

深基坑 PCMW 工法围护结构反分析研究与安全性评估

王九红¹ 范钦建²

(1. 江苏城乡建设职业学院,江苏常州 213147;2. 中亿丰建设集团设计研究院有限公司,江苏苏州 215008)

【摘要】 PCMW 工法围护结构作为一种新型支护形式,已在基坑支护工程中得到应用。结合南京某基坑工程实例,根据现场测斜数据,通过最小二乘法对变形曲线拟合,反演计算得到管桩弯矩值,进而对该支护形式进行安全性评估,验证其用于基坑工程的可行性。结果表明:最小二乘法拟合曲线多项式次数最优为 6 次,反分析求得的弯矩在基坑中部能很好地反映围护结构的实际弯矩;支护桩自身内力发挥程度较小,安全余量较大,PCMW 工法围护结构安全。

【关键词】 PCMW 工法;曲线拟合;反演分析;安全性评估

【中图分类号】 TU 472.3

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2015.02.007

Back Analysis Research and Security Assessment of PCMW Engineering Method on Retaining Structure of Deep Foundation

Wang Jiuhong Fan Qinjian

(1. Jiangsu Urban and Rural Construction College, Changzhou 213147, Jiangsu, China;

2. ZYF Construction Group Design & Research Institute Co., Ltd, Suzhou 215008, Jiangsu, China)

【Abstract】 PCMW engineering method is a new support form and has been applied in foundation pit engineering. On basis of situ inclinometer data measured from an excavation case in Nanjing, the deformation curve is fitted by the least squares method, and bending moment value of pipe pile is obtained through inversion calculation. Then security of the supporting form is assessed and its feasibility is verified for foundation pit engineering. The results show that the polynomial optimal times for the least squares fitting curve is 6 times and the bending moment obtained by back analysis can well reflect the actual moment of the retaining structure in middle depth of the foundation pit. The internal forces of supporting pile play a low degree, so safety margin is large. It is concluded that PCMW engineering method on retaining structure is safe.

【Key words】 PCMW engineering method; curve fitting; back analysis; security assessment

0 引言

PCMW 工法围护结构是在水泥搅拌桩中插入预应力混凝土管桩,形成水泥土桩止水、预应力混凝土管桩承担水平荷载的复合支护结构。该工法因其施工速度快、效果好以及止水质量易保证等优点,目前已在诸多工程中得到成功应用^[1-2],积累了相关设计和施工经验。

PCMW 工法围护结构是一种新型的支护结构形式,研究其在基坑开挖过程中的弯矩变化情况对 PCMW 工法围护结构的应用至关重要。就目前基坑监测的手段和技术水平,直接量测弯矩很难做到,一般工程中采用钢筋应力计、应变计推算弯矩。而

预应力管桩是预制桩,若要对其桩身内力进行监测,则需在桩身开槽,埋置应变片,这样会影响桩身的抗弯、抗剪等力学性能。因此采用测斜的方法来反算围护结构的内力有很大的必要性,对现场实测的水平位移值采用最小二乘法对其位移曲线进行拟合,以此求得基坑开挖过程中 PCMW 工法围护结构实际弯矩^[3-5],进而对围护结构安全性进行评估。

本文根据南京某深基坑工程中深层水平位移监测数据,通过对其曲线进行多项式拟合得出管桩弯矩,进而对 PCMW 工法围护结构进行安全性评估,验证其使用的安全性。

1 工程概况

该项目位于南京市新模范马路北侧,主楼 28 层,裙楼 4 层,地下室两层,结构体系为框架剪力墙结构,采用钻孔灌注桩基础。基坑周长约 290 m,总面积约为 4680 m²。基坑普遍区域开挖深度为 11.1~11.6 m。

本工程拟建场地周边为道路和建筑物,周边道路下埋设了众多市政管线,环境条件较差。

按照各岩土层特征及物理力学性质的差异性,基坑影响范围内土层情况自上而下为:①杂填土、②-1粉质粘土、②-2粉土夹粉砂、②-2A粉质粘土夹粉砂、③-1粉砂、③-2粉细砂。拟建场地主要土层物理力学参数见表 1。

表 1 土层物理力学参数指标

层号	土层名称	重度 (kN/m ³)	固结快剪		渗透系数 (10 ⁻⁵ cm·s ⁻¹)	
			c/kPa	φ/(°)	k _v	k _H
①	杂填土	18.8	5	15.0	1.0	1.0
②-1	粉质粘土	19.2	20	18.3	0.1	0.1
②-2	粉土夹粉砂	18.9	7	27.9	2.1	11.2
②-2A	粉质粘土	18.0	11	21.2	0.9	2.8
③-1	粉砂	19.3	6	31.2	2.7	18.7
③-2	粉细砂	19.0	5	31.4	1.7	63.4

拟建场地地貌单元为长江河漫滩,场地地下水属潜水,主要赋存于①层填土、②层土以及③-1层、③-2层,受大气降水、地表水补给的影响,以蒸发和渗流形式排泄,稳定水位埋深为 1.60~2.10 m,年变化幅度约为 0.5 m 左右。

本工程采用 PCMW 工法围护结构,设二道钢筋混凝土支撑,桩型为 GZH-800 III 160-19^[6],采用 Φ850@1200 三轴水泥土搅拌桩作止水帷幕。主要围护剖面图见图 1。

基坑开挖的工况可分为:①工况一 卸土开槽至圈梁及一层支撑底,浇筑圈梁及一层支撑;②工况二 待支撑体系强度达到设计强度的 80% 后,向下分层、分区、对称开挖至二层支撑标高,浇筑二层支撑系统;③工况三 二层支撑体系达到强度要求后,向下开挖至基坑底部,并及时铺设混凝土垫层。

根据相关规范^[7],土体深层水平位移监测共布置 9 个测斜孔,编号为 CX1-CX9,各测点位置见图 2。



图 1 围护剖面图

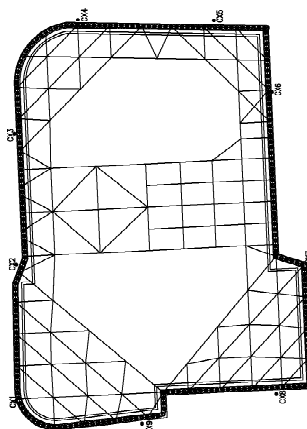


图 2 基坑土体深层水平位移监测点平面图

2 桩身弯矩的反演计算

2.1 曲线拟合求支护桩弯矩的原理

对于围护结构而言,其测斜变形值相对于围护结构的深度而言微乎其微,平面曲线上的变形曲率表达式为:

$$\phi(x) = \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (1)$$

深基坑围护结构在开挖过程中,可以把围护结构看作轴向不受力的纯弯构件,由力学知识可知,纯弹性梁的弯矩表达式为:

$$M(x) = EI\phi \quad (2)$$

将式(1)代入式(2)得:

$$M(x) = EI \frac{d^2 y}{dx^2} \quad (3)$$

对弯矩进行两次求导即可得分布荷载的公式:

$$q(x) = \frac{d^2 M(x)}{dx^2} = EI \frac{d^4 y(x)}{dx^4} \quad (4)$$

式中: $\phi(x)$ 为截面曲率; $M(x)$ 为梁各截面的弯矩; EI 为弹性梁的截面抗弯刚度; $q(x)$ 为分布荷载。

由式(3)可知:可以对变形曲线进行两次求导,将其结果代入纯弹性梁的弯矩表达式(2),即可得到支护桩水平侧向弯矩,在曲线拟合时一般采用多项式对间断点进行逼近或者插值。采用多项式来拟合变形曲线,更易于对其进行求两次导数得到曲率值,进而得出弯矩值。

根据基坑测斜监测数据,利用最小二乘法求出关于围护桩水平位移累计值与桩身深度的拟合函数。在具体分析比较的工作中,一般分别采用5次、6次、7次多项式拟合,寻找一定的规律^[8]。

2.2 反分析结果与分析

对基坑开挖至工况三条件下,各监测点的测斜数据分别进行5次、6次、7次多项式拟合,并对拟合曲线进行两次求导,得到变形曲率值,然后代入纯弹性梁的弯矩表达式,得到弯矩曲线。CX1—CX9 在不同次数的多项式下反算的弯矩结果分别见图3—图11。

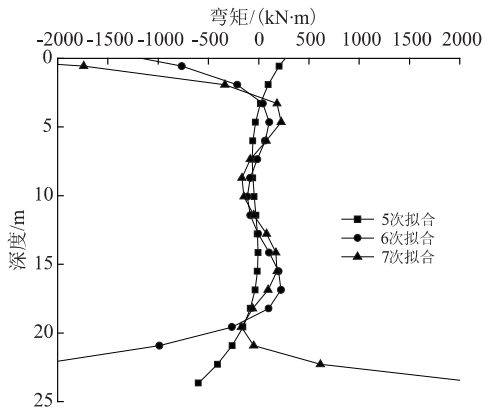


图3 CX1 不同次数多项式反算弯矩

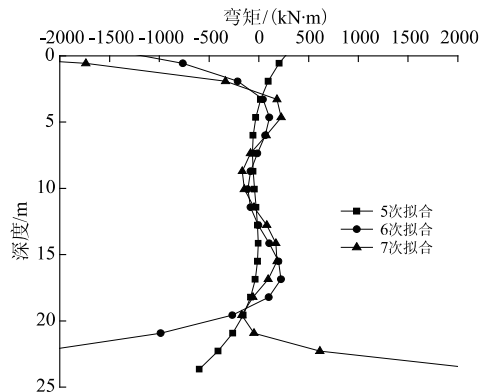


图4 CX2 不同次数多项式反算弯矩

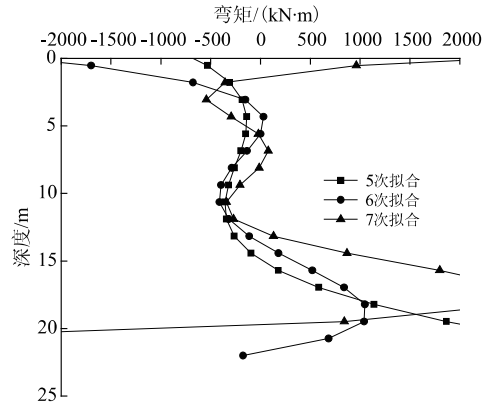


图5 CX3 不同次数多项式反算弯矩

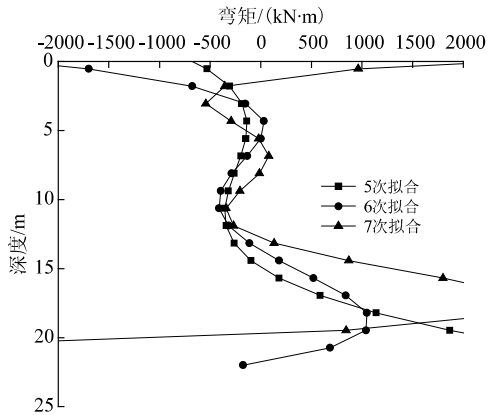


图6 CX4 不同次数多项式反算弯矩

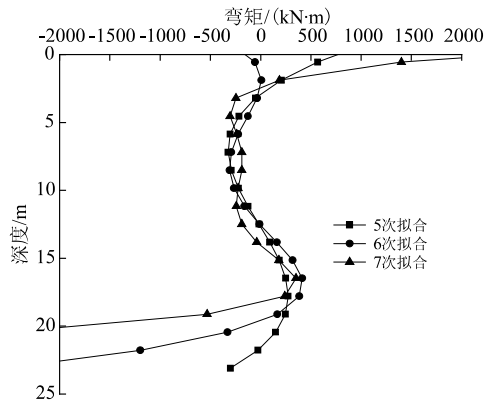


图7 CX5 不同次数多项式反算弯矩

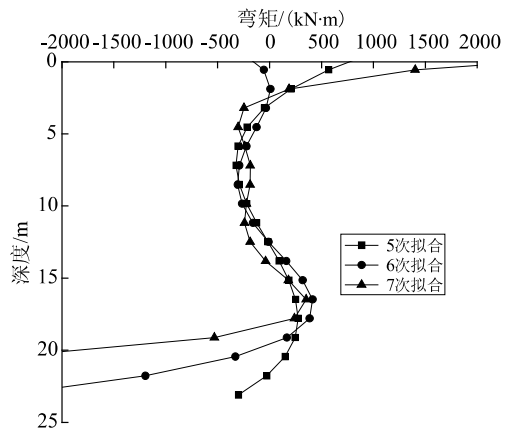


图8 CX6 不同次数多项式反算弯矩

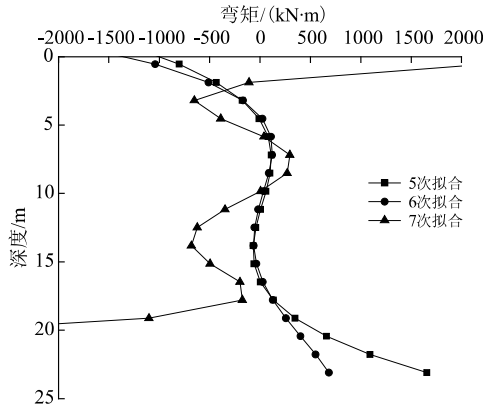


图9 CX7不同次数多项式反算弯矩

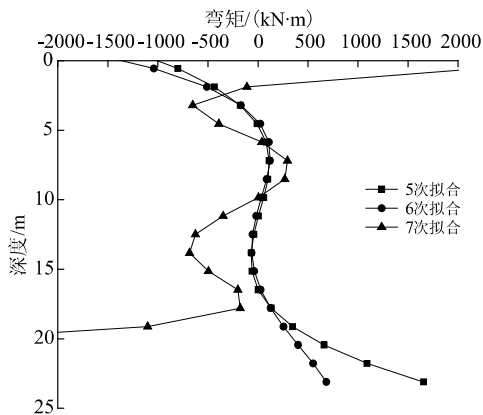


图10 CX8不同次数多项式反算弯矩

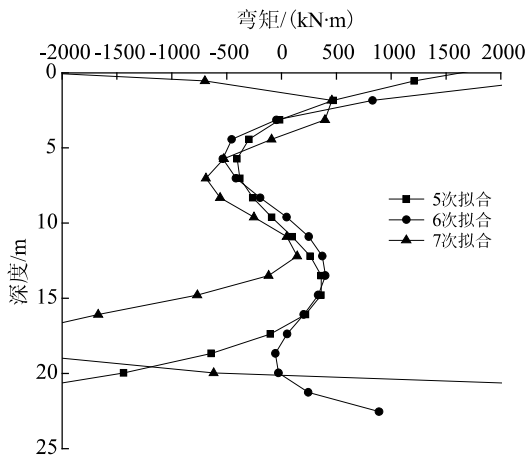


图11 CX9不同次数多项式反算弯矩

从图3—图11拟合曲线可以看出,基坑开挖深度11.1~11.6 m,5次、6次、7次多项式拟合反算弯矩CX1—CX6均在开挖面附近最大,弯矩拐点所在位置与实际工程较吻合。CX7—CX8在开挖面上3 m弯矩最大,而CX9在开挖面下2 m最大,有较大误差。考虑到测量数据的精确性,采用最小二乘法多项式函数进行实测数据拟合,其实质是离散情况下的最佳平方逼近强度数据变化趋势。由图3—

图11可知,各测点数据变化趋势基本一致。7次拟合得到的弯矩有过多的反弯点;而5次拟合得到的弯矩反弯点过少,与实际弯矩不太相符。进一步分析认为:由最小二乘法拟合原理可知,5次拟合的弯矩曲线精度要低于6次和7次,而7次拟合得到的弯矩有过多的反弯点,与实际弯矩不符,呈病态,具有高次拟合的趋势。因此认为选定6次多项式对围护墙变形进行拟合是比较准确的。CX1—CX9进行6次拟合的弯矩图见图12。

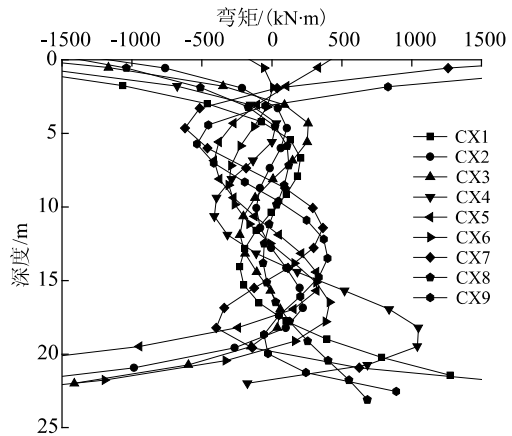


图12 六次多项式拟合曲线反算弯矩

从图12可见,在支护桩的顶部和底部4 m左右范围内,采用最小二乘法拟合测斜曲线所得的弯矩曲线与实际情况明显不符,需进一步研究,可采用不限于单纯多项式的拟合反演,用其他形式的数学公式或是组合,以使反演结果与实际更贴切。在支护桩的中部采用最小二乘法拟合测斜曲线所得弯矩能较好地反映PCMW工法围护结构的弯矩随深度的变化过程。由于采用6次多项式拟合,为偶数次项,拟合曲线得到的弯矩正负不影响曲线变化趋势的判断。

通过监测点测斜反演分析:支护桩的实际弯矩在-500~500 kN·m之间。而在基坑围护设计文件中采用的是文献[6]表5中GZH-800Ⅲ160-19管桩,其极限弯矩为1321.1 kN·m,设计弯矩为978.6 kN·m、抗裂弯矩为589.6 kN·m,实际弯矩满足要求,此围护方案可行。

3 安全性评估

支护桩内力安全的指标是通过分析围护结构侧向变形曲线及基坑周边建筑物、道路、管线等建构筑物变形,总结出的经验值,是一个综合考虑众多因素并相对保守的综合性指标。文献[9]提出支护桩的安全余量的概念。

支护桩在基坑开挖过程中的使用程度:

$$P=M_p/M_D \quad (5)$$

支护桩的安全余量:

$$R=M_R/M_D \quad (6)$$

式中: M_D 为支护桩极限弯矩; M_p 为基坑开挖过程中

某一时刻支护桩弯矩的实际值; M_R 为支护桩极限弯矩与实际值的差值, $M_R=M_D-M_p$ 。

根据 6 次多项式拟合得到的支护桩弯矩实际值与前文中 GZH-800 III 160-19 管桩极限弯矩值,计算出支护桩内力发挥程度与安全余量,见表 2。

表 2 支护桩内力安全状态评估

测点	最大曲率位置/m	支护桩实际弯矩/(kN·m)	支护桩抗裂弯矩/(kN·m)	支护桩极限弯矩/(kN·m)	发挥程度/%	安全余量/%
CX1	6.7	206.4			15.6	84.4
CX2	8.7	166.5			12.6	87.4
CX3	5.6	253.6			19.2	80.8
CX4	9.3	394.9			29.8	70.2
CX5	6.8	413.1	589.6	1321.1	31.3	68.7
CX6	8.5	308.4			23.3	76.7
CX7	6.0	460.3			34.8	65.2
CX8	7.2	296.5			22.4	77.6
CX9	5.7	535.8			40.6	59.4

由表 2 可以看到,通过测斜曲线求得的弯矩均小于极限弯矩的 50%,具有较大的安全余量,说明支护管桩很安全,还有很大的发挥空间。支护桩的抗裂弯矩为 589.6 kN·m,求得的支护桩实际弯矩均小于开裂弯矩,基坑开挖到底时,现场支护桩均未出现裂纹,与求得的弯矩情况完全吻合。目前此围护结构已开挖完成,见图 13。



图 13 基坑现场图

4 结 论

1)PCMW 工法围护结构是一种新型的支护结构形式,通常认为水土侧压力全部由管桩承担,水泥土抗渗止水。

2)通过对力学纯弯曲梁弯矩计算公式的理论推导及对实测变形数据的分析处理,得出适合最小二乘法拟合曲线的次数为 6 次,同时发现通过拟合曲线求得的弯矩在顶部和底部 4 m 左右范围内误差很大,不能真实反映围护结构的实际弯矩,但在中部求得的弯矩却能很好地反映围护结构的实际弯矩。

3)拟合曲线求得的弯矩均不大于极限弯矩的 50%,支护桩自身内力发挥程度小于 50%,具有较大的安全余量,说明 PCMW 工法围护结构很安全。

参 考 文 献

- [1] 耿平,陆秀华,蒋柏东. PCMW 工法在深基坑工程中的应用[J]. 建筑技术,2012,43(3):231-233.
- [2] 管鹤楼,赵秀娟,刘林. 浅谈 PCMW 工法在基坑支护工程中的施工工艺及质量控制[J]. 公路工程,2012,37(4):175-180.
- [3] 温兆东. 平位移反演计算方法[J]. 地下空间与工程学报,2011,7(1):133-138.
- [4] 池秀文,付涛,潘杰麟,等. 基于测斜数据的深基坑支护结构曲率和弯矩分析[J]. 施工技术,2011,(343):38-40.
- [5] 顾雷雨,黄宏伟. 基于监测数据的围护墙弯矩计算方法及其与基坑安全相关性研究[C]. 2010 年力学与工程应用学术研讨会论文集,2010.
- [6] 苏 G/T 20—2010 先张法预应力混凝土支护桩[S]. 南京:江苏科学技术出版社,2010.
- [7] JGJ 120—2012 建筑基坑支护技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2012.
- [8] 李雪. 排桩支护基坑位移反分析方法研究[D]. 成都:西南交通大学,2009.
- [9] 毛朝辉. 基于监测数据的围护墙弯矩反分析及安全评估研究[D]. 上海:同济大学,2006.

收稿日期:2014-10-30