

椰纤维加筋对路基膨胀土工程性质改善效应研究

李松峰¹, 陈军锋²

(1. 山西工程职业学院 地测工程系, 山西 太原 030000; 2. 太原理工大学 水利科学与工程学院, 山西 太原 030024)

摘要:椰纤维作为加固岩土体的天然材料,相对人工化学加固材料具有易降解、成本低和环境友好等优点。该文通过浸水膨胀试验、CBR 试验和大型直剪试验,研究椰纤维加筋对路基膨胀土工程性质的改善效应,并考虑不同类型椰纤维、加筋位置、加筋层数的影响。研究结果表明:在所有加筋方案下,膨胀力比和膨胀率比都小于1,说明椰纤维加筋可以起到降低膨胀性的作用,其中石灰椰纤维的作用最为显著;采用椰纤维加筋后,膨胀土的 R_{CBR} (加州承载比)值达到了上路堤的要求,其中采用石灰椰纤维加筋的膨胀土 R_{CBR} 达到了下路床要求;椰纤维加筋还使得膨胀土的抗剪强度大幅提升,但椰纤维类型对抗剪强度的影响不明显。

关键词:路基; 膨胀土; 椰纤维; 膨胀力; R_{CBR} ; 抗剪强度

中图分类号: U414

文献标志码: A

膨胀土具有吸水膨胀、失水收缩、浸水承载力衰减、干缩裂隙发育等特性,在中国的广西、云南、湖南、河南、湖北、四川、陕西、河北、安徽、江苏等省均有不同程度的分布,用膨胀土填筑的路基因其特殊的工程性质致使质量问题频繁出现,不均匀沉降、坍塌、滑塌等现象常见报道,路面结构也因此产生变形乃至破坏^[1-2]。

对膨胀土进行加筋处理是改善膨胀土工程性质的一种常用手段,目前用于土体加筋的纤维主要有合成纤维和自然纤维两种。人工合成纤维诸如塑料土工格栅、玻纤土工格栅等在中国已经被普遍采用^[3-5],而自然纤维由于其易降解、成本低和环境友好等优点近年来也得到广泛关注。王冰^[6]将黄麻纤维掺入膨胀土,探讨了纤维加筋对土强度和抗剪强度指标的影响规律,分析了黄麻纤维在土中的分布角度和纤维掺加量对加筋效果的影响;徐福增^[7]以木纤维为加筋材料,利用直剪仪研究了含水率对木纤维加筋土抗剪强度的影响规律;黄晓如^[8]通过击实试验、无侧限抗压试验,比较了未加筋和加筋条件下土的无侧限抗压强度、轴向应变和模量,研究了含水率对不同加筋条件下棕榈加筋土抗压强度和变形的作用规律,并从能量吸收能力角度探讨含水率和加筋条件对加筋土强度和变形的影响。

椰纤维是用100%的天然椰子壳制成的网状结

构,主要成分为木质素和纤维素,同时含有少量胶质和半纤维素酶,有低伸长率、高抗拉强度和高耐腐蚀性等特点,尽管椰纤维在公路路基领域存在一定的应用^[9-10],但仍然缺少系统的研究。该文将通过浸水膨胀试验、CBR 试验和大型直剪试验,研究椰纤维加筋对路基膨胀土工程性质的改善效应,并考虑不同类型椰纤维、加筋位置、加筋层数的影响,为椰纤维加筋在路基中的应用提供进一步的支撑依据。

1 试验材料

室内试验用膨胀土来自湖北省南部某高速公路现场,气候潮湿,取样深度为路床底面以下1.5~2.0 m,该膨胀土中石英含量较高,同时还含有蒙脱石、伊利石、赤铁矿、方解石等矿物。土的具体物理性质如表1所示,塑性指数为42,按照塑性图分类,该土属于高塑性黏土(CH),自由膨胀率达到了91%,说明该土具有较高的膨胀性,若直接用于路基填筑,容易对路基路面整体结构产生不利影响。

室内试验采用的椰纤维为广东某公司的椰纤维产品,选择了3类产品进行对比,分别为普通椰纤维、石灰椰纤维和硅灰椰纤维(图1),后两类椰纤维是在普通椰纤维的基础上分别采用石灰水和硅灰水进行浸泡、风干处理形成的特殊椰纤维。椰纤维的平均长度

收稿日期:2022-06-15(修改稿)

基金项目:高职教育企业引领、课赛证融通教学模式研究项目(编号:GH-19275)

作者简介:李松峰,男,硕士,讲师。E-mail:417034777@qq.com

表 1 试验用膨胀土物理性质

最大干重度/ ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$)	最优含水 率/%	液限/ %	塑限/ %	缩限/ %	黏粒含 量/%	粉粒含 量/%	砂粒含 量/%	自由膨胀 率/%
17.65	19.2	85	43	12	70.8	24.7	4.5	91

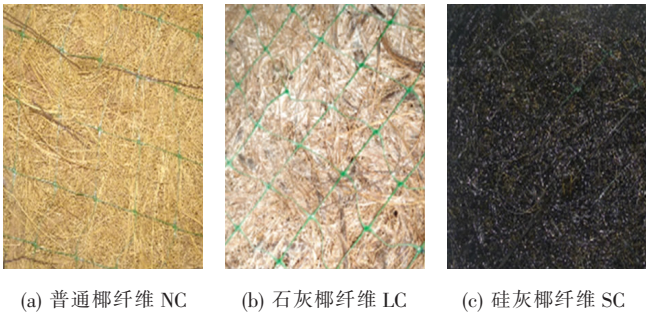


图 1 椰纤维示意图

为 80 mm 左右,平均直径为 20 μm ,该文中上述 3 类椰纤维的代号分别为 NC、LC 和 SC。为了使椰纤维不易散落,采用聚丙烯纤维将椰纤维包裹绑扎。

2 试验过程

通过浸水膨胀试验、CBR 试验和大型直剪试验研究椰纤维加筋对路基膨胀土工程性质的改善作用。为了设置椰纤维,采用了扰动土进行试验,且浸水膨胀试验与 CBR 试验都采用了较大的圆柱体试样,直径约为 100 mm,高度为 200 mm,不同的椰纤维加筋方案如图 2 所示,每层椰纤维的厚度为 10 mm,从而可以分析层数和加筋位置的影响。约定 BC 代表未加筋试样,BC+NC/3 代表 $H/3$ 处采用普通椰纤维加筋的试样,BC+NC/3+NC/2 代表 $H/3$ 处和 $H/2$ 处采用普通椰纤维加筋的试样,依此类推。为了取得更好的压实质量,首先将膨胀土放入制样模具中进行多层压实,压实度控制为 93% 左右,将椰纤维小心地设置在指定位置,然后再进行下一层的压实。膨胀力和膨胀率测定的试验过程参照 GB 50112—2013《膨胀土地区建筑技术规范》^[11],CBR 试验过程参照 JTG E40—2007《公路土工试验规程》^[12]。

大型直剪试验试样的尺寸为 300 mm \times 300 mm \times 150 mm,椰纤维被设置在试样的中间深度。采用 1.25 mm/min 的应变速率进行剪切,剪切过程中关闭排水阀门,法向应力分别为 24.63 kPa、49.27 kPa 和 98.54 kPa。取剪应力与水平位移关系曲线上的峰值或稳定值作为抗剪强度,如无明显峰值,则取水平位移达到试样直径的 1/10 处的剪应力作为抗剪强度。

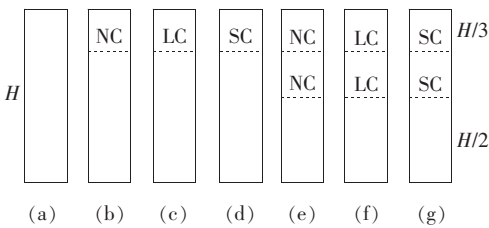


图 2 各个加筋方案对应的椰纤维类型和位置

上述所有试验均进行了 3 次平行试验,结果取平均值。

3 试验结果分析

3.1 膨胀特性

膨胀力指在保持体积不变时,膨胀土由于浸水膨胀产生的最大应力。图 3 为不同膨胀土试样膨胀力与饱和时间的关系。

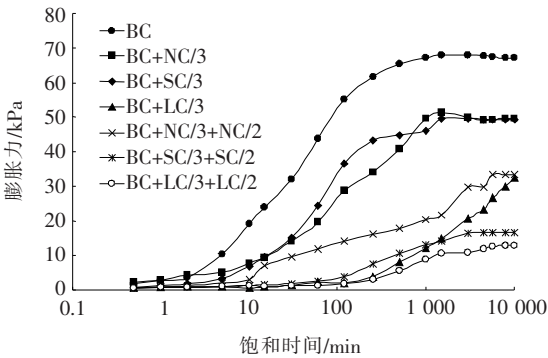


图 3 膨胀土试样的膨胀力曲线

从图 3 可以看出:BC 试样的膨胀力随着饱和时间的增加几乎呈指数增长,膨胀力最大达到约 68 kPa 趋于稳定;单层加筋条件下,NC、SC、LC 分别使最大膨胀力从 67.87 kPa 减少到 49.28 kPa(27.74%)、48.79 kPa(28.1%)和 32.13 kPa(52.66%);从双层加筋来看,总体效果比单层加筋更好,但仍然是采用石灰椰纤维的改善效果最佳,NC、SC、LC 分别使最大膨胀力从 67.21 kPa 减少到 32.99 kPa(50.90%)、16.06 kPa(76.10%)和 12.17 kPa(81.89%)。膨胀力减少是由于椰纤维与土颗粒之间产生了摩擦阻力,阻碍了土颗粒的相对位移,提高了土的抗拉强度,从而显著降低膨胀力。

膨胀率为在一定压力条件下,浸水膨胀稳定后,试

样增加高度与原高度的比。图 4 为不同膨胀土试样膨胀率与饱和时间的关系,压力设置为 50 kPa。由图 4 可知:尽管各类试样的曲线形态有差异,但大体上可以将膨胀率随时间的变化划分为 3 个阶段:① 指数增加阶段,曲线斜率保持相对恒定甚至增加,这个阶段通常出现在 30 min 内,土快速吸水,膨胀程度占整个膨胀过程的 60%~80%;② 缓慢增加阶段,该阶段通常出现在 24 h(1 440 min)以内,膨胀率曲线斜率逐渐减小;③ 稳定阶段,膨胀土充分吸水,趋于饱和。

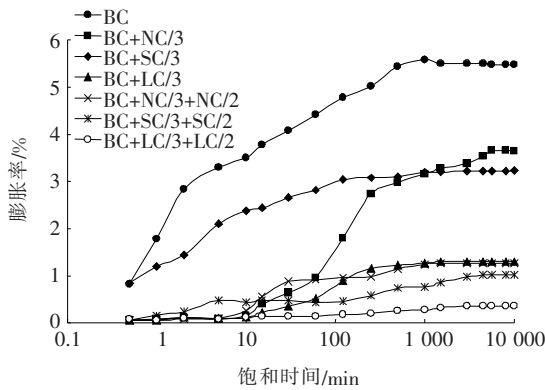


图 4 膨胀土试样的膨胀率曲线

从图 4 可以看出:单层加筋条件下,NC、SC、LC 分别使最大膨胀率从 5.49% 下降到 3.6%(34.43%)、3.21%(41.53%)和 1.23%(77.60%),双层加筋条件下,NC、SC、LC 分别使最大膨胀率从 5.49% 下降到 1.2%(78.14%)、0.96%(82.51%)及 0.3%(94.54%)。

图 5 为不同加筋方案对膨胀力比和膨胀率比的影响,其中膨胀力比为加筋后膨胀力与加筋前膨胀力的比值,膨胀率比为加筋后膨胀率与加筋前膨胀率的比值。通过比值可以更直观地了解膨胀力与膨胀率的降低。

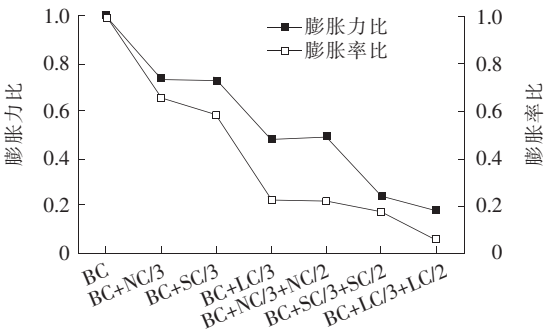


图 5 膨胀土的膨胀力比曲线和膨胀率比曲线

由图 5 可以看出:在所有加筋条件下,上述两个比值都小于 1,说明所有椰纤维加筋方案都起到了改善

膨胀性能的作用,其中对膨胀率的改善作用更加明显。普通椰纤维与硅灰椰纤维的效果接近,但是石灰椰纤维的效果更加显著。

3.2 加州承载比 R_{CBR}

图 6 为不同加筋方案对饱和 R_{CBR} 值的影响。从图 6 可见膨胀土的饱和 R_{CBR} 值在加筋后快速增加。单层加筋条件下,NC、SC、LC 分别使 R_{CBR} 值(2.5 mm 贯入度)从 1.49% 上升至 4.39%、4.84% 及 5.95%;双层加筋条件下,NC、SC、LC 分别使 R_{CBR} 值(2.5 mm 贯入度)从 1.49% 上升至 4.61%、5.03% 及 6.49%。总体来看,采用椰纤维加筋后膨胀土的 R_{CBR} 值可以达到上路堤的要求,其中采用石灰椰纤维加筋的膨胀土 R_{CBR} 值达到了下路床要求。

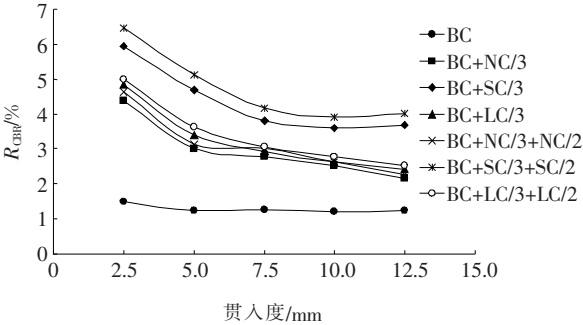


图 6 膨胀土在不同贯入度下的 R_{CBR} 值

石灰椰纤维可以更有效地提高膨胀土 R_{CBR} 值是由于石灰在浸水饱和过程中与膨胀土发生了水化反应和胶凝反应,水化反应指石灰在水中生成 Ca^{2+} , 再与土体的胶体颗粒表面含有的 Na^+ 、 K^+ 进行离子置换,从而减小了土颗粒之间的距离,增强了土的黏聚力;而凝结作用指膨胀土中的 SiO_2 和 Al_2O_3 与石灰、水发生反应后逐步硬化凝结,在土颗粒外形成一层稳定的保护膜,提高了土的整体性。由此可见石灰椰纤维加筋从物理和化学两个角度改善了膨胀土的工程性质。

从图 6 中还可以看出:各个加筋方案下 R_{CBR} 值随贯入度的变化趋势都比较一致,其中当贯入度大于 7.5 mm 时,石灰椰纤维加筋土的 R_{CBR} 值基本不再变化,而普通椰纤维加筋土和硅灰椰纤维加筋土的 R_{CBR} 值则持续随着贯入度的增加而减小。

3.3 抗剪强度

图 7 为椰纤维加筋土抗剪强度变化图。

由图 7 可以看出:加筋使得膨胀土的抗剪强度大幅提升,当法向应力为 24.63 kPa 时,NC、SC、LC 分别使抗剪强度从 55.56 kPa 上升至 101.11 kPa (82%)、102.22 kPa (84%)、108.88 kPa (96%);当法向应力

增加至 49.27 kPa 时,相对法向应力为 24.63 kPa,BC 及 NC、SC、LC 加筋下的抗剪强度分别上升为 60.88 kPa (9.6%)、112.22 kPa (10.99%)、114.44 kPa (11.96%)、126.6 kPa (16.27%),而当法向应力增加至 98.54 kPa 时,相对法向应力为 49.27 kPa,BC 及 NC、SC、LC 加筋下的抗剪强度分别上升为 66.77 kPa (9.67%)、128.31 kPa (14.34%)、131.11 kPa (14.56%)、138.88 kPa (9.70%)。这表明,对于抗剪强度而言,椰纤维类型的影响不明显,采用石灰处理和硅灰处理都没有明显提高椰纤维改善抗剪强度的效果。

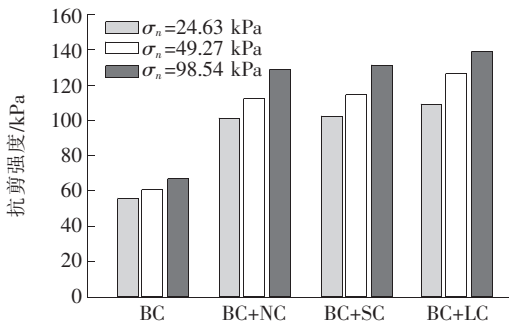


图 7 椰纤维土工织物对膨胀土抗剪强度的影响

图 8 为椰纤维加筋土内摩擦角和黏聚力变化图。由图 8 可以看出:NC、SC、LC 分别使内摩擦角从 8.63° 增加到了 20.60°、21.35° 和 22.09°,使黏聚力从 52.35 kPa 增加到了 103.51 kPa、105.23 kPa、114.00 kPa,椰纤维加筋膨胀土已经属于强度较高黏性土的范畴。

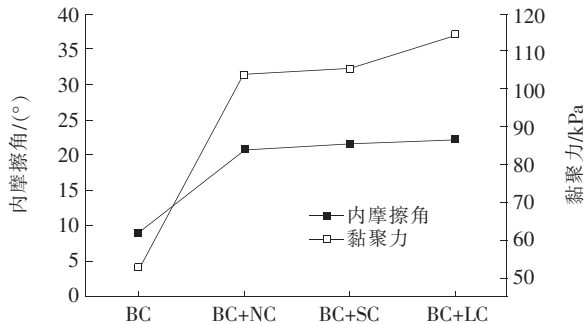


图 8 椰纤维对膨胀土试样内摩擦角和黏聚力的影响

关于椰纤维加筋土的耐久性,由于椰纤维含有较多的木质素,能够抵抗温度变化造成的不利影响,不易腐蚀,根据文献[13—14],可以使用 5~10 年,耐久性较好,最后椰纤维自然降解,不会造成环境污染。

4 结论

(1) 在所有加筋条件下,膨胀力比和膨胀率都比

小于 1,说明几种椰纤维加筋方案都起到了改善膨胀性能的作用,其中对膨胀率的改善作用更加明显。普通椰纤维与硅灰椰纤维的效果接近,石灰椰纤维的效果更加显著。

(2) 总体来看,采用椰纤维加筋后膨胀土的 R_{CBR} 达到了上路堤的要求,其中采用石灰椰纤维加筋的膨胀土 R_{CBR} 达到了下路床要求。

(3) 石灰椰纤维加筋可从物理和化学两个角度改善膨胀土的性能,既通过椰纤维与土颗粒之间产生的摩擦阻力减少土颗粒之间的相对移动,还可以通过水化反应和胶凝反应提高土的黏聚力和整体性。

(4) 加筋使得膨胀土的抗剪强度大幅提升,但椰纤维类型对抗剪强度的影响不明显。

参考文献:

- [1] 阮志新,蓝日彦,陈宏飞.石灰改良膨胀土填筑路基的施工工艺及质量控制[J].中外公路,2012,32(2):1—4.
- [2] 童超,杨和平.由膨胀土内比表面及孔径分布来评价其膨胀行为[J].中外公路,2017,37(1):209—214.
- [3] 杨广庆,李广信,张保俭.土工格栅界面摩擦特性试验研究[J].岩土工程学报,2006,28(8):948—952.
- [4] 严驰,张书杰,徐奉池,等.土工合成材料界面作用特性研究[J].石油工程建设,2007,33(6):11—15.
- [5] 赵鹤晖,袁慧,刘双英,等.土工格栅蠕变后拉伸性能试验研究[J].中外公路,2017,37(1):215—218.
- [6] 王冰,于炎成,陈朝阳.膨胀土纤维加筋的强度特性实验研究[J].安徽建筑,2020(2):193—195.
- [7] 徐福增,穆璇,杨松.含水率对木纤维加筋土抗剪强度的影响[J].广东水利水电,2020(1):53—55.
- [8] 黄晓如,璩继立.含水率和加筋条件对棕榈加筋土的影响[J].上海理工大学学报,2019,41(4):395—402.
- [9] 王冠.草灌型椰纤维网生态防护技术在韶山高速公路中的应用[J].湖南交通科技,2018,34(4):88—90.
- [10] 张良荣.椰纤维植被护坡技术在石质边坡防护中的应用[J].公路,2016,61(7):280—283.
- [11] 中国建筑科学研究院.膨胀土地区建筑技术规范:GB 50112—2013[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [12] 交通部公路科学研究院.公路土工试验规程:JTG E40—2007[S].北京:人民交通出版社,2007.
- [13] 梁安铭,王浩屹,蒋必凤,等.椰纤维植被混凝土护坡分析[J].价值工程,2020(4):207—208.
- [14] 李凯,傅鹤林,黄震,等.椰纤维网边坡防护降雨冲刷试验研究[J].公路与汽运,2020(4):120—123.