

Analysis of Influence of Foundation with Caverns on Bearing Capacity of Building Foundation

Yanzeng Wang, Qiuyuan Tang

CCTEG Chongqing Engineering Co., Ltd, Chongqing
Email: tqy-111@163.com

Received: Jan. 10th, 2018; accepted: Jan. 23rd, 2018; published: Jan. 30th, 2018

Abstract

How to determine the bearing capacity and ensure the stability of foundation with caverns is the main geotechnical problem of Longqiao agricultural market project, which is located above the existing tunnel of Yuhuai and Yufu railway. Based on this real project of foundation with caverns, this paper determines deep or shallow buried tunnel, divides collapse zones and calculates bearing capacity, determines the influence degree of the existing tunnel on bearing capacity of the building foundation, and checks stability of foundation with cavern by Midas numerical simulation. The conclusion of this paper provides technical support for subsequent structure design of the building and valuable reference for similar projects.

Keywords

Foundation with Caverns, Collapse Zone, Bearing Capacity of the Foundation, Numerical Simulation

洞室地基对拟建建筑地基承载力的影响分析

王燕增, 唐秋元

中煤科工集团重庆设计研究院有限公司, 重庆
Email: tqy-111@163.com

收稿日期: 2018年1月10日; 录用日期: 2018年1月23日; 发布日期: 2018年1月30日

摘要

龙桥农贸市场项目位于既有渝怀铁路龙桥隧道、渝涪铁路新龙桥隧道上方, 如何确定洞室地基承载力、

确保洞室地基稳定是该项目主要的岩土工程问题。本文依托该工程实例, 判断隧道深浅埋, 划分隧道塌落区范围, 确定既有隧道对地上建筑地基承载力的影响程度, 计算塌落区范围内洞室地基承载力, 并通过Midas数值模拟验算洞室地基稳定性, 为后续建筑设计提供技术支撑, 也为类似工程的洞室地基承载力计算提供有价值的参考。

关键词

洞室地基, 塌落区, 地基承载力, 数值模拟

Copyright © 2018 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

1. 引言

重庆依山建城, 用地空间有限, 随着城市建设的推进, 地下空间被大规模的开发利用, 在既有隧道上方修建建筑物成为一种常态。如何同时保证既有隧道的正常运营和上部建筑的稳定性, 成为制约地面及地下空间综合利用的一大难题, 而正确确定合理可靠的洞室地基承载力是解决该难题的重中之重。

张云[1]等分析了软质岩石的地基承载力, 刘之葵[2]等分析了岩溶地区的岩石地基承载力, 方玉树、唐秋元[3]-[9]等对洞室地基破坏模式及其稳定性进行了分析。本文结合具体工程实例, 确定洞室地基承载力, 并通过Midas数值模拟验证理论计算结果, 分析评价既有隧道对地基承载力的影响, 为后期建筑设计提供依据。

2. 工程概况及工程地质条件

2.1. 建筑工程、既有隧道工程概况

该项目位于重庆市涪陵区, 是一栋8F/-1F商住楼, -1F为农贸市场, 上部8F为住宅。-1F底面标高241.96 m, +0.00 = 246.16 m, 建筑工程重要性等级为二级, 采用框架结构, 基础形式采用扩底端承桩。

场地下方有已建渝怀铁路龙桥隧道、渝涪铁路新龙桥隧道通过(见图1、图2)。渝怀铁路龙桥隧道位于项目场地正下方, 隧道顶板岩层厚度仅14 m(见图3), 该隧道于2002年修建完成并通车。渝涪铁路新龙桥隧道位于项目场地红线范围内, 距拟建建筑物最近水平距离仅为2.8 m, 该隧道于2011年修建完成并通车。

2.2. 工程地质条件

场地属构造剥蚀浅丘沟谷斜坡地貌, 位于石溪堡子场向斜西北翼, 岩层单斜产出, 场地岩层产状 $180^{\circ}\sim 200^{\circ}\angle 11^{\circ}\sim 14^{\circ}$ 。层面总体较平直, 局部泥质充填或泥夹岩屑充填, 结合很差, 属软弱结构面。

场地地层分为上覆第四系全新统素填土、第四系全新崩积块石(Q_4^{col}), 下伏侏罗系上统遂宁组泥岩、砂岩。场地基岩中发育二组构造裂隙:

J1裂隙产状 $281^{\circ}\angle 80^{\circ}$, 裂隙间距1.5~3.0 m, 延伸1.0~2.3 m, 张开度2~5 mm, 结合程度差, 属硬性结构面;

J2裂隙产状 $190^{\circ}\angle 81^{\circ}$, 裂隙间距1.5~3.0 m, 延伸0.8~1.5 m, 张开度1~2 mm, 结合程度差, 属硬性结构面。



Figure 1. Position relationship between the tunnel and project site
图 1. 既有隧道与项目场地位置关系



Figure 2. Project picture
图 2. 项目实景图

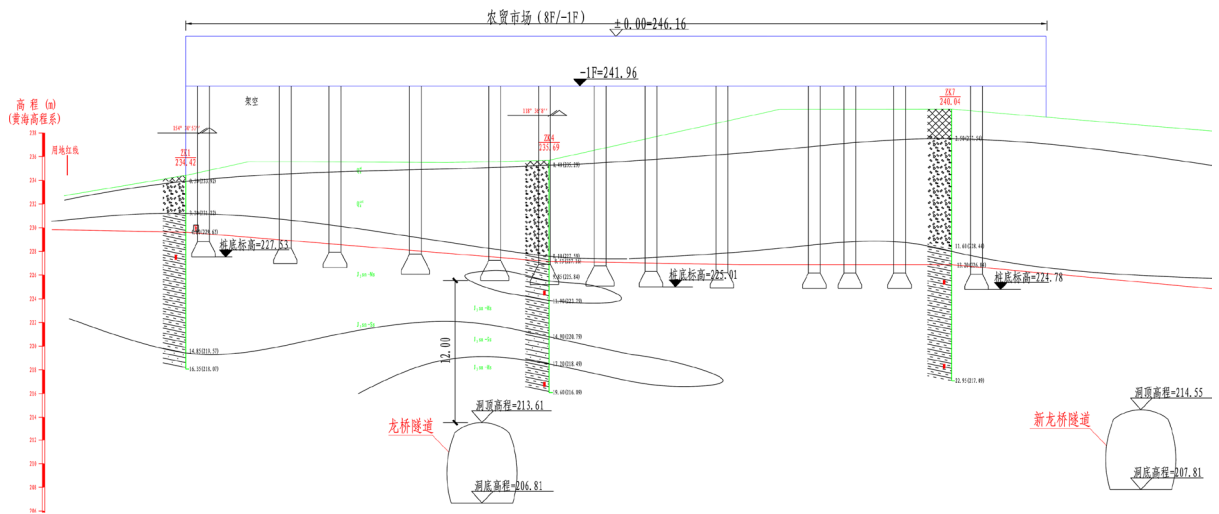


Figure 3. Profile of position relationship between the tunnel and project
图 3. 既有隧道与拟建项目剖面位置关系

隧道围岩为侏罗系上统遂宁组泥岩、砂岩互层, 围岩的级别为IV级, 场地地下水贫乏, 无不良地质作用。

该场地岩土体力学参数见表 1。

Table 1. Values of geotechnical parameters**表 1.** 岩土体力学参数

岩土名称	参数 重度(KN/m ³)	地基承载力特 征值/kPa	抗剪强度指标		弹性模量/MPa	泊松比
			C/kPa	$\varphi/^\circ$		
素填土	20.5	/	/	综合 30°	/	/
块石土	24.0	180*	/	综合 40°	/	/
中等风化泥岩	24.7	2277	638	30.0	2016	0.32
中等风化砂岩	24.8	3887	798	31.0	2280	0.25

3. 洞室地基承载力确定

3.1. 隧道深浅埋判定

根据《建筑地基基础设计规范》(DBJ50-047-2016) [10]可知深、浅埋隧道的划分原则: 对 IV~VI 级围岩原则上按 2.5 倍洞顶岩石塌落高度为划分标准, 洞顶岩石塌落高度 h_q 按下式计算:

$$h_q = 0.45 \times 2^{S-1} \omega$$

i ——以 $B = 5$ m 的围岩垂直均布压力为准, B 每增减 1 m 时的围岩压力增减率, 因 $B = 5 \sim 15$ m, 取 $i = 0.1$;

S ——围岩级别为 IV 级, $S = 4$;

ω ——宽度影响系数, $\omega = 1 + i(B - 5)$;

B ——隧道宽度(m)。

经计算, $2.5h_q = 11.25$ m, 龙桥隧道最薄顶板岩层厚度为 13.55 m, 新龙桥隧道顶板岩层厚度约为 11.92 m, 隧道顶板岩层厚度 ≥ 2.5 倍的洞顶岩石塌落高度, 隧道属于深埋隧道。

3.2. 隧道工程影响分区判断

根据深埋矿山法受隧道影响程度分区见图 4。

场地高程为 235.69~246.30 m, 隧道顶板距地面 22.08~32.69 m, 拟建物桩基埋深 h 为 10.53~14.30 m, 对塌落区宽度及项目修建对隧道的影响程度分区进行计算: 塌落区宽度为 17.2 m, $17.35/2$ m < 基础埋深 $h < 17.35$ m, 该项目修建对隧道的影响程度分区为显著影响区(II) (见图 5)。为安全考虑, 塌落区水平宽度取 20 m, 即隧道中心线两侧各 10 m 宽度范围区域。塌落区正上方地基承载力采用洞室地基承载力。塌落区范围及塌落区地基承载力见图 6。

3.3. 塌落区地基承载力

根据《建筑地基基础设计规范》(DBJ50-047-2016)人工洞室地基承载力验算:

1) 洞顶岩柱自重及地面建筑地基反力产生的总下滑力:

$$W = F_s (Bhr + qB_1)t$$

2) 洞顶岩柱侧面的摩阻力:

$$F_f = \frac{1}{2} rh^2 \lambda t \tan \varphi_k$$

侧压力系数: $\lambda = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi_k}{2} \right)$

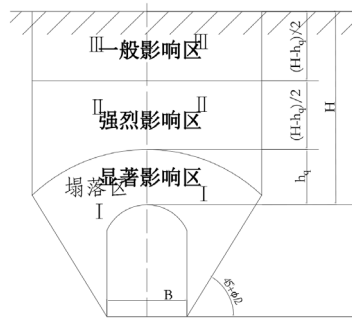


Figure 4. Impact zoning map of tunnel perimeter on deep mining method
图 4. 深埋矿山法隧道周边影响分区图

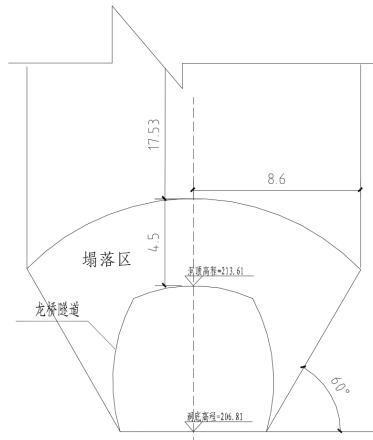


Figure 5. The width of collapse zones
图 5. 塌落区宽度计算图

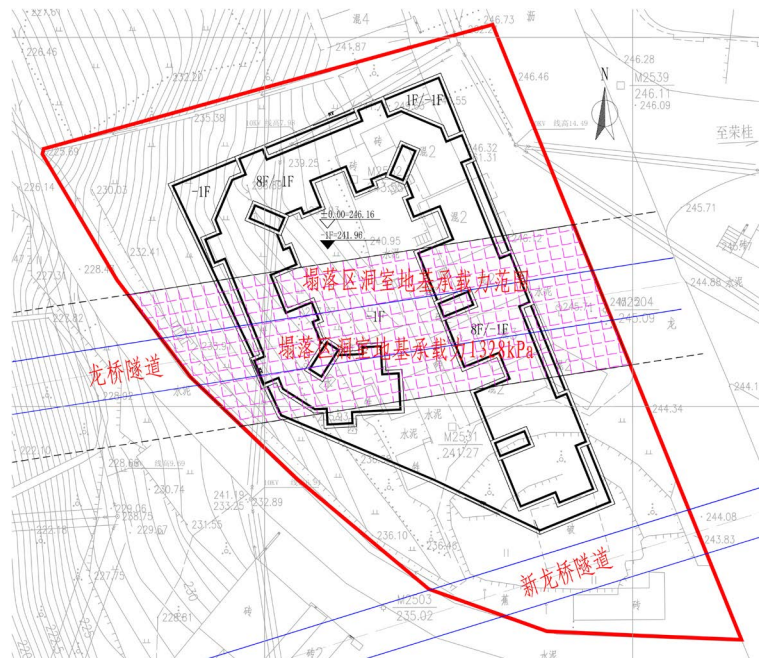


Figure 6. Collapse zones and bearing capacity of the foundation with caverns
图 6. 该项目塌落区范围及地基承载力

3) 洞顶岩柱侧面的粘结阻力:

$$F_c = c_k (H - h_q) t$$

令 $k = \frac{2(F_f + F_c)}{W} = 1.0$, 反算洞室地基承载力 $q = 1328 \text{ kPa}$, 塌落区水平宽度范围内基础荷载不得大于洞室地基承载力。

4. 弹塑性数值模拟分析

本次数值模拟分析采用国际通用大型有限元程序 MIDAS-GTS 软件, 通过数值模拟计算, 验算塌落区正上方均布荷载设计值不超过 1328 kPa 条件下洞室地基的稳定性。

分析隧道围岩位移及应力场情况和该项目桩基位移情况, 研究洞室地基稳定性问题。

4.1. 位移分析

如图 7、图 8 所示: 隧道拱顶下沉 5.7 mm , 拱底下沉 3.0 mm , 隧道洞顶相对下沉 0.04% ; 隧道最大水平位移为 1.5 mm , 拱脚相对净空变化 0.03% 。满足《铁路隧道设计规范》TB10003-2005 附录 F [11], 围岩级别为 IV 级、埋深 $h \leq 50 \text{ m}$ 的单线隧道拱顶相对下沉 $0.03\% \sim 0.07\%$ 、拱脚相对净空变化 $0.2\% \sim 0.7\%$ 的要求。

如图 9 所示: 该项目桩基沉降值为 $5.6 \text{ mm} \sim 7.6 \text{ mm}$, 沉降差为 2.0 mm 。根据《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011) 地基土类别为中、低压缩性土的框架结构民用建筑相邻柱基的沉降差最大沉降差为 $0.002 L$, $L_{\min} = 3.0 \text{ m}$, 则沉降差为 6 mm 。项目修建后拟建物桩基沉降差未超过地基变形允许值。

4.2. 应力分析

由图 10、图 11 所示, 该项目修建后, 隧道围岩未出现拉应力, 最大压应力为 2384 KPa , 出现在拱脚位置, 未超过泥岩抗压强度。

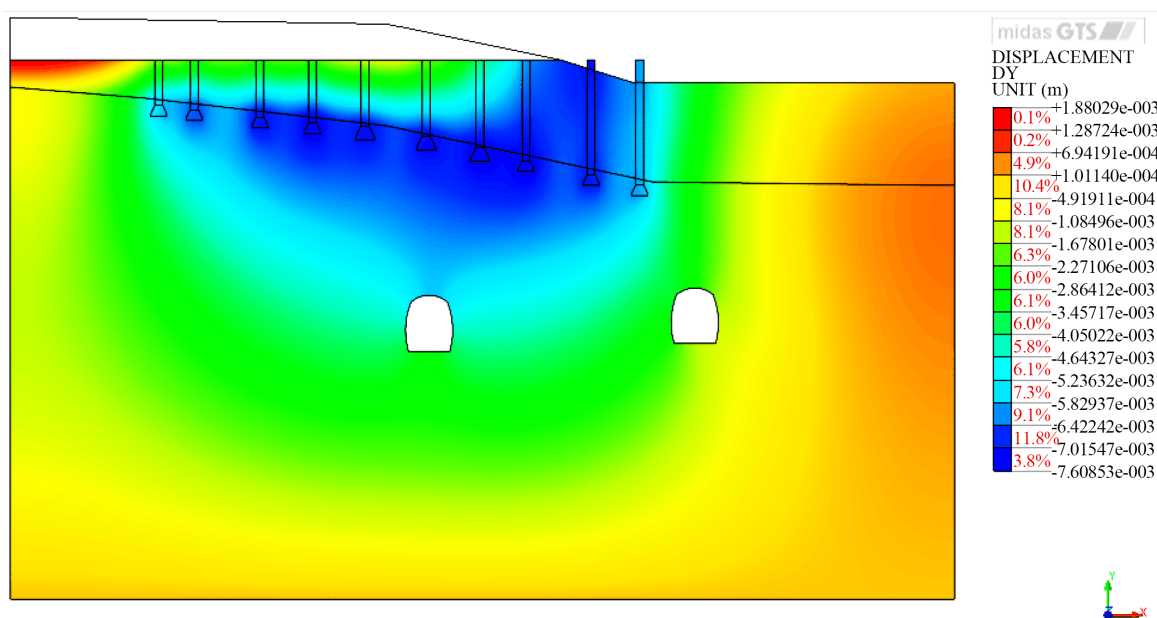


Figure 7. The vertical displacement cloud map of tunnel after the project completed

图 7. 项目修建后隧道竖向位移云图

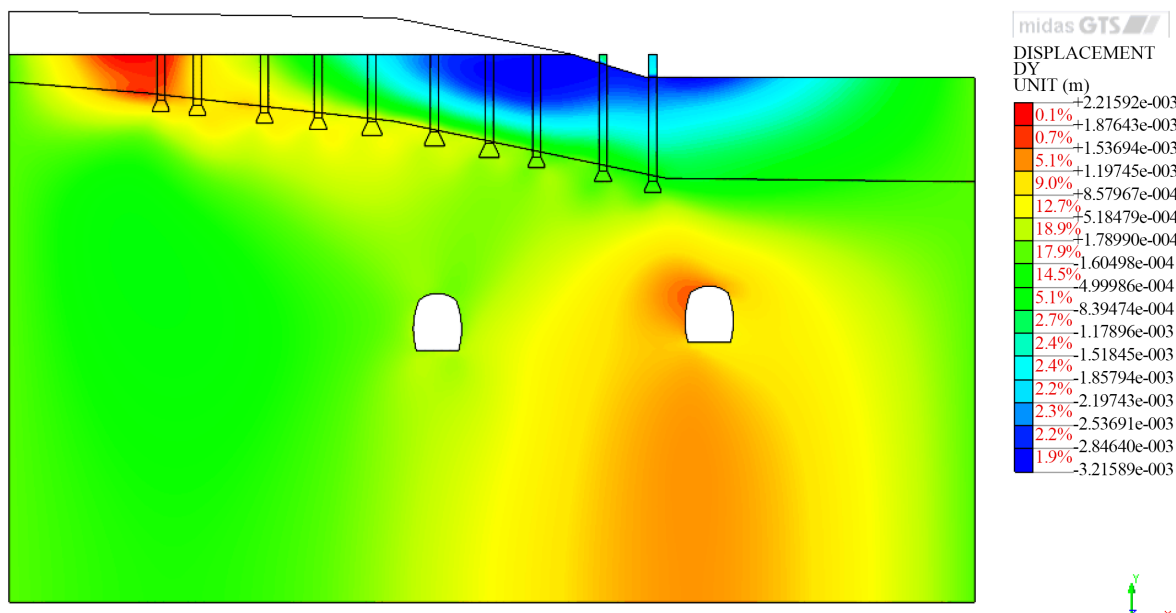


Figure 8. The horizontal displacement cloud map of tunnel after the project completed
图 8. 项目修建后隧道水平位移云图

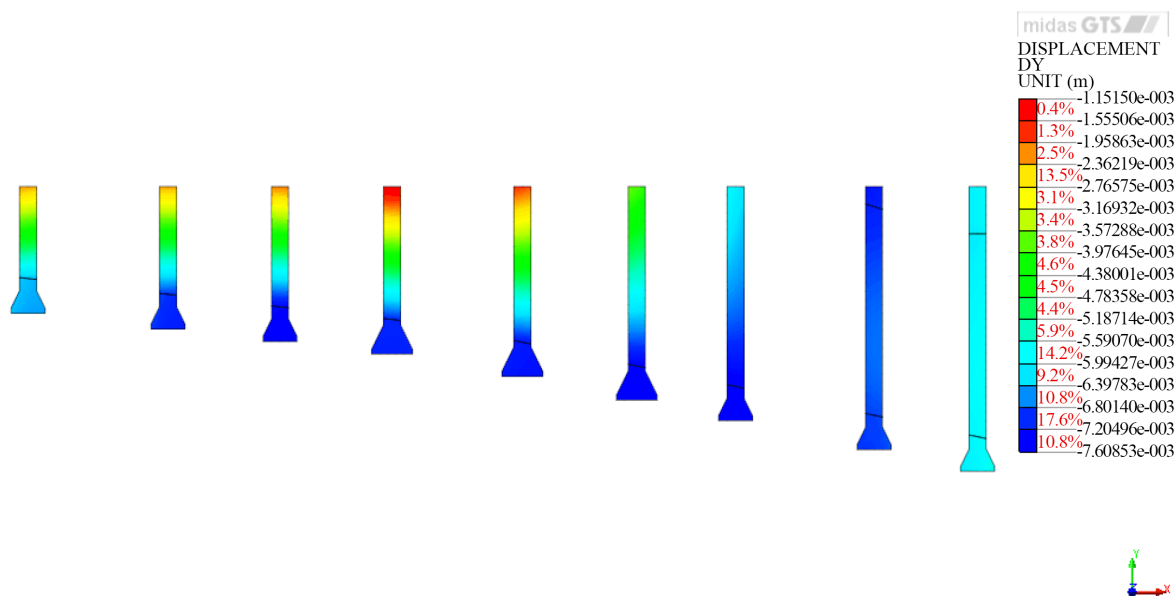


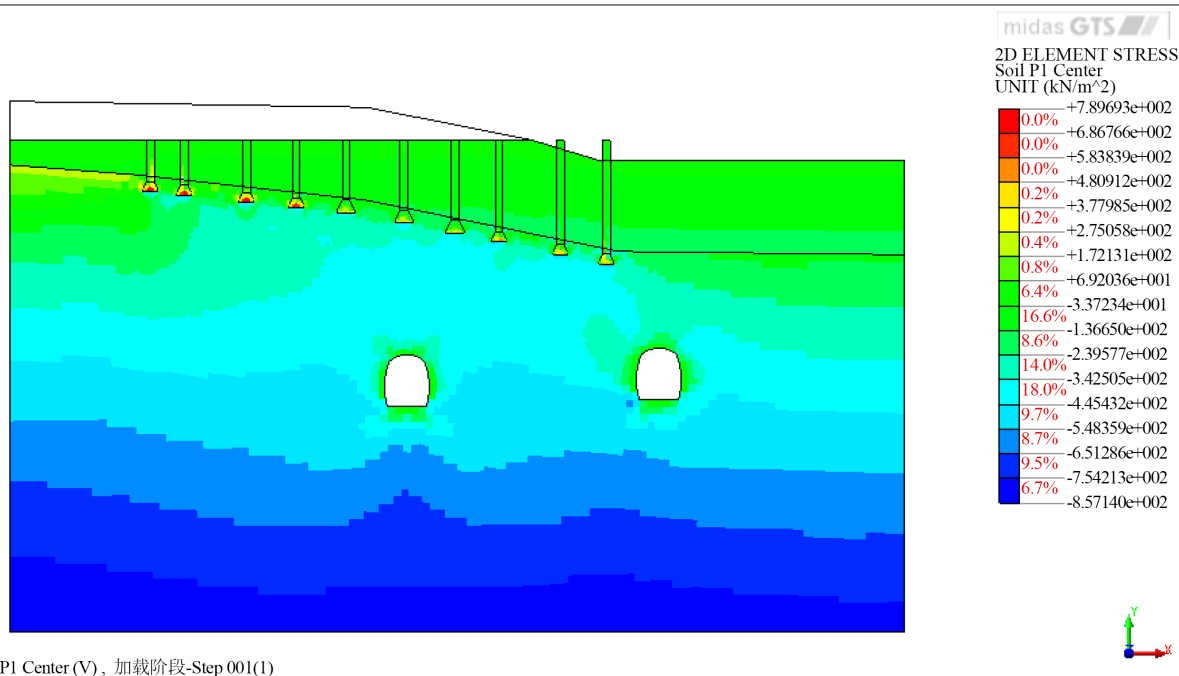
Figure 9. Pile foundation settlement of the project
图 9. 该项目建筑桩基沉降图

5. 结论

本文采用理论计算确定洞室地基承载力, 并采用数值模拟进行洞室地基稳定性验算, 得出如下结论。

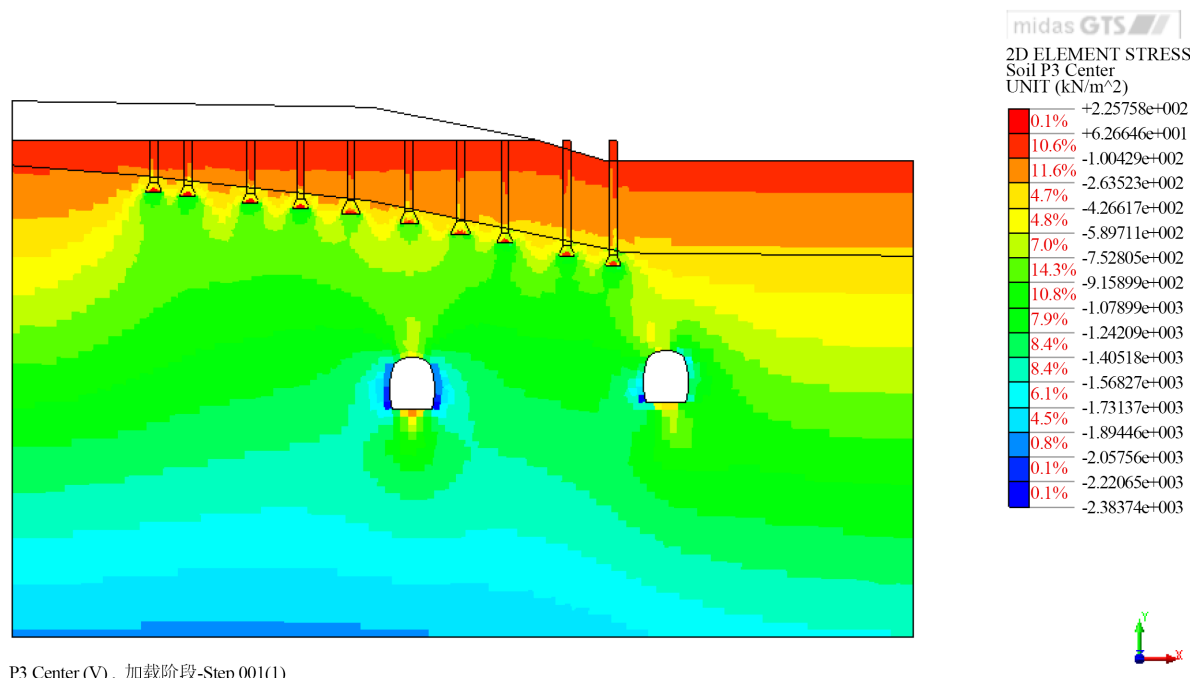
1) 通过理论计算分析, 隧道中心线两侧各 10 m 水平范围内区域为隧道塌落区, 此区域范围内地基承载力采用洞室地基承载力, 该项目洞室地基承载力为 1328 kPa。

2) 由数值模拟分析成果可知: 在塌落区正上方均布荷载设计值不超过 1328 kPa 条件下, 隧道拱顶下沉 5.7 mm, 拱底下沉 3.0 mm, 隧道洞顶相对下沉 0.04%; 隧道最大水平位移为 1.5 mm, 拱脚相对净空



P1 Center (V), 加载阶段-Step 001(1)

Figure 10. The first principal stress of the tunnel surrounding rock
图 10. 隧道围岩第一主应力云图



P3 Center (V), 加载阶段-Step 001(1)

Figure 11. The third principal stress of the tunnel surrounding rock
图 11. 隧道围岩第三主应力云图

变化 0.03%。该项目桩基沉降值为 5.6 mm~7.6 mm，沉降差为 2.0 mm，未超过《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2011)地基变形允许值。

3) 按该方法确定的洞室地基承载力进行建筑设计，能够满足洞室地基的稳定性需要。该结论为后续

建筑结构的设计、施工安全奠定了基础, 为业主决策提供了有力的技术支撑, 也为类似工程的洞室地基承载力问题的解决提供参考。

目前该项目已竣工并交付使用两年, 建筑现状良好, 下穿铁路隧道使用正常。该项目的顺利实施为重庆地区类似项目建设提供了有效的工程经验。

参考文献 (References)

- [1] 张云, 杨忠. 不同实验条件下软质岩石地基承载力分析[J]. 贵州地质, 2006, 23(2): 137-141.
- [2] 刘之葵, 梁金城, 朱寿增, 张桂林. 岩溶区含溶洞岩石地基稳定性分析[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(5): 629-633.
- [3] 方玉树. 洞室地基稳定性验算方法的改进[J]. 重庆建筑, 2011, 10(3): 32-33.
- [4] 蒋文明, 洪波. 岩质洞室地基破坏模式对比分析[J]. 地下空间与工程学报, 2008, 4(6): 1033-1035.
- [5] 唐秋元, 钱伟, 赵尚毅. 重庆时尚园工程洞室地基稳定性分析[J]. 地下空间与工程学报, 2004, 24(4): 492-495.
- [6] 袁龙, 谭智勇. 隧道暗洞地基承载力容许值修正方法讨论[J]. 工程建设, 2017, 49(5): 9-11.
- [7] 张永兴, 王桂林. 高层建筑岩石洞室地基稳定性分析方法与应用[J]. 工程力学, 2007, 24(s2): 110-120.
- [8] 陈骏峰. 地表建筑与地下洞室共同作用分析[D]: [博士学位论文]. 武汉: 华中科技大学, 2008.
- [9] 邵培柳. 层状岩体开洞地基稳定性分析[D]: [硕士学位论文]. 重庆: 重庆大学, 2014.
- [10] 重庆市城乡建设委员会. DBJ50-047-2016 建筑地基基础设计规范[S]. 重庆: 重庆市城乡建设委员会, 2016.
- [11] 中华人民共和国铁道部. TB10003-2005 J449-2005 铁路隧道设计规范[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2011.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 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: hjce@hanspub.org