

基于ANSYS的混凝土双悬臂梁裂缝扩展有限元分析

王 磊

安徽建工检测科技集团有限公司 安徽合肥 230031

摘 要: 混凝土双悬臂梁作为重要承载构件在建筑物和构筑物中广泛使用, 具有降低结构材料用量和增大使用空间等优点, 但在其服役过程中, 受温度和收缩徐变等因素影响极易产生裂缝, 严重影响结构安全, 对于混凝土双悬臂梁裂缝扩展研究具有十分重要的工程意义。本文基于ANSYS对某工程混凝土双悬臂梁裂缝扩展展开有限元分析, 明确混凝土双悬臂梁裂缝扩展原理和断裂准则, 通过有限元计算结果提出结构最不利位置。

关键词: 双悬臂梁; 裂缝扩展; 断裂准则; 有限元分析

The Finite Element Analysis of Crack Extension in a Concrete Double Cantilever Beam Based on ANSYS

Lei Wang

The Construction Engineering Inspection Technology Group Limited of Anhui Province, Hefei 230031, Anhui, China

Abstract: Concrete double cantilever beams are widely used in buildings and structures as important load-bearing elements, which have the advantages of reducing the amount of structural materials and increasing the use of space, etc. However, in the process of their service, they are susceptible to cracking due to temperature and shrinkage creep, which seriously affects structural safety. This paper presents a finite element analysis of the crack expansion of a double cantilevered concrete beam based on ANSYS, to clarify the crack expansion principle and fracture criterion of the double cantilevered concrete beam, and to propose the most unfavourable location of the structure through the finite element calculation results.

Keywords: Double cantilever beam; Crack extension; Fracture criterion; Finite element analysis

引言

混凝土双悬臂梁结构具有降低结构材料用量、增大使用空间和提高结构整体性能等优点。但随着外部荷载、温度和收缩徐变等因素的作用下, 混凝土结构双悬臂梁会出现损伤裂缝, 严重影响结构的运营安全。因此, 混凝土双悬臂梁裂缝扩展研究对构件和结构的安全、设计具有特别重要的参考和指导意义。

基于此, 国内外学者针对混凝土双悬臂梁裂缝扩展展开了一系列研究。程子悦^[1]等人采用有限元法对某已建双悬臂梁式渡槽进行了结构和裂缝扩展趋势计算分析。常龙龙^[2]等人对钢筋混凝土简支梁开裂过程进行数值模拟, 得到荷载对裂缝分布、裂缝宽度以及跨中挠度的影响。王红伟^[3]基于黏聚力模型, 提出了一种模拟复合梁I型裂缝扩展全过程的数值方法。高阳^[4]和Hai^[5]等人提出一种改进的扩展离散元法, 将满足破坏准则的潜在裂缝转化真实裂缝, 实现裂缝

的模拟。张瑞琳^[7]等人利用扩展有限元法模拟混凝土纯弯曲梁裂缝发展全过程, 得到了不同初始缝高比的荷载位移曲线以及临界有效裂缝扩展长度与裂缝发展路径。

本文采用ANSYS软件对某工程混凝土双悬臂梁裂缝扩展问题进行深入研究, 明确混凝土双悬臂梁裂缝扩展原理, 提出了裂缝扩展总量的基本原理和裂缝扩展准则; 并通过有限元计算获得裂缝扩展的等效应力、加载点反力与加载位移关系以及顶部中间节点位移与加载点位移关系, 最后提出结构最不利位置和最不利荷载。

1 裂缝扩展原理

混凝土裂缝断裂分析综合了混凝土应力分析和混凝土断裂力学参数计算。由于高应力梯度出现在混凝土裂缝尖端周围的区域, 所以在建立包含裂缝的混凝土有限元模型时必须特别注意裂缝区域。二维混凝土模型将裂缝的尖端作为裂缝尖端, 三维混凝土模型将裂缝的边线作为裂缝

前缘。

在裂缝扩展模拟中，裂缝扩展总量是一个至关重要的量，它决定了混凝土裂缝模拟的优劣。ANSYS采用的VCCT方法测量混凝土裂缝扩展是基于已裂开的界面单元长度，如式（1）所示。对于二维裂缝问题，裂缝扩展是当前已经张开的界面单元的长度之和。对于三维裂缝问题，裂缝扩展在每个裂缝前缘节点进行测量，为沿着裂缝扩展方向的界面单元边长的和。

$$\Delta a = \sum \Delta_i \quad (1)$$

2 裂缝断裂准则

为建立裂缝扩展准则，用户必须定义裂缝开始和随后裂缝扩展的断裂准则。对于线弹性断裂力学，断裂准则通常假定为3种断裂模式的临界能量释放率的函数，其表达式如下式（2）：

$$f = f(G_I^c, G_{II}^c, G_{III}^c, G_I, G_{II}, G_{III}, \dots) \quad (2)$$

（1）临界能量释放率准则：临界能量释放率准则使用总的能量释放率作为断裂准则。总的能量释放率是3种模式的能量释放率的和，表达式如式（3）所示：

$$f = f(G_I^c, G_{II}^c, G_{III}^c, G_I, G_{II}, G_{III}, \dots) \quad (3)$$

式中， G_I^c 为临界能量释放率。能量释放率准则是最简单的断裂准则，适用于二维和三维的断裂扩展模拟。

（2）线性断裂准则线性：断裂准则是3种模式的能量释放率的线性函数，表达式如式（4）所示：

$$f = \frac{G_I}{G_I^c} + \frac{G_{II}}{G_{II}^c} + \frac{G_{III}}{G_{III}^c} \quad (4)$$

式中， G_I^c 、 G_{II}^c 和 G_{III}^c 分别为I型、II型和III型断裂模式的临界能量释放率。

（3）双线性断裂准则：双线性断裂准则假设断裂准则是I型和II型断裂模式的能量释放率的线性函数，表达式如下式（5）：

$$f = \begin{cases} \frac{G_I - G_{II}}{G_I^c} \frac{G_{II}}{G_I} < \frac{\frac{1}{\zeta} G_I^c + G_{II}^c}{G_I^c + \xi G_{II}^c} \\ \frac{\xi G_I - \zeta G_{II}}{\zeta G_I^c} \frac{G_{II}}{G_I} > \frac{\frac{1}{\zeta} G_I^c + G_{II}^c}{G_I^c + \xi G_{II}^c} \end{cases} \quad (5)$$

式中， G_I^c 和 G_{II}^c 分别为I型和II型断裂模式的临界能量释放率； ξ 和 ζ 为材料常数。

（4）B-K断裂准则：BK断裂准则表述为等式（6）：

$$f = \frac{G_T}{G_I^c + (G_{II}^c - G_I^c) \left(\frac{G_{II} + G_{III}}{G_T} \right)^\eta} \quad (6)$$

式中， G_I^c 和 G_{II}^c 分别为I型和II型断裂模式的临界能量释放率； η 为材料常数。

3 有限元结果

如图1，双悬臂梁长度 $L=100\text{mm}$ 、高度 $H=4\text{mm}$ ，裂缝宽度 $a=15\text{mm}$ 。采用PLANE182单元模拟双悬臂梁，使用界面单元INTER202来模拟预拓展路径。弹性模量为 $1.353 \times 10^{11} \text{Pa}$ ，泊松比为0.25。本实例采用线性断裂准则，临界能量释放率为 $G_I^c=0.28\text{N/mm}$ ， $G_2^c=0.8\text{N/mm}$ ， $G_3^c=0.8\text{N/mm}$ 。假设为平面应变条件，在梁端裂缝上下施加两次位移，第一次为1mm来张开裂缝，第二次位移载荷为15mm来使裂缝开始扩展，模型右端固定约束。

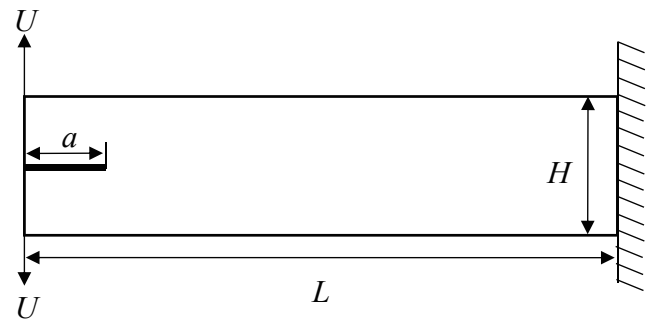


图1双悬臂梁尺寸

Fig.1 Double cantilever beam dimensions

图2所示为裂缝扩展过程中不同加载的等效应力云图，由图可知在外载的作用下，裂缝沿着预定的裂缝进行扩展且最大等效应力发生在裂缝尖端；图3(a)所示为加载点反力与加载位移关系，由图可知裂缝发生扩展时反力达到峰

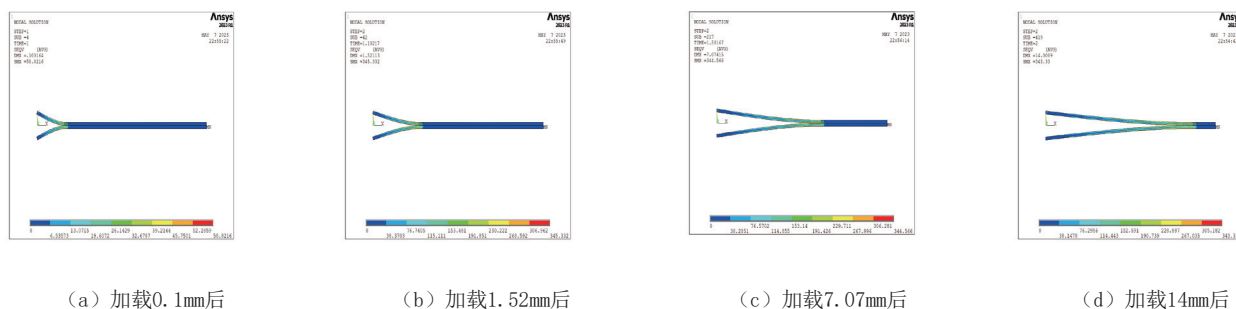


图2 加载0.1mm、1.52mm、7.07mm和14mm后的等效应力云图

Fig.2 Equivalent force cloud after loading 0.1mm, 1.52mm, 7.07mm and 14mm

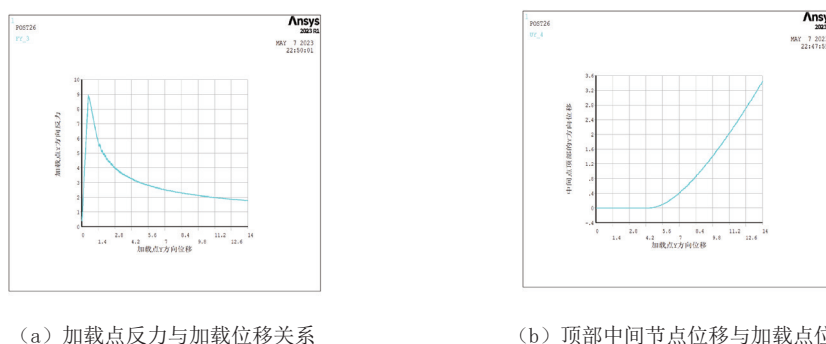


图3 加载点反力与加载位移关系和顶部中间节点位移与加载点位移关系

Fig.3 Relationship between loading point reaction force and loading displacement and relationship between top middle node displacement and loading point displacement

值，即9N，然后反力迅速下降；图3(b)所示为顶部中间节点位移与加载点位移关系，由图可知当外载位移达到5.6mm时，裂缝扩展到中间节点。

4 结论

本文基于ANSYS对某工程混凝土双悬臂梁裂缝扩展展开有限元分析，得出如下结论：

(1) 在混凝土裂缝扩展模拟中核心参数是裂缝扩展总量，断裂准则分别是临界能量释放率准则、线性断裂准则、双线性断裂准则、B-K断裂准则。

(2) 二维混凝土模型将裂缝的尖端作为裂缝尖端，三维混凝土模型将裂缝的边线作为裂缝前缘。

(3) 双悬臂梁裂缝扩展最大等效应力发生在裂缝尖端，裂缝发生扩展时反力达到峰值9N，然后反力迅速下降，当外载位移达到5.6mm时，裂缝扩展到中间节点。

参考文献：

- [1]程子悦,渠元闯,彭振辉等.采用有限元法的某已建双悬臂梁式渡槽结构分析[J].特种结构,2018,35(03):71-74.
- [2]常龙龙,乐凤江.基于黏结滑移理论的混凝土梁裂缝扩展数值模拟[J].混凝土世界,2022,156(06):5-9.
- [3]王红伟.基于断裂力学的混凝土及钢筋混凝土少筋梁裂缝扩展过程研究[D].大连理工大学,2021.
- [4]高阳,郑新雨,陈一铂等.基于扩展离散元法的钢筋混凝土梁裂缝分析方法[J].世界桥梁,2020,48(03):69-73.
- [5]Haipeng S, Xujun C, Kai L, et al. A New Vehicle-Bridge Coupling Analysis Method Based on Model Polycondensation [J]. KSCE Journal of Civil Engineering,2021, 25(1):245-255.
- [6]梁玉红,韩慧敏.基于ANSYS的钢筋混凝土T形梁的有限元分析[J].工程技术(文摘版),2016,000(001):00056-00056.