

预应力砼管桩与桩帽连接节点 轴拔性能试验研究*

王恒栋

丁自强 赵广田

(大连理工大学 116024) (郑州工学院水环系 450002)

摘 要: 本文采用直径为550mm的预应力砼管桩,通过九个试件对桩与桩帽连接节点的轴拔承载力进行了试验研究,讨论了桩与桩帽的连接形式、连接节点的破坏形态、破坏机理以及受力特性。在试验研究的基础上给出了连接节点轴拔承载力的建议公式和确定管桩埋入桩帽深度的计算方法,并建议在实际工程中应采用连接形式。

关键词: 管桩; 桩帽; 轴拔; 连接

中图分类号: TU31

1 前言

随着我国社会主义现代化建设事业的迅速发展,码头泊位日益增大,以往高桩码头工程中常用的桩基尺寸已经嫌小,不能适应大泊位码头的需要。我国在“六·五”科技攻关中,已研制成功了大直径预应力砼管桩生产的成套设备,所生产的大管桩已在实际工程中使用。大管桩因其桩身具有较大的抗弯刚度,能够承受一定的水平荷载,所以可以在设计码头时采用全直桩方案,以便缩短工期。目前国内外关于桩身或桩帽的研究工作较多,但作为承上启下的桩与桩帽连接节点的性能研究,资料尚很少,因而在这方面开展研究十分有意义。

2 试验简介

2.1 试验设计

为了研究预应力砼管桩与桩帽连接节点抗拔性能,本试验针对不同的连接形式及管桩埋入桩帽内的深度变化来试验。连接形式分如图1所示的两种形式: A型桩芯钢筋不伸入桩帽; B型桩芯钢筋伸入桩帽内并满足钢筋的锚固要求。试验采用的管桩为丰台桥梁厂生产的先张法预应力钢筋砼管桩,外径为550mm,内径350mm。

*参加试验的人员还有:朱海堂、张煜钦、张启明、李安

收稿日期: 1995-06-07

桩芯钢筋配筋率按 1.25% 设计, 采用Ⅱ级螺纹钢筋。纵筋 10 ϕ 12 沿圆周均匀布置, 环向箍筋采用 ϕ 8、@200, 桩芯砼强度设计等级为 C₂₅

桩帽设计尺寸为 1100mm \times 1100mm \times 1400mm, 纵向及横向钢筋均采用Ⅱ级螺纹钢筋, 配筋率均为 0.15%, 环向水平箍筋采用 ϕ 10@260 豎配, 伸入帽部分的管桩周围布置 ϕ 8@100 的环向封闭箍筋。砼强度设计等级为 C₂₅。

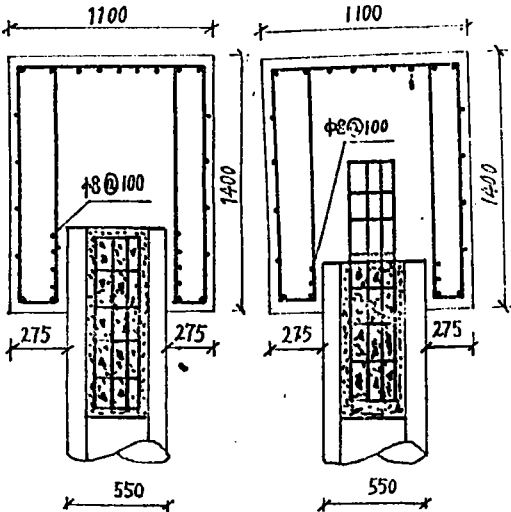


图1 管桩与桩帽连结形式图

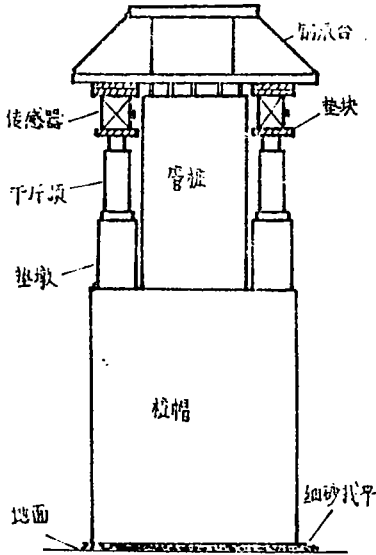


图2 轴拔试验加载示意图

试验现浇砼采用 425[#]普通硅酸盐水泥, 骨料为 10~30mm 的碎石及中粗河砂, 砼的配合比为: 水泥: 砂: 石子=1: 1.55: 3.62, 水灰比 W/C=0.50。整个试件采用分期浇筑而成。

试验采用如图 2 所示的加载型式, 上部为钢制圆型承台, 通过 12 个高强螺栓与管桩的法兰相连。试验测试的主要内容有荷载、管桩与桩帽的相对位移、钢筋应变加砼应变、砼的裂缝观测。

3 试验分析

试验结果如表 1 所示

表 1 连接节点轴拔试验结果表

试件名称	f _{cu} (MPa)		特征荷载					破坏类型
	桩帽	桩芯	N _b	N _{Cr}	N _{I,u}	N _{Pu}	N _r	
ZB-0.25D-A(1)	28.07	29.26	240	/	360	/	150	连接破坏
ZB-0.25D-A(2)	38.70	31.30	400	/	600	/	170	连接破坏
ZB-0.50D-A(1)	32.15	26.37	400	800	860	/	500	连接破坏
ZB-0.50D-A(2)	31.50	38.20	600	800	850	/	450	连接破坏
ZB-0.75D-A(1)	28.37	29.48	500	800	940	/	700	连接破坏
ZB-0.75D-A(2)	40.00	30.70	800	800	/	1115	/	管桩破坏
ZB-1.00D-A(1)	32.44	30.81	/	910	/	990	/	管桩破坏
ZB-1.00D-A(2)	36.50	41.70	/	1000	/	1110	/	管桩破坏
ZB-0.50D-B	25.93	26.89	400	900	980~1100	/	/	连接破坏

ZB——0.25D——A(1)
管桩螺深 连结形式 第一个试件

f_{cu} ——砼立方体强度

N_{Lu} ——连接极限荷载

N_b ——桩与桩帽连接粘结出现荷载

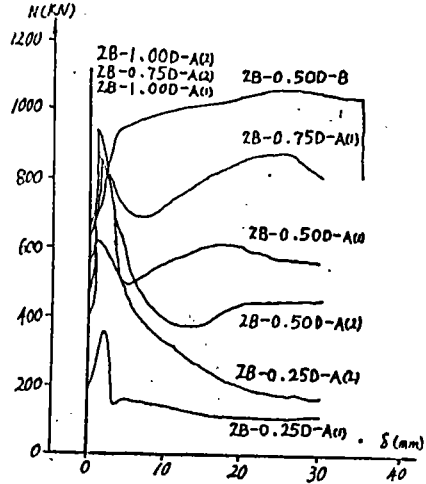
N_{Pu} ——管桩极限抗拉荷载

N_{Cr} ——管桩初裂荷载

N_r ——残余摩阻力

3.1 A 型连接型式的节点连接破坏形态

在试验荷载增加到极限荷载的 47~67% 时, 首先在管桩与桩帽的周围出现粘结缝, 随着荷载的不断增加, 该缝宽也稍有增加, 裂缝的两端分别沿桩与桩帽连接面延伸并逐渐闭合。在 80~95% 极限荷载时, 在桩帽的四个侧面的纵轴线附近出现劈裂缝, 当继续加载时, 各种裂缝宽度有不同程度增加, 预示着连接破坏即将发生。此时稍增荷载, 管桩与桩帽的相对位移便不断增大, 管桩从桩帽内逐渐拔出, 伴随有桩帽上表面靠近管桩埋入部分砼开裂现象, 荷载同时突然下降, 并维持在一个较低的水平。此时管桩与桩帽的相对位移在荷载不增加的情况下快速增加。典型的管桩与桩帽相对位移与荷载关系曲线如图 3 中 ZB-0.25D-A(1), ZB-0.25D-A(2), ZB-0.50D-A(1), ZB-0.50D-A(2) 以及 ZB-0.75D-A(1) 所示。



3.2 B 型连接型式的连接破坏形态

在 B 型连接试件的节点发生连接破坏以前, 各种试验现象和 A 型连接破坏的现象几乎相同。而当荷载加至连接破坏的极限荷载之后, 节点抗拔承载力

图 3 荷载~桩与桩帽相对位移曲线

并不突然下降, 而是随着桩与桩帽相对位移的不断增大, 承载力继续上升, 最后经过一个较长的上升段后, 荷载才突然回落。其典型的桩与桩帽相对位移和荷载的关系曲线如图 3 中 ZB-0.50D-B 所示。

3.3 A 型连接形式的管桩破坏形态

在这类试验中, 由于桩与桩帽连接节点的抗拔强度较高, 没有发生连接破坏。当荷载增加到 72~90% 极限荷载时, 首先在管桩与法兰连接处出现环向裂缝, 荷载稍有增加, 此缝即沿管桩环向贯通。当荷载增加到管桩的极限抗拉荷载时, 在管桩的空心段几乎同时出现数条裂缝宽在 3~5mm 的环向缝。典型的管桩与桩帽相对位移——荷载的关系曲线如图 3 中 ZB-1.00D-A(1), ZB-1.00D-A(2), 以及 ZB-0.75D-A(2) 所示。

4 影响管桩与桩帽连接节点抗拔承载力的主要因素

4.1 预制管桩表面与现浇桩帽砼接触面的粘结强度

预制砼构件和现浇砼之间的粘结是一种非常复杂的相互作用, 两者之间通过接触面的粘结作用来传递应力, 协调变形。预制砼构件表面与现浇砼之间的粘结力主要由以下三部分组成: (a) 现浇砼中水泥胶凝体与管桩表面的化学胶结力; (b) 现浇砼与预制构件接触面之间的摩擦力; (c) 接触面的粗糙不平所造成的机械咬合作用。

预制构件和现浇砼接触面的粘结力, 在它们发生相对滑动之前, 取决于现浇砼的化学胶着力; 在发生相对滑动之后, 则取决于接触面的摩擦力和机械咬合作用。

影响接触面粘结的强度的主要因素

(1) 现浇混凝土的强度。砼配合比愈佳, 水泥用量较多, 或水泥标号较高, 振捣密实, 都能够保证接触面的良好粘结。试验表明, 砼的强度提高, 粘结强度也随之提高。

(2) 预制构件的表面粗糙程度。预制构件的表面粗糙程度对粘结强度有很大影响, 特别是在它们发生相对滑移时, 由于接触面形成许多微小楔形体, 能够有效地阻止相对滑动的发展, 从而提高了二者之间的粘结强度。

4.2 桩芯钢筋的作用

对于 A 型连接方式, 由于管桩桩芯钢筋没有埋入桩帽砼内, 所以不能依靠桩芯钢筋来提高连接节点的抗拔强度。对于 B 型连接方式, 由于桩芯钢筋延伸到桩帽砼内并满足钢筋的锚固要求, 所以依靠桩芯钢筋的抗拔作用, 既能够提高节点的抗拔强度, 同时也能增加节点连接破坏时的延性, 这对承受反复荷载的结构或抗震结构尤为重要。

5 连接节点抗拔承载力的计算方法

5.1 A 型连接节点抗拔承载力

A 型连接节点的抗拔承载力 N_{Lu} 由两部分组成: 即管桩环向周边和桩帽接触面的粘结强度 N_1 , 以及埋入桩帽内的管桩端面和桩帽接触面的抗拉强度 N_2 , 即

$$N_{Lu} = N_1 + N_2 \quad (1)$$

$$N_1 = \pi D \int_0^L \tau(f_l, x) dx \quad (2)$$

$$N_2 = \int_0^{2\pi} \int_0^{D/2} \sigma(f_l, r) r dr d\theta \quad (3)$$

这里 l 为管桩埋入桩帽内的长度, f_l 为砼的抗拉强度, $\sigma(f_l, x)$ 为管桩环向周边和桩帽接触面的粘结应力分布函数, $\sigma(f_l, r)$ 为埋入桩帽内的管桩端面的拉应力分布函数。为简化起见, 采用平均剪应力 $\bar{\tau}$ 代替 $\tau(f_l, x)$, $\bar{\sigma}$ 代替 $\sigma(f_l, r)$ 。 $\bar{\tau}$ 和 $\bar{\sigma}$ 假定仅和砼的抗拉强度有关。

$$\bar{\tau} = \alpha f_l \quad (4)$$

$$\bar{\sigma} = \beta f_{l, \min} \quad (5)$$

这里 α 、 β 为待定系数, $f_{l, \min}$ 为管桩桩芯砼和桩帽砼二者的较小抗拉强度, 则

$$N_{Lu} = \pi D \int_0^L \alpha f_l dx + \int_0^{2\pi} \int_0^{D/2} \beta f_{l, \min} r dr d\theta = \alpha \pi D l f_l + 0.5 \beta \pi D^2 f_{l, \min} \quad (6)$$

按线性回归, 建立如下经验算式:

$$N_{Lu} = 0.52 \pi D l f_l + 0.09 \pi D^2 f_{l, \min} \quad (7)$$

计算结果如表 2 所示。

表 2 桩与桩帽连接节点抗拔承载力计算表

试件名称	实测值 N_{Lu}^T (KN)	计算值 N_{Lu}^c (KN)	$\frac{N_{Lu}^T}{N_{Lu}^c}$
ZB-0.25D-A(1)	360	443	0.813
ZB-0.25D-A(2)	600	520	1.154
ZB-0.50D-A(1)	860	750	1.147
ZB-0.50D-A(2)	850	761	1.117
ZB-0.75D-A(1)	940	976	0.963
$\mu=1.039$ $\sigma=0.132$ $\delta=0.127$			

5.2 B 型连接节点抗拔承载力

当桩与桩帽产生相当大的位移之后，B 型连接节点的抗拔承载力达到极限值，此时桩芯钢筋已经屈服，埋入桩帽的管桩端面和桩帽砼脱离，从而 $N_2 = 0$ ，而此时管桩环向周边接触面的粘结力 N_1 也仅为残余的摩阻力，即 $N_1 = N_r$ 。这样连接节点的极限抗拔承载力为：

$$N_{Lu} = N_r + A_s f_y \tag{8}$$

这里 A_s 为桩芯钢筋的面积， f_y 为桩芯钢筋的屈服强度。

5.3 管桩埋置深度的确定

管桩与桩帽连接节点在轴心受拉状态下，连接破坏形态和连接形式有关：A 型连接节点的连接破坏形态为脆性破坏；B 型连接节点的连接破坏形态为延性破坏。对于同样的埋入深度，不同的连接型式，在其它条件相同的情况下，连接的初裂荷载是基本相同的，而 B 型连接型式在发生连接破坏时，其极限荷载的升高是发生在较大的相对位移之后，因而为了满足工程中的嵌固结点要求，建议对于 A 型和 B 型连接型式，其埋入桩帽的深度均按 A 型连接方式处理，即保证：

$$N \leq 0.52\pi D l f_t + 0.09\pi D^2 f_{tmin} \tag{9}$$

除此之外，根据延性破坏的要求，应保证桩芯的最小配筋率满足：

$$A_s f_y \geq N_2 = 0.09\pi D^2 f_{tmin} \tag{10}$$

$$\rho_{smin} \geq 0.36 \left(\frac{D}{D_1} \right)^2 \frac{f_{tmin}}{f_y} \tag{11}$$

这里 $\rho_{min} = \frac{4A_s}{\pi D_1^2}$ ， D_1 为管桩内径。

6 结语

1. 桩与桩帽连接节点在轴心受拉状态下，连接节点的破坏形态与桩和桩帽的连接方式有关：A 型连接节点的连接破坏呈脆性破坏；B 型连接节点的连接破坏呈塑性破坏，且有较高的承载力。

2. A 型连接的抗拔承载力由管桩外表面和桩帽混凝土相接部位的粘结强度决定；B

型连接除了具有 A 型连接的上述抗力外, 还有桩芯钢筋的承载力。

3. 在工程设计中, 建议采用公式 (9) 来确定管桩埋入桩帽内长度, 实际连接型式建议采用 B 型连接, 桩芯钢筋最小配筋率应满足公式 (10), 且伸入桩帽内的桩芯钢筋长度不小于规定的锚固要求。

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国交通部:《港口工程技术规范》 人民交通出版社, 北京, 1987.
- 2 李平先、丁自强等: 钢筋砼大管桩与桩帽足尺连接试验报告, 郑州工学院水环系, 1992.
- 3 姜学诗: 钢筋混凝土桩基承台的强度计算, 建筑结构, 1985 (2) .
- 4 王恒栋: 预应力钢筋混凝土管桩与桩帽连接节点抗拔性能试验研究, 郑州工学院硕士论文, 1993.
- 5 Adebar, P. and Kuchma, D. and Callins M.P. Strut-and-tie models for the design of pilecaps: an experimental study. ACI Structural Journal, Vol. 87, No.1, 1990, pp.81-92.
- 6 Joen, P.H. and Park, R.Simulated seismic load tests on prestressed concrete piles and pile-pilecap connections. PCI Journal, Vol.35, No.6, 1990. pp.42-61.

Test Study on the Axial Pulling Capacity of Prestressed Concrete Pipe Pile-Pilecap Connection

Wang Hengdong DingZiqiang Zhao Guangtian
(Dalian University of Technology) (Zhengzhou Institute of Technology)

Abstract: In this paper, using prestressed concrete pipe pile with the diameter of 550mm, the axial pulling capacity of pile-pilecap connections are studied by testing nine members. Pile-pilecap connection types, the failure forms of connection, failure mechanism and tension characteristics are discussed. Some formulae for calculating the axial pulling capacity of connection and determining the embedded length of pile body in pilecap are proposed based on test, at the end a connection type is proposed for engineering.

Keywords: pipe pile; pilecap; axial pulling; connection