

桩基托换结构的动力分析

王士哲, 段树金, 曹敬鹏

(石家庄铁道学院 土木工程分院, 河北 石家庄 050043)

摘要:以津滨轻轨桩基托换工程为例,用有限元软件 ANSYS 模拟此托换结构,通过静力分析结果与施工实测的应力进行对比分析,验证模型的有效性 & 参数选择的合理性。按照建筑抗震设计规范 GB50011—2001 要求,选取合适的地震波,采用时程分析法,模拟了托换结构在单向地震荷载作用下的动力响应,结构在设计烈度地震下安全。可供类似桩基托换结构的动力反应分析参考。

关键词:桩基托换结构;地震;有限元;时程分析

中图分类号:U443.163 **文献标识码:**A **文章编号:**1674-0300(2009)03-0053-04

1 引言

国内外城市正向大型化和现代化方向发展,地下铁道、商场和其他许多地下结构与设施的修建日益增多。这些地下建筑往往要穿越部分高层建筑或重要的历史建筑物,这就需要对原有建筑物的基础进行托换加固处理。

随着城市快速交通工程的建设,快速交通工程的线位与既有建筑物的相互影响日益突出,美国、英国、奥地利、意大利、日本和我国的地铁、城市隧道建设都曾遇到桩基托换问题^[1]。

我国最具有代表性的就是深圳地铁穿越百货广场大厦^[2]和穿越广深铁路^[3]的两个桩基托换工程。其中百货广场大厦桩基托换工程是迄今为止国内外托换轴力最大(托换轴力达到 18 900 kN^[4])的,解决了大轴力桩基托换工程托换梁-柱节点抗滑移难题,丰富了结构设计理论;而穿越广深铁路桩基托换工程是在列车动荷载条件下进行桩基托换的,也填补了国内在这一领域的空白。

以天津滨海新区中央大道四号路和津滨轻轨高架桥交汇处的桩基托换工程为背景,采用时程分析法,模拟托换结构在单向地震荷载作用下的动力响应。

2 工程概述

该桩基托换工程位于天津滨海新区中央大道四号路和津滨轻轨高架桥交汇处,需要桩基托换的津滨轻轨高架桥为两联三跨连续梁体系,需要托换的桥墩编号分别为 339 和 340,桥墩 339 为 25 m+25 m+20 m 连续梁的制动墩,桥墩 340 为 25 m+25 m+20 m 和 20 m+20 m+20 m 连续梁的共用墩。托换结构采用两跨连续刚构结构,托换大梁采用纵横梁体系,纵梁断面尺寸为 1.8 m×2.0 m,纵向长度为 40.5 m,两边横梁断面尺寸为 3.0 m×2.0 m,中间横梁为 3.5 m×2.0 m,横梁全长 15 m,采用 C60 混凝土,内置预应力钢绞线。托换桩身类型为钻孔灌注摩擦桩,采用 C35 混凝土,六根边桩(1、2、3、7、8、9)单桩长 70 m,Φ1.8 m,三根中桩(4、5、6)单桩长 90 m,Φ2.0 m,桩上部考虑 12 m 外露。由建筑抗震设计规范 GB50011—2001 可知,天津滨海新区的抗震烈度为 7 度,设计烈度地震的加速度为 0.15g(g 为重力加速度)。托换结构平面图、托换桩编号如图 1 所示。津滨轻轨桩基托换工程具有以下特点:

- (1) 桩基托换轴力大,需要一次托换的两个桥墩的轴力共约 14 000 kN;
- (2) 被托换结构是轻轨交通高架连续梁桥,对变形要求高,施工时要求墩顶竖向变形控制在上拱 5

收稿日期:2009-01-09

作者简介:王士哲 男 1982 年出生 硕士研究生

mm、下挠 5 mm 内,且沉降差不得超过 3 mm,在施工中不中断行车,要求托换施工始终在安全和可控的状态下进行;

(3) 由于地质条件的限制,托换新桩采用摩擦桩,沉降控制难,此外,由于轻轨桥下净空的限制,桩基施工空间小、难度大,一旦桩基质量不合格,将无补桩空间;

(4) 托换结构复杂,托换梁跨度大,传统的桩基托换一般是扁担式,两个新桩托换一根旧桩,力和变形都易于控制;由于实际工程需要,托换梁采用两跨连续梁,托换新桩多,形成复杂的托换结构,给托换梁的调整和位移控制带来很大的难度。

整个施工过程大致分为以下三个阶段:(1)托换梁和托换桩的施工,(2)桥墩 339 和桥墩 340 的切割,(3)托换桩沉降稳定后,托换梁和托换桩的固结。第二阶段完成后,原桥墩 339、340 承受的荷载转换到了托换梁上,经托换梁传递给托换桩,此阶段托换梁和托换桩还没固结,托换结构处于最不利情况,这种情况下地震荷载对整体结构的影响最大。第二阶段施工完成后,所取结构的计算简图如图 2 所示。

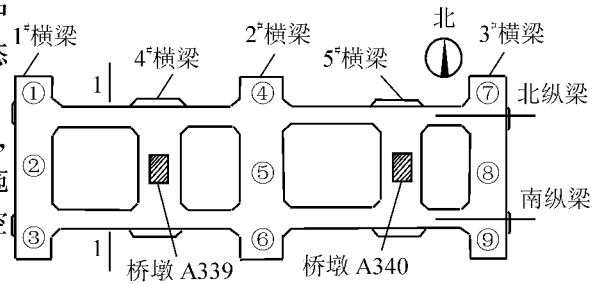


图 1 托换梁平面示意

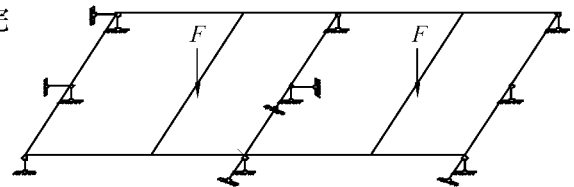


图 2 结构计算简图

3 桩基托换结构的仿真模拟与验证

3.1 有限元模型的建立

采用大型通用有限元软件 ANSYS10.0 来对结构进行仿真计算,混凝土和钢筋分别使用 Solid65 单元和 Link8 单元来进行模拟,且采用分离式方式模拟桩基托换结构的有限元模型。

Solid65 单元是在 Solid45 单元的基础上考虑混凝土的特性而建立的,此单元是具有 8 个节点的三维实体等参单元,每个节点有 X 、 Y 、 Z 方向上的 3 个位移自由度,用于含钢筋和不含钢筋的三维实体模型,专门用于处理混凝土的标准单元,能够考虑混凝土的开裂和压碎^[5]。该单元最重要的方面在于其对材料非线性的处理,允许加入混凝土的三维强度准则,可模拟混凝土的开裂、压碎、塑性变形及徐变。

Link8 单元是有着广泛的工程应用的杆单元,比如可以用来模拟桁架、缆索、连杆、弹簧等等。这种三维杆单元是杆轴方向的拉压单元,每个节点具有三个自由度:沿节点坐标系 X 、 Y 、 Z 方向的平动。就像在铰接结构中的表现一样,本单元不承受弯矩。该单元具有塑性、蠕变、膨胀、应力刚化、大变形、大应变等功能。

3.2 桩基托换结构的静力分析

托换梁上承受的由桥墩 339 和 340 传递下来的包括其自重在内的荷载分别约为 6 976 kN 和 5 616 kN。在托换梁和托换桩未固结之前,在上部静力作用下,所建有限元模型在横梁 4、横梁 5 的跨中部位和纵梁分别与横梁 2、横梁 4、横梁 5 的交接处钢筋产生的应力与这些部位预埋的振弦式钢筋计所测应力吻合较好,见表 1。

表 1 静力分析数据对比

钢筋计位置	MPa		
	实测应力	ANSYS 计算应力	误差/%
北纵梁东断面上外	-52.54	-57.50	9.44
北纵梁东断面下内	-39.86	-38.00	-4.67
北纵梁西断面上外	-55.19	-58.80	6.54
北纵梁西断面下外	-46.62	-41.50	-10.98
南纵梁西断面上外	-58.34	-57.40	-1.61
南纵梁西断面上内	-53.61	-57.90	8.00
4 号横梁跨中东上	-65.60	-66.00	0.61
5 号横梁跨中东上	-64.90	-65.30	0.62

由静力分析结果可知,所建有限元模型的钢筋应力与实测数据相差不大,所以用 ANSYS 软件建立的

有限元模型可以用来模拟实际中的桩基托换结构。

4 结构地震反应的时程分析

4.1 时程分析法的基本概念

用直接动力分析对结构进行地震反应计算是在静力法和反应谱法两阶段之后发展起来的。静力法将结构视为刚体,假设各质点振动加速度均等同于场地土运动加速度,对由此计算出的地震作用最大值按静力施加于结构进行静力分析。反应谱法取消了静力法中刚体平移振动的假设,考虑了地震作用与结构动力特性的关系,比静力法更真实地反映了结构振动特性,但由于反应谱法是基于弹性假设,采用了叠加原理,并属于等效静力方法,所以使用范围有局限性。时程分析法将抗震计算理论由等效静力分析进入直接动力分析,可以用于非线性结构反应^[6]。与振型分解反应谱法相比,时程分析法则全面反应了地震动强度、谱特征与持续时间三要素;直接考虑构件与结构弹塑性特性,可以正确地找出结构薄弱环节;可给出随时间变化的反应时程曲线,由此可以找出各构件出现塑性铰的顺序,判别结构破坏机理。

多自由度体系地震反应方程为

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = -[M]\{\ddot{U}_g\} \quad (1)$$

式中, $[M]$ 、 $[C]$ 、 $[K]$ 依次为结构质量矩阵、阻尼矩阵和刚度矩阵; $\{\ddot{U}\}$ 、 $\{\dot{U}\}$ 、 $\{U\}$ 依次为质点加速度、速度、位移列阵; $\{\ddot{U}_g\}$ 为地面运动加速度列阵。

4.2 结构的动力特性

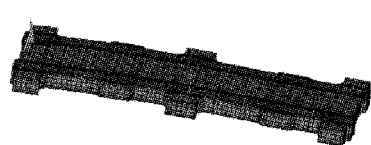
在对托换结构进行地震响应分析之前,需要先了解其动力特性。在上述有限元的基础上,采用 ANSYS 软件对该桥的动力特性进行了分析。表 2 列出了托换结构前 8 阶的频率,给出了前三阶的振型如图 3 所示。

4.3 桩基托换结构的时程分析

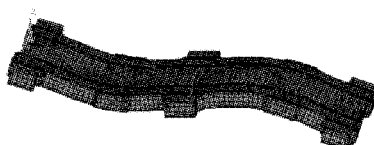
采用时程法对结构进行地震效应分析时,需要输入地震波加速度时程曲线。由于未来地震动的随机性及不同地震波计算结果的差异性,合理选择地震波来进行直接动力分析是保证计算结果可靠性的重要问题。地震波选择的合理性由地震动主要参数控制,主要参数为地震动强度、地震动谱特征、地震动持续时间。

表 2 托换梁的模态与频率

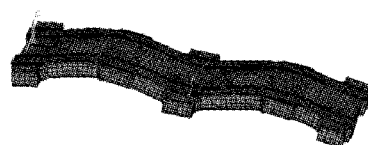
振型序号	频率/Hz	振型特征
1	9.660 3	托换梁左半部分侧向移动
2	13.743	托换梁反对称弯曲
3	16.033	托换梁正对称弯曲
4	23.586	托换梁反对称扭曲 + 纵向移动
5	24.600	托换梁反对称扭曲
6	26.774	托换梁对称扭曲
7	30.052	托换梁右半部分侧向移动
8	32.716	托换梁右侧靠近中间部分上翘



(a)第一阶振型



(b)第二阶振型



(c)第三阶振型

图 3 托换梁的前三阶振型

目前常用的地震波有 EICentro 波、Taft 波、天津波,本文进行数值模拟采用的是天津波,此天津波的加速度值满足规范要求的设计基本地震加速度值 ($0.15g$),天津波的加速度曲线如图 4 所示。

在托换梁和托换桩未固结之前,本模型的地震作用施加方法为:先在整个模型上施加竖向重力加速度,用来模拟重力场,然后在托换梁上施加通过桥墩传递下来的荷载包括其自重,待模型变形稳定后再沿垂直于桥身的方向施加地震波进行动力计算。

有限元模型在单向地震荷载作用下,ANSYS 有限元软件

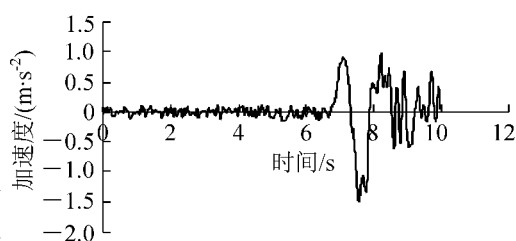


图 4 天津波的加速度曲线

得到横桥向的最大位移时程曲线,在 1 号横梁与南纵梁交接处,时程曲线如图 5 所示。

5 结语

提出用格构梁系作为桩基托换梁的结构计算简图,通过有限元软件 ANSYS 建模和实测数据对比,验证了模型的可靠性。采用天津波单向地震波对结构进行了动力响应计算,横桥向的最大位移约为 7.8×10^{-4} m,托换梁的最大位移满足要求,结构在设计烈度地震下安全。可供类似桩基托换结构的设计和动力分析参考。

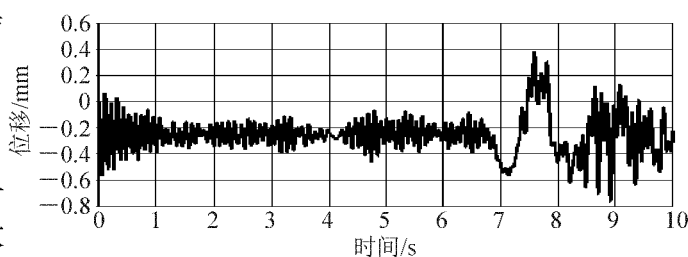


图 5 托换梁在单向地震作用下横桥向最大位移时程曲线

参 考 文 献

- [1] 彭振斌. 托换工程设计计算与施工[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1997.
- [2] 涂强. 深圳地铁百货广场大厦桩基托换与变形控制[J]. 四川建筑, 2000(20): 249-254.
- [3] 金海国. 暗挖地铁穿越广深铁路桥的桩基托换施工技术[J]. 铁道建筑技术, 2004(6): 34-37.
- [4] 高俊合, 张澍曾, 柯在田, 等. 大轴力桩基托换梁-柱接头模型试验[J]. 土木工程学报, 2004(9): 62-68.
- [5] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007.
- [6] 王松涛, 曹资. 现代抗震设计方法[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.

Structural Dynamic Analysis of Underpinning Piles

Wang Shizhe, Duan Shujin, Cao Jingpeng

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Railway Institute, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Binhai-Tianjin project of underpinning piles is taken as an example, and the finite element models for analysis of underpinning piles is established by the software ANSYS. The effect of the model and the proper selection of the parameters are verified by comparing the stresses obtained from the present model and the actually measured stresses. According to the demand of the seismic design criterion GB50011—2001, selecting appropriate earthquake wave and using the time history analysis method, the dynamic responses for the finite model is simulated under one dimensional level seismic load and the result shows that the underpinning piles is safe under design earthquake intensity. This study can be taken as a reference for the design and dynamic analysis of underpinning piles.

Key words: underpinning piles; earthquake; finite element; time history analysis

《石家庄铁道学院学报:自然科学版》再获优秀期刊奖

2009 年 8 月,2004—2008 年度河北省教育系统优秀期刊、优秀编辑工作者和优秀论著的评选活动结果揭晓,我院《石家庄铁道学院学报:自然科学版》荣获“2004—2008 年度河北省教育系统优秀期刊”;车轩玉编辑荣获“2004—2008 年度河北省教育系统优秀编辑工作者”;杨继成,车轩玉,管振祥的著作《学术论文写作方法与规范》荣获“2004—2008 年度河北省教育系统优秀论著 一等奖”。《石家庄铁道学院学报:社会科学版》的“学者访谈”栏目被河北省高校学报研究会评为“优秀特色栏目”。颁发了获奖证书。

此次评选,依据新闻出版总署颁布的《中国社会科学期刊质量标准》、科技部颁布的《科技期刊质量要求及评估标准》、2004—2008 年学报的各项统计数据 and 获奖收录情况,由河北省教育厅组织相关专家综合审读和评比,《石家庄铁道学院学报:自然科学版》因在政治导向、编校质量、学术水平、遵纪守法情况等方面成绩比较突出,再次获得奖励。

本刊编辑部