

[文章编号] 1003-4684(2022)04-0107-04

模型参数对桥梁桩基变形的影响

石峻峰, 肖英英

(湖北工业大学土木建筑与环境学院, 湖北 武汉 430068)

[摘 要] 以广东省某大型桥梁项目桩基为研究对象,使用 Midas GTS/NX 数值模拟软件建立了桥梁桩基的数值模型,通过改变模型参数,计算分析了各个参数对桩基变形的影响,分别得到了各模型参数与桥梁桩基沉降,水平位移和桩基轴力值之间的关系,确定了各模型参数对桥梁桩基变形的影响程度,分析结果表明,参数 G、K 对桩基变形计算结果精确度的影响较大,其中参数 G 对桩基沉降、水平位移和轴力值的影响都很大,参数 K 对水平位移影响最大。因此关注对桩基影响程度较大的参数,提高其精确度,对于桩基变形计算非常重要。

[关键词] 桥梁桩基; 邓肯-张模型; 数值模拟; 变形

[中图分类号] TU713 **[文献标识码]** A

随着近年来我国社会主义经济建设的迅速发展,桥梁已成为交通基础设施建设的核心组成部分,而桩基础是桥梁建设中的一个关键环节。推动公路桥梁建筑工程的高质量发展与创新实践,是落实交通强国建设目标的重要抓手及基本前提^[1]。因此必须准确计算整个工程建设过程中构件的变形及应力情况,以有效地保证工程施工的质量。目前桥梁桩基变形的计算大多采用有限元分析,而在进行桩基变形的数值分析计算过程中涉及到了很多关于本构模型参数的选取问题,这些模型参数的正确选取直接决定着数值分析结果的准确性和好坏。

裴慧芳等^[2]利用邓肯-张 E-v 模型,针对双排桩支护结构参数敏感性,进行大量非线性有限元计算分析,得到了各参数与支护结构侧向位移和弯矩之间的关系。吴同坤等^[3]通过使用 PLAXIS 3D 岩土承载有限元软件研究了高直径桩基桩土联合工作行为的主要影响因素和各种水平荷载作用下高桩基础的水平承载特性。杨德健等^[4-5]用过研究使用 ANSYS 有限元软件深入分析了建筑桩间地基垫层模量、桩间土模量以及桩间距等多种不同影响因素对大型复合建筑地基沉降深度变形的直接影响。何思明等^[6-7]采用基于 Duncan-Chang 本构模型的一种修正分层应力总和法计算单、群桩内任意点处的沉降量,最终获得单、群桩的沉降计算。张齐兴等^[8]基于三维有限元法,探讨了超长摩擦桩的数值模拟方法,分析了桩土界面单元、地基土单元模型参数对

数值计算结果的影响。范臻辉等^[9]采用弹塑性有限元法分析了桩周土、桩端土以及桩土界面特性等因素对大直径桩沉降的影响。

本文以广东省某大型桥梁工程项目桩基为例,使用 Midas GTS/NX 数值模拟软件建立桥梁桩基的数值模型,通过改变模型的参数值,计算和分析参数变化对桩土变形的直接影响,总结变化规律以及确定影响程度最大的参数,为以后开展类似项目计算提供参考。

1 工程概况

本工程项目地处广东省,桥址区域地形相对比较平坦,根据现场勘察结果及钻孔所揭露出来的岩土层表明,在桥位地段内尚无发现断裂构造痕迹,属于稳定性地块,适合于桥梁项目的建设。桥位附近区域的土质覆盖层主要为第四系淤泥状粉质黏土、粉质黏土、燕山期花岗岩和其风化层等。根据桥位段的相关地质数据分析,本桥位段的基础结构设计应采用桩基,可能采用的桩型为钻孔灌注桩,以中风化、微风化的花岗岩作为结构支撑的持力层。岩层分布具体内容如下:

淤泥质粉质黏土,褐灰色,以软塑为主,局部含贝壳碎片,粉细砂、中粗砂层,埋藏较深,分布较稳定,工程性质一般;

粉质黏土,软塑,土质不均匀;砾砂层,黄褐色,松散-稍密,主要成分为石英、长石,分选性好,级配

[收稿日期] 2021-05-20

[第一作者] 石峻峰(1974-),男,吉林辽源人,工学博士,湖北工业大学讲师,研究方向为损伤断裂力学,结构工程,BIM 技术,虚拟现实

[通信作者] 肖英英(1996-),女,湖北天门人,湖北工业大学硕士研究生,研究方向为桥梁结构,BIM 技术

较差,主要分布在冲积平原段,土层物理力学特性较差,工程特性较差;

燕山期花岗岩,青灰色、灰白色,块状构造,除陆域丘陵区分布不稳定外,全线其余地段均有分布,呈层状连续分布,局部风化差异较大,且存在花岗岩球状风化。该地层工程性质较好,是理想的基础持力层。

2 有限元模型

2.1 模型参数选取

邓肯-张模型是目前工程项目中比较常用的非线性弹性本构模型,本文也主要讨论邓肯-张模型的有关参数^[10]。在邓肯-张模型的切线弹性模量表达式中,有 5 个参数必须通过三轴试验或相关工程实践进行确定: c 、 φ 、 K 、 n 、 R_f ;切线泊松比公式中也涉及到三个参数: D 、 G 、 F 。另外, c 和 φ 与其他 6 个参数不同,它们是岩土力学中常用的两个参数,而不是邓肯-张模型特有的参数,一般通过三轴试验和其相关实践项目经验来确定其测量值,并且现在相关实验技术已相对成熟,试验也相对容易且具有较高的精度,故参数 c 和 φ 不作为本文讨论对象。

本文基于桥位段相关工程地质勘测报告和以往相关项目经验,选取具有代表的一组参数进行计算,为了减少分析中要考虑的交叉因素,本文假定各土体材料类型相同。土层参数值详见表 1。

表 1 邓肯-张模型参数

土体参数	初始值	土体参数	初始值
c/kPa	30.0	R_f	0.725
$\varphi/(\text{^\circ})$	25.5	D	10.50
K	300.0	G	0.40
n	0.5	F	0.105

2.2 桩土模型建立

本文采用 Midas GTS/NX 有限元分析软件进行计算分析,桩基与土层的模型分为岩层、桥墩、承台和填充混凝土。对岩层模型进行简化,岩层模型取长 50 m,宽 30 m,分 2 层,第一层为粉质黏土,厚 21 m,第二次层为中风化花岗岩,厚 26 m。填充混凝土长 40 m,宽 30 m,厚 2 m。承台平面尺寸为 20 m \times 38 m,为椭圆形,高 5 m。桩基选择钻孔灌注桩,桩根数为 13 根,桩长 38 m,桩径 3.0 m,桥墩高取为 10 m。

建立桩土模型时,将桥墩、承台、填充混凝土等视为同一种弹性材料,钻孔灌注桩采用梁单元形式;土层模型采用邓肯-张模型;整体模型施加边界约束;桩基施加旋转约束,施工步骤主要是通过对单元组进行“激活”和“钝化”来实现^[11]。

3 结果分析

本文主要针对 K 、 n 、 R_f 、 D 、 G 和 F 等 6 个参数进行分析,分别对各个参数作 $\pm 20\%$ 变化,各参数上、下变化均是以它们的初始值为基础的^[12],通过计算得出各个参数对桥梁桩基变形的影响情况。在对模型的参数进行分析时,本文选择使用单一变量法,即保持其他参数不变,只改变其中一个参数,对模型进行计算,综合分析模型参数对于桥梁桩基的变形影响及其发生变化的规律。

3.1 参数变化对桩基沉降的影响

图 1、图 2 是对各参数进行 $\pm 20\%$ 的变化后,计算所得桥梁桩基沉降值随参数变化的变化曲线,从图 2 中可看出,在 $[-20\%, +20\%]$ 区间变化时,参数变化对桩基沉降变化影响最大的是参数 G ,其变化率的绝对值最小为 34.70%,最大达 67.35%。其次是参数 F ,沉降变化率至少大于 7.20%,最大为 14.57%。影响程度最小的是参数 D ,沉降变化率绝对值均小于 7%。且参数 R_f 和 F 的变化与土体沉降变化成正比,随着参数 R_f 和 F 的增大,桩基沉降逐渐增大;而参数 G 、 K 、 n 和 D 与土层沉降的变化成反比,随着参数 G 、 K 、 n 和 D 的增大,桩基沉降逐渐减小。

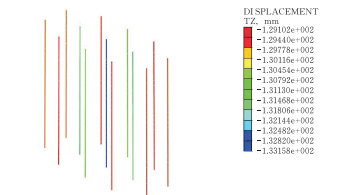


图 1 桥梁桩基沉降变化

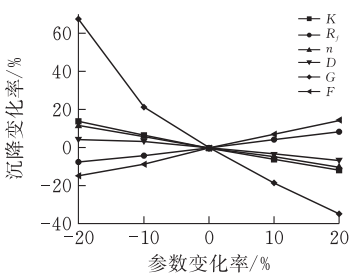


图 2 各参数与桩基沉降关系

3.2 参数变化对桩基水平位移的影响

图 3 是各参数变化时桩基水平位移图,图 4 是各参数和桩基水平位移变化率关系图,由图 4 可以清楚地看出,随着参数 K 、 G 和 F 增加,桩基水平位移反而减小;且影响水平位移变化程度最大的是参数 K ,其变化率的绝对值最小为 12.66%,最大可达 39.70%。其次是参数 G ,其水平位移变化率至少大于 5%,最大为 33.21%;随着参数 D 、 n 和 R_f 的增加,水平位移数值随之增加,影响程度较大的是参数

D 。由图 2 和图 4 可看出,参数 G 对沉降和水平位移变化的影响都很明显,且参数变化与沉降和水平位移变化成反比,不同的是,参数 G 对桩基沉降的影响远远高于对水平位移的影响,其沉降变化率是水平位移变化率的 2 倍。

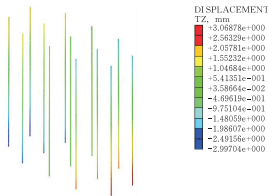


图 3 桥梁桩基水平位移变化

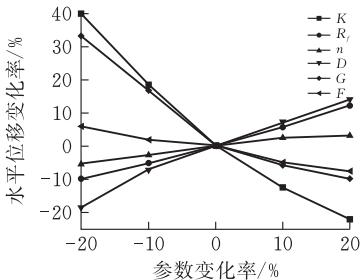


图 4 各参数与桩基水平位移关系

3.3 参数变化对桩基轴力值的影响

图 5 是桥梁桩基轴力值变化图,图 6 是各参数与桩基轴力值关系图,由图 6 可知,参数 G 对桩基轴力值的影响最大,且 G 增大时对轴力值的影响要大于减小时对轴力值的影响,随着参数 G 的增大,桩基轴力值增大;其次是参数 F 和参数 K ,不同的是,随着参数 F 的增大,桩基轴力值反而减小;相较而言,参数 R_f 、 n 和 D 对桩基轴力值影响程度相当,且都较小,其轴力值变化率均小于 1%。

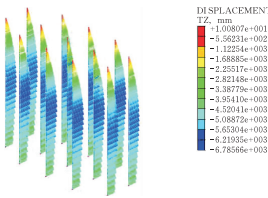


图 5 桥梁桩基轴力值变化

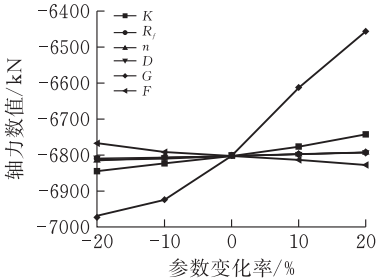


图 6 各参数与桩基轴力值关系

4 结论

本文利用有限元数值模拟分析的方法,分析了

邓肯-张模型的相关参数变化对桥梁桩基变形的影响程度和变化规律。得到以下结论。

1)在邓肯-张模型中,对桥梁桩基沉降变形的影响程度从大到小为: $G > F > K > n > R_f > D$;对桥梁桩基水平位的移影响程度从大到小为: $K > G > D > R_f > F > n$;对桥梁桩基轴力值的影响较大的参数主要是 G 、 F 、 K ,而参数 R_f 、 n 和 D 对桩基轴力值影响都不明显。整体而言,参数 G 对桩基沉降、水平位移和轴力值的影响都很大;参数 K 对水平位移比对沉降和轴力值的影响要大,参数 F 对沉降和轴力值的影响比对水平位移的影响要大。

2)基于实际工程项目,在进行土工测定试验的时候,除了需要关注 c 、 φ 这两个岩土力学中常用的参数外,还需要关注对桩基影响程度较大的参数,提高其精确度,在进行模型计算时可获得更好的计算结果。

3)本构模型的参数问题,例如在桩基承载力,桩侧摩阻力,土压力等问题中,参数的选取引起的误差比理论要大得多。

[参 考 文 献]

[1] 《中国公路学报》编辑部.中国桥梁工程学术研究综述 • 2021[J].中国公路学报,2021,34(2):1-97.

[2] 裴慧芳,邓成发.邓肯-张 E-v 模型参数对深基坑支护变形影响[J].路基工程,2008(5):34-36.

[3] 吴同坤,鲁子爱,窦德功.海洋高桩水平承载特性模型试验及有限元分析[J].科学技术与工程,2013,13(26):7697-7702.

[4] 杨德健,王铁成,刘蕊.刚性桩复合地基沉降变形与影响因素分析[J].建筑技术,2011,42(3):235-238.

[5] 杨德健,王铁成.刚性桩复合地基沉降机理与影响因素研究[J].工程力学,2010,27(S1):150-153+163.

[6] 何思明,郭强,卢国胜.单桩沉降计算理论研究[J].岩石力学与工程学报,2004(4):688-694.

[7] 何思明,卢国胜,廖祖伟.群桩沉降计算理论分析[J].岩土力学,2003(3):435-441.

[8] 张齐兴,姚波,俞中奇.超长摩擦桩承载性状的有限元法[J].河海大学学报(自然科学版),2007(6):681-685.

[9] 范臻辉,王永和,肖宏彬.大直径桩沉降敏感性的数值分析[J].湖南工业大学学报,2008(3):12-16.

[10] 介玉新. 土工计算中的参数分析[J]. 水力发电学报, 2020, 39(211): 52-66.

[11] 王磊,张必亮,张晋绪.双排桩桩间土体加固对桩土变形影响研究[J].建筑科学,2015,31(1):38-42.

[12] 刘寒鹏,王东元,马志军. 邓肯-张模型参数对尾矿坝变形计算的影响[J]. 金属矿山, 2012, 438: 115-118.

Study on the Influence of Model Parameters on the Deformation of Bridge Pile Foundation

SHI Junfeng, XIAO Yingying

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

Abstract: Taking the pile foundation of a large scale bridge project in Guangdong Province as the research object, the numerical model of the bridge pile foundation was established using Midas GTS/NX numerical simulation software. By changing the model parameters, the influence of each parameter on the pile foundation deformation was calculated and analyzed. The relationship between each model parameter and the settlement of the bridge pile foundation, horizontal displacement and the value of the pile foundation axial force determines the degree of influence of each model parameter on the deformation of the bridge pile foundation. The analysis results show that the parameters G and K have a great impact on the accuracy of pile foundation deformation calculation results. Parameter G has great influence on the settlement, horizontal displacement and axial force value of pile foundation, and parameter K has the greatest influence on horizontal displacement. Therefore, it is very important to pay attention to the parameters that have a greater impact on the pile foundation and improve its accuracy for the calculation of the pile foundation deformation.

Keywords: bridge pile foundation; Duncan chang model; numerical simulation; deformation

[责任编辑：裴 琴]

(上接第 106 页)

Study on Elastic Modulus of Limestone Under Ultra-low Temperature Loading and Unloading

ZOU Xu,LI Yang

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

Abstract: In order to strengthen the research and design capabilities of my country's liquefied natural gas (LNG) tanks, this paper combined with the actual LNG storage tank application environment, using the self-developed ultra-low temperature test chamber to carry out low temperature and load coupled stress-strain tests on limestone materials. Applying a uniaxial axial load of 0 to 3.14 MPa to the limestone specimen and reduce the temperature of the limestone from 0 °C to -165 °C. In order to reduce the contingency and error of data collection, this experiment uses hierarchical addition and unloading methods to strengthen the parameter measurement of limestone. The experimental results show that during the process of adding and unloading, the elastic modulus decreases with the temperature and then decreases first and then increases. The measured values during the loading process are larger than the measured values of the unloading process, and the curve coincidence degree is better. Loading, the elastic modulus is unstable with temperature. In addition, based on the experimental results, the stress-strain relationship in the composite state is constructed, which provides a model basis for further understanding of the mechanical properties of the LNG tank.

Keywords: limestone; ultra-low temperature; loading and unloading; elastic modulus; constitutive model

[责任编辑：裴 琴]