

考虑节点域和剪切变形影响的高桩码头横向排架的内力计算

周伟才, 陶桂兰

(河海大学 交通与海洋工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 港口码头基桩数量的越来越多, 导致了高桩码头中桩帽尺寸和梁的高跨比逐渐加大. 本文针对高桩码头横向排架平面计算中的这一问题, 提出了考虑节点域和剪切变形影响的计算方法.

关键词: 剪切变形; 节点域; 弹性支承; 排架内力计算; 码头

中图分类号: TV314

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2005)01-0056-04

Internal force calculation of bents of standing-pile wharfs considering influences of joint-panels and shear deformation

ZHOU Wei-cai, TAO Gui-lan

(College of Traffic and Ocean Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: With the increase of the pile quantity of wharfs, the dimension of pile caps and the depth-span ratio of beams increase gradually. To deal with this problem in the calculation of the bent of standing-pile wharfs, a calculation method considering the influences of joint-panels and shear deformation is developed.

Key words: shear deformation; joint-panel; elastic support; internal force calculation of bent; wharf

随着码头自然条件和使用要求的变化, 基桩数量就越来越多, 有时一个支点处的桩数甚至达到 3 根, 使得大桩帽结构不断增多, 导致纵、横梁的支座宽度也越来越大, 有的甚至已达到梁中到中跨度的一半. 梁的截面尺寸逐渐变大, 杆件的剪切应变也随着梁高跨比的增加而加大. 此时, 如按弹性支承连续梁或柔性桩台的方法计算排架内力, 再通过对计算出的内力图进行削峰或乘以折减系数的方法来考虑桩帽的影响, 势必与实际情况产生较大误差. 本文针对具有宽支座高桩码头横向排架的平面计算提出了考虑节点域和剪切变形影响的内力计算方法.

1 计算模型

以往求解节点域的码头排架内力时, 只考虑支座处简化节点域的刚性变位, 而忽略弯矩和剪切产生的变形^[1]. 随着港口码头泊位的不断增大和码头结构布置的变化, 使得梁的支座宽度增加较大, 有的码头桩帽沿横梁方向的长度甚至达到 6 m. 针对这种宽支座问题, 本文提出两端带节点域和考虑剪切变形影响的杆梁内力计算简图(见图 1), 并假定两端节点域与中间杆件的中心线在同一条直线上, 仅考虑梁的弯曲和剪切变形^[2], 且忽略梁轴向变形的影响.

收稿日期: 2004-07-02

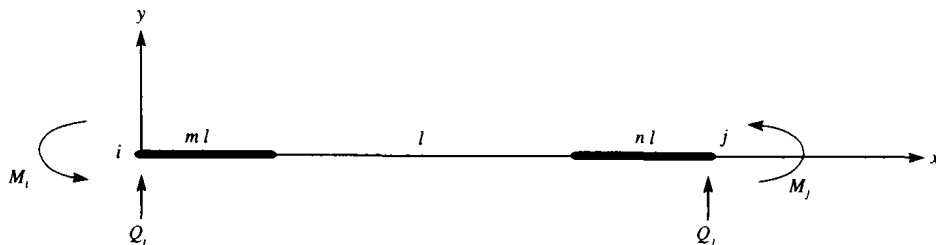


图1 两端带节点域的杆梁内力计算简图

Fig.1 The girder model with joint-panels at two ends

1.1 梁的单元刚度矩阵

采用图1所示的两端节点域的杆梁内力计算简图及假定时,可建立考虑剪切变形时杆端弯矩、剪力与杆端转角、位移的关系,从而推导出该杆梁内力计算的单元刚度矩阵^[3].

$$K = \begin{bmatrix} \frac{A}{A(C+D)-B^2} & \frac{B}{A(C+D)-B^2} & -\frac{A}{A(C'+D)-B'^2} & \frac{B'}{A(C'+D)-B'^2} \\ \frac{B}{A(C+D)-B^2} & \frac{C+D}{A(C+D)-B^2} & -\frac{AL-B'}{A(C'+D)-B'^2} & \frac{B'L-(C'+D)}{A(C'+D)-B'^2} \\ -\frac{A}{A(C+D)-B^2} & -\frac{B}{A(C+D)-B^2} & \frac{A}{A(C'+D)-B'^2} & -\frac{B'}{A(C'+D)-B'^2} \\ \frac{AL-B}{A(C+D)-B^2} & \frac{BL-(C+D)}{A(C+D)-B^2} & -\frac{B'}{A(C'+D)-B'^2} & \frac{C'+D}{A(C'+D)-B'^2} \end{bmatrix}$$

式中: $A = mS_1 + S_0 + nS_2$; $B = \frac{1}{2}m^2lS_1 + \frac{1}{2}(2m+1)lS_0 + \frac{1}{2}n(2+2m+n)lS_2$; $B' = \frac{1}{2}n^2lS_2 + \frac{1}{2}(2n+1)lS_0 + \frac{1}{2}m(2+2n+m)lS_1$; $C = \frac{1}{3}m^3l^2S_1 + \frac{1}{3}(3m^2+3m+1)l^2S_0 + \frac{1}{2}n(2+4m+2n+2mn+2m^2 + \frac{2}{3}n^2)l^2S_2$; $C' = \frac{1}{3}n^3l^2S_2 + \frac{1}{3}(3n^2+3n+1)l^2S_0 + \frac{1}{2}m(2+4n+2mn+2m+2n^2 + \frac{2}{3}m^2)l^2S_1$; $D = \frac{k_1ml}{G_1A_1} + \frac{k_0l}{G_0A_0} + \frac{k_2nl}{G_2A_2}$; $S_1 = \frac{l}{E_1I_1}$, $S_0 = \frac{l}{E_0I_0}$, $S_2 = \frac{l}{E_2I_2}$; k_1, k_0 和 k_2 分别为单元右端节点域、中段和左端节点域的截面剪切形状系数; G_1, G_0 和 G_2 分别为单元右端节点域、中段和左端节点域的剪切模量; A_1, A_0 和 A_2 分别为单元右端节点域、中段和左端节点域的截面面积; ml, l 和 nl 分别为单元右端节点域、中段和左端节点域的长度; E_1I_1, E_0I_0 和 E_2I_2 分别为单元右端节点域、中段和左端节点域的截面抗弯刚度; $L = ml + l + nl$.

该单元刚度矩阵为对称矩阵,若不考虑节点域的影响,取 $m = n = 0$,该刚度矩阵即为考虑剪切变形时的一般平面刚架的单元刚度矩阵;若再取 $k_1 = k_0 = k_2 = 0$,该刚度矩阵即为一般平面刚架的单元刚度矩阵.

当求得各个杆单元的单元刚度矩阵后,经坐标变换将各单元刚度矩阵以排架的整体坐标系来表示,再将整个平面排架看作各杆单元的组合体系,根据每个节点处有共同的变位将单元刚度矩阵进行组装,从而形成结构总体刚度矩阵^[3].

1.2 局部坐标系中有外荷载作用时引起的杆端内力

现给出均布荷载和集中荷载作用时的杆端弯矩和剪力.

(1) 均布荷载作用时

$$Q_i = \frac{q(AF + 4AE - 4BC)}{8[A(C+D) - B^2]}, \quad M_i = -\frac{q(4C^2 + 4CD - BF - 4BE)}{8[A(C+D) - B^2]};$$

$$Q_j = q(m+n+1)l - Q_i, \quad M_j = Q_i(m+n+1)l - M_i - 0.5q(m+n+1)^2l^2$$

其中: $E = \frac{k_1m^2l^2}{G_1A_1} + \frac{k_0(2m+1)l^2}{G_0A_0} + \frac{k_2n(2m+n+2)l^2}{G_2A_2}$; $F = m^4l^3S_1 + (4m^3 + 6m^2 + 4m + 1)l^3S_0 +$



(2) 集中荷载作用于跨中时

$$Q_i = \frac{P(2AF' + 2AE' - BH)}{2[A(C + D) - B^2]}, \quad M_i = -\frac{(HC + HD - 2BF' - 2BE')}{2[A(C + D) - B^2]}$$

$$Q_j = P - Q_i, \quad M_j = Q_i(m + n + 1)l - M_i - 0.5Pl$$

$$\text{其中: } H = \frac{1}{2}(m + 1 - n)^2 l S_0 + n(m + 1) l S_2; E' = \frac{k_0(m + 1 - n)l}{2G_0 A_0} + \frac{k_2 n l}{G_2 A_2};$$

$$F' = \frac{(5m + n + 5)(m + 1 - n)^2 l^2 S_0}{48} + \frac{6n(1 + m)(1 + m - n)^2 - 3n^2(2 + m - n) + 4n^2 l^2 S_2}{24}$$

1.3 支座约束的处理

在高桩码头的横向排架计算中, 可将桩对上部结构的作用以竖向约束弹性支座和转动约束弹性支座来代替. 图 2 为某四跨横向排架计算简图, 其中 k_1, k_3, k_5, k_7 和 k_9 为竖向约束弹簧, k_2, k_4, k_6, k_8 和 k_{10} 为转动的约束弹簧, 可由桩的参数来决定各约束值^[4]. 当排架受水平力作用有水平位移时, 还要考虑桩对横梁的水平位移约束, 假定各节点有相同的水平位移, 采取类似柔性桩台的方法在排架右侧加一水平支撑来计算.

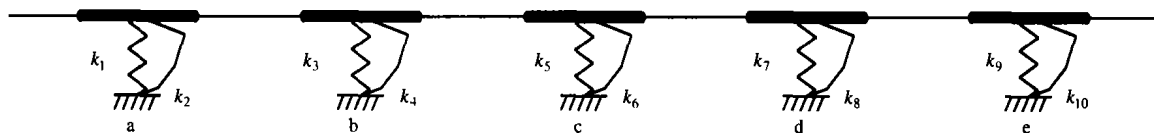


图 2 四跨横向排架计算简图

Fig. 2 The calculation diagram of a four-span transverse bent

考虑弹性支承约束后, 结构的整体刚度矩阵将发生变化. 在矩阵位移法中, 由于弹性约束只影响结构刚度矩阵中相对应的主对角线上的刚度系数, 因此, 只需对结构的整体刚度矩阵进行修改. 如图 2 所示的四跨横向排架, 其整体刚度矩阵是 10×10 阶, 将不考虑弹性支承时整体刚度矩阵 $[k]$ 主对角线上的刚度系数 k_{ii} , 对应地加上弹性支承系数 k_i (其中, $i = 1, 2, \dots, 10$), 即可以得到最终的整体刚度矩阵.

2 算例

某码头的横向排架计算简图见图 3. C35 混凝土桩帽宽 3.0 m, 高 4.5 m, 梁宽 1.5 m, 高 3.0 m, 其弹性模量 $E = 3.15 \times 10^7$ kPa, 剪切模量 $G = 0.427 E$. 参考桩的性质, 取各支座处弹性支承系数: $k_1 = 16 \times 10^5$ kN/m, $k_2 = 7 \times 10^5$ kN · m/rad, $k_3 = k_5 = k_7 = 8 \times 10^5$ kN/m, $k_4 = k_6 = k_8 = 5 \times 10^5$ kN · m/rad, $k_9 = 15 \times 10^5$ kN/m, $k_{10} = 10 \times 10^5$ kN · m/rad. 排架上作用均布荷载 $q = 1\ 000$ kN/m.

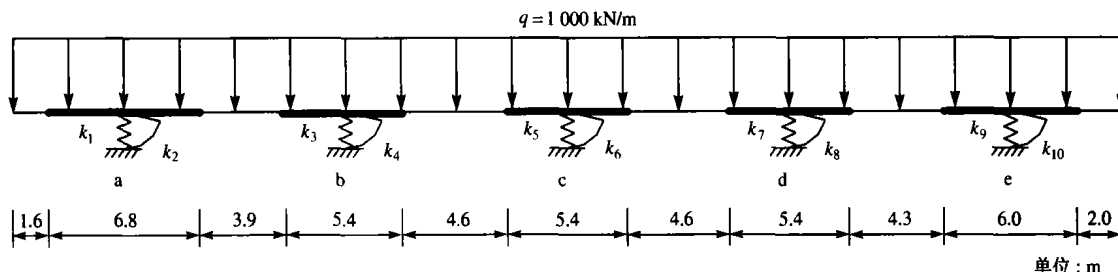


图 3 横向排架计算简图

Fig. 3 The calculation diagram of the transverse bent

几种方法的计算结果见表 1、表 2 和图 4. 其中, 按弹性支承连续梁计算时只考虑桩的竖向弹性支承, 按柔性桩台计算时还考虑了桩的转动约束. 转角以顺时针为正, 弯矩以梁上表面受拉为正.

比较本文方法考虑和不考虑剪切变形的作用的计算结果可知, 考虑剪切变形作用时支座处的弯矩值较大, 在支座 b, e 处要相差 4%. 本例中高跨比为 0.3, 而目前在一些码头结构中梁的高跨比有的甚至达到 0.5,

表 1 支座位移、转角及反力计算结果

Tab. 1 Calculation results of displacement, deflection angle and reaction forces of each supporting node

节点号	按本文方法不考虑剪切变形			按本文方法计算		
	位移 / cm	转角 / $\times 10^{-4}$ rad	反力 / kN	位移 / cm	转角 / $\times 10^{-4}$ rad	反力 / kN
a	0.69	4.79	10 965.46	0.68	4.74	10 956.07
b	1.12	3.40	8 886.69	1.11	3.36	8 901.32
c	1.28	0.03	10 238.91	1.29	0.03	10 226.93
d	1.13	-3.19	8 990.59	1.13	-3.15	9 005.86
e	0.73	-4.45	10 918.35	0.73	-4.38	10 909.82

表 2 几种方法的支座位移计算结果表

Tab. 2 The moment value of each supporting node calculated by several different methods (单位: kN · m)

节点号	按弹性支承 连续梁计算		按柔性桩台计算		按本文方法计算		按本文方法 不考虑剪切变形	
	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧	左侧	右侧
a	12 500.00	12 500.00	12 500.00	12 748.13	12 500.00	12 854.96	12 500.00	12 833.23
b	4 198.64	4 198.64	4 108.28	4 290.91	3 294.27	3 477.05	3 178.62	3 348.55
c	6 014.89	6 014.89	5 977.34	5 977.68	4 903.21	4 913.64	4 827.06	4 825.48
d	4 538.85	4 538.85	4 632.63	4 460.43	3 833.49	3 692.43	3 720.50	3 561.37
e	12 500.00	12 500.00	12 809.99	12 500.00	12 790.67	12 500.00	12 744.84	12 500.00

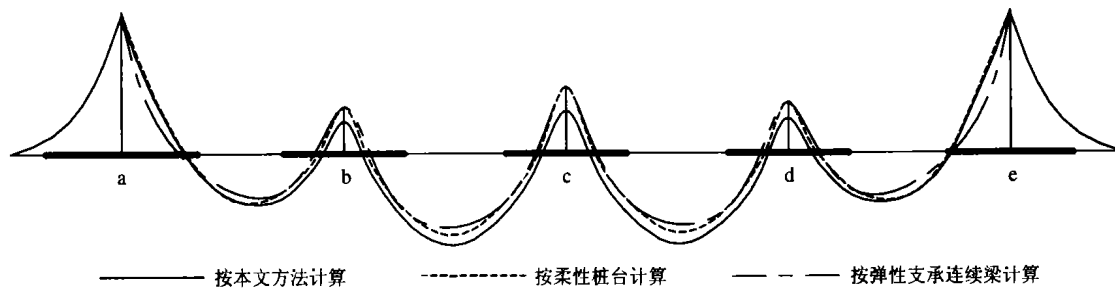


图 4 3 种方法计算的排架弯矩图

Fig. 4 The moment diagram of the transverse bent calculated by several different methods

从图 4 可见,用本文方法计算的弯矩,在支座处比按柔性桩台和按弹性支承连续梁的计算值小,但跨中弯矩要大.若对按弹性支承连续梁和柔性桩台的计算结果进行削峰处理,由于桩帽的宽度过大,会将桩帽处整个正弯矩都削去,这显然不合理,并可能存在一些安全隐患.本文方法计算的支座处弯矩小是可以理解的,正是因为按柔性桩台和按弹性支承连续梁的计算值比实际的弯矩大,才需要进行削峰处理.本文方法计算的跨中弯矩大则是偏安全的.故本文方法计算的结果较为合理,对于大桩帽宽支座的计算是可取的.

参 考 文 献:

[1] 连 竞, 宋向群. 节点刚性域对高桩码头排架风力的影响[J]. 水运工程, 1990, (9): 12 - 18.
 [2] 许红胜, 舒兴平, 尚守平. 考虑节点域剪切变形的空间钢框架结构分析[J]. 钢结构, 2000, (2): 30 - 33.
 [3] 匡文起, 张玉良, 辛克贵. 结构矩阵分析和程序设计[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989. 187 - 256.
 [4] 陈万佳. 港口水工建筑物[M]. 北京: 人民交通出版社, 1989. 189 - 162.