

文章编号 :1000-493X(2004)04-0067-04

“m”法在基坑开挖应用中的改进*

秦建设¹ 宋 丽²

(河海大学 江苏 210098) (西安交通大学 西安 710049)

摘要 深基坑开挖工程中,支护结构的强度设计和变形计算是保证顺利开挖进行的关键技术。“m”法以其计算参数选取简单,能模拟分级开挖,计算结果较为合理等优点而被广泛应用于基坑开挖挡墙受力计算分析中,文中通过理论分析开挖卸载对被动土压力计算的影响,并利用实测资料对 m 值进行反演分析,指出了“m”法应用中基坑开挖中的不足,提出了考虑卸载效应的适用于基坑开挖挡墙受力变形分析的改进的“m”法,并通过某一实际工程对改进的“m”法进行了初步验证。

关键词 深基坑开挖;“m”法;卸载效应;反分析

中图分类号 :TB121 **文献标识码** : A

1 引 言

深基坑开挖工程中,基坑支护结构的强度设计和变形计算为基坑工程。当前的深基坑实践证明^[1],作用于支护结构上的土压力开挖设计与分析中的一个重要环节,该环节解决的程度如何,关键因素取决于对于支护体上的受力分析与实际情况的吻合并非简单的主动土压力和被动土压力,而是一种位移土压力,土压力和支护结构的位移之间具有相互影响的关系,即支护结构在土压力作用下变形,反过来,支护结构变形的大小和形状又影响了土压力的分布,作用于支护结构上土压力的大小随着开挖的进行而在发展变化(如图 1 所示)。

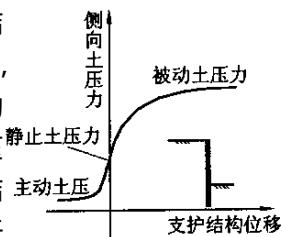


图 1 作用于基坑挡墙土压力与位移量关系

“m”法作为以土弹簧代表土抗力的弹性地基反力法,不仅能够反应土体反力大小与位移的关系,又能模拟基坑的逐级开挖,而且参数选取简单,计算易于实现,所以被广泛应用

于基坑开挖过程中支护结构受力变形计算分析。由于“m”法最初是应用于侧向受荷桩的受力计算分析,其计算工矿不同于基坑开挖,虽然在应用于基坑开挖中做了一些简化处理,但在考虑基坑开挖卸载效应方面存在不足。

2 “m”法及其在基坑开挖中的应用

“m”法是从侧向受荷桩的受力计算分析演变而来的^[2],其原理是以土弹簧反力代替桩前土体对支护结构的作用抗力,其中弹簧系数取值见下式

$$k = mz \quad (1)$$

式中: z 为土弹簧所在位置土层埋深;参数 m 与土的压缩模量等参数有关,其取值一般通过工程经验。

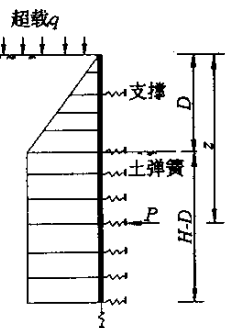


图 2 “m”法计算模型

“m”法在基坑开挖支护结构内力及变形计算中应用模型如图 2 所示,桩后作用于结构上的土压力仍按古典土压力理论计算,基坑底部以上为线性增

* 来稿日期:2003-10-21 修回日期:2004-04-26

第一作者简介:秦建设,男,1973 年生,河海大学土木工程学院博士生。

长,底部以下为恒值,因为坑底以下桩前桩后均存在土压力,作此简化是为了计算方便,同时该假设也符合得到主动土压力所需的位移量极小这一情况。支护桩前作用于结构的土压力用线性弹簧模拟,弹簧土抗力计算式为

$$P = k_y = m(z - D)y \quad (2)$$

式中: D 为基坑开挖深度; z 为未开挖前土弹簧所在土层深度; y 为土弹簧处结构位移

3 “m”法应用于基坑开挖中的分析

基坑开挖工程中,如何考虑由于开挖引起的卸载效应对支护结构前被动土压力计算的影响,是正确计算和分析结构受力变形的前提。

3.1 基坑开挖卸载对被动土压力计算的影响分析

深基坑开挖工程中,基坑开挖卸载使得坑底土体膨胀回弹,其抗剪强度随时间或逐渐排水发生变化。支护体前的土体处于卸载状态,可看成是一种超固结土。魏汝龙^[3]利用其提出的综合性强度理论,分别从排水强度、固结快剪强度、有效应力强度方面讨论了考虑卸载效应对土体抗剪强度指标变化的影响计算。其计算表明,开挖卸载引起的超固结比使得强度指标发生折减,而且在基坑开挖面以下,随着深度的增加,超固结比越来越小,卸载效应越不明显。

Nakase^[4]等人的试验结果也表明,开挖卸载引起的不排水强度的减少仅与该深度处土的超固结比有关。正常固结土的基坑开挖,开挖面以下各点的超固结比数值不同,它随深度而减小,至很深处趋于正常固结。由此可见,随着开挖面以下深度增加,超固结比减少,不排水强度提高,至很深处则接近于土的天然强度。

由上述可知,基坑开挖卸载导致下方土体处于一定超固结状态,从而引起支护结构墙前被动土压力计算的土体强度指标发生变化,进而引起相应被动土压力计算的变化。

3.2 当前“m”法对开挖卸载考虑的不足

“m”法是从侧向受荷桩的受力计算分析演变而来的,其应用于受侧向荷载的桩等结构分析计算中较为成功,而当其引入到基坑开挖计算分析中时,作用于结构的侧向土体本身会由于上覆土层的开挖而影响其抗变形能力。当前的“m”法计算中,对卸载后支护墙前被动土压力的计算,仅简单地移去上层土,并没有考虑原来上覆土层卸载后引起基坑下一定深度土体处于超固结状态。但由上述可知,开挖卸载会

使墙前开挖面下方土体一定程度处于超固结状态,所以计算墙前被动土压力应该考虑原有上覆土层的影响。从这一点在一定程度上对“m”法中 m 值不受上覆土层开挖影响提出了异议。

作者^[5]采用位移土压力的概念计算基坑开挖中墙前支护土压力,建立简化的位移土压力计算模型如图3所示,支护结构墙前受到的土抗力由土弹簧力和静止土压力两部分组成。反应土压力与位移关系的土弹簧系数为

$$k = \frac{\text{极限被动土压力} - \text{静止土压力}}{\text{达到极限被动土压力位移量}} \quad (3)$$

分析中,土压力计算采用朗肯土压力理论,则任一位置 i 处的土抗力为

$$P_i = \gamma(z_i - D) \frac{\tan^2(45^\circ + \frac{\varphi}{2}) - k_0}{\delta_i} y_i + \gamma(z_i - D) k_0$$

$$= N_i(z_i - D) y_i + \gamma(z_i - D) k_0 \quad (4)$$

式中: δ_i 为 i 位置处土体达到极限被动土压力时所需的位移量; γ 为土的容重; φ 为土的内摩擦角; k_0 为 i 位置处土的静止侧压力系数

上式中,若 k_0 为常量,结点 i 位置土抗力的大小除与深度成线性关系外,还与该土层的土质参数有关,而不受原有上覆

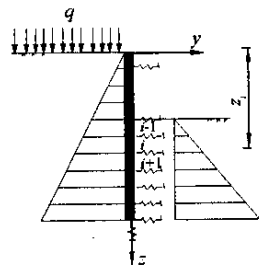


图3 简化后的位移土压力计算模型

荷载影响。此时,式(2)与式(4)具有相似的意义,即位移土压力法与“m”法相似。实际上Schmidt(1966)、Sheriff(1973)、Tcwenas(1975)及姜朴、方涤华(1981)等人^[5]的研究都表明静止土压力系数 k_0 的取值与土层的应力历史有关,同时随超固结比的增加而增加。此时,由位移土压力计算模型可知,墙前土压力的大小不仅与开挖深度有关,而且与土层受上覆荷载引起的超固结比有关。

3.3 位移反分析法对“m”法应用于基坑的分析

由于“m”法中 m 值的选取经验性较大,所以目前确定 m 值时采取位移反分析方法能够较为准确的确定 m 值的大小^[6]。位移反分析法就是通过基坑开挖各工况下支护结构位移实测值,选取“m”法计算结构变形的力学模型及相应的边界条件,构成合适的目标函数,采用最优化技术来反推待求的土层参数 m 值。

秦建设^[5]通过某一工程实例,运用位移反分析

方法,对每一工况 j 建立目标函数

$$f = \sum_{i=1}^N [u(j,i) - u(j,i)^*]^2 \quad (5)$$

式中： N 为测点总数； $u(j,i)$ 、 $u(j,i)^*$ 分别为测点 i 在 j 工况的水平位移计算值和实测值。

通过每级开挖支护结构的位移实测位移值反求 m 值,计算结果表明,支护结构前开挖面下某一深度土层的 m 值,随着开挖深度的变化而变化,并且呈增大的趋势。这也说明了原有上覆土压力对 m 值的影响。

4 “m”法应用于基坑开挖分析中的改进

由上述分析可知,目前的“m”法对于基坑开挖中被动土压力的计算没有考虑开挖后原有上覆土压力造成的超固结比的影响。本文借鉴开挖卸载对土体抗剪强度影响的思路,提出考虑卸载引起的超固结比对 m 值的影响计算公式为

$$m = m_{Nc} \times (\frac{p_c}{p})^\alpha \quad (6)$$

式中： m_{Nc} 为土层的正常状态下的土抗力系数； p_c/p 为土层的上覆土压力比值， $p_c = r_B \times h$ 为开挖前的上覆压力， $p = r_B$

$\times (h - D)$ 为开挖后的上覆压力(如图 4 所示)； α 为 0 ~ 1 之间的系数,其取值大小与基坑开挖速度、开挖间隔时间、土体的渗透性等影响固结度的参数有关,当基坑开挖较为缓慢,土体有充分时间发生膨胀时,取 $\alpha = 0$ ；当基坑开挖速度较快,土体来不及膨

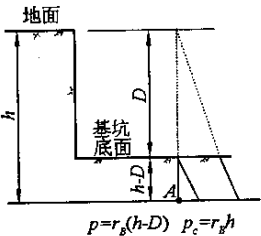


图 4 开挖前后基坑下某一点的上覆土压力

胀,卸载效应没有发挥时,取 $\alpha = 1$ ；在正常开挖中,作者经部分工程实测资料分析,建议取值为 $\alpha = 0.4$ 左右。

改进后的“m”法中支护结构墙前被动土压力计算公式为

$$P = m \times (\frac{p_c}{p})^\alpha (z_i - D) \times y \quad (7)$$

式中各参数意义同上。

5 工程实例

应用改进的“m”法对某一基坑工程支护结构位移进行了计算与分析。

5.1 工程概况

南京商贸广场,地下室 3 层,局部 4 层,地下室埋深大于 15 米。采用地下连续墙加钢筋混凝土支撑做为围护结构方案。地下连续墙厚为 800mm,深度为 25m,在竖直方向设置了三道斜支撑,三道竖向斜角支撑的中心标高分别为：- 2.4m, - 7.1m, - 11.0m,第一道支撑断面 1000 × 800mm²,第二道支撑断面 1200 × 800mm²,第三道支撑断面 1300 × 900mm²。

5.2 计算参数

基坑开挖各土层参数及改进“m”法中 m 值参数见下表 1。其中土抗力系数 m 值的选取参考了《建筑桩基技术规范》及土层的压缩模量。

5.3 计算工况

该地区开挖 14.1m,没有架设第三道支撑。

- 工况 1 基坑开挖到地下 2.9m 处；
- 工况 2 在 - 2.4m 处架设第一道支撑；
- 工况 3 开挖到地下 7.5m 处；
- 工况 4 在 - 7.1m 处架设第二道支撑；
- 工况 5 开挖到地下 14.1m 处。

表 1 计算所需土层参数表 地下水位稳定在 - 1.2 米作用

土层名称	层厚(m)	压缩模量 E_s	比贯入阻力 p_s	重度	抗剪强度指标		土抗力系数 m
		MPa	MPa	kN/m ³	C (kPa)	φ (度)	kN/m ⁴
填土	3.2		0.80	18.3	10.0	12.0	2700
粉土 - 粉沙	4.4	10.7	0.43	18.7	10.0	26.0	5800
淤泥质土 - 粉质粘土	9.4	4.4	2.91	18.4	10.0	18.0	1600
粉质粘土	4.0	7.5	0.83	19.6	34.1	20.7	5500
粉土	4.0	10.3	2.14	20.0	55.8	20.4	7000

5.4 计算结果

采取本文提出的改进“m”法对基坑西侧连续墙测斜孔 QX8 位置处墙体位移进行分析计算,基坑开挖速度及排水情况同于一般工程,取 $\alpha = 0.33$,结果

如图 5 所示。

5.5 计算分析

由图 5 可知,计算的地下连续墙墙体位移值与实测值曲线较为吻合。

6 结 论

本文通过对常规“ m ”法应用于基坑支护结构设计中的不足,通过分析基坑开挖卸载对土体强度的影响,对常规“ m ”法应用于基坑设计分析中提出了改进,得出以下结论与建议:

基坑开挖中,土体的卸载会对下方土体的强度产生影响,其影响的大小与施工造成的超固结比有关。

1) 采用本文提出的修改的“ m ”法应用于基坑开挖中时,克服了常规“ m ”法的不足,能够考虑卸载效应的影响;

2) 本文提出的改进的“ m ”法能够考虑开挖速度、开挖土体的渗透性等参数 α 的影响;

- 3) 对本文提出的改进的“ m ”法中的参数的取值问题,需要进一步通过工程应用来提供其取值参考;
- 4) “ m ”法中 m 值的选取任意性较大,从而影响计算结果,在选取时应结合当地经验;
- 5) 本文提出的改进的“ m ”法结合位移反分析方法,可应用于基坑开挖支护结构的位移预报。

参 考 文 献

1 Lee I K , White W , Ingles O G , et at. 岩土工程 [M]. 俞调梅,叶书麟,曹名葆等译. 北京:中国建筑业出版社,1986

2 横山幸满. 桩结构物的计算方法和计算实例 [M]. 唐业清 吴庆荪译. 北京:中国铁道出版社,1984

3 魏汝龙. 开挖卸载与被动土压力计算 [J]. 岩土工程学报,1997, 19(6):88~92

4 杭州市建筑业管理局,杭州市土木建筑学会. 深基坑支护工程实例 [M]. 北京:建筑工业出版社,1996

5 秦建设. 深基坑开挖工程中位移土压力法研究及其对“ m ”法的完善 [硕士学位论文] [D]. 南京:河海大学,1999

6 熊巨华,李建华. 基坑围护工程中土体水平抗力系数 m 值的分析与确定 [J]. 建筑结构,1998, 000(006):39-41,59

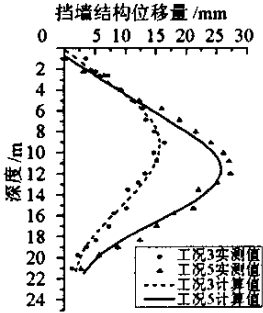


图 5 改进后“ m ”法
计算墙体变形值