

文章编号:1671-6833(2006)03-0001-05

预应力混凝土连续刚构桥0号块空间分析

葛素娟, 李静斌

(郑州大学土木工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要:以水南特大桥主桥为研究对象,利用大型通用有限元程序MIDAS/Civil建立了该桥桥墩0号块的空间有限元计算模型,对0号块在施工阶段及成桥运营阶段两种工况下的应力进行了分析.计算结果表明,该桥桥墩0号块除在横隔板人孔部位略为薄弱外,其余部位均满足规范要求,计算结果已为该桥设计提供依据,对同类桥梁0号块设计也具有一定的参考价值.

关键词:连续刚构桥;0号块;空间;应力分析

中图分类号:TU 441.5

文献标识码:A

0 引言

预应力混凝土连续刚构桥是将主梁做成连续梁体并与薄壁桥墩固结而成,它综合了连续梁桥和T型刚构桥的受力特点,充分利用了预应力混凝土承受负弯矩能力强的特点,将跨中正弯矩转移为支点负弯矩,提高了桥梁的跨越能力.连续刚构桥还由于采用墩梁固结,节省了大型支座的费用,减少了桥墩及基础的工程量,并改善了桥梁结构在水平荷载作用下的受力性能^[1].

连续刚构桥墩顶的0号块的空间形状非常复杂,在0号块范围内有沿桥跨方向变厚度的顶板、腹板、底板以及带人孔洞的横隔板,并且在各板件之间还有不同形状的承托倒角,各板件及其不同部位的应力分布也不均匀,因此墩顶的0号块是桥梁设计中需要重点考虑的关键部位.在桥梁设计中为了正确把握该部位的应力分布,需要对其进行局部应力分析.对桥梁0号块进行空间受力分析时,主要采用3种计算方法^[2]:①按梁单元进行桥梁整体分析,该方法计算简便,可得到桥梁整体计算结果,但不能反映桥梁局部变形和应力状态;②对桥梁整个结构进行三维有限单元离散化,可求得桥梁全部的变形和应力,但计算工作量非常巨大;③将圣维南原理在桥梁局部分析中进行应用,采用“把梁单元进行整体计算所得内力和位移作为局部切开处的外力和位移边界条件”的方

法,解决求解桥梁局部应力和变形状况问题.笔者采用方法3对连续刚构桥的墩顶0号块进行空间受力分析.

1 工程概况

沪蓉国道主干线——水南特大桥上部为60 m + 5 × 110 m + 60 m 预应力混凝土连续刚构 + 3 × 30 m + 5 × 30 m 连续梁组合梁桥.连续刚构桥主梁箱梁为分离式单箱单室结构,采用常规挂篮悬臂浇筑施工.水南特大桥左线桥梁桥型布置如图1所示.

图1中3,4,9,10号桥墩的墩顶设滑板支座,5,6,7,8号桥墩的墩顶与箱梁固结.该桥最大墩高98 m,采用空心薄壁墩型式.主桥上部结构按全预应力混凝土设计,采用三向预应力,纵、横向预应力采用美国ASTM A416-90A标准270级高强度低松弛钢绞线,标准强度1 860 Mpa,设计锚下张拉控制应力1 395 Mpa.

箱梁顶宽12.20 m,底宽6.50 m;顶板悬臂长度2.85 m,悬臂板端部厚15 cm,根部厚68 cm;箱梁根部高度6.50 m,跨中高度2.60 m;箱梁根部底板厚70 cm,跨中底板厚28 cm,箱梁高度以及箱梁底板厚度按二次抛物线变化;箱梁腹板为变厚度,墩梁固结处墩顶腹板厚80 cm(4,9号桥墩的墩梁固结处墩顶腹板厚150 cm),跨中腹板厚40 cm,腹板变厚度利用两个箱梁节段直线变化;

收稿日期:2006-03-30;修订日期:2006-05-24

基金项目:河南省自然科学基金资助项目(0411052900)

作者简介:葛素娟(1972-),女,河南范县人,郑州大学讲师,硕士,主要从事桥梁结构分析工作.

(1) 中跨1尚未合拢时,计算4号桥墩0号块的受力;

(2) 中跨1已浇筑合拢段,中跨2尚未合拢时,计算5号桥墩0号块的受力;

(3) 中跨1、中跨2已浇筑合拢段,中跨3尚未合拢时,计算6号桥墩0号块的受力。

工况2:进行桥梁成桥阶段0号块梁段的受力分析,桥梁承受荷载为恒载和汽车荷载,该工况也包括3种情况:

(4) 计算4号桥墩0号块的受力,0号块与墩顶之间设置滑板支座;

(5) 计算5号桥墩0号块的受力,0号块与墩顶固结;

(6) 计算6号桥墩0号块的受力,0号块与墩顶固结。

施工阶段边界条件:第1种情况下,4号桥墩0号块设置临时固结支座,桥墩墩底固结;第2、第3种情况下,5号、6号桥墩0号块与墩顶固结。成桥运营阶段边界条件:第4种情况下,4号桥墩0号块与墩顶之间设置滑板支座,桥墩墩底固结;第5、第6种情况下,5号、6号桥墩0号块设置固结支座,桥墩墩底固结。

通过计算可以得到各桥墩和各箱梁梁段的内力及各梁段节点截面形心处的位移。由于全桥整体分析采用空间梁单元模型,对于各桥墩上的0号现浇块,无法准确模拟出复杂的桥梁局部变形和应力状态。因此,为准确求得各个桥墩上0号块的应力分布及大小,还应对各0号块进行三维实体单元建模的局部分析。

2.2 0号块局部计算模型

在进行桥墩墩顶0号块空间局部分析时,根据圣维南原理,计算模型选取范围除包括0号块梁段本身外,还应在其两端适当延长^[2,4,5],根据该桥箱梁尺寸,笔者在建立桥梁的局部计算模型时,在0号块两端还考虑了1~3号梁段及部分桥墩。采用4节点四面体空间实体单元,分别建立各桥墩上0号块局部计算有限元模型。限于篇幅,文中仅给出5号墩上0号块局部计算模型,如图4所示,共划分27228个单元,8054个节点,其中0号块模型如图5所示。

在有限元网格划分后,需在其两个端部截面形心位置处建立主节点,并以该截面上其余节点为从节点,建立主节点与从节点之间的刚体连接,如图6所示。

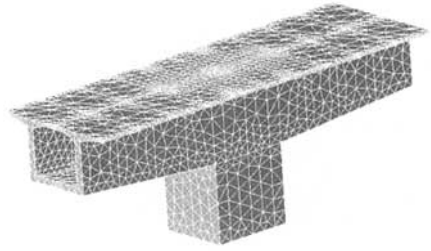


图4 5号墩0号块局部分析有限元模型

Fig.4 Partial analysis FEM model for segment No.0 of bridge pier 5

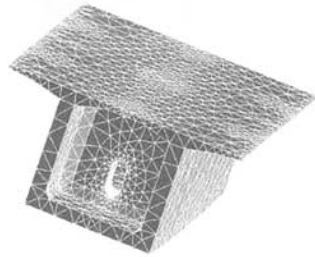


图5 5号墩0号块有限元模型

Fig.5 FEM model for segment No.0 of bridge pier 5

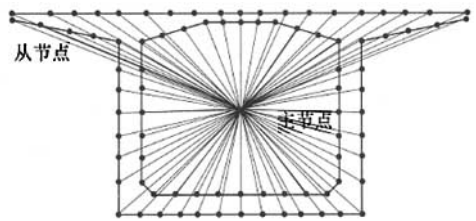


图6 0号块端部截面主从节点刚性连接示意图

Fig.6 Rigid connection of master and slave points on the end section for segment No.0

主节点与从节点之间的约束方程为

$$U_{Xs} = U_{Xm} + R_{Ym}\Delta Z - R_{Zm}\Delta Y,$$

$$U_{Ys} = U_{Ym} + R_{Zm}\Delta X - R_{Xm}\Delta Z,$$

$$U_{Zs} = U_{Zm} + R_{Xm}\Delta Y - R_{Ym}\Delta X,$$

$$U_{Xs} = U_{Xm}, R_{Ys} = R_{Ym}, R_{Zs} = R_{Zm}$$

式中, $\Delta X = X_m - X_s$, $\Delta Y = Y_m - Y_s$, $\Delta Z = Z_m - Z_s$ 。

其中:下角标 m, s 分别表示主节点和从节点; U_X, U_Y, U_Z 表示沿整体坐标系 X, Y, Z 轴方向的平动位移; R_X, R_Y, R_Z 表示绕整体坐标系 X, Y, Z 轴旋转的转动位移。

对0号块进行局部分析,同样分别考虑2.1节中所列两种工况,将各工况下由全桥整体计算求得的各桥墩上箱梁截面处的形心位移,作为主节点强制位移施加在相应桥墩的0号块局部计算

模型上,从而可求得 0 号块各处应力分布及大小.

3 计算结果分析

根据本文建立的桥梁模型计算出各工况下桥墩 0 号块的应力分布如表 1 所示,限于篇幅,本文只列出工况 1 第 2 种情况即 5 号墩上 0 号块的应

力云图,分别如图 7~图 10 所示,为清楚起见,图中 0 号块均沿梁段中面剖切.

根据箱梁混凝土标号,规范规定的容许压应力值为: $0.75 \times R_a^b = 0.75 \times (-35\text{MPa}) = -26.25\text{MPa}$;容许拉应力值为: $0.68 \times R_t^b = 0.8 \times 3 = 2.40\text{MPa}$.

表 1 0 号块应力分析结果
Tab.1 Stress analysis results of segment No.0

位置	受力情况		工况 1			工况 2		
			4 号墩	5 号墩	6 号墩	4 号墩	5 号墩	6 号墩
0 号块顶板	顺桥向正应力	σ_{Xmax}	-2.88	-2.99	-2.05	-2.45	-0.26	-0.97
		σ_{Xmin}	-12.09	-11.72	-10.08	-9.33	-7.64	-6.24
	横桥向正应力	σ_{Zmax}	0.26	0.35	0.23	0.16	0.33	0.20
		σ_{Zmin}	-0.40	-0.48	-0.32	-0.41	-0.43	-0.34
	最大主拉应力	σ_{1max}	0.69	1.11	0.92	0.60	1.52	0.93
	最大主压应力	σ_{3min}	-12.10	-11.74	-10.10	-9.34	-7.66	-6.26
0 号块底板	顺桥向正应力	σ_{Xmax}	-3.28	-3.57	-3.86	-4.22	-2.27	-3.96
		σ_{Xmin}	-10.98	-12.67	-12.17	-10.63	-16.51	-12.14
	横桥向正应力	σ_{Zmax}	0.77	1.11	0.74	0.40	2.19	0.68
		σ_{Zmin}	-2.86	-2.76	-1.96	-3.03	-4.34	-2.62
	最大主拉应力	σ_{1max}	1.13	1.26	1.11	1.29	2.24	1.17
	最大主压应力	σ_{3min}	-11.26	-12.93	-12.43	-10.65	-17.01	-12.33
0 号块腹板	顺桥向正应力	σ_{Xmax}	-4.68	-5.30	-4.45	-4.64	-0.92	-1.98
		σ_{Xmin}	-10.51	-12.41	-11.72	-9.98	-16.09	-11.86
	横桥向正应力	σ_{Zmax}	0.31	0.59	0.51	0.08	1.55	0.32
		σ_{Zmin}	-3.81	-3.02	-2.12	-3.61	-3.76	-2.86
	最大主拉应力	σ_{1max}	0.54	0.99	0.85	0.43	1.69	0.75
	最大主压应力	σ_{3min}	-10.88	-12.90	-12.03	-10.21	-16.52	-12.04
0 号块横隔板	顺桥向正应力	σ_{Xmax}	0.64	0.89	0.72	0.61	0.96	0.55
		σ_{Xmin}	-10.13	-12.46	-11.76	-8.85	-16.12	-11.88
	横桥向正应力	σ_{Zmax}	2.36	3.17	2.92	1.26	3.62	2.57
		σ_{Zmin}	-4.26	-6.47	-5.60	-3.19	-8.79	-5.84
	最大主拉应力	σ_{1max}	3.99	4.92	4.45	2.91	5.25	4.54
	最大主压应力	σ_{3min}	-10.20	-12.50	-11.79	-8.88	-16.17	-11.91

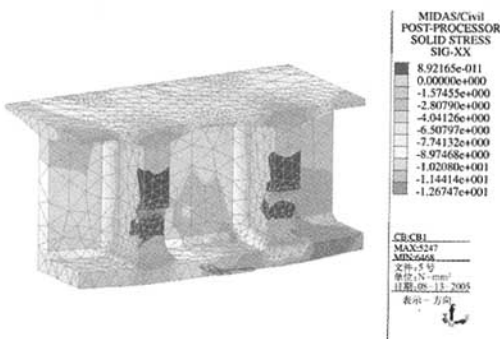


图 7 顺桥向正应力 σ_x 等值云图
Fig.7 Contour map of normal stress σ_x

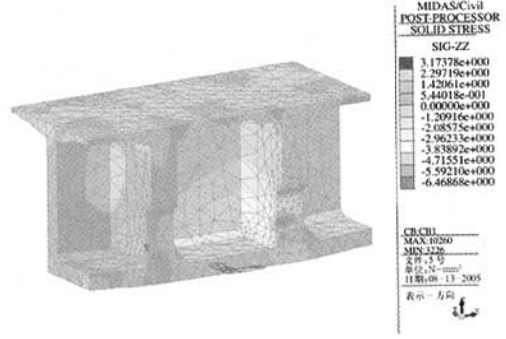
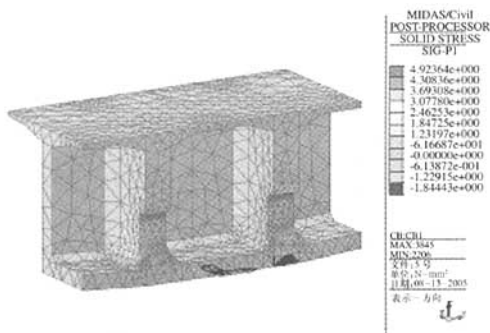
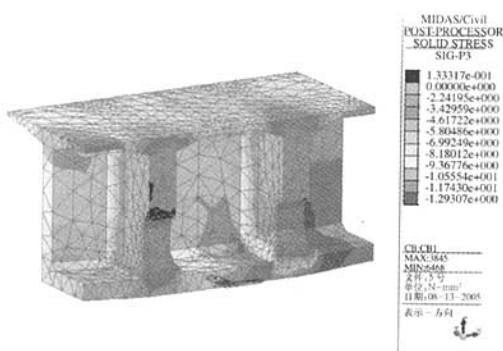


图 8 横桥向正应力 σ_z 等值云图
Fig.8 Contour map of normal stress σ_z

图9 主拉应力 σ_1 等值云图Fig.9 Contour map of normal stress σ_1 图10 主压应力 σ_3 等值云图Fig.10 Contour map of normal stress σ_3

分析表中数值和应力云图可得:在施工阶段及成桥运营阶段两种工况下,4、5、6号桥墩0号块各个部位的压应力均满足规范要求,并有一定的富余。在0号块顶板、底板、腹板及横隔板的绝大部分区域内,拉应力也均满足规范要求,并有一定的富余。仅在0号块横隔板的局部区域,拉应力

数值超出了规范要求,最大值约为规范容许值的2倍;但该拉应力峰值仅出现在靠近人孔边缘的很小的局部区域,随着远离该区域,拉应力梯度下降很快,迅速降低到规范容许的范围内。这种应力集中的现象,可通过对0号块横隔板人孔部位的局部加强予以解决。

4 结束语

以预应力混凝土连续刚构桥——水南特大桥为工程实例,分别对其在施工阶段及成桥运营阶段两种工况下进行了空间应力分析,得到了各个桥墩上0号块的应力分布情况。计算结果表明,各个桥墩0号块在两种工况下,各部位最大压应力及最大主压应力均小于规范容许值,除在横隔板人孔部位出现超过规范规定的拉应力外,其余部位的最大拉应力及最大主拉应力也均小于规范容许值。因此,对0号块横隔板人孔部位,可通过采用局部加厚或加强配筋或进一步平缓倒角等构造措施,改善该部位受力性能,从而满足规范要求。

参考文献:

- [1] 范立础. 桥梁工程(上册)[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 肖礼,彭文立,秦荣. 圣维南原理在钢管混凝土拱桥分析中的应用[J]. 中国公路学报,2001,14(2):33~35.
- [3] MIDAS. 土木结构分析手册[M]. 北京:北京迈达斯技术有限公司,2005.
- [4] 夏勇,裴若娟. 广珠准高速铁路东海西江大桥0号块空间分析[J]. 桥梁建设,1997(4):74~77.
- [5] 陈达章,方世乐,代希华. 崖门大桥主桥局部有限元分析[J]. 桥梁建设,2003(1):27~30.

Spatial Analysis of Segment No. 0 of Prestressed Concrete Continued Rigid Frame Bridge

GE Su - juan, LI Jing - bin

(School of Civil Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: Due to the extreme complexity of segment No.0 for the prestressed concrete continued rigid frame bridge, it is necessary that the spatial analysis of segment No.0 on the piers be made in practice. In this paper the Shuinan super large bridge is studied. The finite element analysis program MIDAS/Civil is applied to set up a three - dimensional solid finite element computational model of segment No.0 to calculate the stress of it when it is under construction and after its completion. The results show that the stress of segment No.0 are in good agreement with the current codes except the manhole part of the diaphragm. The results in this paper have been used for the design for the bridge and can be of great benefit for the similar projects.

Key words: continued rigid frame bridge; segment No.0; spatial; stress analysis