

文章编号: 0451-0712(2006)12-0009-05

中图分类号: U448.42

文献标识码: A

# 整体式桥台的曲线箱梁剪滞效应研究

彭大文<sup>1</sup>, 林志平<sup>2</sup>, 邓丽琼<sup>2</sup>, 许 晟<sup>2</sup>

(1. 上海应用技术学院土木与建筑工程系 上海市 200235; 2. 福州大学土木工程学院 福州市 350002)

**摘 要:** 针对整体式桥台的曲线箱梁固有的力学特性, 建立有限元模型, 对在不同荷载作用下剪滞系数的横向和纵向分布规律进行研究, 并将结果与普通简支曲线箱梁进行比较。通过有机玻璃模型试验验证了有限元建模分析的可行性、准确性, 同时做了参数分析, 提出了供工程设计参考的实用剪滞系数计算图表。分析结果表明: 该类箱梁剪滞分布与普通简支曲线箱梁的不同, 主要在于剪滞系数内侧大而外侧小, 以及在桥台附近截面出现了负剪滞现象; 整体式桥台的等代桩长、桥台纵向抗弯刚度、宽跨比及箱梁肋板间距等, 是影响该类桥梁剪滞系数的主要因素。

**关键词:** 桥梁; 整体式桥台; 曲线箱梁; 剪滞效应; 有限元法; 模型试验; 实用图表

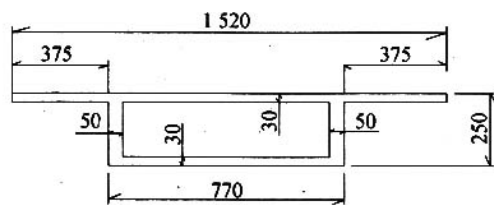
整体式桥台桥梁取消伸缩缝, 实现了全寿命周期内对耐久性和可持续性的要求, 其优越的使用性能和零维护的设计目标得到桥梁工程师的青睐, 在我国也得到越来越多的研究和应用。而箱形梁结构轻、抗扭刚度大, 是曲线桥首选的结构形式。整体式桥台的曲线箱梁同时具有整体式桥台桥梁和曲线箱梁的结构特点, 受力性能复杂, 相关的研究和实践少见报道。剪滞效应是箱梁典型的力学特性, 在设计中若未对其做周全的分析, 将会影响桥梁的使用安全。但我国现行桥梁设计规范中, 缺乏对箱梁剪滞效应的具体规定, 更没有对整体式桥台的曲线箱梁剪滞计算做出指导, 也未见相关研究文献。为此, 在推广和应用整体式桥台的桥梁中, 深入研究该类桥梁的剪滞效应具有重要的现实意义。

本文采用 ANSYS 程序, 建立算例的有限元模型, 分析了在不同荷载作用下主要控制截面横向及纵向剪滞效应的分布规律, 并将结果与普通简支曲线箱梁进行比较。通过有机玻璃模型试验, 验证了有限元建模分析的可行性、准确性, 同时作了参数分析。研究结果有助于对该类桥梁受力性能的全面了解, 可供工程设计参考。

## 1 算例与有限元模型

为了与普通简支曲线箱梁进行比较, 本文选用

文献[1]中的算例为原型, 改变端部的边界条件, 成为整体式桥台的曲线箱梁, 进行有限元建模。单跨跨径为 40 m, 曲率半径  $R=100$  m, 圆心角为  $23.1^\circ$ , 主梁横截面尺寸如图 1 所示。桥台厚 2 m, 高 4.5 m, 桩基础采用 4 根截面尺寸为  $0.8$  m  $\times$   $1.0$  m 的矩形桩。箱梁、桥台及桩基的模拟分别选用 Shell63、Solid45 及 Beam188 单元。采用约束方程方法, 考虑土—结构的相互作用, 并在等代桩长理论基础上建立了有限元计算模型, 如图 2 所示。有关等代桩长的基本理论详见文献[2]。



单位: cm

图 1 主梁横截面

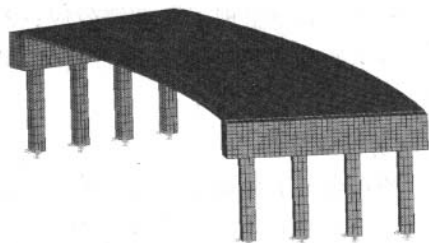


图 2 有限元模型

## 2 计算结果与分析

由于弯曲、扭转相互间的耦合,使得曲线箱梁的剪滞效应分析非常复杂。本文剪滞系数的计算采用文献[3]、文献[4]提出的实用方法,即翼板实际应力图的面积除以翼板的宽度,得到一个相似于初等梁理论求得的应力平均值,再用它去除各点的实际应力,得到相应的“广义剪滞系数”。为方便讨论,下文延用“剪滞系数”的提法。

### 2.1 横向剪滞效应分析

图3、图4给出了普通简支曲线箱梁和整体式桥台的曲线箱梁,在全跨肋板沿纵向施加均布荷载及肋板处施加对称集中荷载时,横向剪滞系数的分布(限于篇幅,仅给出跨中和桥台处截面的分布)。

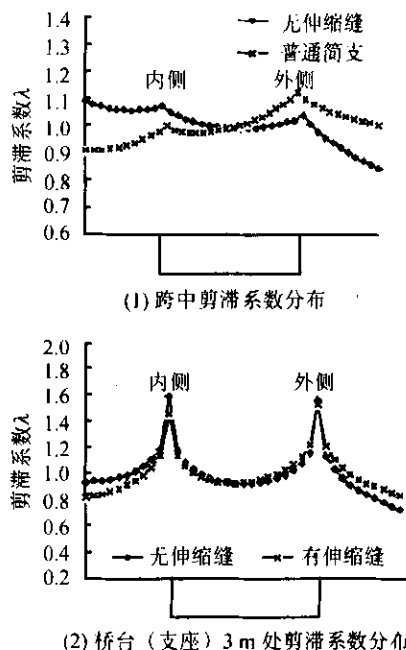


图3 均布荷载作用下横向剪滞系数分布

从图3、图4可看出:(1)后者内侧剪滞系数大于外侧,而前者则相反;(2)在靠近桥台或支座处,后者由于边界条件影响而出现了负剪滞效应;(3)集中荷载作用下跨中的剪滞效应大于均布荷载,但集中荷载的影响区域较均布荷载小。

### 2.2 纵向剪滞效应分析

图5、图6给出了普通简支曲线箱梁桥和整体式桥台的曲线箱梁桥在均布和集中荷载下纵向(由于对称而取半跨)剪滞系数的分布(限于篇幅,仅给出内、外腹板处的分布)。

由图5、图6可知:(1)均布荷载作用下,二者在正剪滞区内变化较小,但后者在桥台附近由于边界条

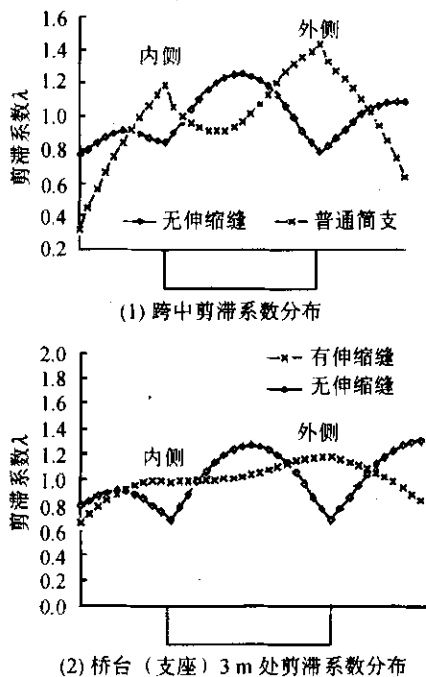


图4 集中荷载作用下横向剪滞系数分布

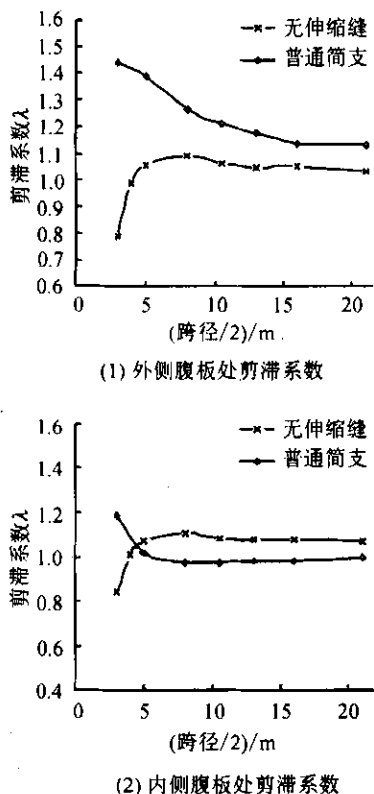
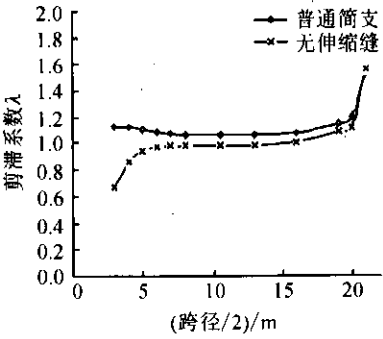
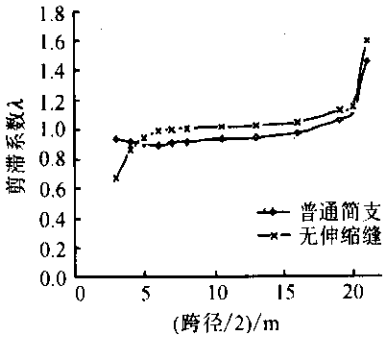


图5 均布荷载作用下纵向剪滞系数分布

件的改变而受到负剪滞效应的影响;(2)集中荷载作用下,二者在作用点(跨中)附近剪滞效应显著。前者在其余区域变化很小,而后者在靠近桥台处也同样出现了负剪滞效应。



(1) 外侧腹板处剪滞系数

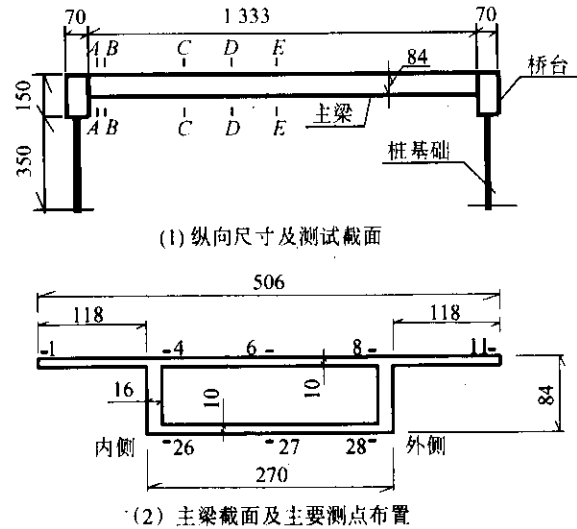


(2) 内侧腹板处剪滞系数

图 6 集中荷载作用下纵向剪滞系数分布

3 有机玻璃模型试验及分析验证

为了验证上述有限元计算方法的可行性和准确性,进行了有机玻璃模型试验。模型以算例为原型,根据几何相似原理,按 1/30 比例缩小,模型尺寸如图 7 所示。试验实测了 5 个截面,每个截面布置 28 个测点。



单位:mm

图 7 有机玻璃模型设计

共进行了 5 种加载工况的试验,限于篇幅,仅列出工况一各测试截面剪滞系数的计算值与实测值的比较情况,见表 1。其中,加载截面为 E—E,所加荷载为对称集中荷载。

表 1 工况一主要测试截面剪滞系数比较

测试截面	测点位置	内侧腹板		板中心	外侧腹板	
	对应测点号	3	4	6	8	9
B—B	计算值	0.764	0.795	1.282	0.710	0.703
	实测值	0.597	0.437	1.315	0.596	0.324
C—C	计算值	1.020	1.010	1.037	0.994	0.971
	实测值	1.030	0.978	1.010	0.931	1.019
D—D	计算值	1.040	1.026	1.014	1.003	0.975
	实测值	1.014	1.011	1.001	0.957	0.996
E—E	计算值	1.176	1.164	0.940	1.157	1.128
	实测值	1.223	1.169	0.869	1.146	1.214

从表 1 可以看出,有限元计算值与实测值的结果吻合良好,证明本文的有限元分析方法可行、准确。

4 结构参数影响分析

4.1 结构边界条件参数

4.1.1 等代桩长

整体式桥台的曲线箱梁桥各控制截面剪滞系数随等代桩长的变化,如图 8 所示。

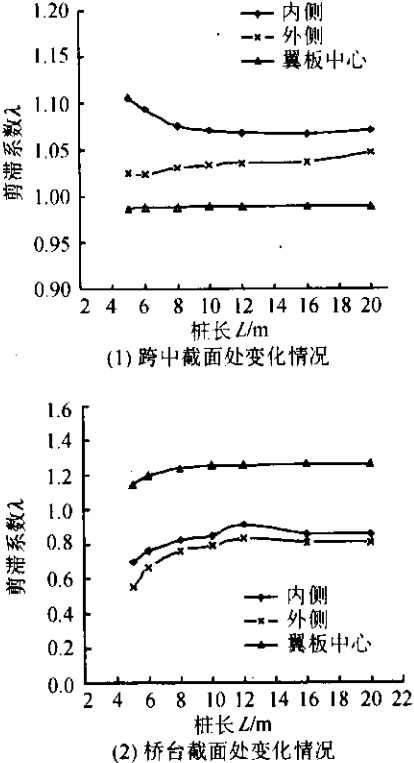


图 8 剪滞系数随等代桩长的变化

由图 8 可知:(1)当等代桩长大于 10 m 时,剪滞系数变化不大;(2)当等代桩长小于 10 m 时,随着桩长的减小,正剪滞区内剪滞系数变化较大,但变幅均小于 8%;(3)等代桩长在小于 10 m 范围内变化时,桥台处截面的负剪滞效应受影响较大,随着桩长减小,剪滞系数峰值最大变幅为 10.2%。

#### 4.1.2 桥台纵向抗弯刚度

桥台的纵向相对抗弯刚度以  $\bar{I}$  表示,即改变后桥台的抗弯刚度与原模型抗弯刚度的比值<sup>[5]</sup>。分别取  $\bar{I}=0.04, 0.2, 1, 2.5$  进行分析,得到剪滞系数随  $\bar{I}$  变化的曲线如图 9 所示。

从图 9 中可看出:(1)桥台纵向抗弯刚度的变化对正剪滞区域的剪滞系数影响不大;(2)桥台纵向抗弯刚度的变化对负剪滞效应影响较大,随着  $\bar{I}$  的减小,内、外侧剪滞系数增大,而翼板中心剪滞系数减小。

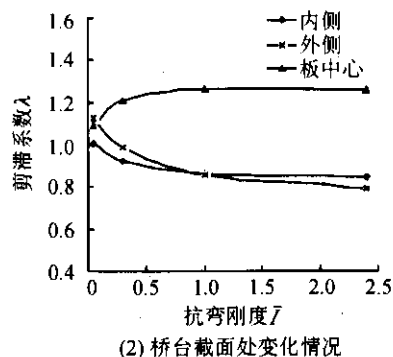
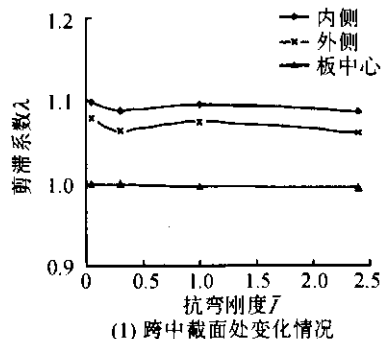


图 9 剪滞系数随桥台抗弯刚度的变化情况

## 4.2 箱梁构造参数

### 4.2.1 宽跨比

取半箱宽  $b=3.6$  m, 跨径  $L$  分别为 20 m、30 m、40 m、60 m, 则  $2b/L=0.36, 0.24, 0.18, 0.12$ , 分析得到剪滞系数随宽跨比的变化曲线如图 10 所示。

由图 10 可知:(1)该类桥梁剪滞效应受宽跨比的影响较大;(2)桥台处剪滞系数峰值不随宽跨比变

化,但随着宽跨比的增大,负剪滞效应有所削弱。

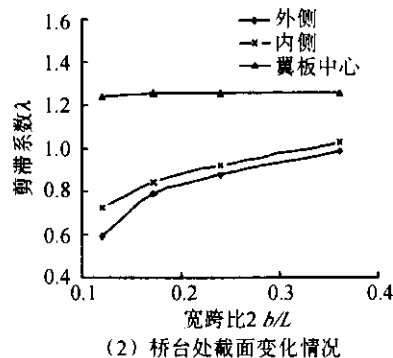
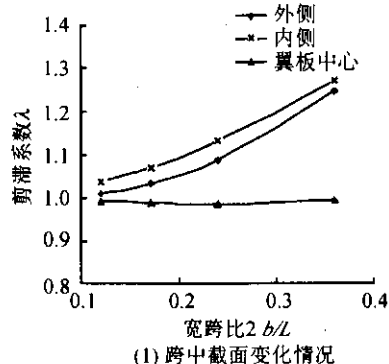


图 10 剪滞系数随宽跨比变化情况

### 4.2.2 肋板间距

取箱梁肋板间的距离为 1.6 m、2.4 m、3.6 m、4.8 m 进行分析,结果如图 11 所示。

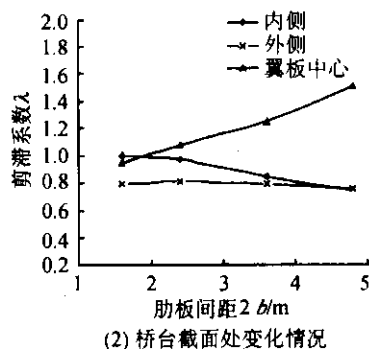
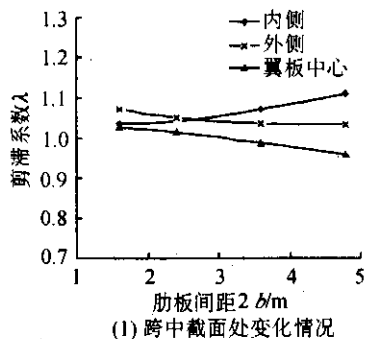


图 11 剪滞系数随肋板间距的变化情况

从图 11 中可看出:(1)随着箱梁肋距的增大,内、外侧腹板与翼板中心剪滞系数均有明显变化;(2)箱梁肋距对负剪滞效应的影响相对较大。随着箱梁肋板间距的增大,内外侧剪滞系数的差距在减小,但与翼板中心的差距却在增大。因此,箱梁肋板间距是影响该类桥梁剪滞效应的一个重要参数。

本文还对桩的纵向抗弯刚度、桥台高度、台后土压力、曲率半径等做了参数分析,结果表明这 4 个参数是影响该类桥梁剪滞效应的次要因素,影响较小。

5 实用计算图表

本文考虑对该类桥梁剪滞系数影响最大的两个参数即宽跨比和肋板宽度,针对工程中常用跨径的该类桥梁,计算、编制了剪力滞实用计算图表,见表 2 和表 3,供工程设计参考。

其中,截面均采用单箱单室等截面,顶底板及腹板厚度根据设计规范取值,曲率半径为 100 m; $h$  表示箱梁高度, $b$  表示  $1/2$  箱梁肋板间距,翼板悬臂宽也取为  $b$ , $2 b/L$  表示宽跨比;内、外侧分别指内、外侧肋板与顶板交界处。

表 2 跨中截面剪滞系数

跨径 $L/\text{m}$	$h/\text{m}$	$b/\text{m}$	$2 b/L$	荷载形式	剪滞系数		
					外侧	内侧	翼板中心
20	1.3	2.0	3.2	均布	1.07	1.1	0.981
				集中	1.37	1.4	0.918
30	1.9	2.5	2.7	均布	1.03	1.1	0.986
				集中	1.36	1.4	0.925
40	2.5	3.5	2.8	均布	1.04	1.1	0.989
				集中	1.41	1.5	0.921

6 结论

(1)使用 ANSYS 程序,选取 Shell63、Solid45、Beam188 三种单元,采用约束方程方法,并在等代桩长的理论基础上,建立有限元计算模型,进行整体式桥台曲线箱梁的剪滞分析是合理可行的。

表 3 桥台处截面剪滞系数

跨径 $L/\text{m}$	$h/\text{m}$	$b/\text{m}$	$2 b/L$	荷载形式	剪滞系数		
					外侧	内侧	翼板中心
20	1.3	2.0	3.2	均布	1.118	1.120 0	0.997
				集中	1.007	1.014	1.025
30	1.9	2.5	2.7	均布	1.109 9	1.111	1.015
				集中	1.008	1.009	1.042
40	2.5	3.5	2.8	均布	0.791	0.845	1.257
				集中	0.868	0.677	1.265

(2)整体式桥台的曲线箱梁剪滞系数的横向分布规律:在均布和集中荷载作用下,内侧剪滞系数大于外侧,桥台附近区域出现负剪滞效应,这也是该类桥梁剪滞分布与普通简支曲线箱梁的主要不同之处;集中荷载作用下跨中的剪滞效应大于均布荷载,但集中荷载的影响区域较均布荷载小。

(3)整体式桥台的曲线箱梁剪滞系数沿桥跨的变化规律:集中荷载作用下的正负剪滞影响区域都比较小,而均布荷载作用下纵向分布区域较均匀,并存在正负剪滞过渡区。

(4)等代桩长、桥台纵向抗弯刚度、宽跨比和箱梁肋板宽,是影响整体式桥台曲线箱梁剪滞效应的主要参数。

(5)在中小跨径的该类桥梁工程设计中,剪滞效应的考虑及剪滞系数的取值可借鉴本文提供的实用图表。

参考文献:

[1] 颜海. 弯箱梁剪力滞的变分分析及试验研究[D]. 福州大学土木工程学院,1998.

[2] 洪锦祥. 整体式桥台桥梁的简化计算模型与受力性能研究[D]. 福州大学博士学位论文,2005.

[3] 彭大文,王忠. 连续弯箱梁桥剪滞效应分析和实用计算方法研究[J]. 中国公路学报,1998,11(3).

[4] 张士铎,王文州. 桥梁工程结构中的负剪力滞效应[M]. 北京:人民交通出版社,2004.

[5] 李秀芳. 无伸缩缝桥梁的荷载横向分布系数研究[D]. 福州大学土木工程学院,2004.

文章编号: 0451—0712(2006)12—0014—04

中图分类号: U445. 469

文献标识码: B

# 崖门大桥索塔施工测量

王 永

(广东省长大公路工程有限公司第一分公司 番禺市 510000)

摘 要: 结合崖门大桥索塔的爬模施工,介绍了施工中模板和锚管的平面和高程控制,以及索塔施工的测量监控。

关键词: 斜拉桥; 索塔; 控制网; 测量控制; 锚管定位; 精度分析

## 1 崖门大桥概况

崖门大桥为广东省西部沿海高速公路上位于崖门入海口的一座大型桥梁,全长1 296 m。主桥为墩、塔、梁固结的单索面预应力混凝土箱梁斜拉桥,跨径组合为50 m+115 m+338 m+115 m+50 m,桥上索塔高77 m,为空心直塔,平面几何尺寸为6.6 m×3.6 m,索塔两侧各设25对斜拉索,见图1所示。崖门大桥位于台风活动强烈的地区,其中5月~8月尤为强烈,而索塔刚好在5月~9月施工,给索塔测量带来了很大难度,因此必需根据现有的施工条件制订出高精度的、可靠的施工测量方案。

## 2 建立施工测量控制网

崖门大桥12号和13号主墩都处于约800 m宽的崖门水道深水中,两边与两岸用50 mT梁连接,布设了如图2所示的平面控制网。为了达到规范要求,平面控制网采用国家二等边角网的方案进行施测。为了保证2个索塔标高的统一,具体实施是在2个承台上埋设钢筋,露出水泥面少许,将水准控制点标高引测至此,用2台N<sub>3</sub>精密水准仪配铟瓦钢尺,采用二等跨河水准联测。把跨河水准联测后的标高引测到施工完成后的0号块预埋钢筋上,作为0号块的水准控制点,并且定期对该点进行复测工作。

收稿日期:2006—06—18



# A Study on Shear Lag Effect for Integral Abutment and Curved Box Girders

PENG Da-wen<sup>1</sup>, LIN Zhi-ping<sup>2</sup>, DENG Li-qiong<sup>2</sup>, XU Sheng<sup>2</sup>

(1. Department of Civil Engineering and Architecture, Shanghai Institute of Technology, Shanghai 200235, China;

2. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** In this paper, finite element models are established to analyze the shear lag effect of integral abutment and curved box girders (IACBG). Different distribution laws of shear lag of IACBG are compared with the generic bridges. The accuracy of FEA method is proved by the plexiglass model test. The influence of structure parameters are analyzed and the practical tables calculating shear lag coefficient are provided. The rules of shear lag coefficients changing with the affecting factor are summarized. It is proved that the main affecting factors include: equivalent pile length, bending stiffness of abutment, ratio of width to span, distance of webs, etc.

**Key words:** bridge; integral abutment; curved box girder; shear lag effect; FEM; model test; practical table