

长螺旋钻孔压灌混凝土抗压抗拔构件承载性状试验研究

滑鹏林¹, 安一清²

(1 中国建筑科学研究院, 北京 100013; 2 临汾市建筑勘察设计院, 临汾 041000)

[摘要] 为了研究长螺旋钻孔压灌混凝土工艺制成的抗压桩与无自由段复合锚杆的极限承载力、轴力、侧摩阻力的分布规律以及两者之间的联系, 在现场进行了两组足尺试验; 通过在抗压桩和复合锚杆内设置钢筋计, 测出各级荷载下桩身/杆身不同深度的应变, 推算出其轴力和侧摩阻力, 进而对抗压桩和复合锚杆的受力机理进行了分析。分析结果表明, 抗压桩和复合锚杆的侧摩阻力都是从上部开始发挥并向下部传递的, 其中抗压桩桩端阻力对桩侧摩阻力表现出强化效应; 复合锚杆的受力模式不同于普通的抗拔桩和抗浮锚杆, 试验中杆身轴力峰值与张拉极限荷载的比值约为 2/3。最后根据试验分析结果和《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008), 提出了长螺旋钻孔压灌混凝土工艺下复合锚杆极限承载力的估算方法。

[关键词] 抗压桩; 复合锚杆; 极限承载力; 轴力; 侧摩阻力

中图分类号: TU476 文献标识码: A 文章编号: 1002-848X(2018)11-0109-05

Experimental study on bearing properties of compression and uplift components with long spiral drilled compression grouting concrete

Hua Penglin¹, An Yiqing²

(1 China Academy of Building Research, Beijing 100013, China;

2 Linfen City Architectural Survey and Design Institute, Linfen 041000, China)

Abstract: In order to study the distribution laws of ultimate bearing capacity, axial force, side friction resistance and the connection between compression piles and free-section composite anchors made by long spiral drilled compression grouting concrete technology process. Two full-scale tests were conducted in the field. By setting the steel bar gauges in the compression piles and composite bolts, the strains at different depths of the pile/shaft under different loads were measured, and its axial force and side friction resistance were calculated. And then the stress mechanism against the compression pile and composite anchor were analyzed. The analysis results show that the lateral frictional resistance of the compression pile and the composite anchor are both transmitted from the upper part to the lower part, and the pile end resistance of the compression anchor shows the strengthening effect on the pile side resistance; the force pattern of the composite anchor is unlike the ordinary uplift piles and anti-float anchors. The ratio of the axial peak force of the shaft to the tensile limit load is approximately 2/3. Finally, according to the experimental analysis results and *Technical code for building pile foundations* (JGJ 94—2008), the method for estimating the ultimate bearing capacity of composite anchor under the process of long spiral drilled compression grouting concrete technology was put forward.

Keywords: compression pile; composite anchor; ultimate bearing capacity; axial force; lateral friction

0 引言

近年来, 随着城市建设的高速发展, 灌注桩在工程中应用越来越广泛, 长螺旋钻孔压灌桩作为一种灌注桩, 不仅成本较低, 而且施工速度快、适用土层广、成桩质量好、污染性较小, 所以在工程中得到广泛的应用。

长螺旋钻孔压灌混凝土工艺制成的无自由段复合锚杆(简称复合锚杆)是中国建筑科学研究院地基基础研究所近年研发的一种新型抗拔构件, 该构件通过长螺旋钻孔压灌混凝土的方式形成杆身, 然后于混凝土杆身内植入带有钢管保护的杆筋。这种方式有效提高了锚杆的承载力, 增加了锚杆的耐久

性, 并且具有施工快捷、质量稳定、绿色环保的优点。为进一步研究上述复合锚杆在上拔荷载作用下的受力特点, 了解在长螺旋钻孔压灌混凝土工艺下抗压桩和复合锚杆在受力方式上的联系, 通过试验对长螺旋钻孔压灌混凝土工艺下制成的抗压桩和复合锚杆极限承载力以及荷载传递机理进行初步分析。

1 试验概况

1.1 试验场地

试验场地位于北京市顺义区羊房村, 场地为农田, 地下水位埋深为 1.2m, 地层情况见图 1, 物理力

作者简介: 滑鹏林, 硕士, 助理工程师, Email: 825756363@qq.com.

层底埋深/m	层厚/m	钻孔柱状图	土层名称
0.7	0.7		①耕土
1.8	1.1		②粉质黏土
3.6	1.8		③粉质砂土
6.5	2.9		④粉质黏土
8.1	1.6		⑤粉土
12	3.9		⑥粉质黏土
13.1	1.1		⑦黏土
15	1.9		⑧粉质黏土

图1 试验场地地质剖面图

土层主要物理力学指标 表1

土层	重度 /(kN/m ³)	天然 含水 量/%	孔隙 比	塑性 指数 I_P	液性 指数 I_L	压缩 模量 /MPa	内摩 擦角 /°	黏聚 力 /kPa
①耕土	19.6	—	—	—	—	—	—	—
②粉质黏土	19.6	22	0.64	11.8	0.34	4.43	21	27
③粉质砂土	20.2	24.7	0.6	—	—	15.3	35.3	2.5
④粉质黏土	18.9	31.5	0.86	11.5	0.94	5	24.8	26
⑤粉土	20	24.5	0.65	9.8	0.68	8.7	26.7	16.9
⑥粉质黏土	19.6	28.2	0.75	11.9	0.63	7.28	21.6	24.3
⑦黏土	19.4	27.7	0.75	17.1	0.53	5.13	19.6	30.1
⑧粉质黏土	19.3	27.5	0.76	12.3	0.42	5.98	23.1	29

学指标见表1。

1.2 试验内容

试验分为两组:抗压桩试验和复合锚杆试验。抗压桩和复合锚杆的长度均为12m,孔径均为400mm;抗压桩配筋为6#25,桩顶受压;复合锚杆的配筋为6#15.2,杆顶受拔。

1.3 施工工艺

抗压桩、复合锚杆均采用长螺旋钻孔设备施工,通过钻孔、压送混凝土、后置筋的方式,形成抗压桩和复合锚杆,具体的施工流程如下:

抗压桩施工流程:首先采用长螺旋钻孔至设计深度,然后压送混凝土,同时慢慢拔出钻杆,直至混凝土全部灌满,然后将钢筋笼吊起调整居中后植入孔中,通过振捣将钢筋笼放入预定位置。

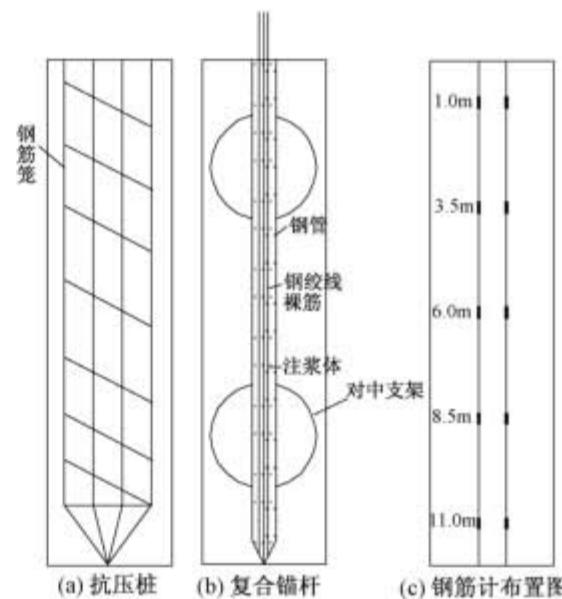
复合锚杆施工流程:首先采用长螺旋钻孔至设计深度,然后压送混凝土,同时慢慢拔出钻杆,直至混凝土全部灌满,将底部封闭的钢管吊起调整居中后植入钻孔中,通过振捣将钢管放入到指定位置,再

将灌浆导管放入钢管内,泵送水泥浆,待钢管内部水泥浆灌满后,移走导管,然后将由钢绞线组成的杆筋植入钢管内。

施工要点:1)抗压桩在灌注混凝土后要及时植入钢筋笼;2)在抗压桩桩顶位置要做一个桩帽,保证桩头不被压坏;3)在钢管外面设置对中装置,以保持钢管相对居中;4)钢绞线一般要露出杆顶1.5m以上,以保证试验时满足张拉要求;5)钢管内要充满水泥浆,以保证钢管内的钢绞线处于全长有粘结状态,本试验复合锚杆是无自由段的。

1.4 测试及加载情况

抗压桩、复合锚杆示意及其钢筋计布置见图2,在抗压桩钢筋笼、复合锚杆钢管外壁布置钢筋计,每个截面对称布置两个钢筋计,共取5个截面布置钢筋计,相邻截面间隔为2.5m。



注:1.0 3.5 6.0 8.5 11.0m为各钢筋计的埋深。

图2 抗压桩、复合锚杆示意及其钢筋计布置图

抗压桩加载方式按照《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2014)^[1]中的单桩竖向抗压静载试验的规定执行,本试验初始荷载为300kN,每级荷载为150kN,具体加载方式见图3。

复合锚杆的加载方式:1)初始荷载下,应测读锚头、杆顶位移基准值3次,当每间隔5min的读数相同时,方可作为位移基准值;2)每次加、卸载稳定后,测读锚头位移、杆顶位移不应少于3次;3)当锚头位移增量不大于0.1mm,或锚头位移增量在2h内小于2mm时,方可施加下一级荷载。具体加载方式见图4,试验加载过程见表2。

当复合锚杆试验中遇到下列情况之一时,应终止继续加载:1)后一级荷载产生的锚头位移增量达到或超过前一级荷载产生的锚头位移增量的2倍;2)锚头位移不收敛。

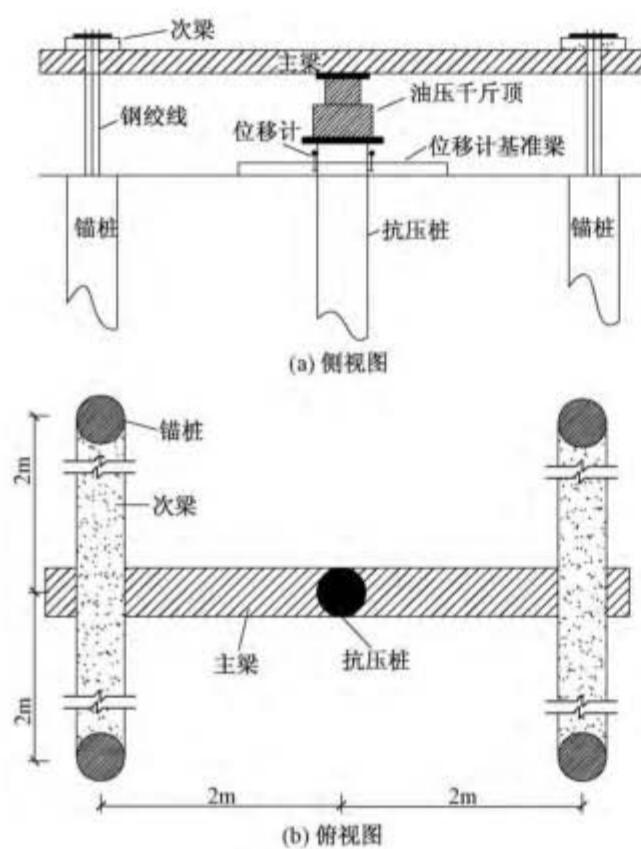


图3 抗压桩加载示意图

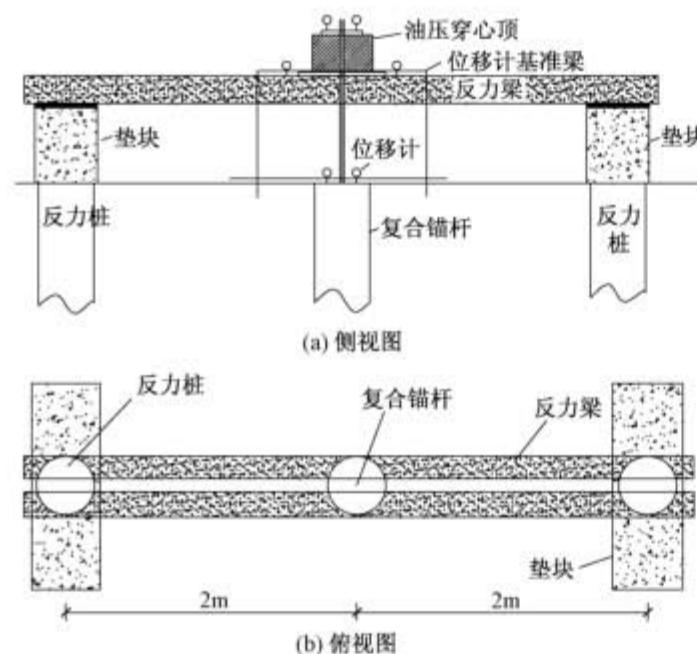


图4 复合锚杆加载简图

2 试验结果及分析

2.1 抗压桩桩顶荷载与沉降关系及极限承载力

抗压桩桩顶荷载-沉降曲线见图5。从图5中可以看出，桩顶加载至600kN时，桩顶沉降发展比较缓慢；桩顶加载至750kN时，桩顶沉降发展开始变快；而当桩顶加载至900kN后，桩顶沉降急剧增加，桩顶荷载-沉降曲线发生陡降，桩端土体发生刺入性破坏。按照《建筑基桩检测技术规范》(JGJ 106—2014)判断抗压桩的极限承载力为750kN，对应的桩顶沉降为11.04mm。

2.2 复合锚杆荷载与位移关系及极限承载力

复合锚杆张拉荷载及对应的杆身顶部位移、锚

复合锚杆试验加载等级及观测时间 表2

循环次数	初始荷载/kN	加载过程荷载/kN			卸载过程荷载/kN	
第1次循环	50	100	200	250	200	100
第2次循环	50	150	250	300	250	150
第3次循环	50	200	300	350	300	200
第4次循环	50	250	350	400	350	250
第5次循环	50	300	400	450	400	300
第6次循环	50	350	450	500	450	350
第7次循环	50	400	500	550	500	400
第8次循环	50	450	550	600	550	450
第9次循环	50	500	600	650	600	500
第10次循环	50	550	650	700	650	550
观测时间/min		5	5	10	5	5

头位移曲线见图6；复合锚杆的弹性和塑性位移见图7。从图6可看出，随着张拉荷载的增加，杆身顶部位移、锚头位移同步增加。复合锚杆承载力为300kN时对应的杆身顶部位移为1.28mm，当在第9次循环中张拉荷载达到650kN时，锚杆位移出现不收敛，由此判断复合锚杆的极限承载力为600kN，此时杆身顶部位移为8.47mm。从图6中复合锚杆杆身顶部位移曲线可以看出，在每一次循环的卸载时，杆身顶部的回缩量很小，说明杆身顶部位移主要是塑性位移。杆身顶部位移反映的是混凝土杆身与地基土之间的剪切变形，该剪切变形主要是塑性变形。从图7复合锚杆杆身顶部塑性位移曲线可看出，该塑性位移随着荷载增大而增大，加载达到复合锚杆极限承载力时，该位移值为6.7mm。锚头的塑性位移由两部分组成，一部分是杆身与土体之间塑性位移，另一部分是钢绞线与杆身之间的塑性位移。图7中锚头塑性位移减去杆身顶部塑性位移即为钢绞线与杆身之间的塑性位移，该位移随荷载的增加而增大，在加载达到复合锚杆极限承载力时，该塑性位移值为4.0mm。

2.3 桩身及杆身轴力传递分析

本次试验完成后，抗压桩和复合锚杆完整性良好，均因为土体发生破坏而达到极限状态，由于桩端轴力难以直接测量，在进行处理时假定：抗压桩每级荷载下的桩端轴力大小等于最下面一个钢筋计（即图2(c)埋深11.0m处钢筋计）的轴力线性延伸到桩端位置所对应的数值。

2.3.1 抗压桩桩身轴力传递分析

各级荷载下，抗压桩桩身轴力沿深度的变化见图8，抗压桩桩端阻力变化见图9。

从图8、9可看出：1) 加载初期，桩底受力相对较小，说明此时桩顶荷载大部分由桩身上部的侧摩阻力承担，桩身下部侧摩阻力以及桩端阻力发挥较小；2) 随着桩顶荷载的不断增加，荷载逐渐向桩身

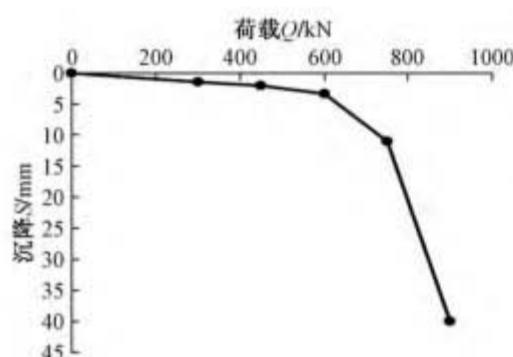
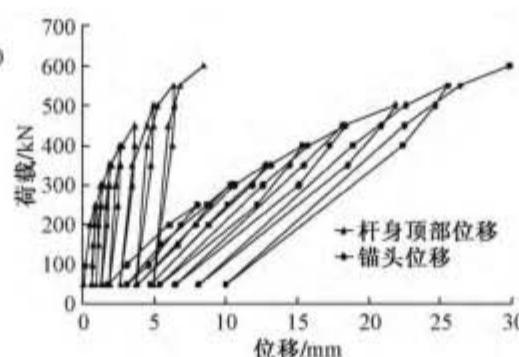
图5 抗压桩荷载-沉降($Q \sim S$)曲线

图6 复合锚杆基本试验荷载-位移曲线

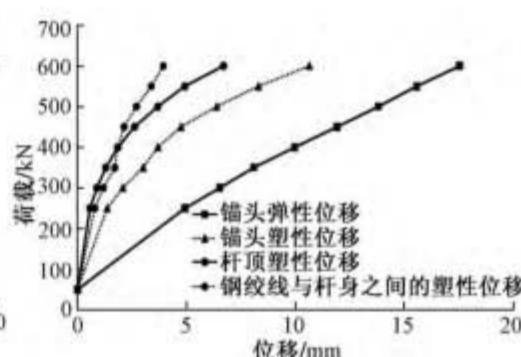


图7 复合锚杆弹性和塑性位移

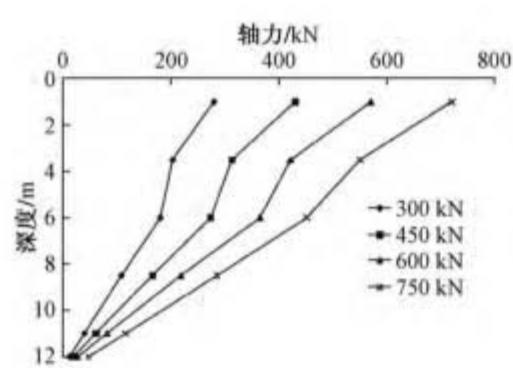


图8 抗压桩桩身轴力分布曲线

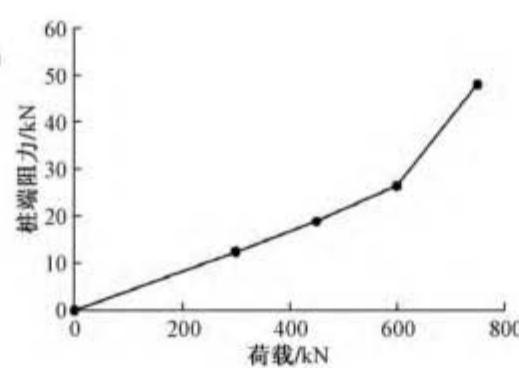


图9 抗压桩桩端阻力变化曲线

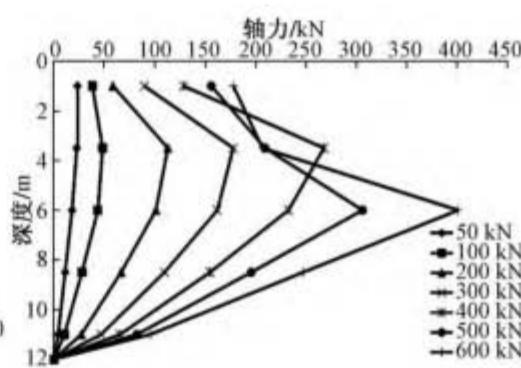


图10 复合锚杆杆身轴力分布曲线

下部传递 桩身下部的侧摩阻力逐渐发挥出来 ,而且在最后两级荷载下桩身轴力曲线近似趋于平行 ,说明桩身侧摩阻力几乎发挥至极限; 3) 桩顶荷载不断增加时 桩端阻力也在不断增加 在加载至极限荷载 750kN 时 ,桩端阻力为 48kN ,桩身侧摩阻力为 702kN ,由此可知桩为端承摩擦桩。

2.3.2 复合锚杆杆身轴力分析

各级荷载下 ,复合锚杆杆身轴力沿深度的变化见图 10。从图 10 可看出:

(1) 加载初期 杆身顶部轴力最大 ,向下随深度的增大逐渐减少 杆身底部轴力最小。随着张拉荷载加大 杆身轴力峰值位置从顶部逐渐向下移动: 当张拉荷载为 100 ~ 400kN 时 ,杆身轴力峰值位置在杆身顶部下约 3.5m 处; 当张拉荷载为 500kN 时 杆身轴力峰值位置下移至杆身顶部下约 6m 处 ,杆身轴力近似呈 "J" 形。这是由于钢绞线与杆身之间发生相对滑移 ,大部分荷载传递到了杆身顶部以下一定范围。钢绞线与杆身之间的相对滑移变形为塑性变形 此塑性变形是构成图 7 中钢绞线与杆身之间塑性位移的主力。

(2) 杆身顶部下 3.5m 处 ,在张拉荷载达到 500kN 之前 ,随着张拉荷载增加杆身轴力不断增加 ,在荷载 400kN 时该点轴力达到最大值 ,之后随着张拉荷载的增加该点轴力略有减小 ,达到极限荷载时 ,轴力峰值与张拉荷载的比值约为 2/3 。这可能与锚杆注浆体对钢绞线的握裹力变化有关。钢绞线周围注浆体在应力达到一定值后 ,会出现

裂缝 ,导致注浆体对钢绞线的握裹力降低 ,但由于注浆体外围有钢管约束 ,使得注浆体处于三向受压状态 ,出现裂缝的注浆体的强度有所降低 ,但降低幅度不大。

2.4 土体与桩身 / 杆身之间侧摩阻力分析

图 11 为抗压桩桩侧摩阻力沿桩身分布图。由图可知 ,从上到下依次有四个测段 ,每个测段随着荷载增加 ,侧摩阻力都在增加; 上部土层的侧摩阻力先于下部发挥作用 随着荷载的增加 ,下部土层的侧摩阻力才逐渐发挥作用。第一测段的土由于含有粉质砂土层 ,土强度相对较高 ,极限侧摩阻力相对较高; 第二测段的土相对软弱 极限侧摩阻力相对较低。

在加载到 600kN 以前 ,第四测段的侧摩阻力比第三测段的小; 在加载到 600kN 以后 ,第四测段的侧摩阻力开始比第三测段的大。考虑到第四测段土层的土质比第三测段土层略差 ,出现上述情况 ,说明桩端阻力的发挥会对桩侧摩阻力产生强化作用 ,即

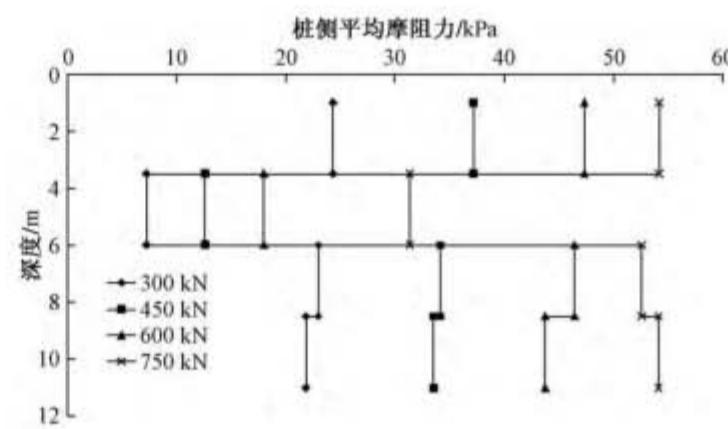


图11 抗压桩桩侧摩阻力分布曲线

桩端阻力对侧摩阻力存在强化效应^[2]。

在复合锚杆试验中,荷载通过钢绞线、注浆体传递到杆身混凝土,钢绞线与杆身混凝土之间存在相对滑移。杆身轴力大小与分布受外侧土体的侧摩阻力、内侧钢绞线的粘结力两个因素的影响。本次试验未测试钢绞线的拉力,因此钢绞线与杆身混凝土之间粘结力大小和分布未知,导致无法像抗压桩那样通过混凝土轴力推算土体的侧摩阻力分布形态。但对于复合锚杆,杆身的总侧摩阻力是已知的,复合锚杆与抗压桩在总侧摩阻力上可以建立联系。

抗压桩的桩身总抗压极限侧摩阻力为702kN,复合锚杆杆身总抗拔极限侧摩阻力为600kN,抗拔极限侧摩阻力与抗压极限侧摩阻力比值约为0.85,此数值相当于《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)^[3]中的抗拔系数λ的数值,因此复合锚杆的极限抗拔承载力估算可采用《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)中抗拔桩的估算方法。

3 结论

(1) 抗压桩和复合锚杆侧摩阻力都是从顶部开始发挥,逐渐向下传递,最后整体发挥,直至达到极限。

(2) 复合锚杆受力时钢绞线通过粘结力向下传递荷载。复合锚杆在拉力作用下杆身轴力近似呈“J”形,杆身轴力峰值位置不在杆顶,而在杆顶以下一定深度,且随锚杆拉力的增加而逐渐下移。达到极限荷载时,轴力峰值与张拉荷载的比值约为2/3,

轴力峰值的降低使杆身混凝土拉应力降低,从而改善了杆身混凝土的受力状态。

(3) 复合锚杆中的钢管对注浆体形成环形约束,使注浆体处于三向受压状态,提高了注浆体的强度和延性,从而保证钢绞线与杆身混凝土之间出现滑移时,注浆体始终对钢绞线有较大握裹力。同时,钢管可以有效地保护钢绞线不被腐蚀,增加其耐久性。

(4) 本文复合锚杆的杆身施工工艺同长螺旋钻孔压灌桩,复合锚杆的总极限侧摩阻力为600kN,抗压桩总极限侧摩阻力为702kN,两者比值约为0.85,因此复合锚杆的极限抗拔承载力估算可采用《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)中抗拔桩的估算方法。

(5) 本次复合锚杆试验中,复合锚杆极限承载力600kN对应的杆身顶部位移为8.47mm,张拉荷载等于极限承载力一半(即300kN)时的杆身顶部位移为1.28mm,足以满足一般基础的抗浮变形控制要求;如对基础上浮位移要求特别严格,可按基础变形控制要求确定复合锚杆的极限承载力取值。

参 考 文 献

- [1] 建筑基桩检测技术规范: JGJ 106—2014 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社 2014.
- [2] 陈小强, 赵春风, 甘爱明. 砂土中抗拔桩与抗压桩模型试验研究 [J]. 岩土力学, 2011, 32(3): 738-744.
- [3] 建筑桩基技术规范: JGJ 94—2008 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社 2008.
- [4] CHAMECKI S. Structural rigidity in calculating settlements [J]. Journal of the Soil Mechanics & Foundations Division, 1956, 82: 1-19.
- [5] Poulos H G, Davis E H. Pile foundation analysis and design [M]. New York: John Wiley and Sons Press, 1980.
- [6] PRICE G. Queen Elizabeth II Conference Centre: monitoring of load sharing between piles and raft [J]. Ice Proceedings, 1986, 80(6): 1505-1518.
- [7] MEYERHOF G G. Some recent foundation research and its application to design [J]. Structural Engineer, 1953, 31(6): 151-167.
- [8] 姜文辉, 巢斯. 上海中心大厦桩基础变刚度调平设计 [J]. 建筑结构, 2012, 42(6): 132-134.
- [9] 建筑桩基技术规范: JGJ 94—2008 [S]. 北京: 中国建筑工业出版社 2008.
- [10] 建筑基桩检测技术规程: DGJ 08-218—2003 [S]. 上海: 上海市建筑科学研究院 2003.