

文章编号: 0451—0712(2005)10—0022—05

中图分类号: TU473. 11

文献标识码: B

北京市五环路(三期)工程六号标段

桩基荷载试验

冯宇

(路桥集团第一公路工程局北京海威工程有限责任公司北京市100071)

摘要: 为验证桩基设计是否合理,对按设计施工的桩基进行了荷载试验,得出桩基承载力,以确定合理的桩径和桩长,为变更设计提供依据。

关键词: 桩基; 荷载试验

1概况

1.1工程概况

北京市五环路三期工程第六标段全长1.325 km,标段起止桩号为K11+074.76~K12+400,主要工程之一为:铁路双桥编组站分离式立交。五环路在京通路 与铁路双桥编组站之间构成高架桥,本标段起始于通惠灌渠南侧的高架桥上,高架桥长度为557.12 m。其中桩基均为钢筋混凝土灌注摩擦桩。本段路线的主要设计指标如下。

1.3试验概况

验桩和8根锚桩的施工;北京市第三检测所负责静荷载试验。

本次共进行了2根单桩竖向承载力静荷载试验,并在荷载试验前对2根试验桩的成桩质量进行了低应变动测,同时在荷载试验加载过程中,对试验桩及锚桩的内力状态进行了实时监测。

2场地工程地质及水文地质

试验桩所处位置地势较为平坦,地面高程为33.87 m,钻孔揭露深度内的地层见表1。

表1试验桩地层情况

表头: 地层编号, 岩土名称, 岩性符号, 层底标高, 层底深度, 分层厚度

地层编号	岩土名称	岩性符号	层底标高	层底深度	分层厚度
① ₁	素填土		27.1	6.4	6.4
②	亚粘土		23.41	10.5	4.1
③ ₂	粉砂		21.51	12.4	1.9
③	亚粘土		17.61	16.3	3.9
③ ₄	卵石		15.81	18.1	1.8
③	亚粘土		4.91	29.0	10.9
④	粉细砂		2.41	31.5	2.5
④ ₂	亚粘土		1.71	32.2	0.7
④	粉细砂		-0.69	40.5	7.8
⑤ ₁	粘土		-9.79	42.3	3.7
⑤ ₃	亚粘土		-12.19	45.0	2.7

场地内地下水为潜水,初见水位埋深在 2.9~11.5 m,标高为 21.22~27.85 m,静止水位埋深在 1.5~9.3 m,水位标高为 23.47~29.35 m。

3 荷载试验方案

本次荷载试验的目的是通过对试验桩施加破坏性荷载,用以确定出试验桩的单桩极限承载力。本次试验采取对单桩施加 3 倍设计荷载的方法来施加破坏性荷载,由 4 根锚桩提供反力,试验荷载分 10 级进行。经计算 2 根试验单桩及 4 根锚桩试验参数见表 1 和表 2。试验情况如图 1 所示。

表 1 试验桩试验方案

试验要求	试 桩	
	S-40-1	S-35-1
单桩设计承载力/kN	6 500	5 650
最大加荷系数	3.0	3.0
最大荷载/kN	19 500	16 950
分级荷载/kN	1 950	1 695
初级荷载/kN	3 900	3 390

表 2 锚桩试验方案

试验要求	锚 桩	
	M-40-1	M-35-1
桩数/根	4	4
桩长/m	40	35
桩径/cm	150	150
桩身混凝土强度等级	C25	C25
钢筋笼直径/cm	140	140
配筋	36φ28	30φ28



图 1 试验现场

3.1 试验设备

(1)大型反力梁:1 套;

- (2)基准梁:1 套;
- (3)千斤顶:5 台,5 000 kN,力自动平衡;
- (4)高压加载油泵:1 套;
- (5)位移监测传感器:8 只,量程 50 mm(含锚桩监测传感器);
- (6)桩基静荷载测试分析系统:RS-JYB 型。

3.2 试验依据

- (1)《公路桥涵施工技术规范》(JTJ041—2000);
- (2)《北京地区建筑地基基础勘察设计规范》(DBJ01—501—92)。

3.3 试验方法

试验采用慢速维持荷载稳定法。使用承重梁加锚桩反力装置,用千斤顶在桩顶上逐级加压,用大量程位移传感器测读桩顶的沉降量,每加荷一级,开始~5 min 测读一次桩顶的沉降量后,依次间隔 10 min、15 min、15 min、15 min、30 min 再次测读沉降量,以后每隔 30 min 测读一次,直至 1 h 内沉降量小于 0.1 mm,再施加下一级荷载,直至满足试验终止条件。

3.4 加载终止条件

- (1)沉降量急剧增大,土被挤出或桩体周围出现明显的裂缝。
- (2)总沉降量大于 40 mm。
- (3)加载达到 3 倍设计荷载。

4 试验过程

本次静荷载试验,其中试验桩 S-40-1 和锚桩 M-40-2 要进行摩阻力测试,所以在加工钢筋笼的同时,钢筋应力计在现场与钢筋笼一起焊接完成。

为了检验锚桩的抗拔能力,在试验过程中,对锚桩进行了全过程的上拔位移监测。

试验桩 S-40-1,于 2002 年 2 月 1 日 23:30 开始加第 1 级荷载,至 2 月 3 日凌晨 3:00 加载结束,最大荷载为 19 500 kN。历时 36 h,锚桩的最大上拔量为 4.7 mm。

试验桩 S-35-1,于 2002 年 2 月 4 日 23:00 开始加第 1 级荷载,至 2 月 6 日 24:00 加载结束,最大荷载为 17 000 kN。历时 50 h,锚桩的最大上拔量为 3.9 mm。

5 试验数据分析及结果

S-40-1 号桩每级荷载下相应沉降量及最终

沉降量见表 3。

表 3 试桩 S—40—1 试验结果

加载级别	荷载/kN	沉降/mm	
		本级	累计
1	3 900	1. 15	1. 15
2	5 850	0. 77	1. 92
3	7 800	0. 86	2. 78
4	9 750	0. 99	3. 77
5	11 700	2. 07	5. 84
6	13 650	1. 50	7. 35
7	15 600	3. 16	10. 51
8	17 550	5. 89	16. 40
9	19 500	6. 36	22. 76

通过对 S—40—1 号桩静荷载试验测试数据进行整理,可以发现从施加第 1 级荷载开始,到加至第 4 级荷载(9 750 kN),其 $Q\sim S$ 曲线为明显的直线段,可取 $Q\sim S$ 曲线首段直线转折点对应的压力为比例界限压力。因此可取 9 750 kN 为单桩承载力容许值。

其后,随着荷载的增加直至最后一级荷载(最大荷载 19 500 kN),其 $Q\sim S$ 曲线无明显的第二拐点和陡降段,为一条完整连续的平缓、匀滑曲线,未出现破坏荷载,因此尚不能定出单桩的极限荷载。

应用比例界限法及极限荷载法综合考虑确定 S—40—1 号桩单桩承载力容许值为 9 750 kN。

S—35—1 号桩每级荷载下相应沉降量及最终沉降量见表 4。

表 4 试桩 S—35—1 试验结果

加载级别	荷载/kN	沉降/mm	
		本级	累计
1	3 400	0. 97	0. 97
2	5 100	0. 67	1. 64
3	6 800	0. 66	2. 30
4	8 500	0. 71	3. 01
5	10 200	0. 93	3. 94
6	11 900	1. 36	5. 30
7	13 600	1. 52	6. 82
8	15 300	1. 12	7. 94
9	17 000	2. 52	10. 46

通过对 S—35—1 号桩静荷载试验测试数据进行整理,可以发现从施加第 1 级荷载开始,到加至第

5 级荷载(10 200 kN),其 $Q\sim S$ 曲线为明显的直线段,可取 $Q\sim S$ 曲线首段直线转折点对应的压力为比例界限压力。因此可取 10 200 kN 为单桩承载力容许值。

其后随着荷载的继续增加直至最后一级荷载(最大荷载 17 000 kN),其 $Q\sim S$ 曲线无明显的第 2 拐点和陡降段,为一条完整连续的平缓、匀滑曲线,即未出现破坏荷载。因此不能定出单桩的极限荷载。

应用比例界限法及极限荷载法,综合考虑确定 S—35—1 号桩单桩承载力容许值为 10 200 kN。

6 基桩低应变动测

6. 1 检测方法

试验桩进行静荷载试验前,应对桩基进行低应变桩体完整性检测。本次桩基依据国家行业标准《基桩低应变动力检测规程》(JGJ/T93—95),采用反射波法进行检测。

反射波法是在桩顶部施加竖向击振力,由此产生的弹性波沿着桩身向下传播,当桩身存有明显的波阻抗界面时,将产生反射波。利用安装在桩顶部的传感器接收反射信号,经放大、滤波和数据处理,可识别来自桩身不同部位的反射信息。依据波列图中入射波和反射波的波形、相位、振幅、频率及波的到达时间等特征,推定桩身混凝土的完整性,推定桩身缺陷类型及位置。本方法对桩长进行核对,并对桩身混凝土强度等级做出估计。

桩身混凝土的波速 v_p 、桩身缺陷的深度 L' 可分别按下式计算:

$$v_p=2L/t_r$$
$$L'=v_{pm}\times t_r'/2$$

式中: L 为桩身长度; t_r 为桩底反射波到达时间; t_r' 为桩身缺陷位置反射波到达时间; v_{pm} 为同一工地内多根已测合格桩的平均波速。

现场检测时,须将检测桩顶的浮浆清除干净,露出密实的混凝土面,把传感器安装在平整好的工作面上,当用力锤击振桩顶时,信号采集分析仪将检测信号采集存盘,以备数据处理、分析。

6. 2 检测仪器

- 击振器:力锤;
- 加速度传感器:SY—1 型;
- 计算机:IBM 笔记本微机;
- 信号采集分析仪:RSM24FD 型;

打印机:LJ6012MFP 型。

6.3 检测结果

试桩检测结果见表 5。

表 5 试桩无损检测测试结果								
序号	桩号	桩长 m	桩径 m	龄期 d	桩体 完整性	混凝土 强度等级	类别	评价
1	S-35-1	35.3	1.5	16	完整	C23~C24	I	合格
2	M-35-1	35.7	1.5	14	完整	C24~C25	I	合格
3	M-35-2	35.7	1.5	15	完整	C22~C23	II	合格
4	M-35-3	35.2	1.5	17	完整	C24~C25	I	合格
5	M-35-4	35.7	1.5	21	完整	>C25	I	合格
6	S-40-1	40.4	1.5	19	完整	C23~C24	II	合格
7	M-40-1	40.5	1.5	18	完整	C22~C23	II	合格
8	M-40-2	39.9	1.5	22	完整	C24~C25	I	合格
9	M-40-3	40.4	1.5	25	完整	C25	I	合格
10	M-40-4	40.3	1.5	24	完整	>C25	I	合格

7 试验桩及锚桩内力测试

7.1 检测目的

为了解钻孔灌注桩静载试验过程中,试验桩和锚桩的内力状态,本试验在主筋上沿深度方向布置了若干个钢筋应变计,通过现场测试的数据分析,来了解钻孔灌注桩在深度方向上的应力变化规律。

7.2 检测方法

沿钢筋笼直径方向在不同深度处各对称安装 6 对钢筋应变计。锚桩测点应变计安装、布点同试验桩。用 ZXY-3 型振弦仪测量。

7.3 检测仪器

振弦仪:ZXY-3 型;
钢筋计:φ28 mm。

7.4 检测结果

7.4.1 试桩

(1)试桩S-40-1,钢筋应力测试结果见表6,钢

表 6 S-40-1 试桩钢筋应力实测值 MPa									
深度 m	加载/kN								
	3 900	5 850	7 800	9 750	11 700	13 650	15 650	17 550	19 500
2	10.27	16.78	22.96	29.47	36.89	43.66	50.12	56.30	62.22
8	9.59	15.02	22.05	28.45	35.16	42.51	47.94	53.69	59.76
14	9.51	14.94	20.37	25.80	31.24	38.03	44.14	49.57	54.32
20	4.93	8.21	11.83	15.44	19.71	23.98	27.60	31.21	35.16
26	3.73	6.66	10.39	14.13	18.93	23.19	26.12	31.19	35.18
32	3.38	5.74	8.44	11.14	14.52	17.56	19.92	22.96	25.66

筋应力与荷载的变化曲线见图 2 所示,钢筋应力与深度的变化曲线见图 3 所示。

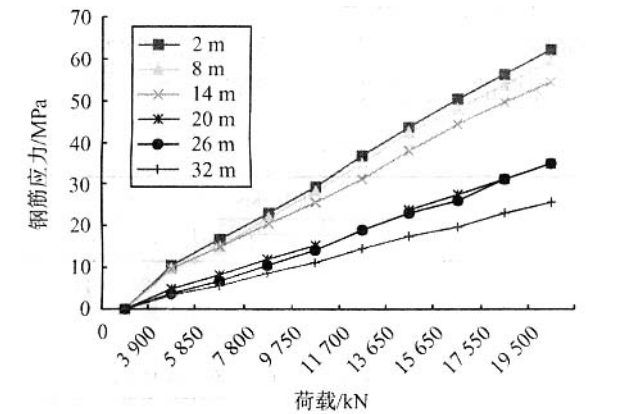


图 2 S-40-1 试桩钢筋应力~荷载曲线

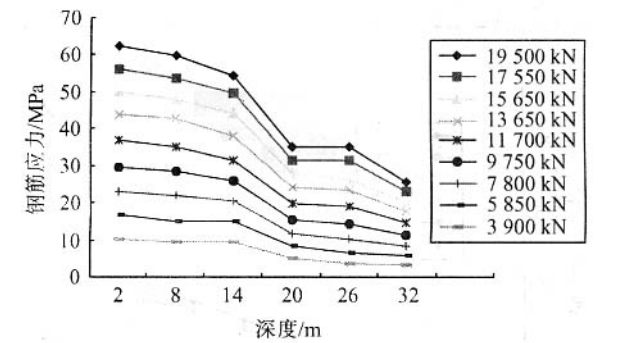


图 3 S-40-1 试桩钢筋应力~深度变化曲线

(2)测试结果分析。

①由图 2 可以看出,不同深度钢筋应力与荷载基本成线性关系,表明该测试桩钢筋和混凝土均处于弹性工作状态。

②荷载为 6 500 kN 时,桩头钢筋应力为 18.84 MPa (内插值),桩深 32 m 处钢筋应力为 6.64 MPa (内插值),以上部分桩侧摩阻力占总荷载的 65%。

荷载为 13 000 kN 时,桩头钢筋应力为 41.40 MPa (内插值),桩深 32 m 处钢筋应力为 16.55 MPa (内插值),以上部分桩侧摩阻力占总荷载的 65%。

荷载为 19 500 kN 时,桩头钢筋应力为 62.22 MPa,桩深 32 m 处钢筋应力为 25.66 MPa,以上部分桩侧摩阻力占总荷载的 59%。

③由图 3 可以看出,钢筋应力随深度的增加而减小,这与理论计算相一致;钢筋应力在 10~20 m 深度范围内有一突变,参照地质报告,在该范围内有一硬土层,其极限摩阻力 $\tau=200$ kPa,远大于其他土层的极限摩阻力,因此使桩身所承担的荷载在此范

围内锐减,钢筋应力有较大的变化。

7.4.2 锚桩

(1)锚桩 M-40-2,钢筋应力测试结果见表 7,钢筋应力随深度的变化曲线见图 4,锚桩测点钢筋应力与深度的关系曲线见图 5 所示。

表 7 锚桩钢筋应力实测值 MPa

深度 m	加载/kN								
	3 900	5 850	7 800	9 750	11 700	13 650	15 650	17 550	19 500
2	1.84	3.16	4.47	5.78	7.36	8.67	9.72	19.21	22.65
8	1.97	2.95	3.94	5.19	6.66	7.91	8.89	11.32	13.09
14	1.78	2.80	3.82	4.84	6.11	7.39	8.41	9.43	11.24
20	1.57	2.36	3.15	4.20	5.24	6.03	7.34	8.08	8.66
26	0.55	1.09	1.64	2.18	2.73	3.27	3.82	4.82	6.00
32	0.51	0.80	1.02	1.31	1.82	1.82	2.11	2.62	3.64

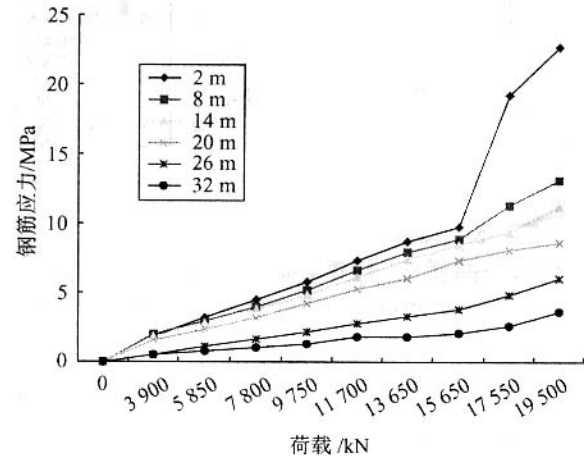


图 4 锚桩 M-40-2 钢筋应力~荷载曲线

(2)测试结果分析。

①由图 4 可以看出,锚桩在不同深度钢筋应力与荷载也基本成线性关系,表明该抗拔桩处于弹性工作状态。在最后两级荷载作用时,桩头附近土体已经剪切破坏,使桩身所受荷载急剧增加,钢筋应力也相应增加。

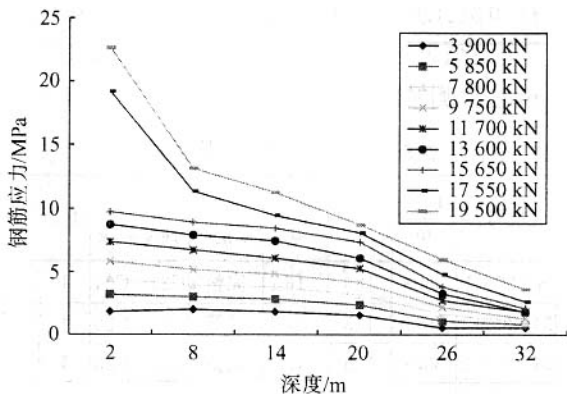


图 5 锚桩 M-40-2 钢筋应力~深度曲线

②钢筋应力最大值位于桩头附近,为 22.65 MPa,最小值位于桩底,为 3.64 MPa,两者相差 19.01 MPa,为最大值的 84%。

③由图 5 可以看出钢筋应力随深度的增加而减少,这与理论计算相一致:在 19 500 kN 和 17 550 kN 荷载作用下,桩头附近应力的突变是由于桩头附近桩周围土的剪切破坏所致。

8 结论与建议

综合以上分析,可以得到以下结论。

(1)根据单桩静荷载竖向承载力试验得出:试桩 S-40-1 单桩承载力容许值为 9 750 kN;试桩 S-35-1 单桩承载力容许值为 10 200 kN。

(2)低应变动测结果表明:试桩 S-40-1 及 S-35-1 除局部桩身混凝土有离析外,桩体结构完整,2 根桩均为完整的合格桩。

(3)通过对试验桩及锚桩内力测试得出:两试桩的钢筋及混凝土均处于弹性工作状态。

(4)通过对锚桩抗拔力的监测(S-40-1 桩最大荷载时上拔 4.7 mm;S-35-1 桩最大荷载时上拔 3.9 mm),表明锚桩设计参数选用满足试验要求。

(5)试验结果表明,单桩设计承载力有一定储备,建议桩径或桩长可适当减小。