

# 深大基坑围护墙下土体水平位移的计算分析

贺 翀, 李隽毅, 杨德志  
(上海申元岩土工程有限公司, 上海 200040)

**摘要:** 大面积深基坑施工过程中, 基坑外土体可通过围护墙下向坑内移动, 这一移动趋势与着基坑施工对周边环境的影响密切相关。通过建立围护墙下土体位移的模型, 推导了与基坑面积、基坑开挖深度、围护墙插入深度及土性相关的围护墙下土体位移的计算方法。并与工程实测数据进行了比较分析。进而讨论了影响围护墙下土体位移的各因素的作用以及因素之间的相互关联。

**关键词:** 深大基坑; 基坑面积; 开挖深度; 土体水平位移

**中图分类号:** TU473 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000 - 4548(2010)S0 - 0158 - 04

**作者简介:** 贺 翀(1980 - ), 男, 江西萍乡人, 博士, 从事岩土工程设计与研究。E-mail: judeyatou@mail.com。

## Calculation of lateral displacement of soils under diaphragm wall in large and deep excavation

HE Chong, LI Jun-yi, YANG De-zhi  
(Shanghai Shenyuan Geotechnical Engineering Co., Ltd., Shanghai 200040, China)

**Abstract:** During the construction of large and deep foundation, the soils may move into the excavation beneath the diaphragm wall. This phenomenon closely relates with the influence on the surroundings. The soils beneath the diaphragm wall are modeled, and a method is deduced for calculating the soil displacement considering the excavation area, excavation depth, length of diaphragm wall and soil properties. A comparison between the analytical results and the monitoring data as well as the parameter studies on the soil displacements are then carried out.

**Key words:** large and deep excavation; excavation area; excavation depth; lateral displacement

### 0 引 言

基坑开挖过程中, 坑外土体有通过围护墙下向坑内移动的趋势。在工程实践中, 墙底以下的土体水平测斜结果亦清楚的显示了土体位移的情况。

围护墙下土体位移与基坑对周围环境的影响有重要的联系。在工程实践中, 已发现大面积深基坑的地面沉降影响往往较远; 临近浅基础建筑物的围护墙需要较大的插入比方可确保建筑物的安全。这些均与围护墙下的土体位移相关。

### 1 围护墙下土体位移的计算模型等

围护墙下土体位移的原因为基坑卸荷, 坑外土体随之向坑内移动。围护墙下的土体位移与基坑面积、基坑开挖深度、围护墙插入比以及围护墙底土体性质等因素有关。

为分析围护墙下土体位移, 本文建立了如图 1 所示的位移模型。

假定坑外土体绕围护墙上一点向坑内移动, 坑内

的影响范围为  $L$ , 其中  $L = \sqrt{A}/2$ ,  $A$  为基坑面积。 $R$  为基坑外土体移动范围, 本文根据工程经验以及有限元试算, 设定  $R = \sqrt{A/\pi}$ 。则推导得到墙底土体位移的范围为

$$h_s = \sqrt{\left(\frac{R^2 - L^2}{2h}\right)^2 + R^2} - \left(\frac{R^2 - L^2}{2h}\right) - h - h_d, \quad (1)$$

式中,  $h_s$  为围护墙下土体移动范围;  $h$  为基坑开挖深度;  $h_d$  为围护墙嵌固深度。

通过 Boussinesq 解在基坑底平面上的面积分, 可求解由于基坑在限定范围(即基坑边长  $B$  与  $L$  所形成的范围, 如图 2 所示)内的卸荷引起围护墙下沿基坑边任一围护墙下  $h_s$  范围内任一点土体的水平位移。

Boussinesq 水平位移解如下:

$$u = \frac{\sigma_c(1+\nu)}{2\pi E} \left[ \frac{(x-x_1)z}{R^3} - 2(1-2\nu) \frac{(x-x_1)}{R(R+z-z_1)} \right], \quad (2)$$

其中  $x$  的取值范围为  $-l/2 \sim l/2$ ,  $y$  的取值范围为

$-b/2 \sim b/2$ ,  $R$  为计算点距离基坑底面的距离。

$$R = \sqrt{(x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2}.$$

式(2)中括号内第一项可积分求得完整的解析解, 第二项积分结果只能以半解析半数值的方式得到。

图 1 中的  $\sigma_c = h\bar{\gamma}$ , 其中  $\bar{\gamma}$  为开挖范围内土的平均重度。

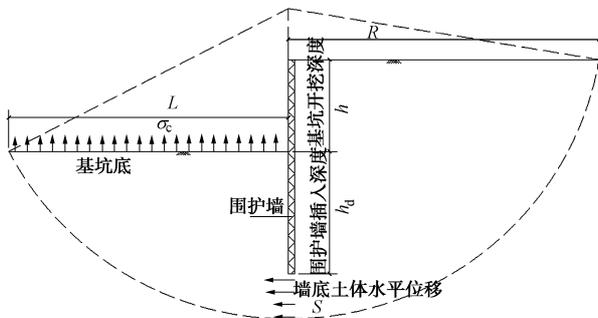


图 1 墙底土体水平位移示意图

Fig. 1 Displacement and force of soldier piles

根据计算结果可知图 2 显示的基坑边中点  $o$  位置处紧邻围护墙下处土体位移即为基坑边围护墙下水平位移最大点。

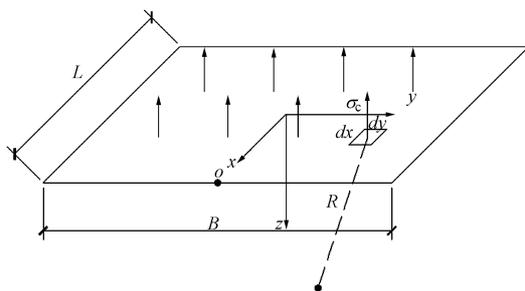


图 2 基坑卸荷示意图

Fig. 2 Unloading of excavation

基于图 1、图 2 所示简化模型, 可分析讨论实际工程中的基坑开挖引起的围护墙下土体水平位移。

## 2 工程实例

### 2.1 工程实例简介

上海某基坑面积约 1.37 万  $m^2$ , 长约 177 m, 宽约 43~98 m。基坑一般区域开挖深度 15.15~17.15 m, 采用 800 mm 宽地下连续墙搭配三道钢筋混凝土支撑的支护形式, 地墙深度 33~36 m。

基坑外设置了若干土体测斜监测孔, 深入围护墙底以下 2~6 m。围护平面图和监测点位置如图 3 所示:

基坑影响范围内的土层物理力学参数如表 1 所示。

### 2.2 土体测斜与计算结果的比较

利用上节建立的计算方法, 对土体测斜点位置的土体水平位移进行了分析计算, 图 4、图 5 即为土体测斜与计算结果的比较。

表 1 各土层物理力学参数

Table 1 Physico-mechanical parameters of soil layers

层数	地基土名称	饱和重度 /( $kN \cdot m^{-3}$ )	压缩模量 /MPa	埋深 /m
①	填土	—	—	2.00
② <sub>1</sub>	褐黄色黏质粉土	18.6	5.40	3.23
② <sub>3a</sub>	灰色粉质黏土	18.4	8.12	13.54
② <sub>3b</sub>	灰色砂质粉土夹粉质黏土	18.4	8.93	19.09
⑤ <sub>1a</sub>	灰色黏土	17.8	4.67	24.64
⑤ <sub>1b</sub>	灰色粉质黏土	18	5.44	38.25

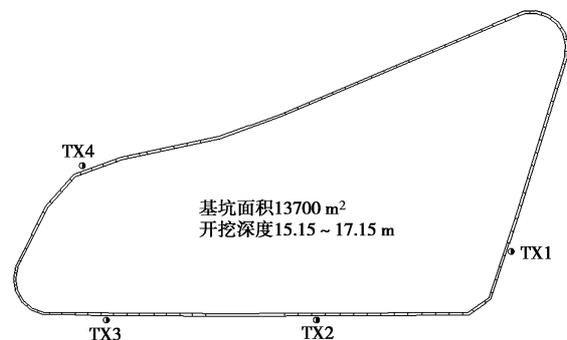


图 3 基坑平面与监测点布置图

Fig. 3 Plan of excavated area and instruments

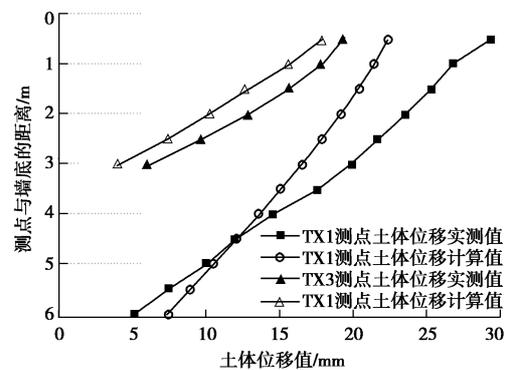


图 4 实测与计算结果比较 (I)

Fig. 4 Comparison between calculated and measured values (I)

本工程地墙插入深度在坑底以下 18~20 m, 墙底土层均位于⑤<sub>1b</sub> 层粉质黏土层中, 相对于上海地区这一深度常见的⑥层土, 其性质相对较为软弱, 因而土体测斜结果亦相对较大。

TX1 地墙深度 33 m、TX3 地墙深度 36 m, 对应的开挖深度分别为 15.15, 16.45 m。土体水平位移计算结果与实测结果数值及变化趋势大致相符, 但计算结果相对与测斜结果偏小, 且沿深度方向的收敛速度较实测结果偏慢。

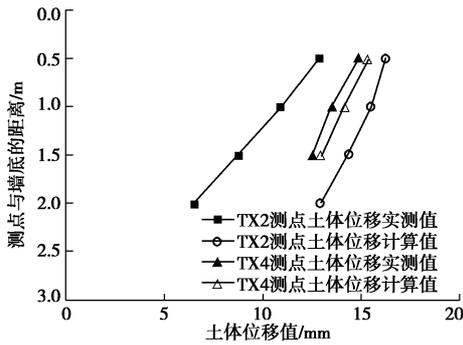


图 5 实测与计算结果比较 (I)

Fig. 5 Comparison between calculated and measured values (II)

TX2 地墙深度 36.5 m、TX4 地墙深度 38 m，对应的开挖深度分别为 16.45，17.15 m。地墙埋深相对图 4 所列情况略深，计算结果略大于实测结果。

图 4、图 5 的计算比较显示，地墙埋深相对较浅时，实测值较大于计算值；而地墙埋深相对较深时，则实测值小于计算值。主要原因是计算基于弹性模型，计算值沿深度方向的收敛速度显然小于实际情况。

### 3 影响因素分析

基于第 1 节提出的计算模型，本节对影响围护墙下土体水平位移的各项因素进行分析讨论，为更好的比较各因素的变化规律，计算均基于匀质土模型。

#### 3.1 基坑面积

在其他条件不变情况下，基坑面积增大，围护墙下土体的移动范围增加，同时围护墙下土体水平位移亦增大。

图 6 显示了不同挖深条件下，3 种基坑面积围护墙下土体水平位移的变化规律。图中横坐标为基坑面积、纵坐标表示的是每一种开挖深度条件下，围护墙下最大水平位移（基坑边中点位置靠近围护墙底处）与基坑面积 2 万 m<sup>2</sup> 情况下的比值。计算围护墙插入比（即  $h/h_d$ ）均为 1。

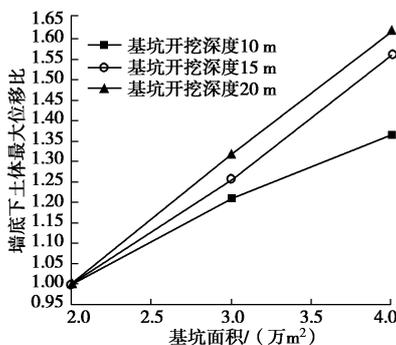


图 6 基坑面积的影响

Fig. 6 Effect of excavation area

同条件下，基坑面积的变化与墙底土体最大水平

位移的变化关系近乎于线性。然而随着开挖深度的增加，基坑面积增长对于围护墙下土体水平位移的影响增强。基坑开挖深度 10 m 条件下，基坑面积从 2 万 m<sup>2</sup> 增加至 4 万 m<sup>2</sup>，围护墙下最大水平位移增加了约 35%；而基坑开挖深度 20 m 条件下，同样的面积变化围护墙下最大水平位移增加了约 60%。

#### 3.2 围护墙插入深度

围护墙插入深度对墙底以下土水平位移的影响显而易见，围护墙插入越深，围护墙下土体移动范围减小，同时墙底以下土体水平位移亦减小。

图 7 显示了不同基坑面积条件下，围护墙插入深度的变化对围护墙下土体最大水平位移的影响。图中横坐标为围护墙插入比，纵坐标为每一种基坑面积条件下，围护墙下最大水平位移与基坑插入比为 1 情况下的比值。

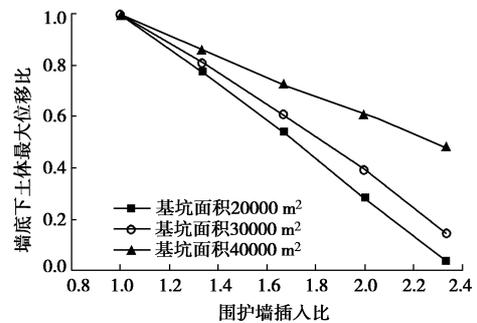


图 7 围护墙深度的影响

Fig. 7 Effect of wall length

基坑面积相对较小的情况下，围护墙插入比的增加对围护墙下土体水平位移的限制作用更为显著。基坑面积为 2 万 m<sup>2</sup> 条件下，围护墙插入比从 1 增大至 2.33，围护墙下土体最大水平位移减小了超过 90%；然而基坑面积为 4 万 m<sup>2</sup> 条件下，同样的围护墙插入比变化，围护墙下土体最大水平位移仅减小了约 50%。

实际工程中，一般情况下随着深度的增加，土体模量增高，插入比增加对于墙底下土体位移的限制作用更为有效。

图 7 的计算结果表明，为减小基坑开挖对周边环境的影响，大面积深基坑需要更高的插入比。

#### 3.3 基坑开挖深度

基坑开挖深度增加，卸荷作用更为显著，计算中  $\sigma_c$  值增长，围护墙下土体水平位移亦随之增大。

图 8 显示了不同基坑面积条件下，基坑开挖深度增长对围护墙下土体最大水平位移的影响。图中横坐标即为基坑开挖深度，纵坐标为每一种基坑面积条件下，围护墙下最大水平位移与基坑开挖深度为 10 m 情况下的比值。计算围护墙插入比（即  $h/h_d$ ）均为 1。

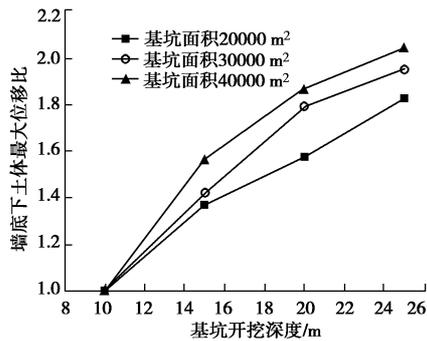


图 8 基坑开挖深度的影响

Fig. 8 Effect of wall length

基坑开挖深度与墙底土体最大水平位移之间呈非线性变化关系。基坑面积为 2 万 m<sup>2</sup> 条件下, 基坑开挖深度从 10 m 增加至 25 m, 围护墙下土体最大水平位移增加了约 80%; 而基坑面积为 4 万 m<sup>2</sup> 条件下, 同样的开挖深度变化, 围护墙下土体最大水平位移增加了约 1 倍。

图 6、图 8 的计算结果均表明, 基坑开挖深度与基坑面积相互加强对围护墙下土体水平位移的影响。

### 3.4 墙底位移沿基坑边的变化

围护墙下土体位移沿基坑边亦非均值, 而是随着与基坑边中点距离的增加而减小。

图 9 反映的即为围护墙下土体位移沿基坑边的变化规律。计算条件为基坑开挖深度 10 m, 围护墙插入比为 1。横坐标表示的计算点与基坑边中点  $o$  距离与

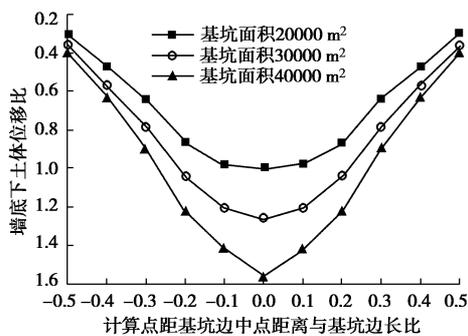


图 9 土体水平位移沿基坑边的变化

Fig. 9 Lateral displacement along edge of excavation

基坑边长  $B$  的比值; 纵坐标表示的是不同计算点围护

墙下土体水平位移与基坑面积为 2 万 m<sup>2</sup> 条件下围护墙下土体最大水平变形的比值。

尽管随着面积增加, 整个基坑边下的围护墙下土体位移均有增长。但基坑面积较大时, 围护墙下土体位移沿基坑边方向的收敛速度更快。基坑面积为 2 万 m<sup>2</sup> 条件下, 基坑边围护墙最小土体位移与最大土体位移比值约为 0.3, 而基坑面积为 4 万 m<sup>2</sup> 条件下, 同一比例值约为 0.24。

## 4 结 论

(1) 本文建立了基坑外土体从围护墙底向坑内移动的计算模型, 通过对基坑卸荷的计算, 推导出围护墙下土体水平位移的计算方法。

(2) 通过实例分析, 证实本文方法可较好的用于分析基坑开挖引起的围护墙下土体水平位移。

(3) 根据本文的分析计算, 基坑面积的增大与开挖深度的加深相互增强各自对墙底下土体水平位移的影响; 因而为控制基坑对周围环境的影响, 深大基坑需要相对更大的围护墙插入比或进行分区施工; 同时大面积基坑条件下, 围护墙下土体水平位移沿基坑边的变化更为显著。

(4) 后续的研究可深入分析围护墙下土体移动范围与开挖深度、土性之间的关系。同时应建立围护墙下土体水平位移与基坑外地表沉降之间的关系。

### 参考文献:

- [1] 刘国彬, 王卫东. 基坑工程手册[M]. 2 版. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009. (LIU Guo-bin, WANG Wei-dong. Excavation engineering manual[M]. 2nd ed. Beijing: China Architecture and Building Press, 2009. (in Chinese))
- [2] 高大钊. 土力学与基础工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998. (GAO Da-zhao. Soil mechanics and foundation engineering[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1998. (in Chinese))