

Anti-Overturning Stability Analysis for Continuous Single Pier Bridge Based on Route Longitudinal Slope

Wending Zhao, Xiaobo Sun, Rongxu Chen

Jilin Province Highway Survey and Design Institute, Changchun Jilin
Email: zwd8768@163.com

Received: Jul. 1st, 2019; accepted: Jul. 18th, 2019; published: Jul. 25th, 2019

Abstract

Bridge with a single pier is often installed on the overpass road and interworking ramp because of its light structure and small area. In recent years, there are many bridge overturning accidents in our country. In this paper, the effect of the route longitudinal slope on the anti-overturning stability of the bridge is studied, and less than 2.9% route longitudinal slope should be set if conditions permit, to avoid the overturning of the bridge as far as possible.

Keywords

Route Longitudinal Slope, Single Pier Bridge, Anti-Overturning Stability

路线纵坡对连续单柱墩桥梁抗倾覆的影响分析

赵文丁, 孙晓博, 陈荣序

吉林省交通规划设计院, 吉林 长春
Email: zwd8768@163.com

收稿日期: 2019年7月1日; 录用日期: 2019年7月18日; 发布日期: 2019年7月25日

摘要

单柱墩桥梁由于桥墩结构轻盈、占地面积较少, 常设置在上跨道路和互通匝道上。近年来我国发生了多起桥梁倾覆事故, 倾覆桥梁中单柱墩桥梁占一定比例。本文针对路线纵坡这一影响桥梁抗倾覆的因素, 研究其对单柱墩桥梁抗倾覆稳定性的影响规律, 提出在条件允许的情况下针对本研究对象桥梁应设置小于2.9%路线纵坡, 尽量避免桥梁倾覆。

关键词

路线纵坡, 单柱墩桥梁, 抗倾覆

Copyright © 2019 by author(s) 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

1. 引言

连续单柱墩桥梁由于桥墩结构轻盈、占地面积较少, 常设置在上跨道路和互通匝道处, 桥墩立于道路中央分隔带处, 或能较好的避让桥址附近市政设施及公用设施, 因而近年来被大量修建。但由于连续单柱墩桥梁本身自重较小, 中墩又采用单柱墩支撑形式, 因此其抗倾覆能力较差, 容易发生桥梁倾覆事故[1] [2]。

2. 研究现状

近几年国内已经发生多起桥梁倾覆事故, 造成重大财产损失和人员伤亡。其中 2005 年 9 月天津津文公路互通匝道桥由于行驶车辆严重超载发生桥梁倒塌; 2009 年 7 月津晋高速公路港塘互通匝道桥由于 3 辆超载车辆同时密集停滞从而导致桥梁发生倾覆事故; 2012 年 8 月哈尔滨市三环路群力高架桥匝道桥由于货车严重超载造成桥梁发生倾覆事故; 2015 年 4 月广东省粤赣高速广州往河源方向城南互通匝道桥由于 4 辆满载瓷土的重载货车偏载行驶造成该桥从南往北坍塌。针对这一现象, 国内外学者对结构稳定理论和桥梁抗倾覆稳定性均进行研究, 提出车辆严重超载、偏载是引起事故的主要原因。但桥梁设计者同样应该从设计角度进行反思, 过去大部分桥梁设计人员在设计过程中将设计重点放在桥梁的纵向受力分析上, 只关注桥梁的抗弯与抗剪计算是否符合规范要求, 很少对桥梁本身的曲线半径、纵向坡度、边中跨比、双支座间距和单支座偏心距等因素进行研究。桥梁纵坡的存在对桥梁支座反力和桥梁抗倾覆稳定都有一定的影响。本文通过比较不同桥梁纵坡时支座反力和抗倾覆稳定系数的关系, 分析路线纵坡对单柱墩桥梁抗倾覆稳定的影响。

3. 计算模型建立

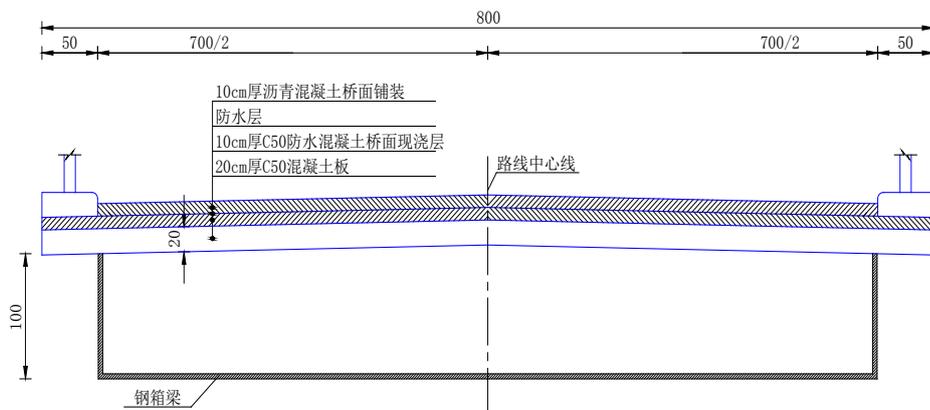


Figure 1. Cross-sectional diagram

图 1. 横断面图

本文以长春市南部快速路某钢-混组合梁匝道桥为依托研究路线纵坡对单柱墩桥梁抗倾覆的影响。该单柱墩匝道桥梁的跨径布置为三跨连续梁(20 + 20 + 20)，曲线半径为 115 米，圆心角为 30°，桥梁横断面为单箱单室，桥面宽度为 8 米，单向双车道。该匝道桥的横断面图和支座布置图如下图 1 和图 2 所示。

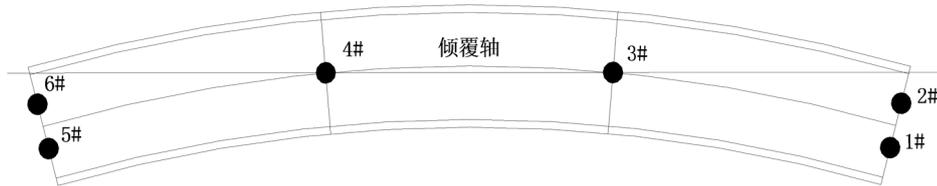


Figure 2. Bearing arrangement diagram
图 2. 支座布置图

应用通用有限元软件 ANSYS 对该单柱墩匝道桥进行建模，桥梁上部混凝土板结构采用 shell63 单元进行模拟，钢箱结构采用 shell43 单元进行模拟，这两种结构和单元的相关参数[3]如表 1 所示。

Table 1. Structure and unit parameters
表 1. 结构和单元参数

| 结构 | 单元 | 弹性模量 | 泊松比 | 密度 | 厚度 |
|--------|---------|-----------------------|-------|-------------------------------|--------|
| 混凝土板结构 | shell63 | 3.45×10^{10} | 0.167 | $2.5 \times 10^3 \text{ kg}$ | 0.2 m |
| 钢箱结构 | shell43 | 2.06×10^{11} | 0.300 | $7.85 \times 10^3 \text{ kg}$ | 0.02 m |

通过保持桥梁长度、半径等数据不变，仅改变桥梁纵向坡度，分别建立纵坡为 0%、2%、5%的三组模型。其中 0%路线纵坡的 ANSYS 模型如下图 3 所示。

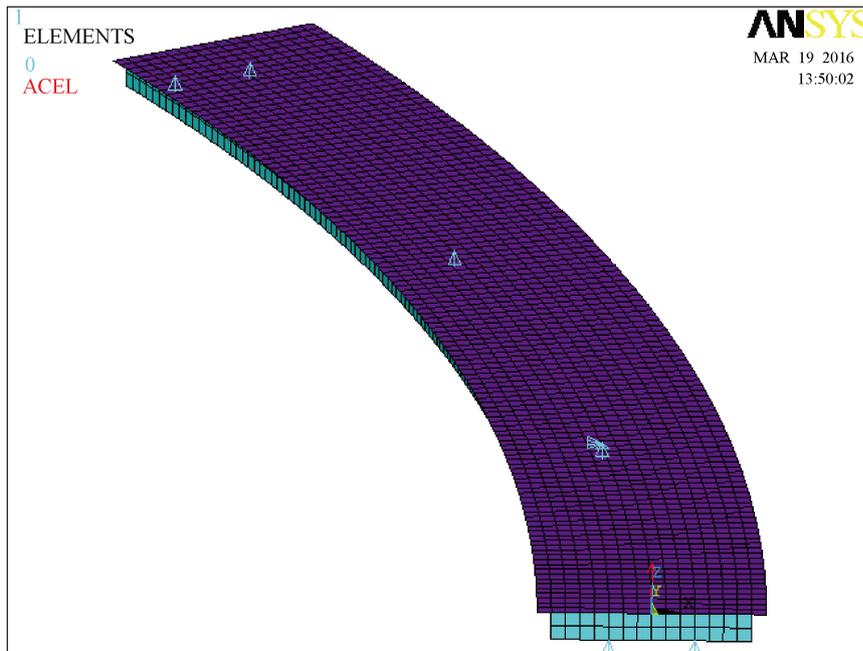


Figure 3. ANSYS calculation model of 0% route longitudinal slope
图 3. 0%路线纵坡的 ANSYS 计算模型

4. 支座反力及抗倾覆稳定分析

4.1. 支座反力分析

通过有限元软件 ANSYS 对这三种纵坡形式的桥梁分别建模计算，得到以上三种纵坡该曲线桥梁在重力作用下的支座反力如表 2 所示，双支座处支座反力差值如图 4 所示。

Table 2. Bearing reaction under gravity (kN)

表 2. 重力作用下各支座反力(kN)

| 纵坡 \ 支座编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|
| 0% | 159.74 | 279.02 | 1179.86 | 1179.86 | 159.74 | 279.02 |
| 2% | 125.33 | 312.79 | 1179.84 | 1179.14 | 193.49 | 246.62 |
| 5% | 75.34 | 361.29 | 1180.28 | 1178.56 | 243.73 | 197.81 |

由图中数据对比可知，随着桥梁纵向坡度的增加，近地面处双支座中的内侧支座反力减小，外侧支座反力增大，内外侧支座反力差值不断增大；远地面处的双支座中的内侧支座反力增大，外侧支座反力减小，支座反力差值不断减小。

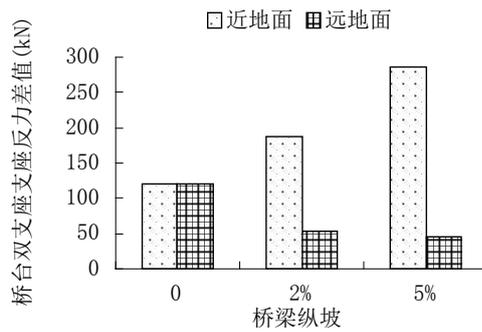


Figure 4. Abutment bearing reaction differential of the three route longitudinal slope

图 4. 3 种纵坡时桥梁桥台支座反力差值比较图

将 30 t 重的汽车荷载布置于第二跨的跨中外侧车道，在车辆偏载作用下各支座反力如表 3 所示。

Table 3. Bearing reaction under vehicle partial load (kN)

表 3. 车辆偏载作用下各支座反力(kN)

| 纵坡 \ 支座编号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|-----------|--------|---------|----------|----------|---------|---------|
| 0% | 51.533 | 361.612 | 1355.497 | 1355.497 | 51.533 | 361.614 |
| 2% | 17.795 | 394.722 | 1355.476 | 1354.796 | 84.655 | 329.806 |
| 5% | 脱空 | 442.273 | 1355.915 | 1354.255 | 133.934 | 281.902 |

由表中对比数据可知，随着桥梁纵向坡度的增加，在车辆偏载作用下，近地面和远地面处的双支座支座反力变化规律和重力单独作用下的变化规律基本一致。并且在 5% 坡度时，车辆偏载作用下的近地面

处双支座内侧支座甚至发生了脱空的现象[4] [5] [6], 这是十分危险的。

调整路线纵坡, 当坡度为 2.9%时, 1 号支座的支座反力恰好为 0 kN, 此时该支座处在即将脱空的临界状态。

因此通过对支座反力的分析可知, 随着坡度的增加, 近地面处的双支座受力越来越不平衡, 远地面处的双支座受力越来越平衡, 当路线纵坡为 2.9%时 1 号支座即将脱空。

4.2. 抗倾覆稳定分析

为了研究在车辆偏载作用下各不同纵坡单柱墩桥梁的抗倾覆稳定系数变化规律, 根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG 3362-2018) [7] 4.1.8 条关于桥梁抗倾覆稳定系数计算方法, 在 30 t 车辆荷载偏载作用下, 3 种不同纵坡的桥梁抗倾覆稳定系数如表 4 所示。

Table 4. Coefficient of anti-overturning stability under vehicle partial load of the three route longitudinal slope bridges

表 4. 三种纵坡桥梁在车辆偏载作用下的抗倾覆稳定系数

| 桥梁纵坡 | 0% | 2% | 5% |
|---------|-------|-------|-------|
| 抗倾覆稳定系数 | 3.312 | 2.649 | 1.656 |

由上表中数据可知, 随着桥梁纵向坡度的增加, 桥梁抗倾覆稳定系数逐渐减小, 抗倾覆能力变差。这是由于纵坡的存在, 将重力分解成垂直于桥向和顺桥向的两个分力, 且坡度越大, 顺桥向所分解的力也就越大, 垂直桥向分解的力越小, 因此桥梁的自身抗倾覆力矩也就相应减小。随着路线纵坡的增加, 桥梁的抗倾覆稳定性降低。

5. 结论

影响单柱墩桥梁抗倾覆稳定性的因素较多, 除车辆严重超载、偏载行驶外, 还有桥梁本身的曲线半径、纵向坡度、边中跨比、双支座间距和单支座偏心距等因素。本文通过依托工程建立不同桥梁纵坡的有限元软件 ANSYS 模型进行分析, 分析得知桥梁纵向坡度越大, 近地面处双支座的支座反力分布越不平衡, 桥梁抗倾覆能力越差, 在车辆荷载过大时, 近地面双支座内侧支座可能发生脱空的现象。因此在条件允许的情况下针对本研究对象桥梁应设置小于 2.9%路线纵坡, 增加桥梁的抗倾覆能力。

基金项目

吉林省交通运输科技项目: 《连续单柱墩桥梁抗倾覆评价及加固研究》(2013-1-8)资助。

参考文献

- [1] 张键, 肖文杰. 独柱墩曲线桥梁抗倾覆稳定性分析[J]. 公路工程, 2013(4): 170-173.
- [2] 陈瑶, 陈露晔, 张建华. 独柱墩曲线桥梁抗倾覆稳定验算方法及参数影响分析[J]. 浙江交通职业技术学院学报, 2013(3): 1-6.
- [3] 孙训方, 方孝淑, 关来泰. 材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002.
- [4] 王统宁, 靳启文, 孙艺利, 等. 公路独柱窄幅桥梁倾覆稳定性能[J]. 公路工程, 2014(2): 63-67.
- [5] 李雪辉, 王蕴华. 独柱支承连续箱梁弯桥倾覆事故的成因分析与加固设计[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2012(2): 3-5.
- [6] 李洁, 李国平. 曲线连续箱梁桥侧倾和支座脱空原因分析[J]. 上海公路, 2011(4): 47-50.
- [7] 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 3362-2018) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2018.

知网检索的两种方式：

1. 打开知网首页：<http://cnki.net/>，点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”，跳转至：<http://scholar.cnki.net/new>，搜索框内直接输入文章标题，即可查询；
或点击“高级检索”，下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2326-3431，即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版：<http://www.cnki.net/old/>，左侧选择“国际文献总库”进入，搜索框直接输入文章标题，即可查询。

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ojtt@hanspub.org