

(日) 京 牟 礼 和 夫 著
曹 雪 琴 等 译

钻孔桩施工



中 国 铁 道 出 版 社



钻 孔 桩 施 工

(日) 京牟礼和夫 著

曹雪琴 屈兆均 余云杰 译

林耀中 张宗鼎 校

中 国 铁 道 出 版 社

1 9 8 1 年 • 北 京

内 容 提 要

本书译自日本京牟礼和夫所著《场所打ちぐしつの施工管理》(山海堂1976年版)一书的六、七、八、九章,主要叙述钻孔桩施工管理,着重介绍钻孔桩的三种施工方法(贝诺特、反循环和阿斯特利法)和机械设备;其它如螺旋钻、大直径空心钻孔桩和硬岩钻的施工方法本书也作了简要的介绍。本书可供土建工程设计与施工人员参考。

31108/96

钻孔桩施工

京牟礼和夫 著

曹雪琴 等译

责任编辑 冯秉明

封面设计 王毓平

中国铁道出版社出版

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 $\frac{1}{32}$ 印张: 7.25 字数: 152千

1981年9月第1版 1981年9月第1次印刷

印数: 0001—3,500册 定价: 0.75元

译 者 说 明

十余年来,我国钻孔桩基础已广泛应用于工交、水利、上建等部门,并有不少适应我国情况的创造发明,这些都是极为宝贵的经验,其中许多总结资料已发表于各种有关书刊。但是,我国钻孔桩的设计和施工水平尚有待提高,急待研究解决的问题尚多,努力提高设计理论和施工工艺的水平,显得十分迫切。

本书中叙述了日本钻孔桩工艺发展简史;三种主要施工方法(贝诺特、反循环和阿司特利法)的机械设备、施工程序、施工管理及若干种近年来新的施工方法,如大直径空心钻孔桩、硬岩钻等,是一本可以借鉴参考的专业用书,现节译出版,供有关部门设计和施工人员参考。

本书列举实例,介绍当前日本及国外钻孔桩的设计和施工概况,并且从施工管理的角度提出了钻孔桩操作工艺中的关键问题,这些内容都有着一定的普遍意义。但由于施工管理所涉及的面广,不可能企望从一般的介绍中得到简捷明确的答案,而且在具体处理时,还必须考虑到我国实际情况。

由于译者水平所限,译文中如有错误或不妥之处,望广大读者指正。

译 者

目 录

第一章 钻孔桩的设计	1
1.1 确定承载力的方法	1
1.2 设计参考资料	2
1.2.1 日本道路协会制定的设计规范	2
1.2.2 日本首都高速公路局制定的标准承载力	4
1.2.3 日本国铁建设局制定的桩尖极限承载力最大值	5
1.2.4 钻孔桩施工手册	6
1.3 设计人员须知	6
1.3.1 桩长的选择	6
1.3.2 负摩擦的情况	7
1.3.3 完全持力层和不完全持力层	8
1.3.4 摩擦桩	9
1.3.5 桩的间距	9
1.3.6 桩的有效断面	9
1.3.7 容许应力	10
1.3.8 埋入持力层的深度	12
第二章 钻孔桩的施工方法	13
2.1 贝诺特法	13
2.1.1 贝诺特钻机的种类	13
2.1.2 挖掘的方法	15
2.1.3 贝诺特法的施工要点	16
2.1.4 贝诺特挖掘机械的两大特点	19
2.1.5 贝诺特法的优点和缺点	23
2.1.6 贝诺特法施工须知	25
2.1.7 贝诺特法的施工实例	26
2.2 反循环法	49

2.2.1	反循环法的机械种类	50
2.2.2	挖掘的原理	50
2.2.3	反循环法的施工要点	54
2.2.4	挖掘的要点	61
2.2.5	反循环法施工的两大特点	65
2.2.6	反循环法的优点和缺点	69
2.2.7	反循环法的施工实例	71
2.3	阿司特利法	87
2.3.1	阿司特利法的机械种类	88
2.3.2	挖掘方法	92
2.3.3	阿司特利法的施工要点	94
2.3.4	挖掘能力	95
2.3.5	工程中的用水量	97
2.3.6	阿司特利法的优点和缺点	97
2.3.7	清孔的重要性	99
2.3.8	管理稳定液的重要性	99
2.3.9	阿司特利法的施工实例	100
第三章	施工管理	105
3.1	施工管理的重要性	105
3.2	有关施工管理的必要知识	107
3.2.1	砂性土地基与地下水对钻孔桩的影响	107
3.2.2	保证垂直地挖掘	110
3.2.3	在漂石层中的钻进	112
3.2.4	钻挖时的孔内水位	114
3.2.5	钢筋拱起的原因及处理措施	115
3.2.6	桩的表面摩擦力	118
3.3	用稳定液的钻挖施工	119
3.3.1	稳定液的有关专用术语	120
3.3.2	在挖掘施工中地基稳定的重要性	121
3.3.3	稳定液防止地基坍塌的原理	122
3.3.4	稳定液的作用	124

3.3.5	稳定液能控制只产生极少量的沉淀物·····	125
3.3.6	灌注混凝土时稳定液具有能为混凝土所代替的流 体作用·····	125
3.3.7	配制稳定液的原材料·····	126
3.3.8	稳定液的配合比和基本测定项目·····	127
3.3.9	稳定液的测定仪器·····	129
3.3.10	高分子聚合体的稳定液·····	129
3.4	灌注水下混凝土的方法·····	132
3.4.1	水下混凝土的一般注意事项·····	132
3.4.2	钻孔桩用导管法灌注水下混凝土·····	133
3.4.3	导管法灌注混凝土的优缺点·····	136
3.5	施工管理中的重要问题·····	137
3.5.1	桩尖土层的松软与桩周围土壤的松软·····	137
3.5.2	由土质及挖掘机械的观点来分析·····	137
3.5.3	工程失败与事故的实例·····	147
3.5.4	孔壁坍塌(反循环法)·····	157
3.5.5	孔壁坍塌(阿司特利法)·····	167
3.5.6	关于混凝土质量管理不良的问题·····	167
3.5.7	清除钻碴沉淀的重要性及方法·····	171
3.6	建设公害·····	174
3.6.1	对于因基础工程所产生的建设公害问题的措施·····	174
3.6.2	由于钻孔桩水质污染的处理方法·····	175
3.6.3	排水的标准·····	176
3.6.4	排出总量的规定·····	177
3.6.5	泥浆处理方法·····	177
3.6.6	聚凝剂和聚凝机能·····	177
3.6.7	凝聚法泥浆处理·····	178
3.6.8	工业废弃物·····	182
3.6.9	噪音管理法·····	182
第四章	钻孔桩(现场灌注桩)的其它施工方法 ·····	186
4.1	打孔灌注桩(Pedestal)·····	186

4.2	法兰基桩(Franki)	189
4.3	挖孔桩	190
4.4	PIP, MIP, CIP施工法	193
4.5	豪赫斯特拉塞施工法	195
4.6	潜水钻机(反循环施工法)	196
4.7	BH施工法	197
4.8	RRC施工法	200
4.9	挖掘硬质岩石的螺旋钻机	203
4.10	IHI维尔特钻机	204
4.11	MD-360钻机	208
4.12	大直径 $\phi 6$ 米的反循环桩	211
4.13	中空式大直径反循环桩	215
4.14	结束语	223

第一章 钻孔桩的设计

1.1 确定承载力的方法

钻孔桩作为支承桩，将桩尖支承在良好的土层上是很合适的，但是作为摩擦桩却并不理想。钻孔桩作为摩擦桩之所以不理想，是因为对于桩周面摩擦力值的大小，可能变动的范围和长期荷载作用下的下沉计算等方面，还有很多不明确的地方，以及由于桩的自重相当大，这就在很大程度上减少了摩擦桩所能承受的荷载价值。采用机械挖掘钻孔桩时，由于机械品种的不同，也各有其不同的特性。

一般地说，钻孔桩与打入桩比较，它有不同 的 支 承 特 性，因为钻孔桩用机械挖掘时，改变了原来土层中的内部应力状态；由于挖掘，使桩尖土层松软，这就不能期望土层具有原来的压实效果；另外，与以往的桩比较，钻孔桩的刚性比较大。

因此，在确定钻孔桩的承载力时，必须仔细考虑上述特点，不能简单地套用计算打入桩承载力的那些静力学公式，最好是做桩的荷载试验，从荷载与下沉量的关系中求出桩的承载力。

设计的要点就是要研究在垂直和水平方向相对于极限承载力有一定安全系数和容许变位量的容许承载力，作用在基础上的外荷载不应超过容许承载力。对于垂直荷载来说，是由安全承载力来确定容许承载力的，至于水平荷载，则由桩身的强度或按水平变位量来确定容许承载力的。所谓垂直荷载的安全承载力则是根据极限承载力确定的，而极限承载力

通常以荷载试验来决定的为最可靠。有关钻孔桩的容许承载力公式没有现成的,最理想的还是荷载试验,从荷载试验中就容许变位量所定出的荷载或极限承载力值除以一定的安全系数求得容许承载力。

然而钻孔桩的荷载试验既昂贵又费时,每一个工程都要做是办不到的。日本道路协会,首都高速公路局、建设省及国铁等单位过去曾做过很多钻孔桩的现场试验,收集这些荷载试验资料,加以分析可作为推定承载力的大致标准,供设计时的参考。

1.2 设计参考资料

截至1972年止,日本道路协会所制定的“公路桥下部结构设计规范桩基础设计篇”,首都高速公路局的“按不同施工法确定容许承载力图表”和国铁的“桩尖极限承载力的最大值”等,各单位已发表了各种标准。在进行设计和推算桩的承载力时,可用这些标准作为依据。下面将介绍作为设计规范的书籍(日本道路协会),并列出国铁的高速公路局的求算承载力图表,以及国铁的极限承载力最大值表,以供参考。

1.2.1 日本道路协会制定的设计规范

1973年1月,日本道路协会制定了《公路桥下部结构设计规范——钻孔桩的设计和施工篇》(以下简称公路规范)。该规范为了给设计人员提供方便,列出了由分析荷载试验资料来推算承载力的方法。无论在钻孔桩的设计和施工方面都具有丰富的内容,在各章中还附有详细的解释。书末汇总了14个荷载试验的结果(表1—1~1—2)。对于设计者来说,过去某些模糊不清的问题,现在可以用这本规范作为依据。

荷载试验成果表

表 1—1

桩尖地层	桩长 (m)	桩直 径 (cm)	桩尖 地层 的N 值	桩顶 最大 荷载 值 (t)	最大 荷载时 桩尖的 承载力 (t/m ²)	试验时 的最终 下沉量 (mm)	备 考	用表 1—2 计算 之值	
								设计 承载力 (t)	设计承载力作用下的 下沉量 (mm)
砂 砾 层	27.0	120	>50	1200	574	69	埋入持力层内 2m	312	4.5
	7.0	100	50	600	350	15		243	3.0
	24.0	100	40	630	316	19	屈服	212	2.5
	24.0	90	>50	700	766	26		162	1.5
	19.0	100	>50	750	333	45	屈服	313	5.0
	19.5	100	>50	730	535	>200	屈服	311	2.0
	48.0	100	65	800	64	13		287	3.0
砂 层	36.0	100	50	500	3	6	屈服, 混杂有砾石	127	0.9
	18.5	100	50	600	261	90		105	2.0
	29.0	110	>50	660	234	22	屈服, 混杂有砾石	183	2.5
	20.5	80	>50	460	200	>15		160	1.5
	33.5	100	40	800	216	34	屈服	280	3.0
	10.0	100	38	600	416	300	屈服	149	12.0
硬粘土层	15.0	100	20	600	246	16	屈服	133	0.8

这两个表中所列的数值, 只适用于机械挖掘的钻孔桩, 使用表 1—2 时, 还要注意以下几项。

(1) 桩埋入土中的长度要超过10米以上。

(2) 桩尖应设置在良好的持力土层中, 并要求桩尖进入该土层相当于桩径的深度。

(3) 由表 1—2 所求出的承载力是假定该单桩桩头下沉量不超过 2 厘米。

(4) 钻孔桩施工中要注意可能出现的翻砂, 同时要认真地进行钻碴沉积的处理。

这个设计规范由日本道路协会发行, 是一本对钻孔桩非

常有用的资料，推荐为设计参考资料。

q, q_s 的推算表 (单位: t/m^2) 表 1—2

设计用桩尖承载力 q_s	砂砾层 ⁽¹⁾	$N \geq 50$	250
		$50 > N \geq 40$	175
		$40 > N \geq 30$	100
	砂层 ⁽¹⁾	$N \geq 30$	100
	硬粘土层	q_s ⁽²⁾	
设计用桩侧面承载力 q	0.2N, 但是最大为4t/m ²		

注: (1) 区分砂砾和砂层时, 要根据严密的土质调查慎重对待, 至于夹有砾石的砂可当作砂层处理。

(2) 对于硬粘土层, 可参照《沉箱基础设计章》的标准来定。在此, q_s 为单轴抗压强度(吨/平方米), N 表示实测 N 值。

(3) 地震时可采用上表所列值的 1.5 倍。

1.2.2 日本首都高速公路局制定的标准承载力

首都高速公路局根据贝诺特, 反循环和阿司特利桩的荷载试验结果, 将标准承载力汇总成图 1—1 所示的设计指示。

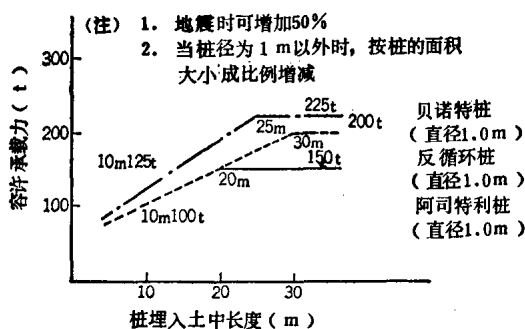


图 1—1 钻孔桩的标准承载力
(日本东京高速公路局)

从上图可以看出，随着桩的长度增加到一定数值后，承载力不再继续增大，这一点很值得注意。这与其他试验资料也是相符的。

这里也搜集了早期使用钻孔桩的一些资料，如对钻碴的沉积处理得当，上图所得的数值是相当安全的。

1.2.3 日本国铁建设局制定的桩尖极限承载力最大值

国铁建设局自1967年开始经过二年时间，制定了《钻孔桩设计规范》（以下简称国铁规范），由日本铁道建设协会刊印。本规范对贝诺特，反循环和阿司特利桩的调查、规划、设计、施工和施工管理都作了详细的介绍，书中还包括有内容丰富的资料，所以推荐这本书作为钻孔桩的专门书籍。在该规范中，对应该考虑的设计细节也进行了详细的讨论。原则上规定了桩尖极限承载力的最大限值，其大体标准如表1—3所示。

桩尖极限承载力的最大值 表1—3

持力层的种类	垂直极限承载力
砂层	1000t/m ²
砂砾层	1500t/m ²
软岩	2000t/m ²

对桩基础的桩尖承载力一般都很重视，现在求单桩桩尖端极限承载力的公式都是以Meyerhof公式为基础的，国铁也准备采用同类的新公式。

一般公式如下：

$$Q_p = 30 \frac{N_1 + N_2}{2} \cdot A$$

式中 Q_p ——桩尖的极限垂直承载力（吨），

N_1 ——桩尖标准贯入 N 值；

N_2 ——自桩尖向上4倍桩径范围内的平均 N 值；

A ——桩尖的支承面积（平方米）。

根据上式可求出单位面积的桩尖承载强度为 $p_u = Q_p/A$ ，在表1—3中表示 p_u 的最大可能值，通常桩尖承载力除了经过荷载试验证实的以外，原则上超过表1—3的数值是不采用的，而且当桩的长度小于10倍桩径时也不用上式。

1.2.4 钻孔桩施工手册

日本建设机械化协会，于1967年成立一个钻孔桩委员会，由主要国家机关，施工单位和机械制造单位组成技术委员会，大约经过2年时间，刊印了《钻孔桩施工手册》。这本书是将施工实践和设计理论相结合的设计和施工手册，以青年技术人员为对象，对存在的问题提出了通俗易懂的解释，推荐用作钻孔桩施工的参考书。以下凡引用这本书时，简称为《施工手册》。

1.3 设计人员须知

在设计钻孔桩时，一定会要查阅一些已发行的专门书籍，在此列出一些与设计、施工有关的和应知的一般常识。

1.3.1 桩长的选择

各种钻孔桩按其采用机械种类的不同，都各有优缺点。无论采用任何一种施工方法，必须对以下几方面的互相关系进行仔细的研究：

- (1) 设计要求；
- (2) 地质条件；
- (3) 现场施工条件；
- (4) 经济性；
- (5) 工程期限（施工速度）。

钻孔桩埋入土中的长度一般都以超过10米为宜，但实际

上也有小于10米的。如果，桩太短，则无论对于垂直力或水平力想要充分发挥桩的承载力是有很多问题的。一般说，希望桩有效深度超过桩直径的10倍以上，对于桩尖持力层比较浅的情况，桩直径不宜取得太大，最好使桩长和桩直径间的关系能限制在10倍左右。图1—2为其一例。

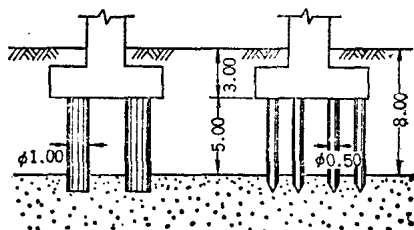


图1—2 短桩的设计例

当桩尖可能达到完全持力层时，则以采用根数比较少的大直径桩才有较好效果。用机械挖掘方法的施工速度比较快，而且能适用于长桩，通常各种方法所适宜使用的深度为：贝诺特30~50米，反循环30~70米，阿司特利15~30米。按机种的不同，有适宜于在陆地上施工的，也有适宜于在水上施工的，或者适宜于作

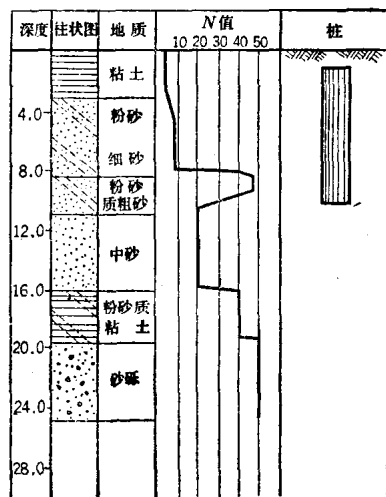


图1—3 不完全支承桩的设想图式

长桩施工的。在设计确定桩长时，首先应按上列5个条件，来选择施工方法和机械种类。

1.3.2 负摩擦的情况

原则上一般钻孔桩适宜于支承桩，至于当持力层很深出

现负摩擦时，如为了承受建筑物的荷载，也可当作摩擦桩来使用。

粘土层由于填土或抽地下水时会引起固结下降，对于贯穿固结层的长桩要出现负摩擦，这时，与桩尖支承面积相比桩的侧面积大得多，由于桩侧负摩擦力会使桩尖产生很大的应力是不合适的。如作为摩擦桩来使用的场合，并又考虑负摩擦时，应尽可能采用直径比较小的、间隔比较大和桩数比较多的方案则比较有利。

因此对于摩擦桩，为了增大其承载力，常常与其增大直径还不如增加其长度更为有利。

1.3.3 完全持力层和不完全持力层

根据国铁规范，对完全持力层和不完全持力层的定义概述如下：

所谓完全持力层，是指好的持力层，一般是指 N 值在30以上的砂和砂砾层，而且下卧层不是会产生压实沉降的软弱土层者。

在决定桩的直径和桩长时，应当根据作用在地基面上的荷载以及允许下沉量来确定桩尖持力层。对于钻孔桩，只要施工可行，还是尽量争取做成支承桩。

所谓不完全持力层是指 N 值为20以上的砂或砂砾层，该类土层虽然也有相当的承载力，但其下部有着产生固结下沉的软土层，所以可以估计该持力层是会出现下沉的地层。设计时对于这种不完全持力层是很伤脑筋的。桩的承载力和下沉量不单要考虑桩尖持力层的承载力和下沉量，还必须讨论下卧软弱层的承载力和下沉量。根据不完全持力层的深度、厚度、土的性质以及下部固结层的性质分析，一般不完全持力层大都在10~15米左右比较浅的位置（图1—3），是 N 值在20~30而强度不很高的砂性土，因此，支承桩直径不宜

很大，而且应采用比较小的桩间距，往往只有这样才能取得良好的效果。

1.3.4 摩擦桩

摩擦桩的承载力由桩侧壁的摩擦力决定，如果土的物理和力学指标已确定，则承载力与桩身侧壁面积即与桩径和桩长度之积成正比。所以，一般情况下要增大摩擦桩的承载力，与其增加直径不如增加长度更为有利。这样，除非情况特殊，用钻孔桩作为摩擦桩时，一般不如桩径较小的打入桩有利。

1.3.5 桩的间距

按日本道路协会设计规范（桩基础设计篇）中的解释，钻孔桩的间距以小于2.5倍桩径为宜。对于直径为1米左右的桩，其间距常用2.5倍桩径，由于地下管道等埋设物的铺设或基础尺寸限制等原因也有取2倍桩径为间距的。桩的最小中心距一般都取决于土质条件，在粘土层施工采用较小间距时可以不受限制，但是在含水后就要坍孔的砂土层或软弱土层施工时是有问题的。遇到这种情况，考虑到混凝土的硬化，可以采取间隔施工顺序，一根隔一根地施工等方法来处理。《国铁》有如表1—4所示的实例。表中还例有无间隔的柱列式搭接桩的施工实例。（第二章中介绍）

1.3.6 桩的有效断面

表1—5所列出的是《国铁规范》对设计钻孔桩时确定的有效断面值。挖掘钻孔桩时，实际桩径一般都要比钻机机具刃口的外径稍大一些，然而，考虑到由于土压将使孔径缩小，钻孔断面不规则、孔壁附着泥土、混凝土外壁强度降低等，使有效断面必然缩小的因素，为安全起见，在确定有效断面值时常取比实际桩径为小的数值。阿司特利法的有效断面比其他施工法还要小，这是因为这种施工法形成的孔壁很