



## 某项目支护不当影响主体基础实例介绍与反思

文\_钟世晓(南宁市建筑规划设计集团有限公司建筑设计一分院,集团副总工程师、分院总工程师,高级工程师)

## 一、项目概况

该项目所在区域被曾经施工的其他项目作为弃土场，堆填了大量土方，形成数十米填土山包，从图1、图2所示可知，该项目地下部分施工期间，基槽内外会形成高差最大可达三十米的深厚填土深基坑及高边坡，地下部分施工完毕、基坑回填后，建筑西、北面仍保留二十多米高差的填土高边坡。

项目拟建的两栋高层建筑均采用旋挖灌注桩基础，工程桩身穿越填土层进入中风化泥岩。基槽东、南面为项目场地，可先整平到设计地坪标高，再放坡到基础施工面，北、西面通过“放坡+锚杆”的方式进行支护。

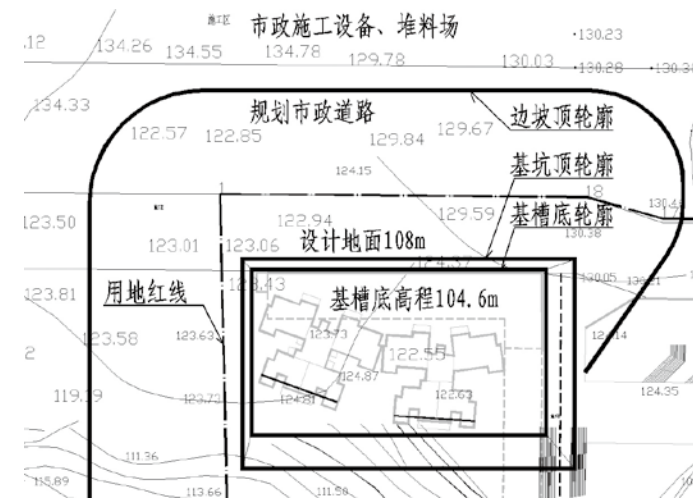


图1 项目总平图

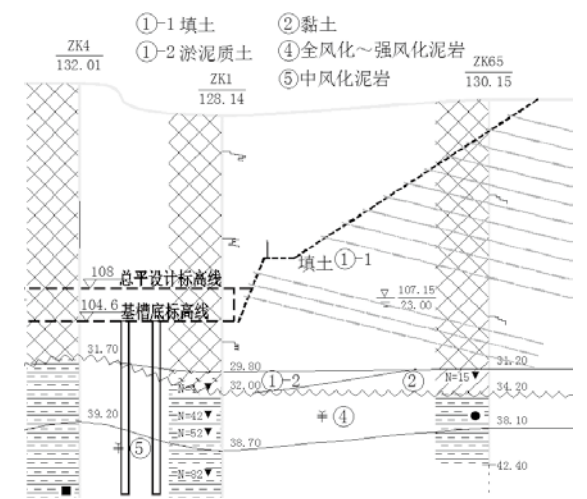


图2 地质剖面图

## 二、事故简述

左边高层建筑进行桩身完整性检测时，发现个别桩的低应变数据出现异常，经参建各方现场会诊，疑似断桩。挑选异常部位较高的几根桩，挖开检查桩身，均发现贯穿裂缝，结合桩位和地勘钻孔揭示的地层起伏情况，可大致判断断桩部位基本在填土层底部及以上一定区段，随着时间推移，后续桩身完整性检测异常的桩数量逐渐增多，事故前历次现场验收情况如下。

在对厚填土山包进行挖运土方、修斜坡的阶段,坡底的基坑尚未开挖,在斜坡顶平台地面就已肉眼可见很多裂缝,最大缝宽超过10厘米,裂缝处台阶状地陷最大有30厘米落差,如图3所示。



图3 边坡顶地面塌陷图

旋挖灌注桩施工时, 基坑侧壁还在进行钻孔做锚杆、挂网施工作业, 基坑以上的北侧坡面仍有未硬化封闭的区域, 在暴露的坡面上能清晰看到因斜坡体塌滑而在近坡顶处出现的水平裂缝, 如图4所示。基坑顶西侧则自始至终是原状高填土坡体暴露状态, 未做任何处理。



图4 坡面尚未硬化封闭边坡已塌滑出现水平裂缝图

旋挖成孔期间，旋挖机械抓斗取出的填土和泥岩土块能够成形，施工场地正常，未见泥水。用手电筒看桩孔，光线能照射到的上部填土层孔壁完整、相对干燥，旋挖机械抓斗留下的痕迹清晰无异状，但现场施工人员反映能偶尔听到土块坠落入水的声响，认为有塌孔情况。估计是成孔后在等待下钢筋笼、浇捣桩身混凝土期间，赋存在填土层底、泥岩面的上层滞水流淌到桩孔底形成水洼，后在厚填土压力和坡体蠕动、挤压作用下，泥岩面被泡软的填土泥水带被挤压出孔壁坠入桩底积水。

桩基施工完成后，在桩身混凝土达到龄期后进行桩身质量检测，发现桩身断裂，此时基坑侧壁施工作业尚未完成。

在多次邀请专家分析事故原因、讨论处理方案期间，坡面裂缝不断出现，详见图5所示。变形监测数据持续增大，通过低应变复检桩身混凝土完整性，发现更多新增断桩。



图5 坡面硬化封闭后边坡仍持续塌滑拉裂坡面图

### 三、事故原因分析

从地勘钻孔揭示的填土厚度可知，锚杆整体都位于填土层，其黏结和锚固约束效果很差。查看计算书时发现计算参数 $c$ 、 $\phi$ 及黏结强度取值较工程经验偏高，也大于地勘报告建议值，支护设计单位被质疑为迎合建设单位低成本支护的诉求，做出了高风险支护设计。

深厚填土的下卧土层主要为不透水的泥岩，地表雨水下渗，会在泥岩与填土交界面形成泥水带—软弱结构面，当厚填土被开挖形成坡体后，沿此软弱结构面容易形成滑动面。旋挖灌注桩在桩身混凝土浇灌初凝到足够强度前无抗剪能力，桩周土层的蠕动、错位，会轻易将桩身剪切破坏。

事故发生后，填土坡体塌滑仍在持续，阻碍填土层沿泥岩层顶软弱结构面滑移的剩余好桩承受的剪力持续增大，直至桩身混凝土被破坏失效，滑移剪力又分摊到剩余好桩上，剩余好桩继续承受更大的剪力，最终被逐个剪断失效，如图6所示。

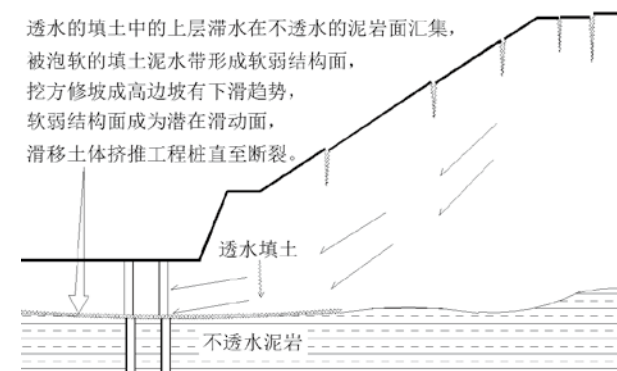


图6 事故分析图

### 四、处理方案

一是改进支护方案，控制深厚填土坡体滑移变形。需打桩穿越填土与泥岩交界面，限制两个土层之间的错位滑动，桩身要求一开始就有足够的抗弯剪强度，因此考虑采用成品预制桩或钢桩。受场地限制，无法采用大吨位、大尺寸的压桩机械，只能放弃刚度大、抗弯剪能力更强的预制桩，退而求其次采用便于施工的钢板桩，将其沿基坑底周边打入泥岩层。钢板桩的刚度虽然偏小，但延展性好，剪力过大通常会导致其屈曲变形，不至于完全退出工作机制，辅以预应力锚索在钢板桩顶施加预拉力，约束桩顶变形。

二是修改基础方案，适应支护形式。“钢板桩+锚索”的支护方式只能减小坡体滑动变形，维系坡体安全，并不能保证深厚填土坡体不继续沿着填土层底与泥岩层顶交界面处的泥水带蠕动滑移，毕竟钢板桩本身刚度不够大，锚索的锚固段无法进入泥岩层，其约束能力不足。因此，主体结构基础下用抗弯、剪能力强、可作为支护构件的预制管桩作为竖向增强体的复合地基，采用对场地要求低的锤击沉桩方式，采用锥形桩尖以更深入中风化泥岩，采用满堂布桩方案，挤密填土并兼顾抗滑移作用的群体效应。

### 五、处理效果

虽然暴雨时坡面仍会不断出现新裂缝，或原有裂缝增大、裂隙加深，沿缝渗水又加剧坡体变形，但在“钢板抗滑桩+预应力锚索”的限制下，深层位移不大。雨天应停工撤离人员，雨停后待监测数据稳定再施工，虽然基坑和边坡始终处在报警不断、险情不大的状况，但也尚能维系整体安全，直到基槽回填后，确认支护结构

不再有问题需要处理。从沉桩施工过程可以看出，时间越久，沉桩越困难。根据地勘钻孔揭示，以及周边先行沉桩的速度与深度的关系表现对比，后期锤击沉桩尚未进入泥岩就已经下沉困难，说明桩间填土已被挤压密实。基础选用的支护类型预制管桩，经检测，桩身均完整无损，最终顺利通过基础验收。

## 六、反思及结论

### （一）工程建设勿抱侥幸心理

从图1、图2可以看出项目设计地坪高程108米，高于北面规划市政道路，建设单位有意等待市政道路施工时挖除填土山包，免去己方挖运土方或做支护的巨额开支，故把这两栋高层放在最后开工。但市政道路项目方等到该两栋高层高出地面后才开始施工，而两栋高层尚未竣工，市政道路就交付使用了。因此，建设单位为降低造价，少挖运土方，采用了高风险的支护方案，设计单位为迎合建设单位需求，人为调高计算参数，不采用抗滑桩应对潜在滑动面，锚杆的锚固段完全处在填土层，为事故埋下了隐患。

因北面的高填土坡顶存放着市政施工设备和材料，做了坡面硬化。而西面的荒坡野岭则完全不做处理，任由雨水不停冲刷，又复曝晒，每逢遭遇台风暴雨天气，现场就能看到无数泥水浆流淌而下汇成一道道泥浆溪流灌入基坑，唯有天气转晴在监测数据趋稳后再清理泥浆复工。待到后期，雨水反复冲刷下的泥土流失已使西侧坡面变缓，出现多道冲刷沟，如图7所示。

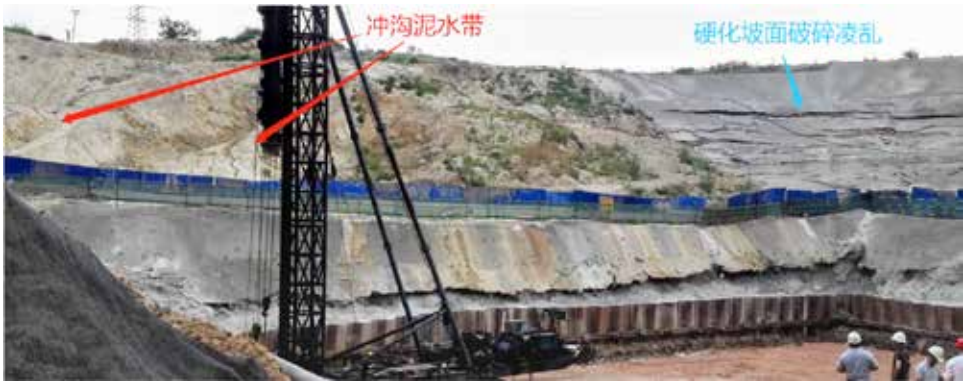


图7 西面暴露边坡冲刷和西南角硬化坡面破碎图

右侧高层的旋挖桩基础施工相对早，其东侧属于项目用地，已先挖平作为施工场地，北面偏东也已部分削坡下接东侧的施工场地，左侧高层的基坑尚未开挖就已浇捣桩身混凝土，由于基槽小，土体的时空效应使坡体变形小，在坡体滑移变形大之前就有足够的桩身强度，因此顺利通过基础验收。

待到左侧高层旋挖桩施工时，基坑外的填土高边坡和深基坑已形成，基坑的锚杆却未完成，基坑平面尺寸更大，非对称盆状凹槽导致四周土体相互约束力大幅降低。随时间后延，坡体沿滑动面的蠕动已过起步阶段，滑移速度增大，因此左侧高层旋挖桩身混凝土浇捣到形成强度的过程中就被剪切破坏。而右侧高层进行桩基检测时，整个基坑平面才开挖一半，坡体滑移也可能尚处在起步阶段，虽然此时桩身完整无损，随着基坑扩大，坡体滑移加剧，桩身受剪也会加大。等到左侧高层桩身断裂事故发生，再想复查右侧高层桩身完整性时，右侧高层的桩承台却已完成施工，不具备条件进行复检。

建设单位出于降低造价的目的，会提出各种激进、高风险的要求，但作为专业的技术人员，应该坚守底线，不能无限迎合。该项目的周边环境开阔，无既有建筑或市政设施，且支护失效的外在影响不大，若有影响

和损失都限于该项目，也算不幸中的万幸。若是支护周边存在既有建筑或设施，一定要更为谨慎，否则不良后果会被无限放大，处理代价高昂。

从图4所展示的支护施工情况可知，在从上往下开挖外运土方的过程中，为抢工期，建设单位持续挖运土方，把高厚填土山体一次性修成斜面，基坑顶上的坡面挂网硬化施工进度滞后，未遵循挖方边坡防护工程应采用逆作法的施工要求，即分段施工，边修坡、边支护，开挖一级防护一级，并应及时进行养护，防护好上一级，才开挖施工下一级。因此导致土质坡面长期暴露被雨水冲刷，地表水大量渗入坡面土层，引发表层松软填土固结下沉，坡体含水量逐渐增大，土体重量相应加大，使滑坡体的下滑趋势增大，地表水在厚填土中下渗汇集在不透水的泥岩面，加剧填土层底和泥岩面交界处泥浆带的稀滑程度，为滑坡体的下滑进一步创造条件。

### （二）加强沟通协调

由于建设单位把主体设计和支护设计分别委托给不同单位，除把主体基础、地下室轮廓和标高数据转交给支护设计单位以外，双方缺乏沟通，互不了解对方的具体设计内容，主体设计单位结合地勘资料在施工现场看到削坡情况后，虽然觉得有风险，但因已经施工，且当时的监测数据未说明坡体状况会影响主体施工，故没有说服建设单位或支护设计单位修改支护方案。

### （三）缜密思量应对措施，消除安全隐患

若能提前察觉隐患，可以提出两种应对方案。方案一，调整支护方案，沿基坑边做抗滑桩，控制厚填土沿泥岩面的深层位移，阻止填土坡体的下滑趋势，避免影响基坑内处于脆弱期的灌注桩；方案二，调整主体结构基础方案，采用支护类型的预制预应力桩做桩基础。利用抗弯、剪能力强的基础预制桩兼做抗滑桩，在基坑尚未开挖前，采用送桩工艺将其打入泥岩足够深度。根据工程经验，采用静压沉桩工艺的预制管桩端进入泥岩困难，但作为支承上部结构重量的桩基础，稍进入泥岩就能稳压达到竖向承载力要求，但进入泥岩深度不够，嵌固效果差，抗水平侧推作用的能力不足，无法兼做抗滑桩，桩身如被斜坡塌滑土体推歪，即使桩身未断裂，倾斜桩身也影响其竖向承载力。即使采用先引孔后压桩的工艺，虽然能保证桩端入泥岩深度，但压桩机械吨位大，原场地的回填土地面也不合适行走压桩机械。只能采用锤击沉桩方式施工，锤击沉桩机械相对小且轻，可以通过试桩操作把控沉入泥岩的深度，也可先引孔以保证桩端入泥岩深度。施工场地四周开阔，最近的住宅小区也在几百米外，控制在白天上班时间施工，其锤击噪音影响较小。

从可靠角度出发，上述应对方案一更为合理。因为支护用的抗滑桩是临时性的，只需应付主体桩基础的脆弱期，必须充分发挥效用的工作时间短，而且发现问题也相对便于补救。应对方案二则有一定风险，对于单纯的临时抗滑桩而言，在滑坡体挤压下，桩身有一定倾斜并无大碍，只要桩身不破损，变形控制在一定范围之内，不形成持续滑移，基坑、边坡无安全之虞。但对主体结构的桩基础而言，桩身倾斜过大会影响其竖向承载力，用大直径桩满堂密布形成集群抵抗效果，对消弱滑移变形、减少桩身倾斜虽有帮助，但代价过大且效果难以把控，如果事后检测桩身倾斜超出规范允许值，难以补救。因此，方案二不如方案一更有针对性，基坑周边的抗滑桩还可用预应力锚杆辅助约束桩顶变形，虽然预应力锚杆的锚固段不能置于老土层中，但仍有作用，若采用钢板桩做抗滑桩，还有拔出回收的可能，回收率越高则成本越低。

在工程实践中，临时性支护工程耗资巨大，让建设单位觉得颇为不值，时常抱有侥幸心理，只求应付了事，预算能省则省。但随着人们维权意识逐渐增强，遇事再处理的代价越来越大，从专业工程师角度出发，应当积极主动了解情况，尽早发现问题，帮建设单位规避风险。主体基础与支护是相关联的，当主体设计与支护设计是不同设计单位时，应主动要求建设单位联系双方设计相互通气，相互了解对方的设计思路和施工方式，为建设项目顺利开展尽职尽责，根据提前发现的问题、隐患，调整设计方案或准备好应对预案。