

文章编号:1671-6833(2003)01-0089-04

HRB 400 级钢筋混凝土连续梁的试验分析

李美云, 管品武, 刘立新, 官广娟

(郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 通过 4 根 HRB 400 级钢筋混凝土两跨连续梁的试验, 观测了试件的破坏形态及变形特征, 对试验结果进行了讨论和分析, 研究这种结构的塑性内力重分布特点. 试验研究结果表明, HRB 400 级钢筋混凝土两跨连续梁能够达到完全的弯矩重分布, 并且具有足够的调幅能力, 能达到设计的调幅系数. 提出了这种结构弯矩调幅值应将裂缝宽度作为控制条件的设计建议.

关键词: HRB 400 级钢筋; 连续梁; 塑性内力重分布

中图分类号: TU 317.1; TU 375.1 文献标识码: A

0 引言

热轧带肋新Ⅲ级钢筋(HRB 400)已作为高效钢筋被列为重点推广应用的建筑业 10 项新技术之一, 早在 1998 年建设部就明确提出:“新Ⅲ级钢筋是专门为建筑结构应用开发的新型钢筋, 该钢筋已列入新修订的国家规范标准, 应大力推广使之成为我国钢筋混凝土结构的主导钢筋”(建设部建[1998]200 号文). 而且新颁布的《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 中, 也明确提出将 HRB 400 级钢筋作为钢筋混凝土结构的主导钢筋. HRB 400 级钢筋具有强度价格比高、机械、焊接、抗震等性能优越的特点, 必将广泛地应用在建筑工程中. 虽然对于这种钢筋的材性方面已有不少的研究, 但对用它作配筋的构件性能的研究很少, 所以它与混凝土共同工作的性能如何还有待于研究, 本文主要是通过 4 根以 HRB 400 级钢筋作为

主要受力钢筋的两跨连续梁的试验, 并对其破坏形态及试验结果进行分析, 研究其塑性内力重分布的特点.

1 试验概况

1.1 试件的设计与制作

本试验共设计 4 根梁, 试件的尺寸尽量与工程实际接近, 以减小尺寸误差. 各构件截面特征及配筋见图 1、表 1.

所有试件均根据塑性内力重分布方法, 将跨中和中间支座截面设计成等截面极限承载力. 各梁的相应的理论调幅值 24%^[1]. 所有试件在浇筑时均留三组 9 个 100 mm×100 mm×100 mm 的立方体试块, 并同试件一起养护, 试验前进行强度试验, 以确定试件的强度. 试验所用钢筋均由安阳钢铁集团有限责任公司提供. 实测钢筋、混凝土的力学指标见表 2、表 3. 钢筋的应力—应变曲线如图 2 所示.

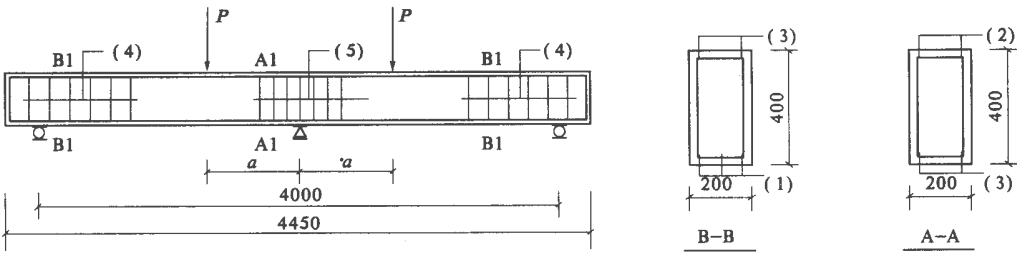


图 1 构件尺寸、配筋图

Fig. 1 Sizes and reinforced bars of members

收稿日期:2002-08-29; 修订日期:2002-10-21
基金项目:河南省自然科学基金资助项目(0040041800)
作者简介:李美云(1974-),女,河南省商丘县人,郑州大学硕士研究生.

表 1 配筋表及构件参数

Tab .1 The table of reinforced bars and parameters of members

梁编号	配筋					a/mm	混凝土 设计强度	理论调幅 $\alpha/\%$
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)			
CB-1	2 \bigcirc 14+1 \bigcirc 16	2 \bigcirc 14+1 \bigcirc 16	2 \bigcirc 14	2 \bigcirc 8@150	2 \bigcirc 8@70	1000	C25	11
CB-2	3 \bigcirc 14	3 \bigcirc 14	2 \bigcirc 14	2 \bigcirc 8@150	2 \bigcirc 8@70	750	C25	24
CB-3	2 \bigcirc 16	2 \bigcirc 16	2 \bigcirc 16	2 \bigcirc 8@150	2 \bigcirc 8@70	750	C25	24
CB-4	3 \bigcirc 12	3 \bigcirc 12	2 \bigcirc 12	2 \bigcirc 8@150	2 \bigcirc 8@70	750	C25	24

说明:本批构件所用钢筋(纵筋与箍筋)均为HRB400级钢筋.

表 2 混凝土力学指标与构件主要参数

Tab .2 The strength index of concrete and the major parameter of members

构件编号	$f_{cu}/$ (N/mm^2)	$f_c/$ (N/mm^2)	$f_t/$ (N/mm^2)	$E_c/$ (N/mm^2)	ξ
CB-1	19.4	13.0	1.66	2.51×10^4	0.145
CB-2	28.2	18.9	2.13	2.92×10^4	0.109
CB-3	25.1	16.8	1.97	2.79×10^4	0.099
CB-4	27.4	18.4	2.09	2.89×10^4	0.092

说明: ξ 为相对受压区高度.

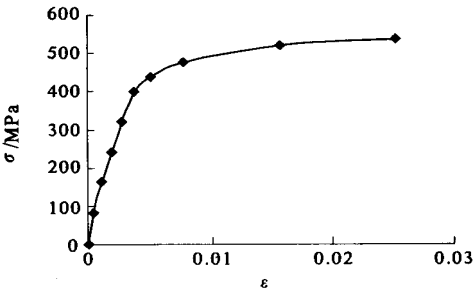


图 2 钢筋应力—应变曲线

Fig .2 Stress strain curves for steel reinforcement

表 3 钢筋材料性能指标

Tab .3 Material behavior of steel bars

钢筋种类	横截面积/ mm^2	密度/($kg\cdot m^{-3}$)	屈服强度/($N\cdot mm^{-2}$)	极限强度/($N\cdot mm^{-3}$)	强屈比	伸长率/%
8	55.1	7.45×10^3	419	577	1.37	32
12	100.2	8.31×10^3	495	653	1.32	31
14	143.2	7.91×10^3	493	663	1.36	30
16	189.5	7.92×10^3	486	649	1.34	31
18	231.8	8.12×10^3	533	703	1.32	29

1.2 试验方案

试验加载装置和仪表布置见图 3,试验采用同步缸分级加载制度.由于支座的不均匀沉降将对试验结果产生不可忽略的影响,在试验中采用静力调平与几何调平相结合的方法来消除此影响.即是在试验时,混凝土开裂前(弹性阶段)采用静力调平,开裂后用几何调平^[3].试验梁采用每跨各施加一个集中荷载的加载方法,支座反力则是通过支座下放置的传感器进行测量,它包括梁自重和荷载 P 共同作用的结果.

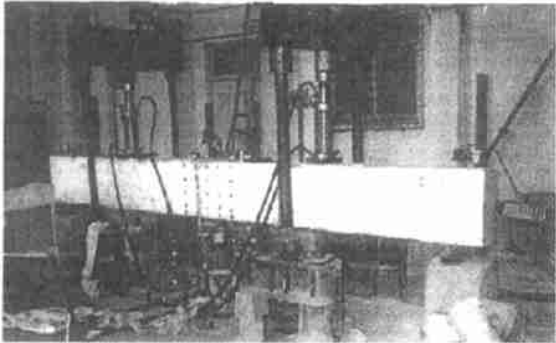


图 3 构件加载装置及仪表布置图

2 试验结果的分析与比较

2.1 破坏形态与变形特征

加载初期,各试验梁的内力符合弹性结构计算规律,当荷载继续增加,4根梁均先在中间支座出现第一条裂缝,这是梁的刚度发生变化,弯矩出现重分布.继续加载,裂缝发展,随之跨中加载点出现裂缝,弯矩又一次出现重分布,随着荷载的增加裂缝发展、增多.最后,整个梁形成机构而发生破坏.破坏时根据观测钢筋的应变,所有梁均在中间支座和跨间加载点基本上同时破坏,这时加载点处混凝土也破坏严重,实现了按计算配筋要求的控制截面的内力重分布^[3,4].这时中间座塑性铰区的长度达到140~200mm;裂缝一般为3条左右,间距100mm左右,裂缝宽度较大一般为7mm左右,有的甚至超过10mm.破坏形态如图4所示.

2.2 屈服、极限荷载和屈服、极限弯矩

当按结构力学计算极限荷载时 $P_u = 2M_u l^2 / (a(a-l)(a-l))$,按照塑性内力分析方法极限荷载为 $P_u = M_u \left[\frac{2}{a} + \frac{1}{l-a} \right]$,其中 a 为加载点到

中间支座的距离, M_0 为连续梁跨间加载点和中间
支座截面根据材料实测强度计算的极限弯

矩^[3,9].表 4、表 5 列出了极限荷载、弯矩的实测值
与计算值,极限荷载下的实测内力与理论计算值.

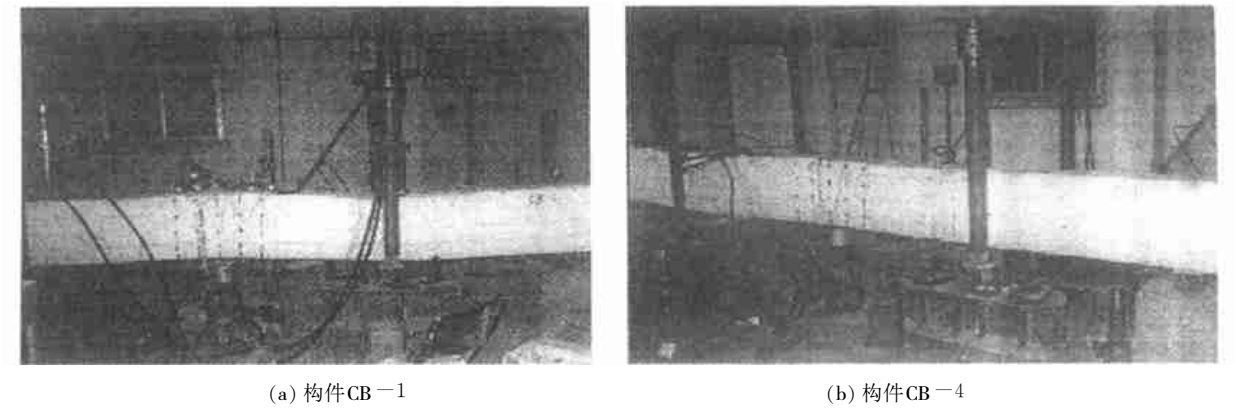


图 4 构件破坏形态图

Fig .4 The figure of destory conformation

表 4 屈服荷载、破坏荷载实测值和计算值

Tab .4 The experi mental and calculational number of yield load and destory load

构件编号	屈服荷载/kN			P_u/P_u^p	破坏荷载/kN	
	P_u (试验值)	P_u^e (弹性值)	P_u^p (塑性值)		理论	试验
CB - 1	310	226.0	254.3	1.22	335	344
CB - 2	310	200.5	264.7	1.17	355	366
CB - 3	260	175.0	231.1	1.13	312	291
CB - 4	250	139.8	184.6	1.35	243	287

表 5 屈服弯矩的计算值与试验值

Tab .5 The experi mental and calculational number of yield moment

构件 编号	中间支座截面				加载点截面			
	截面承载力	弹性计算值	试验值	M_3/M_1	截面承载力	弹性计算值	试验值	M_3/M_1
	$M_1/(kN \cdot m)$	$M_2/(kN \cdot m)$	$M_3/(kN \cdot m)$		$M_1/(kN \cdot m)$	$M_2/(kN \cdot m)$	$M_3/(kN \cdot m)$	
CB - 1	84.1	116.6	98.3	1.17	84.1	96.7	105.9	1.25
CB - 2	76.3	117.8	84.6	1.11	76.3	71.7	92.5	1.21
CB - 3	66.7	98.8	70.3	1.05	66.7	60.1	78.0	1.17
CB - 4	53.2	95.1	66.3	1.25	53.2	57.8	75.8	1.42

通过上表进行对比分析,HRB 400 级钢筋混凝
土梁的极限承载力实测值均大于计算值,同时控
制截面的实测极限弯矩均大于截面抗弯承载力,
这说明梁的控制截面材料强度已充分发挥,达到
了完全的内力重分布.

2.3 荷载—挠度曲线

试验过程中发现,HRB 400 级钢筋混凝土连续
梁在受力过程中其变形基本上与普通的钢筋混凝
土连续梁相同.开始加载时因为荷载尚小,截面未
开裂,试件表现为弹性变形特征,挠度较小,荷载
—挠度曲线近似为直线.当荷载增加,中间支座与
加载点处相继出现裂缝,试件的挠度有突变,并随
即稳定,其增长速度较前一阶段快,这是因为受拉
区混凝土部分退出工作,这时钢筋的应变亦有突
变现象.当荷载继续增加,将近屈服时构件表现出
明显的塑性变形特征,挠度增加更快,荷载—挠度

曲线形成一平滑段^[1].图 5 为各构件的荷载—挠
度曲线.

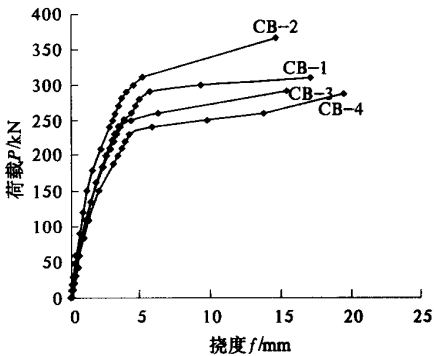


图 5 荷载—挠度曲线

Fig .5 Load deflection curves

试验梁荷载—挠度曲线均有一长距离的水平
段,这说明,HRB 400 级钢筋混凝土连续梁的持续

塑性变形能力很大,这是由钢筋的应力—应变关系决定的,本试验所用钢筋的延伸率均在 28%以上.

2.4 调幅性能

当荷载加至混凝土开裂时,弯矩即开始重分布,此时中间支座的调幅系数达到极限调幅系数的 40%左右,当荷载增加,加载点处出现弯曲裂缝,此时,弯矩重分布已非常明显,弯矩调幅系数达到极限调幅系数的 60%左右;继续加载,中间值座调幅系数继续增加,标准荷载时,弯矩调幅系数达到极限调幅系数的 80%左右,但弯矩重分布现象逐渐趋于缓和,当荷载超过标准荷载后有的构件的内力重分布甚至有所减弱,而后,又继续发展,直至构件破坏,这时,中间支座弯矩调幅系数达到最大值.从表 5 可以看出各构件从开裂至破坏,弯矩重分布的发展情况^[1].

表 6 试验梁内力重分布的比较

Tab.6 Comparison of redistribution number of experimental beam

构件编号	$\alpha_1/\%$	$\alpha_2/\%$	$\alpha_3/\%$	$\alpha_4/\%$	α_4/α
CB—1	4.1	9.5	11.8	15.7	1.43
CB—2	12.4	14.7	18.3	28.2	1.18
CB—3	13.6	15.8	18.4	28.9	1.20
CB—4	16.0	19.7	21.8	30.4	1.27

说明: $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ 分别为中间支座开裂时、跨中开裂时、标准荷载下、极限荷载下的内力分布调幅系数.

3 结论

(1) HRB 400 级钢筋混凝土连续梁有明显的塑性性能,其弯矩重分布是显著的,而且最后可以达到完全的弯矩重分布,用塑性铰理论估算其承载力有很大的富裕.

(2) HRB 400 级钢筋混凝土连续梁具有足够调幅能力,均能达到设计的调幅系数.

(3) 由于塑性内力重分布,使得其塑性铰区的变形很大,虽然其挠度均能满足其正常使用要求,但裂缝开展过宽,建议设计中确定调幅系数时应将裂缝宽度作为控制条件.

参考文献:

[1] 余勇,沈浦生.冷轧带肋钢筋混凝土连续梁受力性能的试验研究[J].福州大学学报,1996,24(增刊):102~108.

[2] 郭乐工.顶部荷载作用下无洞口两跨连续梁受力性能与抗剪承载力的试验研究[D].郑州:郑州大学,1988.

[3] 聂建国,崔玉萍.钢—混凝土组合梁在单调荷载下的变形及延性[J].建筑结构学报,1998 19,(2):32~36.

[4] 王正霖,简斌,黄音.两跨预应力混凝土连续梁的试验分析[J].土木工程学报,1999,32(2):22~27.

[5] PARK R, PAULY T. 钢筋混凝土结构[M].秦文钺,译.重庆:重庆大学出版社,1986.

The Experiment and Analysis of HRB400 Continuous Reinforced Concrete Beam

LI Mei-yun, GUAN Bin-wu, LIU Li-xin, GONG Guang-juan

(College of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract : The state of destruction and characteristics of deformation of the testing member are observed ,the testing result is analyzed and the characteristic of the plastic internal force redistribution is studied in this type of structure according to the test of the HRB 400 continuous reinforced concrete beam . The testing result indicates that the HRB 400 continuous reinforced concrete beam not only can achieve plastic internal force redistribution thoroughly and also has enough capability in the amplitude adjustment and can achieve the quotient designed .The paper advises determining quotient should take the width of crack as restraining conditions .

Key words : HRB 400 steel bars ;continuous beam ;plastic internal force redistribution