维普资讯 http://www.cqvip.com

文章编号:1001-1986(2005)01-0035-03

水下旁压试验在桥基原位测试中的应用

孟庆山,汪 稔,胡建华,张家铭
(中国科学院武汉岩土力学研究所岩土力学重点实验室,湖北 武汉 430071)

摘要:介绍了GA型预钻式旁压仪在水下沉积软土及砂土桥基原位测试中的成功应用。试验结果表明:由旁压试验结果推求的地基承载力与标准贯入击数具有良好的线性关系,随着标贯击数$N_{63.5}$的增大,土质较硬的地基的承载力增长的幅度小;而土质较软的地基的承载力增长的幅度反而大。为利用标贯试验和部分旁压试验结果能够较为准确地推求地基承载力,确定持力层位置,提供了依据。

关 键 词:旁压试验;原位测试;旁压模量;标贯试验
中图分类号:TU413 **文献标识码**:A

The application of underwater pressuremeter test to in-situ testing of bridge foundation

MENG Qing-shan, WANG Ren, HU Jian-hua, ZHANG Jia-ming
(*Key Laboratory of Rock and Soil Mechanics, Institute of Rock and Soil Mechanics, the Chinese Academy of Sciences, Wuhan* 430071, *China*)

Abstrct: In-situ measurement of bridge foundation located underwater sediment soft clay and sand by using GA pressuremeter is introduced. The results of test show that it is linear relationship between the ground bearing capacity calculated by pressuremeter test and standard penetration test(SPT). The increasing degree of the ground bearing capacity of hard stratum is slow with the increasing of $N_{63.5}$, but that of soft ground is fast with the increasing of $N_{63.5}$. It can be well used for nicety ascertaining the ground bearing capacity by SPT and partial pressuremeter test data and determining the position of supporting course.

Key words: pressuremeter test; in situ test; pressuremeter modulus; standard penetration test(SPT)

1 引言

原位测试技术近30 a来在国内外发展很快,已成为工程勘察中不可或缺的手段。沈珠江认为,只有通过原位测试,才能取得更为可靠的土质参数。原位测试是通过反馈分析的办法间接求得参数,而且原位测试的主要目标应当限定在求取原状土的初始模量和渗透系数上[1]。因此,钻孔旁压试验作为一种重要的原位测试方法,其发展势在必行。

我国已有近30 a研究和应用旁压仪的历史,近年来在浅基础、深基础、吹填砂以及冻土等的地基评价中,旁压试验原位测试已经取得大量的资料并积累了成功的经验,但是这些试验的测试深度一般在40 m以内。测试深度的增加将给测试技术和测试仪器的性能带来很大的考验,并且这些工作大多没有建立起旁压试验结果与其他原位试验(如标准贯入试验、静力触探试验和载荷试验等)之间的对应关系。

本文选用法国梅纳GA型预钻式旁压仪,对苏通大桥桥基进行了水下80 m深度以内砂、土的原位旁压试验,并且通过与标准贯入试验结果进行对比,建立了两种测试手段之间的经验关系,对于这一测试深度现有的研究中并不多见。

2 场地工程地质条件

2.1 工程地质与水文地质

拟建的苏通大桥桥位南岸位于常熟市,与南通隔江相望。大桥江面宽,河势复杂,基岩埋藏深,通航标准高。

在苏通大桥桥位区,地基层组划分主要考虑地质(堆积年代、成因类型和土体工程特性)和工程(工程方案、基础形式和埋深)两方面的因素。桥位地基土层共划分为6个工程地质层组,16个亚组。具体划分方案如下[8]:

第I层组(Q_4),包括5个亚组。分布于Q_4上部的粉砂和软土亚组为敏感地层;Q_4下部为一亚粘土层,透水性差,稳定分布,Q_4底部的工程地质层,以

收稿日期:2004-03-22
基金项目:国家重点基础研究发展规划(973)项目(2002CB412704)和中国科学院武汉岩土力学研究所博士科研自动基金资助项目(Q220302)
作者简介:孟庆山(1974—),男,河北玉田人,中科院武汉岩土力学研究所博士,主要从事岩土力学和软基加固处理研究.

维普资讯 http://www.cqvip.com

粉细砂为主,中密—密实,工程特性一般。

第 II 层组(Q_3),包括 4 个亚组。显示着中粗砂→粉细砂→中粗砂→粉细砂的沉积规律;反映着优良持力层→下卧层→优良持力层→下卧层的工程意义。

第 III 层组(Q_3),划分为 4 个亚组,共有 7 个工程地质层。显示出硬粘性土→粉细砂→硬粘性土→粉细砂的沉积规律;反映着深部优良持力层→下卧层的工程意义。

第 IV 层组(Q_1),深度超过 180 m,从工程地质角度上讲,已失去作为工程地基的可能性。

第 V 层组(N),硬粘土层,顶板标高 - 269 m。

第 VI 层组(N),基岩,岩性为偏碱性玄武岩,顶板标高 - 309 m。

桥区地下水有基岩裂隙水和松散岩类孔隙水。后者按埋藏条件及水力性质可分为 4 大含水层组:Q_4 孔隙潜水、Q_3 第 I 孔隙承压水、Q_{1-2}第 II 孔隙承压水和 N 第 III 孔隙承压水。本次旁压试验在南主墩,南、北近塔辅助墩各选一孔,即 69 号、71 号和 72 号桥墩设计位置处进行,试验水深 15 ~ 20 m。

2.2 持力层确定及设计参数选择

桥址区第四纪地层分布广泛,为河湖滨海相松散沉积物,厚度约 250 ~ 320 m,不整合覆盖于基岩之上。桥址区第四纪松散层层位众多,达 30 层。其岩性主要为粘土、粉砂、细砂、中砂等。有 4 层可供选择作为持力层备选方案,它们是 73.4 m 深的 6 - 1 层中粗砂层,90.8 m 深的 8 - 1 层中粗砂层,128.2 m 深的 9 - 11 的硬粘土层和 290 m 深的基岩。阎长虹等[8]给出了苏通大桥主塔基础持力层,即 II1 - ①密实的中砂、粗砂层,其埋深在 68 ~ 70 m,砂层厚度在 4.3 ~ 21.1 m。

在苏通大桥北塔、南塔基础承载力的确定中,利用《建筑地基基础设计规范》中计算 fv(容许承载力)、临塑荷载 Pcr(容许承载力)、临界荷载 $P_{1/4}$(容许承载力)的公式,按照考虑内聚力和内摩擦角计算其承载力为 1.84 ~ 2 MPa,若按仅考虑砂土的内摩擦角计算则为 1.74 ~ 1.9 MPa;而利用 Prandtl 公式(极限承载力)、Terzaghi 公式(极限承载力)、Hanson 公式(极限承载力) 按照考虑内聚力和内摩擦角计算其承载力为 8.2 ~ 10.3 MPa,若按仅考虑砂土的内摩擦角计算则为 7.7 ~ 9.7 MPa,可见两类算法结果还是有很大差别的。

3 试验设备和方法

试验仪器为法国生产的GA型预钻式旁压仪。

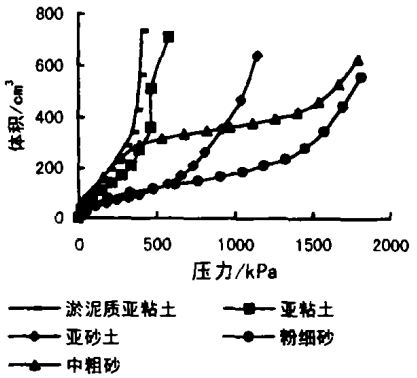

图 1 XK112 各测点旁压试验曲线

Fig. 1 Pressure test curves on each point of XK112 hole

有关设备规格如下:旁压器为 BX 型;测量腔外径为 60 mm;固有腔体积为 535 cm^3;测量腔长度为 200 mm;额定工作压力 10 MPa;体积测量精度 0.1 cm^3;测定深度可达 100 m。

试验前先用钻探船工程钻机在岩土层中成孔至试验深度以下 1 m 左右,孔径 < 62 mm,由于大部分地层为砂层,需用泥浆护壁。再放入旁压器至孔底,加压使旁压扩张,通过它对周围岩土体施加均匀压力,使其产生变形乃至破坏,从而获取压力与体积增量的关系。根据这种关系可对地基承载力和地基土的变形性质进行评价。

试验前应按有关规程事先进行弹膜约束力和体积综合变形率定。试验时,视土层性质加载级数控制在 12 ~ 15 级,加荷速率采用规范中规定的 3 min 快速法,加荷后按 30 s、60 s、120 s、180 s 读数,快速加荷所得的旁压模量相当于不排水模量。

4 试验结果分析

由于深层砂土一般利用钻孔无法取到相对不扰动的、质量好的原状试样进行试验。因此,通过可以忽略应力释放影响的旁压试验,获取初始压力 P_0、临塑压力 P_f、极限压力 P_L 与旁压模量 E_m 等工程力学参数,对高层建筑地基基础设计尤为重要。本次旁压试验在主航道桥 69 号墩 XK112 钻孔、71 号墩 XK127 钻孔和 72 号墩 XK131 中进行。

图 1 是本次试验不同类型砂、土的典型旁压曲线。其中,淤泥质亚粘土和亚粘土的旁压试验曲线均没有明显的直线段,起始段较长,最终向上反弯段不太完整,说明对于海底浅层亚粘土,受淤积成层环境的影响,处于欠固结状态。成孔扰动对土的存在状态影响较大,成孔后旁压仪周围的土与原状土有很大的差别,旁压仪加压逐渐将扰动土压回到钻孔前的状态,这一过程中旁压膜变形较大,孔壁土体变形没有明显的弹性阶段。亚砂土、粉细砂和中粗砂

维普资讯 http://www.cqvip.com

表 1　XK127 孔旁压试验计算结果

Table 1　Results of pressuremeter test of XK127 hole

测点号	土层描述	试验标高/m	初始压力 P_0/kPa	临塑压力 P_f/kPa	极限压力 P_l/kPa	旁压模量 E_m/MPa	旁压剪切模量 G_m/MPa	地基承载力 R/kPa	压模 E_s/MPa	标贯击数
XK127－1	亚粘土	－28.69	242.3	381.3	590	1.913	0.678	96	1.646	11
XK127－2	亚粘土	－32.51	479.3	589.3	920	2.06	0.731	121	1.773	
XK127－3	淤泥质土	－37.69	509.1	664.1	850	2.371	0.841	94	2.04	13
XK127－4	亚粘土	－41.19	519.3	685.3	830	2.099	0.744	85	1.806	
XK127－5	亚粘土	－44.39	640.2	821.2	940	2.512	0.891	82	2.161	10
XK127－6	粉砂	－51.99	590	1 001	1 400	9.384	3.528	165	12.67	
XK127－7	粉砂	－57.19	680	983.8	1 920	8.99	3.38	253	12.14	20
XK127－8	粉砂	－60.49	770	1 752	2 460	18.57	6.983	345	25.07	30
XK127－9	粉砂	－64.67	850	1 682	2 460	12.17	4.573	329	16.42	26
XK127－10	砾砂	－68.49	920	1 937	3 040	23.64	8.887	433	31.91	33
XK127－11	中砂	－72.10	890	1 821	2 970	14.66	5.512	424	19.79	
XK127－12	细砂	－74.67	950	2 290	3 450	18.85	7.088	510	25.45	
XK127－13	粉砂	－81.69	1 050	2 460	3 850	17.64	6.631	571	23.81	43

的旁压曲线均较为完整，也比较典型，每个阶段各自代表着一定的土的变形规律，而且随着土性的不同，曲线各个阶段展现出不同的曲率与形态，各曲线都有明显屈服的反弯段，即当土层达到屈服后才终止了试验。

4.1　旁压变形模量 E_m 计算

旁压模量 E_m 是偏应力场中测定的畸变模量，表征试验的准弹性阶段，根据旁压曲线中直线段的斜率来确定的，按照轴对称柱状孔扩张的 Lame 解答，可求得直线段（即弹性阶段）的模量 E_m：

$$E_m = 2(1+\mu)[V_c + (V_0 + V_f)/2](\Delta P/\Delta V), \quad (1)$$

式中　μ 为岩土体的泊松比，对于粘性土 $\mu = 0.41$，对于砂性土 $\mu = 0.33$；V_c 为旁压器测量腔的固有体积，本试验中 $V_c = 535\ cm^3$；V_0 为初始压力 P_0 对应的体积变形量，cm^3；V_f 为临塑压力 P_f 对应的体积变形量，cm^3；$\Delta P = P_f - P_0$，MPa；$\Delta V = V_f - V_0$，cm^3；$\Delta P/\Delta V$ 为似弹性段直线的斜率。

变形模量可由旁压模量换算而来，通常情况下，可按照 Menard 关系式 $E = E_m/\alpha$ 换算，α 为土的结构系数，对于不同的土性按照不同的固结状态取值。

4.2　孔壁所受的横向压力 P

$$P = P' - P_i + \Delta H \cdot \gamma_w, \quad (2)$$

式中　P' 为压力表的压力读数；P_i 为对应于每个体变时探头的标定压力；ΔH 为仪器与孔内水位高度差；γ_w 为水的容重。

4.3　地基承载力 R

根据旁压试验的极限计算理论和经验说明，地基极限承载力与旁压试验的极限压力成正比，即：

$$q_L - q_0 = K'(P_L - P_0), \quad (3)$$

式中　q_0 为完工后基础埋置标高处四周上覆土压力；K' 为承载力系数，与基础形式、相对埋深、施工方法及土性等有关，一般取 0.8～0.9。

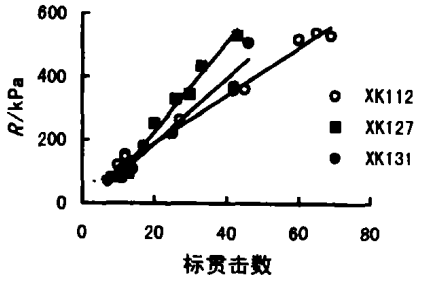

图 2　钻孔标贯击数与地基承载力关系

Fig.2　Relationship between hole's standard penetration blow count and ground bearing capacity

考虑到在旁压曲线上确定 q_0 的误差较大，《PY 型预钻式旁压试验规程》（JGJ69－90）规定用经验公式 $P_0 = K_0 \cdot \gamma \cdot Z + u_0$ 估算，其中：K_0 为试验深度处静止侧压力系数，γ 为土的重力密度，地下水以下取有效重力密度，u_0 为静水压力。

由于 P_L 一般不能直接测到，q_L 可由下式求得：

$$q_L - q_0 = K'(P_f - P_0)。\quad (4)$$

那么地基承载力 R 可按下列公式计算：

$$R = q_L/K, \quad (5)$$

式中　K 为安全系数，3～3.5。

表 1 为 XK127 孔旁压试验计算结果及部分测点相对应的标准贯入击数值。

各钻孔地基承载力与标准贯入击数之间的拟合关系式及相关系数 γ 为：

XK112 钻孔：$R = 7.534\,5\ N_{63.5} + 39.973$，$\gamma^2 = 0.979\,4$

XK127 钻孔：$R = 14.165\ N_{63.5} - 59.083$，$\gamma^2 = 0.981\,9$

XK131 钻孔：$R = 10.303\ N_{63.5} - 17.220$，$\gamma^2 = 0.969\,0$

由图 2 可以看出，各孔由旁压试验推求的地基承载力与标准贯入击数呈良好的线性关系，同一钻

维普资讯 http://www.cqvip.com

文章编号:1001-1986(2005)01-0038-03

焦作市地下水资源保护与利用研究

管恩太[1],武 强[1],李 铎[2]
(1.中国矿业大学资源学院,北京 100083;2.石家庄经济学院工程分院,河北 石家庄 050031)

摘要:焦作市是以地下水作为供水水源的城市。近年来,由于降雨量的减小、河流流量减小或断流、地下水开采量的增大和地下水污染等原因,造成了地下水位逐渐下降,地下水资源减少。本文在阐明影响地下水资源因素的基础上,提出了地下水资源保护与利用的对策,即:防治水污染,污水资源化;排水、供水、环保结合的优化管理;加强水资源价费改革;节约用水。

关 键 词:地下水资源;保护与利用;焦作市
中图分类号:P641.8 **文献标识码**:A

Protection and utilization of groundwater resource in Jiaozuo city

GUAN En-tai[1], WU Qiang[1], LI Duo[2]
(1. *Department of Resource Exploitation Engineering*, *CUMT*, *Beijing* 100083, *China*;
2. *Engineering College*, *Shijiazhuang University of Economics*, *Shijiazhuang* 050031, *China*)

Abstract: The water supply of Jiaozuo city is groundwater. In recent years, the groundwater table descended gradually and the groundwater resource decrease gradually, because of the decrease of precipitation, the decrease or break of river's outflow, the increase of groundwater exploitation and the groundwater pollution, etc. Based on expounding factors of influencing groundwater resource, the tactics of protection and utilization of groundwater resource are proposed. These tactics include the prevention of water pollution, the disposal of sewage, the optimal management that combine drainage, water supply and environment protection together, strengthening the price reforming of water resource, the save of water.

Key words: groundwater resource; protection and utilization; Jiaozuo city

收稿日期:2004-04-05
作者简介:管恩太(1964—),男,河南封丘人,高级工程师,中国矿业大学北京校区在读博士,主要从事水文地质、环境地质、农业地质等方面的研究.

孔线性关系与土性无关,但是这3条拟合曲线的斜率和截距均有所不同。XK112钻孔主要以密实的粉细砂为主,即使是亚粘土和淤泥质亚粘土中一般也夹有亚砂土,而且中粗砂也很密实。XK131钻孔中亚粘土和淤泥质亚粘土占有一定的厚度,但大多呈软塑状态,而粉细砂呈中密~密实,混少许粗颗粒,中粗砂密实但厚度较小。XK127钻孔中亚粘土和淤泥质亚粘土一般呈流塑~软塑状态,而且含有腐植质,粉细砂呈中密,中粗砂密实。不同钻孔由于土性有所不同,因而由旁压试验推求的地基承载力与$N_{63.5}$的对应程度不同,相比来说对于土质较硬的地基,随着$N_{63.5}$的增大,由旁压试验推求的地基承载力增大的幅度反而小,相反,对于土质较软的地基,随着$N_{63.5}$的增大,由旁压试验推求的地基承载力增大的幅度却较大。由此可见,若单纯用标准贯入击数推求地基承载力,需要考虑不同钻孔的土质的软硬程度,即土性的不同。而对于同一钻孔,这种土性的不同则对推求结果影响不大。

5 结语

GA型梅纳预钻式旁压仪测定水下沉积软土及砂土地基承载力可以取得较为满意的原位测试结果,测试有效深度可达到80 m以上。

由旁压试验结果推求的地基承载力与标准贯入击数具有良好的线性相关性,其表现为同一钻孔线性关系与土性无关,而不同钻孔的土质的软硬程度对这种对应关系具有一定的影响。

土质较硬的地基,随着标贯击数$N_{63.5}$的增大,由旁压试验推求的地基承载力增大的幅度小;对于土质较软的地基,则反之。

参考文献

[1] 沈珠江.原状取土坯还是原位测试一土质参数测试技术发展方向刍议[J].岩土工程学报,1996,18(5):90-91.
[2] 吕 衡,袁光国.PK-100型旁压仪在水电工程中的应用[J].水电工程研究,1996,(3):17-19.
[3] 喻文兵,朱元林,张健明等.用钻孔旁压试验原位测试冻土力学性质的探讨[J].冰川冻土,2000,22(4):366-371.
[4] 简洪钰.吹填砂旁压仪试验研究[J].福建建筑,1991,(1):43-46.
[5] 盛海洋,彭柏兴.高压旁压试验在高层建筑地基评价中的应用[J].重庆建筑大学学报,2000,22(1):49-52.
[6] 吴 文,徐松林.旁压仪在岩上工程深部原位测试中的应用[J].岩石力学与工程学报,1999,18(1):100-103.
[7] 汪 稔,胡建华.旁压试验在苏通大桥地质勘察工程中的应用[J].岩土力学,2003,24(6):887-891.
[8] 阎长虹,罗国煜,许宝田等.长江下游大型桥梁建设的工程地质问题[J].水文地质工程地质,2003,(1):48-51.