

探讨桥台水平位移问题的解决

尹成

安徽省城建设计研究院股份有限公司

摘要: 随着安徽划入泛长三角地区, 国家重点优化沿江城镇化格局, 无为市地处安徽省中部, 位于长江北岸, 总面积为2083平方公里, 随着无为城市发展, 在社会经济和城镇建设等方面都取得了长足的进步。城市基础设施对城市开发建设具有极强的引导左右, 市政道路桥梁的建设能有效完善区域路网, 对提高附近人民出行条件、生活水平以及引导周边地块开发建设的启动起到举足轻重作用。道路桥梁的设计、施工质量关乎整个工程全生命周期。本文结合实际案例从设计与施工的角度分析桥台水平位移出现的原因, 并提供相应的对策。

关键词: 软基; 桥台; 位移; 原因; 方法

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2023.02.057

一、工程概况

(一) 场地条件

1. 工程地质条件。据钻探揭露, 场区覆盖层主要由素填土(压实填土)及第四系全新统淤泥质黏土、粉质黏土和砂层组成, 基岩归属于白垩系砂岩(埋深约70米)。各地层岩性特征自上而下描述如下: 第①

层: 素填土。为压实填土, 由黏性土组成, 褐黄色, 稍密, 含有少量有机物, 局部地段含少量建筑垃圾。层厚为1.3~8.3米, 层面标高为7.84~14.73米。第②层: 淤泥质黏土。深灰色, 很湿, 呈流塑至软塑状, 含有少量有机物。层厚为2.15~9.10米, 层面标高为-2.50~6.28米。其中1、7、8号孔缺失。第③层: 粉质黏土。深灰、青灰色, 湿, 呈软塑至软可塑状, 局部包含粉土。层厚为0.75~5.70米, 层面标高为-5.70~3.73米。其中1、9、jk2号孔缺失。第③-1层: 粉质黏土。灰黄色, 稍湿, 呈硬可塑至硬塑状。层厚为2.45米, 层面标高为8.89米。仅见于1号孔。第④层: 粉细砂。青灰、灰黄色, 饱和, 呈松散至稍密状, 以稍密状为主, 局部包含粉土和粉质黏土。层厚为0.60~13.65米, 层面标高为-5.70~6.44米。第⑤层: 中砂。青灰、灰黄色, 饱和, 呈中密至密实状, 30米以下全部呈密实状。局部为粉砂(颗粒含量接近中砂)和粗砂。该层未钻穿, 最大揭露厚度为33.4米, 层面标高为-13.90~1.83米。

2. 岩土参数的分析与选用

天然地基设计参数

岩土名称及编号	凝聚力KPa	摩擦角	压缩模量Mpa	天然容重 (t/m ³)	容许承载力kpa
①素填土(压实填土)	*20	*12	*4	*1.85	130
②淤泥质黏土	8	7	2.6	1.67	65
③粉质黏土	15	13.5	5	1.85	120
③-1粉质黏土	70	18	12	1.95	200
④粉细砂	*2	*15	*7	*1.80	130
⑤中砂	*0	*30	*15	*1.90	260

桩基设计参数

岩土名称及编号	钻孔灌注桩		水泥土搅拌桩
	m (MN/m ⁴)	qsik (kpa)	qsi (kpa)
①素填土	6	/	/
②淤泥质黏土	4	25	8/
③粉质黏土	6	50	12
③-1粉质黏土	20	80	18
④粉细砂	8	25	15
⑤中砂	20	60	20

(二) 工程设计概况

无为市天柱山东路穿湖段工程, 规划为城市主干路, 道路红线宽55m。双向8车道, 西起港口路, 东至秦潭路, 总长约1.65km, 设置桥梁2座。其中西桥采用5x25m变高度预应力混凝土连续梁, 全长138.08m, 横断面分两幅, 每幅总宽24.0m, 镂空7.0m。桥台采用轻型台、承台桩基础, 2排φ1.0m钻孔灌注桩呈梅花形布置。桥台基础采用“桥梁博士V1.0”进行计算分析。

1. 荷载组合:

组合工况	荷载组合
组合①	自重+沉降+人群活载+台后土压力(考虑台后汽车荷载)+其他水平力(制动力、温度力、摩阻力的不利组合)+梯度温度
组合②	自重+沉降+台前汽车活载+人群活载+台后土压力+其他水平力(制动力、温度力、摩阻力的不利组合)+梯度温度
组合③	自重+沉降+人群活载+台后土压力+其他水平力(制动力、温度力、摩阻力的不利组合)+梯度温度

2. 计算假定: (1) 台后软基变形稳定后, 再施工桩基, 不需考虑软土向台前产生的粘塑性变形, 软土层的m值按勘察报告计; (2) 计入场地填土造成的负摩阻力作用。

3. 桥台软土层最厚的ZK63钻孔地质情况

岩层序及土名称	f_{a_0} (kPa)	地基土比例系数 m 和 m_0 值 (KN/m ⁴)	渗透系数 K (cm/s)	压缩模量 E_s (MPa)
第2层淤泥质粉质黏土	60	3000	2.0×10^{-6}	2.5
第4层细砂	200	8000	(5×10^{-3})	11
层序及土层名称			钻孔灌注桩 q_{ik} (kPa)	
第2层淤泥质粉质黏土			12	
第4层细砂			40	

4. 计算结果：承台和桩基计算的各项结果均满足要求。

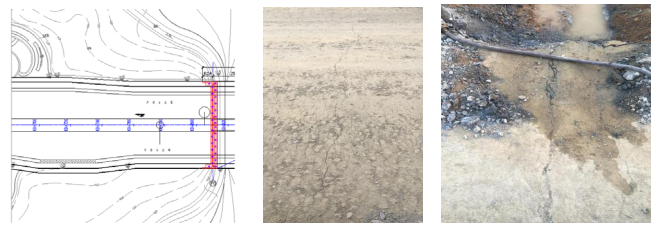
(三) 施工现场

1. 主要施工流程：

(1) 2019年12月19日-2019年1月25日，西侧路基K0+649~K0+700段水泥搅拌桩施工；(2) 2019年12月25日~2019年2月1日，西侧路基K0+700~K0+809段水泥搅拌桩施工；(3) 2020年2月20日~2019年3月18日，西侧路基桥头7m范围水泥搅拌桩施工；(4) 2020年3月15日~2019年4月30日，东侧路基水泥搅拌桩施工；(5) 2020年6月4日~2019年8月27日，路基填筑施工；(6) 2019年12月1日~2020年1月15日，桥墩桩基施工；(7) 2019年12月18日~2020年1月16日，桥台桩基施工；(8) 2020年3月9日~2020年3月31日，桥台承台施工；(9) 2020年3月15日~2020年4月27日，桥墩承台施工；(10) 2020年3月21日~2020年4月13日，桥台墙身施工；(11) 2020年4月16日~2020年6月4日，桥墩墩柱施工；(12) 2020年5月7日~2020年6月10日，支架平台换填硬化；(13) 2020年5月15日~2020年8月5日，支架搭设及预压；(14)

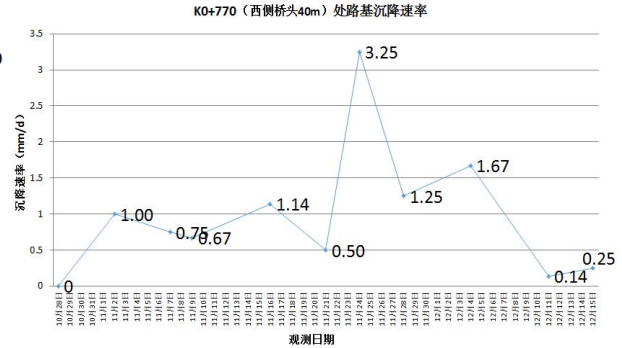
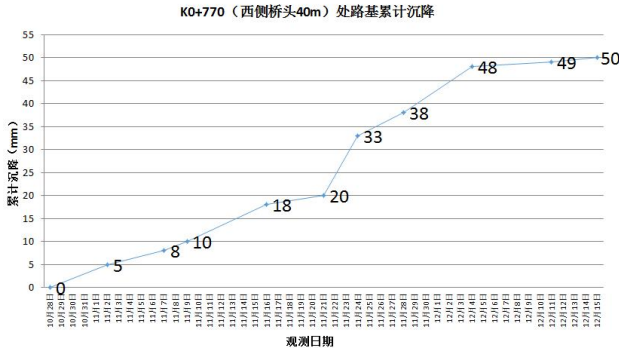
2020年6月4日~2020年8月2日，第一次台背回填；(15) 2020年7月25日，第一次发现P0桥台位移；(未上报) (16) 2020年8月18日~2020年10月16日，箱梁浇筑施工；落架后施工耳背墙；(17) 2020年10月26日~2020年11月21日，第二次台背回填。

2. 道路出现裂缝：西侧桥头约60m, 70m, 90m处出现三条横向贯通裂缝。现场将存在裂缝处的水稳层挖除后未在路基上发现明显裂缝。



位置 初期裂缝 发育后裂缝

3. 路基沉降：施工单位于2020年10月28日委托第三方监测单位对天柱山东路道路进行沉降监测。



4. 桥台出现位移：

(1) 施工单位于2020年7月25日第一次填土，发现台身水平位移约4cm；台前、后填土高差约4.6m。(2) 主梁落架后，桥台不再发生明显水平位移。P0桥台累计向河道方向移动8.6cm，P5桥台累计向河道内方向移动7.6cm。(施工单位提供的数据)。(3) 桥台背墙呈向河道方向微倾状态，上下偏差约6mm。(4) 2020年12月15日测量承台角点坐标，经核对，P0台与设计位置偏差17~23cm，P5台与设计位置偏差6~18cm。

(5) 台后卸土后，台身与承台相交处未发现明显裂缝。(6) 桥梁墩台沉降较为平均，为整体沉降。

二、问题原因分析

(一) 路面裂缝的原因

(1) 因工期要求，路基填筑周期未按设计要求(8个月)进行；(2) 路基沉降尚未稳定，尚在发展期，导致路面水稳层出现多条横向裂缝。

(二) 桥梁水平位移的原因

1. 施工顺序有误，导致软土层发生水平变形，对桩基产生挤压力；

(1) 搅拌桩施工对桩基的影响。承台未施工，群桩中的桩基是独立的，其水平抗推刚度很低，抵抗变形能力很差，搅拌桩从路向桥的方向逐步施工，软土的水平变形可能累积到桥头处。而软土是高灵敏性土，施工不当会破坏原状土的性能，加剧这种趋势。搅拌桩施工结束后，桥梁桩基可能产生初始水平移动，并使桥前软土层更加软弱。采用有限元软件，模拟一段55m长的软土地基，采用搅拌桩加固，经计算，桥头处的软土会发



发现位移时的填土状态

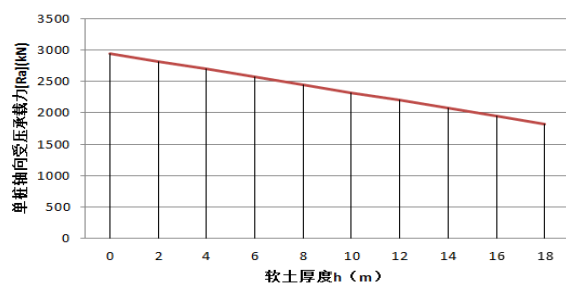
现场照片

生约1cm的水平变形。

(2) 承台、台身施工结束，上部结构未施工，路堤快速填土。台身完工后，迅速施工路基填土，台前、后的荷载差值，导致了软土层产生水平变形，对桩基产生横向挤压作用；随着固结沉降，挤压作用达到极限状态。按地勘报告提供的m值，考虑挤压作用对桩基的影响，经计算，桩顶位移为4.0cm。当软土层发生水平塑性变形后，实际的m值会减小，淤泥质土层厚度按11m计，桩顶位移与m值的关系，如下图所示：可见，随着m值下降，桩顶位移会越来越大，但是由于土是一个复杂的散粒体，受含水量、排水条件、施工扰动程度、气候环境、初始应力等众多因素影响，无法准确确定。

2. 路堤填土过快，导致软土层失稳。如果路堤填土过快，超过了加固土体的强度增长速度，可能会导致软土发生失稳破坏，此时，桥梁桩基就相当于抗滑桩，会产生较大水平变形。

3. 搅拌桩质量不良，导致台后软土层力学性能不



根据上图可见，随着软土层厚度增加，桩基竖向承载力不断下降。桩顶水平位移是先快速增加，后趋于稳定。

桥台发生水平位移，可能是以上多种原因共同导致的，但是基于上述论点，施工顺序不合理、施工周期短是主要原因。对于软土来说，实际沉降、水平位移往往会比计算值偏大，主要采取合理的施工组织、恰当的工期安排，才能有效避免带来的病害。如果工期受限，可以通过增加投资、变更设计方案、改进施工工艺来达到要求。

三、处理方案分析

(一) 道路专业

1. 近期处理方案

(1) 对灰土裂缝处采用压密注浆方式进行处理，具体为沿水稳裂缝方向每隔1米设置一个注浆孔，因水泥搅拌桩顶有30cm碎石垫层，为防止浆液沿碎石垫层流走，注浆孔底标高控制在水泥搅拌桩顶以上1米处（标高11.0m）。(2) 切除下基层和底基层裂缝处水稳，采用C15混凝土进行回填，底基层设置钢筋网片，处理宽度为裂缝两侧各外延1米，上基层与下基层之间铺设玻纤格栅，宽度为裂缝两侧各2.5m。(3) 在施工范围起终点设置软基沉降警示牌。

2. 远期处理方案

继续对此路段进行沉降观测，直至连续2个月沉降量小于5mm/月后，对出现裂缝段道路结构层拆除重做。

(二) 桥梁专业

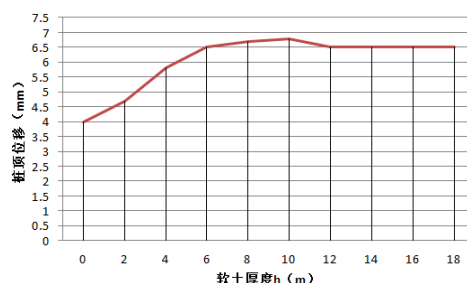
(1) 增设桩基础，扩大承台，新旧承台采用植筋连接。根据施工单位提供的观测数据，桥台沉降约33mm，为了减少新建桩基的沉降，新建桩基进行桩底后

足，增大了桩基的水平力。道路图纸对搅拌桩有多项要求，包括桩基进入稳定土层0.5m以上，复合地基承载力大于130KPa等等。如果搅拌桩质量有缺陷，达不到此要求，会产生较大的变形，使台后加固土体力学性能下降，桩基承受一定的挤压力。

4. 勘察报告与实际地层有误差。根据桥梁图纸设计说明要求：“桩基施工前，必须对施工图和地质报告进行详细、全面的了解，确保工程质量，若遇地质实际情况与地质详勘报告有较大出入或遇到异常情况时，须及时向建设单位、施工监理、设计单位及相关部门汇报，以商讨有效解决办法。”

施工配合期间，未得到此类反馈，但是考虑到软土层厚度增大会影响桩基的水平位移，分析此因素对桩基水平位移的影响程度。

计算假定：台后软土进行了加固，并按规范要求预压沉降稳定后，再施工桥梁桩基。此时，路基填土的附加应力已经在土层中扩散，土体变形稳定，不会对桩基产生过多的挤压作用。



压浆，主要技术要求如下：(1) 水泥强度等级不得小于42.5，水泥浆的配合比应经过试验确定。(2) 利用桩基声测管进行后压浆。桩身混凝土浇筑后应及时采用高压水冲洗压浆管，疏通压浆通道，在桩基完成完整性检测以后完成压浆。(3) 桩底后压浆采用压浆量与压力双控，以压浆量为主，压力为辅。压力为3.5MPa，压浆量为2.7t，其他要求按《公路桥涵施工技术规范》执行。(2) 台后换填轻质材料。通过减轻上部填土重量，来降低基底附加应力水平、提高地基的稳定性、减少沉降和减小台后土压力作用。具体施工流程：基底处理→级配碎石垫层+土工布→安装模板→泡沫制作→混合料搅拌→泵送浇筑→养护→混凝土基层及路面结构施工。材料要求：水泥的强度等级应为42.5级及以上；发泡剂应无明显沉淀物，对环境无不利影响，宜采用表面活性类发泡剂。施工需专项配套设备。

(3) 伸缩缝：局部不满足缝宽的背墙进行凿除重建。(4) 成桥后做静、动载试验。

四、结语

软土地段桥台的水平位移问题在实际工程中特别是在软土较厚的沿江地质地区经常出现，不仅仅在施工阶段，在前期勘察、设计阶段均应当予以重视，针对各种具体环境，采用适当措施，使桥台具有足够的稳定性。

参考文献：

- [1] 袁洪. 公路桥涵地基与基础设计规范 (JTG 3363-2019) 2020-4-1实施.
- [2] 袁顺亮. 桥梁分阶段施工要点分析[J]. 科技世界, 2014, 14.
- [3] 万志勇, 兰南. 浅谈软土地段桥台的水平位移问题[J]. 山西交通科技, 2003 (000) 001.