

# 某公路红黏土软基地质场区振冲碎石桩治理方案的效果探讨

李想

育才-布朗交通咨询监理有限公司 湖南长沙 410076

DOI: 10.12238/jpm.v6i3.7768

**[摘要]** 为解决红黏土软基地质场区地基承载力低、工后沉降大等问题，提高路基整体稳定性，保证公路工程建设质量，本文以某新建高速公路项目为背景，针对场区内红黏土软基治理，提出振冲碎石桩加固方案，通过建立有限元模型，对红黏土软基振冲碎石桩加固效果实施模拟分析，并与现场实测数据进行比较，验证了模拟结果的可靠性。工程实践效果表明：采用振动碎石桩对红黏土软基实施加固处理后，地基沉降变形、孔隙水压显著降低，桩体单桩承载力及复合地基承载力满足要求，治理效果显著，可为后续同类项目软基加固提供参考。

**[关键词]** 高速公路项目；红黏土软基；振动碎石桩；治理效果评价

## Discussion on the effect of vibrating gravel pile in the field area of red clay soft base

Li Xiang

Yucai-Brown Traffic Consulting and Supervision Co., LTD.Hunan Changsha 410076

**[Abstract]** in order to solve the red clay soft base quality field foundation bearing capacity is low, after settlement, improve the overall stability, ensure the quality of highway engineering construction, in the paper of a new highway project as the background, to the red core gravel pile reinforcement scheme, through the finite element model of red clay soft foundation vibration blunt gravel pile reinforcement effect simulation analysis, and compared with the field measured data, to verify the reliability of the simulation results. The engineering practice effect shows that after the reinforcement of the foundation settlement deformation and pore water pressure are significantly reduced, the bearing capacity of single pile and the bearing capacity of composite foundation meet the requirements, and the treatment effect is remarkable, which can provide a reference for the soft foundation reinforcement of similar projects.

**[Key words]** highway project; red clay soft foundation; vibrating gravel pile; evaluation of treatment effect

## 引言

红黏土软基作为一种典型的不良地质，具有质地软、强度低、含水率大、易变形等特点，在高速公路建设中较为常见，处治不到位，极易引发路基沉降变形，严重影响公路运营安全。因此，

高速公路施工前，必须采取有效措施对地基实施加固处理，以增强地基承载能力，提高公路整体建设质量。振动碎石桩凭借施工简便、造价低、加固效果好等优点，在红黏土软基治理中应用广泛。为此，该文章结合具体工程案例，对振冲碎石桩加固效果进

行分析，对推动振冲碎石桩技术发展具有重要意义。

1 工程概况

某高速公路全长 25.8km，全幅路基宽 45.5m，中央分隔带宽 1.5m，左、右两幅单幅宽度为 22.0m，整体呈双向 8 车道布置，最高时速 120km/h。公路位于山岭重丘地带，沿线地形复杂，地势落差较大，地层分布以红黏土、淤泥质土为主，并且红黏土层含水率较大、强度低、稳定性差，极易产生失稳变形。

2 红黏土软基振冲碎石桩处治方案

现场勘查发现，该高速公路项目 K12+350~+580 段地层为红黏土软基，地下水位高，含水率大，强度较低，承载力难以满足施工需要。因此，为改善红黏土软基承载性能，经综合研判，决定采取振冲碎石桩加固方案，确保软基加固后，其承载力不低于 160kPa，工后累计沉降变形不超过 30cm。

根据该高速公路项目特征，并结合现场具体状况，科学制定振冲碎石桩处治方案：桩基直径为 50cm，长度 20m，呈梅花

型布设，桩距、排距均为 1.5m。碎石桩材料采用优质花岗岩碎石，颗粒大小介于 20~40mm。桩基施作成型后，在顶部铺设褥垫层，厚度为 50cm，并在其内部设置一道土工格栅，以增强结构整体承载能力。红黏土软基加固时，其加固区域应超出路基边坡坡脚至少 2m，且在边缘部位增设钢筋混凝土挡墙。

3 建立模型

3.1 原地基设计参数

根据该项目实际情况，选取 K12+350~+550 路段代表性断面进行综合探究。该路段填方高度 8.0m，路基顶部宽 38.5m，边坡坡度 1:1.5。由于该道路左、右两幅呈对称分布，为简化计算，选取左半幅路基进行模拟分析，路基顶部宽 19.25m，边坡坡度 1:1.5。

3.2 计算参数

通过实地勘查，并现场提取岩土试样进行试验测试，获得各种材料主要技术指标，见下表 1。

表 1 各种材料主要技术指标值

| 项目    | 厚度 (m) | 容重 (kN/m³) | 模量 (MPa) | 黏聚力 (kPa) | 内摩擦角 (°) |
|-------|--------|------------|----------|-----------|----------|
| 填土层   | 8.0    | 23.6       | 17.6     | 29.5      | 31.5     |
| 褥垫层   | 0.5    | 22.7       | 21.2     | /         | 38.0     |
| 红黏土①  | 3.6    | 16.9       | 11.4     | 18.0      | 19.0     |
| 红黏土②  | 4.5    | 17.3       | 9.2      | 11.5      | 15.0     |
| 红黏土③  | 7.9    | 17.4       | 21.4     | 13.0      | 21.0     |
| 振冲碎石桩 | 20.0   | 24.6       | 21.3     | /         | 38.5     |

3.3 边界条件

现场勘查显示，红黏土软基底部地层为基岩层，结合实际情况设置边界约束。其中，底部限制 X、Y、Z 三向位移，顶部呈自由状态，侧面仅限制 X、Z 向位移，Y 向不设限制。

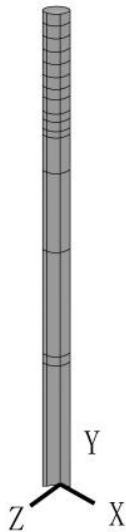


图 1 碎石桩模型

3.4 网格划分

根据该项目实际情况，建立数值模型，并合理划分网格单元。为最大限度确保模拟结果准确性，本研究选用十节点四面体单元实施模拟分析。碎石桩模型，见图 1。

3.5 加载工况模拟

根据现场实际施工情况，路基采取分层方式进行填筑施工，共分为 10 层，各层填筑时间为 10d，共计 100d。数值模拟严格按照该工况条件进行加载，通过计算获得工后 3 年路基累计沉降变形数据，见下图 2。

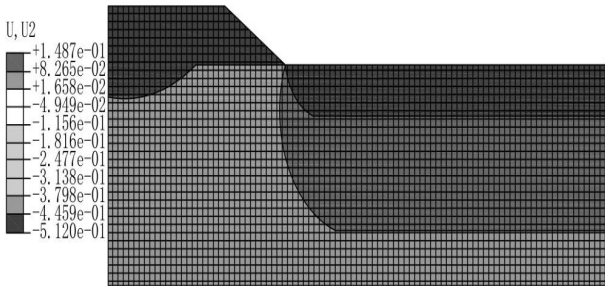


图 2 工后 3 年路基沉降变形示意

从上图 2 看出: 工后 3 年路基产生较大沉降变形, 其中道路中心线及路肩部位累计沉降变形分别为 62.39cm 和 39.71cm, 会导致路面开裂。同时, 工后 3 年地基累计沉降变形达 34.59cm, 超出规范允许值 30cm, 所以该地基承载力达不到标准要求, 需采用振冲碎石桩实施加固。

#### 4 处治效果分析

##### 4.1 地基沉降及孔隙水压变化

为探究红黏土软基地质场区振冲碎石桩加固效果, 通过数值模型对路基填筑成型后地基沉降及孔隙水压实施模拟计算, 并根据计算结果制作地基沉降变形及孔隙水压变化曲线, 具体见下图 3、图 4。

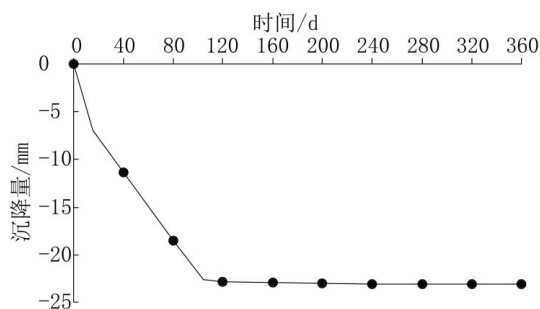


图 3 工后地基沉降变形曲线

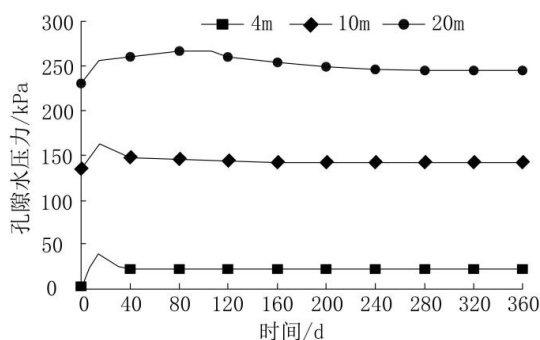


图 4 地基孔隙水压力变化曲线

由图 3 可知: 地基工后累计沉降变形初期阶段增加幅度较大, 后续随着时间的推移增幅显著下降, 并逐步达到稳定状态。其中, 工后 100d 范围内, 地基沉降变形急剧增大, 平均日沉降量高达 0.236cm; 工后 100d 后, 沉降变形增加速度显著降低, 由工后 100d 至 360d 期间, 地基累计沉降变形只增大 0.8cm, 并且自工后 150d 后, 地基累计沉降值未发生变化, 表明该条件下地基已达到稳定状态。此时, 地基累计沉降值为 23.2cm, 未超出规范允许值 30cm, 充分表明通过碎石桩对红黏土软基实施加固处理后, 地基承载能力显著增大, 有效控制地基沉降。

由图 4 可知: 1) 深度越大, 地基孔隙水压越大, 并且随时间推移, 工后地基孔隙水压越来越小; 其中, 碎石桩加固深度范围内孔隙水压下降速率较大, 加固深度范围外孔隙水压下降速率较小。2) 地基深度 4.0m、10.0m 处工后孔隙水压下降

速率较大, 于工后 60d 时基本达到稳定状态, 并且后期未产生较大改变。而地基深度 20m 处, 工后孔隙水压下降速率较小, 于工后 150d 后基本趋于稳定, 主要是由于该地基深度大于碎石桩加固深度, 碎石桩无法发挥效用。3) 相较于地基深度 4.0m、10.0m 处, 地基深度 20.0 处孔隙水压下降速率较小, 表明通过碎石桩对软基实施加固后, 其内容孔隙水压下降速率增大, 地基稳定性提高, 取得了较好的加固效果。

##### 4.2 单桩承载力分析

为检验碎石桩单桩承载能力, 通过数值模型对各种加载工况下桩基沉降变形实施模拟计算, 得到桩基沉降变形规律曲线, 见下图 5。

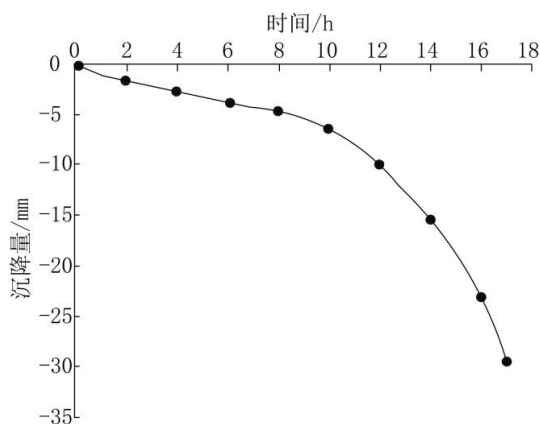


图 5 桩基沉降变形规律曲线

同时, 为验证模拟计算准确性, 现场选取桩基进行单桩承载力测试, 按照现行《桩基承载力试验规程》相关规定逐级施加荷载, 根据该项目桩基承载力设计要求, 共分 9 级施加荷载, 首级加载 50kN, 后续按照 25kN 逐级递增, 总荷载 250kN。通过现场试验测试获得桩基 Q-S 变化曲线, 见下图 6。

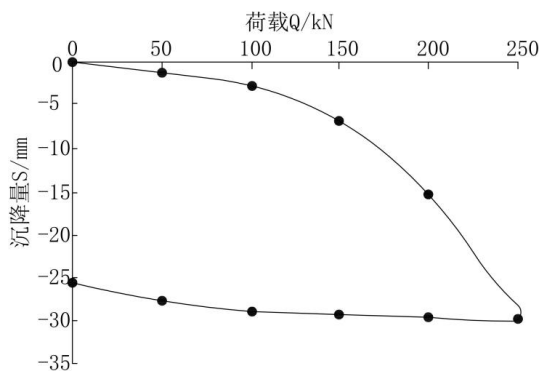


图 6 桩基 Q-S 变化曲线

由图 5、图 6 可知: 1) 碎石桩模拟试验显示, 随着桩顶荷载的不断增大, 桩基顶部沉降变形越来越大, 最大累计沉降变形为 29.36mm, 未超过标准允许值 40mm, 表明桩基单桩承载能力符合要求; 2) 现场试验检测显示, 随着桩顶荷载的增加, 桩基沉降变形越来越大, 其最大沉降变形为 29.69mm, 未超过

标准允许值 40mm, 桩基单桩承载力符合要求。由此可见, 数值模拟计算结果与现场实测结果基本一致, 验证了数值模拟结果的有效性, 并进一步证明桩基单桩承载力符合要求。

#### 4.3 复合地基承载力分析

通过数值模型对各种加载工况下复合地基沉降变形实施模拟计算, 获得沉降变形规律曲线, 见下图 7。同时, 通过现场试验对复合地基沉降变形实施检测, 根据该项目桩基承载力设计要求, 共分 9 级施加荷载, 首级加载 64kN, 后续按照 32kN 逐级递增, 总荷载 320kN, 经试验测试获得复合地基 P-S 曲线, 见下图 8。

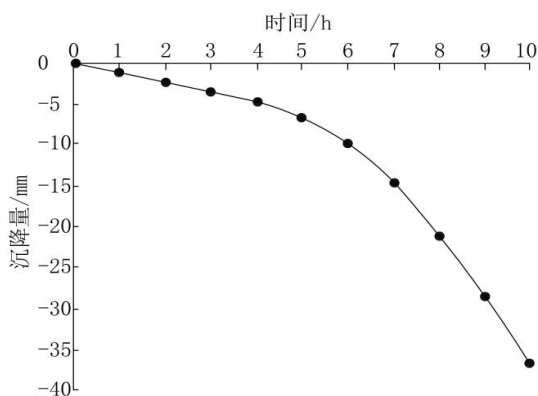


图7 复合地基沉降变形规律

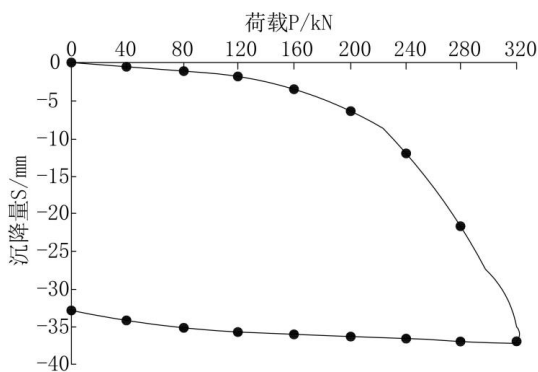


图8 复合地基 P-S 变化曲线

由图 7、图 8 可知: 1) 复合地基承载力模拟试验显示, 随着荷载的不断增大, 复合地基沉降变形越来越大, 最大累计沉降变形为 36.59mm, 未超过标准允许值 40mm, 表明复合地基承载力符合要求; 2) 现场试验检测显示, 随着荷载的增加, 复合地基沉降变形越来越大, 其最大沉降变形为 36.69mm, 未超过标准允许值 40mm, 复合地基承载力符合要求。由此可见, 数值模拟计算结果与现场实测结果基本一致, 充分证明振冲碎石桩加固红黏土软基的可行性。

#### 结语

综上所述, 本文结合高速公路案例, 通过数值模型对红黏土软基地质场区振冲碎石桩加固效果实施模拟分析, 并与现场

实测数据进行比较, 验证了振冲碎石桩加固方案的可行性, 得出结论如下:

(1) 采用振冲碎石桩对红黏土软基进行加固处理后, 地基工后沉降及孔隙水压显著降低, 表明碎石桩能有效提升地基承载性能;

(2) 桩基单桩承载力检验时, 桩基沉降变形模拟与现场实测值基本一致, 且均未超出标准允许范围, 表明桩基承载力符合要求;

(3) 采用振冲碎石桩对红黏土软基进行加固处理后, 复合地基沉降模拟值与实测值依次为 36.59mm、36.69mm, 相差较小, 验证了数值模拟结果的准确性, 并进一步证明振冲碎石桩加固红黏土软基的可行性。

#### [参考文献]

- [1]于健, 刘丹忠, 林治佳, 等.振冲碎石桩联合堆载预压地基处理工艺在复杂地层中的应用[J].中国港湾建设, 2022, 42(01): 48-51;
- [2]翁振荣.浅谈水泥粉煤灰碎石桩(CFG 桩)复合地基施工技术在软基处理中的应用[J].黑龙江交通科技, 2021, 44(12): 268-269;
- [3]邵宗鹤.碎石桩结合反压护道法在公路软基处理中的应用[J].工程建设与设计, 2021, (03): 180-182;
- [4]徐俊, 韩文喜, 魏浩, 等.碎石桩联合 PVD 软基处理效果数值模拟[J].建筑结构, 2020, 50(S2): 679-684;
- [5]刘承银, 于罗斌, 李红.非洲红黏土强度及变形特性研究[J].公路交通科技(应用技术版), 2020, 16(05): 25-29;
- [6]王磊, 熊灵阳, 何小军, 等.广西大新红黏土工程地质特性及路基处治措施[J].铁道工程学报, 2024, 41(04): 13-17;
- [7]冯学茂, 谢治, 陈成华, 等.考虑双孔结构影响的压实红黏土持水特性及数学模型研究[J].铁道科学与工程学报, 2024, 21(06): 2305-2316;
- [8]葛宏盛, 刘丽萍, 汪朝明, 等.玄武岩纤维改良华东地区红黏土的工程适用性分析[J].河北地质大学学报, 2024, 47(01): 78-85;
- [9]高乾丰, 吴昕阳, 曾铃, 等.红黏土裂隙湿化自愈行为及强度影响机制[J].中国公路学报, 2024, 37(06): 157-168;
- [10]邓韬, 麻宝平, 邹永辉, 等.红黏土备样方法对路用指标的影响[J].路基工程, 2022, (06): 90-95.