

[文章编号] 1003—4684(2019)01-0016-04

新建道路下穿运营高铁对桥墩位移影响的分析

李 俊, 姜久红, 谭 燕

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 随着铁路和公路网络的完善,新建道路下穿运营高铁的工程越来越多,会使高铁桥墩产生过大位移,为了评价新建道路下穿运营高铁的安全性,以某新建道路下穿某铁路作为实例,采用有限元软件 ABAQUS 对高铁桥墩受力变形进行数值模拟分析,得出在原状土开挖、回填、路基土回填和公路运行四种工况下桥墩墩顶的位移值,结果表明桥墩墩顶的竖向沉降和水平位移最大值发生在公路运行阶段,且均小于 1 mm,符合规范要求。

[关键词] 位移; 道路下穿; 数值模拟; 高铁桥墩

[中图分类号] TU43

[文献标识码] A

当新建道路下穿铁路时,在施工和运营阶段,会对高铁桥墩产生附加荷载,易引起高铁桥墩产生竖向沉降和水平(横桥向、竖桥向)位移^[1],对高铁运营的安全性和平稳性造成不良影响。关于桥墩墩顶位移的计算研究,一般分为理论研究和有限元研究^[2-4],从最初复杂的共轭梁计算原理发展到目前经济简便的数值模拟分析。张博洋^[5]根据能量法原理提出了墩顶位移计算的实用公式;杨菲^[6]利用有限元的方法对新建桩板及空心板梁桥下穿高铁桥梁进行施工安全研究;Maurizio Orlando 等^[7]通过参数化数值模拟研究了砌体桥墩的位移限值。可以看到桥墩墩顶的位移计算方法逐渐得到了创新,特别是有限元分析软件的出现,在工程中得到了广泛的使用。其中 ABAQUS 具备丰富的单元库和材料库,能够较为准确地模拟现实世界中非线性工程。为了评价道路下穿已建成高铁桥墩的安全性,采用有限元软件 ABAQUS 模拟新建道路的施工和运营阶段,得到桥墩的位移变形量,最后判断结果是否满足规范要求,从而决定施工方案的可行性。

1 工程概况

新建道路下穿某铁路的 1#、2# 和 3# 桥墩,规划线位依次穿越现状某泾水执法基地、某石头塘北闸站、新建道路 1 号桥及内河闸站,将规划线位向北调整,避让现状地物。其中桥梁段纵坡 3.5%,一般

段纵坡 0.3%,铁路范围的最大填土高度 1.89 m。

在地表下 10.00 m 深度范围内,除素填土、杂填土及压实填土外,其余均为第四纪晚更新世以来的冲湖积沉积物,主要由黏性土、粉土组成,按拟改建场地沿线工程特性从上至下分为①淤泥质粉质黏土;②粉质黏土;③粉砂;④粉质黏土。

2 计算模型及材料参数

2.1 参数确定

根据实际地质勘察报告,立交工程处计算范围内混凝土参数及土层参数建议值详细介绍如下。

1) 钢筋混凝土

HRB400 钢筋用于构件主要受力钢筋,HPB300 钢筋用于箍筋及构造钢筋。C30 混凝土用于一般地段承台,弹性模量 $E_c=3.20\times10^4$ MPa;C30 水下混凝土用于一般地段桩基础,弹性模量 $E_c=3.20\times10^4$ MPa;C35 混凝土用于桥墩,弹性模量 $E_c=3.30\times10^4$ MPa;C50 混凝土用于桥墩,弹性模量 $E_c=3.55\times10^4$ MPa。混凝土的剪切模量 $G_c=0.43 E_c$,泊松比 $\nu_c=0.2$ 。

2) 地基土层

有限元数值计算中土体采用“摩尔-库伦(M-C)”土体弹塑性模型。计算中各土层的模型参数如下表 1 所示。

[收稿日期] 2018—06—21

[基金项目] 国家自然科学基金青年项目(51408203);湖北工业大学博士科研启动基金(BSQD12060)

[第一作者] 李 俊(1993—),女,湖北天门人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为工程力学

[通信作者] 姜久红(1969—),女,吉林伊通人,工学博士,湖北工业大学教授,研究方向为结构动力学

表 1 岩土层力学参数建议值

时代成因	地层编号	岩土名称	岩土状态	土层厚度/m	内摩擦/(°)	凝聚力/kPa	压缩模量/MPa	基本承载力/kPa
Q4al+m	(2)1	粉砂	饱和	2.95	15.54	30.98	5.31	120
Q4al+pl	(2)3	粉质黏土	硬塑	1.7	24.09	25.60	7.89	80
Q4m	(3)1	淤泥质粉质黏土	软塑	1.15	24.06	34.5	7.87	70
Q4al+h	(5)1	粉质黏土	软塑	4.2	16.90	25.0	4.8	90

2.2 建立模型

采用有限元软件 ABAQUS 进行数值模拟仿真计算,分析新建道路下穿某铁路 1#~3# 桥墩对墩顶位移的影响。本次铁路涉铁通道设计范围为铁路中心两侧 30 m 范围之外,新建道路下穿铁路段的宽度为 44.5 m,断面布置,双向六车道标准,如图 1 所示。计算模型采用笛卡尔坐标系,X 方向为顺桥向,正向指向线路前进方向,Y 方向指向横桥向,Z 方向指向沉降方向。本次分析创建的有限元计算模型如图 2 所示,模型包括高铁承台、桩基及其周边土体。计算过程中土体、某铁路 1#~3# 桥墩和桩基础、新建道路路基均采用实体单元模拟,模型的四面是法向约束,底部为竖向和法向约束。在计算模型中顺铁路方向为 140 m,横桥向为 60 m,深度方向为 68.9 m。合理考虑四层土,模型共计 158371 单元、49381 节点。计算考虑四种工况,分 5 个步骤进行:

1)地应力平衡:地应力主要由自重应力和构造

应力组成,是造成地下工程毁坏和变形的基本力。地应力平衡可以让数值模拟得到初始应力但没有初始应变的状态。在数值模拟计算中,应该让初始地应力场平衡。

2)原状土开挖:原状土开挖深度为 10 m,其目的是为了新建道路的稳定性,承载能力以及构造要求。原状土是维持天然结构及天然含水量的土样。

3)原状土处理后回填:原状土开挖之后,改变了土的物理性质,承载能力减弱,所以原状土需进行处理后再进行回填,其重度为 19.1 kN/m³。

4)路基土回填:路基土回填就是用各种材料将超挖部分填实的作业,目的是为了保证新建道路的安全与稳定,其重度为 19.5 kN/m³。

5)公路运行:路面设计汽车荷载以双轮组单轴载 100 kN 为标准轴载,等效换算为均布荷载,最后以节点力的形式作用在路面上。

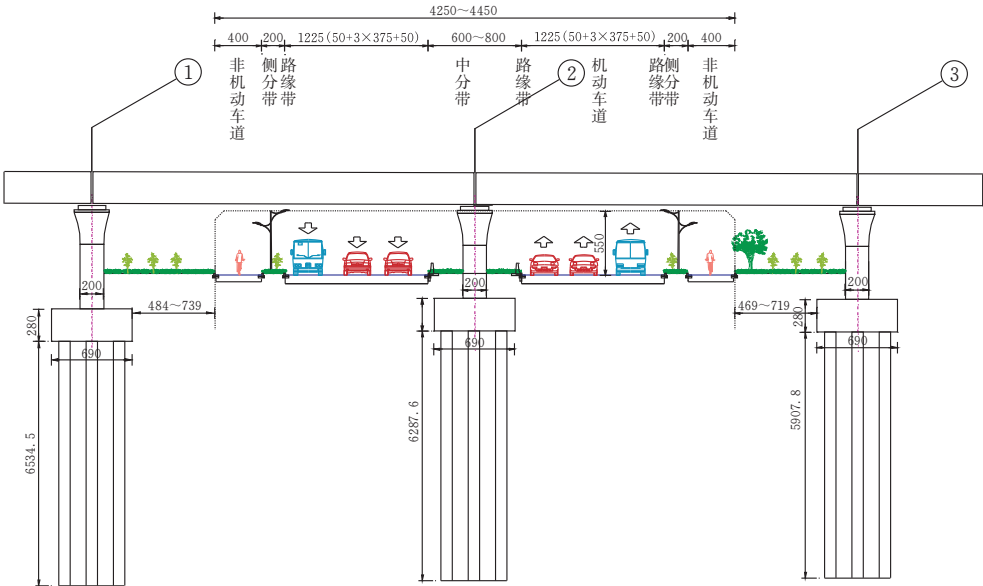


图 1 新建道路下穿某高铁横断面

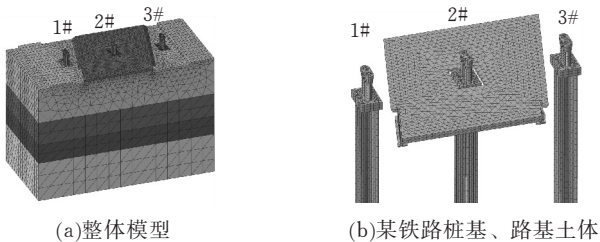


图 2 计算模型

2.3 结果分析

主要分析新建道路施工对某铁路 1#~3# 桥墩墩顶的影响,包括纵向位移(X 方向)、横向位移(Y 方向)以及竖向的沉降(Z 方向),其计算结果如下。

1)工况一:原状土开挖对某铁路 1#~3# 墩顶位移分析,如表 2 所示。原状土开挖后,地基应力被

释放,在土体桥墩的基础位置发生不均匀凸起,导致承台上浮并让承台朝开挖段相反方向发生移动,基础的凸起和偏移会导致桥墩发生位移。可以从表 2 看出在工况一中 1#~3# 桥墩墩顶顺桥向的位移最大值发生在 3# 桥墩,其值为 0.174 mm;横桥向的位移最大值发生在 1# 桥墩,其值为 0.059 mm;沉降方向的位移最大值发生在 2# 桥墩,其值为 0.223 mm。

表 2 工况一 桥墩墩顶位移值

桥墩号	X 方向/mm	Y 方向/mm	Z 方向/mm
1#	-0.156	0.059	0.072
2#	-0.002	0.027	0.223
3#	0.174	-0.054	0.022

2)工况二:原状土处理后回填对某铁路 1#~3# 墩顶位移分析,如表 3 所示。原状土回填后,基础承台和桩的底部承受的荷载重新分配,承台底部土体承载力变小,进而引起桥墩的位移发生变化。可以从表 3 看出在工况二中 1#~3# 桥墩墩顶顺桥向的位移最大值发生在 1# 桥墩,其值为 -0.289 mm;横桥向的位移最大值发生在 3# 桥墩,其值为 -0.019 mm;沉降方向的位移最大值发生在 3# 桥墩,其值为 -0.053 mm。

表 3 工况二 桥墩墩顶位移值

桥墩号	X 方向/mm	Y 方向/mm	Z 方向/mm
1#	-0.289	0.012	-0.037
2#	-0.043	-0.004	-0.029
3#	0.263	-0.019	-0.053

3)工况三:路基土回填对某铁路 1#~3# 墩顶位移分析,如表 4 所示。路基土回填所增加的荷载会导致周围土体产生沉降变形,并且离路基坡越远,沉降变形越小。路基填土压力^[8]回传至承台处,进而影响桥墩墩台的位移变化。从表 4 可以看出在工况三中 1#~3# 桥墩墩顶顺桥向的位移最大值发生在 1# 桥墩,其值为 -0.291 mm;横桥向的位移最大值发生在 3# 桥墩,其值为 -0.019 mm;沉降方向的位移最大值发生在 3# 桥墩,其值为 -0.053 mm。

表 4 工况三 桥墩墩顶位移值

桥墩号	X 方向/mm	Y 方向/mm	Z 方向/mm
1#	-0.291	0.011	-0.038
2#	-0.043	-0.006	-0.045
3#	0.264	-0.019	-0.053

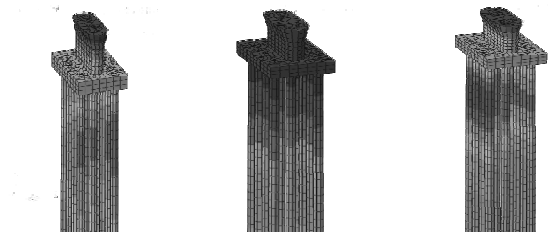
4)工况四:公路运行对某铁路 1#~3# 墩顶位移分析,如表 5 所示。运营荷载的施加会增大土体的沉降变形,主要引起桥墩墩顶的纵向和竖向位移。从表 5 可以看出在工况四中 1#~3# 桥墩墩顶顺桥向的位移最大值发生在 3# 桥墩,其值为

-0.488 mm;横桥向的位移最大值发生在 1# 桥墩,其值为 -0.170 mm;沉降方向的位移最大值发生在 2# 桥墩,其值为 -0.870 mm。

表 5 工况四 桥墩墩顶位移值

桥墩号	X 方向/mm	Y 方向/mm	Z 方向/mm
1#	0.443	-0.170	-0.437
2#	-0.051	0.022	-0.870
3#	-0.488	0.168	-0.305

根据以上计算结果,四种工况的位移值均小于 1 mm,其中对桥墩墩顶位移影响最大的是工况四公路运营。路面结构层及道路运营荷载使得路面和周围土体下沉,这极大地导致了桥墩的位移变化。顺桥向最大位移发生在工况四的 3# 桥墩,其值为 -0.488 mm;横桥向的最大位移发生在工况四的 1# 桥墩,其值为 -0.170 mm;沉降方向的最大位移发生在工况四的 2# 桥墩,其值为 -0.870 mm。最大位移云图如图 3 所示。



(a)3#桥墩顺桥方向 (b)1#桥墩横桥方向 (c)2#桥墩沉降方向

图 3 工况四桥墩最大位移云图

3 结束语

根据实际工程地质条件和结构设计方案,对新建道路下穿某铁路进行了有限元分析计算,综合分析后可以作出以下结论:

1)新建道路下穿某铁路工程方案,路基土开挖、回填及运营的过程中,通过分析计算得出桥墩墩顶的三个方向最大沉降量均发生在工况四公路运行阶段,并且位移值均小于 1.0 mm,符合 TB10621-2014《高速铁路设计规范》^[9]中相关规定。

2)通过有限元分析,原状土开挖引起 2# 桥墩墩顶竖向位移为 0.223 mm;路基土回填引起 1# 桥墩墩顶顺桥向位移为 -0.291 mm;公路运营引起 3# 桥墩墩顶顺桥向位移为 -0.488 mm。由此可见,路基土开挖、回填及运营对 1#~3# 桥墩有一定的影响。为了高铁运营的安全性和平顺性,经过模拟计算,在路基两侧 10~15 m 范围内(1# 和 3# 桩墩外侧)适当填土可以平衡路基土回填的影响,填土厚度和路基土相当,能最大限度地降低道路施工及运营对 1#~3# 桥墩的影响,建议在道路施工中避免同时大面积挖土作业,尽可能一边挖一边填,

并采用容重小的路堤填土。

3)有限元计算中的计算模型是对真实结构进行了一定的假设和简化后得来的,与实际情况存在一些差异,同时计算过程与实际施工也会存在一定的出入。计算中的材料参数也存在一些不确定性,特别是变形计算对土层参数比较敏感。在今后的计算中尽量应多结合实际情况取更加贴近实际情况的参数来建立模型。

[参 考 文 献]

[1] 雷贺彩.城市道路改扩建工程下穿既有城际铁路桥梁可行性分析[J]. 中国铁路, 2016(5):49-53.

[2] 陈兆玮.高速铁路桥墩沉降对行车性能影响的研究[D]. 成都:西南交通大学,2017.

[3] 闫磊,李青宁,刘芳平,等.考虑支座摩擦滑移及结构碰

撞的非规则人字形桥梁地震响应分析[J]. 世界地震工程,2018,34(2):44-54.

[4] 韩志星,徐安花.大跨径连续刚构桥施工监控线形分析[J]. 施工技术,2017,46(S2):926-929.

[5] 张溥洋.山区高桥墩墩顶水平位移计算分析[D]. 西安:长安大学,2012.

[6] 杨菲.桩板及空心板梁桥结构下穿软土区高铁桥梁的数值模拟研究[J]. 公路,2017,62(11):73-79.

[7] Maurizio Orlando, Luca Salvatori, Paolo Spinell, et al. Displacement capacity of masonry piers: parametric numerical analyses versus international building codes [J]. Bulletin of Earthquake Engineering,2016,14(8): 2259-2271.

[8] 仇敏玉,俞亚南.车辆荷载下地基数值模型的边界影响分析[J]. 公路交通科技,2010,27(01):39-42,49.

[9] 铁道第三勘察设计院集团有限公司,中铁第四勘察设计院集团有限公司.TB 10621—2014. 高速铁路设计规范[S]. 北京:中国铁道出版社,2014.

Influence of Newly-built Roads running through High-speed Railways on the Displacement of Piers

LI Jun,JIANG Jiuhong,TAN Yan

(School of Civil Engin.,Architecture and Environment ,Hubei Univ. of Tech.,Wuhan 430068,China)

Abstract: With the improvement of railways and highway networks, more and more roads running through high-speed railways are being built, which will cause massive displacement of high-speed railway piers. This article takes a newly built road running through high-speed railways as an example to assess the safety of the road. The finite element software ABAQUS is employed in this paper to establish the model to perform numerical analysis of forced deformation of high-speed railway piers. The displacement values of the pier tops are obtained under the following four conditions: undisturbed soil excavation, backfilling, subgrade soil backfilling and highway operation. The results show that the maximum vertical settlement and horizontal displacement of the pier top occur in the highway operation stage, and both are less than 1mm, which meets the requirements of the specification.

Keywords: displacement; road underpass; numerical analysis; pier displacement

[责任编辑:裴 琴]