

某桥梁宽幅桥墩裂缝成因分析

李召辉 熊 东

黄河勘测规划设计研究院有限公司 河南 郑州 450003

摘要: 某大桥下部桥墩采用了宽幅实体墙式墩结构。墩身在浇筑后,现场巡查发现部分桥墩在与承台相接的部位产生竖向裂缝。结合本项目,利用Midas FEA软件计算对裂缝成因进行了分析,通过多因素对比,判定裂缝主要由大体积混凝土水化热,墩身和承台收缩徐变不同步所致,为类似项目提供借鉴参考。

关键词: 宽幅桥墩; 裂缝成因; 水化热; 收缩徐变

引言

工程概况: 某桥梁位于漯河市区域路网的重要干线,是连接高速与客运站的交通要道。该桥梁总长364.16m,跨径组成为 $3\times 30\text{m}+(33\text{m}+2\times 55\text{m}+33\text{m})+3\times 30\text{m}$,桥梁为斜桥,倾斜角度为 25° 。主桥上部结构为预应力混凝土变截面连续梁,引桥上部结构采用简支转连续预应力混凝土T梁,下部桥墩为宽幅实体墙式墩结构,桥台为桩接盖梁结构。

1 现场施工情况

桥梁1#、2#、8#、9#桥墩顺桥向尺寸为1.2m,横桥向尺寸为20.439m,2014年引桥桥墩分批次浇筑,承台浇筑2月后浇筑墩身。2016年8月,监理单位巡查时发现该桥1#、2#、8#、9#桥墩墩身存在裂缝。墩身裂缝有以下特点:

①相对墩身呈对称发散分布,远离中线其倾斜度越大;

②裂缝靠近承台底部稍宽,往上部逐渐收窄;

③裂缝最小宽度为0.04mm,最大宽度为0.4mm,裂缝长度范围1230mm~6000mm,深度为9~19mm。

2 有限元分析

针对墩身出现的裂缝情况,利用Midas FEA软件进行辅助分析,探讨墩身裂缝的成因。

2.1 静力分析

1#、2#、8#、9#桥墩构造尺寸相似,因此仅选取2#墩进行分析,桥墩具体尺寸如图1。采用有限元软件Midas FEA建立模型。建模过程中对模型进行简化,由于主要关注桥墩墩身的裂缝问题,因而忽略支承垫石以及挡块。

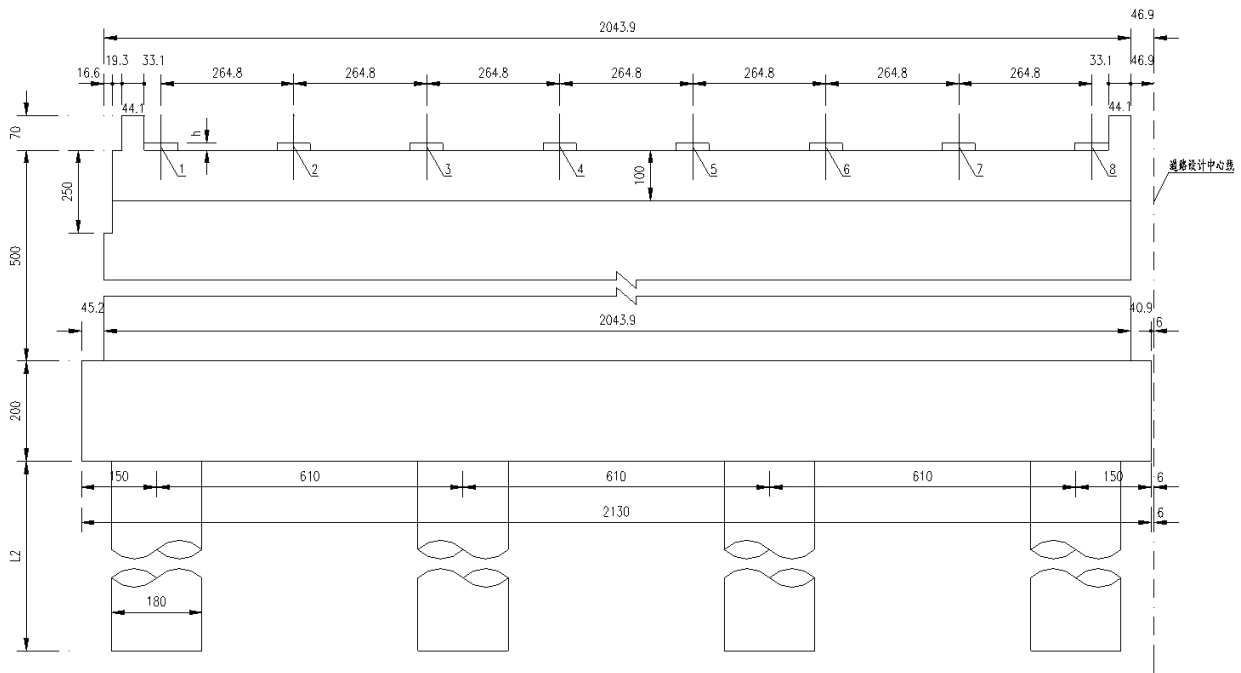


图1 桥墩尺寸图

桥墩开裂首先要考虑是否由于静力引起,现阶段1#、2#、8#、9#墩均处于架梁阶段,所受荷载仅为上部梁自重,利用Midas FEA建立有限元模型,模型建立过程中,将承台和墩身分两部分建立,模型中材料采用C30混凝土,单元为六面体单元,网格尺寸控制在35cm。模型建立完成后,共生成41496个节点,8550个单元,模型如图2所示。

模型承台底部固结,上部垫石位置按节点力加载,荷载大小为上部T梁自重,同时考虑桥墩结构自重。桥墩结构最大主应力出现在加载点附近,墩身最大拉应力仅为0.04MPa,因此桥墩开裂与静荷载无关。

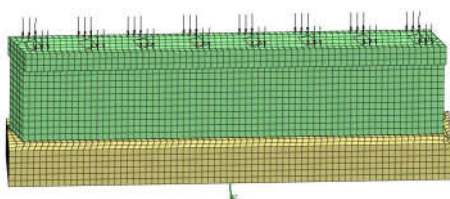


图2 有限元模型

2.2 水化热分析

混凝土的体积变形主要来自混凝土的水化热温升,混凝土在硬化过程中使得自身温度升高,又在环境的作用下逐渐下降。温度上升阶段,混凝土内部温度高于外部温度,内部混凝土的膨胀受到外部混凝土的限制,使得外部出现一定的拉应力,可能造成墩身开裂^[1]。温度下降阶段,墩身内部混凝土的收缩受到表面混凝土和已浇筑的承台的约束,将在混凝土内部产生较大的拉应力,同时桥墩表面混凝土因受到承台的约束也可能产生一定的拉应力,造成墩身裂缝。

2.2.1 有限元模型概况

(1) 材料定义

模型中材料同前,采用C30混凝土。由于研究结构的水化热,材料的定义中需要添加混凝土的热工参数,见表1。

表1 C30混凝土相关热工参数

材料	热传导率	比热容
C30混凝土	2.3 kcal/(m·h·C)	0.025 kcal/(N·C)

同时,由于研究混凝土的水化热及收缩作用,因此需要定义时间依存材料。分别定义混凝土的收缩徐变及早期抗压强度发展,混凝土收缩徐变按照中国规范《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》^[2]进行定义,早期抗压强度按照美国规范(ACI 209-1995)来定义,见下式。

$$f(t) = t_{eq} \times f_{28} / (a + b \times t_{eq})$$

其中: t_{eq} 为龄期, f_{28} 为28天混凝土立方体抗压强度,取 $3 \times 10^7 \text{N/m}^2$,a、b为普通硅酸盐水泥的抗压强度系数,

取 $a = 4.5$, $b = 0.95$ 。

(2) 函数定义

水化热分析中需要设置几个基本函数,包括环境温度函数、对流系数函数以及热源函数。根据施工养护条件,环境温度设置为常量 20°C ,对流系数取 $12 \text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{C})$,热源函数采用日本规范(JSCE2007)定义,浇筑温度为 20°C 、水泥含量取 $320 \text{kg}/\text{m}^3$ 。

(3) 荷载定义

水化热分析不承受外界荷载作用,仅承受水化热引起的热源函数,热源函数赋予全部5738个单元,考虑混凝土收缩徐变,不考虑结构自重作用。

(4) 边界及施工阶段

水化热分析施工阶段取两个阶段,第一阶段承台浇筑,60d后再浇筑桥墩,该阶段持续100d。承台底部设置为固端约束,同时固定温度(20°C)、对流边界分两个阶段按实际施工情况进行布置。

2.2.2 有限元分析结果

(1) 温度变化

桥墩在承台浇筑60d后浇筑,浇筑后结构内部会因为水化热产生热量。如图3,4所示。

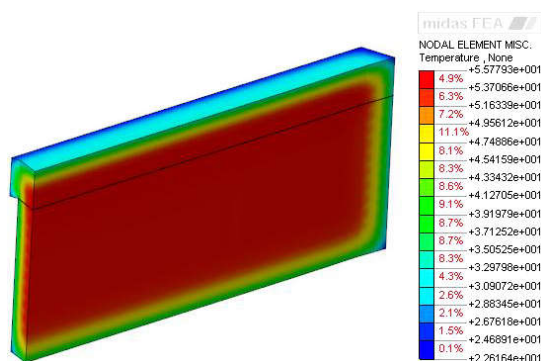


图3 桥墩结构温度云图(40h时)

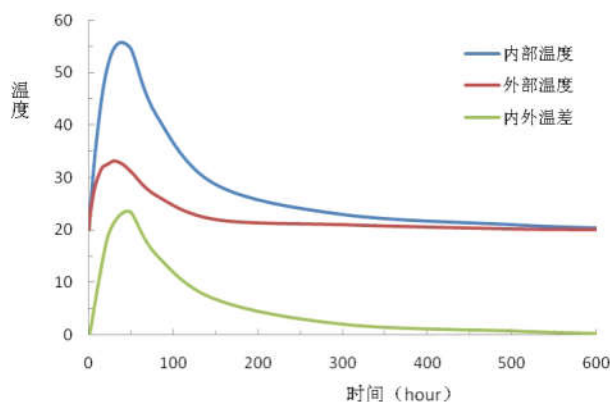


图4 最高温度节点温度历程

桥墩结构在混凝土浇筑完成后由水化热引起的温度变化比较明显。设定初始温度为 20°C 的情况下,混凝土

浇筑完成后40h, 体内最高温度达到56°C。随着水化热反应的进行, 体内的热量逐渐释放, 水化热反应趋缓, 温度也逐渐下降。由水化热作用引起的体内最高温度及最大温差变化曲线如图5, 6所示, 可见桥墩内外温差始终小于25°C, 满足《大体积混凝土施工规范规范GB50496-2009》要求。

(2) 应力变化

桥墩结构在早期混凝土水化热作用下, 结构内部会产生热量, 引起体积向外膨胀。而混凝土的早期收缩, 又会导致体积缩小, 因而会在桥墩结构内产生应力。通过有限元模型的分析, 得到桥墩结构在混凝土浇筑完成后由水化热和收缩引起的应力变化情况, 由裂缝的分布可知, 裂缝的主要成因是水平横向应力, 因此考虑横向应力。

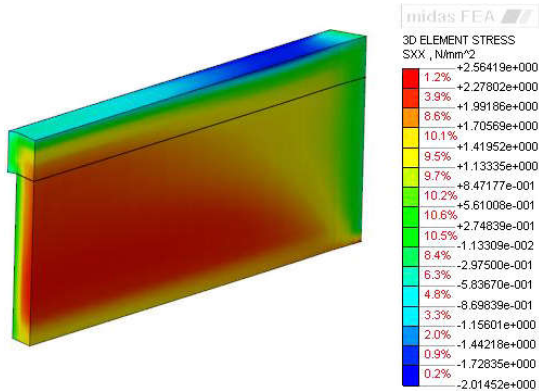


图5 桥墩结构温度云图 (500h时)

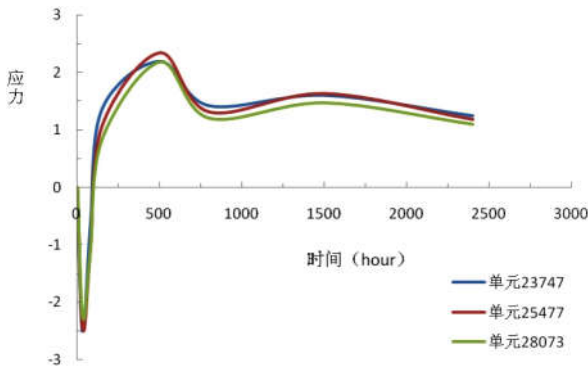


图6 节点应力变化 (MPa)

桥墩结构在混凝土浇筑完成后由水化热和收缩引起的应力变化比较明显。混凝土浇筑完成后由于内部膨胀, 结构表面受拉, 内部受压。随着热量散失, 内部收缩受到限制, 出现较大拉应力。整个过程中, 墩身在500h时出现最大拉应力2.4MPa, 2500h时墩身最终拉应力为1.3MPa (不计边角应力集中)。下图列举桥墩竖向平面上内部节点: 23747、25477、28073的应力变化情况。

最终最大拉应力出现在桥墩底部中间位置, 最大拉应力达到2.4MPa, 大于C30混凝土的抗拉强度, 易造成混

凝土开裂, 开裂位置与实际情况相符, 因此水化热和收缩徐变可能是造成桥墩开裂的原因之一^[3]。

2.2.3 不同工况结果对比

为了分析影响桥墩开裂的因素, 下文对桥墩宽度、承台墩身龄期差进行分析。桥墩宽度取全宽、半宽, 龄期差取7d、60d, 进行组合后合计四种工况, 其他条件同上。计算结果如表2。

表2 不同工况计算结果

工况	宽度	龄期差	最大拉应力	最终拉应力	最大温度
1	全宽	7d	1.90	0.82	55.8
2	全宽	60d	2.21	1.44	54.9
3	半宽	7d	1.81	1.07	54.7
4	半宽	60d	2.14	1.49	52.4

由上表可知, 桥墩结构在水化热过程中, 最大温度随宽度、龄期差的变化很小, 通常结构内部的最大温度由材料的发热量和结构的散热能力决定, 因此构件的材料及矩形桥墩的厚度起决定作用。桥墩结构的拉应力随着龄期差增长, 其大小相应的出现一定的增长, 可能为桥墩开裂的主要原因。另外注意到桥墩结构的最大拉应力随着随桥墩宽度增加而增大, 但最终拉应力反而变小, 可能是由于该应力在桥墩宽度方向出现了局部的应力释放^[4]。

结语

由本文的分析可以看出, 本项目桥墩的开裂静力荷载不是主要原因。大体积混凝土施工时, 水化热对结构的影响非常明显, 在浇筑完混凝土的前3d混凝土放热量很大, 会造成内部膨胀, 表面出现一定拉应力。随着热量散失, 桥墩结构的变形受到承台约束后在桥墩承台接触位置出现较大拉应力, 后期的混凝土收缩可能加剧墩身的开裂风险。最终计算得到, 整个过程中结构最大拉应力为2.4MPa, 大于混凝土抗拉强度, 因此桥墩的开裂可主要原因是水化热和龄期差造成的。通过对水化热进行参数化分析可以得到结论: 通过减小桥墩的宽度、缩短承台桥墩龄期差可以缓解桥墩的开裂风险。

参考文献

[1]朱伯芳.大体积混凝土温度应力与温度控制[M].北京:中国电力出版社,1999-07-13.
 [2]交通部公路规划设计院.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范JTJ023-85[M].人民交通出版社,2022,(06):175-177.
 [3]刘三元,曹阳,王波,等.薄壁墩混凝土水化热及收缩徐变分析[J].世界桥梁,2006,(03):42-44.
 [4]朱岳明,黎军,刘勇军.石梁河新建泄洪闸闸墩裂缝成因分析[J].红水河,2002,(02): 44-47+61.