

桩与桩帽连接节点受弯承载力计算<sup>\*</sup>

朱海堂 张启明

李春跃

(郑州工业大学水利与环境工程学院) (郑州工业大学土木建筑工程学院)

**摘 要** 结合试验分析,提出了预应力混凝土管桩与桩帽连接节点受弯承载力计算的力学模式、计算方法及节点区构造要求。

**关键词** 管桩;桩帽;受弯承载力;构造

**中图分类号** TV 332

0 引言

随着我国水运交通事业的迅速发展,港口码头泊位不断增大,以预应力混凝土管桩为桩基础的大泊位全直桩码头结构逐渐增多。这类结构一般通过桩帽或桩基平台支承码头上部结构并传递荷载。如何保证预应力混凝土管桩与桩帽连接节点的连接性能以及如何计算连接节点的受弯承载力,是一个非常重要而又长期未能解决的问题。为修订《港口工程技术规范》<sup>[1]</sup>,对预应力混凝土管桩与桩帽连接节点受弯性能进行了试验。本文主要结合试验分析结果,提出桩与桩帽连接节点受弯承载力计算的力学模式,进而导出其计算公式,并概要提出连接节点区的基本构造要求。

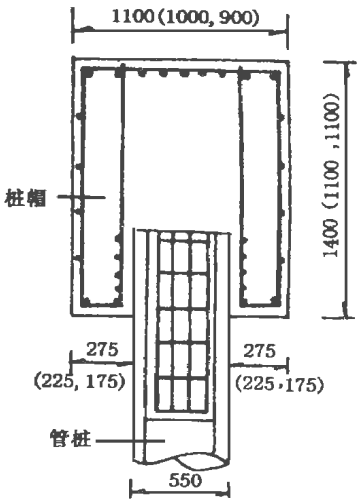
1 试验概况

1.1 试件设计

预应力混凝土管桩与桩帽之间采用管桩直接伸入桩帽连接(如图 1)和通过伸入桩帽内的桩芯钢筋笼连接两种型式。管桩外径  $D$  为 550 mm,内径为 350 mm,伸入桩帽内深度分别为 0.25、0.50、0.75 和 1.00 倍管桩外径,管桩外边缘距桩帽边缘的最小距离(管桩外包宽度)分别为 0.3、0.4 和 0.5 倍管桩外径。钢筋混凝土方形桩帽内纵向受力钢筋配筋率分别为 0.5%、0.10%和 0.15%。

1.2 主要试验结果

试验结果表明,桩与桩帽连接节点试件有管桩弯剪破坏和节点区连接破坏两种破坏形式。发生节点区连接破坏时,桩与桩帽连接区域混凝土被局部压碎,节点区相对变位增大,最后管桩从桩帽中被拔出而破坏。影响连接节点受弯承载力的主要因素为桩帽混凝土强度和管桩埋入深度,受弯承



(括弧内数字为管桩外包 0.4D、0.3D 时的桩帽尺寸)

图 1 试件设计图(单位:mm)

<sup>\*</sup> 交通部《港口工程桩基规范》专题研究项目

收稿日期:1998-05-06

第一作者 男 1964 年 4 月生 硕士学位 讲师

载力随着混凝土强度和管桩埋入深度的增大而增大;通过桩芯笼连接管桩与桩帽有助于提高连接节点的受弯承载力;管桩外包宽度和桩帽内纵向受力钢筋将影响构件破坏形态及其裂缝开展,但对连接节点在连接破坏范围内的受弯承载力没有明显影响。以上主要研究成果已在文献[3]中详述,以下主要对桩与桩帽连接节点的受弯承载力计算方法作进一步讨论。

发生节点连接破坏的主要试验结果列于表 1。

表 1 主要试验结果

| 试件名称             | 管桩外包宽度  | 桩帽配筋率(%) | 桩帽砼强度 $f_{cu}$ (MPa) | 破坏弯矩 $M_u^0$ (kN·m) |
|------------------|---------|----------|----------------------|---------------------|
| $W_1^1-0.50D-A'$ | $0.50D$ | 0.148    | 31.56                | 322.0               |
| $W_1^2-0.50D-A$  | $0.50D$ | 0.103    | 25.19                | 258.3               |
| $W_1^3-0.50D-A$  | $0.50D$ | 0.053    | 19.19                | 232.4               |
| $W_2^1-0.50D-A$  | $0.40D$ | 0.145    | 34.52                | 321.3               |
| $W_2^2-0.50D-A$  | $0.40D$ | 0.094    | 30.08                | 252.0               |
| $W_2^3-0.50D-A$  | $0.40D$ | 0.054    | 22.15                | 210.0               |
| $W_3^1-0.50D-A$  | $0.30D$ | 0.144    | 23.24                | 224.0               |
| $W_3^2-0.50D-A$  | $0.30D$ | 0.102    | 29.61                | 287.0               |
| $W_3^3-0.50D-A$  | $0.30D$ | 0.048    | 21.72                | 245.0               |

注:1. 管桩埋入深度均为  $0.50D$ ;  
2.  $M_u^0$  为作用于桩帽底面处的破坏弯矩试验值。

2 连接节点抗弯力学模型及其承载力计算

2.1 连接节点抗弯力学模型

根据对预应力混凝土管桩与桩帽连接节点受弯试验结果的研究分析,取图 2 所示抗弯力学模型,并采用如下基本假定:

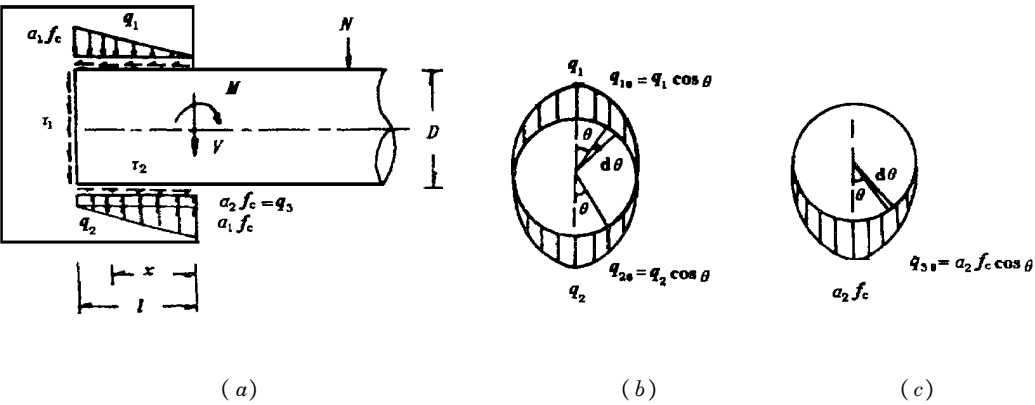


图 2 连接节点抗弯力学模型

(1)抵抗作用于桩帽底面处弯矩  $M$  的抗力沿管桩轴向呈三角形分布于管桩周面,最大值为  $a_1 f_c$ ,且沿管桩周向呈余弦函数分布,如图 2(a),(b)。

(2)抵抗作用于桩帽底面处剪力  $V$  的抗力沿管桩轴向均匀分布于管桩下方半周范围

内,沿管桩周向呈余弦函数分布,其最大值为  $\alpha_2 f_c$ ,如图 2( a ),( c )。

(3)在极限承载能力状态下,管桩与桩帽之间接触面上的粘结应力  $\tau_1$  和  $\tau_2$  均忽略不计。这里,  $\alpha_1, \alpha_2$  为待定系数,  $f_c$  为桩帽混凝土轴心抗压强度。

2.2 连接节点受弯承载力计算公式推导

根据上述基本假定,即可导出预应力混凝土管桩与桩帽连接节点的受弯承载力计算公式。

由图 2( a )和( b ),有下列关系式:

$$Q = A \frac{x}{l} \alpha_1 f_c,$$
$$q_{1\theta} = \frac{x}{l} \alpha_1 f_c \cos \theta,$$

$$q_2 = \begin{cases} 1 - \frac{x}{l} & \alpha_1 f_c \\ 1 - \frac{x}{l} & \alpha_1 f_c \cos \theta \end{cases}$$
$$q_{2\theta} = \begin{cases} 1 - \frac{x}{l} & \alpha_1 f_c \\ 1 - \frac{x}{l} & \alpha_1 f_c \cos \theta \end{cases}$$

由图 2( a )和( c ),有下列关系式:

$$q_3 = \alpha_2 f_c,$$
$$q_{3\theta} = \alpha_2 f_c \cos \theta$$

于是:

$$M = \int_0^l \int_0^{\frac{\pi}{2}} q_{1\theta} \frac{D}{2} d\theta \cdot x dx - \int_0^l \int_0^{\frac{\pi}{2}} q_{2\theta} \frac{D}{2} d\theta \cdot x dx - \int_0^l \int_0^{\frac{\pi}{2}} q_{3\theta} \frac{D}{2} d\theta \cdot x dx$$
$$= \int_0^l \int_0^{\frac{\pi}{2}} (q_{1\theta} - q_{2\theta} - q_{3\theta}) D x d\theta dx$$
$$= D \int_0^l \left( \frac{2x}{l} \alpha_1 f_c - \alpha_1 f_c - \alpha_2 f_c \right) x dx \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta$$
$$= \frac{1}{6} D l^2 \alpha_1 f_c - \frac{1}{2} D l^2 \alpha_2 f_c = \frac{D l^2}{6} (\alpha_1 f_c - 3 \alpha_2 f_c)$$

即

$$\frac{6M}{Dl^2} = \alpha_1 f_c - 3 \alpha_2 f_c$$

(1)

$$V = \int_0^l \int_0^{\frac{\pi}{2}} q_{3\theta} \frac{D}{2} d\theta dx = D \alpha_2 f_c \int_0^l dx \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta = D l \alpha_2 f_c$$

即

$$\frac{V}{Dl} = \alpha_2 f_c$$

(2)

由式(1)及式(2),有:

$$\frac{6M}{Dl^2} + \frac{4V}{Dl} = \alpha_1 f_c + \alpha_2 f_c$$

令

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$$

则

$$\frac{6M}{Dl^2} + \frac{4V}{Dl} = \alpha f_c$$

(3)

上式即为预应力混凝土管桩与桩帽连接节点受弯承载力的建议计算公式。

式中  $\alpha$  称为桩帽混凝土挤压强度提高系数。通过对试验资料的统计分析,取  $\alpha=2.7$ 。

其它符号意义同前。

2.3 计算值与试验值的对比分析

预应力混凝土管桩与桩帽连接节点试件的受弯承载力试验值  $M_u^o$  和按本文建议公式

(3)计算的受弯承载力计算值  $M_u$  列于表 2。从表中可以看出,试验值与计算值的平均比值

为1.01,变异系数为0.105。这表明,两者符合性较好,该建议公式可以用于实际工程设计。

表 2 试验值与计算值的对比

| 试件名称                     | $l(\text{mm})$ | $f_c(\text{N}/\text{mm}^2)$ | $M_u^0(\text{kN}\cdot\text{m})$ | $M_u(\text{kN}\cdot\text{m})$ | $M_u^0/M_u$ |
|--------------------------|----------------|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------|-------------|
| $W_1^1-0.50D-A'$         | 275            | 21.15                       | 322.0                           | 313.7                         | 1.026       |
| $W_1^2-0.50D-A$          | 275            | 16.88                       | 258.3                           | 250.4                         | 1.032       |
| $W_1^3-0.50D-A$          | 275            | 12.86                       | 232.4                           | 190.7                         | 1.219       |
| $W_2^1-0.50D-A$          | 275            | 23.13                       | 321.3                           | 343.1                         | 0.936       |
| $W_2^2-0.50D-A$          | 275            | 20.15                       | 252.0                           | 298.9                         | 0.843       |
| $W_2^3-0.50D-A$          | 275            | 14.84                       | 210.0                           | 220.1                         | 0.954       |
| $W_3^1-0.50D-A$          | 275            | 15.57                       | 224.0                           | 230.9                         | 0.970       |
| $W_3^2-0.50D-A$          | 275            | 19.84                       | 287.0                           | 294.3                         | 0.975       |
| $W_3^3-0.50D-A$          | 275            | 14.55                       | 245.0                           | 215.8                         | 1.135       |
| $\mu=1.01, \delta=0.105$ |                |                             |                                 |                               |             |

3 结语

预应力混凝土管桩是一种具有较大抗弯能力等许多优越性能的结构构件。在全直桩码头结构中,为充分发挥预应力混凝土管桩的抗弯能力,尽可能减小管桩桩顶水平变位,桩与桩帽间连接节点必须满足固接要求,从而要求连接节点应具有足够的抗弯能力,因而对连接节点的受弯承载力及其构造要求进行计算与设计是非常重要的一个环节。本文基于试验分析结果,从建立抗弯力学模型出发,提出了预应力混凝土管桩与桩帽连接节点受弯承载力的建议计算公式(3)。同时,根据试验分析结果,笔者建议,对桩与桩帽连接节点的设计,除按式(3)进行受弯承载力计算外,尚应满足下列构造要求:管桩外包宽度不宜小于0.4D;桩帽纵筋配筋率不宜小于0.15%,且应做成封闭式钢筋笼骨架;为提高连接节点的延性和抗震性能,宜将桩芯钢筋笼伸入桩帽并满足桩芯纵向钢筋的锚固要求。

参考文献

1 交通部.港口工程技术规范(1987).北京:人民交通出版社,1988

2 日本港湾协会.港口建筑物设计标准.北京:人民交通出版社,1979

3 张启明,荆亚丽.桩与桩帽连接节点受弯特性的试验研究.郑州工业大学学报,1997,18(3):54~58

The Calculation of Flexural Capacity of the Connections  
Between Pile and Pile Caps

Zhu Haitang      Zhang Qiming      Li Chunyue  
(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** Based on the experimental study, the mechanical pattern and calculating formula of flexural capacity and detailing requirements of the connections between the prestressed concrete pipe pile and pile caps are proposed.

**Keywords** pipe pile; pile cap; flexural capacity; detailing requirements