

# 刚芯水泥土搅拌桩的对比试验研究\*

成立芹

(天津大学 建筑工程学院, 天津 300072)

[摘要] 测试了相同规格刚芯水泥土搅拌桩和混凝土钻孔灌注桩的承载力,并研究了芯桩长度对刚芯水泥土搅拌桩承载力的影响。结果表明,刚芯水泥土搅拌桩的承载力是钻孔灌注桩的1.36~1.54倍,而价格仅为钻孔灌注桩的26%~31%;提高芯桩长度比可提高单桩承载力,但长度比超过0.6后,承载力增长缓慢;相同长度的刚芯水泥土搅拌桩,芯桩越长,单桩承载力越高。

[关键词] 刚芯水泥土搅拌桩; 深层搅拌桩; 预制桩芯; 竖向承载力

[中图分类号] TU 312<sup>+</sup>. 1

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)02-0149-04

20世纪70年代,由日本开发了SMW工法,该法将型钢插入尚未固化的水泥搅拌桩中形成地下连续墙,用以挡土、止水,取得了很好的经济效益,近年在日本、东南亚一带已被广泛应用于深基坑支护工程<sup>[1]</sup>。20世纪90年代,我国冶金部建筑研究总院对加筋水泥土的工作特性、施工技术进行了系统研究,取得了重要成果<sup>[2]</sup>。近年来,国内学者进行的搅拌桩载荷试验表明,破坏发生于桩顶附近,水泥土被压碎。天津大学建筑工程学院在天津华苑小区进行的4组8根不同长度的搅拌桩复合地基载荷试验表明,4.0和9.0m搅拌桩复合地基具有相同的极限承载力,提示搅拌桩承载力受桩身截面强度控制。因此,本研究的目的是提高水泥土桩截面承载力,使与水泥土的桩周侧摩阻力等强,获得与混凝土桩相同甚至更高的承载力。

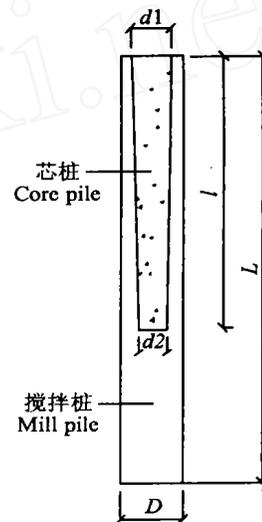


图1 刚芯水泥土搅拌桩构造

Fig. 1 The strong core cement mill pile

## 1 试验概况

### 1.1 刚芯水泥土搅拌桩构造

刚芯水泥土搅拌桩(以下简称为组合桩)由水泥土搅拌桩、预制楔形混凝土芯桩两部分组成,芯桩在水泥土固化前用汽车吊改装的轻便专用压桩机压入水泥土内(图1)。

### 1.2 试验目的

探明搅拌桩承载力的控制条件;比较组合桩的载荷特性及其与相同条件混凝土钻孔灌注桩的单桩承载力;明确芯桩几何尺寸对组合桩承载力的影响。

### 1.3 试验场地

试验在天津大学六里台小操场北侧进行。

### 1.4 载荷试验

由于组合桩采用新型成桩工艺制造,还没有现行规范,因此本次静荷载试验参照《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)、《建筑地基基础设计规范》(GB 7-89)和《天津市建筑地基基础设计规范》(TBJ1-88)及《建筑地基处理技术规范》(JGJ79-91)中的有关条文进行。

试验装置采用的是堆载反力,即由荷载块作为反力装置,通过钢梁和油压千斤顶对桩基进行静压

\* [收稿日期] 2002-01-11

[作者简介] 成立芹(1969-),女,河北定州人,讲师,在读博士,主要从事管理科学与工程研究。

荷载试验<sup>[3]</sup>。

试验桩的沉降量由数字式位移计通过静压测桩仪自动进行测量, 试桩加荷由西门子控载器通过静压测桩仪由电动油泵和油压千斤顶进行。

试验加荷分级: 本次试验初定荷载分为八级以上, 每级分为 30, 60, 100 kN (根据桩型和设计预估而定), 加载方法采用慢速维持荷载法<sup>[4]</sup>。

## 2 结果与分析

试桩资料明细表见表 1。表 1 中 1~ 12 号为组合桩, 13~ 17 号为混凝土钻孔灌注桩, 18~ 24 号为水泥土搅拌桩。表 1 中混凝土芯桩的截面尺寸为上部和下部的截面尺寸。

表 1 试桩资料明细表

Table 1 Data of pegs

编号 Number	搅拌桩 Mill peg					混凝土芯桩 Core peg		极限 承载力/kN Limit of bearing capacity	变形/mm Distortion
	桩长/m Length	桩径/mm Diameter	掺灰量/% Capacity of ash		水灰比 Ratio of water to ash	桩长/m Length	截面/mm Section		
			上部 Top	下部 End					
1	8.5	500	12	18	0.6	3.5	200-100	300	11.52
2	8.5	500	12	18	0.6	5.0	180-180	400	13.35
3	8.5	500	12	18	0.6	5.0	180-180	500	13.25
4	8.5	500	12	18	0.6	5.0	250-100	700	24.21
5	8.5	500	12	18	0.6	5.0	300-100	700	24.95
6	8.5	500	12	18	0.6	5.0	300-100	600	22.70
7	10.0	500	12	18	0.6	5.0	400-100	700	27.16
8	10.0	500	12	18	0.6	5.0	400-100	700	22.04
9	10.0	500	12	18	0.6	5.0	400-100	800	24.24
10	10.0	500	12	18	0.6	5.0	400-100	900	22.75
11	10.0	500	12	18	0.6	5.0	400-100	900	21.67
12	11.5	500	12	18	1.0	5.0	300-100	1000	21.58
13	-	-	-	-	-	8.5	500	500	16.91
14	-	-	-	-	-	8.5	500	480	33.75
15	-	-	-	-	-	10.0	500	600	15.74
16	-	-	-	-	-	10.0	500	550	10.31
17	-	-	-	-	-	11.5	500	650	23.21
18	6.5	500	15	15	0.6	-	-	150	35.90
19	6.5	500	15	15	0.6	-	-	180	27.77
20	8.5	500	15	15	0.6	-	-	150	23.29
21	10.0	500	15	15	0.6	-	-	150	15.09
22	10.0	500	15	15	0.6	-	-	150	20.31
23	11.5	700	15	15	0.6	-	-	540	23.91
24	11.5	700	15	15	0.6	-	-	480	22.86

### 2.1 搅拌桩承载力与桩长、桩径的关系

单桩静载荷试验, 结果见表 2。

本试验对 7 种不同长度、不同直径的搅拌桩做

表 2 搅拌桩载荷试验结果

Table 2 Test result of mill peg

编号 Number	桩长/m Length	桩径/mm Diameter	龄期/d Period	平均极限 承载力/kN Average of limit bearing capacity	对应平均 沉降量/mm Settlement	桩侧面积/m <sup>2</sup> Side area	截面面积/m <sup>2</sup> Area	截面极限 压应力/MPa Limit of press stress
18	6.5	500	62	165	30.34	10.2	0.196	0.84
19	6.5	500	63	165	30.34	10.2	0.196	0.84
20	8.5	500	63	150	23.29	13.4	0.196	0.77
21	10.0	500	63	150	17.70	15.7	0.196	0.77
22	10.0	500	61	150	17.70	15.7	0.196	0.77
23	11.5	700	77	510	23.38	25.3	0.385	1.33
24	11.5	700	43	510	23.38	25.3	0.385	1.33

由表 2 可以看出, 直径 500 mm 的 5 根截面相同的搅拌桩, 长度分别为 6.5, 8.5, 10.0 m, 其极限承载力基本相同, 其中桩长最短者承载力稍偏高。直径 700 mm 的搅拌桩与直径 500 mm 的相比, 极限承载力明显偏高, 表明本组搅拌桩极限承载力主要与截面有关, 受截面强度控制。这说明提高搅拌桩截面抗压承载力是提高单桩承载力的必要条件, 这一结论为组合桩的研究和开发提供了试验和理论依

据。

### 2.2 相同规格组合桩与混凝土钻孔灌注桩承载力的对比

表 3 表明, 搅拌桩配以经过合理设计的芯桩, 便能以远低于混凝土桩的经济指标获得高于同比混凝土桩 1.36~1.54 倍的承载力。这一重要发现为组合桩的进一步开发应用开辟了新的途径。

表 3 组合桩与钻孔灌注桩实测承载力对比

Table 3 Contrast of bearing capacity of combination peg and prime peg

组合桩 Combination peg		钻孔灌注桩 Prime peg		比率 Rate
桩号 Number	极限承载力平均值/kN Average limit of bearing capacity	桩号 Number	极限承载力平均值/kN Average limit of bearing capacity	
4	667	20	490	1.36
5	667	21	490	1.36
6	667	22	575	1.50
9	667	23	575	1.50
10	867	24	650	1.54
11	867			
12	1 000			

### 2.3 芯桩长度对组合桩承载力的影响

表 4 芯桩长度对组合桩承载力的影响

Table 4 Effect of the length of core on the bearing capacity of combination peg

芯桩长度/m Length	芯桩长度比 Rata of length	平均极限承载力/kN Average bear the weight
3.5	0.42	300
5.0	0.59	650
5.0	0.50	700
6.0	0.60	850
7.0	0.70	900
10.0	0.87	1 000

表 4 表明, 相同长度的组合桩, 芯桩越长, 单桩承载力越高。芯桩长度比 < 0.6, 增加芯桩长度可有

效地提高单桩承载力, 超过 0.6 后承载力提高幅度明显减小。因此, 在同时考虑经济指标、设备条件和施工进度等因素时, 组合桩存在一个最优芯桩长度比。本试验桩最优芯桩长度比为 0.6~0.7。

### 2.4 经济技术指标分析

根据工程试桩结果和 market 分析分别得到组合桩和钻孔灌注桩每 kN 极限承载力的价格, 如表 5 所示(钻孔灌注桩每方混凝土按 700 元计)。表 5 表明, 组合桩每 kN 价格为 0.64~0.75 元; 桩长超过 10.0 m 后经济指标较低; 组合桩每 kN 价格仅为钻孔灌注桩的 26%~31%。

表 5 组合桩和灌注桩费用对比表

Table 5 Expense contrast between combination peg and prime peg

桩长/m Length	组合桩 Combination peg			钻孔灌注桩 Prime peg			价格比 Ratio of price
	价格/元 Price	极限承载力/kN Limit bearing capacity	每 kN 价格/元 Price per kN	价格/元 Price	极限承载力/kN Limit bearing capacity	每 kN 价格/元 Price per kN	
7.5	366.7	491	0.75	1 190	490	2.42	0.31
8.5	476.1	660	0.72	1 190	490	2.42	0.30
10.0	561.8	828	0.68	1 400	550	2.55	0.27
11.5	638.9	1 000	0.64	1 610	650	2.48	0.26
12.0	817.3	1 200	0.68	1 610	650	2.48	0.26

注: 以上费用为 1999 年水平。Note: The above expenses were at the level of year 1999.

### 3 结 论

1) 实测结果表明, 组合桩单桩承载力高于同比混凝土钻孔灌注桩 1.36~ 1.54 倍。而价格仅为钻孔灌注桩的 26% ~ 31% 倍。

致谢: 本文曾得到刘杰老师的大力帮助, 特表示衷心感谢!

2) 提高芯桩长度比可提高单桩承载力, 但超过一定限值后承载力增长缓慢。

3) 相同长度的组合桩, 芯桩越长, 单桩承载力越高, 但超过一定值后承载力提高幅度不明显。

#### [参考文献]

- [1] 卢肇钧 地基处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988 56- 77.
- [2] 徐攸在 桩基检测手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999 87- 96
- [3] 史佩栋 实用桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1989 218- 257.
- [4] 沈 杰 地基基础设计手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985 47- 49.

## Test and study of the strong core cement mill pile

CHENG Li-qin

(College of Architectural Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

**Abstract:** The bearing capacity of the same specification cement soil mix stake and the concrete drill-holing stake, and the influence of staking length to the cement soil mix stake bearing capacity were tested. The result showed that, the bearing capacity of the cement soil mix stake is 1.36- 1.54 times to drill-holding stake, but the price is only 26% - 31% of drill-holding stake. Increasing the length ratio of stake can increase the bearing capacity of single stake, but it exceeds 0.6 m press, the bearing capacity increases slowly, but for the same length cement soil mix stake, the longer the stake is, the higher is the single stake bearing capacity.

**Key words:** cement soil mix stake; agitation stake of deep layer; prefabricated stake center; direction bearing capacity