

混凝土箱梁桥日照温度场的实测与仿真分析

顾斌¹, 顾志虎², 杨明³

1. 河海大学 土木与交通学院, 江苏 南京 210098;
2. 江苏省淮安市淮安区城市排涝泵站管理所, 江苏 淮安 223200;
3. 华电电力科学研究院, 浙江 杭州 310030

摘要:通过对某大型混凝土箱梁桥温度场的观测,分析了混凝土箱梁在日照辐射作用下的温度变化情况和竖向温度梯度的分布规律,发现日照辐射作用下混凝土箱梁竖向温度梯度模式近似服从指数分布。建立了基于气象参数的混凝土箱梁日照温度场有限元模型,并验证了该模型的准确性。最后,计算了50年一遇气象参数条件下混凝土箱梁竖向温度梯度分布情况,结果表明,极端条件下混凝土箱梁竖向最大温差可达18.5℃。

关键词:混凝土箱梁;日照温度场;仿真分析;实测数据

中图分类号:U448.35

文献标识码:A

文章编号:1671-5322(2012)04-0008-05

混凝土箱梁是大跨径预应力混凝土连续梁桥和连续钢构桥的主要截面形式,但裂缝已经成为该类型桥梁的主要病害。研究表明^[1-3]混凝土箱梁的温度应力有时甚至比荷载产生的应力还要大,这种温度应力主要是由混凝土箱梁中的不均匀温度场产生的。

本文对某大型预应力混凝土连续钢构桥的温度场进行了观测,分析了日照辐射作用下,箱梁温度梯度的变化规律,最后建立了基于气象参数的混凝土箱梁日照温度场有限元模型,并计算了50年一遇气象参数条件下混凝土箱梁竖向温度梯度

分布情况。

1 混凝土箱梁温度场的观测与分析

观测桥梁跨度为140+268+140=548 m的预应力混凝土连续钢构桥,位于长江下游地区。桥梁走向为南北走向,上部结构上下行分幅布置,桥面铺装层为11 cm厚的沥青混凝土,全桥采用单箱单室直腹板混凝土结构,箱梁顶宽16.4 m,底宽7.5 m。其中跨中断面的温度测点布置如图1所示。

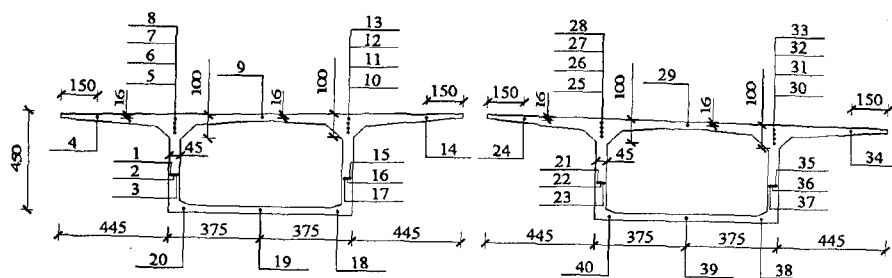


图1 截面尺寸与测点布置(单位:cm)

Fig. 1 Layout of temperature sensors and section size

收稿日期:2012-10-18

作者简介:顾斌(1986-),男,江苏淮安人,博士研究生,主要研究方向为大跨度桥梁安全监控。

1.1 日照辐射作用下箱梁温度的变化

为了能够反应日照辐射作用下箱梁较为不利的温度分布,本文挑选了夏季中天气晴朗,环境温度较高的几天温度数据为研究对象(2008年8月4日~2008年8月6日)。

图2为跨中断面处的大气温度和箱室内空气的温度,如图所示,大气温度绝大部分时间低于箱室内空气温度,1 d之中大气温度近似呈现正弦式变化,变化幅度为 5°C 左右,而箱室内空气由于处于封闭状态,其温度变化幅度很小,不到 2°C ;大气温度变化与箱室内空气温度变化呈负相关性,1 d中大气最高温度出现在14:00左右,箱室内空气最高温度出现在夜间1:00左右。

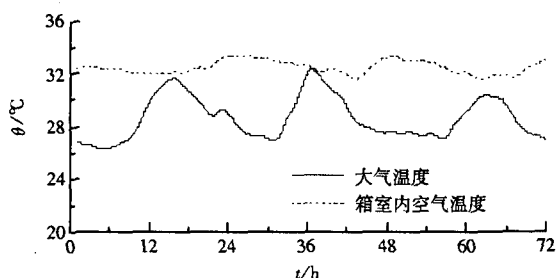


图2 大气温度与箱室内温度

Fig.2 The temperature of atmosphere and air inside box girder

图3为箱梁顶板温度(温度取值为相同深度测点温度的平均值),由于有了铺装层隔热的效应,顶板温度的变化幅度显著降低,顶板以下0.5 m范围内,混凝土温度大概呈正弦变化,0.2 m深处温度变化幅度约为 3.5°C ,0.4 m深处变化幅度约为 1.5°C ,0.6 m深处以下混凝土温度的变化幅度基本为0。

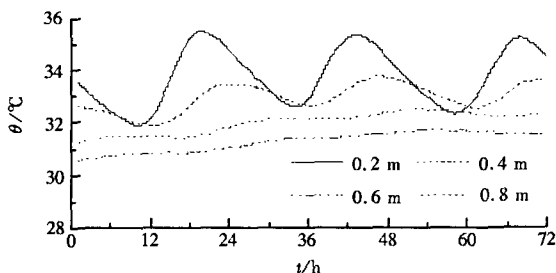


图3 混凝土箱梁顶板温度

Fig.3 The deck slab temperature of concrete box girder

箱梁腹板温度如图4所示,箱梁下游幅东侧腹板由于较早受到太阳辐射作用,所以下游幅东侧腹板在上午7:00~10:00之间上升明显较快,且在较长时间内都高于上游幅箱梁腹板与下游箱梁西侧腹板相同深度处的混凝土温度,但相差不大,在10:00时左右,温差达到最大值;箱梁上游幅西侧腹板在下午时受到太阳辐射作用,故上游幅西侧腹板在下午时刻升温较快,并最终高于下游幅箱梁腹板和上游幅东侧腹板相同深度处的混凝土温度;上游幅箱梁西侧腹板与下游幅箱梁东侧腹板11.25 cm深处一天之中变化幅度约为 1°C 左右,内侧腹板由于一直处于阴影中,没有太阳辐射作用,温度变化幅度基本为0。

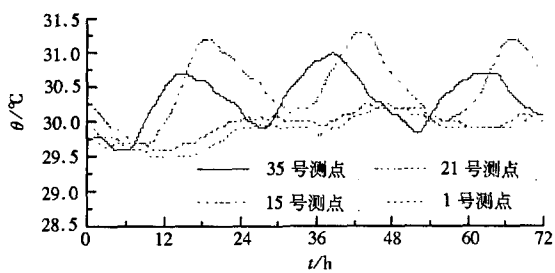


图4 混凝土箱梁腹板温度

Fig.4 The web temperature of concrete box girder

图5为底板温度,如图5所示,一天中箱梁底板16 cm深度处约有 1°C 的变化幅度,大于内侧箱梁11.25 cm深度处的15号和21号测点,这主要原因是因为底板白天会受到水面对太阳辐射的影响。

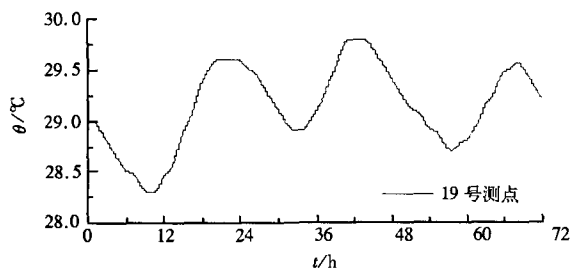


图5 混凝土箱梁底板温度

Fig.5 The bottom slab temperature of concrete box girder

1.2 日照辐射作用下箱梁竖向温度梯度的变化

以2008年8月4日为例,其一天中温度梯度的变化如图6所示,箱梁竖向温度梯度在17:00

左右达到最大值,0.2 m 深度处于腹板最大温差为 5.3 ℃;由于 11 cm 厚沥青混凝土铺装层的保温作用,箱梁顶板在夜间只有 0.4 m 范围内存在负温差现象,但顶板温度还是整体高于腹板温度;底板温度在一天之中也基本均小于腹板温度,分析这原因可能是由于江水温度较低,在与箱梁底板进行辐射热交换时候在一定程度上降低了底板的温度。

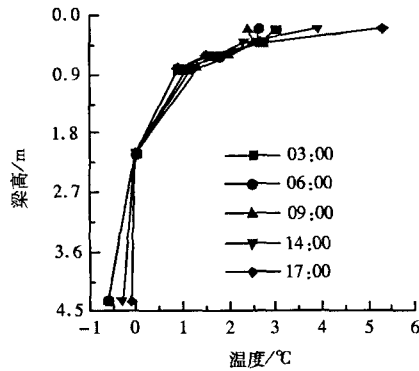


图 6 实测混凝土箱梁竖向温度梯度
Fig. 6 The measured vertical temperature gradients of concrete box girder

由于箱梁顶板表面没有测点,故需要外推得到顶板表面温度,由图 6 可见,若不考虑底板温差,箱梁的竖向温度梯度分布模式接近与指数分布,故混凝土箱梁沿截面高度的温度梯度模式假定为

$$T(y) = T_0 e^{-\alpha y} \quad (1)$$

式中, T_0 为箱梁截面竖向温差,℃; y 为距离箱梁顶板表面的距离,m; $T(y)$ 为离箱梁顶面 y 的梯度温度,℃; α 为指数的衰减系数。最大温差 T_0 和系数 α 决定了箱梁断面的温度差异分布形式。

将上述箱梁混凝土温度实测数据进行整理并将其拟合后如表 1 所示,从表中可知,拟合出的竖向最大温差为 10.0 ℃,但衰减系数比诸多文献建议的 5 要小。

2 极值温差的研究

上节中分析了夏季晴朗天气条件下箱梁竖向温度梯度的变化情况,最后使用拟合公式外推得到了箱梁竖向最大温差,但从结果中可以看出,外推得到的竖向最大温差较小,并不代表可能出现的最不利情况。为获得可能出现的最不利竖向

表 1 箱梁截面温度及其拟合温度梯度/℃
Table 1 The temperature of concrete box girder

		08 年 8 月 4	08 年 8 月 5	08 年 8 月 6
		日 17:00	日 17:00	日 17:00
梁高	0.2 m	5.261	4.904	4.784
	0.4 m	2.697	2.95	2.928
	0.6 m	1.464	1.774	1.991
	0.8 m	0.886	1.107	1.39
	2.12 m	0	0	0
拟合公式		$10.0e^{-3.2y}$	$8.2e^{-2.5y}$	$7.4e^{-2.2y}$

温差,本文建立了混凝土箱梁日照温度场有限元模型,对混凝土箱梁可能出现的最不利温度梯度进行了分析。

2.1 模型的建立及其验证

在日照辐射作用下,混凝土箱梁与外界的热交换不仅有来自太阳直接辐射和散射辐射,也有与周围环境之间的对流和长波辐射热交换(图 7)。箱梁外表面热平衡可由下式表示:

$$q_s + q_R + q_B + q_G = q_{Ca} + q_{Ra} \quad (2)$$

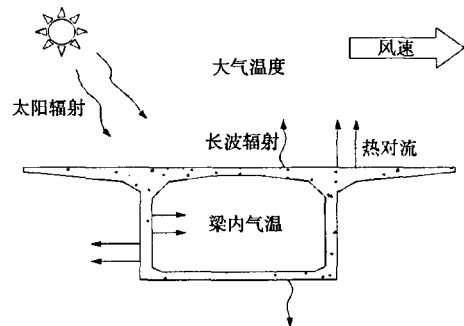


图 7 混凝土箱梁与环境热交换示意图
Fig. 7 Heat transfer between concrete box girder and environment

式中, q_s 为箱梁外表面所吸收的太阳辐射热流密度; q_R 为箱梁外表面所吸收的地表反射的太阳辐射热流密度; q_B 为箱梁外表面所吸收的大气辐射热流密度; q_G 为箱梁外表面所吸收的地表辐射热流密度; q_{Ca} 为箱梁外表面与大气对流换热的热流密度; q_{Ra} 为箱梁外表面向周围环境发出的辐射热流密度,各种参数的计算方法详见文献[4]。

沥青混凝土表面和混凝土表面对太阳辐射吸收率^[5]分别取为 0.9 和 0.6,对长波辐射的吸收率分别取为 0.9 和 0.88。沥青混凝土和混凝土热力学参数见表 2 所示。

表2 材料热力学参数
Table 2 Material thermodynamics parameters

	密度 /(Kg·m ⁻³)	导热系数 W/(m·℃)	比热 J/(kg·℃)
沥青混凝土	2 100	1.17	8.86
混凝土	2 500	0.98	10.1

经有限元求解,可得每一时刻箱梁的温度场。箱梁顶板和腹板处部分测点的计算温度和实测温度变化如图8所示。图中数据表明,计算温度与实测温度吻合均良好,两者不仅在规律上相似,而且误差也均在1℃范围之内,这说明基于气象数据建立的有限元模型可以较好的模拟箱梁实际温度场。

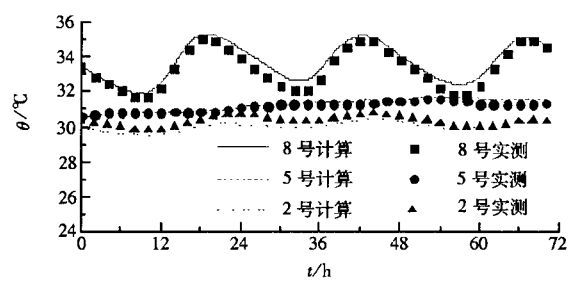


图8 计算温度与实测温度对比
Fig.8 Comparison between measured and calculated temperatures

大气辐射系数取为0.82,江水辐射系数参照文献取为0.96。

2.2 极值温差的估算

混凝土箱梁最不利温度效应发生的条件为:太阳辐射强度较大、环境风速较低以及大气日温差较大。

由于桥梁实际位置离上海较近,故参照文献[6]中提出的50年一遇气象参数取值,及太阳辐射日总量最大值为31.36 MJ/m²、夏季日温差最大值为16.08℃和日平均最小风速为0.89 m/s。

参考文献:

[1] 刘兴发. 混凝土结构的温度应力分析[M]. 北京:人民交通出版社,1991:2-3.
[2] 张建荣,周元强,林建萍,等. 太阳辐射对混凝土箱梁温度效应的影响[J]. 同济大学学报:自然科学版,2008,36(11):1 479-1 484.
[3] Larsson O, Thelandersson S. Estimating extreme values of thermal gradients in concrete structures[J]. Materials and Structures, 2011,44(8):1 491-1 500.
[4] 顾斌,陈志坚,陈欣迪. 大尺寸混凝土箱梁日照温度场的实测与仿真分析研究[J]. 中南大学学报:自然科学版,2012(12):3 844-3 847.

夏季逐时大气温度以及日照辐射强度的计算见文献[6]。

图9为在50年一遇气象参数条件下的箱梁温度梯度分布图,从图中可以看出,极端情况下,混凝土箱梁竖向温差可达18.5℃,底板温差可以忽略不计。经拟合,极端情况下,箱梁竖向温度梯度分布可以表示为 $18.5e^{-3y}$ 。

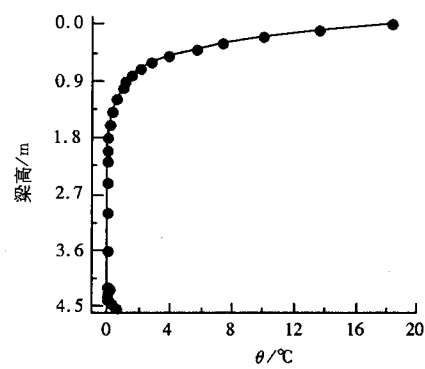


图9 混凝土箱梁竖向温度梯度
Fig.9 Vertical temperature gradients of concrete box girder

3 结论

通过实测数据分析表明,夏季晴天时大气温度绝大部分时间低于箱室内空气温度,箱室内空气由于处于封闭状态,其温度变化幅度很小,不到2℃;由于11 cm厚沥青混凝土铺装层保温的作用,箱梁顶板在夏季晴天的夜间只有0.4 m范围内存在负温差现象;实测竖向温度梯度近似符合指数函数分布。

基于气象数据建立的有限元模型可以较好的模拟箱梁实际温度场。50年一遇气象参数值条件下混凝土箱梁竖向温度梯度可以表示为 $18.5e^{-3y}$ 。

- [5] Fu H C, Ng S F. Thermal behavior of composite bridges[J]. Journal of Structural Engineering, 1990, 116(12): 3302 – 3323.
- [6] 肖建庄, 宋志文, 赵勇, 等. 基于气象参数的混凝土结构日照温度作用分析[J]. 土木工程学报, 2010, 43(4): 30 – 36.

Measurement and Simulation Analysis for the Solar Temperature Field of Concrete Box Girder Bridge

GU Bin¹, GU Zhi-hu², ZHANG Ning-ning³

- (1. College of Civil and Transportation Engineering Hehai University, Nanjing Jiangsu 210098, China;
2. The City Draining Pump Management Station of Huaian District, Huaian Jiangsu 223200, China;
3. China Huadian Electric Research Institute, Hangzhou Zhejiang 310030, China)

Abstract: The law of temperature change and vertical temperature gradient distribution of the concrete box girder were studied, according to the measured temperature data of one large concrete box girder bridge, the result shows that the vertical temperature gradient distribution of the concrete box girder nearly obeys index distribution. A finite element model of solar temperature field of concrete box girder based on meteorological parameters is established and the accuracy of the model is verified. Finally, the temperature gradient distribution of the concrete box girder is analyzed with the meteorological parameter standard values of 50-year and the extreme temperature difference can reach 18.5 °C.

Keywords: concrete box girder; solar temperature field; simulation analysis; measured data

(责任编辑: 沈建新)

(上接第 7 页)

Study on the Effect of Tidal Level on Settlement of Pile Foundation

ZHOU Hao^{1,2}, ZHANG Ning-ning¹, LING Hai-rong³

- (1. China Huadian electric research institute, Hangzhou Zhejiang 310030, China;
2. College of civil and transportation engineering Hohai University, Nanjing Jiangsu 210098 China;
3. China Construction Bank branch in Taizhou costcenter, Taizhou Jiangsu 225300, China)

Abstract: In deep water, the pros and cons that influence the settlement of pile foundation are complicated. The effect of tidal level on settlement of pile foundation was analyzed by monitoring data, settlement of pile – group caused by tidal level foundation was quantitative by means of numerical analysis method. By combined Duncan – Chang nonlinear model with Biot consolidation theory, finite element model of pile – group foundation is established. The influence of tidal level on settlement of pile – group foundation are simulated. The research result indicates that tidal level has effect on accelerating Soil Consolidation of pile foundation. The bigger the tidal level, more obviously the effect, the smaller settlement and the more favorable the force of pile foundation.

Keywords: tidal level; settlement of pile foundation; Duncan – Chang nonlinear model; Biot consolidation

(责任编辑: 沈建新)