

CFRP加固钢筋混凝土简支梁有限元分析

刘喜良¹ 付士峰² 李鹏²

(1 河北省第四建筑工程公司 2 河北建研科技有限公司)

摘要:利用大型通用有限元软件ANSYS,对CFRP加固钢筋混凝土简支梁的抗弯性能进行有限元分析。结果表明,碳纤维布加固混凝土梁后,与未加固梁相比其极限承载力有显著的提高并且挠度有了明显的减小。

关键词:CFRP 混凝土梁 加固 ANSYS

1 引言

碳纤维增强复合材料(CFRP)加固法是近年来兴起的一种新型的结构加固技术,它是以树脂类胶结材料为基体,将碳纤维单向布织物粘贴固化于混凝土表面,从而达到对结构构件补强加固及改善结构受力性能的目的。

本文利用有限元软件ANSYS模拟CFRP加固钢筋混凝土简支梁前后的性能,并对其进行对比分析。

2 有限元模型的建立

2.1 分析对象

简支梁截面尺寸为 $b \times h = 150\text{mm} \times 300\text{mm}$,总长3.3m,净跨为3m。混凝土强度等级为C20。试验梁受拉钢筋为3根 $\phi 16$ 的二级钢筋;受压筋为2根 $\phi 8$ 的一级钢筋;箍筋为 $\phi 8$ 的一级钢筋,间距为150mm;梁的配筋率为1.53%。

2.2 有限元单元模型

2.2.1 混凝土单元模型—solid65

ANSYS中专门用于混凝土结构而开发的单元solid65,此单元可以模拟基于williams—warnke强度理论的混凝土三向受力的非线性响应,并具有开裂、压碎、塑性变形和蠕变的能力。

Solid65单元为八节点六面体单元,每个节点拥有X、Y、Z三个方向的平移自由度,此单元模型在一般范围内可以较好地进行钢筋混凝土的非线性分析,故本文选择solid65单元模拟混凝土。

2.2.2 钢筋单元模型—link8

钢筋用两节点的link8单元,每个节点有两个自由度,可以在X、Y、Z三个方向平移,此单元

能产生塑性变形。

2.2.3 碳纤维单元模型—shell41

shell41单元平面内具有膜刚性(membrane stiffness)但是平面外不具备弯曲,该单元每个节点具有3个自由度,可以沿节点坐标系X、Y、Z三个方向平移,该单元具有应力刚化和大变形能力。

2.3 材料类型

2.3.1 混凝土的材料类型

混凝土采用多线性等向强化(MISO)的材料模型,屈服准则为VON MISES准则使用多线性来表示使用VON MISES屈服准则的等强化的应力应变曲线,如图1所示,模拟随动强化效应,通过tb和miso输入混凝土的应力应变关系来确定本构关系。通过tb,concr及matnum定义混凝土的W—W破坏准则。

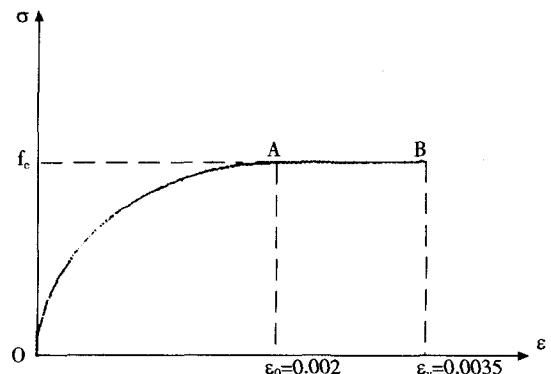


图1 混凝土应力—应变关系

2.3.2 钢筋的材料类型

受拉筋、受压筋、箍筋采用双线性随动强化(BKIN)的材料模型,使用一个双线性来表示应力应变曲线,如图2所示,有两个斜率:弹性斜

率和塑性斜率，由于使用了随动化的Von—Mises屈服准则，所以有包辛格效应。

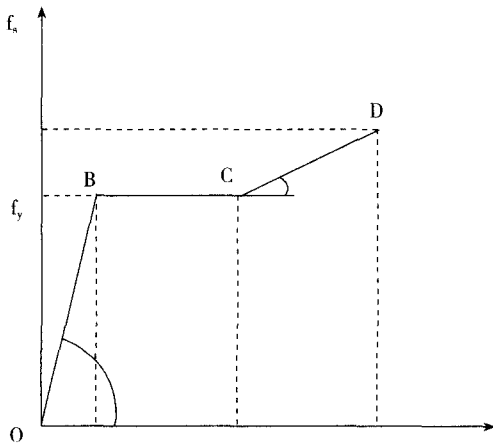


图2 钢筋、钢板应力 应变关系

2.3.3 钢垫板的材料类型

钢垫板采用线弹性模型，所以仅需定义弹性模量和泊松比。

2.3.4 碳纤维的材料类型

碳纤维采用线弹性模型，所以仅需定义弹性模量和泊松比。

2.4 建模网格划分

根据钢筋的处理方式，有限元模型主要有分离式、整体式和组合式。在建模过程中，钢筋的处理方法一般有两种处理方法，一是体分割法，二是采用独立建模耦合法。

2.4.1 体分割法

用工作平面和力筋线拖拉形成的一个面，将体积分割，分割后体上的一条线定义为力筋线。这样不断分割下去，最终形成许多复杂的体和多条力筋线，然后分别进行单元划分，施加预应力、荷载、边界条件后求解。这种方法是基于几何模型的处理，即几何模型为一体，力筋位置准确，求解结果精确，但当力筋线形复杂时，建模特别麻烦。

2.4.2 独立建模耦合法

该法的基本思想是实体和力筋独立建几何模型，分别划分单元，然后采用耦合（CP或CPINTF）将力筋单元和实体单元联系起来，此法基于有限元模型的处理，优点是建模比较简

单，耦合处理也比较简单（APDL要熟悉些），用来分析力筋形状复杂且数量较多的结构比较方便；缺点是当实体单元划分不够密时，力筋节点位置可能会发生一些偏移，但误差在可接受范围之内。

由于模型中钢筋采用离散的link8单元，钢筋较多，在分析中假定混凝土与钢筋无相对滑动，采用网格直接生成方法建立模型。

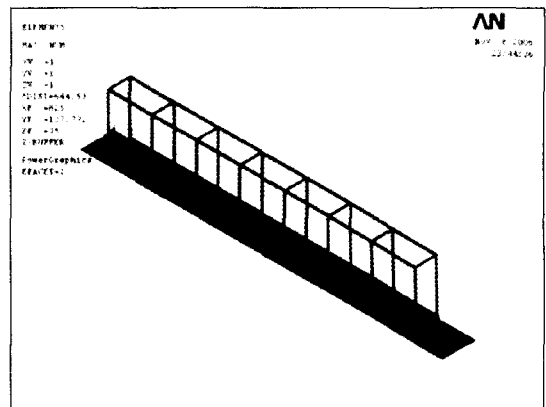


图3 粘碳纤维加固梁的模型图

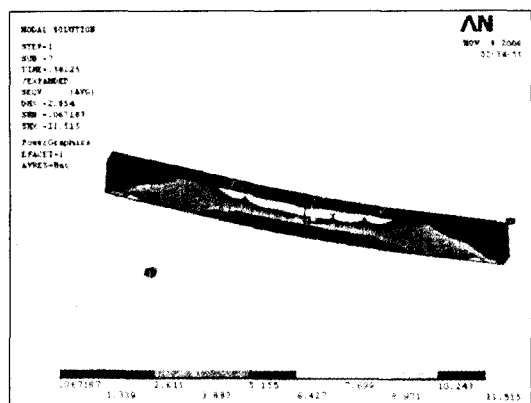
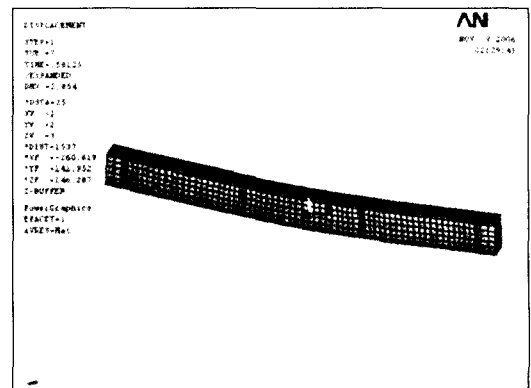


图4 粘碳纤维加固梁的计算结果图

（下转第11页）

佳安装角 α_{opt} 的计算公式,提出了剪应力沿锚杆长度分布的“黄金分割”规律,得出了各种不同锚固角条件下的有效锚固长度。不同安装角度的拉力型锚杆应变沿杆长的典型分布形态见图13和图14。

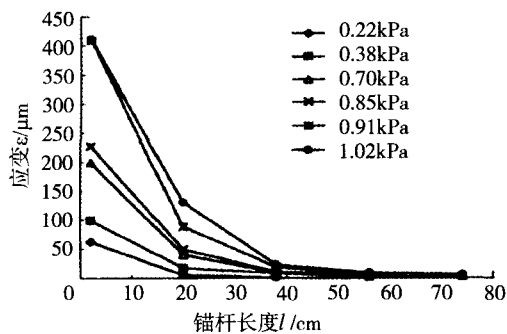


图13 60°倾角拉力型锚杆应变沿杆长分布图

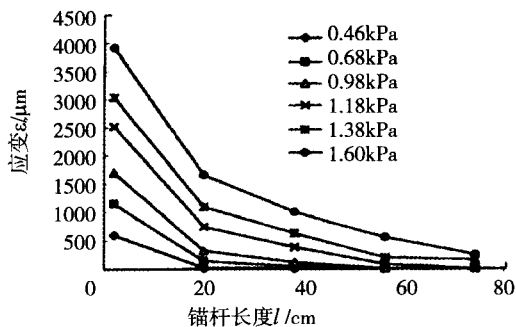


图14 30°倾角拉力型锚杆应变沿杆长分布图

由图13显见,应变峰值高但未发生转移,应变零值点已转移但可能已超过试验锚杆长度0.8m。由图14可见,应变峰值低而未发生转移,零值转移不明显。故临界锚固长度尚不确定。60°倾角锚杆应变峰值显著低于30°倾角锚杆(约低9倍),可能是锚杆受剪成分增加而量测元件难以反映出来的原因所致。

(下期待续)

(上接第4页)

2.5 有限元模型的加载和求解

2.5.1 加载子步

采用迭代法求解,求解时采用多荷载步,每荷载步又设若干子步。ANSYS程序提供了加载子步步长的选择。步长较大,则每一步荷载增量较大,计算收敛速度较快,但容易发散;步长较小,则每一步荷载增量较小,有利于计算的收敛,但耗费计算时间较长。本次建模最小子步步长设为2,最大子步步长设为100,程序会在2~100之间根据收敛情况自动选择。

2.5.2 收敛准则

ANSYS程序在迭代计算时,对于钢筋混凝土实体单元,是通过结点力或位移提供收敛准则的。有牛顿—拉普森迭代原理可知:以力为准则的收敛是收敛的绝对量度,以位移为准则的收敛是收敛的相对量度。

本文以结点力为迭代收敛的控制条件,认为结点力的相对误差小于0.01为收敛。在迭代次数超过15次后,若迭代结果仍不收敛或不满足程序默认的最大位移条件,就认为计算模型已破坏,并把前一级荷载作为梁的破坏荷载。

3 计算结果

采用碳纤维布对混凝土简支梁加固前后的有限元计算结果见表1。

表1 有限元计算结果

| 梁 | 极限承载力(kN) | 跨中挠度(mm) |
|-----|-----------|----------|
| 加固前 | 72.31 | 33.6 |
| 加固后 | 128.87 | 23.9 |

4 结论

通过对碳纤维布区混凝土梁有限元计算分析,可得以下结论:

(1) 碳纤维布加固混凝土梁后,与未加固梁相比其极限承载力有显著的提高。

(2) 梁在进行加固后,在相同等级荷载作用下,其挠度均小于未加固梁的挠度,可见采用碳纤维布对梁进行加固后提高了梁在正常使用荷载下的刚度,但是其延性并没有明显降低。

参考文献

- [1] 吕西林主编. 建筑结构加固设计. 北京: 科学出版社. 2001
- [2] 纪卫红. 碳纤维布加固钢筋混凝土结构技术研究. 大连理工大学. 2000.2
- [3] 郝文化. ANSYS土木工程应用实例. 北京: 中国水利水电出版社. 2005.1