

关于“基坑支护桩结构优化设计”的讨论

平 扬

(香港科技大学 土木工程系, 香港)

中图分类号: TU 473.1⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000 - 4548(2001)05 - 0646 - 02

作者简介: 平 扬, 男, 1972 年生, 1995 年毕业于同济大学地下建筑与工程系, 2000 年获博士学位, 现从事岩土工程数值分析研究工作。

发表于《岩土工程学报》2001 年第 2 期的“基坑支护桩结构优化设计”一文(作者莫海鸿, 周汉香, 赖爱平, 以下简称“原文”), 对圈梁 - 支护桩体系的优化设计理论进行了探讨, 但其中有几个问题值得讨论与澄清。

(1) 关于圈梁的作用

原文在前言中提到将圈梁作为安全储备, 可能使得支护桩偏于不安全, 这一点颇令人费解。假定土压力大小及型式沿计算宽度方向保持不变(这一点后面还将讨论), 一般来说, 圈梁将在桩顶起约束作用, 达到减小所有支护桩桩体位移的作用, 同时减小了桩身受到的最大剪力及弯矩^[1]。对于非均布的土压力分布, 圈梁将起变形协调作用, 从而减少受土压力影响较大的桩的位移及内力。如按忽略圈梁作用来设计支护桩, 对支护桩来说应该是偏安全的。

(2) 对使用增量法计算效应系数的疑问

原文认为式(1)、(2)右端项 6 个效应系数应采用增量法计算, 对 U_{E_i} 和 E_i 没有疑问, 而根据原文文献[2]及相关资料^[1~3], 其余 4 项都是假设桩体插入线弹性的土体, 按竖向弹性地基梁“ m ”法计算, 它们只与桩体材料的弹性模量、桩的截面面积、土体 m 值等有关。也就是说, 这些只与系统特性相关的桩体柔度系数, 表征桩顶在单位水平荷载及单位弯矩影响下的变形特征, 而与外荷载、土压力及它们的增量无关。那么, 这些效应系数只能与开挖深度增量相联系, 当然与开挖深度有关。但在不同开挖深度时, 这些效应系数似无法用原文文献[2]的增量法解出, 原文如何用增量法确定这 4 个效应系数?

(3) 附加荷载法与附加刚度法

原文在同步优化基本思路中, 提出用这两种方法确定各工况支护桩与圈梁之间的相互作用力, 但用式(9)计算各工况附加荷载似有不妥, 特别是支护体系中带有支撑的情形, 此时圈梁与支撑对桩顶位移及转角都将产生影响。故原文式(5)、(6)应修正为

$$U_{E_i} - \frac{U}{P} T_i - \frac{U}{P} M_i - \sum_{l=1}^P \frac{U}{s_{ll}} K_{ll} h_l = \sum_{j=1}^n \frac{U}{B_{ij}} T_j$$

$$U_i - \frac{P}{T_i} T_i - \frac{P}{M_i} M_i - \sum_{l=1}^P s_{ll} K_{ll} h_l = \sum_{j=1}^n B_{ij} M_j$$

式中 $\frac{U}{s_{ll}}$, s_{ll} 分别为单位水平支撑力在桩顶产生的水平位移及转角; K_{ll} 为第 l 道支撑弹簧的刚度; h_l 为第 l 道支撑的压缩(拉伸)变形量; P 代表该工况条件下内支撑的数目; 其余参数同原文(原文式(6)的等式右端是错误的)。与原文类似, 支撑以一维弹簧模拟。由于 h_l 未知, 而且和桩身位移相关, 上述方程不可解, 也就是此时得不到原文式(9)、(10)。原文文献[5, 6]以及相关研究均无法考虑带支撑结构的圈梁与桩相互作用力^[3]。原文中的附加荷载如何确定及原文表 1 ~ 4 的结果从何而来?

至于附加刚度法, 可用悬臂段工况桩顶作用力与桩顶位移和转角的关系来确定 K_{bb} 和 K_b 的值, 而且支撑的作用可以被考虑。但原文式(3)、(4)中 T_j , M_j 对后继工况的影响在此方法中被忽略; 也就是说, 圈梁和桩的相互作用未被充分考虑, 对圈梁作用的忽略会使原文结论(1)立论的基础被大大削弱。

总之, 无论是附加刚度法还是附加荷载法均不能完全包含圈梁、支护桩和内支撑的共同作用问题。

(4) 圈梁优化设计的置疑

原文提出圈梁优化设计是在满足最后工况支护桩变形曲线面积值收敛这一条件下进行分析。根据原文的优化目标与方法, 无法保证各施工阶段最优截面是完全一致的。笔者认为, 这时应该取最危险工况的结果作为设计依据(显然它不一定是最后工况)。况且, 如上一节所述, 在对有内支撑参与作用的工况中桩顶力和弯矩是无法计算的, 此时优化设计如何进行, 还请赐教。

(5) 应充分考虑桩土压力的重分布

原文未提及桩后土压力问题, 但在杆件有限元分析深基坑工程排桩 - 内支撑体系过程中, 非开挖面土压力作为外荷载考虑, 其大小、分布型式及变化对支护桩及内支撑(如桩体位移, 内力分布, 内撑支撑力大小等)的影响是显而易见的。也会在很大程度上决定支护桩结构优化的结果。从原文来看, 原文作者显然想对具备多支撑的排桩支护体系进行优化。对于带有支撑的排桩, 支撑对桩后土压力的影响早在 20 世纪 40 年代已由太沙基等作过研究^[4], 如图 1 所示。

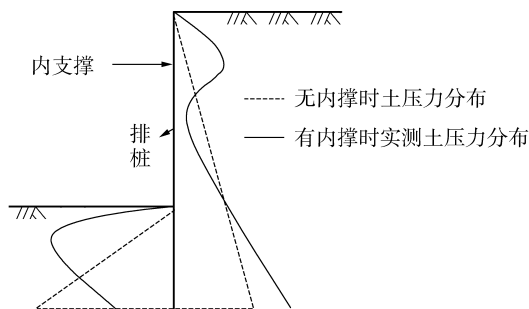


图 1 土拱效应示意图

Fig. 1 Arching effects

在内支撑影响范围内主动侧土压力增大, 而在远离内支撑的一定区域内主动侧土压力减小, 同时内支撑对开挖面下的土压力分布产生影响, 这种土压力的重分布行为即为著名的土拱效应(arching effects)。研究表明^[5]: 在多支撑体系中, 内支撑之

讨论稿收稿日期: 2001 - 06 - 05

答复稿收稿日期: 2001 - 07 - 04

间的相对刚度,墙后不同土体之间的相对刚度及约束条件的差异,都可能使得桩后土压力重分布,从而产生土拱效应,而且这种土拱效应在内撑数量、位置变化时尤为明显。原文在施工工艺优化设计一节中,对支撑位置优化过程中使用相同土压力及土压力增量而对这种土拱效应置若罔闻。原文文献[5,6]没有内撑或支撑约束影响范围较小,采用朗肯土压力分布引起的误差;但这种分布应用到多撑系统会引起较大误差。原文文献[2]对土压力的规定在多撑体系中应用是偏保守的,用一个保守条件去进行优化设计恐怕太过牵强。

原文在使用附加刚度法计算时,取基坑中部桩对支护桩进行结构计算,这种方法的可行性,很大程度上取决于土压力沿计算宽度的分布。研究表明^[6]:在基坑转角处宽度相当于开挖深度的范围内(主要在软粘土地区),土压力的分布类似于抛物线;而在该区域外,土压力的分布基本均匀。当然,这种分布与支护类型、土的种类等有关,但若仅仅只考虑中部的桩,显然是不够全面客观的。

(6)其他

原文在优化目标3中提出满足开挖侧土弹簧未全部屈服,并通过摩尔-库伦准则来判断屈服。原文作者如何知道各开挖阶段开挖侧土体的应力状态并进而判断其是否屈服?因为这时部分土体处于卸载状态,部分处于加载状态,应力状态极其复杂,只能通过考虑桩土共同作用的数值方法确定。原文通过杆系结构有限元法(这种方法往往假定土体为弹性地基)只能得到土弹簧力,而决得不到土体特别是靠近桩的那部分土体的全部应力状态分量。

(7)对排桩支护结构优化的建议

综上所述,原文既不能考虑土拱效应这样的桩土共同作

用,也不能充分考虑桩-圈梁-内支撑结构之间的协同作用,其优化结果只能是空中楼阁。考虑桩-土共同作用的三维数值模拟方法是解决这一问题唯一可行的数值方法。它可以解决杆系有限元方法的一些缺憾,充分考虑土的应力状态、结构-结构、结构-土体之间的共同作用,并能对饱和软粘土条件下深基坑支护体系短期、长期性态及固结耦合效性给予分析^[7]。很多基于面向对象的有限元程序使得繁琐的前后处理过程更加简便^[8]。随着土体本构模型、接触面单元的日益完善,以及计算机技术高速发展,这种方法的应用前景会更加广泛。

参考文献:

- [1] 曹俊坚. 深基坑双排桩支护计算理论与桩顶位移反馈计算方法研究[D]. 武汉:中国科学院武汉岩土力学研究所, 1999.
- [2] JGJ 94—94, 建筑桩基技术规范[S].
- [3] 平 扬, 白世伟, 等. 深基坑双排桩空间协同计算理论及位移反分析[J]. 土木工程学报, 2001, 34(2): 79~83.
- [4] Terzaghi K. Theoretical Soil Mechanics [M]. New York: John Wiley and Sons, 1943.
- [5] Terzaghi K, Peck R B, Mesri G. Soil Mechanics in Engineering Practice [M]. New York: John Wiley and Sons, 1969.
- [6] 杨雪强, 刘祖德. 深基坑支护的空间效应[J]. 岩土工程学报, 1998, 20(2): 74~78.
- [7] 平 扬, 白世伟, 等. 深基坑工程渗流-应力耦合分析数值模拟研究[J]. 岩土力学, 2001, 22(1): 37~41.
- [8] 项 阳, 平 扬, 等. 面向对象有限元方法在岩土工程中的应用[J]. 岩土力学, 2000, 21(4): 346~349.

对“基坑支护桩结构优化设计”讨论的答复

莫海鸿, 周汉香

(华南理工大学 建筑学院土木工程系, 广东 广州 510640)

中图分类号: TU 473.1⁺2

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2001)05-0647-02

作者简介: 莫海鸿, 男, 1955年生, 教授, 博士生导师。1988年于武汉水利电力大学获博士学位, 1988~1990年在同济大学做博士后研究, 主要从事地下结构物的设计与施工的教学与科研工作。

感谢平扬先生对“基坑支护桩结构优化设计”一文(以下简称“原文”)的浓厚兴趣与关心。就你所提出的疑问, 现答复如下。

(1) 将圈梁作为安全储备, 可能使得支护桩偏于不安全。以悬臂支护桩为例, 不考虑圈梁约束, 以非开挖侧单侧受拉为主; 考虑圈梁约束, 就象悬臂梁变为一端固定, 一端有弹性支座的梁, 开挖、非开挖侧均有部分区域受拉, 而多支点支护结构的情况比较复杂, 这里不详细讨论。显然, 以不考虑圈梁效应的计算结果对支护桩进行配筋, 除非是对称配筋, 否则开挖侧抗弯不一定安全, 二者的具体计算数值偏差, 则要视具体工程实际而定。

(2) 公式中的效应系数结合增量法计算。正如平扬先生提出问题(5)中指出的那样: “非开挖面土压力作为外荷载考虑, 其大小、分布型式及其变化对支护桩及内支撑的影响是显而易见的”。

深基坑支护是一个动态施工过程, 其施工工艺变化对支护体系的安全与经济有着至关重要的影响。土抗力增量法的实质是体现动态施工过程, 将非开挖面的土压力分级施加, 并考虑前后工况之间的受力继承性。该法具有较坚实的理论基础和广泛应用^[1~8]。原文中圈梁效应模型, 正是在此法基础上, 对各工况, 根据变形协调进行矩阵求逆计算圈梁和支护桩之间的相互作用, 这也是一个工况增量过程。土抗力法增量包括相邻开挖步间的土压力增量、撑锚预应力增量、相邻开挖步间所挖除的土弹簧的等效荷载和非开挖侧相邻开挖步间由于土弹簧刚度变化所导致的等效荷载。这些量与施工工况直接相关, 导致土体 m 值和相应土压力荷载的变化, 从而影响 U_{E_i} 和 E_i 值, 同时对单位桩顶荷载作用下的相应参数在各工况有限元计算中的刚度项具有决定与根本性的影响。这就是原文增量法计算的实质。