

文章编号:1671-6833(2013)04-0024-04

PHC 管桩抗震性能试验研究

戎 贤<sup>1,2</sup>, 贾 楠<sup>1,2</sup>, 李艳艳<sup>1,2</sup>

(1. 河北工业大学 土木工程学院, 天津 300401; 2. 河北省土木工程技术研究中心, 天津 300401)

摘 要: 通过对 5 根 PHC 管桩进行低周往复加载, 分析其受力状态、破坏形态、承载力、滞回曲线、延性等抗震性能指标, 研究桩径、有效预应力及配置非预应力筋对 PHC 管桩抗震性能的影响. 结果表明: PHC 管桩的抗震性能随着桩径的增加而降低; 随着桩身有效应力的提高, 试件破坏的脆性特征及刚度退化现象减弱, 抗震性能有所改善; 而配置一定数量的非预应力筋可使其抗震性能得到明显改善.

关键词: PHC 管桩; 低周往复荷载; 延性; 抗震性能

中图分类号: TU378 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2013.04.006

0 引言

预应力高强混凝土管桩(简称 PHC 管桩)由于其适用范围广、承载力高、桩身耐打穿透力强、成桩质量好<sup>[1]</sup>等优点在工程实践中得到广泛应用<sup>[2]</sup>. 目前, 国外在研究地震作用下软弱土层中桩基在水平方向的动力反应及承载特性方面取得了较大成果, 国内郑州工业大学、合肥工业大学等科研机构在 PHC 管桩承台节点部位的力学性能进行了研究<sup>[3]</sup>, 然而对 PHC 管桩桩身抗震性能的研究较少. 因此, 笔者进行了 PHC 管桩的低周往复实验, 以研究 PHC 管桩的抗震性能.

1 试验概况

1.1 试件设计

试验共设计了 5 根 PHC 管桩, 试件桩身长度

均为 5 000 mm, 混凝土强度等级为 C80, 混凝土管桩壁厚厚度按桩径不同分别为 95 mm (Φ400 mm 型桩)、100 mm (Φ500 mm 型桩), 预应力纵筋的直径按桩型不同分别为 9.0 mm (A 型桩)、10.7 mm (AB 型桩), 箍筋采用 Φb = 4 mm 的螺旋箍筋. 试验拟针对桩径、桩型及配置非预应力筋对管桩抗震性能的影响进行对比分析, 设计了不同桩径的 P2 和 P4, P1 和 P3 两组试件对比分析桩径的影响; 设计了不同桩型的 P1 和 P2, P3 和 P4 两组试件对比分析桩型的影响; 设计了 P4 和 P5 对比分析配置非预应力筋的影响. 试件设计参数见表 1, 混凝土和钢筋的力学指标见表 2.

1.2 试验方案

试验采用的荷载形式为低周往复集中荷载, 施加荷载的位置选在管桩试件的中部, 从而能更准确地模拟管桩在地震力下的受力状态以研究其

表 1 试件设计参数

Tab.1 Design parameters of the specimen

序号	编号	箍筋间距/mm	箍筋直径/mm	壁厚/mm	配筋(预应力钢棒或普通钢筋)
P1	P-AB-4-4-80	80	4	95	7Φ <sup>D</sup> 10.7
P2	P-A-4-4-80	80	4	95	7Φ <sup>D</sup> 9.0
P3	P-AB-5-5-80	80	5	100	11Φ <sup>D</sup> 10.7
P4	P-A-5-5-80	80	5	100	11Φ <sup>D</sup> 9.0
P5	P-A-5-5-80	80	5	100	11Φ <sup>D</sup> 9.0+11Φ <sup>b</sup> 16

注: 表中 Φ<sup>D</sup> 为预应力钢棒直径, Φ<sup>b</sup> 为非预应力普通钢筋直径.

收稿日期:2013-02-01; 修订日期:2013-05-09

基金项目:河北省自然科学基金资助项目(E2011202013)

作者简介:戎贤(1965-),男,河北定州人,河北工业大学教授,博士,主要从事结构抗震研究,E-mail:13902135312@163.com.

抗震性能. 加载装置见图 1. 根据 JGJ 101—96《建筑抗震试验规程》<sup>[4]</sup>中关于拟静力试验加载相关规定,试验加载采用力-位移混合控制制度进行.

试件屈服前采用荷载控制并分级加载,每个荷载控制等级循环一次. 试件屈服后采用位移控制,每级位移荷载循环 3 次,直至构件破坏.

表 2 混凝土和钢筋的力学指标

Tab.2 Measured values of mechanical properties of steel and concrete

规格	非预应力筋			混凝土 (C80)		预应力钢棒	
	$R_{e1}/\text{MPa}$	$R_m/\text{MPa}$	$A_{g1}/\%$	$f_{ck}/\text{MPa}$	$E_c/\text{MPa}$	规格	$f_{ptk}/\text{MPa}$
HRB335 (16 mm)	369.8	533.2	17.3	60.4	$3.6 \times 10^4$	PCB-1420-35-L-HG	1 427.1

注:表中  $R_{e1}$  为预应力钢棒的屈服强度,  $R_m$  为其极限强度,  $A_{g1}$  为伸长率;  $f_{ck}$  代表桩身混凝土的轴心抗压强度实测值,  $E_c$  为混凝土的弹性模量,  $f_{ptk}$  为实测预应力钢棒抗拉强度.

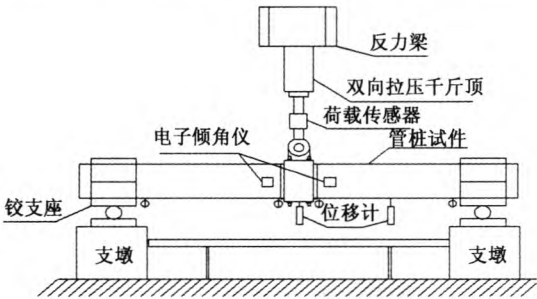


图 1 实验加载装置

Fig.1 Loading device

2 试验结果及分析

2.1 试验现象

P1, P2, P3 及 P4 试件裂缝数量较少,分布区域主要集中在桩身中部加载位置的塑性铰区域,且裂缝形式均为沿桩身横截面发展横向裂缝,试件破坏前裂缝宽度很大,间距也较大且保持一致,裂缝发展很不充分,可见裂缝发展的形态及分布受剪力的影响不大<sup>[5]</sup>. 以上现象表明管桩在试验荷载作用下主要处于桩身中部弯矩作用下的受弯状态,尤其是在塑性铰区的纯弯状态,可见桩径及

预应力度对于提高管桩的抗震性能不明显.

而增配非预应力筋的改善型试件 P5 裂缝形态中出现了较长的斜裂缝,裂缝的平均宽度减小,裂缝数量明显增多,分布范围也向试件两端发展,可见采用增加非预应力筋的措施后,试件桩身的应力分布更加合理均匀,裂缝发展更充分,有利于发挥高强混凝土的高强性能以增强试件的耗能能力.

2.2 试验结果

以试件受力区出现的第一条裂缝对应的荷载为开裂荷载,各试件的开裂荷载、屈服荷载和极限荷载见表 3.

由表 3 可见,试件的开裂荷载随桩径的减小而降低的趋势非常明显,桩径较小的试件 P1 和 P2 开裂很早,这对于以裂缝作为主控目标的预应力构件而言是十分不利的. 试件的极限承载力随桩径的增大而增大,桩径大的试件的屈服荷载和极限荷载均较小桩径试件明显增大. 与相同条件下的原型试件 P4 相比,采用增配非预应力筋措施的试件 P5 的承载力有所增大,特别是破坏时的极限荷载明显提高.

表 3 各试件主要受力阶段的承载力

Tab.3 Bearing capacity of specimen under the main conditions

kN

试件编号	开裂荷载		屈服荷载		极限荷载	
	正向	负向	正向	负向	正向	负向
P1	79.6	-72.0	130.4	-145.7	144.8	-182.8
P2	76.0	-55.0	96.8	-106.5	100.3	-110.5
P3	143.9	-158.8	217.0	-254.5	253.0	-278.0
P4	132.1	-130.8	160.4	-178.5	183.0	-202.0
P5	161.1	-147.9	247.0	-274.3	299.4	-313.7

注:表 3 中正向为使试验桩上缘混凝土受拉的加载作用力方向,负向为使试验桩上缘混凝土受压的加载作用力方向. 后面表 4 和表 5 中正向和负向意义均与此处相同.

2.3 试验抗震性能分析

2.3.1 荷载-位移滞回曲线

荷载-位移滞回曲线是研究结构试件抗震性

能的主要指标,它综合反映了试件在加载中任意时刻的承载及变形能力、耗能能力及刚度退化现象. 各试件桩身的荷载-位移滞回曲线见图 2.

通过不同桩径的原型试件比较发现,桩径较小的 P1、P2 试件较之相同条件下桩径为 500 mm 的试件 P3、P4,其滞回曲线的形态更为饱满,小桩径试件的滞回曲线的捏缩现象得到一定的缓解,表明预应力高强混凝土管桩的耗能能力随着桩径

的增大而减弱;通过比较还发现,较之桩径为 500 mm 的试件,小桩径试件在破坏前能够经历更大的变形,其位移延性性能较前者提高.综合以上两点得出,预应力高强混凝土管桩的抗震性能随着桩径的增大而降低.

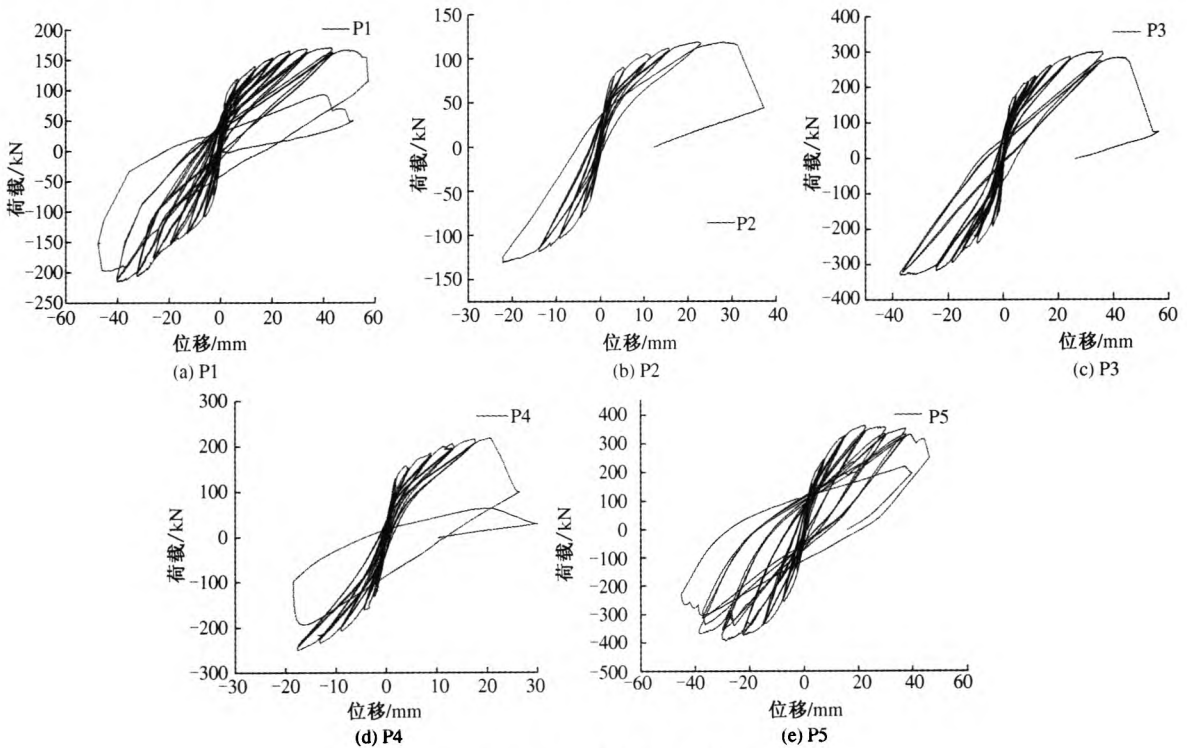


图2 各试件滞回曲线  
Fig.2 Hysteretic curve

通过不同桩型试件的比较发现,较之 A 桩型试件(P2 和 P4),预应力筋配筋率较大的 AB 桩型试件(P1 和 P3)的滞回曲线的形态较为丰满,滞回环的面积明显增大,捏缩现象也有较大改善,耗能能力明显增强,并且其破坏前经历的变形量也大幅增加,使其延性性能增强,表明 PHC 管桩的抗震性能受管桩预应力筋配筋率影响较大.

通过采取增配非预应力筋措施的试件 P5 与相同条件下的试件 P4 的滞回曲线比较可知,增加了非预应力筋的试件 P5,水平承载力有大幅提高,试件的耗能能力显著增强,滞回环明显呈梭形,形态饱满,黏滞阻尼系数增大,“捏缩”现象消失.由于在预应力纵筋受拉断裂后,非预应力筋可以与混凝土共同作用以发挥高强混凝土的强度高的优势,以及非预应力筋在塑性变形能力方面的优势明显,所以试件的耗能能力及变形能力等抗震性能得到明显提高.

2.3.2 延性性能分析

试件的位移延性系数为极限位移与屈服位移的比值,主要对延性结构构件局部的相对延性进

行评价<sup>[6]</sup>.研究者采用能量等面积法<sup>[7]</sup>,对试件的位移延性系数进行计算.各试件的位移延性系数见表 4.

通过试件的位移延性系数的对比发现,对于相同桩型的管桩试件 P4 和 P2,P3 和 P1 的屈服位移和极限位移随着桩径增大而减小,位移延性系数也有所减小;对于相同桩径的试件 P4 和 P3,P1 和 P2,其屈服位移和极限位移随着桩型的不同而变化,预应力筋配筋率较高的 AB 型桩试件 P3 和 P1 的屈服位移与极限位移明显大于相同条件下的 A 型桩试件 P4,P2,其位移延性系数也较后者有大幅的提高,桩径为 400 mm 的 P1 试件(AB 型)位移延性系数较 P2(A 型)增大了 35%,桩径为 500 mm 的 P3 试件(AB 型)位移延性系数较 P4(A 型)增大了约 70%,以上两点表明桩型与桩径对预应力高强混凝土管桩的位移延性性能均有影响,且桩型即桩身预应力筋配筋率对其延性性能的影响更加显著,管桩的变形能力随其桩身预应力筋配筋率的增加而明显增强.

表 4 位移延性系数  
Tab.4 Displacement ductility coefficient

试件编号		P1	P2	P3	P4	P5
屈服位移/mm	正向	10.50	8.40	9.70	7.13	11.63
	负向	15.70	10.30	10.20	8.71	14.00
	均值	13.10	9.35	9.95	7.92	12.82
极限位移/mm	正向	50.00	26.40	41.00	20.18	41.40
	负向	44.00	26.00	42.70	17.92	42.38
	均值	47.00	26.20	41.85	19.05	41.89
位移延性系数	正向	4.76	3.11	4.22	2.83	3.56
	负向	2.93	2.60	4.19	2.06	3.03
	均值	3.85	2.86	4.21	2.45	3.30

与原型试件 P4 相比,增配了直径为 16 mm 普通钢筋的改善型试件 P5 的位移延性性能明显改善,屈服位移增加了 20%,极限位移增加了 63%,位移延性系数增大了 38%,这表明增配的非预应力筋使桩身混凝土的应力分布变得更加均匀,从而使预应力混凝土管桩的受力状况得到改善,进而改善了管桩的延性性能。

3 结论

- (1) 在低周往复荷载作用下,预应力高强混凝土管桩主要处于桩身中部弯矩作用下的受弯状态,由于管桩预应力筋的脆性断裂严重制约了高强混凝土的裂缝发展,使得受弯状态下的管桩存在延性较差、变形及耗能能力较低等不足,限制了管桩混凝土强度高、性能优势的发挥。
- (2) 管桩的延性性能、变形能力等抗震性能随着桩径的增大而降低;而随着预应力筋配筋率的提高,破坏的脆性特征及刚度退化现象减弱,延性性能及变形能力明显增强,抗震性能有所改善。
- (3) 配置一定数量的非预应力筋可以改善预

应力高强混凝土管桩桩身的受力特性,充分发挥其承载性能高的优势,从而可以有效地提高管桩的水平承载力、改善其在延性性能、变形及耗能能力等方面的抗震性能。

参考文献:

[1] 涂涛. 预应力混凝土管桩承载性能的研究[D]. 长安大学建筑工程学院,2009.

[2] 邓友生. 预应力混凝土管桩的应用研究和发展前景[J]. 建筑技术,2003(4):263-266.

[3] 宋寅. 预应力混凝土管桩填芯混凝土抗弯试验研究及理论分析[D]. 合肥工业大学土木与建筑工程学院,2006.

[4] 中国建筑科学研究院. JGJ 101—96 建筑抗震试验规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.

[5] 曾庆响. 预应力高强混凝土管桩正截面受弯性能试验研究[J]. 建筑结构,2010,40(4):114-116.

[6] 柳炳康. 预应力填芯管桩抗弯性能与延性特征的试验[J]. 工业建筑,2007,37(3):46-49.

[7] 倪诗阁. 结构试验中屈服变形的确定方法[J]. 工业建筑,1996,26(8):45-50.

Seismic Performance Test Research of PHC Pile

RONG Xian<sup>1,2</sup>, JIA Nan<sup>1,2</sup>, LI Yan-yan<sup>1,2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China; 2. Civil Engineering Technology Research Center of Hebei Province, Tianjin 300401, China)

**Abstract:** In order to investigate the effect of the pile’s diameter, pile body’s effective prestress and configuration of a certain number of non prestressed reinforcement on seismic behavior of PHC pile, five PHC piles were tested under low cyclic loading. The damage characteristic, bearing capacity, hysteretic curve and ductility were analyzed. It is shown that the seismic performance of PHC pile was reduced with the increase of the pile’s diameter and with the improvement of pile body’s effective prestress. The configuration of a certain number of non prestressed reinforcement can effectively improve the level of the pile’s seismic performance.

**Key words:** PHC pile; low cyclic loading; ductility; seismic behavior