

等 值 梁 法 的 改 进

殷德顺^{1,2}, 王保田²

(1. 河海大学工程力学系, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学岩土工程研究所, 江苏 南京 210098)

摘 要:等值梁法是应用最广泛的一种用以计算支护内力的方法,但它只能以强度来控制设计。结合土压力位移关系,应用基本的力学方法,对等值梁法进行了改进,使它考虑支护的变形进行设计,从而更加适合工程要求。改进后的等值梁法仍然保持了简单实用的特点。通过与有限元法比较,改进后的等值梁在计算变形方面可以取得较好的结果。

关键词:等值梁法;土压力位移关系;变形

中图分类号:TU43 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2008)04-0035-04

Improvement on the Equivalent Beam Method/YIN De-shun^{1,2}, WANG Bao-tian² (1. Department of Engineering Mechanics, Hohai University, Nanjing Jiangsu 210098, China; 2. Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing Jiangsu 210098, China)

Abstract: Equivalent beam method is widely used to calculate the internal forces of the retaining structure, but intensity of retaining structure is the only reference to the design. This paper give an improvement to the equivalent beam method by using relationship between soil pressure and displacement and some mechanical measures, so the design can be made according to deformation of retaining structure. The improved equivalent beam method is still simple and practical and can bring satisfied result in deformation calculation.

Key words: equivalent beam method; relationship between soil pressure and displacement; deformation

0 引言

由于基坑开挖将会使周围建筑物及地下管线产生一定的位移,所以为了保证周围建筑物及地下管线的的安全,基坑开挖设计时必须严格控制支护结构的变形,因此,目前基坑支护设计已逐步由强度控制转变为变形控制。

等值梁法是当前我国工程界中应用最广泛的一种用以计算支护内力的方法,但它是一种不考虑土与结构变形的近似计算方法,也就是说等值梁法是以强度来控制设计,不能考虑变形的问题。等值梁法因为其简便而被广泛使用,但是,如果它不能克服无法考虑变形缺点,这个简单实用的设计方法有可能被淘汰。

本文通过考虑土压力位移关系,对等值梁法进行改进,使该方法不仅保持了原来的简单实用的特点,而且能够得到考虑支护的变形进行设计。

1 等值梁法简介

通常支护结构需要有较大的插入深度,故可假定支护在底端范围内是固定的。超静定结构的内

力,光靠力的平衡条件是无法求解的,必须引入变形协调条件。等值梁法假定基坑底面下某点为假想铰,然后按照弹性结构简支梁或连续梁求得围护结构的内力。

下面以单支点支护(见图1)为例,说明等值梁法^[1]的应用。

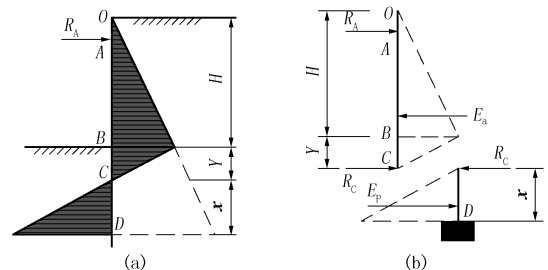


图 1 等值梁法示意图

(1) 先计算支护上各点所受的主动土压力和被动土压力;假定基坑底面以下反弯点的位置取在土压力为零点的 C 点,并视为等值梁的一个铰支点。

(2) 将支护在 C 点切开,把支护分为上下两段, OC 段为简支梁, CD 段为在 D 端固定的悬臂梁。假

收稿日期:2007-06-12

基金项目:河海大学创新基金项目

作者简介:殷德顺(1972-),男(汉族),山东莱州人,河海大学讲师,在职博士研究生,岩土工程专业,从事基础力学教学和土的本构模型及基本理论研究工作,江苏省南京市西康路1号,个人网页:www.ismm.ac.cn/yindeshun,yindeshun@hhu.edu.cn.

定在切面处弯矩等于零,但存在剪力 R_c ,剪力 R_c 的大小和支点水平力 R_A 可以通过求简支梁 OC 的静力平衡方程得到,进而求得支护的最大弯矩,见图1(b)。

(3)对于 C 点以下的悬臂梁 CD ,建立对桩底端点 D 的力矩平衡方程,求得 x 。一般情况下,入土深度为 $Y+Kx$,其中 K 为增大系数,根据实际情况在1.2和1.5之间取值。

对于多支撑支护结构也可按上述的等值梁法的原理进行简化计算,计算时假定支护在相邻两支撑之间为简支梁,然后根据分层挖土深度与每层支点设置的施工情况分层计算,并假定下层挖土不影响上层支点的计算水平力,由此即可计算支护的弯矩和支撑作用力。

2 等值梁法改进的思路

根据前面叙述,不难发现,在计算内力和入土深度方面等值梁法确实简单,但它没有办法求解支护结构的位移。本节将介绍利用基本的力学知识,并结合土压力位移关系,求支护结构的位移的方法。

2.1 等值梁法改进的指导思想

为了使改进后的等值梁法简单实用而又符合实际,并能被一般工程设计人员掌握,笔者的改进遵循以下原则:

(1)由现有的等值梁法得到整个支护的长度。本文在考虑等值梁法的改进时,曾经设想根据设定反弯点的位移并根据土压力位移关系重新寻找土压力为零的位置,从而求得图1中新的 Y ,但在实际操作中发现这样得到的 Y 太大,与现实不符,又考虑到等值梁法既然能够被广泛应用必然有一定的实用性,所以不再对支护的长度作改变,就用现有等值梁法得到的长度来计算整个支护的长度。

(2)计算变形时把 D 端(支护结构底端)视为铰接。因为一般情况下支护结构的刚度大于土体刚度,所以土体根本无法限制支护结构底端的转角,也就是说 D 端不能视为固定端,而应该视为铰接。当然,因为实际中 D 端的这个铰不存在,所以, D 端虽然可以认为是铰接但它的铰约束力(水平方向)为零。

(3)图1中 D 端(支护结构底端)存在位移。多数基坑实测发现支护底端存在位移,除非支护设计时不顾浪费,使支护插入深度非常大。

(4)考虑土压力位移关系。众所周知,支护结构发生位移,作用在它后面的土压力将重新布置,即

土压力与位移最终将达到相互协调。考虑到简单的原则,土压力位移关系采用线性关系。

(5)考虑支撑的变形。在计算变形时,将支撑作为弹性杆件考虑它的变形。

以两支撑支护结构为例,其计算简图如图2。需要说明的是 D 端的铰的作用是用来使结构平衡,因为现有的等值梁法求内力时,没有考虑 D 端的力的平衡(只考虑力矩的平衡)。

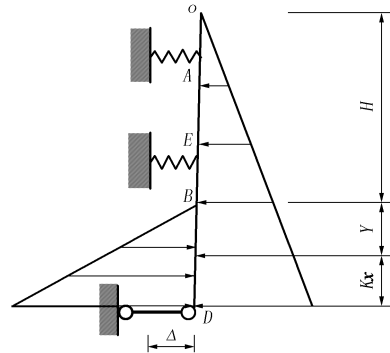


图2 计算简图

2.2 支护结构位移求解过程

本文利用图2所示计算简图为例,说明支护结构位移求解过程,步骤如下:

- (1)利用现有等值梁法计算出支护最小长度。
- (2)根据实际情况得到计算简图,如图2。
- (3)根据过程需要设定 D 端支座的位移 Δ 。
- (4)在需考虑 D 端位移 Δ 的情况下,利用《结构力学》^[2]程序求出图2中梁的支座反力及弹簧的位移(Δ_A, Δ_E)。
- (5)利用《材料力学》^[3]中的初参数法,把 Δ_A, Δ 作为边界条件,求出图2中梁上各个位置位移 u_0 。
- (6)利用土压力位移关系求出由(5)得到的位移所对应的土压力,将此土压力作为荷载作用在图2梁上,重新利用(4)、(5)得到新的位移 u_1 。
- (7)利用 u_0, u_1 比较差值,当相差非常小,达到一定要求内时,认为达到所求值。否则重复(4)~(6)。
- (8)比较 D 支座作用力是否小于设定要求,否则重新设定 Δ ,并重新执行(4),直至 D 支座作用力接近0或达到一定要求。

(9)利用(5)可求得弹性支座既支撑的压力,梁 AC 的最大弯矩 M_{max} 和最大水平位移 ω_{max} 。

笔者采用FORTRAN 90编制了等值梁法程序用于计算基坑开挖过程中的支护内力变形,将本文的思想运用于其中,计算流程见图3。需要说明的

是笔者编制的程序实际上是文献[2]、[3]中已公开的源程序的组合,这样做的目的是保证学习过基本力学知识的设计人员也能够编制出自己的软件。

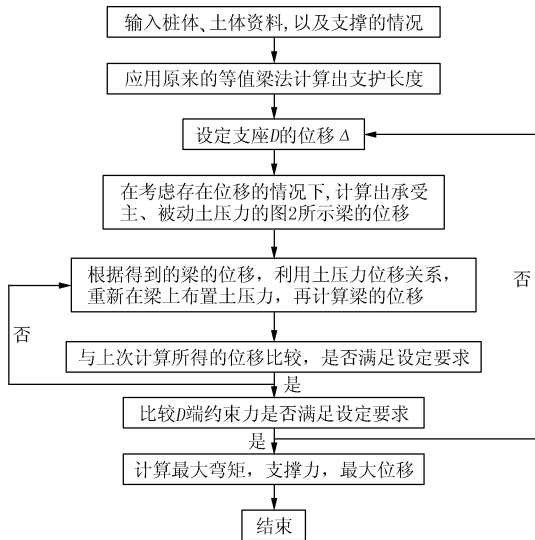


图3 计算流程图

通过对等值梁法改进,使等值梁法不仅能够得到弯矩而且可以得到最大位移,从而实现利用变形进行设计的目的。在应用过程中,设计者可以先用现有的等值梁法得到支护结构的长度,然后,用笔者的方法计算位移,如果发现位移不满足要求,可以通过调整支护的刚度或长度等措施,重新调整设计,作到既要满足变形要求又要最省材料的目的。另外,改进前后都可以得到支护最大弯矩,设计者也可以比较它们,更好的指导设计。

3 算例

南京某办公楼基坑大致呈长方形,长 89.0 m,宽 60.0 m,基坑深 8.00 m,支护桩桩径为 1.00 m,其弹性模量为: $E = 2.87 \times 10^7$ kPa,水平支撑位于支护结构顶部,计算时的压缩刚度: $EA/L = 47656$ kN/m,考虑到基坑的空间作用,且支护旁的土并不直接与支护接触,所以作用在支护桩上的土的计算宽度为 1.50 m,基坑支护结构后侧土体的强度参数 $c' = 20.6$ kPa、 $\varphi' = 28.6^\circ$ 、 $\gamma' = 9.1$ kN/m³。

土压力位移关系采用 Снитко,吴伟强^[4]等提出的线性关系,关系示意图见图 4。主动土压力和被动土压力由朗肯土压力理论得到,发动主动土压力和被动土压力的位移采用 Mehmet A. Sherif^[5](1984)通过模型实验得到的“同一挡土结构物在不同深度处达到极限状态所需的位移基本相同”的结论且对于粘土发动主动土压力的位移为(0.004 ~

0.010) H ,其中 H 为围护结构的高度(m),以及《加拿大手册》采用的对于粘土发动主动土压力和被动土压力的位移关系一般是 1: 2 的关系,所以本例采用发动主动土压力的位移为 0.6 m,发动被动土压力的位移为 0.12 m,之所以取的发动主、被动土压力的位移较小是由于当土体从静止位置发生不大的位移时,土压力变化较快。

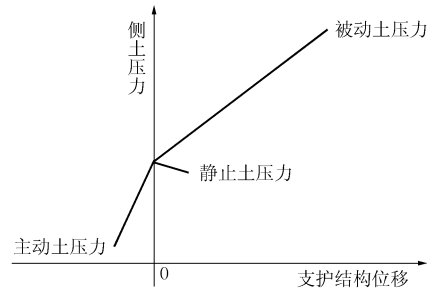


图4 线性土压力位移关系

本文采用程序计算时,等值梁法改进思路第(7)中的比较差值的相差不大于 5%;设定 D 支座的约束力小于 1 kN 即达到要求。

按原来的等值梁法得到的支护长度为 16 m。在此基础上,经过计算当设定 A 端位移 23 mm 时,满足要求。改进前后的计算结果见表 1。可见,由于考虑了土压力位移关系作用在支护上的最大弯矩明显增加,支撑力也增加。产生的最大位移为 23.74 mm,如图 5。与有限元计算结果(最大位移为 21 mm)相差不大,但支护底的位移明显较有限元计算结果大,笔者分析这是由于没有考虑支护与土的摩擦所致。可见在较好的设定 D 端位移的情况下,改进后的等值梁法可以较好的得到支护的位移,从而有利于用变形控制设计。

表 1 等值梁法改进前后内力变形对比

项目	最大弯矩/(kN·m)	最大位移/mm	支撑力/kN
改进前	249.27		57.3
改进后	320.4	23.74	134.5

4 结语

本文利用《结构力学》中求超静定结构约束力和《材料力学》中求静定梁位移的方法,利用现有等值梁法计算出支护最小长度和把支护底端视为铰接等措施,通过考虑土压力位移关系,对支护设计中的等值梁法进行了改进,并编制程序,使等值梁法不仅能够得到弯矩既可以根据强度来设计支护,而且由于考虑了支护的变形,使等值梁法可以根据现实的位移要求来设计支护,并通过算例比较了改进前后

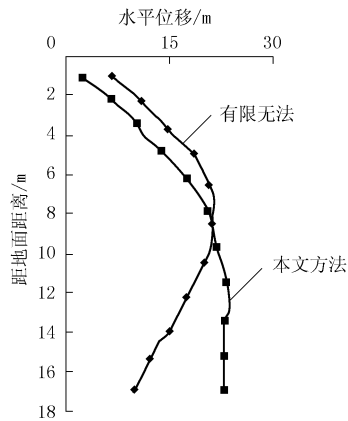


图5 结果比较

的变化。比较发现有限元计算结果与改进后的等值梁法结果相差不大,说明这种改进可以弥补等值梁法的不足,达到利用变形控制设计的目的。

另外,本文计算约束力和位移的程序都是文献

[2]、[3]中公开的源程序,本文使用的土压力位移关系也是最简单的线性关系,笔者之所以采用这样的改进手段,就是保证改进后的等值梁法仍然保持简单实用的特点。

当然,本文有关等值梁法的改进还有待广泛应用的验证。

参考文献:

- [1] 高大钊. 土力学与基础工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998.
- [2] 胡维俊. 结构力学[M]. 南京: 河海大学出版社, 1993.
- [3] 徐道远. 材料力学[M]. 南京: 河海大学出版社, 1989.
- [4] 吴伟强. 基坑支护结构计算的位移土压力法[J]. 建筑结构, 1997, (9): 19 - 21.
- [5] Mehmet A. Sherif, Yung - Show Fang, Russell I. Sherif. K_A and K_0 Behind Rotating and Non - Yielding Walls [J]. Journal of Geotechnical Engineering, 1984, 110(1): 41 - 56.

(上接第 30 页)

(2) 糯东井田 1903 号钻孔终孔孔深 1041.76 m。由 3702 机场施工, 8 月 2 日开孔, 9 月 30 日终孔。孔内返出的冲洗液实测性能为: 密度 1.05 g/cm^3 , 漏斗粘度 25 s, (API) 中压失水 10.5 mL, 泥皮厚度 $< 0.5 \text{ mm}$, pH 值为 9, 含砂量 $< 1\%$ 。该孔 17 号煤层厚达 15.76 m 多, 为单一结构且无夹矸的情况下一次顺利将煤层钻进完, 不仅保证了正常施工, 而且还保证了连续几天的物探综合测井及井温测试, 钻孔质量达特级。

(3) 糯东井田 1405 号钻孔终孔孔深 603.25 m。由 3705 机场施工, 9 月 3 日开孔, 9 月 20 日终孔。

孔内返出的冲洗液实测性能: 密度 1.02 g/cm^3 , 漏斗粘度 21 s, (API) 中压失水 10.5 mL, 泥皮厚度 $< 0.5 \text{ mm}$, pH 值为 9, 含砂量 $< 0.1\%$ 。施工及测井相当顺利, 钻孔质量达特级。

5 经验和体会

绳索取心钻进工艺必须采用优质泥浆, 才能达到高转速钻进, 充分发挥金刚石钻头的效率, 优化钻井参数, 达到高效钻进的目的。在地层条件较好的孔段, 应尽量采用无固相冲洗液; 在煤系地层, 必须采用低固相的“防塌”冲洗液。不论哪种冲洗液都应加入适量的润滑剂, 起到较好的润滑和减阻作用。

(上接第 34 页)

Mindlin 解在大单桩桩侧竖向平面荷载以及桩端水平面荷载的面积分以及桩土协调条件, 最终得到一种计算群桩沉降和群桩周围土体沉降的新方法。

(2) 应用本文方法对上海 2 个实际工程进行了计算分析, 分析结果与上海地区桩基沉降经验及实测结果基本吻合。本文方法可以较好的计算分析分层土中桩基础邻近土体的沉降情况。

(3) 本文方法可用于计算群桩对位于群桩桩身周围土体中构筑物(隧道, 管线等)的影响。

(4) 在本文方法的基础上, 可以进一步研究群桩与群桩之间的相互作用, 进而研究高层建筑桩群

引起的区域性地表沉降。

参考文献:

- [1] Poulos H. G., Davis E. H. The Settlement Behavior of Axially-Loaded Incompressible Piles and Piers [J]. Geotechnique, 1968, (8): 351 - 371.
- [2] Mindlin R. D. Force at a Point in the Interior of a Semi-infinite Solid [J]. Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series, 1936, (7): 195 - 202.
- [3] 徐凌. 软土盾构隧道纵向沉降研究[D]. 上海: 同济大学, 2005.
- [4] 楼晓明, 刘建航. 高层建筑桩基础对邻近隧道的监测影响与分析[J]. 同济大学学报, 2003, 31(9): 1014 - 1018.
- [5] 闫静雅. 桩基础全寿命期对邻近已有隧道的影响研究[D]. 上海: 同济大学, 2007.