

文章编号: 1673-9469(2011)02-0033-05

横张预应力砼梁关键部位受力性能研究

宋常利

(东北石油大学秦皇岛分校 建筑工程系, 秦皇岛 066004)

摘要:横张法预应力混凝土属于后张有粘预应力混凝土结构, 预应力钢筋张拉有别于常规后张法施工。本文利用 ANSYS 软件对横张预应力混凝土梁在张拉施工阶段的受力情况进行仿真模拟, 研究粘结锚固区域和插销定位区域混凝土受力变形的规律, 为横张预应力混凝土结构设计和施工提供参考。

关键词:横张预应力; 关键部位; ANSYS; 有限元分析

中图分类号: U448.35

文献标识码: A

Study on behavior of the concerning regions of the vertically tensioned prestressed concrete beam under load

SONG Chang-li

(Department of Architectural Engineering, Northeast Petroleum University at Qinhuangdao, Hebei Qinhuangdao 066044, China)

Abstract: The vertically tensioned prestressed concrete is a new construction technology. It is the stick post-tensioned prestressed concrete structures, but different from conventional post-tensioned prestressed in the construction details. The vertically tensioned prestressed concrete beams in the tension phase of the situation was simulated by software ANSYS. The laws of concrete regional deformation in both adhesive anchor position and bolt position were studied. The results can provide the reference for the design and construction of vertically tensioned prestressed concrete.

Key words: vertically tensioned prestressed; concerning regions; ANSYS; finite element analysis

横张预应力混凝土技术属于后张有粘预应力混凝土类型, 由重庆交通学院周志祥教授提出^[1]。与常规预应力混凝土相比, 横张法改传统的纵向张拉为横向张拉, 降低了对设备张拉能力的需求, 改专用传统锚具为混凝土的粘结锚固, 改预留孔道为预留明槽, 从而节省了波纹管、灌浆材料、锚具、锚下加强钢筋及部分预应力钢筋, 避免了由管道摩阻引起的预应力损失, 避免了管道压浆质量不定性及其造成的危害。2004 年王世良^[2]横张预应力技术在荣经大桥中的应用研究课题, 首次成功应用于箱型梁中, 但这种技术尚未在房屋建筑领域当中应用。本文在总结已有研究成果的基础上, 对横张预应力混凝土结构在房屋建筑中的应用进行了研究。

1 有限元模型建立

ANSYS 模型中用 SOLID65 单元模拟梁柱混凝土, LINK8 单元模拟纵筋、箍筋, SOLID45 模拟定位钢板、钢插销和加载垫板。模型中单元数分别为: SOLID65 单元 31 462, LINK8 单元 1 198, SOLID45 单元 28。单元数共计 32 688, 节点数共计 27 666, 总质量为 395.70kg。

SOLID65 单元的 KEYOPT(1) 设置为 0, 考虑形函数的附加项, 以保证计算结果的精度; KEYOPT(7) 设置为 1, 采用缺省的拉应力释放系数 $T_c=0.6$ 以利于收敛。混凝土破坏准则的参数通过命令 TB, CONCR 和 TBDATA 输入, 张开裂缝剪力传递系数 $\beta_t=0.5$, 闭合裂缝的剪力传递系数 $\beta_c=0.95$ 。

收稿日期: 2011-03-29

作者简介: 宋常利(1977-), 男, 河北昌黎人, 硕士, 讲师, 从事防灾减灾与防护工程的研究。

由于打开混凝土压碎设置后,即便应力水平还未达到混凝土压碎应力时收敛就变得十分困难,而且定义了混凝土的应力-应变曲线后,该选项对计算结果的影响不大,所以分析时关闭混凝土的压碎选项,只考虑混凝土的开裂。混凝土材料参

数见表1。

钢材的应力-应变关系采用双线性等向强化模型 BISO, 钢筋屈服后弹性模量取弹性阶段的0.01倍。钢材参数见表2,图1~图4为各钢材的应力-应变关系曲线。

表1 混凝土材料参数表

Tab. 1 The parameters of concrete material

混凝土参数	参数值	混凝土参数	参数值
强度等级	C50	密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	2 500
弹性模量 E_c	3.52×10^4	单轴抗压强度 f_c /($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	37.00
泊松比 ν_c	0.2	单轴抗拉强度 f_t /($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	3.20

表2 钢材参数表

Tab. 2 The parameters of steels

类别	预应力钢筋	纵筋	钢筋网片	定位钢板	钢插销	垫板
钢材级别	高强低松弛钢绞线	HRB335	HPB235	40Cr	40Cr	Q345
密度/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)	7 800	7 800	7 800	7 800	7 800	7 800
弹性模量 E /($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	1.95×10^5	2.0×10^5	2.1×10^5	2.0×10^5	2.0×10^5	2.0×10^5
屈服强度/($\text{N}\cdot\text{mm}^{-2}$)	1 320	326	210	785	785	310

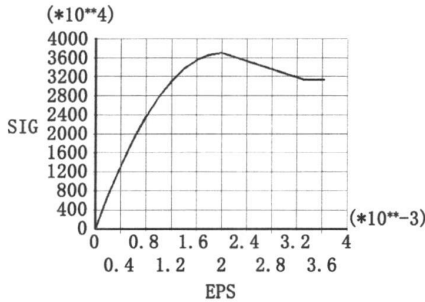


图1 混凝土本构关系

Fig. 1 The constitutive relation of concrete

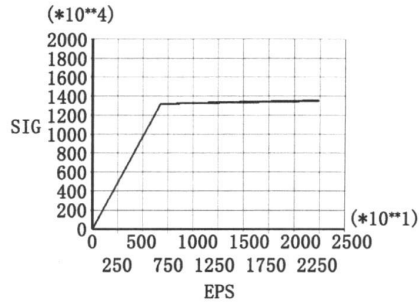


图2 预应力钢筋本构关系图

Fig. 2 The constitution relation of depressed steel bar

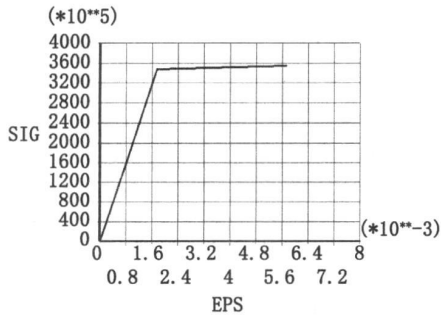


图3 普通钢筋本构关系图

Fig. 3 The constitution relation of common steel bar

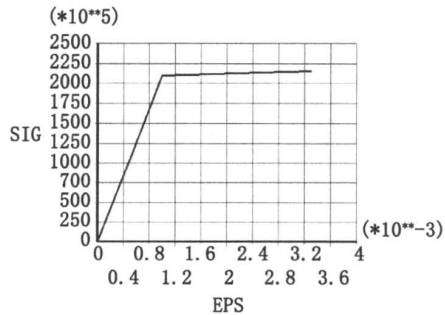


图4 钢筋网片本构关系图

Fig. 4 The constitution relation of reinforced net

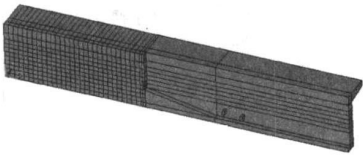


图5 横张预应力混凝土梁有限元模型

Fig.5 The finite element model of the vertically tensioned prestressed concrete beam

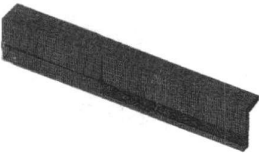


图6 张拉定位后横张预应力混凝土梁有限元模型的网格划分

Fig.6 The finite element model mesh generation of vertically tensioned prestressed concrete beam after tension location

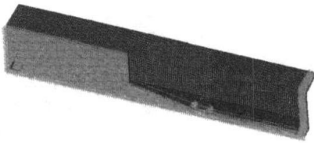


图7 混凝土与预应力筋耦合后有限元模型

Fig.7 The finite element model of concrete and prestressed reinforcement after coupling

根据结构和荷载的对称性,取混凝土梁的 $1/4$ 部分进行建模,在其两侧边加上对称约束,以消除切向位移。利用对称性可以节约计算机内存,以便在有限的计算机容量下,把单元划分得更细,提高计算精度。建立的有限元模型见图 5。

单元划分采用映射网格划分 (mapped meshing),每个单元均为六面体,该方法生成的网格相互之间是呈规则排列的,分析结果的精度较高。为了实现混凝土和钢筋的组合,要求混凝土单元和钢筋单元共用节点,可采用体分割法或独立建模耦合法来实现。本文采用先分别建立混凝土和预应力钢筋模型,而后对其网格划分,对预应力筋采用降温法模拟预应力效应。而后采用独立建模耦合法,使混凝土单元和钢筋单元共用节点共同作用。对张拉定位后横张预应力混凝土梁的网格划分如图 6 所示,以及考虑耦合和边界条件后有限元模型如图 7 所示。

2 梁体和粘结锚固区受力分析

横张预应力是依靠预应力筋与混凝土的粘结实现对预应力筋的锚固^[3]。预应力筋必须留有足够长度,以便应力在纵向充分传递;此外,粘结锚固区混凝土的应力较为集中,若混凝土开裂失效,预应力筋将被拉断,预应力筋过长则没有意义,反而浪费材料。选取合适的预应力筋锚固长度,显然是首先应解决的问题。为了建立钢筋混凝土之间的粘结应力 τ 和相对滑移 s 的关系,许多学者进行了大量的试验量测,并试图建立起有代表性的经验公式。目前比较公认的是 Nilson、Houde & Mirza、东南大学宋启根教授和清华大学滕智明教授等人提出的经验公式^[4]。徐有邻^[5]根据试验给出了预应力筋的最小锚固长度和传递长度,并与规范^[6]进行了对比。文献[7]根据钢绞线的拉应力达到屈服强度时钢绞线与混凝土之间的粘结力尚未破坏提出了最小锚固长度的简化公式(1),并建议 L 取 $120d$ 。

$$L \geq \sigma_s d / 4R_\tau = 1860/4 \times 4.0 \times d \approx 116d \quad (1)$$

式中 R_τ —钢绞线与混凝土之间的平均粘结应力,参照规范 R_τ 取 4.0; σ_s —绞线的屈服强度。

本文中计算模型用的预应力钢筋采用高强度松弛钢绞线直径和参考文献[8]和[9]是一样的。本章建立在张拉定位后横张预应力混凝土梁计算模型以及张拉过程中计算模型,验证预应力钢筋在粘结锚固区的长度取值分别为 90cm, 120cm 和 150cm 时对混凝土梁受力反应的影响。本章图表中所指的“张拉处梁底”情况是:在张拉到位、尚未锚固前横张预应力梁在张拉设备张拉处的应力或位移。未注明“张拉处梁底”的其他情况都是在张拉锚固后的应力和位移。

对于混凝土拉压不同性、开裂压碎等特性,一般的弹塑性本构关系无法反映其材料特性。一般的材料本构关系只能定义对称参数,即拉压对称,受拉和受压的屈服水平等同,而混凝土抗拉强度一般不足抗压强度的十分之一,而在复杂结构当中混凝土不可能只处于单向受力状态,拉压的同时存在,使分析者很难定义混凝土材料的本构关系。若取抗拉强度为屈服强度,无疑会大大降低混凝土结构的承载能力;而取抗压强度做屈服点,又必然会提高结构的承载能力。

为加快收敛性,本文将混凝土有限元单元 Sol-

id65 压碎开关关闭,导致计算模型中混凝土梁的第一主应力和第三主应力超过了允许值。另外,没有建立普通钢筋—纵向钢筋和箍筋的有限元单元也使得梁的能力有所下降。但从研究三个关键部位的角度看,仍有一定的参考价值。

在张拉到位、尚未锚固前以及张拉定位后,采取不同锚固长度作用下混凝土梁的整体以及各主要部位—锚固区域、转折区域、插销区域、跨中区域和张拉处梁底的第一主应力和第三主应力列于表3;沿着断面处路径应力情况对比见图8。

从表3不同锚固长度时混凝土梁主应力对比可见,锚固长度在90cm~150cm之间混凝土梁的应力都相当接近,且在120cm时应力要稍小些,表明锚固长度取120cm是比较合理的。

从图8不同锚固长度时锚固区域预应力钢筋附近混凝土路径应力对比可以看出,第一主应力和第三主应力都集中在预应力钢筋转折处附近混

凝土,且在很小的范围应力内就骤减,符合粘结滑移的应力分布。

3 结论

1)锚固长度在90cm~150cm之间混凝土梁的第一主应力和第三主应力都相当接近。在120cm时应力要稍小些,表明锚固长度取120cm是比较合理的。

2)从混凝土梁第一主应力和第三主应力云图以及梁横断面的应力情况对比可看出,在张拉到位、尚未锚固前和张拉定位后混凝土梁应力集中比较明显,主要发生在梁的三个关键部位:预应力钢筋转折区域混凝土处、插销区域混凝土以及张拉处梁底混凝土,尤其是在定位钢板处的混凝土在很小的范围内就骤降到很小的值。由于计算模

表3 不同锚固长度时混凝土梁主应力对比

Tab. 3 The concrete beam stress at different anchorage length

混凝土梁各个部位	锚固长度为90cm时主应力 /MPa		锚固长度为120cm时主应力 /MPa		锚固长度为150cm时主应力 /MPa	
	Max S_1	Min S_3	Max S_1	Min S_3	Max S_1	Min S_3
梁整体	7.56	-61.80	7.61	-61.20	7.98	-61.30
锚固区域	6.12	-33.40	4.89	-32.40	7.98	-33.80
转折区域	7.56	-61.80	7.61	-61.20	7.81	-61.30
插销区域	6.73	-42.50	4.81	-43.30	4.78	-43.30
跨中区域	2.76	-23.10	2.33	-22.60	2.38	-22.20
张拉处梁底	4.58	-36.16	3.32	-31.45	3.03	-30.24

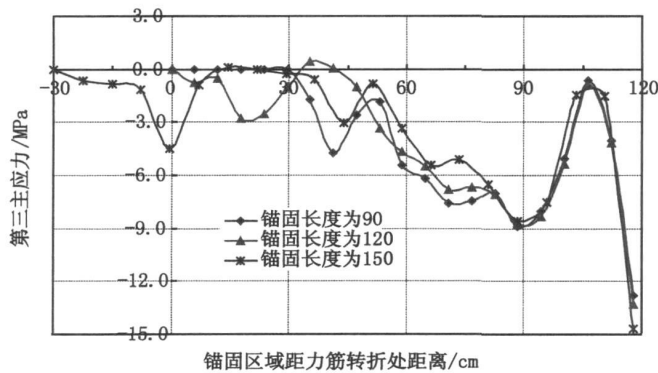


图8 混凝土梁不同锚固长度时第三主应力对比

Fig. 8 Concrete beams when different anchor length third principal stress contrast

型的压碎开关关闭导致这几处的第一主应力和第三主应力早已超过了混凝土的相应允许值。说明混凝土已经在局部区域发生拉裂和压碎,但整个混凝土梁的大部分区域应力较小。

3)在不同锚固长度时各钢材部件应力对比可见钢材应力很接近,锚固长度对其影响不大。

4)张拉力达到 94kN 时反拱度为 4.55mm,与本文计算模型中的张拉力达到 96kN 时的反拱度为 4.47mm 相当接近。说明本文很好的模拟了张拉过程中混凝土梁的反应特性。

5)锚固长度越大其跨中挠度(竖向位移与跨度比值)越小,说明锚固长度对反拱度和挠度有一定的影响。

6)在张拉过程中,裂缝发育情况很接近,大部分分布在定位钢板处混凝土、插销处混凝土以及张拉处梁底混凝土。对于这三个关键部位,可以通过增设钢筋网片等措施来加强其附近混凝土的抵抗能力。

(上接第 32 页)0.004 3s 时达到最大,之后最大应力值不再变化,最大应力区域由钢筋边缘向中心发展。因此在设计钢筋弯曲机或手工弯曲钢筋时,应注意并非弯曲到要求角度时钢筋内部应力才达到极值。在达到应力极值左右时,应施加合理的弯曲速度与弯曲力。

参考文献:

- [1] FORDE PAULSEN, TORGEIR WELO. Application of numerical simulation in the bending of aluminium alloy profiles [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1996, 58

参考文献:

- [1] 重庆交通学院横张预应力混凝土课题组. 横张预应力混凝土技术在 T 型桥中的应用研究报告[R]. 1999.
- [2] 王世良,周志祥. 横张预应力技术在荣经大桥中的应用研究[EB/OL]. 中国技术专家网
- [3] 沈聚敏,王传志,江见鲸. 钢筋混凝土有限元与板壳极限分析[M]. 北京:清华大学出版社,1993.
- [4] 胡晓伦,周志祥. 横张预应力砼梁关键部位的应力分析[J]. 重庆交通学院学报,2004(1): 95-106.
- [5] 徐有邻,朱龙. 钢绞线基本性能与锚固长度的试验研究[J]. 建筑结构,1996(3): 34-38.
- [6] GB 50010-2002, 混凝土结构设计规范[S].
- [7] 周志祥. 预应力混凝土梁受载行为研究与新技术探索[D]. 重庆:西南交通大学,1998.
- [8] 杨勇. 横张预应力混凝土梁受弯性能试验研究[D]. 重庆:重庆交通学院,2003.
- [9] 郑升宝. 横张预应力混凝土梁抗剪性能的试验研究[D]. 重庆:重庆交通学院,2003.

(责任编辑 刘存英)

(5): 274-285.

- [2] 庄萌,王宗纲,钱稼茹. CNP1000 安全壳 1:10 模型的模态分析[J]. 河北工程大学学报(自然科学版),2007,24(13): 7-11.
- [3] 胡宝琳,李国强. 框架结构层间位移的分析方法比较[J]. 河北工程大学学报(自然科学版),2007,24(11): 17-19.
- [4] 何涛,杨竞,金鑫,等. ANSYS 10.0/LS-DYNA 非线性有限元分析实例指导教程[M]. 北京:机械工业出版社,2007.

(责任编辑 刘存英)