

加筋土边坡设计方法研究

段晓沛

天津市市政工程设计研究总院有限公司 天津 300392

摘要: 本文在参考国内外大量规范、案例的基础上, 总结归纳了加筋土边坡的设计原理、设计内容以及施工要点, 重点整理了加筋筋材的强度的影响因子以及影响因子参数的选取, 掌握了加筋土结构的设计过程和设计方法。

关键词: 加筋土; 设计方法; 筋材强度; 相互作用系数

The study on design method of reinforced soil slope

Xiaopei Duan

Tianjin Municipal Engineering Design and Research Institute Co., LTD. Tianjin 300392

Abstract: On the basis of a large number of domestic and foreign norms and cases, this paper summarized the design principle, design content and construction points of the reinforced soil slope, focused on organizing the influence factors of the strength of the reinforced material and the selection of influence factor parameters, and have mastered the design process and design method of the reinforced soil structure.

Keywords: Reinforced soil, design method; Reinforcement strength; Interaction coefficient

一、简述

近年来, 在公路工程建设中, 加筋土边坡由于其建设成本低、实用性较高、特别适用于地形比较复杂的地段等优势在山区公路建设中得到广泛的应用。

北京京包、京承高速公路以及重庆开县汉丰湖环境治理工程等, 在边坡治理、公路路堤、桥台等适宜的地段, 引进了加筋土技术, 为国家节省了大量资金。同时, 交通部历经对多项科研成果的鉴定和通过大量工程的实践, 业已表明加筋土技术是一项成熟的新技术, 交通部颁布的《公路路基设计规范》(JTG D30-2015) 在第五章路基防护与支挡 5.4.8 节将加筋土挡墙列入。

二、加筋土边坡设计

1. 设计原理

与加筋挡土墙不同, 加筋土边坡倾角一般小于 70° , 工程实际应用中倾角一般采用 1:0.5~1:0.8, 主要考虑坡面可以绿植。其设计原理来源于加筋挡土墙, 但是由于加筋土边坡土体提供的抵抗力相对较大, 其设计与加筋挡土墙有所不同。

加筋土边坡的设计方法是基于极限平衡法, 设计分为 2 个阶段:

(1) 外部稳定性, 其结果就是确定加筋土的筋带长度。即先将加筋土体视为具有较高强度的复合土体, 再根据传统重力式挡土墙外部稳定性设计方法进行计算。外部稳定性需要满足: 抗滑稳定性; 抗倾覆稳定性; 地基承载力; 工后沉降要求。

(2) 内部稳定性, 其结果就是确定加筋筋带的强度和间距。内部稳定性需要满足: 筋带强度验算; 抗拔稳定性。

本文重点论述加筋土边坡的内部稳定性计算方法, 内部稳定性的计算方法现在国内外通常采用锚固楔形体和双楔形体^[1]。

锚固楔形体法计算中需要假设很多因素, 假定加筋土结构可以产生足够的侧向位移, 面板后土楔体能达到主动土压力状态, 加筋筋材与土之间发生了相对位移, 产生了摩擦作用, 内力达到平衡。随着对加筋挡土墙研究的逐步深入, 发现锚固楔体法的简单概念难以全面反映加筋土结构体系的内力平衡。筋材的受力除与面板所受的土压力有关外, 还有其自身的特点, 即筋材具有一定的抗变形能力, 其主要作用是通过它与填土间的摩擦阻力约束土体的侧向变形, 从而提高加筋土结构的整体强度, 而面板主要起挡土作用, 不是主要的受力构件^[2]。而筋材的这一抗变形特性改变了结构的应力应变模式、墙后土压力分布及潜在破裂面位置, 这就是 Schlos-ser^[3]等人提出将加筋土看作“粘结”重力式结构的观点。该观点认为填土与筋材组合形成各向异性的复合体, 被一层层筋材所起的“粘结”作用所稳定, 组成一个整体, 此观点逐步被业内人士所接受。而锚固楔体法假定因素太多, 在设计过程中不可避免造成设计保守, 尤其是当面板与加筋材料的连接强度小于加筋筋材的材料强度的情况下。

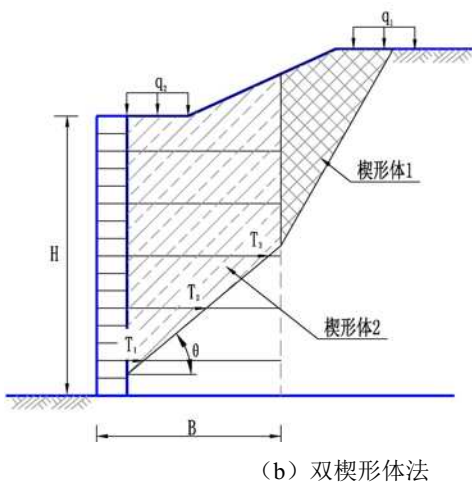
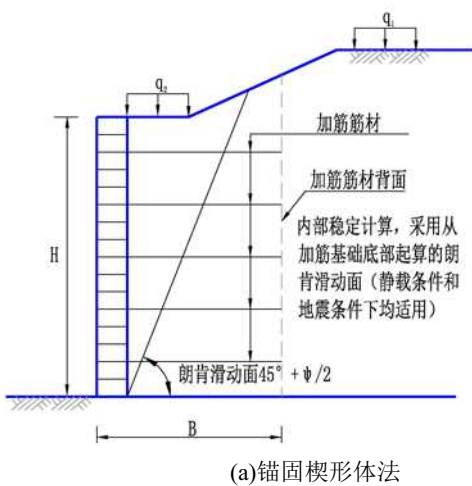


图 1 内部稳定性计算方法

双楔体法内部稳定分析时不需要假定破坏面, 可以经过大量的搜索, 对各种楔体组合进行计算分析, 所有破坏面都是实际可能产生的, 与破坏形式相关的所有力都要在计算中考虑到。破坏楔体 2 分割开的面板和加筋材料所提供的抗力 (图 1 (b) 所示的 $T_1+T_2+T_3$) 必须足以确保 2 个楔体的稳定。双楔体法为加筋土挡墙的内部稳定性提供了一种全面的分析方法。其充分考虑了当楔体失稳时会出现的几种破坏形式:

- (1) 滑动面在加筋土体内部破坏, 切断了所有的加筋筋材;
- (2) 滑动面不穿过任何加筋筋材, 即在加筋筋材的末端, 从土体中拔出破坏;
- (3) 加筋材料从面板处脱离, 滑动面穿过部分加筋材料及部分加筋体后方土体。

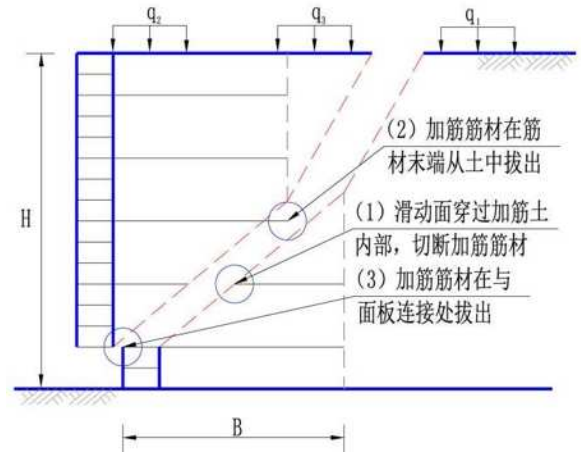


图 2 双楔体的几种破坏形式

双楔体法的分析结果, 通常会比锚固楔体法计算后采用的加筋材料要少, 特别是当连接强度小于加筋材料强度时, 因此双楔体法被推荐为规范设计方法, 其适用性也在实验室条件下, 通过大型实验, 高质量采集的实际数据为该方法的应用提供了可靠的基础^[4]。

2. 设计内容

设计需要的材料参数包括填料和地基土参数、加筋材料强度及土体和加筋材料之间考虑滑动和拉拔的相互作用系数。

(1) 填料的选用和参数的选取

国内对于加筋土边坡填料的选择, 国内大多规范不允许使用黏土填料, 填料一般选用粗粒料、石灰土或者粉煤灰或者经过加固处理的黄土。由于土工格栅等加筋细粒土工程性质的特殊影响等, 以细粒土为填料的加筋土边坡的设计方法仍需要进一步研究。

填料的参数一般选用排水条件下的内摩擦角和凝聚力。

(2) 筋材的选用和参数的选取

加筋体结构是由加筋材料与土体组合在一起形成的结构。尽管土体在加筋土结构中质量和体积占比都较大, 但加筋材料却决定了结构的安全性和稳定性。在工程计算中加筋筋材的设计强度考虑了多方面的折减, 加筋材料的强度根据美国经验 (美国 FHWA 规范规定) 通常采用以下类似公式:

$$T_a = \frac{T_{ult}}{RF_{CR} \times RF_{ID} \times RF_D \times F_S}$$

其中, T_{ult} 为加筋筋材在使用年限和适用温度条件下的

的极限长度; T_a 为加筋筋材的设计强度, 即考虑各种影响因素情况下的最小长期强度。

上述 3 个折减系数 (RF_{CR} 、 RF_{ID} 、 RF_D) 考虑了 3 种导致加筋材料强度折减的因素: 蠕变; 耐久性; 施工损伤。

蠕变 (RF_{CR}): 加筋筋材在长期受力的情况下会发生变形, 继而抗拉强度衰减。这是加筋筋材的共性, 在设计中必须考虑这一因素。

耐久性 (RF_{ID}): 具有链节结构的高分子聚合物组成的加筋筋材在加筋土结构中会长期经受微生物、化学(酸、碱)以及热氧化的作用, 易发生降解反应和交换反应, 导致材料强度降低。为此, 加筋筋材的抗老化耐久性是其长期设计强度的重要组成部分。

施工损伤 (RF_D): 工程中一般归类为以下 4 种: 与筋材表面接触的小颗粒填料摩擦而造成的一般磨损; 填料中大颗粒导致的筋材肋条发生磨损; 筋材纵肋局部开裂形成小裂缝; 筋材纵肋产生尖锐锯齿导致整个肋条发生剪断破坏。

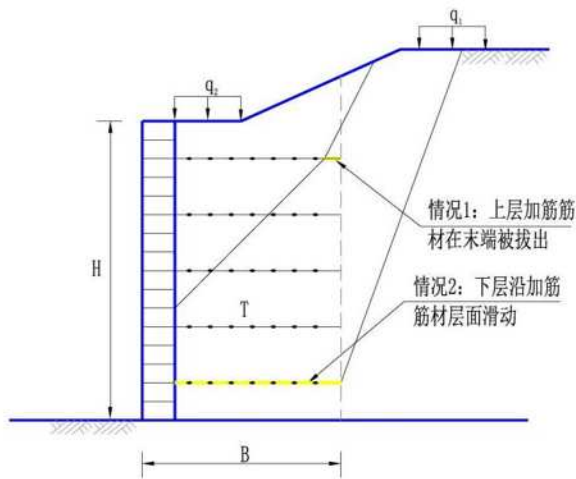


图 3 楔体相互作用系数的 2 种情况

相互作用系数 (F_S): 相互作用系数为一个考虑了土体与格栅之间的剪切之后的土体抗剪强度的系数, 其值 ≤ 1.0 。如图 3, 内部稳定性计算在 2 种情况下, 设计中需要考虑相互作用系数: 一是格栅在末端会被拔出, 二是沿着筋材层面

的滑动。加筋筋材的拉拔系数对于筋材的长度要求很短, 结构上层的筋材被拔出, 而结构下面的筋材会处于拉伸破坏模式, 因此无论抗拔系数取值大小, 都不会影响筋材的长度和布置。而抗滑相互作用系数则不同, 从图 3 中可以看出验算的滑动面是沿着整个筋材长度, 因此当这个滑动验算成为关键计算时, 滑动系数从 1.0 变为 0.5, 会导致加筋筋材的长度翻倍, 从而加筋材料的长度就会变长一倍。

3. 施工要点

加筋土结构施工时候一般根据地形变化, 坡面做成小台阶状, 以利于后期植被的生长。排水层设置在边坡的底部、坡体外地面线以上。排水层一般为 30cm 厚的级配碎石。每层格栅按照设计长度剪裁并铺设好后, 在末端张紧, 再进行填筑。控制填料含水率最佳含水率 $\pm 2\%$, 压实度不低于路基设计规范的要求。严格控制填方的压实度是保证加筋陡坡路堤成功的关键, 在填筑时应严格按《公路路基施工技术规定》和《公路土工合成材料应用技术规范》等有关规定执行。

三、结论

通过查阅相关文献, 并结合相关工程实际, 对加筋土结构的设计原理、设计方法以及设计参数进行了系统总结, 对加筋土结构的设计方法有全面的认识和学习。

参考文献:

- [1] Michael Dobie1, 何波等, 加筋土结构设计方法及设计安全冗余分析. 长江科学院院报. 2014 年 3 月. 第 31 卷第 3 期: 115-120
- [2] 杨广庆等, 加筋挡土墙合理设计方法的探讨. 长江科学院院报. 2014 年 3 月. 第 31 卷第 3 期: 11-17
- [3] 张师德等, 加筋土结构原理[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1986
- [4] Richard Bathurst, 陶连金等, 加筋边坡在坡顶荷载作用下的极限承载能力. 岩土工程学报. 2004 年 3 月. 第 26 卷第 2 期: 194-196