

# 空心板梁桥单板受力数值分析及判定准则研究

何弘, 李培骏

(四川公路工程咨询监理有限公司, 四川 成都 610000)

**摘要:** 针对空心板梁桥铰缝破坏导致桥梁出现单板受力的现象, 运用 MIDAS/FEA 建立有限元模型, 分析铰缝开裂对桥梁跨中截面荷载横向分布的影响, 并通过数据回归分析得到加载板的荷载横向分布系数随铰缝开裂长度的变化, 采用等效面积法得到桥梁出现单板受力时铰缝开裂长度临界值, 为空心板梁桥日常养护检查中定量判定单板受力问题提供依据。

**关键词:** 桥梁; 空心板梁桥; 单板受力; 荷载横向分布; 数值分析; 判定准则

中图分类号: U441

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2020)05-0085-04

装配式空心板梁桥是中国公路和城市道路中、小跨径桥梁的主要形式, 铰缝、桥面铺装的横向连接作用越好, 桥梁的横向整体性越强。若桥梁之间横向连接构造设计不当, 加上运营期间超限、超载车辆的长期冲击, 将出现单板受力现象, 严重危害桥梁结构的安全性和耐久性。该文采用有限元计算软件 MIDAS/FEA, 通过研究空心板梁桥跨中截面荷载横向分布系数随铰缝开裂长度的变化, 得到空心板梁桥出现单板受力时铰缝开裂长度临界值, 为定量判定单板受力提供依据。

## 1 有限元模型的建立

### 1.1 模型设计

选用《公路桥涵通用图 装配式钢筋混凝土简支板桥上部构造(1 m 板宽)》中编号 36-33、跨径 10 m、斜度为零、荷载等级为公路—I 级的结构为原型, 按照几何相似常数  $CL=1/2$  对结构进行缩尺后建立模型, 梁板和铰缝尺寸见图 1。

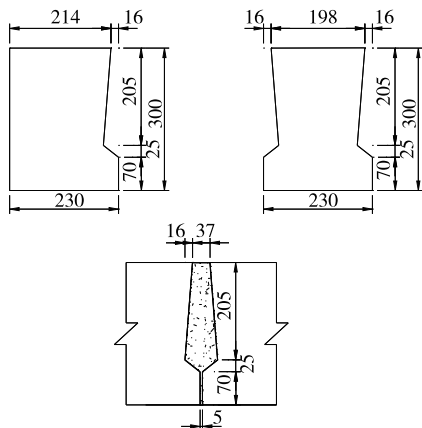


图 1 模型的尺寸(单位: cm)

### 1.2 有限元计算模型

根据模型设计图纸, 采用 MIDAS/FEA 建立空间有限元模型, 将结构划分成不同的网格组, 采用四面体网格(见图 2、图 3)。

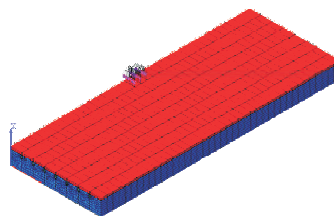


图 2 有限元模型

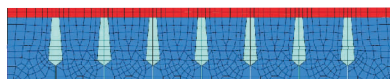


图 3 网格划分

## 2 铰缝开裂长度对横向分布的影响

如图 4 所示, 运用有限元模型分别模拟边铰缝(1# 铰缝)从跨中向两侧对称开裂、次边板(2# 板)两侧铰缝(1#、2# 铰缝)从跨中向两侧同步对称开裂和中板(4# 板)两侧铰缝(3#、4# 铰缝)从跨中向两侧同步对称开裂 3 种工况, 分析铰缝开裂长度对桥梁

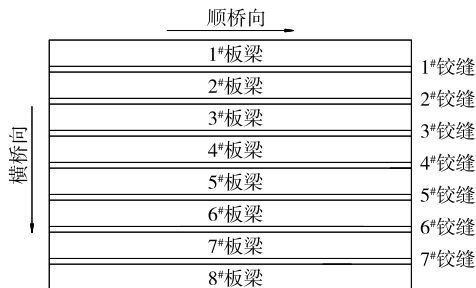


图 4 板梁编号示意图

跨中截面荷载横向分布的影响。

以每个板梁的挠度与总挠度之比作为横向分布系数。计算步骤如下:1) 提取各板梁跨中截面下缘在竖向荷载作用下挠度沿横向的分布情况;2) 在每块板梁区间内对竖向变形进行积分,得到单块板梁竖向变形积分面积,然后除以板宽,得到单块板的平均竖向变形值  $f_i$  (见图 5);3) 根据式(1)计算某种荷载工况作用下横向分布系数。

$$\eta_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} \quad (1)$$

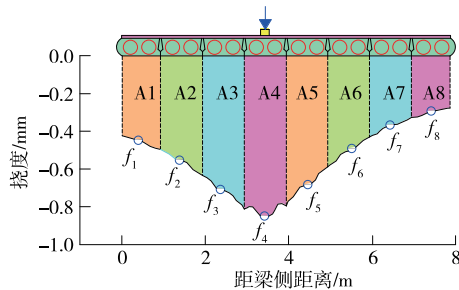


图5 横向分布计算过程

边铰缝(1# 铰缝)从跨中向两侧对称开裂到不同长度时,在边板(1# 板)跨中施加 6 t 竖向集中荷载,各板梁下缘跨中截面荷载横向分布系数计算值见表 1,1# 铰缝不同开裂长度对板梁跨中截面荷载横向分布系数的影响见图 6。

表 1 1# 铰缝开裂时荷载横向分布系数计算结果

板号	1# 铰缝开裂到不同长度时的荷载横向分布系数					
	0.0	0.2L	0.4L	0.6L	0.8L	1.0L
1	0.190	0.213	0.245	0.292	0.404	0.712
2	0.165	0.165	0.163	0.157	0.143	0.041
3	0.145	0.142	0.139	0.122	0.110	0.041
4	0.125	0.120	0.118	0.103	0.090	0.041
5	0.110	0.109	0.103	0.092	0.077	0.041
6	0.097	0.094	0.090	0.078	0.060	0.041
7	0.087	0.082	0.078	0.070	0.059	0.041
8	0.078	0.072	0.069	0.068	0.054	0.041

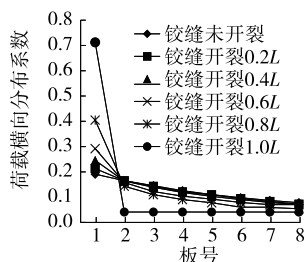


图6 1# 铰缝不同开裂程度时的荷载横向分布系数

次边板(2# 板)两侧铰缝(1#、2# 铰缝)从跨中向两侧同步对称开裂到不同长度时,在次边板(2# 板)跨中施加 6 t 竖向集中荷载,各板梁下缘跨中截面荷载横向分布系数计算结果见表 2,边铰缝不同开裂长度对板梁跨中截面荷载横向分布系数的影响见图 7。

表 2 2# 板两侧铰缝同步对称开裂时荷载横向分布系数计算结果

板号	2# 板两侧铰缝开裂到不同长度时的荷载横向分布系数					
	0.0	0.2L	0.4L	0.6L	0.8L	1.0L
1	0.168	0.165	0.163	0.159	0.153	0.126
2	0.157	0.164	0.189	0.241	0.335	0.690
3	0.144	0.142	0.137	0.125	0.105	0.033
4	0.125	0.127	0.123	0.114	0.096	0.031
5	0.116	0.116	0.111	0.103	0.087	0.030
6	0.105	0.103	0.100	0.093	0.080	0.029
7	0.095	0.093	0.091	0.084	0.073	0.029
8	0.087	0.085	0.083	0.077	0.067	0.029

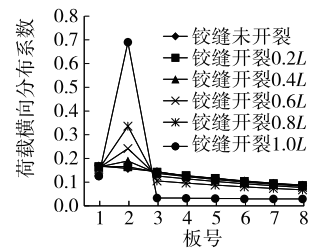


图7 2# 板两侧铰缝不同开裂程度时的荷载横向分布系数

中板(4# 板)两侧铰缝(3#、4# 铰缝)从跨中向两侧同步对称开裂到不同长度时,在中板(4# 板)跨中施加 6 t 竖向集中荷载,各板梁下缘跨中截面荷载横向分布系数见表 3,边铰缝不同开裂长度对板梁跨中截面荷载横向分布系数的影响见图 8。

从图 6~8 可看出:加载板两侧铰缝从跨中向两侧同步对称开裂时,在铰缝开裂初期,开裂长度对跨

表 3 4# 板两侧铰缝同步对称开裂时荷载

横向分布系数计算结果

板号	4# 板两侧铰缝开裂到不同长度时的荷载横向分布系数					
	0.0	0.2L	0.4L	0.6L	0.8L	1.0L
1	0.127	0.124	0.119	0.111	0.111	0.040
2	0.129	0.128	0.124	0.117	0.117	0.043
3	0.132	0.132	0.129	0.122	0.123	0.045
4	0.132	0.141	0.167	0.220	0.312	0.690
5	0.128	0.128	0.125	0.117	0.117	0.045
6	0.122	0.121	0.117	0.110	0.110	0.045
7	0.116	0.114	0.110	0.103	0.103	0.045
8	0.111	0.109	0.104	0.096	0.096	0.045

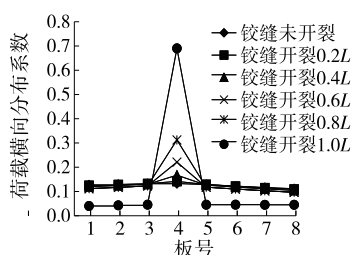


图 8 4# 板两侧铰缝不同开裂程度时的荷载横向分布系数

中荷载横向分布的影响并不敏感;但铰缝开裂到一定长度后,加载板所分担的荷载将成倍增长,荷载有向单板集中的趋势,即会出现单板受力现象。

### 3 单板受力判别指标

为得到加载板荷载横向分布系数随铰缝开裂长度的发展规律,根据最小二乘法,采用五次多项式函数  $y = ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex + f$  对加载板的荷载横向分布系数进行回归分析。不同荷载工况下拟合情况见图 9~11。

由于荷载横向分布系数随铰缝开裂长度的发展呈指数式增长,采用等效面积法作为寻找临界铰缝开裂长度的计算方法,按照曲线和横轴围拢的面积与两折线和横轴围拢的面积相等计算而得。该方法需满足两个条件:一是第一段直线与曲线起点相切,二是两者围拢的面积相等。将两折线的交点对应的铰缝开裂长度作为单板受力临界判别指标(见图 12~14、表 4)。

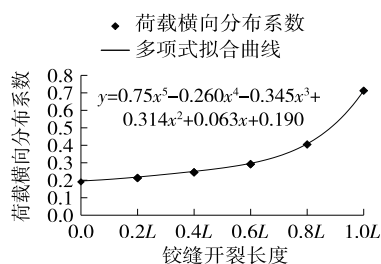


图 9 1# 铰缝开裂时 1# 板荷载横向分布系数的发展过程

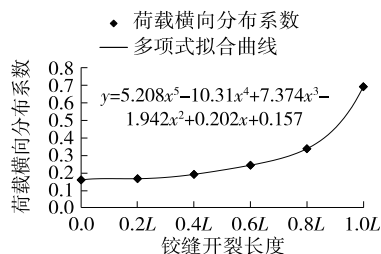


图 10 2# 板两侧铰缝同步对称开裂时 2# 板荷载横向分布系数的发展过程

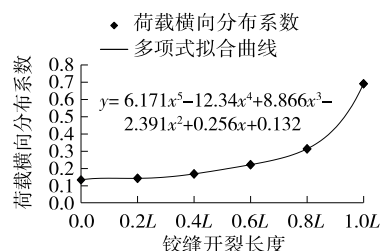


图 11 4# 板两侧铰缝同步对称开裂时 4# 板荷载横向分布系数的发展过程

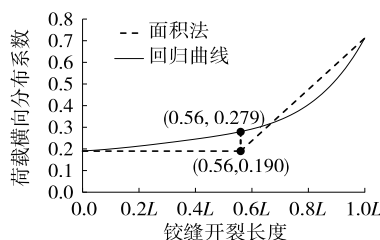


图 12 1# 板单板受力时 1# 铰缝开裂长度临界值

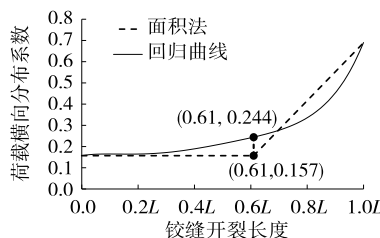


图 13 2# 板单板受力时两侧铰缝开裂长度临界值

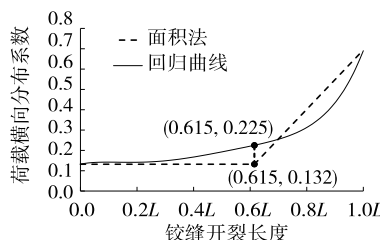


图 14 4# 板单板受力时两侧铰缝开裂长度临界值

表 4 等效面积法计算的铰缝开裂长度临界值

开裂位置	临界开裂长度	荷载横向分布系数	荷载横向分布系数增幅/%
1# 铰缝	0.560L	0.279	46.3
1#、2# 铰缝	0.610L	0.244	54.7
3#、4# 铰缝	0.615L	0.225	69.5

从表 4 可以看出:中板和次边板双侧铰缝同步对称开裂到  $0.61L \sim 0.615L$  时,在中板和次边板跨中加载,其荷载横向分布系数比原值增长  $54.7\% \sim 69.5\%$ ;边铰缝开裂达到  $0.56L$  时,在边板跨中加载,其荷载横向分布系数比原值增长  $46.3\%$ 。

## 4 结论

运用 MIDAS/FEA 建立有限元模型分析铰缝开裂对桥梁跨中截面荷载横向分布的影响,并应用数据回归得到加载板的横向分布系数随铰缝开裂长度呈指数式增长,得到加载板两侧铰缝开裂长度超过  $0.615L$  时,桥梁已出现单板受力特征,此时结构处于不安全状态,应尽早进行维修加固。

### 参考文献:

- [1] 冷艳玲,张劲泉,程寿山,等.装配式混凝土空心板梁桥单板受力问题的数值解析[J].公路交通科技,2013,30(5):63-66.
- [2] 冷艳玲.装配式空心板梁桥铰缝开裂及整体化加固研究[D].北京:交通运输部公路科学研究院,2012.

\*\*\*\*\*  
(上接第 54 页)

- [4] SETHY B P,PATRA C R,SIVAKUGAN N,etal. Application of ANN and ANFIS for predicting the ultimate bearing capacity of eccentrically loaded rectangular foundations[J].International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering,2017,35(3):4-17.
- [5] 李震,默杨,任连伟,等.临坡条形基础下地基极限承载力多因素影响规律的数值分析[J].水利水电技术,2018,49(7):37-44.
- [6] 尹鑫,周海祚,郑刚.地震作用下临近边坡的条形基础

\*\*\*\*\*  
(上接第 84 页)

- [2] 伏亚锋,闫忠斌.刚构桥施工监控成桥线形温度因素控制分析[J].公路交通科技(应用技术版),2019(4):174-177.
- [3] 罗书舟,张谢东.窄幅大跨连续梁桥线形控制研究[J].公路与汽运,2019(3):128-131.
- [4] 高大峰,董旭,陈凯旋,等.预应力混凝土连续箱梁桥温度效应研究[J].公路工程,2016,41(2):80-83.
- [5] 田仲初,曹少辉,张恒,等.温度对空心薄壁高墩垂直度的影响分析[J].公路与汽运,2010(5):125-128.
- [6] 陈建平,戴桂华,李德建.西水大桥日照温度对斜交高墩施工线形影响及其控制方法研究[J].公路工程,2013,38(5):13-17+66.
- [7] 戴公连,唐宇,刘勇,等.高铁圆端形空心高墩日照温度场数值分析[J].桥梁建设,2016,46(6):67-72.
- [8] 刘永健,刘江,张宁.桥梁结构日照温度作用研究综述

- [3] 王砚桐.高等级公路中“单板受力”现象及原因分析[J].公路交通技术,2004(4):29-32.
- [4] 交通部专家委员会.公路桥涵通用图 装配式钢筋混凝土简支板桥上部构造(1 m 板宽)[M].北京:人民交通出版社,2006.
- [5] 赵慧.预应力砼空心板现场静载试验研究[J].公路与汽运,2019(2):125-127.
- [6] 赵曼,王新敏,赵雅克.板梁桥“单板受力”的数值分析[J].中国安全科学学报,2004,14(11):25-29.
- [7] 李鹏程,周广利,渠广镇,等.装配式空心板桥铰缝破坏原因分析[J].公路与汽运,2018(6):138-141.
- [8] 陈冠,殷新锋,刘扬.静载作用下桥梁结构受力分析[J].公路与汽运,2018(2):144-148.

收稿日期:2019-04-17

- \*\*\*\*\*
- 极限承载力研究[J].岩土工程学报,2017,39(增刊2):95-98.
  - [7] 江杰,陈骏,肖萌,等.南宁软岩地基大直径灌注桩极限承载力预测[J].长江科学院院报,2017,34(12):73-77+83.
  - [8] 黄诗渊,王俊杰,康凯,等.“边坡-地基”的边坡失稳极限荷载与地基极限承载力研究[J].中国科技论文,2018,13(1):12-16+22.

收稿日期:2019-11-19

- \*\*\*\*\*
- [J].土木工程学报,2019,52(5):59-78.
  - [9] 中交公路规划设计院.公路桥涵设计通用规范:JTG D60-2004[S].北京:人民交通出版社,2004.
  - [10] 郑羽,王宗林,高庆飞,等.大跨连续箱梁桥施工期温度场测定及其影响分析[J].科学技术与工程,2012,12(22):5672-5675+5684.
  - [11] 林强.连续梁桥悬臂现浇施工关键技术与控制方法研究[D].南京:东南大学,2016.
  - [12] 包世军,梁权,阚磊,等.PC 连续梁桥悬臂现浇施工控制温度效应研究[J].现代交通技术,2017,14(2):21-25.
  - [13] 中交第一公路工程局有限公司.公路桥涵施工技术规范:JTG/T F50-2011[S].北京:人民交通出版社,2011.

收稿日期:2019-12-11