

MC 劲性复合桩在硬土层中应用的试验研究

郑贺¹, 鲍宇², 刘汉臣²

(1. 徐州市城市建设工程管理中心, 江苏 徐州 221018; 2. 徐州市建设工程检测中心有限公司, 江苏 徐州 221000)

摘要: 结合 MC 劲性复合桩在硬土层中应用的工程实例, 通过静载试验得出, MC 劲性复合桩具有较大的竖向承载力优势。M 桩取芯检测表明, 软土层中成桩效果较好, 较硬土层中成桩效果较差。基于此, 认为在较硬土层中, 桩侧阻由 M 桩承担, 端阻由 C 桩承担。将动静对比分析得到的预制桩平均侧阻力和端阻力分别代入 MC 劲性复合桩中, 计算极限承载力值介于 2 886~3 335 kN 之间, 较常规桩竖向抗压承载优势明显。针对现行规范中 MC 劲性复合桩计算端阻力偏低, 不适用硬地层的情况, 提出了端阻力计算改进公式, 侧阻力计算仍用原规范方法。改进后的方法在不影响侧阻计算的前提下, 可以明显改善端阻力计算结果。限于各种原因, MC 劲性复合桩静载试验没有得到极限承载力, 通过高应变进行动静对比试验反推的结果, 虽然符合端承摩擦桩的承载规律, 端阻比例也在合理范围内, 改进的方法虽然比规范方法更容易提高桩端阻力, 但准确性和普适性还需进一步验证。

关键词: MC 劲性复合桩; 静载试验; 取芯检测; 动静对比; 改进公式; 承载力估算

中图分类号: TU473

文献标识码: A

文章编号: 2096-7195(2023)03-0262-07

Experimental study on the application of MC strength composite pile in the hard soil layer

ZHENG He¹, BAO Yu², LIU Han-chen²

(1. Xuzhou Construction Engineering Management Center, Xuzhou 221018, Jiangsu, China;

2. Xuzhou Construction Engineering Testing Center Co., Ltd., Xuzhou 221000, Jiangsu, China)

Abstract: Combined with the engineering examples of the application of MC rigid composite pile in the hard soil layer, the advantages of MC rigid composite pile with a large vertical bearing capacity are obtained through the static load tests. The coring test of M pile shows that the effect of pile formation in soft soil layer is better than that in hard soil layer. It can be considered that in the hard soil layer, shaft resistance is provided by M pile and end resistance is borne by C pile. Substituting the average shaft resistance and end resistance of the precast piles obtained by the dynamic and static comparative analysis into the MC rigid composite piles, the calculated ultimate bearing capacity is between 2 886 kN and 3 335 kN, which has obvious advantages over conventional piles in vertical compressive bearing capacity. In view of the calculated end resistance of the MC pile is smaller than the measured value in the hard soil layer, an improved formula for the calculation of end resistance was proposed. The side resistance calculation still use the original specification method. The improved formula significantly improves the calculation accuracy of the end resistance without affecting the results of shaft resistance. Limited to various reasons, the ultimate bearing capacity of MC rigid composite piles has not been obtained through static load tests. The back-calculated results of dynamic and static comparison tests with high strain conform to the bearing law of end-bearing friction piles, and the end-resistance ratio is also within a reasonable range. Although the improved method is easier to increase the pile end resistance compared to the standard method, the accuracy and universality need to be further verified.

Key words: MC rigid composite pile; static load test; core detection; dynamic and static comparison; improvement formula; bearing capacity estimation

0 引言

MC 劲性复合桩是在水泥土搅拌桩中置入小直径的刚性桩,形成具有相互增强作用的复合桩。M 桩指半刚性的水泥搅拌桩, C 桩指刚性桩,多由混凝土、钢、水泥粉煤灰碎石混合料等构成,如图 1 所示。M 桩桩身强度受土质、施工工艺影响,单桩承载力往往不大,软弱土中刚性桩侧摩阻力和端阻力往往不大,单桩的承载力也不高。MC 劲性复合桩可平衡以上二者的不足,通过大直径搅拌桩增加桩侧受力面积,进而增加桩侧阻力;通过搅拌改变桩底土的状态,增加桩端阻力,进而提高处理地基的整体强度和刚度,具有不错的经济优势,目前已在不少地区成功应用^[1-4]。

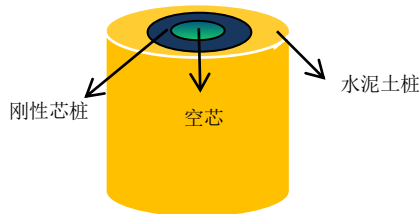


图 1 MC 劲性复合桩构造示意图

Fig. 1 Schematic diagram of MC strength composite pile structure

MC 劲性复合桩存在土-水泥土和刚性桩-水泥土两个潜在破坏界面,理论上可能出现 4 种破坏模式:桩周土强度不足,表现为 MC 桩刺入破坏;混凝土强度不足,表现为桩头混凝土压碎(爆);刚性桩和水泥土桩间的侧摩阻力不足,表现为刚性桩向水泥土桩中刺入破坏;水泥土强度不足,表现为无芯段的水泥土被压碎。吴迈等^[5]基于室内模型试验,得出刚性桩-水泥土界面的黏结强度平均值介于水泥土无侧限抗压强度的 0.176~0.213 之间。宦雯等^[6]基于现场足尺试验,指出管桩-水泥土界面的黏结强度平均值为水泥土无侧限抗压强度的 0.191~0.202 倍。俞建霖等^[7]基于模型试验得出的结果为 0.064~0.259。水泥土桩的材料强度一般都要求 1.0 MPa 以上,按照以上文献结果,水泥土-刚性桩之间交界面的黏结强度可达 200 kPa 以上,所以此界面一般不会对软土中桩的承载力起控制作用。丁永君等^[8]根据现场试验指出 MC 劲性复合桩比预制桩具有更好的承载性能,其水泥土-土界面侧摩阻力可以达到规范推荐预制桩侧阻力的 1.29~3.90 倍。包华等^[9]指出 MC 桩水泥土-土界面侧阻值可比钻孔灌注桩大 73%~91%。梁善斋^[10]基于现场载荷试验指出,水泥土与管桩的界面摩阻力较天

然土与管桩界面摩阻力可提升 6~9 倍。宦雯等^[6]、李立业等^[11]基于不同破坏模式,提出了 MC 劲性复合桩竖向承载力计算的改进公式。

以上文献中的工程实例大多在软土地区,桩端阻力都较弱,均不足总承载力的 20%,对于具有相对良好持力层的工况研究较少。本文将结合持力层为硬塑黏土的工程实例,通过基桩静载试验、高应变试验等手段,对 MC 劲性复合桩竖向承载性能进行简单分析探讨。

1 试桩情况

1.1 工程概况

某地区规划建设高层住宅(6~18F)和配套公建(1~2F),场地普遍设置 1 层地下车库,局部设 2 层地下车库。拟建项目用地红线距离轨道交通区间隧道结构边线最小距离为 18 m,地下室轮廓线距离地铁隧道最近距离约 24 m。南侧两栋楼及部分地库位于地铁 50 m 控制线范围内,为保证地铁运行安全,南侧近地铁线两栋楼设计拟采用 MC 劲性复合桩,其余楼栋采用预制方桩。土层物理力学参数如表 1 所示,设计试桩参数如表 2 所示。M 桩采用湿法施工,同径搅拌,二搅二喷,采用 PO 42.5 普通硅酸盐水泥,水泥掺入量为 15%,C 桩采用高强混凝土预应力空心管桩。

1.2 静载试验结果

静载试验采用慢速维持荷载法,压重平台反力装置,检测要点按照《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2014)^[12],加载至预估值 70%时,改为原分级一半加载,直至达到要求荷载,检测结果见表 3。

由表 3 可知,预制方桩均出现部分破坏,检测得到极限承载力。1-SZ 型试桩极限承载力统计值为 2 625 kN, 2-SZ 型试桩极限承载力统计值为 2 530 kN, 3-SZ 型试桩极限承载力统计值为 2 750 kN。随着桩长增加,预制方桩的极限承载力统计值略有增长,如图 2 所示。4-SZ 型试桩由于设计方仅要求加载至 2 475 kN, 3 根试桩均未破坏,因此未得到单桩竖向抗压极限承载力,单桩竖向抗压承载力统计值为 2 475 kN。3 根试桩沉降量一致性较好,最大沉降量为 6.0 mm 左右,远小于其它 3 种类型的试桩, Q-S 曲线呈现良好的线性,说明其承载力尚有发挥空间。由表 3 还可知,当沉降量均控制在 6.0 mm 时,较短的 MC 劲性复合桩承载力普遍大于较长的预制桩,甚至达到预制桩承载力的两倍,这说明在较硬地层中,该桩仍具有较大的抗

压承载力优势。4-SZ1号试桩的桩顶位移和桩侧水
泥土 $Q-S$ 曲线如图3所示,由图可知M桩和C桩

桩顶位移一致性很好,二者之间未出现滑动面,其
余曲线和该曲线类似,不逐一表示。

表1 土层物理力学参数

Table 1 Physical and mechanical parameters of soil layer

序号	名称	平均层厚/m	岩土层状态	重度 γ (kN/m ³)	黏聚力 c kPa	内摩擦角 φ (°)	承载力特征值 f_{ak} /kPa	压缩模量 E_s /MPa
①	杂填土	1.24	—	17.00*	8.0*	10.0*	—	—
②-1	粉质黏土	1.18	软塑	18.13	12.2	4.7	90	3.0
②-2	粉土	1.54	稍密	19.13	11.4	24.9	100	5.0
②-3	淤泥质粉质黏土	1.62	流塑	17.14	6.3	3.7	80	2.5
②-4	粉土	2.06	稍密-中密	19.07	10.9	24.8	100	5.0
②-5	粉质黏土	2.55	软塑	18.43	11.8	5.3	100	4.0
②-5A	粉土	1.28	稍密-中密	19.13	11.4	24.7	110	5.0
②-6	粉土	1.17	稍密-中密	19.16	11.3	24.6	110	5.0
②-7	粉质黏土	2.82	可塑	18.84	29.7	7.2	140	6.0
③	黏土	10.66	硬塑	19.58	76.8	13.0	200	10.0
④	石灰岩	最大揭露厚度 10.00	—	—	—	—	3 500	—

注:表中*为预估值。

表2 试桩参数

Table 2 Parameters of test piles

桩型	桩型	桩长/m	数量	桩顶标高/m	持力层
1-SZ	HKFZ-400AB(240)	21.0	3	37.85	③层黏土
2-SZ	HKFZ-400AB(240)	20.0	3	38.25	③层黏土
3-SZ	HKFZ-400AB(240)	22.0	3	38.65	③层黏土
4-SZ	外芯: $\Phi 900$ 水泥土桩	19.0	3	38.25	③层黏土
	内芯: PHC400(95)AB	18.0	3	38.25	③层黏土

注:HKFZ指高强混凝土预应力空心方桩;400指桩边长(桩径);AB指桩的型号,表示抗弯性能;PHC指高强混凝土预应力管桩;95指管桩壁厚;240指方桩内径。

表3 试桩静载试验结果

Table 3 Static load test results of the piles

试桩编号	最大加载 量/kN	最大沉降 量/mm	单桩竖向抗压极限 承载力/kN	相应沉降 量/mm	6.0 mm 沉降量对 应荷载/kN	单桩竖向抗压极限承 载力统计值/kN
1-SZ1	2 588	52.57	2 475	14.12	1 275	
1-SZ2	2 925	54.72	2 813	8.82	2 006	2 625
1-SZ3	2 700	50.30	2 588	13.61	1 721	
2-SZ1	2 645	49.76	2 530	10.19	1 605	
2-SZ2	2 760	8.70	2 760	8.70	2 395	2 530
2-SZ3	2 415	98.58	2 300	14.18	1 661	
3-SZ1	2 750	111.94	2 500	16.25	1 720	
3-SZ2	3 000	14.16	3 000	14.16	2 132	2 750
3-SZ3	2 875	81.42	2 750	12.12	1 992	
4-SZ1	2 475	6.02	2 475	6.02	2 470	
4-SZ2	2 475	5.70	2 475	5.70	>2 475	2 475
4-SZ3	2 475	6.28	2 475	6.28	2 380	

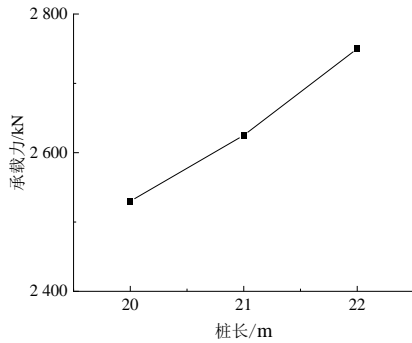


图 2 预制空心方桩承载力与桩长关系

Fig. 2 Relationship between bearing capacity and pile length of prefabricated hollow square piles

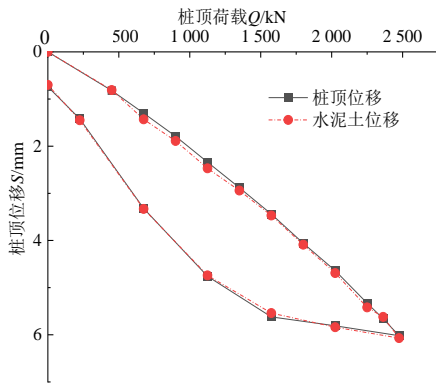


图 3 4-SZ1 号 Q-S 曲线

Fig. 3 Q-S curve of No.4-SZ1

1.3 动静对比

由于 MC 劲性复合桩首次在本区域应用, 设计试桩的静载试验未得到极限承载力, 只能通过间接方法对其极限承载力进行预估。基于此, 本文采用高应变动静对比试验对 MC 劲性复合桩进行了极限承载力的估算。

12 根设计试桩均位于同一场地, 场地地质条件相同, 土体物理力学指标相近, 为动静对比试验提供了前提条件。将通过静载试验获得极限承载力的预制桩用高应变试验将其侧阻力和端阻力分离出来, 代入到 MC 劲性复合桩中, 即可得到 MC 劲性复合桩极限承载力预估值。

图 4 和图 5 表示的是 1-SZ3 号试桩动静对比 Q-

S 曲线和轴力分布曲线。高应变拟合得到的极限承载力为 2 557 kN, 与静载试验结果 2 588 kN 接近, 误差仅为 1.2%, 最大拟合沉降 14.40 mm, 与静载试验结果 13.61 mm 接近, 误差仅为 5.8%。拟合侧阻力为 1 971 kN, 拟合桩端阻力为 586 kN, 桩端阻力占比 22.9%, 属于端承摩擦桩。

由于部分试桩在静载试验过程中被压爆或不具备高应变检测条件, 所以仅对部分桩进行了高应变试验, 拟合分析结果如表 4 所示。由表 4 可知, 3 种不同桩长的拟合端阻力占拟合极限承载力的比例在 20%~30%之间, 端阻力与承载力之比与桩长呈现弱负相关。

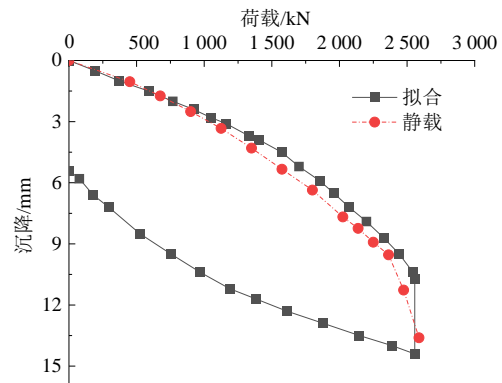


图 4 1-SZ3 号动静对比 Q-S 曲线

Fig. 4 Q-S curve for dynamic and static comparison of No. 1-SZ3

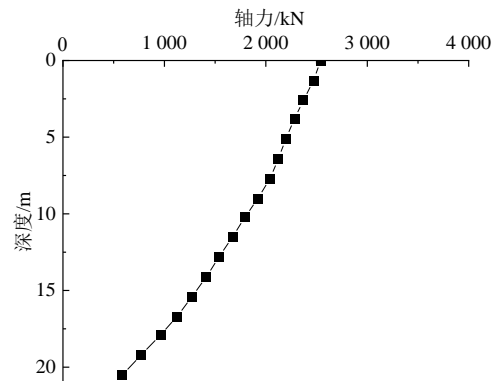


图 5 1-SZ3 号高应变拟合轴力分布曲线

Fig. 5 Distribution curve for high strain fitting axial force of No. 1-SZ3

表 4 高应变试验结果

Table 4 High-strain test results

试桩编号	拟合承载力/ kN	拟合沉降量/ mm	拟合总侧阻/ kN	桩上部 18 m 范围拟合 平均侧阻/kPa	拟合总端阻/ kN	端阻占比/ %	极限端阻力标 准值 q_{pk} /kPa
1-SZ1	2 513	13.44	2 001	54.5	512	20.4	3 392
1-SZ3	2 557	14.40	1 971	51.9	586	22.9	3 882
2-SZ1	2 560	12.26	1 946	52.4	614	24.0	4 067
2-SZ2	2 880	8.70	2 033	54.3	847	29.4	5 611
3-SZ3	2 722	12.48	2 148	49.1	574	21.1	3 802

2 劲性复合桩极限承载力预估

2.1 高应变法预估极限承载力

本工程 M 桩水泥掺量为 15%，静载试验后对其进行了通长取芯检测，如图 6 所示。选取 1 组芯样，进行了无侧限抗压试验，抗压强度分别为 0.86 MPa、1.05 MPa、1.22 MPa。结合文献[5]、[6]和图 3，水泥土桩和芯桩界面的极限摩阻力大于水泥土桩和土界面的极限摩阻力，后者成为 MC 劲性复合桩极限侧摩阻力计算的控制因素。



图 6 4-SZ1 号水泥土桩芯样照片

Fig. 6 Core sample photo of No. 4-SZ1 cement-soil pile

图 6 表示的是 4-SZ1 号 M 桩芯样照片，由图可知水泥土在②₁、②₃和②₅层的软土层中成桩较好，在③层黏土中成桩质量很差，可认为搅拌桩对该层土承载力改善作用不大，可用该层原状土物理力学指标进行桩端阻力的计算。

将拟合得到的预制桩端阻力通过《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008) [13] 反算即可得到极限端阻力标准值，如表 4 所示，表中 q_{pk} 即为极限端阻力标准值。将拟合得到的预制桩上部 18 m 已发挥平均侧阻力、端阻力代入规范[14]，按式 (1) 进行承载力的计算。

$$Q_{uk} = U \sum q_{sia} l_j + q_{pk} (A_j + \lambda_p A_{p1}) \quad (1)$$

式中： q_{sia} 为复合段第 i 土层水泥土桩侧阻力标准值，kPa； A_j 为空心桩桩端净面积； λ_p 为土塞效应系数，当桩端进入持力层深度大于 5 倍管桩内径时取 0.8，当小于 5 倍时取 0.16 倍入持力层深度与管桩内径的比值； q_{pk} 为极限端阻标准值，kPa。

通过以上计算，本项目 MC 劲性复合桩极限承载力介于 2 886~3 335 kN 之间，计算极限端阻力介于 402~666 kN 之间，计算的桩端阻力占总极限

承载力的 11.1%~17.2%。

2.2 省规程预估承载力

《劲性复合桩技术规程》(DGJ32/TJ 151—2013) [14] 采用的承载力计算方法如式 (2) 所示。

$$R_a = U \sum \xi_{si} q_{sia} l_i + U \sum q_{sja} l_j + \xi_p q_{pa1} A_{p1} \quad (2)$$

$$Q_{uk} = 2R_a \quad (3)$$

式中： R_a 为劲性复合桩单桩竖向抗压承载力特征值，kN； U 为复合桩外芯桩身周长，m，按 M 桩设计桩径计算； l_i 为劲性复合桩复合段第 i 土层厚度，m； l_j 为劲性复合桩非复合段第 j 土层厚度，m，短芯桩为芯桩桩端平面下 $8d$ 以内第 j 土层厚度； q_{sia} 为复合段第 i 土层水泥土桩侧阻力特征值，kPa； q_{sja} 为非复合段第 j 土层侧阻力特征值，kPa； A_{p1} 为劲性复合桩桩身截面积， m^2 ，按 M 桩设计桩径计算； ξ_{si} 为复合段侧阻力调整系数； ξ_p 为复合段端阻力调整系数。

按式 (2) 和 (3) 进行承载力计算，当平均侧阻为 12 kPa 时，M 桩桩身极限侧阻力即可达到 2 400 kN，但极限端阻力却仅为 152 kN，明显偏小，所以该规程对于持力层比较好的工况，承载力计算公式已不再适用。

2.3 改进的承载力预估公式

基于以上分析，建议针对持力层比较好的工况，短芯或等芯 MC 劲性复合桩极限承载力估算时，侧阻计算可采用《劲性复合桩技术规程》(DGJ32/TJ 151—2013) [14]，端阻计算采用《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008) [13] 中管桩端阻的估算方法，即式 (4)：

$$Q_{uk} = 2U \sum \xi_{si} q_{sia} l_i + q_{pk} (A_j + \lambda_p A_{p1}) \quad (4)$$

式中各参数的意义同前文， q_{pk} 可通过试验获得，如无法获得时可按经验取值。按此方法计算的端阻介于 652~712 kN 之间，比规范[14]效果明显改善，计算的极限承载力也和高应变拟合结果更接近。

3 结 论

本文通过静载检测、取芯试验、高应变动静对比试验，开展了对硬土层中 MC 劲性复合桩竖向承载力计算的分析探讨，形成了以下结论：

(1) 在硬土层中 MC 劲性复合桩的单桩竖向承载力较常规预制桩依然优势明显，在一定的沉降水平下，复合桩的承载力甚至可能两倍于常规预制桩。

(2) 结合取芯检测可以得出, M 桩成桩效果在软土中较好, 芯样强度较高, 可以将芯桩和水泥土看成一个整体, 在硬土层中成桩效果较差, 设计时可认为 M 桩承担侧阻力, C 桩承担端阻力。

(3) 通过高应变动静对比分析, 将拟合得到的预制桩端阻力、侧阻力, 分别用于 MC 劲性复合桩的极限承载力的计算, 可以取得不错的效果。

(4) 现行规范中 MC 劲性复合桩承载力的计算方法, 主要针对软土考虑, 不适用持力层较好的工况, 基于此提出了承载力计算的改进方法。改进方法的计算结果更接近拟合承载力。

限于各种原因, 本项目 MC 劲性复合桩静载试验没有得出极限承载力, 通过高应变进行动静对比试验反推的结果, 虽然符合端承摩擦桩的承载规律, 端阻力比例也在合理范围内, 改进的承载力计算方法比规范方法更容易提高端阻, 但准确性和普适性还需进一步验证。

参考文献

- [1] 郑刚, 龚晓南, 谢永利, 等. 地基处理技术发展综述[J]. 土木工程学报, 2012, 45(2): 127-146.
ZHENG Gang, GONG Xiao-nan, XIE Yong-li, et al. State-of-the-art techniques for ground improvement in China[J]. China Civil Engineering Journal, 2012, 45(2): 127-146.
- [2] 邓亚光, 郑刚, 陈昌富, 等. 劲性复合桩技术综述[J]. 施工技术, 2018, 47(增刊 4): 262-264.
DENG Ya-guang, ZHENG Gang, CHEN Chang-fu, et al. Review of SCM composite column pile[J]. Construction Technology, 2018, 47(S4): 262-264.
- [3] 李俊才, 邓亚光, 宋桂华, 等. 素混凝土劲性水泥土复合桩承载机理分析[J]. 岩土力学, 2009, 30(1): 181-185.
LI Jun-cai, DENG Ya-guang, SONG Gui-hua, et al. Analysis of load-bearing mechanism of composite foundation of plain concrete reinforced cement-soil mixing piles[J]. Rock and Soil Mechanics, 2009, 30(1): 181-185.
- [4] 钱于军, 许智伟, 邓亚光, 等. 劲性复合桩的工程应用与试验分析[J]. 岩土工程学报, 2013, 35(增刊 2): 998-1001.
QIAN Yu-jun, XU Zhi-wei, DENG Ya-guang, et al. Engineering application and test analysis of strength composite piles[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2013, 35(S2): 998-1001.
- [5] 吴迈, 赵欣, 窦远明, 等. 水泥土组合桩室内试验研究[J]. 工业建筑, 2004, 34(11): 45-48.
WU Mai, ZHAO Xin, DOU Yuan-ming, et al. Experimental study on stiffened DCM pile in laboratory[J]. Industrial Construction, 2004, 34(11): 45-48.
- [6] 宦雯, 李俊才, 袁孝蓓, 等. 管桩水泥土复合基桩极限承载力的设计计算[J]. 建筑科学, 2018, 34(5): 23-30.
HUAN Wen, LI Jun-cai, YUAN Xiao-bei, et al. Research on design calculations of ultimate bearing capacity of composite pile made up of Jet-mixing cement and PHC pile with core concrete[J]. Building Science, 2018, 34(5): 23-30.
- [7] 俞建霖, 徐嘉诚, 周佳锦, 等. 混凝土芯水泥土复合桩混凝土-水泥土界面摩擦特性试验研究[J]. 土木工程学报, 2022, 55(8): 93-104, 117.
YU Jian-lin, XU Jia-cheng, ZHOU Jia-jin, et al. Experimental study on frictional capacity of concrete-cemented soil interface of concrete-cored cemented soil column[J]. China Civil Engineering Journal, 2022, 55(8): 93-104, 117.
- [8] 丁永君, 李进军, 刘峨, 等. 劲性搅拌桩的荷载传递规律[J]. 天津大学学报, 2010, 43(6): 530-536.
DING Yong-jun, LI Jin-jun, LIU E, et al. Load transfer mechanism of reinforced mixing pile[J]. Journal of Tianjin University, 2010, 43(6): 530-536.
- [9] 包华, 洪俊青, 夏胞刚, 等. 劲性复合桩外界面侧阻强化效应试验研究[J]. 建筑科学, 2022, 38(1): 107-113.
BAO Hua, HONG Jun-qing, XIA Bao-gang, et al. Experiment on the outer interface enhanced shaft-resistance effect of the stiffened deep cement-mixing pile[J]. Building Science, 2022, 38(1): 107-113.
- [10] 梁善斋. 水泥土复合管桩竖向承载特性现场试验[J]. 岩土工程学报, 2021, 43(增刊 2): 280-283.
LIANG Shan-zhai. Field tests on vertical bearing capacity of pipe piles in cement-improved soil[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2021, 43(S2): 280-283.
- [11] 李立业, 刘松玉, 章定文, 等. 劲性复合桩承载力计算方法探讨[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(增刊 1): 43-47.
LI Li-ye, LIU Song-yu, ZHANG Ding-wen, et al. Bearing capacity calculations of strength composite piles[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2015, 11(S1): 43-47.
- [12] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑基桩检测技术规范: JGJ 106—2014[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the

