

大跨径连续刚构桥梁箱梁裂缝及水化热分析

徐大众

(山东省路桥集团有限公司 山东 250014)

1. 前言

某特大桥主桥上部构造为 127+240+127m 三跨预应力混凝土连续刚构箱梁,箱梁根部梁高 15.0m,跨中梁高 4.5m。箱梁顶板横向宽 11.75m,箱底宽 6.5m,翼缘悬臂长 2.625m。箱梁 0 号节段长 19m,每个悬浇“T”纵向对称划分为 29 个节段,梁段数及梁段长从根部至跨中分别为 $8 \times 3\text{m}$ 、 $6 \times 3.5\text{m}$ 、 $7 \times 4\text{m}$ 、 $8 \times 4.5\text{m}$,节段悬浇总长 109m。边、中跨合拢段长均为 3m,边跨现浇段长 5.5m。

某特大桥现场施工进度为左幅 11 号墩浇筑 14#块,右幅 11 号墩浇筑 12#块;左幅 12 号墩浇筑 16#块,右幅 12 号墩浇筑 13#块。箱梁悬臂浇筑至今,部分块段在张拉预应力钢束后形成沿腹板预应力钢束斜向分布的裂缝。其中,最长裂缝约 4m,已知裂缝宽度小于 0.1mm,且均分布于当前块段。

在本桥挂篮悬臂浇筑中混凝土的用量较多,施工过程中混凝土会释放出大量热量,根据以往资料表明:大体积混凝土在结构内部会产生大量热量,当混凝土内外温度差值较大时,会产生较大的温度梯度,在混凝土内部产生温度应力,当温度应力大于混凝土抗拉应力时就会导致混凝土开裂。因此,为讨论本桥斜裂缝成因,特对箱梁进行水化热分析,掌握水化热温度的分布规律。

2. 有限元计算模型

选取的 3 个节段总长 10.5m,共锚固有 6 根顶板钢束及 6 根腹板钢束,顶板钢束为 27- Φ s15.2mm,腹板钢束为 21- Φ s15.2mm。由于 21- Φ s15.2mm 预应力孔道内径 11.6cm,相对于腹板厚度 0.8m 较小,建模时未考虑预应力孔道影响。顶板钢束张拉控制应力 1395MPa,腹板钢束张拉控制应力 1376MPa。选取节段和 11 号节段相邻断面固结。箱梁采用 C55 混凝土,弹性模量取 $3.55 \times 10^4\text{MPa}$,泊松比 0.2;钢绞线弹性模量 $1.95 \times 10^5\text{MPa}$ 。整个节段共划分单元 10884 个,计算模型见图 1,有限元单元划分如图 2。

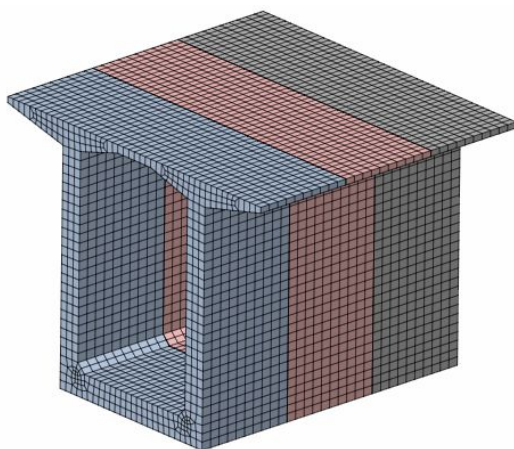
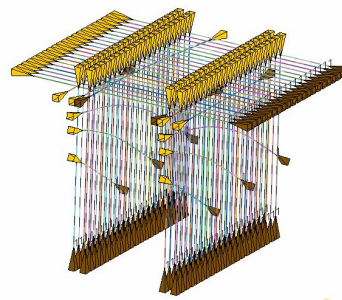


图2 单元划分



3. 有限元计算结果

由于节段纵向两侧分别为边界固结及预应力束锚固,该处应力集中严重,而且考虑到裂缝出现在节段中间,因此各去掉两侧 0.5m 长度,截取中间 9.5m 的腹板部分,其 x 向(横桥向)、y 向(纵桥向)、z 向(竖向)、主拉应力及锚固点裂缝图分别示于图 3~8

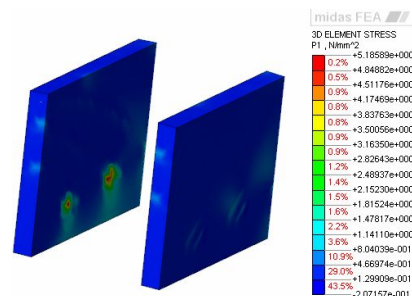
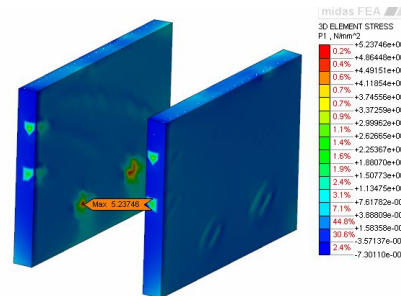
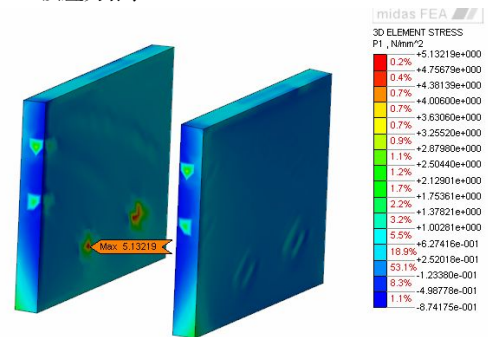


图3 主拉应力



预应力张拉 50%



预应力张拉 100%

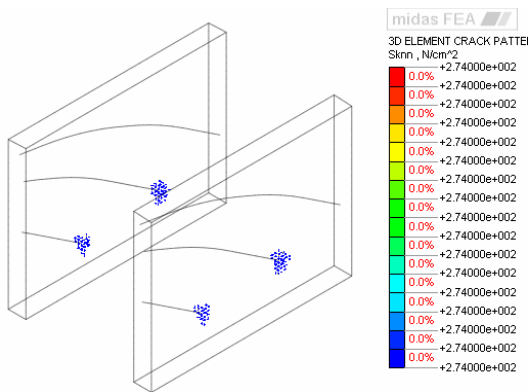


图4 锚固点处裂缝分布图

4. 结论及建议

(1) 从图3可以看出,在两个节段交接的腹板钢筋锚固点出现了应力集中,图5中除锚固处的腹板绝大多数区域,腹板的最大主拉应力都不超过1.04MPa,图4显示了锚固点处的裂纹分布。

(2) 由计算结果可知,x向(横桥向)拉应力最大值为0.62MPa,在z向(竖向),拉应力为0.98MPa,在y向(纵桥向)拉应力为0.2MPa,其中x向和z向的最大拉应力都发生在锚固端附近区域,该拉应力为纵向腹板预应力锚固所引起的横向和竖向劈裂应力。

根据上述有限元分析可知,预应力钢束张拉后,在除锚固区域附近的主拉应力不超过1.04MPa,并未超出C55混凝土的抗拉强度标准值2.74MPa。所以从目前配筋情况下有限元分析得到腹板不会开裂。

悬臂浇筑混凝土箱梁腹板开裂出现往往是设计、施工、材料、工艺等综合因素作用的结果。

其它正常或非正常因素对腹板裂缝影响及预防措施:

(1) 混凝土拆模时间过早,混凝土尚未达到其设计抗拉强度也可能导致腹板开裂,所以要严格控制拆模时间,混凝土未到期或强度,不能拆除模板。

(2) 施工过程中施工临时荷载超载或在作用点产生过大的集中应力。

(3) 预应力束的张力应力过大会导致管道处存在着应力集中,一旦主拉应力超过了混凝土的抗拉强度,其附近的混凝土就会开裂,所以要严格控制张拉应力。

(4) 若出现开裂情况则要尽快张拉前面节段竖向预应力筋,以后须先张拉前一节段的竖向预应力筋,才能移篮进行下一节段的施工。

5. 水化热温度分析

选取桥梁1/4处的16号块结构尺寸参数进行水化热分析。其中,顶板厚为28cm,底板厚70cm,腹板厚80cm。根据工程实际情况,箱梁混凝土采用一次性浇筑施工。运用MIDAS/FEA模块建立了有限元模型,采用3D实体单元。计算参数:材料为C55混凝土,弹性模量 $=35.5 \times 10^9 \text{ N/m}^2$,泊松比 $=0.2$,线膨胀系数 $=1.0 \times 10^{-5}$,比热 $=1176 \text{ J/(kg} \cdot ^\circ\text{C)}$,热传导率 $=2.7 \text{ W/(m} \cdot ^\circ\text{C)}$,混凝土28d抗压强度 $=55 \text{ MPa}$,单位体积水泥含量 $=280 \text{ kg/m}^3$,对流系数 $=4.32 \text{ W/(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$,混凝土入模温度 $=10^\circ\text{C}$ 。边界条件采用一端固结。

3. 有限元计算结果

为反映混凝土箱梁温度变化情况,分别选取箱梁底板上表面、中间、下表面的节点和腹板内侧,外侧与中间位置节点,还有腹板上端与下端节点,如图2所示;用来表示混凝土从入

模浇筑开始在水化热下的温度场分布情况。

(1) 温度分布

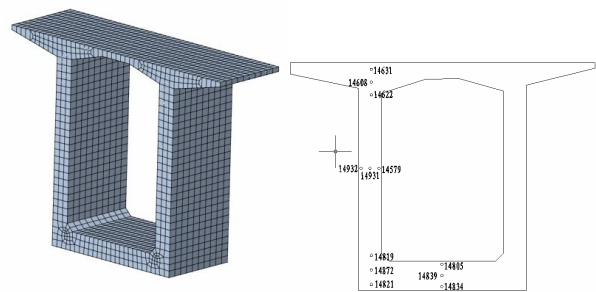


图1.箱梁浇筑阶段模型图 2.混凝土箱梁温度计算测取点布置

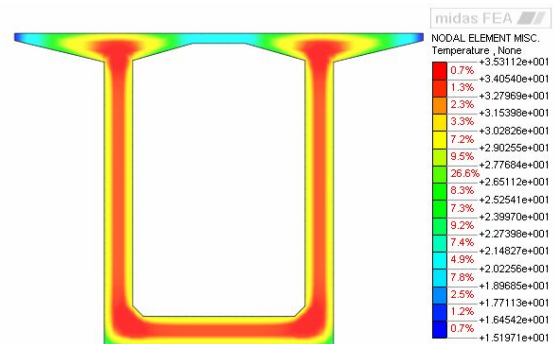


图3.混凝土浇筑后60小时时刻箱梁截面温度分布

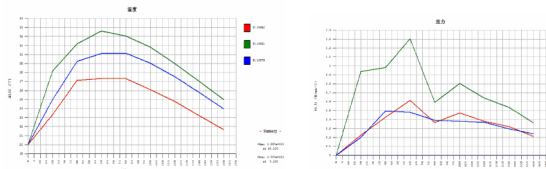


图4.混凝土箱梁腹板温度变化(温度时程)图5.混凝土箱梁腹板上端应力变化

4. 计算结果及建议

(1) 混凝土箱梁的各部分水化热温度变化趋势基本一致,在混凝土浇筑后35~60h内达到温度最大值。通过计算发现混凝土箱梁顶板与腹板交接部位,温度会得到最大值,最大值在60h左右达到 35°C 。

(2) 通过计算,在混凝土箱梁的底板上、下表面,腹板内、外表面均存在温度梯度,为 $5 \sim 10^\circ\text{C}$,内外温度差值不大。具体说明:①箱梁腹板中心与外表面温度差值约为 5°C ,与内表面为 2.5°C ;②内外表面与中心的温度差值不大,由于箱梁是由薄腹板构成,混凝土用量不大,不会使混凝土得到很大的水化热量,而且腹板截面面积较大,有利于混凝土内部温度与外界的对流,所以腹板最大温度值不会很大,两个表面的温度梯度差值也不大。

(3) 计算结果表明,混凝土梁的底板和腹板由于水化热产生的拉应力在板中间位置,两者大小均未超过 0.8 MPa 。

(4) 实际施工中需加强箱梁大体积混凝土水化热的现场试验监测,避免温度裂缝产生。

参考文献:

- [1] 项贻强, 竺盛, 赵阳. 快速施工桥梁的研究进展[J]. 中国公路学报, 2018, 31(12): 1-27.
- [2] 杨勇, 薛亦聪, 于云龙, 等. 部分预制装配型钢混凝土梁受力性能试验研究[J]. 土木工程学报, 2018, 51(4): 1-9.