

考虑变形与时间效应的土压力计算方法研究*

赵建平 梅国雄 宰金珉

(南京工业大学土木工程学院,江苏 南京 210009)

摘 要:根据土压力的大小随挡土墙位移的变化而变化的特点,提出了考虑位移的土压力计算方法,并在此基础上推导了考虑位移的朗肯土压力理论。又根据土压力随时间的发展规律,提出了考虑时间效应的土压力计算方法。最后,提出了考虑变形和时间效应的土压力计算方法。

关键词:位移;时间效应;土压力;挡土墙

中图分类号: TU432

文献标识码: A

文章编号: 1671-532X(2003)04-0055-03

土压力理论既是土力学基础理论的重要组成部分,又是基础工程和地下工程中实用性极强的技术基础。当前,国内大量的深基坑开挖、填土挡墙、地铁隧道和地下空间开发利用等工程中普遍遇到土压力计算问题,正确确定土压力是进行上述工程的合理设计和顺利施工的前提,也是确保工程项目安全性和经济合理的基础。土压力的计算由于涉及因素很多,要想在计算中考虑所有因素是不现实的,本文拟针对位移和时间因素来讨论土压力的计算问题。

1 与位移有关的土压力计算

1.1 土压力随位移的发展规律

土压力是土与挡土结构之间相互作用的结果,其大小不仅与挡土墙的高度、填土的性质有关,而且与挡土墙的刚度和位移有关^[1],如图 1 所示。当挡土墙离开填土移动,墙后填土达到极限平衡(或破坏)状态时,作用在挡土墙上的土压力称为主动土压力,它是土压力的最小值;当挡土墙向填土挤压时,墙后的填土达到极限平衡(或破坏)状态时,作用在挡土墙上的土压力称为被动土压力,它是土压力的最大值;当挡土墙完全没有侧向移动时的土压力,称为静止土压力。土压力随挡土墙移动而变化的情况如图所示。作用在挡土墙上的土压力可能是主动土压力与静止土压力或

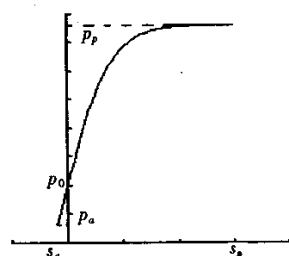


图 1 土压力随挡土墙位移而变化

Fig. 1 The earth pressure varying with the displacement of retaining wall

静止土压力与被动土压力之间的某一数值。一般认为达到主动土压力时的位移量以 s_a 表示,为 $-0.003 \sim -0.005h$, h 为挡土墙的高度。而达到被动土压力的位移量以 s_p 表示,为 $0.02 \sim 0.05h$,约为 $-15s_a$ (取向着填土移动的方向为正)。《基坑工程手册》根据西南交通大学彭胤宗教授的最新研究成果进行了补充,得到不同的土类在不同的位移形式下达到不同的应力状态时,所需的位移量如表 1^[2]。

1.2 考虑位移的土压力计算公式

根据以上土压力的特点,笔者建立了如下公式^[3]:

$$p_s = \left(\frac{k(\varphi)}{1 + e^{-k(s_a, \varphi)s}} - \frac{k(\varphi) - 4}{2} \right) \frac{p_0}{2} \quad (1)$$

其中: p_0 为静止土压力的一半;

* 收稿日期: 2003-09-10

作者简介: 赵建平(1971-),男,江苏晋江人,工程师,南京工业大学在读硕士研究生。

$k(\varphi)$ 为内摩擦角的函数;

$k(s_a, \varphi)$ 为主动土压力位移量和内摩擦角的函数, 且有 $b > 0$ 。

表 1 不同的土类在不同的位移形式下
达到不同的应力状态对应的位移量

Table 1 The different soils, their displacement
forms & corresponding displacements

土类	应力状态	位移形式	所需的位移量
砂土	主动	平移	$(-0.003 \sim -0.005)h$
	被动	平移	$> 0.05h$
	主动	绕前趾转动	$(-0.003 \sim -0.005)h$
粘土	被动	绕前趾转动	$> 0.1h$
	主动	平移	$(-0.004 \sim -0.010)h$
	主动	绕前趾转动	$(-0.004 \sim -0.010)h$

注: h 为挡土墙的高度

对于 k 、 b 、 p_0 等亦可通过原位测试得到 3 个点(p_1, s_1), (p_2, s_2), (p_3, s_3), 从而反算得到。

该式具有以下特点: ①当 $s = 0$ 时,

$$p_s = \left(\frac{k(\varphi)}{2} - \frac{k(\varphi) - 4}{2} \right) \frac{p_0}{2} = p_0 \quad (2)$$

即 p_0 为静止土压力;

②单调递增性:

$$\frac{\partial p_s}{\partial s} = \frac{kbe^{-bs}}{(1 + e^{-bs})^2} \frac{p_0}{2} > 0 \quad (3)$$

即土压力随着位移的增大而增大;

③有界性:

$$\text{当 } s \rightarrow +\infty \text{ 时, } p_s = \frac{k+4}{4} p_0;$$

$$\text{当 } s \rightarrow -\infty \text{ 时, } p_s = \frac{4-k}{4} p_0;$$

事实上, s 的取值范围为 $[s_a, s_p]$, 即 $[s_a, -15s_a]$;

④在 $x = 0$ 处有拐点:

当 $s > 0$ 时, $\frac{\partial^2 p_s}{\partial s^2} < 0$, 即开口向下方, 处于被动土压力状态;

当 $s < 0$ 时, $\frac{\partial^2 p_s}{\partial s^2} > 0$, 即开口向上方, 处于主动土压力状态;

当 $s = 0$ 时, $\frac{\partial^2 p_s}{\partial s^2} = 0$, 即处于静止土压力状态, 也即被动土压力状态和主动土压力状态的分界状态。

可见, 该模型较好的反映了挡土墙位移和土压力之间的关系。当 $s > 0$ 时, 即挡土墙挤土时, 处

于被动土压力状态; 当 $s < 0$ 时, 即挡土墙向着离开土的方向移动时, 处于主动土压力状态; 当 $s = 0$ 时, 即挡土墙没有任何侧向位移时, 处于静止土压力状态, 且静止土压力为被动土压力和主动土压力的分界线。

1.3 模型系数的关系

①当 $s = 0$ 时, 土压力为静止土压力, 即: $p_s = p_0$ 。由模型的特点(1)可知, 此条件自然满足。

②当 $s = s_p$ 时, 土压力为被动土压力, 即: $p_s = p_p$, p_p 为被动土压力, 则有:

$$p_p = \left(\frac{k}{(1 + e^{-bs_p})} - \frac{k-4}{2} \right) \frac{p_0}{2} \quad (4)$$

记 $A = e^{-bs_a}$ 和 $s_p = -15s_a$ 有:

$$p_p = \left(\frac{k}{1 + A^{-15}} - \frac{k-4}{2} \right) \frac{p_0}{2} \quad (5)$$

再由 $b > 0$ 和 $s_a < 0$, 有 $-bs_a > 0$, 从而有 $A > 1$, $0 < A^{-1} < 1$, $A^{-15} > 1$, $1 + A^{-15} > 1$ 。上式从而可以写为:

$$p_p \approx \frac{k+4}{4} p_0 \quad (6)$$

从而有:

$$K = \frac{4p_p}{p_0} - 4 \quad (7)$$

③当 $s = s_a$ 时, 土压力为主动土压力, 即: $p_s = p_a$, p_a 为主动土压力, 则有:

$$p_a = \left(\frac{k}{1 + e^{-bs_a}} - \frac{k-4}{2} \right) \frac{p_0}{2} \quad (8)$$

由 $A = e^{-bs_a}$ 有:

$$p_a = \left(\frac{k}{1 + A} - \frac{k-4}{2} \right) \frac{p_0}{2} \quad (9)$$

从而有:

$$A = \frac{k}{\frac{k-4}{2} + \frac{2k_a}{k_0}} - 1 \quad (10)$$

把 k 值代入, 有:

$$A = \frac{p_p - p_a}{p_p - 2p_0 + p_a} \quad (11)$$

记 $p_p = \frac{k_p}{k_0} p_0$, $p_a = \frac{k_a}{k_0} p_0$

其中: k_0 、 k_a 、 k_p 分别为静止土压力系数、主动土压力系数以及被动土压力系数。则 k 、 A 可分别表示如下:

$$k = \frac{4k_p}{k_0} - 4 \quad (12)$$

$$A = \frac{k_p - k_a}{k_p - 2k_0 + k_a} \quad (13)$$

$$\text{从而有: } B = -\frac{\ln A}{s_a} \quad (14)$$

综上所述可知:本模型较好的反映了土压力和位移之间的关系,且模型的系数可以通过土压力系数及主动土压力对应的位移量计算得到。

1.4 考虑位移的朗肯土压力计算公式

根据以上土压力的特点,笔者建立了建立如下考虑位移的朗肯土压力公式^[3]:

$$p_s = \left(\frac{k}{1 + e^{\frac{\ln A}{s_a}}} - \frac{k-4}{2} \right) \frac{(1 - \sin \varphi') \gamma h}{2} \quad (15)$$

其中:

$$A = \frac{\operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) - \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})}{\operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) - 2(1 - \sin \varphi) + \operatorname{tg}^2(45^\circ - \frac{\varphi}{2})} \quad (16)$$

$$k = \frac{4 \operatorname{tg}^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2})}{1 - \sin \varphi} - 4 \quad (17)$$

其中 φ 为土的摩擦角;

φ' 为土的有效摩擦角;

s_a 为达到主动土压力时的位移量;

γ 为土的容重;

h 为计算点离地面的高度;

s 为实际发生的挡土墙位移量;

p 为位移量 s 所对应的土压力。

由此可见:考虑变形的朗肯土压力可以用土的容重 γ 、计算点离地面的高度 h 、土的有效摩擦角 φ' 、土的摩擦角 φ 以及该点达到主动土压力时的位移量 s_a 来表达。

该式亦具有 1.2 中的特点。

2 与时间有关的土压力计算

2.1 土压力随时间的发展规律^[4]

土的应力应变状态受到时间的影响,这已为广大岩土工程技术人员所认知。在基坑开挖工程中,土压力的计算是一个复杂的问题,涉及的因素也很多,与时间有关的有渗流、固结、蠕变等。土压力是一个时间的函数,基坑从开挖到基坑支护

结构的完成,乃至建筑物建成几年、几十年,土压力一直随时间而变化。考虑到土的流变特性,研究土压力随时间变化,对于基坑开挖工程有着重要的理论价值和工程实用价值。由于目前用于基坑开挖方面的土压力计算理论如朗肯理论并没有考虑时间对土压力的影响,因而在实际应用中存在着局限性。本文拟在上一节的基础上考虑时间对土压力的影响,建立包括时间影响因素的土压力计算公式。

2.2 考虑时间的土压力计算公式

随着时间的增长,主动土压力逐步增大,而被动土压力逐步减小,当时间趋于无穷大时,不管是主动土压力还是被动土压力都将趋于静止土压力,基于这样的事实,考虑时间的土压力计算可表示为下面的形式:

$$p(s, t) = p_0 + e^{-nt} (p_s - p_0) \quad (18)$$

其中 t ——时间; n ——计算参数。

可以看出,上式能较好地反映土压力与时间的关系。当 $t=0$ 时, $p=p_s$, 当 $t \rightarrow \infty$ 时, $p \rightarrow p_0$, 这与实际情况符合。

3 与位移和时间有关的土压力计算公式

土压力的位移和时间因素是耦合作用的,根据上面位移对土压力和时间对土压力的影响分析,可以将土压力计算表示为下面的公式

$$p(s, t) = p_0 + p_0 e^{-nt} \left(\left(\frac{k(\varphi)}{1 + e^{-k s_a / \varphi}} - \frac{k(\varphi) - 4}{2} \right) - 2 \right) \gamma h \quad (19)$$

上式表明当 $t=0$, $s=0$ 时, $p=p_0$; 当 $t \rightarrow \infty$ 时, 无论 s 取什么值, $p=p_0$ 。极限状态下的土压力可采用 Rankine 土压力计算公式,也可采用其它方法。

4 结语

本文的研究主要是较好地描述了土压力随位移和时间变化的规律。虽然与位移有关的土压力计算公式是建立在离心模型试验的基础上,但终究缺少工程实例的验证。因此,工程实例的验证是本文需要进一步研究的内容。

参考文献:

[1] 钱家欢.土力学[M].南京:河海大学出版社,1995.

[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.

A Study of Environmental Effects on the Soil & Foundation Engineering

LU Fengui¹ ,LI Fei² ,CHENG Penghuan²

(1.Department of Project Cost ,Constrecton Bureau of Yancheng City ,Jiangsu Yancheng 224001 ,China
2.Department of Constrecton Engineering of Yancheng Institute of Technology ,Jiangsu Yancheng 224003 ,China)

Abstract :In the soft soil regions , safety problems not only in constructing of foundations , but also in soils all round of the engineering , should be considered carefully. Through related studying and practicing recently , the hot spots of environmental effects in the soil & foundation engineering are discussed , for instance , the soil with solid waste used , chemical treatment involved in pollution and the mechanical nature of the soil.

Keywords :soil and foundation ; environmental effect ; deformation ; settlement ; pollution

(上接第 57 页)

[3] 梅国雄 , 宰金珉 . 现场监测实时分析中的土压力计算公式 [J] . 土木工程学报 , 2000 , 33 (5) : 79 - 82 .

[4] 梅国雄 , 宰金珉 . 考虑变形的朗肯土压力模型 [J] . 岩石力学与工程学报 , 2001 , 20 (5)

[5] 徐日庆 , 俞建霖 , 龚晓南 . 基坑开挖中土压力计算方法探讨 [A] . 王铁宏 , 杨灿文 , 张在明 . 中国土木工程学会第八届土力学及岩土工程学术会议论文集 [C] . 北京 : 万国学术出版社 , 1999 , 667 - 670 .

Earth Pressure Model Considering Settlement and Time Effect

ZHAO Jianping , MEI Guoxiong , ZAI Jinmin

(Civil Engineering College , Nanjing University of technology , Jiangsu Nanjing 210009 , China)

Abstract :According to the characteristic that earth pressure p versus as the settlement of retaining wall , earth pressure model considering settlement is presented. On the basis of the model above , Rankine earth pressure model considering settlement is derived. Then according to the characteristic that earth pressure p versus as the time , earth pressure model considering time effect is presented. In the end , earth pressure model considering settlement and time effect is presented.

Keywords :settlement ; time effect ; earth pressure ; retaining wall