

# 岩土抗剪强度对基坑支护变形影响分析

蔡云

南京市测绘勘察研究院股份有限公司 江苏南京 210019

【摘要】以南京市江宁区某深基坑为背景，根据岩土勘察室内土工试验获得的该工程的土层物理力学参数，同时应用深基坑专业计算软件对该基坑工程的支护结构变形计算分析，并结合现场监测结果，对比分析了支护结构变形变化情况。结果表明：实测的支护结构变形略大于采用固结快剪计算的数值，但大幅度地小于采用直剪快剪计算的数值；不同工况下，支护结构最大变形发生的位置，受该工况时开挖面以下岩土抵抗变形的能力影响较大；基坑变形受坑边地面荷载影响较大。

【关键词】深基坑；软土；岩土参数；抗剪强度；地面荷载

Analysis of influence of shear strength of rock and soil on deformation of foundation pit support

CAI Yun, ZHAO Sheng-feng, CHEN Zhi-yang

Nanjing Institute of Surveying, Mapping & Geotechnical Investigation Co., Ltd, Nanjing 210019, China

【Abstract】Taking a deep foundation pit in Jiangning District of Nanjing City as the background, according to the soil physical and mechanical parameters of the project obtained from the geotechnical investigation indoor geotechnical test, at the same time, using the professional calculation software of deep foundation pit to calculate and analyze the deformation of the supporting structure of the foundation pit project, and combining with the field monitoring results, the deformation change of the supporting structure is analyzed. The results show that the measured deformation of the support structure is slightly larger than that calculated by consolidation fast shear, but significantly smaller than that calculated by direct shear fast shear; under different working conditions, the location of the maximum deformation of the support structure is greatly affected by the ability of the rock and soil under the excavation surface to resist deformation; the deformation of the foundation pit is greatly affected by the ground load beside the pit.

【Key words】Deep foundation pit; soft soil; geotechnical parameters; shear strength; ground load

## 引言

随着经济建设的快速发展，基坑工程日趋增多，且向更复杂，更困难的方向发展，特别是软土地区的深基坑工程已成为该领域研究和实践的前沿课题。软土地区深基坑工程，普遍采用钻孔灌注桩挡土，水泥土搅拌桩止水，钢筋混凝土内支撑平衡土压力的支护形式<sup>[1]</sup>。灌注桩加混凝土内支撑结构的设计计算结果受支护结构自身强度和岩土参数的选取影响较大。

针对上述问题，国内学者已有研究。其中，潘骏等<sup>[2]</sup>基于实例进行了不同长度支撑约束下，基坑支护桩位移、弯矩、剪力以及支撑轴力的变化情况。孟祥博<sup>[3]</sup>基于不同抗剪强度试验对比了不同试验方法确定的抗剪强度指标之间的关系，并用于基坑支护设计，探究其对排桩支护设计的影响规律。严明康<sup>[4]</sup>将砂土似粘聚力引入应用，从砂土成孔性入手，对无衬砌非饱和砂土小直径洞室进行稳定性分析，并以基坑实例为基础，通过 Flac3D 对整个基坑的开挖与支护进行数值分析。高美玲<sup>[5]</sup>结合工程实例，从地下水、冻融作用和土方开挖三个方面探讨其分别对土体抗剪强度的影响提出基坑支护设计对该因素的注意内容。龙依<sup>[6]</sup>以淮南市基坑工程为研究对象，考虑工程使用过程中含水量对支护结构外荷载的影响，并考虑实际情况较为合理的选取土的力学指标进行支护结构设计计算。张伟鹏<sup>[7]</sup>分析了基坑桩锚支护结构的变形、地下水位变化、支护结构蠕变、周边附加荷载等因素引起岩土性状的变化，反过来引起基坑支护结构安全性降低这一客观事实。马郎等<sup>[8]</sup>以武汉长江 I 级阶地深基坑为背景，使用多种取土方式，获得该场地软土地层的抗剪强度指标，研究了超深基坑地下连续墙水平位移及地层土压力的变化规律，并与实测数据进

行对比分析。岩土参数试验取值方面，国内学者亦有研究，其中张世荣等<sup>[9]</sup>通过对南京市 387 份岩土工程勘察资料进行统计分析，得到南京市主要岩土层物理力学参数参考值。邓昇<sup>[10]</sup>通过以南昌二号线地铁站为背景，对沿线 9 个站点的岩土参数进行统计研究，分析了孔隙比与压缩系数、抗剪强度指标与含水量及孔隙比等物理量之间的关系。本文结合南京江宁某深基坑工程，分析了岩土抗剪强度取值，对基坑支护的影响，并于监测数据进行对比，以期对类似的基坑工程起借鉴作用。

## 1 项目背景

### 1.1 工程概况

拟建工程位于南京江宁区秦淮路。该项目地上建筑为 1 栋 12 层和 1 栋 13 层的主楼，以及 2~4 层的裙楼。地下建筑为 2 层整体地下车库。建筑物室内地坪设计标高 9.50m，基础采用钻孔灌注桩形式。

### 1.2 地质概况

地貌单元为秦淮河冲积平原。拟建场地地基土层自上而下分述如下：①1 杂填土，松散~稍密，为粉质粘土混大量碎砖填积，填龄大于 5 年。②2 素填土，软~可塑，由粉质粘土混少量碎砖填积。③3 粉质粘土，软~可塑，局部夹薄层粉土。④4 淤泥质粉质粘土，软~流塑。⑤5 粉质粘土，可~硬塑。⑥6 粉质粘土，可~硬塑，夹层状及团块状粉细砂。⑦7 含卵砾石粉细砂，中密，混少量粉质粘土。⑧8 强风化粉砂质泥岩，风化强烈，岩石结构已遭破坏，岩芯用手可掰碎，为极软岩。⑨9 中风化粉砂质泥岩，以软岩~极软岩为主，微张裂隙少量发育，岩体较完整。支护设计计算所采用的土层主要物理力学性质参数详见表 1。

表 1 土层物理力学参数

土层名称	层号	厚度	重度	粘聚力 (快剪)	内摩擦角 (快剪)	粘聚力 (固快)	内摩擦角 (固快)
		/m	/kN · m <sup>-3</sup>	/kPa	/ (°)	/kPa	/ (°)
杂填土	①1	0.8	18.5	5.0	15.0	5.0	15.0
素填土	①2	1.4	19.1	17.8	12.3	15.6	18.6
粉质粘土	②1	1.8	19.4	24.0	12.7	19.7	18.6
淤泥质粉质粘土	②2	8.4	18.4	13.3	10.0	12.5	17.4
粉质粘土	③1	3.7	20.2	40.9	12.0	40.5	15.6
粉质粘土	③2	3.8	20.5	36.8	14.0	34.3	19.4
含卵砾石粉细砂	④	2.0	20.5	7.0	33.0	7.0	33.0
强风化粉砂质泥岩	⑤1	0.9	21.5	35.0	21.0	35.0	21.0
中风化粉砂质泥岩	⑤2	5.0	24.0	200.0	38.0	200.0	38.0

### 1.3 水文概况

潜水含水层由①层人工填土和②1、②2层新近沉积的软弱粘土土构成。隔水底板为③1层粉质粘土；承压含水层由③2层粉质粘土及④层中密含卵砾石粉细砂构成。隔水顶板为③1层粉质粘土，隔水底板为下伏基岩。潜水稳定水位埋深在地面以下0.42~2.10m之间，水位起伏和地形起伏基本一致。场地地下水主要接受大气降水的入渗补给，水位受季节性变化影响较大，年变化幅度在0.5~1.0m左右；承压水水头埋藏在地面以下2.00~2.40m之间，承压水补给来源为地下径流以及上层孔隙潜水的越流补给，以地下径流为主要排泄方式，水头较为稳定，但会随季节性略有升降，变幅一般小于0.5m。

## 2 深基坑支护设计概况

### 2.1 基坑支护形式

基坑总面积约10000m<sup>2</sup>，周长约400m，开挖深度13.45~13.85m。根据地质条件和周边环境条件保护要求，采用顺做法施工。基坑围护分区段分别采用 $\varnothing 1000@1200$ 和 $\varnothing 1200@1400$ 灌注桩，竖向设两道钢筋混凝土支撑；基坑周围采用 $\varnothing 700@1000$ 双排双轴搅拌桩止水帷幕，详见图1。

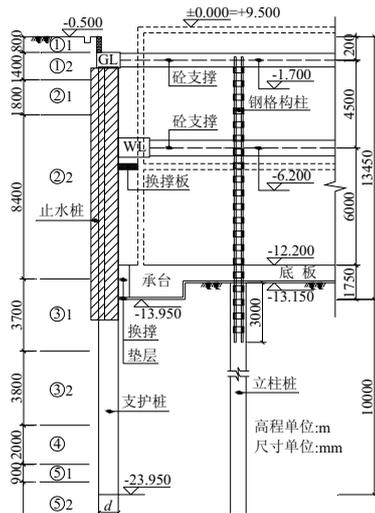


图1 支护结构剖面图

### 2.2 支护结构参数

为了分析不同岩土参数对支护桩变形的影响，支护结构采用相同的两道内支撑，同一计算剖面采用相同的支护桩直径和桩间距。支护桩和内支撑混凝土支撑材料均为C30混凝土；内支撑计算刚度取50MN/m。

### 2.3 设计工况

Step1: 进行场地三通一平，施工硬地坪强度达到70%后施工竖向支护结构，包括支护桩、立柱桩等，必要时在坑内预降水；竖向支护结构施工完成后，开挖基坑至2.050支撑底标高，其后浇筑支撑垫层、支撑支设模板、绑扎钢筋，完成冠梁和第一道内支撑。Step2: 第一道内支撑养护后，强度达到设计强度的80%后，向下分层、分区、对称开挖至6.600支撑底标高，其后浇筑支撑垫层、支撑支设模板、绑扎钢筋，完成围檩和第二道内支撑。Step3: 第二道内支撑养护后，强度达到设计强度的80%后，向下分区、分块、分层开挖至基础垫层底标高，紧接着进行垫层和基础底板施工，同时设置底板换撑；基础底板全部浇筑完成，继续向上施工主体结构，并完成负一层楼板，同时设置楼板换撑。Step4: 负一层楼板和楼板换撑均达到设计强度的80%后，拆除第二道内支撑；地下一层结构梁板达到设计强度的100%后，拆除第一道支撑。

### 2.4 基坑监控概况

由于本工程基坑面积较大，并结合南京市江宁区特殊的地质条件、复杂的周边环境，根据设计和建设单位的要求，现场进行了大量的监测工作，监测的数据表明基坑变形情况比较接近，因此，本文选取南侧CX1和东侧CX2两个具有代表性实测点和相应区段的计算结果进行对比分析。主要监测点布置详见图2。

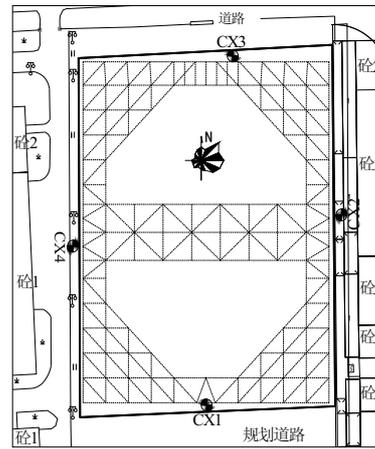
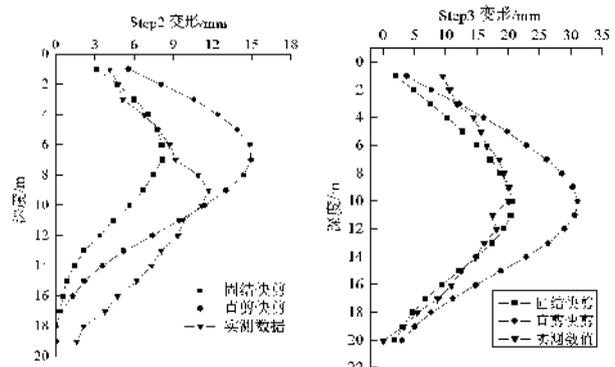


图2 监测点布置示意图

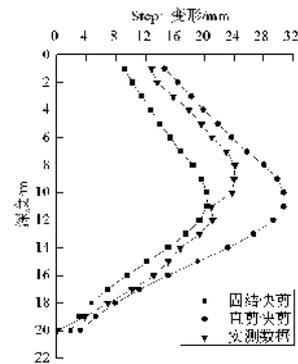
## 3 基坑支护变形影响分析

基坑南侧为规划道路，基坑实施阶段为拆迁后的空地，因此该侧支护桩选用 $\varnothing 1000@1200$ 的形式；而基坑东侧为2~3层砖混结构建筑，因此该侧支护桩选用 $\varnothing 1200@1400$ 的形式。采用商业软件计算时，基坑南侧地面荷载取半无限25kPa；基坑东侧荷载选取半无限20kPa，另加一个作用深度为1.5m，作用宽度为15m，距坑边3.0m的45kPa条形荷载。



(a)

(b)



(c)

图3 南侧支护结构变形

图3为南侧支护结构变形变化曲线,从图(a)可看出,无论采用固结快剪还是直剪快剪,计算所得的最大变形均发生在约7.0m深度的位置,即该工况下开挖面的位置,但实测的最大变形发生在9m的位置,这是由于计算采用弹性理论时,开挖面以下土体视为土弹簧,并作为简支支点,因此计算的最大变形在开挖面,工程现场地面以下7.0m深度处,为②2淤泥质粉质粘土,该层土体并非真正的弹性材料,且土质较差,强度较低,因此在开挖面附近该层土体抵抗变形的能力较深度土体较差,故而实测的最大变形在开挖面以下;从图(b)可看出,计算和实测的最大变形位置基本一致,发生在挖深约10.5处,这是因为该工况下,基坑已经开挖至坑底,而坑底的土层为可~硬塑的③1粉质粘土,该层土强度较高,抵抗变形的能力较大,因此支护结构最大变形仍然发生在淤泥质粉质粘土层中;从图(c)可看出,计算的支护结构最大变形与step2相比变化很小,但是实测的支护结构最大变形发生在深度约7.5m处,即实测的最大变形上移,这是因为在该工况下,地下室基础垫板和负一层楼板已经施工完成,基础底板刚度非常大,抵抗变形能力很强,形成良好的简支支点。

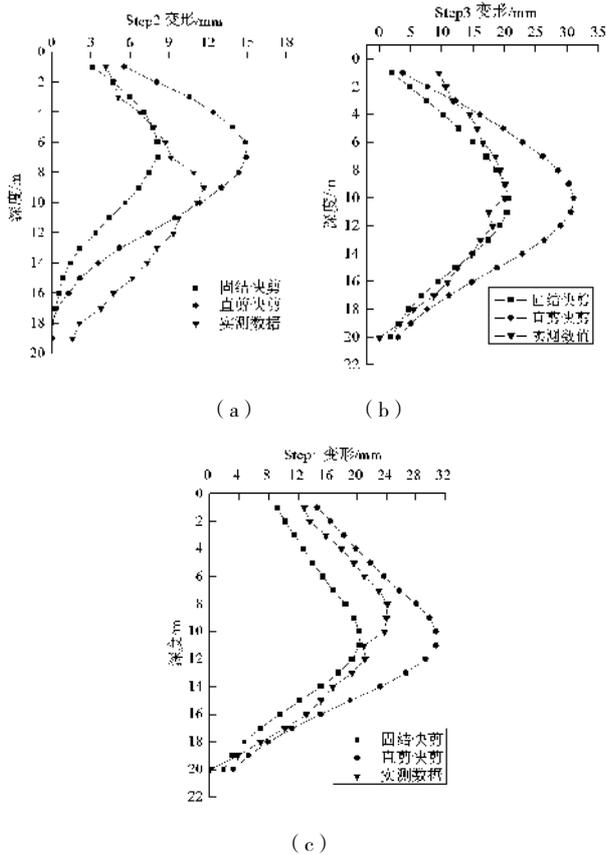


图4 东侧支护结构变形

图4为东侧支护结构变形曲线,从图3和图4可看出,相同的工况下,东侧支护结构和南侧支护结构变化规律基本一致,而且东侧和南侧在step2~step4工况下,均表现出实测的变形略大于固结快剪计算

值,但较大幅度地小于直剪快剪计算值。这表明,基坑支护设计计算采用固结快剪参数较为合理,而采用直剪快剪计算偏于保守。

从图3和图4可看出,计算和实测的变形数值东侧略大于南侧,这是因为虽然南侧采用 $\varnothing 1000@1200$ 的形式,东侧采用 $\varnothing 1000@1200$ 的形式,但是南侧地面荷载取值较小,东侧地面荷载取值较大,在较大荷载作用小,基坑变形亦较大,这表明地面荷载对基坑变形影响较大,因此基坑实施过程应严格控制坑边堆载。

#### 4 结论

根据直剪快剪和固结快剪获得的岩土参数,采用商业软件计算的支护结构变形结果和现场实测的变形数据相比,得出实测的支护结构变形略大于采用固结快剪计算的数值,但较大幅度地小于采用直剪快剪计算的数值。

不同工况下支护结构最大变形的的位置,受该工况时开挖面以下岩土抵抗变形的能力影响较大;基坑变形受坑边地面荷载影响较大,因此基坑实施过程应严格控制坑边堆载。

#### 【参考文献】

[1]姚萍,赵升峰,章新. 灌注桩结合三轴止水及内支撑的基坑支护设计[J]. 岩土工程技术, 2012, 26(4): 173-176.  
[2]潘骏,黄广龙,赵升峰. 混凝土内支撑尺寸效应对基坑支护的影响分析[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2015, 38(4): 520-525.  
[3]孟祥博. 不同试验方法确定的抗剪强度指标对排桩支护设计影响研究[D]. 长春: 吉林建筑大学, 2018.  
[4]严明康. 含水率对砂土似粘聚力的影响及工程应用研究[D]. 西安: 长安大学, 2018.  
[5]高美玲,刘大鹏. 浅析基坑支护工程中土体抗剪强度的影响因素[J]. 土工基础, 2019, 33(2): 177-180.  
[6]龙依. 含水量对黏性土力学参数的影响及其工程应用[D]. 淮南: 安徽理工大学, 2018.  
[7]张玮鹏. 基于岩土参数变化的基坑桩锚支护安全性研究[D]. 广州: 广州大学, 2018.  
[8]马郎,李松,徐光黎,等. 武汉某超深基坑软土抗剪强度指标选取及应用研究[J]. 岩土力学, 2014, 35(增刊2): 306-313.  
[9]张世荣,韦海鑫,刘毛毛,等. 南宁市主要岩土层物理力学参数取值研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2017, 42(4): 1384-1391.  
[10]邓昇. 南昌二号线地铁站岩土参数统计及雅苑路站基坑支护分析[D]. 南昌: 南昌大学, 2018.  
作者简介: 蔡云, 1982年生, 男, 汉族, 高级工程师, 盐城人, 本科, 从事岩土勘察设计工程测量工作。