

废旧轮胎橡胶颗粒掺量对吹填软土抗剪强度的影响

张磊¹, 李大勇^{1,2}, 李姗姗², 黄婷²

(1. 山东科技大学 山东省土木工程防灾重点实验室, 山东 青岛 266590;

2. 山东科技大学 土木工程与建筑学院, 山东 青岛 266590)

摘要:废弃轮胎橡胶颗粒按不同掺量与吹填软土均匀混合,配置成混合土样,进行不同固结压力下的直接剪切试验,得到相应的剪应力与剪切位移的关系,分析了废弃轮胎橡胶颗粒掺量对吹填软土抗剪强度的影响,提出不同掺合比下供参考的抗剪强度指标。结果表明:随着废弃轮胎橡胶颗粒掺量的增加,吹填软土-橡胶颗粒混合土的内摩擦角呈现先减小后增大的趋势;而黏聚力呈现先增大后减小的趋势。但抗剪强度的总趋势是随橡胶颗粒掺量增加而增大,剪切位移达到3~5 mm之后,剪切强度基本保持不变。

关键词:废旧轮胎橡胶颗粒;吹填软土;直剪试验;黏聚力;内摩擦角

中图分类号:TU447

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2015)04-0102-05

Effects of Scrap Tire Chips on Shear Strength of Soft Dredger Fill

Zhang Lei¹, Li Dayong^{1,2}, Li Shanshan², Huang Ting²

(1. Key Laboratory of Civil Engineering Disaster Prevention and Mitigation, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. College of Civil Engineering and Architecture, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: Simple shear tests under different concretion pressures were conducted on the mixed soil samples of soft dredger fill and scrap tire chips according to different proportions and the corresponding relations between shear stress and shear displacement were drawn. Based on this, the effects of scrap tire chips on the shear strength of soft dredger fill were analyzed and referential shear strength index for different blend ratios was proposed. Test results show that with the increase of scrap tire chips, the internal friction angle of the mixed soil first decreases and then increases, while the cohesion of the mixed soil first increases and then decreases. However, the shear strength tends to increase with the increase of scrap tire chips and it remains unchanged after the shear displacement reaches 3-5 mm.

Key words: scrap tire chips; soft dredger fill; simple shear tests; cohesion; frictional angle

随着我国汽车工业的飞速发展,汽车拥有量剧增,从而产生大量的废旧轮胎。2012年产生废旧轮胎达2.83亿条,次年产生量即增至2.97亿条,我国已经成为仅次于美国的世界第二大废旧轮胎产生国^[1]。大量废旧轮胎的处理会造成严重环境污染,成为全球性关注的热点问题。在岩土工程领域,人们发现把废旧轮胎破碎成橡胶颗粒,掺入土中能改良土体的原有物理力学性质,主要是土的抗剪强度、渗透性得到显著提高,同时具有较好抵抗动力荷载的性能。因此,橡胶颗粒混合土可广泛用于路堤、码头、储油库等填筑工程,其力学

收稿日期:2015-01-07

基金项目:国家自然科学基金项目(51379118);山东科技大学科研创新团队资助(2012KYTD104)

作者简介:张磊(1991—),男,山东青岛人,硕士研究生,主要从事海洋土力学研究。E-mail:1067172853@qq.com

李大勇(1971—),男,山东泰安人,教授,博士生导师,主要从事海洋土力学研究,本文通信作者。

E-mail:ldy@sdust.edu.cn

性质研究引起了国内外学者的兴趣,如:邓安等^[2]通过室内直剪和三轴压缩试验,研究废旧轮胎颗粒掺量和围压对砂土剪切性状的影响;辛凌等^[3]对废弃轮胎橡胶颗粒轻质混合土进行三轴试验,探讨了废弃轮胎颗粒配合比不同时土体力学性质的变化; Tatlisoz^[4]、Lee 等^[5]探究了砂土掺入轮胎碎片后混合土体材料的基本工程性状;孙树林等^[6]通过掺入废弃轮胎胶粉的膨胀土固结快剪试验,研究了膨胀土的抗剪强度和膨胀性。

上述研究成果证实了砂土、膨胀土中掺入废旧轮胎颗粒使得原土改性的可行性和有效性,但对吹填软土掺入橡胶颗粒的研究还未见报道。

青岛正在大力推进西海岸建设,吹填海底软土围海造田的方法得到了广泛应用。青岛西海岸吹填土多为海底淤泥质软土,以此为工程背景,在吹填工程中掺入适量废旧轮胎颗粒,对吹填软土的物理力学性质进行改善,能够加速吹填土排水固结、减轻土体自重,提高其抗剪强度,具有重要的工程实践意义。本文采用先进伺服控制直剪试验仪,研究废旧轮胎橡胶颗粒掺量对吹填土抗剪强度的影响规律,得到相应抗剪强度指标的建议值,为工程设计提供参考。

1 试验设备及材料

1.1 试验设备

试验所用仪器为美国 GEOTEC 公司生产的 ShearTrac-II 型直剪残余剪切仪,该仪器可开展砂土及粘性土的固结试验、直剪和残余剪切试验。与国产普通直剪仪相比,最大的优点是在试验过程中能始终保证预设的固结压力不变。而传统直剪仪通过施加砝码进行竖向加载,剪切过程中,土样横截面积不断减小,竖向压应力逐渐增大,但实际仍取常值,从而导致抗剪强度指标产生误差。

1.2 试验材料

试验所用土样取自青岛黄海前湾港海域吹填淤泥质软土,呈浅黑色,泥质细腻,土芯切面光滑。其天然含水率 47.95%,液限 37.2%,塑限 15.1%,天然孔隙比 1.13。

试验所采用的橡胶颗粒由废弃橡胶轮胎加工而成,粒径分布范围为 1.0~1.5 mm。

2 试验过程

2.1 试样制备

先将吹填软土风干碾散后过 1 mm 筛,放入烘箱内烘干备用。按 10%,15%,20%,25%,30%和 40%的质量掺量比将橡胶颗粒与干吹填软土颗粒混合,由最优含水率(18%)配制相应的混合土,击实,然后在真空缸中抽气饱和 6 h,静置 10 h^[7-8]。

2.2 试验步骤

1)装样。对准剪切容器上下盒,插入固定销,在下盒内放入透水板和滤纸,将试样缓缓推入剪切盒内,盖过滤纸和透水板。

2)首先对试样进行固结,根据需要施加各级竖向压力(50,100,200,300 kPa),通过数据采集系统观测竖向应力-时间关系曲线,当试样的变形不大于 0.005 mm/h 时,则认为固结完成;拔去固定销,以 0.8 mm/min 的剪切速度进行剪切^[7-8]。

3)每种配比试样至少进行 3 组试验,以确保试验结果的准确性与可重复性,最大和最小值误差不超过 3%,取平均值,否则重新补做一组。

3 试验结果及分析

图 1 为固结压力 300 kPa 条件下不同橡胶颗粒掺合比的土样破坏照片,其他固结压力条件下破坏状态几乎一致。由图可观察到上层土饼厚度随固结压力变化有所不同,即压力越大,厚度越小,而下层土饼厚度是一样的。

3.1 剪切位移与剪应力的关系

图 2 为不同竖向压力(σ)下,橡胶颗粒掺量分别为 0,10%,15%,20%,25%,30%和 40%的吹填软土剪

应力与剪切位移关系图。可以看出,吹填软土的剪应力刚开始是增加的,当剪切位移达到 3~5 mm 之后保持不变;掺入橡胶颗粒后,剪应力随剪切位移的增大而逐渐增加,取剪切位移 4 mm 处对应的剪应力为抗剪强度^[8]。

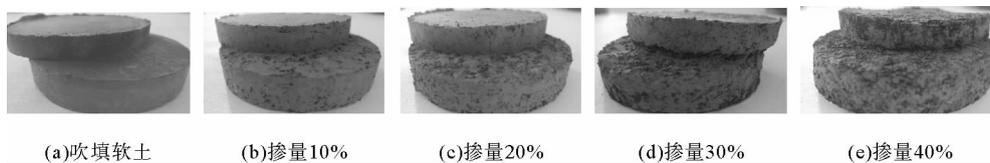


图 1 土样剪切破坏后的状态

Fig. 1 The state of the soil sample after shear failure

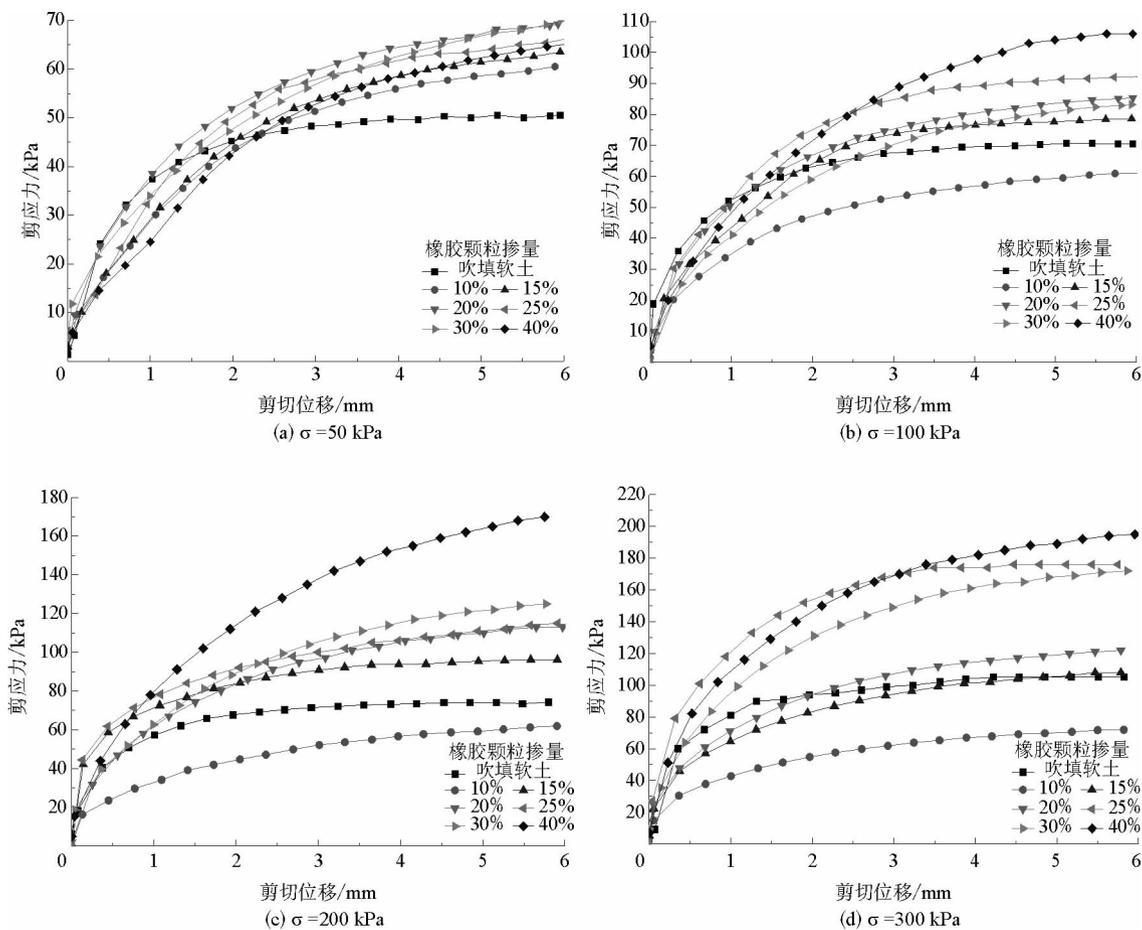


图 2 剪应力与剪切位移关系曲线

Fig. 2 Curves of shear strength and horizontal displacement

由图 2 发现,总的趋势是橡胶颗粒掺量能提高原土的抗剪强度,但掺量在 10% 以内,对吹填软土抗剪强度影响不大,高固结应力作用下,掺量提高抗剪强度的程度更加显著。

3.2 橡胶颗粒掺量对抗剪强度指标的影响

根据剪应力与剪切位移关系曲线作出抗剪强度和竖向压力关系曲线(图 3),得到不同橡胶颗粒掺量下试样的抗剪强度指标值(表 1)。

图 4 为废弃轮胎橡胶颗粒掺量对吹填软土内摩擦角的影响。未加橡胶颗粒时,吹填软土内摩擦角为 10.7° ;在探讨的橡胶颗粒掺量范围内,随着橡胶颗粒掺量的增加,内摩擦角先减小后增大,且变化区间较大,从掺量为 10% 的 2.5° 增大到掺量为 40% 时的 26.9° ,但相比于砂土掺入轮胎碎片后混合土体材料^[9],其内摩擦角要小的多。

图 5 为废弃轮胎橡胶颗粒掺量对吹填软土黏聚力的影响。可以看出,未加橡胶颗粒时,吹填软土黏聚力为 44 kPa;在探讨的橡胶颗粒掺量范围内,随着橡胶颗粒掺量的增加,黏聚力呈先增大后减小的趋势,掺量为 20% 可达 60.6 kPa,掺量为 40% 可达 39.2 kPa。

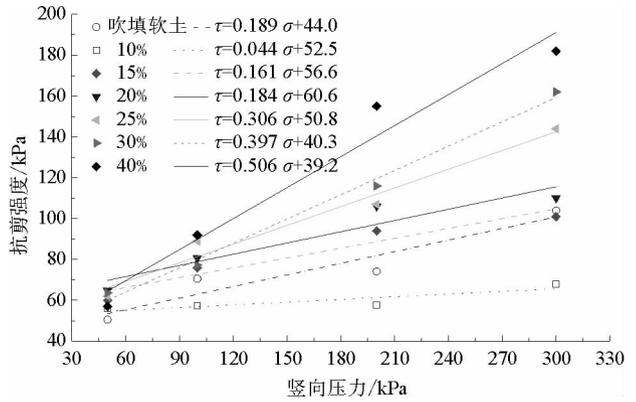


图 3 抗剪强度和竖向压力关系曲线图

Fig. 3 Relation curves between normal stress and shear strength

表 1 不同橡胶颗粒掺量下试样的抗剪强度指标

Tab. 1 Shear strength properties of samples in various scrap tire chips contents

橡胶颗粒掺量/%	0	10	15	20	25	30	40
黏聚力 c /kPa	44.0	52.5	56.6	60.6	50.8	40.3	39.2
内摩擦角 φ /($^\circ$)	10.7	2.5	9.1	10.4	17	21.6	26.9

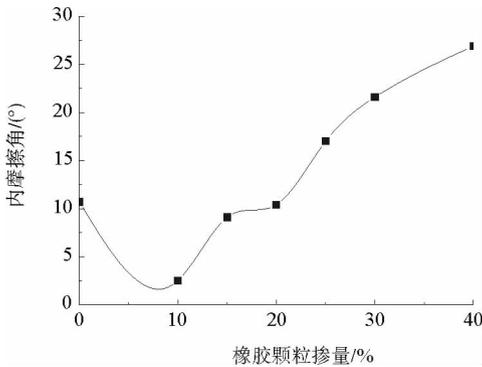


图 4 废弃轮胎橡胶颗粒掺量对吹填软土内摩擦角的影响

Fig. 4 Effect of scrap tire chips on angle of internal friction for soft dredger fill

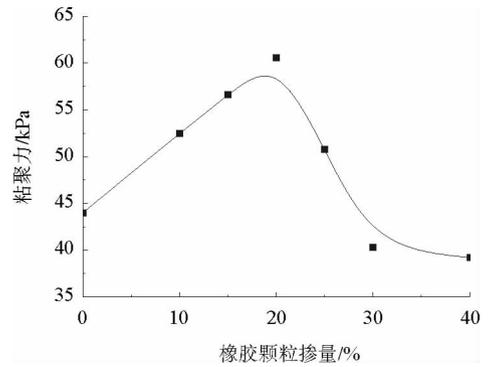


图 5 废弃轮胎橡胶颗粒掺量与吹填软土黏聚力的关系

Fig. 5 Relation curves between scrap tire chips content and cohesion

4 结论

通过青岛黄海海域吹填软土直剪试验,分析橡胶颗粒对吹填软土抗剪强度指标的影响,比较分析不同竖向压力下橡胶颗粒掺量与剪应力的变化规律,得到可供相关工程设计参考的相应抗剪强度指标的建议值,并得出以下结论:

1) 废弃轮胎橡胶颗粒掺量增加导致吹填软土抗剪强度增加,混合土的剪应力随着剪切位移的增大逐渐增大,剪应力在剪切位移达到 3~5 mm 之后保持不变,呈现强度硬化状态。

2) 随着废弃轮胎橡胶颗粒掺量的增加,吹填软土-橡胶颗粒混合土的内摩擦角呈先减小后增大的趋势,即 10% 掺量内内摩擦角减小,之后随掺量增加而增大,掺量为 40% 时,可达 26.9° ;而黏聚力呈现先增大至掺

量 20% 时的 60.6 kPa, 随后逐渐减小至掺量 40% 的 39.2 kPa。

参考文献:

- [1] 李卓, 赵磊, 魏立超, 等. 美国废旧轮胎回收利用经验及对天津市的启示[J]. 资源节约与环保, 2012, 29(1): 70-72.
Li Zhuo, Zhao Lei, Wei Lichao, et al. American waste tire recycling experience and enlightenment to Tianjin[J]. Resource Conservation and Environmental Protection, 2012, 29(1): 70-72.
- [2] 邓安, 冯金荣. 砂-轮胎橡胶颗粒轻质土工填料试验研究[J]. 建筑材料学报, 2010, 13(1): 116-120.
Deng An, Feng Jinrong. Experimental study on sand shredded tire lightweight fills[J]. Journal of Building Materials, 2010, 13(1): 116-120.
- [3] 辛凌, 刘汉龙, 沈扬, 等. 废弃轮胎橡胶颗粒轻质混合土强度特性试验研究[J]. 岩土工程学报, 2010, 32(3): 428-433.
Xin Ling, Liu Hanlong, Shen Yang, et al. Consolidated undrained triaxial compression tests on lightweight soil mixed with rubber chips of scrap tires[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010, 32(3): 428-433.
- [4] Tatlisoz N, Benson C, Edil T. Effect of fines on mechanical properties of soil-tire chip mixtures[C]//Testing Soil Mixed with Waste or Recycled Materials. ASTM International, 1997: 93-108.
- [5] Lee J H, Saigado R, Bernal A. Shredded tires and rubber-sand as lightweight backfill[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1999, 125(2): 132-141.
- [6] 孙树林, 魏永耀, 张鑫. 废弃轮胎胶粉改良膨胀土的抗剪强度研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S1): 3070-3075.
Sun Shulin, Wei Yongyao, Zhang Xin. Research on shear strength of expansive soils reinforced with waste tire powders[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(S1): 3070-3075.
- [7] American Society for Testing and Materials. Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions: ASTM D3080: 1985[S].
- [8] 中华人民共和国建设部. GB/T50123-1999, 土工试验方法标准[S]. 北京: 中国计划出版社, 1999.
- [9] Foose G J, Benson C H, Bosscher P J. Sand with shredded waste tires[J]. Geotechnical Testing Journal, 1996, 122(9): 760-767.
- [10] Mahmoud G, Masoud A S. Influence of optimized tire shreds on shear strength parameters of sand[J]. International Journal of Geomechanics, 2005, 5(1): 58-65.
- [11] Hemanta H, Kazuya Y, Yoshiaki K. Multifaceted potentials of tire-derived three dimensional geosynthetics in geotechnical applications and their evaluation[J]. Geotextiles and Geomembranes, 2010(28): 303-315.
- [12] Cabalar A F. Direct shear tests on waste tires-sand mixtures[J]. Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2011, 29: 411-418.

(责任编辑: 吕海亮)