

文章编号:1006-7329(2003)01-0001-05

## 后张预应力混凝土靠船桩性能实验研究.

涂忠仁, 许锡宾

(重庆交通学院 河海工程系, 重庆 400074)

**摘要:**通过四根后张预应力混凝土靠船桩的试验,研究了张拉控制应力、混凝土强度、配筋率等对靠船桩的裂缝形态、裂缝的闭合性能、桩的极限承载能力、总的变形性能和吸能效果的影响,为靠船桩的实际应用提供试验依据。

**关键词:**预应力; 靠船桩; 使用性能

**中图分类号:**TV332

**文献标识码:**A

靠船桩是码头水工结构中采用的主要防冲设备型式之一,其功能是在码头前沿直接承受船舶的撞击荷载。钢管桩由于其具有强度高、抗弯能力强、弹性大的优点,目前靠船桩主要采用钢管桩,而很少运用预应力钢筋混凝土桩,其主要原因是预应力钢筋混凝土桩的应变性能及吸能效果研究较少。但是,钢管桩除了存在锈蚀严重外,还大大增加工程造价。相比之下,预应力钢筋混凝土桩具有耐久性好、省钢材、造价低、易施工等特点。因此,对预应力钢筋混凝土靠船桩应变性能的研究,不仅对码头水工结构的运用,而且对降低码头造价均具有重要意义。

### 1 试验研究

#### 1.1 试件设计

考虑到靠船桩的施工特点和使用要求,本试验中试件均采用对称布筋,同时为了研究具有最佳吸能效果的预应力混凝土靠船单桩及群桩结构型式,试验中的试件主要参变量为混凝土强度、张拉控制应力、配筋率。加载采用循环加载方式和破坏性试验以提供研究预应力钢筋混凝土靠船桩的结构受力状态、极限承载力和防撞桩的应变性能数据。各试件参数见表1。

表1 构件参数表

编号	截面尺寸	配筋型式	钢绞线数量	设计砼强度(MPa)	张拉力(kN)
1	275 × 275 mm	对称配筋	4(7Φ5)	40	129.3
2	275 × 275 mm	对称配筋	4(7Φ5)	40	180.9
3	275 × 275 mm	对称配筋	4(7Φ5)	60	129.3
4	275 × 275 mm	对称配筋	5(7Φ5)	40	129.3

#### 1.2 试件的制作

试件分两批在试验室现场浇筑,试件中锚具采用柳州 OVM 公司生产的 P 型锚具。支座和跨中箍筋为 Φ6 圆钢,1#、2#、3# 试件波纹管保护层为 5 cm,4# 试件为 4 cm。

#### 1.3 张拉、灌浆

\* 收稿日期:2002-10-18

基金项目:重庆市科委基金项目(6086)

作者简介:涂忠仁(1973-),男,江西人,讲师,主要从事结构工程研究。

钢绞线的张拉是在混凝土强度达到设计强度的 70%后进行的,张拉过程中钢绞线总伸长量实测值与理论估算值基本吻合。张拉结束后,立即进行灌浆。

## 2 试验装置

### 2.1 加载装置

承受水平荷载的桩的工作性能是桩土相互作用的问题,靠船桩是利用桩周土的抗力来承担船舶撞击荷载。桩在撞击荷载作用下发生变位,促使桩周土发生相应的变形而产生抗力,这一抗力阻止了桩变形的进一步发展。因此,靠船桩实际上是弹性嵌固在土中,如图 1 所示<sup>[1,2]</sup>。嵌固点的位置取决于地基土壤性质、桩径、桩顶的固定性质和桩的自由长度等因素。为了在试验中模拟靠船桩在土中的嵌固性质,试验中采用了两个千斤顶,以控制加载和按变形协调原理模拟桩在土中的嵌固特性,如图 2 所示。

### 2.2 加载方案

在水工钢筋砼结构中,构件开裂意味着构件中钢筋锈蚀的概率将极大地提高,因而在抗裂性方面有着较高要求。为了研究经过特殊设计的靠船桩的变形性能,尤其是桩卸载后裂缝的闭合性能,在确定本试验加荷方案时考虑分几个加载循环:首先加载至试件开裂,然后卸载至零;再加载至比开裂荷载大若干加载级别的荷载,卸载至零;最后加载直至试件破坏。每一加载循环操作过程如下:①第一加载循环开始前时数据采集系统作初始平衡;②跨中千斤顶按加载级别加载至设计荷载;③模拟固端千斤顶根据固端支座处位移值加载使其满足模拟固端的变形条件;④当模拟固端的变形条件满足时采集数据;⑤数据采集完毕后进行下一级荷载加载。

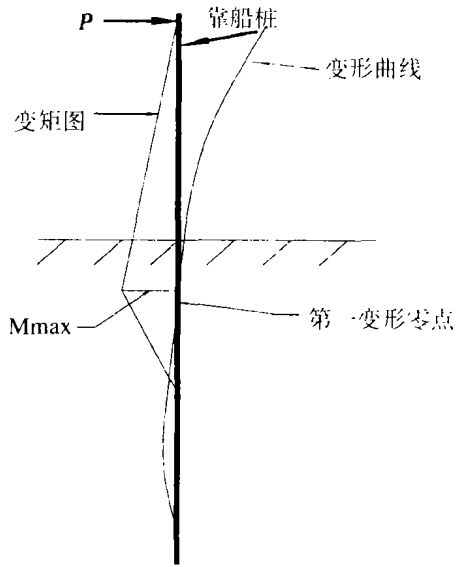


图 1 受水平力作用时桩的变形和弯矩图

## 3 试验结果及分析

### 3.1 荷载 - 位移曲线

挠度作为受弯试件位移测定的主要内容之一,常常体现试件总的工作性质,它能反映在荷载作

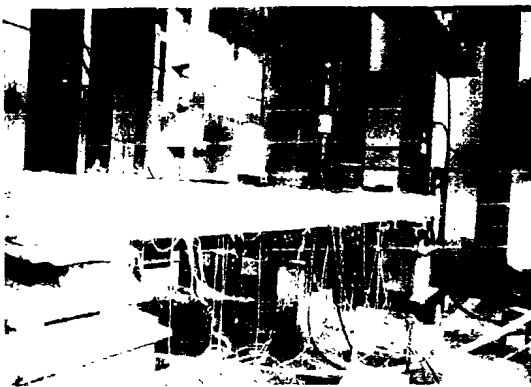


图 2 试验装置图

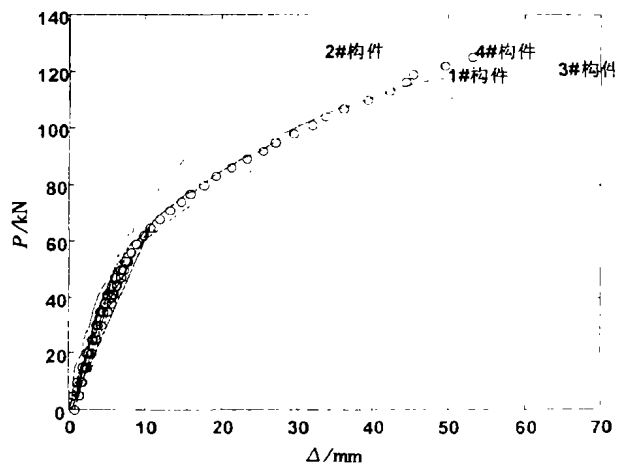


图 3 荷载 - 挠度曲线

用下试件任何部位的异常变化或局部破坏。

4根试件三次加载循环的荷载-位移曲线如图3所示。

从图中可以清楚看出所有试件在第一加载循环和第二加载循环中均呈现为弹性性质,卸载后无残余变形,且第三次加载过程中,试件变形进入非线性增长区后彼此又有区别。其实测结果表明试件在第一次及第二次加载循环过程中荷载-位移曲线均呈现弹性性质,残余变形为零。但由于4根试件的参数不同,导致挠度非线性增长部分的曲线不同。

这里位移主要是指跨中挠度,并且就设计而言,最关心的是结构最大挠度,影响一般结构物挠度因素很多,主要有:荷载,预加力大小及预应力筋轮廓线的线型,截面尺寸及跨度,混凝土弹性模量、收缩和徐变,预应力钢材性能(有无屈服平台),钢材松弛值及构件端部约束<sup>[3]</sup>。本次试验中,各试件的自重、预应力筋轮廓线的线型、截面尺寸及跨度、预应力钢材性能、试件端部约束相同,故影响挠度的因素为混凝土强度、配筋率以及预加张力大小。

根据弗雷西奈(F. Freyssinet)的观点,预压应力是改变混凝土性能的一种手段,它把抗压强度高、抗拉强度低的脆性材料转变成弹性材料<sup>[3]</sup>,这就是2#试件弹性范围比1#、3#、4#大的主要原因。

1#试件与4#试件相比较,前者配筋率小,后者配筋率大,试验表明,预应力混凝土靠船桩配筋率的提高对增加试件的延性作用影响有限;

由于3#试件设计混凝土强度高,相应的预应力损失小于混凝土设计强度低的试件(如1#、2#、4#试件),同时根据双直线法计算总挠度公式<sup>[3]</sup>:

$$\delta = \beta l^2 \left[ \frac{M_{cr}}{E_c I_g} + \frac{M_a - M_{cr}}{0.85 E_c I_{cr}} \right] \quad (1)$$

式中: $I_{cr}$ 为开裂截面惯性矩; $I_g$ 为毛截面惯性矩; $M_{cr}$ 为梁最大弯矩截面的开裂弯矩; $M_a$ 为计算挠度截面承受的最大弯矩; $\beta$ 为按支撑条件、荷载形式和截面位置决定的常数。

显然,从上述公式可以定性分析出3#试件跨中截面总挠度最大,这与实测结果是一致的。

### 3.2 裂缝

1) 所有试件第一条主裂缝均出现在跨中荷载作用截面受拉区,裂缝类型均为弯曲裂缝,即裂缝发展方向与中性轴垂直,而且卸载后该裂缝能够完全闭合,其后出现的主裂缝属弯剪裂缝,由弯曲裂缝演变而来,即裂缝开始垂直与受拉边缘,一定高度后以一定角度斜向发展。随着荷载增加,新裂缝不断产生。跨中区裂缝数量,明显呈不对称分布。

2) 由于4根试件设计采用不同参数,因而裂缝产生及形态具有各自不同的特性:

(1)首先是各试件开裂荷载不同,试验实测开裂荷载数据见表2。

表2 试件开裂弯矩及开裂荷载数据表

编号	1#试件	2#试件	3#试件	4#试件
开裂荷载(kN)	50	40	40	35
开裂弯矩(kN·m)	29.12	32.27	35.52	30.90

(2)裂缝分布情况不同

4根试件在完成三次加载循环的过程中,首先开裂的截面均为跨中截面,但是裂缝的分布具有较大差异,见表3。

(3)试件裂缝宽度增长与荷载的情况(见图4)

由于混凝土受弯试件裂缝形成和延伸有很大的离散性,设计中对裂缝间距和宽度的估计多采用以统计为基础的经验公式,杰格里(Gergely)和卢茨(Lutz)曾试验了许多种变量组合,只查明受拉混凝土的有效面积、钢筋应力及钢筋的根数、侧边或底面保护层、从钢筋所在位置到受拉表面的应变梯度以及钢筋的应力等为重要变量<sup>[4]</sup>。考虑的影响因素只限于钢筋直径、保护层厚度、有效配筋

率、钢筋应力等几个少数因素。

表 3 试件裂缝分布情况表

编号	1# 试件	2# 试件	3# 试件	4# 试件
裂缝总数	跨中	13	12	10
	支座	8		4
跨中分布范围	210 cm	203.8 cm	201 cm	208 cm
裂缝平均间距	跨中	16.4 cm	18.5 cm	22.2 cm
	支座	14.9 cm	13.3 cm	21.0 cm

本次试验,由于试验数据少,无法从统计角度进行定量分析裂缝宽度发展情况,只能从定性角度加以描述。由实测结果(图 4)可以看出,3# 试件与其它试件相比,明显看出 3# 试件的裂缝宽度大于其余试件裂缝宽度,这是因为 3# 试件混凝土强度最高,受压区混凝土的等效矩形应力图形高度最小,因此,受拉区边缘裂缝宽度值最大。

4# 试件的裂缝数量最多,裂缝宽度较小,这说明配筋率的提高既能有效地减小裂缝宽度增长速度又能形成多而细的裂缝形态。

### 3) 裂缝闭合性能

如前所述,所有试件在加载至开裂再卸载,裂缝都能完全闭合,其原因同钢绞线与水泥石浆之间具有良好的粘结作用有关,因为灌浆时,水泥石浆能随着钢绞线的扭结方向逐渐充满波纹管,加上预加张力较大,卸载时,钢绞线的预压应力能传递给周围的混凝土使裂缝闭合。当试件重复加载并再卸载时,同样能够表现出较好的闭合性能。对预应力混凝土靠船桩,使用荷载作用下一般是不会开裂的,良好的闭合性能将能最大限度地减少偶然荷载作用下开裂带来的腐蚀问题,从而提高试件的耐久性。

### 4) 弯矩重分布

当试件的某截面处具有在一个基本不变的抵抗弯矩下塑性转动的能力时,就会引起弯矩重分布,其结果是引起弯矩相对值的少许调整,并对超静定结构的极限荷载产生显著影响。本次试验模拟的是一端嵌固另一端简支的一次超静定结构,它的弯矩重分布过程可以用图 5 来表示。

从弹性分析不难得出当截面 A 的边缘纤维最初达到屈服应力时的荷载,即梁的最大弹性荷载  $P_1$  为:

$$P_1 = \frac{16 M_p}{3 l} \quad (2)$$

由破坏荷载下弯矩图的几何关系来计算破坏荷载有:

$$M_p + \frac{M_p}{2} = \frac{P_2 l}{4} \quad (3)$$

故

$$P_2 = \frac{6 M_p}{l}$$

比较(2)、(3)两式可以明显看出,荷载值增加 12.5%。

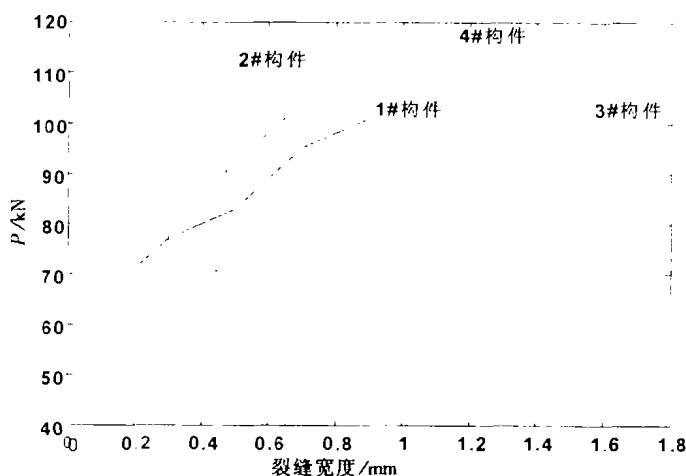


图 4 裂缝宽度 - 荷载曲线

试验实测  $P_1$ 、 $P_2$  数据见表4。

表4 荷载  $P_1$  与荷载  $P_2$  值表

荷载	$P_1$ (kN)	$P_2$ (kN)	$(P_2 - P_1)/P_1$ (%)
1# 构件	110	119	8.2
2# 构件	89	104	16.8
3# 构件	104	122	17.3
4# 构件	104	119	14.4

表中反映各试件由于弯矩重分布影响,试件极限承载力提高的情况。2# 试件  $P_1$  最小,原因为2# 构件张拉控制应力最大,在相对较小外荷作用下固端受拉区钢绞线即屈服。

另外,荷载相对增长率理论计算值是在塑性铰能够充分转动条件下得出的,除1# 试件外,其余试件荷载相对增长率都大于理论计算值,其主要原因是第一个塑性铰形成时的荷载  $P_1$  是取受拉区某根钢绞线进入屈服时的前一级荷载,从而使实测  $P_1$  值偏小所致。

实测结果表明,高强混凝土可以提高试件内力重分布的能力。但考虑到预应力混凝土靠船桩的工作环境和要求,对内力重分布的利用还有待作进一步的分析研究。

## 4 结论

1) 所有试件都具有良好的裂缝闭合性能,不仅裂缝数量多、裂缝宽度小,而且裂缝分布在较大范围内。相比之下,张拉控制应力低的试件更为明显。此外,试验结果表明,所有试件都表现出较好的裂缝闭合性能,这种性能对提高预应力混凝土靠船桩的防腐蚀能力和耐久性是有利的。

2) 采用高强材料设计的靠船桩同样表现出较好的内力重分布能力,但根据预应力混凝土靠船桩的工作环境和要求,对其内力重分布的性能和利用有待进一步的分析研究。

3) 从实测的荷载挠度—曲线以及裂缝形态等使用性能可以看出,经过特殊设计的预应力混凝土靠船桩具有较好的变形能力,配合橡胶碰垫等缓冲设施的使用,能够产生较好的吸能效果,作为直接承受船舶荷载的防撞设施是可行的。

## 参考文献:

- [1] 曾国熙. 桩基工程手册[M]. 北京:中国建筑工程出版社,1989.
- [2] 陈万佳. 港口水工建筑物[M]. 北京:人民交通出版社,1987.
- [3] 杜拱辰. 现代预应力结构[M]. 北京:中国建筑工程出版社,1988.

(下转第68页)

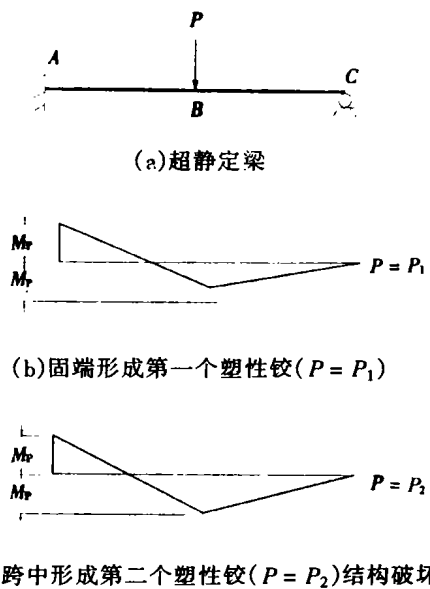


图5 一次超静定构件的弯矩分布和塑性铰的形成

可为船只正常航行提供较好的航道条件。

### 参考文献:

- [1] 西南水运出海通道中线起步工程(贵州段)初步设计[R].交通部第二航务工程勘察设计院,1999.
- [2] 红水河坝滩河工模型试验研究报告[R].重庆西南水运工程科学研究所,2000
- [3] 李昌华,金德春.河工模型试验[M].北京:人民交通出版社,1981.

## A Model Test on Regulation of Channel for Batao Shoal in Hongshuihe River

FU Hua<sup>1</sup>, YUAN Ping<sup>2</sup>, LI Ping<sup>2</sup>, DU Zhong - wei<sup>2</sup>, PENG Kai<sup>1</sup>

(1. Department of River and Ocean Engineering, Chongqing Institute of Communications, Chongqing 400074, P. R. China; 2. South-west Hydraulic Engineering Research Institute for Water Transport, Chongqing Institute of Communications, Chongqing 400016, P. R. China)

**Abstract:** In this paper, the characteristics of the Batao shoal and the main hindrance for navigation were analyzed. Model tests have been done based on the knowledge of the shoal nature. It is suggested that channeling, spit cutting works, spur - dike, straining wall and submerged dam should be done in order to guarantee the safe navigation under both moderate and low water levels.

**Keywords:** Batao shoal; channel; regulation; model test

(上接第 5 页)

## Experimental Study on the Properties of Pre - stressed Concrete Berthing Pile

TU Zhong - ren, XU Xi - bin

(Department of River and Ocean Engineering, Chongqing Institute of Communications, Chongqing 400074)

**Abstract:** Based on the experimental study of the pre - stressed concrete berthing pile, some properties such as crack and deflection were analyzed in this paper. It provides experimental basis for practical use of the pre - stressed concrete berthing pile in future.

**Keywords:** pre - stress; berthing pile; properties for use