

潮汕环线高速公路（含潮汕联络线）项目桥梁基桩承载力浅析

周小兵¹ 周焱池² 伍圆园³

广州华晖交通技术有限公司 广东 广州 510000

摘要：广东省的韩江平原、榕江平原、练江平原（即潮汕地区）多属海相、海陆交互相沉积地层，成因类型极为复杂，包括洪积、冲积、泻湖、海积、生物堆积以及上述混合类型的海陆混合堆积，相变复杂，至少经两次海进、海退沉积旋回，软土（淤泥、淤泥质土）普遍深厚。基岩多为燕山期花岗岩，基岩面起伏变化剧烈、孤石发育。各土层物理力学性质差异较大，各土层承载力的探讨对该地区桥梁工程有实际意义。笔者以潮汕环线高速公路（含潮汕联络线）项目勘察报告与试验桩成果资料，对上述各岩土层的承载力进行讨论，供潮汕地区相关地层的桥梁基桩设计、施工参考。

关键词：潮汕地区；勘察；试验桩；桩侧土摩阻力；桩端阻力

潮汕环线高速公路（含潮汕联络线）项目路线全长约82.23km，主线起点位于汕头市澄海区隆都镇，终点位于潮南区井都镇，共设桥梁59777.1m/46座，设隧道5177.6m/4座，主线桥隧工程比例高达87.3%。项目区域地质条件复杂，沿线属韩江、榕江、练江沉积平原地貌为主，海陆相沉积地层为主。沿线断裂构造发育（韩江断裂、榕江断裂、练江断裂），多属高地震基本烈度区（8度区），花岗岩基岩面起伏变化剧烈、孤石发育、软土（淤泥、淤泥质土）普遍深厚。^[1]

为验证本项目工程地质勘察报告提出的相关力学指

标是否与相应地层匹配，为潮汕地区相同地层优化桥梁桩基设计施工提供技术参考，笔者特选取该项目最具代表性的桑田高架桥试桩资料进行分析讨论。

1 试验桩参数

1.1 桑田高架特大桥位于潮阳区西胪镇、河溪镇交界处的榕江边牛田洋区域，桥长1325m，起讫里程K47+300.0~K48+625.0。试桩（常规钻孔灌注）桩长尽量覆盖原设计桩长所覆盖土层，进行破坏性试验，试验桩为3根，笔者对代表性编号为SZ6的试验桩进行分析，该试验桩对应的地质勘探孔为ZK1。^[2]



图1 试桩点场地布置平面图

表1 桑田高架桥常规桩试桩参数

试桩序号	地质勘探孔	试桩中心坐标	桩径 (m)	试桩桩长 (m)	桩底标高	设计基桩承载力特征值[Ra] (kN)	预估最大加载值 (kN)	预估最大堆载值 (kN)
SZ6	ZK1	X = 2582520.63, Y = 489240.80	1.2	66.0	-65.53	7068	20000	24000

2 桩身侧摩阻力分析

由桩身轴力分布计算得到各级荷载下桩身各土层单

位侧摩阻力，如下表2所示同，试桩侧摩阻力测试结果与勘察提供桩侧摩阻力比对比分析见表3。

表2-1 SZ6#试桩各级荷载下试桩各土层单位摩阻力

序号	岩土名称	状态或密实度	层底标高	层厚 l/m	各级荷载下试桩各土层单位摩阻力(kPa)					
					2840	4260	5680	7100	8520	9940
1	淤泥3	流塑	-12.03	13.45	13.09	15.11	16.21	16.97	17.35	17.88
2	淤泥质土3-1	流塑	-15.23	3.2	13.46	15.66	16.86	19.31	21.09	22.45
3	粉质黏土3-2	可塑	-21.43	6.2	16.55	23.88	29.16	37.64	43.47	45.31
4	中砂3-6	中密	-22.63	1.2	11.37	15.12	17.62	16.47	19.70	28.03
5	粉质黏土3-2	可塑	-25.83	3.2	14.19	20.13	26.38	34.51	43.54	44.02
6	细砂3-5	中密	-27.33	1.5	10.55	14.32	18.32	21.64	23.61	31.65
7	中砂3-6	中密	-30.03	2.7	10.97	15.61	19.57	25.62	31.64	33.09
8	粗砂3-7	中密	-32.23	2.2	9.31	14.48	19.32	20.41	22.56	34.86
9	粉质黏土4-2	硬塑-坚硬	-47.53	15.3	11.61	17.85	24.20	30.93	37.74	44.55
10	粗砂4-7	密实	-48.43	0.9	7.62	14.39	22.85	27.67	34.68	48.66
11	粉质黏土4-2	硬塑	-50.53	2.1	9.23	16.82	24.16	29.19	40.69	44.63
12	粗砂4-7	密实	-51.53	1	7.58	12.25	21.07	29.36	37.97	47.53
13	粉质黏土4-2	硬塑	-52.23	0.7	7.93	15.76	23.86	29.46	35.39	44.08
14	砂砾5-8	密实	-53.23	1	6.34	10.96	23.57	35.38	47.28	61.40
15	粗砂5-7	密实	-54.63	1.4	4.83	10.78	22.25	33.31	44.57	56.68
16	粉质黏土5-2	可-硬塑	-59.63	5	5.42	12.12	20.35	27.31	34.54	44.12
17	细砂5-3	密实	-60.33	0.7	4.60	9.37	16.31	23.00	29.83	37.11
18	粉质黏土5-2	硬塑-坚硬	-62.03	1.7	4.32	11.25	18.34	25.29	32.33	43.55
19	中砂5-6	密实	-62.53	0.5	2.20	6.85	13.77	21.29	28.99	37.53
20	粉质黏土5-2	硬塑-坚硬	-64.43	1.9	2.60	11.35	20.70	26.69	31.83	40.88
21	砂质黏性土7-2	硬塑	-65.53	1.1	0.16	7.62	18.65	26.70	35.13	39.62

表2-2 SZ6#试桩各级荷载下试桩各土层单位摩阻力

序号	岩土名称	状态或密实度	层底标高	层厚 l/m	各级荷载下试桩各土层单位摩阻力(kPa)					
					11360	12780	14200	15620	17040	18460
1	淤泥3	流塑	-12.03	13.45	18.15	18.84	19.43	20.41	21.07	22.37
2	淤泥质土3-1	流塑	-15.23	3.2	23.27	24.16	24.92	25.65	26.41	27.15
3	粉质黏土3-2	可塑	-21.43	6.2	49.32	54.52	56.81	62.26	66.79	73.56
4	中砂3-6	中密	-22.63	1.2	32.63	36.84	41.53	46.26	53.57	57.13
5	粉质黏土3-2	可塑	-25.83	3.2	48.68	54.08	57.21	61.93	67.65	72.69
6	细砂3-5	中密	-27.33	1.5	36.51	41.84	47.23	52.67	57.09	60.12
7	中砂3-6	中密	-30.03	2.7	38.01	48.43	55.08	63.41	69.02	72.14
8	粗砂3-7	中密	-32.23	2.2	39.27	50.57	59.37	67.48	71.77	76.83
9	粉质黏土4-2	硬塑-坚硬	-47.53	15.3	52.37	56.63	63.41	68.70	73.68	78.93
10	粉质黏土4-2	硬塑	-50.53	2.1	51.56	56.03	63.92	67.66	73.19	79.02
11	粗砂4-7	密实	-51.53	1	55.81	68.43	78.15	86.28	95.01	103.04
12	粉质黏土4-2	硬塑	-52.23	0.7	50.23	56.77	63.29	67.10	74.02	80.12
13	砂砾5-8	密实	-53.23	1	72.86	92.77	107.22	119.45	128.72	135.99
14	粗砂5-7	密实	-54.63	1.4	71.68	84.26	96.63	107.14	116.98	128.53
15	粉质黏土5-2	可-硬塑	-59.63	5	52.09	56.65	62.55	66.12	74.05	80.54
16	细砂5-3	密实	-60.33	0.7	41.83	52.59	60.09	68.82	74.32	82.35
17	粉质黏土5-2	硬塑-坚硬	-62.03	1.7	47.62	53.99	61.08	65.73	74.30	79.54
18	中砂5-6	密实	-62.53	0.5	43.72	54.12	63.57	73.89	81.17	88.74

续表:

序号	岩土名称	状态或 密实度	层底 标高	层厚 l/m	各级荷载下试桩各土层单位摩阻力(kPa)					
					11360	12780	14200	15620	17040	18460
19	粉质黏土5-2	硬塑-坚硬	-64.43	1.9	47.13	54.01	61.36	65.28	74.53	81.31
20	砂质黏性土7-2	硬塑	-65.53	1.1	53.12	63.37	67.79	73.27	77.55	85.92

淤泥3、淤泥质土3-1负摩阻力取0.25

表3 SZ6试桩侧摩阻力测试结果与勘察提供桩侧摩阻力比对分析表

土层分界面标高	岩土名称、层号	层厚 (m)	实测标贯试验(击)	状态或 密实度	勘察提供土层 承载力特征值 kPa	勘察提供桩侧土 摩阻力标准值 kPa	极限荷载 (15620kN)下 实测值(kPa)	增减百 分比
-12.03	淤泥3	12.5		流塑	50	20	20.41	2.05%
-15.23	淤泥质土3-1	3.2		流塑	55	25	25.65	2.60%
-21.43	粉质黏土3-2	6.2	17	可塑	140	60	62.26	3.77%
-22.63	中砂3-6	1.2		中密	330	45	46.26	2.80%
-25.83	粉质黏土3-2	3.2	13-14	可塑	140	60	61.93	3.22%
-27.33	细砂3-5	1.5		中密	190	40	52.67	31.68%
-30.03	中砂3-6	2.7	17-19	中密	330	45	63.41	40.91%
-32.23	粗砂3-7	2.2		中密	380	60	67.48	12.47%
-47.53	粉质黏土4-2	15.3	26-36	硬塑- 坚硬	160	65	68.70	5.69%
-48.43	粗砂4-7	0.9	35	密实	400	80	84.84	6.05%
-50.53	粉质黏土4-2	2.1		硬塑	160	65	67.66	4.09%
-51.53	粗砂4-7	1		密实	400	80	86.28	7.85%
-52.23	粉质黏土4-2	0.7		硬塑	160	65	67.10	3.23%
-53.23	砂砾5-8	1	33	密实	550	110	119.45	8.59%
-54.63	粗砂5-7	1.4		密实	500	100	107.14	7.14%
-59.63	粉质黏土5-2	5	17-21	可-硬塑	180	65	66.12	1.72%
-60.33	细砂5-3	0.7		密实	250	65	68.82	5.88%
-62.03	粉质黏土5-2	1.7	33	硬塑- 坚硬	180	65	65.73	1.12%
-62.53	中砂5-6	0.5		密实	400	70	73.89	5.56%
-64.43	粉质黏土5-2	1.9		硬塑- 坚硬	180	65	65.28	0.43%
-65.53 (桩底)	砂质黏性土7-2	1.1 (层厚1.8)	27	硬塑	250	70	73.27	4.67%

土层侧摩阻力随着桩土相对位移的增大不断增长, 当相对位移达到一定程度后, 侧摩阻力增长缓慢或者不再增长, 说明在极限承载力荷载级15620kN作用下, 各土层侧摩阻力均已被激发出来, 并与勘察报告提供的侧摩阻力基本吻合。^[3]

3 桩端阻力分析

表4 桩端阻力测试结果

桩号	岩土名称	勘察建议的承载力基本特征值 $[f_{a0}]$ (kPa)	极限荷载 Q (kN)	极限桩端阻力 q_{pk} (kPa)	对应桩端位移 s_b (mm)
SZ6	砂质黏性土7-2	250	15620	570.41	24.93

表5 试桩各级试验荷载下桩端阻力和位移

加载级号	试验荷载 Q (kN)	桩端阻力 q_p (kPa)	桩端位移 s_b (mm)
2	2840	8.70	0.24
3	4260	46.45	0.94

续表:

加载级号	试验荷载 Q (kN)	桩端阻力 q_p (kPa)	桩端位移 s_b (mm)
4	5680	66.82	1.92
5	7100	91.27	3.16
6	8520	118.16	4.50
7	9940	159.72	6.16
8	11360	221.65	8.02
9	12780	311.28	11.10
10	14200	383.54	15.32
11	15620	570.41	24.93
12	17040	724.01	42.14
13	18460	874.29	68.06

桩端阻力随着桩端位移的增大不断增大,当桩端位移达到一定程度后,桩端阻力增长缓慢。极限承载力荷载级15620kN作用下,桩端阻力 q_p 为570.41(kPa),勘察报告提供的砂质黏性土(层号7-2)承载力基本特征值 $[f_{a0}] = 250$ (kPa),与极限承载力荷载级桩端阻力570.41(kPa)的1/2基本吻合。

4 试桩结果

根据单桩静载试验成果,桑田高架桥试验桩SZ6最大加载为18460kN,总沉降80.95mm,回弹率21.05%,达到破坏性试验的目的,当加载至17040kN沉降急剧增大,极限承载力取为15620kN,比设计富余10%,满足设计要求。^[4]

结束语

对勘察报告提供的承载力参数与检测成果(常规钻孔灌注柱)进行对比分析,勘察报告的基桩承载力参数

(桩侧摩阻力、桩端阻力)按各地层查明的成因类型、物理力学性质(如状态、强度、密实度)参照《公路桥涵地基与基础设计规范》提供,满足规范、设计要求,与试验桩测试结果基本相同,与实际地层基本匹配,可供潮汕地区相关地层的桥梁基桩设计施工参考。

参考文献

- [1]海上深厚淤泥层大直径钢管桩竖向抗压承载性能现场试验研究[J].于海鹏;张震;罗震.工程勘察,2020(10)
- [2]深厚黏土层中打入钢管桩抗压与抗拔承载特性研究[J].陈自祥;王幸;陈立鹏.港工技术,2019(05)
- [3]超长直径钢管桩承载力性状试验研究[J].吴胤斌;刘祚秋.广东水利电力职业技术学院学报,2019(02)
- [4]大直径钢管桩承载力恢复过程试验研究[J].胡兴昊;黄邦;王幸.水运工程,2018(12)