

支盘灌注单桩沉降计算探讨*

邓友生¹, 彭晓钢², 袁爱民³

(1. 湖北工业大学 土木工程与建筑学院, 湖北武汉 430068; 2. 深圳市市政工程总公司, 广州深圳 518034; 3. 河海大学 土木工程学院, 南京 210098)

摘要:针对支盘灌注单桩沉降计算问题, 根据其在地基土层中的荷载应力传递机理, 首先采用应力分段扩散的方法来求解地基土层附加应力, 然后再按照工程上常用的分层总和法对其沉降进行计算。计算结果表明, 采用本文的计算方法所得到支盘灌注单桩沉降的理论计算值与现场试验实测值比较接近, 其误差为-15.61%~+12.67%。此外, 本文提出的沉降计算公式不需要修正系数, 意义明确, 计算简便, 可为支盘灌注单桩的沉降计算提供参考。

关键词:支盘灌注桩; 应力扩散; 分层总和法; 沉降; 计算方法

中图分类号: TU473.1.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-7329(2007)03-0095-04

Discussion about Settlement of Bored Single Pile with Branches and Plates

DENG You-sheng¹, PENG Xiao-gang², YUAN Ai-min³

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Hubei University of Technology, Wuhan 430068, China; 2. Shenzhen Municipal Engineering General Corporation, Shenzhen 518034, China; 3. College of Civil Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In order to calculate the settlement of bored single pile with branches and plates, according to transmission mechanism of load stress through soil layers, the additional stresses of soil layers were gained by sectional dispersion of stresses, then the settlement of the single pile was calculated through layer-wise summation method usually used in engineering. The calculated results indicated that the theoretic values of settlement of the single pile by the method in this article are close to the field test values, its errors are between -15.61% and +12.67%. In addition, the formula for calculating settlement in this paper has no correction coefficient and is concise, which can serve as a reference to calculating settlement of bored single pile with branches and plates.

Keywords: bored pile with branches and plates; stress dispersion; layer-wise summation method; settlement; calculating method

支盘灌注桩是在等截面钻孔灌注桩的基础上, 依靠机械外力在桩孔适当位置, 将孔壁纵向挤扩成垂直分支或承力盘而成的一种新型桩。近年来, 随着支盘灌注桩的广泛应用, 无论是对其承载机理的理论研究还是工程应用都发展较快, 但是对其沉降计算研究较少。文章根据支盘灌注桩的应力传递机理, 应用工程界常用分层总和法计算沉降的原理, 提出了一种支盘灌注桩孔灌注桩基础的沉降计算论与方法, 并与工程试验结果进行了对比分析。

1 支盘灌注桩的沉降计算方法

1.1 支盘灌注桩的应力传递机理

在软土地基中, 直孔桩一般属于端承摩擦桩, 只有

桩端一个支点承受端承力, 而支盘桩由于沿桩身一定部位设置了承力盘及分支, 改变了桩的受力性状, 不仅桩端承受端承力, 桩身承力盘及分支也承受端承力, 充分发挥了承力盘及分支下硬土层的承载能力, 单桩承载力较直孔桩有大幅度提高, 属于摩擦多支点端承桩。设支盘桩在桩身及桩端共设置 n 个承力分支(盘), 支盘桩可分解为 n 个桩段, 其中第 1 桩段为桩顶至第 1 个承力盘底, 第 k 桩段为第 $k-1$ 个承力盘底至第 k 个承力盘底。单桩荷载 Q_u 由 n 个桩段共同承担, 如图 1 所示, 其表达式为:

$$Q_u = \sum_{k=1}^n Q_k = \sum_{k=1}^n (Q_{sk} + Q_{fk}) \quad (1)$$

式中: Q_u 为单桩竖向极限承载力标准值; Q_k 为第 k 桩

* 收稿日期: 2007-02-05

作者简介: 邓友生(1969-), 男, 湖南桂阳人, 副教授, 博士, 主要从事基础工程教学研究。

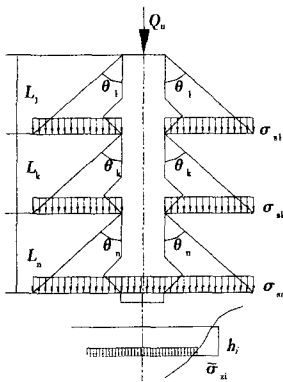


图 1 支盘灌注桩应力传递机理

段承担的荷载,取其极限阻力标准值; Q_k 为第 k 桩段的极限侧阻力标准值; Q_{pk} 为第 k 桩段的极限端阻力标准值。支盘桩在竖向荷载 Q_n 作用下,第 k 桩段长度为 L_k ,该桩段底土面等代荷载作用面近似取边长为 B_k 的正方形面积减去主桩身截面面积^[1],即 $B_k = 2L_k \text{tg}\theta_k + d$,则作用其上附加应力为:

$$\sigma_k = \frac{Q_k}{(2L_k \text{tg}\theta_k + d)^2 - 0.25\pi d^2} \quad (2)$$

式中: L_k 为第 k 桩段长度; d 为主桩身直径; θ_k 为第 k 桩段范围内地基土应力扩散角(对于单一土层, θ_k 即为土层的内摩擦角;对于成层土,取该段桩入土深度范

围内摩擦角的加权平均值)。第 n 桩段(底段)长度为 L_n ,承担荷载为 Q_n ,桩段底土面等代荷载作用面近似取边长为 B_n 的正方形, $B_n = 2L_n \text{tg}\theta_n + d$,则作用其上附加应力为:

$$\sigma_n = \frac{Q_n}{(2L_n \text{tg}\theta_n + d)^2} \quad (3)$$

1.2 沉降计算

支盘灌注桩的沉降量 S_0 按照分层总和法计算如下:

$$S_0 = \sum_{i=1}^{r_1} \frac{\bar{\sigma}_{zi}}{E_{si}} h_i = \sum_{i=1}^{r_1} \sum_{k=1}^n \frac{\bar{\sigma}_{zik}}{E_{si}} h_i \quad (4)$$

式中: r_1 为支盘桩沉降计算深度范围内所划分的土层数; $\bar{\sigma}_{zi}$ 为第 k 桩段引起的第 i 层土平均附加应力; $\bar{\sigma}_{zi}$ 为第 i 层土平均附加应力; E_{si} 为第 i 层土的压缩模量,按实际应力范围取值; h_i 为第 i 层土厚度。

2 工程试验

2.1 工程概况

此工程为浙江省湖州市某医院大楼,地上 20 层,地下 1 层,基础采用钻孔灌注桩基础。场地工程地质条件如表 1 所列^[2]。

表 1 土层主要物理力学指标

层序	土层名称	厚度/m	含水量/%	重度/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	孔隙比	压缩模量 E_{s1-2} /MPa	粘聚力/kPa	内摩擦角/ $^\circ$	桩周土摩擦力特征值/kPa	桩端土承载力特征值/kPa
①	杂填土	1.9~4.8	—	—	—	—	—	—	—	—
②	粉质粘土	1.2~4.8	30.0	19.0	0.83	4.3	25.1	4.9	9.1	—
③1	淤泥质粉质粘土	0.9~5.7	42.8	17.5	1.18	3.2	6.0	1.6	7.2	—
③2	砂质粉土	3.5~11.7	30.8	18.7	0.85	5.4	11.3	23.8	10.4	—
③3	层状砂质粉土	6.4~12.8	31.6	18.4	0.90	5.4	11.5	16.0	27.2	500
④	粘土	0.7~5.2	25.1	19.6	0.70	9.1	31.4	8.3	12.3	—
⑤	粉质粘土	1.3~3.4	25.4	19.5	0.71	7.6	18.2	11.3	28.3	500
⑥	中砂	1.3~5.8	28.7	17.4	0.93	11.2	—	—	32.6	1 100
⑦1	粘土	3.1~6.3	31.4	18.8	0.70	6.3	39.0	6.1	18.2	—
⑦2	粘土	0.5~3.1	24.9	18.9	0.70	6.5	40.2	6.4	38.1	700
⑧1	粉砂	6.2~9.1	26.7	18.6	0.75	15.0	2.0	30.8	40.5	1 200
⑧2	粉质粘土	0.9~7.0	33.4	19.5	0.71	5.9	54.3	8.9	35.3	750
⑧3	粉砂	3.8~14	25.6	18.7	0.74	12.5	2.1	29.8	42.3	1 200
⑧a	粉质粘土	2.1~4.0	31.6	19.6	0.67	6.8	55.3	9.0	35.6	—
⑨	粉质粘土	6.1~7.8	31.9	19.8	0.67	7.5	55.4	9.1	44.4	1 500
⑩1	全分化凝灰岩	1.4~3.5	24.6	19.9	0.68	11.2	59.2	6.8	25.6	2 000
⑩2	强分化凝灰岩	1.4	—	—	—	25.6	—	—	40.7	3 000
⑩3	中分化凝灰岩	1.2	—	—	—	>30	—	—	80.8	4 000

试验支盘灌注桩以⑦2粘土层为持力层,其主桩直径均为 700 mm,ZPZ1-1 的桩长为 41.95 m,ZPZ1-2 的桩长为 43.55 m,ZPZ2-1 的桩长为 36.15 m,ZPZ2-2 的桩长为 36.15 m。承力盘直径均为 1 500 mm,盘高均为 800 mm。承力盘设置在③3砂质粉土、⑤粉质粘土及⑥中砂层中,其具体位置如图 2 所示。

2.2 沉降计算与实测对比

根据上述支盘灌注桩的沉降计算理论与方法编制了计算程序,并分别对本工程支盘灌注桩的沉降进行了计算。在沉降计算时,作出如下简化:(1)主桩的桩周只考虑竖向桩侧摩擦力,在支盘处按桩端阻力考虑;(2)桩的存在不影响地基土的特性,地基土的应力按弹性理论求解;(3)地基土的沉降只与竖向附加应力有关;(4)不考虑桩身压缩性。

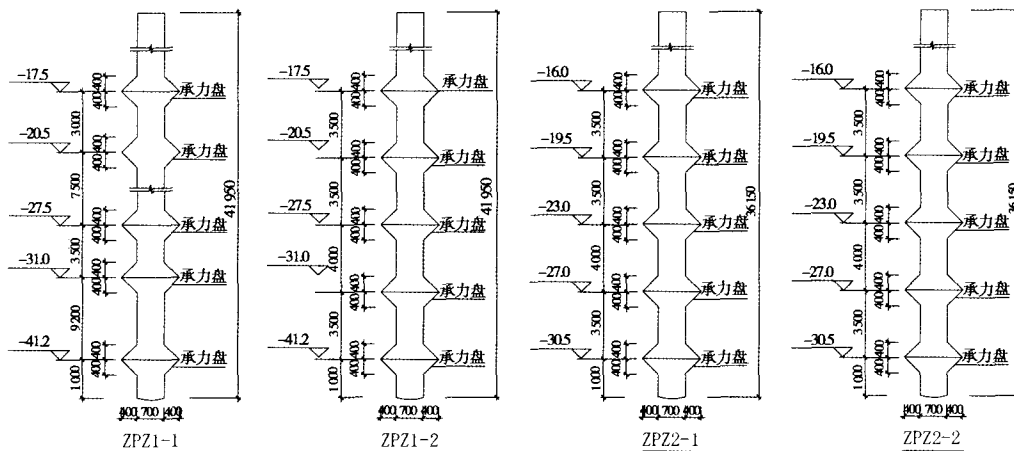


图 2 支盘灌注桩承力盘布置图

对于单桩沉降计算而言,地基压缩土层的计算深度对桩基础的沉降计算结果有重要意义。目前,国内没有专门针对支盘灌注桩沉降计算的规范,不妨参照《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTJ024-85)(简称公路规范)、《建筑桩基技术规范》(JGJ94-94)(简称桩基规范)、《铁路桥涵地基和基础设计规范》(TB10002.5-99)(简称铁路规范)和《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002)(简称建筑规范)在桩基础计算沉降时对压缩土层计算深度的界定^[3~6]。铁路规范、公路规范和建筑规范都是采用变形比法来确定

压缩土层计算深度的,所不同的是在计算深度向上所取小薄层的厚度各规范的规定不相同,最后都是以该小薄层所产生的变形量不大于修正前的总沉降量的 0.025 倍来确定计算深度,因此按这三种规范要求的计算深度也各不相同;桩基规范则按应力比法满足计算深度处的附加应力为该处自重应力的 0.2 倍来确定。本文按变形比依据最新的建筑规范来确定压缩土层计算深度。沉降计算结果和试验值分别列于表 2、表 3、表 4 和表 5 中。

表 2 ZPZ1-1 在各级荷载作用下桩顶沉降量计算值与试验值比较

荷载/kN	1 480	2 220	2 960	3 700	4 440	5 180	5 920	6 660	7 400
计算值/mm	1.65	3.34	4.58	6.13	7.51	8.79	11.23	13.44	16.98
试验值/mm	1.92	3.64	4.60	5.77	6.97	8.11	10.33	12.27	15.08
误差/%	-14.06	-8.24	-0.43	+6.24	+7.75	-8.38	+8.71	+9.53	+12.60

表 3 ZPZ1-2 在各级荷载作用下桩顶沉降量计算值与试验值比较

荷载/kN	1 480	2 220	2 960	3 700	4 440	5 180	5 920	6 660	7 400
计算值/mm	1.73	3.04	4.58	6.01	6.98	9.06	10.97	13.54	15.81
试验值/mm	2.05	3.31	4.57	5.56	6.39	8.14	9.85	12.14	14.25
误差/%	-15.61	-8.16	+0.22	-8.09	+9.23	+11.30	+11.37	+11.53	+11.16

表 4 ZPZ 2-1 在各级荷载作用下桩顶沉降量计算值与试验值比较

荷载/kN	960	1 440	1 920	2 400	2 880	3 360	3 840	4 320	4 800
计算值/mm	0.86	2.03	3.12	4.16	5.01	5.59	6.38	7.17	8.09
试验值/mm	1.00	2.22	3.08	3.85	4.62	4.98	5.66	6.36	7.18
误差/%	-14.00	-8.56	+1.30	+8.05	+8.44	+12.23	+12.72	+12.73	+12.67

表 5 ZPZ 2-2 在各级荷载作用下桩顶沉降量计算值与试验值比较

荷载/kN	960	1 440	1 920	2 400	2 880	3 360	3 840	4 320	4 800
计算值/mm	1.51	3.09	4.62	6.55	8.02	9.96	12.03	13.66	15.56
试验值/mm	1.75	3.17	4.46	6.07	7.29	8.98	10.74	12.12	13.85
误差/%	-13.71	-2.52	-3.59	+7.91	+10.01	+10.91	+12.01	+12.71	+12.35

2.3 关于沉降修正系数的讨论

由于传统沉降理论的简单计算结果与工程实际相

差较大,所使用的沉降经验修正系数变化范围太大^[7],现行最新的建筑规范的沉降计算经验修正系数的变化

范围从0.2~1.4。若用一个0.2的沉降经验系数去修正,显然其理论计算结果精度非常低,从科学发展的角度认识,应该从理论计算的源头去寻找解决问题的方法,即理论计算应该是主要的,修正逼近实测应该是次要的,因此,从理论的角度思考,修正系数小于0.5的理论计算方法就应该重新进行考虑。再者,修正系数的确定也是根据大量工程积累统计得出的,是用数学的方法来弥补计算理论的不足。为此,工程界多年来一直呼唤对这一问题进行解决。赵锡宏、董建国等在经过多年的工作总结后就提出了桩基础沉降计算的半经验半理论公式^[8],该公式中就没有沉降经验修正系数。从支盘灌注桩沉降计算理论公式观察,地基土中的附加应力和分层土的压缩模量比较重要。压缩模量依据勘察所得到孔隙比来确定的,误差不会很大;而附加应力的计算,不管是利用 Boussinesq 解,还是利用 Mindlin 解,都因其本身的理想假定导致桩基础沉降计算理论值偏大,仔细研究,附加应力的传递扩散机理对桩基础不是很合适,尤其是支盘灌注桩。为此,本文利用支盘灌注桩分段应力传递扩散机理得到的地基附加应力进行沉降计算,提出不需要修正系数的简便沉降计算表达式,理论计算结果表明,与工程试验结果比较接近。

3 结论

1)从支盘灌注桩的应力传递机理出发,基于传统

的分层总和法原理,提出了一种计算支盘灌注桩沉降的理论计算方法,计算表明,地基土中的附加应力值对沉降计算值有显著的影响。对于支盘灌注桩基础而言,按照分段应力传递扩散机理后得到的地基附加应力进行沉降计算,理论计算结果与现场桩基静荷载荷试验测试结果比较接近。

2)与工程测试结果的对比分析表明,文中提出的支盘灌注桩沉降计算方法不需要修正系数,应用方便,具有一定的实用参考价值。

参考文献:

- [1] 吴永红,郑刚,闫澍旺.多支盘灌注桩孔灌注桩基础沉降计算理论与方法[J].岩土工程学报,2000,(5):529-531.
- [2] 陈立龙.湖州市中心医院病房综合楼岩土工程勘察报告[R].杭州:浙江省工程勘察院,2003,1-10.
- [3] JTJ024-85,公路桥涵地基与基础设计规范[S].
- [4] JGJ94-94,建筑桩基技术规范[S].
- [5] TB10002.5-99,铁路桥涵地基和基础设计规范[S].
- [6] GB50007-2002,建筑地基基础设计规范[S].
- [7] 宰金珉.复合桩基理论与应用[M].北京:知识产权出版社,中国水利水电出版社,2004.
- [8] 赵锡宏,董建国.上海高层建筑桩筏与桩箱基础设计理论[M].上海:同济大学出版社,1989.

(编辑 王秀玲)