

陆地工程 深层搅拌施工方法 设计施工手册

[日] 财团法人土木研究中心著

钱 敏 伍海平 顾 洪 翻译

中国科学技术出版社



[日]财团法人土木研究中心著

陆地工程 深层搅拌施工方法 设计施工手册

钱 敏 伍海平 顾 洪 翻译

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

陆地工程深层搅拌施工方法设计施工手册/(日)财团法人土木研究中心著;钱敏等译. —北京:中国科学技术出版社, 2002. 10

ISBN 7-5046-3376-3

I. 陆… II. ①深… ②钱… III. 基础(工程)—地基处理—技术手册 IV. TU753.8-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 071947 号

著作权合同登记号 图字:01-2002-5333 号

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:62179148 62173865

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

中国科学院印刷厂印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:14 插页:4 字数:360 千字

2002 年 11 月第 1 版 2002 年 11 月第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:55.00 元

译 序

我国地域辽阔,地质条件极其复杂,软土地基相当普遍。随着我国土木工程事业的迅猛发展,软土地基的处理技术已成为极为重要的研究课题。

近些年来,我国水利、公路、铁路、民航等行业相继研究开发了加固软土地基的施工方法。其中,深层搅拌法是一种得到广泛应用的方法。国家一些部委发布了相应的技术规程,如原国家冶金工业部 1991 年发布了《软土地基深层搅拌加固法技术规程》,铁道部 1996 年发布了《粉体喷搅法加固软弱土层技术规范》。由于深层搅拌法兼有加固地基和防渗的作用,造价较低,对环境影响较小,近年来在水利行业也日益推广应用。

日本土木研究中心编著出版的这本《陆地工程地基深层搅拌施工方法设计施工手册》,对地基深层搅拌技术做了系统的介绍和归纳,很值得我国土木工程技术参考、借鉴。国外土木工程施工中对环境的保护是非常重视的,将保护环境视作工程技术本身的一项重要内容,该书特别强调在施工中如何保护环境,这符合可持续发展的理念,我认为应该学习并引入到我们的实际工作中来。翻译此书的目的,就是希望能为土木工程技术学习、借鉴国外技术方法提供帮助,同时,为研究和完善符合我国自然、经济条件的软土地基处理技术体系尽绵薄之力。

我在此要特别感谢日本土木研究中心理事长富永正照先生、日本建设省土木研究所恒冈伸幸先生以及其他各位同行,感谢他们给予的大力支持。河海大学朱伟教授、水利部国际合作与科技司吴浓娣女士对本书做了审核工作,在此一并表示谢意。

钱 敏

二〇〇二年十月

発刊にあたって

財団法人土木研究センターでは、公的な立場から信頼性に優れた土木に関する新しい技術や施工法を取り上げ、学識経験者や経験豊富な各界の専門技術者による委員会を組織し、それら技術の普及・発展につとめてまいりました。

深層混合処理工法は、軟弱地盤における深層地盤改良の汎用工法として普及してきました。その原理は 20 年経過しても大きく変わっていませんが、工法の改良に伴って適用範囲が飛躍的に拡大しております。

また、各工法別の設計・施工マニュアルは作成されているものの、設計、施工管理、品質管理面での統一した考え方、技術基準を示したものはありませんでした。これまでに蓄積した技術を整理するとともに深層混合処理工法の設計・施工法に関する技術的標準を示すために、土木研究センター内に「深層混合処理工法マニュアル編集委員会」(委員長：京都大学 嘉門雅史教授)を設置し、その成果として「陸上工事における深層混合処理工法設計・施工マニュアル」をとりまとめました。

深層混合処理工法は軟弱地盤対策の一つとして極めて有効な工法で、今後もその役割はより一層大きくなると考えられます。

本マニュアルが、深層混合処理工法のさらなる発展を促すとともに利用用途の拡大や利用促進に大きく貢献することを期待しております。

平成 11 年 6 月

財団法人 土木研究センター

理事長・工学博士 富 永 正 照

まえがき

軟弱地盤対策は、劣悪な地盤条件のもとに多くの人口を擁する我が国において、活発な産業活動を進める上で避けて通ることが出来ない重要課題であります。

建設工事が大規模化するに伴って、地盤改良の必要性も飛躍的に高まり、多くの技術開発がなされ、改良範囲も浅い地盤から深い地盤へと広がってきました。

地盤改良の技術も、圧密・脱水や振動締固め型の物理的改良工法から、添加混合固化処理型の化学的改良工法の開発応用へと進展し、近年では地盤補強型の複合工法が多く見られるようになっております。

このような流れの中、深層混合処理工法は数多くの地盤改良工法の中で重要な位置を占めており、対象地盤の特性と所要の構造物の規模・重要性及び経済性などを勘案すると強い優位性を保持しているものといえます。

深層混合処理工法は、深層地盤を改良する工法の一つですが、昭和40年代から独自の技術開発による技術改良を重ね、数多くの施工実績を有しています。深層混合処理工法は、機械攪拌式と高圧噴射式の二つに区分され、前者はさらにスラリー系と粉体系とに大別されます。この違いは、主に施工時に使用する改良材によるもので、設計方法や改良地盤の特性、施工時における留意点は共通しています。

本マニュアルは、陸上工事におけるスラリー系及び粉体系の機械攪拌式深層混合処理工法の統一的な設計・施工マニュアルの確立を目的としたものであり、改良土の工学的性質の整理、改良地盤の設計の考え方、施工管理手法、適切な品質管理の手法の提案、適用にあたっての設計・施工上の留意点、設計計算事例などを盛り込んでいます。

最後に本マニュアルの作成に際して、多忙の中をご尽力頂いた委員会の委員・幹事の関係者各位に深甚の謝意を表する次第です。

平成11年6月

深層混合処理工法マニュアル編集委員会
委員長 嘉門 雅史

「深層混合処理工法マニュアル編集委員会」

委 員 会 名 簿

委員長	嘉門	雅史	京都大学	防災研究所
委員	奥村	樹郎	岡山大学	環境理工学部
委員	中井	照夫	名古屋工業大学	工学部
委員	北誥	昌樹	運輸省港湾技術研究所	土質部
委員	塚田	幸広	前建設省土木研究所	材料施工部
委員	大下	武志	建設省土木研究所	材料施工部
委員	松尾	修	建設省土木研究所	耐震技術研究センター
委員	三木	博史	建設省土木研究所	材料施工部
委員	能登	繁幸	北海道開発局	開発土木研究所
委員	三嶋	信雄	日本道路公団	試験研究所
委員	安達	徑治	社団法人日本建設機械化協会	建設機械化研究所
委員	千田	昌平	財団法人土木研究センター	常務理事
事務局	和田	信昭	財団法人土木研究センター	研究開発一部
	土橋	聖賢	財団法人土木研究センター	調査試験一部

幹事会名簿

幹事長

塚田	幸広	前建設省土木研究所	材料施工部
大下	武志	建設省土木研究所	材料施工部

幹事

今泉	正次	CDM 研究会 (五洋建設株式会社)
内山	甲一	DJM 工法研究会 (三井不動産建設株式会社)
酒井	成之	CDM 研究会 (不動建設株式会社)
富田	嘉雄	社団法人セメント協会
別所	三千夫	DJM 工法研究会 (小野田ケミコ株式会社)
細見	尚史	CDM 研究会 (株式会社竹中土木)
光橋	尚司	建設省土木研究所材料施工部
森下	純	応用地質株式会社
森山	健吉	DJM 工法研究会 (佐藤工業株式会社)
山本	勝英	社団法人セメント協会 (株式会社トクヤマ)

ワーキング

石倉	克真	CDM 研究会 (東亜建設工業株式会社)
田中	幹彦	DJM 工法研究会 (前田建設工業株式会社)
中島	秀晃	CDM 研究会 (株式会社竹中土木)
西	寿三男	DJM 工法研究会 (日特建設株式会社)
藤田	俊文	DJM 工法研究会 (三信建設工業株式会社)
山本	芳夫	CDM 研究会 (東洋建設株式会社)
吉原	重紀	CDM 研究会 (清水建設株式会社)

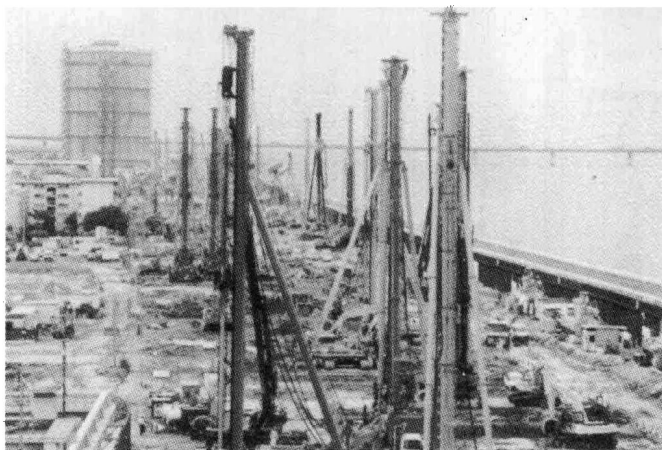


图 1 深层搅拌施工法施工场景(淀川河防震工程)

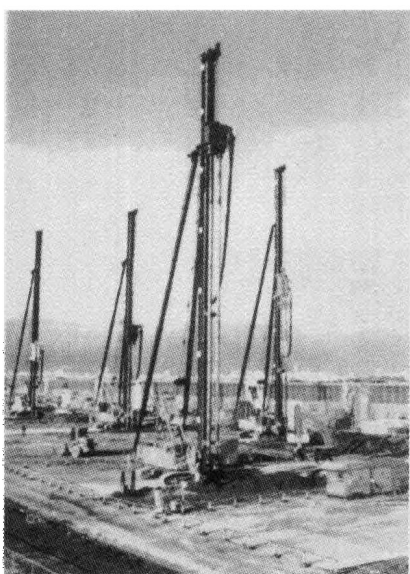


图 2 浆液系(CDM)施工机械



图 3 粉体系(DJM)施工机械

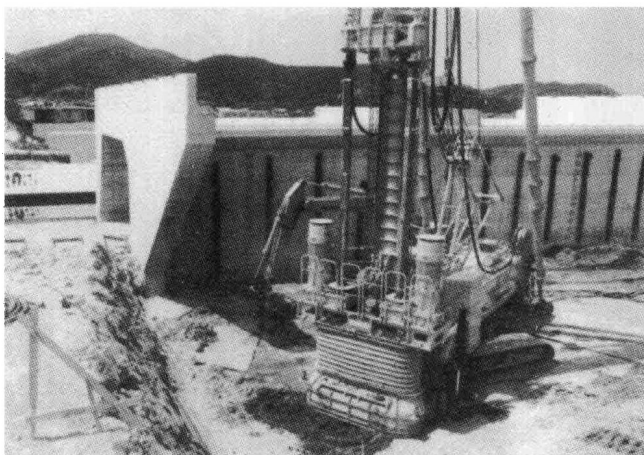


图 4 施工场景

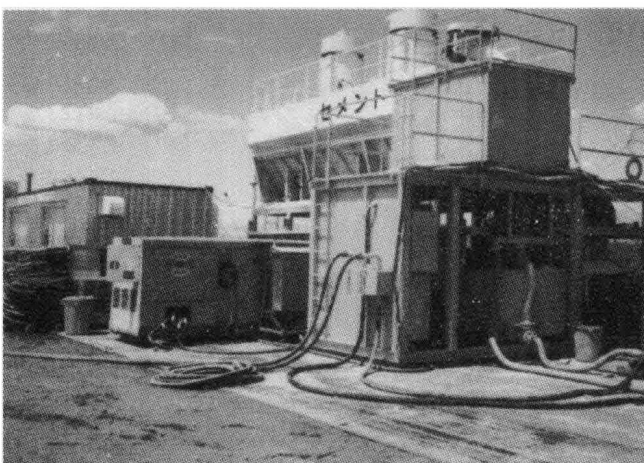


图 5 浆液系(CDM)固化剂拌和楼

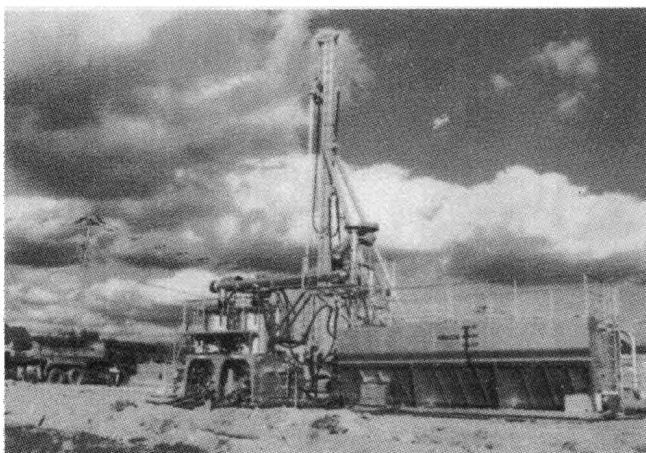


图 6 粉体系(DJM)固化剂拌和楼

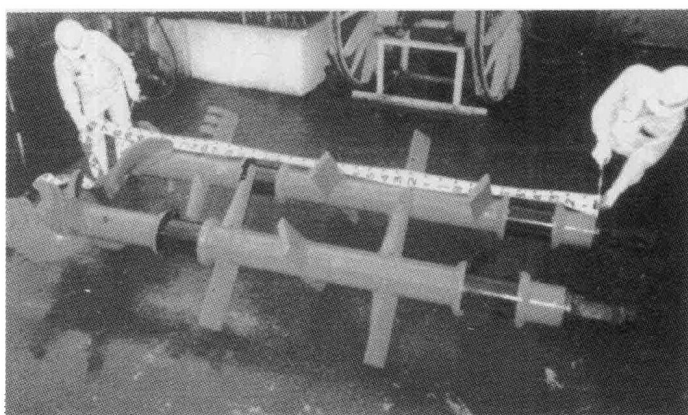


图 7 浆液系(CDM)搅拌头

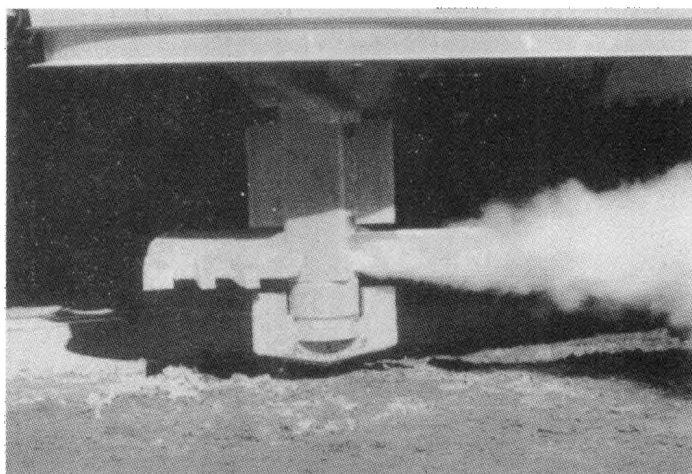


图 8 粉体系(DJM)搅拌头

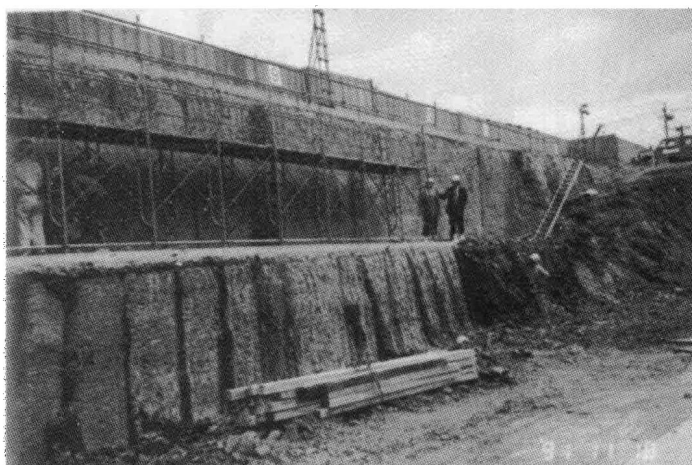


图 9 用于共同沟侧壁加固



图 10 加固体顶端开挖状况

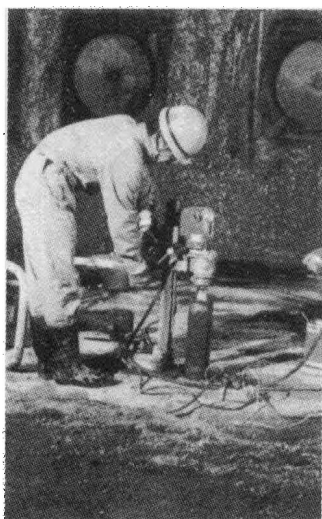


图 11 用简易型钻探机械采集试样

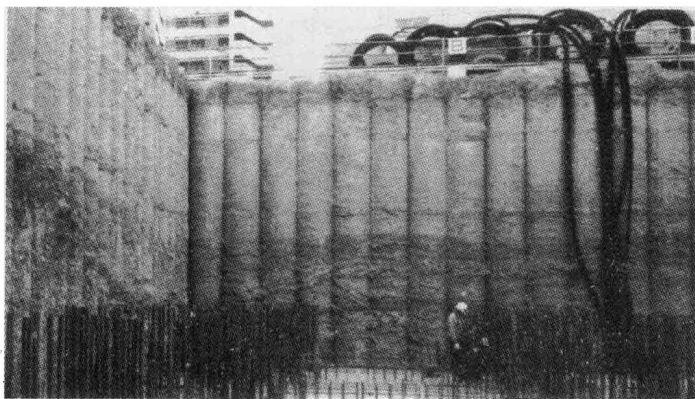


图 12 开挖加固体的外观

目 录

1 总论	1
1.1 概论	1
1.2 使用手册时应注意的事项	3
1.3 施工方法概要	5
1.3.1 施工位置	5
1.3.2 固化剂与施工机械	5
1.4 施工方法的使用	7
1.4.1 对各种建筑物地基处理的适用案例	7
1.4.2 确保土方开挖时的稳定性	8
1.4.3 其他适用案例	8
1.5 用语的定义	9
2 材料和加固土的力学性质	12
2.1 材料	12
2.1.1 固化剂	12
2.1.2 掺和剂	15
2.1.3 拌和用水	15
2.2 加固土固化的机理	16
2.2.1 水泥的固化机理	16
2.2.2 生石灰的固化机理	17
2.2.3 水泥类固化材料的固化机理	17
2.3 影响加固土力学性质的因素	20
2.4 加固土的工程力学性质	22
2.4.1 概要	22
2.4.2 物理性质	22
2.4.3 力学性质	24
3 勘测	37
3.1 勘测概要	37
3.2 土质勘测	38
3.3 室内混合试验	40
4 设计	44
4.1 概要	44
4.2 加固样式的选择	45

4.2.1	加固形式	47
4.2.2	支承形式	48
4.3	加固强度的设定	50
4.3.1	桩式加固地基设计（复合地基设计方法）的情况	50
4.3.2	块式加固地基设计（结构物设计方法）的情况	50
4.4	桩式加固地基的设计（复合地基的设计方法）	52
4.4.1	设计步骤	54
4.4.2	设计条件	54
4.4.3	加固地基的强度和各种条件的假定	54
4.4.4	抗滑稳定分析	55
4.4.5	承载力计算	57
4.4.6	固结沉降量计算	58
4.4.7	侧向位移的计算	59
4.5	块式加固地基的设计（结构物的设计方法）	62
4.5.1	设计步骤	62
4.5.2	设计条件	62
4.5.3	加固形式的设计	63
4.5.4	外部稳定性分析	63
4.5.5	内部稳定分析	66
4.5.6	圆弧滑动分析	66
4.5.7	位移量的分析	66
4.6	在新领域中的应用	67
4.6.1	在防止液化方面的应用	67
4.6.2	在挡土措施方面的应用	67
5	施工	76
5.1	概论	76
5.1.1	施工的基本流程	76
5.1.2	施工组织设计	76
5.1.3	施工准备	78
5.1.4	试验施工	78
5.2	施工方法	80
5.3	施工管理	90
5.3.1	施工管理项目	90
5.3.2	施工管理标准	90
5.4	与环境的协调	95
5.4.1	地基的位移	95
5.4.2	噪音、振动	96
5.4.3	施工弃土	98
5.4.4	对地下水的影响	98

6 质量管理	101
6.1 质量管理的基本想法	101
6.2 质量管理的程序与方法	102
6.2.1 钻探检验	102
6.2.2 其他的质量管理方法	103
6.3 质量管理标准	104
6.4 关于质量管理的统计方法	106
7 应用深层搅拌处理施工方法中设计、施工上的注意事项	108
7.1 设计上的注意事项	108
7.1.1 用于填土地基时的注意事项	108
7.1.2 用于结构物时的注意事项	109
7.1.3 用于开挖坡面时的注意事项	110
7.1.4 用于基抗支护时的注意事项	110
7.1.5 用于倾斜地基时的注意事项	111
7.1.6 用于多层地基的注意事项	112
7.2 施工方面应注意事项	113
7.2.1 施工次序和周围地基位移的应注意事项	113
7.2.2 处理机不能贯入坚硬地层问题	114
7.2.3 寒冷地带和热天施工应注意事项	114
8 设计计算实例	116
8.1 滑坡防治设计实例	116
8.2 减轻填土沉降的设计实例	119
8.3 挡土墙基础设计实例	122
8.4 基坑支护结构底部的设计实例	133
8.5 临时支护结构的设计实例	140
参考资料	148
资料 1 施工应用的推移	148
资料 2 深层搅拌处理工法加固规格实录	149
资料 3 质量统计整理实例	156
资料 4 旋转式静力触探对加固地基的质量评价	162
资料 5 地基加固体所受浮力荷载的计算	167
资料 6 应用实例	170

1 总论

1.1 概论

道路、堤防之类的建筑物通常总是希望修建在良好的地基上，但近年以来，在原来尽可能回避的软弱地基上进行的工程建设有所增加。随之而来的各种地基处理方法在 20 世纪 60~70 年代间不断得以开发应用。深层搅拌法是日本开发的具有代表性的软弱地基处理方法。该方法是将水泥等材料作为固化剂注入土中，将原地基的软土与固化剂进行强制混合搅拌，使其发生固化的地基处理方法，这点与夯实处理以及表层处理方法不同。另外，该方法具有噪声低、震动小等特点，容易获得前期强度，既适用于黏土，也适用于砂土等特征土质。

目前，所谓的深层搅拌处理方法包括机械搅拌式和高压喷射式，如图 1.1.1 所示。机械搅拌式分为浆液系列和粉体系列，前者将水泥浆和地基原土搅拌混合形成加固体，后者是将粉体固化剂与地基原土进行直接搅拌形成加固体。高压喷射式则是用高压空气、水以及注浆材料将处理范围内的原地基破碎，将水泥固化剂填入切削部分，或者是将固化剂和一部分切削土混合填入切削部分。

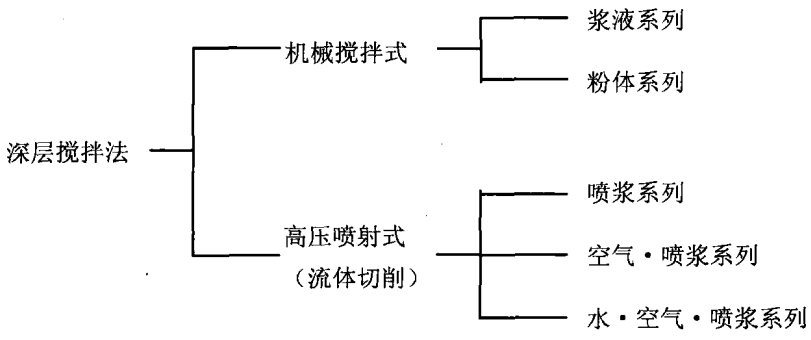


图 1.1.1 深层搅拌法的分类

人们将石灰之类的固化剂与软土混合，用于路面、路基等表层加固处理的方法自古就有，但作为施工方法的表层处理方法是在 20 世纪 70 年代才得到广泛的普及。另外，水泥土桩的制作方法也并非新鲜事物，比如，将水泥与土混合制成水泥土桩的方法，是 20 世纪 50 年代开始使用的。但是，目前采用的机械搅拌式深层处理方法则始于 20 世纪 60 年代后期日本运输省港湾技术研究所开发的 DLM (Deep Lime Mixing) 施工法。

这是一种将粒状石灰加入地中形成柱体搅拌桩的方法。之后，在 DLM 方法原理的基础上，20 世纪 70 年代后期开发出采用水泥浆作为固化剂的 CDM 方法 (Cement Deep Mixing)。而且，在 20 世纪 70 年代后期，通过日本建设省的综合技术开发事业，又开发出了将粉粒体直接喷射在原地基上进行搅拌的 DJM (Dry Jet Mixing 粉喷搅拌桩) 技术。其技术开发年代表如图 1.1.2。

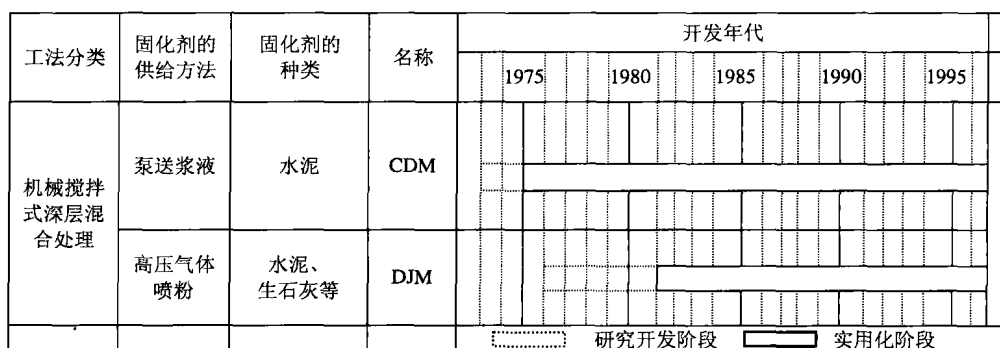


图 1.1.2 机械搅拌式深层搅拌法的开发年代

虽然浆液系列的 CDM 方法、粉体系列的 DJM 方法是机械搅拌式的代表方法，但最近也正在开发其他的方法。

在其他国家，与 DLM 方法开发完成的几乎同时，瑞典公布了用压缩空气将石灰或水泥注入地下，形成柱体搅拌桩的施工方法。

虽然高压喷射法也是一种形成柱体搅拌桩的方法，但这种方法是从注浆法发展而来，与机械搅拌式的深层搅拌法无论是在开发、普及的过程，还是在其适用性上都有所差异。高压喷射法采用的设备体积比机械搅拌式要小，这个特点使得该方法多用于施工环境狭小、陡地斜坡等的地基加固。本手册尽管主要介绍机械搅拌式的深层搅拌方法，但其中有关勘测、设计方法、质量管理的论述对高压喷射法也同样适用。另外，由于本手册未涉及高压喷射法的施工，希望参阅其他资料。

后面将会提到，深层搅拌方法在防止填土的滑坡和沉降、护坡、护岸工程的地基处理、防止砂土液化等方面已得到广泛应用。但是，它还不能作为桥墩等桩基的替代品加以广泛利用。其原因是由于加固地基在强度上具有较大的离散性，对此的评价方法以及设计方法还未完全成熟。所以，尽管本方法的最大特点是有效地利用了原地基的土体，但不应回避的是，与混凝土材料相比，其强度具有很大的离散性。今后，在追求统一的质量管理方法及收集实际工程的资料的同时，应考虑既要开发对于强度评价的统计方法，又要通过在结构设计中采取临界状态设计法等，研究在桥梁基础中的扩大应用。