

南昌市沿江北快速路工程地基处理方案研究

胡辉 曾天宝

南昌市城市规划设计研究总院集团有限公司

摘要：针对南昌市沿江北快速路工程范围存在软弱土层问题，进行换填法、强夯法、深层水泥搅拌桩法、高压旋喷桩法等不同处理方案的优缺点进行综合比较和研究，最终对地基采用深层水泥搅拌桩法进行处理，桩径为0.7m，间距为1.7m，桩长按进入粉质黏土层至少1.0m控制。经计算，本工程水泥搅拌桩的单桩承载力要求不小于150kN，复合地基承载力要求不小于140kPa。快速路已运行8年，从后期的运行情况来看，本工程在后期的运行中并未出现沉降，地面开裂等情况，地基处理是成功的。

关键词：城市快速路；地基处理；深层水泥搅拌桩法

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.24.049

一、引言

城市快速路是一个城市的交通主通道，由于城市快速路的建设常受规划用地、现状条件及城市交通量的影响，造成快速路的选址常处于城市外围且软弱土层区域，软弱路基处理成为城市快速路建设中一个经常遇到的问题。本文以南昌沿江北快速路为例，该工程位鱼塘、沼泽地、农地及工厂等复杂地质情况，路基范围内的软土具有天然含水量大、物理力学性质差、强度低、压缩性大和易受扰动影响等不良特性。根据现场实际条件，采用合理的方案对地基进行处理，提高路基强度、减少软弱土层的压缩性，是工程的建设重难点，本工程的处理实例可为其他快速路的软基处理提供一些经验。

二、工程概况

沿江北快速路工程西起英雄大桥，接现有英雄大桥南岸立交，沿富大有堤布置，东至学院五路，全长约12Km，为南昌市“十横十纵”干线线快速路（见图1）。工程场地地处扬子准地台，地貌为赣江河漫滩和赣江I级阶地，下卧基岩为第三系新余群紫红色粉质泥砂岩及青灰色泥岩。拟建道路主要沿富大有路防护堤延伸，走向以东西向为主，穿过现有工厂、水塘、村庄、田地，填方较厚，线路现有标高16.66~25.82米。



图1 沿江北快速路工程位置图

线路岩土层自上而下分别为：地表水、杂填土（ Q_4^{m1} ）、耕土（ Q_4^{pd} ）、素填土（ Q_4^{m1} ）、粉煤灰（ Q_4^{m1} ）、淤泥质粉质黏土（ Q_4^{a1} ）、粉质黏土（ Q_4^{a1} ）、细砂（ Q_4^{a1} ）、中砂（ Q_4^{a1} ）、粗砂（ Q_3^{a1} ）、砾砂（ Q_3^{a1} ）、强风化泥质粉砂岩（E）、中风化泥质粉砂岩（E）、中风化泥岩（E）、微风化泥质粉砂岩（E）。

现将各土层的性质分别描述如下：

第0层地表水：无色，线路水沟、水塘、低洼处有地表积水，受大气降水的补给影响。水深约1.10~0.30米，层顶标高25.83~15.33m。

第1层 杂填土（ Q_4^{m1} ）：灰褐色，松散状，稍湿~湿。村庄及附近钻孔填土主要成分以建筑碎石、砖块、砂等建筑垃圾组成，荒地主要填料为含泥质及其他杂物的中、粗砂等。沿线大部分钻孔见分布，层厚0.00~7.50m，层顶标高26.37~15.39m。

第2层 耕土（ Q_4^{pd} ）：黄褐色，稍湿~湿，呈松散状。为地表耕种土，含有植物根系。沿线农田中钻孔见分布，层厚0.00~0.80m，层顶标高22.97~15.81m。

第3层 素填土（ Q_4^{m1} ）：灰黄色，稍湿~湿。村庄、荒地及附近钻孔填土主要成分为含砂粉质黏土，松散状；堤坝主要填料为粉质黏土及中、粗砂等，由于填筑时间较长且受长期车辆碾压，已基本完成固结。层厚0.00~9.70m，层顶埋深7.00~0.00m，层顶标高

25.46~14.97m。

第4层 粉煤灰 (Q₄^{m1})：灰黑色，松散状，稍湿~湿。为发电厂等工厂排放、人工回填的工厂燃煤废料。沿线部分钻孔见分布，层厚0.00~2.70m，层顶埋深6.10~0.00m，层顶标高25.91~16.32m。

第5层 淤泥质粉质黏土 (Q₄^{a1})：灰黑色，呈流塑~软塑状态，达到饱和，并含有腐殖质，有腐臭味，为高压缩性土。多为水塘、水沟低洼处淤积土。主要为已回填的原有水塘、水沟及现有水沟、水塘处，成零星分布，顶面标高不一，层厚0.00~2.40m，层顶埋深10.10~0.30m，层顶标高25.53~12.27m。

第6层 粉质黏土 (Q₄^{a1})：棕黄色，可塑状为主，局部软塑、硬塑状，稍湿。以粉粒为主，稍粘，强度中等，中等压缩性，中等韧性，摇振反应无，稍有光泽。局部夹黏土或粉土薄层。层厚0.00~9.90m，层顶埋深18.10~0.50m，层顶标高25.35~10.99m。

第7层 细砂 (Q₄^{a1})：灰黄色，松散，稍湿~湿。上部含泥质，颗粒矿物成份主要为长石、石英、云母等，分选性好，级配较差，粒径大于0.075mm的颗粒占比约86%。厚度0.00~6.50m，层顶埋深18.0~1.3m，层顶标高21.34~5.95m。

第8层 中砂 (Q₄^{a1})：灰黄色，松散~稍密，稍湿~饱和。含少量泥质，颗粒矿物成份主要为长石、云母等，分选性一般，级配较差，粒径大于0.25mm的颗粒约60%。层厚0.00~7.20m，层顶埋深21.00~0.50m，层顶标高17.89~3.19m。

第9层 粗砂 (Q₃^{a1})：灰黄色，稍密，湿~饱和。分选性一般，级配较好，颗粒矿物成份主要为长石、云母等。粒径大于0.5mm的颗粒约65%。

沿线桥梁孔及少部分道路钻孔见分布，层厚0.00~9.00m，层顶埋深0.00~15.20m，层顶标高15.61~4.90m。

第10层 砾砂 (Q₃^{a1})：灰黄色，稍密，很湿~饱和。大于2mm的颗粒约占55~60%，亚圆形，矿物成份主要为长石、云母等，级配好，分选性较差，局部夹圆砾薄层。层厚0.00~21.90m，层顶埋深22.70~5.70m，层顶标高14.81~0.33m。

第11层 强风化泥质粉砂岩 (E)：棕红、黄红色，强风化，泥质胶结，粉砂质结构，裂隙极发育，表面风化呈土状和碎块状。属于软化岩石，岩石坚硬程度

属极软岩，岩体破碎。层厚2.00~0.80m，层顶埋深36.20~23.00m，层顶标高-4.53~-18.37m。

第12层 中风化泥质粉砂岩 (E)：紫红色，中风化，岩芯呈短柱状~柱状（长度15~70cm），粉砂质结构，泥质胶结，节理裂隙较发育。属软化岩石，岩石坚硬程度属软岩，岩石质量指标较好，岩体较完整，基本质量等级IV级。厚度20.10~10.10m，层顶埋深56.50~24.60m，层顶标高-5.53~-19.37m。

据《中国地震动参数区划图》(GB18306-2001)及《建筑抗震设计规范》(GB50011-2001)，本区抗震设防烈度为6度第一组，设计基本地震加速度值为0.05g，设计特征周期为0.35s。拟建道路范围内无深大断裂及活动断裂，区域稳定性良好。

表1 各种土层承载力基本容许值及物理力学指标值

土层编号及名称	承载力基本容许值 f _{a0} (KPa)	压缩/变形模量 (Mpa)	钻孔灌注桩	
			桩侧摩阻力标准值 q _{ik} (KPa)	岩石饱和单轴抗压强度标准值 (MPa)
杂填土	60	2.5	20	
耕土	55	3.0	15	
素填土①	80	3.5	25	
素填土②	65	2.5	25	
粉煤灰	60	2.0	30	
淤泥质粉质黏土	50	2.0	15	
粉质黏土	200	6.2	60	
细砂	120	6.0	20	
中砂	180	9.0	40	
粗砂	220	11.0	55	
砾砂	280	13.0	70	
强风化泥质粉砂岩	350		140	
中风化泥质粉砂岩	1000		220	6.42

三、地基处理方案比选

本工程需要处理的是上层的杂填土、耕土、素填土、粉煤灰、淤泥质粉质黏土等土层。常用的路基处理方法有换填法、强夯法、深层水泥搅拌桩法、高压旋喷桩法，选定以上4种处理方法，并分别从加固原理、适用范围、预期处理效果等优缺点方面进行分析和对比，方案比较见下表。

采用换填法处理，换填工程量大且在城区内无法找到这么大的场地堆放。采用强夯法处理，对赣江防洪堤及周边居民的影响大。采用高压旋喷桩处理，造价高，将大幅度增加本项目的建设成本。综上，本工程的地基

表2 地基处理方案比选

方案类型	1-换填法处理方案	2-强夯法处理方案	3-深层水泥搅拌桩法处理方案	4-高压旋喷桩法处理方案
适用范围	适用于浅层软弱土层或不均匀土层	适用于砂土、饱和度低的粉土、黏性土、素填土、杂填土等	适用于淤泥质土、淤泥、素填土、黏性土、粉土、砂土等	适用于、淤泥质土、淤泥素填土、黏性土、粉土、砂土、碎石土等
作用机理	采用砂石、粉质黏土、灰土等路基填筑材料对软弱土体换填，分层压实，使土体密实，提高地基土的承载力。	吊机将重锤吊起，然后让重锤落下，利用重锤的夯击能反复夯击地基土，将松散的土体的空隙减小，使土体密实，提高地基土的承载力。	利用深层搅拌机将水泥浆和地基原状土进行搅拌，凝结成圆柱状水泥土增强体；形成的复合地基，能提高整个地基的承载能力，减少沉降的作用。	利用高压喷射机械，在地基中通过高压喷射流冲切土体，用水泥浆置换部分土体，形成水泥土桩，形成复合地基，提高整个地基的承载能力，减少沉降。
优点	能彻底清理软弱土层，方法简单、可靠	层厚较小时加固效果显著，造价低	适用性广，施工机械简单，施工速度较快，加固效果较好，造价低。	适用性广，加固效果最好。
缺点	处理较深的软弱土层，需要较大的堆土场。购买换填的土体单价高、运距远。	对于土方含水量比较敏感，含水量高容易形成橡皮泥、弹簧土。处理效果一般。施工过程对周边建筑物有较大影响。	不适用于含有大孤石或含杂物较多且很难清除的填土，密实的砂性土。	造价高。

处理采用第三个处理方案：深层水泥搅拌桩法。

四、地基处理方案设计（深层水泥搅拌桩法）

本工程采用的深层水泥搅拌桩按等边三角形布置，桩径为0.7米，间距为1.7m，桩长按进入粉质黏土层至少1.0m控制。水泥选用普通硅酸盐水泥且强度等级为42.5级及以上，水泥用量为加固路基范围内土体质量的14%，（水塘部分可达到15%），水灰比为0.5，形成水泥土桩体的90d无侧限抗压强度不应小于1.5MPa，应针对现场路基范围内的土质进行水泥土配比试验，并可根据工期要求、现场土质情况添加外加剂或早强剂。桩顶设30cm厚的碎石褥垫层。设计采用理正岩土软件进行复核计算。28d无侧限抗压强度应大于1.0MPa。经计算，本工程深层水泥搅拌桩的单桩承载力大于150kN，复合地基承载力大于140kPa。

五、处理后的质量检验及观测（深层水泥搅拌桩法）

（一）质量检验

依据《建筑地基处理技术规范》及《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》，深层水泥搅拌桩复合地基质量检测应符合以下要求：

（1）水泥搅拌桩的质量控制必须贯穿于施工全过程，施工过程中须随时检查施工记录和计量记录。

（2）成桩3d内，采用轻型动力触探设备检查上部桩身的均匀性，检测数量为总桩数的1.0%且不得少于3根。

（3）成桩7d后，在停浆面下50cm处开挖桩头，同时目测检查搅拌桩的均匀性，并测量成桩直径，检查数

为总桩数的5.0%。

（4）成桩后第28d，检验单桩承载力和复合地基承载力，抽查的频率为总桩数的1.0%，且不得少于3处。工程检测载荷最大加载量不应小于设计承载力的2倍。

（5）对桩身质量进行复检，截取桩体试样进行无侧限抗压强度试验，抽检率为总桩数的0.5%，每处路段不得少于3根。

（二）沉降观测

为了控制施工过程中的路堤变形和稳定性以及了解道路运行后路堤的长期特性，路基应进行变形观测。变形观测内容主要包括软土地基的沉降与位移及路面工后沉降和时空分布。

主要观测方法有：沉降板观测、工后沉降观测、沉降观测频率。

六、结语

在当今城市快速路的建设中，需要进行地基处理的情况越来越多，而地基处理往往是城市道路路基处理的技术难题，本工程采用通过对南昌沿江北快速路的情况介绍、地基方案比选、采用深层搅拌桩的地基处理及处理后的情况介绍。快速路已运行8年，从后期的运行情况来看，本工程在后期的运行中并未出现沉降，地面开裂等情况，地基处理是成功的。

参考文献

[1]公路软土地基路堤设计与施工技术细则：JTG/T D31-02-2013[S]. 2013.

作者简介：胡辉（1982-12），男，硕士，高级工程师，从事道路工程设计工作。