

北京亚奥国际广场深基坑支护结构 内力监测及分析研究

秦俊生¹, 熊宗喜¹, 王忠柱¹, 张钦喜²

(1. 北京市地质工程设计研究院, 北京 101500; 2. 北京工业大学建筑工程学院, 北京 100022)

摘要:介绍了北京亚奥国际广场深基坑支护结构内力的监测情况和监测结果,并对监测结果进行了分析。

关键词:北京亚奥国际广场;深基坑;支护结构;应力测试;成果分析

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2006)12-0018-04

钢筋混凝土灌注桩和预应力锚杆在深基坑支护工程中得到了广泛的应用,为了使基坑支护结构在安全的基础上更加经济合理,我们在北京亚奥国际广场深基坑支护工程中,在桩身安放钢筋应力计,在锚头上安装传感器,对护坡桩内力及锚杆拉力进行测试,并将测试结果与理论计算进行对比分析,从而进一步优化设计方案,为类似工程的设计提供有益的参考。

1 工程概况

拟建的亚奥国际广场位于北京市朝阳区慧忠里。基坑深度 15.4 m,槽深 3 m 以浅采用土钉墙支护,3 m 以深采用桩锚支护。桩径 600 mm,桩距 1.3 m,桩长 15.6 m,加 2 道预应力锚杆,第一道位于连梁上,间距 2.6 m,第二道位于槽深 10.0 m 处,间距 1.3 m。

2 地质条件

本场地位于永定河冲积扇的中下部,地形较平坦,地面标高 43.16~43.90 m。

各土层的基本岩性特征如下:

人工堆积层粘质粉土填土①层和房渣土①层,厚度为 0.9~4.7 m。

砂质粉土、粘质粉土②层,中密,饱和~湿,中低压缩性;粉质粘土、重粉质粘土②层,饱和,可塑,中高压缩性;粉、细砂②层,中密,湿。厚度 2.9~7.2 m。

粉质粘土、重粉质粘土③层,饱和,可塑,含有机质,中高压缩性;砂质粉土、粘质粉土③层,中密,饱

和~湿,低压缩性。厚度 1.5~3.9 m。

细、中砂④层,中密,湿~饱和;圆砾④层,杂色,饱和,中密。厚度 3.7~6.2 m。

粉质粘土、重粉质粘土⑤层,饱和,可塑,中低压缩性;粘质粉土、砂质粉土⑤层,中密,饱和,低压缩性;粉细砂⑤层,中密,饱和。厚度 9.2~11.4 m。

粉、细砂⑥层,中上密,饱和;粉质粘土、重粉质粘土⑥层,饱和,可塑,中低压缩性;粘质粉土、砂质粉土⑥层,中上密,饱和,低压缩性。厚度 0.8~4.3 m。

卵石⑦层,中上密,饱和,厚度 4.9~5.9 m。

重粉质粘土、粉质粘土⑧层,饱和,可塑,中低压缩性;粘质粉土、砂质粉土⑧层,中上密,饱和,低压缩性。厚度 5.7~6.0 m。

卵石⑨层,密实,饱和;细砂⑨层,褐黄色,密实,饱和。厚度 5.6~5.7 m。

粉质粘土、重粉质粘土⑩层,饱和,可塑,低压缩性;粘质粉土、砂质粉土⑩层,密实,饱和,低压缩性。最大揭露厚度 5.2 m。

3 监测方案

3.1 基本情况

根据本工程现场情况和所采用的支护方案,拟定采取 3 个测试断面(见图 1),分别是:

位于基坑北侧中部的 1 号测试桩;

位于基坑北侧东部阴角部位的 2 号测试桩;

位于基坑阳角部位的 3 号测试桩。

由于 2 号测试桩恰好位于马道口,受出土影响未进行测试,实际只完成了 1、3 号桩的测试。

收稿日期:2006-11-20

作者简介:秦俊生(1970-),男(汉族),安徽人,北京市地质工程设计研究院副院长、高级工程师,探矿工程专业,从事岩土工程施工技术及管理工作,北京市密云县滨河路 46 号,(010)69085873。

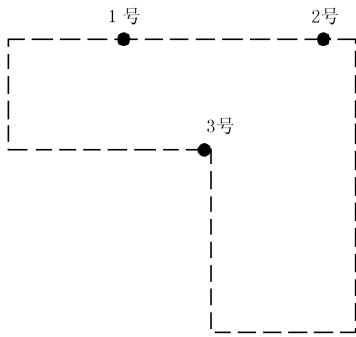


图 1 测试桩平面位置示意图

1号测试桩桩身钢筋应力计于2004年7月17日安装,第一道锚杆锚头传感器于8月9日安装,第二道锚杆锚头传感器于8月21日安装。3号测试桩的桩身钢筋应力计于2004年7月15日安装,第一道锚杆锚头传感器于7月31日安装,第二道锚杆锚头传感器于8月23日安装。2号测试桩只埋设了桩身钢筋应力计,并只进行了初值观测,后期因受挖土影响未进行测试,也未进行锚头传感器的安装。故只对1号及3号测试桩的测试结果进行分析。

3.2 测点布置

3.2.1 1号测试桩测点布置图

1号测试桩共埋设桩内钢筋应力计9个,在第一、二道锚杆处各安装锚头拉力传感器1个,测点布置见图2。

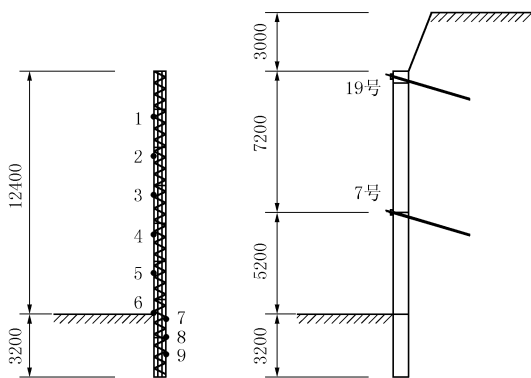


图 2 1号测试桩测点布置图

3.2.2 3号测试桩测点布置图

3号测试桩共埋设桩内钢筋应力计9个,在第一、二道锚杆处各安装锚头拉力传感器1个,测点布置见图3。

4 测试成果

4.1 1号测试桩测试成果

钢筋应力计埋设后及锚头拉力传感器安设后,根据土方开挖情况和工程进展,及时对护坡桩内钢筋

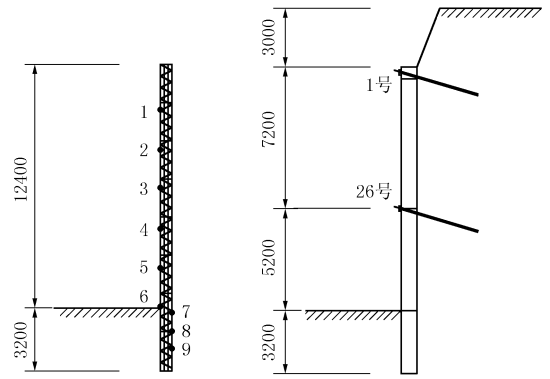


图 3 3号测试桩测点布置图

筋受力及锚杆的拉力进行监测,经整理得到护坡桩内钢筋受力及锚杆的拉力随土方开挖或时间的变化情况,详见图4、图5、表1、表2。

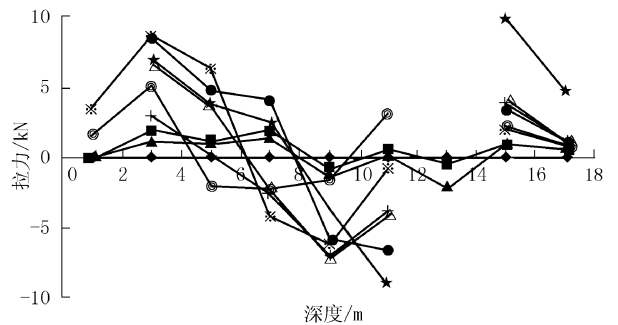


图 4 1号测试桩钢筋拉力-深度关系曲线

注:◆—7月17日;■—7月27日;▲—7月30日;◎—8月9日;※—8月14日;●—8月21日;+—8月23日;△—8月25日;★—9月5日和7日

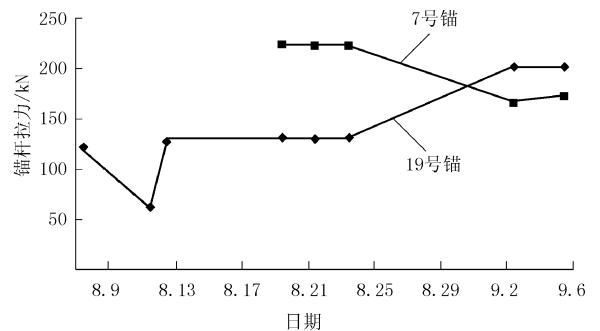


图 5 1号测试桩锚杆拉力-时间关系曲线

4.2 3号测试桩测试成果

钢筋应力计埋设后及锚头拉力传感器安设后,根据土方开挖情况和工程进展,及时对护坡桩内钢筋受力及锚杆的拉力进行监测,经整理得到护坡桩内钢筋受力及锚杆的拉力随土方开挖和时间的变化情况,详见图6、图7、表3、表4。

表1 1号测试桩钢筋应力测试结果记录表

日期	测点号									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	114	106	115	117	123	108	122	105	101	
	$K_1 = 4.47$	$K_1 = 4.47$	$K_1 = 4.37$	$K_1 = 4.43$	$K_1 = 4.30$	$K_1 = 4.63$	$K_1 = 4.27$	$K_1 = 4.03$	$K_1 = 4.37$	
	$K_2 = 5.43$	$K_2 = 5.55$	$K_2 = 5.40$	$K_2 = 5.30$	$K_2 = 5.28$	$K_2 = 5.95$	$K_2 = 5.10$	$K_2 = 4.90$	$K_2 = 5.50$	
7.17	频率计读数/Hz 钢筋受的拉力/kN	2247 0	2208 0	2230 0	2250 0	2247 0	2203 0	2247 0	2244 0	2204 0
7.27	频率计读数/Hz 钢筋受的拉力/kN	2245 -0.368	2217 2.013	2235 1.144	2258 1.806	2243 -0.758	2206 0.648	2245 -0.392	2248 0.993	2207 0.686
7.30	频率计读数/Hz 钢筋受的拉力/kN	2246 -0.184	2213 1.119	2234 0.915	2256 1.354	2239 -1.515	2204 0.216	2236 -2.157	2248 0.993	2206 0.458
8.9	频率计读数/Hz 钢筋受的拉力/kN	2254 1.566	2231 5.145	2219 -2.037	2238 -2.264	2238 -1.705	2217 3.024	损坏	2253 2.233	2208 0.915
8.14	频率计读数/Hz 钢筋受的拉力/kN	2263 3.579	2247 8.725	2258 6.407	2228 -4.151	2214 -6.250	2198 -0.840		2252 1.985	2208 0.915
8.21	频率计读数/Hz 钢筋受的拉力/kN	损坏	2246 8.501	2250 4.577	2268 4.063	2217 -5.682	2163 -6.723		2258 3.474	2209 1.144
8.23	频率计读数/Hz 钢筋受的拉力/kN		2221 2.908	2231 0.229	2236 -2.642	2210 -7.008	2180 -3.866		2259 3.722	2209 1.144
8.25	频率计读数/Hz 钢筋受的拉力/kN		2238 6.711	2245 3.432	2238 -2.264	2209 -7.197	2178 -4.202		2260 3.970	2209 1.144
9.5	频率计读数/Hz 钢筋受的拉力/kN		2239 6.935	2246 3.661	2261 2.483	2228 -3.598	2149 -9.076		2284 9.926	2224 4.577
9.7	频率计读数/Hz 钢筋受的拉力/kN		2239 6.935	2246 3.661	2261 2.483	2228 -3.598	2148 -9.244		2284 9.926	2224 4.577

注:(1) K_1 为受拉时的系数, K_2 为受压时的系数;(2) -号代表受压。

表2 测试桩锚头拉力测试结果记录表

锚头 计	日期	读数/Hz			平均值 /Hz	拉力 /kN	备注
		A	B	C			
第一道	8.9	1927	2116	1807	1950	121.1	张拉锁定
	8.13	2063	1958	1992	2004.3	61.85	
	8.14	1918	2117	1798	1944.3	127.4	
	8.21	1913	2119	1792	1941.3	130.8	第二道锚杆张拉
	8.23	1912	2118	1797	1942.3	129.7	
	8.25	1913	2119	1791	1941	131.1	
	9.5	1685	2121	1826	1877.3	201.5	
9.7	1685	2121	1826	1877.3	201.5		
第二道	8.21	1711	2119	1844	1891.3	222.5	张拉锁定
	8.23	1717	2117	1843	1892.3	221.5	
	8.25	1717	2117	1843	1892.3	221.5	
	9.5	1928	2120	1785	1944.3	165	
	9.7	1928	2120	1785	1944.3	165	

注:第一道锚头计编号是19,第二道锚头计编号是7。

5 测试成果分析

从图4、图6可以看出:

总体而言护坡桩内的钢筋受力很小。就本次测试的数据来看,1号测试桩坑内侧钢筋受到的最大拉力为8.725 kN,坑外侧钢筋受到的最大拉力为9.926 kN;3号测试桩坑内侧钢筋受到的最大拉力为13.95 kN,坑外侧钢筋受到的最大拉力为10.00 kN。钢筋应力最大达到36.7 MPa,仅为钢筋设计强

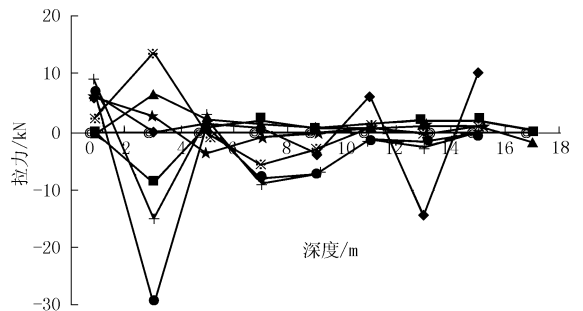


图6 3号测试桩钢筋拉力-深度关系曲线

注:◎—7月15日;■—7月17日;▲—8月9日;★—8月15日;※—8月18日;●—8月23日;+—8月25日;◆—9月5日和7日

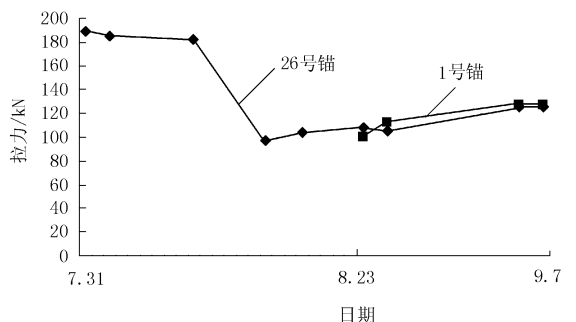


图7 3号测试桩锚杆拉力-时间关系曲线

表 3 3 号测试桩钢筋应力测试结果记录表

日期		1	2	3	4	5	6	7	8	9
		206	212	309	100	110	118	322	109	124
		$K_1 = 4.27$ $K_2 = 5.05$	$K_1 = 4.30$ $K_2 = 5.25$	$K_1 = 4.13$ $K_2 = 5.15$	$K_1 = 4.33$ $K_2 = 5.23$	$K_1 = 4.40$ $K_2 = 5.43$	$K_1 = 4.37$ $K_2 = 5.38$	$K_1 = 4.13$ $K_2 = 5.63$	$K_1 = 4.40$ $K_2 = 5.53$	$K_1 = 4.47$ $K_2 = 5.45$
7.15	频率计读数/Hz	2297	1919	2258	2233	2257	2242	2192	2220	2239
	钢筋受的拉力/kN	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7.17	频率计读数/Hz	2293	1873	2262	2240	2259	2248	2199	2228	2240
	钢筋受的拉力/kN	-0.79	-8.76	0.97	1.62	0.45	1.37	1.69	1.82	0.22
8.9	频率计读数/Hz	2297	1947	2267	2239	2259	2244	2197	2223	2229
	钢筋受的拉力/kN	0.00	6.51	2.18	1.39	0.45	0.46	1.21	0.68	-1.835
8.15	频率计读数/Hz	2322	1930	2239	2228	2255	2244	2192	2225	损坏
	钢筋受的拉力/kN	5.85	2.56	-3.69	-0.96	-0.37	0.46	0.00	1.14	
8.18	频率计读数/Hz	2310	1979	2257	2203	2240	2240	2190	2222	
	钢筋受的拉力/kN	3.04	13.95	-0.19	-5.74	-3.13	0.37	-0.36	0.45	
8.23	频率计读数/Hz	2318	1762	2262	2190	2219	2235	2183	2220	
	钢筋受的拉力/kN	4.92	-29.91	0.97	-8.22	-7.22	-1.30	-1.60	0.00	
8.25	频率计读数/Hz	2328	1840	2267	2186	2217	2234	2178	2219	
	钢筋受的拉力/kN	7.26	-15.05	2.18	-8.99	-7.37	-1.49	-2.49	-0.18	
9.5	频率计读数/Hz	2323	1919	2264	2235	2236	2268	2109	2264	
	钢筋受的拉力/kN	6.09	0.00	1.45	0.46	-3.87	5.95	-14.74	10.00	
9.7	频率计读数/Hz	2323	1919	2264	2235	2236	2268	2109	2264	
	钢筋受的拉力/kN	6.09	0.00	1.45	0.46	-3.87	5.95	-14.74	10.00	

注:(1) K_1 为受拉时的系数, K_2 为受压时的系数;(2) -号代表受压。

表 4 3 号测试桩锚头拉力测试结果记录表

锚头 计	日期	读数/Hz			平均值 /Hz	拉力 /kN	备注
		A	B	C			
	7.31	2010	1939	1817	1922	189.8	张拉锁定
	8.2	2022	1937	1818	1925.7	185.8	
	8.9	2023	1940	1823	1928.7	182.5	
第一 道	8.15	2060	1992	1959	2003.7	97.7	
	8.18	2060	1985	1948	1997.7	104.5	
	8.23	2059	1982	1943	1994.7	107.9	第二道锚杆张拉
	8.25	2060	1949	1983	1997.3	104.9	
	9.5	2058	1920	1958	1978.7	126	
	9.7	2058	1920	1958	1978.7	126	
第二 道	8.23	1960	1965	2012	1979	100	
	8.25	1945	1954	2005	1968	112.2	
	9.5	1930	1942	1994	1955.3	126.4	
	9.7	1930	1942	1994	1955.3	126.4	

注:第一道锚头计编号是 1,第二道锚头计编号是 26。

度的 11.8%。说明钢筋的强度还远未得到发挥。此外,两桩的受力对比还表明,位于阳角部位的 3 号桩比位于北侧中间部位的 1 号桩受力要大。从桩内钢筋受力随时间的发展过程来看,存在以下规律:

(1)未向下开挖时受力较小,随着向下开挖桩的受力逐步增大,表现为从开始挖土到第二层锚杆张拉前,从桩顶至第二层锚杆之间临坑面的钢筋受到的拉力逐渐增大,同时第二层锚杆以下迎土面的钢筋受到的拉力也逐渐增大。这说明临坑面的正弯矩和迎土面的负弯矩都在增大。

(2)第二层锚杆的张拉对桩的受力有显著的影

响,表现为第二层锚杆张拉后。桩顶至第二层锚杆之间临坑面受拉钢筋受到的拉力及受拉区的范围大大减小,而第二层锚杆以下迎土面的钢筋受到的拉力却在增大。这说明第二层锚杆的张拉会使临坑面的正弯矩减小,迎土面的负弯矩增大。

(3)图 4、图 6 均反映出第二层锚杆以下桩的迎土面受拉,说明第二层锚杆设置后改变了桩的受力状态。桩的受力与传统方法的分析结果差异较大。

从桩内钢筋拉力沿桩身的整体分布形态来看,1 号桩的受力形态与传统的认识相对较为一致,而 3 号桩的受力分布形态与传统的认识差别较大,这反映出位于阳角部位的桩受空间效应的影响受力更加复杂化。

从图 5、图 7 可以看出:

当开挖到基坑底时,1 号桩第一层锚杆的受力为 201.5 kN,第二层锚杆的受力为 165 kN;3 号桩第一层锚杆的受力为 126 kN,第二层锚杆的受力为 126.4 kN。以上数值均明显小于现有计算方法的计算结果,也明显小于设计方案中的计算值。说明现行计算方法确需进一步完善和改进。

测试表明锚杆张拉锁定时的预应力损失是很明显的。1 号、3 号桩的第一层锚杆有大约 50% 的预应力损失,1 号桩的第二层锚杆大约有 26% 的预应力损失。这与锁定时锚片的滑移有直接关系。

(下转第 29 页)

略不计,这在 1 号桩中有体现。但具体的定量评价还有待进一步研究。

(7) 笔者分析多个监测资料还发现:降雨对桩身位移起加剧作用。一般雨后的一两天内桩体水平位移有明显增加,而且这种增加是不会因降雨的停止而回弹。所以在雨期加强监测有助于发现事故隐患,选择在少雨季节进行基坑开挖也有利于减小桩体水平位移。

6 结语

通过对基坑的水平位移进行实测与分析可知:

(1) 深基坑的水平位移不但与地质条件有关,而且与支护方案有关,针对不同的支护方案必须采

取不同的支护措施。

(2) 在观察中发现,基坑的水平位移是一个动态变化的过程,随着时间的增长,位移不断增加,慢慢趋于稳定。

(3) 天气的变化(降雨、气温)对基坑的水平位移也有着比较大的影响。

因此,建议在类似工程的施工过程中,必须加强监测,以保证基坑的安全。

参考文献:

- [1] 龚晓南,高有潮.深基坑工程设计施工手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [2] 刘建航,侯学渊.基坑工程手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.

(上接第 21 页)

除 1 号桩第二层锚杆外,锚杆受力随着向下挖土而逐渐增大,反映出锚杆的作用逐步得以发挥。

6 结语

护坡桩的受力十分复杂,土的性质又随时空而变,因此单纯从理论上寻求精确计算桩、锚受力的方法十分困难,必须借助现场测试数据的积累和分析。本项测试对于进一步了解护坡桩、锚杆的受力特点,

在以后的设计中进一步优化设计有着重要的现实意义。

参考文献:

- [1] 陆培毅,顾晓鲁,钱征.天津港务局综合业务楼深基坑支护与监测[J].岩土工程学报,1999,21(3):331-334.
- [2] 张钦喜,何建勇.土钉内力计算方法探讨及实例分析[J].北京工业大学学报,2002,28(4):448-451.
- [3] 张明聚,郭忠贤.土钉支护工作性能的现场测试研究[J].岩土工程学报,2001,23(3):319-326.

(上接第 25 页)

好地解决了施工初期遇到的各种难题。

(2) 针对地层结构松散、局部漏浆极其严重的问题,采取对上部漏失层进行全线预灌浓浆的措施,有效解决了先进成槽设备使用效率低的问题,给抓铣完成 25% 面积打好了基础,并有利于冲击造孔。

(3) 通过采取小口径钻孔爆破和定向聚能爆破方法对给成槽造成极大困难的崩块石和崩块石层进行处理,明显加快了小墙与副孔的施工速度。

(4) 对均深达 70.5 m 的防渗墙深槽段,采取切

实加强、重点解决的措施加以解决,保证了施工质量和工期。

(5) 接头管连接法具有一定的先进性,在接头孔形、混凝土性能、混凝土浇筑速度及接头管起拔操作方面的控制程序还应继续完善,以提高接头管下设计和拔管成孔效率。

(6) 施工前的勘探工作和施工前期的补勘均是十分重要的工作,对深厚覆盖层尤其如此。地质资料应具有较高的准确性,这是完善施工组织 and 准备措施预案的基础。