



集中荷载作用下板的弯矩计算

陈际丰, 章少兰, 仲维亮

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 针对现行的 JTS 167—2018《码头结构设计规范》中偏置荷载弯矩计算宽度公式 $b'_c=0.5b_c+y$ 的限制条件“当 $b'_c>B$ 时, 取 $b'_c=B$ ”将导致在板宽 $B<0.5l_0$ 时, 内力计算结果偏大的问题, 进行现行规范 JTS 167—2018 与旧规范 JTJ 291—1998 相关条文的对比分析。将有限元软件与规范公式计算的面板在集中荷载作用下弯矩及内力结果进行比较。结果表明, 偏置荷载下的弯矩计算宽度 $b'_c=0.5b_c+y$ 的限制条件“当 $b'_c>B$ 时, 取 $b'_c=B$, 当 $b'_c<B$ 时, 取 $b'_c=0.5b_c+y$ ”较符合面板受力的实际情况。

关键词: 钢筋混凝土板; 集中荷载; 弯矩计算

中图分类号: TU 375.2; U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)10-0184-04

Calculation of slab bending moment under action of concentrated load

CHEN Ji-feng, ZHANG Shao-lan, ZHONG Wei-liang

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: In view of the problem that the restrictive condition “when $b'_c>B$, then $b'_c=B$ ” in the current JTS 167—2018 *Design Code for Wharf Structures* for the formula $b'_c=0.5b_c+y$ for calculating width of bending moment under offset load will lead to the larger calculation result of internal force when the plate width B is less than $0.5l_0$, we make a comparative analysis of the relevant provisions in the current code JTS 167—2018 and the old code JTJ 291—1998, and compare the bending moment and internal force results of slab under concentrated load calculated by the finite element software and the code formula. The results show that the restrictive conditions “when $b'_c>B$, then $b'_c=B$; when $b'_c<B$, then $b'_c=0.5b_c+y$ ” for the formula $b'_c=0.5b_c+y$ for calculating width of bending moment under offset load is more in line with the actual situation.

Keywords: reinforced concrete slab; concentrated load; bending moment calculation

1 单向板的划分

现行的 JTS 167—2018《码头结构设计规范》^[1] 规定(与 JTS 167-1—2010《高桩码头设计与施工规范》^[2] 关于面板的计算方法和要求完全相同), 两边支承且自由的板可按单向板计算, 四边支承板长边与短边的计算跨度之比大于或等于 2 时可按单向板计算, 长边与短边的计算跨度之比小于 2 时可按双向板计算。规范采用这样的规定是因为根据结构力学原理^[3], 分别在长短跨中部分取单宽梁, 按跨中挠度相等和分配在两个方向梁跨上

的荷载之和等于总荷载的原则, 当板上分别作用集中荷载和均布荷载时, 沿短跨单宽梁上所分配的荷载占总荷载之比分别为 88.9% 和 94.1%。

当板上作用的荷载是均布荷载时, 根据《建筑结构静力计算手册》^[4], 对于长边与短边的计算跨度之比等于 2 的四边简支板, 沿长跨单宽梁上所分配的弯矩系数和沿短跨单宽梁上所分配的弯矩系数分别为 0.017 4 和 0.096 5, 长跨方向弯矩仅为短跨方向弯矩的 18%。因此可通过这种简化对长跨方向的构造钢筋进行设计。

收稿日期: 2021-06-08

作者简介: 陈际丰(1977—), 男, 正高级工程师, 从事港口航道工程咨询、设计与研究。

但是, 对于集中荷载作用下的四边简支板, 根据 JTS 167—2018《码头结构设计规范》附录 G, 当长边与短边的计算跨度之比等于 2、荷载作用平行、垂直跨度方向的传递宽度 $a_1 = b_1 = 0.1l_a$ (l_a 为短跨方向的计算跨度)、荷载作用在板中心时, 沿长跨和短跨方向弯矩系数分别为 0.240 和 0.300, 长跨方向弯矩为短跨方向弯矩的 80%。此时, 对集中荷载作用下的四边简支板按单向板划分将导致长跨方向内力设计严重不足。另外, 两个方向的弯矩系数还因荷载作用面积和作用位置的不同而不同。因此对于集中荷载作用下的四边简支板建议进行单、双向板计算比较, 必要时采用双向板进行受力计算更为合理。

2 单向板集中荷载作用下的弯矩计算

2.1 JTJ 291—1998《高桩码头设计与施工规范》

根据 JTJ 291—1998《高桩码头设计与施工规范》^[5], 单向板通过有效分布宽度、弯矩系数简化为简支梁进行计算, 集中荷载作用下单向板的弯矩计算宽度按以下规定确定。

平行板跨度方向的弯矩计算宽度按下列公式计算:

$$a_c = a_1 \tag{1}$$

式中: a_c 为平行板跨度方向的弯矩计算宽度 (m); a_1 为集中荷载在平行板跨度方向的传递宽度 (m)。

垂直板跨度方向的弯矩计算宽度分为中置荷载和偏置荷载。1) 中置荷载 (荷载接触面积中心位于 $1/2$ 板宽至 $y \geq 0.5b_c$) 的弯矩计算宽度:

$$b_c = \frac{K l_0}{0.8 + 0.1 l_0/x} + b_1 + h \tag{2}$$

$$K = \frac{B/l_0}{1.0 + 0.9B/l_0} \tag{3}$$

式中: B 为板宽 (m); b_c 为垂直板跨方向的弯矩计算宽度 (m), 当 $b_c > B$ 时, 取 $b_c = B$; K 为与板的宽跨比有关的系数, 当宽跨比 $B/l_0 \geq 2.5$ 时, 按 $B/l_0 = 2.5$ 进行取值; l_0 为板的弯矩计算跨度 (m); x 为荷载接触面积中心至支座边的距离 (m); b_1 为集中荷载在垂直板跨度方向的传递宽度 (m); h 为板厚 (m); y 为荷载接触面积中心至板自由边的距离 (m)。

2) 偏置荷载 (荷载接触面积中心位于自由边附近, 且 $y < 0.5b_c$) 的弯矩计算宽度:

$$b'_c = 0.45 b_c + y \tag{4}$$

式中: b'_c 为集中荷载位于自由边附近时, 沿垂直板跨方向的弯矩计算宽度 (m); y 为荷载接触面积中心至板自由边的距离 (m)。

2.2 JTS 167—2018《码头结构设计规范》

在 JTS 167—2018《码头结构设计规范》中, 平行板跨度方向的弯矩计算宽度、中置荷载下垂直板跨度方向的弯矩计算宽度与 JTJ 291—1998 一致, 偏置荷载下垂直板跨度方向的弯矩计算宽度修订如下:

$$b'_c = 0.5 b_c + y \tag{5}$$

式中: b'_c 为集中荷载位于自由边附近时, 沿垂直板跨方向的弯矩计算宽度 (m); y 为荷载接触面积中心至板自由边的距离 (m); b_c 为垂直板跨方向的弯矩计算宽度 (m), 当 $b_c > B$ 时, 取 $b_c = B$ 。

主要修改内容有: 1) 荷载作用在板自由边附近的弯矩计算宽度, 偏置荷载与中置荷载关系由 $b'_c = 0.45b_c + y$ 修订为 $b'_c = 0.5b_c + y$; 2) 对偏置荷载弯矩计算宽度关系式中的 b_c 进行了限制, 当 $b_c > B$ 时, 取 $b_c = B$ 。

2.3 两规范比较及建议方法

通过对两规范公式分析可看出, 荷载中置时, 两规范均认为弯矩计算宽度按由荷载中间向两边传递, 传递到板自由边时停止。

荷载偏置时, JTJ 291—1998 认为荷载接触面积中心至板自由边距离小于 $0.5b_c$ 的一边得到充分传递; 大于 $0.5b_c$ 的一边, 传递的距离则为荷载中置时一边传递范围的 90%。

JTS 167—2018 对于荷载接触面积中心至板自由边距离小于 $0.5b_c$ 的一边的传递情况, 与 JTJ 291—1998 规范一致, 认为其得到充分传递; 对大于 $0.5b_c$ 的一边, JTS 167—2018 认为, 当 $b_c \leq B$ 时, 传递的距离等于荷载中置时一边的传递范围, 当 $b_c > B$ 时, 传递的距离等于 $1/2$ 板宽范围。

综上所述, JTS 167—2018 认为, 对于 $b_c < B$ 的板, 荷载偏置时, JTJ 298—1998 中大于 $0.5b_c$ 的一边, 传递的距离采用荷载中置时一边的传递

范围的 90% 偏保守, 因此将其调整为等于荷载中置时一边的传递范围。

但对 $b_c > B$ 的板, 荷载偏置时, JTS 167—2018 认为, 大于 $0.5b_c$ 的一边的传递会受板宽的影响而减少 (此时大于 $0.5b_c$ 的一边的传递宽度还未到板自由边)。这与荷载中置时, 一边传递宽度未到板自由边时, 将继续传递相矛盾。

笔者认为, 对 $b_c > B$ 的板, 荷载偏置时, 大于 $0.5b_c$ 的一边的传递不应受板宽的影响, 而应传递到板自由边为止。因此建议将此处 JTS 167—2018 中的 $b_c > B$ 时, 取 $b_c = B$ 的条件改为对 b'_c 的限制条件, 即偏置荷载下垂直板跨度方向的弯矩计算宽度 $b'_c = 0.5b_c + y$, 当 $b'_c > B$ 时, 取 $b'_c = B$, 当 $b'_c < B$ 时, 取 $b'_c = 0.5b_c + y$ 。

2.4 STAAD/CHINA 有限元方法

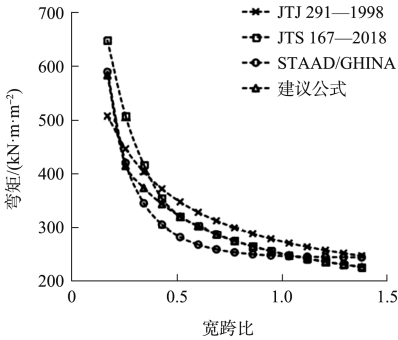
结构分析与设计软件 STAAD/CHINA 具有强大的三维建模系统及超强的有限元分析能力, 可对各种材料构成的各类结构进行线性、非线性静力、反应谱及时程反应分析, 被广泛应用于建筑结构的各个领域。

STAAD/CHINA 中板单元是以杂交元公式为基础的, 并假设为完备的二次应力分布。这种有限单元的特征为: 1) 单元间满足位移协调条件; 2) 每个单元的平面应力部分所引起的平面外抗弯刚度通常被有效凝缩掉了, 而不像一些常用的商业软件那样当作一个哑元来处理; 3) 尽管对旋转刚度的影响实施了上述凝缩, 单元仍完全满足分片检验; 4) 这些单元可以离散成三角形和四边形单元且只在角上有节点; 5) 板单元的弯曲公式中包括了平面外的剪切应变能; 6) 板的受弯曲计算部分对厚板和薄板都适用, 计算平面外剪力时也考虑了板的厚度; 7) 在单元内各点和节点的应力都经过了再次平衡检验。

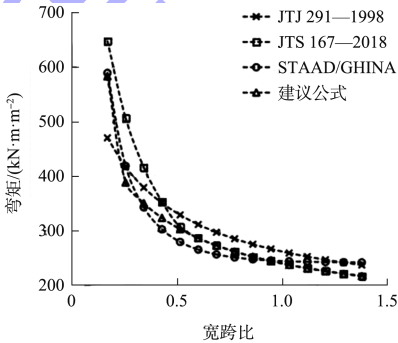
2.5 计算对比分析

分别采用 JTJ 291—1998、JTS 167—2018、STAAD/CHINA、本文的建议方法进行计算分析。为反映普遍规律, 分别采用不同板厚 (h 为 400、600 mm)、不同荷载作用面积 (a_1b_1 为 600 mm×400 mm、600 mm×600 mm)、不同荷载位置 ($y = b_1/2 + 200$ mm、

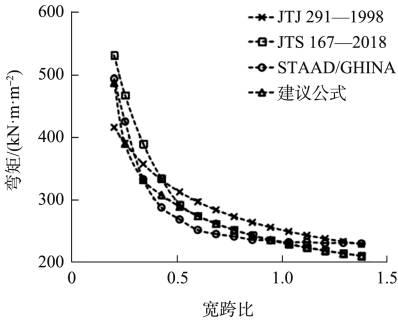
$y = b_1/2$) 共 8 组工况, 每组计算不同宽跨比 (弯矩计算跨度 $l_0 = 5.8$ m, 板宽 B 为 1.0、1.5、⋯、8.0 m) 的 15 个数据, 共 120 个数据进行对比分析, 结果见图 1 (荷载均为 424 kN)。



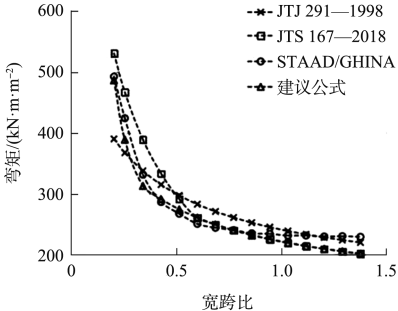
a) 荷载作用位置1, $h=400$ mm, $a_1=600$ mm, $b_1=400$ mm



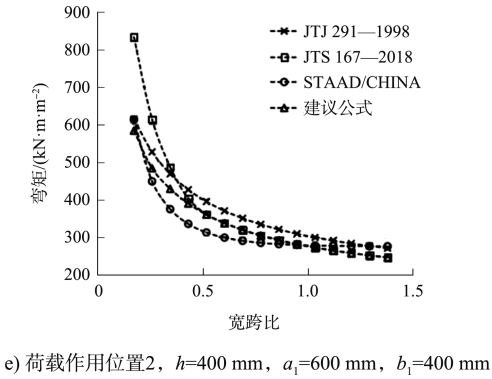
b) 荷载作用位置1, $h=600$ mm, $a_1=600$ mm, $b_1=400$ mm



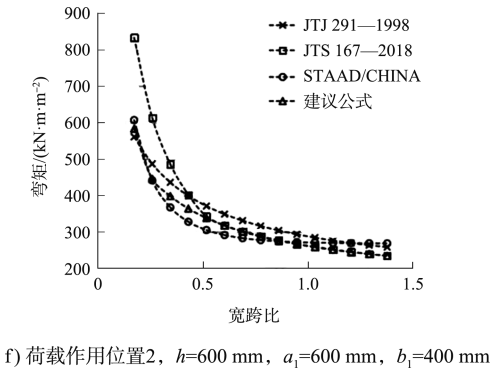
c) 荷载作用位置1, $h=400$ mm, $a_1=600$ mm, $b_1=600$ mm



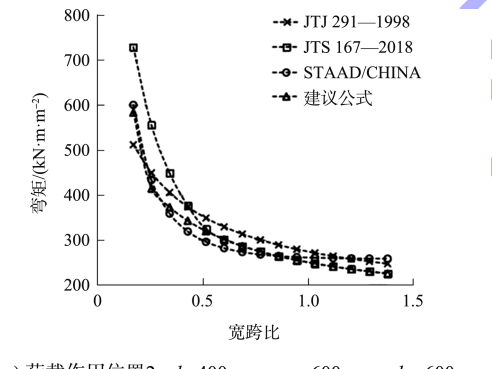
d) 荷载作用位置1, $h=600$ mm, $a_1=600$ mm, $b_1=600$ mm



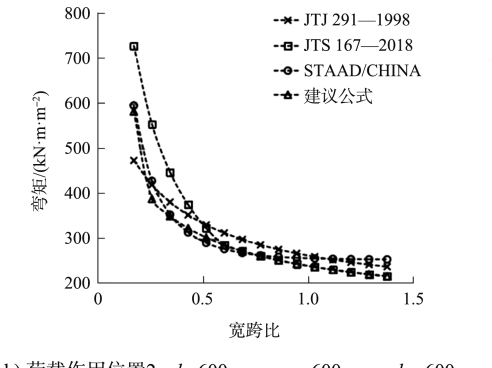
e) 荷载作用位置2, $h=400\text{ mm}$, $a_1=600\text{ mm}$, $b_1=400\text{ mm}$



f) 荷载作用位置2, $h=600\text{ mm}$, $a_1=600\text{ mm}$, $b_1=400\text{ mm}$



g) 荷载作用位置2, $h=400\text{ mm}$, $a_1=600\text{ mm}$, $b_1=600\text{ mm}$



h) 荷载作用位置2, $h=600\text{ mm}$, $a_1=600\text{ mm}$, $b_1=600\text{ mm}$

图 1 4 种方法不同工况的弯矩计算结果对比

分析结果表明,不同板厚、不同荷载作用面积、不同荷载作用位置时,计算结果规律基本一致。即当 $B>0.5l_0$ 时,4 种方法的计算结果均比较接近,其中 JTS 167—2018 和建议方法计算结果完全一致, JTG 291—1998 计算结果偏大一些, STAAD 有限元方法在 $0.5l_0<B<l_0$ 时结果较接近于 JTS 167—2018 和建议方法的计算结果;在 $B>l_0$ 时结果较接近于 JTG 291—1998 的计算结果;当 $B<0.5l_0$ 时, JTS 167—2018 计算结果明显大于其他 3 种方法的计算结果,宽跨比越小,结果偏大越明显, STAAD 有限元方法计算结果与建议方法结果较接近, JTG 291—1998 计算结果在宽跨比小于 0.2 时,结果较其他 3 种方法小。

对于不同板厚、不同荷载作用面积的工况,当板厚增大或荷载作用面积增大时,由于有效分布宽度的增加,弯矩均会减小,其中荷载作用面积增大导致的弯矩减小较明显,因此当弯矩较大时,可采用增加垫块等措施增加荷载作用面积,减小构件弯矩。

对于不同荷载作用位置情况,荷载越偏离中心位置,当 $B<0.5l_0$ 时, JTS 167—2018 计算结果偏大的情况越明显。

3 结语

1) 鉴于集中荷载作用下的四边支承板,在某些工况下长跨方向弯矩为短跨方向弯矩的 80%,即使长边与短边的计算跨度大于或等于 2,按照双向板计算也是必要的。

2) JTS 167—2018 中偏置荷载弯矩计算宽度公式 $b'_c=0.5b_c+y$ 中关于 b_c 的限制条件“当 $b_c>B$ 时,取 $b_c=B$ ”将导致在板宽 $B<0.5l_0$ 时,内力计算结果偏大,因此建议偏置荷载下垂直板跨度方向的弯矩计算宽度改为 $b'_c=0.5b_c+y$,当 $b'_c>B$ 时取 $b'_c=B$,当 $b'_c<B$ 时取 $b'_c=0.5b_c+y$ 。

3) 由弯矩的计算对比结果可看出,对于单向板上的集中荷载,增加垫块加大荷载传递宽度对于降低弯矩是一种有效手段。 (下转第 193 页)