

基于短期试验的桥梁混凝土长期徐变预测研究

许航¹, 彭小明¹, 邹立群²

(1. 中交公路规划设计院有限公司, 北京 100088 2 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044)

摘要: 结合 BP-KX 模型徐变思想, 给出了从混凝土短期试验值推算相应素混凝土在该桥梁工作环境下长期徐变系数的方法, 通过对短期试验数据的线性回归得出桥梁素混凝土徐变系数的 BP-KX 模型修正公式。回归分析结果及试验数据与各国规范预测模型比较表明, 回归曲线预测理论值与实测值吻合良好。

关键词: BP-KX 模型; 徐变; 线性回归

中图分类号: O 345

文献标志码: A

文章编号: 1674-0696(2010)04-0518-03

Prediction Research of Long-term Creep for Bridge Concrete Based on Short-term Test

XU Hang¹, PENG Xiaoming¹, ZOU Lirun²

(1. CCCC Highway Consultants Co., Ltd., Beijing 100088 China

2. School of Civil Engineering & Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

Abstract With the concept of BP-KX model for creep, a modified formula for computing creep coefficient of concrete bridge was obtained from short-term test data through linear regression approach. Comparisons among the regression analysis test results and commonly-used prediction models for concrete creep in specifications showed that the predicted value by regression fitted in well with the test results.

Key words BP-KX model; creep; linear regression

徐变是混凝土作为黏滞弹性体与时间有关的变形性质^[1], 对混凝土结构的受力性能、长期变形以及耐久性有很大影响。迄今为止, 国内外学者对混凝土徐变开展了大量的理论和试验研究, 提出了多种徐变理论和计算方法, 并根据试验结果总结了多种半经验半理论的徐变预测模型, 具有代表性的有: ACI209(92), GL2000, CEB-FIP MC90 和 B3 模型等。但是, 如何准确地预测混凝土徐变及其对结构物性能的影响, 仍然是十分复杂而又难以获得精确答案的问题。由于地域、材料、施工配合比设计、建设环境等的差异, 混凝土结构徐变的长期效应不是千篇一律的, 而国内外常用徐变预测模型都是依据特定条件下的试验数据建立起来的, 它们并不一定能够很好地预测某个实际工程混凝土徐变的长期变化规律。因此在考虑经济性与现实可行性的前提下, 笔者进行了 1~3 个月的短期试验, 根据试验数据建立符合具体实际工程长期徐变预测模型, 用于指导混凝土桥梁结构的设计与施工。

笔者根据美国 Z. P. Bazant 等提出 BP-KX 模型, 通过短期试验数据的回归拟合对 BP-KX 模型进行

修正, 得到更符合实际工程的混凝土桥梁结构徐变变化规律, 建立基于短期试验数据的准确的长期徐变预测模型, 用于桥梁结构设计施工中预计混凝土徐变效应对实际工程长期性能的影响。

1 桥梁混凝土长期徐变预测方法

Bazant 等^[2-3]根据混凝土的固化理论提出 BP-KX 模型, 认为混凝土徐变由基本徐变和干燥徐变组成。B-P 模型用徐变函数 $J(t, t', t_0)$ 表示在加载龄期 t' 时刻至 t 时刻 ($t > t'$) 单位应力下的总应变, 计算的数学表达式如下:

$$J(t, t', t_0) = q_1 + C_0(t, t') + C_d(t, t', t_0) \quad (1)$$

$$C_0(t, t') = q_0 \ln[1 + \phi_1 \{ (t')^{-m} + \alpha J(t - t')^n \}] \quad (2)$$

$$C_d(t, t', t_0) = q_5 k_h \epsilon_{sh} \left[\tanh\left(\frac{t-t_0}{2\tau_{sh}}\right)^{1/2} - \tanh\left(\frac{t'-t_0}{2\tau_{sh}}\right)^{1/2} \right]^{1/2} \quad (3)$$

$$q_5 = 40(f_c')^{-1/2} \quad (4)$$

式中: q_1 为单位应力产生的初始弹性应变; $C_0(t, t')$ 为单位应力产生的基本徐变; $\phi_1 = 9.32$; $\alpha = 0.016$; $m = 0.75$; $n = 0.32$; $C_d(t, t', t_0)$ 为单位应力产生的干燥徐变 (t_0 为干燥开始时的龄期); f_c' 为 28 d 标

收稿日期: 2010-05-19 修订日期: 2010-06-13

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2008AA11Z102)

作者简介: 许航(1970-), 男, 四川成都人, 高级工程师, 主要研究方向: 混凝土结构长期变形分析。E-mail: hangsho@vip.sina.com

©1994-2014 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

准圆柱体抗压强度; 其余参数的具体含义详见文献 [2-3]。

将式 (2)、式 (3) 代入式 (1), 并令

$$F(t, t', t_0) = \ln \left\{ 1 + \phi_1 \left[(t')^{-m} + \alpha \right] (t - t')^n \right\} + \frac{q_s}{q_0} k_h \varepsilon_{sh \infty} \left[\tanh \left(\frac{t - t_0}{2 \tau_{sh}} \right)^{1/2} - \tanh \left(\frac{t' - t_0}{2 \tau_{sh}} \right)^{1/2} \right] \quad (5)$$

则

$$J(t, t', t_0) = q_1 + q_0 F(t, t', t_0) \quad (6)$$

根据以上计算公式, Bazant 等认为混凝土徐变预测模型的不确定性主要是依赖于组成混凝土的材料参数, 通过短期试验利用线性回归的方式来确定参数 q_0 和 q_1 , 可以极大地降低这种不确定性。

2 基本思路

根据徐变函数的定义,

$$J(t, t', t_0) = [1 + \varphi(t, t', t_0)] / E(t') \quad (7)$$

由短期试验得到的不同时刻 t 下的徐变系数样

本, 按式 (7) 求得对应徐变函数值。缺乏试验数据情况下参数 q_0 的预测公式如式 (8) [2]:

$$q_0 = 0.88 v^{1.58} (\log_{10} f_c')^{-4.18} \quad (8)$$

首先按式 (8) 估算 q_0 , 代入式 (5) 求得各时刻下的 $F(t, t', t_0)$, 这样就得到一系列的关于 F 和 J 随机样本, 然后用最小二乘法进行线性回归, 得到参数 q_0 和 q_1 。然后再按照求得 q_0 重复上述步骤, 直到假设的 q_0 与最后求得的 q_0 相等或两者的差值满足精度要求为止。

3 试验数据回归预测长期徐变曲线及与各规范模型比较

3.1 试验概述与参数指标

本文的徐变试验数据共有 4 组, 均为标准受压徐变试验, 分别来自我国的东部、中部、西南以及南部 4 个地区, 试验的主要参数及指标如表 1。

表 1 试验主要参数及指标

Tab 1 Main parameters and indicators of test

区域	尺寸 /mm	混凝土等级	f_{cu} /MPa	w/c	s/c	g/c	m_c /kg	RH /%	t'	t_0
东部	10×10×30	C60	60.0	0.41	1.84	2.76	384	65%	28	7
中部	10×10×40	C50	53.7	0.54	1.65	2.68	408	65%	28	7
南部	10×10×35	C50	56.4	0.38	1.65	2.68	408	75%	28	7
西南	10×10×40	C50	56.4	0.37	1.13	2.76	408	65%	28	7

注: 如无实测值, 28 d 的弹性模量可按文献 [2] 给出的 $E_{28} = 57\,000(f_c')^{1/2}$ 计算。

3.2 试验短期数据的回归结果

利用前 3 个月的试验数据对 4 组数据进行回归

分析得到的长期徐变系数变化曲线如图 1。为了对比, 图中也给出了各规范预测模型相应曲线 [4-8]。

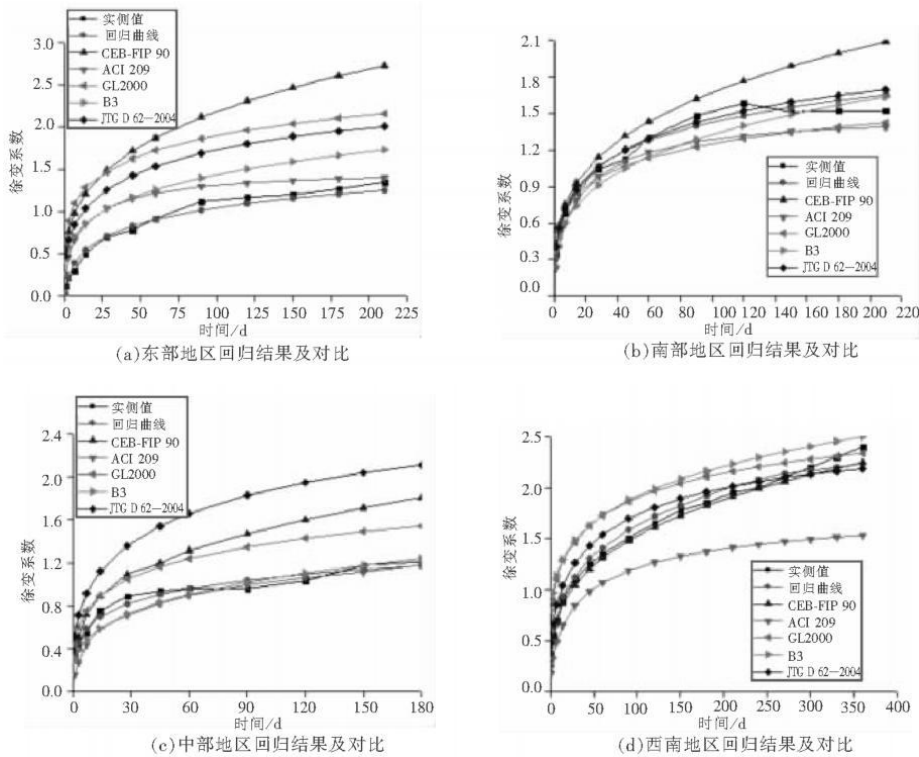


图 1 4 地区回归结果对比

Fig 1 Comparison of regression curves in 4 different areas

3.3 结果分析

图 1(a)表明,各规范预测模型与实际偏差均较大,利用短期试验数据回归拟合徐变曲线能够较好地与实测值吻合。图 1(b)表明,我国 JTG D 62—2004《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》^[9]在各规范预测模型与实际吻合较好,但也差于利用短期试验数据回归拟合徐变曲线。图 1(c)表明,ACI 209 和 B3 预测模型从第 60 d ($t-t'=60$) 以后与实际吻合较好,前期与实测值偏差较大,利用短期试验数据回归拟合徐变曲线与实测值吻合较好。图 1(d)表明,CEB-FIP 90 预测模型与实际吻合较好,同时利用短期试验数据回归拟合徐变曲线也与实测值吻合较好。

我国幅员辽阔,由于地域性差异导致取材和环境等的差异,运用单一的模式不能客观全面地反映混凝土桥梁结构的长期徐变,与实际存在较大偏差。同时从东部、中部、西南以及南部 4 个地区的试验数据来看,我国现行《桥规》^[9]中的徐变预测曲线仅对南部和西南地区较为适应,东部和中部偏差较大。笔者利用短期试验数据回归出来的 4 组曲线能够很好地与实测值相吻合,相对其他模型预测曲线而言,能够更客观地反映混凝土徐变长期变化。

4 结论与建议

针对我国不同地域,通过 3 个月短期试验数据的线性回归对 BP-KX 模型进行修正来预测桥梁结构混凝土徐变变化规律,并与常用各国规范模型进行了比较分析,得出以下结论与建议:

1) 利用 3 个月的短期试验数据通过线性回归修正 BP-KX 模型来预测桥梁结构混凝土徐变变化规律是切实可行且经济合理的,同时能更好更实际

地反映长期徐变变化规律;

2) 我国疆域广大,常用各国规范徐变预测模型不能满足我国实际工程的需要,可能与实际存在较大偏差;

3) 建议今后的桥梁建设中,在可行性研究阶段先进行混凝土徐变的短期试验,通过短期试验数据进行线性回归修正 BP-KX 模型预测模型来预计桥梁结构的徐变效应,应用于后续的桥梁设计与施工中。

参考文献:

- [1] 范立础. 桥梁工程 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2001.
- [2] Bazant Z P, Xi Y, Baweja S. Improved prediction model for time dependent deformations of concrete Part 7—Short form of BP-KX model: statistics and extrapolation of short time data [J]. Materials and Structures 1993, 26: 567–574.
- [3] Bazant Z P, Panukh L, Kim J K, et al. Improved prediction model for time dependent deformations of concrete Part 6—Simplified code type formulation [J]. Materials and Structures 1992, 25: 219–223.
- [4] ACI Committee 209. Prediction of creep, shrinkage and temperature Effects in concrete structures (ACI 209R-92) [R]. Detroit: American Concrete Institute, 1992.
- [5] BS 5400 Part 4 1984. Code of practice for design of concrete bridges [S]. London: British Standard Institute, 1984.
- [6] CEB-FIP model code 1990. design code [S]. London: Thomas Telford Services Ltd., 1993.
- [7] Bazant Z P, Baweja S. Creep and shrinkage prediction model for analysis and design of concrete structures model B3 [J]. Materials and Structures 1995, 28(6): 357–365.
- [8] Gilbert R I. Time effects in concrete structures [M]. Amsterdam: Elsevier, 1988.
- [9] JTG D 62—2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范 [S]. 北京: 人民交通出版社, 2005.