

箍筋对钢筋混凝土受弯构件裂缝的影响分析*

李志华, 苏小卒, 赵勇

(同济大学 土木工程学院, 上海 200092)

摘要:收集整理了国内外大量配置横向箍筋的钢筋混凝土梁受弯性能试验的裂缝结果,研究了箍筋的设置对钢筋混凝土受弯构件裂缝位置及裂缝间距的影响。分析结果表明,箍筋对裂缝的位置具有导向作用,箍筋间距对裂缝间距有一定的影响。根据试验资料,提出了考虑箍筋影响的平均裂缝间距公式,并在我国规范 GB50010—2002 裂缝宽度计算模式得基础上,提出了考虑箍筋影响的平均裂缝宽度计算公式。建议公式的计算结果与试验结果符合较好。

关键词:受弯裂缝;箍筋;裂缝位置;平均裂缝间距;平均裂缝宽度

中图分类号: TU375 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006—7329(2007)06—053—04

Effect of Stirrups on Flexural Cracks in Reinforced Concrete Beams

LI Zhi-hua, SU Xiao-zu, ZHAO Yong

(School of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

Abstract: The effects of stirrups on the location and spacing of flexural cracks we studied based on the existing test results of reinforced concrete beams. Our research shows that the flexural cracks tend to develop near stirrup locations. Stirrup spacing also has some influence on the crack spacing. The test results suggest that the average crack spacing formula adopted in the design code GB50010—2002 should be revised by considering the stirrups in the constant moment region. An average crack width formula concerning the stirrup spacing is put forward that takes into account the standard crack width formula. The proposed calculation formulas agree with the experimental results.

Keywords: flexural cracks; stirrup; cracking location; average crack spacing; average crack width

当混凝土受拉区边缘的应变超过混凝土极限拉伸值时,钢筋混凝土受弯构件就会出现裂缝。过往研究表明^[1],未配置箍筋的混凝土梁受弯裂缝在剪弯区内分布比较均匀,裂缝间距大致相等($l_{cr} = S_0$);在纯弯区内,裂缝间距则是随机的($S_0 \leq l_{cr} \leq 2S_0$),裂缝位置几乎不能预测(其中 S_0 为钢筋—混凝土粘结滑移传递长度)。有研究者指出^[2,3,5-11],对于配置箍筋的钢筋混凝土受弯构件,在箍筋处混凝土截面减小,应力集中,容易出现裂缝,即箍筋对裂缝有一定的导向作用。也有研究者认为^[4,7],箍筋的设置改善了混凝土试件受力的非均匀性,使得裂缝分布比较均匀。因此箍筋对钢筋混凝土受弯构件的裂缝有何影响,是一个值得研究的问题。

1 箍筋对裂缝位置和裂缝间距的影响

1.1 箍筋对剪弯区裂缝位置和裂缝间距的影响

有研究者指出^[2,3],剪弯区的受弯裂缝分布比较均匀,裂缝间距与箍筋间距基本一致。而且他们认为这种现象与箍筋有关,因为箍筋削弱了截面,使得箍筋处容易出现裂缝。Hanna 和 Faris^[2]进行了两组共 24 根梁的试验研究,所有试件在剪弯区均配有箍筋,试验结果表明,裂缝均出现在箍筋位置附近,即箍筋间距控制了裂缝间距。束继华和韩书香^[4]通过 28 根悬臂梁的试验研究了钢筋混凝土受弯构件剪弯区的裂缝和刚度,研究表明,构件开裂后,箍筋的存在使得 S_0 减小,对裂缝开展有利。

* 收稿日期:2007—07—15

作者简介:李志华(1982—),女,博士研究生,主要从事混凝土结构研究。

1.2 箍筋对纯弯区裂缝位置和裂缝间距的影响

1.2.1 理论分析讨论 在纯弯区,由于开裂前构件各受拉截面的混凝土应力是相同的,所有的裂缝均会出现在薄弱截面。如果箍筋确实削弱了截面,则箍筋位置处容易出现裂缝,从而使得裂缝间距较为均匀。如果箍筋未能削弱截面,则裂缝位置是很随机的,裂缝间距是很离散的,满足 $2S_0 \leq l_{cr} \leq 2S_0$ 的关系^[1,5]。

1.2.2 试验研究结果 文献^[6,7,8,11,13]在研究中均发现,受弯构件在纯弯段内的裂缝发生位置与构件箍筋位置基本一致,平均裂缝间距与构件箍筋间距基本一致;构件的裂缝间距明显受箍筋位置影响。通过观察文献^[9,10,12]给出的详尽裂缝图,可发现大多数裂缝出现在箍筋位置处,但由于混凝土材性的非均匀性,箍筋之间的截面有时也会出现裂缝。

1.2.3 箍筋对裂缝位置影响的统计分析 文献^[6,9,10,12,14]给出了详尽的构件钢筋布置图和裂缝图,根据这 5 篇文献收集到了 25 根梁 280 多条裂缝的位置数据。以裂缝到构件纯弯段内最左边箍筋的距离 x 与箍筋间距 s_v 的比值 $\frac{x}{s_v}$ 作为统计量,对统计量以 0.2 的间隔划分,经统计计算绘出了裂缝位置直方图(图 1),横坐标表示 $\frac{x}{s_v}$,纵坐标表示相应位置处的裂缝数量。其中横坐标 0 表示纯弯段内最左边箍筋的位置,“1”表示从左边起的第二个箍筋的位置,依次类推,整数均代表箍筋的位置。由图 1 可知,裂缝多发生在箍筋位置处,其概率为 53%。因此可以认为,箍筋对裂缝具有导向作用,箍筋位置附近容易出现裂缝。

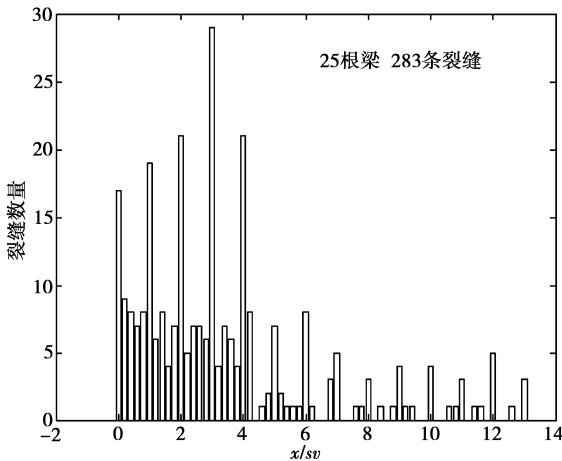


图 1 裂缝位置直方图

1.2.4 箍筋对裂缝间距的影响 根据文献^[1]提出的经验公式及文献^[6,9,10,14]中各试验梁的截面尺寸和配筋情况,计算出了上述文献中部分梁的钢筋—混凝土粘结滑移长度。依据上述各梁纯弯段内所有裂缝的裂缝间距、箍筋间距和粘结滑移传递长度,绘制了图

2,分别对每个梁的各裂缝间距与其箍筋间距和粘结滑移传递长度进行了对比。图 2 中,每个竖柱代表一个裂缝间距,不同的梁用竖直虚线隔开,纵坐标表示裂缝间距的数值,横坐标给出了相应试验梁的梁号。

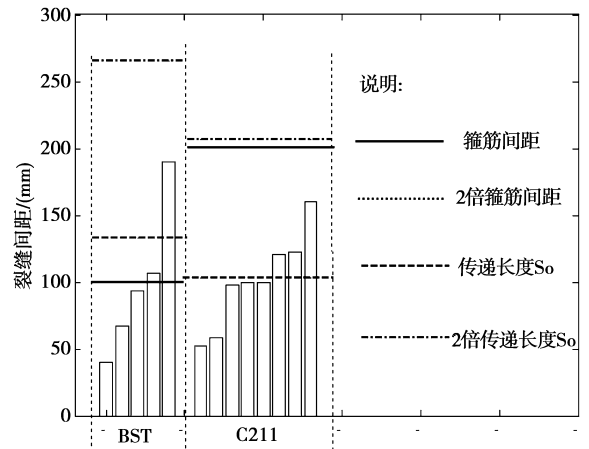
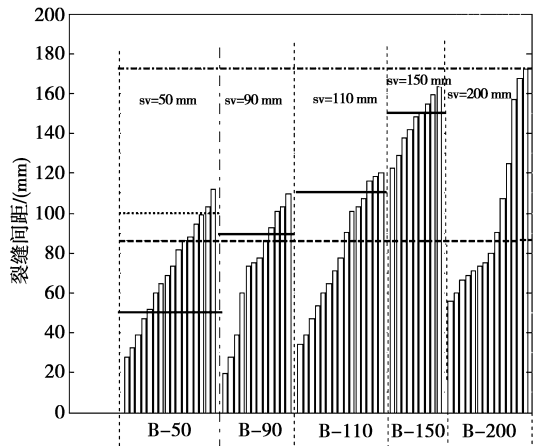
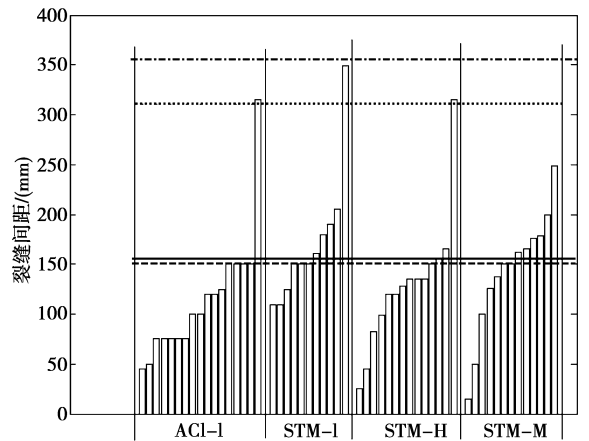


图 2 裂缝间距与箍筋间距和粘结滑移长度的比较

由图 2 可知,对于配置箍筋的梁,其纯弯区段内的裂缝间距是不满足 $S_0 \leq l_{cr} \leq 2S_0$ 这个关系,而是趋于均匀。由此可知,在纯弯区段内,箍筋对裂缝间距有明显的影响。通过观察可知,当箍筋间距 s_v 与钢筋—混凝土粘结滑移长度 S_0 相差不多时(ACI-I^[10], STM-I

$I^{[10]}$, STM-H^[10], STM-M^[10], B-90^[6], B-110^[6], BST^[9]或当箍筋间距远大于传递长度但又不接近2倍传递长度时(B-150^[6]),裂缝间距约为箍筋间距;当箍筋间距 s_v 远小于传递长度 S_0 时(B-50^[6]),尽管裂缝间距比较离散,但是其均值是相当小的;而当箍筋间距约等于或略大于2倍传递长度时(C211^[14], B-200^[6]),裂缝间距约为箍筋间距的一半,这是因为在箍筋之间出现了新的裂缝。这与粘结滑移原理在某种程度上是吻合的,同时也说明箍筋位置处确实形成了薄弱面。但是,由于混凝土材性的不均匀性,箍筋之间的截面有时也会出现裂缝,因而裂缝间距并不等于箍筋间距。

2 箍筋对纯弯区段平均裂缝间距和平均裂缝宽度的影响

2.1 箍筋对纯弯区段平均裂缝间距的影响

根据文献[7]的17根配置箍筋的混凝土梁的试验数据,考虑箍筋间距对裂缝间距的影响,在《混凝土结构设计规范》GB50010-2002裂缝间距公式的基础上,得到配置箍筋的受弯构件的平均裂缝间距公式为:

$$l_{cr} = \beta l_{cr} \quad (1)$$

其中

$$l_{cr} = 1.9c + 0.08 \frac{d_{eq}}{\rho_a} \quad (2)$$

$$\beta = \left(\frac{s_v}{l_{cr}} \right)^{0.85} \quad (3)$$

依据文献[7]中的试验数据,对式(1)及《混凝土结构设计规范》GB50010-2002中的裂缝间距计算公式进行了比较,结果见表1。由表1可知,规范公式的计算值与试验值偏差较大,公式(1)的计算值与试验值符合较好。

表1 配置箍筋的混凝土梁平均裂缝间距统计参数值

计算公式	$\frac{l_{cr}^s}{l_{cr}^t}$		$\frac{\omega_{cr}^s}{\omega_{cr}^t}$	
	均值	变异系数	均值	变异系数
GB50010-2002 规范公式	0.76	0.139	0.74	0.163
公式(1)	0.97	0.062	1.04	0.107

注:其中 l_{cr}^s 表示平均裂缝间距实测值, l_{cr}^t 表示平均裂缝间距计算值;其中 ω_{cr}^s 表示平均裂缝宽度实测值, ω_{cr}^t 表示平均裂缝宽度计算值。

2.2 箍筋对纯弯区段平均裂缝宽度的影响

采用《混凝土结构设计规范》(GB50010-2002)的裂缝宽度计算模式,则平均裂缝宽度计算公式为:

$$\omega_{mean} = 0.85 \left(1.1 - \frac{0.65 f_{tk}}{\sigma_{ss} \rho_{te}} \right) \frac{\sigma_{ss} l_{cr}'}{E_s} \quad (4)$$

由于文献[17]仅测量了梁底面的裂缝宽度,与规范裂缝宽度计算公式反映的裂缝位置(与受拉钢筋截面重心相同水平处构件侧表面的裂缝宽度)不一致,因此需要把试验值进行换算以进行比较。有关试验已经证明,对于受弯梁来说,其侧面不同水平处的裂缝宽度基本上与其所在位置至中和轴的距离成正比,即

$$\frac{\omega}{\omega_b} = \frac{h_0 - x}{h - x} \quad (5)$$

我们根据钢筋和混凝土的 $\sigma-\epsilon$ 本构关系及截面内力平衡条件,计算出了各种受力状态下的 x ,进一步处理了试验数据。在此基础上,将式(4)与《混凝土结构设计规范》GB50010-2002中的平均裂缝宽度计算公式进行了比较,结果见表1。由表1可知,按现行规范公式计算的平均裂缝宽度与试验值偏差较大。对于配置箍筋的受弯构件,计算其平均裂缝宽度时需考虑考虑箍筋的影响,公式(4)的计算值与试验值符合较好。

3 结束语

由以上的分析可得到以下几点结论:

1)箍筋削弱了箍筋处混凝土截面,对裂缝位置有导向作用。

2)箍筋间距对裂缝间距有一定的影响,选择适当的箍筋间距可以减小裂缝间距,从而达到控制裂缝宽度的目的。

3)箍筋对平均裂缝间距和平均裂缝宽度的影响是显著的。对配置较密箍筋的构件进行裂缝宽度计算时需考虑箍筋的影响作用。

4)箍筋间距 s_v 与裂缝间距 l_{cr} 的比值 s_v/l_{cr} 可能是箍筋影响裂缝的重要参数。

但是,在以下几个方面仍需要进一步研究:

1)当钢筋混凝土受弯构件配置箍筋的间距较大时,箍筋对裂缝间距及宽度的影响作用是否与小箍筋间距时的情况相同,其影响效果是否依然显著?

2)如何选择适当的箍筋间距,以减小裂缝长度,从而达到控制裂缝宽度的目的?对于配置高强钢筋的混凝土构件来讲,这是一个有意义的研究问题。

3)当纵向钢筋和箍筋的强度进一步提高时,小间距箍筋对平均裂缝间距和宽度的影响效果是否仍然相同?

4)保护层厚度的变化是否影响箍筋对平均裂缝间距和裂缝宽度的作用效果?

参考文献:

[1] PIYASENA R. Crack spacing, crack width and tension

- stiffening effect in reinforced concrete beams and one-way slabs[D]. A thesis for the award of the degree of Doctor of Philosophy. School of Engineering Faculty of Engineering and Information Technology Griffith University Gold Coast Campus, 2002.
- [2] HANNA M M, FARIS A M. The Effect of Thick Concrete Cover on the Maximum Flexural Crack width under Service Load[J]. ACI Structural Journal, 1996, 93(3):257-264.
- [3] ALESSANDRO PF, DANIELE F, IVO R, et al. Flexural Deformability of Reinforced Concrete Beams[J]. Journal of Civil Engineering, 1998, (3):1 041-1 049.
- [4] 束继华, 韩书香. 钢筋混凝土受弯构件剪弯区刚度裂缝的试验研究[R]. 410兆帕钢筋应用技术研究专题报告之七, 1990.
Shu Ji-hua and Han Shuxiang. Experimental research on stiffness and crack width in varying moment region of reinforced concrete beams[R]. Study reports on applied technique for 410MPa steel bars(seven), 1990.
- [5] Park R, Paulay T. Reinforced Concrete Structures[M]. John Wiley and Sons, New York, 1975.
- [6] LEE S L, MANSUR M A, TAN K H, et al. Crack Control in Beams Using Deformation Wire Fabric[J]. Journal of Structural Engineering, 1989, 115(10):2 645-2 660.
- [7] 束继华, 任红春. 钢筋混凝土受弯构件正弯矩区刚度裂缝的试验研究[R]. 410兆帕钢筋应用技术研究专题报告之六, 1990.
Shu Ji-hua, REN Hong-chun. Experimental Research on Stiffness and Crack Width in Constant Moment Region of Reinforced Concrete Beams[R]. Study reports on applied technique for 410MPa steel bars(six)1990.
- [8] PERRY A, JOOST V L. Side-face Reinforcement for Flexural and Diagonal Cracking in Large Concrete Beams[J]. ACI Structural Journal, 1999, 96(5):693-704.
- [9] SVECOVA D, RAZAQPUR A G. Flexural Behavior of Concrete Beams Reinforced with Carbon Fiber-Reinforced Polymer Prestressed Prisms[J]. ACI Structural Journal, 2000, 97(5):731-738.
- [10] GERARDO A, ADOLFO B M, GUSTAVO J P. Experimental Evaluation of Design Procedures for Shear Strength of Dee PReinforced Concrete Beams[J]. ACI Structural Journal, 2002, 99(4):539-547.
- [11] 赵大勇. 高强钢筋混凝土梁板受弯性能试验及其承载能力分析研究[D]. 成都:西南交通大学硕士学位论文, 1999.
Zhao Dayong. Experimental research on the bending behavior of HRC members and analysis on their ultimate moment. A thesis for the award of the degree of Master of Philosophy[D]. Xinan Jitong University, 1999.
- [12] 孟益. CFRP 预应力混凝土梁受弯性能研究[D]. 上海:同济大学硕士学位论文, 2000.
Meng Yi. Study on the flexural behavior of prestressed by CFR Pconcrete tendons[D]. A thesis for the award of the degree of Master of Philosophy. Tongji University, 2000.
- [13] RASHID M A, MANSUR M A, PARAMASIVAM P. Behavior of Aramid Fiber-Reinforced Polymer Reinforced High Strength Concrete Beams under Bending [J]. Journal of Composites for Construction, 2005 (2): 117-127.
- [14] RASHID M A, MANSUR M A. Reinforced High-Strength Concrete Beams in Flexure [J]. ACI Structural journal, 2005, 102(4):462-471.

(编辑 胡玲)