

文章编号:1674-2869(2008)04-0062-03

利用钻孔法估算在役混凝土结构现存预应力

刘忠亚¹, 刘丹娜², 贾巧燕²

(1. 武汉港湾工程研究设计院, 湖北 武汉 430071;

2. 武汉理工大学土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070)

摘要:现存预应力的准确估算对于在役混凝土桥梁结构的可靠性评估具有重要作用. 本文在小孔应力集中的理论上, 首次提出把钻孔法应用于有效预应力的检测中, 并通过测试钻孔前后孔边应力的变化, 推导出简便近似公式, 能够准确有效的实现对预应力的预估.

关键词:现存预应力; 钻孔法; 预应力混凝土梁; 应力释放; 子模型

中图分类号: TU757

文献标识码: A

0 引言

在役混凝土桥梁结构的可靠性评估中, 有效预应力检测一直是较难解决的问题. 国内外学者曾采用以下方法检测有效预应力: SSRIIT (steel stress relief hole technique) 法、形状记忆合金 (SMA) 技术、声发射技术、电磁效应检测法、灰色理论、概率分析法、灵敏度分析法、动力测试法、应力释放法等.

应力释放法来评定预应力混凝土结构是近两年发展起来的新课题. 应力释放法的原理是将具有残余应力部分用一定的切割方法进行局部地分离, 测定残余应力被局部释放时的变形然后应用弹性力学原理来计算残余应力, 这种方法属破坏性或半破坏性测, 常用于土木工程的应力释放法有切割法、开槽法、钻孔法等^[1-3]. 其中钻孔法测量残余应力是由德国学者 J. Mathar 于 1934 年提出的, 现已得到广泛应用. 它具有操作简便、测量方便、对构件损伤程度小等特点. 本文提出将钻孔法应用于有效预应力检测中, 利用通用有限元软件 ANSYS 对施加偏心直线预应力简支梁的实际有效预应力进行研究与分析.

1 基本思路与技术途径

本文要解决的问题可以描述为假设有一在役预应力混凝土单梁, 该梁被预应力钢绞线施加一预应力, 随着结构的使用及其时间的延续, 预应力会产生一定损失, 现欲估算该结构现存预应力的数值.

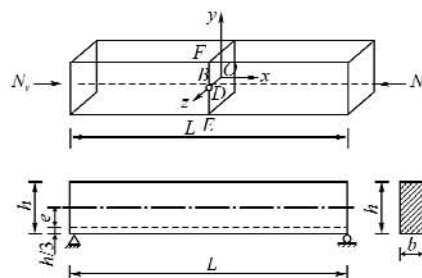
本文提出的基本思路是在梁的跨中底部利用钻孔法开挖具有一定孔径的小孔, 钻孔周边混凝土表面

附近布置应力测点, 测定钻孔开挖前及其过程中孔边混凝土表面应力, 推算出现存预应力的数值.

2 有限元分析计算与拟合

2.1 几何建模描述

本文采用通用有限元软件计算预应力简支梁梁底孔洞周边的应力状态. 在进行有限元计算分析时, 单元采用 solid95; 混凝土弹性模量 E_c 取用 $3.3 \times 10^7 \text{ N/mm}^2 \sim 3.65 \times 10^7 \text{ N/mm}^2$, 混凝土的泊松比取 0.2; 边界条件采用简支梁的形式; 模型只考虑自重以及预应力荷载, 预应力荷载值根据实际计算需要而定. 人为的控制单元大小的划分. 计算模型与有限元模型如图 1 所示, 比较普通有限元建模 (见图 1(b)) 和采用子模型技术建模 (见图 1(c)), 发现采用子模型后大大减少了工作时间, 并有效的提高了计算精度. 因此本文有限元建模采用子模型技术. 图 1 中圆孔的半径 r 取值范围 (24 ~ 100 mm), 梁宽 $2w$ 取值范围 (80 ~ 666 mm), 梁高 h 取值范围 (400 ~ 600 mm), 梁长 L 取值范围 (3000 ~ 6000 mm), 预应力钢筋偏心距 e 取值范围 (0 ~ 100 mm).



(a) 计算模型
(a) Computational model

收稿日期: 2008-02-28

作者简介: 刘忠亚 (1955-), 男, 湖北武汉人, 工程师, 研究方向: 工程设计与工程.

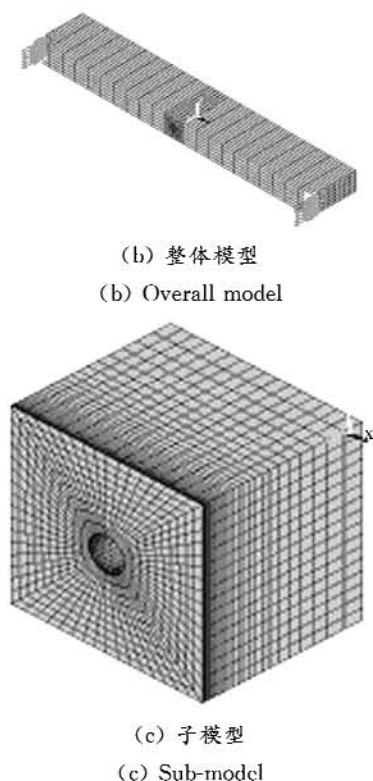


图1 计算模型及有限元模型

Fig. 1 Computational model and finite element model

本文计算分析了固定其它参数,变化其中某一参数的若干模型。

2.2 应力比值系数的定义

参照应力集中系数作者自定义了一个应力特征值 K ,将钻孔后 B 点处的应力值定义为 σ_{\max} ,将钻孔前 B 点的应力值定义为 σ_{nom} ,应力比值系数 K 即为

$$K = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{nom}}}$$

3 计算结果分析与讨论

3.1 计算结果分析

图2(a)、(b)分别给出了同一模型(C_5)不同孔径和同一孔径不同模型($C_4 \sim C_7$)下应力比值系数沿厚度的变化情况,发现孔的深度只要达到孔径的1.2倍,残余应力就可以完全释放出来,因此没有必要把孔钻穿。

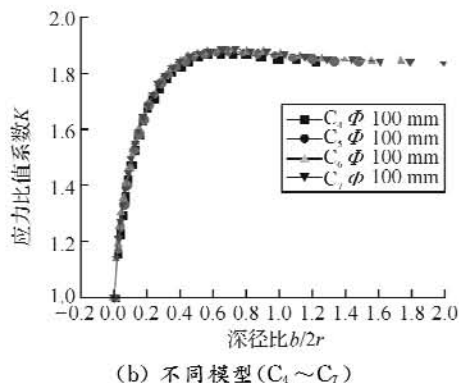
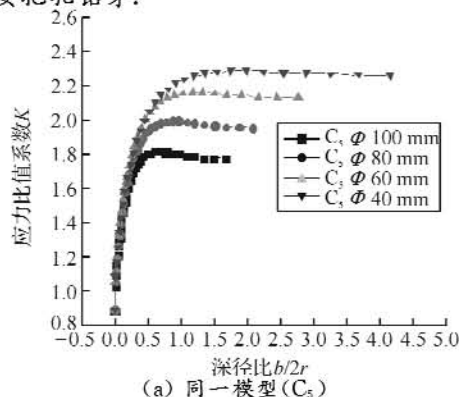


图2 应力比值系数沿厚度的变化情况

Fig. 2 The variance of permanent prestress ratio with depth

对模型的有限元分析发现,应力比值系数与预应力大小、梁高、梁长、混凝土弹性模量、偏心距均无关系,只与孔径与梁宽有关,如图3所示。

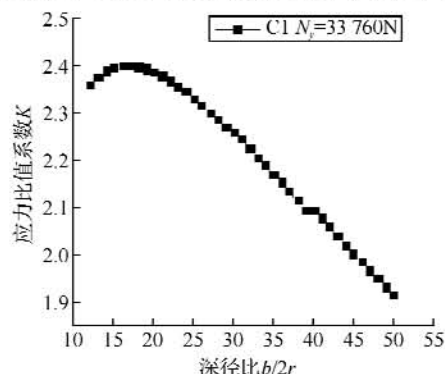


Fig. 3 Relationship between hole radius prestress ratio

从图3可以看出,孔径小于17 mm时,应力比值系数随着孔径的增大略有增加,当孔径超过17 mm时,应力比值系数随着孔径的增大而减小;从图4看出应力比值系数随着梁宽的增加而呈非线性增大的趋势。

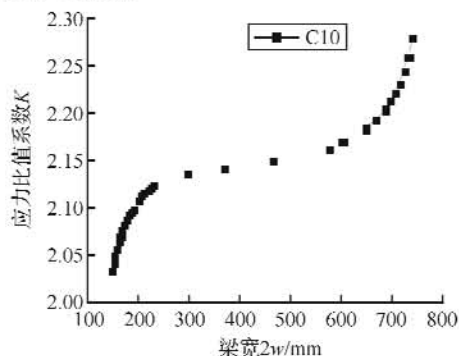


Fig. 4 Relationship between beam width and prestress ratio

3.2 应力集中系数与各参数的近似关系

基于以上的有限元分析研究,把梁宽与孔径对应应力比值系数的影响分离开来加以分析,分别进行梁宽与应力比值系数($w \sim K$)的回归分析,孔

径与应力比值系数($r \sim K$)的回归分析。

a. $w \sim K$ 回归

$$K = 1.687 \times 10^{-12} \times w^6 - 2.049 \times 10^{-9} \times w^4 + 9.7237 \times 10^{-7} \times w^3 + 0.00022 \times w^2 + 0.0251 \times w + 1.0439$$

相关系数 $R: R = 0.9992$; 方差 $S: S = 0.0021$

b. $r \sim K$ 回归

$$K = \frac{r}{1.295 + 0.295 \times r + 0.0046 \times r^2}$$

相关系数 $R: R = 0.9993$; 方差 $S: S = 0.0043$

从 $w \sim K$ 回归及 $r \sim K$ 回归结果可以看出, 梁宽、孔径与应力比值系数有较好的相关性, 相关系数达到 0.999 以上, 规律性较好。联合 $w \sim K$ 、 $r \sim K$ 的回归分析, 将 w/r 作为函数的自变量, K 作为函数的应变量, 拟合函数如下, $w/r \sim K$ 回归曲线见图 5。

$$K = \frac{-63.654 + 85.360 \times \left(\frac{w}{r}\right) - 10.256 \times \left(\frac{w}{r}\right)^2 + 0.456 \times \left(\frac{w}{r}\right)^3}{25.203 + 37.630 \times \left(\frac{w}{r}\right) - 4.444 \times \left(\frac{w}{r}\right)^2 + 0.194 \times \left(\frac{w}{r}\right)^3}$$

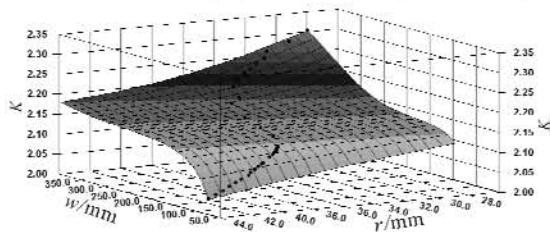


图 5 $w/r \sim K$ 回归曲线

Fig. 5 $w/r \sim K$ regression curvilinear

本文在处理数值模拟数据做回归时, 相关系数在 0.999 以上, 说明构造函数是非常可靠的。

显然, 如果能测出梁底表面孔边 B 点的应力

集中值, 根据 $K = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{nom}}}$ 就可以方便的得到混凝土梁

底表面初始应力值 σ_{hyx} , 由 $\sigma_{\text{hyx}} = \frac{N_y}{2wh} + \frac{N_y e}{2wh^2/6}$ 而实现对有效预应力的估算。

4 结 语

a. 利用钻孔孔边应力集中现象可以准确推算在役混凝土结构现存预应力;

b. 对于预应力混凝土梁这种三维实体, 钻孔深度达到孔径的 1.2 倍, 残余应力就可以完全释放出来, 因此在实际测量中钻孔深度只要达到钻孔直径的 1.2 倍即可。

c. 通过有限元模拟与数值分析, 发现所定义的应力比值系数只与梁宽和孔径有关, 与其他因素均无关, 通过回归分析得到一个近似解析式 $K = f(w/r)$, 相关系数在 0.999 以上, 方差 0.0015, 可以认为是非常可靠的, 为有效预应力的估算提供了理论基础。

参考文献:

- [1] 侯海量, 朱 锡, 刘润泉. 育孔法测量焊接残余应力应变释放系数的有限元分析[J]. 机械强度, 2003, 25(6): 632-636.
- [2] 余崇民, 郭万林, 张 斌, 等. 有限厚中心圆孔板的最大三维应力集中[J]. 机械科学与技术, 2006, 25(4): 438-441.
- [3] 易伟建, 向 洪. 钢筋混凝土受压构件工作应力的测试与分析[J]. 工业建筑, 2007, 37(1): 52-56.

Permanent prestress evaluation of prestressed concrete bridges in-service by hole-drilling method

LIU Zhong-ya¹, LIU Dan-na², JIA Qiao-yan²

(1. Wuhan Harbour Engineering Design and Research Co., Ltd, Wuhan 430071, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China)

Abstract: In order to evaluate the permanent prestress and structure capability of existing prestressed concrete bridges, this paper propose a hole-drilling method to evaluate the permanent prestress based on the principle of little hole method. We analyze the construction stress with the finite element (FE) method and regress an effective equation to predict the permanent prestress.

Key words: permanent prestress; hole-drilling method; existing prestressed concrete beam; stress release; submodel

本文编辑: 萧 宁