

文章编号:1671-6833(2011)06-0018-04

底板横向裂缝对箱梁强度及刚度影响模拟分析

张兆宁^{1,2}, 贺拴海¹, 赵煜¹

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 兰州理工大学 土木工程学院, 甘肃 兰州 730050)

摘 要: 预应力混凝土连续箱梁一些部位经常出现不同程度的开裂损伤等问题, 它已直接影响到桥梁的使用性、耐久性及安全性. 为了准确掌握开裂情况下梁体强度及刚度的变化规律, 为既有桥梁安全性能评定、修复加固提供依据. 为此, 以某一预应力混凝土连续刚构桥为例, 分别以箱梁底板裂缝开展宽度、高度、条数为参数, 模拟分析了各参数变化对梁体应力及挠度的影响程度. 分析结果表明, 箱梁结构性能随着裂缝宽度的增大、高度的上升、条数的增加而逐渐下降. 在裂缝特征参数中, 裂缝宽度变化对梁体强度及刚度的影响程度最大, 裂缝高度及条数对其影响相对较小, 其中后两者对梁体的影响程度基本相当.

关键词: 箱梁; 裂缝; 模拟; 强度; 刚度

中图分类号: TU448.23 **文献标志码:** A

0 引言

预应力连续箱梁以其良好的抗弯、抗扭性能等优点广泛应用于公路或城市桥梁建设上. 随着桥梁向大跨、轻型方向的发展, 该桥型在施工或运营阶段, 梁体一些部位出现了不同程度的开裂损伤等问题, 它已直接影响到桥梁的使用性、耐久性及可靠性. 如果不能及时发现并修复梁体出现的损伤, 甚至会造成桥梁垮塌事故, 造成巨大的经济损失及人员伤亡, 国内外发生的此类事故已经有好几起. 为此, 国内外学者对箱梁裂缝成因、形态及分布规律等进行了深入研究^[1-4], 但在裂缝引起的梁体强度及刚度变化方面的研究还是比较少, 仍有许多问题需要进一步分析. 我国 JTG D 62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》^[5]中规定对 B 类采用钢绞线的预应力混凝土构件, 其计算的最大裂缝宽度不应超过 0.10 mm, 但没有给出因裂缝开展引起的梁体强度及刚度变化规律, 也没有给出其影响具体数值范围. 因此, 通过数值模拟损伤桥梁真实状态, 为既有桥梁安全性能评定、修复加固提供依据, 对拟建桥梁的抗裂设计提供理论指导, 展开这方面的研究具有重要的工程意义.

1 数值分析模型

1.1 有限元模型及加载

为了分析箱梁裂缝特征参数变化对梁体强度及刚度的影响, 以某一三跨预应力混凝土连续刚构桥(35.0 m + 60.0 m + 35.0 m)为例. 该桥截面形式为单箱单室, 主梁混凝土标号为 C50, 预应力钢筋直径为 15.24 mm 钢绞线, 设计强度 1 860 MPa, 张拉控制应力 1 395 MPa. 笔者采用有限元软件 ANSYS 进行模拟分析, 混凝土采用 Solid65 单元模拟, 预应力钢筋采用 Link8 单元模拟, 通过单元降温的方式施加预应力^[6]. 梁体裂缝采用“生死”单元方式处理, 即将开裂处垂直混凝土裂缝方向的混凝土单元的刚度矩阵乘以 1.0E-6 因子, 其有限元 1/2 计算模型如图 1 所示.



图1 有限元计算模型

Fig.1 Finite element model

收稿日期:2011-05-08; 修订日期:2011-08-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50908017)

作者简介:张兆宁(1978-),男,宁夏固原人,长安大学博士研究生,主要从事桥梁结构评价及可靠度研究, E-mail: zhangzhn@lut.cn.

分析时考虑结构自重、二期恒载、预应力及汽车荷载的共同影响.其中,汽车荷载按照双车道布载,根据 JTG D60—2004《公路桥涵设计通用规范》^[7],采用公路-I级车道荷载,集中荷载采用 360 kN,均布荷载采用 10.5 kN/m,按照最不利位置进行布载.为了避免应力集中,将集中力及均布荷载等效成面荷载进行加载,其作用面积分别为车轮与桥面接触面积、3.5 m 车道宽度范围^[8].

1.2 数值分析参数确定

对于大跨度连续梁桥,在运营阶段,由于各种因素的共同作用,梁体截面局部范围经常会出现开裂.为了分析裂缝开展对箱梁应力及挠度的影响程度,笔者以跨中底板局部范围横向开裂损伤为例,分别以裂缝宽度、高度及条数为参数进行模拟分析,裂缝特征参数见表 1 所示.

表 1 数值分析参数
Tab.1 Parameter of numerical analysis

组别	裂缝宽度/mm	裂缝高度/mm	裂缝条数/条
1	0.00	1.00	1
2	0.10	5.00	2
3	0.15	10.00	3
4	0.20	15.00	4
5	—	20.00	5

2 数值模拟结果分析

2.1 裂缝开裂宽度对强度及刚度的影响

为了分析裂缝开展宽度对梁体强度及刚度的影响规律,分别以裂缝宽 0.10 mm、0.15 mm、0.20 mm 及未开裂等情况进行模拟分析,梁体截面挠度、底板拉应力及腹板主拉应力随裂缝宽度变化的曲线如图 2~4 所示.

由图 2~4 可知,当梁体未开裂时,在设计荷载最不利布载下,跨中截面最大挠度及应力分别为 28.5 mm、1.72 MPa.当截面底板开裂宽度从 0.10 mm 增大到 0.20 mm 过程中,跨中挠度增量最大,从 34.0 mm 变化到 39.7 mm,挠度增大 5.7 mm,增长率 16.8%.当梁体从未开裂过渡到产生 0.10 mm 裂缝时,跨中截面底板拉应力增长幅度为 38.4%,最大拉应力为 2.38 MPa.当裂缝开裂宽度从 0.10 mm 增大到 0.20 mm 过程中,中跨跨径 3/8 截面处梁体底板拉应力增量最大,从 1.21 MPa 变化到 1.42 MPa,应力增长 0.21 MPa,增长率 17.4%,说明开裂引起了截面应力重新分布,应力由损伤截面向两侧进行转移.随着裂缝开展宽度的增加,中跨跨径 1/4 截面处腹板主拉应力增

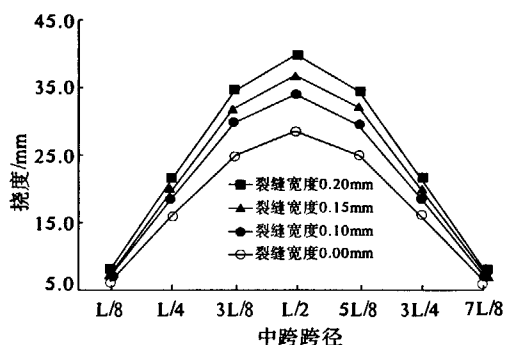


图 2 中跨截面挠度随裂缝宽度的变化规律

Fig.2 Deflection of mid-span section with different cracks width

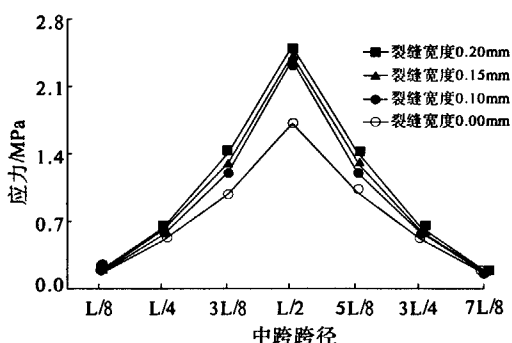


图 3 中跨截面底板拉应力随裂缝宽度的变化规律

Fig.3 Tensile stress of bottom slab for mid-span section with different cracks width

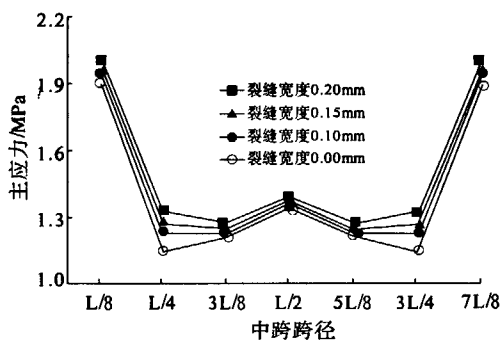


图 4 中跨截面腹板主拉应力随裂缝宽度的变化规律

Fig.4 Principal tensile stress of web for mid-span section with different cracks width

长幅度最大,从 1.22 MPa 变化到 1.32 MPa,应力增大 0.10 MPa,应力增长率 8.2%.可见,裂缝宽度变化对梁体截面中性轴附近处腹板主拉应力影响程度较小.

2.2 裂缝开裂高度对强度及刚度的影响

为了分析底板裂缝开展高度对梁体应力及挠度的影响,分别以梁体开裂高度为 1,5,10,15,20 mm 5 种情况进行模拟分析,梁体截面挠度、底板拉应力及腹板主拉应力随裂缝高度变化的曲线如图 5~7 所示.

由图5~7分析可知,当跨中截面裂缝开展高度由1 mm增大到20 mm过程中,中跨截面挠度随之增大,其中跨中挠度增量最大,从39.7 mm变化到44.3 mm,挠度增大4.6 mm,增长率11.6%。随着裂缝开展高度的增加,中跨跨径3/8截面处梁体底板拉应力增量最大,从1.42 MPa变化到1.60 MPa,应力增大0.18 MPa,应力增长率12.7%。随着裂缝开展高度的增加,梁体跨中截面处腹板主应力的变化幅度较小,增长率仅为1.5%;中跨跨径1/4截面处腹板主应力增幅最大,增长率为3.8%。

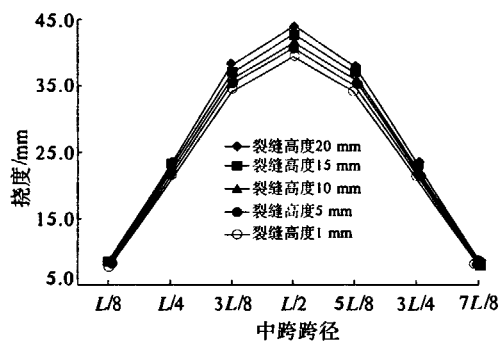


图5 中跨截面挠度随裂缝高度的变化规律

Fig.5 Deflection of mid-span section with different cracks height

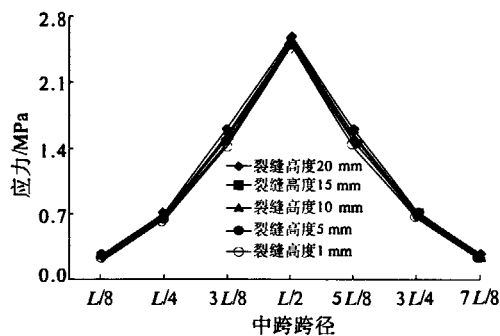


图6 中跨截面底板拉应力随裂缝高度的变化规律

Fig.6 Tensile stress of bottom slab for mid-span section with different cracks height

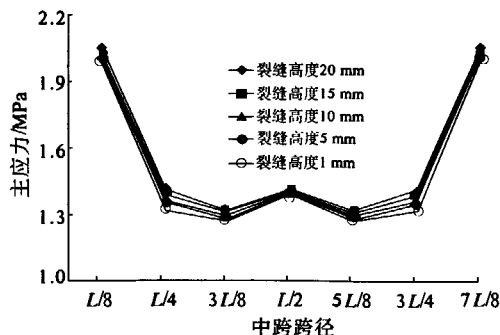


图7 中跨截面腹板主拉应力随裂缝宽度的变化规律

Fig.7 Principal tensile stress of web for mid-span section with different cracks height

2.3 裂缝条数对强度及刚度的影响

为了分析裂缝分布范围对梁体强度及刚度的影响规律,分别以梁体开裂1条、2条、3条、4条、5条裂缝5种情况进行模拟分析,梁体截面挠度、底板拉应力及腹板主拉应力随裂缝条数变化的曲线如图8~10所示。

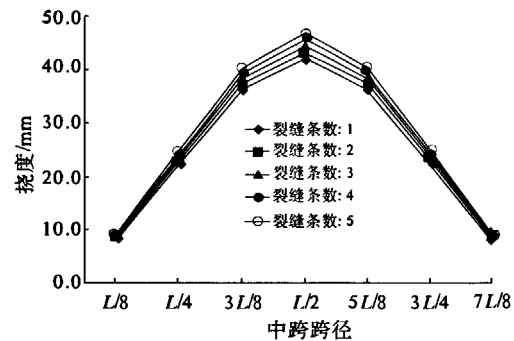


图8 中跨截面挠度随裂缝条数的变化规律

Fig.8 Deflection of mid-span section with different number of cracks

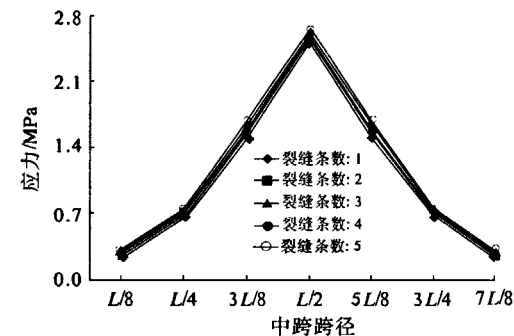


图9 中跨截面底板拉应力随裂缝条数的变化规律

Fig.9 Principal tensile stress of web for mid-span section with different number of cracks

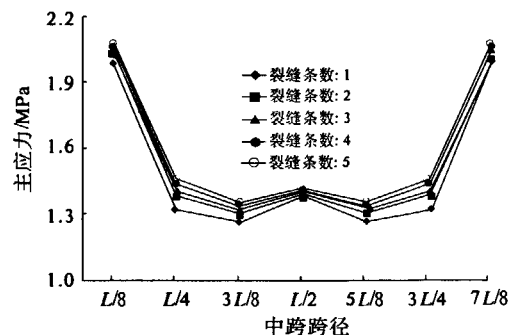


图10 中跨截面腹板主拉应力随裂缝条数的变化规律

Fig.10 Principal tensile stress of web for mid-span section with different number of cracks

由图8~10可知,在设计荷载最不利布载下,当截面底板裂缝条数从1条增加到5条过程中,

跨中挠度增量最大,从41.9 mm变化到46.6 mm,挠度增大4.7 mm,增长率11.2%。当截面底板裂缝分布范围逐渐扩大时,中跨跨径3/8截面处梁体底板拉应力增量最大,从1.51 MPa变化到1.68 MPa,应力增长0.17 MPa,增长率11.3%。随着裂缝条数的增加,梁体截面腹板主应力最大及最小增量分别为6.9%,2.2%。可见,随着裂缝条数的增加,即损伤范围的扩展,梁体截面拉应力自开裂高应力区向低应力区转移;底板裂缝对主应力的影响程度较小;梁体挠度随着拉应力的增长逐渐增大。

3 结论

带裂缝工作的预应力混凝土箱梁结构性能会随着裂缝宽度的增大、高度的上升、条数的增加而逐渐下降。开裂造成混凝土、预应力钢筋、普通钢筋应力状态的改变,导致结构刚度的变化,从而对桥梁整体结构承载能力产生影响。综合上述分析可知,在裂缝特征参数中,裂缝宽度变化对桥梁结构强度及刚度的影响程度最大,裂缝高度及条数对其影响相对较小,其中后两者对梁体的影响程

度基本相当。

参考文献:

- [1] 龙佩恒. PC连续箱梁桥开裂的数值分析方法[J]. 北京建筑工程学院学报, 2007, 23(4): 5-8.
- [2] 胡成, 曹三鹏, 吴元. 某PC连续箱梁裂缝成因及防治措施[J]. 合肥工业大学学报, 2006, 29(7): 898-901.
- [3] 廖娟, 叶贵如, 徐兴. 预应力混凝土箱形连续梁桥裂缝成因分析及对加固方案的评价[J]. 中国公路学报, 2004, 17(1): 62-65.
- [4] VLADIMIR, ZDENEK P. BAZANT, MILOS, et al. Box girder bridge deflections[J]. ACI Concrete International, 2006, 28(1): 55-63.
- [5] JTG D62—2004, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [6] 任重. ANSYS实用分析教程[M]. 北京: 北京大学出版社, 2003.
- [7] JTG D60—2004, 公路桥涵设计通用规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [8] 张兆宁, 贺拴海, 赵煜. 基于应力控制箱梁截面设计数值模拟分析[J]. 郑州大学学报: 工学版, 2010, 31(6): 66-67.

Analysis of the Influence of Transverse Cracks of Bottom Slab for Box Girder Strength and Stiffness

ZHANG Zhao-ning^{1,2}, HE Shuan-hai¹, ZHAO Yu¹

(1. School of Highway, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. School of Civil Engineering, Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China)

Abstract: Cracks and other damage problem are often found in some parts of pre-stressed concrete continuous box girder bridge, which has a direct impact on the usability, durability and security of the bridge. In order to find out the change regularity of the strength and stiffness for the damaged bridge and provide the basis for the safety assessment, repair and reinforcement of damaged bridge, the paper establishes the finite element model and analyzes the strength and stiffness condition under different parameters, such as cracks width, cracks height and cracks number of the bottom slab of a pre-stressed concrete continuous rigid frame bridge. The analysis result shows that the bearing capacity of the damaged bridge decreases with the increase of cracks width, cracks height and cracks number. Among parameters of cracks, more cracks width than other two parameters has an effect on the strength and stiffness of the damaged bridge. Cracks height and number affect the bearing capacity of the damaged bridge equally.

Key words: box girder; crack; simulation; strength; stiffness