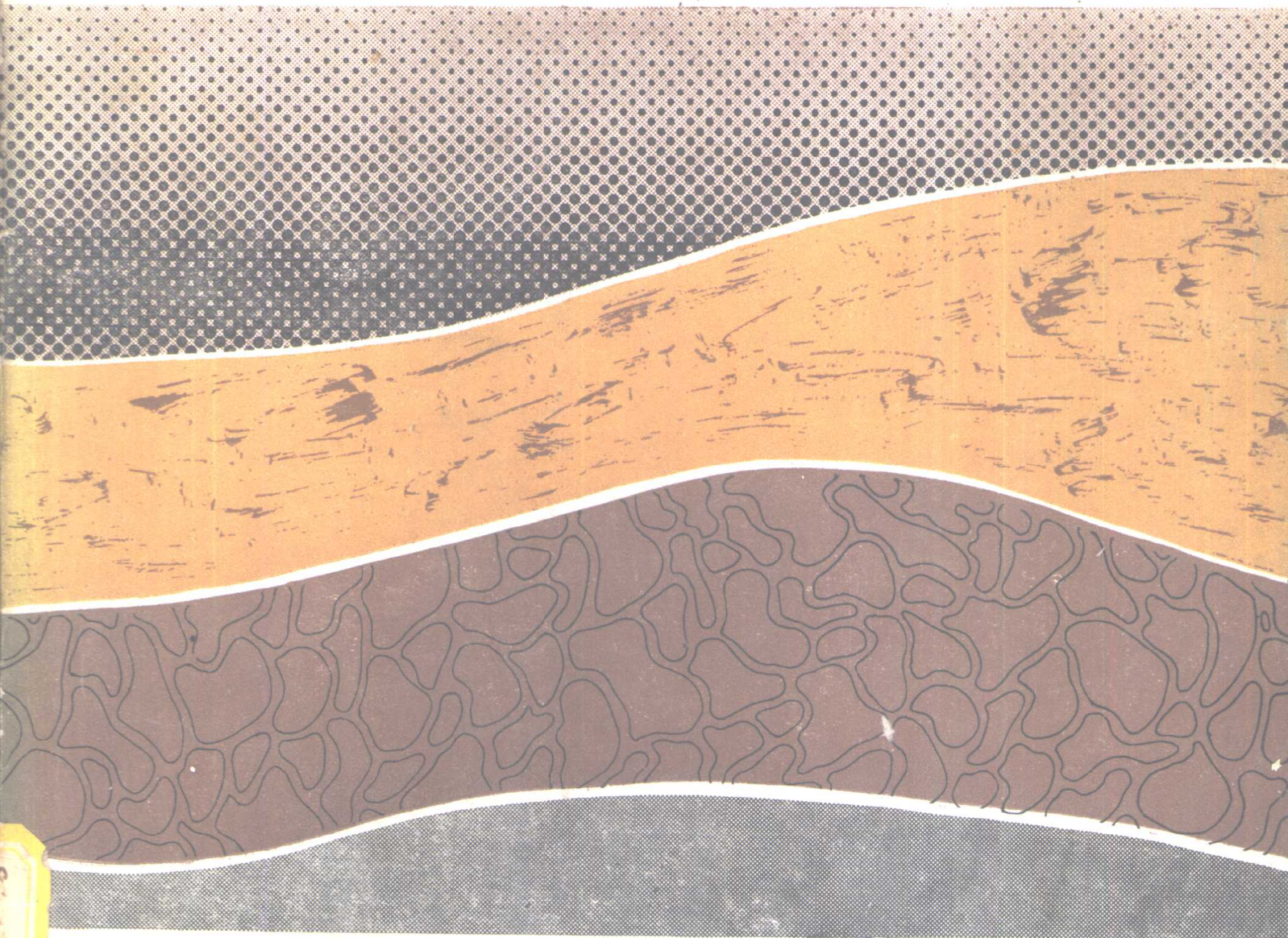


最新软弱地基处理方法

〔日〕福岡正巳 编

丁 玉 琴 译



● 中国铁道出版社

86.117
8908004

最新软弱地基处理方法

〔日〕福岡正巳 编

丁玉琴 译

中 国 铁 道 出 版 社

1988年·北 京

内 容 简 介

本书介绍了日本当前使用的各种最新软弱地基处理方法,基本上反映了当前国际上地基处理方面的新技术。全书共分十章,主要介绍软弱地基处理方法的原理、适用范围、设计方法、施工方法及其注意事项、室内和现场试验的项目及方法、质量管理及检验方法等;还列举了应用实例。

本书可供土建工程技术人员、科研工作者及大专院校师生参考。

最新の軟弱地盤処理工法

福岡正巳 編

近代図書株式会社

1982年

◆ ◆ ◆

最新软弱地基处理方法

丁玉琴 译

中国铁道出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 9.5 字数: 232千

1988年6月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—11000册 定价: 2.10元

序 言

软弱地基在世界各地分布甚广。由于所处地点不同，因而成份有所不同，其厚度及物理力学性质也各具特色。然而从宏观看，都属软弱土，以致有许多共性之处。因此，将在甲地的某种地基中使用成功的处理方法用于乙地相似地基时，也大致能够适用。其调查方法也相同。但当上部结构种类、重要性、工期、造价等条件变化时，其处理方法也就要随之变化。因而在选择施工方案时，既要深入理解一般处理原则，又必须详细研究具体工程实例。已经出版的《新软弱地基处理方法》*是一本满足上述要求的好书。

技术发展日新月异，新的施工方法相继开发成功。这些新技术与新施工方法，都是在生产实践的迫切需要下诞生的。例如：软弱地基的深层处理、海底软弱地基的改良、地震时松散砂层液化防治等问题的解决，都需要新技术和新施工方法。

本书介绍了目录中所列出的各种最新软弱地基处理方法的最新技术内容，并简单明瞭地解释了其应用情况。如与已出版的《新软弱地基处理方法》一书内收集的各施工方法汇总在一起，可说是编集了当前实施着的软弱地基处理方法的全部体系。本书编集了各种处理方法的原理、设计和施工方法、施工实例，以及质量检验等，内容非常丰富。

与已出版的《新软弱地基处理方法》一样，执笔者均系活跃在生产第一线的专家们。承蒙他们诚恳地将亲身体会到的正确无误的技术，简明扼要地介绍出来。同时，本书所介绍的内容，其使用期限要比杂志长得多。因此，我相信本书发行之后，这些内容仍能在以后的杂志、会议报告里不断出现。

谨以上内容作为本书序言。

国际土力学基础工程协会会长 福冈正巳
工学博士、东京理科大学教授

1982年2月

* 译者注：《新软弱地基处理方法》一书，系1979年出版，由日本道路公团理事工学博士藤森 谦一、日本道路公团理事内田 俊主编。该书介绍了软弱地基调查方法及处理方法的选定原则，七十年代日本应用的27种软弱地基处理方法等。

目 录

第一章 概 述	福岡正巳 (1)
1.1 软弱地基处理方法的发展概况	(1)
1.2 各种软弱地基处理方法的适用性	(3)
1.3 软弱地基处理方法分类	(4)
第二章 浅层处理法	(13)
前 言.....	栗原则夫、高桥朋和、磯田知広 (13)
2.1 网状土工织物垫层法	(14)
2.2 竹筋铺网垫层法	(20)
2.3 加筋法	(24)
2.4 表层土稳定处理法	植村 治 (29)
第三章 深层拌合法	千田昌平、村尾好昭 (36)
3.1 概 述	(36)
3.2 土质调查和室内配比试验	(42)
3.3 深层拌合法的种类及其特点	(44)
(1) 机械拌合法.....	(44)
(2) 高压喷射拌合法.....	(47)
3.4 地基加固的设计和施工	(49)
3.5 设计施工实例	(53)
(1) 日本横滨港大黑码头-12m岸壁试验工程	(53)
(2) 日本千葉県千葉港垃圾处理场填筑护岸基础工程.....	(54)
(3) 日本九州公路木屋瀬地基处理工程.....	(54)
第四章 生石灰桩法	菅上裕之 (57)
实例 1 日本东京都交通局地下铁10号线大岛第二工区.....	(64)
实例 2 为提高日本岩渊水闸气压沉箱基础地基承载力所进行的地基加固工程	(66)
实例 3 日本八日市场市市道1901号线公路路基加固工程.....	(67)
第五章 加速固结法	(69)
5.1 碎石桩法	中島 昂 (69)
5.2 袋装砂井法	岡林郁夫 (76)
5.3 塑料板排水井法	佐佐木 伸 (82)
第六章 强夯法	土谷 尚 (91)
第七章 化学药液灌浆法	坪井直道 (98)

7.1 土研式灌浆法	(98)
7.2 二重管灌浆法	(100)
(1) DDS法	(100)
(2) LAG法	(102)
(3) MT法	(102)
7.3 其他特殊灌浆法	(103)
(1) 套管式灌浆法	(103)
(2) 索列唐许法	(104)
7.4 新型灌浆材料(硅溶胶类中性灌浆材料)	(105)
第八章 打桩法	佐佐木晴美 (109)
第九章 污泥的处理方法	吉田竜夫、中村正邦 (124)
9.1 污泥的物理力学特性	(124)
9.2 污泥的处理方法	(128)
第十章 砂土液化处理措施	中川誠志 (133)
10.1 前言	(133)
10.2 砂土液化原理	(133)
10.3 砂土液化危害实例和液化处理效果	(134)
(1) 日本玉瀬町日石2万kl油罐	(134)
(2) 日本川岸町建筑工程	(134)
(3) 日本八戸造纸厂	(135)
(4) 日本国民疗养中心	(135)
(5) 日本石巻6000kl油罐	(136)
10.4 砂层液化预测法	(136)
10.5 砂土液化处理措施	(142)

第一章 概 述

福岡正巳

1.1 软弱地基处理方法的发展概况

所谓软弱地基是指含有机质的软粘土层，当在其上施加如填土之类的外荷载时，即产生显著的沉降，或者引起地基滑动失稳等现象，这种软土地基称为软弱地基。自古以来人们创造了许多处理这种地基的施工方法，并在工程实践中得以应用。最早采用的方法有柴束、柴排、填土预压、以及强制换土等。偶尔也采用筏基础、桩基础等方法。

1930年前后，美国人发明了砂井法。当粘土层厚度较大时，要使土中的水沿竖向排出，需化费较长的时间。因此，如果在粘土层中沿竖方向设置很多数量的砂井，使粘土层中的水先沿水平方向流动，然后汇集到砂井，由竖向砂井排出，可大大缩短粘土固结时间。这种方法一直沿用到现在，并在实践中不断得到改进。但砂井法施工时需打入钢管，致使钢管周围的粘土受到扰动而透水性降低，因而水分难以排出。为解决这个问题，有人采用过射水成孔方法，可是这又产生大量污水难以处理的问题，因此这种方法得不到推广。

1940年前后，瑞典的齐鲁曼等人，发明了硬纸板排水井这一新方法 (*card board drain*)。这种方法在日本叫做纸板排水法 (*paper drain*)。这是一种以长条形硬纸板插入土中来代替砂井的处理方法。施工时，预先将纸板盘卷在料箱内，通过大型自动输送装置，将纸板插入土中，施工非常方便，可在短时间内完成大面积的软弱地基加固。因而，这是一种非常经济的加固方法。1960年前后，日本引进了这种方法，曾用于日本钢管福山制铁所、东洋工业字品工厂等吹填土地基加固工程中。到1970年前后又研究出多种规格的透水性良好的塑料板，并在市场出售。从此，塑料板代替了以往的硬纸板。

塑料板竖向排水井法 (*vertical drain*)，曾在泰国曼谷飞机场的地基加固工程中做过试验，据说所得到的结果与处理前地基相比，变化不大，因而未被采用。但是在新加坡机场的地基加固中，试验证明这种方法有效。竖向排水井法究竟对哪种地基有效、对哪种地基没有多大效果，对于这个问题目前尚有争论。有人认为粘土地基中的水平薄砂夹层起着与砂井相同的作用，因此，有砂夹层的地基采用竖向砂井法加固地基效果就不显著。阿托肯松等提出了多层地基竖向排水井的设计计算方法。赤木认为采用打入套管法施工砂井的方法，因钢管打入土中时给地基以强大的挤压力，故可提高粘土强度。

振动打入砂桩的方法有两类：一类是将钢管打入土中，再从钢管底端将砂压入土中的方法 (*compozer*即振动压入砂桩法)；另一类是钢管借助振动靠自重沉入土中，然后在其外围灌砂，边灌边拔管的方法 (*vibroflotation* 即振浮压实法)。此外，最近还有采用填碎石或砾石以形成碎石桩的方法。这种碎石桩同时兼有排水和支承桩两种功能。

打桩可提高软弱地基承载力，以便在其上填土筑堤，这是一种古老的方法。近年来，北

欧有的国家采用带桩帽的混凝土桩，在打桩方法上不仅打垂直桩，根据工程需要也打斜桩。

打砂桩时，孔壁土坍落会造成砂桩缩颈或断桩等现象。为防止这种现象产生，可用塑料纤维布包裹砂柱的一种叫做袋装砂井的方法。

强夯法是由法国人研究成功的，这是一种利用重锤从高处自由下落的冲击能量加固软弱地基的方法。此法已引进日本，曾被用在油灌基础的地基加固工程中。假如增大锤重，提高落距，则夯击能量增大，就可以用来加固深层地基。英国常用15t重锤从20m高处自由落下来加固地基。开始时以为强夯法仅适用于砂质土，可是后来发现也可用作细粒土加固。民主德国一般采用15~40t的重锤，15~40m的落距。日本横浜的半沢报导了用强夯法成功地加固了水底松散砂层的例子。此法用于有液化可能性的砂土地基处理方面也十分有效。暴雨造成软弱地基边坡产生滑坡的现象，在香港等地曾多次发生，造成严重灾害。罗庭(Rodin)提出了将重锤吊在起重机臂上，然后突然释放使其自由落下，来夯实松散表土层的方法。工程实践证明即使在极差的地基条件下，采用这种方法也有效。荷兰为了加固海底松散砂层，他们将四根振动管悬挂在船上，可同时加固宽26m、深15m的海域，效率很高。

炸药爆破的方法是利用爆破产生的冲击波来挤实地基的一种方法。在法国曾按 1m^3 土约用40g炸药爆破所产生的冲击力来挤实10m厚的填筑地。在加拿大则利用此法加固有液化可能的尾矿坝。

对土添加化学物质，能使土的性质发生变化。常用的添加剂为石灰。近年来研究出几种石灰拌合土的新方法。在日本，以运输省的港湾技术研究所为中心，进行了这方面的研究和技术开发工作。在设计中，他们认为采用经处理后的土和未处理的土的加权平均抗剪强度来计算抗滑稳定性较合适。由填土的沉降量-时间曲线，看出计算值和实测值相当吻合。川崎等人还设计了利用石灰拌合土施工成垂直板状加固体来处理软弱地基，然后在其上面设置沉箱。瑞典也从事以石灰加固软弱地基的开发研究工作，并且在工程中大量应用。

在加拿大则是将石灰和粉煤灰的混合物搅拌成泥浆状注入地基中，用以加固厚度为3~12m的软土层。新西兰、加纳等国的工程技术人员还报导了可用石灰稳定处理法加固红土及黄土等土质。

可用于土体加固的化学物质尚有很多种。松尾、嘉门等人曾发表了在土中注入 Fe^{3+} 、 Al^{3+} 等3价金属离子后可明显提高土强度的研究报告。

世界上特殊土种类繁多，它们各有适用的加固剂。而且，各地方有各自独特的处理方法。如黄土，分布在中国、欧洲、美国等地，采用石灰与黄土混合的处理方法极其有效。而保加利亚的日丹诺夫在一份报告中报导了将水玻璃类药剂注入黄土，加固效果也很好。罗马尼亚采用的则是从苏联引进的另一种施工方法：在黄土层中钻孔或打孔，填入石灰拌和土，然后用夯锤捣实。夯击锤可以用液压夯锤或气压夯锤。黄土是一种遇水强度就下降的土，而且浸水容易湿陷，是一种十分难对付的土。

对于干旱地带的土，可以简单地往土中注水进行处理。而且，经过浸水处理后的土，强度相当稳定。如委内瑞拉的泽乃恩等人就是采用这个方法在土中钻孔注水进行地基改良的。

有人在实验室里进行了在地基中铺设钢带的试验研究，认为可大大提高土的承载力。但目前尚未进入实用阶段。有这样的例子：在软弱地基表面，铺设焊接钢筋网，成功地防止了地基滑动。此外，塑料土工织物铺设在软弱地基表层的铺网法，也已得到普遍应用。

最近，电渗加固方法也得以使用。加拿大曾将此法用在80m高土坝的芯墙开挖施工中，

在印度曾用于提高海相粘土的强度。

提高挖方坑壁地基强度,可用就地加筋土(*In-situ reinforced earth*)法。这种方法首先是先在土中钻孔,然后向孔中插入20~30mm直径的钢筋,再用水泥灌浆方法将钢筋固定。

1.2 各种软弱地基处理方法的适用性

软弱地基处理的目的在于提高地基强度,防止建造在这类地基上的构筑物的破坏、滑动等。但有时则在结构物发生了滑动或过大的沉降甚至发生旋转,影响正常使用时,为了控制这类变形的继续发展而进行地基处理。软弱地基处理通常是在工程建造前进行;但有时也不得不在结构物竣工后出现问题时进行。对于后一种情况,施工较为困难,工程费用昂贵。

软弱地基的各种处理方法中,以堆载预压法最简单。如果堆载用的土料能够既价廉又运输方便的话,可谓是一种稳妥的地基处理方法。软粘土中的水分,由于受荷载作用而被挤出,土的密度增加,从而强度提高,压缩性降低。假如能辅以砂井或深井排水措施,那么预压加固效果会更好,固结时间可大大缩短。然而,作为预压用的土料未必很便宜和易于得到。因此,又研究出一种真空预压法,利用作用在铺设于地表面的塑料薄膜上的大气压作为荷载。预压加固的方法会出现因次固结引起的残余沉降问题。而且,当预压荷载小于实际荷载时,残余沉降将更严重。因此,在上部结构设计时,必须考虑结构物能够承受某种程度的均匀沉降与不均匀沉降,遇有基础的残余沉降特别大的情况,对上部结构尚需采取特殊措施。

地基改良需要费用和时间,在选择地基改良方案时,必须慎重研究哪一部分地基需要改良,以及需改良到什么程度即可满足工程需要。假如把对整个建设场地的地基处理费用,集中用到特别需要改良的薄弱部位进行局部改良,则往往可得到更理想的效果。有时,甚至可不作地基处理,即使结构物产生一些局部的小的破坏或变形,这对工程影响并不大,只要在事后作局部调整、修补即可,这远比一开始就对整个地基场地进行改良的方案优越得多。

建筑设计包括上部结构设计和基础设计两个部分。如果设计基础时多化费一些钱,把基础设计得坚固些,当然上部结构的安全性也可相应得到保证。反之,设计时注重对上部结构予以加强,即使地基产生一些沉降,结构物也能与其适应,这样做还可节省地基改良费用。总之,上部结构和地基基础之间的关系错综复杂,设计人员进行工程设计时,必须根据具体情况全面衡量两者的关系,作出正确的技术判断。

地基改良的目的是提高地基强度和减少变形。但需注意,有的情况下强度提高了,变形却没有减少。即当强度充分发挥时,发生了相当大的变形,从而引起钢结构或混凝土结构物发生破坏,影响使用。另外还需注意:在已改良的地基土与未经改良的地基土交界面处,由于土受扰动,强度较差,存在软弱层,因此,滑动面可能会通过此处。

近年来,环境保护问题已引起人们广泛重视,有时看来是一种很好的施工方法,就因对周围环境的影响问题,而不能采用。为此,在选择施工方法时,一定要考虑环境因素。

本书虽然收录的都是最新的软弱地基处理方法,但技术的发展日新月异,作为一个技术人员,必须经常关注新技术的发展动向。

最后,还要强调进行事前土质调查的重要性。因为工程中尚有错把非软弱地基当作软弱地基进行处理,而造成失败的实例。因此,必须认真做好土质调查工作。

1.3 软弱地基处理方法分类

软弱地基处理方法种类繁多，每种方法各有独自的特色，其处理效果也不尽相同。

软弱地基与处理方法间的关系，如病人与药物间的关系一样，要对症下药。在选择处理方法时，必须在充分考虑结构物的种类、作用在基础上的荷载的大小、地基土的类别、结构物的布局条件等因素之后，选出最合适的施工方法。否则将会白白浪费昂贵的施工费用和宝贵的时间。

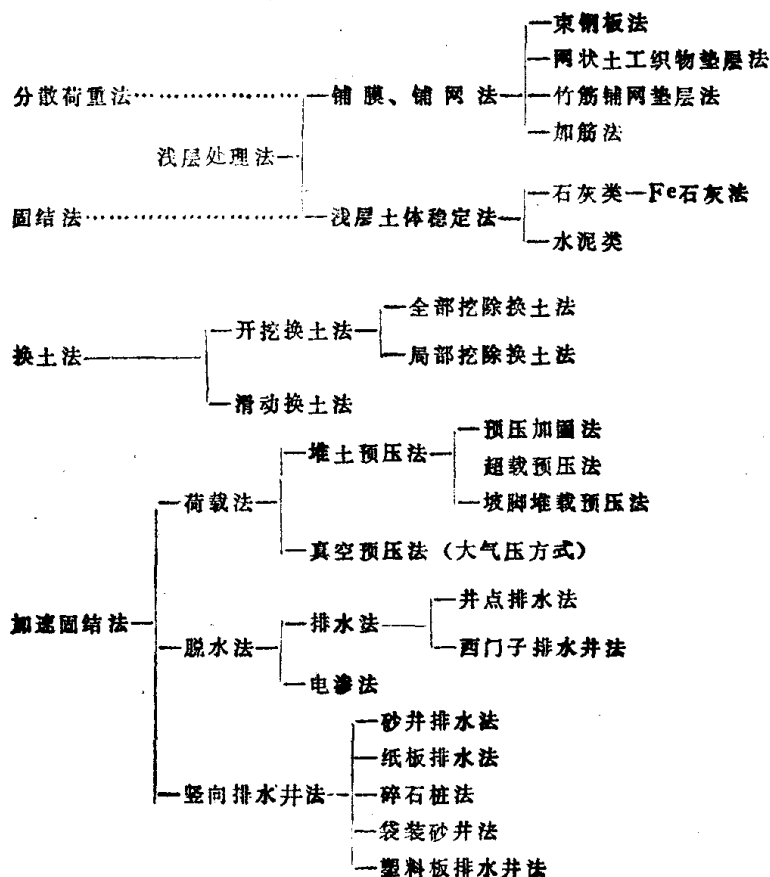
1.3.1 软弱地基处理方法分类

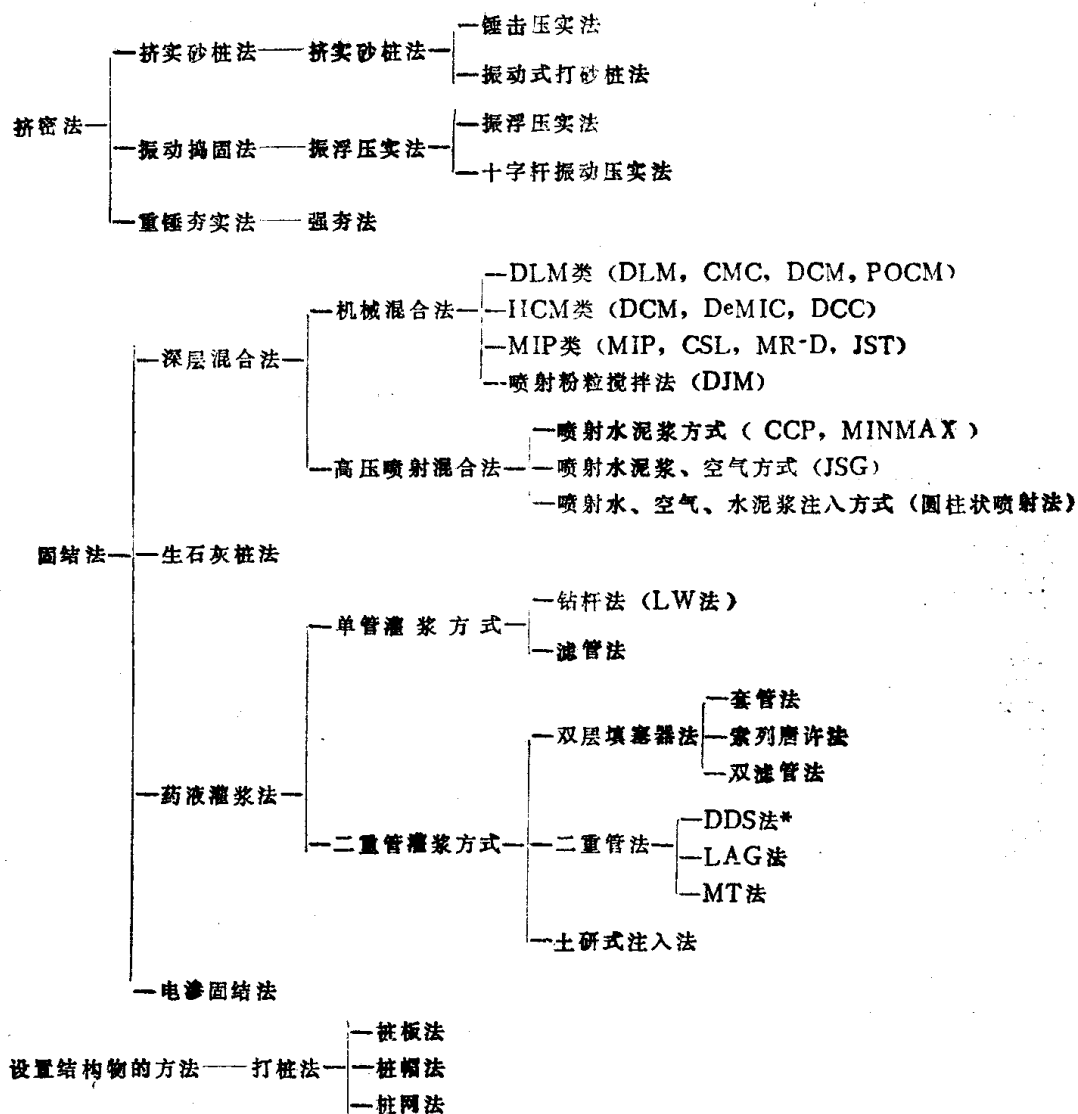
福岡等曾在《新软弱地基处理方法》一书（以下称前著）的第126页上对软弱地基的处理方法提出了下列分类法：

- (a) 用人工方法增大土的密度的方法——碾压、夯击、振动；
- (b) 减少孔隙水压力，加速固结的方法——排水、堆载预压；
- (c) 使土固化，改变粒度成分，加强土体稳定性——注入掺合料或添加物、换土；
- (d) 调整荷载，以达到地基稳定——铺薄膜；
- (e) 挖除软弱地基——换土。

表1.1即为按上述分类法对本书及前著所收录的软弱地基处理方法进行分类的 详细分类表。软弱地基处理方法大多单独使用，但有时也将几种方法组合应用。

表1.1 软弱地基处理方法分类





* 译者注：原文DOS有误，应为DDS。

1.3.2 软弱地基处理方法概述

本节仅简要地介绍一下本书中未收录的一些处理方法的加固原理。

(1) 堆土预压法

这种方法是在正式施工前，在软弱地基表面堆土加压，促使地基提前下沉且增加抗剪强度。可细分为下列三种：

(a) 预压加固法

在拟建涵洞或桥台等结构物的场地上，预先堆土加压，以加速地基下沉并增加抗剪强度，待持续加压一定时间后，挖去堆土，正式建造结构物（见图1.1）。

(b) 超载预压法

在修筑路堤时，预先把填土堆至超过设计高度，以加速地基下沉，待持续加压一定时间后，铲除超载部分的填土，进行路面装修（见图1.2）。

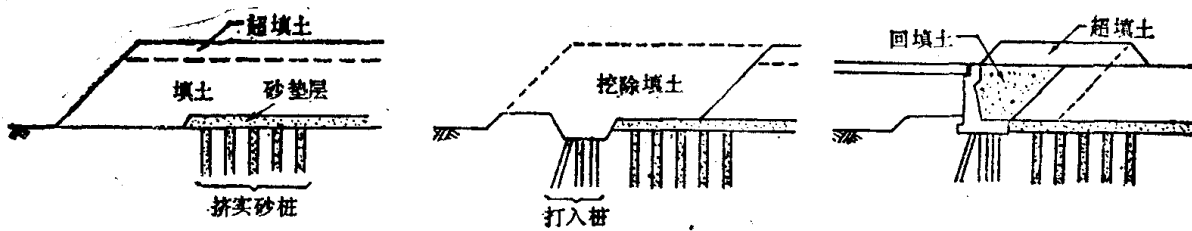


图1.1 桥台部位预压加固法

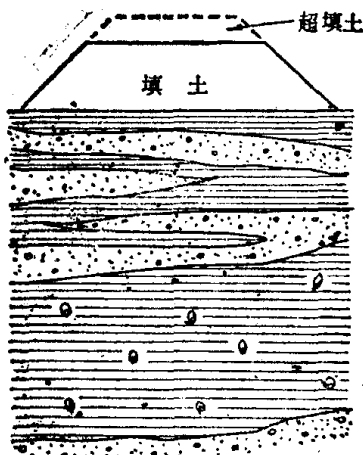


图1.2 超载预压法

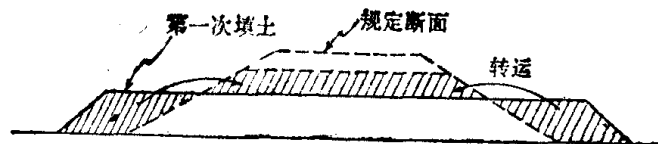


图1.3 坡脚堆载预压法

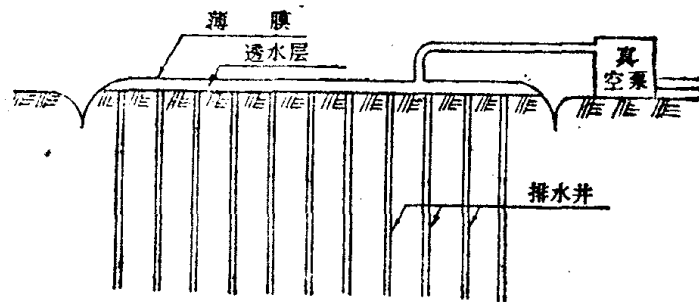


图1.4 真空预压法

(c) 坡脚堆载预压法

将填土堆至计划填土坡面的坡脚部位外侧，即加大填土宽度，用以增加坡面正下方及坡脚部位地基抗剪强度，然后挖除超载部分，即完成填土施工（见图1.3）。

(2) 真空预压法

先在粘土层表面铺设透水层，然后打垂直排水井，接着用薄膜铺在透水层上并密封好，再用真空泵抽气吸水造成真空，利用大气压作用在地基上，来加速地基固结（见图1.4）。

(3) 砂井排水法

软弱地基上一旦填土加荷，地基内部即产生超孔隙水压力，排水层间形成水头梯度，使地基排水固结，得到压密。如果土质和加荷方法相同，则固结所需时间与排水距离的平方成正比。因此，在软弱地基中人为地设置排水层，缩短排水距离，就可减少固结时间。打砂井作为排水层的方法即为砂井排水法（见图1.5）。砂井的施工方法是先在地表均匀地铺设

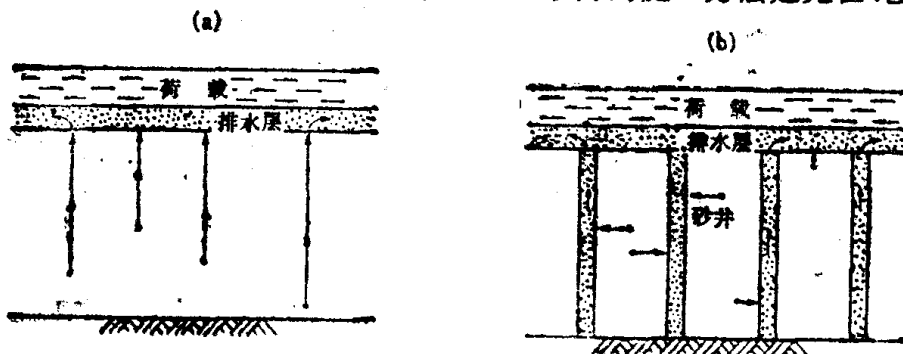


图1.5 砂井排水法

一层砂垫层，接着将叫做心轴或套管的空心钢管沉入地基中，再向钢管中填砂子，最后拔出钢管，即在地基中形成砂柱。沉管方法有两种：一种是打入式，将钢管打入土中；另一种是用螺旋钻钻孔或射水成孔，边成孔边将套管沉在土中。螺旋钻钻孔或射水成孔的优点是：地基不会因冲击扰动而降低强度，而且无振动、无噪音等公害。

(4) 纸板排水法

本方法的加固原理与砂井排水法完全相同，只是用插入纸板来代替砂井排水法的砂桩。本方法的特点为：地基可免受打击扰动、排水井断面均匀规则，且不随深度变化、纸板工作过程中不会被切断而影响排水效果。一般常用的纸板尺寸为宽10cm、厚3cm，断面型式见图1.6。纸板纸的质量很好，长期埋在地基中不会发生腐蚀现象，且具有十分良好的透水性、湿润强度高。

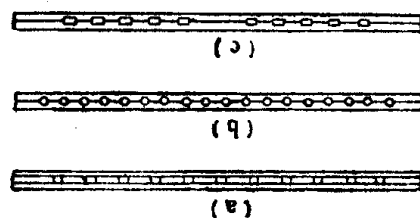


图1.6 排水纸板的断面

(5) 挤实砂桩法

在地基中打入大量砂桩，既对软弱地基起挤密作用，又可增加整个地基场地的抗剪强度，减少下沉。这种挤实砂桩法以增大土的密度为主要目的。它与砂井排水法不同。施工方法如图1.7所示。将导管打入地中之后，边振实砂子边上提导管，这样形成的砂桩与砂井排水法中的砂柱不同。其砂子相当密实，直径也大。

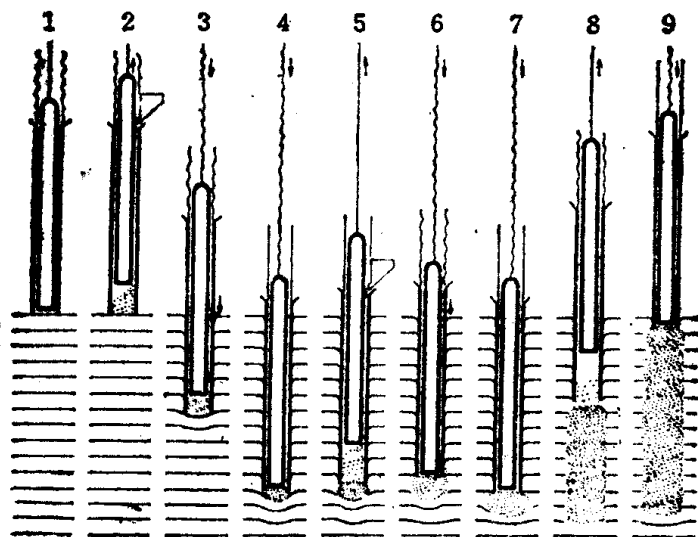


图1.7 挤实砂桩法施工顺序

(6) 振动压入砂桩法

属于挤实砂桩的一种类型，不同之处在于本法是利用振动压入方式形成砂桩，而不是用锤击打入方式。具体施工方法见图1.8，振动机在导管顶部振动，将导管沉入土中，接着向导管中灌砂，同时使导管边振动边作上下运动，在地基中形成一根密实的砂桩。

(7) 振浮压实法

将棒状振冲器在松散砂地基中作水平向振动，同时边喷水边沉入土中，待达到预定深度之后，开启横向喷嘴，使振冲器周围地基浸水饱和，再继续振动使周围地基振实。然后向孔内填充砂或砂砾，边填边上提振冲器，如此操作直至地面为止（见图1.9）。

本法可将松散砂土地基加固成标准贯入击数 $N = 15$ 左右的密实地基。本法不适

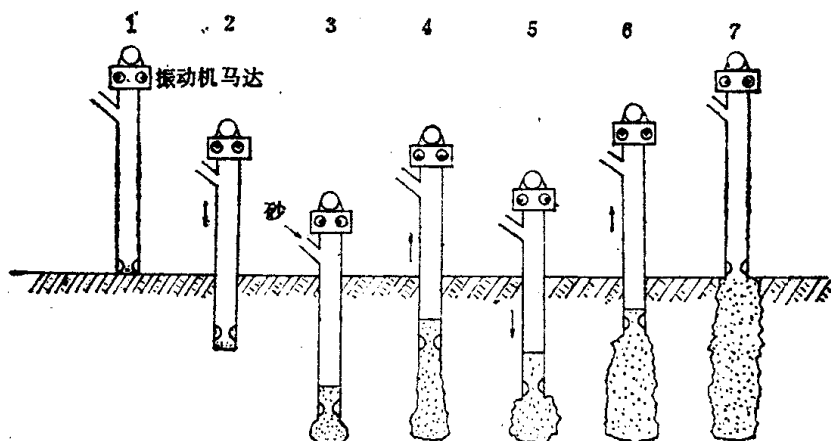


图1.8 振动压入砂桩法施工顺序

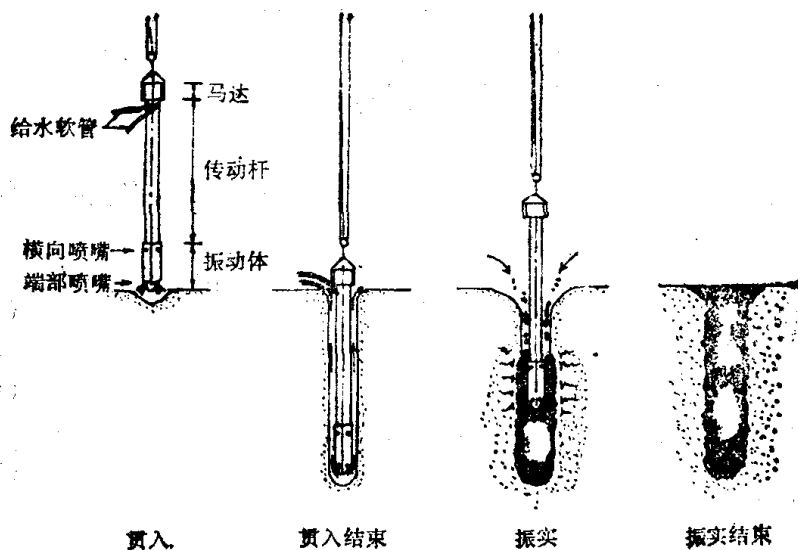


图1.9 振浮压实法施工顺序

用于粘粒含量超过30%的地基。

在振冲器外侧安装十字型凸杆，使之垂直振动以捣实砂土地基，即为十字杆振动压实法。

(8) 排水法

排水法是通过降低地下水位增加土中有效应力，降低土的含水量，从而提高粘土层地基强度的方法。对于砂土地基，则由于水力的沉实作用，可使其更为密实。因此，将本法列为软弱地基处理的一种方法。但排水法用在处理涌水等方面时，只是为加速二次固结和利用水力的沉实作用止住涌水。因此，也有人主张不列入软弱地基处理方法。

排水法有西门子排水井法和井点排水法等。西门子排水井法是由民主德国研究成功的。这种方法是将直径为 8 in (合20cm) 的套管按20~40ft (约合6~12m) 的间距打入土中，然后把这些套管全部连接在一根总集水管上进行排水。井点排水法是由美国研究出来的，它是在西门子排水井排水方法中加上真空作用。井点是一根如图1.10所示直径为 2 in(合5cm)，

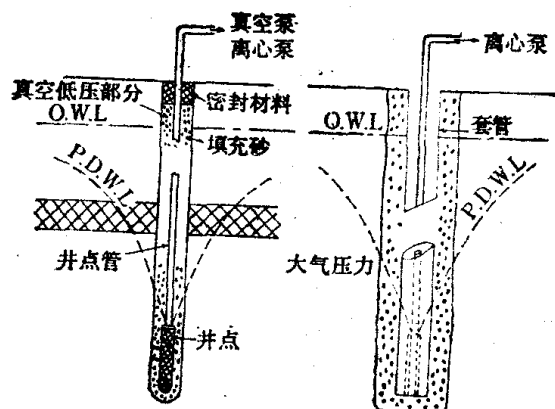


图1.10 井点和西门子排水井示意

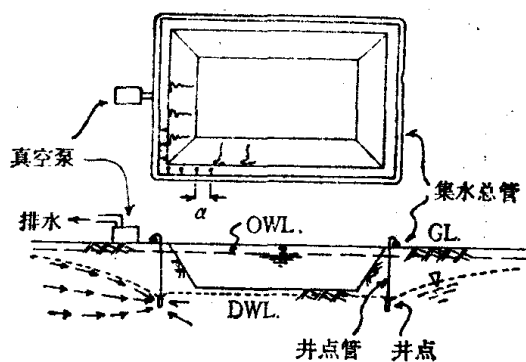


图1.11 井点设置概况

长度为1m左右的滤水管子。把这个管子装在图1.11所示的井点管（直径1/2in(约合1.3cm)，长度5~7m的钢管）上，采用射水成孔方法沉到预定位置，间距约1~2m。再将各井点管的端部与总集水管（直径为3~8in(约为7.6~20cm)）连结，用离心泵或真空泵抽水。普通的井点，排水能力大约是5~8m左右。如果采用射流方式或活塞运动方式等直接抽水式的“高扬程排水井点”，则排水效果将更好。

(9) 电渗法

图1.12表示处在孔隙水中的土粒表面的电荷分布状态。孔隙水的阳离子与土粒表面的负电荷以很大的吸力相互吸着，形成固定层。而处在土粒外围的游离离子或偶极子则形成扩散层。扩散层比固定层粘结力弱，因此也叫可动层。这两层电荷层极薄，处在其外围的水不受电荷层的影响，叫做自由水。一旦对土通直流电时，可动层的正电荷就向阴极移动，移动的力即为孔隙水流动的动力。这种现象叫做电渗现象，利用这种现象的地基加固方法称为电渗法。

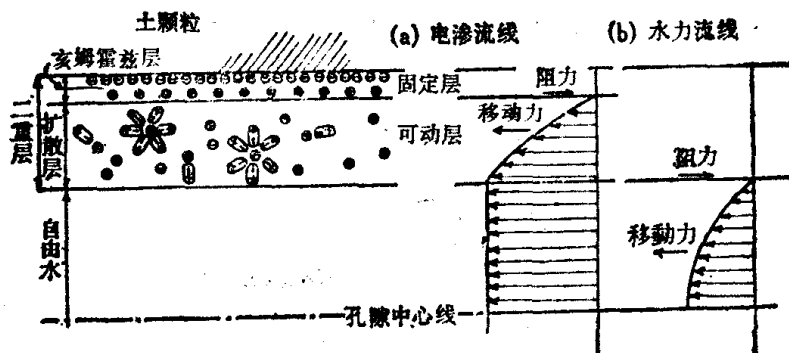


图1.12 电渗流模式

(10) 电渗固结法

当土中出现电渗现象时，原来存在于孔隙水中或人为地加入的电解质离子或胶体物质等，按各自所带电荷性质分别向相反的电极移动，与人工灌入的其他物质或土中原有物质发生反应，产生沉淀凝结现象。利用这个原理进行地基加固的方法称为电渗固结法。该法可分为铝电极法与通电注液法两种。所谓铝电极法是指这样一种方法，它是用铝棒作为插入土中的电极材料，利用电渗现象产生脱水作用，电介后的铝沉淀到土粒孔隙中，与土紧密结合。通电注液法与铝电极法不同之处在于本法不是电极本身溶解，而是人工在电极附近加入各种硬化剂，利用电渗现象使硬化剂分布到土粒孔隙中，以达到加固地基的目的。

(11) 换土法

这种方法是采用挖掘机械，铲除软弱土层后换以好土。根据换土范围大小可以分为：

(a) 全部挖除换土法；(b) 局部挖除换土法两种。前者把软弱层全部铲除，换以好土，适用于软弱层厚度在2m以内的地基；后者适用于软弱层较厚，特别是上部软弱层较下部软弱层强度低得多，有可能发生滑动破坏或沉降量过大等情况的地基（见图1.13）。

(12) 滑动换土法

所谓滑动换土法是指把好土直接铺撒在软弱地基表层，靠土的自重将软弱土挤向周围，从而换上好土的施工方法，也叫强制换土法或挤出换土法（见图1.14）。这种方法对于薄软弱层特别有效。对于厚软弱层视工程种类及加固目的，有时也仍然是一种有效的、经济的方法。

法。在滑动换土法中挤土的方式改用爆炸力，会更容易地将软土层挤出，这种方法叫做爆破换土法。图1.15是爆破换土法的一个实例。

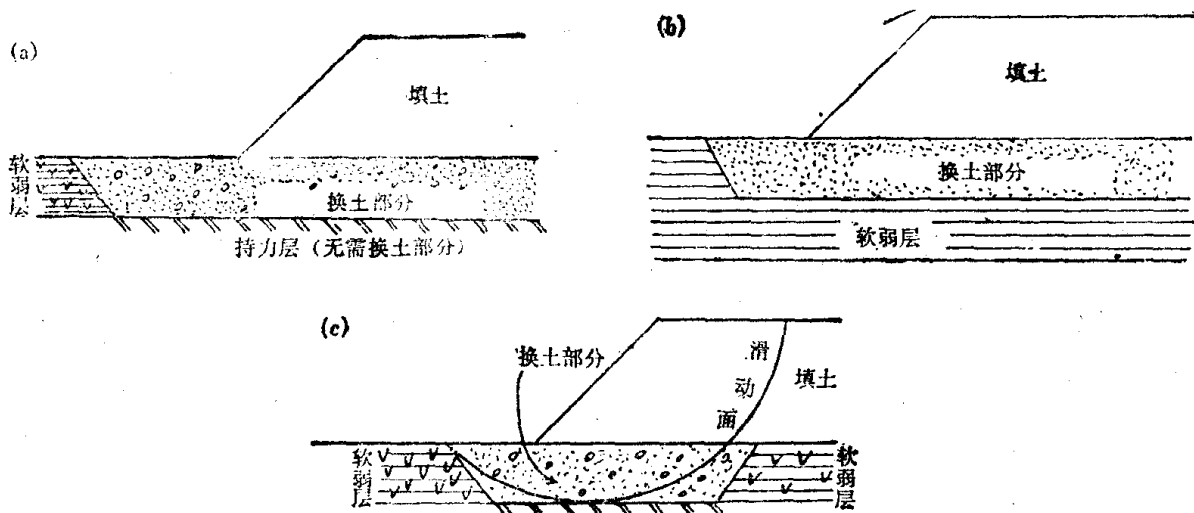


图1.13 换土法

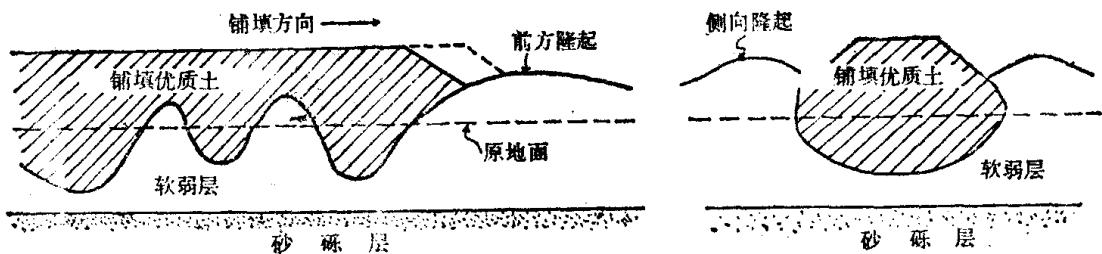


图1.14 滑动换土法

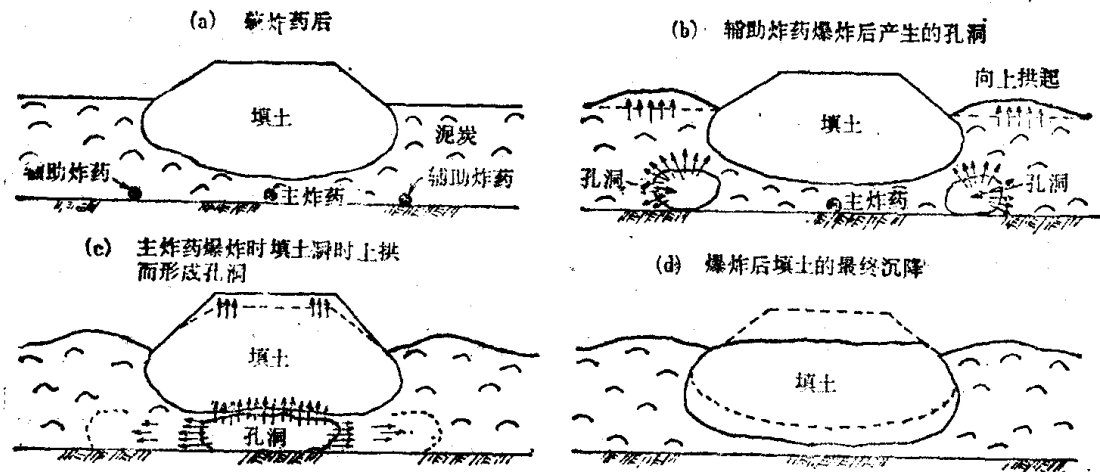


图1.15 爆破换土法

(13) 束钢板法 (faggot sheet)

束钢板法与本书第二章介绍的铺网法及竹筋铺网法等地基加固方法属于同一类。是对沉积污泥地基表层处理的一种方法。在沉积污泥或泥炭层等超软弱地基的表层，铺设高强度维尼纶等原料组成的合成纤维板，用以防止其上面填土的局部沉陷及软弱地基的侧向位移。图1.16中的1表示在软弱地基上直接填土的情况；2表示铺设薄板后的情况。由图可

见，不铺薄板的情况，由于地基侧向位移，填土沉降变形逐步扩展。当在填土底面铺了具有抗拉强度很大的维尼纶薄板后，填土与薄板之间的摩擦力可以阻止填土的扩展与沉降的发展。而薄板与地基间的摩擦力又具有减弱地基侧向位移的作用。这就是束钢板法的加固原理。

(14) LW法

这种药液灌浆法是将水泥溶液（A液）和水玻璃（硅酸钠——B液）两种溶液，分别用泵以相同压力、相同流量从注浆管端部的Y型管的两个管口灌入，经混合后注入软弱地基的方法（见图1.17）。

	基础形式	沉降状态	挠曲	拉伸
1			有	有
2			有	无

图1.16 荷载的支承条件与沉降状况

(15) 碳氢溶液注入法

这种药液注入法的药液由三种溶液组成：硅酸钠溶液（A液），重碳酸钠及各种酸性盐类（B液），氟硅酸钠（C液）。先将C液

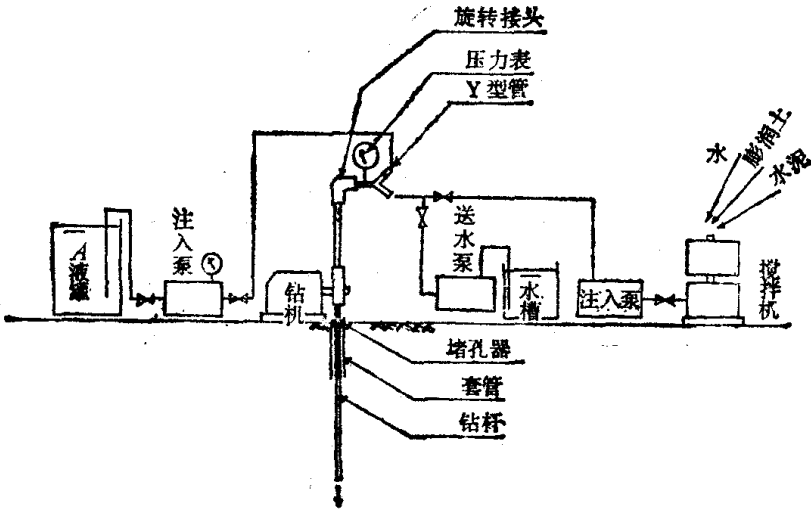


图1.17 LW法装置示意图

倒入B液中并搅拌均匀，再加A液即制成碳氢溶液。根据地基土粒的组成成分及孔隙大小等具体情况，也可将水泥浆或砂浆等与碳氢溶液混合后注入地基中*。

(16) 铝酸钠和硅酸钠注入法

本法与LW法相似，即将A液与B液两种溶液以相同压力、相同流量分别从Y型管子的两个管口灌入，经混合后注入地基的一种方法。但本法所用的A液是铝酸钠，B液是硅酸钠。

(17) 丙烯、木质素铬盐类药液注入法

为防止灌入土中的药液损害人体健康，日本建设省事务次官颁布了《有关建设工程施工中使用化学药液注入法的暂行规定》，暂行规定中明确规定水玻璃（硅酸钠）溶液不能含有剧毒物或氟化物。并禁止使用高分子丙烯和木质素类药液。

(18) 真空灌浆法

本法是利用井点排水法，将需要灌浆的区域，预先抽成真空状态或负压状态，然后灌入水泥浆或药液（见图1.18）。

* 这种方法因含氟化物，现已禁用。