

文章编号: 1005-0523(2007)04-0030-03

预应力混凝土桥梁徐变模型试验相似关系研究

石挺丰¹, 胡 狄², 陈政清³

(1. 广州港集团, 广东 广州 510700; 2. 中南大学, 湖南 长沙 410075; 3. 湖南大学, 湖南 长沙 410082)

摘要: 讨论预应力混凝土桥梁徐变模型试验主要影响因素及处理原则, 提出了模型梁设计时需满足的相似关系; 基于 CEB-FIP(MC90)徐变模型, 建立了模型梁与原型梁跨中徐变长期上拱的相似关系. 模型梁试验推算值与实桥测试值比较表明, 推算值具有较好的精度. 本文为预应力混凝土桥梁非足尺结构模型的徐变试验研究提供新思路, 建立的公式在工程试验研究中具实用性.

关键词: 桥梁; 预应力混凝土; 徐变; 模型试验; 相似关系

中图分类号: U448

文献标识码: A

1 引言

根据目前对徐变机理和影响因素研究的水平, 非足尺的模型梁不能准确反应原型梁的徐变行为, 因为影响徐变的重要因素之一“构件理论厚度”是有量纲的, 要设计一个能与原型梁建立起具有完全相似关系的模型梁几乎不可能, 这亦是为什么通常只做混凝土材料(试块)徐变试验而非结构模型试验的原因. 然而, 由于经费和试验场地等原因, 足尺的模型梁试验通常是不现实的, 因此, 如何建立非足尺模型梁与原型梁(实桥)间较合理的徐变变形相似关系, 使模型梁试验结果尽可能准确地反应原型梁的徐变变形特性, 具有重要的现实意义.

基于相似理论, 结合“秦沈客运专线无碴后张法预应力混凝土箱梁(24 m)设计”模型梁徐变试验研究, 本文着重讨论试验的影响因素及处理原则、模型梁制作时需满足的相互关系, 提出了从试验结果推求原型梁徐变长期上拱度的方法. 由于 CEB-FIP(MC90)徐变模型(JTG D62-2004 采用)较 CEB-FIP(MC78)(TB10002.3-2005 采用)、ACI209R-92 徐变模型预测的统计精度高, 且表达式较简洁, 推导中采

用 CEB-FIP(MC90)徐变模型.

2 桥梁徐变模型试验影响因素分析及处理原则

影响桥梁徐变的因素主要包括混凝土材料性质、截面尺寸特征、工作环境温度及湿度、加荷龄期及持荷时间、预应力度、钢筋截面配筋率与布置等六个方面.

2.1 混凝土材料性质

骨料种类、粒径及含量、水灰比、外加剂、水泥品种等均影响混凝土徐变. ACI209R-82 徐变模型采用混凝土稠度影响系数、细骨料含量影响系数, 而 CEB-FIP(MC78)、CEB-FIP(MC90)及 ACI209-R92 徐变模型则采用混凝土的强度及其发展, 来间接地反映水灰比、水泥用量等的影响, MC90 还给出了不同水泥类型对徐变的影响. 各种规范中, 混凝土材料对徐变影响通过与一个或几个影响因素相乘、或者是总徐变中单独一项(如 MC78 中 β_a)来体现. 如果模型梁采用与原型梁相同的材料及配合比, 则材料对徐变的影响就可以认为基本相同. 但由于模型尺

收稿日期: 2007-04-16

基金项目: 铁道部科技研究开发计划项目(2000G048)

作者简介: 石挺丰(1966—), 男, 海南海口人, 高级工程师, 2004年毕业于中南大学桥梁工程专业, 工学硕士.
(C)1994-2024 China Academic Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

寸一般较原型小,粗骨料粒径受限,且模型材料与原型材料来源难以相同,因此,模型试验中至少应采用相同的配合比和相似的材料、稠度、强度,以尽可能降低材料对混凝土徐变的影响。

2.2 构件尺寸及外形

对于结构的弹性参量,尺寸相似关系及变形相似关系容易获得。若考虑徐变影响,相互关系就变得复杂,主要原因是影响徐变重要因素之一的理论厚度是有量纲的,当原型梁与模型梁的理论厚度取相同值时,截面尺寸的相似关系很难得到。同时,构件尺寸及外形将决定环境温度与湿度影响徐变的程度,即理论厚度与环境对徐变的影响是相互耦合的。CEB-FIP(MC78)徐变模型中,分项流塑系数、滞后塑性应变均与理论厚度有关;CEB-FIP(MC90)徐变模型中,和湿度不但同时影响徐变随应力持续时间变化的系数,亦同时影响名义徐变中的湿度影响系数的计算。因此,徐变试验中,构件尺寸及外形的相似关系必须与环境同时考虑。

2.3 环境温度及湿度

研究表明,混凝土中水份迁移是产生徐变的最重要原因。环境的湿度直接影响到结构与周围环境的水份交换,其对徐变影响程度的差别达1~3倍。温度改变结构表面的蒸发率,从而影响徐变;同时,混凝土构件与周围环境的水份交换速度与构件截面尺寸密切相关。因此徐变试验中环境因素很难单独考虑,应与截面形状和尺寸同时分析。

2.4 加载龄期及持荷时间

徐变与应力历史有关。徐变试验时,若采用与原型梁的一期恒载、二期恒载、预应力的作用时间完全相同,则可以认为在原型梁和模型梁中加载龄期及持荷时间对徐变的影响基本相同。

2.5 预应力度

预应力度不但影响桥梁的短期变形,更影响桥梁的长期变形。更重要的是,预应力度使力筋具有不同的应力松弛时程曲线,应力历史的变化又将引起徐变的变化,原型梁与模型梁的这种变化是很难得出相似关系的。因此,模型梁必须采用与原型梁相同的预应力度且相同的预加力,以及相同的预应力度。

2.6 普通钢筋配筋率

普通钢筋约束混凝土的徐变,导致混凝土和钢筋间的截面应力重分布以及超静定结构中的结构内力重分布。配筋率影响徐变效应的发展,且配筋率对徐变的影响与截面应力状态、受压区高度、配筋特征

等相关,因而模型梁应采用与原型梁相同的配筋率和相似的截面布置。

3 模型梁与原型梁的相似关系

3.1 模型梁设计指导思想

根据以上讨论,混凝土材料、加载龄期及持荷时间、预应力度、普通钢筋配筋率等试验时可单独考虑的影响项,模型梁应当完全模拟原型梁;构件尺寸及外形、环境温度及湿度是相互影响项,且试验时环境模拟一般很困难,故只能根据模型梁与原型梁及其工作环境的相互关系,结合它们对徐变综合影响规律的研究结果,分别考虑它们对模型梁及原型梁徐变的影响。

徐变直接与应力(应变)状态相关,试验时模拟原型梁的截面应力(应变)状态,因此,刚度模拟是模型梁设计的控制要素,它是建立其它相似关系的基础。

3.2 模型梁设计时应满足的相似关系

设 L 为梁长, A 为截面积, f 为梁跨中挠度, e 为梁中预应力合力 N_y 的偏心, q 为恒载集度,相似比 C 为原型量值与模型量值的比。从刚度模拟出发,确定合适的 C_L 和 C_A 及模型梁截面尺寸,由此算得 C_w 。取 $C\varepsilon=1$,根据相似理论,可推导得到模型梁设计时需满足的相似关系:

$$C_\sigma = C_E, C_{N_y} = C_A \cdot C_E, C_e = \frac{C_w \cdot C_E}{C_{N_y}},$$

$$C_q = \frac{C_w \cdot C_E}{C_L^2}$$

上述表明模型梁自重作为一期恒载无法满足相似关系,需加补偿荷载集度 $\Delta q = q_p / C_q - q_m$,式中“ p ”代表原型梁的值,“ m ”代表模型梁的值。

3.3 模型梁与原型梁弹性变形及徐变上拱的相似关系

根据跨中弹性挠度计算公式及将前面得到的相似关系代入上式,可得跨中挠度相似系数:

$$C_f = \frac{C_L^2}{C_{y_{\max}}} \quad (1)$$

式中 y_{\max} 为梁顶(底)缘至梁中性轴的距离。

考虑到钢筋对徐变存在约束影响,可采用下式估算施加预应力度之后梁体徐变上拱:

$$f_{camb}(t, t_1) = \lambda_s(t, t_1) \cdot \varphi(t, t_1) f_1 - f_2 \cdot \lambda_s(t, t_2) \varphi(t, t_2) \quad (2)$$

式中 t_1, t_2, f_1, f_2 为施加预加力与铺设桥面系

等施加二期恒载时的混凝土龄期和弹性挠度; $\lambda_s(t, t_1)$ 、 $\lambda_s(t, t_2)$ 为钢筋对徐变上拱的约束影响系数, 一般在 0.65~0.85 间变化, 可取 0.7.

由式(2)可得模型梁与原型梁跨中徐变上拱相似比:

$$C_{f, cr} = C_f \cdot \delta_f \quad (3)$$

式中 δ_f 为考虑模型梁与原梁工作环境等差异的调整系数. 采用 MC90 徐变模型, 有

$$\delta_f = k_{\varphi RH} \frac{k_{\lambda 1} k_{\beta 1} - \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 \gamma_{\lambda 1} \gamma_{\beta 2}}{1 - \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3} \quad (4)$$

式中 $k_{\varphi RH} = \varphi_{RH, p} / \varphi_{RH, m}$ 为原型梁与模型梁工作环境湿度与理论厚度差异修正系数; $k_{\beta i} = \beta_{c, p}(t, t_i) / \beta_{c, m}(t, t_i)$ ($i=1, 2$). 为徐变随持荷时间发展的修正系数, $k_{\lambda i} = \lambda_{s, p}(t, t_i) / \lambda_{s, m}(t, t_i)$ 为钢筋对徐变约束影响修正系数; $\gamma_1 = \lambda_{s, m}(t, t_2) / \lambda_{s, m}(t, t_1)$, $\gamma_2 = \varphi_m(t, t_2) / \varphi_m(t, t_1)$, $\gamma_3 = f_{2, m} / f_{1, m}$.

由式(1)~(4)可从模型梁的试验值推算原型梁任意时刻跨中徐变上拱.

4 理论计算值与试验值的分析与讨论

表 1 实际桥梁跨中弹性上拱实测值与试验推算值的比较

类别	施加预应力与梁自重	偏差	施加二期恒载	偏差
实桥测量值	11.390 mm		3.48 mm	
模型梁测量值	2.853 mm		0.885 mm	
据式(2)推算的实桥值	10.51 mm	7.7%	3.260 mm	6.3%

说明: 偏差计算以实桥(原型梁)实测值为基准.

表 2 实际桥梁跨中徐变上拱实测值与推算值的比较

结果来源	施加预应力至施加二期恒载期间		施加二期恒载至运营终了(50年)	
	上拱增量(mm)	偏差	上拱增量(mm)	偏差
实桥测量值和推算值	7.8 (实测)		4.8	
据式(2)~(5)推算	8.9	14.1%	5.6	15.7%

说明: (1)施加二期恒载前期模型梁的值采用试验平均值, 施加二恒至运营终了(50年)徐变上拱增量按文献[14]试验值推算得到; 实桥上拱增量据已测数据推算得到;
(2)偏差计算以实桥(原型梁)实测值或推算值为基准.

5 结论

本文讨论了基于模型梁的徐变试验中必须考虑的主要影响因素和处理原则, 建立了模型设计中需满足的相似关系, 提出了从模型梁的弹性上拱和长期徐变上拱推算原型梁相应值的方法及计算式, 为基于结构而非混凝土试块的徐变试验提供了新的思路, 所建立的公式在工程试验研究中具应用价值.

以铁道部专业设计院设计“秦沈客运专线无碴后张法预应力混凝土箱梁(24m)”为原型梁, 采用本文的处理原则和建立的相似关系, 制作了计算跨度为 6m 的三片预应力混凝土模型梁. 其中 $C_L=4$, $C_\sigma=C_E=C_\epsilon=1$, $C_e=4.459$, $\Delta q=7.7$ kN/M, $C_f=3.683$, $\delta_f=1.054$, 模型梁进行了 635 天的长期变形观测, 实桥上进行了 1 082 天的长期变形观测. 表 1 给出了施加预应力、梁自重及桥面系等二期恒载引起的模型梁试验值、推算值和实桥测量值的比较; 表 2 给出了施加预应力后模型梁跨中徐变上拱试验值、推算值和实桥跨中徐变上拱测量值的比较. 表 1 中施加荷载引起的弹性变形试验推算值与实桥测实值相当接近, 误差均在 8% 以内; 表 2 中跨中徐变上拱的试验推算值与实桥测实值相比偏差在 16% 以内. 考虑到模型梁采用的混凝土材料和混凝土物理力学性质难以与原型梁完全一样, 其徐变特性亦难以相同, 因此, 产生上述推算偏差是可以接受的. 依据目前预测徐变长期变形的水平, 可以认为上述结果已具有较好的精度.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国行业标准. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTG D62-2004)[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [2] 中华人民共和国行业标准. 铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范(TB10002.3-2005)[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2005.
- [3] Bazant Z P, Baweija S. Justification and Refinement of Model B3 for Concrete Creep and Shrinkage - 1. Statistics and Sensitivity[J]. Material & Structure. 1995, 181, 415-430.

(下转第 50 页)

Study on Residual Deformation of Soft Foundation under Vehicle Load

GENG Da-xin¹, ZHONG Cai-gen², ZHENG Ming-xin¹

(1. School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013;

2. Geotechnical Department, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: 3D numerical simulation is adopted to analyze the dynamic response of highway under single loading circle, and to calculate the stress in the roadbed. By a series of triaxial dynamic tests, the relation between residual deformation of soft soil and numbers of loading cycles is proposed. On the basis of the above studies, a method is set up to calculate the residual deformation of soft foundation under vehicle load, and road surface settlements under different vehicle load are analyzed.

Key words: vehicle load; soft road foundation; residual deformation

(上接第 32 页)

[4] CEB—FIP Model Code for Concrete Structures 1990. Comité Euro—International du Béton/ Fédération International de la Précontrainte[M]. Paris, 1990.

[5] ACI Committee 209. Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures (209R—92) [M]. America Concrete Institute. Farnington Hills, Mich., 1992.

[6] 铁道部专业设计院. 秦沈客运专线无碴后张法预应力混

凝土箱梁(24m)技术设计阶段“设计说明书” [R]. 北京: 1999.

[7] Hu D, Tang M, Chen Z Q. The Restraint Influence Coefficient Method to Analyze Shrinkage and Creep in PC Bridges. The 8th Int. Symp. on Strut. Eng. for Young Experts, August, Xi'an, 2004, 208—213.

[8] 胡狄, 陈政清. 预应力混凝土桥梁收缩与徐变变形试验研究[J]. 土木工程学报, 2003, 8: 79—85.

Research on Similarity Relationship for Model—based Creep Experiment of Prestressed Concrete Bridges

SHI Ting-feng¹, HU Di², CHEN Zheng-qing³

(1. Guangzhou Port Group LTD, Guangzhou, 510700; 2. School of Architecture and Civil Engineering,

Central South University, Changsha 410075; 3. School of Civil Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: After discussing the major factors affecting model—based creep experiment and the rules to dispose in designing experimental model, the needed similarity relationship for constructing models is presented, then the similarity relationship of cambers due to creep between model and original is put forward based on creep expression in CEB—FIP Model Code 1990. The comparison between deduced values from experimental data and tested resultants in original bridges shows that deduced values hold agreeable precision. This paper provides novel train of thought to model—based creep experiment while adopting non—full dimension model, and the established formulae are useful in engineering research.

Key words: bridge; prestressed concrete; creep; model—based experiment; similarity relationship