

第二届国际软土工程会议基坑工程与土坡稳定专题综述

蒋明镜 沈珠江

(南京水利科学研究院 南京 210024)

摘要 第二届国际软土工程会议关于基坑工程与土坡稳定专题的论文共 15 篇,内容涉及理论、计算、试验和施工等方面,有很高的学术水平和工程意义。综合分析表明,基坑工程和土坡稳定两个领域的研究正朝着合理化、实用化和经验化方向发展。

关键词 基坑工程 土坡稳定 软土 国际会议 综述

继 1993 年 11 月首届广州国际软土工程会议成功召开之后,第二届国际软土工程会议 1996 年 5 月在南京降下帷幕。来自 15 个国家和地区的代表,向大会递交了 158 篇论文。这表明软土工程问题一直为世界各国岩土工作者所关注。软土的物理力学性质很特别,使得与其相关的基坑工程与土坡稳定问题几十年来一直受到人们的重视。这次会议,基坑工程与土坡稳定专题共有论文 15 篇,其中大陆学者 8 篇,境外学者 7 篇,内容涉及理论、计算、试验和施工几个方面,有很高的学术水平和工程意义。

1 基坑工程

随着城市高层建筑的不断兴起,基坑开挖及其支护系统的设计、施工等不断出现新的问题,引起人们的极大兴趣。基坑工程主要涉及土性、支护结构、支撑形式、地基处理、防水以及环境等方面。一般而言,可影响基坑稳定和位移的因素分为支撑系统、地层性质和施工工艺与过程三大类。一般包括墙体及支撑系统刚度、墙体埋深、基坑形状与尺寸、开挖方式及土性对基坑变形和稳定的影

响,研究的目的在于如何选择既经济方便,又技术可行的围护方案,并使其对周围环境的扰动减至最小。本次会议关于基坑工程的论文共 10 篇,占该专题的 2/3。

板桩是基坑支护系统常用方法之一。传统的基坑板桩设计,是基于 Rankine 极限土压力理论,不计及土-结构物之间的相互作用。这显然与实际情况不相符,并可能导致不合理的结果,在参加第三届华东地区岩土力学与工程会议时,许多工程师就提出这一问题。在本次会议上 Satoru Ohtsuka 等(日本)^[1]基于 Melan 塑性理论,将土体和板桩都假定为理想弹塑性体,考虑土-结构物之间的相互作用,对基坑进行有限元安全稳定分析,并就材料参数对整体安全系统的影响进行了较为深入的研究,结果表明,系统的安全系数是板桩长度、土和板桩材料性质三者的函数,板桩长度、抗弯刚度、屈服极限的提高,将增加系统的稳定性。

传统的土压力计算,采用墙前按主动土压力计、墙后按被动土压力计进行。对于逐层开挖、支护的基坑系统,其土体的变形状态不一定满足主、被动土压力所要求的变形状

作者简介:蒋明镜,男,博士,工程师,从事土土试验与数值计算的研究,曾发表《A Structural Suction Model for Structured Clays》等论文。

沈珠江,男,教授级高工,中国科学院院士。

态,墙后部分土体可能处于受压状态。对于这个问题,Dai Ching 等(澳大利亚)^[2]在分析对比常用于此情况的三种方法基础上,提出了变化水平压力系数法,其计算设计方法的思路与有限元法相似,然而它在克服常规方法不足的基础上,比有限元法简单,较易应用于初步设计。而 Zhou Shunhua(中国)^[3]根据不同挡土结构的变形规律、地基位移与时间关系的不同规律,建议了一个考虑时间、开挖速率、挡土墙变形规律的土压力计算简化公式,从其初步应用来看,该法比 Rankine 理论、Peck 方法更接近于实际。

锚杆在基坑,特别是深基坑的支护系统中,是经常使用的。它的优点在于基坑开挖施工面大,出土方便。有关锚杆与土之间接触问题的数值模拟,对基坑的变形与稳定分析有很大的影响。He Siming(中国)^[4]从试验实测资料出发,将双曲线型接触面单元中的参数,与土-锚杆剪切强度、最终承载力相联系,从而为支护设计建议了锚杆抗滑力、土-锚杆间剪应力~位移关系和锚杆变形的实用计算公式。

对基坑工程的数值分析,目前大多将之简化为一维或二维问题进行。而这个问题显然是一个空间三维问题,存在着三维效应。对此进行研究不仅涉及土体空间应力修正技术与程序编制问题,而且涉及计算机硬件、软件方面的许多问题,如计算机的容量、空间三维成果的分析等。Liu 等(新加坡)^[5]就新加坡弱超固结海洋土基坑开挖,采用新加坡国立大学开发的、带前后处理功能的三维有限元计算程序 Crisp,对二维与三维非线性数值模拟结果的差异进行了研究,认为三维支护系统受到空间盒式作用(box action)、悬壁作用引起的荷载作用,而通常的二维平面应变分析,不能考虑地下连续墙的水平向刚度,从而过高地估计了墙体的响应,这一现象在软土基础开挖中尤其明显。对建造在软土地基中无支撑的地下连续墙,二维分析计算出的墙体响应曲线达三维分析结果的 8 倍之多。

且由于存在盒式作用和地下连续墙的水平刚度的影响,只有通过三维数值模拟,才能正确计算出 σ_z 应力。对这些差别的了解,无疑将会提高我们的设计水平。

基坑工程的总体设计,包含着施工、投资的优化问题。Yuan 等(香港)^[6]将混合离散变量优化算法与有限元施工模拟技术相结合,对基坑挡土结构进行优化设计。这一方法能考虑基坑开挖每一过程中结构物-土之间的相互作用,且包含着设计优化和投资优化。初步应用表明,该法使得支护结构的设计断面面积比原设计值降低 11%,其荷载、位移的计算结果也较能反映实际情况。

我国一些学者从原位观测与实例出发,提出了许多问题,总结出一些经验。深层搅拌法(DM 法)本是一项地基加固技术,现经常用于基坑工程。由于该法具有造价低、效果好、无振动、无噪音、无污染、设备简单、工期短等优点,倍受人们青睐。近几年来,在我国软土地区,特别是沿海开发地区使用广泛。但这一方法对挡土墙变形与稳定的影响不十分清楚,而且基坑开挖都存在着时间效应,即基坑开挖完成后挡土墙仍不断地变形。DM 法对该效应的影响如何,也是众人关注的问题。Ying Hongwei 等^[7]对工程实测资料分析表明,DM 法能十分有效地改善土体的力学特性,提高基坑开挖的安全度,减少挡土墙的变位,降低时间效应。另外,还认为不排水分析将低估挡土墙的变位,从而不能反映其逐渐移动过程。土体的分布具有地域性,即每一地区的土体都具有其物理、力学特性,因而需具体对待。Guo Zhipai 等^[8]介绍了采用 DM 法在厦门软土地基上进行深基坑开挖的一套设计、施工、观测控制步骤和注意事项,为今后类似工程提供了宝贵经验。

混凝土地下连续墙,因其可作为挡土结构、止水结构、基础和地下结构的外墙,多位一体,技术可行,经济实惠,而备受工程界青睐。Ma Xun 等^[9]介绍了在天津软土地基上应用该法成功地完成基坑工程的一实例,并

给出了设计、施工过程中的心得体会。Wang Yanxiang 等^[10]就灌注桩用作基坑工程中的挡土结构必须注意的几个问题进行了讨论。作者十分强调具体地质情况的重要性,认为不管基坑开挖前、后都必须重视实际地质条件。取样扰动及现场标贯击数的离散,必然影响到强度指标的大小,从而影响到水平土压力的大小,最终影响到挡土结构的安全与造价。此外,在荷载简化图、断面配筋方面提出了非常实用的建议,并从一失败工程分析着手,强调应抓的几个环节。

2 土坡稳定

土坡稳定分析一直是土力学中的一个重要课题。由于土坡在渠道、土堤、公路建设中经常碰到,且土坡失稳通常是灾难性的,如 1996 年 8 月 4 日马来西亚发生的土坝溃决,造成了巨大的生命财产损失,这说明我们的认识水平还有待于进一步提高。另一方面,过分强调土坡稳定,其造价也是巨大的。给出经济、安全的解答,是土坡稳定分析的任务和目的。

几十年来,土坡稳定分析都是将土坡简化为二维平面应变问题,再采用 Bishop, Janbu, Spencer, Sarma 和 Morgenstein 等法进行分析。而实际上,土坡的失稳破坏是一个空间三维问题,特别是在可能滑动面周围,存在三维滑动这一物理边界的情况下,具有明显的三维效应。Morgenstein, Duncan 等人认为,当前土坡稳定分析的研究方向应转向三维领域。三维极限平衡法将滑动土体分为土柱,使用类似二维领域的处理方法,进行土坡稳定分析。采用三维稳定分析和二维稳定分析得出的安全系数 F_3 和 F_2 ,一般是 $F_3 \geq F_2$,有时也出现 $F_2 > F_3$ 情况。为究其本质,Cheng 等(香港)^[11]采用与 Bishop 法相类似的方法,建立了三维土坡稳定安全系数计算公式,分析其与二维方法在确定破坏区域位置、安全系数大小方面的区别。认为采用同样的条分法计算, $F_{3min} \geq F_{2min}$; 在其它条件不变

的情况下,无粘性均质土坡的 F_{3min}/F_{2min} 值相同;随着抗剪强度指标 C 的增大, F_{3min}/F_{2min} 增大,即粘性土土坡的三维效应十分明显;随着土坡坡角的减小, F_{3min}/F_{2min} 减小。另外,三维滑动面不一定包含二维滑动线,如忽略这一点,就可能出现 $F_3 \leq F_2$ 的情况。

以往的三维柱分法土坡稳定分析,都是就某一给定的滑动面计算出安全系数,而没有涉及如何确定临界滑动面和最小安全系数,并且它们都假定任一平面内土条的滑动方向具有相同的滑动机理。而事实上,三维上坡的滑动方向通常都是未知的,即与最小安全系数相对应的三维滑动面的确定,是一个寻找滑动方向的过程。为解决这一问题, Takuo Yamagami 等(日本)^[12]将动态规划和随机数生成与三维简化 Janbu 法结合,先形成最小化程序,再引进优化技术(黄金分割法),从而形成优化-最小化程序。使用这种方法,可同时确定滑动方向和相应的最可能临界滑动面。这不失为三维土坡稳定分析中的一有效、实用方法,它可摒弃对潜在滑动面作的限制。

滑坡防治一般分为两种:一种是减滑工程,包括在滑坡上方减重、滑坡下方加重和滑坡后部做排水工程;另一种是抗滑工程,包括抗滑桩、锚杆挡土墙等。为了有效地防治滑坡,应根据具体实际情况,综合采用多种防治方法。Zhang Jiru 等(中国)^[13]针对 Dagan Ping 山区的滑坡地区皆已受农耕破坏且滑坡都因暴雨引起这一特点,对高速公路路侧已滑坡土坡采用抗滑挡土墙、基础梁(兼作高速公路基础)与滑动区排水系统相结合的方法,成功地防治了滑动土坡。

越南的红河堤防洪系统已有近八百年的历史,堤坝现长 1 100 km,在越南的工农业生产中发挥了巨大的作用。然而,每年红河堤都要发生险情,需要防治。Nighiem Huu Hanh (越南)^[14]总结了红河堤破坏的类型,介绍了越南对堤坝基础勘探的主要方法,以及对堤坝采取的加固技术。其经验值得借鉴。

我国台湾的西南山区覆盖着泥岩,若受

暴雨的浸透,其力学性质将发生很大的变化,如风化、浸水软化,从而引发堤坝及其相关建筑物的失稳与破坏。土工织物作为土体的加筋材料,不仅提供抗拉强度,通过与土的咬合作用进行应力重分配,还具有排水作用,因而它在工程实践中具有广泛的实用价值。目前土工合成材料的理论计算总是落后于工程实践。Chang Dave Ta-Tech(中国台湾)等^[15]介绍了采用柔性挡土结构、土工织物加筋土/坡等综合方法来防治泥岩土坡的失稳,并涉及加筋参数、渗透和排水系统的设计。作者认为:土-织物滤渗排水系统的特性较为复杂,为使之有良好的排水作用,土工织物与土之间必须充填砂土;土工织物的选择须与土性相联系,大孔隙的土工织物能防止土粒的阻塞,且需优先考虑土-织物间的摩擦角;土-织物间的摩擦角与土粒级配、织物的硬度和密度有关,其测试宜采用普通的直剪仪,而不宜采用特制的大型直剪仪。这些,既值得我们学习和借鉴,也有助于逐步完善加筋土体理论与设计的研究。

3 结 语

本次国际会议关于基坑工程与土坡稳定专题的论文,主要特点体现在以下三个方面。

a. 合理化。针对实际工程问题的本质特点,从理论上进一步进行研究。如对土坡稳定、基坑工程进行三维分析;考虑土-结构物之间的相互作用进行施工、投资的优化设计。

b. 实用化。既考虑实际问题的复杂性,又考虑应用的方便。如考虑施工顺序、时间、开挖速率、挡土墙变形规律的土压力计算;土工织物在土坡稳定中的应用,及其作用机理、理论设计方法。

c. 经验化。从成功、失败的工程事例得出许多经验教训。如根据具体情况,综合采用各种防治方法,从而有效地防治滑坡,具体地质条件、取样扰动等对基坑工程的设计是十分重要的。

可见,这些论文内容丰富、涉及面广,具

有很高的理论与实用价值。当然,稳定与失稳是对立统一的,土坡、基坑工程的失稳,与土体结构的逐渐破损、剪切带的形成是相关的^[16],这可能是该问题研究的又一个热点。

参考文献

- 1 Satoru Ohtsuka, et al. Stability analysis of excavated ground with sheet pile. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 495 ~ 500
- 2 Dai C, Morrison N J. The variable lateral pressure coefficient approach in retaining wall design. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 519 ~ 524
- 3 Zhou S H. Earth pressure and deep excavation on soft soil ground. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 507 ~ 512
- 4 He S M. Mechanism of anchor in deep excavation. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 513 ~ 518
- 5 Lin K X, Yong K Y, Lee F H. A numerical study on 3-D behaviour of excavation-support system. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 501 ~ 508
- 6 Yuan Y, Lee C F. Optimal design of an enclosure structure in soft soil excavation. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 548 ~ 553
- 7 Ying H W, et al. Behaviour of a braced excavation in Hangzhou. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 537 ~ 542
- 8 Guo Z P, et al. Case history of a deep excavation in Xiamen. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 531 ~ 536

(下转第 54 页)

年全省较早、属于中等偏枯年份、统计塘坝供水量为 6.6 亿 m^3 , 比设计保证率为 80% 的年份少 2.5 亿 m^3 。灌区设计中主要破坏年份都是由于上游水库无水而引起的、因此要想提高灌溉保证率, 只有兴建和恢复当家塘, 拦蓄当地径流, 才是解决灌溉水源, 提高抗旱能力的有效措施。

3.3 水资源优化调度, 提高科学管理水平

灌区内有几种水资源、灌区外的水资源是灌区上游五大水库蓄水。灌区内有中小水库、塘坝拦蓄当地径流; 还有水库与渠首之间的区间径流; 另外, 灌区尾部从城东湖、城西湖、瓦埠湖和巢湖抽水作为补给水源。各种水源都有一定的供水设施、供水能力和供水范围, 每条干渠和灌区的用水情况也不一样, 因此, 如何合理充分利用这几种水资源, 是值得进一步研究的课题。曾用单目标动态规划和多目标动态规划等优化技术进行计算, 结果表明, 优化调度可以提高灌溉保证率 3%~6%, 史河灌区可以减少抽水量 20%, 发电量均有不同程度的增加。因此, 可以先在部分渠道或灌区进行试点工作, 在试验的基础上推广到全灌区。

3.4 推广节水灌溉技术, 扩大灌溉面积

灌区内有三个灌溉试验站, 经过十余年的试验, 初步总结出浅灌中蓄和浅湿间歇的灌溉制度。根据水稻不同发育阶段正常生长的生理需水和生态需水要求, 控制灌溉最佳水层深度。试验结果表明, 浅湿灌溉比一般淹灌每公顷增产 1 065 kg, 增产率为 19.7%, 节水 18.7%。现在三个站都正在推广节水

高产的灌溉制度, 从 195 个推广片来看, 浅水间歇灌溉制度平均每公顷增产 1 935 kg, 增产率 26.6%。计划今后在江淮丘陵区大力推广这种灌溉制度。另外, 在旱作地区推广喷灌、滴灌等先进技术, 也可以节约灌溉用水, 增强抗灾能力。

3.5 制定合理的水费标准

制定合理的水费标准, 能促进计划用水和节约用水, 保证工程的运行管理、大修和更新改造的费用, 使工程做到良性循环, 充分发挥工程的效益。水费标准应与水在受益单位产生的效益联系起来。工业和城市生活水费高于农业水费, 消耗性的水费高于非消耗性的水费, 做到既要考虑供水成本, 又要兼顾用水单位的效益。水费标准应在核算供水成本的基础上, 对各用水单位分别计算。

安徽省现行的水费办法还是 1990 年颁布的, 长期以来除农业水费随粮食价格上升而有些调整外, 其它水费标准一直未变, 水费标准严重偏低, 水费离开价值原则, 造成水量浪费, 效益下降, 使管理单位入不敷出, 以致使有些工程处于难以为继的局面, 许多水利工程严重老化, 抗灾减灾能力下降。近日安徽省人民政府第 68 号令颁发了《关于修改〈安徽省水利工程水费收交、使用和管理办法〉的决定》, 新的水费办法对各类水费标准作了较大幅度的调整, 并自 1996 年 1 月 1 日起实行。新的水费标准虽然没有达到供水成本, 但比老标准提高了 1 倍, 这使得水利管理单位在搞好管理的基础上, 能促进工程良性循环, 增强灌溉工程的抗旱减灾能力。

(收稿日期: 1996-04-04 编辑: 张志琴)

(上接第 37 页)

- 9 Ma X, Wang S Y. An illustration of deep foundation pit excavation in Tianjin soft soil area. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 525 ~ 530
- 10 Wang Y X, Wang W W. Some problems concerning retaining structure in the excavation. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 543 ~ 547
- 11 Cheng Y M, Tsui Y. Three dimensional slope stability analysis. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 560 ~ 566
- 12 Takuo Yamagami, et al. Determination of the sliding direction in 3-D slope stability analysis. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil

- Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 567 ~ 572
- 13 Zhang J R, et al. Analysis and treatment of slide in Dagan Ping. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 554 ~ 559
- 14 Hanh N H. Stability of the Red River dike on weak foundation. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 573 ~ 579
- 15 Chang Dave Ta-Teh, Hsu C N, Chen S W. Summarized consideration for applying geotextile to stabilize mudstone slope. In: Shen Z J, et al eds. Proc of the 2nd Int Conf on Soft Soil Engineering, 1996, Nanjing, China. Nanjing: Hohai University Press, 1996. 580 ~ 597
- 16 沈珠江. 土体结构性的数学模型——21 世纪土力学的核心问题. 岩土工程学报, 1996, 18(1): 95 ~ 97 (收稿日期: 1996-09-06 编辑: 熊水斌)