

DOI: 10.20098/j.cnki.1001-5132.2024.0123

斜撑桩承载力自检检测方法的应用对比分析

毛红辉, 金超奇

(宁波宁大地基处理技术有限公司, 浙江 宁波 315211)

摘要: 为提高斜撑桩极限承载力自检效率, 提出了新的自检检测方法——超快速维持荷载法(简称“超快速法”), 结合工程实例对相同设计参数斜撑桩的“超快速法”与“快速法” $Q-S$ 曲线进行了对比分析; 除此之外, 对同一根斜撑桩采用“超快速法”与“快速法”先后检测的 $Q-S$ 曲线进行了对比分析. 分析结果表明: “超快速法”与“快速法”检测结果基本相近, 两者偏差为0~8.7%; “超快速法”经验证可行且检测结果可应用于工程实际.

关键词: 斜撑桩; 超快速维持荷载法; 静载试验; 极限承载力

中图分类号: TU31

文献标志码: A

文章编号: 1001-5132(2024)05-0021-06

斜桩支撑作为一种新型支护形式, 近年来在上海^[1]、浙江等软土地区取得了良好的应用效果. 同步同心旋喷式复合斜桩支撑为斜桩支撑的一种形式, 它采用一体化成型设备施工高压旋喷桩并同步同心内插钢管, 形成高喷插芯组合的复合斜撑桩^[2], 并在钢管顶设置预加载装置^[3], 兼顾连接冠梁、检测承载力、施加预应力等作用, 如图1所示. 现阶段要求在基坑开挖前对每根斜撑桩进行极限承载力检测, 用于反演该工艺复合斜撑桩在各种土层中的极限侧摩阻力及端阻力标准值(施工自检), 部分桩也有抽检要求, 自检和抽检都采用静载试验.

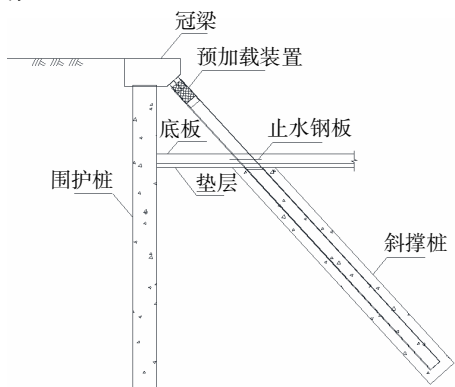


图1 同步同心旋喷式复合斜桩支撑示意

目前国内常规静载试验分为慢速维持荷载法(简称“慢速法”)和快速维持荷载法(简称“快速法”), 慢速法以单位时间沉降量作为稳定标准施加每一级荷载, 以沉降速率为判断标准; 快速法则按规定的间隔时间施加每级荷载, 无须满足沉降量稳定标准的要求^[4-7].

上述两种常规静载试验在永久性结构上均有成熟经验, 部分临时性结构的承载力检测也在借鉴. 斜撑桩的抽检采用了快速法. 快速法检测一根斜撑桩最快需要12h, 作为抽检方法可行. 关于专门用于斜撑桩承载力的检测方法, 霍少磊等^[8]进行了钢管斜桩自平衡法静载试验, 姚正源^[9]研究了内抛注浆钢管桩静载荷试验. 然而在实际工程中, 若要对每根斜撑桩进行检测, 无论采用上述哪种方法都十分费时费力. 因此需找到新的检测方法, 既能满足临时性结构对承载力检测可靠性的要求, 又能满足实际工程对检测效率的要求.

针对同步同心旋喷式复合斜桩支撑的结构特点, 可利用排桩作为反力装置, 直接用预加载装置对斜撑桩进行加载. 为提高斜撑桩承载力自检效率, 提出了新的自检检测方法, 即超快速维持荷载法(简称“超快速法”), 通过该方法能快速检测到

收稿日期: 2024-01-18.

宁波大学学报(理工版)网址: <http://journalg.nbu.edu.cn/>

基金项目: 宁波市自然科学基金(2023J004).

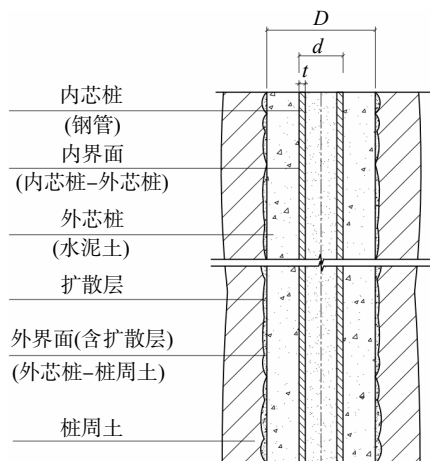
第一作者: 毛红辉, 高级工程师, 主要研究方向: 基坑工程及桩基工程. E-mail: 657664574@qq.com

斜撑桩的极限承载力(检测一根斜撑桩最快仅需1 h),用以判断承载力是否满足设计要求。

本文结合工程实例对相同设计参数斜撑桩的“超快速法”与“快速法”荷载(Q)—位移(S)曲线进行了对比分析;除此之外,还对比分析了同一根桩“先快速法、后超快速法”以及“先超快速法、后快速法”的 Q — S 曲线及其承载力的变化。

1 复合斜撑桩受力机理

同步同心旋喷式复合斜桩支撑采用复合斜撑桩作为支撑构件,复合斜撑桩属于劲性复合桩范畴,界面特性如图2所示。其荷载传递规律为:当桩顶作用有竖向荷载时,内芯桩承担了绝大部分荷载,一部分轴力通过内芯桩与外芯桩之间的剪切应力传递到外芯桩,然后由外芯桩传递给桩侧土,另一部分轴力由内芯桩传递到更深的外芯桩中,外芯桩水泥土的抗压刚度相对于内芯桩的抗压刚度而言很小,故可忽略其抗压能力,只考虑其传递剪切应力。内芯桩、外芯桩和土体形成强—中—弱的刚度渐弱结构^[10]。



D: 外芯桩直径; d: 内芯桩钢管外径; t: 内芯桩钢管壁厚。

图2 同步同心旋喷式复合斜撑桩界面特性

现场开挖(图3)试验验证水泥土外芯桩和桩周土间存在扩散层,改变了水泥土外芯桩与桩周土的接触面,使得外芯桩与桩周土的结合面犬牙交错,形成一种以机械互锁作用为主的界面粘结机制,进而获得较高的剪切强度。由此可见,扩散层使得外界面的剪切强度高于其外侧土体的剪切强度,使得外界面的侧阻力更接近于土体的不排水抗剪强度。复合斜撑桩 Q — S 曲线特性与刚性单桩

相似^[11],复合斜撑桩表现出摩擦桩的工作特性。



图3 同步同心旋喷式复合斜撑桩现场开挖照片

2 超快速维持荷载法

2.1 超快速维持荷载法标准

斜桩支撑作为内支撑形式之一,与永久性结构相比,具有加载时间短(一般几十分钟到几小时挖到坑底后即加载完成)、开挖后轴向荷载及桩身位移比较稳定的特点,因此在快速维持荷载法基础上提出了超快速维持荷载法,作为自检检测方法。超快速维持荷载法要求如下:

(1)加卸载方式及数据测读时间。

①用预加载装置进行快速分级加、卸载。

②第1级 $0.2Q_{uk}$,第2~8级每级 $0.1Q_{uk}$,第9、10级每级 $0.05Q_{uk}$ 进行检测,超过 Q_{uk} 后仍按每级 $0.05Q_{uk}$ 进行检测直至达到终止检测条件,用百分表测读桩身沉降,其中 Q_{uk} 为极限承载力标准值(设计值)。每级稳压持续时间不少于5 min,且在本级荷载作用下测读桩身沉降,满足初步判稳条件可施加下一级荷载。

③按 $0.2Q_{uk}$ 分级卸载至0,并测读桩身沉降。

(2)检测时每分钟记录一次斜撑桩沉降,当出现下列情况之一时,可初步判稳,进行下级检测。

①最后一个1 min时间间隔的沉降增量小于相邻1 min的沉降增量,且小于1.5 mm。

②连续两个1 min时间间隔的沉降增量均小于0.5 mm。

(3)当出现下列情况之一时,可终止检测。

①试桩检测至某一级荷载过程中压力掉至小于上一级荷载,且总沉降量已超过40 mm。

②试桩在某级荷载下的沉降增量大于前一级荷载下沉降增量的5倍且总沉降量已超过40 mm。

③荷载—沉降曲线呈缓变型,试桩总沉降量已超过80 mm。

2.2 斜撑桩静载试验装置

斜撑桩静载试验装置(图 4)采用全自动静载仪, 仪器使用电瓶连接油泵站, 现场无须接电, 主机通过无线连接油泵站进行自动检测、卸载。



图 4 斜撑桩静载试验装置

2.3 斜撑桩静载试验方法

结合工程实例, 共对 18 根斜撑桩进行试验检测, 试验场地主要土层物理力学指标见表 1。

设置 6 组试验组, 每组 3 根桩, 其桩长、桩型、极限承载力标准值等设计参数均一致(表 2)。由于目前斜撑桩第三方检测单位一般采用快速法进行检测, 因此选取每组中 1 根桩按照《建筑基桩检测技术规范》^[12]的相关要求采用快速法进行检测, 另外 2 根桩采用超快速法进行检测, 验证超快速法在斜撑桩极限承载力检测方面的可靠性。

此外, 分别对 4 根斜撑桩采用“先快速法、后超快速法”以及“先超快速法、后快速法”的方式探究其 $Q-S$ 曲线及承载力的变化(表 3)。

表 1 各项目主要土层物理力学性质指标

项目	土性名称	重度/ ($\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$)	含水率/ %	液性指数	孔隙比	内聚力/ kPa	内摩擦角/ ($^{\circ}$)	土层厚度/ m
江北项目	2-2 淤泥质黏土	17.5	46.1	1.23	1.292	11.3	8.7	13.0
	2-3 淤泥质粉质黏土	17.4	45.7	1.18	1.297	11.8	8.7	9.0
北仑项目	2-1 淤泥质黏土	17.4	41.5	1.30	1.171	12.6	9.4	11.0
	2-2 淤泥质黏土	17.7	38.4	1.23	1.093	13.3	10.0	7.0
	3-1 黏土	18.5	30.7	0.97	0.886	15.9	13.0	5.0

表 2 相同设计参数斜撑桩不同检测方式基本信息

项目	试验组号	桩号	检测方式	有效桩长/m	桩型	极限承载力 标准值/kN	极限承载力 检测值/kN
江北项目	①	1-1#	快速法	26.6	摩擦桩	2 300	2 185
		1-2#	超快速法	26.6	摩擦桩	2 300	2 185
		1-3#	超快速法	26.6	摩擦桩	2 300	2 300
	②	2-1#	快速法	26.6	摩擦桩	2 300	2 415
		2-2#	超快速法	26.6	摩擦桩	2 300	2 645
		2-3#	超快速法	26.6	摩擦桩	2 300	2 645
	③	3-1#	快速法	26.6	摩擦桩	2 300	2 530
		3-2#	超快速法	26.6	摩擦桩	2 300	2 530
		3-3#	超快速法	26.6	摩擦桩	2 300	2 645
北仑项目	④	4-1#	快速法	22.5	端承摩擦桩	2 200	2 090
		4-2#	超快速法	22.5	端承摩擦桩	2 200	2 200
		4-3#	超快速法	22.5	端承摩擦桩	2 200	2 090
	⑤	5-1#	快速法	19.0	端承摩擦桩	2 000	2 100
		5-2#	超快速法	19.0	端承摩擦桩	2 000	2 200
		5-3#	超快速法	19.0	端承摩擦桩	2 000	2 200
	⑥	6-1#	快速法	23.0	端承摩擦桩	2 200	2 530
		6-2#	超快速法	23.0	端承摩擦桩	2 200	2 640
		6-3#	超快速法	23.0	端承摩擦桩	2 200	2 530

表 3 同根斜撑桩先后检测基本信息

项目	桩号	有效桩长/m	桩型	两次检测方式	极限承载力 标准值/kN	极限承载力 检测值/kN
江北项目	7-1#	26.6	摩擦桩	第 1 次检测: 超快速法	2 300	2 300
				第 2 次检测: 快速法		2 415
	7-2#	17.0	摩擦桩	第 1 次检测: 超快速法	1 500	1 500
				第 2 次检测: 快速法		1 500
北仑项目	8-1#	22.5	端承摩擦桩	第 1 次检测: 快速法	2 200	2 090
				第 2 次检测: 超快速法		2 200
	8-2#	19.0	端承摩擦桩	第 1 次检测: 快速法	2 000	2 100
				第 2 次检测: 超快速法		2 200

3 试验结果

3.1 超快速法与快速法的对比

图 5 为超快速法与快速法的对比试验结果，可

发现超快速法所得 $Q-S$ 曲线的沉降值都略微小于快速法。这是由于在各级荷载作用下，超快速法相对于快速法荷载维持时间短，留给基桩产生沉降的时间也短。

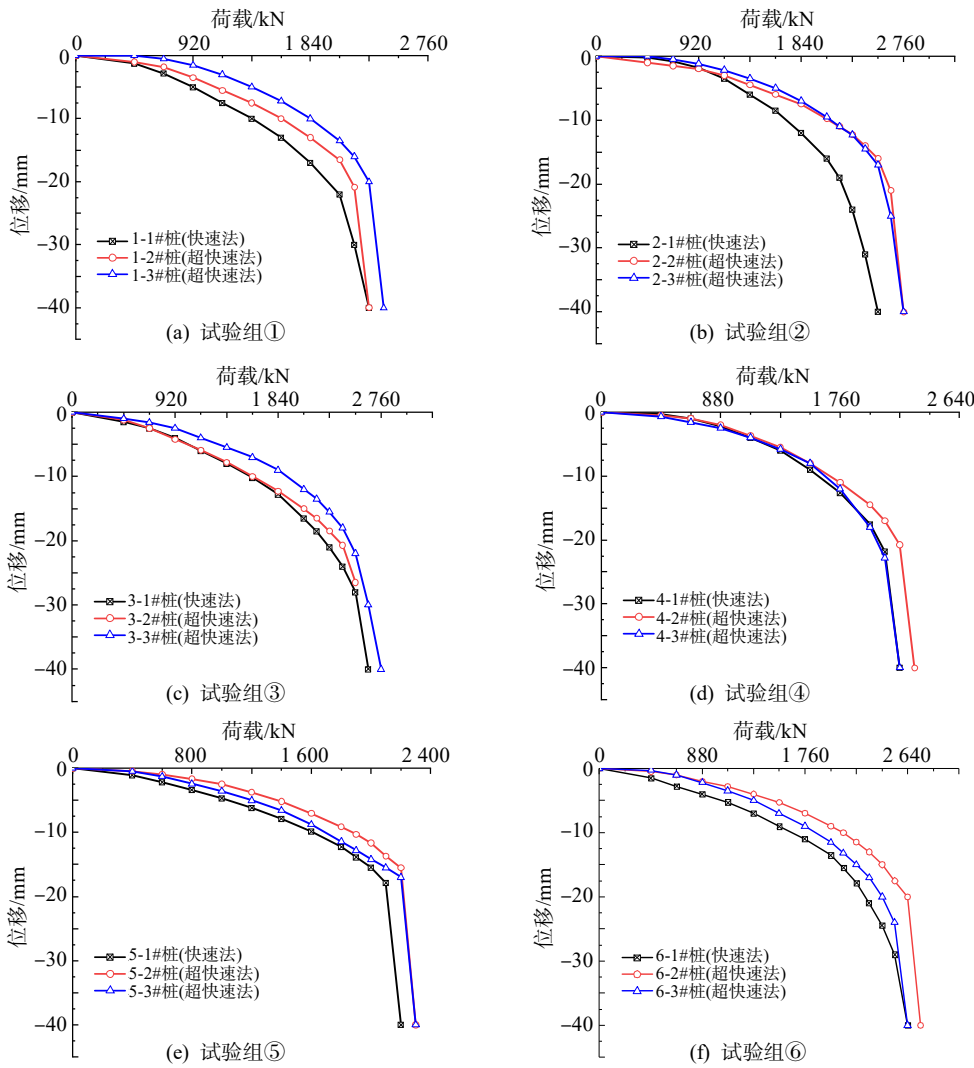


图 5 超快速法与快速法的对比

由图5可知,相比于快速法,超快速法极限承载力检测值高0~230 kN,其平均值为115 kN,偏差0~8.7%,平均偏差为3.75%。与文献[13-14]研究得出的刚性单桩采用快速法与慢速法检测得到的极限承载力偏差基本相当。

上海市《建筑地基基础设计规范》^[13]的背景材料汇编中,分析了黏性土中47根快慢速加载的试桩资料,得出刚性桩快速法极限荷载值比慢速法提高0~9.6%,平均4.5%的结论;桩基工程手册^[14]中也有快速法极限荷载值比慢速法提高一级或不足一级荷载量的结论。

通过对上述6组试验桩极限承载力的数据统计,得到超快速法与快速法极限承载力检测值的相关关系如图6所示,即超快速法极限承载力检测值为快速法的1.0375倍。分析认为由于荷载维持时间的差异,用超快速法测得的极限承载力相较于快速法相近或略高。但与斜撑桩取用的抗压安全系数1.6相比,该偏差可忽略不计。

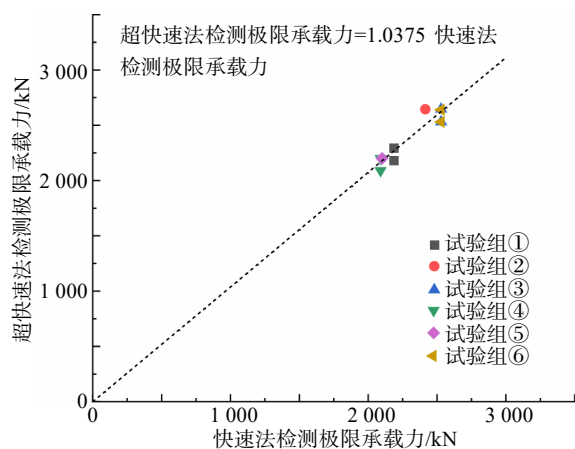


图6 超快速法与快速法检测结果关系

3.2 先超快速法与后快速法的对比

为探究在先超快速法后快速法检测的情况下,同一根桩的 $Q-S$ 曲线及承载力的变化,分别对7-1#、7-2#桩进行两次检测。由图7中 $Q-S$ 曲线可发现,在各级荷载作用下,超快速法(第1次检测)沉降都大于快速法(第2次检测),特别是在前几级荷载下。第2次检测的沉降变化速率更小,这是由于斜撑桩在进行第1次检测后,桩周土被压得更加密实。另一方面,第2次检测测得的极限承载力等于或略大于首次检测的极限承载力,两者相差0~100 kN。

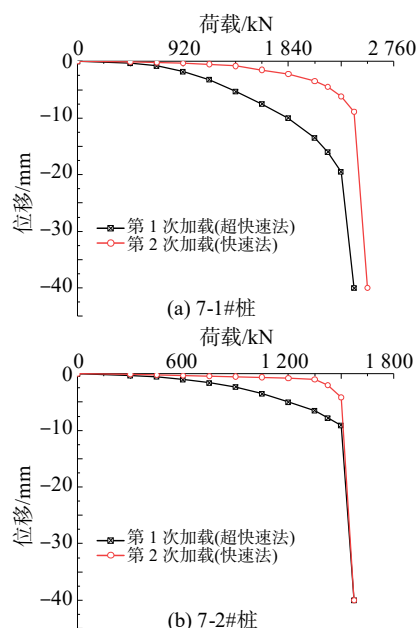


图7 二次检测“先超快速后快速”

3.3 先快速法与后超快速法的对比

为探究在先快速法后超快速法检测情况下,同一根桩的 $Q-S$ 曲线及承载力的变化,分别对8-1#、8-2#桩进行两次检测。由图8中 $Q-S$ 曲线可发现,在各级荷载作用下,超快速法(第2次检测)相对于快速法(第1次检测)而言,其沉降变化速率更小,特别是在前几级荷载下。另一方面,第2次检测测得的极限承载力都略大于首次检测的极限承载力,两者相差约为100 kN。

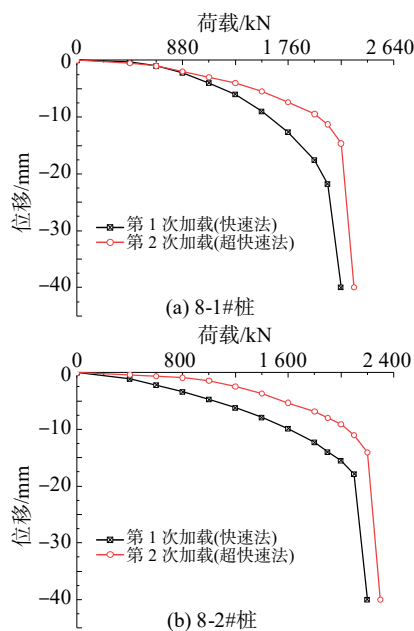


图8 二次检测“先快速后超快速”

综上所述,无论是第1次采用何种检测方式(快速法或超快速法),第2次检测曲线均位于第1次检测曲线的上方,即同一根桩在各级荷载作用下,第2次检测的沉降均小于第1次检测的沉降。除此之外,在极限承载力方面,第2次检测所测得的极限承载力等于或略大于首次检测得到的极限承载力。

4 结论

根据斜撑桩作为临时性结构以及加载速度特点,提出“超快速法”自检检测方法,与规范“快速法”结果进行了对比验证,主要结论如下:

(1)斜撑桩自检检测方法——超快速维持荷载法经实际工程与快速法进行了对比,验证结果可行,该方法可用于临时性结构——斜撑桩的检测。

(2)对于相同设计参数的斜撑桩,用“超快速法”测得的单桩极限承载力接近或略大于“快速法”,两者偏差为0~8.7%。检测值偏差与斜撑桩取用的抗压安全系数1.6相比,可忽略不计。

(3)对于同一根斜撑桩采用不同检测方式进行先后检测,发现在各级荷载作用下,第2次检测的沉降均小于第1次检测的沉降;第2次检测所测得的极限承载力等于或略大于首次检测得到的极限承载力。

参考文献:

- [1] T/SCDA012-2021. 自稳式基坑支护结构技术标准[S].
- [2] 周节定,胡磊,王乾浩. 同步同心式斜撑桩侧摩阻力现场试验研究[J]. 建筑施工, 2023, 45(4):770-772.
- [3] 史世雍,王乾浩,陶冶,等. 同步同心预加载式复合型斜撑桩的施工[J]. 建筑施工, 2023, 45(5):856-857.
- [4] 周相国,王献敏,徐超,等. 桩静载荷试验快速法与慢速法对比研究[J]. 水文地质工程地质, 2008, 35(3):35-38.
- [5] 史海兵,李学武. 桩基静载试验中快速加载方法的研究[J]. 工程质量, 2011, 29(3):76-78.
- [6] 郭峰亮,林楠,程康,等. 快速维持荷载法在基桩检测中的应用[J]. 土工基础, 2015, 29(1):110-113.
- [7] 郭胜. 新型桩基静载试验方法在工程建设中的应用[J]. 中国高新科技, 2019(22):88-89.
- [8] 霍少磊,朱小军,龚维明. 钢管斜桩自平衡法静载试验研究[J]. 施工技术, 2014, 43(1):23-25.
- [9] 姚正源. 内抛注浆钢管桩静载荷试验研究[J]. 安徽建筑, 2017, 24(4):188-189.
- [10] 丁永君,李进军,刘峨,等. 刚性搅拌桩的荷载传递规律[J]. 天津大学学报, 2010, 43(6):530-536.
- [11] 李俊才,张永刚,邓亚光,等. 管桩水泥土复合桩荷载传递规律研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(增刊1):3068-3076.
- [12] JGJ 106—2014. 建筑基桩检测技术规范[S].
- [13] DBJ 08-11-89. 建筑地基基础设计规范[S].
- [14] 史佩栋. 桩基工程手册:桩和桩基础手册[M]. 北京:人民交通出版社, 2008.

Comparative analysis of the application of self-inspection and testing methods for inclined strut pile bearing capacity

MAO Honghui, JIN Chaoqi

(Ningbo Ningda Foundation Treatment Technology Co., Ltd., Ningbo 315211, China)

Abstract: To improve the self inspection efficiency of ultimate bearing capacity of inclined strut piles, this paper introduces a new self inspection method, known as the ultra-rapid load-maintaining method (referred to as the “ultra-rapid method”). The $Q-S$ curves of “ultra-rapid method” and “rapid method” for inclined strut piles with the same design parameters are compared and analyzed with engineering examples. Additionally, the $Q-S$ curves of the same inclined strut pile inspected in sequence by “ultra-rapid method” and “rapid method” are compared and analyzed. The analysis results indicate that the inspection results of “ultra-rapid method” and “rapid method” are basically similar, with a deviation of 0~8.7%. The “ultra-rapid method” self-inspection and testing methods is verified to be feasible and the inspection results can be applied to engineering practice.

Key words: inclined strut pile; the ultra-rapid load-maintaining method; static load test; ultimate bearing capacity

(责任编辑 韩超)