

土钉墙及复合土钉墙侧移经验计算方法的改进

刘斌¹, 杨敏², 杨志银³, 姜晓光³

(1. 中国电力工程顾问集团华东电力设计院, 上海 200063; 2. 同济大学岩土及地下工程教育部重点实验室, 上海 200092;

3. 深圳冶建院建筑技术有限公司, 广东 深圳 518054)

摘要: 根据文献中对主要位于深圳和广州地区 10 个土钉墙及复合土钉墙工程的侧移记录, 对土钉墙及复合土钉墙侧移经验计算方法进行了改进, 验证并建议了土钉变形模量、土钉影响直径和变形零点系数的取值范围。结果表明: 虽然计算所得侧移曲线在土层分层处有突变, 但与实测曲线基本符合, 可以满足工程设计要求。

关键词: 土钉墙; 复合土钉墙; 水平位移

中图分类号: TU432

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2012)S0-0045-04

作者简介: 刘斌(1981-), 男, 山西太原人, 博士, 主要从事深基坑、桩基础、边坡工程方面的研究。E-mail: liubin163mail@163.com。

Improvement of empirical methods for horizontal displacement of soil-nailing and composite soil-nailing walls

LIU Bin¹, YANG Min², YANG Zhi-yin³, JIANG Xiao-guang³

(1. East China Electric Power Design Institute of China Power Engineering Consulting Group, Shanghai 200063, China; 2. Key Laboratory

of Geotechnical and Underground Engineering of the Ministry of Education, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. Shenzhen YJY

Construction Technology Co., Ltd., Shenzhen 518054, China)

Abstract: Based on the literatures of horizontal displacement records for soil-nailing and composite soil-nailing walls about 10 projects mainly located in Shenzhen and Guangzhou, the improvement of the empirical methods for horizontal displacement of soil-nailing and composite soil-nailing walls is performed. The numerical ranges of the deformation modulus of soil nails, the influence diameter of soil nails and the coefficient of null deformation are suggested. The calculated results show that the proposed method is credible in practice according to the comparison between the computational data and the test data, although the computational curves are discontinuous on interfaces of the layered soils.

Key words: soil-nailing wall; composite soil-nailing wall; horizontal deformation

0 引言

土钉墙及复合土钉墙支护技术因施工简便、经济高效等优点, 已在全国各地被广泛应用。同时, 对土钉墙及复合土钉墙支护特性和设计计算方法的研究也一直备受关注^[1-2], 但其侧移计算还没有可靠简便的方法。为此, 文献[3]根据工程经验和弹性变形理论提出一个侧移计算经验公式, 该公式形式简单, 适合工程应用, 但仍有如下三方面需要改进:

(1) 土钉变形模量 E_p 应根据当地经验确定, 当根据土钉抗拔试验计算时, 土钉影响直径 D_e 的取值有待分析。

(2) 变形零点系数 λ 的取值也应根据当地经验确定, 建议取值范围为 1.0~1.5, 当场地土较差时取大值, 当设置搅拌桩或微型桩以控制土钉墙侧移时, 该值可适当减小。

(3) 采用计算点处所对应的土层参数进行计算, 会导致所得侧移曲线不连续, 但可以切实反映不同土层特性对变形的影响。

针对上述三方面, 本文采用改进后的计算方法, 对主要分布在深圳和广州地区的 10 个工程进行计算, 对 E_p 和 D_e 值的取值进行了分析, 验证了变形零点系数 λ 的取值范围; 并对采用分层土参数计算所得侧移曲线与实测曲线进行比较。

1 计算公式

文献[3]给出了土钉墙及复合土钉墙侧移计算模型如图 1 所示, 基坑深度为 H , 地面作用超载 q , 基本假定:

表 1 土钉墙及复合土钉墙工程概况

Table 1 Engineering examples of soil-nailing and composite soil-nailing walls

分类	实例 编号	工程名称	基坑 深度 H/m	支护概况			最大侧移 与坑深比 $S_{\max}/H/\%$	最大 侧移 位置 z_{\max}/H
				土钉	锚索	搅拌桩 (微型桩) 长度/m		
				排 数	长度 /m	排 数	长度 /m	
I	1	广州珠江新城 E2 区商住楼 ^[4]	9.2	6	6~13			2.85
	2	北京林达嘉园 ^[5]	12.51	8	6.8~11.8			1.36
II	3	深圳长城盛世家园(二期)2 剖面 ^[6]	14.65	8	10~12	3	15~18	3.22
III	4	深圳得景大厦 ^[7]	8.4	7	8~12		8.3	1.19
	5	深圳地铁竹子林站 ^[6]	12.9	11	8~11.5		(13.45)	1.16
IV	6	广州凯华城南边东段 ^[8]	11.48	7	4.5~16	2	20~22	约 10
	7	广州凯华城西侧 ^[8]	12.23	9	8~16	3	25~26	(15.36)
	8	广州老城区某基坑 ^[9]	8.75	7	8~13	3	18	7
	9	深圳长城畔山花园 ^[6]	11.45	7	10~12	2	17~18	13.45(13.45)
	10	深圳长城盛世花园(二期)3 剖面 ^[6]	13.45	8	11~13	3	16~20	9.13(16.45)

注：深圳得景大厦搅拌桩顶距地面 3.6 m； z_{\max} 为最大侧移值 S_{\max} 距离地表的距离。

(1)土钉墙及复合土钉墙的侧移计算只考虑坡面与直线滑裂面间的变形区，根据实测经验，取计算深度 h 为基坑深度 H 的 1.0~1.5 倍；

(2)由于土钉接近于水平向设置，变形区的水平向变形模量取钉土复合变形模量 E_{sp} ，忽略土钉对竖向变形的影响，竖向向变形模量取土体变形模量 E_0 ；

(3)土钉墙侧移主要由开挖卸载引起，卸载应力取静止土压力 $K_0(\gamma H+q)$ 计算，且将其沿开挖面均布，以此简化分步开挖中应力传递的影响；

(4)考虑锚杆预应力对减小侧移的影响，且简化为均布力计算。

深度处钉土复合变形模量，按下式计算：

$$E_{\text{spi}} = mE_{\text{pi}} + (1 - m)E_{0i} \quad (2)$$

式中 土钉置换率 $m=\pi D^2/(4S_hS_v)$ ； D 为土钉钻孔直径； S_h 和 S_v 分别为土钉水平向和竖向向间距； E_{pi} 为土钉变形模量。

b_i 为对应计算深度处滑裂面至坡面水平距离，根据图 1 按下式计算：

$$b_i = (h - z_i) [\tan(90^\circ - \frac{\beta + \varphi}{2}) - \tan(90^\circ - \beta)] \quad (3)$$

式中 β 为土钉墙坡面与水平面夹角； $h=\lambda H$ ， λ 为变形零点系数， λ 取 1.0~1.5，土层较差时取大值。

2 工程概况与参数取值分析

2.1 工程概况

表 1 所列 10 个工程实例，主要位于广州和深圳地区，其中包括 2 个土钉墙支护工程（I 类），1 个土钉墙 - 锚索复合支护工程（II 类），2 个土钉墙 - 搅拌桩（微型桩）复合支护工程（III 类）和 5 个土钉墙 - 锚索 - 搅拌桩（微型桩）复合支工程（IV 类）。表中工程的最大侧移值基本小于基坑深度的 5%，且最大侧移的位置主要位于基坑中上部。

2.2 参数取值分析

根据公式（1）~（3），对表 1 中实例进行计算，计算结果如表 2 和图 2。可见，计算值与实测值基本符合，虽然图 2 所示土钉墙及复合土钉墙侧移的计算曲线在土层变化位置会有突变，但仍与实测值比较符合，基本可以满足工程设计要求。在计算当中，变形零点系数 λ 取值范围为 1.10~1.48，符合上述建议值 1.00~1.50 的范围；土钉变形模量 E_p 取值范围为 6000~9700 MPa。

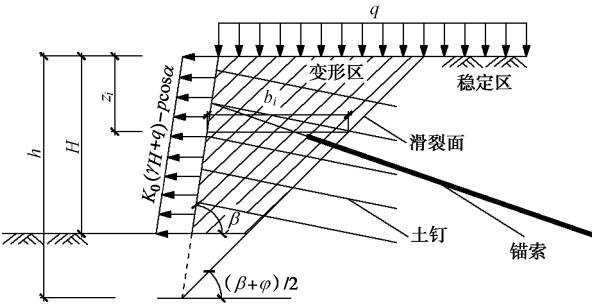


图 1 计算模型

Fig. 1 Computational model

土钉墙及复合土钉墙中距离地表深度 z_i 点的侧移经验值 S_i 为

$$S_i = \frac{K_0(\gamma H + q) - p \cos \alpha}{E_{\text{spi}}} b_i + \frac{v_i(\gamma z_i + q + p \sin \alpha)}{E_{0i}} b_i \quad (1)$$

式中 K_0 为静止土压力系数； γ 为土体重度； $p=P_n/(S_{nx}H)$ 为锚杆作用荷载； P_n 为锚杆预应力值； S_{nx} 为锚杆水平间距； α 为锚杆倾角； v_i 为土体泊松比； E_{0i} 为对应计算深度处土体的变形模量； E_{spi} 为对应计算

表 2 最大侧移值计算结果

实例 编号	土钉变 形模量 E_p/MPa	变形 零点 系数 λ	最大侧移与坑深 比 $S_{\max}/H/\%$		最大侧移位置 z_i/H	
			实测值	计算值	实测值	计算值
1	8700	1.20	2.85	2.82	0	0.11
2	9700	1.10	1.36	1.91	0	0.08
3	7000	1.36	3.22	3.46	0	0.00
4	8700	1.20	1.19	1.76	0	0.24
5	7500	1.16	1.16	1.27	0.58	0.42
6	9500	1.20	2.81	3.11	0	0.13
7	8000	1.30	5.63	6.14	0.07	0.04
8	7600	1.30	4.07	4.21	0	0.34
9	6000	1.30	2.78	2.90	0.52	0.39
10	7000	1.48	4.64	4.91	0	0.30

为便于计算,文献[3]建议根据土钉抗拔试验,采用下式(4)计算土钉变形模量值 E_{pi} :

$$E_{pi} = \frac{4LP}{u\pi D_e^2}。$$

(4)

式中 P 为试验荷载; u 为对应于 P 的位移量; L 为土钉的长度; D_e 为抗拔试验中土钉的影响直径,本文假定取钻孔直径的 1.2~1.5 倍。

根据文献[10]主要位于深圳地区的土钉抗拔试验成果,采用式(4)进行计算,所得 E_p 值见表 3。由表 3 可见,深圳地区的打入型注浆钢管($\Phi 48\delta 3.5$ 和 $\Phi 70\delta 3.75$)土钉 E_p 值范围为 3031~14090 MPa,钢筋($\Phi 25$ 和 $\Phi 28$ II 级钢筋)型注浆土钉 E_p 值范围为 2410~18534 MPa。因此,综合表 2 和表 3 分析,建议在对深圳和广州地区的土钉墙和复合土钉墙进行侧移计算时, E_p 值的取值范围为 5000~10000 MPa。

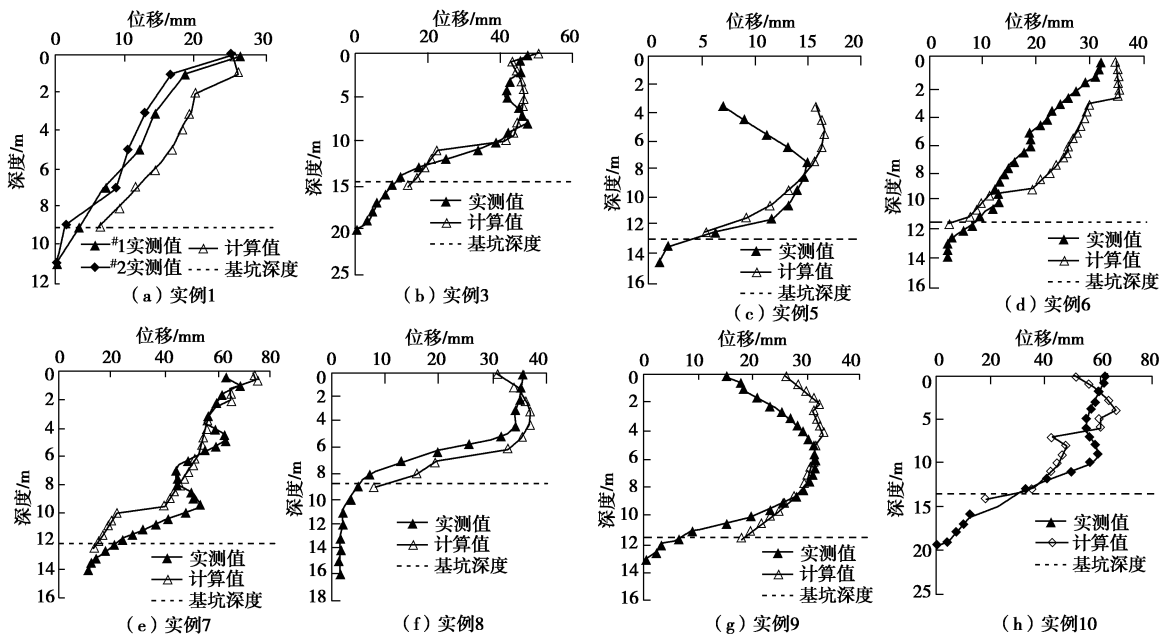


图 2 侧移实测曲线与计算曲线
Fig. 2 Comparison between computed and test curves

表 3 土钉变形模量 E_p 计算结果

编号	工程名称	土钉杆材	土钉长度/m	土钉穿越土层	土钉变形模量/MPa
1	深圳长城畔山花园	$\Phi 48\delta 3.5$ 钢管	10	回填土和粉质黏土	4167~14090
		$\Phi 25$ II 级钢筋	10		2410~11062
2	深圳职业技术学院	$\Phi 28$ II 级钢筋	10~14	素填土、淤泥质土和粉质黏土	4512~18534
3	深圳赛格群星广场	$\Phi 25$ II 级钢筋	10	砾质粉质黏土	9431~12378
4	深圳电视中心	$\Phi 48\delta 3.5$ 钢管	12	淤泥、粉质黏土和粗砂	7861~12054
5	深圳城市广场	$\Phi 48\delta 3.5$ 钢管	10~12	回填土和粉质黏土	3031~5092
6	深圳宣嘉华庭	$\Phi 70\delta 3.75$ 钢管	15~18	淤泥质黏土和中粗砂	5555~7760
7	深圳金地翠园	$\Phi 25$ II 级钢筋	6~8	砾质黏土	5432~11317
8	东莞时代广场	$\Phi 25$ II 级钢筋	9	砂砾黏土和砂质黏土	8488~10185

3 结 语

本文所采用的工程实例主要位于深圳和广州地区,其最大侧移值基本小于基坑深度的 5%,最大侧移位置主要位于基坑中上部。结合实例对文献[3]计算方法进行了改进:

(1) 建议土钉变形模量 E_p 值应根据土钉抗拔试验计算,影响直径 D_e 取钻孔直径的 1.2~1.5 倍;深圳和广州地区的土钉变形模量 E_p 取值范围为 5000~10000 MPa。

(2) 计算表明变形零点系数 λ 取值范围 1.0~1.5 可行,建议当场地土较差时取大值。

(3) 采用分层土参数计算所得侧移曲线在土层变化处虽有突变,但与实测曲线仍比较符合,可以满足设计要求。

参考文献:

- [1] 李象范,何之民,徐水根. 流砂地层中复合土钉墙的受力及变形性状[J]. 上海地质, 1999(3): 16 - 27. (LI Xiang-fan, HE Zhi-min, XU Shui-gen. Deformation and mechanical behavior of compound soil-nailed retaining wall used in the ground with flow sand[J]. Shanghai Geology, 1999(3): 16 - 27. (in Chinese))
- [2] 杨志银,张俊,王凯旭. 复合土钉墙技术的研究及应用[J]. 岩土工程学报, 2005, 27(2): 153 - 156. (YANG Zhi-yin, ZHANG Jun, WANG Kai-xu. Development of composite soil nailing walls[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2005, 27(2): 153 - 156. (in Chinese))
- [3] 姜晓光,杨志银,刘斌. 土钉墙支护水平位移计算的简便方法[J]. 土木工程学报, 2010, 43(8): 121 - 124. (JIANG Xiao-guang, YANG Zhi-yin, LIU Bin. A simple method for horizontal displacement of soil nailing walls[J]. China Civil Engineering Journal, 2010, 43(8): 121 - 124. (in Chinese))
- [4] 张明聚,郭忠贤. 土钉支护工作性能的现场测试研究. 岩土工程学报, 2001, 23(3): 319 - 323. (ZHANG Ming-ju, GUO Zhong-xian. Research on behaviors of soil nailing by field test[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2001, 23(3): 319 - 323. (in Chinese))
- [5] 耿玲. “林达嘉园”深基坑土钉支护数值模拟与现场监测研究[D]. 北京: 北京科技大学, 2007. (GENG Ling. Study on numerical simulation of soil nailing support in deep foundation ditch and field monitoring of “Linda Jiayuan”[D]. Beijing: University of Science and Technology Beijing, 2007. (in Chinese))
- [6] 姜晓光. 复合土钉墙设计关键技术研究[D]. 中冶集团建筑研究总院, 2009. (JIANG Xiao-guang. Research of key technique of composite soil nailing wall[D]. Beijing: Central Research Institute of Building and Construction Co., Ltd. MCC, Group, 2009. (in Chinese))
- [7] 黄力平,何汉金. 挡土挡水复合型土钉墙支护技术[J]. 岩土工程技术, 1991(1): 17 - 21. (HUANG Li-ping, HE Han-jin. Protecting technique of composite soil-nailing wall with retaining water[J]. Geotechnical Engineering Technique, 1991(1): 17 - 21. (in Chinese))
- [8] 陈晓文,杨光华,张君禄,等. 广州凯华城基坑采用土钉墙支护设计实践[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(17): 3021 - 3029. (CHEN Xiao-wen, YANG Guang-hua, ZHANG Jun-Lu, et al. Support design practice using soil nailing wall in Guangzhou Kaihuacheng deep foundation pit[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(17): 3021 - 3029. (in Chinese))
- [9] 杨志明,杨凯华,戴真印. 土钉及超前桩墙复合支护技术的应用[J]. 工程勘察, 2003, 2: 34 - 35. (YANG Zhi-ming, YANG Kai-hua, DAI Zhen-yin. Application of composite bracing technique with soil nail and leading pile-wall[J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2003, 2: 34 - 35. (in Chinese))
- [10] 杨志银,冯申铎. 新型土钉墙技术的研究与应用[R]. 北京: 冶金部建筑研究总院, 1999. (YANG Zhi-yin, FEN Shen-duo. Research and application of a new soil nail wall technology[R]. Beijing: Building Science Research and Design Academy, Ministry of Metallurgical Industry, 1999. (in Chinese))

(本文责编 明经平)