

文章编号:1671-6833(2014)04-0033-03

废旧轮胎颗粒水泥混合土三轴试验研究

李丽华, 马 强, 王翠英, 陈 辉, 杨 超, 刘 毅

(湖北工业大学 土木工程与建筑学院, 湖北 武汉 430068)

摘 要: 世界各地废旧轮胎的黑色污染给环境保护造成了很大的压力. 废旧轮胎颗粒水泥混合土质轻、强度和韧性较高、抗震减震、防渗性能优越, 可用于护岸护坡的涂层材料以减小裂缝和变形. 对废旧轮胎颗粒水泥混合土开展了三轴试验, 主要探讨了混合土的强度特性以及轮胎颗粒含量的影响. 试验结果表明, 黏土中掺入微量水泥和一定比例的废旧橡胶轮胎颗粒, 能够改善混合土的性能, 提高混合土抗剪强度. 当水泥含量恒定时, 轮胎颗粒含量约 20% 时为临界值, 此时黏聚力和强度达到最大.

关键词: 轮胎颗粒; 混合土; 抗剪强度

中图分类号: TU502 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-6833.2014.04.008

0 引言

随着国内外汽车工业的蓬勃发展, 废旧轮胎产量逐年增加, 废旧轮胎具有耐高温, 难降解, 耐机械性能等性能, 如果不合理处理, 不仅占用大量土地资源, 而且对环境会造成严重污染, 如滋生病菌, 引发火灾, 对地表和地下水造成污染, 威胁人类健康等.

如果对废旧轮胎加以合理利用, 将会成为一种宝贵的资源. 目前对废旧轮胎的回收利用主要有如下几种^[1]: ①原形利用, 如将轮胎绑于轮船两侧用于防撞、用于江河两岸防洪护堤等. ②旧胎翻新, 旧胎翻新的成本只有生产新胎成本的 1/3, 而翻新胎的使用寿命远大于新胎的 1/2, 具有很高的经济价值. ③再生胶, 废胎经过粉碎、加热、机械处理等物理化学过程, 可以制造品种繁多的再生胶制品. ④热能利用, 废旧轮胎是一种很好的燃料, 广泛用于水泥厂、发电厂、造纸厂、钢铁厂和冶炼厂中. ⑤热分解, 将废旧轮胎进行热分解, 可以提炼出可燃气体、燃油、碳粉等工业产品. ⑥机械加工利用法, 如将橡胶轮胎磨成橡胶粉用于沥青混凝土, 可以起到减震降噪的作用. 将轮胎切割粉碎成轮胎碎片混合砂土用于填料. 磨成橡胶颗粒与水泥土混合用于防渗等.

废旧轮胎应用前景广阔, 国内外较多学者开展了相关研究. 邓安等^[2-3]主要研究了橡胶轮胎颗粒混合砂土的土工性能; 李朝晖等^[4]主要研究橡胶轮胎颗粒混合黄土的土工特性; 辛凌等^[5-6]等主要研究橡胶轮胎颗粒混合黏土的特性; 张余^[7]则对废旧轮胎应用于浮式防波堤方面进行了模型试验.

目前, 国内外学者的研究大多集中在废胎碎片(颗粒)混合黏土(砂土)应用方面, 而对于废旧轮胎颗粒水泥混合土的研究还没有广泛开展. 废旧轮胎颗粒水泥黏土具有较高的强度和韧性, 较低的渗透性, 可用于护岸护坡的涂层材料以减小裂缝和变形^[8].

笔者对废旧轮胎颗粒、水泥、黏土混合土试样进行了固结不排水三轴试验研究, 主要探讨了水泥含量一定的情况下, 混合土的强度特性以及废旧轮胎颗粒含量对混合土强度和变形的影响.

1 试验

1.1 试验材料

废旧橡胶轮胎颗粒(Rubber Chips, 简称 R): 将废旧轮胎进行机械研磨, 经过筛, 取直径 < 1 mm 的颗粒.

黏土(Clay, 简称 S): 取自武汉南湖板桥村 1.5 ~ 3 m 深的低液限黏土, 此土为工程弃土. 天

收稿日期: 2014-05-30; 修订日期: 2014-06-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51308197), 湖北省自然科学基金项目(2012FFB00606), 湖北工业大学博士基金(BSQD12055), 长江科学院开放研究基金资助项目(CKWV2013222/KY)

通信作者: 马强(1983-), 男, 湖北丹江口人, 博士, 硕士生导师, 主要从事土工合成材料加筋等环境岩土方面的研究工作, E-mail: maqiang927@163.com

然含水率 $\omega = 45.6\%$,土粒比重 $G_s = 2.68$,天然孔隙比 $e = 1.578$,天然密度 $\rho = 1.59 \text{ g/cm}^3$,液限 $\omega_L = 41.9\%$,塑限 $\omega_p = 25.1\%$.

普通硅酸盐水泥 (Cement, 简称 C).

水 (Water, 简称 W) :取自自来水.

1.2 试样配比方案

保持水泥的含量不变,变换黏土和橡胶颗粒的质量比例,主要探讨轮胎颗粒含量对废旧轮胎颗粒、水泥、黏土混合土强度和变形的影响.混合土中轮胎颗粒的含量质量比 ($m_R/(m_s + m_R)$) 分别为 0%、10%、20%、30% ,保持水泥含量 ($m_c/(m_s + m_R)$) 为 0.5% ,含水量 ($m_w/(m_s + m_R)$) 为 25% .

1.3 试样制备

将天然黏土在烘箱中烘烤 8 h,进行研磨,过 2 mm 筛,将混合土中各种原料按照试样配比方案分别称量烘干后黏土,橡胶颗粒,水泥,水,进行搅拌,按照分层压实的方法压入高 125 mm,直径为 61.8 mm 的模具内,后经真空抽气饱和法进行饱和,制样如图 1 和 2 所示.同一配比试样取 3 个样,在不同的围压 σ_3 (50,100,200 kPa) 作用下进行试验,得到极限应力圆,绘该土样的抗剪强度包线.



图 1 制样

Fig. 1 Sample preparation

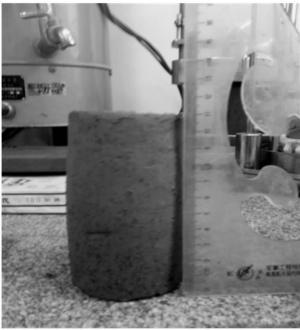


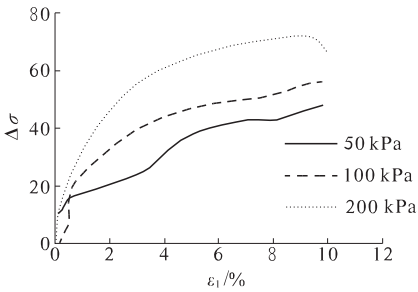
图 2 压缩后的试样图

Fig. 2 Compression sample

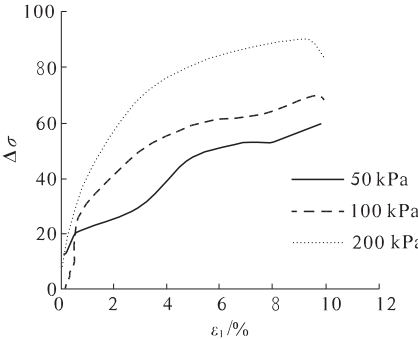
1.4 试验结果

不同轮胎橡胶颗粒含量偏应力 $\Delta\sigma$ ($\Delta\sigma = \sigma_1 - \sigma_3$) 与轴向应变 ε_1 关系分别如图 3 所示.同一配比试样随着围压的增大,应力应变曲线越来越

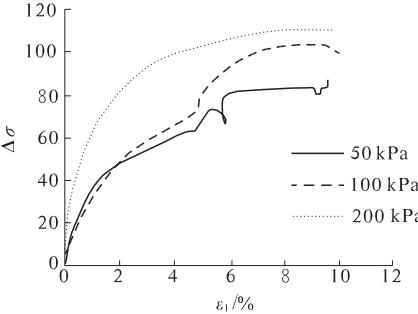
陡,轴向极限应力逐渐增大.



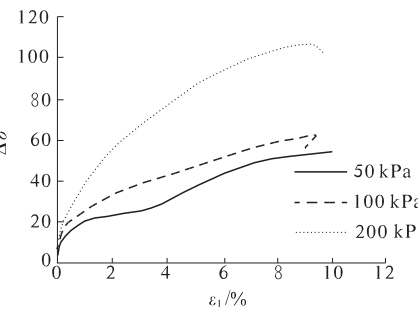
(a) 橡胶含量 0%



(b) 橡胶含量 10%



(c) 橡胶含量 20%



(d) 橡胶含量 30%

图 3 偏应力与轴应变关系

Fig. 3 Deviatoric stress and axial strain relations

同一配比试样,分别在 3 个不同围压下,试样承受的轴向极限应力表 1.

不同围压下,轴向极限偏应力 $\Delta\sigma_{1f}$ 与橡胶颗粒含量的关系如图 4.由表 1、图 4 可知,同一围压下,轴向极限偏应力 $\Delta\sigma_{1f}$ 随着橡胶颗粒含量的增加先增大而后减小,当橡胶颗粒含量达到 20% 左

右时,轴向极限偏应力 $\Delta\sigma_{1f}$ 最大. 当橡胶颗粒含量 $<10\%$ 时,轴向极限偏应力缓慢增加,但不明显,当橡胶颗粒含量 $>10\%$ 时,轴向极限偏应力先增加后减小,变化明显. 同一配比试样下,轴向极限偏应力随着围压的增加而增大.

表 1 不同围压下试样承受的轴向极限偏应力

Tab. 1 Axial limit deviatoric stress at different confining pressure

围压/ kPa	偏应力/kPa			
	0%	10%	20%	30%
50	48	60	86	53
100	56	70	103	63
200	72	90	110	106

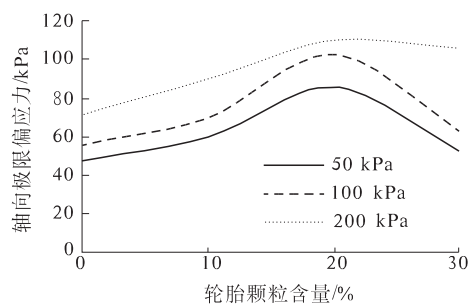


图 4 轴向极限偏应力与橡胶颗粒含量关系
Fig. 4 Axial limit deviatoric stress and tire content relations

由摩尔圆可知混合土黏聚力与内摩擦角如表 2.

表 2 不同橡胶含量下试样黏聚力和内摩擦角

Tab. 2 Cohesion and internal friction angle at different tire content

参数	颗粒含量			
	0%	10%	20%	30%
c/kPa	18.6	22.8	38.3	13.4
$\varphi/(\text{^\circ})$	4.3	5.2	4.0	8.9

通过抗剪强度公式绘制如图 5 所示.

$$\tau_f = c + \sigma \tan\varphi.$$

式中: τ_f 为土的抗剪强度, kPa; σ 为剪切滑动面上的法向应力, kPa; c 为土的黏聚力, kPa; φ 为土的内摩擦角, ($^\circ$).

由表 2、图 5 知,随着橡胶颗粒含量的提高,黏聚力先增大后减小,内摩擦角先增大后减小又出现反弹,变化不规律. 黏土中掺入适量的橡胶颗粒,在少量水泥的胶结下,提高了橡胶颗粒水泥混合土的黏聚力,提高了混合土的抗剪强度.

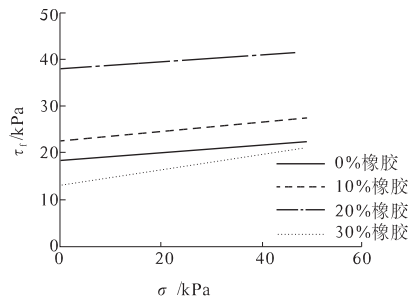


图 5 τ_f 与 σ 关系图
Fig. 5 The relation of τ_f and σ

2 结 论

- (1) 同一围压下,轴向极限偏应力随轮胎颗粒含量的增加先增大而后减小,当橡胶颗粒含量达到 20% 左右时,轴向极限偏应力最大.
- (2) 当轮胎颗粒含量小于 10% 时,轴向极限偏应力缓慢增加,但不明显,当橡胶颗粒含量大于 10% 时,轴向极限偏应力先增加后减小,变化明显. 同一配比试样下,轴向极限偏应力随着围压的增加而增大.
- (3) 随着橡胶颗粒含量的提高,黏聚力先增大后减小,内摩擦角先增大后减小又出现反弹. 掺入一定比例的废旧橡胶轮胎颗粒,能够提高轻质混合土的抗剪强度,当橡胶轮胎颗粒含量为 20% 左右时,黏聚力最大,强度达到最大.

参考文献:

- [1] 陈辉. 废旧轮胎碎片混合土土工特性研究[D]. 武汉:湖北工业大学土木工程与建筑学院, 2013.
- [2] 邓安,冯金荣. 掺入轮胎橡胶颗粒对砂土剪切性状的影响[J]. 解放军理工大学学报:自然科学版, 2009,10(5):483-487.
- [3] 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.
- [4] 李朝晖,张虎元. 废轮胎颗粒与黄土混合物压实性能研究[J]. 岩土力学, 2010,31(12):3715-3720.
- [5] 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.
- [6] 辛凌,刘汉龙,沈扬,等. 废弃轮胎橡胶颗粒轻质混合土无侧限抗压试验[J]. 解放军理工大学学报:自然科学版, 2010,11(1):79-83.
- [7] 张余,王学永,肖霄. 废旧轮胎浮式防波堤模型试验[J]. 水利水电科技进展, 2010,30(3):74-76.
- [8] LI Li-hua, TANG Hui-ming, XIAO Ben-lin. Discarded tire implications in reinforced slope[C]//4th International Conference on Technology of Architecture and Structure. Xi'an: Advanced Materials Research, 2011, 9: 1430-1433.