



组合式预应力 TSC 桩的抗弯性能研究

张 洁¹, 王其标¹, 叶喆宏², 姜平平²

(1. 中交上海三航科学研究院有限公司, 上海 200032; 2. 江苏国鼎(南通)管桩有限公司, 江苏 南通 226532)

摘要: 组合式预应力预制高强混凝土薄壁钢管桩(组合式预应力 TSC 桩)是以预应力高强混凝土管桩为基础形式、桩顶一定范围内混凝土外套钢管并保持全桩等截面的新桩型。该桩型在继承 TSC 桩优点的同时有效降低了造价,工程应用前景良好。在目前该桩型市场投入较小、结构性能有待深入验证的背景下,通过对普通预应力 TSC 桩和组合式预应力 TSC 桩分别进行抗弯试验,得到相应的极限弯矩、挠度分布等并进行比较分析,从而为组合式预应力 TSC 桩在实际工程中的应用提供依据。

关键词: 组合式预应力 TSC 桩; 抗弯试验; 极限弯矩; 挠度分布

中图分类号: TU 378

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)10-0168-05

Flexural performance of combined pre-stressed TSC pile

ZHANG Jie¹, WANG Qi-biao¹, YE Zhe-hong², JIANG Ping-ping²

(1. Shanghai Third Harbor Engineering Science & Technology Research Institute Co., Ltd., Shanghai 200032, China;

2. Jiangsu Guoding (Nantong) Pipe Pile Co., Ltd., Nantong 226532, China)

Abstract: Combined pre-stressed precast thin-wall steel and spun concrete composite pile (combined pre-stressed TSC pile) acts a new form with constant section based on the PHC pile. A range of the pile along the top side is covered by the steel pipe. This product owns a good prospect for the engineering application for its lower cost and advantages of TSC pile form. Bending tests are carried out to further research on its flexural performance when the product occupies only a small market share with unclear structural performance. The ultimate bending moment, deflection distribution and other responses of TSC pile and combined TSC pile are obtained through bending tests. Comparative analysis is done to provide evidence for the engineering application of the combined pre-stressed TSC pile by the test results.

Keywords: combined pre-stressed TSC pile; bending test; ultimate bending moment; deflection distribution

TSC 桩相对 PHC 桩穿透性强,相对钢管桩更加稳定,相对 SCP 桩施工更加容易,特别针对沉降敏感地基体现了良好的适用性^[1],在 PHC 桩无法满足承载力和规范规定的最小桩距的要求时,TSC 桩能满足要求,且能做到以最少的桩数换取最大的承载力,但 TSC 桩的造价比 PHC 桩高约 3 倍^[2],还需要其他手段来降低成本。而组合式预应力 TSC 桩以预应力高强混凝土桩为基础形式,桩顶一定范围内混凝土外套钢管,并保持全桩等截面,可

以有效增强桩的抗裂、抗锤击能力,并且增强上部桩身的抗弯能力,使桩发挥更大的承载作用,达到设计要求。这种桩型相比 TSC 桩节省了钢材,相比 PHC 桩提高了强度,为工程提供了一种新的选择。

由于桩在地基中经常受到来自土和上部荷载的轴向力及侧向力产生的弯矩作用,所以每种桩型必须满足规范及工程要求的抗弯能力。本文针对组合式预应力 TSC 桩(下称“组合桩”)和预应力 TSC 桩(下称“本体桩”)分别进行了抗弯

收稿日期: 2015-03-24

作者简介: 张洁(1988—),男,硕士,助理工程师,从事岩土、桩基工程等方面研究工作。

试验, 通过研究荷载、挠度、应变、开裂情况, 比较组合桩和本体桩桩身的抗弯性能, 主要对组合桩的抗弯能力、破坏形式等进行分析。

1 试验概况

1) 试验对象。

试验使用的 2 种试桩的参数见表 1。

表 1 试桩参数

试桩	桩外径/mm	桩长/m	钢管长度 m	钢管密度/(kg·m ⁻³)	混凝土密度/(kg·m ⁻³)	钢管壁厚/mm	混凝土壁厚/m	钢棒数
组合桩	800	10	5	7 850	2 500	10	120(130)	32
本体桩	1 000	13	13	7 850	2 500	10	120	32

注: 组合桩中混凝土壁厚在 TSC 桩身部分为 120 mm, 在 PHC 桩身部分为 130 mm。

2 种试桩的纵剖面如图 1 所示, 可见 2 种桩型的不同在于组合桩桩身中间存在过渡段, 桩身由钢管包覆混凝土的形式转为全部由混凝土构成, 过渡段桩截面面积相等, 桩身刚度发生突变, 植入加强筋。

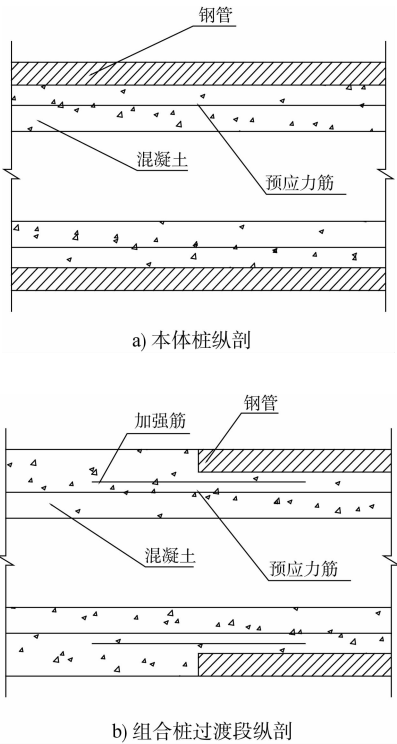


图 1 2 种桩型的纵剖面

2) 加载方案。

组合桩抗弯试验的加载方式和破坏标准参考 JG/T 272—2010《预制高强混凝土薄壁钢管桩》^[3]和 GB 13476—2009《先张法预应力混凝土管桩》^[4], 采用二集中力对称加卸载, 加载点和挠度测试点的布置如图 2a) 所示, 应变的测点布置如图 2b) ~ 2c) 所示, 其中分界线位置为组合桩中钢管外壁与混凝土的交接处。本体桩与组合桩

的加载方案类似, 挠度测试点相同, 应变片相对跨中位置分布有所调整。

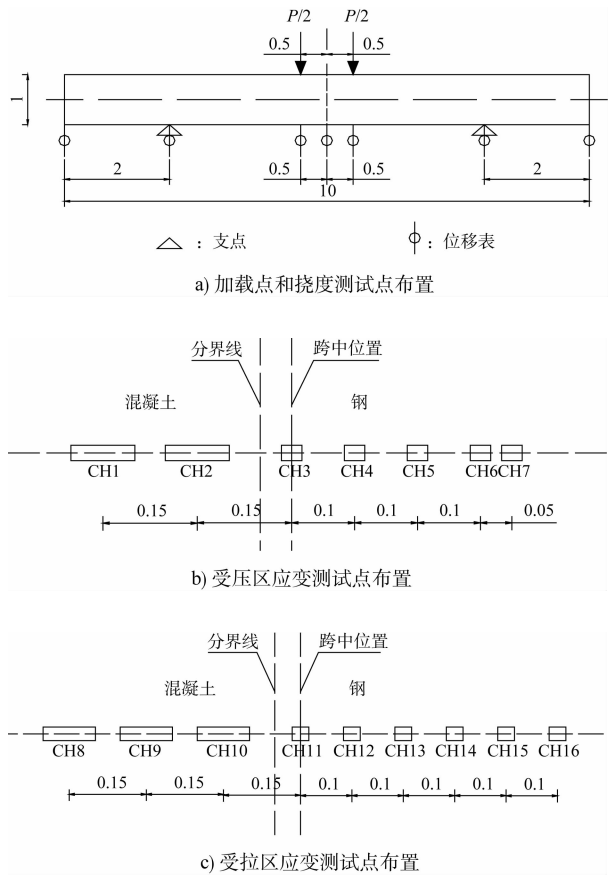


图 2 10 m 组合桩抗弯试验加载测试布置 (单位: m)

2 试验结果与分析

2.1 梁挠度及开裂

图 3 为 2 种桩加载阶段在不同级别荷载下的全桩挠度曲线。从图 3 可以看出, 本体桩上挠度分布与集中荷载的分布形状相同, 最大挠度位置在跨中; 组合桩因为左侧为全混凝土材料、抗弯刚度减小、相同荷载下挠度较大, 故最大挠度位置在跨中偏左。2 种桩从跨中附近挠度来看, 荷

载越接近极限荷载，挠度分布越接近理论计算分布。

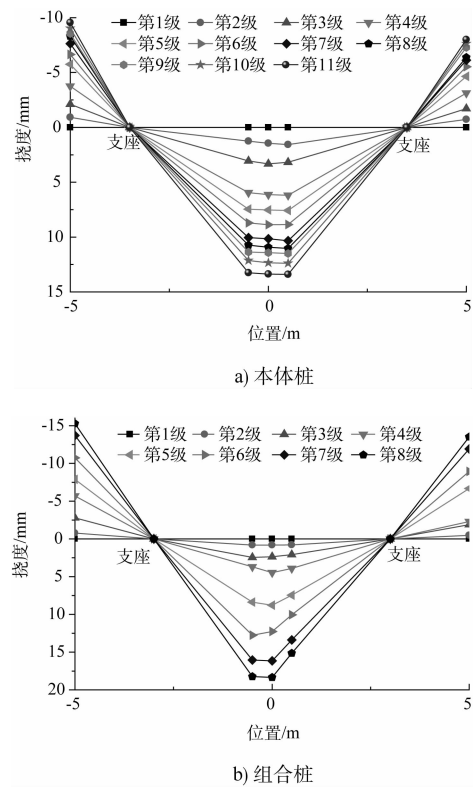


图 3 全桩挠度分布

图 4 为 2 种桩型的跨中集中荷载-挠度曲线。从图 4 可以看出，在主体桩的集中荷载-挠度曲线中，荷载从第 2 级至第 3 级时，曲线斜率小幅增加，图 3a) 中可见该过程挠度增长最大，说明内部混凝土出现开裂，对应弯矩为 $2\,363.4\text{ kN}\cdot\text{m}$ ，之后继续增加荷载级别，在第 10 级荷载的持续时间内，拉应变持续增长，依据规范认为达到极限状态，停止试验加载，对应弯矩值为 $4\,726.8\text{ kN}\cdot\text{m}$ ，约为设计值的 120%。

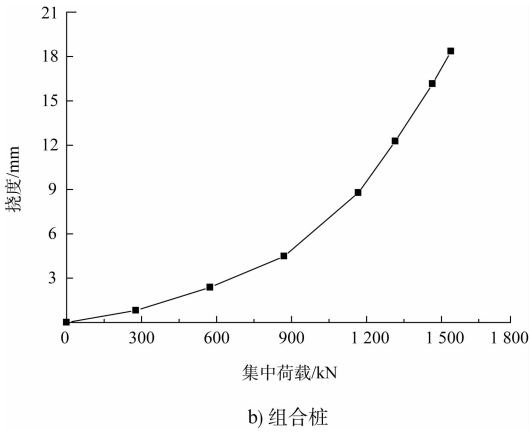
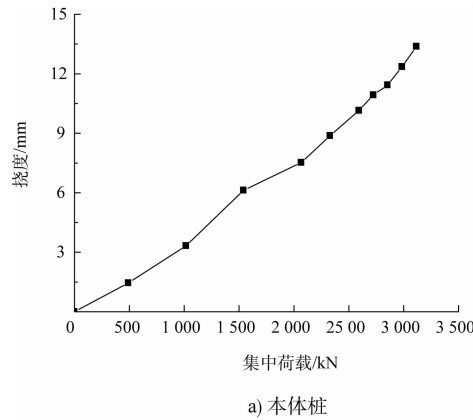


图 4 跨中集中荷载-挠度曲线

在组合桩的集中荷载-挠度曲线中，可见在前三级荷载范围，挠度增长速率没有明显的变大，当荷载从第 3 级加载至第 4 级时，曲线斜率明显变大，从图 3b) 中可见该过程的挠度增长最大，实际观测中，在第 3 级荷载持续过程中，组合桩的混凝土一侧外壁出现开裂，裂缝宽度为 0.15 mm ，之后随着荷载增加，曲线斜率快速增加，整体抗弯刚度减小，裂缝数量增多、宽度增大。第 5 级荷载加载过程中桩身有清晰的响声，应为某根纵筋突然拉断，混凝土一侧裂缝最大宽度达到 2.65 mm ，根据规范取前一级荷载作为极限荷载，此时弯矩为 $1\,470.3\text{ kN}\cdot\text{m}$ ，约为 PHC 桩设计极限弯矩的 145%。观测到组合桩在过渡段位置没有破坏裂缝，可认为桩体破坏时过渡段未破坏，过渡段极限弯矩高于两侧桩身极限弯矩，故满足要求。

图 5 为组合桩试验终止后测得的混凝土主要裂缝分布，钢-混分界点处混凝土未出现脱开及开裂，由于过渡段纵筋加密，抗弯刚度增加，裂缝在靠近跨中位置较少，最近的裂缝距分界处约 20 cm ，在距跨中约 1 m 附近裂缝较长且密集。

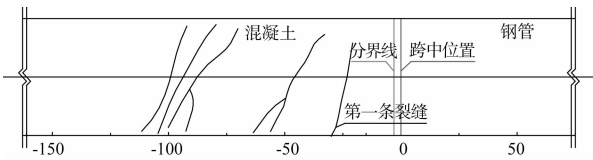


图 5 组合桩主要裂缝分布 (单位: cm)

2.2 跨中应变-集中荷载 P 关系

图 6 为 2 种桩型跨中测点应变随集中荷载 P 变化的关系曲线，从图 6a)、b) 中可以看出，主体桩

在加卸载时应变随荷载的变化速率基本不变, 保持较好的线弹性特性, 加载至极限荷载时钢管应力达到屈服强度, 发生塑性变形, 应变不断增长。

组合桩在加载至极限荷载时, 跨中处钢管应力未达到屈服强度, 始终在弹性工作范围, 混凝土侧受拉钢筋已经进入屈服并变形至拉断, 但由于集中荷载作用下混凝土破坏导致截面刚度变化, 钢管应力并不随集中荷载线性变化, 故集中荷载-应变曲线呈非线性。组合桩跨中刚度较小, 故相同外载时挠度和应变应较大, 但由图 6 a)、b) 可知, 在自体桩极限荷载以下, 2 种桩型的跨中钢管均在弹性工作范围内, 组合桩的应变随荷载的增长速度在加载时要小于自体桩, 这说明组合桩钢管处弯曲应力较小, 混凝土桩分担了更多的荷载作用。

从图 6 c)、d) 中可知, 加载时自体桩受拉区相对受压区应力增长速度稍有增加, 组合桩受拉区相对受压区应力增长速度先减小后增加; 卸载时自体桩受拉区相对受压区应力减小速度略大, 组合桩受拉区相对受压区应力减小速度略小; 外载卸至零时两者均存在残余应变。

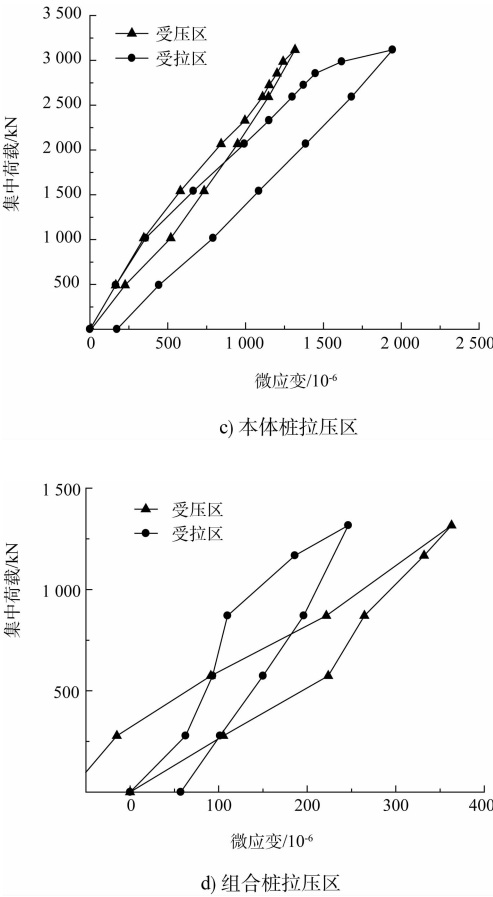
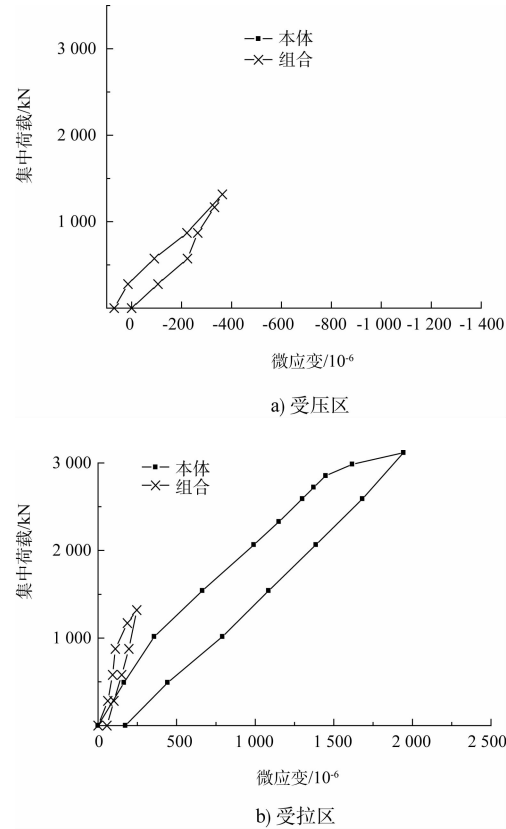


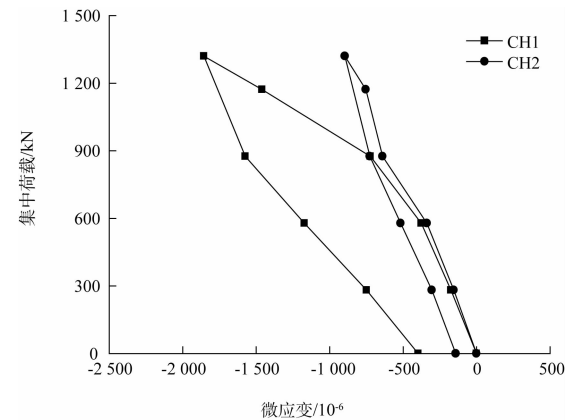
图 6 2 种桩的集中荷载 P 与应变关系对比

2.3 组合桩跨中附近应变-集中荷载 P 关系

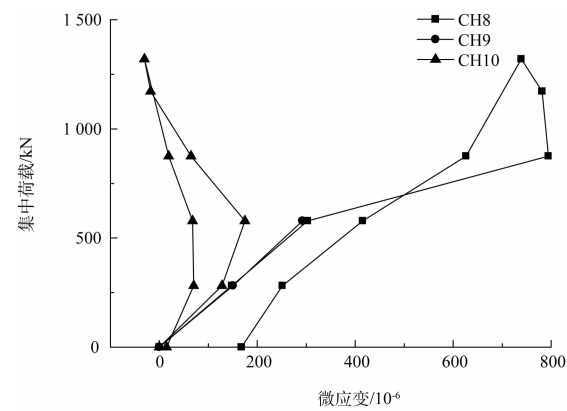
图 7 为跨中附近受拉和受压区域的测点应变与集中荷载 P 的关系曲线。在实际加载过程中, 受压区钢管和混凝土表面测点应变均在弹性范围内变化, 由图 7 a)、c) 可见, 在混凝土受压区域, 靠近钢混分界线位置的测点, 应变随荷载的平均变化速度降低约 1 倍, 残余应变为远离分界线测点的 64%, 说明靠近钢管处混凝土受纵筋加密影响, 抗弯刚度提高, 应力变化较小, 受混凝土脆性开裂影响较小; 钢管上受压测点在桩出现开裂至破坏的过程中应变增长迟缓, 除了最靠近分界线测点的应变继续增长外, 均出现了压应变减小的情况, 说明钢管侧在桩出现开裂至破坏后发生应力重分布, 应力增加减缓, 大部分区域应力停止增长。

由图 7 b)、d) 分别观察受拉区混凝土和钢管上测点应变, 加载至桩开裂前, 混凝土侧最远离分界线处的 CH8 测点的应变平均增长速度为 CH10

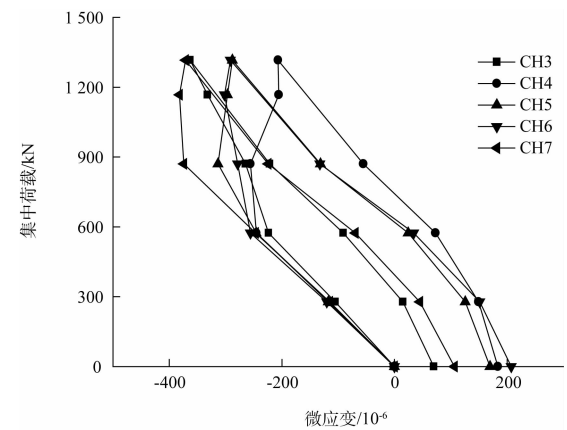
测点的约 1.7 倍,在桩出现开裂后,靠近分界线处测点应变减小,受应力集中影响较大;钢管表面距分界线越近的测点,应变变化速度越小,应力增长速度越小,当加载至桩破坏后,除了最靠近分界线处位置测点受应力集中影响外,其余测点的拉应变均减小,结合钢管受压区状况,可知在桩破坏时钢管侧所在截面弯曲应力减小,发生弹性回复。



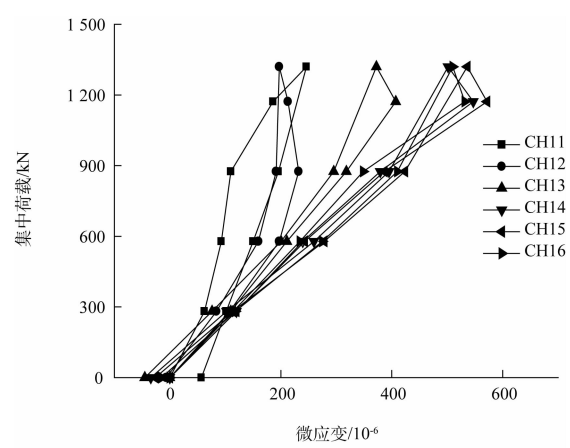
a) 混凝土压区表面



b) 混凝土拉区表面



c) 钢管受压区表面



d) 钢管受拉区表面

注:应变片编号如图 2 所示;因 b) 中 CH9 测点发生开裂,故异常数据未画入。

图 7 跨中附近应变-集中荷载 P 变化关系曲线

3 结论

- 1) 试验中,本体桩的极限弯矩约为设计值的 120%,组合桩的极限弯矩约为设计值的 145%。
- 2) 加载时本体桩受拉区相对受压区应力增长速度稍有增加,组合桩受拉区相对受压区应力增长速度先减小后增加;卸载时本体桩受拉区相对受压区应力减小速度略大,组合桩受拉区相对受压区应力减小速度略小;两者集中荷载卸至零时均存在残余应变。
- 3) 随着试验荷载的提高,组合桩受跨中抗弯刚度提高的影响,在桩未出现开裂前,混凝土侧远离分界线处测点的应力增长速度约为靠近分界线处测点的 1 ~ 1.7 倍;组合桩钢管在加载过程中未达到屈服强度,当桩出现开裂后钢管侧弯曲应力增长减缓,破坏时发生弹性回复。

参考文献:

[1] 卢浪. TSC 桩在宝钢 1 880 mm 热轧带钢工程中的应用[J]. 上海建设科技, 2006(1): 42-43.

[2] 陈辉. TSC 桩在超高层建筑基础中的应用[J]. 福建建筑, 2013(6): 96-98.

[3] JG/T 272—2010 预制高强混凝土薄壁钢管桩[S].

[4] GB 13476—2009 先张法预应力混凝土管桩[S].

(本文编辑 郭雪珍)