

岩溶区大悬臂桥墩长短组合桩承载特性数值模拟研究

——以广州北站农新路项目B匝道桥工程为例

刘喜才

中铁二十二局集团市政工程有限公司

摘要: 本文以广州北站农新路项目高架桥工程为背景,运用有限元软件Midas GTS NX,对大悬臂桥墩长短组合桩复合地基进行数值模拟分析。通过分析不同工况下长短组合桩荷载传递及沉降变换等规律,揭示长短组合桩的承载特性,对类似工程的设计及施工具有一定的指导意义。

关键词: 长短组合桩; 承载特性; 有限元

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.21.055

一、引言

长短桩复合地基^[1]是一种较为成熟的基础类型,经历了几十年的研究,已经越来越多地运用到实际工程,尤其对于地基基础承载力较小的情况下。长短桩复合地基的显著优点是既能满足地基承载力和变形要求,又能节约投资^[2]。

国内外已有不少学者对长短桩基础进行分析研究。何艳平^[3]等人结合工程实例,通过对长短桩基础进行三维弹塑性有限元分析,揭示长短桩共同工作机理,验证和评价长短桩方案的合理性和安全性;王伟^[4]等人采用ANSYS有限元方法对全短桩、全长桩、长短桩复合地基进行了比较分析,揭示桩顶沉降及桩身轴力变化规律。然而,关于在岩溶区下大悬臂桥墩长短组合桩承载特性的研究相对匮乏,本文基于某实际工程,运用Midas GTS NX有限元软件,对岩溶区下大悬臂桥墩长短组合桩进行数值模拟分析,揭示其承载特性,为类似工程的设计施工提供有效的参考依据。

二、工程实例

广州北站农新路项目高架桥工程B匝道下部结构8#墩采用预应力偏心墩,托梁为150cm~250cm,墩尺寸为220x230cm,双排双桩,桩径D160。桩基承台俯视图如图1。

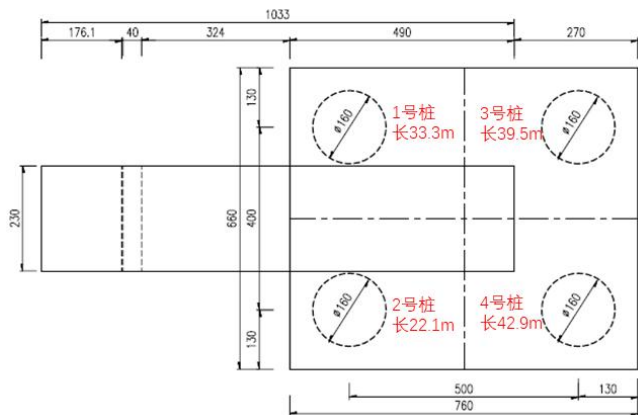


图1 桩基承台俯视图

三、本构关系选取及物理力学参数

(一) 土体本构关系及参数

Midas GTS NX软件提供了弹性模型、摩尔-库伦模型等20余种岩土本构模型。在数值分析中,由于土体自身的流变特性,且满足Mohr-Coulomb屈服准则,因而常常采用摩尔-库伦本构模型对土体进行模拟;本次数值模拟中土体的主要参数如下:

表1 土体模型参数

编号	土层名称	层厚/m	标高	γ /kN/m ³	E_s /MPa	φ /°	c /kPa
1	杂填土	3.2	-3.2	18.0	3.8	/	/
2	粗砂	10.1	-13.3	19.5	13	32	0
3	粉质黏土	1.9	-15.2	18.7	4.5	15	25
4	灰岩	44.8	-60	23	200	/	/

(二) 桩基承台及桥墩本构关系

本次选取8#墩长短组合桩进行数值模拟,8#墩采用预应力偏心墩,托梁尺寸为150cm~250cm,墩尺寸220×230cm,双排双桩,桩径D160,桥墩长短组合桩共用4根嵌岩桩共同承担桥墩荷载,并起抗拔作用,嵌岩桩尺寸参数如表2所示,8#墩长短组合桩物理力学参数如表3表示。

表2 长短组合嵌岩桩尺寸参数

编号	桩径 (m)	桩顶高程 (m)	桩底高程 (m)	桩长 (m)
1	1.6	6.8	-26.5	33.3
2	1.6	6.8	-15.3	22.1
3	1.6	6.8	-32.7	39.5
4	1.6	6.8	-36.1	42.9

表3 长短组合桩结构物理力学参数

编号	名称	材料属性	本构模型	单元类型	E_s /MPa
1	墩身	C40混凝土	线弹性	实体	32500
2	承台	C35混凝土	线弹性	实体	31000
3	灌注桩	C30混凝土	线弹性	梁	30000
4	垫层	C15混凝土	线弹性	实体	24000

(三) 有限元模型

基于Midas GTS NX平台,考虑到桥墩的实际受力情况,将模型做一些简化。采用Goodman单元作为本次数值分析的桩土接触面单元。计算几何模型:土层长45m、宽16m、深60m,长短组合桩及桥墩位于土层中间位置。因边界条件对模型会产生影响,在本模型中,边界约束为对土层底边固定,四周设置水平方向约束,完整有限元模型20817个节点,23664个单元,8#墩的有限元模型如图3所示。

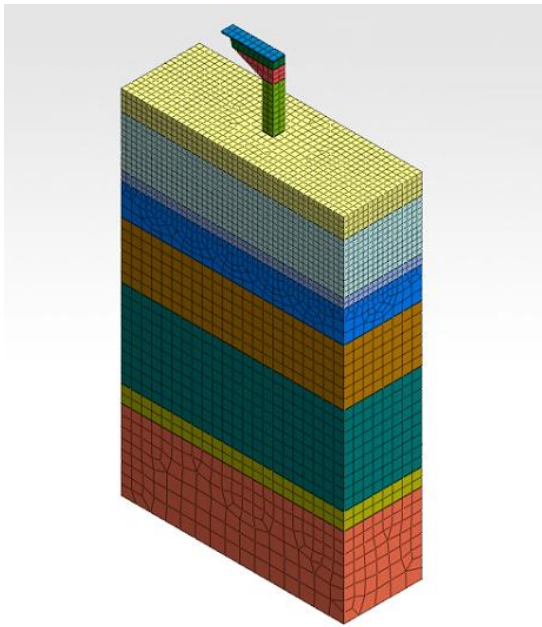


图3 8#墩有限元模型

四、施工过程数值分析

(一) 计算方法

为研究长短组合桩在桥墩施工过程中的受力情况，对8#墩施工过程进行数值模拟。本次模拟按三个工况进行施工，具体施工工况如下表：

表4 8#墩施工工况

施工工况	主要施工内容	激活内容
工况1	施作长短组合桩	土层、长短桩、土体约束、重力
工况2	施工垫层及承台	垫层、承台
工况3	施工桥墩墩身	桥墩、力筋、预应力

(二) 沉降分析

按照施工工况进行模拟分析，对工况1进行位移清零操作，提取工况2及工况3的桩顶沉降位移结果，如表所示。

表5 长短桩桩顶位移结果（单位：m）

桩号	工况1	工况2	工况3
1	0	-0.00051	-0.00148
2	0	-0.00060	-0.00177
3	0	-0.00050	-0.00144
4	0	-0.00049	-0.00143

由表5可知，随着施工的进行，长短组合桩的沉降增大，这是由于随着承台及桥墩的施工，长短组合桩所承受的荷载也逐渐增大，因此桩沉降也逐渐增大。此外，工况2及工况3中最大沉降及最小沉降分别出现在1号桩及4号桩，这是由于短桩的侧摩阻力更小，因此其沉降更大；而4号桩是桩长最长，因而其承载力最大，沉降最小。

(三) 轴力分析

按照施工工况进行模拟分析，提取工况2及工况3的

长短组合桩的轴力结果将其施工完成后的轴力值绘制成折线图，如图所示。

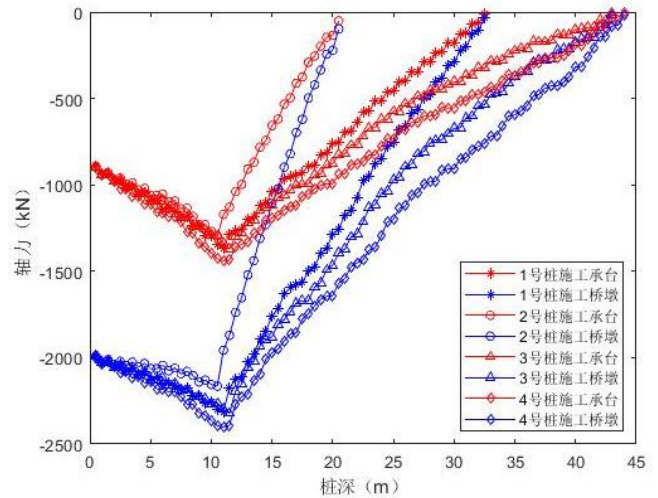


图6 长短组合桩工况3下不同桩轴力折线图

由图知，随着深度的增加，长短桩的轴力是大致先增加后减小，桩身上部分轴力先增大是由于杂填土及粗砂凝聚力及弹性模量较小，桩身向下挤压时土体较为松散，使其产生向下的侧摩阻力，即负摩阻力，因而轴力先部分增大；当桩深为12.2m时，桩的轴力发生突变，该位置是粉质黏土和灰岩的交界处，此后，桩身所承担的荷载通过灰岩与桩身之间的侧摩阻力传递至土体中去，因而桩身轴力逐渐减小，到桩底处趋近于0。

为研究长短桩对桥墩的荷载承担比，选取4根桩的最大轴力结果，将桥墩在重力荷载下对桩土的作用等效为桥墩荷载，其材料为C40混凝土，容重23.75kN/m³，根据8#墩尺寸参数，将其等效为10000kN，故而四根桩的荷载分担比如表所示。

表6 长短桩荷载分担比

桩号	轴力大小 (kN)	桥墩荷载 (kN)	荷载分担比
1	2312.10	10000	23.12%
2	2164.75	10000	21.65%
3	2322.10	10000	23.22%
4	2402.53	10000	24.03%

由表可知，长短桩共承载92.02%的桥墩荷载，土体承担7.98%桥墩荷载，因此长短组合桩对桥墩荷载起主要的承担作用。其中，4号桩桩长最长，其提供的轴力也最长，对桥墩荷载分担最多；相反，桩长最短的2号桩则仅承担21.65%的桥墩荷载。

五、溶洞分布位置对长短组合桩影响性分析

(一) 计算方法

根据地质勘察报告资料显示，本项目场地内岩溶发育，大部分区域发育有溶洞；本模拟参考的29-29'地质勘察剖面在土层深18.3~28.6m处存在分布不均匀的溶洞。为研究溶洞分布对长短组合桩的影响，分别在该模型土层深18.3~28.6m之间建立直径1.8m的球状溶

洞，分别位于短桩一侧、长桩一侧以及排桩的中间位置。通过对溶洞进行激活、钝化的操作以模拟以下情况：（1）溶洞存在于短桩一侧；（2）溶洞存在于长桩一侧；（3）长短桩侧均分布有溶洞，对比分析溶洞存在情况对长短组合桩的影响。

（二）沉降分析

按照溶洞分布位置进行模拟分析，提取不同溶洞分布位置下施工完毕后的桩沉降结果，列表表示如表。

表8 三种不同桩长的组合桩各桩沉降结果（单位：m）

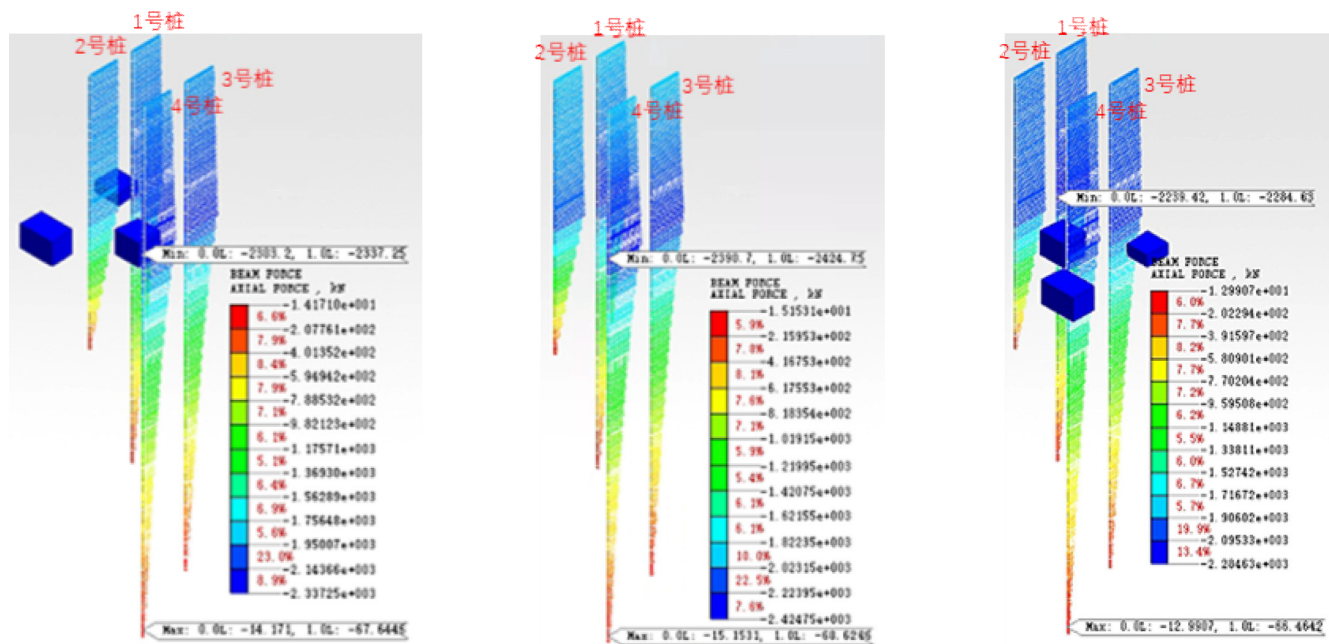
桩号	长桩一侧有溶洞	长短桩侧均分布有溶洞	短桩一侧有溶洞
1	-0.00142	-0.00148	-0.00146
2	-0.00168	-0.00177	-0.00174
3	-0.00140	-0.00144	-0.00138
4	-0.00141	-0.00143	-0.00137

由表8可以看出，当溶洞分布在长桩一侧时，2号桩沉降最大，其虽在位置虽然无溶洞分布，但由于此桩长最短，承载能力较弱，承受桥墩荷载时便出现更大的沉降；当溶洞仅分布在短桩一侧分布溶洞时，1号桩及2号桩的沉降较大，这是由于溶洞的存在使得桩经过溶洞位置处时不受到任何摩阻力，因而其沉降更大；当溶洞均匀分布时，4根桩的沉降均有一定程度的增大。由此可见，溶洞的存在对桩身沉降有一定的影响。

（三）轴力分析

按照桩径的不同粗细进行模拟分析，提取3种不同桩径下的长短组合桩的施工完毕后各桩的轴力结果，其轴力云图如图所示。

由图9知，溶洞的分布对桩身轴力的影响较小。由于长短桩都以灰岩作为持力层，虽有一定的溶洞存在，



(a) 长桩一侧有溶洞 (b) 长短桩侧均分布有溶洞 (c) 短桩一侧有溶洞

图9 溶洞分布不同位置下桩轴力云图

但灰岩对桩仍有较强的承载作用。当施工完成后，长短桩与土体共同承担桥墩荷载，在桥墩荷载不变的情况下，长短桩轴力变化较小。

六、结论

本文基于某实际工程，运用Midas GTS NX有限元软件对大悬臂桥墩长短桩桩进行数值模拟，得出以下结论：

- （1）长短组合桩基础可以有效减小基础沉降，降低施工难度，减少造价，长短组合桩基础是一种技术先进、使用安全、经济合理的基础形式。
- （2）长短组合桩基础共同承台桥墩荷载，其中长桩比短桩承载能力更强，其荷载分担比也较短桩更大一些。
- （3）溶洞的存在会使桩土之间侧摩阻力降低，导

致桩身沉降更大，因此在岩溶地带进行基础设计时应考虑溶洞对基础沉降带来的影响。

参考文献

- [1] 齐家平. 长短桩组合桩基础差异沉降研究[D]. 河南省，河南大学，2019.
- [2] 张敏，艾纯斌. 长短组合桩工程特性的数值模拟研究[J]. 路基工程. 2018, (04): 100-103.
- [3] 何艳平，王冠英，张思峰. 长短桩组合桩基础设计的分析与应用[J]. 建筑科学. 2009, 25 (05): 89-91+88.
- [4] 王伟，杨桦，杨敏. 长短桩组合桩基础的分析与评价[J]. 建筑结构. 2006, 36 (S1): 836-839+846.
- [5] 刘建，刚宗竟. 岩桩轴向荷载传递的Goodman理论及其分析[J]. 地质与勘探. 2000, (05): 70-72.