

文章编号: 1002-0268 (2004) 07-0048-03

挤密砂桩加固软弱地基的承载性能研究

茹珍¹, 张义贵¹, 缪林昌²

(1. 江苏省淮安市高速公路建设指挥部, 江苏 淮安 223001; 2. 东南大学交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 本文针对淮安地区高速公路软弱地基的工程实例, 进行了砂桩复合地基承载性能的理论计算分析, 并将理论计算结果与实测结果进行对比, 两者结果基本一致。同时从复合地基理论与砂桩单桩承载力计算理论的角度分析影响复合地基承载力的影响因素。

关键词: 挤密砂桩; 复合地基; 承载性能

中图分类号: TU447

文献标识码: A

Research of Bearing Capacity of Soft Soil Foundation Strengthened by Compaction Sand Piles

DING Ru-zhen¹, ZHANG Yi-gui¹, MIAO Lin-chang²

(1. Department of Huian Expressway Construction, Jiangsu Huian 223001, China;

2. Institute of Geotechnical Engineering, Southeast University, Jiangsu Nanjing 210096 China)

Abstract: The theory calculation of the bearing capacity of sand piles composition foundation is performed based on the engineering practice of expressway soft soil foundation in Huian region, Jiangsu province, China. The calculation results of the bearing capacity of sand piles are agreement with the measuring results. The factors impact on the bearing capacity of sand piles composition foundation are analyzed.

Key words: Compaction sand pile; Composition foundation; Bearing capacity feature

0 概述

挤密砂桩是通过沉管振动法进行施工的, 挤密砂桩加固砂土、粉土地基抗液化的机理主要有 4 个: 一是挤密作用; 二是排水减压作用; 三是预震效应; 四是置换作用。由于沉管法砂桩在成桩的过程中桩管对周围土层产生很大的横向挤压力, 桩管体积的土体挤向桩管周围的土层, 使桩管周围的砂土、粉土层孔隙比减小, 密实度增大。同时砂桩加固砂土时桩孔内充填砂料碎石等反滤性好的粗颗粒料, 在地基中形成渗透性能良好的人工竖向排水减压通道, 可有效地消散和防止超静孔隙水压力的增加和砂土产生液化, 并加快地基的排水固结。在软弱粘性土地基中, 砂桩可以象砂井一样起排水作用, 从而加快地基的固结沉降速率。砂桩在成桩过程中, 激振器产生的振动通过导管

传递给土层使其附近的饱和土地基产生振动孔隙水压力, 导致部分土体液化, 土颗粒重新排列, 趋向密实, 从而起到振密作用。密实的砂桩在软弱粘性土中取代了同样体积的软弱粘性土 (置换作用), 形成复合地基, 使地基承载力有所提高, 地基沉降也变小。砂桩的作用, 在松散砂土中可以用于增大相对密度, 防止振动液化; 在软弱粘性土中可用于提高地基承载力, 加速固结沉降, 改善地基的整体稳定性。

江苏省淮安市位处苏北平原, 正在兴建的宿淮高速公路淮安段穿越黄泛冲积平原, 分布有大量的粉土、粉砂土及粉质粘性土, 其工程特性较差, 承载力较低, 淮安地区又处在 7 度地震烈度区。依据交通部颁发的规范要求, 必须进行加固处理, 并要达到抗震要求, 同时又要满足高速公路承载力的要求, 一部分设计采用挤密砂桩加固。本文针对宿淮高速公路淮安

段的软弱地基的工程地质条件和工程实践, 具体分析挤密砂桩加固软弱地基的承载特性, 讨论了砂桩复合地基承载力的影响因素。研究成果对有关工程建设的设计与施工具有指导意义。

1 工程地质条件

根据试验区的补充勘察资料和交通部第一勘察设计院的《工程地质详细勘察报告》, 挤密桩区的工程地质条件归纳为(1)地表为一些素填土, 浅黄色, 以低液限粘土为主, 夹有粉土, 呈软塑, 厚度 1m 左右。(2)软粘土, 灰黄色, 软塑, 局部夹淤泥质软土, 厚度 1.5 ~ 4.5m, 工程性质较差。(3)粉土, 灰黄色、灰色, 软塑, 局部夹淤泥质软土, 厚度 2 ~ 4m, 标贯击数 2 ~ 7 击, 为液化土, 工程性质差。(4)粉细砂, 灰黄色, 局部夹软粘土薄层, 厚度 2 ~ 3m, 中密, 标贯击数 6 ~ 10 击。(5)细砂、中砂, 青灰色, 灰黄色, 颗粒不均匀, 未穿, 标贯击数大于 12 击, 中密。

该段土层的液化指数 $I_{LE} = 8.7 \sim 16.9$, 为中等 ~

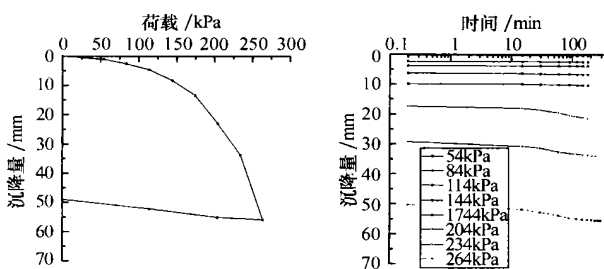


图 1 砂桩试验区载荷板 1 试验 P-S 曲线

强液化土。

2 砂桩复合地基承载力测试

考虑到工程建设的重要性, 对液化土层进行挤密砂桩法的加固处理, 并对处理效果进行了测试分析, 其中包括载荷板试验。限于篇幅, 本文仅就砂桩及砂桩复合地基的承载性状进行研究分析。

载荷板试验是确定地基承载力的复合地基承载力最直接的方法, 它直接模拟将来地基受力条件, 采用接近于竖向抗压桩的实际工作条件的试验方法为工程设计提供依据。试验区砂桩复合地基的挤密砂桩的桩径为 0.5m、桩长 14.5m、桩间距为 1.2m, 正三角形布置, 成桩后 14d 进行了两点三桩复合的载荷板试验。测试采用千斤顶加载, 利用压重(砂袋)平台提供反力, 沉降观测采用 4 只 50mm 行程数字式百分表, 加载采用 QW100 千斤顶。图 1 ~ 图 4 为载荷板试验成果曲线。从载荷板试验的结果来看, 砂桩复合地基的承载力大于 130kPa。

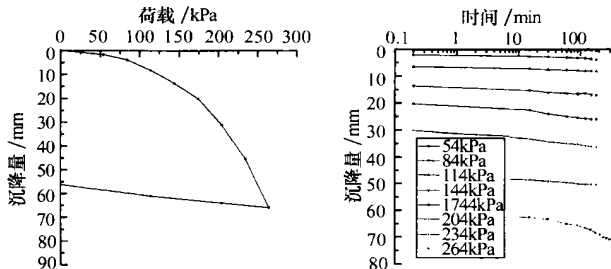


图 3 砂桩试验区载荷板 2 试验 P-S 曲线

3 承载力特性分析

3.1 复合地基的承载力

复合地基的基本特点: 一是复合地基是由基体(天然地基土体)和增强体(桩体)两部分组成。复合地基一般可认为由两种刚度(或模量)不同的材料(桩体和桩间土)所组成, 因而复合地基是非均质和各向异性的。二是复合地基在荷载作用下, 基体和增强体共同承担荷载。复合地基的理论基础是假定在相对刚性基础下, 桩和桩间土共同分担上部荷载并协调变形(包括剪切变形)。

复合地基承载力标准值应按现场复合地基载荷试验确定, 也可用单桩和桩间土的载荷试验成果按下式确定

$$f_{p,k} = m f_{p,k} + (1 - m) f_{s,k} \quad (1)$$

式中, $f_{p,k}$ 为复合地基的承载力标准值; $f_{p,k}$ 为桩体单

位截面积承载力标准值; $f_{s,k}$ 为桩间土的承载力标准值, 也可用处理前地基承载力标准代替; m 为面积置换率

$$m = \frac{d^2}{d_e^2} \quad (2)$$

式中, d 为桩的直径; d_e 为等效影响圆的直径, 等边三角形布置 $d_e = 1.05s$, 正方形布置 $d_e = 1.13s$, 矩形布置 $d_e = 1.13 \sqrt{s_1 \cdot s_2}$; s 、 s_1 、 s_2 分别为桩的间距、纵向间距和横向间距。

如无现场载荷试验资料, 复合地基的承载力标准值可按式计算

$$f_{p,k} = [1 + m(n - 1)] f_{s,k} \quad (3)$$

或

$$f_{p,k} = [1 + m(n - 1)] s_v \quad (4)$$

式中, n 为桩土应力比, 无实测资料时可取 2 ~ 4, 原地基土强度低者取大值, 原地基土强度高者取小值; s_v 为桩间土的十字板抗剪强度, 或用处理前地

基土的十字板抗剪强度代替。

3 2 挤密桩的承载力计算理论

在挤密桩的承载力计算理论中 Brauns 公式常被采用。设软弱土中有一根砂桩承受极限荷载，截面倒锥体 $BB'A'A$ 内的土体发生被动破坏，如图 5 所示。土块 ABC 在桩柱径向应力 σ_{r0} 的作用下沿 BA 面滑出，假定桩柱破坏长度 $h=2r_0\tg\theta_c$ ， $\theta_c=45^\circ+\phi_c/2$ ， $\tau_c=0$ ，土体切向应力也为零，若不计土和桩体的重量，可以导出如下求解极限荷载 q_{fp} 的一组公式。

$$q_{fp}=\sigma_{r0}\tg^2\theta_c\tag{5}$$

$$\sigma_{r0}=\frac{2c_u}{\sin2\theta}\left(\frac{\tg\theta_c}{\tg\theta}+1\right)\tag{6}$$

$$\tg\theta_c=\frac{\tg\theta}{2}(\tg^2\theta-1)\tag{7}$$

式中， c_u 为土的不排水抗剪强度， ϕ_c 为桩体的内摩擦角。很显然，只要已知 θ 值，砂桩的承载力就可方便的求出。为便于求解 (7) 式，可将 (7) 式写成

$$\tg^3\theta-\tg\theta-2\tg\theta_c=0\tag{8}$$

令 $p=-1$ ， $q=-2\tg\theta_c$ ，则

$$\Delta=q^2/4+p^3/27=\tg^2\theta_c-\frac{1}{27}\tag{9}$$

通常情况下，砂桩的内摩擦角 ϕ_c 为 $30\sim40^\circ$ ， $\tg\theta_c=\tg(45^\circ+\phi_c/2)>1$ 。因此上式的 $\Delta>0$ ， θ 有实解。

$$\tg\theta=^3\sqrt{\tg\theta_c+\sqrt{\Delta}}+^3\sqrt{\tg\theta_c-\sqrt{\Delta}}\tag{10}$$

现在取 $\phi_c=35^\circ$ ，由 (10) 求得 $\theta=60.6^\circ$ ，代入 (5) ~ (7) 式求得

$$q_{fp}=18c_u\tag{11}$$

根据室内试验结果，取 c_u 的平均值 50kPa，则砂桩单桩的极限承载力 $q_{fp}=900\text{kPa}$ 。安全系数若取 2，则砂桩单桩的允许承载力 $f_{p,k}=450\text{kPa}$ ，天然地基的允许承载力为 85kPa，砂桩的桩间距为 1.2m，则 $m=0.157$ 。根据复合地基理论计算得到砂桩复合地基的承载力为

$$f_{p,k}=mf_{p,k}+(1-m)f_{s,k}=$$

$$0.157\times442.5+(1-0.157)\times85=142.3\text{kPa}$$

由此可见淮安段试验区的砂桩复合地基实测承载力与理论计算的承载力比较接近。因此在没有载荷板试验的地区就可进行砂桩和砂桩复合地基承载力的分析，指导工程的设计与施工。

4 3 影响砂桩复合地基承载力的因素

(1) 砂桩桩土应力比的影响。公式 (3)、(4) 中桩土应力比 n 是复合地基中的一个重要参数，它关系到复合地基承载力和变形的计算，砂桩桩土应力比 n 与荷载水平、桩土模量比、桩土面积置换率、原地基强度、桩长、固结时间和垫层情况等因素有关。

(2) 桩土模量比的影响。桩土模量比 (E_p/E_s) 是影响复合地基承载力比较明显的另一个参数，随着桩土模量比的增大，桩土应力比近似呈线性增长。

(3) 面积置换率的影响。国外学者对砂桩复合地基的研究成果中，得出桩土应力比 n 随置换率 m 的减小而增大。

(4) 原地基土强度的影响。由于原地基土的强度大小直接影响桩体的强度与刚度，因此即使对同一类桩，不同的地基土也将会有不同的桩土应力比。原地基土的强度低，其桩土应力比就大，而原地基土强度高，则基桩土应力比就小。

4 结语

从砂桩复合地基的承载力理论计算结果与承载力试验的实测结果对比分析来看，两者结果比较接近，这表明在进行砂桩复合地基设计过程中可以依据这一理论指导相关工程的设计与施工，依据所加固土体的力学指标和工程要求，确定相应的设计参数，并提出具体的施工要求，以保证砂桩复合地基承载力能满足工程的需要，实现优化设计的目的。在实际工作中还应考虑桩的长径比、置换率和原地基土的强度等。

参考文献:

[1] 龚晓南, 编著. 复合地基理论及工程应用 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002
[2] D T Bergado, L R Anderson, N Miura, et al. Soft Ground Improvement [J]. ASCE, press, 1996.
[3] 叶书麟, 主编. 地基处理工程实例应用手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
[4] 《建筑地基处理技术规范》编写委员会. 建筑地基处理技术规范 (JGJ 79-91) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992
[5] 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995.

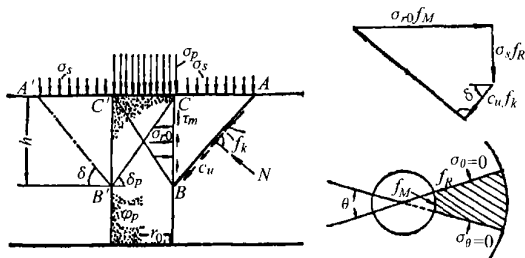


图 5 Brauns 公式计算示意图[15]