

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不大;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。正如平扬先生在前文(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_{Ei} 和 Q_{Ei} 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。

(3) 附加荷载和附加刚度法计算。取名“附加”是为了考虑圈梁对支护桩结构本身内力与变形计算的影响, 有关附加荷载法的计算, 参考原文文献[5]。对于悬臂支护结构, 计算工况单一, 可以直接采用荷载法。对于带撑锚支护, 尤其是多支点支护桩结构, 由于附加荷载法要逐一进行工况计算, 非常不便, 因此提出附加刚度法, 将圈梁等效为一个附加支撑。其等效刚度值计算, 原文已经详细说明, 限于篇幅, 只给出了一个算例。采用该方法, 笔者进行了多项带撑锚支护桩和圈梁结构计算, 结论完全一致。增量法是多支点支护结构计算的规范推荐方法。在该法基础上, 采用原文方法考虑圈梁效应对支护桩结构的影响, 如何不能反映圈梁、桩和撑锚之间的相互作用呢? 至于式(6)右端的错误, 是印刷错误, 应将 T_j 改为 M_j , 在此向读者致歉, 并谢谢平扬先生的指正。

(4) 圈梁截面优化。文中是按照其包络值进行计算, 已经考虑了最不利工况, 完全可以对多支点支护桩结构的施工工艺和圈梁截面优化进行有效计算, 这正是增量法的优势所在。所谓对“桩顶力和弯矩无法计算”是对原文的极大误解, 也是对增量法的本质了解欠缺。

(5) 土压力空间分布。土压力的空间分布是一个极其复杂的问题, 涉及到土与结构、土的三相介质本质、土的结构体与结构面等的相互作用。目前的研究成果只限于定性分析, 无法给出一个合理的并为工程界广泛接受与认可的分布模式。所提到的“有支撑与土拱效应”的影响客观存在, 但这两者是不确定因素。一道撑和多道撑区别有多大? 土拱作用宽度与范围有多少? 这些问题目前无法给出统一答案。采用开挖面以上三角形分布、以下矩形分布的朗肯土压力模式, 实践证明一般是实用可靠的。土的工程性质极其复杂, 具有明显的不确定性、随机性和离散性, 需要在规范编制与工程设计中合理考虑这些不可预见的因素。原文的圈梁效应计算模型考虑的桩墙后空间土压力模式与平扬先生所指的分布完全一致。此外, 实践和研究都表明, 基坑中部桩是最不利的, 是设计的控制因素所在, 以此进行研究无可厚非。优化设计要以实用性、概念性和经验性为本。

(6) 土抗力法中土弹簧屈服判据。规范以开挖侧土压力不超过被动土压力为界。基于杆系有限元法的根据工况进行土压力的迭代调整计算已经有一些成果^[1~3,9]。笔者曾用该模型与平面有限元 Druker-Prager 模型对某工程进行对照计算, 在被动区土弹簧屈服域判断上有较好的一致性。

(7) 支护结构优化设计。尽管目前有很完备的土体本构模型, 但是对使用者的要求也相应提高。之所以实际工程设计还停留在杆系阶段, 究其根本原因在于三维分析中的模式识别与参数识别问题一直没有突破性进展, 还不能达到广泛成熟应用的地步。基坑支护中的人工智能、灰色系统、专家系统、反演分析、可靠性分析等研究都取得了不少进展, 但要付诸于实践, 还有很长的路要走。相互作用问题是岩土工程的研究难点, 以上问题都远不是一两个本构模型所能解决得了的。岩土工程有其内在的鲜明特点, 工程判断与概念设计非常重要, 系统性与综合性极强。任何研究都必须基于对其宏观与微观特征的深

入了解才能做到有的放矢, 否则只能陷于空谈。文献[10]是当前关于基坑支护技术的系统总结。深基坑支护结构的优化设计具有显著的技术经济意义, 原文是笔者对于深基坑支护结构优化设计研究的系列成果之一, 已有的研究成果详见文献[11~16]。笔者的本意是要结合强度、稳定与变形控制的要求, 以支护结构施工对周围环境的影响最小为基本原则, 将嵌固深度、施工工艺和圈梁效应纳入统一的系统性变形控制中去, 给出具体实用的建议与方法。研究给出的是一个完整的方法体系, 可以在这个大前提之下, 继续深入研究, 例如空间施工工艺的优化设计问题, 以与时空效应理论对应, 这些工作有待于今后的深入研究。

参考文献:

- [1] YB 9258—97, 建筑基坑工程技术规范[S].
- [2] 杨光华. 深基坑开挖中几个问题的实用计算方法[A]. 第5届全国地基处理学术讨论会论文集[C]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997. 537~546.
- [3] 杨光华. 地下连续墙的入土深度问题[A]. 第6届全国土力学及基础工程学术会议论文集[C]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1991. 859~862.
- [4] 杨光华, 陆培炎. 深基坑开挖中多撑或多锚式地下连续墙的增量计算法[J]. 建筑结构, 1994(8): 28~47.
- [5] 杨光华. 深基坑开挖中预应力锚杆或预应力支撑支护结构的计算分析[J]. 建筑结构, 1996(4): 9~12.
- [6] 杨敏, 冯又全, 等. 深基坑支护结构的力学分析及与实测结果的比较[J]. 建筑结构学报, 1999(2): 68~77.
- [7] 罗河炎. 基坑支护计算 m 法应用探讨[J]. 工程勘察, 1998(6): 16~18.
- [8] 徐建新, 陈环. 计算深基坑支护结构位移的实用方法[J]. 特种结构, 1996(4): 14~17.
- [9] 章杨松, 罗国煜. 深基坑支护结构分析的同步变形法[J]. 高校地质学报, 1999(3): 283~289.
- [10] 宋二祥. 基坑支护进展(基坑工程学术讨论会论文集)[C]. 建筑技术, 1998(增刊).
- [11] 周汉香, 莫海鸿. 悬臂支护结构嵌固深度的可靠性优化分析[J]. 华南理工大学学报, 2000, 28(7): 109~115.
- [12] Mo H H, Zhou H X. The optimal construction design of deep excavation[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition, English Special Version of 2000), 2000, 28(12): 59~65.
- [13] 莫海鸿, 周汉香, 等. 多支点支护结构优化设计[J]. 工程勘察, 2001(1): 1~4.
- [14] 莫海鸿, 周汉香, 等. 基坑支护桩结构优化设计[J]. 岩土工程学报, 2001, 23(2): 144~148.
- [15] 莫海鸿, 周汉香, 等. 基坑支护桩圈梁优化设计[J]. 建筑结构学报, 2001, 22(3): 95~99.
- [16] 周汉香. 深基坑支护结构优化设计与软件开发[D]. 广州: 华南理工大学, 2001.