

文章编号: 1673-4874(2011)09-0069-004

裂纹稳定扩展的 FRANC3D 研究

赵 艳, 秦莹莹, 李益小

(广西壮族自治区公路桥梁工程总公司二分公司, 广西 南宁 530011)

摘 要: 文章介绍了三维断裂分析软件 FRANC3D 的功能及优势, 通过算例的 FRANC3D 数值计算结果与理论计算值、FRANC2D 数值计算结果比较, 验证该软件模拟裂纹稳定扩展的可靠性。

关键词: FRANC3D; 概述; 可靠性; 验证

中图分类号: U445.7⁺1

文献标识码: A

Study on FRANC3D for Fracture Expansion

ZHAO Yan, QIN Ying-ying, LI Yi-xiao

(Guangxi Road and Bridge Engineering Corporation No.2 Branch Company, Nanning, Guangxi, 530011)

Abstract: The article introduces the function and advantage of 3D fracture analysis software FRANC3D. Through the comparison of value that calculated by FRANC3D, FRANC2D and the theoretical value, the article proves the reliability of using this software to stimulate fracture expansion.

Key Words: FRANC3D; Summary; Reliability; Prove

0 引言

研究裂纹的扩展规律, 建立断裂判据可以进行抗断设计、估计结构剩余寿命, 在理论和工程上具有重要意义。目前, 国内裂纹稳定扩展研究多采用实验方法, 而进行数值模拟的很少, 相比之下, 国外在模拟裂纹稳定扩展方面的研究较多, 并且涌现出了一批优秀的断裂分析软件, 主要有由英国 Zentech 公司开发的高级 3D 裂纹扩展行为分析软件 ZENCRACK 和由美国康奈尔大学 (Cornell University) 断裂工作组 (Cornell Fracture Group) 开发的二维及三维断裂分析软件 FRANC2D、FRANC3D。

本文主要运用 FRANC3D 软件对含有一个边界部分贯穿裂纹的平板进行裂纹稳定扩展模拟, 验证其模拟裂纹稳定扩展的可靠性。

作者简介

赵 艳 (1982—), 女, 广西玉林人, 主要从事公路桥梁施工管理工作。

1 FRANC3D 概述

FRANC3D 是 1987 年由美国国家科学基金、波音商用飞机、美国海军、美国空军等机构共同资助开发的一套具有建模、应力分析、应力强度因子计算、裂纹自动扩展模拟等功能的免费软件。它由三个部分组成,即立体对象建模器 OSM、断裂分析器 FRANC3D 以及边界元系统 BES^[1,2]。

FRANC3D 具有很强的模拟裂纹的能力,可以生成多裂纹、非平面裂纹和任意形状的裂纹。这些裂纹可以是表面裂纹、深埋裂纹、交叉裂纹、不同材料交界处的界面裂纹等。FRANC3D 在设置裂纹时,用户可以通过菜单选择它自带的裂纹库,如椭圆裂纹、圆片裂纹、直裂纹等,也可以通过文件的方式生成自己想要的复杂裂纹。此外,该软件还可以根据应力强度因子历史预言材料的疲劳寿命。

相比目前国内大部分研究人员使用 ANSYS、ABAQUS、NASTRAN、ADINA、MARC 来模拟裂纹扩展,FRANC3D 具有显著的优势,主要表现在:(1) ANSYS、ABAQUS、NASTRAN、ADINA、MARC 为商业有限元软件,价格昂贵,而且断裂力学分析只不过是它们功能的一部分,不能做到深入和全面分析,而 FRANC3D 则是专门处理裂纹稳定扩展的免费软件;(2) FRANC3D 具有转换有限元几何模型的功能,它可以把 ANSYS、ABAQUS、NASTRAN、ADINA、MARC 转换为 OSM 和 FRANC3D 可读的格式。

2 FRANC3D 可靠性验证

2.1 算例

如图 1 所示,平板中部有一长度 $a = 0.5 \text{ cm}$ 的贯穿裂纹,厚度 $t = 1 \text{ cm}$, ABCD 面及 EFGH 面受均匀面应力 $\sigma = 1.0 \text{ N/cm}^2$,弹性模量 $E = 10\,000 \text{ N/m}^2$,不考虑泊松比和板的自重。

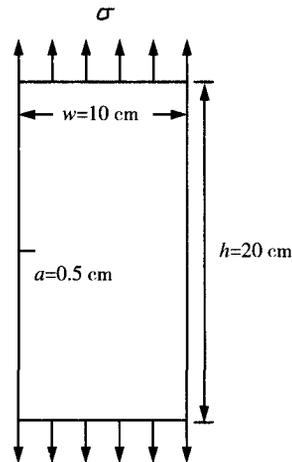


图 1 带裂纹平板受力简图

2.2 FRANC3D 数值模拟

FRANC3D 数值计算流程为:(1)在 OSM 中建立几何模型,保存为 FRANC3D 可读的 .dat 文件。(2)在 FRANC3D 中读入所建模型文件,添加材料属性,设置边界条件,划分网格,保存为 .bes 格式的分析文件。(3)运行 BES 求解器进行计算,得未加裂纹时的结果文件。(4)插入裂纹,对裂纹面划分网格,再对模型重划分网格,生成 .bes 格式的分析文件。(5)运行 BES 求解器进行计算,得结果文件。若需添加新裂纹,则重复 4、5 步骤,直至不需再添加裂纹。(6)分析结果文件,得到所需计算数值。

本文按上述流程建模、计算。文中单元类型为平面四边形单元。众所周知,运用有限元进行数值计算时,网格的划分对于计算精度是有影响的。本文通过不同的裂纹面网格划分方案来探讨该影响。裂纹面网格划分方案为:(1)沿裂纹前沿方向将裂纹面分成 6 个单元,沿裂纹长度方向划分 1 个、2 个、4 个、8 个单元,网格划分如图 2 所示。(2)沿裂纹长度方向划分 2 个、4 个、8 个单元,沿裂纹前沿方向将裂纹面分成 6 个、8 个、12 个、16 个单元。

为分析不同算法对计算结果的影响,将整体线性解、整体二次方解以及裂纹前端二次方解与理论解进行比较,找出数值计算值更精确的算法。

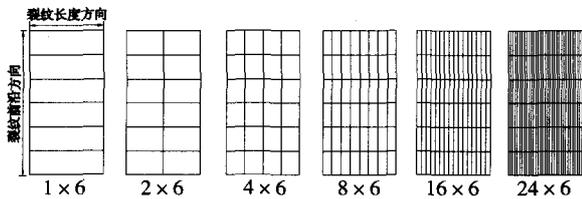


图2 裂纹面网格划分示意图

2.3 理论计算

本算例为 I 型裂纹,有限平板边界贯穿裂纹的 K 因子计算表达式^[3]为:

$$K_I = \sigma \sqrt{\pi a} \times F_I(\alpha) \quad (1)$$

其中, $\alpha = \frac{a}{w}$, $F_I(\alpha) = 1.12 - 0.231\alpha + 10.55\alpha^2 - 21.72\alpha^3 + 30.39\alpha^4$, $F_I(\alpha)$ 为修正系数。

当 $\alpha \leq 0.6$ 时, $K_{II} = K_{III} = 0$

将相关数据代入式 1 求得 $F_I(\alpha) = 1.132$, $K_I = 1.419$ 。

2.4 结果比较与讨论

2.4.1 FRANC3D 模拟值与理论值的比较

运用模拟裂纹稳定扩展,计算沿裂纹前沿的线弹性应力强度因子,去掉其离自由表面最近的两个值(这两个值误差比较大),将剩余的值取平均值与理论计算值比较,见表 1、2。

表 1 不同网格划分方案的数值计算解与理论解对比表

模型文件名	整体线性解		整体二次方解		裂纹前沿二次方解	
	理论值	误差%	理论值	误差%	理论值	误差%
ex1_m1x6	1.149	19.0	1.366	3.7	1.270	10.5
ex1_m2x6	1.365	3.8	1.506	6.1	1.481	4.4
ex1_m4x6	1.451	2.2	1.557	9.7	1.565	10.3
ex1_m8x6	1.483	4.5	1.584	11.6	1.603	12.9
ex1_m16x6	1.493	5.2	1.590	12.0	1.620	14.1
ex1_m24x6	1.492	5.1	1.584	11.6	1.622	14.2

注:表 1 为将沿裂纹前沿分为 6 个单元,而将沿裂纹长度方向单元细分,其三种解值与理论值比较的结果。

表 2 不同网格划分方案的数值计算解与理论解对比表

模型文件名	整体线性解		模型文件名	整体线性解		模型文件名	整体线性解	
	理论值	误差%		理论值	误差%		理论值	误差%
ex1_m2x6	1.365	3.8	ex1_m4x6	1.451	2.3	ex1_m8x6	1.483	4.5
ex1_m2x8	1.341	5.5	ex1_m4x8	1.441	1.6	ex1_m8x8	1.482	4.4
ex1_m2x12	1.331	6.2	ex1_m4x12	1.432	0.9	ex1_m8x12	1.474	3.9
ex1_m2x16	1.324	6.7	ex1_m4x16	1.426	0.5	ex1_m8x16	1.432	0.9

注:表 2 为沿裂纹长度方向的单元分别为 2、4、8 时,将沿裂纹前沿方向的单元细分,其整体线性解与理论值比较的结果。

由表 1 可知,整体线性解与理论值吻合得较好,单独增加一个方向的网格密度,不能达到提高计算精度的目的。由表 2 可以看出,4×16 的裂纹面网格精度最好,当单元数目沿两个方向都增加时可以获得比较合理的值。在此算例中,用一个相当粗糙的网格 4×12 就可以得到非常精确的解了,但是,通常要在两个方向都细分才可以获得比较精确的解。

2.4.2 FRANC3D 模拟值与 FRANC2D 模拟值的比较

FRANC2D 已被验证其数值计算是可靠的。本文通过对比 FRANC3D 数值计算结果与 FRANC2D 数值计算结果,达到验证 FRANC3D 可靠性的目的。

图 3 为运用 FRANC2D 及 FRANC3D 建立的含边界裂纹的模型。图 4 为运用 FRANC2D 及 FRANC3D 数值计算的第一主应力应力云图。

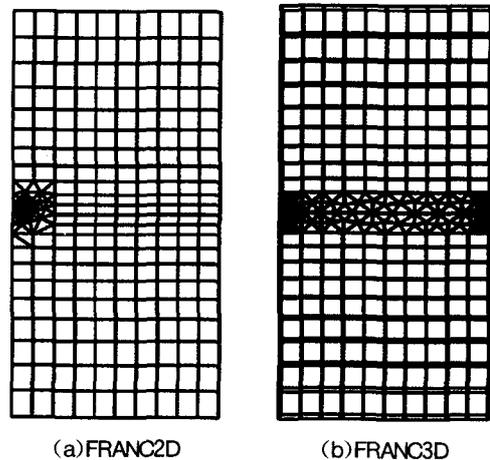


图 3 运用 FRANC2D 及 FRANC3D 建立的含边界裂纹模型图

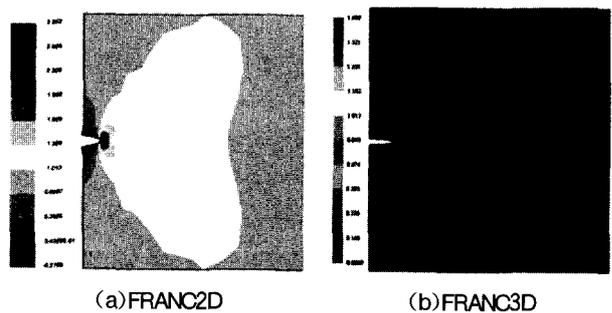


图 4 运用 FRANC2D 及 FRANC3D 数值计算的第一主应力应力云图

由图4可以看出,两者的应力云图比较接近,本算例为平面应力问题,所以可以用 FRANC2D 做近似模拟。两者的塑性区形状与断裂力学教材^[3]上塑性区形状非常接近,所以模拟结果是正确的。通过分析结果发现,用 FRANC2D 计算的 $K_I = 1.321$,而用 FRANC3D 计算的 $K_I = 1.426$ 。显然,FRANC2D 模拟的结果没有用 FRANC3D 模拟的精确,这是因为实际问题为三维问题,而 FRANC2D 为二维模拟软件。

3 结论

从以上研究分析可以看出,运用 FRANC3D 进行裂纹稳定扩展,其分析计算结果是可靠的。在使用 FRANC3D 进行裂纹稳定扩展模拟时,发现其能反映出各力学参数在裂纹稳定扩展过程中的动态变化和裂纹尖端有限元单元网格的再划分,这表明了 FRANC3D 在模拟裂纹扩展过程中的灵活性及互

(上接第 68 页)

质量事故发生,不但把滞后的工期抢了回来,同时也保证了工程质量。

6 拱圈施工

为了保证龙门河流水顺畅,在拱底对称建设两个临时支撑墩,支撑墩采用贝雷梁架设,贝雷梁两头架在桥台襟边上,中间搭在临时墩上,在贝雷梁上采用间距为 50×50 cm 的满堂钢管做支柱。为了检查支架的稳定性和变形,做好拱模后采用编织袋装土进行预压,监测拱圈 0、1/4、3/4、1/2 截面处的变形,根据得出的数据重新调整拱模,使之符合设计拱轴线要求,如图 4 所示。



图 4 拱圈施工示例图

动性。它是一种可行的新方法,且有其独特性,值得更深入的应用与研究。●

参考文献

- [1] OSM Menu & Dialog Reference[EB]. <http://www.cfd.cornell.edu/>, 2003.
- [2] FRANC3D Concepts & Users Guide[EB]. <http://www.cfd.cornell.edu/>, 2003.
- [3] 高庆. 工程断裂力学[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1986.
- [4] 王永伟, 林哲. 表面裂纹的三维模拟及应力强度因子计算[J]. 中国海洋平台, 2006, 21(3): 23-26.
- [5] 冒小萍, 郎福元, 柯显信. 断裂力学的数值计算方法的研究现状与进展[J]. 商丘师范学院学报, 2004, 20(2): 20-25.
- [6] 刘北辰. 工程计算力学理论与应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 1994.

收稿日期: 2011-08-01

7 结语

在龙门桥钻孔灌注桩施工前,应做好各项准备工作,认真审查地质勘探资料和设计文件,实行会审和技术交底制度,做好现场检验工作。施工过程中应抓好泥浆和混凝土质量,详细做好各项施工记录,牢牢把好钻孔、清孔和混凝土灌注等关键工序的质量关,防止质量事故发生。合理科学的施工方法,严密的施工组织,严格按规范执行,就能避免和消除施工中存在的各种不利因素,避免发生各种质量事故,使钻孔灌注桩施工顺利进行并发挥其最大优势和应有的作用。钻孔灌注桩是各种突发地质条件下最好的基础替代变更方案。●

参考文献

- [1] JTJ041-2000, 公路桥涵施工规范[S].

收稿日期: 2011-08-01