

预制混凝土 T 梁早期裂缝原因分析

姜增国¹, 姜川², 郭玉峰¹, 黄涛¹

(1. 武汉理工大学土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430070;

2. 中建三局总承包公司, 湖北 武汉 430070)

摘要:以某公路大桥施工过程中一榀跨径 40 m 的预应力混凝土 T 梁开裂的工程实际为例, 采用有限元方法探讨了结构的损伤原因. 采用有限元软件建立了该预应力 T 梁的有限元模型, 分析计算了结构浇筑后张拉前这段时间的受力情况. 模拟了结构的时变温度效应及其对结构承载能力的影响. 通过系统的参数分析研究了结构产生裂缝的原因、机理及裂缝的特征. 研究表明浇筑温差及混凝土自身水化热引起的温度应力是导致结构出现裂缝的主要原因. 研究结论对预应力混凝土 T 梁的裂缝防治提出了具有实际意义的方法, 可以适用于其它类似结构的开裂分析.

关键词:预应力混凝土; T 梁; 裂缝; 性能评估

中图分类号: TU375.1

文献标识码: A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.05.007

0 引言

预应力混凝土 T 梁张拉前产生裂缝是一个复杂、常见而又难以彻底根治的问题. 近年来在基础设施建设中桥梁的比重越来越大, 预应力混凝土 T 梁的使用随着高强混凝土技术、预应力技术的发展成熟也很普遍. 由于各种各样的原因施工过程中预应力 T 梁张拉前在一些薄弱部位产生了贯穿裂缝而导致整片梁报废的情况时有发生, 造成了不小的经济损失. 因此, 对预应力混凝土 T 梁早期裂缝的研究显得极有意义.

1 预制混凝土 T 梁早期裂缝产生机理分析

预制混凝土 T 梁的早期裂缝是在梁体拆模后张拉前出现的裂缝, 这种裂缝产生的原因是多方面的^[1-2], 但从本质上讲都是由于所产生的混凝土拉应力超过自身的抗拉强度时引起的. 而混凝土早期的抗拉强度和受拉弹性模量都是处于发展过程的, 因此有必要预测早期混凝土抗拉强度和弹性模量随龄期的发展规律.

1.1 T 梁底座约束和沉降引起

由于台座的地基承载力不足, 台座的强度、刚度偏小, 浇注混凝土后台座发生不均匀的沉降变形而引起台座上的 T 梁开裂^[3].

梁体受到底模约束, 在梁底与底模接触面上

因摩擦、粘结作用产生的剪力阻止梁体缩短, 这等于使梁体受到拉伸, 对底缘的拉伸大, 向上渐减; 其在梁长截面上引起的水平拉应力也是底缘最大, 向上渐减. 此拉应力由梁体混凝土及钢筋的水平拉力来平衡, 当此拉应力大于梁体混凝土的抗拉强度时, 即产生竖向裂缝. 40 m T 梁底板配筋率最高, 其次为顶板, 腹板配筋率最小, 仅配置构造钢筋, 故竖向裂缝一般出现在腹板部位.

1.2 温度应力

早期龄期混凝土温度应力主要由两个因素引起. 一个是早期混凝土水化热引起的温度应力, 另一个是混凝土浇筑环境温度变化引起的温度应力.

因混凝土水化热引起的温度应力大体分为内部约束应力和外部约束应力. 内部约束应力是因为混凝土温度分布的不平衡约束了结构体积的膨胀而发生的应力. 在水化反应初期, 混凝土表面温度和内部温度差使混凝土表面发生张拉应力; 在温度下降阶段因为内部收缩变形大于表面, 所以在混凝土内部发生张拉应力. 内部约束应力的大小与结构物内外温度差成比例. 外部约束应力是因为外部边界约束了正在浇筑的混凝土的温度变形而发生的应力. 外部约束的影响与接触表面的宽度和外部约束刚度有关.

由于混凝土浇筑环境温度发生变化, 混凝土表面与内部温度出现差值, 从而引起温度应力. 一

收稿日期: 2012-02-21

作者简介: 姜增国 (1960-), 男, 山东莱州人, 教授, 博士. 研究方向: 桥梁性能检测与评价.

且混凝土表面与内部温差达到一定数值,温度应力便有可能超过此时的混凝土抗拉强度,出现温度裂缝. 早龄期混凝土环境温度变化主要指当地昼夜温差,因此是否会产生温度裂缝与气候和地理环境有关.

1.3 收缩应力

预应力混凝土 T 梁一般都是采用高强混凝土. 高强混凝土配制时通常都使用较高的胶凝材料总量,并且掺加有大量磨细矿物掺合料,以达到高强度的目的. 上述措施也引起了较大的混凝土自收缩. 从混凝土新拌开始一直持续到混凝土硬化后的较长一段时间内都有可能发生收缩,工程上表现为混凝土的开裂趋势增加^[4].

收缩是混凝土内部相对湿度随水泥水化进展而降低,造成毛细孔中的水分不饱和而产生压力差. 当压力差为负值时引起的收缩,水灰比很低的高强度混凝土能提供水泥水化的自由水较少,早期强度的发展率会使自由水消失很快,在外界补充水分不足的情况下,水泥水化不断消耗水分而且干燥产生自身的原始裂缝. 混凝土自收缩的大小与水灰比的大小、细掺料的活性、水泥细度等因素有关^[5].

2 工程实例

湖北某高速公路特大桥位于恩施野三关处,该地属云贵高原东北边缘“鄂西高原”,亚热带大陆性夏热潮湿气候区,具明显的大陆性气候特征. 四季分明,年平均气温 16~17℃,七、八月为炎热夏季,月平均气温为 27℃,最高气温达 41℃. 该地昼夜温差大,最高达 15~20℃.

该桥上部结构使用了 40 m 预应力混凝土先简支后结构连续 T 梁. T 梁的施工工艺均采用现场预制吊装. T 梁混凝土等级为 C50,在单幅桥横断面上布置为 5 片,全桥共 135 片. 预制 T 梁中部梁底厚 40 cm,腹板厚 20 cm,上翼缘两边厚 8 cm,根部厚 20 cm,翼板宽 190 cm,共分布 5 道对称横隔板.

某边跨中梁(编号 3-2)在浇筑后张拉前发现腹板出现两条竖向裂缝. 经现场检测,这两条竖向裂缝均为贯穿裂缝. 一条位于跨中处,裂缝长度约为 220 cm,从腹板马蹄形上部一直延伸至翼缘板底面中部;另一条位于 1/4~1/2 跨之间,裂缝长度约为 180 cm,从腹板马蹄形上部开始一直延伸至翼缘板根部. 如图 1.

经现场踏勘,预制该 T 梁的台座并没有出现不均匀沉降情况,且台座表面为光滑的钢板,摩擦系数小. 因此 T 梁底座约束和不均匀沉降这个原

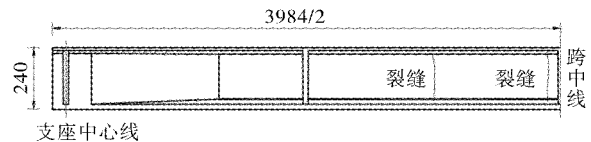


图 1 边跨中梁(编号 3-2 T 梁)立面及裂缝位置示意

Fig. 1 Elevation and crack distribution of central beam at side span (No. 3-2 T-beam)

因可以排除. 而用于浇筑该 T 梁的高强混凝土的配合比同于此前浇筑的大量 T 梁,这些 T 梁并没有出现由于配合比问题出现的收缩裂缝,该梁所产生的两条竖向贯穿裂缝本身也不符合早期混凝土收缩裂缝的特征,故可以排除混凝土早期收缩应力而引起这两条裂缝.

进一步查阅施工资料发现,该梁浇筑时间为 2007 年 8 月 3 日,此时正是该地区的高温时段,而且昼夜温差高达 20 度左右. 因此猜测该梁腹板出现的两条竖向贯穿裂缝可能与温差有关.

下面建立有限元模型进行模拟分析.

采用有限元结构分析软件 MIDAS/Civil 对 T 梁浇筑后张拉前这段时间进行模拟分析,主要分析 T 梁浇筑后混凝土水化热和浇筑环境温度变化的影响.

模型采用实体单元,把 40 m T 梁共分为 640 个实体单元,1458 个节点. 由此建立的 T 梁模型如图 2.

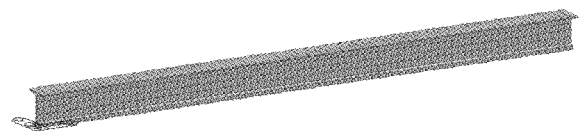


图 2 40 m T 梁有限元实体模型图

Fig. 2 Finite element model of the 40 m T-beam

混凝土采用 C50,混凝土比热取为 0.25,热传导率取 2.3;混凝土收缩徐变系数按规范(JTG D62-2004)取值,抗拉强度和抗拉弹性模量发展函数按 ACI 标准取值. 考虑浇筑时间和当地的气候条件,浇筑环境温度按正弦函数取值,昼夜温差取为 16℃,日平均温度取 18℃. 混凝土水化热热源函数由 MIDAS 有限元分析软件按材料特性选取. 材料为高强硅酸盐水泥、水泥容重 500 kg/m³.

利用 MIDAS 软件水化热分析控制 40 m T 梁早龄期的温度场和应力场,建立了两个施工阶段,施工阶段一为浇筑后拆模前,施工阶段二为拆模后张拉前. 浇筑时大气温度取 20℃. 分析发现,梁体混凝土拉应力最大值出现在拆模前后的数小时内,按照现场实际 T 梁拆模时间为 48 h. 图 3 和图 4 分别为浇筑后 49 h 时 T 梁体的应力场和温

度场。

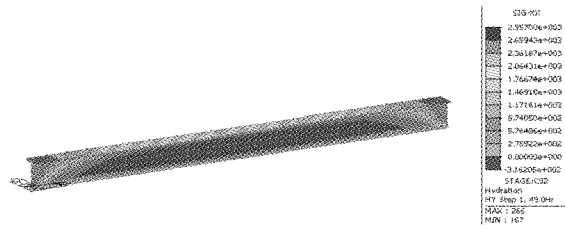


图3 浇筑后 49 h T 梁梁体的应力场

Fig.3 Structural stress fields of the T-beam after pouring for 49 hours

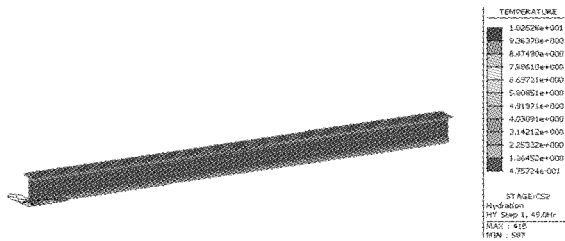


图4 浇筑后 49 h T 梁梁体的温度场

Fig.4 Structural temperature fields of the T-beam after pouring for 49 hours

由有限元模型分析数据可以看出,模板拆除之后,梁体腹板部位温度低,而梁底马蹄部和翼缘板部位温度较高,梁底马蹄部和翼缘板处产生的温度应力与腹板处产生的温度应力差值较大,因此在腹板处会产生较大的拉应力.从另一个角度来说,梁底马蹄部和翼缘板处较高温度会使 T 梁顶部和底部发生沿梁体长度方向的伸长变形,而腹板处的较低温度会使 T 梁腹板处沿梁体长度方向收缩变形.由于腹板处混凝土较顶底板薄弱,因此,如果这个变形超过梁体的适应范围,便会在腹板处发生竖向裂缝,而且这种裂缝往往是贯穿裂缝.图 5 是混凝土浇筑后 49 h 时的梁体变形图.

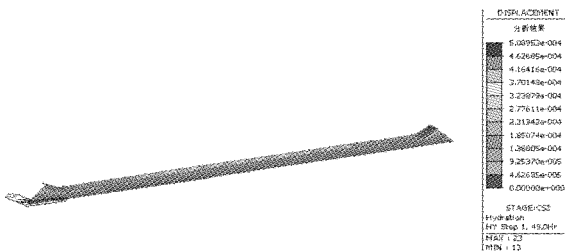


图5 浇筑后 49 h T 梁梁体变形图

Fig.5 Structural deformation of the T-beam after pouring for 49 hours

为了研究由于温度差值引起的梁体腹板拉应力大于此时混凝土容许张拉应力,取梁体跨中横截面腹板 266 单元、615 节点,分析其拉应力与容许张拉应力随时间的发展情况,如果在这个过程中该节点混凝土所受拉应力大于其容许张拉应力,那么此时便会有竖向裂缝产生.图 6、图 7 分别

是 266 单元、615 节点处混凝土温度、拉应力和容许张拉应力与时间的关系图.

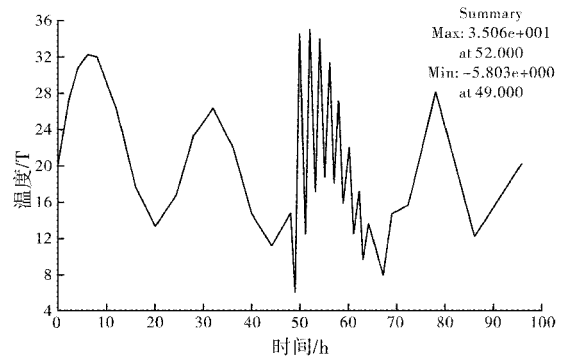


图6 615 节点处混凝土温度与时间关系图

Fig.6 Variations of concrete temperature with time for node 615

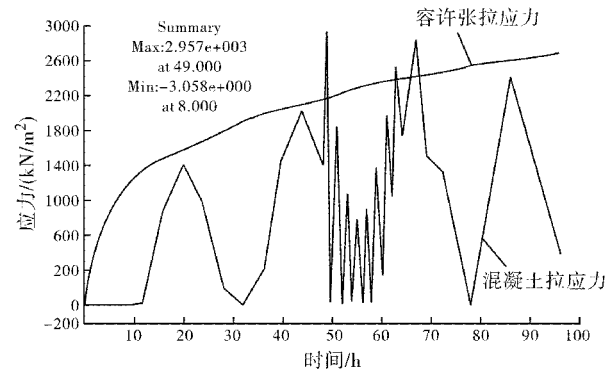


图7 615 节点处混凝土拉应力、容许张拉应力与时间关系图

Fig.7 Variations of tensile stress and permitted tensile stress with time for node 615

由图 7 可以看出,在 T 梁模板拆除前后这段时间,615 节点处混凝土所受的拉应力已经大于此时混凝土的容许张拉应力,将会有裂缝产生.而在工程实际中则表现为 T 梁梁体的跨中裂缝,本片 T 梁所出现的两条裂缝即属于此类裂缝.

该边跨中梁由于浇筑时为昼夜温差较大,而且是高强度混凝土,水化热较普通混凝土大,浇筑后,当跨中腹板截面混凝土的拉应力大于其容许张拉应力,便会在跨中腹板处发生竖向贯穿裂缝.当跨中腹板竖向裂缝形成后,梁体最大应力处会发生转移,由分析可得,梁体最大位移会转移到 1/4 ~ 1/2 跨之间,同样原因在此处便会出现第二条腹板竖向裂缝.

3 结 语

预应力混凝土 T 型梁张拉前产生裂缝是一个比较复杂的问题,它涉及到混凝土的材料、结构性及施工环境,施工控制等方面的问题.工程中,往往对混凝土的材料、施工条件,包括材料的配合

比、预制梁体底座等比较重视,但是却缺乏对施工环境的温度变化对梁体产生的影响研究。

通过对预制混凝土 T 梁早期裂缝的有限元分析研究,得出 T 梁浇筑时的昼夜温差及混凝土自身水化热引起的温度应力会导致 T 梁张拉前腹板处产生竖向贯穿裂缝。因此,在 T 梁浇筑时,特别是昼夜温差较大的地区,应该充分考虑浇筑过程中混凝土的温度应力。采取适当的养护措施,特别是 T 梁腹板处,由于腹板处较薄弱;且此处较梁体顶底板难于养护,更应该做好保温保湿。

参考文献:

[1] 陈萌. 混凝土结构收缩裂缝的机理分析与控制[D].

武汉:武汉理工大学,2006.

[2] 金贤玉,沈毅,李宗津. 高强混凝土的早龄期特性试验研究[J]. 混凝土与水泥制品,2003(5):5-7.

[3] 李壁有. 预应力混凝土 T 型梁张拉前裂缝的成因与控制[J]. 西部探矿工程,2007,19(2):157-159.

[4] 黄国兴,惠荣炎. 混凝土的收缩[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1982.

[5] 朱清江. 高强高性能混凝土的研制与应用[M]. 北京:中国建材工业出版社,1999.

Investigation on crack effects of pre-stressed concrete T-beam at early stage based on finite element analysis

JIANG Zeng-guo¹, JIANG Chuan², GUO Yu-feng¹, HUANG Tao¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, China;

2. General Construction Company of CCTEB, Wuhan 430070, China)

Abstract: A pre-stressed concrete T-beam with 40 m span of a highway bridge which cracked during construction stage was taken as the example to investigate the structural performance during the period of the pouring and stretching. The finite element method was applied to explore the reason for the crack expansion. The finite element model of the T beam was established with the aiding of the commercial package to investigate the structural stress distribution. The variations of structural performance induced by the time-varying temperature change were computed. The parametric study was carried out to examine the reasons for the crack expansion and the properties of the crack distribution. The results indicate that the temperature change in the pouring process and the heat of the hydration may induce substantial thermal stresses, which is the major factor to induce the structural cracks. Some measures which are proposed to prevent the structural cracks of the pre-stressed concrete T-beam during construction stage in this study can be applied in the crack analysis of similar structures.

Key words: pre-stressed concrete; T-beam; crack; performance assessment

本文编辑:龚晓宁