

节段化小箱梁计算分析

李兴焮 陈力畅 刘 勋 胡 博 刘 瑞

重庆设计集团有限公司市政设计研究院

摘 要:近年来,我国节段预制拼装桥梁发展迅速,节段化小箱梁由于其运输便捷,施工简易的特点被广泛研究;本文为了深入分析节段化小箱梁的力学性能,以正交的简支预应力混凝土节段小箱梁为研究对象,用传统方法计算小箱梁桥的跨中荷载横向分布系数,并建立 Midas 模型进行整体分析,同时,基于接缝面键齿布置形式,建立胶接缝实体模型进行局部分析;结果表明:节段化小箱梁整体受力与整体预制小箱梁力学性能相似,验算内容均满足规范要求;胶接缝局部受力满足承载力要求。

关键词:小箱梁;节段化;荷载横向分布系数;有限元分析

1 前言

整体预制小箱梁构造合理、施工便捷、工程造价低,具有显著的经济效益,相较于传统 T 梁和空心板具有优良的截面形式和受力性能,因此在跨径 20~40m 的城市高架桥和公路桥梁中越来越多地被采用。

但对于山地城市,整体预制小箱梁重量大、长度长,而山地城市地形、路况复杂,导致运输困难;基于此,本文对节段化小箱梁进行了深入研究,用于解决山地城市地形路况复杂导致的构件运输困难等问题,

本文以重庆市节段化小箱梁研究为背景,通过整体及局部计算,分析节段化小箱梁的整体及局部受力性能,用于指导重庆市小箱梁结构设计。

2 计算思路

1) 计算原则

结构体系为后张法简支预应力混凝土小箱梁,按全预应力构件设计;

荷载横向分配系数采用刚性横梁法和刚接板(梁)法进行对比分析,取最大值控制设计。

2) 小箱梁尺寸参数

小箱梁跨径为 40m,梁高 2.02m,分为三个节段,各节段长分别为 13m、14m、13m。桥面宽度采用参数化表示,设计车道荷载等级为公路-I 级。

本文只对 40m 跨径的小箱梁中梁进行计算分析,同时荷载等级只考虑公路-I 级。

3 荷载横向分布计算

由于桥宽参数无法确定,因此本文采取单梁法进行计算,荷载横向分布系数通过分析不同桥宽下、不同计算方法下的计算结果,采用最不利值进行计算。

荷载横向分布系数计算时根据不同参数(车道数、中央分隔带宽度等)对桥梁断面布置进行排列组合,并在符合《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015)中第 4.3.1 条规定的前提下,采用刚接板(梁)法对所有断面组合情况进行计算,并以刚性横梁法进行复核。

采用 Midas civil Designer 中的横向分布系数计算程序进行计算,

计算方法采用刚接板(梁)法。

根据计算结果,Midas civil Designer 中横向分布系数计算程序可根据计算需求考虑车道横向折减系数,即在进行影响线加载时,多个车道应该按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015)^[1]中表 4.3.1-5 的规定进行折减,考虑车道横向折减系数的计算结果更接近实际情况。

考虑车道横向折减系数可分为两种情况,第一种,如 Midas civil Designer 横向分布系数计算程序中,在影响线加载之前进行车道折减,根据折减后的车道数进行影响线加载,从而计算横向分布系数;第二种则是在计算横向分布系数之前不考虑车道横向折减,横向分布系数计算完成后再直接乘以车道横向折减系数。

第一种计算方式更接近实际情况,横向分布系数更准确,第二种计算方式计算简便,与真实值有一定差异,本文推荐采用第一种计算方式。

经对比分析,横断面布置为 0.5m(护栏)+0.25m(路缘带)+4*3.25m(四车道)+0.25m(路缘带)+0.5m(护栏)+0.25m(路缘带)+4*3.25m(四车道)+0.25m(路缘带)+0.5m(护栏)=28.5m,梁的片数为 9 时,荷载横向分布系数最大为 0.95。

4 小箱梁整体受力分析

4.1 计算模型

根据箱梁构造形式及施工方式,利用有限元软件 Midas Civil 建立 40m 简支预应力混凝土小箱梁的单梁模型。

4.2 荷载及参数取值

模型所施加荷载主要包括结构自重、二期荷载、活载、温度荷载,其中各荷载参数取值根据实际情况取用。

桥梁施工方式为整体吊装,可分为 5 个阶段:梁段预制、存梁、现场拼装、整体吊装、二期恒载、十年收缩徐变。

4.3 荷载工况

为得到小箱梁整体受力情况,按照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2015)^[1]的规定,对成桥阶段桥梁所受荷载进行作用效应组合,并得到各荷载工况下的计算结果。

4.4 验算内容

节段化小箱梁受弯构件进行承载能力极限状态、正常使用极限状态以及构件应力计算时,均应计入接缝对受力性能的影响,其验

算结果应符合《公路装配式混凝土桥梁设计规范》(JTG/T 3365-05-2022)^[2]和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JT G 3362-2018)^[3]的相关规定,根据整体模型计算结果及规范要求的验算内容对小箱梁进行承载能力和正常使用极限状态进行验算,结果表明:小箱梁整体受力较好,验算满足规范要求。

5 接缝局部计算及分析

5.1 有限元模型

键齿胶接缝有限元模型以小箱梁分段接缝处截面腹板键齿尺寸大小为原型,截取单侧腹板 1/8 面积大小的接触面,采用 1:1 足尺模型进行三维实体建模。

为研究键齿数量对于胶接缝抗剪承载力的影响,分别建立一个单键齿和双键齿模型(接缝总面积相同)。

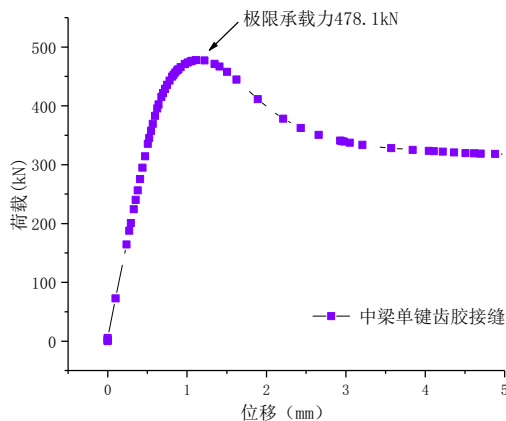
5.2 材料本构关系

C50 单轴受压及受拉本构均采用《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2010)中规定的混凝土单轴受压及受拉本构关系,钢筋本构采用理想弹塑性模型,

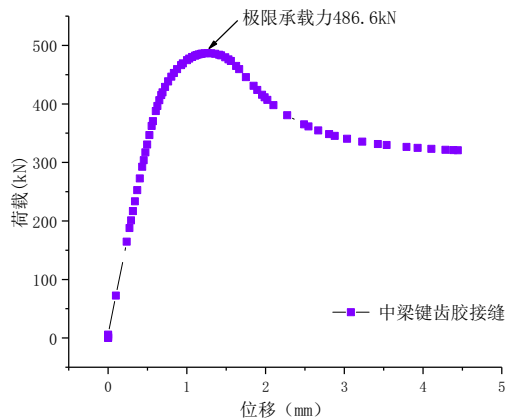
5.3 接缝有限元计算结果

1) 键齿数量分析

如下表所示:



(1) 单键齿模型抗剪承载力

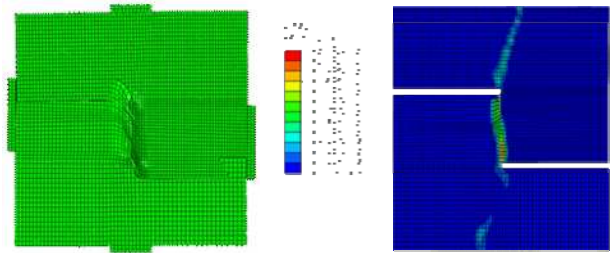


(2) 双键齿模型抗剪承载力

由计算结果可知,单键齿模型与双键齿模型抗剪承载力分别为 478.1kN 和 486.6kN,单键齿与双键齿抗剪承载力仅相差 1.7%。结合现有的胶接缝抗剪承载力计算公式,其抗剪承载力也只与混凝土强度、正应力以及接缝总面积有关,因此,模型只建出单侧腹板 1/8

面积大小的接触面,整个小箱梁接缝抗剪承载力可通过线性叠加计算得出。

2) 接缝破坏模式及等效塑性应变图



(1) 破坏模式

(2) 等效塑性应变

根据以上计算结果可知,键齿胶接缝破坏模式为直剪破坏,其抗剪承载力为 486.6kN,胶接缝折减系数取 0.85,则换算为整个截面键齿胶接缝抗剪承载力为:
 $V_j = 478.1 \times 8 \times 2 \times 0.85 = 6502.2\text{kN} \geq 783.94\text{kN}$ (剪力设计值),满足要求。

实际工程中采用实体有限元模型进行胶接缝承载力计算过于繁琐,因此,经对比分析,《节段预制拼装混凝土桥梁设计与施工规范》(DB32/T 3564-2019)中的胶接缝抗剪承载力计算公式较为准确,可用于实际项目中的设计及验算。公式如下所示:

$$V_j = \alpha(0.42 + 0.08\sigma_n)A_j f_{cu,k}^{2/3}$$

式中:

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值;

A_j ——接缝面总面积 (mm^2);

σ_n ——接缝面正应力 (MPa);

α ——胶接缝折减系数。

6 结论

本文以节段化小箱梁为研究对象,首先对不同桥宽的断面布置形式进行整理和分析,并采用刚接板(梁)法计算得出最不利的横向分布系数,随后利用单梁法建模进行整体模型的计算分析,依据相关规范对比分析其验算内容与整体预制结构的差别;最后建立胶接缝的实体有限元模型进行局部分析,验证了接缝的受力情况及承载力计算方法。主要得到以下结论:

(1) 荷载横向分布系数的计算应考虑多车道的折减,建议在影响线加载之前进行车道折减,根据折减后的车道数进行影响线加载,从而计算得到荷载横向分布系数。

(2) 节段化小箱梁整体受力性能较好,验算均能满足规范要求,同时本文列出了其与整体预制小箱梁验算内容的不同。

(3) 节段化小箱梁接缝抗剪承载力满足设计要求,通过实体有限元模型和计算公式的结果对比,实际工程中推荐采用公式计算接缝抗剪承载力。

参考文献:

- [1]JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [2]JTG/T 3365-05-2022,公路装配式混凝土桥梁设计规范[S].
- [3]JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].