

文章编号 :1007 - 649X(2001)01 - 0064 - 04

# 钢筋混凝土并筋梁受弯承载力的试验研究

赵更奇,李 骞,陈 萌,毕苏萍

( 郑州工业大学土木建筑工程学院,河南 郑州 450002 )

摘 要 :在较小截面内单根排列钢筋比较困难,国外规范大都采用并筋解决,但对并筋后对承载力的影响未作明确规定,我国并筋梁的承载力和刚度研究较少.通过对 10 根并筋梁和 3 根对照梁的受弯承载力的试验,分析并筋对梁的受弯承载力的影响,试验采用三分点加载,结果表明,与对照梁相比,并筋梁的受弯承载力有所降低,降幅在 10% ~ 15% 之间,通过统计分析,给出了并筋梁受弯承载力的建议公式,并对建议公式进行了可靠度分析.

关键词 :并筋梁 ;受弯承载力 ;可靠度

中图分类号 :TU 223 文献标识码 :A

## 0 引言

工程实际中,截面较小的构件内,单根排列受力钢筋又保持一定间距难以做到,需要将受力钢筋两排甚至三排排列,使每根受力钢筋都能被混凝土握裹,以维持粘结锚固作用.但要准确确定这些钢筋的位置,必须增加架立构造钢筋,成排钢筋必须上下对齐,以实现混凝土下落畅通及振捣密实.这不利于设计和施工,而且往往由于施工困难,造成密集配筋区混凝土的蜂窝和空洞.国外解决此问题的办法之一是采用并筋.将受力主筋 2 ~ 4 根捆扎在一起,以钢筋束的形式配筋.美国、欧洲、日本、新西兰等规范中都有类似的规定.并筋要求延长搭接长度以保证并筋的锚固性能,但对并筋后梁的承载力等问题各国规范均未作出明确规定.

我国自 80 年代开始对并筋进行研究,并筋锚固性能的试验研究取得了一系列成果.但并筋对梁的承载力有何影响,我国对此研究较少.

本文通过 10 根钢筋混凝土并筋梁和 3 根钢筋混凝土整筋对照梁的试验研究,分析了并筋梁的受弯承载力特点,并与单根钢筋的对照梁进行了比较,在可靠度分析的基础上给出了建议公式.

## 1 试验研究

### 1.1 试验方案

本试验共设计了 13 根梁,截面尺寸均为 200 mm × 300 mm,主筋采用  $\Phi$  12 月牙纹钢筋,箍筋  $\Phi$  6 光圆钢筋,其中有 4 根双并筋梁( BL2a, BL2b, BL2c, BL2d ),6 根三并筋梁( BL3a, BL3b, BL3c, BL3d, BL3e, BL3f ),3 根对照梁( DL-1, DL-2, DL-3 ).钢筋表面有轻锈,试验参数分别如图 1、表 1 所示.

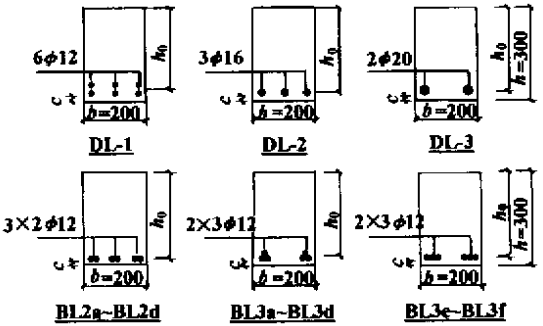


图 1 试验梁截面尺寸及配筋

Fig.1 Section details of beams

试验量测的内容包括钢筋与混凝土的应变、构件的正截面承载力、挠度、裂缝宽度及裂缝间距.试验加载方案如图 2 所示.

### 1.2 试验结果

表 2 列出了试验梁的实测开裂弯矩与极限弯矩值,以及梁的破坏形态.

收稿日期 2000 - 12 - 01,修订日期 2001 - 01 - 10

基金项目 河南省自然科学基金资助项目( 004041800 )

作者简介 赵更奇( 1970 - ),男,河南省内乡县人,郑州工业大学讲师,硕士研究生,主要从事钢筋混凝土方面的研究

表 1 试验梁参数表

Table 1 Parameter of beams

试件编号	$b/\text{mm}$	$h/\text{mm}$	$L/\text{mm}$	$a/\text{mm}$	$c/\text{mm}$	$f_{cu}/(\text{N}/\text{mm}^2)$	纵筋排列	$A_s/\text{mm}^2$	$f_y/(\text{N}/\text{mm}^2)$
DL-1	200	300	2250	550	7	31.00	6 $\Phi$ 12	678	383
DL-2	200	300	2250	550	25	31.30	3 $\Phi$ 16	603	400
DL-3	200	300	2250	550	23	22.80	2 $\Phi$ 20	628	411
BL2a	200	300	2250	550	27	30.10	3 $\times$ 2 $\Phi$ 12	678	375
BL2b	200	300	2250	550	20	25.90	3 $\times$ 2 $\Phi$ 12	678	375
BL2c	200	300	2250	550	13	35.47	3 $\times$ 2 $\Phi$ 12	678	383
BL2d	200	300	2250	550	22	32.90	3 $\times$ 2 $\Phi$ 12	678	383
BL3a	200	300	2250	550	18	26.30	2 $\times$ 3 $\Phi$ 12	678	375
BL3b	200	300	2250	550	27	31.80	2 $\times$ 3 $\Phi$ 12	678	375
BL3c	200	300	2250	550	25	21.81	2 $\times$ 3 $\Phi$ 12	678	383
BL3d	200	300	2250	550	20	24.23	2 $\times$ 3 $\Phi$ 12	678	383
BL3e	200	300	2250	550	30	22.60	2 $\times$ 3 $\Phi$ 12	678	375
BL3f	200	300	2250	550	28	36.83	2 $\times$ 3 $\Phi$ 12	678	383

说明： $c$  为梁中主筋的实际保护层厚度； $f_{cu}$  为梁中混凝土的实际强度； $f_y$  为主筋的实际屈服强度。

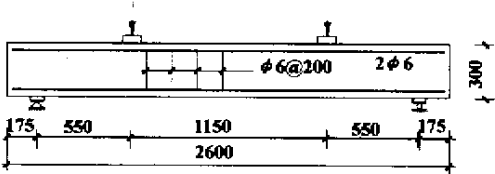


图 2 试验加载方案

Fig.2 Schematic design of loading

2 受弯承载力比较分析

2.1 数据分析

表 2 正截面承载力试验结果

Table 2 The results of bearing capacity in the experiments

试件编号	$M'_q/\text{kNm}$	$M'_u/\text{kNm}$	破坏形态	备注
DL-1	13.58	59.33	钢筋屈服,混凝土压碎	—
DL-2	14.95	57.95	钢筋屈服,混凝土压碎	—
DL-3	16.60	63.73	钢筋屈服,混凝土压碎	—
BL2a	14.95	55.32	二根钢筋屈服,混凝土压碎	挠度过大
BL2b	13.58	54.43	钢筋屈服,混凝土压碎	—
BL2c	17.70	58.20	二根钢筋屈服,混凝土压碎	挠度过大
BL2d	14.95	56.58	三根钢筋屈服,混凝土压碎	挠度过大
BL3a	13.57	53.44	钢筋屈服,混凝土压碎	—
BL3b	17.70	54.45	钢筋屈服,混凝土压碎	—
BL3c	12.20	52.45	二根钢筋屈服,混凝土压碎	挠度过大
BL3d	14.95	56.58	一根钢筋屈服,混凝土压碎	挠度过大
BL3e	14.95	56.03	二根钢筋屈服,混凝土压碎	挠度过大
BL3f	17.70	56.03	三根钢筋屈服,混凝土压碎	挠度过大

说明： $M'_q$ 、 $M'_u$  分别为试验梁的实测开裂弯矩和极限弯矩（包括梁及加荷设备自重）。

表 3 为受弯承载力及开裂弯矩的分析结果。表中  $M_{u1}$  按现行混凝土结构设计规范公式<sup>[3]</sup>计算,即式(1)表示的受弯承载力

万方数据
$$M_u = f_y A_s \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad (1)$$

对并筋梁的受弯承载力分析采用了以下基本假定：

- (1) 并筋梁截面上各点的混凝土和钢筋的纵向应变满足平截面假定,梁弯曲后截面仍保持平面,截面应变呈直线分布,不计钢筋和混凝土之间的相对滑移。
- (2) 钢筋和混凝土的应力-应变关系同单轴受力时的应力-应变关系。
- (3) 不考虑混凝土收缩、徐变的影响。

式中： $x = f_y A_s / (f_{cm} b) / \xi_c = 1.1 \xi_c$ 。

表中  $M_{u2}$  按我国混凝土结构设计规范 GB 50010(征求意见稿)公式计算,即式(2)表示的受弯承载力

$$M_{u2} = f_y A_s \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad , \quad (2)$$

式中： $x = f_y A_s / (f_c b)$ ， $f_c = 0.67 f_{cu}$ 。

表中  $M_{cr}^c$  按式(3)计算开裂弯矩

$$M_{cr}^c = 0.29 \alpha_1 (1 + 2.5 \alpha_1) f_t b h^2 \quad , \quad (3)$$

式中： $f_t = 0.23 f_{cu} / 3$ ， $\alpha_1 = \frac{2 \alpha_E A_s}{(b h)}$ ， $\alpha_E = \frac{E_s}{E_c}$ ， $E_c$  为

混凝土的弹性模量，按下式计算

$$E_c = \frac{10^5}{2.2 + \frac{34.74}{f_{cu}}} \quad . \quad (4)$$

通过数理统计分析，表 4 列出了试验梁实测极限弯矩  $M_u^t$  分别与计算极限弯矩值  $M_{u1}$ 、 $M_{u2}$  的比值以及实测开裂弯矩  $M_{cr}^t$  与计算开裂弯矩值  $M_{cr}^c$  的比值的平均值  $\mu$  与离散系数  $\delta$ 。

表 3 受弯承载力及开裂弯矩分析表

Table 3 Anglisis for bear capacity and moment – crack

试件编号	$M_u^t/\text{kNm}$	$M_{u1}/\text{kNm}$	$M_u^t/M_{u1}$	$M_{u2}/\text{kNm}$	$M_u^t/M_{u2}$	$M_{cr}^t/\text{kNm}$	$M_{cr}^c/\text{kNm}$	$M_{cr}^t/M_{cr}^c$
DL-1	59.33	63.24	0.938	62.53	0.949	13.58	16.41	0.828
DL-2	57.95	58.10	0.997	57.47	1.008	14.95	16.00	0.934
DL-3	63.73	59.00	1.080	58.03	1.098	16.60	13.51	1.229
BL2a	55.32	60.60	0.913	59.88	0.924	14.95	16.13	0.927
BL2b	54.43	61.20	0.889	60.38	0.901	13.58	14.82	0.917
BL2c	58.20	66.53	0.830	65.88	0.838	17.70	17.74	0.998
BL2d	56.58	63.66	0.889	62.97	0.898	14.95	16.98	0.881
BL3a	53.44	61.59	0.868	60.33	0.886	13.57	14.94	0.908
BL3b	54.45	60.72	0.897	60.04	0.907	17.70	16.65	1.063
BL3c	52.45	59.12	0.887	58.05	0.904	12.20	13.48	0.905
BL3d	56.58	61.42	0.921	60.48	0.936	14.95	14.28	1.047
BL3e	56.03	57.13	0.981	56.16	0.998	14.95	13.74	1.088
BL3f	56.03	62.85	0.891	62.22	0.900	17.70	18.13	0.976

说明： $M_u^t$ 、 $M_{cr}^t$  分别为试验梁的实测极限弯矩与开裂弯矩（包括梁及加荷设备自重）。

表 4 试验梁受弯承载力试验值与计算值的数理统计分析

Table 4 Statistics of experimental and calculated value of bearing capacity

试验梁类型	$M_u^t/M_{u1}$		$M_u^t/M_{u2}$		$M_{cr}^t/M_{cr}^c$	
	$\mu$	$\delta$	$\mu$	$\delta$	$\mu$	$\delta$
DL-1 ~ DL-3	1.005	0.058	1.018	0.060	0.997	0.170
BL2a ~ BL2d	0.879	0.034	0.889	0.035	0.930	0.045
BL3a ~ BL3f	0.902	0.048	0.915	0.050	0.998	0.073
BL2a ~ BL3f	0.893	0.045	0.905	0.047	0.971	0.073

从表 4 中可以看出，对照梁的极限弯矩实测值略高于计算值  $M_{u1}$ 、 $M_{u2}$ ，而几乎每根并筋梁的极限弯矩实测值比计算值  $M_{u1}$ 、 $M_{u2}$  低 10%。其主要原因是，单根排列的钢筋的体表面积要比并筋的体表面积大，与混凝土的接触面相对较多，同样面积的钢筋采用并筋后，钢筋与混凝土之间的咬合面明显减小，粘结锚固性能有所降低，滑移增大<sup>[1]</sup>，部分钢筋还未屈服，混凝土已过早压碎。试验梁的实测开裂弯矩值与计算值比较接近，即并筋梁的开裂弯矩与普通梁没有明显的区别，这是因为试件的开裂弯矩主要由混凝土承担，而配筋影响较小<sup>[2]</sup>。

2.2 建议公式

根据 13 根试验梁的试验数据，并筋带来的结

果是受弯承载力的降低。试验数据与我国现行混凝土结构设计规范 GBJ 10-89 受弯承载力计算公式计算值以及设计规范征求意见稿计算值的比较，降低幅度为 10%。可建议并筋梁的受弯承载力采用式(5)计算

$$\begin{cases} M_u = 0.85 f_y A_s \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) \quad ; \\ f_y A_s = f_c b x \quad . \end{cases} \quad (5)$$

图 3 给出了二、三并筋梁受弯承载力试验值与计算值的对比，图中散点为并筋梁试验点，可以看出，它们都落在了规范计算公式之外，偏于不安全，而本文的建议公式直线可作为下包线，有一定的安全储备。

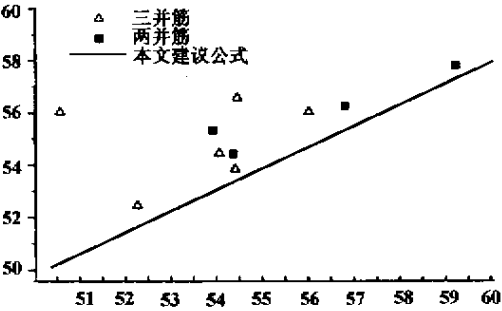


图 3 并筋梁承载力试验值  $M'_u$  与公式计算值  $M_u$  对比

Fig.3 Comparison between  $M'_u$  and  $M_u$

2.3 可靠度分析<sup>[4]</sup>

在构件的抗力分析中,采用了分项统计后再综合的间接方法,考虑了结构构件材料性能的不定性、几何参数的不定性和计算模式的不定性.在作用效应的分析中,对于最常见的 3 种基本荷载(恒载、办公楼面活载及住宅活载和风荷载)的不同组合,并考虑了活载效应  $Q_k$  与恒载效应  $G_k$  的不同比值( $\alpha$  0.1 0.25 0.5 1.0 2.0),分别计算可靠度指标后取平均值.表 5 列出了建议公式对于并筋梁计算抗力的可靠度指标  $\beta$  与规范对于单根排列钢筋梁的可靠度指标进行了比较.

从表 5 中可以看出,按建议公式计算并筋梁受弯承载力的可靠度指标高于现行 GBJ 10-89 规范的单根排列钢筋梁受弯承载力的可靠度指标,与规范修订征求意见稿的可靠度指标接近.因

此可以按照建议公式计算并筋梁的受弯承载力.

表 5 可靠度指标的比较

项目	$K_R$	$\delta_R$	$\beta$
现行 GBJ 10-89 规范	1.239	0.10	3.21
规范征求意见稿	1.288	0.10	3.50
建议公式(5)	1.282	0.10	3.43

说明: $K_R$  为由设计计算公式确定的结构构件抗力  $R_p$  的系数; $\delta_R$  为变异系数; $\beta$  为可靠度指标.

3 结论

采用并筋形式后,由于钢筋和混凝土之间的粘结强度降低,滑移增大,压区混凝土过早压碎,使得并筋梁的受弯承载力降低.本文通过 13 根试验梁的统计分析和可靠度分析,给出了并筋梁受弯承载力的建议公式.公式与试验值符合良好,并且具有较高的可靠度,可供我国混凝土结构设计规范进一步修订时参考.

参考文献:

[1] 徐泽晶. 钢筋混凝土并筋梁的粘结锚固及受力性能研究[D]. 郑州: 郑州工业大学, 1996.

[2] 李林凯. 钢筋混凝土并筋梁受弯性能试验研究[D]. 郑州: 郑州工业大学, 1999.

[3] GBJ 10-89. 钢筋混凝土结构设计规范[S].

[4] 王传志, 滕智明. 钢筋混凝土结构理论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1985.

Study on Bearing Capacity of Abreast – arranged Deformed Bars in R.C. Beams

ZHAO Geng – qi , LI Qian , CHEN Meng , BI Su – ping

( College of Civil & Building Engineering Zhengzhou University of Technology Zhengzhou 450002 ,China )

**Abstract** :It is a difficult problem to arrange a lot of deformed bars in a narrow section . In foreign codes , it is solved with abreast – arranging deformed bars , but there not be definite answer about influence that the abreast – arranging deformed barsto bearing capacity . In our country , the research about abreast – arranged deformed bars began from the first 1980s . Some achievements have been gained from studies about anchor performance . But study about beams bearing capacity and rigidity is not enough . The experiments of 10 beams using abreast – arranged deformed bars and 3 contrast ones are done . The influence that the abreast – arranging deformed bars to bearing capacity of beams is analyzed . Three points of division loading have been adopted . The results prove that the bearing capacity of beams decrease by using abreast – arranged deformed bars at a degree from 10% to 15% . Through statistical analysis , format on bearing capacity of abreast – arranged beams is recommended and reliability of format is analyzed .

**Key words** :abreast – arranged deformed bars ; bearing capacity ; reliability