

某软土基坑局部滑移对邻近建筑物 变形影响的分析

王颖¹, 胡锋², 岑维杰¹, 华琦¹

(1. 杭州市勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 310012; 2. 烟台天孚装饰工程有限公司, 山东 烟台 264000)

摘要: 基坑开挖对邻近建筑物及市政道路、管线等周边环境的影响评估具有重要意义。本文对某软土地层一层地下室基坑滑移事故及应急措施进行了简单介绍, 采用有限元软件模拟、监测数据分析的综合手段评估了事故发生对南侧邻近多(高)层建筑物的变形影响程度, 为本工程进一步施工提供依据, 也可为类似工程提供参考。
关键词: 基坑工程; 滑移; 变形; 数值分析; 监测

中图分类号: TU447

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2021)04-0277-06

Analysis of influence on the deformation of adjacent buildings by local sliding accident in soft soil excavation

WANG Ying¹, HU Feng², CEN Wei-jie¹, HUA Qi¹

(1. Hangzhou Geotechnical Engineering & Surveying Research Institute Co., Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310012, China;

2. Yantai Tianfu Decoration Engineering Co., Ltd., Yantai, Shandong 264000, China)

Abstract: It is of great significance to evaluate the impact of foundation pit excavation on adjacent buildings, municipal roads, pipelines and other surrounding environments. The sliding accident and emergency measures of the foundation of the basement on the first floor in soft soil layer are briefly introduced. The comprehensive methods of finite element software simulation, settlement and inclination monitoring data analysis are used to evaluate the impact of the accident on the nearby multi-storey (high-storey) building on the south side, which can provide a basis for the further construction of this project, and also provide a reference for similar projects.

Key words: foundation pit engineering; sliding accident; deformation; numerical analysis; monitoring

0 引言

软土具有含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低、灵敏度高、易扰动的特点, 对于工程性质较差的软土区, 基坑变形往往较难控制。目前我国城镇化率已超 60%, 城市高楼林立, 基坑开挖难免对周边建筑物、市政道路管线等敏感环境产生不利影响^[1]。基坑支护结构作为临时性构件, 安全系数取值相对较低, 因此从勘察、设计到施工过程中, 任何小失误或投机行为都可能导致基坑工程出现事故, 造成人员、财产巨大损失, 从而带来极其恶劣的社会影响^[2]。

本文以某软土地区基坑局部滑移事故为例, 通

过有限元软件模拟、监测数据分析等综合手段评估了事故发生对基坑南侧邻近多(高)层建筑物的变形影响程度, 为基坑后续加固措施、施工措施提供依据。

1 基坑工程概况

某商办综合项目总用地面积约 $2.90 \times 10^4 \text{ m}^2$, 拟建建筑物主要包括 2 幢 22 层高层办公塔楼和 1 幢 3 层商业裙房, 统一设一层地下室, 工程桩采用钻孔灌注桩。基坑形状较规则, 呈长方形, 开挖面积约 $2.35 \times 10^4 \text{ m}^2$, 开挖深度约 5.95 m。

本工程场地下伏土质情况为: 浅层局部有一薄粉质黏土“硬壳层”, 厚度小于 1 m 且大面积缺失,

其下为深厚淤泥质土及圆砾层，局部圆砾层与淤泥质土层间夹一薄层粉质黏土层。原始场地内自东北向西南大面积分布有鱼塘、老河道。

场地东侧、北侧为已建广场绿化；西侧为已建城市道路；南侧为已建商业园区建筑，目前已投入使用。

本工程为二级基坑^[3]，周边环境复杂，地质条件较差，设计采用钻孔桩结合一道钢筋混凝土水平支撑支护方案；塔楼电梯坑采用双轴搅拌桩重力式挡墙支护形式；围护桩外侧设双轴水泥搅拌桩做止水帷幕。钻孔桩桩底标高采用双重控制指标，控制桩底标高绝对值并要求进入“硬土层”不少于2m。基坑支护平面及南侧园区建筑物沉降监测孔位布置如图1所示。典型支护剖面图如图2所示。

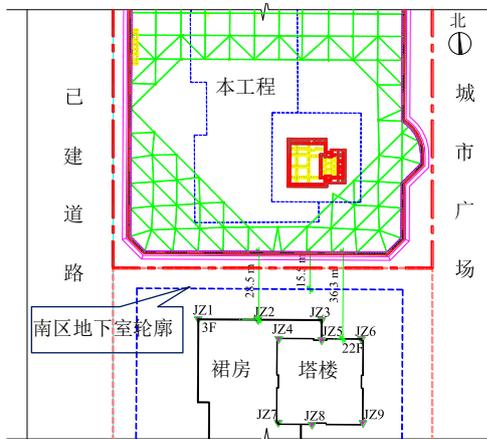


图1 基坑支护及南侧建筑沉降监测孔位布置图
Fig. 1 Layout plan of the foundation pit and settlement monitoring holes of south side buildings

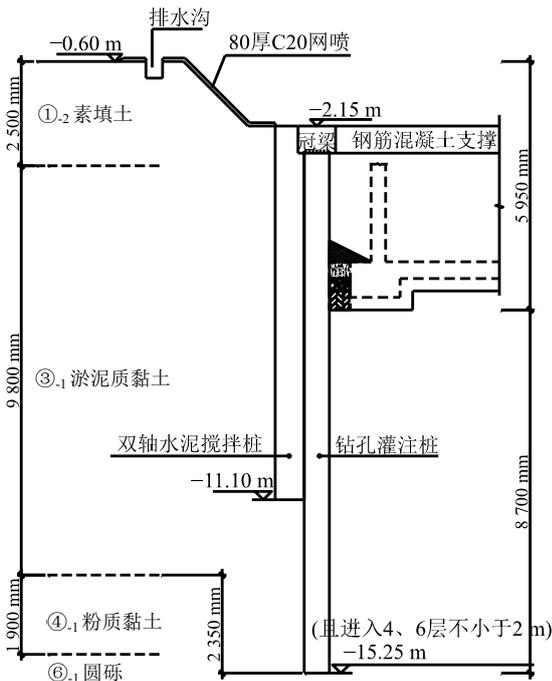


图2 基坑支护剖面图
Fig. 2 Profile of the foundation pit supporting structure

2 南侧邻近建筑物概况

基坑南侧为已投入使用的商业园区，设有1层地下室，邻近本工程的地上部分为22层塔楼和3层裙房。塔楼采用现浇钢筋混凝土框架-剪力墙结构，高度约93.6m；裙房采用现浇混凝土框架结构，高度约16.2m；地下室底板面绝对标高-1.05m，底板底绝对标高-1.70m，与本工程基坑坑底基本齐平。塔楼、裙房及地库均采用钻孔桩基础，塔楼和裙房工程桩持力层为⑦₃层中风化岩层，桩长≥26m；地库工程桩持力层为⑥层圆砾层，桩长≥13m。本工程基坑边线距离南侧用地红线约6.7m，距离南侧商业地块地下室外墙边线约15.5m，距离地上3层裙房外墙约28.5m，距离22层办公楼外墙约36.3m。基坑与南侧建筑物相对位置关系如图3。

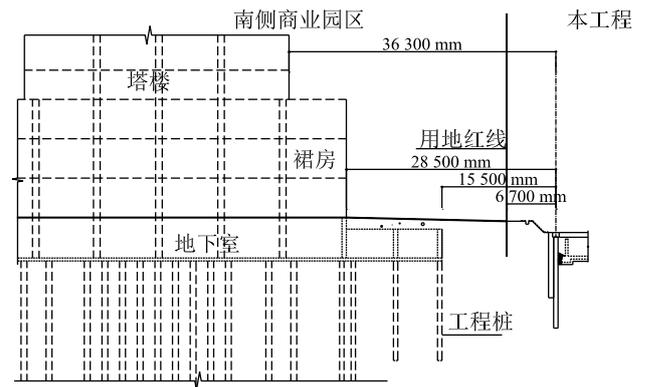


图3 本工程基坑与南侧建筑物相对位置图
Fig. 3 Relative position of the foundation pit and buildings

3 施工及滑移情况

本工程桩基及围护结构已于2020年初全部施工完毕，随即进入土方开挖阶段，土方按照先南北两侧、最后中间对撑位置收口的顺序开挖。截止5月中旬，南塔楼以西区域已经开挖到坑底，正施工垫层，同步开挖东南角及南塔楼以南临边区域土方。5月22日晚开挖至南侧中部位置突然出现基坑滑移现象，影响区域（长度约50m，宽度自坑边向南约9m）内围护桩内倾，支撑梁、冠梁出现多处裂缝，坑内土体隆起明显，为典型的桩踢脚破坏^[4]。另外事故还造成已建的南侧园区围墙内道路出现平行裂缝，靠近围墙的绿化挡墙出现垂直裂缝，中部的停车场土方向本工程方向滑塌，园区道路下方污水管断裂。具体如图4所示。



图 4 南侧道路及挡墙裂缝

Fig. 4 Cracks of road and retaining wall in the south zone

出现基坑滑移事故后, 为保证基坑安全, 避免进一步对周边环境造成恶劣影响, 现场迅速进行了坑内土方回填, 回填范围为整个南侧土方已经开挖区域。现场情况如图 5 所示。



图 5 基坑滑移范围土方回填

Fig. 5 Earthwork backfilling of sliding range of foundation pit

4 基坑滑移对南侧建筑物的影响分析

根据规范[5]及本工程基坑围护设计关于周边建筑物的变形控制指标要求, 南侧建筑物沉降、倾斜控制值如下: 3 层裙房累计沉降量 30 mm, 沉降速率为 2 mm/d, 整体倾斜率为 4‰; 22 层塔楼累计沉降量 30 mm, 沉降速率为 2 mm/d, 整体倾斜率 2.5‰。相邻柱基的沉降差为 16.8 mm。

4.1 监测数据分析

本工程基坑开挖期间, 建设单位委托第三方对南侧园区的邻近建筑物(邻近的塔楼和裙房)进行了沉降监测, 共布设了 9 个竖向位移监测点(裙房布点 JZ1-JZ3, 塔楼布点 JZ4-JZ9)。从 4 月 20 日至事故发生后, 建筑物累计沉降量及沉降速率如图 6~7 所示。

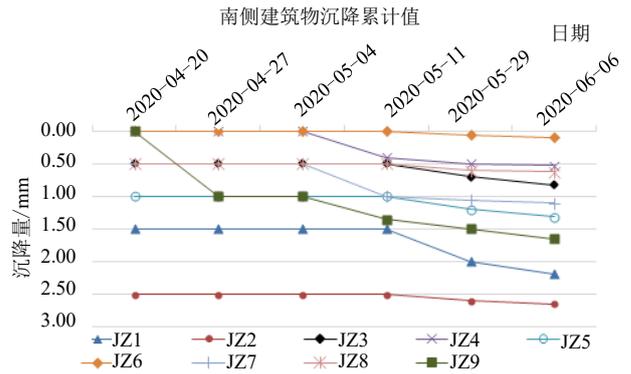


图 6 南侧建筑物沉降累计值

Fig. 6 Accumulated settlement value of south side buildings

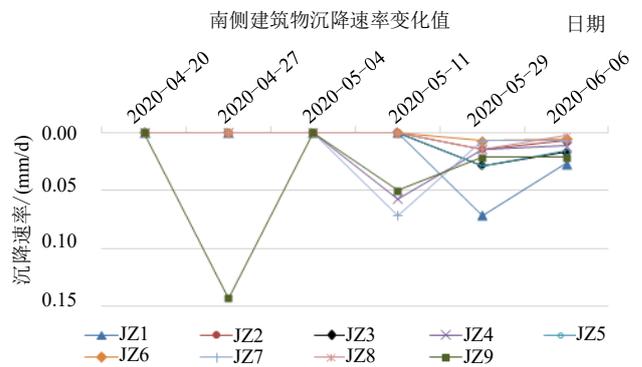


图 7 南侧建筑物沉降速率变化值

Fig. 7 Settlement rate value of south side buildings

根据监测数据, 本工程基坑开挖期间, 南侧中部发生滑移之前, 南侧裙房中部(JZ2 孔)沉降量最大, 约 2.50 mm; 南侧塔楼东南角点(JZ9 孔)沉降量最大, 约 1.35 mm。裙房沉降量普遍大于塔楼沉降量, 考虑主要是因为裙房距离本工程基坑更近, 位于 5 倍基坑开挖深度范围内, 而塔楼位于 5 倍基坑开挖深度范围之外, 故受到基坑开挖的影响更小。滑移事故发生后, 裙房各测点沉降量增加 0.15~0.69 mm, 相邻柱基沉降差最大约 0.57 mm; 塔楼各测点沉降量增加 0.09~0.31 mm, 相邻柱基沉降差最大约 0.59 mm; 塔楼和裙房的沉降速率均小于 0.1 mm/d。与基坑滑移位置对应的裙房沉降量增加 0.15 mm; 塔楼沉降量增加 0.12 mm, 相邻柱基沉降差为 0.14 mm。监测数据表明, 塔楼和裙房整体变形量虽缓慢增加, 但累计沉降量和沉降速率均小于控制要求, 且沉降速率趋于收敛。

基坑南侧发生滑移后, 监测单位于 6 月初对南侧邻近建筑物进行了倾斜观测, 选择塔楼 4 个角点 J1、J2、J3、J4 及裙房北侧两个角点 J5、J6 作为建筑物倾斜观测点, 如图 8 所示, 倾斜观测结果如表 1 所示。

根据倾斜观测，塔楼倾斜率小于 2.5‰，裙房倾斜率小于 4‰，满足建筑物变形控制要求。

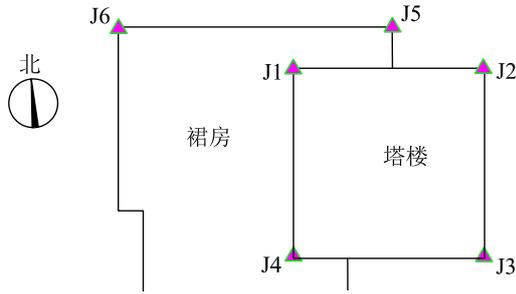


图 8 南侧建筑物倾斜观测点位置图

Fig. 8 Layout plan of tilt observation points of south side buildings

表 1 建筑物倾斜观测

Table 1 Building tilt monitoring data

观测对象	测点编号	观测成果数据 (2020年6月)	
		向北倾斜率/‰	向东倾斜率/‰
塔楼	J1	0.10	0.21
	J2	0.18	0.00
	J3	0.18	0.14
	J4	0.22	0.18
裙房	J5	1.12	0.74
	J6	0.13	-0.17

4.2 有限元数值分析

由基坑开挖引起的邻近建筑物的沉降、倾斜等变形受到多种因素耦合作用，往往很难进行理论计算^[6-7]，而有限元软件可以模拟这种复杂情况下基坑开挖对周边环境的影响。本文采用 MIDAS 二维有限元软件分析本基坑南侧中部位置滑移工况下对南侧园区建筑物的影响。根据地勘报告及当地经验，土层主要参数如表 2 所示。地基土均采用 HS 本构模型。

表 2 各层土物理力学性质参数

Table 2 Physical and mechanical properties of each soil layer

层号	土层名称	黏聚力 /kPa	内摩擦角/(°)	压缩模量/MPa	割线刚度/MPa	卸载模量/MPa
—	回填土	6.0	6.0	1.5	1.5	4.5
①-2	素填土	[6.4]	[8.0]	3.0	3.0	9.0
③-1	淤泥质黏土	[7.4]	[4.8]	[1.5]	[1.5]	[4.5]
④-1	粉质黏土	[17.8]	[13.2]	[4.2]	[4.2]	[12.6]
⑥	圆砾土	3.0	30.0	20.0	20.0	60.0
⑦-2	强风化粉砂岩	25.0	30.0	35.0	35.0	105.0
⑦-3	中风化粉砂岩	45.0	30.0	50.0	50.0	150.0

注：表中[]内的数值为考虑基坑滑移后浅层土体强度折减

南侧建筑物工程桩、框架柱采用梁单元模拟，土体、上部结构及基础采用平面应变单元。计算模型尺寸为 170 m 宽，150 m 高，两侧设水平向约束，底部设竖向约束。模型网格划分如图 9 所示。

经模拟计算，本工程基坑南侧滑移工况造成南侧塔楼和裙房新增变形结果如表 3 所示，新增变形云图如图 10 和图 11 所示。

根据 MIDAS 二维有限元模型计算结果：本基坑南侧滑移工况造成滑移位置对应的邻近塔楼和裙房地上部分水平位移增量最大约 0.15 mm，沉降增量最大约 0.17 mm。另外，通过数值模拟可得知地下室及桩基础变形情况，常规基坑监测则不易获取该部分数据。通过对数值计算结果整理分析，可判断本基坑南侧滑移对南侧邻近建筑物（塔楼、裙房地上和地下室结构）的影响较小。与实际监测数据对比，裙房沉降量比实测值大 0.02 mm，塔楼沉降量比实测值大 0.03 mm，相邻柱基沉降差比实测值大 0.02 mm，其余项无实测数据。分析结果的误差绝对值均较小，因此有限元分析可作为一种有效预测手段。

另外根据现场实地观测，南侧建筑物及地下室未见明显的新鲜结构性裂缝。建筑沉降、倾斜数据基本稳定，未超过监测报警值及相关规范要求指标，处于安全的状态。说明事故发生后基坑南侧邻近坑内土方及时回填反压的措施对降低邻近建筑物的影响是十分有效的。

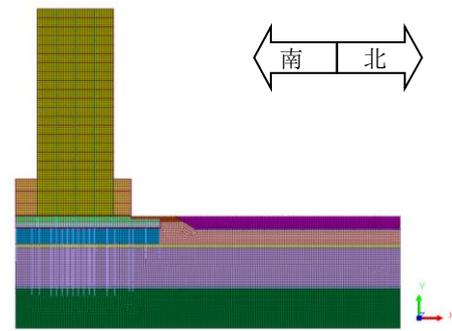


图 9 有限元模型及网格划分图

Fig. 9 Finite element model and mesh generation

表 3 基坑滑移工况下南侧建筑物新增最大位移

Table 3 Maximal value of increased displacement on the south side under the foundation pit sliding condition

项目/mm	裙房	塔楼	地下室	桩基
水平位移	0.02	0.15	0.08	2.90
竖向位移	-0.17	-0.15	0.29	-0.33
相邻柱基沉降差	0.14	0.16	0.28	—

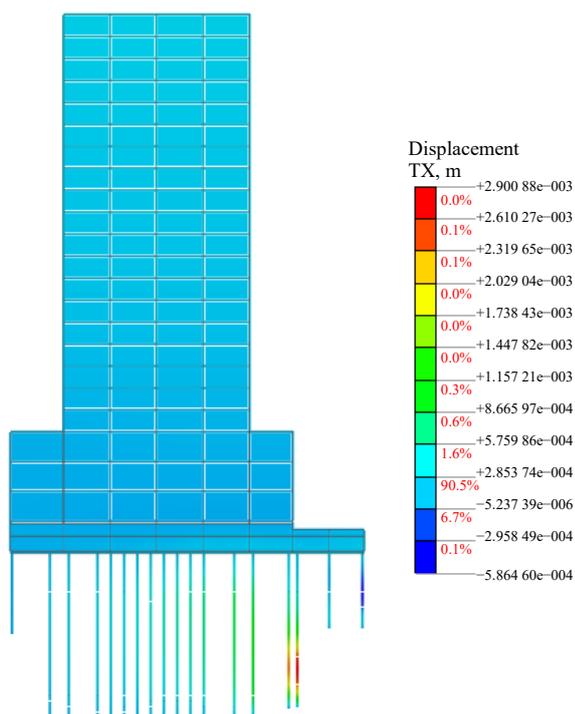


图 10 基坑滑移工况下南侧建筑物水平位移云图

Fig. 10 Horizontal displacements cloud of the building on the south side under the foundation pit sliding condition

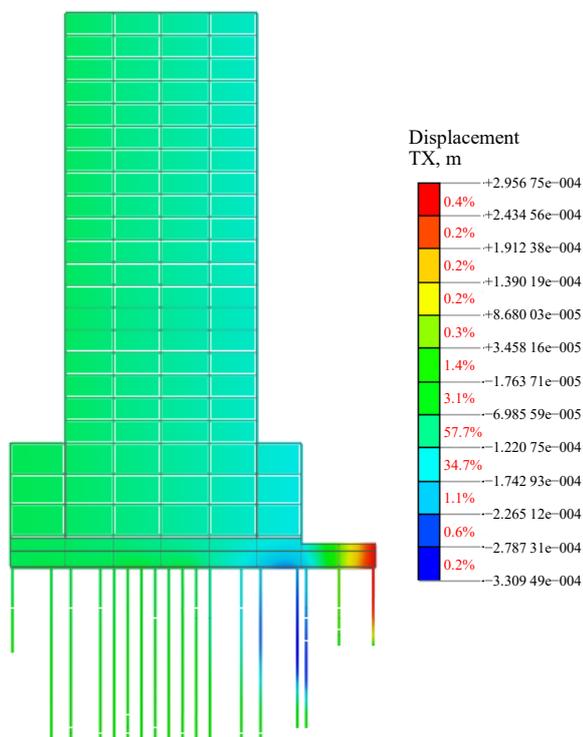


图 11 基坑滑移工况下南侧建筑物竖向位移云图

Fig. 11 Vertical displacements cloud of the building on the south side under the foundation pit sliding condition

5 结 论

针对软土地区某基坑滑移事故, 通过有限元分

析、第三方监测、现场观测等综合手段, 得出本次事故对南侧邻近建筑物变形的影响程度较低的结论。一方面是因为事故发生后, 施工单位第一时间进行了大面积土方回填, 从而有效控制住了基坑后续变形, 降低了对南侧建筑物的影响; 另一方面, 一般基坑开挖所引起的坑外地表沉降的范围主要在 1~2 倍开挖深度范围内, 5 倍挖深范围之外受到的影响可忽略。南侧地块地下室外墙距离本工程基坑约 2.6 倍挖深, 裙房和高层办公楼地上部分外墙与本工程基坑距离约等于或大于 5 倍挖深, 已基本不受本工程开挖影响。

参考文献

- [1] 姜叶翔, 赖小勇, 张宏建, 等. 深基坑开挖对邻近既有地铁隧道的影响分析[J]. 地基处理, 2020, 2(3): 231-235.
- [2] 姜叶翔, 赖小勇, 张宏建, 等. 深基坑开挖对邻近既有地铁隧道的影响分析[J]. 地基处理, 2020, 2(3): 231-235.
- [3] 姜叶翔, 赖小勇, 张宏建, 等. 深基坑开挖对邻近既有地铁隧道的影响分析[J]. 地基处理, 2020, 2(3): 231-235.
- [4] 姜叶翔, 赖小勇, 张宏建, 等. 深基坑开挖对邻近既有地铁隧道的影响分析[J]. 地基处理, 2020, 2(3): 231-235.
- [5] 姜叶翔, 赖小勇, 张宏建, 等. 深基坑开挖对邻近既有地铁隧道的影响分析[J]. 地基处理, 2020, 2(3): 231-235.
- [6] 姜叶翔, 赖小勇, 张宏建, 等. 深基坑开挖对邻近既有地铁隧道的影响分析[J]. 地基处理, 2020, 2(3): 231-235.
- [7] 姜叶翔, 赖小勇, 张宏建, 等. 深基坑开挖对邻近既有地铁隧道的影响分析[J]. 地基处理, 2020, 2(3): 231-235.

106-110.

ZHAO Yan-lin, GAO Quan-chen, HENG Chao-yang.
Numerical analysis of effects about sedimentation

deformation of nearby building created by excavation of
foundation pit[J]. Journal of Heilongjiang Institute of
Science and Technology, 2005, 15(2): 106-110.

【简 讯】

岩土工程西湖论坛（2021）：岩土工程计算与分析（二号通知）

为进一步发挥计算与分析在数字信息化背景下智慧建造各阶段的重要作用，促进我国岩土工程计算与分析水平不断提高，更好地为土木工程科技创新服务，中国土木工程学会土力学及岩土工程分会、《地基处理》杂志社、浙江省科学技术协会和浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心等四家单位，联合组织召开岩土工程西湖论坛（2021）：岩土工程计算与分析。会议将围绕计算与分析新理论新方法，以及在复合地基、桩基工程、隧道工程、基坑工程、边坡工程、海洋工程等各领域中的应用开展深入研讨。

本次会议也是中国工程院土木、水利与建筑工程学部年度计划学术活动之一。

主办单位：

中国土木工程学会土力学及岩土工程分会
《地基处理》杂志社
浙江省科学技术协会
浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心

承办单位：

浙江大学滨海和城市岩土工程研究中心

协办单位：

岩土工程西湖论坛理事单位（增补中）

会议宗旨：

会议旨在加强土木工程各行业间的交流，促进我国岩土工程计算与分析发展，提高岩土工程科研创新能力，更好地为我国工程建设服务。欢迎全国相关学科的专家、学者和工程技术人员踊跃参加。

会议时间：2021年10月23—24日（22日报到）

会议地点：杭州花家山庄

会议主题：岩土工程计算与分析

大会组织委员会：

主 任：周建

副主任：杨仲轩、胡安峰、郭宁

委 员：徐日庆、王奎华、刘海江、应宏伟、俞建霖、韩同春、胡亚元、曹志刚、董梅、国振、洪义、周佳锦、刘福深、魏骁

大会秘书处：

宋秀英 18969127702 xysong2020@163.com

王笑笑 13646828087 wangxiuxiu713@163.com