

Research on the Comparison and Verification of Bearing Capacity of Foundation Piles by High Strain Method and Static Load Test

Yijie Gong

Taicang Construction Quality Inspection Center Co., Ltd., Taicang, Jiangsu, 215400, China

Abstract

The bearing capacity of foundation piles is a core technical indicator for ensuring the safety and stability of the upper structure of buildings. The high strain method has the characteristics of fast detection speed, low cost, and the ability to conduct on-site batch determination. Currently, it has become the mainstream technical means for rapid detection of pile foundation bearing capacity. Research shows that under the premise of standard construction and standardized testing, the relative error of the high strain method using CAPWAPC waveform fitting and the ultimate bearing capacity of the static load test can be controlled within $\pm 10\%$, meeting the requirements of specifications and engineering use. The high strain method is suitable for batch rapid determination of pile foundation bearing capacity, while the static load test is suitable for key pile verification and validation. The combination of the two can balance detection efficiency and result reliability. The results of this study can provide references for quality control of pile foundation detection, method selection, and result determination.

Keywords

high strain method; static load test; pile foundation bearing capacity; CAPWAPC fitting; comparison and verification; error analysis

基桩高应变法检测承载力与静载试验对比验证研究

龚懿杰

太仓市建设工程质量检测中心有限公司, 中国·江苏 太仓 215400

摘要

基桩承载力是保障建筑工程上部结构安全稳定的核心技术指标, 高应变法具有检测速度快、成本较低、可现场批量判定等特点, 目前已成为桩基承载力快速检测的主流技术手段。研究表明, 在规范施工与标准化检测前提下, 采用CAPWAPC波形拟合的高应变法与静载试验极限承载力相对误差可控制在 $\pm 10\%$ 以内, 满足规范与工程使用要求; 高应变法适用于桩基承载力批量快速判定, 静载试验适用于关键桩复检验证, 二者结合使用能够兼顾检测效率与结果可靠性。本文成果可为桩基检测质量控制、方法选用与结果判定提供参考。

关键词

高应变法; 静载试验; 桩基承载力; CAPWAPC拟合; 对比验证; 误差分析

1 工程概况

本文依托太仓市某住宅项目桩基工程开展对比试验研究, 项目场地土层条件相对均匀, 自上而下依次为素填土、粉质黏土夹粉土、粉砂夹粉土、淤泥质粉质黏土、黏土、粉质黏土及粉砂, 无明显软弱夹层与不良地质作用。工程主体采用预制方桩, 设计桩径 $500 \times 500\text{mm}$, 有效桩长 37m , 混凝土强度等级C60, 单桩竖向抗压极限承载力设计值为 4800kN 。为保证试验结果具有代表性及可比性, 在同一施工批次、相同地质条件、一致成桩工艺的桩基中随机选取3

根试验桩, 编号为Z1至Z3, 同步进行高应变法检测与静载试验。全部检测工作严格按照《建筑基桩检测技术规范》^[1](JGJ 106-2014)执行, 检测环境、设备状态、人员操作均保持一致, 确保对比数据真实有效。

2 检测原理与试验方案

高应变法的核心原理是利用重锤瞬时冲击桩顶, 使桩土体系产生一定的塑性变形, 通过对称安装在桩身的力传感器和速度传感器, 同步采集应力波传播过程中的力信号与速度信号, 基于一维应力波理论与土阻力分布模型, 计算得到单桩竖向抗压极限承载力、桩侧阻力、桩端阻力以及桩身完整性状况。本次试验中采用CASE法进行现场快速承载力估算, 采用CAPWAPC曲线拟合作为最终结果判定方法, CAPWAPC法通过建立更贴合实际的桩土力学模型, 对实测

【作者简介】龚懿杰(1997-), 男, 中国江苏苏州人, 硕士, 助理工程师, 从事地基基础检测研究。

波形进行迭代拟合与参数优化,可有效分离动阻力与静阻力,显著提升极限承载力计算精度,是目前行业内应用最广泛的高应变精准分析方法^[2]。

在高应变检测过程中,需对桩头进行规范化处理,彻底凿除桩顶浮浆与松散混凝土层,将桩顶表面打磨平整并设置加强箍,避免锤击过程中出现桩头破碎、应力波衰减或波形畸变。传感器应对称安装在桩身两侧,距离桩顶约 2 倍桩径位置,固定牢固且与桩身轴线保持平行,保证信号采集稳定可靠。锤击系统应满足锤重不小于单桩设计极限承载力的 1%,本次试验采用 6t 锤,落距控制在 1.0~1.5m,每根桩有效锤击次数不少于 3 次,以力曲线与速度曲线起始段重合良好、无明显畸变作为有效波形判定标准^[3]。

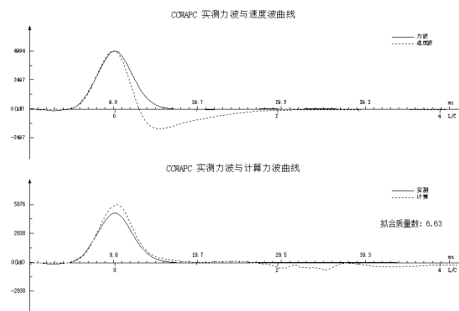
静载试验采用慢速维持荷载法,是公认的桩基承载力检测基准方法。静载试验需保证基准梁架设稳定、不受外界扰动,分级加载均匀可控,严格执行荷载稳定标准与终止加载条件,确保沉降数据真实反映桩土受力变形特性。

3 检测结果与对比分析

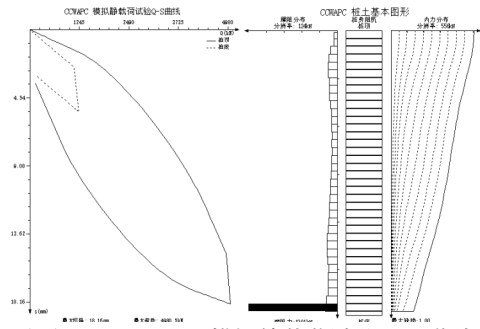
试验桩分别进行高应变 CAPWAPC 拟合计算与静载试验极限承载力判定,两组数据对比结果显示。静载试验通过堆载平台提供稳定反力,对桩顶进行分级竖向加载,利用高精度位移传感器实时记录桩顶沉降量,绘制荷载-沉降(Q-s)曲线与沉降-时间对数(s-lgQ)曲线,依据曲线变化特征与规范判定标准确定单桩竖向抗压极限承载力,其试验结果表示极限承载力均为 4800kN。从曲线与波形特征来看,本次试验 3 根桩的静载 Q-s 曲线均呈缓变型,无明显陡降段,沉降随荷载增加平稳上升,s-lgQ 曲线尾部趋于平缓,说明桩基整体承载性能良好,极限承载力判定依据充分。

如图 4 所示,高应变 CAPWAPC 拟合结果在 4895.3~4980.5kN 之间,平均值为 4928.2kN,两者相对误差最大值为 -3.62%,最小值为 +1.99%,平均误差仅 ±2.67%,远优于规范允许的 ±10% 误差范围,说明在标准化操作下高应变法具有很高的检测精度。

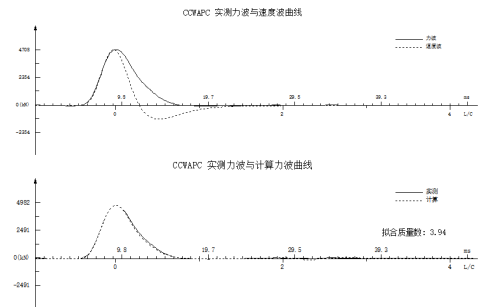
高应变实测合格波形表现为力曲线与速度曲线重合度高、峰值同步、无明显杂波与畸变,能够真实反映桩身应力传递与土阻力发挥特征;当桩头处理不到位、传感器安装偏位或锤击偏心时,曲线易出现分离、抖动或畸变,直接导致承载力计算误差增大^[4]。



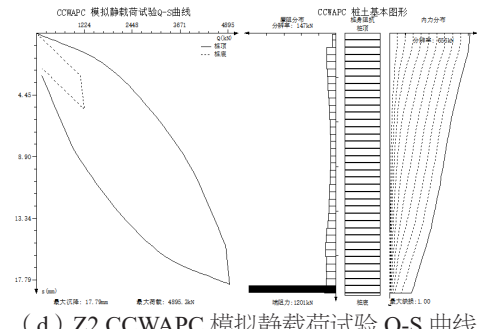
(a) Z1 CCWAPC 实测力波曲线



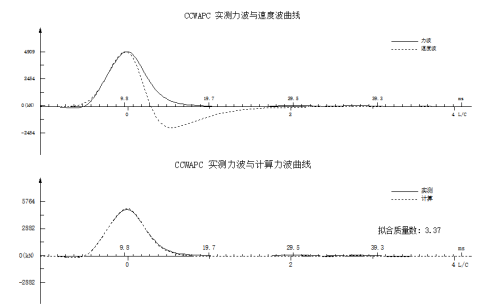
(b) Z1 CCWAPC 模拟静载荷试验 Q-S 曲线



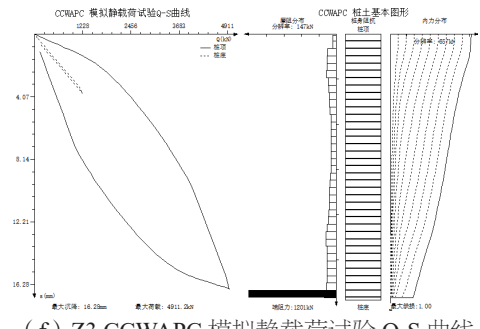
(c) Z2 CCWAPC 实测力波曲线



(d) Z2 CCWAPC 模拟静载荷试验 Q-S 曲线



(e) Z3 CCWAPC 实测力波曲线



(f) Z3 CCWAPC 模拟静载荷试验 Q-S 曲线

图 4 CCWAPC 拟合结果图

为进一步体现不同分析方法的差异，同步对 CASE 法快速计算结果进行对比，如图 5 所示，结果表明 CASE 法因采用简化计算模型，未充分考虑土阻力动态分布与动阻力分离，整体误差普遍在 $\pm 6\%$ 左右，数据稳定性与准确性明显低于 CAPWAPC 拟合方法，因此 CAPWAPC 法更适合作为工程正式报告的判定依据^[3]。

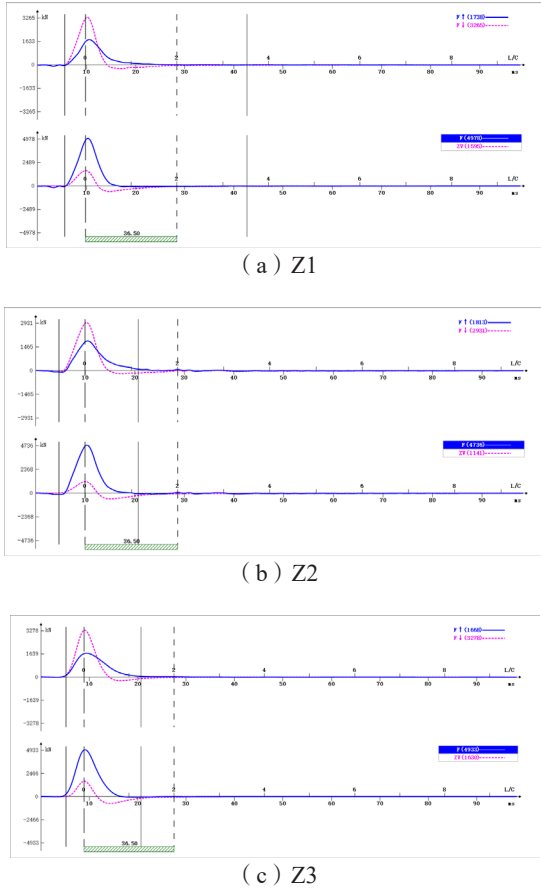


图 5 高应变 CASE 法快速计算结果图

综合分析检测数据可知，误差主要来源于现场操作、计算方法、地质条件与设备环境四个方面。其中桩头松散、传感器安装不规范、锤击偏心是最主要的影响因素；CASE 法与 CAPWAPC 法的计算原理的不同会带来明显的结果偏差；土层不均匀、混凝土波速选取偏差、现场振动与电磁干扰等，也会在一定程度上影响信号质量与最终判定结果^[4]。

4 高应变检测优化控制措施

为进一步提高高应变法检测精度，缩小与静载试验结

果的偏差，结合本次对比试验成果，可从现场操作、数据分析、质量管控等方面采取优化措施。在检测前必须强化桩头处理，彻底清除浮浆与松散混凝土，必要时对桩头进行加固处理，保证锤击时应力波稳定、均匀地向桩身传递。传感器安装应严格执行对称布置原则，确保接触紧密、方向一致，避免因安装偏差造成信号失真。在数据分析阶段，现场可采用 CASE 法进行快速初判，但正式报告应优先采用 CAPWAPC 拟合结果，以提升承载力判定的准确性。同时应合理控制锤重、落距等关键参数，保证采集到稳定、有效的波形数据，有条件时宜对本工程桩身混凝土波速进行现场标定，提高力学模型与实际工况的贴合度^[3]。

5 结论与应用建议

在规范操作与标准化检测前提下，经 CAPWAPC 波形拟合后的高应变法检测结果与静载试验极限承载力高度吻合，相对误差可控制在 $\pm 3\%$ 以内，完全满足建筑桩基检测规范与工程使用要求。CASE 法仅适用于现场快速估算，精度有限，CAPWAPC 法应作为高应变承载力检测的核心判定方法。桩头处理质量、传感器安装规范性、锤击系统稳定性是影响高应变检测精度的三大关键环节，通过针对性优化可显著降低检测误差、提高数据可靠性。

在实际工程应用中，常规建筑项目可优先采用高应变法进行桩基承载力普查，大幅缩短检测周期、降低综合成本；对于设计等级高、地质条件复杂、受力关键的桩基工程，应按规范抽取一定比例的桩进行静载验证，确保结构安全。检测单位应建立完善的高应变标准化作业流程，加强设备定期校准与人员技能培训，持续提升现场操作与数据分析水平。同时建议结合区域地质特点，逐步积累高应变与静载对比数据，建立本地化修正系数体系，进一步提高桩基承载力判定的针对性与准确性^[4]。

参考文献

- [1] 建筑桩基检测技术规范[S]. JGJ 106-2014. 北京：中国建筑工业出版社，2014.
- [2] 陈国海. 预应力管桩高应变法和单桩静载试验对比分析[J]. 建筑技术开发, 2021, 48(17): 87-88.
- [3] 杨栋廷. 关于高应变法在桩基检测中的应用实践[J]. 四川建筑, 2023, 43(01): 116-117.
- [4] 梁博轩. 高应变法在建筑工程桩基检测中的应用研究[J]. 江西建材, 2025, (07): 118-120.