

文章编号: 1674—8247(2023)04—0030—05

DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2023.04.006

硅藻土地层钻孔灌注桩承载特性研究

康银庚

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 300308)

摘要:依托杭台高速铁路工程,在硅藻土地区开展了钻孔灌注桩静载荷试验,获得了硅藻土地层中灌注桩承载特性及相关力学参数,结果表明:(1)在静载试验条件下对桩身应力变形进行测试,得到了硅藻土地层灌注桩桩身荷载传递的基本规律;(2)通过对桩身轴力和侧摩阻力的计算,得到了白色、兰色和黑色3种硅藻土的极限摩阻力;(3)3种硅藻土的极限摩阻力与基本承载力间并非线性对应关系,兰色硅藻土虽具有较好的抗压性能,但其抗摩擦性能并未大幅度提高;(4)工程设计中桩端应尽量避免设置于硅藻土地层中。研究成果可为硅藻土地层桩基或类似工程的设计参数取值提供参考。

关键词:硅藻土地层;静载荷试验;极限摩阻力;承载特性

中图分类号: TU473.1+6

文献标志码: A

A Study on Bearing Capacity of Bored Piles in Diatomite Stratum

KANG Yingeng

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300308, China)

Abstract: Based on the Hangzhou-Taizhou high-speed railway project, a static load test was carried out on bored piles in diatomite stratum to obtain their bearing capacity and related mechanical parameters. The test results include: (1) The basic law of load transfer in bored piles in diatomite stratum was obtained in the stress and deformation test of the pile shaft under static load test conditions; (2) The ultimate friction resistance of white, blue and black diatomite was obtained by calculating the axial force and skin friction of the pile shaft; (3) The relationship between the ultimate friction resistance and the basic bearing capacity of the three kinds of diatomite is nonlinear. Although blue diatomite has good compressive performance, its anti-friction performance does not improve greatly; (4) In engineering design, the pile tip shall not be set in the diatomite stratum as far as possible. The findings can provide a reference for determining the value of design parameters of pile foundations in diatomite stratum or similar projects.

Key words: diatomite stratum; static load test; ultimate friction resistance; bearing capacity

硅藻土是由硅藻等植物遗骸堆积成岩的多孔性硅质岩,具有质轻软、高吸附、多孔、低密度等特殊结构和化学稳定性,被广泛用于工业、农业、材料等方面^[1-3]。土木工程建设中较少遇到硅藻土,国内外针对硅藻土工程特性及其在土木工程建设领域应用的

研究很少,现有技术标准、规范规程涉及硅藻土的内容亦较少。匡朝辉^[4]等研究了硅藻土地质中的灌注桩成孔技术,通过试验总结了硅藻土有细腻、松散、质轻、多孔、吸水性、渗透性强及吸附性强的物理特性;李懿^[5]等通过室内剪切试验和单桩荷载试验揭示了

收稿日期:2022-05-11

作者简介:康银庚(1986-),男,高级工程师。

基金项目:中国铁路设计集团有限公司科技开发应用研究类重点课题(721812)

引文格式:康银庚.硅藻土地层钻孔灌注桩承载特性研究[J].高速铁路技术,2023,14(4):30-34.

KANG Yingeng. A Study on Bearing Capacity of Bored Piles in Diatomite Stratum [J]. High Speed Railway Technology, 2023, 14(4):30-34.

硅藻土层中灌注桩的桩侧摩阻力规律;高华喜^[6]等分析了滑坡体稳定性计算理论,针对浙江嵊州硅藻土滑坡,建立了适合于缓倾角混合岩土质滑坡计算模型。

目前对硅藻土的研究多集中在物理特性和室内试验方面,对于硅藻土背景下的桥梁工程的研究很少。同时,既有研究多依托国外硅藻土的工程展开,针对国内硅藻土层灌注桩承载特性的研究相对较少^[7-8]。硅藻土成岩条件不同,其物理力学性能差异较大。本文开展了杭台高速铁路硅藻土地层中的灌注桩桩基静载荷试验,利用分布式光纤传感技术(BOTDR)对桩身受力进行监测,揭示硅藻土地层中灌注桩承载特性^[9]。研究成果可为国内硅藻土地层桩基或类似工程的设计提供参考。

1 试验概况

1.1 工程项目背景

依托工程位于浙江省东北部,工程位于玄武岩台地,地势略有起伏,区内主要为村庄、果园、农田,地面标高 112.09 ~ 173.55 m,相对高差在 5 ~ 62 m 之间。工程区域内分布大量硅藻土。结合现场地质钻探及场地条件,选取 2 处硅藻土分布较为典型的区域作为试验场地,分别为 A 组和 B 组。各组试桩参数如表 1 所示,各组地层分布剖面如图 1 所示。

表 1 单桩竖向抗压静载试验参数表

位置	桩号	桩径/m	桩长/m	桩端地层	混凝土强度等级	预设计容许承载力/kN
A 组	AS1	1.0	25.5	兰色硅藻土	C30	2 835
B 组	BS1	1.0	25.5	黑色硅藻土	C30	3 296

1.2 桩周硅藻土土体性质

由图 1 可知,试验区域内硅藻土按其颜色及力学性质差异可分为白色硅藻土、兰色硅藻土和黑色硅藻土 3 类。由工程资料可知,3 种硅藻土 SiO₂ 含量均较高,白色硅藻土的钙、铝氧化物含量最高;黑色硅藻土的铁氧化物含量最高;这 3 项氧化物兰色硅藻土的含量都是最低,但兰色硅藻土的有机质含量最高。3 种硅藻土均具有遇水易软化、易崩解,力学性质急剧下降等工程特性。土体参数如表 2 所示。

表 2 桩周硅藻土土体参数表

土体名称	天然含水量 ω /%	土粒比重 G_s	重力密度 γ /(kN/m ³)	内摩擦角 φ_r /(°)	粘聚力 C_r /kPa	基本承载力 σ_0 /kPa
白色硅藻土	36.0	2.75	17.6	25.4	46.0	150
兰色硅藻土	55.2	2.76	16.5	19.6	48.2	500
黑色硅藻土	51.3	2.76	16.6	27.7	64.7	300

1.3 桩体传感器布设

采用 BOTDR 光纤感测技术对桩身受力进行监测,通过在钻孔灌注桩钢筋笼上布设光纤传感器,监测桩基静载试验过程中的桩身变形,计算获取桩身轴力和侧摩阻力。传感器沿钢筋笼主筋对称呈“U”形布设,如图 2 所示。

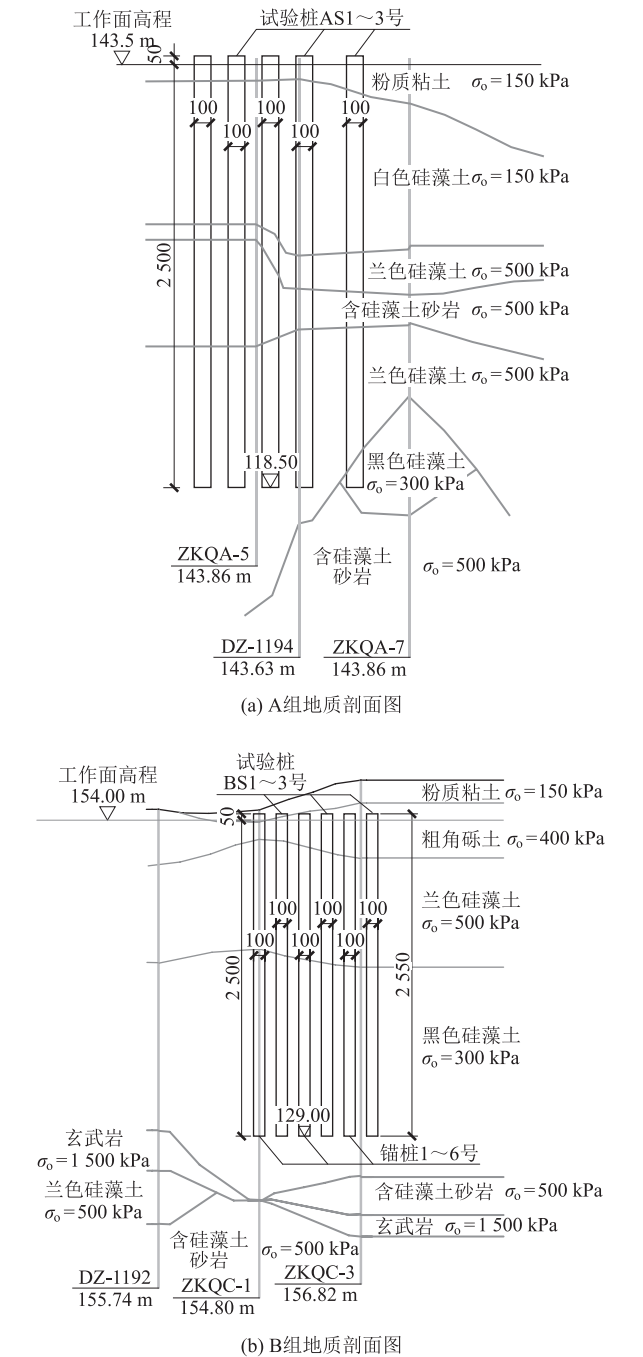


图 1 地质剖面图(mm)

1.4 桩基静载试验

按照 TB 10218 - 2019《铁路工程基桩检测技术规程》进行单桩竖向抗压静载试验,采用慢速维持荷载法进行加载。设置锚桩作为反力装置,为加载的千

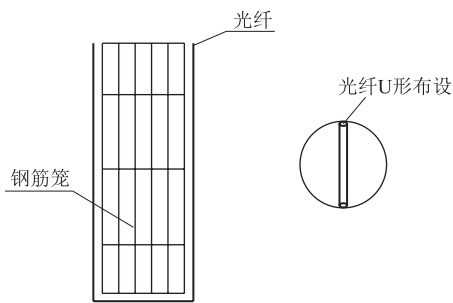


图2 光纤传感器布设示意图

斤顶提供反力。加载分级按设计容许承载力 2 倍的 1/10,首次加两级,然后按级差等量加载;卸载分级为加载级数的一半,级差为加载级差的 2 倍。

2 试验结果分析

2.1 桩基沉降

AS1、BS1 2 根试桩的 $Q-s$ 曲线如图 3 所示。2 根试桩的荷载 - 沉降曲线均呈现陡降型,在加载初期荷载较小,沉降近似线性增大;随着荷载的增大,沉降速率不断增大,直至最后一级荷载发生陡降,桩顶沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的 2 倍,此时试桩已发生破坏。2 根试桩的竖向抗压极限承载力值为 AS1: 7 898 kN, BS1: 8 892 kN,分别为预设计容许承载力的 2.79 倍和 2.70 倍,预设计中各类硅藻土的桩周极限摩阻力取值稍低于实际值。

2.2 桩身轴力分析

采用 BOTDR 光纤感测技术监测桩身受力,仪器测试得到光纤的轴向压应变。光纤固定在桩身混凝土内,在静载压力下,光纤轴向变形与桩身混凝土一致,桩身混凝土的压应变与光纤轴向变形相同^[9]。桩身压应力为:

$$\sigma(Z) = \varepsilon(Z)E_c \tag{1}$$

式中: E_c ——桩身混凝土的弹性模量。

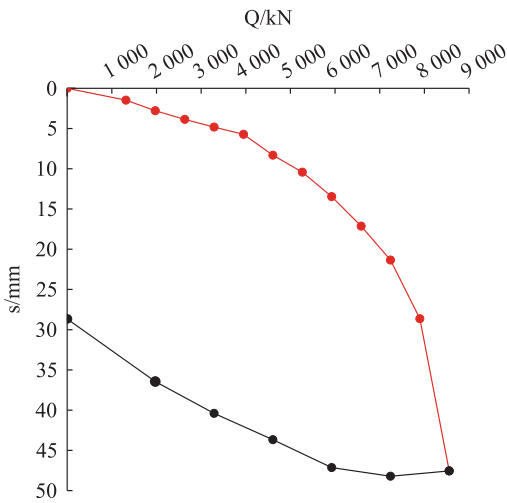
桩身轴力为:

$$Q(Z) = \sigma(Z)A \tag{2}$$

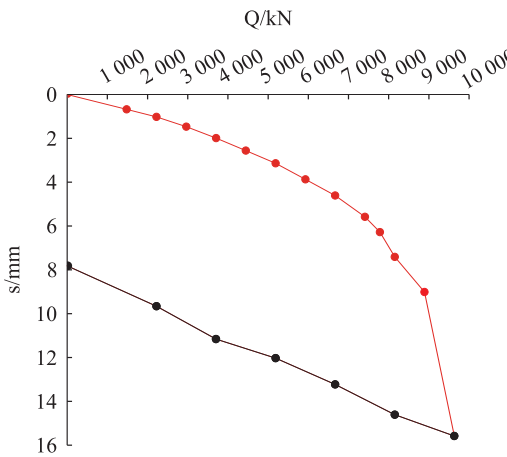
式中: A ——桩身截面面积。

利用式(1)、式(2)计算桩身轴力曲线,如图 4 所示。随荷载增大,桩身轴力不断增大;随桩长增加,桩身轴力不断减小,最终趋于 0;荷载较小时,桩身侧摩阻力未完全发挥作用。

由图 4 可知,2 根桩均为摩擦型桩,侧摩阻力在荷载承担中占据主导地位。结合荷载 - 沉降曲线和地质剖面图可知,硅藻土作为桩端持力层的效果较差,荷载较大时土体结构容易被破坏导致沉降曲线陡降,



(a) AS1试桩Q-s曲线



(b) BS1试桩Q-s曲线

图3 桩基静载试验 Q-s 曲线图

进而影响工程质量和工程安全。

2.3 桩身侧摩阻力分析

桩的荷载传递基本微分方程为:

$$q_s(Z) = -\frac{1}{U} \frac{dQ(Z)}{dZ} \tag{3}$$

式中: $q_s(Z)$ ——桩侧分布摩阻力;

$Q(Z)$ ——桩身轴向力;

U ——桩身周长。

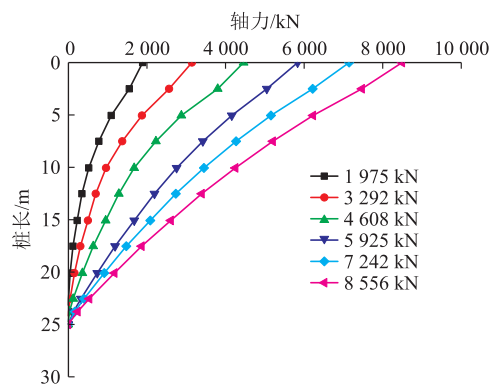
结合式(1)、式(2),上式可简化为:

$$q_s(Z) = -\frac{AE_c}{U} \frac{\Delta\varepsilon}{\Delta Z} \tag{4}$$

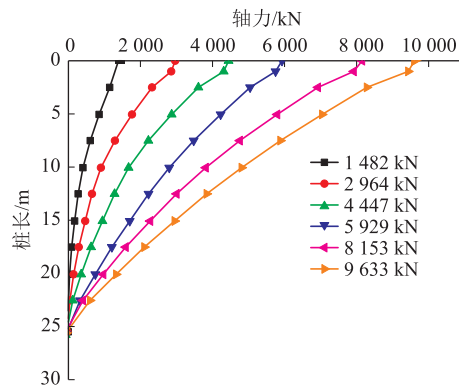
式中: ΔZ ——该土层内桩身两截面间深度差;

$\Delta\varepsilon$ ——某土层内桩身两截面间轴向应变变化量。

根据式(4)计算获取典型荷载作用下桩身侧摩阻力分布曲线,如图 5 所示。统计 2 根试桩的极限侧摩阻力,如表 3 所示。

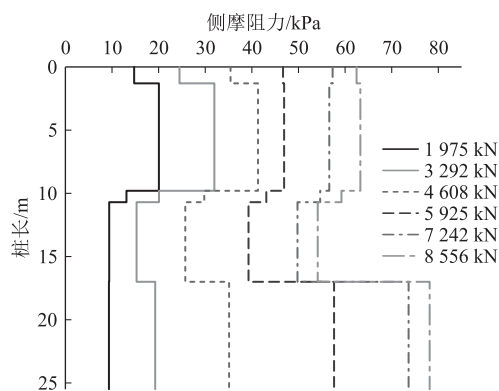


(a) AS1试桩桩身轴力图

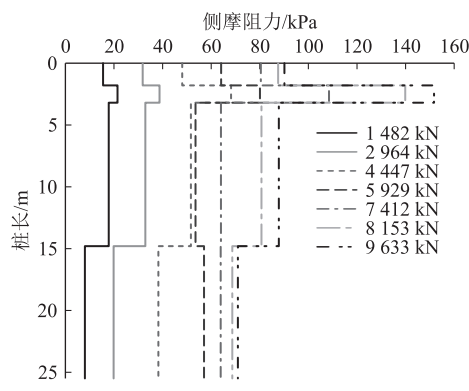


(b) BS1试桩桩身轴力图

图 4 桩身轴力图



(a) AS1试桩桩身侧摩阻力分布图



(b) BS1试桩桩身侧摩阻力分布图

图 5 桩身侧摩阻力分布图

表 3 极限侧摩阻力统计表

土层		白色硅藻土	兰色硅藻土	黑色硅藻土
AS1	极限侧摩阻力/kPa	63.3	78.1	—
	土层范围/m	1.3~9.8	9.8~10.7/ 17~25.5	—
BS1	极限侧摩阻力/kPa	—	87.9	71
	土层范围/m	—	3.2~14.8	14.8~25.5

由图 5 可知,相同荷载下,不同土层提供不同的侧摩阻力,主要由于土层特性及桩土接触面所决定;同一土层,侧摩阻力随荷载的增大而不断增大,但侧摩阻力增量逐渐减小,逼近其极限值。

由表 3 和图 5 可知,硅藻土发挥了较大的侧摩阻力,其中兰色硅藻土侧摩阻力最大,土层最大侧摩阻力达到 87.9 kPa;其次是黑色硅藻土,土层最大侧摩阻力达到 71 kPa;白色硅藻土最小,土层最大侧摩阻力为 63.3 kPa。

2.4 桩端阻力分析

根据桩身轴力数据计算桩端阻力,绘制桩端阻力曲线,如图 6 所示。荷载较小时,桩端阻力近乎为 0,说明荷载较小时荷载主要由桩周侧摩阻力承担;随荷载的增加,桩端阻力不断增大,近似直线型增长,但桩端阻力均较小。结合桩身轴力曲线和桩端阻力曲线

可知,硅藻土能提供一定的侧摩阻力,但其作为桩端持力层的效果较差,在进行结构设计时应尤为注意。

3 结论

针对硅藻土地层中钻孔灌注桩开展了桩基静载试验,利用 BOTDR 光纤感测技术对桩身变形受力进行了监测,开展了硅藻土地层中的钻孔灌注桩承载特性研究,得到的主要结论如下:

(1) 桩身轴力随着竖向荷载的增大而增大,沿着桩身长度方向呈非线性递减,衰减速度与桩侧摩阻力有关,桩端承担荷载很少,桩侧摩阻力分担了大部分荷载,不同种类的硅藻土层中桩侧摩阻力大小与分布存在差异。

(2) 白色、兰色和黑色硅藻土的极限摩阻力分别为 63.3 kPa、87.9 kPa 和 71 kPa;侧摩阻力:兰色硅藻土 > 黑色硅藻土 > 白色硅藻土。

(3) 极限摩阻力与基本承载力间并非线性对应关系,兰色硅藻土的基本承载力达到 500 kPa,是白色硅藻土的 3.3 倍,但其极限摩阻力仅为白色硅藻土的 1.4 倍。兰色硅藻土较白色硅藻土具有更好的抗压性能,但其抗摩擦性能并未大幅提高。

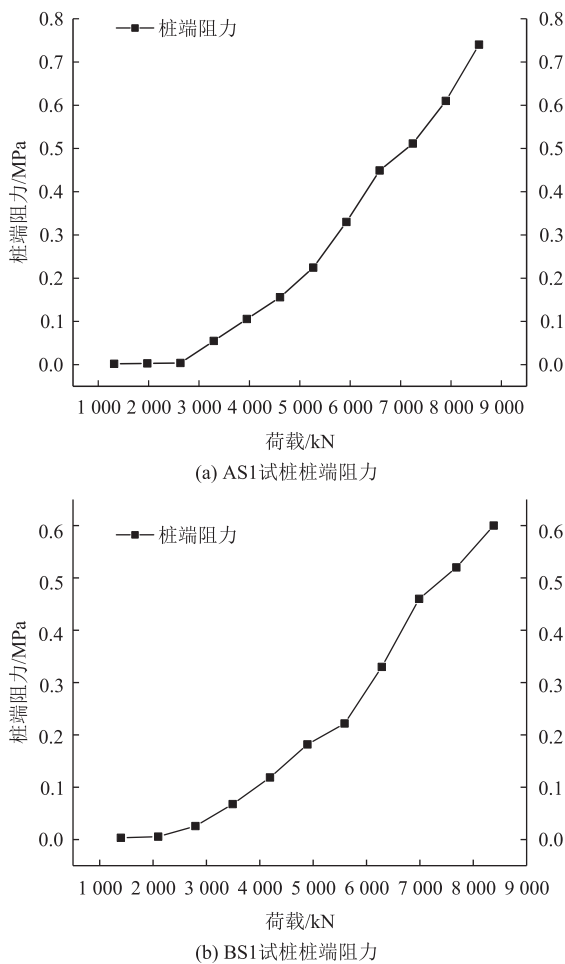


图6 桩端阻力曲线图

(4)2根试桩均为陡降型破坏,是摩擦桩破坏时的典型特点。考虑到硅藻土多孔、质软的物理特性,将其作为桩端持力层的效果较差,荷载较大时土体结构易被破坏导致沉降曲线陡降,进而影响工程质量和工程安全。在工程设计中,应尽量避免将桩端设置于硅藻土地层中。

参考文献:

[1] AL-DEGS Y, KHRAISHEH M A M, TUTUNJI M F. Sorption of Lead Ions on Diatomite and Manganese Oxides Modified Diatomite [J]. Water Research, 2001, 35(15): 3724 – 3728.

[2] KARAMAN S, KARAIPEKLI A, SARı A, et al. Polyethylene Glycol (PEG)/Diatomite Composite as a Novel Form-stable Phase Change Material for Thermal Energy Storage [J]. Solar Energy Materials and Solar Cells, 2011, 95(7): 1647 – 1653.

[3] 赵其仁, 李林蓓. 硅藻土开发应用及其进展 [J]. 化工矿产地质, 2005, 27(2): 96 – 102.

ZHAO Qiren, LI Linpei. The Application and Evolution of Diatomite [J]. Geology of Chemical Minerals, 2005, 27(2): 96 – 102.

[4] 匡朝晖, 周希泯. 硅藻土地质的灌注桩成孔技术研究与分析 [J]. 珠江水运, 2018(9): 19 – 21.

KUANG Zhaohui, ZHOU Ximin. Research and Analysis on Bore-forming Technology of Cast-in-place Pile in Diatomite Geology [J]. Pearl River Water Transport, 2018(9): 19 – 21.

[5] 李懿, 马秋柱, 吴乔. 硅藻土地层中灌注桩侧摩阻力的确定 [J]. 中国港湾建设, 2018, 38(6): 26 – 29.

LI Yi, MA Qiuzhu, WU Qiao. Determination of Shaft Resistance for Cast-in-situ Pile in Diatomite [J]. China Harbour Engineering, 2018, 38(6): 26 – 29.

[6] 高华喜, 殷坤龙, 周春梅. 硅藻土滑坡稳定性分析及其时间预报 [J]. 西北大学学报(自然科学版), 2007, 37(1): 127 – 130.

GAO Huaxi, YIN Kunlong, ZHOU Chunmei. Diatomite Landslides Stability Analysis and Time Forecast [J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 2007, 37(1): 127 – 130.

[7] 吴乔, 赵瑞东. 基于欧标的硅藻土地层中桩基负摩擦计算 [J]. 水运工程, 2019(12): 133 – 139.

WU Qiao, ZHAO Ruidong. Negative Friction Calculation of Pile Foundation in Diatomaceous Soil Based on Eurocode [J]. Port & Waterway Engineering, 2019(12): 133 – 139.

[8] 康银庚, 高磊, 罗易, 等. 硅藻土地区桥梁灌注桩成孔测试研究 [J]. 防灾减灾工程学报, 2021, 41(2): 335 – 342.

KANG Yingeng, GAO Lei, LUO Yi, et al. Study on Borehole Test of Bridge Cast-in-place Piles in Diatomite Area [J]. Journal of Disaster Prevention and Mitigation Engineering, 2021, 41(2): 335 – 342.

[9] 朴春德, 施斌, 魏广庆, 等. 分布式光纤传感技术在钻孔灌注桩检测中的应用 [J]. 岩土工程学报, 2008, 30(7): 976 – 981.

PIAO Chunde, SHI Bin, WEI Guangqing, et al. Application of Distributed Fiber Optic Sensing Techniques in Bored Pile Detection [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2008, 30(7): 976 – 981.