

土质加固方法手册

〔日〕松尾新一郎 编

孙明璋 梁清彦 译

中国铁道出版社

86-1172
4870

土质加固方法手册

[日]松尾新一郎 编
孙明漳 梁清彦 译

中国铁道出版社

1983年·北京

030550

内 容 简 介

本书全面地介绍了日本及其他各国的土质加固方法,对各种方法分别阐述了其原理、设计方法、施工方法和施工例子。其中很多是现代先进的方法,如砂井、纸板排水、加筋土、防护层、防尘处理等方法,对地基基础加固、防止土体滑动、防止土质受侵蚀等都具有重要作用。本书可供土建工程技术人员、科研工作者以及大专院校师生参考。

土质安定工法便览

日刊工业新闻社 1979年

*

土质加固方法手册

〔日〕松尾新一郎 编

孙明璋 梁清彦 译

中国铁道出版社出版

责任编辑 王顺庆

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 29.75 字数: 731 千

1983年1月第1版 1983年1月第1次印刷

印数: 0001—8,000册 定价: 3.05元

序 言

在象日本这样狭小的国土中，能有如此各式各样的软弱地基和特殊土质，世界上还是罕见的。而且，在这样的国土中，由于一亿多的过于密集的人口和高度发达的经济，日本的科技人员对任何软弱地基都不能弃之不顾，而必须对其所承受的迅速增长的荷载作为任务加以处理。

由于这样的特殊背景和日本科技人员的独创性，以及对外国科技的发展的敏感，从战后到现在，在日本产生了多种多样的土质加固处理的方法，令人有眼花缭乱之感。虽然这些方法已很发达，但现在仍处于无止境的发展中。

然而，尽管是这样的现状，要使科技人员在整理土质加固方法方面，能选用一种可遵循的原则，不仅在日本，即使在外国也几乎是见不到的。编者鉴于这种事实，很早以前就将极端混乱的土质加固方法加以整理，深感有必要从理论和实际方面给科技人员提供使用方便的书籍。

此次，很荣幸地得到各大学和从事本行的科技第一线的独创的研究者和施工者各位的协助，使本书得以完成。在本书中对于各种方法，都分别清楚地叙述了绪论、原理、设计方法、施工方法、成功的施工例子、失败的施工例子。尤其是举出了很多施工例子、失败例子，是类似的书中所没有的一种新尝试。本书还搜集了日本独特的方法和国外普及的方法，并且对于将来的发展也有新的启发。本书如能成为科技人员的工具书，则不胜荣幸。

对于执笔者各位、工业新闻日刊的诸位，以及统一了各执笔者的笔调和整理了图面的宋永焜先生表示感谢。本书尚有许多不完善之处，敬请各位读者指正，以便今后改进。

本书在用途方面，也可作为大学、大学研究院水平的土质工程学、材料学、土木施工学的教科书。作为教材，大学可着眼于材料和施工的应用，大学研究院可就原理方面适当地加以选择取舍。我相信本书是能充分达到其应用目的的。

编者 松尾新一郎

1972年11月

目 录

I 编 总 论

1. 土质加固方法的意义及其范围	1
1.1 土质加固的意义	1
1.2 土质的分类	1
1.2.1 不饱砂质土	1
1.2.2 饱砂质土	2
1.2.3 不饱粘性土	2
1.2.4 饱粘性土	2
1.3 土质加固方法的动向	2
2. 选择土质加固方法的要点	4
2.1 土质加固方法的分类	4
2.1.1 根据改良动机分类	4
2.1.2 根据改良目的分类	4
2.1.3 按改良的时效分类	4
2.1.4 根据对原有地基的处理方法的分类	4
2.1.5 根据地基的性质分类	5
2.1.6 根据改良的实质内容分类	5
2.1.7 根据加固方法的科学领域分类	5
2.1.8 根据改良原理的分类	5
2.2 加固方法的选择和施工注意事项	5

II 编 方 法 分 论

1. 颗粒级配方法	9
1.1 绪论	9
1.2 原理	10
1.2.1 粒径分配和压实效果	10
1.2.2 粒径分配和渗透性	10
1.3 计划和设计方法	12
1.3.1 关于各种条件的颗粒级配	12
1.3.2 配合计算法	14
1.4 施工方法	20
1.4.1 现场混合方法	20
1.4.2 移动工厂式混合方法	21
1.4.3 集中工厂拌合方式混合方法	22
1.4.4 用筛分除去不需要的部分	22
1.4.5 用喷射水改良土质的方法	22
1.5 失败的例子	23
2. 凝聚沉淀方法	25
2.1 绪论	25
2.2 原理	25

2.3 计划方法	26
2.4 施工方法	27
2.5 施工例子	27
2.6 容易失败之处	28
3. 压实方法	29
3.1 绪论	29
3.2 压实的原理	29
3.2.1 Proctor的毛细管湿润学说	30
3.2.2 Hogentogler的粘聚水学说	30
3.2.3 Lambe的物理化学的颗粒定向理论	30
3.3 压实土的计划和设计方法	31
3.3.1 影响土的压实的要素	31
3.3.2 压实土的一般性质	39
3.4 压实施工	46
3.4.1 表面压实机械	46
3.4.2 表面压实(碾压)的特性	46
3.4.3 内部压实方法及其特性	48
4. 水力填土方法	51
4.1 绪论	51
4.2 原理、计划以及施工方法	51
4.2.1 水流式水力填土方法	51
4.2.2 沉淀式水力填土方法	51
4.3 施工方法和施工例子	52
5. 换填方法	54
5.1 绪论	54
5.2 原理	54
5.2.1 挖除换填方法	54
5.2.2 强制挤出换填方法	55
5.2.3 部分强制挤出换填方法	55
5.3 设计	55
5.4 施工	58
5.5 施工例子	60
5.6 注意事项	64
6. 爆破方法	65
6.1 绪论	65
6.2 爆破理论	65
6.3 施工方法	65
6.3.1 压实	65
6.3.2 挖除	72
6.3.3 控制滑坡	74
6.4 容易失败的地方	74

7. 振浮压实方法 (包括十字型振动方法

和梳型振动方法)	75
7.1 绪论	75
7.2 振浮压实方法的原理	76
7.2.1 水力填土的效果	76
7.2.2 振动压实的效果	76
7.2.3 施工顺序	76
7.2.4 压实的效果与原地基的粒径 关系	77
7.3 计划和设计方法	77
7.3.1 调查地基	78
7.3.2 改良地基的对象	78
7.3.3 标准贯入 N 值的使用方法	78
7.3.4 确定补充的砂量	79
7.3.5 施工间距	79
7.3.6 振动桩的布置	80
7.4 施工方法	80
7.4.1 振浮压实方法	80
7.4.2 十字型及梳型振动方法	83
7.5 施工例子	84
7.5.1 振浮压实方法的施工例子	84
7.5.2 十字型及梳型振动方法的施工 例子	86
7.6 施工应注意之点	87
8. 挤实砂桩方法	88
8.1 绪论	88
8.1.1 概述	88
8.1.2 用途和应用	88
8.2 原理	90
8.2.1 关于砂质土的原理	90
8.2.2 关于粘性土的原理	91
8.3 设计	95
8.3.1 对于砂质土的设计	95
8.3.2 对于粘性土的设计	98
8.4 施工方法	101
8.4.1 冲击式施工方法	101
8.4.2 振动式施工方法	101
8.4.3 施工管理	102
8.5 施工例子	104
8.5.1 对于砂质土的施工例子	104
8.5.2 对于粘性土的施工例子	105
8.6 设计和施工应注意的事项	105
8.6.1 砂柱用砂	105
8.6.2 粘土含量对于压实效果的影响	106
8.6.3 由于施工粘性土受到扰动	107
8.6.4 超软弱地基的处理	108
9. 电力冲击方法	109
9.1 绪论	109
9.2 原理	109

9.3 设计	110
9.4 施工	110
9.4.1 施工机械	110
9.4.2 施工要领	112
9.5 施工例子	112
9.6 容易失败之处	114
9.6.1 地基条件	114
9.6.2 施工	114
10. 水泥稳定处理方法	115
10.1 绪论	115
10.1.1 水泥稳定土及水泥加固土	115
10.1.2 塑性水泥稳定土	116
10.2 原理	116
10.2.1 粗颗粒土的水泥稳定化理论	116
10.2.2 粘性土的稳定化理论	117
10.2.3 水泥稳定土的力学性质和破 坏的要害	117
10.3 计划和设计方法	118
10.3.1 水泥稳定处理方法的计划和 预先调查的项目	118
10.3.2 为了配料设计的调查和试验	119
10.3.3 配料设计	119
10.4 施工方法	121
10.5 施工例子	125
10.6 失败的例子和容易失败之处	126
10.6.1 粉碎和拌合	126
10.6.2 压实	127
10.6.3 养护	127
10.6.4 对有机物和硫酸盐应予以注意	127
11. 沥青类稳定处理方法	128
11.1 绪论	128
11.2 原理	128
11.3 设计	129
11.3.1 土	130
11.3.2 沥青材料	130
11.3.3 配料设计	134
11.4 施工	135
11.5 施工例子	137
12. 石灰稳定处理方法	138
12.1 绪论	138
12.2 原理	138
12.2.1 石灰的性质	138
12.2.2 石灰和土的反应原理	139
12.2.3 石灰处理土的各种性质	140
12.3 计划和设计方法	144
12.3.1 计划	144
12.3.2 设计方法	145
12.4 施工方法	149
12.4.1 表层加固处理	149

12.4.2 深层加固处理	153	15.5.2 用道路油做防尘处理	206
12.5 施工例子	153	15.5.3 表层处理的施工	203
12.6 施工应注意的地方	156	15.5.4 沥青表面处理	208
13. 合成树脂加固处理方法	157	15.6 容易失败之处	211
13.1 绪论	157	15.6.1 与天气的关系	211
13.2 原理	158	15.6.2 与修补的关系	211
13.2.1 掺合在土质系中的情况	158	16. 预压荷载方法	212
13.2.2 在土质系表面做成薄膜的 情况	162	16.1 绪论	212
13.3 施工方法	162	16.2 原理	213
13.3.1 施工应注意事项	162	16.2.1 固结和强度的增加	213
13.3.2 土质加固用的主要合成树脂 的特征	163	16.2.2 用填土荷载增加有效应力	213
14. 防护层方法	165	16.2.3 用降低地下水位方法增加有 效应力	213
14.1 绪论	165	16.2.4 预压荷载的沉降和残余沉降	213
14.2 侵蚀的原理和选择防护层方法的 标准	165	16.3 计划和设计方法	213
14.2.1 侵蚀的原理	165	16.3.1 地基内的应力分布	214
14.2.2 选择防护层方法的标准	171	16.3.2 用降低地下水位方法增加有 效应力	216
14.3 各种防护层方法	171	16.3.3 真空方法	217
14.3.1 喷涂灰浆和混凝土方法	171	16.3.4 降低量和有效应力的增加量	218
14.3.2 塑性水泥稳定土方法	178	16.3.5 固结沉降的计算	218
14.3.3 种植方法	179	16.3.6 预加荷载期间的计划	219
14.3.4 铺网方法	190	16.4 施工方法	220
14.3.5 喷涂合成树脂系的防止侵蚀 剂方法	191	16.5 施工例子	221
14.3.6 利用合成高分子薄片作 防护层方法	193	16.5.1 名神高速公路大垣地区的填 土试验	221
14.3.7 利用合成纤维布板作防护层 方法	194	16.5.2 油罐的实例(大阪湾的填筑 地)	223
15. 防尘处理方法	195	16.6 施工应注意之处	225
15.1 绪论	195	16.6.1 填土速度过快	225
15.2 原理	196	16.6.2 计算值和实测值	225
15.2.1 飞尘的状况	196	17. 砂井方法	229
15.2.2 防尘处理的持续过程的理论 基础	197	17.1 绪论	229
15.2.3 防尘处理方法的分类	199	17.1.1 砂井方法的历史	229
15.3 设计	200	17.1.2 用途	230
15.3.1 可能进行防尘处理的地方	200	17.1.3 适用的地方及各种条件	230
15.3.2 理想的防尘处理的路表面	201	17.1.4 方法的要点	230
15.3.3 游憩场所和公园	201	17.2 原理	231
15.3.4 关于最近砂砾道路的设计 状况	202	17.2.1 固结	231
15.4 施工	202	17.2.2 固结与增加强度	232
15.4.1 最近砂砾道路的施工状况	203	17.2.3 砂井的效果	232
15.4.2 施工的实际成果和今后的 计划	204	17.3 计划和设计方法	232
15.5 施工例子	205	17.3.1 固结和增加强度的关系	232
15.5.1 用筑路柏油做防尘处理	205	17.3.2 沉降时间的计算	233
		17.4 施工方法	237
		17.5 施工例子	241
		17.5.1 名神高速公路填土试验	241
		17.5.2 瀬戸内海海岸的油罐(1964 年)	244

17.5.3 住宅公团米本团地建筑工程的例子	245	21.3.1 设计方法	281
17.5.4 运输部广岛飞机场工程的实例	247	21.3.2 构成脱水用管的材料	282
17.5.5 小田原~厚木公路的实例	249	21.3.3 施工机械	284
17.5.6 其他实例	250	21.4 施工	284
17.6 施工中存在的问题	250	21.4.1 施工计划	284
17.6.1 砂井失去连续性	250	21.4.2 施工地区的选定	284
17.6.2 控制填土的速度	252	21.4.3 施工	285
17.6.3 计算和实际的不一致	252	21.4.4 施工后的效果	286
18. 纸板排水方法	254	21.4.5 补充施工	289
18.1 绪论	254	21.5 施工例子	289
18.2 原理	255	21.5.1 施工现场的土质状况	289
18.3 设计	259	21.5.2 施工概要	290
18.3.1 决定排水体间距	259	21.5.3 施工效果	290
18.3.2 算例	260	21.6 失败的教训	291
18.4 施工	261	22. 毛细管干燥方法	292
18.5 施工例子	262	22.1 绪论	292
18.5.1 实验的规模和现场的土质情况	262	22.2 原理	292
18.5.2 测定的种类	264	22.3 计划及设计方法	293
18.5.3 实验结果	264	22.4 施工方法	294
18.5.4 实验总结	266	22.4.1 施工方法	294
18.6 注意事项	267	22.4.2 施工管理	294
18.6.1 设计时的注意事项	267	22.5 施工例子(实验工程)	295
18.6.2 打设排水体时应注意的事项	268	23. 降低地下水位方法	297
18.6.3 填土荷载时的注意事项	268	23.1 绪论	297
19. 浮式渗透排水方法	269	23.2 原理	299
19.1 绪论	269	23.2.1 稳定状态的抽水	299
19.2 原理	269	23.2.2 非稳定状态的抽水	300
19.3 设计	270	23.3 设计	301
19.4 施工	270	23.3.1 设计和调查	301
19.5 施工例子	271	23.3.2 选择方法	301
19.6 注意事项	272	23.3.3 浅集水坑排水方法	302
20. 夹层方法	273	23.3.4 深井方法	303
20.1 绪论	273	23.3.5 井点方法	305
20.2 原理和计划	273	23.4 施工	307
20.3 施工例子	274	23.4.1 深井方法的施工	307
20.3.1 1966年度的试验	274	23.4.2 井点方法的施工	308
20.3.2 1967年度的试验	275	23.5 施工例子	309
20.4 需要研究的问题	275	23.5.1 深井方法的例子	309
20.5 采用本方法需要注意的地方	277	23.5.2 井点方法的实际施工例子	310
21. 半透膜方法	278	23.6 容易失败之处	311
21.1 绪论	278	24. 电化学方法	312
21.2 原理	278	24.1 绪论	312
21.2.1 渗透压力和半透膜方法的关系	278	24.2 原理	312
21.2.2 粘土的脱水过程的理论研究	279	24.2.1 土颗粒的电荷	312
21.3 设计	281	24.2.2 电化学方法的结构	313
		24.3 设计方法	314
		24.3.1 电渗方法	314
		24.3.2 用铝电极的电解凝固	315
		24.3.3 灌入电药液方法	315

24.4 施工方法和施工例子	316	27.2.2 防止冻胀方法的原理	352
24.4.1 电渗方法	316	27.3 计划	353
24.4.2 用铝电极的电解凝固	317	27.3.1 调查	353
24.4.3 灌入电药液方法	320	27.3.2 求冻结深度的公式	355
25. 离子交换方法	322	27.3.3 防止冻胀方法的选择	360
25.1 绪论	322	27.4 设计和施工方法	361
25.2 原理	323	27.4.1 设计冻结深度	361
25.2.1 粘土矿物和吸附离子	323	27.4.2 置换方法	362
25.2.2 坡面和土中的离子交换的 特性	325	27.4.3 隔热方法	364
25.2.3 由于离子交换, 滑坡地带粘 土强度的变化	326	27.4.4 用药剂的处理方法	364
25.3 设计和施工	328	27.4.5 截水方法	365
25.3.1 调查	328	27.5 设计和施工例子	365
25.3.2 施工例子	328	27.5.1 置换方法	365
25.4 注意事项	330	27.5.2 隔热方法	367
26. 冻结方法	331	27.6 注意事项	369
26.1 绪论	331	28. 烧结方法	370
26.1.1 冻结方法的用途	331	28.1 绪论	370
26.1.2 适用于冻结方法的地基	331	28.2 原理	370
26.1.3 冻结方法的要点	332	28.2.1 改良土的塑性范围	370
26.2 冻结方法的原理和有问题之处	332	28.2.2 由于烧结的凝固	371
26.2.1 地基的冰点	333	28.2.3 由于蒸发和温度梯度而使含 水量减少	371
26.2.2 冻结速度	333	28.3 设计	372
26.2.3 冷却温度和冷却用的机器	334	28.4 施工方法	374
26.2.4 解冻速度	334	28.5 在日本试验的施工例子	375
26.2.5 冻土的强度	335	28.6 施工上应注意的地方	382
26.2.6 地下水流	336	29. 强制干燥方法	383
26.2.7 由于从地表面加热对冻结面 的影响	337	29.1 绪论	383
26.2.8 连接冻土浇灌混凝土的养护 问题	337	29.2 原理	385
26.2.9 冻结膨胀和解冻后的收缩	337	29.2.1 干燥的过程	385
26.2.10 冻结膨胀对周围地基的影响	338	29.2.2 干燥土的性质	386
26.2.11 减轻冻结膨胀影响的措施	339	29.3 计划和设计方法	389
26.3 计划、设计与施工	340	29.3.1 确定改良土的含水量	389
26.3.1 事前调查	340	29.3.2 确定干燥土的含水量	389
26.3.2 掌握有问题的地方和筹划基 本计划	341	29.4 施工方法	392
26.3.3 设计和计划	342	29.5 干燥装置	393
26.3.4 现场管理的量测计划	344	29.6 施工例子	394
26.3.5 计划的禁忌事项	345	29.6.1 干燥方法和生石灰方法同时 并用的例子	394
26.3.6 施工	345	29.6.2 干燥方法的例子	395
26.4 施工例子	346	30. 药剂灌注方法	397
26.5 失败的例子和容易失败之处	349	30.1 绪论	397
27. 防止冻胀的方法	350	30.2 原理	398
27.1 绪论	350	30.2.1 向地基中渗透的灰浆	398
27.2 原理	351	30.2.2 灰浆的作用	400
27.2.1 冻胀机理	351	30.3 设计	400
		30.3.1 预先调查	402
		30.3.2 灰浆的选定	404
		30.3.3 灌注设计	405

30.3.4 灌注用的机械设备	406	32.3.6 锚杆的变位	434
30.4 施工	407	32.3.7 土锚杆的群锚效果	435
30.4.1 灌注方法	409	32.3.8 预应力钢材和灰浆的粘聚 强度	435
30.4.2 配合	410	32.3.9 锚固力	436
30.4.3 灌注压力	410	32.4 施工方法	436
30.4.4 溢出处理和重新灌注	411	32.4.1 单一灌浆方法	436
30.4.5 测定的效果	412	32.4.2 灌浆方法	437
30.5 施工例子	413	32.5 施工例子	438
30.6 失败的例子及注意的事项	413	32.6 注意事项	438
31. 喷射灌注方法	414	33. 加筋土方法	439
31.1 绪论	414	33.1 绪论	439
31.2 原理	415	33.1.1 应用范围	439
31.3 设计	416	33.1.2 加筋土的特点	443
31.3.1 确定喷射孔间距及其配置	416	33.1.3 使用的材料和形状	443
31.3.2 灰浆材料的选择	418	33.2 原理	444
31.3.3 灰浆材料的使用数量	419	33.2.1 土和拉筋的摩擦	445
31.4 施工	419	33.2.2 土和拉筋的应力	446
31.4.1 施工机械和设备	419	33.3 设计方法	446
31.4.2 施工顺序	421	33.3.1 设计的方针	446
31.4.3 喷射的条件	422	33.3.2 基本的设计方法	446
31.5 施工例子	422	33.3.3 设计方法(1)	447
31.6 使用喷射灌注方法应注意的事项	426	33.3.4 设计方法(2)	448
31.6.1 不适合应用本方法的地基	426	33.4 施工方法	449
31.6.2 泥浆的处理	426	33.5 施工例子	450
31.6.3 建造截水膜后膜的损坏	426	34. 垫层方法	453
31.6.4 和已有的地下结构物的接合	427	34.1 绪论	453
31.6.5 根据土层构造而变动有效 射程	428	34.2 原理	454
31.6.6 关于安全	428	34.2.1 刚性材料的情况	454
31.6.7 关于噪音	428	34.2.2 柔性材料的情况	454
32. 锚杆方法	429	34.3 计划和设计方法	457
32.1 绪论	429	34.3.1 刚性材料垫层的情况	457
32.2 原理	429	34.3.2 柔性的材料	457
32.2.1 按螺杆的固定方法分类	429	34.4 施工方法	459
32.2.2 按锚杆的锚定方法分类	430	34.4.1 使用具有刚性垫层的情况	459
32.2.3 按锚杆的材料分类	430	34.4.2 使用具有柔性材料性质的垫 层方法的情况	461
32.3 设计	431	34.5 施工例子	463
32.3.1 锚杆的极限抗拔力	431	34.6 失败的例子	465
32.3.2 安全系数	432	34.6.1 由于薄板材料而引起的	465
32.3.3 锚固长度	433	34.6.2 由于铺填砂土的方法而 引起的	465
32.3.4 锚杆的有效水平力	434		
32.3.5 使用预应力钢材	434		

I 编 总 论

1. 土质加固方法的意义及其范围

1.1 土质加固的意义

为了建筑物的安全，必须对土质进行加固。而土质极为复杂，无机质的土是由大小不同的无数土颗粒组成的，其中大的砂砾和小的粘土、胶质颗粒之间的大小差别竟达数千倍。这些颗粒是不整齐地混合在一起的。并且，含水量对土的影响也极大。由于含水量程度不同，土的物理性质有显著的变化，而且，其化学性质也不一样。因此，虽然都称为土质加固，但其内容则是各式各样的。由于对所加固的土质有不同的利用目的，所以加固的措施也就千变万化。

尤其因为以火山灰土为主的各种不良土质在日本分布很广，其面积达到2,000万公顷（是水田及旱田总面积的38%），和欧美各国相比，加固措施更加困难。

现在日本每年人工造田可以达到1,000万坪（日本一坪等于3.3平方米），这样大规模的人工地基，在世界上是没有先例的，这一政策正在继续推行。但是在这种情况下，已不能再希望象战前那样用良好的土质修筑成坚固的地基了，而大部分是使用极不良土质修筑地基。然而由于经济的原因，则非常希望利用象以前那样优质的土地。

从抑制因人口集中于大城市而发生的地价高涨的观点出发，更有必要迅速而经济地加固不良地基，可以说，象现在这样要求、期望发展土质加固方法的时期是前所未有的。

1.2 土质的分类

土质加固问题，涉及土的强度、压缩性、渗透性等基本性质。为了满足现场所希望的条件，而改良这些性质，使土质稳定，就必须一方面增大土的内摩擦角和粘聚力，一方面改变渗透系数，为此，必须使土脱水而高密度化。换言之，土质的高密度化是土质稳定的基本原理。脱水、高密度化的方法，从前主要是采用物理的方法，然而由于砂质土或粘性土，还有饱和土或不饱和土所产生的现象显著不同，因此有必要将这些土加以分类来进行考虑。

1.2.1 不饱和砂质土

由于脱水和压实而使土的有效压力增大时，就会出现颗粒孔隙缩小、密度增大、抗剪性增加、压缩性和渗透性下降等现象，使上述的基本性质能够得到改良。由于密度增大，所以使用 N 值就可在现场测定砂的强度增加的程度。另外，压缩性减少的程度，是由于土质初期的孔隙大小不同而不同。总之，密度越大，压缩性越小。此外，也有用指数函数来表示孔隙比和渗透性之间的关系的，即为高密度化→孔隙比减少→渗透系数减少。在脱水、压实时，使用静的压缩（包括排水）、冲击、振动等方法，但按照Degebo和Meyerhoff的方法，其效

果一般认为是按振动、冲击、静的压缩的顺序。这就是选择加固方法时应遵循的原则。也就是说，排水和降低水位虽使有效压力和向下渗透水压增加，对于高密度化有用，但其效果小。并且在广大范围的现场，爆破方法虽然是简便、价廉，但在一般情况下，振动的压实桩、地基振浮压实、混合压实等方法的普遍应用，可以说明上述原理的正确性。

1.2.2 饱和砂质土

为了增加低于地下水位的砂质土密度，对孔隙水首先要进行脱水，脱水后可能得到与不饱和砂质土同样的压实效果。

而且，排水的方法不仅有助于高密度化，还能防止倾斜面的砂土流失和降低地下水位，因而使挖掘工程容易进行。降低地下水位可以使土质产生与减少浮力、增大荷载同样的效果，这也是不言而喻的。

1.2.3 不饱和粘性土

这样的土质被压实的结果，虽然可以达到一定的干容重，但由于在干、湿两方面各自被压实的最佳含水量不同或压实的方法不同，经过时间的长短不同，粘性土的性质也就不同。总之，压实的力量越大，压实效果就越好，一般是强度与容重成比例地增加。

1.2.4 饱和粘性土

增大土质的有效压力，促进固结，可以达到高密度化，则孔隙缩小，颗粒表面电分子力增大，粘聚力加强。这种改变的程度则根据预压固结荷载的大小而变化，但不改变土的固有性质。因之，利用加固方法促进固结时，对于土质的改良起到有效的作用，问题在于排水的方法。

粘性土渗透性极坏，脱水、固结所需的时间与排水距离的平方成正比，因此，用普通的压实方法就需要很长的时间，如选择的方法不当，恐引起土质既紊乱又塌陷以及滑动等对土质稳定不利的现象。现在采用的方法是缩短排水距离使固结时间减少，促进粘聚力加强和沉降，为此，多采用把排水管垂直打入的方法。

如上所述，根据土质的状态，采用的办法也不相同，总之，进行脱水、高密度化，能使土质的强度、压缩性、渗透性（有时必须使渗透性增加）获得良好的效果。因此，可以认为这是物理学的土质加固方法的基本原理。

1.3 土质加固方法的动向

以前形成的土质加固方法的主流，就是上述的物理的方法。这一方法，今后仍能被广泛地应用。但近来，化学的处理方法也大量地引入土质加固的领域中来。物理的方法，换言之，即用机械的方法改变土质的力学的、水力学的性质，而土质的固有的性质却没有改变。至于化学的方法则能改变土质的固有的性质。

粘性土块的物理的粘结力，是作用在颗粒之间的，实际上是表面力，而颗粒内的化学的

粘结，则是原子间的坚固的粘结，破坏这种粘结则需要非常大的能量（虽说是化学的作用，但在其作用的过程中，发生温度变化、水合、蒸发等物理反映也是当然的）。

土质加固剂在使土质的性质发生化学变化的结构中，可以形成连续的粘合料，也可以不形成连续的粘合料。因为加固剂以各种不同的结构对土颗粒起作用，所以虽然使用加固剂叫做化学的加固方法，但也不能一概而论，因而欲对土质的渗透性、压缩强度、拉力强度、弯曲性等性质进行改良，就必须选择最合适的加固剂。

第二次世界大战后，高分子化学的发展非常显著，具有天然材料中所没有的优越性质的新材料，陆续地创造出来了，例如，根据其轻量性、防水性、表面活性、强韧性等性质来改变土质的性质，更能给土质以抗拉强度和抗弯曲性等新的性质，这就使发展与以前的物理的方法完全不同的加固方法变为可能。

不过土质加固方法既然是工程的一个领域，只在原理上具有优越性质，还不够完善，因为它不能摆脱所谓经济上合算这一制约。从现在的观点来看，高分子材料虽然具有优越性，但价格昂贵，因而不能实用的事例很多；可是这一缺欠，由于需要量的增大和制造方法的改良，可以预计将来是会廉价供应的。即使在现在，由于追求一定的目的，而把成本高置之度外，以发挥其特性的情况也不少。

无论如何，把土质加固方法的领域，仅仅限制在建设部门的狭窄领域中的时代已经过去了，土质加固方法正在向综合科学的目标发展着。

特别是高分子材料的应用，其前途是远大的，向综合科学领域的进展，将日益增大，因此，土质工程研究者和化学研究者的合作，将日益密切起来。

2. 选择土质加固方法的要点

2.1 土质加固方法的分类

在前一章已经谈到了土质加固方法，由于对所加固的土质的期望和利用的不同，因而所选择的土质加固方法也不同。在谈选择方法之前，下面从各种观点出发将现用的加固方法加以分类。

2.1.1 根据改良动机分类

- (1) 改良该地基是最经济而有利的情况；
- (2) 即使在经济上是不利的，也可不改变其位置和规模，而得到改良的情况；
- (3) 为了应急措施等，需要迅速加以改良的情况；
- (4) 需要临时改良的情况；
- (5) 恢复原有的基础和土工结构物。

2.1.2 根据改良目的分类

- (1) 为增大土质的强度和耐久性、防止土的变形等，改良土的力学性质；
- (2) 为减小水压、渗透性等，改良土的水力学性质。

2.1.3 按改良的时效分类

- (1) 临时的改良；
- (2) 逐渐的改良——由于随着平衡压重填土而进行的压实，长时期才能达到稳定；
- (3) 永久的改良。

2.1.4 根据对原有地基的处理方法的分类

- (1) 换填原有地基
- (2) 改变原有地基的环境——由于降低周围的地下水位以及平衡压重填土压实而改变应力状态，以求得稳定；
- (3) 保护原有地基——在坡面上设置护层或防水薄膜等；
- (4) 在原有地基上进行加固处理。

2.1.5 根据地基的性质分类

- (1) 是砂质土还是粘性土;
- (2) 是非饱和土还是饱和土;
- (3) 是浅的地基还是深的地基;
- (4) 是天然土还是人工地基;
- (5) 是平坦地还是斜面。

2.1.6 根据改良的实质内容分类

- (1) 直接的 (本质的) 方法;
- (2) 间接的方法——坡面防护、平衡压重填土压实工程等;

2.1.7 根据加固方法的科学领域分类

- (1) 物理的方法;
- (2) 化学的方法。

2.1.8 根据改良原理的分类

这是最本质的分类。构成土的要素是固体、液体和气体,而从土质工程学来看,对土质起作用的主要因素,是把这三个要素分别视为颗粒、水分、孔隙的质和量,和这三种要素相比,其他要素的影响,一般地说是小的,换言之,确定了这三种要素,几乎就可以决定土的性质。所谓土质加固,就是由于土质的高密度化、脱水、大粒化而增大土的粘性、内摩擦角,因此对于上述的三相分别进行:(1) 颗粒级配,(2) 水分的限制,(3) 孔隙的减少(高密度化),就可以达到土质稳定的目的,如果再将这组合加以各种各样的改变,就能使不同的加固方法得到发展。

2.2 加固方法的选择和施工注意事项

以上,从各种观点出发,已对加固方法进行了分类,于是即可对与各种方法相适应的土质、达到目的的程度、耐久性、施工管理、工程费用等进行研究,必须慎重地选择最适合于该现场的加固方法。兹将加固方法的选择以及施工注意事项列举如下:

(1) 事前要慎重地进行土质调查。因土的性质是比较复杂的,当选择方法时,重要的是参考类似条件的先例,如盲目从事则将招致意想不到的失败。

(2) 很好地理解方法的机能、界限以后,根据目的来选择必要而充分的加固方法。希望不超过力所能及的范围。

(3) 加固工程与其他建筑工程不同,它不是施工的完成即意味着机能的完成,一般来

表 2-1

原理	方法名称	适应的土质	目的的程度	耐 久 性	施 工 管 理	估计工程费用
颗粒级配	颗粒级配	主要是粗颗粒土	增加通行的可能性	不能过多地期望要修补	根据各种试验或经验, 可进行适当的颗粒级配	廉 价
	凝集沉淀法	○软弱土填筑地 ○溢水道的悬浮土	○细粒土的粒团化(颗粒均匀化) ○防止污水流失	○渗透性增大, 固结性略有增加 ○抗剪强度增加	用 3% 液体, 每 1m^3 使用 $0.3 \sim 2.5\text{kg}$	每 1m^3 填土数十~数百元
	压实法	除泥炭以外的各种土	形成道路路面基层、筑堤等	若颗粒级配好, 就能得到大的干容重	压实机械和最佳含水量因土质不同而有变化 ○容重的测定	机械处理的例子: 厚 15cm , 面积 1万m^2 是 $1,200 \sim 1,500\text{元}/\text{m}^2$
高 密 度 化	水力填土法	砂 质 土	○由于水的饱和, 没有表现粘聚力, 细颗粒易于移动 ○填砂土的压实	效果一般是小的 ($N = 3 \sim 6$) 是振压的辅助办法	往松砂层灌水, 灌满后进行排水 ○容重的测定	廉 价
	换填方法	软 弱 土	如将软弱层全部换填, 就成为很好的改良	部分换填效果不够好, 留有沉降	要确保能得到大量的挖掘机械和大量的优质砂的办法	软弱层厚费用就高
	爆破方法	砂 质 土	可使相对密度为 $70 \sim 85\%$	土质本质上没有变化	○使土质完全饱和或干燥 ○野外试验及容重的测定	美国的例子: $100 \sim 400\text{元}/\text{m}^3$
	振浮压实方法	粉土部分 30% 以下的砂质土	○期望承载力为 $15 \sim 17\text{t}/\text{m}^2$ ($N = 15$ 以上) ○深度到 8m	沉降减少到 $1/2 \sim 1/4$ (不均匀的沉降少) 的砂桩也有承载力	○ $300 \sim 350\text{l}/\text{分}$ 的给水设备 ○原地基每 1m^3 , 约有 0.25m^3 的补充砂 ○要确认施工中效果	$1,500 \sim 2,000\text{元}/\text{m}$
	挤实砂桩方法	粘性土 砂 质 土	○期望承载力粘性土为 $15\text{t}/\text{m}^2$, 砂质土为 $20\text{t}/\text{m}^2$ ○深度到 30m	沉降减少到 $1/2 \sim 1/4$ (不均匀的沉降少) 的砂桩也有承载力	不以预压密为主, 所以缩短工期	$1,500 \sim 2,000\text{元}/\text{m}$
	浮式渗透排水法	软 弱 土	以砂井为标准	以砂井为标准	○研究材料质量的问题 ○工期短 ○在加固法上动脑筋	
	电击法	主要是砂质土	○以爆破工程为标准 ○深度到 10m	土质本质上没有变化	○把电极部分用水泡上 ○与爆破不同, 不会不发火 ○放电能量可随意加以改变	廉 价
化	水泥加固	主要是砂质土或粘聚力小的土	○交通量少的土路的表层 ○高级路面的基础	拉力强度 ($1/3 \sim 1/6$) Q_c	有机质土效果小和粘性土混合困难	例子: 联结层厚 15cm , 面积 1万m^2 $1,300 \sim 2,000\text{元}/\text{m}^2$
	沥青加固法	砂 质 土	○具有防水性 ○路面基层和路基的加固处理 ○水渠的衬砌等	沥青不论过多或过少都会使加固性减弱	○在干燥状态中进行养护 ○和粘性土混合困难	例子: 联结层厚 12cm , 面积 1万m^2 $1,500 \sim 2,000\text{元}/\text{m}^2$
	石灰加固法	粘 性 土	路面基层和路基以及软弱填筑地表面的加固处理	短时期通行的可能性增大 (初期强度弱)	○难以使用重量大的机械 ○和粘性土混合困难	$1,500 \sim 2,000\text{元}/\text{m}^2$

注: “估计工程费用”栏内的元, 均为日元——译者。

续上表

原理	方法名称	适应的土质	目的的程度	耐 久 性	施 工 管 理	估计工程费用
高 密 度 化	合成树脂	粘性土 火山灰土	耐水性化, 土的砂质化, 粘土化	○ γ_s 增加 ○压缩强度增加	○因种类繁多, 所以 要选择适合于目的 材料 ○确保效果	数千元~数万元/ m^3
	防护层 方 法	填土、挖土 部分的坡面	坡面的加固处理	因土质、目的不同, 有种种方法, 耐久性 也不同	○因种类繁多, 所以 要选择适合于目的 材料 ○确保效果	
	防尘处理	砂砾道路 粘性土	细粒土飞散的暂时处 理	处理后 $K_{7.5}$ 有变成2 倍以上的	根据混合剂的量和碾 压程度, 强度有变化	200~500元/ m^2
	预压荷载 方 法	粘性土	计划能够承受预想的 荷载那样的填土高度	虽然好, 但需要时间	注意荷载中的承载力	廉 价
	砂 井	粘性土	粘聚力增强(0.2~ 0.3) P	○选择良好的排水材 料, 砂桩若不断折, 可获得良好的结果 ○不适用于泥炭质	○固结度、沉降量、 应力增大的测定 ○准备大量的砂子 ○间距1.7m以上	数百元/ m^3
	纸板排水	软弱土	○以砂井为标准 ○风雨时施工困难	○若纸板不腐蚀、不 堵塞、不断折, 则 可得到与砂井的质 量一样好的效果 ○没有水中工程的施 工例子	○固结度、沉降量、 应力增大的测定 ○证实打进的深度	是砂井的1/3左右
水 分 的 限 制	夹 层	软弱土	防止滑动	不能抱太大的期望	材料质量的选定	
	半透膜 方 法	软弱土	利用渗透压力脱水	排水体比砂井坚固	○在地下水位以上就 没有效果 ○更换液体有困难	高 价
	毛细管干 燥方法	高含水性的 粘土	○促进固结 ○确保适当的含水量	以砂井为标准	在施工方法及材料质 量的选定上要开动脑 筋	
	降低水位 方 法	砂~粉土	○临时降低地下水位 ○促进固结(有时与 砂井并用)	不能期望太大的效果	○事前要进行地质调 查 ○保证地下水位降低	廉 价
	电 渗 方 法	粉土~粘土	○挖掘地的加固 ○防止滑坡的措施、 防止冻结	对粗砂无效	○孔隙水压力和含水 量的测定 ○要注意电损耗、埋 置物的电蚀 ○室内和野外试验是 必要的	每处理土 $1m^3$ 使用24~78kWh
	离子交换 方 法	粉土~粘土	○挖掘地的加固 ○防止滑坡的措施、 防止冻结	在原理方面大致已得 到解决而在施工方法 上尚有研究的余地	○有关土质的管理 ○有关电气的管理	保证直流电源有困 难, 不经济
	冻结方法	涌水的砂、 粉土含水量 多的粘土	短时期的截水	可以期望砂质土压缩 度为 $120kg/cm^2$, 粘 性土为 $60kg/cm^2$ 以下	注意地下水流的影响	5~10万元/ m^3
	防止冻结	细 粒 土	使用降低地下水位、 换填材料、化学处理 等方法防止冻土	若选择适当的方法相 当有效	对地下水位采取措施 选定换填的土质插进 隔热材料	
	烧结方法	通气性良好 的粉质土	○天然坡面以及填土 的加固 ○粘土的砂质化	越是进行高温处理, 压缩强度越增强	通气性不良的土质和 在地下水位以下, 就 没有效果	例子: 使用重油 $1,000l/m^3$
	高含水量 粘性土干 燥方法	粘性土 火山灰土	减少含水量, 增加可 通行性		慎重进行碾压管理	