

体外预应力凸块锚固区配筋设计研究

洪浩¹, 童育强², 贺志启¹, 刘钊¹

(1. 东南大学国家预应力工程技术研究中心, 南京 210096; 2. 中交公路规划设计院有限公司, 北京 100088)

[摘要] 混凝土凸块锚固区是体外预应力的一种常见锚固形式, 目前尚没有成熟的设计方法。本文通过有限元数值分析, 揭示了产生局部拉应力集中的3种作用效应; 在此基础上, 提出了这3种局部作用效应合拉力的解析计算公式, 作为凸块锚固区量化配筋设计的依据。通过南京长江第四大桥引桥凸块锚固区的设计实践, 表明该方法具有良好的实用性。

[关键词] 凸块锚固区; 体外预应力; 配筋设计; 锚下劈裂; 悬臂效应; 锚后牵拉

[中图分类号] U448 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2013)08-0095-04

1 前言

南京长江第四大桥的南、北引桥为预应力混凝土箱梁桥, 采用节段预制拼装和体内、体外混合配束的设计方案, 体外预应力束常常锚固于箱梁内壁设置的混凝土凸块上(见图1)。



图1 凸块锚固区

Fig.1 An anchor block

凸块受到平行于壁板的锚固集中力, 其受力类似于工业厂房中的立柱牛腿, 但凸块受到的作用力通常更大(锚固力常在几百吨的量级)。而凸块作为体外预应力体系的锚固结构, 一旦失效将导致严

重后果, 因此需要对其进行细致的分析与设计。然而, 我国现行桥梁设计规范^[1]中还没有凸块锚固区的设计规定, 给工程实际应用带来了困难。

国内外针对凸块锚固区配筋设计方法的研究, 主要关注拉压杆模型方法的应用。美国学者 G. P. Wollmann、德国学者 J. Hegger 等在弹性有限元分析的基础上, 建立了凸块锚固区的拉压杆模型^[2,3]。东南大学林波等通过传力路径的拓扑优化找形, 建立了一种凸块锚固区拉压杆模型的构形方法^[4]。这些拉压杆模型可以较好反映凸块锚固区的受力特点, 但是其构形尚缺乏足够的量化依据, 因而设计结果具有一定的离散性。

本文结合凸块锚固区的受力特点, 揭示了引起凸块锚固区局部拉应力集中的3种作用效应, 据此建立了量化配筋设计方法, 并结合南京长江第四大桥引桥中某凸块锚固区验证了该方法的实用性。

2 凸块锚固区的受力特点

为研究凸块锚固区的受力特点, 通过三维弹性有限元分析, 得到凸块中剖面的主应力等值线, 如图2所示。

[收稿日期] 2013-04-01

[基金项目] 国家自然科学基金资助项目(51278120)

[作者简介] 刘钊(1964—), 男, 安徽和县人, 东南大学教授, 博士生导师, 主要从事桥梁结构理论研究; E-mail: mr.liuzhao@seu.edu.cn

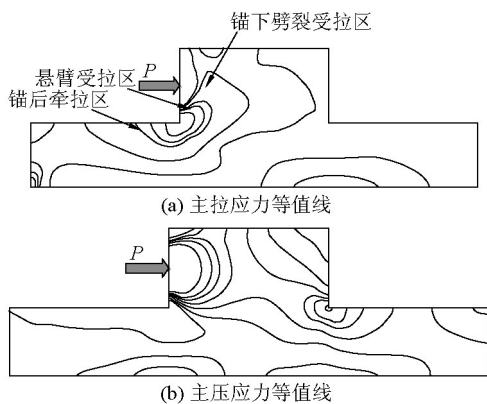


图2 凸块中剖面的主应力等值线
Fig.2 Principal stress contour of middle section

凸块锚固区在集中锚固力作用下的局部应力分布复杂,但有限元分析表明,其应力分布具有一定的规律,凸块内存在3个拉应力集中部位如下。

1)锚固力向凸块内扩散引起的横向受拉区,称为“锚下劈裂受拉区”。

2)凸块锚固面悬臂根部的拉应力集中区,简称“悬臂受拉区”。

3)锚后壁板内的纵向拉应力集中区,简称“锚后牵拉区”。

从受力机理上,可将上述3个拉应力集中分布区归为3种局部作用效应:锚下劈裂效应、悬臂效应和锚后牵拉效应^[5]。

3 基于受拉效应分析的量化配筋设计方法

用各拉应力集中区域的合拉力代表相应的局部作用效应,作为量化配筋设计的依据。如图3所示,3个拉应力集中区域的合拉力分别为锚下劈裂力 T_b 、悬臂根部拉力 T_c 和锚后牵拉力 T_{tb} ,下面将给出这3个合拉力的解析计算公式及其来源。

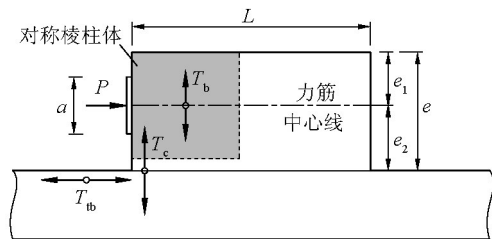


图3 3种局部作用效应的合拉力
Fig.3 Resultant tensile forces of three local actions

3.1 锚下劈裂力

考虑图4所示矩形截面梁端部中心锚固这一简单情形,锚固力从锚垫板向全截面扩散的过程中,会产生横向拉应力,其合力即为锚下劈裂力^[6]。美国国有公路运输管理局协会(AASHTO)桥梁设计规范给出了梁端锚固区锚下劈裂力的计算式^[7]

$$T_b = 0.25P \left(1 - \frac{a}{h}\right) \quad (1)$$

式(1)中, T_b 为锚下劈裂力; P 为锚垫板上集中锚固力的大小; a 为锚垫板宽度; h 为梁端截面高度。

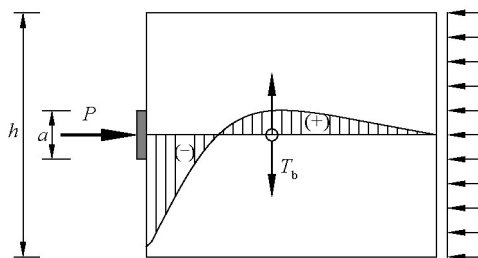


图4 锚下沿锚固中心线横向应力分布
Fig.4 Transverse stress distribution along the tendon axis in concentric anchorage zone

法国学者居易翁(Guyon)的研究表明,锚下劈裂区可以通过图3阴影区所示的“对称棱柱体”确定,该棱柱体的截面尺寸为力筋中心线到锚固区边缘最短距离的两倍^[8]。因此,凸块锚固区锚下劈裂力的计算,等效为图3所示高度 $2e_1$ 的对称棱柱体端部中心锚固的情形。以 $h=2e_1$ 代入式(1),可得出凸块锚固区锚下劈裂力的大小

$$T_b = 0.25P \left(1 - \frac{a}{2e_1}\right) \quad (2)$$

式(2)中, e_1 为锚固力作用点中心至凸块表面的距离,其余符号意义同式(1)。

3.2 悬臂根部拉力

悬臂根部拉力 T_c 的计算简图如图5所示,将凸块视作长度 e 、梁高 L 的悬臂深梁,距固定端 e_2 处作用有锚固集中力 P , z 为内力臂长度。由力矩平衡条件可得

$$T_c z = P e_2 \quad (3)$$

不难发现,锚固集中力作用下凸块悬臂根部拉力 T_c 的计算,类似于竖向力作用下牛腿顶部受拉钢筋的内力计算。参考混凝土结构设计规范牛腿设计的相关规定,近似取内力臂长度 $z=0.80L$ ^[9],结合式(3)得悬臂根部拉力为

$$T_c = 1.25P \cdot \frac{e_2}{L} \quad (4)$$

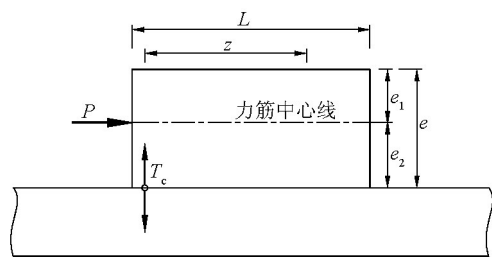


图5 悬臂根部拉力的计算简图

Fig.5 Calculation diagram of cantilever action

3.3 锚后牵拉力

凸块锚后牵拉力的取值一直是学者们研究的重点。Eibl等通过模型试验认为,锚后钢筋平衡25%的锚固力已经足够,锚后裂缝并不如想象的严重^[10]。Fujii等运用有限元分析,并按假想模拟裂缝的存在,表明锚后力从不超过锚固力的25%,早期裂缝的出现能大大释放应力^[11]。因此,美国国有公路运输管理局协会桥梁设计规范要求锚后抗裂钢筋至少应抵抗25%的锚固力,这里直接采用其规定,将锚后牵拉力取为

$$T_b \geq 0.25P \quad (5)$$

4 南京长江第四大桥凸块锚固区配筋设计

以南京长江第四大桥引桥中某体外预应力凸块锚固区为例,说明该类锚固区的量化配筋设计方法。凸块尺寸如图6所示,其端部锚固单束22- ϕ 15.2的预应力钢绞线,张拉控制应力为1 209 MPa。抗裂钢筋采用HRB335级钢筋,屈服强度为335 MPa。

根据我国现行桥梁规范,锚固区验算采用的锚固力设计值,应取1.2倍张拉时的最大压力^[1],故有

$$P = 1.2A_p \sigma_{con} = 4\,468 \text{ kN} \quad (6)$$

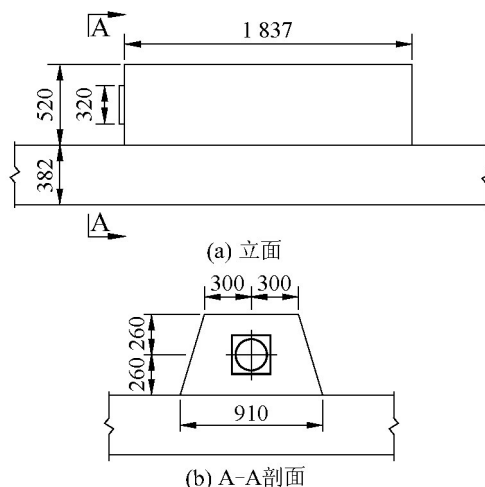


图6 凸块锚固区设计细节(单位:mm)

Fig.6 Dimensions of the anchor block(unit:mm)

根据式(2)、式(4)及式(5),计算出凸块内的3个合拉力设计值,据此计算配筋量。以锚下劈裂力为例,抗裂钢筋面积按下式计算

$$A_s \geq \frac{\gamma_0 T_b}{f_{sd}} \quad (7)$$

式(7)中, T_b 为按式(2)求得的锚下劈裂力; A_s 为抗裂钢筋面积; γ_0 为结构重要性系数,南京长江第四大桥按规范取为1.1; f_{sd} 为钢筋抗拉强度设计值,按规范取值。

根据本文揭示的凸块锚固区受力特点,现将其配筋构造要点进行说明。

1)凸块内的竖向箍筋,既要抵抗锚下劈裂力,也要抵抗悬臂根部拉力。从前述分析不难看出,悬臂根部拉力距锚固端面很近,因此可由表层箍筋抵抗;锚下劈裂力分布于距端面约1倍凸块高度范围内,由该范围内的箍筋抵抗。

2)锚后牵拉钢筋应对称布置在力筋轴线两侧,并且受拉钢筋应具有足够的锚固长度。

按上述方法进行的配筋设计结果列于表1,配筋设计如图7所示。

表1 南京长江第四大桥某凸块配筋设计结果

Table 1 Reinforcement design of an anchor block in the Fourth Nanjing Yangtze River Bridge

抗裂钢筋承担的拉力	内力大小/kN	钢筋强度设计值/MPa	需配钢筋量/mm ²	实配钢筋量/mm ²
锚下劈裂力 T_b	430	280	1 689	3 768
悬臂根部拉力 T_c	791	280	3 108	3 768
锚后牵拉力 T_b	1 117	280	4 388	6 908

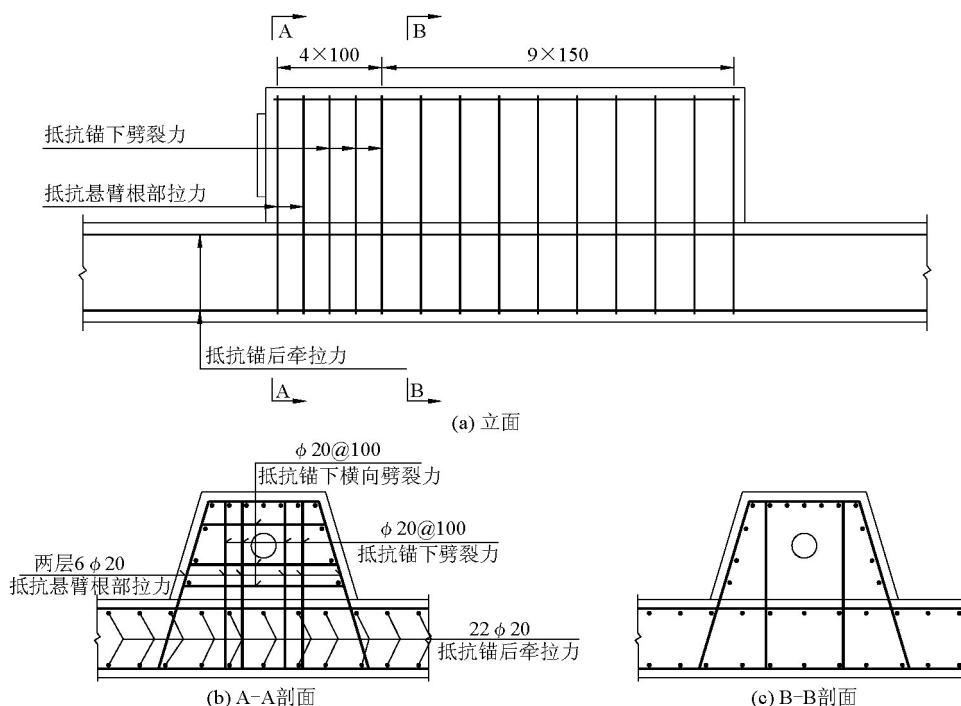


图7 凸块锚固区钢筋布置(单位:mm)

Fig.7 Reinforcement layout of the anchor block(unit: mm)

5 结语

本文探讨了凸块锚固区的受力特点及量化配筋设计方法,主要结论如下。

1)揭示了引起体外预应力凸块锚固区局部拉应力集中的3种作用效应,即锚下劈裂效应、悬臂效应和锚后牵拉效应,并建立了这3种局部作用效应合拉力的解析计算公式。

2)提出了凸块锚固区的量化配筋设计方法。

3)南京长江第四大桥凸块锚固区的设计实践表明,本文提出的量化配筋设计方法具有良好的实用性,可为同类锚固区的设计提供参考。

参考文献

[1] JTG D62—2004. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
 [2] Wollmann G P. Anchorage Zones in Post-tensioned Concrete Structures[D]. Austin : The University of Texas at Austin, 2002.

[3] Hegger J, Neuser J U. Verankerung externer spannglieder an querträgerscheiben [J]. Beton und Stahlbetonbau, 2004,3:186-194.
 [4] 林波,刘钊,吕志涛. 体外预应力独立矩形齿块锚固区的拉压杆模型及配筋设计[J]. 工程力学, 2011,28(12): 59-64.
 [5] 林波. 拉压杆模型及其在预应力混凝土梁桥D区设计中的应用[D]. 南京: 东南大学博士学位论文, 2011.
 [6] 刘钊. 桥梁概念设计与分析理论(上册)[M]. 北京: 人民交通出版社, 2010.
 [7] The American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO LRFD Bridge design specifications (4th edition) [S]. 2007.
 [8] Guyon Y. Prestressed Concrete [M]. London: Contractor's Record LTD, 1953.
 [9] GB 50010—2010. 混凝土结构设计规范 [S].
 [10] 周履. 结构混凝土分析的一种简单、一致的方法[J]. 国外桥梁, 2001(1): 28-34.
 [11] Fujii M, Miyamoto A, Kajimura Y. Crack control design of intermediate anchorage zone in prestressed concrete[C]//FIP Symposium on Partial Prestressing and Practical Construction in Prestressed and Reinforced Concrete, Proceedings Part One, Romania, 1980: 44-51.

(下转112页)