

预应力碳纤维布加固损伤混凝土梁 非线性有限元分析

肖红菊 孙玉永

(铜陵学院土木建筑系 安徽铜陵 244000)

摘要: 采用ANSYS有限元分析软件, 对不卸载时预应力碳纤维布加固钢筋混凝土梁的受力变形性能进行了计算分析。计算中采用升温法来施加预应力, 利用单位的生与死来实现不卸载时的加固。通过与试验结果进行对比可知, 数值计算结果与试验分析结果吻合较好。在此基础上, 对不同初始损伤量及CFRP加固量进行了扩展计算可知, 初始损伤梁对混凝土梁承载能力几乎无影响, 通过增加CFRP加固层数能有效提高混凝土梁的承载能力。

关键词: 预应力 碳纤维布 初始损伤 ANSYS

1 前言

采用外贴碳纤维布对混凝土结构进行加固是一种方便、有效的方法, 具有施工简单、方便, 附加重量小、强度高、不减少结构净空等特点。然而, 由于混凝土构件加固时处于受荷状态而引起的碳纤维布应变滞后影响了碳纤维布强度的发挥, 因此, 对碳纤维布施加预应力, 使其预先发挥相当的强度, 能有效利用其高强度性能^[1-3]。另外, 在实际工程中, 绝大多数被加固混凝土梁是处于负载状态的, 存在一定的初始损伤。针对负载下预应力碳纤维布加固钢筋混凝土梁的受力性能, 国内外学者也进行了一些试验研究^[4-5]。但受到试验条件的限制, 所能模拟的情况很受限制, 且离散型较大, 为此本文采用ANSYS对预应力碳纤维布加固损伤混凝土梁在不同初应力情况下的受力性能进行了计算分析。

2 试验简介

试验设计梁为矩形截面梁^[4], 截面尺寸为150mm×250mm, 跨度2600mm, 净跨2400mm。纵向受拉钢筋为2φ12, 架立筋为2φ8, 为了避免试验梁抗剪能力不足, 沿梁长度方向均匀配置了φ8@100的箍筋。试验加载如图1所示, CFRP加固方法及试验梁加载方法见表1所示。

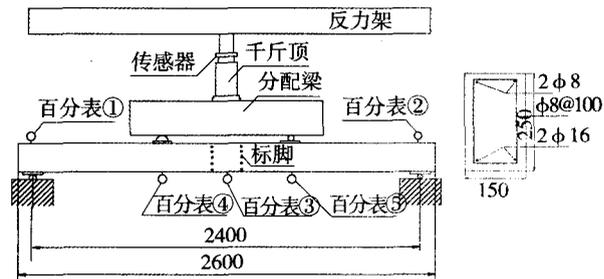


图1 试验加载图

表1 CFRP加固及试验加载方法

编号	CFRP加固量	锚固情况	加载方法	混凝土强度等级
YL1	底面一层	1U形箍+1钢箍/端	加载至60% M_u 持荷加固后加 载至破坏	C30
YL2	底面一层	1U形箍+1钢箍/端	加载至80% M_u 持荷加固后加 载至破坏	C30

3 有限元模型的建立

3.1 单元类型

考虑到混凝土材料的非线性, 选用SOLID65单元来模拟混凝土单元, 该单元可以模拟混凝土的拉裂、压碎、随性变形及徐变、单元生死等性能; 用LINK8单元来模拟钢筋, 该单元具有塑性、膨胀、大变形、单元生死等功能; 采用膜单元SHELL41来模拟CFRP, 该单元只能承受面内拉应力作用, 完全符合加固中碳纤维布实际的受力状况。

注: 安徽省省级自然科学研究项目 (KJ2010B235)

3.2 模型的建立

根据试验梁的几何尺寸及配筋情况,建立的三维数值模型如图2所示。因模型是一个复合受力体系,各单元之间通过共用节点来实现不同材料单元之间的链接以及单元间的节点位移协调和材料之间力的传递。另外,为了避免集中荷载和支座处出现应力集中情况,并结合实际情况,在该两处都增加了钢垫板。

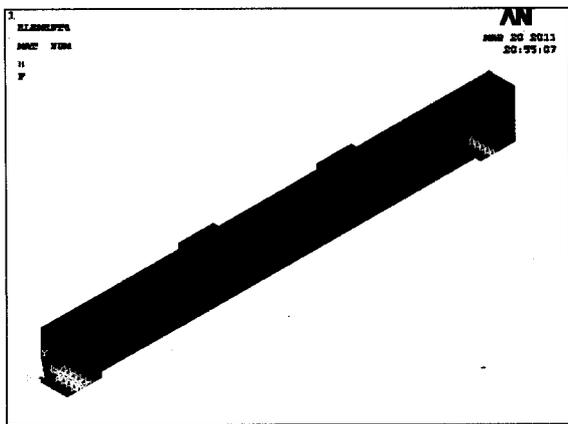


图2 有限元模型图

3.3 预应力的施加

在ANSYS中,可以采用升温法和初应变法来模拟CFRP布的预应力作用。所谓升温法就是利用CFRP布温度线膨胀系数为负这一特点,CFRP升温收缩,使得CFRP产生预拉应力。升温法比较简单,同时可以模拟预应力的损失。

3.4 初始损伤的实现

考虑到预应力CFRP是在混凝土梁持荷状态下施加的,为了模拟真实情况,利用ANSYS自带的单元生死功能,在加固梁的受力荷载大道 F_0 之前,CFRP布尚未工作时就需要先将CFRP单元杀死,而超过时,CFRP单元开始工作,此时在将CFRP单元激活。

4 计算结果分析

4.1 承载能力

计算得到两试验梁的承载能力及破坏形态对比见表2所示。由对比可知,ANSYS计算得到的开裂荷载、屈服荷载、极限荷载以及极限挠度、

破坏形态都与试验结果比较吻合。

4.2 荷载-挠度曲线

计算得到的预应力碳纤维布加固损伤混凝土梁的变形如图3所示。计算的荷载-跨中挠度与试验对比见图4所示。由图可知,非线性有限元分析的结果与试验结果吻合较好,这主要是因为有限元分析计算时采用了分离式有限元模型,同时考虑了混凝土开裂和压碎所导致的刚度下降,与实际情况更符合。同时实际中混凝土材料的不均匀性,来自试验本身的误差,另外在有限元分析中未考虑钢筋与混凝土以及CFRP与混凝土之间的粘结滑移关系,使得有限元分析结果与试验数据之间存在误差,但在允许范围之内。

4.3 初始损伤量及CFRP加固量的影响

为了进一步分析预应力碳纤维布加固损伤混凝土梁的受力性能,就不同初始损伤程度及CFRP加固量对混凝土梁承载能力及变形的影响进行了扩展计算,计算结果如下所述。

(1) 初始损伤量

在前述试验的基础上,增加了预加荷载为20%、40%、60%(YL2)和80%(YL1)几种情况。计算得到混凝土梁的承载力如表3所示。由表可知,混凝土梁的初始损伤量对极限荷载的影响很小,可见对混凝土梁进行持荷载加固同样可以得到预期效果。

(2) CFRP加固量

在前述试验基础上,补充计算了CFRP加固两层的情况,初始损伤量与试验相同,计算得到混凝土梁承载力如表4所示。由计算结果可知,粘贴两层CFRP布能有效提高混凝土梁的承载能力,这主要是由于粘贴一层CFRP时破坏形态主要是CFRP拉断破坏,也即CFRP承载能力不够,但在实际施工中,增加CFRP层数也是增加了发生剥离破坏的概率,因此在实际施工中应采取有效锚固措施,保证CFRP与混凝土的有效连接。

表2 计算值与试验值对比

编号	预应力 /MPa	预加荷载 /kN	开裂荷载/kN		屈服荷载/kN		极限荷载/kN		极限挠度/mm		破坏形态	
			试验	计算	试验	计算	试验	计算	试验	计算	试验	计算
YL1	1275.4	25	12	12.6	45.1	46	65	67	38	45	混凝土剥离	CFRP拉断
YL2	1281.5	34	12	13.2	43.9	46.4	65.2	68.2	37	48	CFRP拉断	CFRP拉断

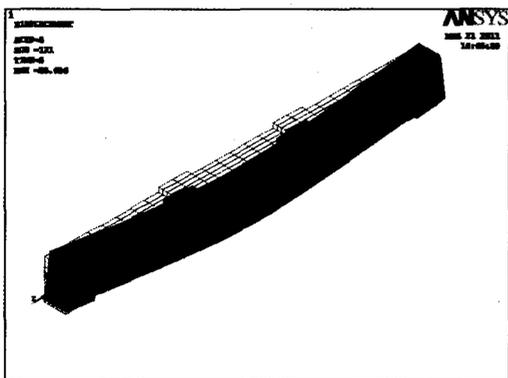
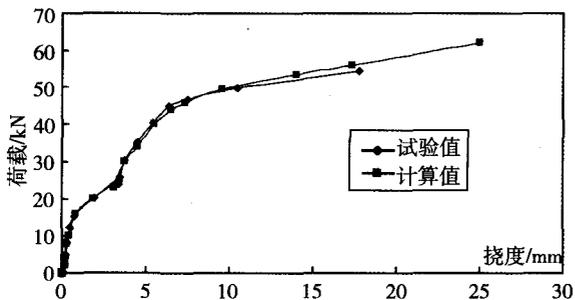
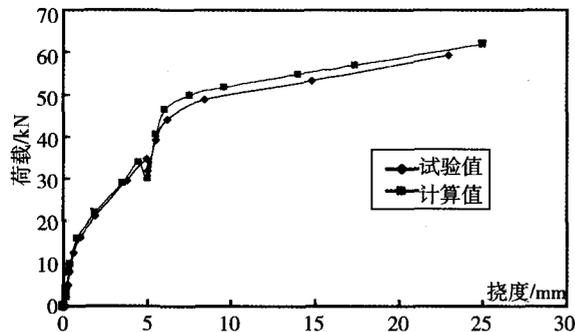


图3 混凝土梁变形图



(a) YL1



(b) YL2

图4 荷载-跨中挠度曲线对比图

表3 初始损伤量对极限荷载的影响

编号	预加荷载 /kN	预应力 /MPa	极限荷载 /kN	加固提高率 /%
YL1	8.3	1275	67.2	61
	16.7	1275	66.5	59.5
	25	1275	65	54
	33.3	1275	64	53.5
YL2	8.5	1281	67	57.6
	17	1281	65.8	54.8
	25.5	1281	66	55.3
	34	1281	65.2	54.5

表4 CFRP加固梁对极限荷载的影响

编号	CFRP层数	预应力 /MPa	极限荷载 /kN	加固提高率 /%
YL1	一层	1275	65	54
	两层	1275	71.2	70.7
YL2	一层	1281	65.2	54.5
	两层	1281	72.3	70

5 结语

(1) 采用ANSYS软件对预应力CFRP加固具有初始损伤的混凝土梁进行计算分析可知, 计算结果与实测数据吻合较好, 能够反映工程实际情况, 同时能很好的模拟预应力碳纤维加固钢筋混凝土构件的受力过程, 在一定程度上能有效替代试验分析, 作为工程实践的理论参考。

(2) 混凝土梁的初始损伤程度对预应力CFRP加固后构件的承载能力几乎没有影响。

(3) 增加CFRP层数能有效提高预应力CFRP加固混凝土梁的承载能力, 但在实际施工中应采取有效锚固措施, 保证两者的有效连接。

参考文献

- [1] 彭晖, 尚守平, 金勇俊等. 预应力碳纤维板加固受弯构件的试验研究[J]. 工程力学, 2008, 25(5): 142-151
- [2] WIGHT R G, GREEN M F, ERKI M A. Prestressed FRP sheets for post strengthening reinforced concrete beams[J]. Journal of Composites for Construction, 2001, 5(4): 214-220.
- [3] 顾祥林, 高鹏, 张伟平等. 预张拉碳纤维布加固钢筋混凝土梁受弯性能研究[J]. 建筑材料学报, 2009, 12(2): 141-147.
- [4] 钱伟. 预应力碳纤维布加固损伤混凝土梁的受力性能[D]. 郑州: 郑州大学, 2007.
- [5] 曾祥蓉, 江世永, 王薇等. 预应力碳纤维布加固混凝土梁非线性有限元分析[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2004, 19(3): 63-66.