

武汉地区轻型动力触探与地基土承载力相关性研究

陈伟, 高振宇, 周淼, 赵天翔

武汉市勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430022

摘 要 : 在工程建设中, 地基土承载力是一个重要的工程技术指标, 轻型动力触探作为一种原位测试手段, 以其轻便快捷等特征在工程地基土承载力检测中得到广泛运用。《建筑地基检测技术规范》(JGJ340-2015) 提供了按轻型动力触探初步判定地基土承载力的经验值, 而笔者通过武汉市多年的工程实践发现该手段获取的地基土承载力相比勘察报告提供的地基土承载力有较大差距, 为此笔者选取武汉市多个具有代表性场地, 针对第四系全新统一一般粘性土, 采用静力触探、地基载荷试验与轻型动力触探进行了平行对比试验, 以探究武汉地区轻型动力触探与第四系全新统一一般粘性土地基土承载力的相关性。

关 键 词 : 岩土工程; 轻型动力触探; 地基土承载力; 武汉地区

Correlation Study between Light Dynamic Penetration Test and Bearing Capacity of Foundation Soil in Wuhan Area

Chen Wei, Gao Zhenyu, Zhou Miao, Zhao Tianxiang

Wuhan Survey and Design Co., Ltd. Wuhan, Hubei 430022

Abstract : In engineering construction, the bearing capacity of foundation soil is an important engineering technical indicator. As an in-situ testing method, the light dynamic penetration test has been widely used in the detection of foundation soil bearing capacity due to its lightness, convenience, and quickness. The "Technical Specification for Building Foundation Inspection"(JGJ340-2015) provides empirical values for preliminarily determining the bearing capacity of foundation soil based on the light dynamic penetration test. However, through years of engineering practice in Wuhan, the author has found that there is a significant gap between the bearing capacity of foundation soil obtained by this method and the bearing capacity provided in the survey report. Therefore, the author selected multiple representative sites in Wuhan, focusing on the general clayey soil of the Quaternary Holocene. Parallel comparison tests were conducted using static penetration tests, foundation load tests, and light dynamic penetration tests to explore the correlation between the light dynamic penetration test and the bearing capacity of general clayey soil of the Quaternary Holocene in Wuhan.

Keywords : geotechnical engineering; light dynamic penetration test; foundation soil bearing capacity; Wuhan area

引言

地基承载力的检测是建筑工程中至关重要的一环, 常用的检测方法较多, 动力触探仪检测地基承载力是较为常用的一种原位试验法^[1], 以其轻便、操作简单等特点, 使其在建筑、市政工程天然地基以及回填土地基的承载力检测中得到广泛运用, 而笔者在武汉地区多年的工程实践中发现轻型动力触探检测结果与勘察指标(静力触探、土工试验、标准贯入试验等)所反映的地基承载力匹配度不高, 这造成了在工程地基验槽过程中常存在分歧, 从而影响了工程的建设工期和造价。由此, 地基土的检测对工程质量的保障尤为重要^[2]。为此笔者选取了武汉市多个具有代表性场地, 针对第四系全新统一一般粘性土, 采用静力触探、地基载荷试验与轻型动力触探进行了平行对比试验, 以探究武汉地区轻型动力触探与第四系全新统一一般粘性土地基土承载力的相关性, 为地基土承载力的获得提供可靠、准确的途径。

一、轻型动力触探推定地基土承载力存在的问题

轻型动力触探（N10）是岩土工程勘察常用的原位测试手段，其原理是利用重锤将试验装置击入土体内，测定贯入一定深度的锤击数，利用该锤击数确定土体承载力的一种原位试验方法^[3]。轻型动力触探试验适用于评价黏性土、粉土、粉砂、细砂地基及其人工地基的地基土性状、地基处理效果和判定地基承载力^[4]。在武汉地区工程实践中具体的检验方式一般是：挖至目标地层初步平整后，进行轻型动力触探试验，获取基面下0.9m 范围的3个试验击数，并计算平均值，检测报告则是依据《建筑地基检测技术规范》（JGJ 340-2015）用目标层分层的击数平均值推定地基承载力。《建筑地基检测技术规范》（JGJ 340-2015）主要分析、参考了《铁路工程地质原位测试规程》（TB 10018-2003）、广东、北京、西安、浙江的资料，与武汉地区工程经验存在一定偏差。在武汉地区工程实践中多采用轻型动力触探对浅层地基土进行承载力检测，但检测结果与前期勘察所反映的承载力匹配度不高，在地基验槽过程中存在分歧。

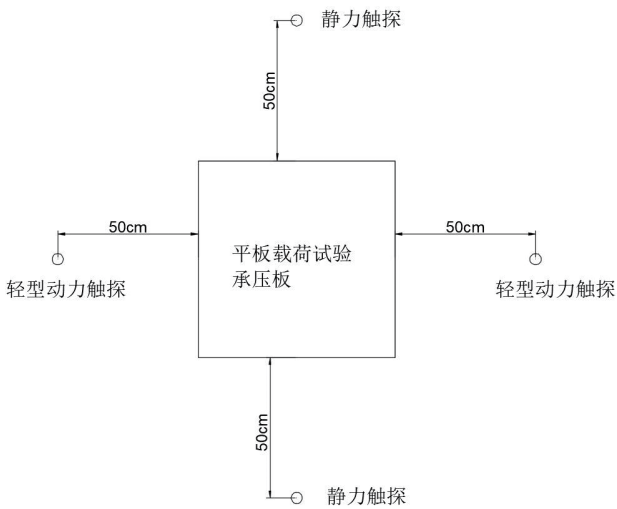
若能建立并修正武汉地区轻型动力触探指标与地基土承载力的相关关系，将能提供更多的勘察手段以辅助勘察工作，验证岩土参数的准确性，同时更好的服务于工程建设^[5]。研究和修正武汉地区轻型动力触探确定地基土承载力的方法，是对武汉地区原位测试方法获取地基土承载力重要的补充和完善。

二、平行对比试验

确定地基土承载力，国内工程技术人员采用各种原位测试方法，对地基土承载力的取值都进行了不同程度的研究。较为可靠直接的方法为采用平板载荷试验确定地基土承载力，但该试验对现场条件要求严苛（经常受场地条件和土层深度的限制），而且试验成本较高，因此，该试验在很多情况下难以实施^[6]。

当载荷试验难以实施时，采用原位测试是较为经济可行的^[7]。我国对承载力的研究已经取得了较大的进展，分析计算和采用各种原位测试手段求取承载力都进行了有益的探索，如采用单桥静力触探对地基土的承载力进行较为准确的确定，已在武汉地区工程实践中作为一种重要的勘探手段得到了广泛应用和验证。

笔者通过研析武汉地区的区域地质资料，选取了11个场地进行了静力触探、地基载荷试验与轻型动力触探平行对比试验。试验前首先对每个场地采用网状布孔方式对场地浅部地层条件进行静力触探探查，以选取适宜的试验点位及深度，每个试验点用挖机开挖至目标层并整平场地后，在试验点位放置地基载荷试验承压板（70cm 方形板），在距承压板四周约50cm 处分别进行2组轻型动力触探（测试深度1.2—1.5m）、单桥静力触探试验（测试深度一般大于5m），最后在承压板处进行平板载荷试验，点位示意图如图1。每个试验点位进行1组对比试验：1组平板载荷试验和2组轻型动力触探、静力触探试验，本次试验共得到26组对比试验数据。



> 图1 对比试验平面布置图

三、对比试验数据分析

（一）三种试验数据的取值

本次26组对比试验一些特征数据见表1，其中 f_{ak} 代表该试验点位三种测试所确定的地基承载力特征值； N_{101} 、 N_{102} 分别代表该试验点位2个轻型动力触探试验从测试点位表面向下贯入30cm的锤击数平均值； N_{10-1} 、 N_{10-2} 、 N_{10-3} 代表该点位处0-0.9、0.3-1.2、0.6—1.5m 的锤击数平均值，并分布按《建筑地基检测技术规范》（JGJ 340-2015）确定地基土承载力特征值 f_{ak} ； p_s 代表该试验点位2个静力触探试验1.5m 深度范围内的深度峰值平均值，按照《岩土工程勘察规程》（DB42/T 169-2022）附录 K 表 K.11 确定承载力特征值 f_{ak} ^[8]。

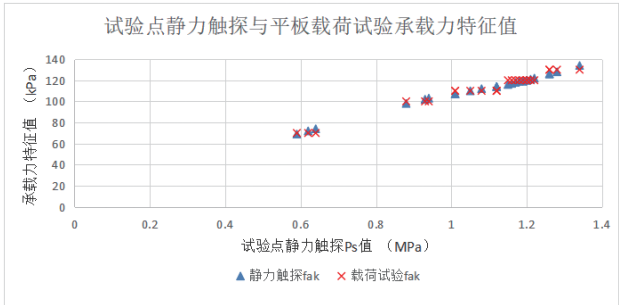
表1 对比试验数据表

试验 点编 号	载荷 试验	N_{101} (击)	N_{102} (击)	N_{10-1}		N_{10-2}		N_{10-3}		静力触探	
	f_{ak} (kPa)			击数	f_{ak} (kPa)	击数	f_{ak} (kPa)	击数	f_{ak} (kPa)	p_s (MPa)	f_{ak} (kPa)
1	130	8	9	13.5	86	18.2	106	22.2	124	1.26	126
2	130	9	7	16.0	95	21.2	120	23.7	130	1.26	126
3	120	10	16	15.7	93	18.0	105	21.3	120	1.19	119
4	110	16	13	16.8	99	19.3	111	19.3	111	1.08	112
5	110	8	8	12.5	80	15.8	94	18.7	108	1.01	107
6	110	14	14	16.3	96	17.8	104	18.2	106	1.05	110
7	120	13	12	15.8	94	19.0	110	22.5	125	1.16	117
8	110	14	12	16.2	96	18.3	106	18.5	107	1.12	114
9	120	14	13	15.2	91	18.2	106	21.8	122	1.17	118

试验点编号	载荷试验	N_{101} (击)	N_{102} (击)	N_{10-1}		N_{10-2}		N_{10-3}		静力触探	
	f_{ak} (kPa)			击数	f_{ak} (kPa)	击数	f_{ak} (kPa)	击数	f_{ak} (kPa)	p_s (MPa)	f_{ak} (kPa)
10	130	12	15	17.7	103	21.2	120	20.5	117	1.28	128
11	110	13	13	15.7	93	17.5	102	17.7	103	1.12	114
12	110	12	11	14.7	89	18.3	106	22.0	123	1.12	114
13	120	13	14	16.2	96	19.2	111	19.3	111	1.18	119
14	110	12	13	16.5	97	18.2	106	18.8	109	1.01	107
15	120	13	13	16.3	96	18.8	109	18.8	109	1.15	116
16	120	13	13	17.7	103	20.5	117	20.2	116	1.2	120
17	120	15	13	18.0	105	21.0	119	22.3	124	1.22	122
18	120	15	14	18.3	106	22.2	124	23.7	130	1.2	120
19	120	11	13	16.7	98	20.7	118	22.7	126	1.21	121
20	130	12	15	18.2	106	21.3	120	22.2	124	1.34	134
21	70	6	7	7.5	60	8.5	64	9.5	68	0.64	74
22	70	7	7	7.3	59	8.0	62	9.0	66	0.62	72
23	70	7	8	7.8	61	8.2	63	8.7	65	0.59	69
24	100	11	12	14.2	87	15.5	92	/	/	0.93	102
25	100	10	8	11.5	76	15.2	91	/	/	0.88	98
26	100	9	12	13.3	83	16.5	97	/	/	0.94	103

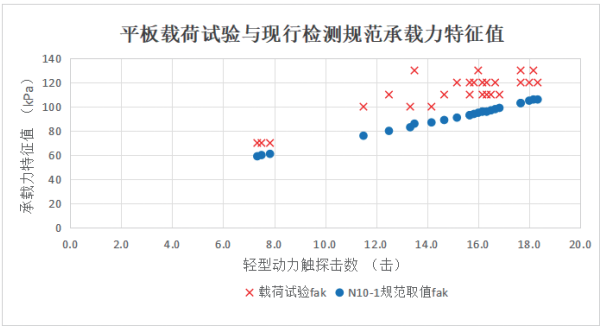
(二) 平板载荷试验与静力触探试验结果基本匹配

由表1、图2可分析出：单桥静力触探试验所确定的地基土承载力特征值与平板载荷试验所确定的地基土承载力特征值 f_{ak} 基本一致，偏差在5%以内，两种试验可相互验证，从而确定该试验点位的地基土承载力特征值。



> 图2 试验点静力触探与平板载荷试验承载力特征值

(三) 轻型动力触探试验按现行检测规范取值偏小



> 图3 平板载荷试验与现行检测规范承载力特征值

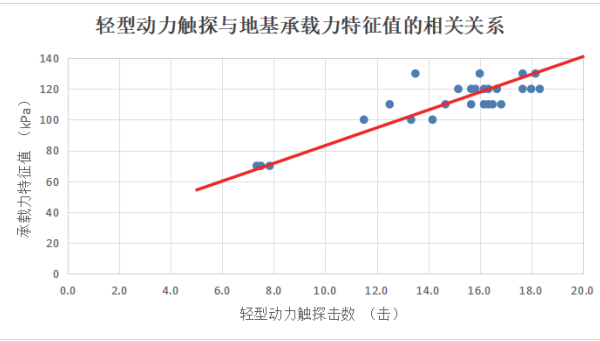
如图3所示，本次试验试验点轻型动力触探锤击数平均值按照《建筑地基检测技术规范》（JGJ 340-2015）所取地基土承载力特征值普遍比该试验点平板载荷试验所得地基土承载力特征值明显偏小。

原因分析：本次研究在现场试验所完成的轻型动力触探的测试深度一般是1.2—1.5m，表1为本次轻型动力触探的一些特征数据。由表1可分析出：轻型动力触探试验表层锤击数偏小，尤其是第一击偏小特别严重，第一击锤击数仅为剩余锤击数平均值的64%；除第一击外其余击数相差不大，在统计学误差范围内。造成表层土体轻型动力触探试验锤击数偏小的主要原因应为土层开挖卸荷导致。

(四) 轻型动力触探试验锤击数与地基土承载力特征值的关系

由于按现行《建筑地基检测技术规范》（JGJ 340-2015）进行轻型动力触探试验在工程实践中已得到广泛运用（取0-0.9m试验平均击数），故笔者在此用该试验方法建立武汉地区轻型动力触探试验锤击数 N_{10-1} 与地基土承载力特征值的关系^[9]。在统计过程中，同一岩性的轻型动力触探指标与地基土承载力特征值指标的相关性主要遵循以下原则：

1. 总体线性原则。据武汉地区岩土工程勘察统一技术措施，静力触探指标与地基土承载力特征值之间基本满足线性关系，通过类比及数据初步整理分析，轻型动力触探指标与地基土承载力特征值指标之间基本满足线性关系^[10]。
2. 安全性原则。统计出来的结果为平均值状态，数据中大值形成的包络线对于工程而言是不安全的，而小值形成的包络线则过于保守，平均值状态介于两者之间，因此最终采用轻型动力触探的锤击数的平均值确定地基土承载力特征值。



> 图4 轻型动力触探锤击数与地基土承载力特征值相关关系

以轻型动力触探锤击数为横坐标，以地基土承载力特征值为纵坐标，进行二者相关关系拟合，并按上述原则进行分段研究，拟合关系曲线如图4所示。

经修正的轻型动力触探锤击数 N_{10} 与地基土承载力特征值 f_{ak} 的相关关系为：

$$f_{ak} = 5.5N_{10} + 30 (5 \leq N_{10} \leq 50)$$

四、结语

本文通过平板载荷试验、静力触探试验与轻型动力触探试验的对比分析得出了武汉地区轻型动力触探试验 N_{10-1} 与地基土承载力特征值的相关关系，但毕竟本次试验数据量不大，选取土层不全面，得出的结论有待后期工程实践进一步验证。

参考文献

[1] 杨兰, 马小平, 吴瑜. 轻型动力触探仪评价地基承载力的应用 [J]. 价值工程, 2024, 43(06): 115-117.

[2] 罗剑. 轻型动力触探试验推定地基承载力的数据统计分析方法论述 [J]. 广东建材, 2022, 38(08): 35-36+11.

[3] 赵磊. 轻型动力触探与工程勘察确定土体承载力的差异分析——以某新建垃圾转运站为例 [J]. 华北自然资源, 2023, (02): 22-25.

[4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑地基检测技术规范: JGJ 340—2015 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.

[5] 威海涛. 轻型圆锥动力触探试验在工程中的应用 [J]. 数字农业与智能农机, 2023, (04): 123-126.

[6] 温卫国. 基于重型动力触探试验的综合楼地基承载力评价 [J]. 四川建材, 2019, 45(09): 116-117.

[7] 刘晨旸, 孔令明, 齐吉琳. 地基承载力深度解析 [J]. 北京建筑大学学报, 2023, 39(06): 41-49.DOI: 10.19740/j.2096-9872.2023.06.06.

[8] 王涛, 刘力, 徐文元, 等. 基于重型圆锥动力触探的软土地基处理评价 [C] // 《施工技术 (中英文)》杂志社, 亚太建设科技信息研究院有限公司. 2023年全国工程建设行业施工技术交流会论文集 (中册). 中建三局集团 (深圳) 有限公司, 2023: 3.DOI: 10.26914/c.cnkihy.2023.033069.

[9] 邓少权. 地基土承载力特征值检测方法与取值研究 [J]. 工程质量, 2021, 39(05): 74-76+84.

[10] 冯亮. 复合地基承载力试验探究 [J]. 大众标准化, 2023, (09): 103-105.