

文章编号:1671-6833(2010)06-0010-04

高铁用 HRBF500 钢筋混凝土梁疲劳性能的数值分析

赵更岐, 李 可, 张 龙

(郑州大学 土木工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: HRBF500 钢筋作为一种新型的高强度钢筋, 用于铁路、桥梁等工程中, 需承受反复荷载。对配有 500 MPa 细晶粒钢筋的混凝土梁和预应力混凝土梁的疲劳性能进行有限元模拟分析, 得到疲劳寿命预测值, 并与试验结果进行比较, 两者吻合较好。表明笔者采用的数值模拟方法, 可较准确地预测 HRBF500 钢筋混凝土梁的疲劳寿命, 为结构疲劳分析提供了有效手段。

关键词: HRBF500; 有限元分析; 疲劳性能; ANSYS 软件

中图分类号: U46; TP391.9 **文献标识码:** A

0 引言

作为一种新型高强钢筋的 500 MPa 细晶粒 (HRBF500) 钢筋, 拟用于高铁的钢筋混凝土构件, 需承受疲劳荷载, 所以迫切需要研究其疲劳性能。目前, 国内外学者针对 500 MPa 细晶粒钢筋在空气中以及其他型号钢筋在混凝土构件中的疲劳性能进行了试验研究, 得出了一些结论^[1-2], 而对配有 500 MPa 细晶粒钢筋的混凝土构件的疲劳性能研究尚属空白。查阅相关文献^[3]表明, 利用 ANSYS 软件对钢筋混凝土构件做数值分析和疲劳寿命预测, 模拟结果较好。笔者基于 ANSYS 软件对配有 500 MPa 细晶粒钢筋混凝土梁的静力和疲劳性能进行计算, 并和试验结果对比分析。

1 配有 HRBF500 级钢筋混凝土梁有限元模型的建立

1.1 试验概况

试件模型采用矩形、T 形及预应力 T 型截面

梁, 纵向受拉钢筋均采用 HRBF500 级, 经轴拉试验测得的抗拉强度为 500 MPa, 钢绞线抗拉强度为 1 860 MPa, 预应力的张拉采用先张法, 采用 75% 抗拉强度的控制应力, 105% 的超张拉。图 1 及表 1 为按规范^[4]设计的钢筋混凝土梁的截面和配筋。

根据规范检验要求, 研究受拉钢筋最大应力不小于 150 MPa 时的疲劳性能。本课题组对表 1 中的 3 根简支梁进行了静载试验和疲劳试验。其中, 静载试验至受拉钢筋达到 160 MPa, 疲劳试验的最大疲劳荷载使受拉钢筋达到 160 MPa。

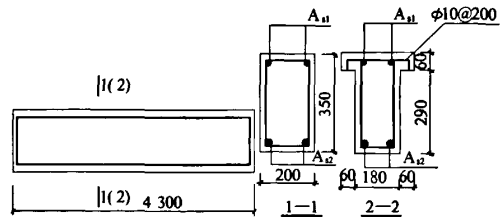


图 1 钢筋混凝土试验梁设计图

Fig. 1 The design figuer of R. C test beams

表 1 混凝土试验梁设计方案

Tab. 1 The design program of concrete test beams

试件 编号	截面 形式	梁顶钢筋 A_1	梁底钢筋 A_2	箍筋	混凝土	预应力筋 (A_p)
HBRS	矩形	2 Φ 10	2 Φ 16	Φ 8 @ 100	C50	—
HBTS	T 形	2 Φ 10	2 Φ 16	Φ 8 @ 100	C50	—
YBTS	T 形	2 Φ 10	3 Φ 10	Φ 8 @ 100	C50	1 \times 7 Φ 15. 2 (139)

收稿日期: 2010-07-12; 修订日期: 2010-08-25

基金项目: 国家高技术研究发展(863)计划项目子课题(2008AA030704)。

作者简介: 赵更岐(1970-), 男, 郑州大学副教授, 博士, 主要从事结构工程方向的研究, E-mail: zhaogengqi@zzu.edu.cn.

1.2 钢筋混凝土梁有限元模型的建立

根据本案例需要采用三维实体单元建模,在梁体的两个三分点和两端支座处加垫块,选取分离式模型。预应力的模拟采用初应变法进行预应力的施加。混凝土构件单元具体选择为:混凝土采用 SOLID65 单元及 CONCRETE 材料,钢筋采用 link8 单元,垫块采用 SOLID45。

混凝土单轴受压的应力-应变关系采用 Saenz 公式来描述;钢筋选用完全弹塑性模型。

本模型采用边长 50 mm 的六边形网格。本例根据经验选择收敛性较好的面荷载施加方式。

2 基于 ANSYS 的钢筋混凝土梁静载下非线性分析及与试验结果比较

2.1 开裂荷载解析值与试验值的比较

3 根简支梁开裂荷载的有限元模拟分析结果与试验值的比较如表 2 所示,误差均在 10% 以内,说明二者符合较好,同时也验证了有限元模型建立的合理性。

2.2 极限荷载解析值与计算值的比较

因为试验仅做到开裂后使受拉钢筋应力达到 160 MPa,均未达到极限荷载,所以将 3 根简支梁极限荷载的有限元模拟分析结果与按规范^[4]计算值进行比较,如表 3 所示,平均误差不足 5%,进一步说明模型建立的合理性及精度。

表 2 试验梁的开裂荷载解析值与计算值的比较

Tab.2 Cracking load comparisons of test and calculated values for 3 beams

试件 编号	解析值 P_{cr}/kN	计算值 P_{c0}/kN	相对误差/ %
HBRs	15.62	16.40	4.76
HBTS	16.20	15.00	8.00
YBTS	29.29	28.3	3.51

表 3 试验梁的极限荷载解析值与规范计算值的比较

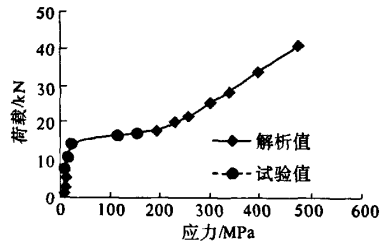
Tab.3 Ultimate load comparisons of ANSYS analysis and calculated values for 3 beams

试件 编号	解析值 P_{cr}/kN	计算值 P_{c0}/kN	相对误差/ %
HBRs	42.19	42.21	0.05
HBTS	44.10	42.21	4.48
YBTS	68.93	74.10	6.98

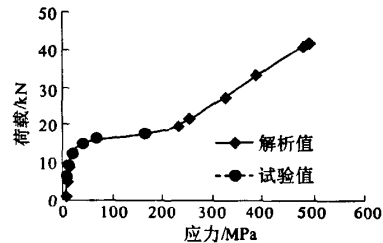
2.3 HRBF500 钢筋的荷载-应力曲线

笔者通过有限元计算得出了荷载-钢筋的应力全曲线,并将跨中底部受拉钢筋的荷载-应力曲线与试验值比较,如图 2 所示,符合程度较好。

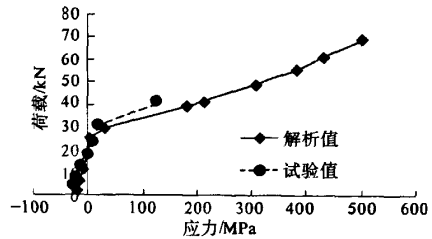
因静载试验仅加至受拉钢筋应力达到 160 MPa,所以对试验梁受拉钢筋荷载-应力进行比较时,试验值只有部分曲线,而没有试验结果的部分,数值分析的结果亦和已有的钢筋混凝土梁和预应力混凝土梁的荷载-应力曲线规律^[5]完全一致。



(a) HBRs 梁



(b) HBTS 梁



(c) YBTS 梁

图 2 HBRs, HBTS, YBTS 梁受拉钢筋的荷载-应力曲线

Fig.2 The load-stress curve of tensile reinforcement for HBRs, HBTS, YBTS beam

2.4 静载挠度的解析值和试验值的比较

类似于钢筋应力,对试验梁跨中挠度的解析值和试验值进行比较时,如图 3 所示,试验值也只有部分曲线。由比较结果可见,梁跨中的荷载-挠度曲线解析值与试验值的符合程度较好。其变化规律亦类似于钢筋应力,和已有的混凝土梁试验结果^[5]一致。

2.5 数值分析裂缝图与试验裂缝图的比较

3 根梁的裂缝数值分析计算结果与试验裂缝分布图的比较如图 4 所示。由图看出,数值分析计算得出的裂缝位置与试验裂缝的位置相同,仅数

值计算的裂缝条数多于试验裂缝条数.这主要是因为有限元模拟中,只要混凝土的主拉应力达到抗拉强度即开裂,而实际中混凝土具有一定的塑性,可以推迟混凝土的开裂;同时因为数值计算裂缝没有宽度,只能通过增加裂缝条数来反应梁的变形性能,而试验裂缝有一定宽度,所以裂缝条数比数值计算少,这是所有数值计算共有的特点.

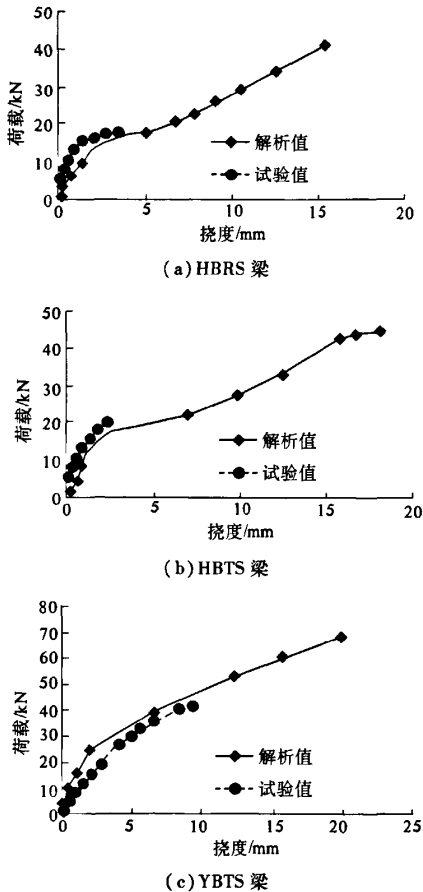


图3 HBRS,HBTS,YBTS梁跨中的荷载-挠度曲线
Fig.3 The load - deflection curve of HBRS, HBTS, YBTS beam

3 基于 ANSYS 的钢筋混凝土梁的疲劳寿命预测分析

由以上的静载分析结果表明,静载的计算结果和试验结果吻合较好,说明该模型的建立和参数的选取均较合理,可以在此基础上进行基于 ANSYS 疲劳模块的疲劳分析.

3.1 钢筋混凝土梁的疲劳加载方案

因为试验梁采用正弦等幅疲劳加载.基于检

验标准,最大疲劳荷载下受拉钢筋应力应达到 160 MPa.笔者选取的最大疲劳 P_{max} 、最小疲劳荷载 P_{min} 均同试验值,如表 4 所示.

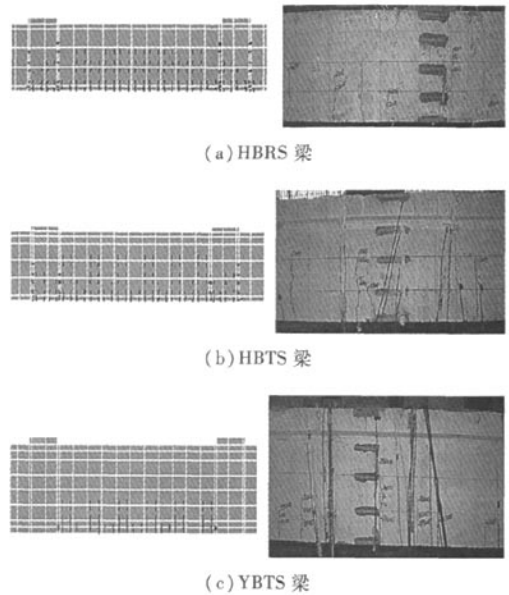


图4 HBRS,HBTS和YBTS梁数值计算裂缝图
和梁试验实拍裂缝图
Fig.4 The crack of YBTS beam based on finite element analysis and the crack of YBTS, HBRS, HBTS beam based on test

3.2 材料疲劳性质

文献[6]中高强钢筋及高强混凝土的强度与该模拟量相似,所以疲劳模拟采用该文献的 $S-N$ 曲线来定义钢筋的疲劳性质,如公式(1)所示.

$$\lg N = 14.1853 - 3.6031 \lg \sigma, \quad (1)$$

3.3 疲劳破坏的计算及分析

在 ANSYS 中疲劳分析(FATIGUE 子块)对梁进行求解与计算.计算后获得的结果如表 4 所示.

在实际的疲劳试验中,HBRS 梁和 YBTS 梁在表 4 中的疲劳荷载作用下,达到 250 万次时未破坏,且最大裂缝宽度仅 0.2 mm,受拉钢筋应变仅达到 260 MPa,远小于强度设计值,与预测结果(远超过 250 万次)一致.而 HBTS 梁的试验结果是在疲劳荷载加至 31.8 万次时,跨中一条裂缝宽度突然达到 1 mm,并延伸至梁顶,已达到破坏标志,这与该荷载水平下 28.7 万次疲劳寿命的预测结果较接近.说明进行的数值模拟分析,对实际工程中配有 HRBF500 钢筋混凝土梁疲劳寿命的预测,具有较好的指导意义.

表 4 试验梁疲劳破坏模拟计算结果
Tab.4 The simulation results of fatigue
breaking for test beams

试件 编号	$P_{max}/$ kN	$P_{min}/$ kN	疲劳次 数/万次	疲劳损伤 系数/%	疲劳寿 命/万次
HBRS	20.0	16.0	250	2.66	9 387.8
HBTS	27.7	14.3	250	1.00	28.7
YBTS	55.4	51.3	250	0.54	10 054.7

由数值分析结果可见,预应力混凝土梁的疲劳寿命在相对较大的荷载幅下大于普通混凝土梁,说明预应力混凝土梁的疲劳性能要优于普通混凝土梁.

4 结论

- (1)基于 ANSYS 的静载性能模拟分析结果与试验结果和理论计算结果吻合较好,说明笔者建立的模型和参数的选取均较合理.
- (2)基于 ANSYS 模拟的简支梁在静载作用下的裂缝分布图和试验结果一致.
- (3)基于 ANSYS 疲劳模块的疲劳分析可以

预测配有 500 MPa 细晶粒高强钢筋的混凝土梁在不同疲劳荷载作用下的疲劳寿命,为工程设计提供指导.

参考文献:

- [1] 肖建庄,代媛媛,赵勇,等. 500 MPa 细晶粒钢筋高温下的应力-应变关系[J]. 建筑材料学报, 2008, 11(3):276-282.
- [2] 刘立新,汪小林,于秋波,等. 疲劳荷载作用下部分预应力混凝土梁的挠度研究[J]. 郑州大学学报:工学版,2007,28(4):4-7.
- [3] 张兴亮,刘发明. 钢纤维混凝土抗折疲劳的 ANSYS 模拟[J]. 四川建筑,2009,29(1):223-224.
- [4] TB10002.3—2005. 铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社,2005.
- [5] 王振舞,张丽华,刘正保. 混凝土结构[M]. 北京:科学出版社. 2005.
- [6] 章坚洋. 混合配筋部分预应力混凝土梁正截面疲劳性能研究[D]. 大连:大连理工大学土木工程学院,2005.

Finite Element Analysis of Fatigue Performance for HRBF500
Reinforced Concrete Beams

ZHAO Geng - qi, LI Ke, ZHANG Long

(College of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: As a new high steel, HRBF500 steel is used in railways, bridges and other projects, and it bear repeated loads. In this article, the finite element analysis simulation is done about fatigue performance on both HRBF500 reinforced concrete beams and prestressed concrete beam and obtain fatigue life prediction. Then the the results of calculation are compared with the result of experiment, and the both are close. It is shown that, the finite element analysis method can forecast the fatigue life of HRBF500 reinforced concrete beams. So a good method for analyzing the fatigue performance of reinforced concrete structures is obtained.

Key words: HRBF500; finite element analysis; the fatigue performance; ANSYS software