

考虑挡墙位移非线性影响的土压力计算模型

张春会¹, 郭海燕¹, 于广明²

(1.中国海洋大学 工程学院, 青岛 266071; 2.青岛理工大学 土木学院, 青岛 266033)

摘 要: 针对传统土压力理论不能考虑挡墙位移对土压力计算影响的事实, 建立了一个能考虑挡墙位移非线性影响的土压力计算模型, 并讨论了模型中参数的影响和计算方法。离心模型试验表明, 应用提出的模型的计算成果与试验实测值符合, 该模型能较准确地考虑挡墙位移对土压力的非线性影响, 从而为基坑开挖中的土压力计算提供了一种新的计算方法。

关 键 词: 土压力; 挡墙位移; 非线性; 离心模型试验

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Earth pressure calculating model considering the nonlinear influence of displacement of retaining wall

ZHANG Chun-hui¹, GUO Hai-yan¹, YU Guang-ming²

(1.Engineering Institute, Ocean University of China, Qingdao 266071, China;

2. Civil Engineering Institute, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266033, China)

Abstract: Facing up the fact that traditional earth pressure theory can not consider the effects of the displacement of retaining wall on earth pressure calculation, a new earth pressure calculating model considering the nonlinear effects of the displacement of retaining wall was set up, and influences and calculating ways of the parameters were studied. Centrifuge model tests showed that the calculating results of the model are coincident with the tests data. So the calculating model is credible, and it provides a new calculating way for earth pressure calculation.

Key words: earth pressure; displacement of retaining wall; nonlinearity centrifuge model tests

1 引 言

在深基坑工程的设计和施工中经常遇到土压力计算问题, 正确确定基坑挡墙上的土压力是基坑工程合理设计和顺利施工的前提, 也是确保基坑工程项目安全性和经济性的基础。

土压力的计算国内外普遍采用两种方法, 一种是采用朗肯或库仑土压力理论来计算挡墙上的土压力^[1, 2], 另一种方法是采用 Winkler 地基模型来计算挡墙上的土压力^[1, 2]。朗肯或库仑土压力理论计算得到的土压力都是针对墙后土体达到极限状态的土压力, 但由于基坑工程的特点, 往往不允许挡墙出现使土体进入极限平衡状态的位移, 因此朗肯或库仑理论在计算土压力时存在很大的局限性。Winkler 地基模型反映了挡墙位移对土压力的线性影响, 而实测资料^[3]表明土压力与挡墙位移之间存在着非线性关系, 对于黏性土尤为明显。本文在考虑了位移对于土压力影响的基础上, 建立了一个新的土压力计算模型, 并通过离心模型试验进行了验证, 从而为基坑开挖中的土压力计算提供了一种新的计算方法。

2 挡墙位移与土压力关系的描述

土压力是土与挡墙之间相互作用的结果, 其大小不仅与挡墙的高度和刚度、填土的性质、接触面的摩擦性状等有关, 而且与挡墙的位移有关。当挡墙不移动时, 土压力为静止土压力; 当挡墙向着背离土体的方向移动时, 土压力逐渐减小; 当土体进入极限平衡状态时, 土压力值达到最小值, 即主动土压力; 当挡墙向着挤压土体的方向移动时, 土压力逐渐增大; 当土体进入极限平衡状态时, 土压力达到最大值, 即被动土压力。土压力与位移的关系

可以通过图 1 来描述。

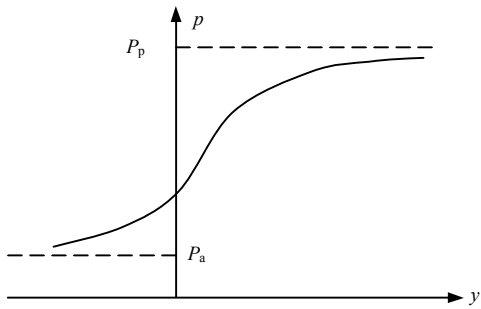


图 1 土压力与位移关系图

Fig.1 Relationship between earth pressure and displacement

3 考虑挡墙位移影响的土压力模型

根据土压力的特点和图 1, 可以建立如下的土压力计算模型:

$$p = \frac{c}{1 + a \exp(-b|y|^d)} \quad (1)$$

式中 a 、 b 、 c 、 d 为模型系数; y 为挡墙的位移; p 为挡墙后的土压力。

3.1 模型系数 a 、 c 的确定

当 $y=0$ 时, 土压力为静止土压力, 由式 (1) 得:

$$p_0 = \frac{c}{1+a} \quad (2)$$

当 $y=+\infty$ 时, 土压力为极限土压力, 即

$$p_{cr} = c \quad (3)$$

将式 (3) 代入式 (2), 得到:

$$a = \frac{p_{cr}}{p_0} - 1 \quad (4)$$

将式 (3) 和式 (4) 代入式 (1), 得:

$$p = \frac{p_{cr}}{1 + \left(\frac{p_{cr}}{p_0} - 1 \right) \exp(-by^d)} \quad (5)$$

即为本文提出的考虑位移影响的土压力计算模型。其中, p_{cr} 为极限状态的土压力, 当挡墙向着背离土体的方向移动时为主动土压力, 而当挡墙向着挤压土体的方向移动时为被动土压力; p_0 为静止土压力; b 、 d 均为模型系数, 它们与土体的性质、挡墙的性质、挡墙与土的接触性状等因素有关, 无论土体处于主动状态还是被动状态, 位移均为正值。

3.2 模型的定性检验

挡墙向着背离土体的方向移动时 p_{cr} 为主动土压力, 即 $p_{cr} = p_a$, 式 (5) 变为

$$p = \frac{p_a}{1 + \left(\frac{p_a}{p_0} - 1 \right) \exp(-by^d)} \quad (6)$$

式 (6) 中, 由于 $y > 0$, 所以,

$$0 < 1 + \left(\frac{p_a}{p_0} - 1 \right) \exp(-by^d) < 1 \quad (7)$$

因此, $p_0 > p > p_a$, 并且随着位移的增加土压力减小直至趋近一极限值, 这符合第 2 节中土压力与位移关系的描述。

当挡墙向着挤压土体的方向移动时 p_{cr} 为被动土压力, 即 $p_{cr} = p_a$, 式 (5) 变为

$$p = \frac{p_p}{1 + \left(\frac{p_p}{p_0} - 1 \right) \exp(-by^d)} \quad (8)$$

式中, 由于 $y > 0$, 所以,

$$1 + \left(\frac{p_p}{p_0} - 1 \right) \exp(-by^d) > 1 \quad (9)$$

因此, $p_p > p > p_0$, 并且随着位移的增加土压力增加直至趋近一极限值, 这也符合第 2 节中土压力与位移的关系的描述。

由上分析可见, 式 (5) 能够描述土压力随着位移的变化而发生的动态变化过程。

3.3 模型系数 b 、 d 的影响及确定方法

假设土体处于被动状态, 挡墙上某点的被动土压力和静止土压力 $p_p = 300 \text{ kPa}$, $p_0 = 150 \text{ kPa}$, 取 b 分别为 0.2, 0.6, 1.0, 2.0 和 d 为 0.4, 0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.2 时土压力与位移的关系曲线图见图 2。可以看出, b 和 d 的值影响着土压力-位移曲线的性状, 并综合反映了土体的性质、挡墙的性质、挡墙与土的接触性状等因素对土压力的影响。对于撑锚类柔性支护结构, 如不考虑施工扰动的影响, b 和 d 的值是稳定的。

由于模型刚刚提出, b 和 d 的取值还没有成熟的经验, 目前在应用该模型时可以利用现场试验等方法获取的实测数据通过反分析求得, 其步骤为: 对于某基坑工程现场试验, 取 n 个测点, 在开挖至某工程步时测得土压力序列 $\{\tilde{p}_1, \tilde{p}_2, \tilde{p}_3, \dots, \tilde{p}_n\}$ 和挡墙水平位移序列 $\{\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \tilde{y}_3, \dots, \tilde{y}_n\}$, 对于 b 、 d 取初值

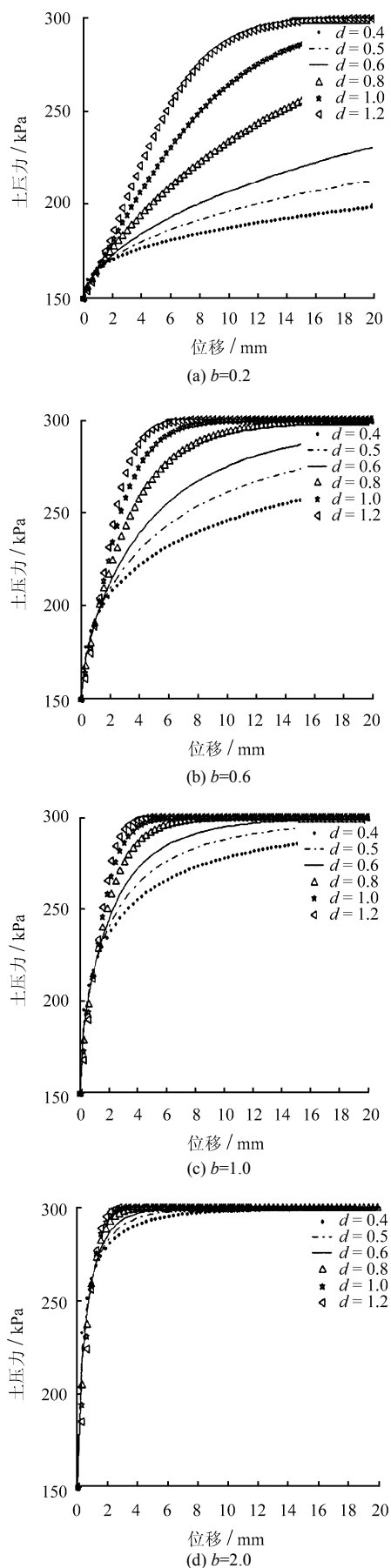


图2 b 、 d 对土压力-位移曲线的影响
Fig.2 Effects on the curve of earth pressure and displacement of b , d

b_0 、 d_0 ，通过式(5)得到 n 个极限土压力 $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ (主动土压力或被动土压力)，并建立如下目标方程：

$$f(b, d) = \min \sum_{i=1}^n (\tilde{p}_i - p_i) \quad (10)$$

利用非线性最小二乘法计算得到合适的 b 、 d 使式(10)成立，此时的 b 、 d 即为所求。

4 试验验证

本文利用岳祖润等所做的离心模型试验结果来检验本文提出的土压力模型。关于该离心模型试验中填土的土工参数和试验细节可参考文[4]。本文仅摘录了 p17 和 p18^[4] 测点的位移与土压力数据列于表1。利用实测的位移和土压力数据和式(10)，得到 $b=0.5$ 和 $d=1.3$ 。测点 p17 静止土压力为 108 kPa，主动土压力为 60 kPa，p 测点 18 静止土压力 $p_0 = 93.8$ kPa，主动土压力 $p_{cr} = 52$ kPa。

将这些参数数据代入式(5)得到 p18 和 p17 点在不同位移条件下的土压力值，结果见表1，同时把用 Winkler 计算模型计算得到的土压力也列入表1。将表1中的数据绘于图3中，图3中的标注“p18 计算”表示利用本文模型得到的 p18 点的土压力计算值，标注“p18 实测”表示在模型试验中 p18 点的实测土压力，标注“Wp18 计算”表示利用 Winkler 模型计算得到的土压力值。

比较表1和图3可见，本文模型的计算结果与实测数据基本吻合，在计算精度上远远高于 Winkler 计算模型，表明本文模型能准确地考虑位移对土压力的非线性影响，更适于基坑工程的土压力计算。

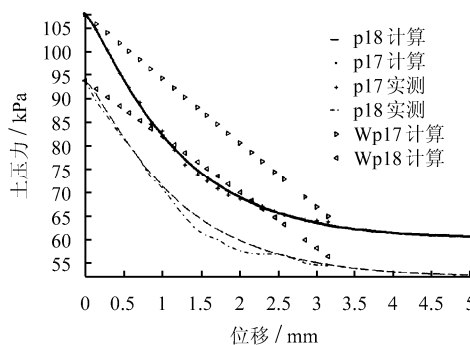


图3 计算土压力和实测土压力的比较
Fig.3 Comparison between measurement and calculation of earth pressure

表 1 p17 和 p18 的实测土压力和计算土压力比较
Table 1 Comparison between measurement and calculation of earth pressure of p17 and p18

位移 / mm	测点						
	p17			p18			
	实测 土压力 / kPa	本文模型 计算土压力 / kPa	Winkler 模型 计算土压力 / kPa	位移 / mm	实测土压力 / kPa	本文模型 计算土压力 / kPa	Winkler 模型 计算土压力 / kPa
0.00	108.00	108.00	108.00	0.00	93.80	93.80	93.80
0.15	104.62	104.52	105.94	0.15	89.38	90.77	92.01
0.29	100.40	100.36	104.02	0.29	86.10	87.13	90.34
0.45	95.38	95.59	101.83	0.45	82.27	82.98	88.44
0.57	92.32	92.21	100.19	0.57	80.02	80.03	87.01
0.71	89.23	88.57	98.27	0.71	76.9	76.86	85.35
0.85	84.61	85.29	96.35	0.85	73.2	73.99	83.68
1.00	83.08	82.14	94.30	1.00	70.77	71.26	81.90
1.15	79.00	79.37	92.24	1.15	67.51	68.84	80.11
1.29	76.00	77.08	90.32	1.29	64.62	66.84	78.44
1.45	73.80	74.78	88.13	1.45	61.85	64.85	76.54
1.57	72.31	73.25	86.49	1.57	60.75	63.52	75.11
1.71	70.77	71.67	84.57	1.71	59.90	62.14	73.45
1.85	69.37	70.27	82.65	1.85	58.50	60.93	71.7
2.00	68.60	68.95	80.60	2.00	57.60	59.77	70.00
2.15	68.00	67.79	78.54	2.15	57.00	58.77	68.21
2.29	67.00	66.84	76.62	2.29	56.90	57.95	66.54
2.45	66.00	65.89	74.43	2.45	56.85	57.13	64.64
2.57	65.20	65.27	72.79	2.57	56.80	56.58	63.21
2.85	64.20	64.05	68.95	2.85	54.90	55.52	59.88
3.00	63.90	63.51	66.90	3.00	54.50	55.04	58.10
3.15	63.70	63.04	64.85	3.15	54.46	54.64	56.31

4 结 论

通过以上分析,可以得到如下结论:

(1) 本文模型较好地反映了土压力随挡墙位移变化而非线性变化的特点;

(2) 利用本文模型进行计算时需要 4 个参数, p_0 和 p_{cr} 可以通过土性参数计算确定。 b 和 d 的值影响着土压力-位移曲线的性状,并综合反映了土体的性质、挡墙的性质、挡墙与土的接触性状等因素对土压力的影响,其取值尚无经验可循,可通过反分析方法确定;

(3) 需要将本模型与更多的试验和现场实际工程结合,一方面进一步验证模型,另一方面积累模型系数 b 和 d 的取值经验。

参 考 文 献

- [1] 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.
- [2] YB 9258—97, 建筑基坑工程技术规范[S].
- [3] 吴铭炳. 软土基坑排桩支护研究[J]. 工程勘察, 2001, (4): 15—17.
- [4] 岳祖润, 彭胤宗, 张师德. 压实黏性填土挡土墙土压力离心模型试验[J]. 岩土工程学报, 1992, 14(6): 90—96.
YUE Zu-run, PENG Yin-zong, ZHANG Shi-de. Centrifuge model tests on lateral pressure on walls retaining compacted clayey backfill[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1992, 14(6): 90—96.