工期;锦州市马家小区住宅楼地基为近一、二年堆填含一定量生活垃圾的杂填土,厚 1.5 ~ 7.2m,土质松软,强度低,经振冲处理后复合地基承载力标准值 $f_{spk} \geq 180kPa$,满足设计要求;汤浦水库东、西主坝坝基采用振冲碎石桩处理,经检测表明效果很好,完全满足了原设计的要求;浙江毛屿等海塘的修复、增高,其下的淤泥软土地基采用振冲碎石桩处理,取得良好的效果,阻止了滑动失稳的危险。

20 年来振冲法在我国获得广泛的应用,几乎对各种松软土的处理都采用过这一技术,并于 1992 年将振冲法列入了我国首次编制的《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79—91)(以下简称处规)中,以

便推广应用、发展这一技术。但其在我国的运用情况很不平衡,某些地区、某些行业对振冲法了解甚少,还未曾采用,很需要推广、普及。

国内外应用振冲法处理松软地基与土构筑物的一些具有实测资料,安全使用的工程实例,分别归纳于表 1-1 至表 1-4。

国外用振冲加密法处理砂基实例

表 1-1

序号	工程名称	年份	国家	土壤类型	处理深度(m)	处理面积(m ²)	孔距(m)	相对密度(%)		说 明
								处理前	处理后	
1	柏林大楼地基	1937	德国	砂	7	570	2	43	80	承载力由 150kPa 增至 300kPa
2	谷仓地基	1940	德国	砂砾石	4.5	—	—	63	85~95	处理砂层距地表 9~13.5m
3	安德斯坝	1948	美国	级配良好的砂和 14% 细颗粒	6	—	2.4	47	79	粉粒含量超过 56% 时,效果不理想
4	窑及烟囱地基	1949	德国	砂和砾	3.6~4.8	828	2~2.4	7~58	70~100	—
5	磷酸盐厂	1951	美国	松砂	3.6	14000	2.25	33	78	—
6	纸厂地基	1952	美国	细砂	4.8~6	15700	2~2.4	40	75~92.5	—
7	飞机棚	1954	美国	砾质砂和砂质砾	6~9.3	2450	—	—	80	—
8	火电厂地基	1954	德国	砾质砂	—	—	—	33~80	85~95	—
9	箱峡水电站	1955	美国	细砂	2.7	—	2.1	25	70	拉河闸闸基细砂层
10	公路隧道填方	1957	美国	级配良好的砂	20	—	8~12	—	—	受动荷载

续上表

序号	工程名称	年份	国家	土壤类型	处理深度(m)	处理面积(m ²)	孔距(m)	相对密度(%)		说 明
								处理前	处理后	
11	斯本索 火电厂	1959	美国	冰碛 砂和砾	4	—	1.5~ 2.1	40~60	85~90	受动荷 载
12	干船坞 地基	1961	美国	级配 良好的 砂	3.3	6120	3	50	75	—
13	阿斯旺 坝坝内砂 棱体	1962	埃及	细砂	14	—	4×4	—	70	处理后, 密度达到 1.65g/cm ³ , 静锥抗力 15000kPa 以上
14	西德奈 控制闸	1963	巴基 斯坦	细砂	3.0~ 7.0	17150	2.0	—	—	承载力 提高到 160 ~ 330kPa
15	20 层 办公楼	1965	尼日 利亚	松砂	6.9	2900	1.8	20~40	80	—
16	某大楼 地基	1967	美国	含粘 土的砂	6.0	—	1.5~ 2.2	—	80	—
17	厂房地 基	1968	南非	松砂	6.0	20000	—	—	—	承载力 从 10kPa 增 至 50 ~ 100kPa, 各 孔每 m 0.7 ~ 1.6m ³ 粗 料
18	油罐地 基	1968	南非	松砂	3.6	—	—	—	—	同上
19	某大楼 地基	1968	美国	石灰 岩下 2.4 ~ 4.5 m 砂层	4.5~6	2160	2.1	—	—	各孔每 m, 回 填 0.2m ³ 粗料, 沉 降 小 于 32mm
20	卡尔隆 原子能电 站厂房	1972	美国	松砂 和粉细 砂	18	4050	1.0	—	80~90	承载力 由 150kPa 增至 300kPa

国外用振冲成桩处理粘性土地基实例

表 1-2

序 号	工 程 名 称	施 工 年 份	国 家	地 基 情 况	不排水抗剪强度 C_u (kPa)	每米孔回填碎石 (m ³)	孔 距 (m)	孔 深 (m)	孔 径 (m)	施 工 工 艺	单桩荷载试验			建筑物沉降观测			备 注
											承载力 (kPa)	相应沉降量 (mm)	荷载板尺寸 (mm)	工作荷载 (kPa)	最大沉降 (mm)	最大不均匀沉降 (mm)	
1	梅克兰奇公寓 3 层楼	1962	美国	含砂量较大的粘土	—	—	0.9~1.2	4.27~4.57	—	干法	110~135	—	305×305	3 层楼	25.4	9.5	单桩工作荷载 80kN
2	夏地街 3 栋 23 层楼, 10 栋 5 层楼	1963	英国	冰碛砂质和粉质粘土	—	—	0.7~1.5	3.6~4.5	—	干法	—	—	—	5 层楼	44	19	—
3	蒂河畔仓库	1964	英国	粉煤灰、泥炭和粘土	11~20	—	2.2~3.0	3.0~6.6	0.6	干法	50	33	762×762	—	—	—	—
4	公路土堤 $H=10m$	1967	英国	软粘土	排水抗剪 $C=10$ $\varphi=17^\circ$	—	1.8	9	0.76	—	—	—	—	—	—	—	c 值提高到 30kPa 滑坡得到处理
5	化肥厂地基	1968	南非	粉土、粘土	—	—	1.8~2.0	7.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	公路土堤 $H=11.4m$	1970	德国	软粘土	4.0	—	1.85	6.5	—	干法	—	—	—	—	—	—	安全系数由 1.0 提高到 1.30 共 6200 个桩, 31200m