

Research on Reinforced Concrete Pier Second-Order Effect

Shaohong Lu¹, Linong Liang¹, Xiong Liang¹, Xueming Fan², Keyan Li²

¹Guangdong Highway Design Institute Co., Ltd., Guangzhou Guangdong

²School of Civil Engineering and Transportation, South China University of Technology, Guangzhou Guangdong

Email: fanxm@scut.edu.cn

Received: Oct. 21st, 2015; accepted: Nov. 4th, 2015; published: Nov. 10th, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

The development and application of reinforced concrete pier second-order effect calculation method have been introduced in this paper. Compared with the law of the change of moment merely implied on simple structures, the elastic finite element method, based on reduced rigidity and using reduction factor to consider the no-linear effect, has an extensive applicability. As for the elastic finite element method, this paper compared the different values of reduction factors in the concrete design code of China and the United States. In numerical examples, three methods are applied to calculate the influence of second-order effect on the moment at the bottom of single pier. The results show that the law of the change of moment is conservative.

Keywords

Concrete Pier, Second-Order Effect, Eccentricity

钢筋混凝土桥墩的二阶效应影响研究

卢绍鸿¹, 梁立农¹, 梁雄¹, 范学明², 李可严²

¹广东省公路勘察规划设计院股份有限公司, 广东 广州

²华南理工大学土木与交通学院, 广东 广州

Email: fanxm@scut.edu.cn

收稿日期: 2015年10月21日; 录用日期: 2015年11月4日; 发布日期: 2015年11月10日

摘要

本文扼要介绍了钢筋混凝土桥墩二阶效应计算方法的发展及应用。相对于仅适用于简单结构的偏心距增大系数法,基于构件折减刚度的弹性有限元法,采用折减系数考虑非线性的影响,具有更广泛的适用性。针对该弹性有限元法,本文进一步对比了中美混凝土设计规范中折减系数的不同取值。在数值算例中,用三种不同方法分别计算了二阶效应对单墩墩底弯矩的影响,计算结果表明偏心距增大系数法的计算结果偏于保守。

关键词

混凝土桥墩, 二阶效应, 偏心距

1. 引言

随着我国近年来山区桥梁建设的发展,剧烈起伏地形处高墩的应用日益广泛。然而,桥梁中结构的钢筋混凝土桥墩的长细比越来越大,因此作为偏心受压构件的钢筋混凝土桥墩的二阶效应变得越为明显。经过近几十年的发展,采用考虑二阶效应的求解方法进行高墩的设计将成为未来的一种发展趋势。我国《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62-2004)中采用基于简支梁理论的偏心距增大系数法考虑二阶效应的影响;美国《Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary》(ACI 318-08)基于构件折减刚度的弹性有限元法,采用折减系数考虑非线性的影响;我国《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002)也采用基于构件折减刚度的弹性有限元法进行结构偏心受压构件的设计。本文阐述了二阶效应的定义,详细介绍了偏心距增大系数法和基于构件折减刚度的弹性有限元法。通过数值算例,验证了设计中考虑二阶效应影响的必要性。

2. 二阶效应的定义

所谓二阶效应,是指当构件的长细比较大时,偏心受压构件的纵向弯曲或结构侧移引起了不可忽略的附加弯矩,称二阶弯矩。二阶弯矩会降低构件正截面的受压承载能力[1]。

研究表明,在构件两端作用有相等弯矩的情况下,由纵向弯曲引起的二阶弯矩取得最大值,而对于有侧移的结构,二阶弯矩主要是指上部的竖向荷载在结构的侧移中产生的附加弯矩,二阶弯矩的大小取决于上部竖向荷载的大小和框架层间侧移值的大小。对于桥墩构件来说,二阶效应还是以结构侧移引起为主要原因,所以本文主要是以结构侧移为例,介绍规范中对二阶效应的不同的计算方法。

3. 传统偏心距增大系数法($\eta-l_0$ 法)

在我国桥梁规范《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62-2004) [2]中,所采用的是传统的 $\eta-l_0$ 法来考虑二阶效应问题。这种方法的基本思路是,先以两端铰支等偏心距的受压标准构件为基础,通过试验分析,给出标准构件重点截面偏心距增大系数 η 的表达式,然后再以计算长度 l_0 来体现与不用杆端约束条件下各偏心受压构件相应的标准构件长度,也即用长度 l_0 的标准构件算出的 η 值使能接近构件控制截面中二阶弯矩的实际情况。这种简化方法计算方便,但计算出来的结果只是一个近似值。

$$\eta = 1 + \frac{1}{1400e_0/h_0} \left(\frac{l_0}{h_0} \right)^2 \xi_1 \xi_2 \quad (1)$$

$$\xi_1 = 0.2 + 2.7 \frac{e_0}{h_0} \leq 1.0 \quad (2)$$

$$\xi_2 = 1.15 - 0.01 \frac{l_0}{h} \leq 1.0 \quad (3)$$

式中 e_0 是轴向力对截面重心轴的偏心距, h_0 是截面有效高度, h 是截面高度, ξ_1 是荷载偏心率对截面曲率的影响系数, ξ_2 是构件长细比对截面曲率的影响系数。

假设构件原来的偏心距为 e_i , 所受轴力为 N , 弯矩为 M 。按照 JTG D62-2004 规范给出的方法, 考虑二阶效应后, 构件的偏心距为 $e = \eta e_i$, 其中附加弯矩即为 $M' = N(\eta - 1)e_i$ 。

4. 构件折减刚度考虑二阶效应的弹性有限元法

由于在结构构件中, 弯矩沿构件长度方向是变化的, 从而使其各个截面具有差异很大的非线性特征。要把这种特征反映在弹性有限元中, 可行的方法就是要找到能体现各构件综合非线性特征的“替代弹性杆件”, 例如是将一根弹性杆件的弹性刚度进行折减, 从而使其杆端变形与非线性构件相同。但由于结构各构件在所考虑的受力状态下其非线性特征各不相同, 这样算出的替代杆件的刚度折减系数也必然各不相同。为了便于工程应用, 通过对多种典型结构中的各个杆件逐一计算其相应等代弹性杆件的刚度折减系数, 将计算结果进行分类整理, 最后对每类构件取用一个统一的弹性刚度折减系数。由于只能对同一类构件取用一个统一的刚度折减系数, 其分析结果的准确性自然要比结构非线性有限元法稍差。但与偏心距增大系数法相比, 这种方法的主要优点主要表现在:

- 1) 直接由结构分析求得已经包括二阶效应附加内力的结构内力, 在各类构件的截面设计中不再需要采取考虑二阶效应的专门措施;
- 2) 能更准确地反映不同类型结构的二阶效应规律, 适用于范围更广的各类结构构件的考虑二阶效应的结构分析, 特别适用于已不再适于采用 $\eta-l_0$ 法的复杂或特殊结构的分析。

在《Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary》(ACI 318-08) [3] 即《美国 2008 混凝土结构设计规范》(ACI-318R-08) 中, 10.10.4.1 条给出了相应的折减系数。当采用考虑二阶效应的弹性分析方法时, 宜在结构分析中对构件的弹性抗弯刚度 $E_c I$ 乘以下列折减系数: 对梁, 取 0.35, 对柱, 取 0.7。

我国混凝土规范也曾引入了构件折减刚度的弹性有限元法。《混凝土结构设计规范》(GB 50010-2002) 7.3.12 条提出, 当采用考虑二阶效应的弹性分析方法时, 宜在结构分析中对构件的弹性抗弯刚度 $E_c I$ 乘以下列折减系数: 对梁, 取 0.4, 对柱, 取 0.6。

5. 算例

某一公路桥梁中, 使用了直径为 1.8 m 的圆柱式桥墩, 墩高为 35 m, 桥墩均采用强度等级为 C25 的混凝土, $EI = 2.94 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ 。为了定性分析的方便, 在将桥墩简化成一悬臂柱结构, 如图 1 所示。经荷载组合后, 墩顶承受轴向力 $N = 3000 \text{ kN}$ 和弯矩 $M = 1000 \text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

首先利用通用有限元软件 Strand 7 来对构件进行线性的结构分析, 接着按照两种规范给出的计算方法, 分别计算墩底的弯矩值, 以此来考虑二阶效应的影响, 详细的计算结果见表 1 所示。

从表中我们可以得到如下结论:

- 1) 相对于普通线性分析, 考虑二阶效应的非线性分析得到的结果比前者大 20%~30%, 所以在设计时应该考虑二阶效应的影响, 不能忽略。
- 2) $\eta-l_0$ 法和刚度折减法这两种二阶效应计算方法得到的结果都比较接近, 但相比较而言, $\eta-l_0$ 法计

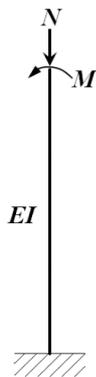


Figure 1. Calculation diagram
图 1. 计算简图

Table 1. The moment of pier bottom by different methods
表 1. 不同方法计算得到的桥墩墩底弯矩值

计算方法	墩底弯矩值(kN·m)	与线性有限元分析的对比	备注
普通线性分析	1000.0	/	
$\eta-l_0$ 法	1294.0	29.4%	$\eta = 1.294$
刚度折减(1)	1214.3	21.4%	桥墩刚度折减系数取 0.7
刚度折减(2)	1257.6	25.7%	桥墩刚度折减系数取 0.6

算结果较刚度折减的计算结果大。

3) 墩底弯矩值会随着刚度折减系数的增大而减小。

6. 结论

本文扼要介绍了钢筋混凝土桥墩二阶效应计算方法的发展及应用。通过定性的分析可以知道，混凝土高细桥墩存在着明显的二阶效应，设计人员在对桥墩进行设计时，尤其是高墩的设计必须要仔细考虑这部分附加弯矩的影响。准确的二阶效应分析需要进行精细的非线性计算，计算理论复杂，对设计人员知识水平要求较高。 $\eta-l_0$ 法和刚度折减法这两种二阶效应计算方法即可以体现二阶效应的影响，容易被设计人员理解，且操作简便。数值算例进一步表明当采用刚度折减法考虑二阶效应时，中国规范比美国规范更保守，更偏于安全。

致 谢

感谢以下项目资助：广东省交通运输厅 2012 年科技项目(科技-2012-02-030)；高等学校博士学科点专项科研基金新教师类课题(20110172120038)；中央高校基本科研业务费专项资金资助；国家自然科学基金面上项目(51378009)。

参考文献 (References)

- [1] 程文灏, 颜德姮. 混凝土结构(上册) [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008.
- [2] 中交公路规划设计院. JTG D62-2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [3] ACI Committee (2008) ACI 318-08 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.