

高填方桥梁与城市隧道相互作用机理及岩土工程对策研究

胡俊杰

重庆市基础工程有限公司

DOI:10.12238/pe.v3i4.15137

[摘要] 城市建设中高填方桥梁与城市隧道邻近建设易出安全问题。本文结合力学模型、数值模拟和实际案例,探究两者相互作用机理。基于弹性力学和岩土力学理论构建模型,分析荷载传递与变形响应,探讨地质条件等因素影响。运用ABAQUS等软件建立三维有限元模型,模拟相互作用下的应力、位移及土体变形,开展参数敏感性分析。最后从设计、施工及运营维护阶段提出岩土工程对策,为后续工程提供参考。

[关键词] 高填方桥梁; 城市隧道; 相互作用机理; 岩土工程对策

中图分类号: U455 **文献标识码:** A

Research on the interaction mechanism between high-fill bridges and urban tunnels and geotechnical engineering countermeasures

Junjie Hu

Chongqing Foundation Engineering Co., Ltd.

[Abstract] In urban construction, high-fill bridges and urban tunnels are prone to safety problems. This paper combines mechanical models, numerical simulations and practical cases to explore the interaction mechanism between the two. Based on elastic mechanics and geomechanics theory, the model is constructed to analyze the load transfer and deformation response, and the influence of geological conditions and other factors is discussed. ABAQUS and other software are used to establish a three-dimensional finite element model to simulate stress, displacement and soil deformation under interaction, and carry out parameter sensitivity analysis. Finally, geotechnical engineering countermeasures are proposed from the design, construction, operation and maintenance stages to provide reference for subsequent projects.

[Key words] high-fill bridge; urban tunnels; interaction mechanism; Geotechnical engineering countermeasures

在城市建设中,高填方桥梁和城市隧道经常邻近建设。但这种邻近建设很容易出问题,比如结构变形、衬砌损坏,还有土体不稳定,这些问题都可能影响工程的安全^[1]。所以需要研究它们的相互作用,然后提出一些岩土工程方面的对策,这样才能确保工程安全运行。这篇文章就是用力学模型分析、数值模拟,结合实际工程案例,研究高填方桥梁和城市隧道邻近建设会有什么影响。最后,把研究成果整理出来,为后续类似工程提供参考。

1 高填方桥梁与城市隧道相互作用机理分析

1.1 力学模型建立

研究高填方桥梁和城市隧道相互作用的时候,用弹性力学和岩土力学的理论建立个力学模型很关键。在建这个模型的时候,得把桥梁结构、填方土体和隧道结构的力学特性都考虑到。在模拟桥梁结构的时候,可以用梁单元或者壳单元,重点考虑刚度、强度和边界条件^[2];对于填方土体,主要得关注它的压缩性、

剪切强度和变形模量这几个特性;隧道结构主要是衬砌和围岩这两部分,衬砌的刚度和强度,还有围岩的特性,这些都很关键。用界面单元来模拟各部分之间的接触关系,重点关注摩擦、粘聚力和法向刚度,这样才能更准确地体现它们之间的相互作用。

1.2 荷载传递与变形响应

高填方桥梁的荷载,像自重、车辆荷载、风荷载这些,都是先通过桥墩和桥台传到填方土体里,然后再作用到隧道上。这个传递的过程,和填方土体的压缩性关系特别大。要是土体的压缩性大,那荷载传过去的路径就长,变形也大;要是压缩性小,情况就反过来,路径短,变形小。隧道施工时会动到周围的土体,这样一来,桥梁可能会出现水平位移、沉降,还有倾角的变化,这些情况都会威胁到桥梁的结构安全。

1.3 相互作用影响因素分析

高填方桥梁和城市隧道相互作用,跟地质条件、桥梁参数、隧道施工方法还有施工顺序都有关系。在地质条件里,岩土层的

压缩性、剪切强度这些力学特性,还有它的厚度分布,都会影响到荷载怎么传递,以及变形是怎么发生的。要是碰到软土地基会很麻烦,它很容易出现剪切破坏,还会给隧道增加额外的荷载。桥梁的桥墩间距、桥台形式、桥梁跨度这些参数,都会影响桥梁的刚度、荷载分布,还有填方土体的约束作用。隧道施工方法不一样,对土体的扰动也不同。盾构法容易让土体出现侧向变形和压缩变形,而矿山法可能会导致土体不均匀变形^[3]。

2 高填方桥梁与城市隧道相互作用的数值模拟

2.1 有限元模型建立

2.1.1 有限元模型建立与网格划分

用ABAQUS、ANSYS这些软件搭个三维模型,把桥墩、桥台、桥跨结构、填方土体、隧道衬砌和围岩都包括进去。按照设计图纸和地质资料,把几何尺寸和位置关系都精确输入进去,像桥墩的间距、桥台的尺寸、桥梁的跨度、隧道的直径和衬砌的厚度这些都要弄清楚。做网格划分时,桥梁部分就用四面体或六面体单元;填方土体和隧道围岩用八节点六面体单元或者十节点四面体单元。接触界面那里,网格要加密,这样才能保证网格质量。网格单元体积应满足:

$$V = \frac{1}{6} |\mathbf{a} \cdot (\mathbf{b} \times \mathbf{c})|$$

其中 $\mathbf{a}$ 、 $\mathbf{b}$ 和 $\mathbf{c}$ 是单元的三个边向量。

2.1.2 材料参数选择

桥梁材料的力学参数,要么根据试验数据,要么按照规范输入到模型里;填方土体的参数,直接照着地质勘察报告填;隧道衬砌材料的参数,就用试验测出来的数据输进去;围岩的参数,就照着土体参数来设置就行。土体材料可采用Drucker-Prager或Mohr-Coulomb准则描述屈服行为,表达式为:

$$f(\sigma) = \sqrt{J_2} - \frac{1}{3} K(I_1 + 3c \cot \phi) = 0$$

其中 J_2 为第二应力不变量, I_1 为第一应力不变量, K 为材料参数。

2.1.3 边界条件与荷载施加

边界条件和荷载施加得按照实际工程环境来设置。模型底部固定住,侧边界只限制水平方向的移动,顶部为自由边界。荷载有这么几种:桥梁自重,这个是由材料密度、体积和重力加速度算出来的;车辆荷载,用移动荷载来模拟车跑的过程,还有风荷载和隧道施工荷载。隧道施工荷载得看用什么施工方法,比如盾构法还是矿山法。要是用盾构法,就要算盾构机推进力,这个是由摩擦系数、土体压力和截面积算出来的;还有土体压力,是由土体容重和覆盖深度决定的。

2.2 模拟结果分析

2.2.1 应力分布分析

在数值模拟结果中,要仔细分析应力分布。特别是桥梁结构,像桥墩和桥台这些地方的主应力分布,还有填方土体和隧道围岩的剪应力、正应力变化规律,都要仔细观察。通过这些分析,

可以判断出哪些地方可能会出现剪切破坏或者压缩破坏。通过画出应力云图,可以直观地看到应力分布的情况。例如,混凝土桥墩的主应力 $\sigma_{\pm}$ 可通过以下公式计算:

$$\sigma_{\pm} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

其中, σ_x 和 σ_y 分别为 x 和 y 方向的正应力, τ_{xy} 为剪应力。

2.2.2 位移变化分析

看看桥梁和隧道的位移,主要盯住桥墩和桥台的上下左右动了多少,桥跨结构弯了多少,还有隧道衬砌变形情况,特别是隧道顶和侧壁的位移。把不同工况下的位移结果拿出来比较一下,就能知道施工和运营阶段结构稳不稳。例如,隧道衬砌的竖向位移 u_z 可通过以下公式计算:

$$u_z = \frac{P_{\pm} \cdot L^3}{48E_{\text{衬}}I}$$

其中, $P_{\pm}$ 为土体压力, L 为隧道长度, $E_{\text{衬}}$ 为衬砌材料的弹性模量, I 为截面惯性矩。

2.2.3 土体变形分析与结果验证

好好研究一下填方土体的变形,看看它是怎么压缩的,又是怎么剪切变形的,通过计算体积应变

$$\varepsilon_v = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

来评估土体的稳定性。其中, ε_x 、 ε_y 和 ε_z 分别为土体在 x 、 y 和 z 方向上的正应变,表示各方向上的长度变化与原始长度的比值。体积应变能体现土体在三维空间里体积的变化,是判断土体稳不稳的一个关键指标。把不同工况下的模拟结果拿出来对比,看看相互作用机理分析对不对,比如隧道施工对桥梁结构到底有什么影响^[4]。再把数值模拟的结果和理论分析的结果对照一下,思考为啥会有差异。

2.3 参数敏感性分析

在做敏感性分析的时候,挑出土体参数、桥梁结构参数和隧道施工参数这几个关键因素。然后调整这些参数的取值范围,看看它们对模拟结果到底有多大影响。用单因素和多因素敏感性分析两种方法,看看单独一个参数,或者多个参数一起变化时,对模拟结果的影响到底有多大。通过分析,理清每个参数有多敏感,然后给工程设计和施工提建议。

3 高填方桥梁与城市隧道相互作用的岩土工程对策

3.1 设计阶段对策

得选对桥梁和隧道的结构形式,把设计参数优化好。比如用大跨度的连续刚构桥或者拱桥,这样能减少桥墩的受力,也不会太多地去扰动填方土体。隧道衬砌用复合结构,这样能增强抗变形的能力。用高精度地震勘探、地质雷达、钻孔取样这些技术,把填方土体和隧道围岩的情况了解清楚。然后建一个三维地质

模型,再结合数值模拟,提前预测一下力学行为。在设计的时候,多留点安全系数,比如把桥墩做得粗一点,隧道衬砌做得厚一点,材料强度也提一提。

3.2施工阶段对策

把施工顺序和方案调整一下,先施工隧道再进行桥梁基础施工,这样能少点互相干扰。用分阶段施工的办法,一点点把填方土体加上去,施工的时候顺便监测一下桥梁和隧道的变形情况,确保施工稳当。用注浆加固、预应力锚杆、微型桩这些先进的施工技术,把填方土体和隧道围岩的稳定性提上去。要是用盾构法或者矿山法,就把施工参数调优,尽量少去对周围土体扰动。施工的时候,多监测一下变形情况,实时掌握动态。

3.3运营维护阶段对策

建设监测系统,定期检查高填方桥梁和城市隧道,看看有没有位移、应力变化、收敛变形或者裂缝这些情况。可以用光纤传感器这种自动化技术来实时监测,这样可以提高效率 and 准确性。根据监测结果来安排维护计划。

4 工程案例

4.1工程概况

渝利铁路高填方深基础明洞工程位于重庆市丰都县,本来是打算修桥梁的,但因为城市规划调整,就改成隧道形式了,结果就成了高填方深基础明洞结构。这段工程的地质条件特别复杂,有粉质黏土、砂岩、泥岩等各种岩土层,而且岩土层的压缩性还不均匀,里面还有软土地基。高填方路堤最高的地方填了30米,桥梁跨度最大的地方有50米,隧道全长大概2000米。

4.2相互作用机理验证

表1 渝利铁路高填方深基础明洞工程关键数据

项目	数据
填方高度	最大30米
桥梁跨度	最大50米
隧道长度	2000米
土体压缩性	压缩系数0.2-0.5 MPa ⁻¹
最大水平位移	15毫米
最大沉降量	20毫米
盾构机推进速度	30毫米/分钟
安全距离	10米
监测频率	每天一次

采用ABAQUS这个有限元分析软件,搭了个三维模型,里面包括桥墩、桥台、桥跨结构、填方土体、隧道衬砌和围岩。模拟分析后发现,高填方路堤的荷载主要是通过桥墩和桥台传到填

方土体,然后再作用到隧道上。因为填方土体的压缩性比较大,所以荷载传递的路径比较长,变形也比较大。在隧道施工的时候,用盾构法施工,土体的侧向变形和压缩变形比较明显,这使得桥梁出现了水平位移、沉降和倾角变化。其中,水平位移最大的地方达到了15毫米,沉降最多的有20毫米。渝利铁路高填方深基础明洞工程关键数据如表1所示:

4.3岩土工程对策应用

在渝利铁路那个高填方深基础明洞工程里,设计的时候用上了大跨度的连续刚构桥,这样能少让桥墩受力;隧道衬砌用的是复合结构,抗变形能力更强;还把桥梁和隧道的位置关系优化了,把安全距离增加到了10米;用高精度地震勘探和地质雷达技术建了个三维地质模型,再结合数值模拟来预测力学行为,提前把设计参数调整好。渝利铁路那个高填方深基础明洞工程,设计的时候,把桥弄成大跨度的连续刚构桥,这样桥墩就不那么受力了;隧道衬砌用复合结构,抗变形能力就强了;还调整了桥梁和隧道的位置,让安全距离达到10米;用高精度地震勘探和地质雷达技术搞了个三维地质模型,结合数值模拟预测力学行为,提前调整了设计参数。到了运营维护的时候,建了个自动化监测系统,用光纤传感器来实时监测,每天监测一次。

5 结论

本研究采用了一些科学方法,像力学分析、数值模拟,还结合了实际工程案例,深入探究高填方桥梁和城市隧道互相之间是怎么相互影响的。文章明确了荷载传递路径、变形响应规律和多种影响因素,并且针对设计、施工、运营维护这三个阶段,提出了全面的岩土工程对策。通过渝利铁路工程案例验证,这些对策切实可行。这项研究的成果对同类工程很有帮助,可以当作实用的理论依据和技术参考。它能帮助提升工程建设的安全性和可靠性,进而推动城市基础设施建设的高质量发展。

[参考文献]

- [1]康明旭,林建辉,廖宜源,等.隧道下穿既有高架桥梁施工注浆控制技术研究[J].科技创新与应用,2024,14(14):176-180.
- [2]唐云浩,林子力.隧道口高填方路基与桥梁的选择[J].交通世界,2021(11):122-123.
- [3]李炼.某桥梁桩基施工对高铁隧道影响分析[J].城市道桥与防洪,2023(2):149-153.
- [4]吕忠彪.道路桥梁隧道工程施工中的难点及其改进措施[J].门窗,2024(3):223-225.

作者简介:

胡俊杰(1987--),男,汉族,重庆市人,硕士,高级工程师,研究方向:岩土工程。