

软土地区基坑支护中地表沉降的实用评估方法*

王照宇

(东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘 要: 根据软土地区深基坑的经验公式, 推导出深基坑开挖中由支护结构变形引起地表沉降的估算公式, 提出了按正态分布密度函数拟合基坑周围地表沉降曲线的方法, 结合工程实例, 与现场实测值作对比分析, 说明该方法具有一定的实用性和可行性。

关键词: 基坑支护; 地表沉降; 软土地区; 评估方法

中图分类号: TU434

文献标识码: A

文章编号: 1671-532X(2002)03-0058-03

关于基坑周围地表沉降计算, 前人做过大量的研究, 最有影响的是 1969 年佩克(Peck)通过工程实测统计得出的一套与土性及开挖深度有关的地表沉降估算方法^[1]; 日本的道路工程规范中也给出了计算基坑开挖时的地表沉降方法^[2], 现就这二种方法分别作一简要的介绍。

1.1 peck 曲线法

Peck 曲线如图 1 所示。

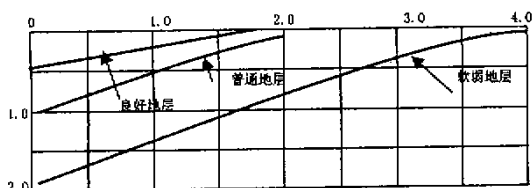


图 1 地面沉降与距离关系图

Fig.1 The chart of relation between ground settlement and distance

该曲线是根据大量的工程实例数据统计得到, 基本上能反映不同挖深下的地面沉降。

1.2 日本道路工程规范方法

半理论半经验方法中, 以《日本道路工程规范》方法最具代表性, 该方法假定支护结构的变形前后所围成的面积 S_p 与地面沉降和原地面所围成的面积 S_G 相等, 再根据支护结构的变形值来推求地面沉降大小, 如图 2 所示。

根据软土地区深基坑的经验公式, 本文推导

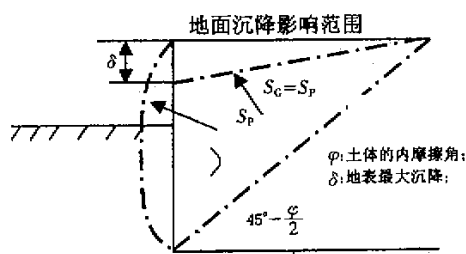


图 2 日本道路工程规范法地面沉降计算示意图

Fig.2 The chart of calculate ground settlement with criterion of civil engineering of japan

出在软土地区深基坑开挖中由支护结构变化引起地表沉降的估算公式, 提出了按正态分布密度函数拟合基坑周围地表沉降曲线的方法。

2 支护结构变形引起的地表沉降估算方法

2.1 基本假定

(1) 沉降曲线为正态分布

$$\delta(x) = \delta_{\max} \cdot \exp\left[-\pi\left(\frac{x}{r}\right)^2\right] \quad (1-1)$$

式中 $\delta_{\max}$ —最大沉降值 mm;

r —沉降盆地计算影响半径 mm。

(2) 地表沉降范围为

$$x_0 = 1.6h_g \quad (1-2)$$

式中 h_g —支护结构长度(基坑开挖深度与结构入土深度之和) m。

* 收稿日期 2002-05-17

作者简介: 王照宇(1974-)男, 江苏阜宁县人, 盐城工学院助教, 东南大学在职硕士研究生。

(3) 墙体水平位移 $y_{\max}$ 为墙后地表沉降 $\delta_{\max}$ 的 1.5 倍,即

$$y_{\max} = 1.5\delta_{\max} \quad (1-3)$$

(4) 沉降曲线包络面积 F_s 与支护结构变位曲线包络面积 F_w 之比

$$\frac{F_s}{F_w} = 0.85 \quad (1-4)$$

2.2 计算方法

地表沉降曲线包络面积计算

$$F_s = \int_{-x_m}^{x_0-x_m} \delta(x) dx = \delta_{\max} \int_{-x_m}^{x_0-x_m} \exp\left(-\pi \frac{x}{r}\right) dx \quad (1-5)$$

令 $u = \sqrt{2\pi} \frac{x}{r}$, $du = \frac{\sqrt{2\pi}}{r} dx$

$$\begin{aligned} F_s &= \delta_{\max} \int_{-\sqrt{2\pi}}^{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2} \frac{r}{\sqrt{2\pi}}\right) du = \\ &= r\delta_{\max} \int_{-\sqrt{2\pi}}^{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du \\ F_s &= r\delta_{\max} \left[\phi\left(\sqrt{2\pi} \frac{x_0-x_m}{r}\right) - 1 + \phi\left(\sqrt{2\pi} \frac{x_m}{r}\right) \right] \end{aligned} \quad (1-6)$$

式中, $\phi(x) = \int_{-\infty}^x \left[\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) \right] du$ 为标准正态分布函数;

x_m —墙顶到最大沉降的水平距离。

由于 $r \approx x_0 - x_m$ (1-7)

则 $\phi\left(\sqrt{2\pi} \frac{x_0-x_m}{r}\right) = \phi(2.5) = 0.99379 \approx 1.0$

则式(1-6)变为 $F_s = r\delta_{\max} \phi\left(\sqrt{2\pi} \frac{x_m}{r}\right)$ (1-8)

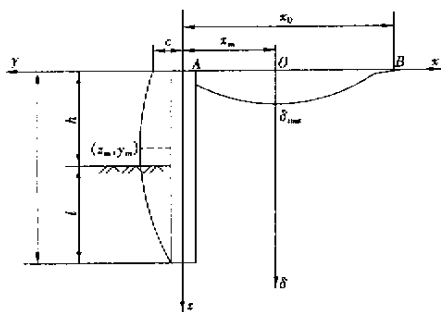


图3 深开挖引起支护结构的侧移和地表沉降示意图

Fig.3 The chart of ground settlement and displacement of supporting structure with deep excavation

2.3 支护结构变形曲线包络面积计算

支护结构变位可用竖向弹性地基梁有限元计算得到支护结构的单元节点位移或通过实测得到,按最小二乘法可以拟合出支护结构的侧向位

移曲线,设拟合曲线为:

$$y = az^2 + bz + c \quad (1-9)$$

由最小二乘原理可得下列方程组:

$$\begin{aligned} a \sum_{i=1}^n z_i^2 + b \sum_{i=1}^n z_i + cn &= \sum_{i=1}^n y_i \\ a \sum_{i=1}^n z_i^3 + b \sum_{i=1}^n z_i^2 + c \sum_{i=1}^n z_i &= \sum_{i=1}^n z_i y_i \\ a \sum_{i=1}^n z_i^4 + b \sum_{i=1}^n z_i^3 + c \sum_{i=1}^n z_i^2 &= \sum_{i=1}^n z_i^2 y_i \end{aligned} \quad (1-10)$$

式中, z_i 、 y_i 分别为单元节点坐标及计算侧向位移或实测的位移值,将之带入(1-10)即可求得系数 a 、 b 、 c 的值。

若知道支护结构顶点坐标(0, c)和极值点(z_m , y_m),可由式(1-9)算得:

$$\begin{aligned} z_m &= -\frac{b}{2a} \\ y_m &= c - \frac{b^2}{4a} \end{aligned} \quad (1-11)$$

支护结构侧向位移曲线围成的面积为:

$$F_w = \int_0^h \phi(z) dz = \frac{1}{3} ah^3 + \frac{1}{2} bh^2 + ch \quad (1-12)$$

2.4 地表沉降计算

将(1-8)代入(1-4)得:

$$r\delta_{\max} \phi\left(\sqrt{2\pi} \frac{x_m}{r}\right) = 0.85 F_w \quad (1-13)$$

联立(1-2)、(1-3)和(1-13)式,当 $y_{\max}$ 为已知时,即可求得 $\delta_{\max}$ 、 x_m 和 r 。由式(1-1)可求得地表任一点的沉降。

3 工程实例分析

南京市河西地区龙江高层为一层半地下室。基坑开挖深度为 7.8 m,采用 $\phi 900$ 钻孔灌注桩作为支护结构主体,桩长 14.8 m,其中入土深度 7 m,间距 1.4 m,设置一道钢管作为支撑主体,外设双排深层搅拌桩作为止水帷幕,桩长 12.5 m。实测桩顶位移 $c = 2.24$ cm, $z_m = 9.0$ m, $y_m = 2.85$ cm。

由式(1-2)可求得:

$$x_0 = 1.6h_g = 1.6 \times 14.8 = 23.68 \text{ m}$$

由式(1-11)可求得:

$$a = \frac{c - y_m}{z_m^2} = \frac{2.24 - 2.85}{9^2} = -0.75 \times 10^{-4}$$

$$b = \frac{2(c - y_m)}{z_m} = \frac{2(2.24 - 2.85)}{9} = 13.56 \times 10^{-4}$$

由式(1-12)可求得支护桩侧移面积：

$$F_w = \frac{1}{3}ah^3 + \frac{1}{2}bh^2 + ch = 0.3995\text{ m}^2$$

由式(1-12)可求得：

$$\delta_{\max} = \frac{y_{\max}}{1.5} = \frac{2.85}{1.5} = 19\text{ mm}$$

由式(1-13)可求得：

$$r\phi(\sqrt{2\pi}\frac{x_m}{r}) = \frac{0.85F_w}{\delta_{\max}} = 17.87\text{ m}$$

取 $r = 11.7\text{ m}$, $\phi(\sqrt{2\pi}\frac{x_m}{r}) \approx 1.0$

由式(1-7)可得：

$$x_m = x_0 - r = 23.68 - 11.7 = 11.98\text{ m}$$

按 $x = -0.8\text{ m}$ 、 0 m 、 $+6.2\text{ m}$ 、 -6.2 m 、 $+8.6\text{ m}$ 、 -8.6 m 取值,可求出相应的沉降值,见表 1。

表 1 预测沉降值与实测值对比表

Table 1 Contrast forecast with true measure settlement						
x 坐标值/m	-8.6	-6.2	-0.8	0	6.2	8.6
$\delta(x)$ 计算值/mm	3.21	7.86	18.72	19.00	7.86	3.21
$\delta(x)$ 实测值/mm	3.29	8.96	18.42	18.88	11.36	1.69
误差/mm	0.08	1.1	0.3	0.12	3.5	1.52

由表 1 可知,在深基坑开挖中周围地表沉降

参考文献：

[1] Bowles J E. Foundation Analysis and Design[M]. Mc Graw - Hill Book Company ,1982.
[2] 刘建航,侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
[3] 张尚根. 深基坑周围地表沉降分析[J]. 岩土工程技术,1999 (3) 29 ~ 31.

Practicality calculation measure of ground displacement
of Deep Foundation in Soft Clay Area

WANG Zhao-yu

(Transportation college of southeast uiversity ,Jiangsu Nanjing 210096 ,China)

Abstract Based on the empirical formula of ground settlement , this paper deduces a new calculating formula of it by displacement of support structure. Ground settlement curve is imitated with normal school curve. To contrast forcasted settlement with true measured , the engineering example shows that this method is practical and reasonable. The method of calculating ground settlement caused by wall deformation presented. The details on reducing settlement are also discussed.

Keywords deep foundation ; ground settlement ; soft clay ; evaluating measure

可按正态分布概率函数计算。实例计算结果表明该公式计算精度较高,对地表沉降预测有较强的实用性。

4 结语

深基坑支护工程虽然是临时性工程,但影响因素很多,是一个十分复杂的难题,也存在相当大的风险性。为此要提出减少地层位移的施工工艺和施工参数,根据经验和理论相结合的研究分析,预测出基坑施工对周围影响范围的影响程度。在施工中加强监控,及时采取改进施工措施和应变措施以保证达到预期保护周围环境的要求。经过分析研究,按正态分布密度函数拟合基坑周围地表的沉降曲线的方法,并推导出软土地区深基坑开挖中由支护结构变位引起周围地表沉降值的实用的评估公式,对于周围环境保护有重要的意义。

深基坑工程引起的周围地表沉降是不可避免的,但影响程度可以控制。实际工程中,可用本文提供的公式进行估算,并与现场实测相结合,作出综合评价,比较其理论值 δ 与周围环境要求的容许值 $[\delta]$,若 $\delta > [\delta]$ 则应采取相应的措施。