

简论福建沿海区域深厚淤泥软弱层中管桩受力型态对成桩安全质量因素分析及其控制措施

程孝伟

中铁二十四局集团上海建设投资有限公司

摘要: 福建位于我国东南沿海,其沿海城市及沿闽江流域地型以山地多,平地少为主。受地质演化或人工地质改造(如填海造地),城市下方地层多存在流动塑性较大且含水率很高的深厚淤泥层。故在此类地层中进行桩基施工,特别是管桩施工,应如何保证其成桩安全及质量,并形成一套有效的控制措施,福建区域施工的一大特点和难点。基于此,本文主要以福建沿海一个经典淤泥地层上的工程为例,从地质特点、力学模型及控制措施应对三个方面,就淤泥地层下管桩施工的不利因素及解决方案进行详细分析,希望可以为相同地区同业技术人员提供参考。

关键词: 深厚淤泥; 软弱层; 管桩受力型态; 质量因素分析; 控制措施

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6288.2022.12.192

一、绪论

福建位于我国东南沿海,随着各级城市建设的兴起,高层建筑的层数的不断提高,对建筑基础,尤其是管桩的要求越来越高。在福建以滩涂地貌为主的城市,如何克服深厚淤泥层进行管桩施工,并同时保证其安全质量,是一个重点探究且需解决问题。本文主要以福建沿海一个经典淤泥地层上的工程为例,从地质特点、力学模型及控制措施应对三个方面,就淤泥地层下管桩施工的不利因素及解决方案进行详细分析,希望可以为相同地区同业技术人员提供参考。

二、本工程所处福建沿海淤泥软弱层特殊性及其工程情况

1. 福建沿海地区淤泥软弱层的特殊土层性质

福建等沿海地区普遍存在海洋或湖泊沉积软土,其形成原因是有机质和矿物在盐水或淡水中综合沉积形成的。根据形成时间或地形特点,福建沿海地区淤泥软弱层的厚度从几米到几十米不等。并由由于地下水或海洋、江河等动态水作用下,福建沿海地区淤泥软弱层具有疏松、孔隙率大、压缩性高、强度低等特点。而且在同一地域内,淤泥软弱层厚度的变化并不显著,土层大多是相互作用的层。福州及闽北等属于盆地型软土是其中的一种。其特点为海相淹没河谷沉积相,厚度普遍较大,层理呈条带状,水平变化较小。厦门、闽东第海岸型浅湾沉积软土。厚度一般不大,但层理有明显变化和波动。

福建省的高层建筑大多建在沿海城市,这些城市位于软土地区。地基处理和施工难度大,成本高,需要较长的施工期。为保证施工进度,很多建筑基础形式主要采用为管桩。但由于淤泥软弱层具有疏松、孔隙率大、压缩性高、强度低等特点,管桩施工安全质量是否能达到设计要求,是工程上的一大难点。

2. 针对福建淤泥软弱层地质的设计强制要求及原因

由于考虑福建沿海地区淤泥软弱层的特殊土层性质,为避免对管桩施工成桩安全及质量的极不利影响,福建省在设计阶段在原《桩规》基础上,考虑并提高了相关管桩设计参数要求,增加相应安全储备。故在此原因下,福建省在《福建省建筑设计若干规定》中对深厚淤泥软弱层中的采用管桩施工的,提出增加以下设计强制要求:桩基承台底以下存在淤泥质土层、淤泥层等软弱土层,对采用预应力混凝土管桩和小截面空心方桩,桩基施工前,软弱土层上部在建筑物范围场地采用固化处理,面积置换率,对于采用预应力混凝土管桩或空心方桩基础的建筑,应验算桩基的水平承载力。

3. 此类地层中施工处理不当常见事故案例特点

福州市某公馆小区,A区安置房B区商品房,AB区地下室一体互通。现A区围绕B区的A12、A13、A8严重倾斜被封,小区大门倾斜严重被拆除;B区三栋楼还在继续加速下沉,B区地下室由于主体结构(桩基)发生不均匀沉降,导致主体结构倾斜,梁存在贯通剪裂缝,柱子出现压溃、受剪等贯通裂缝,同时也导致燃气管道错位、变形。同时在2022年2月出示的A12,13号楼结构鉴定报告都是D级。

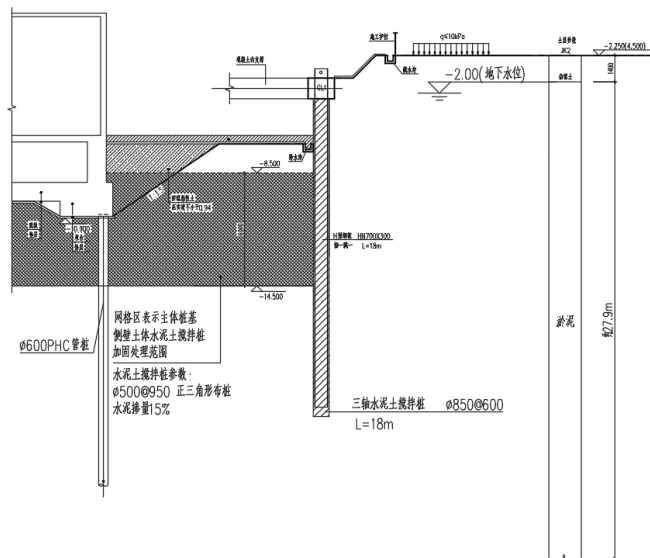
经调查后发现此项目位于深厚淤泥软弱层中,并采用管桩作业基础。但在设计过程中均未按《福建省建筑设计若干规定》,针对深厚淤泥软弱层采取相关措施,施工过程按一般地层桩基进行质量及安全控制。结果出现严重质量安全事故,最终涉事楼幢按拆除处理。

4. 本工程概况及施工特点

XX县医院新院二期医疗综合楼,位于XX市XX县XXX大道东侧,总用地面积91851.2m²,总建筑面积约131016.0m²,室外设计标高为5.90m。本工程病房楼、门诊楼、医技综合楼和体检综合楼有-1F地下室,地下室

高度约为5.0m。

本场地地下室开挖后，桩基承台以下土层全部为软弱土层淤泥，且厚度均超过12米以上，采用预应力管桩桩型，在桩基施工前，软弱土层上部在建筑范围场地采用固化处理，面积置换率（水泥搅拌桩面积与一根水泥搅拌桩分担的处理面积之比） $m \geq 20\%$ ；固化后桩基承台底以下软弱土固化的深度 $\geq 5\text{m}$ ，且剩下的软弱土层厚度不超过16米（小直径管桩或方桩）和20米（大直径管桩或方桩）。



三、本工程深厚淤泥层中管桩的施工受力型态及不利因素分析

由于本工程地基基础范围内存在的深厚淤泥不良地层，为保证后续管桩基础及其配套加固措施的施工过程中，对其施工质量和安全进行有效的控制，避免出现因管桩质量事故导致的建筑沉降问题。故需在管桩的施工受力型态及不利因素进行分析：

（一）本工程深厚淤泥层中管桩施工力学模型

如需对本工程进行施工受力型态分析，首先建立深厚淤泥层中管桩施工的力学模型。该模型的建立主要考虑以下几个方面因素：

1. 本工程深厚淤泥厚度、地下水、土工性能及加固深度

本工程承台以下至持力层以上土层全部为软弱土层淤泥，且厚度均超过12米以上，土工性能揭示该土层不能提供桩周承载力，且土质饱和、流塑状态，振荡反应慢，强度低、不稳定。采用水泥搅拌桩进行加固，加固深度按软弱土层淤泥层厚度进行控制，其控制要求为：加固后剩下的软弱土层厚度不超过20米。本工程淤泥层含水量丰富，在降水作用下易发生压缩和流动。

此因素在模型中的力学作用：由于软弱土层淤泥厚且基本不提供桩周约束，本工程管桩在施工过程中可视

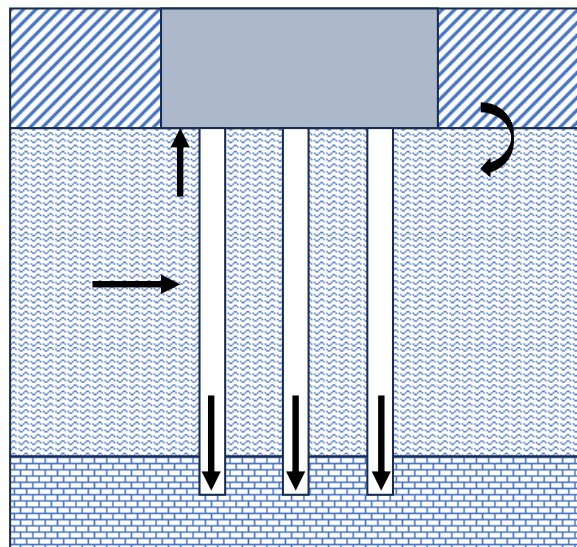
为顶部弱固结且垂直向下的悬臂桩，在管桩进入持力层后，可视两端弱固强者的长系杆。地下水的的作用既可将淤泥层视作类流体。

2. 管桩长度、承载力组成、上部荷载及持力层情况

本工程管桩（600mm）长度受长径比限制，桩长最长为40m。有效桩长根据持力层实际埋深进行设置。由于本工程管桩承载力由桩端承载力+加固区桩周摩擦力+承台及桩周加固层复合承载力-上浮力组成。其持力层为强风化岩、碎卵石层，层面起伏较大，且力学性质不均匀，会产生一定不均匀沉降。上部荷载主要体现为不同高度主体结构传递至承台的竖向力和弯距。

此因素在模型中的力学作用：由于承载力组成中承台及周边加固区也提供了一定的承载力，且持力层的起伏波动。可以将承台部分视为位的一个高墩结构。

综上分析，可以将本工程深厚淤泥层中管桩施工力学模型简化为：类流体中嵌岩桩基高桩承台受力模型，如下图。



（二）本工程深厚淤泥层中管桩施工受力型态及不利影响因素分析

根据简化后的深厚淤泥层中承台及管桩施工力学模型“类流体中嵌岩桩基高桩承台受力模型”，结合本工程地质特点及施工工况，可以分析出如下管桩受力型态特点：

1. 深厚淤泥不良层造成桩基周边约束减弱，整体承载力及稳定性降低
2. 由于存在持力层坡度以及深厚淤泥不良层受荷扰动，造成管桩侧向水平应力增大
3. 受工程各阶段工况影响，上部荷载偏压造成深厚淤泥不良层不均匀变形及侧向流动。
4. 基坑降水前后造成地下水变化，造成管桩上拔力和弯距增加。

5. 深厚淤泥不良层加固处理深度及面积置换率, 影响桩基长径比控制值, 危及桩体稳定及管桩接头。

通过对受力型态特点的综合分析, 可以将深厚淤泥不良地层对管桩的不利影响因素总结成5个方面因素:

1. 深厚淤泥地层的土工性能差, 对管桩各项力学参数支持性差。

2. 本工淤泥地层厚度大, 且地质坡度及工况综合作用下, 发生水平流动。

3. 持力层埋置深度变化大且存在坡度, 深厚淤泥不良层加固长度无满提前预测。

4. 深厚淤泥不良地层对基坑降水敏感, 易出现不可预见的形态变化。

5. 深厚淤泥不良地层在上部荷载偏压下, 极易出现挤土, 不均匀沉降等不良现象。

四、本工程深厚淤泥不良地层的不利影响因素对成桩安全质量的影响分析及应对措施

1. 管桩承载力及稳定性降低, 成桩后管桩上部易偏位倾斜, 影响长径比

从受力模型及不利因素分析中, 可以看出在深厚淤泥不良地层, 本工程中管桩的承载力主要由桩端提供, 部分由加固后的桩周摩擦力提供。且由于管桩从打入至成桩过程中, 受力形态发现变化, 水平方向无可靠的约束, 管桩的垂直度不易受控, 一旦垂直度超限, 且成桩后管桩上部将受施工荷载, 管桩上部易偏位, 更加剧管桩承载力及稳定性降低。

由于桩加固层加固深度是按加固处淤泥动厚进行控制的, 但由于持力层起伏大, 原地勘揭示层厚可以过大或过小, 一但过小将出现管桩无约束段过长, 长径比超过规范, 影响管桩安全。

应对措施: 合理安排管桩施工工序(如按跳仓分区进行施打), 避免桩头二次扰动; 补勘加密, 作为加固依据; 跳仓区桩完成并验收合楼后, 快速进行底板封闭, 使桩头形成可靠的侧向固结。

2. 管桩侧向水平力增大, 管桩剪应力成为破坏主控因素

在一般土层中的管桩, 桩周土层在良好的内摩擦角和粘聚力作用下, 能均匀的提供水平径向约束力, 即便管桩因施工原因产生的倾斜或弯曲, 造成管桩水平剪力增加, 也可以在桩周良好土层提供的反作用力下, 进行抵消。

但本工程承台下为深厚淤泥不良地层, 即无法提供良好约束力, 还其流塑性会在一定情况下进行流动, 进而增加管桩水平剪力, 原先设计中对施工预留的安全储备, 将损失殆尽。

应对措施: 增加对管桩接头连接质量的验收, 特别

是处于加固层与淤泥层交界处的管桩接头; 增加对管桩打入垂直度和平直度的控制; 对垂直度临近界限的, 应作为承载力检测重点关注桩。

3. 管桩受上部结构时空效应影响, 产生不均匀沉降及偏压

由于本工程两个主要建筑门诊楼(5F)和病房楼(18F)位于同一个大面积基坑内, 其地下室筏板桩基础, 面积大且需分块跳仓施工。故在上部结构施工时, 将不可避免的产生荷载不均匀加载的时空效应。特别是在高低楼变形缝处, 主附楼变形缝处, 产生不均匀沉降。

如果出现因上部荷载差加载速度过快或总差量过大, 将出现不均匀沉降过大, 引起管桩上部桩体偏压, 进而破坏管桩。

应对措施: 对上部结构的施工计划进行合理安排, 避免出现高低楼变形缝处, 主附楼变形缝处有3层上的结构荷载差或加载差2层/天。

4. 管桩受围护结构打拔及降水影响, 出现上拔破坏和边桩破坏

由于本工程围护结构受深厚淤泥不良地层制约, 按悬挂止水围幕进行设置。管桩施工时已完成了围护结构的打入及降水作业。此时, 基坑范围内的深厚淤泥层在荷载和降水的作用下, 较围护外的淤泥层自重大, 土体内部应力增大。出现淤泥层深处外流现场, 当管桩施工时, 特别是临近基坑侧排桩, 在此流动土层中打入极易出现倾斜或断桩。

在主体结构施工完成后进行围护结构拔出且停止降水时, 基坑中变压缩的深厚淤泥层上顶, 产生上拔负作用力

应对措施: 围护结构应先停止降水时后拔出支护桩, 降水井应分区分段缓慢停抽, 使压缩层的应力缓慢释放; 避免出现上拔力突变, 破坏管桩(特别是接头)。在拔出围护桩时, 采用跳桩法进行拔出, 避免出现一次性大面积内外淤泥对流。

五、结论

在福建特别是临河临海区施工管桩时, 应慎之又慎, 综合考虑工程所处地质情况、围护结构、上部结构加载等一系列因素, 才能进行管桩施工, 否则极易出现安全质量事故。

本工程在经过以上一系列分析和应对措施的整理后, 在后续工程的推进, 未发现管桩出现问题。可作为相似工程技术人员参考。

参考文献

[1] 刘晓辉. 降低深厚淤泥地层灌注桩扩孔系数的施工措施. 建筑理论, 2022-09.