

棕榈加筋土抗剪强度的影响因素分析

孙中明, 璩继立

(上海理工大学环境与建筑学院, 上海 200093)

摘要: 为了较为全面研究不同影响因素对棕榈加筋黏土的抗剪强度的影响程度, 选取长度为 2 和 8 mm 的棕榈片, 并以不同质量加筋率(0.25%、0.50%、1.0%、2.0%)和长宽比(1:1、1:2、1:3、1:4)加入到黏土中, 对棕榈加筋土进行直接慢剪试验。试验结果表明: 棕榈可以提高上海黏土的抗剪强度和土体的黏聚力, 对内摩擦角基本无影响; 直剪慢剪试验中, 两种尺寸下的筋材的最优加筋率均为 0.50%, 最佳筋材长宽比为 1:3; 棕榈长度为 8 mm 的加筋土抗剪强度峰值和黏聚力均优于 2 mm 的加筋土; 指出了棕榈加筋土在研究领域的不足并提出目前在实际工程上面临的难题。

关键词: 黏土; 棕榈; 加筋率; 长宽比; 抗剪强度

中图分类号: TU411.7

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2016)05-0203-05

Analysis on influence factors of shear strength of palm reinforced soil

SUN Zhongming, QU Jili

(School of Environment and Architecture, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: For a more comprehensive study on the influence of different factors on the shear strength of palm reinforced clay, the paper selected palm sheets with lengths of 2mm and 8mm and added different mass ratios (0.25%, 0.50%, 1.0%, 2.0%) and aspect ratio (1:1, 1:2, 1:3, 1:4) into the clay. A slow shear test was measured to palm reinforced soil directly. The results showed that palm can improve the cohesion and shear strength of clay soil in Shanghai, meanwhile palm has no influence on internal friction angle; in the direct shear test, the optimal reinforcement is 0.50% and the best aspect ratio is 1:3; The peak shear strength and cohesion of the palm with length of 8mm are both better than the one with 2mm long. The paper pointed out the short of palm reinforced soil as well as the practical engineering problems faced at present.

Key words: clay; palm silk; rate of reinforcement; length-width ratio; shear strength

1 研究背景

由于上海处于长江三角洲地区, 河流冲击而成, 因此该地区属于典型的天然软土地基。严学新等^[1]研究上海地区埋深 75 m 以内各工程地质层内土层多为黏土。黏土本身具有强度低、易变形的特点^[2], 黏土强度一直是岩土工程界研究的热点问题, 在众多的补强措施中, 纤维加筋土被认为是一种有效的土体改良。

纤维加筋土的研究已有 40 多年的历史, 研究的

加筋材料集中在具有弹性的天然纤维和人造纤维, 并且取得丰硕的成果。人工合成纤维存在难降解的缺点, 而天然材料具有绿色环保、施工方便、成本低廉等特点, 因此近年来国内外学者开始对天然纤维加筋土及其工程应用开展一些探索性的研究工作, 已有研究成果表明: 天然纤维加筋能够提高素土的强度, 并且可以有效防止土体裂缝的发生和发展, 达到提高土体强度的效果^[3-5]。吴燕开等^[6]通过研究剑麻纤维加筋黏土, 结果表明适量的剑麻纤维可以有效提高黏性土的抗压和抗剪强度, 并得出最优

收稿日期: 2016-01-28; 修回日期: 2016-05-29

基金项目: 诺华上海实验室科研项目(3A-11-307-110)

作者简介: 孙中明(1991-), 男, 山东枣庄人, 在读硕士研究生, 主要从事软土加筋等方面的研究。

通讯作者: 璩继立(1964-), 男, 河南孟州人, 博士后, 副教授, 硕士生导师, 主要从事岩土工程、水文地质等方面的研究与教学工作。

尺寸和加筋率。Adili 等^[7]通过研究纸莎草纤维加筋砂质粉土,结果表明纸莎草纤维在含量为 10% 时,能够极大地提高砂质粉土的内聚力和内摩擦角。Ghestem 等^[8]通过将大麦、向日葵的根系加入土体中的试验研究,结果发现土体的抗剪强度均有增强。能够将天然纤维应用于软土地基的加固中,不仅有利于减少合成纤维的利用,而且是对国家生态文明建设的有益探索。

本文结合前人研究^[9-11],为了较为充分的研究棕榈纤维加筋土的抗剪强度及各因素对加筋土抗剪强度的影响程度,在其基础上又进行了两组试验,通过对纤维加筋土进行直剪慢剪试验,以探究加筋率、筋材尺寸对土体抗剪强度的影响,继而为下一步的研究提供理论依据。

2 试验方法

2.1 试验材料

试验中所采用的土取自上海浦东张江工业园区某大型基坑项目施工现场,由于其含水量较大,需要烘干或者风干以备使用。在实验中采用先风干后烘干的方法,随后将烘干的土块经过碎土机打碎,过 2 mm 的土工筛,然后测量土各方面的物理性能。测得的物理性能见表 1。试验中采用的棕榈取自上海崇明岛,取回后将棕榈洗干净在通风处晾干,按照试验要求剪成一定的形状,棕榈片的物理性能见表 2。

表 1 土的物理性质

最佳含水率/%	液限含水率/%	塑限含水率/%	塑性指数	最大干密度/ (g · cm ⁻³)
20.72	42.34	20.56	21.78	1.62

表 2 棕榈的物理性质

平均厚度/ mm	拉伸强度/ MPa	比重	弹性模量/ MPa	自然伸长率/ %
0.192 ~ 1.240	87 ~ 166	1.24	800 ~ 1900	5 ~ 21

2.2 试验仪器

试验仪器采用南京 DJY-4L 四联等应变直剪仪。采取应变控制式直接剪切,应变速率为 0.02 mm/min,当剪应变达到 10.001 mm 时,停止剪切。

2.3 试样制作

试验以棕榈的质量加筋率和棕榈的长宽比作为抗剪强度的主要影响因素。按照试验要求,将棕榈片剪成长度为 2 mm, 8 mm;再按照长宽比为 1: 1,

1: 2, 1: 3, 1: 4 进行裁剪,使其成为 2 × 2 mm, 2 × 4 mm, 2 × 6 mm, 2 × 8 mm, 8 × 8 mm, 8 × 16 mm, 8 × 24 mm, 8 × 32 mm 的棕榈片,按照质量加筋率为 0.25%, 0.50%, 1.00%, 2.00% 的含筋率进行配制。

试验中素土均在最优含水率和最大干密度下配制,以保证强度达到最优。配置时为了防止棕榈搅拌不均匀,首先将称量好的棕榈和素土分别均匀地分成五份;搅拌时先将一份素土均匀的撒在干燥的托盘底部,然后将一份棕榈片均匀的撒在素土上面,再在上面撒一份素土,以此往复,将棕榈片和素土均匀搅拌,然后再撒入一定质量的蒸馏水并充分拌合均匀,最后装入塑料保鲜袋内密封,并放置恒湿容器中润湿一昼夜备用。制样时称取一定质量的加筋土,按照三分法进行击实,试样的尺寸为直径 61.8 mm,高 20 mm,为减少试验误差每组做 3 个平行试件。

3 结果分析

3.1 棕榈长度为 2 mm 时抗剪强度分析

图 1 为棕榈长度为 2 mm 时,不同垂直荷载、加筋率土体的抗剪强度。图 1 中的 a, b, c 曲线图分别表示在特定的长宽比下,不同加筋率的棕榈加筋土在垂直荷载为 100、200、300 kPa 时所对应的抗剪强度值。通过图像及数据分析棕榈长度为 2 mm 时在不同垂直压力下加筋率与抗剪强度的关系:各加筋率的最大值与素土相比,在 4 种长宽比下,垂直荷载为 100 kPa 时,土体的抗剪强度平均提高了 5.6%、28.57%、18.87%、12.25%,最大值发生在 0.5% 时,增幅达到了 46.93%;垂直荷载为 200 kPa 时,土体的抗剪强度平均提高了 3.0%、13.87%、10.06%、5.98%,最大值发生在 0.5% 时,增幅达到了 21.74%;垂直荷载为 300 kPa 时,土体的抗剪强度平均提高了 2.89%、10.33%、8.63%、5.05%,最大值发生在 0.5% 时,增幅达到了 19.74%。由此可以得出:当长宽比一定时,加筋土的抗剪强度随着加筋率的增大先增大后减少,在加筋率为 0.5% 时抗剪强度峰值的增幅最为明显,并且在此以后出现下降的趋势,图中的每一条曲线都映证了这一现象,曲线均是随着加筋率的增加先增大后减少,在加筋率为 0.5% 时达到峰值,随后出现下降;另外从数据分析的结果可以看出,加筋土样的抗剪强度的增幅随着垂直荷载的增加而下降,这说明垂直荷载越小,纤维对土体强度的改善越明显。通过观察特定加筋率时,不同尺寸的抗剪强度及进行数据分析可以得出,各长宽比的最大值与素土相比,在 4 种加筋率下,垂

直荷载为 100 kPa 时,土体的抗剪强度平均提高了 10.19%、15.81%、13.61%、10.71%;在垂直荷载为 200 kPa 时,土体的抗剪强度峰值平均提高了 3.27%、8.16%、14.68%、6.81%;在垂直荷载为 300 kPa 时,土体的抗剪强度平均提高了 4.42%、

7.28%、9.22%、5.98%。

由此可以得出:当加筋率一定时,抗剪强度峰值随着长宽比的增加先增加后减小,长宽比为 1:3 时达到最优,并且长宽比为 1:4 时,出现了较为明显的下降。

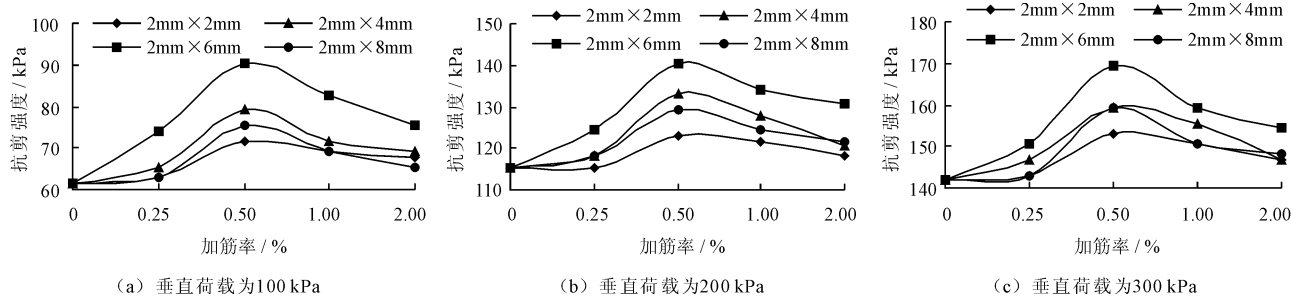


图1 棕榈长度为 2 mm 时,不同垂直荷载、加筋率土体的抗剪强度

3.2 棕榈长度为 8 mm 时抗剪强度分析

图 2 为棕榈长度为 8 mm 时,不同垂直荷载、加筋率土体的抗剪强度峰值。图中 a、b、c 中的曲线图表示在特定的长宽比下,不同加筋率的棕榈加筋土在垂直荷载为 100、200、300 kPa 时所对应的抗剪强度峰值。

通过图像及数据分析棕榈长度为 8 mm 时在不同垂直压力下加筋率与抗剪强度的关系:各加筋率最大值与素土相比,在 4 种长宽比下,垂直压力为 100 kPa 时,土体的抗剪强度平均提高了 10.7%、32.14%、24.48%、15.3%,最大值发生在 0.5% 时,增幅达到 51.0%;垂直压力为 200 kPa 时,土体的抗剪强度平均提高了 5.17%、18.07%、13.59%、8.43%,最大值发生在 0.5% 时,增幅达到 27.18%;垂直压力为 300 kPa 时,土体的抗剪强度平均提高了 6.19%、15.93%、11.51%、7.75%,最大值发生在 0.5% 时,增幅达到 22.12%,由此可以得出:在 3

种垂直荷载下,当长宽比一定时,土体的抗剪强度峰值随着加筋率的增加先增大后减少,并且加筋率为 0.50% 时土体的抗剪强度最大,在此以后出现了下降,图中曲线也验证了这一结论,与长度为 2 mm 时的趋势相一致;另外随着垂直应力的增大,土体的抗剪强度提高幅度出现下降的现象。通过观察加筋率恒定时,不同尺寸的抗剪强度及进行数据分析可以得出,各长宽比最大值与素土相比,在 4 种加筋率下,在垂直荷载为 100 kPa 时,土体的抗剪强度平均提高了 11.22%、19.33%、36.21%、15.75%;在垂直荷载为 200 kPa 时,土体抗剪强度峰值平均提高了 6.81%、11.26%、16.58%、10.6%;在垂直荷载为 300 kPa 时,长宽比为 1:1、1:2、1:3、1:4 时,抗剪强度峰值平均提高了 7.75%、29.96%、14.70%、9.07%,由此可以看出当加筋率一定时,土体的抗剪强度随着长宽比的增加先增大后减少,均在长宽比为 1:3 时达到最大值。

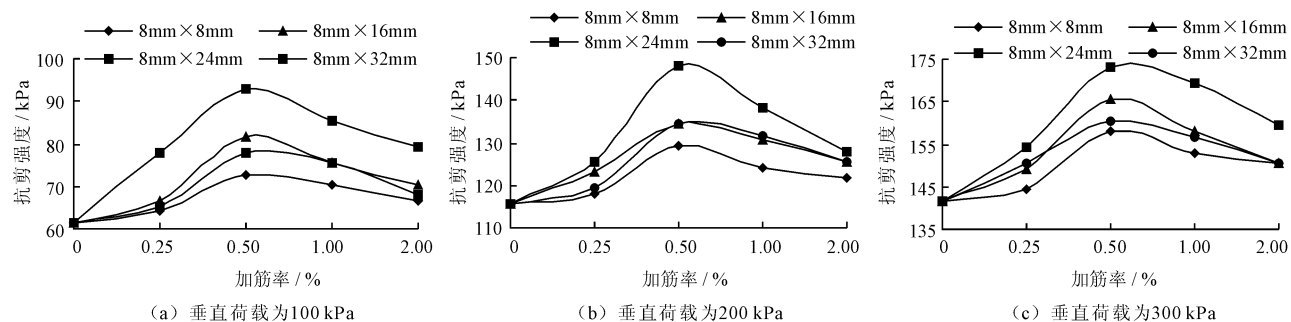


图2 棕榈长度为 8 mm 时,不同垂直荷载、加筋率土体的抗剪强度峰值

综上所述可以看出,相对于素土而言,加入棕榈以后,土体的抗剪强度均有增加;并且加筋率和长宽比对土体的抗剪强度峰值均有显著的影响,另外随

着垂直荷载的增加,加筋土体的峰值强度的增幅逐渐减少,说明较大的垂直荷载弱化了棕榈的加筋效果。在本次试验条件下,最优加筋率为 0.5%,当加

筋率超过 0.5% 时开始出现下降,这可能是由于随着加筋率的增大,土体里面的筋材与土的作用也愈加明显,但当加筋率超过了某一值时,过多的筋材就会重叠,重叠的棕榈不能保证筋材与土体充分接触,破坏了土体的整体性,反而形成了薄弱面,从而表现出抗剪强度降低的现象。在一定的加筋率下,随着棕榈片长宽比的增加,土体的抗剪强度峰值先增大再减少,最优长宽比为 1:3,究其原因应是适当的棕榈尺寸和土颗粒能够充分接触,尺寸太小不能充分发挥棕榈与土之间相互作用的摩擦力;筋材尺寸大加筋率较低时,筋材绝对数量较少,容易出现棕榈片混合不均匀的情况,导致加筋效果不显著;加筋率增大后,筋材绝对数量增大,棕榈片混合较为均匀,加筋效果逐渐明显,进而提高土体强度。并且对比看出,在 3 种垂直荷载下,棕榈加筋率为 0.5%、棕榈长宽比为 1:3 时,土体的抗剪强度的提高幅度均达到最大:棕榈长度为 2mm 时,平均最大提高幅度为 29.38%;棕榈长度为 8 mm 时,平均最大提高幅度为 31.63%,说明 8 mm 的棕榈片的加筋效果要优于 2 mm 的棕榈片。

3.3 筋材长度、长宽比以及加筋率对抗剪强度指标的影响

表 3、表 4 为不同尺寸的加筋土体内摩擦角随加筋率变化的数据。图 3 为棕榈加筋率、长宽比与土体的黏聚力 c 的关系曲线图。通过观察表 3、表 4 可以看出,在两种筋材长度下,内摩擦角均在 1% 的范围内浮动,基本未发生变化,说明对于内摩擦角而言,棕榈的加入对其影响较小。通过对图 3 及对试验数据的分析看出:当筋材长度为 2 mm 时,在不同长宽比下,加筋率 0.25%、0.50%、1.00% 和 2.00% 时,土体黏聚力分别平均提高了 18.15%、63.3%、

43.15%、31.08%,黏聚力提高最大幅度为 109.7% (加筋率为 0.50%,长宽比为 1:3)。当筋材长度为 8 mm 时,在不同长宽比下,加筋率 0.25%、0.50%、1.00%、2.00% 时,土体黏聚力分别平均提高了 22.98%、70.55%、55.63%、32.65%,黏聚力提高的最大幅度为 123% (加筋率 0.50%,长宽比 1:3)。由此可见,对提高土体的黏聚力而言,棕榈长度为 8 mm 的效果优于 2 mm,加筋率为 0.50% 时土体的黏聚力提升的幅度最大,并且当加筋一定时,黏聚力的最大值均出现在长宽比为 1:3 时。

表 3 筋材长度 2mm 下不同长宽比、加筋率上海黏土内摩擦角 φ 的大小 ($^{\circ}$)

加筋率/ %	筋材尺寸/mm			
	2×2	2×4	2×6	2×8
0.00	21.88	21.88	21.88	21.88
0.25	21.80	22.19	20.95	21.88
0.50	22.19	21.88	21.57	22.80
1.00	22.19	22.80	20.95	22.19
2.00	21.57	21.26	21.57	22.50

表 4 筋材长度 8 mm 下不同长宽比、加筋率上海黏土内摩擦角 φ 的大小 ($^{\circ}$)

加筋率/ %	筋材尺寸/mm			
	8×8	8×16	8×24	8×32
0.00	21.88	21.88	21.88	21.88
0.25	21.88	22.50	20.95	23.11
0.50	23.11	22.80	21.88	22.50
1.00	22.50	22.50	21.57	22.19
2.00	22.80	21.88	21.88	22.50

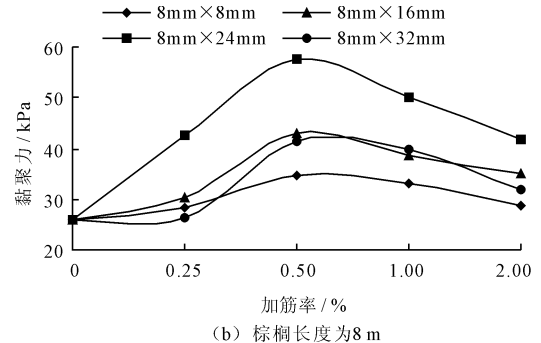
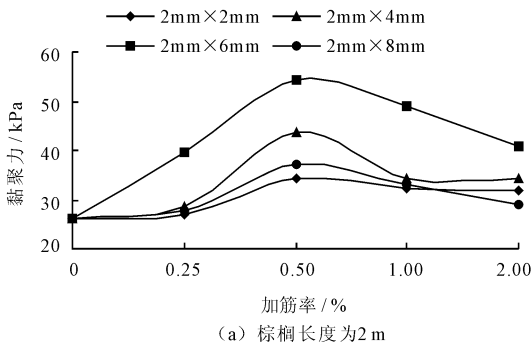


图 3 棕榈加筋率、长宽比与土体的黏聚力 c 的关系曲线图

3.4 棕榈加筋土的展望及在工程应用中的难题

通过研究可以看出棕榈加筋土能够提高土体的强度,并且材料广泛,造价低廉,同时其对环境无污染,

无危害。但仍有以下几点需要进一步研究。

(1) 文中只在室内试验中研究了它的抗剪强度,今后可进一步在实际工程中进行试验。

(2) 棕榈加筋土的应用比较局限,其强度不能满足强度较高的建筑使用条件,且其防腐的时间比较短,因此今后应当在如何进一步提高棕榈加筋土的强度和添加试剂增长防腐时间方面加强研究。

(3) 土体的动力特性是进行土体稳定性研究不可缺少的内容。研究表明纤维加筋土具有改善动力学特性,提高抗液化强度等作用,但有关这方面的研究还处于探索阶段,相对比较薄弱,目前仅有砂土、粉煤灰和黏性土等的相关研究,有关棕榈加筋土在这方面还处于未知领域,值得进一步的探讨和研究。

虽然以上的试验结论充分说明棕榈加筋土是一种优良的土质改良技术,具有广阔的应用前景。但是由于目前的工作还存在一些不足,离该技术在工程中得到大范围的推广应用仍然有相当长的距离,造成这种现象的根本原因在于缺乏简单易行的施工器具和工艺,即如何在现场将离散的棕榈片均匀地掺入土体中,也缺乏将棕榈批量剪成符合要求尺寸的机器,以达到工程要求。

4 结 论

(1) 筋材尺寸和加筋率的增加,剪切强度呈现先增大后减小的趋势,本试验情况下的最优加筋率为0.50%,最佳筋材长宽比为1:3。

(2) 在最优加筋率和最佳长宽比下,棕榈片长度为2 mm时抗剪强度平均提高了29.38%,棕榈片长度为8 mm时抗剪强度平均提高了31.63%。

(3) 对于加筋土的黏聚力而言,棕榈片长度为2 mm时,黏聚力最大提高幅度为109.7%,棕榈片长度为8 mm时,黏聚力最大提高幅度为123%。

(4) 综合比较说明,棕榈加筋土的抗剪强度指标中黏聚力增加较大,内摩擦角几乎没有变化,并可以得出:棕榈片长度为8 mm的加筋效果要高于长度为2 mm的棕榈。

(5) 棕榈加筋土在实际工程中的验证及动力特性研究还有待进一步研究和探讨。

参考文献:

- [1] 严学新,史玉金.上海市工程地质结构特征[J].上海地质,2006(4):19-24.
- [2] 周学明,袁朗英,蔡坚强,等.上海地区软土分布特征及软土地基变形实例浅析[J].上海地质,2005(4):6-9+61.
- [3] 杨继位,柴寿喜,王晓燕,等.以抗压强度确定麦秸秆加筋盐渍土的加筋条件[J].岩土力学,2010,31(10):3260-3264.
- [4] 李敏,柴寿喜,魏丽.麦秸秆的力学性能及加筋滨海盐渍土的抗压强度研究[J].工程地质学报,2009,17(4):545-549.
- [5] 杜鹏.加筋条件对稻草加筋盐渍土的无侧限抗压强度影响[J].天津城市建设学院学报,2012,18(1):6-9.
- [6] 吴燕开,牛斌,桑贤松.随机分布剑麻纤维加筋土力学性能试验研究[J].水文地质工程地质,2012,39(6):77-81.
- [7] Adili Aqeel Al, Azzam Rafiq, Spagnoli Giovanni, et al. Strength of soil reinforced with fiber materials (Papyrus) [J]. Soil Mechanics & Foundation Engineering, 2012, 48(6):241-247.
- [8] Ghestem M, Veylon G, Bernard A, et al. Influence of plant root system morphology and architectural traits on soil shear resistance[J]. Plant and Soil, 2014, 377(1):43-61.
- [9] 璩继立,李贝贝,魏天乐,等.棕榈纤维加筋对上海软黏土强度特性的影响[J].水资源与水工程学报,2014,25(5):160-164+168.
- [10] 璩继立,李贝贝,李陈财,等.棕榈加筋上海黏土强度特性试验研究[J].岩土力学,2014,35(Z2):142-148.
- [11] 璩继立,赵冬雪,李贝贝.加筋条件对棕榈加筋土强度的影响[J].工业建筑,2015,45(3):115-119+129.