

管桩加固软土地基路堤减沉效果分析

陈渊伦¹ 赵爱忠²

1 桂阳县交通建设质量安全监督站, 湖南 郴州 424400

2 湖南宇康工程建设有限公司, 湖南 郴州 424400

[摘要]为分析管桩加固软土地基路堤的减沉效果, 分别对管桩加固前后的软土地基路堤沉降进行计算。结果表明, 管桩能有效减少软土地基沉降, 加固后的路堤沉降量约为加固前的十分之一, 且加固后的路堤能快速完成沉降, 在施工完成后沉降相对较小。管桩桩长、桩径和桩壁厚度对淤泥质软土地基沉降均有明显影响, 随着桩长、桩径和桩壁厚度增大, 淤泥质软土地基路堤沉降量逐渐减少, 随着桩间距的逐渐增大, 淤泥质软土地基沉降量逐渐增大。

[关键词]管桩; 软土地基; 路堤; 沉降

DOI: 10.33142/ec.v6i8.9141

中图分类号: TU47

文献标识码: A

Analysis of the Effect of Reducing Settlement of Embankment on Soft Soil Foundation Reinforced by Pipe Piles

CHEN Yuanlun¹, ZHAO Aizhong²

1 Guiyang County Traffic Construction Quality and Safety Supervision Station, Chenzhou, Hunan, 424400, China

2 Hunan Yukang Engineering Construction Co., Ltd., Chenzhou, Hunan, 424400, China

Abstract: In order to analyze the settlement reduction effect of pipe pile reinforcement on soft soil embankments, the settlement of soft soil embankments before and after pipe pile reinforcement was calculated. The results showed that pipe piles can effectively reduce the settlement of soft soil embankments, and the settlement of the reinforced embankment is about one tenth of that before reinforcement. The reinforced embankment can quickly complete settlement, and the settlement is relatively small after construction is completed. The length, diameter, and thickness of the pipe pile have a significant impact on the settlement of the muddy soft soil foundation. As the length, diameter, and thickness of the pile increase, the settlement of the muddy soft soil foundation embankment gradually decreases. As the distance between piles increases, the settlement of the muddy soft soil foundation gradually increases.

Keywords: pipe piles; soft soil foundation; embankment; settlement

引言

随着我国经济快速发展, 公路工程大量建设, 不可避免碰到各种地质条件的基础, 东部沿海地区是我国经济发达的聚集区, 公里交通等设施非常密集, 软土是我国东部沿海地区常见的特殊土体, 由于其承载力低、孔隙率大以及固结沉降缓慢等特点^[1-3], 因此没有经过处理的淤泥质软土地基承载能力非常差, 难以满足路堤的建设标准, 软土沉降固结过程分为主固结沉降和次固结沉降两个过程, 而自然条件下软土地基沉降完成通常需要数年之久, 这使得软土地基在工程完成后很长一段时间仍在持续的沉降, 从而产生较大的沉降, 并且由于路堤荷载和地层的差异还会使得淤泥质软土地基路堤产生不均匀沉降。公路施工对于工后沉降有非常严格的要求, 如何对软土地基进行处理进而有效控制路堤工后沉降是目前的亟待解决的问题。

软土地基处理方式有多种, 主要有换填、堆载预压、真空预压、电渗、碎石桩、管桩等方式^[4-6], 主要从将软土替换为承载力更高的土、加固软土固结沉降以及通过复合地基或桩基础的理念由桩来承受主要荷载, 从而提高软

土地基承载能力减少地基沉降变形。管桩是一种方便高效的软土地基处理方式, 在软土地基处理工程中应用广泛, 众多专家学者也对其开展了大量的研究。问建学等^[7]对管桩处理超厚软土地基进行了研究, 分析了不同弹模对管桩复合地基不均匀沉降的影响, 并提出了一种新型的处置方案。刘海兵^[8]对管桩处理软土地基的拱效应开展了研究, 结果表明群桩可明显提高桩间土的承载能力, 当桩端刺入会破坏土拱效应, 使得桩间土承载能力极速降低。李文勇等^[9]采用指数函数模型对管桩荷载-沉降关系曲线进行预测, 结果表明采用指数函数模型预测结果与实际结果基本一致, 可以作为类似工程预测沉降的参考。

本文对管桩加固软土地基路堤沉降情况进行分析, 分析了管桩加固前后, 软土地基路堤路面竣工时以及路面竣工后 166 个月后的沉降情况, 并对软土地基路堤加固前后路堤沉降随时间变化规律进行分析。此外为对管桩加固进行优化设计还对不同长度、直径、管桩壁厚以及桩间距的管桩加固软土地基进行计算, 分析了软土地基沉降随管桩长度、直径、壁厚和桩间距的变化规律。

2 计算原理

计算采用 Mohr-Coulomb 理想弹塑性模型的破坏准则, 可通过如下方程式进行表示^[10]:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} \sin \phi + c \cos \phi \quad (1)$$

其中, σ_1 和 σ_3 分别为最大和最小主应力, c 为淤泥质软土的粘聚力, ϕ 为淤泥质软土的内摩擦角。

预制管桩与淤泥质软土间的相互作用可以通过切向和法向弹簧来表征, 假定弹簧按照线弹性变化, 应力与应变的关系可通过如下方程式进行表示:

$$\{\sigma\} = [K]\{\omega\} \quad (2)$$

其中,

$$\{\sigma\} = \begin{Bmatrix} \sigma_n \\ \tau_{s1} \\ \tau_{s2} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

$$[K] = \begin{bmatrix} k_n & 0 & 0 \\ 0 & k_{s1} & 0 \\ 0 & 0 & k_{s2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\{\omega\} = \begin{Bmatrix} du \\ dv_1 \\ dv_2 \end{Bmatrix} \quad (5)$$

式中, σ_n 、 τ_{s1} 、 τ_{s2} 分别表示预制管桩与淤泥质软土接触面上的法向及切向应力, du 、 dv_1 、 dv_2 分别表示预制管桩与淤泥质软土接触面产生的法向位移及两个方向的切向位移, k_n 、 k_{s1} 、 k_{s2} 分别表示预制管桩与淤泥质软土接触面法向刚度系数及两个方向的切向刚度系数。

3 计算模型与参数

某路堤穿越软土地基, 地基属于第四系全新冲积、海相沉积淤泥或淤泥质土地层, 土体呈灰色或深灰色, 厚度约 12~16m, 软土主要表现为高压缩性、高含水率和低承载力(两高一低)。为分析淤泥质软土地基的沉降规律, 建立淤泥质软土地基路堤模型, 软土层厚度 18m, 地下水埋深 1m, 软土孔隙比-压力关系曲线(e-p 曲线)如图 1 所示。路堤高度 18.0m, 路面厚度 0.7m, 路堤顶宽 14.5m, 路堤边坡坡度为 1:1.5, 路堤底宽为 70.6m, 路堤一次性填筑, 填筑时间为 6 个月, 路堤填筑完成后 4 个月开始铺设路面, 路面铺设工期为 4 个月。路堤容重为 18kN/m³, 粘聚力为 17kPa, 内摩擦角 30°。管桩间距为 2.5m, 布置形式为等边三角形布置, 管桩长度为 15m, 管桩直径为 0.6m, 管桩壁厚为 20mm。

为对管桩加固进行优化设计, 分布建立了不同管桩长度、管桩直径、管桩壁厚的计算模型。分别建立 (1) 管桩直径为 0.6m, 管壁厚度为 20mm, 管桩间距为 2.5m 时, 管桩计算长度分别为 9m、12m、15m、18m 和 21m 的计算模型; (2) 管桩长度为 15m, 管壁厚度为 20mm, 管桩间距为

2.5m 时, 管桩直径分别为 0.2m、0.4m、0.6m、0.8m 和 1.0m 的计算模型; (3) 管桩长度为 15m, 管桩直径为 0.6m, 管桩间距为 2.5m, 管桩壁厚分别为 10mm、15mm、20mm、25mm 和 30mm 的计算模型; (4) 管桩长度为 15m, 管桩直径为 0.6m, 管桩壁厚为 20mm, 管桩间距分别为 1.5m、2m、2.5m、3m 和 3.5m。并对采用这些软土地基模型进行计算, 分析不同管桩长度、管桩直径、管桩壁厚和管桩间距对淤泥质软土地基路堤减沉效果的影响。

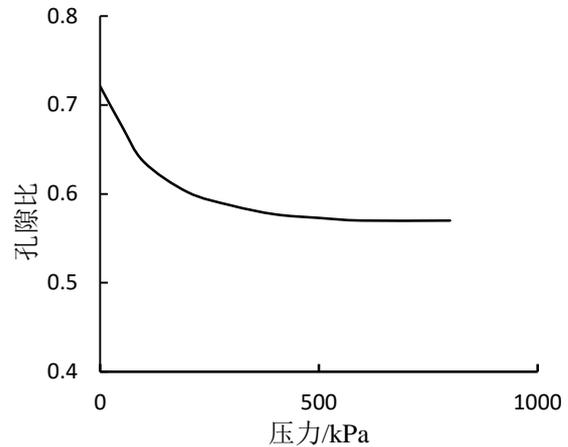


图 1 e-p 关系曲线

4 管桩加固对软土地基路堤沉降影响分析

路面竣工时管桩加固前后路基横断面各点的沉降(中线为原点)如图 2 所示, 可以看出路堤沉降量基本沿路堤中线对称分布, 在路堤中线位置沉降量最大, 管桩加固前路面竣工时最大沉降量为 0.331m, 加固后路堤的最大沉降量为 0.032m, 采用管桩加固后的路堤在路面竣工时沉降量显著减少, 加固后的路堤沉降量约为加固前的十分之一。

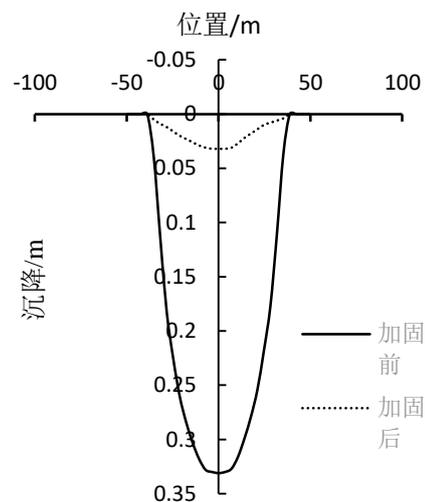


图 2 路面竣工时管桩加固前后路基横断面各点沉降

计算路面竣工后 166 个月后, 路基横断面各点的沉降(中线为原点)如图 3 所示, 未采用管桩加固的路堤路面

竣工后总沉降量为 0.644m，其中路面竣工后产生的沉降为 0.313m，沉降量较大，可能会导致铺填的路面开裂，影响道路的正常行驶，采用管桩加固的路堤，总沉降量为 0.047m，其中工后沉降为 0.015m，工后沉降较小，基本满足工程运行要求。

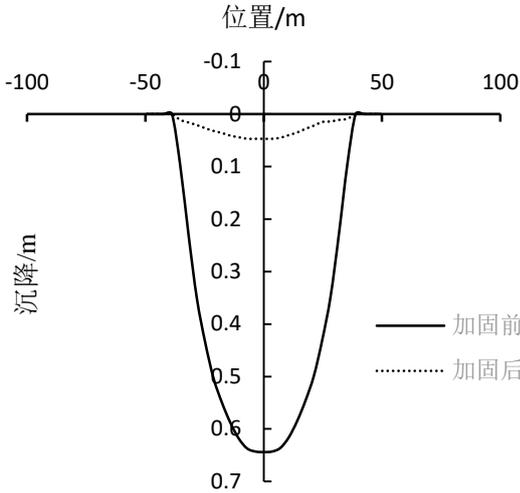


图3 路面竣工后166个月后管桩加固前后路基横断面各点沉降

路堤沉降与时间关系曲线如图4所示，可以看出未加固前路堤在路堤施工阶段快速沉降，而后沉降速度逐渐减缓，但沉降速率仍相对较大。管桩加固后的软土地基路堤沉降主要集中在路堤施工阶段，路堤竣工后其沉降速率显著降低，这也进一步说明管桩加固对减少软土地基路堤沉降是有效的。

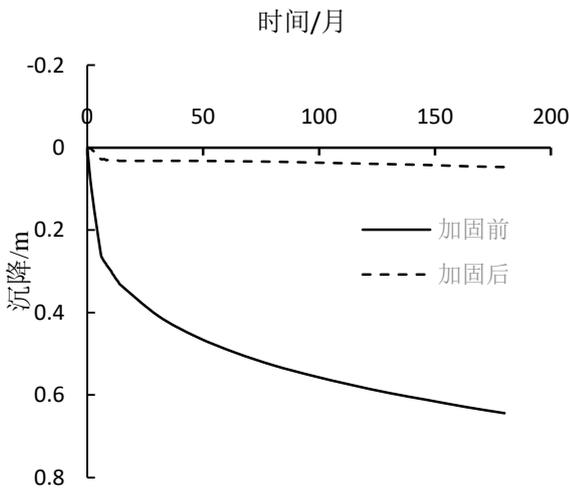


图4 路堤沉降与时间关系曲线

5 管桩优化设计

路堤沉降量随桩长变化规律如图5所示，可以看出随着桩长增大，路堤的沉降量逐渐减小，当桩长由9m增大到12m时，淤泥质软土地基沉降量减少3.66%；当桩长由12m增大到15m时，淤泥质软土地基沉降量减少3.21%；

当桩长由15m增大到18m时，淤泥质软土地基沉降量减少2.10%；当桩长由18m增大到21m时，淤泥质软土地基沉降量减少0.9%。这说明淤泥质软土地基沉降量与桩长直接相关，桩长越长，淤泥质软土地基沉降量越小，然而随着桩长逐渐增大，淤泥质软土地基的沉降量较小速率逐步减缓。

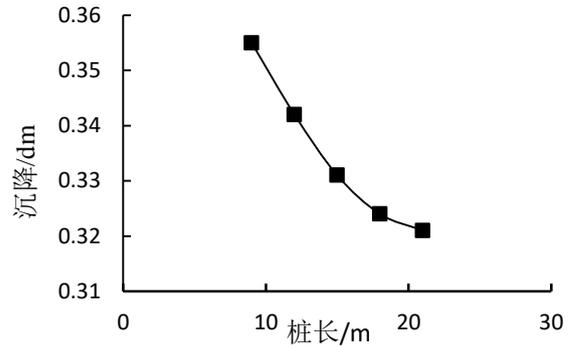


图5 路堤沉降与桩长关系曲线

路堤沉降量随桩径变化规律如图6所示，可以看出随着桩径增大，路堤的沉降量逐渐减小，当桩径由0.2m增大到0.4m时，淤泥质软土地基沉降量减少11.43%；当桩径由0.4m增大到0.6m时，淤泥质软土地基沉降量减少11.02%；当桩径由0.6m增大到0.8m时，淤泥质软土地基沉降量减少6.34%；当桩径由0.8m增大到1.0m时，淤泥质软土地基沉降量减少2.58%。这说明淤泥质软土地基沉降量与桩径直接相关，桩径越大，淤泥质软土地基沉降量越小，然而当桩径超过0.6m时，继续增大桩径对淤泥质软土地基的减沉效果增加逐渐减弱。

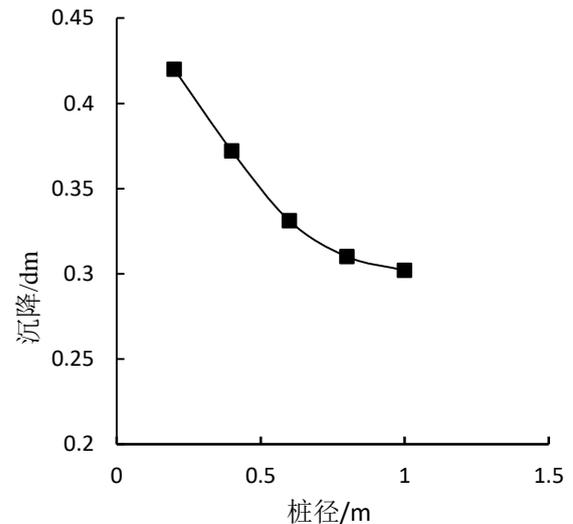


图6 路堤沉降与桩径关系曲线

路堤沉降量随桩壁厚度变化规律如图7所示，可以看出随着桩壁厚度增大，路堤的沉降量逐渐减小，当桩壁厚度由10mm增大到15mm时，淤泥质软土地基沉降量减少8.12%；当桩壁厚度由15mm增大到20mm时，淤泥质软土

地基沉降量减少 5.70%；当桩壁厚度由 20mm 增大到 25mm 时，淤泥质软土地基沉降量减少 6.34%；当桩壁厚度由 25mm 增大到 30mm 时，淤泥质软土地基沉降量减少 2.58%。这说明淤泥质软土地基沉降量与桩壁厚度直接相关，桩壁厚度越大，淤泥质软土地基沉降量越小，然而当桩壁厚度超过 25mm 时，继续增大桩壁厚度对淤泥质软土地基的减沉效果增加逐渐减弱。

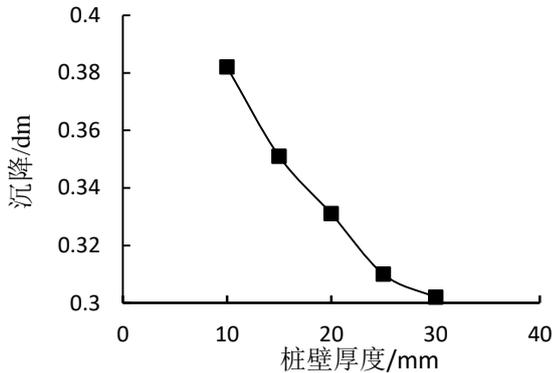


图7 路堤沉降与桩壁厚度关系曲线

路堤沉降量随桩间距变化规律如图 8 所示，可以看出随着桩间距增大，路堤的沉降量逐渐增大，当桩间距由 1.5m 增大到 2.0m 时，淤泥质软土地基沉降量增大 2.92%；当桩间距由 2.0m 增大到 2.5m 时，淤泥质软土地基沉降量增大 4.42%；当桩间距由 2.5m 增大到 3.0m 时，淤泥质软土地基沉降量增大 5.74%；当桩间距由 3.0m 增大到 3.5m 时，淤泥质软土地基沉降量增大 8.57%。这说明淤泥质软土地基沉降量与桩间距直接相关，桩间距越大，淤泥质软土地基沉降量越大，且随着桩间距增大，淤泥质软土地基路堤沉降量的增大幅度呈逐渐增大趋势。

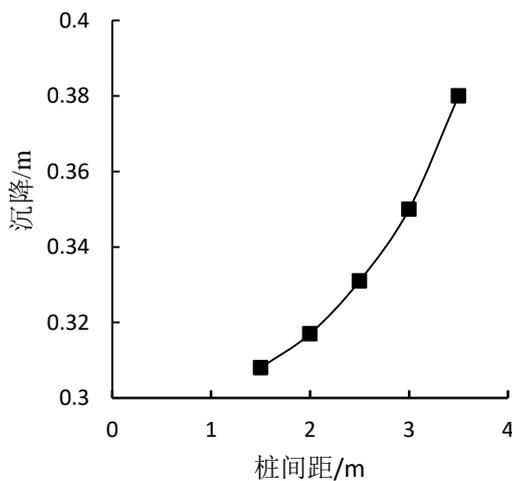


图8 路堤沉降与桩间距关系曲线

管桩桩长、桩径、桩壁厚度、桩间距对淤泥质软土地基沉降均有明显影响，随着桩长、桩径和桩壁厚度增大，

淤泥质软土地基沉降量逐渐减少，且当桩长超过 15m、桩径超过 0.6m、桩壁厚度超过 25mm 时，继续增大桩长、桩径或桩壁厚度对淤泥质软土地基的减沉效果增加逐渐减弱。管桩桩长、桩径、桩壁厚度相同时，随着桩间距逐渐增大，淤泥质软土地基路堤沉降量逐渐增大。

6 结论

(1) 路堤沉降量基本沿路堤中线对称分布，在路堤中线位置沉降量最大，采用管桩加固后的路堤在路面竣工时沉降量显著减少；

(2) 计算路面竣工后 166 个月后未加固的路堤路面工后总沉降量约为管桩加固后路堤工后总沉降量的 20 倍，过大的沉降量，可能会导致铺填的路面开裂，影响道路的正常行驶；

(3) 未加固前路堤在路堤竣工后沉降速率仍相对较大，管桩加固后的软土地基路堤沉降主要集中在路堤施工阶段，路堤竣工后其沉降速率显著降低。

(4) 管桩桩长、桩径和桩壁厚度对淤泥质软土地基沉降均有明显影响，随着桩长、桩径和桩壁厚度增大，淤泥质软土地基沉降量逐渐减少。且当桩长超过 15m、桩径超过 0.6m、桩壁厚度超过 25mm 时，继续增大桩长、桩径或桩壁厚度对淤泥质软土地基的减沉效果增加逐渐减弱。

【参考文献】

- [1] 周书东, 黄锦盛, 张彤炜, 等. 东莞滨海软土物理力学指标统计与相关性分析[J]. 土工基础, 2022, 36(6): 992-996.
- [2] 刘伟, 陈凌伟, 张庆华, 等. 广州南沙区软土分布特征及工程性质[J]. 长江科学院院报, 2022, 39(1): 94-99.
- [3] 孙佳锐. 天津不同区域软土性质指标统计分析[J]. 地下水, 2021, 43(4): 164-166.
- [4] 钱立义, 章文智, 张泽文, 等. 海相软土地区海堤加固工程优化施工研究[J]. 水利规划与设计, 2023, 234(4): 126-129.
- [5] 柏杨, 姜晨冰, 赵地, 等. 水泥土搅拌桩在滨海软土地基加固中的应用[J]. 人民黄河, 2022, 44(2): 280-281.
- [6] 李长辉, 武航, 程国勇, 等. 不同排水板真空预压软土加固对比试验研究[J]. 岩土力学, 2022, 43(10): 2819-2827.
- [7] 问建学, 唐昌意, 曹雄, 等. 超厚软土区管桩复合地基不均匀沉降病害处治[J]. 公路, 2023, 68(3): 68-75.
- [8] 刘海兵. 高填方路堤 PHC 管桩加固软土地基土拱发育演化特征研究[J]. 路基工程, 2022, 225(6): 124-129.
- [9] 李文勇, 张浩, 关宏信, 等. 软土地基中预应力管桩荷载-沉降曲线计算[J]. 交通科学与工程, 2021, 37(3): 17-21.
- [10] 宋金华, 代贤映. 软土地基桩排悬臂式挡土墙抗滑数值仿真[J]. 计算机仿真, 2022, 39(12): 347-351.

作者简介: 陈渊伦(1982.10—), 男, 汉族, 湖南桂阳人, 本科, 工程师, 研究方向: 公路与桥梁。