

基于有限元法的高架桥涉水库大坝建设的安全影响评估

朱景胜

广东省水利水电科学研究院

DOI:10.12238/hwr.v9i9.6569

[摘要] 本文针对某水库大坝已稳定运行四十余年、坝体完成自重固结的背景,评估了公路高架桥建设过程中三排桥墩直接穿入坝体并嵌入坝基基岩对大坝安全的影响。桥墩施工及运行可能改变坝体的受力状态和稳定条件,存在潜在风险。本研究基于有限元法(FEM)建立数值模型,模拟大坝-桥墩相互作用体系,分析桥墩荷载、渗流场变化及坝体应力-应变响应。通过静动力计算,评估了大坝安全特性。结果表明,桥墩建设会导致坝体局部应力集中,但大坝变形及整体稳定性可以维持在安全范围内。本研究为大桥-桥梁协同安全评价提供了理论依据,对类似工程具有参考价值。

[关键词] 有限元法; 桥梁; 水库大坝; 稳定性评估; HSS模型; 强度折减法

中图分类号: TV697 **文献标识码:** A

Impact Assessment Analysis of Viaduct Construction Involving Reservoir Dams Based on the Finite Element Method

Jingsheng Zhu

Guangdong Research Institute of Water Resources and Hydropower

[Abstract] This paper addresses the safety impact of a highway viaduct construction on a reservoir dam that has been stably operating for over forty years, with the dam body having completed self-weight consolidation. The construction involves three rows of bridge piers penetrating directly through the dam body and embedded into the bedrock of the dam foundation. The construction and operation of the piers may alter the stress state and stability conditions of the dam, posing potential risks. Based on the Finite Element Method (FEM), this study establishes a numerical model to simulate the dam-pier interaction system, analyzing pier loads, changes in the seepage field, and the stress-strain response of the dam. Through static and dynamic calculations, the safety characteristics of the dam are evaluated. The results indicate that the construction of the piers leads to localized stress concentration in the dam body, but the deformation and overall stability of the dam can be maintained within safe limits. This study provides a theoretical basis for the collaborative safety evaluation of dam-bridge systems and offers valuable insights for similar projects.

[Key words] Finite Element Method; bridges; reservoir dams; stability assessment; HSS Model; Shear Strength Reduction

前言

大坝作为关键水利基础设施,其长期稳定性关系到防洪、供水和生态安全。某大坝已建成四十多年,坝体填土在自重作用下完成固结,处于稳定状态。某公路高架桥在建设过程中,将三排桥墩直接穿越大坝坝体并嵌入坝基基岩。这种交叉工程结构可能扰动坝体原有受力平衡,引发局部变形,进而影响大坝的整体安全^[1,2],因此需开展安全影响评价。有限元法能够精确模拟复杂地质-结构相互作用^[3,4],已广泛应用于大坝工程稳定性分析。本文利用PLAXIS软件^[5],构建大坝-桥墩一体化模型,评估桥墩施工及运行对坝体稳定性的影响^[6]。本文不仅可为该工程提供

决策支持,也对类似涉水桥梁建设具有借鉴意义。

1 研究内容及研究方法

1.1 研究内容

某水库为V等小(2)型工程,大坝为5级水工建筑物,碾压式均质土坝,坝顶高程36.0m,最大坝高9.1m,坝长72m。坝体填土为粉质黏土。高架桥涉坝段为三排涉坝桥墩跨度均为30m,采用圆柱墩配合桩基础,桩基按端承桩设计,直接嵌入坝基的中风化泥质粉砂岩层。桥梁设计荷载为公路-I级,并提供了具体的桩顶设计力值。本文主要分析以下内容:①计算桥梁运行荷载组合作用前后对土石坝位移的影响;②计算桥梁建成前后及运行过程

中土石坝潜在滑动面以及安全系数的变化。桥墩与大坝相互位置关系见图1。

1.2研究方法

桥梁与土坝材料相互作用复杂,且传统计算方法难以计算坝体应力变形结果,故采用非线性有限元法分析。本次采用的计算软件为PLAXIS岩土有限元软件,其中大坝及岩基均按实体单元进行划分模拟,桥梁结构采用梁板单元模拟,材料参数采用地质报告建议参数,本构采用HSS模型。有限元基本方程由力平衡方程、几何方程、本构关系及边值条件组成。依据有限元理论,由虚功原理可得单元平衡方程可表示为:

$$[k]\{\delta\}^e = \{F\}^e \tag{1}$$

式中 $\{F\}^e$ 为单元上的等效结点力; $\{\delta\}^e$ 为单元结点位移列阵; $[k]$ 为单元刚度矩阵,由下式计算:

$$[k] = \int_v [B]^T [D_{ep}] [B] dv \tag{2}$$

将单元平衡方程集合在一起,得到总体平衡方程组,利用矩阵方程数值解法可以求得各单元节点物理量。

$$[K]\{\delta\} = \{F\} \tag{3}$$

式中 $[K]$ 为总体刚度矩阵; $\{\delta\}$ 为结点位移列阵; $\{F\}$ 为结点等效荷载列阵。



图1 涉水利工程构筑物卫星图及现场照片

稳定验算采用强度折减法 (Shear Strength Reduction Technique),最早由Zienkiewicz等提出,后被许多学者广泛采用。其直接在有限元二维和三维分析基础上获得一个安全系数,保持了有限元在模拟复杂问题上的优点,而且概念明确,结果直观,在工程中得到了越来越多的应用,如FLAC3D、PLAXIS已植入该计算方法。计算折减公式如下,其中 F_r 为折减系数:

$$c_m = c / F_r \tag{4}$$

$$\varphi_m = \arctan(\tan \varphi / F_r) \tag{5}$$

2 计算参数与计算结果

2.1 计算参数

岩土体及桥梁结构物理力学参数见下表1及表2。

表1 岩土有限元模型参数表

材料名	P (kg/m ³)	P _{sat} (kg/m ³)	E' (MPa)	μ'	c' (kPa)	φ' (°)	k (cm /s)	R _{int}
坝体填土	1740	1846	8	0.2	35.6	35.8	2.2E-05	0.67
全风化泥质粉砂岩	1750	1900	50	0.25	29.7	32.2	1.07E-05	0.8
强风化泥质粉砂岩	1850	2000	100	0.25	40.0	35.0	3.25E-06	0.8
中风化泥质粉砂岩	1900	2050	7000	0.2	—	—	2.0E-06	0.8

表2 结构单元有限元模型参数表

梁单元	ρ (kg/m ³)	EA (kN)	EI (kN·m ²)
桥墩(3D嵌入桩单元)	2500	9.426E+07	2.66E+07
盖梁(3D梁单元)	2600	1.25E+08	5.03E+07
箱梁(3D梁单元)	1850	3.81E+07	2.21E+08
板单元	ρ (kg/m ³)	E _t (MPa)	G _t (MPa)
桥面板(3D板单元)	3000	30000	15000

2.2 计算结果

计算桥梁运行荷载组合作用后对土石坝位移影响及桥梁建成前后及运行过程土石坝潜在滑动面结果如图2-(a)~图2-(d)。结果分析:(1)位移计算结果分析,考虑桥墩按设计桩顶力作用下,大坝最大沉降位移为9.58mm,最大水平位移约为2.10mm。考虑桥梁按荷载组合作用下,大坝最大沉降位移为4.69mm,最大水平位移约为1.37mm。(2)稳定计算结果分析,桥桩由于嵌固在基岩中,对土坝有一定抗滑作用,整体安全系数提高0.194,且工况最小安全系数2.495均大于大坝安全系数允许值1.1。

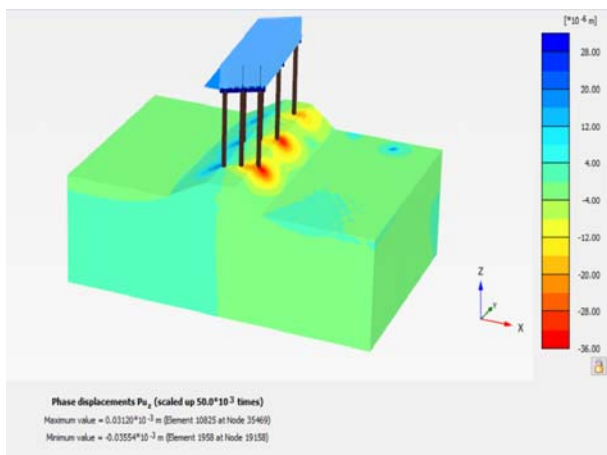


图2-(a) 桥梁运行阶段的坝体垂直方向位移云图

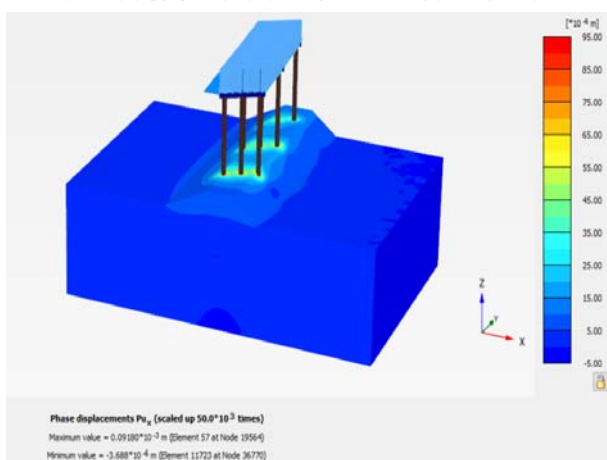


图2-(b) 桥梁运行阶段的坝体垂直方向位移云图

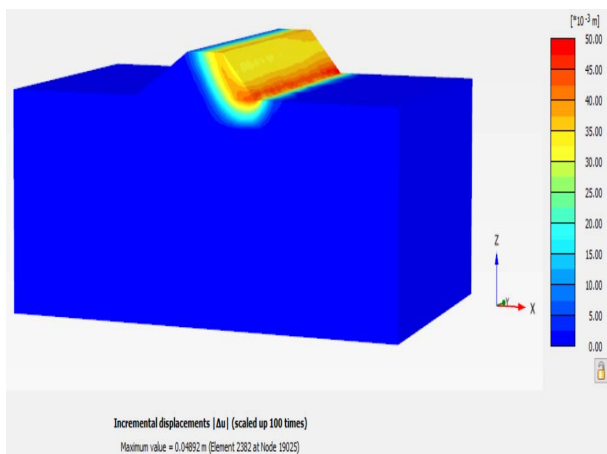


图2-(c) 土坝初始潜在滑动面(安全系数为2.495)

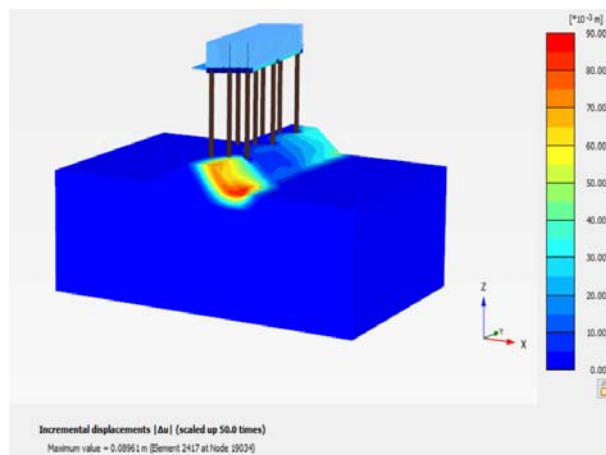


图2-(d) 桥梁荷载作用下土坝潜在滑动面(安全系数为2.689)

3 结论

本文利用有限元及强度折减法对桥梁涉水库大坝建设的安全影响进行弹塑性有限元分析, 计算表明桥墩承受设计桩顶力工况下, 对大坝位移影响相对较大, 但沉降位移变化不超过10mm, 大坝仍属于相对安全且不影响大坝在高水位下进行挡水及水库蓄水; 高架桥由于桥桩基作用对大坝稳定有利。本文利用数值计算方法分析桥梁对已建水库大坝的安全影响评估, 可为相关涉及水利工程的建设项目安全评估提供一定技术参考。

【参考文献】

- [1]张伟,王磊. 桥梁桩基施工对邻近既有水工建筑物安全影响研究综述[J]. 水利水电技术, 2019, 50(8): 145-152.
- [2]Smith, J., & Doe, J. Impact of pile driving on adjacent embankment dams: A numerical case study[J]. Geotechnical Engineering, 2018, 171(GE5): 420-435.
- [3]陈云敏, 凌道盛. 土工数值分析[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
- [4]Brinkgreve, R.B.J., et al. Finite element code for soil and rock analyses[M]. A.A. Balkema, 2002.
- [5]PLAXIS BV. PLAXIS 3D Reference Manual[M]. Netherlands, 2020.
- [6]中华人民共和国水利部. 碾压式土石坝设计规范: SL 274-2020[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2020.

作者简介:

朱景胜(1991--), 男, 汉族, 广东人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事水工岩土数值仿真研究及水工设计工作。