

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2018.02.013

石月晴, 游克勤. 桩基施工对边坡黏土强度影响试验研究[J]. 水利水运工程学报, 2018(2): 97-103. (SHI Yueqing, YOU Keqin. Experimental study on influence of pile foundation construction on slope clay strength[J]. Hydro-Science and Engineering, 2018(2): 97-103. (in Chinese))

桩基施工对边坡黏土强度影响试验研究

石月晴¹, 游克勤²

(1. 重庆交通大学 土木工程学院, 重庆 400074; 2. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045)

摘要: 桩基施工过程中会产生持续较大的振动,引起土体累计变形和超静孔压增大,造成土体强度降低。以来福士广场西侧边坡为工程背景,研究黏土边坡在施工振动过程中的强度变化规律。使用测振仪和超低频传感器对现场抗滑桩的振动冲击进行测试,根据振动产生的动应力特征进行室内静、动三轴试验,模拟土单元体原位应力状态和应力路径,并提供试验方法,最后分析了土体强度在施工期间动应力作用下的折减。现场振动测试结果表明:地表出现的最大振动速度可达2 cm/s,且在离桩心26 m处仍然有0.16~0.24 cm/s的振动,同时随着桩基施工深度的增加,土体的振动作用增强。固结不排水条件下的静、动三轴试验结果表明:土体的动强度明显低于静强度,通过做不同围压下的总应力强度包线,测得土体的总强度指标 $C_{cu} = 49.5$ kPa, $\varphi_{cu} = 17.0^\circ$,不同影响距离下桩基施工对土体强度的影响符合不同的试验规律。试验边坡黏土符合土体折减的经验曲线,考虑到振动力增大边坡下滑力和振动对土体强度的影响,其综合强度折减系数取0.7~0.8。

关键词: 边坡桩基; 黏土强度; 应力组合; 静动力试验

中图分类号: TV64; TU45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2018)02-0097-07

国内外对地震、爆破振动条件下的边坡工程做了大量研究,但主要以岩质边坡为主,对黏土边坡施工振动作用下的土体强度变化的研究较少。随着地下爆破技术,以及冲孔灌注桩等技术在施工中的使用,其施工产生的较大持续振动往往会对边坡稳定产生不利影响。以往的边坡稳定分析方法(如极限平衡法和强度折减法^[1-3])都只能单一考虑静剪应力再叠加振动产生的动应力,不能满足当前需求,因此有必要对施工振动下的边坡稳定性进行研究。本文以来福士边坡工程为背景,进行了现场地面振动测试以及室内静、动三轴试验^[4-5],通过对土单元体原位应力状态以及应力路径进行模拟,提出了试验方法并得到试验结果。同时采用了整体有限单元折减法,分析了土强度在施工期间动应力作用下的折减,并提出了强度修正建议。

1 边坡地质条件

来福士广场西侧边坡位于嘉陵江岸坡^[6],以回填为主,挖填高度1.8~7.0 m,原岸坡坡角较陡,土层厚度深,岩土界面倾角较陡,加之江水及拟建物荷载影响,可能产生沿岩土界面的滑动破坏或土体内部的剪切破坏。图1为边坡典型剖面,边坡主要由冲洪积黏性土及粉土、人工填土、冲洪积砂卵石等组成,分布不均,厚薄不一。地下水主要为基岩裂隙水,水位标高为183.09~184.33 m,距离地表较远。此段边坡在加固设计时采用一排桩径3.1 m的钢筋混凝土冲孔灌注抗滑桩加固,抗滑桩的施工采用冲击钻成孔;冲击钻在打桩施工过程中会产生较大的振动,同时在施工过程中护壁用泥浆也会对边坡稳定产生一定不利影响。

收稿日期: 2017-06-16

基金项目: 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2015jcyiBX0139)

作者简介: 石月晴(1991—),女,重庆人,硕士研究生,主要从事岩土工程与道路路面相关的研究。

E-mail: 2227907936@qq.com 通信作者: 游克勤(E-mail: 106116898@qq.com)

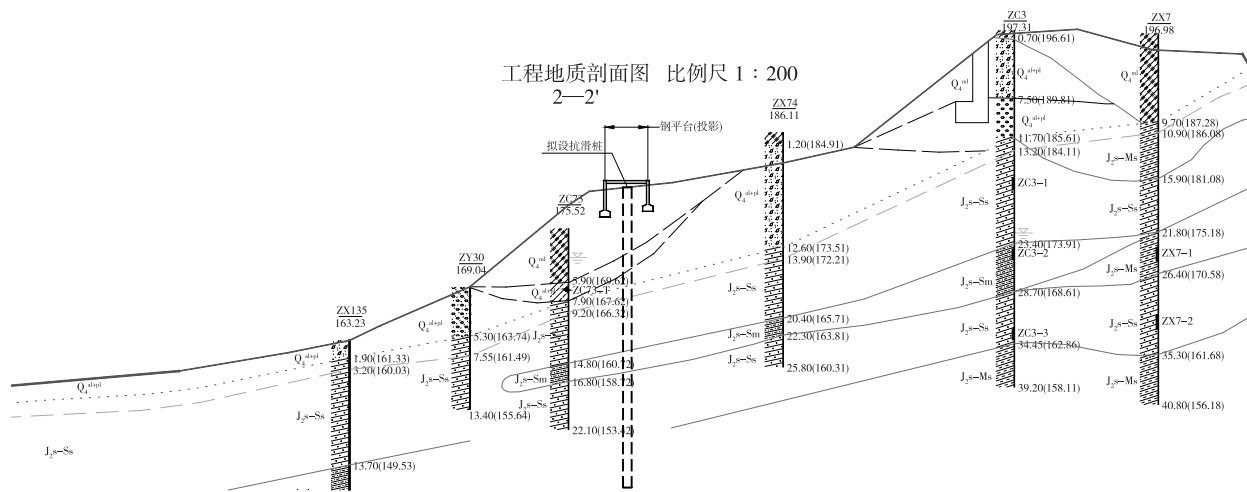


图 1 边坡地质剖面
Fig. 1 Slope geological profile

2 现场振动测试

2.1 测试方案

试验采用四川拓普测控科技有限公司的NUBOX-6016测振仪,配合 TP3V-1 型超低频传感器。现场施工的抗滑桩采用 10 t 冲击钻,提锤高度 2 m,约每 4 s 冲击 1 次,每分钟约冲击 15 次。对于加荷时间小于 10 s 的循环荷载,需要考虑荷载的动力效应。为了分析桩基施工振动的衰减情况,首先记录桩孔的钻进深度,然后在地表选择离桩孔中心不同距离的位置来设置振动传感器,记录桩基冲击钻在锤击时各测点的振动波。本次测试的 K49 抗滑桩处布置的测点位置如图 2 所示,K33 和 K50 抗滑桩处布置的测点位置与图 2 类似,各测点到桩的距离见表 1。在桩基施工振动作用下使得周围土体的孔隙水压力增加,考虑到大部分观测点离桩基的距离超过 2 m 以及裂隙水在黏土中扩散较慢等因素,未设置孔隙水压观测装置。

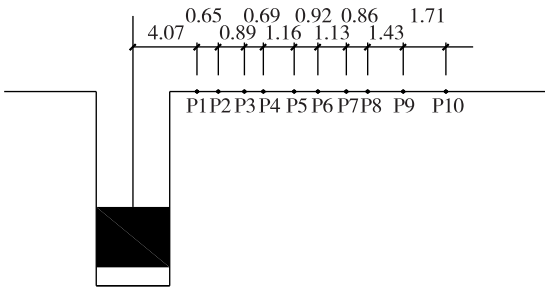


图 2 K49 抗滑桩处振动监测点布置(单位:m)
Fig. 2 Vibration monitoring point layout for K49 anti-slide pile(unit: m)

表 1 各抗滑桩处各测点到桩心的距离

Tab. 1 Distance from each measuring point of each anti-slide pile to pile center

测点编号	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
K49 桩心距离/m	4.07	4.72	5.61	6.29	7.45	8.38	9.51	10.36	11.79	13.49	
K33 桩心距离/m	1.75	3.05	4.05	5.05	7.85	9.85	11.15	12.95	14.75		
K50 桩心距离/m	3.05	4.55	6.15	7.15	8.55	9.85	10.95	12.15	13.15	13.75	15.75

2.2 测试结果

现场测试 K49 抗滑桩桩孔已施工至距地表 36 m,桩尖位置为泥岩。共布置了 10 个测点,在每个测点均记录了 20 余条振动波,共获得了数百条测点的振动速度与时间的时程曲线,K49 抗滑桩处最大振速时程曲线见图 3。由于冲击钻在每次锤击工程中的能量以及能量耗散并非均衡,因此各测点的峰值速度具有一定离散性,但总的趋势是随距离的增大,质点的振动速度逐渐衰减。将冲击钻激振视为点震源,其激励的面波

在水平方向上波前呈圆柱状向四周扩散,随传播距离增大,其能量密度按 $1/r$ 的规律衰减,振幅按 $1/\sqrt{r}$ 的规律衰减。另一方面,实际地层并非理想的弹性介质,在地震波的传播过程中,其质点的相互摩擦消耗了振动能量,造成地震波的振幅以指数规律衰减,即介质对地震波的吸收衰减。因此面波受波前几何扩散和介质吸收衰减的影响,在介质中传播的振幅变化规律用下式表示:

$$v = v_0 / \sqrt{r} \exp(-ar) \quad (1)$$

通过对试验数据进行拟合,得到式(1)中的常数 $v_0 = 4.571$, $a = 0.187$,拟合图形见图4,地面振动波速随距离的衰减较快,距离桩心大于14 m时,地面振动波速低于0.2 cm/s。

用同样的方法对K33和K50抗滑桩的振动进行了测试,K33抗滑桩处,桩深4.3 m,桩尖位置处为人工填土;K50抗滑桩,桩深15 m,桩尖处为粉砂质泥岩。在离K50抗滑桩桩心26 m处仍有0.16~0.24 cm/s的振动。现场桩基振动测试表明,在K49抗滑桩处,桩深36 m处锤击时,地表的最大质点振动速度仍然达到2 cm/s。通过对K33与K50抗滑桩处收集的数据进行拟合,得到介质传播衰减系数:K33处为 $v_0 = 2.05$, $a = -0.009$,K50处为 $v_0 = 2.125$, $a = -0.017$,其图形见图4(b)和(c)。通过振动测试对比,发现振动波振速峰值随着与桩中心距离的增加而减小,在人工填土处打桩的振动相较于基岩消散得更快。同时,为了研究土体沿深度变化的强度折减情况,选取相同(近)的振动测距的测试点进行典型振速时程曲线图分析。据表1选取了K49桩的P1测试点,K33桩的P2,P3和P6测试点以及K50桩的P1,P6测试点共6个测试点,试验数据见表2,从测量点的最大振动速度和平均振动速度两个方面比较均发现,随着桩基施工深度的增加,地表振动速度越大,对土体强度的削减作用越强。

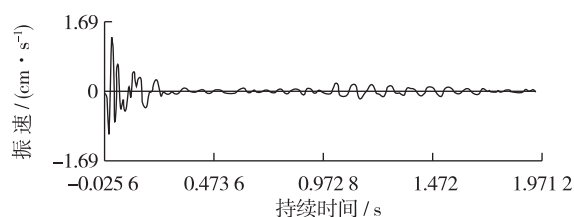


图3 K49抗滑桩处最大振速时程曲线

Fig. 3 Curve of maximum vibration velocity of K49 anti-slide pile along time

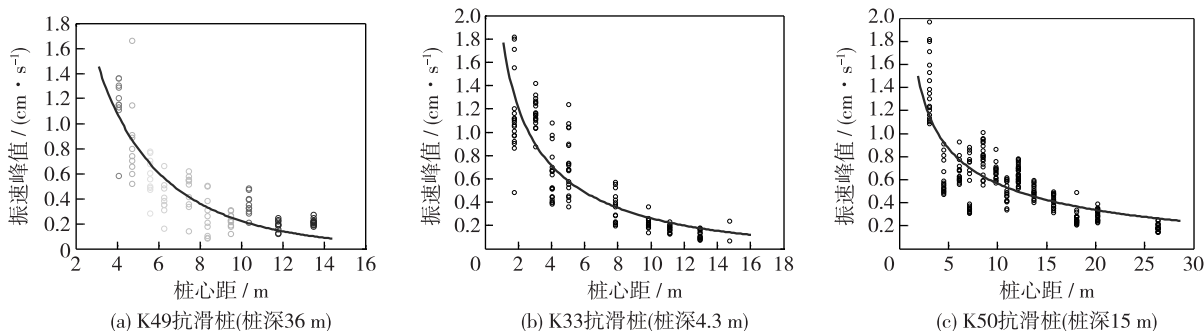


图4 抗滑桩处振动速度随地表桩心距的衰减关系曲线

Fig. 4 Decay relationships between vibration velocity and distance to surface pile center of anti-slide piles

表2 振动速度随桩基深度的变化

Tab. 2 Changes of vibration velocities with depth of pile foundation

观测点	K33(3.05 m)	K50(3.05 m)	K33(4.05 m)	K49(4.07 m)	K33(9.85 m)	K50(9.85 m)
最大振动速度/(cm · s ⁻¹)	1.42	1.97	1.08	1.36	0.36	0.86
平均振动速度/(cm · s ⁻¹)	1.17	1.37	0.62	1.16	0.21	0.66

2.3 结果分析

现场桩基振动测试结果表明,在K49抗滑桩处,桩深36 m处锤击时,地表最大质点振动速度仍然达到2 cm/s。通过对K49,K33和K50抗滑桩处振动波的测试,发现振动波振速峰值随距离桩中心的距离增加而

减小,打桩靠近基岩时的地表振动比地面软土打桩时的大。在 K50 抗滑桩处,距离桩心 26 m 处仍有 0.16~0.24 cm/s 的振动。目前还没有打桩施工对边坡振动影响的容许振动峰值的规定,与《建筑工程容许振动标准》^[7]中表 8.0.2-1 规定的打桩对建筑结构影响的容许振动值进行比较,结果表明来福士广场边坡冲击钻施工的振动效应较大。为了更清晰地得到黏土在振动作用下的强度参数变化规律,选取现场土样进行室内静动三轴试验,根据现场振动监测结果设置不同幅值的动应力,模拟不同桩基施工的动-静应力组合作用对边坡黏土强度的影响。

3 静动力三轴试验研究

3.1 制备试样

根据粗细粒混合土抗剪强度的已有研究成果,当粗颗粒部分的含量小于 70% 时,其抗剪强度取决于细粒部分,试验采用 O-P 段边坡的粉质黏土。根据地勘报告提供的边坡粉质黏土的原位实测密度范围(1.83~2.02 g/cm³),含水量为 21.7%~31.3%。试验时控制制样干密度 $\rho_d = 1.3 \text{ g/cm}^3$,采用击实法制备重塑试样。为加速排水固结速度,将自饱和器内取出的试样表面贴上 4 条宽 6 mm 的滤纸条,然后装入三轴压力室。试样装好后,施加周围压力,测得孔压系数 B 值均大于 0.95,然后打开排水阀门固结,固结完毕的标准为剩余孔压 $u \leq 5\% \sigma_3$ 。

3.2 三轴静强度(CU 试验)

对于黏性土边坡稳定分析而言,一般认为土在原位应力条件下已经固结完成,而在滑坡过程中剪切面土体中产生的超静孔隙水压力来不及完成,因此采用土在原位应力下固结后的不排水剪切强度进行边坡稳定分析。为定量对比试样在静力和动力作用下的强度,首先进行了物理性质试验和静三轴试验。根据现场应力范围,取固结压力为 50,100 和 200 kPa,均采用等压固结。物理性质指标及静强度指标分别为:天然密度 1.83 g/cm³,液限 28.7%,塑性指数 12.5,干密度 1.3 g/cm³,含水量 26.5%。试验仪器采用北京市新技术研究所生产的 DDS-70 微机控制电磁式振动三轴试验系统。

当试样在三轴仪上固结完成后,关闭排水阀门,控制轴向的剪切速率对试样进行不排水剪切。剪切过程中,测记施加于试样上的轴向压力、轴向变形和孔压的发展。试验得到的典型轴向应力-轴向应变($\sigma_1 - \sigma_3 - \varepsilon_1$)关系曲线见图 5,孔隙水压力 u 和应变 ε_1 的关系曲线($u - \varepsilon_1$)见图 6。可以看出,试验范围内,试样在剪切过程中偏差应力($\sigma_1 - \sigma_3$)一直随轴向应变 ε_1 的增加而增加,围压下的应力应变关系曲线基本呈应变硬化型,未出现峰值。取轴向应变为 15% 时的轴向应力作为试样的破坏应力。根据不同围压下试样的破坏应力,可用摩尔破坏圆整理出来福士广场边坡粉质黏土的不排水总应力强度包线见图 7 所示,从而得到各自的总强度指标 $C_{cu} = 49.5 \text{ kPa}$, $\varphi_{cu} = 17.0^\circ$ 。

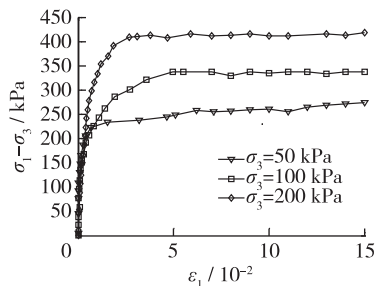


图 5 CU 试验应力-应变关系曲线
Fig. 5 Stress-strain relationship curves of CU test

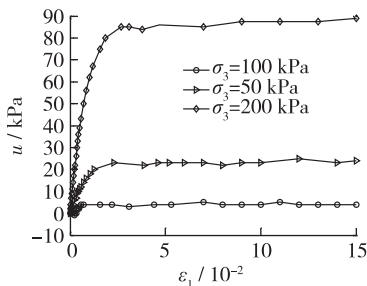


图 6 CU 试验孔压-应变关系曲线
Fig. 6 Pore pressure-strain relationship curves of CU test

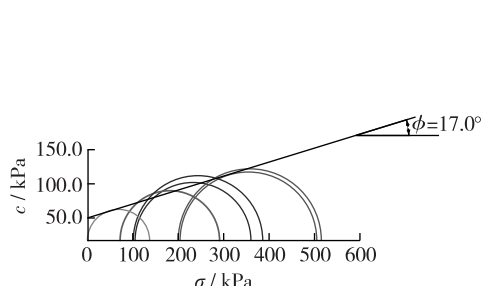


图 7 固结不排水试验摩尔强度包线
Fig. 7 Consolidation undrained test Mohr strength envelope

3.3 静动力联合作用下试样的剪切强度研究

如图 8 所示,边坡中潜在滑裂面上的土单元处于初始固结应力和静驱动剪应力作用下。坡体上施工等

动载作用又在滑裂面上的土体产生附加的动应力作用,在静动应力的联合作用下边坡土体会沿着初始驱动剪应力产生变形,甚至破坏。为模拟上述应力路径,在动三轴试验中设计的试验方案如下:①土样在不同的轴向应力和竖向应力比下固结,以模拟现场的初始固结应力状态;②在静应力情况下施加不同幅值的动应力,记录试样的变形发展过程;③如果试样振动次数超过2 000次仍没有明显的变形发展,则认为试样在静动应力组合下是稳定的;④增大静剪应力或动应力,进行重复振动,记录变形发展过程。按上述过程进行试验得到试样的典型变形发展过程如图9。

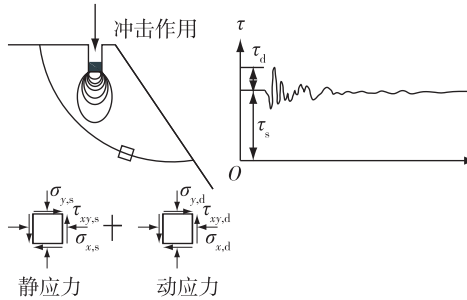


图8 冲击桩孔施工潜在滑裂面的静动力示意图

Fig. 8 The static and dynamic diagram of potential sliding surface under the impact drilling pile hole construction

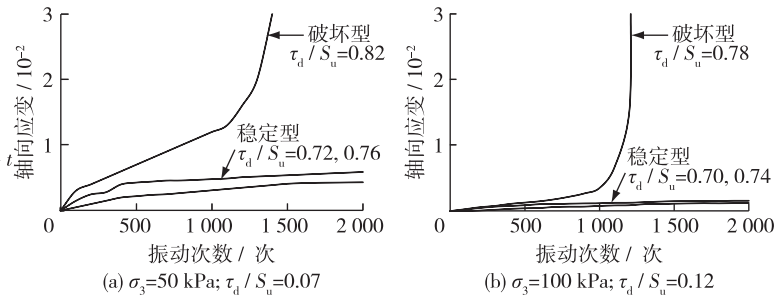


图9 不同静动应力组合作用下试样的典型变形发展过程

Fig. 9 Typical deformation process of specimen under action of different static and dynamic stress combinations

由试验结果可知,在不同的静动应力状态下试样的变形发展过程可分为两种类型:稳定型和破坏型。按上述过程进行的试验,根据试样的变形发展过程,则得出试样破坏和不破坏静动应力状态。两种状态的界限即是试样在不同静动应力状态下的强度。试样破坏后的典型形态见图10。

土在静动组合应力条件下的动强度与初始静剪应力和动应力强度有关,将上述试验结果得出的破坏和不破坏的静动应力组合汇总于图11。图中同时给出了已有文献建议的强度折减经验曲线^[8-13],由图11可见,本次对来福士广场的粉质黏土所作的动力试验结果基本符合一般规律。



图10 试样的典型破坏形态和破坏后的试样

Fig. 10 Typical failure patterns of specimens and specimens after failure

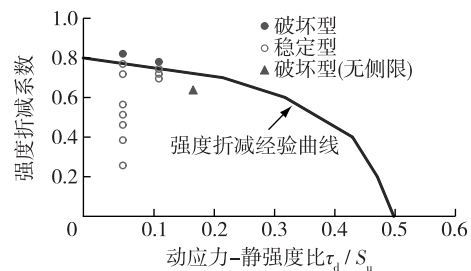


图11 动强度试验结果汇总

Fig. 11 Summary of dynamic strength test results

钻孔施工点离边坡滑动面的距离对土体稳定也有影响,离滑动面距离越远,振动影响作用越小。利用强度折减原理对土体抗剪强度进行逐步折减,直至达到临界破坏状态^[14]。原样土体的抗剪强度参数黏聚力 c 和摩擦角 φ ,破坏时的临界抗剪强度参数 c_c 和 φ_c ,定义折减系数 F_s ,有如下关系式:

$$c_c = \frac{c}{F_s}, \varphi_c = \arctan(\tan \frac{\varphi}{F_s}) \quad (2)$$

在进行静动力联合作用下的剪切强度试验时,设置了不同幅值的动应力,其本质为模拟振动施工距离的影响。根据强度折减系数随动-静强度比的变化规律可知,在 $0 < \tau_d/S_u < 0.43$ 时符合二次函数变化规律,

采用最小二乘法得到拟合函数方程为: $y = -2.155x^2 + 0.024x + 0.7918$, $R^2 = 0.9945$; 当 $0.43 \leq \tau_d/S_u \leq 0.50$ 时, 折减系数从 0.4 迅速下降到 0, 此时土体为振动剪切阶段; 当 $\tau_d/S_u > 0.50$ 后, 折减系数为 0 表明土体已经破坏, 达到振动极限状态。由现场振动测试结果可知, 桩基施工对边坡的动应力与静应力之比小于 0.2, 此时的折减系数符合拟合函数方程, 取值范围为 (0.71, 0.80)。综合上述试验结果, 建议来福士广场边坡在不同静动应力组合下的综合强度折减系数取 0.7~0.8。

4 结 语

通过对来福士广场边坡的现场勘查、现场振动测试以及土料的室内静动力三轴试验, 并参考已有研究成果, 可以得出如下结论:

(1) 在桩深 36 m 处锤击时, 地表最大质点振动速度仍大于 2 cm/s, 表明冲击振动钻施工的动力作用影响较大。对比 3 个桩的测试结果发现, 地表振动在桩尖靠近基岩的时候比桩尖在地面软土时候的大, 且与桩尖处土层的软硬程度、锤重有较大关系。综合考虑各因素后, 建议现场同时成孔施工的桩距宜大于 20 m。

(2) 通过模拟现场的静动应力状态, 并参考已有的研究成果, 建议考虑桩基施工动力作用下, 取土的强度折减系数为 0.7~0.8。施工时可以用静力方法来计算, 但需加上施工材料和机械设备的自重。

(3) 现场振动测试发现, 除振点距离对土体强度有影响外, 不同振动深度对土体强度折减系数也有影响。同一振动距离下, 随着桩基振动深度的增加, 振动传感器读数越大, 土体强度参数降低越明显。

(4) 桩基施工现场除了附加施工机械和材料的自重以及成孔冲击动力作用外, 护壁泥浆等都将对边坡稳定造成不利的影响, 鉴于天然土体物理力学性质的离散性, 采用强度折减法计算时存在一定误差, 建议加强边坡安全监测, 根据监测资料及时反馈分析, 确保施工期边坡安全。

参 考 文 献:

- [1] 薛雷, 孙强, 秦四清, 等. 非均质边坡强度折减法折减范围研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(2): 275-280. (XUE Lei, SUN Qiang, QIN Siqing, et al. Scope of strength reduction for inhomogeneous slopes[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(2): 275-280. (in Chinese))
- [2] 陈国庆, 黄润秋, 石豫川, 等. 基于动态和整体强度折减法的边坡稳定性分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(2): 243-256. (CHEN Guoqing, HUANG Runqiu, SHI Yuchuan, et al. Stability analysis of slope based on dynamic and whole strength reduction methods[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(2): 243-256. (in Chinese))
- [3] 郑颖人, 赵尚毅. 有限元强度折减法在土坡与岩坡中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(19): 3381-3388. (ZHENG Yingren, ZHAO Shangyi. Application of strength reduction FEM in soil and rock slope[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(19): 3381-3388. (in Chinese))
- [4] 叶俊能, 范思婷, 刘干斌, 等. 淤泥质粉质黏土温控动三轴试验[J]. 中国铁道科学, 2015(4): 1-7. (YE Junneng, FAN Siting, LIU Ganbin, et al. Temperature-controlled dynamic triaxial test of mucky silty clay [J]. China Railway Science, 2015(4): 1-7. (in Chinese))
- [5] 闫澍旺, 熊志福, 范期锦, 等. 长江口深水航道治理工程地基土动三轴试验研究综述[J]. 水运工程, 2006(增刊2): 148-152, 158. (YAN Shuwang, XIONG Zhifu, FAN Qijin, et al. Summarization of dynamic triaxial experimental research on foundation soils for Yangtze Estuary deepwater channel regulation project[J]. Port and Waterway Engineering, 2006(Suppl2): 148-152, 158. (in Chinese))
- [6] 重庆南江地质工程勘察院. 来福士广场详勘报告[R]. 重庆: 重庆南江地质工程勘察院, 2013. (Chongqing Nanjiang Geological Engineering Investigation Institute. Raffles city detail survey [R]. Chongqing: Chongqing Nanjiang Geological Engineering Investigation Institute, 2013. (in Chinese))
- [7] GB 50868—2013 建筑工程容许振动标准[S]. (GB 50868—2013 Standard for allowable vibration of building engineering[S]. (in Chinese))
- [8] SL 237—1999 土工试验规程[S]. (SL 237—1999 Geotechnical test procedures[S]. (in Chinese))
- [9] ANDERSEN K H, KLEVEN A, HEIEN D. Cyclic soil data for design of gravity structures[J]. Journal of Geotechnical

- Engineering, 1988, 114(5): 517-539.
- [10] LEFEBVRE G, PFENDLER P. Strain rate and preshear effects in cyclic resistance of soft clay[J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1996, 122(1): 21-26.
- [11] 王刚, 李子豪, 张建民. 黄骅港淤泥动力特性的三轴试验研究[J]. 港工技术, 2006(1): 49-52. (WANG Gang, LI Zihao, ZHANG Jianmin. Cyclic triaxial test study of Huanghua harbor' silt under ocean wave loading[J]. Port Engineering Technology, 2006(1): 49-52. (in Chinese))
- [12] 魏星, 王刚. 移动交通荷载下公路软土地基的沉降计算[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(12): 2217-2223. (WEI Xing, WANG Gang. Predicting settlement of road on soft subsoil induced by moving traffic load[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2015, 37(12): 2217-2223. (in Chinese))
- [13] 褚峰, 邵生俊, 陈存礼. 饱和淤泥质砂土动力变形及动强度特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(增刊1): 3299-3305. (CHU Feng, SHAO Shengjun, CHEN Cunli. Experimental study of dynamic deformation and dynamic strength properties of saturated silty sand[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(Suppl1): 3299-3305. (in Chinese))
- [14] 赵尚毅, 郑颖人, 时卫民, 等. 用有限元强度折减法求边坡稳定安全系数[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(3): 343-346. (ZHAO Shangyi, ZHENG Yingren, SHI Weimin, et al. Analysis of safety factor of slope by strength reduction FEM[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(3): 343-346. (in Chinese))

Experimental study on influence of pile foundation construction on slope clay strength

SHI Yueqing¹, YOU Kegin²

(1. School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China; 2. School of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, China)

Abstract: The continuous large vibration will be generated during the construction of the pile, resulting in the cumulative deformation of soil and the increase of the excess pore pressure, which eventually leads to the decrease of soil strength. Taking the west side of Raffles Square as an engineering case history, studies of the law of the clay slope's strength variation in the process of construction vibration are carried out. The vibration and shock of the anti-slide piles were tested by using the vibration meter and the ultra-low frequency sensor, according to the dynamic stress characteristics of the vibration, the static and dynamic triaxial tests were carried out to simulate the in situ stress state and stress path of the soil unit, in addition a test method has been developed. At last the reduction of soil strength under the action of dynamic stress during construction was analyzed. The analysis results of field vibration tests show that the maximum vibration velocity of the surface is up to 2 cm/s, as well as there is still a vibration at 26 m distance away from the pile, of which the velocity is approximately 0.16-0.24 cm/s. At the same time, with the increase of pile foundation construction, the vibration effect of soil is enhanced. Except for the above findings, it is also found that in the consolidated undrain condition, the results of static and dynamic triaxial tests show that when the total stress intensity envelope under different confining pressures was made, the dynamic strength of the soil is obviously lower than that of the static strength. And the relevant indexes data from results are obtained, and the soil body total strength index $C_{cu} = 49.5$ kPa and $\varphi_{cu} = 17.0^\circ$ are measured. The influences of pile foundation construction on soil strength are different according to different experimental rules. The test slope is clay conforms to the experience curve of soil strength reduction. Considering that the influences of the vibration force will increase slope sliding force and affect the strength of the soil, the comprehensive strength reduction coefficients will be taken as 0.7-0.8.

Key words: pile foundation in slope; clay strength; combinatorial stress; static and dynamic test