

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2022.04.049

# 对称悬臂拼装桥梁接缝处承载力数值模拟分析

吴连波

(深圳市交通公用设施建设中心, 广东 深圳 518000)

**摘要:**在目前对桥梁接缝处的承载力数值模拟中,对于影响接缝处承载力的桥梁其它材料缺乏力学分析,数值模拟中的误差较大,影响结果判断。因此,提出对称悬臂拼装桥梁接缝处承载力数值模拟研究。首先,对于影响接缝处的性能的桥梁主体混凝土进行有限元分析确定力学性能。考虑不同接缝方法下抗剪强度不同,给出了不同接缝方法下的抗剪强度计算公式。而后,根据其抗剪强度和主体材料的力学性能得出接缝处纵筋滑移形变参数,完成承载力的数值模拟。为了验证设计方法的可行性,进行设计实验,使用某地的对称悬臂拼装桥梁作为实验对象,测试在不同荷载下的接缝处承载情况,并采用设计方法以及文献[1]、文献[4]和文献[7]中的数值模拟方法进行模拟。实验结果显示设计方法的数值模拟结果对比其他方法更接近实际实验时的数值,证明设计方法误差较小,满足设计初衷。

**关键词:**承载力;数值模拟;拼装桥梁;有限元分析;力学性能

**中图分类号:** U448.21 + 4      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1009-7716(2022)04-0178-03

## 0 引言

桥梁建造中,在设计之初就需要考虑到在不同情况下桥梁的受力情况,以及荷载下的承载影响。其中,桥梁的接缝处容易成为薄弱点,为了桥梁安全,需要预先对其承载能力进行分析<sup>[1-3]</sup>。而随着计算机技术,以及相关材料参数的不断完善,人们提出了数据模拟技术来模拟道路、桥梁等设施在使用时的数据。而对桥梁接缝处的数值模拟研究目前较少,但国内外学者已采用不同的接缝方法给出了对应的力学性能计算方式,为数值模拟提供了基础<sup>[4-5]</sup>。由于影响接缝处性能的因素除去接缝处本身,还与桥梁主体材料的力学性能有关。而目前对于桥梁接缝处的数值模拟研究中,大多对该情况的研究较少,导致数值模拟结果的精度不足。

## 1 对称悬臂拼装桥梁接缝处承载力数值模拟方法

### 1.1 桥梁混凝土有限元分析

悬臂拼装桥梁接缝处形式通常有混凝土现浇湿接缝、环氧树脂接缝、水泥砂浆接缝、干接缝等方法。在实际施工时,多种方式混合应用。由于桥梁接缝处的承载力直接受到材料本身的性能影响,因此需要对桥梁中使用的混凝土进行有限元分析,确定桥梁

结构的力学特征<sup>[6-7]</sup>。首先运用有限元分析软件,模拟桥梁混凝土的弹塑性和在拉应力超出时的破坏特性,进行有限元表示,其破坏准则的公式表达如下:

$$\frac{F}{f_c} - S \geq 0 \quad (1)$$

在公式(1)中, $F$ 代表其中的应力组合, $S$ 代表钢筋混凝土的破坏曲。运用有限元软件进行模拟中,主要采用四种力学参数来进行,而在软件中输入的四种参数的缺省参数分别为混凝土结构抗压强度 $f_{cb}=1.2f_c$ 、围压作用下的混凝土结构强度 $f_1=1.45f_c$ 、围压作用下的混凝土的抗拉强度 $f_2=1.725f_c$ 、混凝土结构承受的围压压力 $|\sigma_3|= \sqrt{3}f_c$ 。而由于混凝土材料较为复杂,因此在有限元分析中,拟改变模块单元中的破坏分区中的开裂处理及其相对应的表现形式,体现在纯压及其纯拉破坏分区下的开裂处理,其破坏分区如图1所示。

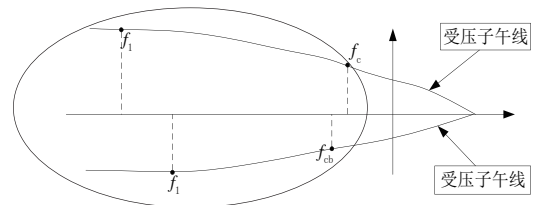


图1 混凝土破坏分区示意图

通过利用有限元软件来确定桥梁混凝土的承载力参数,以及在不同程度下的混凝土承载力。

### 1.2 桥梁接缝处抗剪强度计算

不同接缝方法间的抗剪强度计算各不相同,在进

收稿日期: 2021-07-21

作者简介: 吴连波(1981—),男,硕士,高级工程师,研究方向:路桥建设。

行数值模拟中,需要根据不同的接缝模式来给出计算方法<sup>[8-9]</sup>。对胶接缝的接缝应满足以下公式:

$$\frac{h'_h}{h_0} \geq \frac{T_{sd}}{\sigma_c b_i h_0} \quad (2)$$

在公式(2)中, $h'_h$ 代表在胶接缝情况下桥梁间的翼板厚度, $h_0$ 代表在胶接缝时翼板压力至抗压板的距离, $T_{sd}$ 代表桥梁接缝中截面的钢筋抗压合力值。 $b_i$ 代表桥梁翼板之间有效抗剪宽度, $\sigma_c$ 代表桥梁的剪压区内的混凝土结构承受的压力值。当满足(1)公式时,则得出抗剪承载力为:

$$\gamma_0 V_d \leq 0.95 T_{sd} \left( 0.22 \frac{f_{cd}}{\sigma_c} - 0.12 \right) + 0.95 V \quad (3)$$

在公式(3)中, $f_{cd}$ 代表混凝土的最大抗压强度预设值。而其中的干接缝时需满足的公式如下:

$$\frac{h'_h}{h_0} \leq \frac{T_{pe,e}}{\sigma_c b_i h_0} \quad (4)$$

在公式(4)中, $T_{pe,e}$ 代表承载力接缝处的例外预应力钢束永存拉力。并从而得出在干接缝时桥梁接缝处的抗剪承载力计算公式:

$$\gamma_0 V_d \leq 0.95 T_{pe,e} \left[ k'_i \left( 0.22 \frac{f_{cd}}{\sigma_c} - 0.12 \right) + \mu (1 + k'_i) \right] + 0.05 k'_i f_{cd} b'_i h'_h \left( 1 - \frac{T_{pe,e}}{\sigma_c b'_i h'_h} \right) + 0.95 K_w \tau_{kw} b (h_0 - h'_h) + 0.95 V_{pe,e} \quad (5)$$

在公式(5)中, $k'_i$ 代表桥梁中的抗压翼板在宽度范围内的剪力键的剪切面积和接缝面积比值, $V_{pe,e}$ 代表连接桥梁板内截面存在的预应力。而对节分键体的键齿连接,以及平接连接的计算的接缝抗剪承载力的计算公式则分别为  $V_j = A_j \times \mu \times \sigma_n$  和  $V_j = A_j (0.921 \sqrt{f'_c} + 1.20 \sigma_n)$ 。其中: $f'_c$ 代表桥梁内的混凝土接缝处的抗压强度, $\sigma_n$ 代表接缝面正应力, $A_j$ 代表接缝面的总面积。

### 1.3 桥梁纵筋滑移变形计算

影响桥梁接缝处承载力的参数还包括桥梁的滑移变形状态,能够体现该桥梁的稳定程度<sup>[10]</sup>。桥梁屈服滑移的卸载刚度可由下列公式求出:

$$F_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} \quad (6)$$

在公式(6)中, $F_{cr}$ 代表桥梁纵筋滑移模型卸载刚度, $E$ 代表材料退化系数, $I$ 代表在受压杆件横截面的最小滑移变形量, $l$ 代表形成的杠杆的有效长度。而根据 ANSYS 的线形分析方法,可以应用至本文中,并根据其中的特征值公式来计算桥梁结构在负刚度条件下的应力矩阵的比例因子:

$$([K] + \lambda[S])\psi = 0 \quad (7)$$

在公式(7)中, $K$ 代表使用材料的刚度变化矩阵, $S$ 代表使用材料的应力变化矩阵, $\psi$ 代表桥梁受位移动影响下反映出的特征矢量, $\lambda$ 代表材料性能变化的特征值。根据公式(7),来得出桥梁结构滑移变形的分叉点。从而根据分叉点来绘制相关的位移-变形曲线,来呈现桥梁的纵筋滑移特性并得出相应的参数数据。在计算中,需依据上文中不同接缝方法下的抗剪强度进行绘制,并依据接缝点上混凝土的破坏分区情况,进而给出接缝处的承载性能。

## 2 实验论证分析

为了验证设计的数值模拟方法的可行性,对某地的对称悬臂拼装桥梁的接缝处的承载力进行数值模拟实验。并与文献[1]、文献[4]及文献[7]中的数值模拟结果进行对比。

### 2.1 实验桥梁介绍

进行分析的桥梁参数如下:桥梁的跨数为  $6 \times 18.7$  m,桥梁上的偏角为  $90^\circ$ ,桥面总宽度为 10 m,其中包括:机动车道  $2 \times 3.7$  m,非机动车道  $2 \times 0.9$  m,桥梁高度为 4.2 m。在桥梁的上部结构中采用  $5 \times 17.2$  mT 梁,下部结构为重力式桥墩。该桥梁断面配筋情况如图 2 所示。

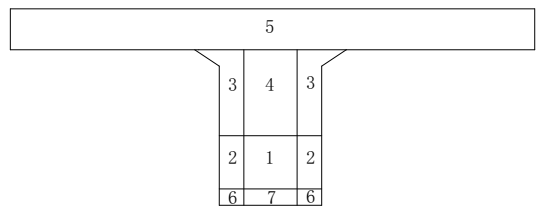


图2 实验桥梁断面配筋分布图

在图 2 中的钢筋区域配筋率,以及角度如表 1 所列。

表 1 桥梁各截面区域的配筋率及角度一览表

钢筋区域	类别	配筋率 VR	与 x 轴夹角 / (°)	与 xoy 平面夹角 Φ / (°)
1	纵向钢筋	0.113	0	90
2	纵向钢筋	0.113	0	90
3	竖向箍筋	0.013	90	0
4	竖向箍筋	0.130	90	0
5	纵向钢筋	0.014	0	90
	分布钢筋	0.013	0	0
6	纵向钢筋	0.101	0	90
	竖向钢筋	0.113	0	90
	横向箍筋	0.013	0	0
7	纵向钢筋	0.107	0	90
	横向箍筋	0.013	0	0

依据该桥梁的相关参数进行数值模拟,分析桥梁接缝处的承载力参数。在模拟中,在桥梁上选取单元,共选取单元数 44 个,其中节点 87 个,在实验桥

梁中,假定其肋拱变形类型为大挠度、小应变。并根据相应的混凝土统一理论和肋拱受力特定,在进行模拟中,采取多线性随动状态进行模拟。

### 2.2 实验结果

在实验中,将模拟在荷载处于45.7 kN时,使用能够反映出桥梁接缝处承载力第二类失稳破坏作为实验方式,即当施加在桥梁上的荷载到达额定极限荷载数值时,接缝处的最大扰动位的数值。首先利用实际实验和测量工具进行实际实验测量,并作为数值模拟结果的对比值。实验结果见表2所列。

表2 接缝处第二类失稳破坏数值模拟结果一览表

荷载值 / kN	结果类型	接缝处最大 扰度 /mm	荷载与位移 变化趋势	矩中承受弯矩 / (kN·m)
13.7	实际值	5.73	线性变化	176.44
	模拟 1	5.72	线性变化	176.44
	模拟 2	4.17	线性变化	155.27
	模拟 3	4.87	线性变化	147.18
	模拟 4	6.19	线性变化	186.51
19.2	实际值	6.89	线性变化	182.77
	模拟 1	6.89	线性变化	182.75
	模拟 2	6.04	线性变化	164.51
	模拟 3	5.98	线性变化	166.75
	模拟 4	8.17	非线性变化	197.21
28.6	实际值	9.74	非线性变化	217.56
	模拟 1	9.72	非线性变化	217.59
	模拟 2	8.11	线性变化	199.77
	模拟 3	8.03	线性变化	198.24
	模拟 4	10.04	非线性变化	241.48
45.7	实际值	38.17	非线性变化	285.44
	模拟 1	38.14	非线性变化	285.44
	模拟 2	33.26	非线性变化	267.21
	模拟 3	31.54	非线性变化	254.57
	模拟 4	44.75	非线性变化	307.64

在表2结果中,模拟1代表本文设计的数值模拟方法的结果,模拟2代表文献[1]设计的数值模拟方法的结果,模拟3代表文献[4]中设计的数值模拟方法的结果,模拟4代表文献[7]中设计的数值模拟

方法的结果。而在表2实验中可以看出,本文数值模拟方法得出的结果在接缝处的最大扰动,以及其中的承受弯矩数值均更接近实际测试值。同时可以看出接缝处的最大扰度,以及其中承受弯矩数值影响对于当前荷载和位移变化趋势的判断。而本文方法更接近实际判断,证明本文设计的数值模拟方法可行性和有效性更高。

### 3 结语

本文在桥梁接缝处承载力的数值模拟中增添了对于桥梁主体材料的有限元分析,提高了数值模拟结果的精度。但在实际的桥梁使用中,容易受到风力,材料老化等其它类型因素的影响,而本文设计的数值模拟方法尚不具备对上述因素的模拟,因此未来研究中,将会添加对上述因素的考量和模拟方法。

#### 参考文献:

[1] 范文娟,赵慧冰,吕瑞哈.橡胶坝坝底板承载力变化的数值模拟分析[J].四川水泥,2020(11):85-86.  
 [2] 冯忠居,陈慧芸,袁枫斌,等.桩-土-断层耦合作用下桥梁桩基竖向承载特性[J].交通运输工程学报,2019,19(2):40-52.  
 [3] 唐鹏,官赛,梁鹏,等.不同边界条件下玻璃桥面板承载力试验研究[J].深圳大学学报(理工版),2020,37(1):88-94.  
 [4] 李伟,孙肇坤,赵鑫,等.袋装土平铺层数对路基沉降影响的数值模拟研究[J].水利与建筑工程学报,2020,18(5):54-59.  
 [5] 杨扬,韩建坤,张国荣,等.桥梁拼接缝混凝土渗透性及与裂缝宽度关系研究[J].公路交通科技,2020,37(9):76-84.  
 [6] 沈殷,蔡鹏,陈立生,等.节段预制拼装混凝土桥梁剪力键接缝的抗剪强度[J].同济大学学报(自然科学版),2019,47(10):1414-1420.  
 [7] 付善春,寇文飞,沈红艳,等.渡槽支承系统结构模型设计与数值模拟分析[J].中原工学院学报,2020,31(4):32-39.  
 [8] 刘维,徐光黎,彭文喜,等.加芯水泥土搅拌桩竖向承载特性及单桩极限承载力预测[J].科学技术与工程,2020,20(19):7838-7844.  
 [9] 陈艳良,邵旭东,胡伟业,等.UHPC桥面板现浇接缝的弯拉性能研究[J].公路工程,2020,45(5):127-132.  
 [10] 杨三强,孙恒飞,刘娜,等.基于位移与内应力监测的钢桥拱肋受力变形[J].江苏大学学报(自然科学版),2019(6):740-744.

## 《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱:cdq@smedi.com