

地下夯土城墙遗址的微扰动原位托换模拟分析

苏娟

天津大学建筑设计规划研究总院有限公司 天津 300192

摘要:为研究地下夯土城墙遗址原位保护方法,本文利用三维有限元软件分析了土遗址下方土体托换过程中,采用不同间隔抽条开挖土体对土遗址位移的影响。结果表明,不同间隔抽条开挖对土遗址位移影响较大,应尽量采用较大的间隔抽条开挖。

关键词:夯土遗址;原位托换;有限元模拟分析

引言:中国土质建筑遗址,最远可追至上万年前的旧石器时代,历经先秦时期、秦汉、魏晋南北朝、隋唐、宋元乃至明清,土质建筑的营造技术一直沿用至今,承载着人类进步的众多信息^[1]。长期以来,对夯土遗址的保护研究主要针对土遗址本身的保护^[2],对于土遗址开挖过程中的保护及施工工艺,尤其是滨海软土地区的土遗址原位开挖保护方式较少涉及。本文基于某夯土遗址原状保护工程,针对土遗址的原位保护,利用三维有限元软件,分析托换梁法施工对土遗址的影响,从而提出一种针对夯土遗址的微扰动原位托换技术。

1 项目概况

本项目位于沿海软土地区,土遗址位于闹市区市政路面以下,顶面埋深约2.6米,底面埋深约6.8米,平面呈Z字型,厚度约1.5米。现欲在此设置文物展厅,将土遗址在原址原位保护并向公众展示,既要满足地下文物保护需要,又要保证周边交通环境正常运行。施工工序为:首先在土遗址周围挖掘出文物展厅深基坑,然后在开挖过程中采用托换钢梁技术,将土遗址在原址进行保护,实现土遗址原址保护与展厅建设的完美结合。

本项目所处场地为滨海冲积平原,地形平坦,场地地表现为城区道路及商住区,工程开挖范围内场地地层主要为第四系全新统人工填土层(人工堆积Qml),局部为第四系全新统新近沉积层(Q4^{3N}Si),第I陆相层(第四系全新统上组河床~河漫滩相沉积Q4^{3al})、第I海相层(第四系全新统中组浅海相沉积Q4^{2m})、第II陆相层(第四系全新统下组沼泽相沉积Q4^{1h}及河床~河漫滩相沉积Q4^{1al})、第III陆相层(第四系上更新统五组河床~河漫滩相沉积Q3^{al})、第II海相层(第四系上更新统四组滨海~潮汐带相沉积Q3^{mc})。表层土质岩性多为粘性土、淤泥质粘土,呈软塑~流塑状态,随深度增加,局部夹杂粉土、粉砂。

场地内表层地下水类型为第四系孔隙潜水,赋存于

第II陆相层中及其以下粉砂及粉土层中的地下水具有承压性,为微承压水。

表层地下水类型为第四系孔隙潜水,地下水埋藏较浅,地下水埋深0.6~1.7米,主要赋存于第I陆相层粉土层及第I海相层的粉土、粘性土与粉土互层的地层中,含水层水平、垂直向渗透性差异较大,当局部地段夹有粉砂薄层时,其富水性、渗透性相应增大。接受大气降水和地表水入渗补给,地下水具有明显的丰、枯水期变化,丰水期水位上升,枯水期水位下降,多年变化平均值0.8m。主要含水介质颗粒较细,水力坡度小,地下水径流十分缓慢。排泄方式主要有蒸发、人工开采和下渗补给下部承压水。

场地内第II陆相层及其以下的粉土、粉砂层为微承压水含水层,常被粘性土分隔为多层含水层,各含水层分布不很稳定,其顶部隔水层分布较为稳定。主要接受上层潜水的渗透补给,与上层潜水水力联系紧密,以地下径流方式排泄,同时以渗透方式补给深层地下水。该层地下水水位受季节影响较小,其稳定水位为4.2~7.9米。

1.1 文物展厅基坑

文物展厅基坑呈长方形,平面尺寸约13米×25米,深度约18米。为了给本工程提供安全稳定的施工空间,采用0.8米厚、34米深的地连墙,既作为支护受力结构,兼做止水结构。考虑到深度较深,设四道钢筋混凝土支撑。其中第二道支撑标高略低于土遗址底面标高,使土遗址位于第一道支撑和第二道支撑之间,以便于在第二道支撑上进行钢管托换。整体施工工序为顺作法开敞施工:首先施工地连墙,然后分层开挖,第二道混凝土支撑施工完成后,针对土遗址进行钢管幕托换保护,最后开挖到底后施工展厅底板,并继续向上施工,拆除混凝土支撑。

1.2 托换工序

文物展厅基坑开挖到位,土遗址周边完成第二道混

凝土支撑后,采用油缸支顶的方式将尺寸为700毫米×700毫米的方钢管顶入土遗址下方。油缸通过40b槽钢背靠地连墙,顶进方钢过程中通过掏除方钢内上部或者下部的土来调节顶进的上下方向如图1。方钢顶入到位后,

将方钢内土掏出,及时浇筑混凝土,防止方钢管内的土掏空导致空钢管不足以支撑土遗址的重量而发生大的变形。钢管幕施工完成后,进行下一步土体开挖至第三道支撑底部,施作第三道支撑。

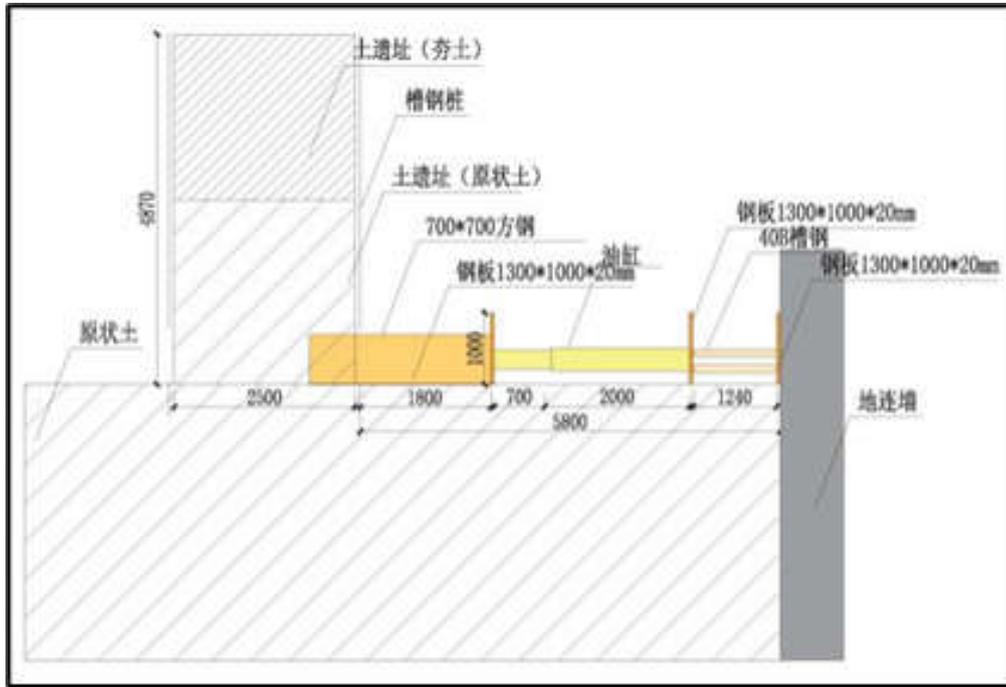


图1 方钢顶进剖面示意图

2 有限元分析

2.1 有限元模型的建立

2.1.1 材料本构与单元划分

为了研究工法对遗址土的影响,采用国际岩土工程应用广泛的大型岩土工程有限元程序 PLAXIS 3D 建立计算模型,程序能够分析的计算类型有变形、固结、分级、加载、卸载、稳定分析、渗流计算,并且还能考虑低频动荷载的影响。同时它包含了板、土工格栅、锚杆和支撑等各种单元,可准确模拟结构体及其与土的相互作用。对于本项目,土体采用高精度 10 节点四面体单元模拟,根据各土层力学特性、应力-应变行为特征及其在施工过程中的应力路径特性,对土体采用小应变土体硬化模型(HSS模型),这样可以在保证土体行为描述精确性的同时提高计算效率。HSS模型不但可以同时考虑土体剪切硬化和压缩硬化,而且还可以考虑土体剪切模量在微小应变范围内随应变衰减的行为。因此,HSS模型在基坑开挖数值分析中具有良好的适用性^[3]。托换钢管、槽钢护板采用线弹性模型,基坑围护墙、支撑板结构采用6节点板单元模拟,支护结构与土体之间设置 Goodman 接触单元模拟土-结构相互作用。

2.1.2 数值模拟模型的建立

本研究选取文物展厅基坑进行足尺模型建模,基坑开挖施工期间既考虑正常使用工况,不考虑地震、人防工况。假定各土层在模型范围内是均匀分布的,基坑支护结构变形、受力均在弹性范围内。计算时考虑每阶段开挖时将水头降至开挖面以下,对于开挖面以下的坑内土体水头采用线性插值法模拟。基坑开挖时间较短,施工步骤的模拟不考虑土体固结的影响。建立整体模型如图2。

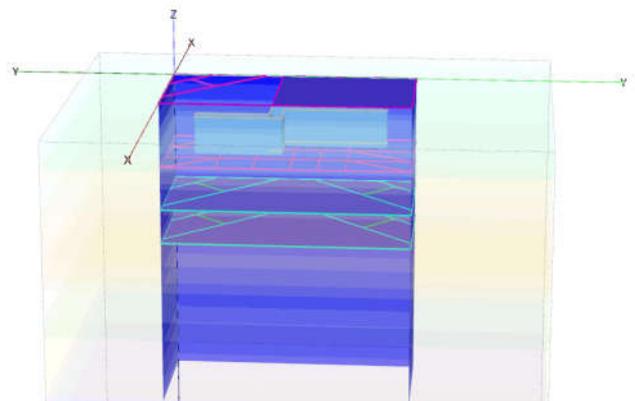


图2 整体模型

2.1.3 模型的加载与求解

根据实际工况，模拟施工过程，施工地连墙，基坑分层开挖，并加设支撑，土遗址区域采用横向挡板+对拉结构结合支顶结构进行加固；开挖至土遗址底部后，托换钢管幕区域抽条开挖土体，土体规格为 0.7 米×0.7 米，与方钢管幕一致，后续激活钢管幕。

抽条开挖土体时，考虑三种工况模拟分析对土遗址的影响，分别是：

工况一：隔三抽一条；

工况二：隔二抽一条；

工况三：隔一抽一条。

2.2 有限元分析结果与试验验证

根据以上工况，分析三种工况下土遗址的位移，结果如表 1 所示。

表1 分析结果汇总表

	抽条开挖后位移 (mm)	激活钢管幕后位移 (mm)
工况一	6.65	6.79
工况二	14.16	14.08
工况三	32.46	32.50

分析以上结果，可知从工况一至工况三，不同间隔的抽条开挖后的土遗址位移越来越大，越来越不利于土

遗址的保护；而从抽条开挖到激活钢管幕的过程，土遗址位移变化较小，可忽略不计。

3 结束语

本文提出一种根据有限元模拟方法，分别进行三种不同的抽条间隔开挖并置换钢管幕以保护土遗址的有限元仿真验证，根据分析结果，得到如下结论：

(1) 应尽量采用间隔较大的抽条式开挖方法，以避免土遗址产生较大位移；

(2) 实际施工过程中，先用油缸将钢管幕慢慢顶进到土遗址下方，然后再掏空钢管内部土体，并尽快填充混凝土，可控制施工达到较好的效果，是一种较好的针对夯土遗址的微扰动原位托换技术。

参考文献

[1]裴强强.夯土遗址传统工艺科学认知与稳定性评价研究[D].兰州大学,2020.

[2]郭青林,裴强强,王彦武等.我国土遗址保护研究新进展[J].石窟与土遗址保护研究.2024. Vol. 3 No.3:18-31

[3]龚东庆, 郑渊仁.硬化土体模型分析基坑挡土壁与地盘变形的评估[J].岩土工程学报, 2020, 32(s2): 175-178