

TC 桩技术及其工程应用分析

方鹏飞¹, 董宏波²

(1. 浙江大学宁波理工学院, 浙江 宁波 315100; 2. 宁波市市政公用工程安全质量监督站, 浙江 宁波 315000)

摘要:近年来,刚性桩复合地基处理方法在路堤软基加固工程中得到越来越广泛的应用。主要介绍了 TC 桩及其桩承式路堤系统的应用。TC 桩具有加固效果好、处理深度深、工期短、质量便于控制、造价合理等优点,在对沉降稳定要求较高的路堤软基加固工程中逐渐得到应用。在介绍 TC 桩施工工艺的基础上,通过 TC 桩在某城市快速路软基加固工程中的应用,对单桩竖向静载荷试验和弯沉试验结果进行分析,说明 TC 桩的应用非常成功,试验结果可为 TC 桩及其复合地基理论研究提供参考。

关键词: TC 桩; 施工工艺; 静载荷试验; 弯沉试验

中图分类号: TU473 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4548(2011)S2-0116-04

作者简介: 方鹏飞(1975-),男,浙江义乌人,博士,副教授,主要从事桩基工程、环境岩土工程等方面的研究与教学工作。E-mail: fpf@nit.zju.edu.cn。

Construction technology of TC piles and its engineering application

FANG Peng-fei¹, DONG Hong-bo²

(1. Ningbo Institute of Technology, Zhejiang University, Ningbo 315100, China; 2. Ningbo Municipal Engineering Safety Quality Supervision Station, Ningbo 315000, China)

Abstract: The rigid pile composite foundation has been widely applied in soft ground treatment in recent years. The piled embankment system of TC piles, which belong to the rigid pile composite foundation, is introduced. It has been applied in some soft ground treatment of embankment for its advantages of better stabilizing effect, short construction period, better quality, economy, etc. Based on introducing the construction technology of TC piles and its application in a road engineering, the results of static load tests and deflection tests are analyzed. It is shown that the application of TC piles is feasible. It may provide reference for the theoretical researches on TC piles and composite foundations.

Key words: TC pile; construction technology; static load test; deflection test

0 引言

随着我国基础设施建设的不断发展,在软土地基上要建造大量的建筑工程、道路工程、水利工程等,由于软土具有孔隙比大、含水率高、沉降大等特点,必须对软土进行工程处理。在目前众多软土地基的处理方案中,刚性桩复合地基处理方法具有加固效果好、处理深度深、工期短和质量便于控制等优点,在路堤软基加固工程中特别是对沉降稳定要求较高的路段得到越来越广泛的应用。国内常用的有振动沉管素混凝土桩、Y形等异型灌注桩、大直径现浇薄壁管桩、碎石塑料套管混凝土桩等^[1]。

塑料套管现浇混凝土桩(简称 TC 桩)是在国外 AUGEO 桩基础上发展起来的一种新桩型^[2-3]。TC 桩具有加固效果好、处理深度深、工期短、质量便于控制、造价合理等优点,在路堤软基加固工程中得到越

来越多的应用,如杭金衢高速公路浦阳互通软基处理工程、甬台温铁路台州段连接线软基处理工程、江苏 243 省道软基处理工程、上海中环线浦东段软基处理工程、广东东莞虎门港进港公路软基处理工程、宁波外环线软基处理工程等都使用了这类桩^[4]。

TC 桩作为一种新桩型,工作机理非常复杂,其应用刚刚起步,需在工程中加强现场试验研究和应用效果监测。本文通过介绍 TC 桩在某城市快速路软基处理工程中的应用,对其承载性状和现场弯沉试验结果进行分析,可为 TC 桩及其复合地基理论研究提供参考。

1 TC 桩简介

1.1 TC 桩组成

TC 桩由预制桩尖、螺纹塑料套管、混凝土桩身、盖板等组成。TC 桩成桩过程：将塑料套管按一定的间距采用专用设备逐根将管打入需要加固的地基中，套管为底部封闭，顶部开口，待分段区块塑料套管全部打设完毕后，再统一对埋设在地基中的套管内用混凝土连续浇注成桩，套管不再取出，套管与填充物就形成了加固桩，桩顶设置盖板，并铺设垫层和土工格栅，形成桩承式加筋路堤系统。

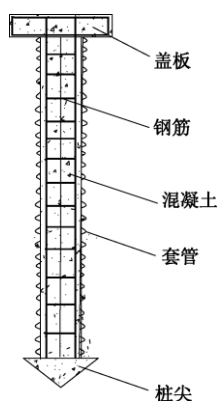


图 1 TC 桩示意图

Fig. 1 Sketch of a TC pile

预制桩尖采用圆形，能与套管紧密连接，一般采用 C30 混凝土，直径约为 300 mm（常用的 PVC 螺纹塑料管直径为 160 mm）。预制桩尖设置构造钢筋，保证打桩过程中桩尖的完整性。桩顶盖板一般与桩身混凝土一体化浇注，盖板的直径一般为 40~60 mm，高一般采用 200 mm。为保证盖板和桩身的整体性，TC 桩桩顶钢筋要锚入盖板。待桩身混凝土达到一定强度后，在盖板顶铺设土工格栅等水平加筋体，TC 桩、垫层、水平、土工格栅及路堤共同构成 TC 桩桩承式加筋路堤系统，如图 2 所示^[2,5]。

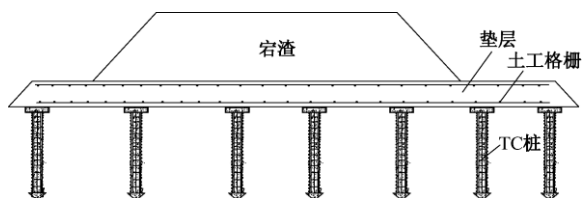


图 2 TC 桩桩承式加筋路堤系统

Fig. 2 Pile-support reinforced embankment system of TC pile

1.2 TC 桩施工工艺

TC 桩主要施工步骤为

- (1) 塑料套管混凝土桩打设前，先平整场地，铺设 200 mm 垫层。
- (2) 塑料套管准备及制作。根据加固桩长的要求，将出厂的套管切割成合适长度。
- (3) 制作桩尖并与套管连接。将切割好的套管与

桩尖连接密封牢固。

- (4) 将打设设备移机就位。
- (5) 放置套管及打设。
- (6) 拔钢管。将钢管拔出而将塑料套管留在地下，移机至下一个桩位，重复 (4) ~ (5) 工序，继续埋设套管。
- (7) 截桩和检查套管的深度。
- (8) 放置桩身和盖板钢筋。
- (9) 浇注混凝土。将混凝土（塌落度为 20 cm 左右）浇注在套管中，然后用专用加长振动棒（振捣深度在 15~20 m 以上）振捣混凝土至密实并及时补充混凝土，使混凝土填充整个塑料套管。
- (10) 桩体检测。待桩体强度达到一定要求后可对成桩进行检测，方法与其它现浇混凝土桩类同。
- (11) 桩、盖板混凝土达到一定强度后，铺设土工格栅。
- (12) 在土工格栅上铺设碎石垫层。

2 TC 桩在公路软基处理中的应用

2.1 工程概况

某城市快速路位于典型的滨海软土地区。勘察结果表明，上部土层以滨海相、海相的沉积物为主，下部土层以陆相冲湖积、冲洪积土层为主。场地内受工程影响深度范围内土层划分为：①-1 层杂填土，主要由碎石、黏性土、生活垃圾组成，层厚 0.5~1.0 m；①-2 层黏土，可塑—软塑，中等偏高—高压缩性，层厚 0.7~1.5 m；②-1 层淤泥质黏土，灰色，流塑，高压压缩性，层厚 2.2~3.1 m；②-2 层淤泥，灰色，流塑，高压压缩性，层厚 5.9~8.0 m；②-3 层淤泥质黏土，灰色，流塑，高压压缩性，层厚 1.6~3.9 m；③-1 层粉质黏土，灰色，流塑，中—高压压缩性，层厚 1.6~3.1 m；③-2 层含黏性土粉砂，青灰色，黏性土含量较大，松散—稍密，中等压缩性，层厚 0.9~2.5 m；③-3 层粉质黏土，灰色，流塑，中—高压压缩性，局部为粉土，层厚 6.7~10.3 m；④-1 层淤泥质黏土，深灰色，流塑，高压压缩性，层厚 6.5~13.8 m；④-2 层黏土，深灰色，流塑—软塑，高压压缩性，层厚 2.5~6.1 m；④-3 层粉质黏土，灰色，软塑，中—高压压缩性，层厚 6.3~10.9 m；⑤层中砂，灰黄色，级配较差，层厚 1.9~9.2 m；⑥层粉质黏土，灰色，软塑，中等压缩性，层厚 4.6~13.4 m。其中，②-1 层、②-2 层、②-3 层为全新世早中期滨海相沉积软土，是该路段路基主要压缩层。具有含水率高、压缩性高、灵敏度高、抗剪强度低、渗透性能差，承载力低等特性，其主要物理力学性质见表 1。

2.2 软基处理方案

根据地质条件,对常用的几种桩型:水泥搅拌桩、

表 1 软土主要物理力学指标

Table 1 Physical and mechanical indexes of soft soils

土层	含水率 $w/\%$	密度 $\rho/(\text{g cm}^{-3})$	孔隙比 e	液限 w_L	液性指数 I_L	压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}	压缩模量 E_s/MPa	固快指标	
								c/kPa	$\varphi/(\text{^\circ})$
②-1	46.5	1.74	1.324	40.82	1.32	1.02	2.33	11.4	10.9
②-2	55.5	1.67	1.558	42.49	1.61	1.41	1.82	9.4	8.5
②-3	49.8	1.72	1.354	38.75	1.59	1.07	2.25	11.1	12

振动沉管灌注桩、预应力管桩和 TC 桩方案进行对比。水泥搅拌桩是柔性桩,桩身质量不易控制,处理深度浅,工后沉降大;沉管灌注桩是挤土桩,易出现断桩、缩颈等现象,桩身质量不易控制;预应力管桩质量容易保证,刚度大,应用较广泛,但造价较高。从施工可行性、承载力、沉降、工程造价等方面综合考虑,决定在城市快速路软基处理工程中采用 TC 桩。

TC 桩要求地基中下部含硬土层作为桩端持力层,采用③-2 含黏性粉砂层作为持力层,其承载力特征值为 130 kPa,桩长为 15.0~17.0 m。采用 TC 桩桩径为 160 mm,桩间距为 1.5 m,梅花形布置。桩顶盖板顶标高和 200 mm 厚碎石垫层一致,盖板顶再铺筑 300 mm 厚的碎石垫层,垫层上下各铺设一层双向土工格栅。桩身和盖板采用 C25 混凝土。采用直径为 500 mm,厚度 200 mm 圆柱形盖板,使 TC 桩复合地基中桩、土应力分布更均匀。土工格栅要求断裂 $\leq 3\%$,纵向抗拉强度 $\geq 100\text{ kN/m}$,横向抗拉强度 $\geq 80\text{ kN/m}$,幅边搭接宽度大于 300 mm。

2.3 TC 桩应用效果

(1) TC 桩静载荷试验

混凝土浇注 28 d 后进行单桩竖向抗压静载试验,共选取 8 根工程桩。单桩竖向抗压静载试验采用慢速维持荷载法。试验结果见表 2 和图 3。

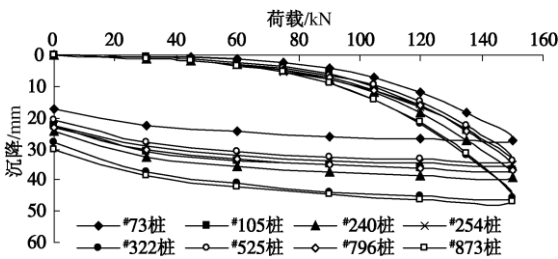


图 3 TC 桩荷载 - 沉降曲线

Fig. 3 Load-settlement curves of TC piles

从图 3 和表 2 可以看出,8 根 TC 桩在最大试验荷载 150 kN 作用下(对应的沉降量为 27.19~46.97 mm),都无明显异常。荷载 - 沉降曲线呈缓变形,单桩竖向承载力以变形控制。最大加载值已达到设计要求的最大加载值,达到终止加载条件而终止试验。因此,8 根桩的单桩竖向抗压极限承载力值都为 150

kN,且都达到设计要求。8 根 TC 桩的残余沉降量为 16.96~30.37 mm,回弹率在 35.1%~39.3%之间,说明单桩静载荷试验过程中,沉降以塑性变形为主,弹性变形比例较小。

表 2 单桩静载荷试验结果

Table 2 Results of static load tests on TC piles

桩号	桩长 /m	桩径 /mm	最大 试验 荷载 /kN	最大试 验荷载 对应的 沉降量 /mm	残余 沉降 量 /mm	回 弹 率 /%	单桩竖 向极限 承载力 /kN
#254	16.3	160	150	35.00	22.73	35.1	150
#796	16.7	160	150	36.58	23.2	36.6	150
#873	16.7	160	150	46.97	30.37	35.3	150
#525	17.0	160	150	33.80	20.51	39.3	150
#322	17.0	160	150	45.53	28.19	38.1	150
#105	17.0	160	150	36.76	22.56	38.6	150
#240	17.0	160	150	39.08	24.28	37.9	150
#073	15.0	160	150	27.19	16.96	37.6	150

TC 桩沉桩过程中,桩周土受到扰动,开始与塑料管不直接接触,待沉管拔出后依靠土体的固结作用、沉桩挤土作用和上部填土荷载共同作用下逐步接触,因此 TC 桩承载力具有明显的时效性。表 2 得到的是 TC 桩沉桩后 28 d 的承载力,随着时间的推移,TC 桩的单桩承载力会逐渐增大。

(2) 路基回弹弯沉试验

在完成 TC 桩盖板上土工格栅、垫层和宕渣施工后,进行回弹弯沉试验^[6]。采用的试验车型气胎内压力 0.7 MPa,后轴重 10 t,设计弯沉值为 2.3 mm,典型路段弯沉试验结果见表 3。试验结果表明,大多数路段弯沉试验结果都符合设计要求。试验中也发现个别路段,在宕渣层填筑压实后,TC 桩处标高明显高于其余位置的标高,如表 4。这些地段采取了向下增加垫层厚度的方法,使 TC 桩复合地基桩、土应力分布更均匀,沉降也趋于均匀,处理后弯沉试验结果符合设计要求。

表 3 典型路段弯沉试验结果

Table 3 Results of deflection tests on typical sections

起止桩号	弯沉代表值/mm			设计弯 沉值 /mm	检测 结论
	行车道 (右 1)	行车道 (右 2)	行车道 (右 3)		
K3+780~K3+965	2.12	1.58	1.68	2.3	符合 设计
K2+490~K2+670	1.62	1.77	1.64		
K0+160~K0+600	2.06	1.93	1.85		

K3+510~K3+750	1.73	1.54	1.62	要求
K2+720~K2+800	1.38	1.61	1.88	

表 4 弯沉试验不合格路段

Table 4 Unqualified results of deflection tests on typical sections				
起止桩号	弯沉代表值/mm			检测结论
	行车道 (右 1)	行车道 (右 2)	行车道 (右 3)	
K3+750~K3+450	5.8	2.58	2.68	不符合 设计要 求
K3+400~K3+510	2.56	2.43	2.21	
K0+640~K1+020	2.19	3.65	2.36	

2.4 经济性分析

TC 桩每延米费用低于预应力管桩, 略高于水泥搅拌桩。由于 TC 桩承载力较水泥搅拌桩高、沉降小, 在桩端由较好持力层的情况下可以采用较少的桩数, 其综合造价实际上类似于水泥搅拌桩甚至低于水泥搅拌桩复合地基^[2]。表 5 为一些工程中 TC 桩与常用桩基经济性比较结果。

表 5 TC 桩与其他桩型经济性比较

Table 5 Economical comparison of TC piles and ordinary piles		
工程	原设计方案	采用 TC 桩节约造价
练杭高速	水泥搅拌桩和预应力管桩	10.5%
浦阳互通	水泥搅拌桩	13.3%
本工程	水泥搅拌桩	11.2%

3 TC 桩的适用性

目前 TC 桩直径都采用 160 mm、200 mm, 为小直径刚性桩, 因此一般要求桩端土为硬土层, 如硬黏性土、砂、碎石、砾石等。若为黏性土, 则其承载力特征值一般应大于 120~140 kPa, 而砂、砾石作为桩端持力层时, 其加固效果和经济性更佳。加固深度大多控制在 20 m 内^[4]。

4 结 论

(1) TC 桩是一种新型的桩基, 属于刚性桩。通过工程应用表明, TC 桩具有施工速度快、质量易于保证、经济性好等优点。

(2) TC 桩布桩原则为“细而密”, 而且须设置足够强度的土工格栅和足够厚的碎石垫层, 保证桩、土应力分布更均匀, 桩间土沉降更加均匀。

(3) 本工程单桩静载荷试验表明, TC 桩的承载力都达到设计 150 kPa 的要求。试验残余沉降量为

16.96~30.37 mm, 回弹率在 35.1%~39.3%之间, 沉降以塑性变形为主。

(4) 弯沉试验结果表明, 大部分路段弯沉平均值都小于设计弯沉值 (2.3 mm)。一些弯沉不合格的路段在垫层加厚后达到设计要求。

参考文献:

[1] 曹德洪, 陈永辉, 王新泉, 等. 塑料套管混凝土桩在申嘉湖杭高速公路软基处理中的应用[J]. 公路, 2010(9): 83 - 89. (CAO De-hong, CHENG Yong-hui, WANG Xin-quan, et al. Application of TC pile on soft soil treatment of Hang-Jia-Hu-Hang expressway[J]. Highway, 2010(9): 83 - 89. (in Chinese))

[2] 苏 杰. 塑料套管现浇混凝土桩新型地基处理方式的试验研究[D]. 南京: 河海大学, 2008. (SU Jie. In-situ test study on new foundation treatment technique of plastic tube cast-in-place concrete pile[D]. Nanjing: Hohai University, 2008.(in Chinese))

[3] ING N G. Cortlever. Design of double track railway on AuGeo piling system[C]// Symosium on Ground Improvement and Geosynthetic Application. AIT, Bangkok. 2001.

[4] 邵建军, 金寒睿. TC 桩在路基软基处理中的应用技术与研究[J]. 福建建材, 2010(1): 39 - 41. (SHAO Jian-jun, JING HAN-rui. Research on construction technology of TC pile in soft soil embankment[J]. Fujian Building Materials, 2010(1): 39 - 41. (in Chinese))

[5] 王新泉, 陈永辉, 安永福, 等. 塑料套管现浇混凝土桩倾斜对承载性能影响的模型试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 30(4): 834 - 842. (WANG Xin-quan, CHENG Yong-hui, AN Yong-fu, et al. Model test study of effect of inclination on bearing behaviors of plastic tube cast-in-place concrete pile[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 30(4): 834 - 842. (in Chinese))

[6] 交通部公路科学研究院. JTG E60—2008 公路路基路面现场测试规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2008. (Research Institute of Highway Ministry of Transport. JTG E60—2008 Field test methods of subgrade and pavement for highway engineering[S]. Beijing: China Communications Press, 2008. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)