

引用格式:高盟,石传志,张继严.椰子壳的力学性能试验研究[J].山东科技大学学报(自然科学版),2018,37(5):40-44
GAO Meng, SHI Chuanzhi, ZHANG Jiyan. Experimental study on mechanical properties of coconut shell[J]. Journal of Shandong University of Science and Technology (Natural Science), 2018, 37(5):40-44

椰子壳的力学性能试验研究

高 盟^{1,2},石传志^{1,2},张继严^{1,2}

(1. 山东科技大学 土木工程与建筑学院, 山东 青岛 266590;

2. 山东科技大学 山东省土木工程防灾减灾重点实验室, 山东 青岛 266590)

摘要:椰子壳作为一种天然高聚物,具有强度高、不易腐烂、绿色环保等优点,可用作填海造地的吹填料。通过开展椰子壳材料力学性能试验,研究椰子壳轴向荷载作用下的变形、应力-应变关系、伸长率等力学性能,分析加载方向、加载速度和椰壳干湿状态对其力学性能的影响。结果表明:椰壳在竖向荷载作用下,其竖向变形与荷载增长近似成线性关系,其破坏形式表现为脆性破坏;长轴方向的极限抗压强度较短轴大,干椰壳强度大于湿状态的强度,椰壳强度随着加载速度的增加而增大。

关键词:椰子壳;力学性能;应力-应变关系;加载速度

中图分类号:TB32; TU473.1

文献标志码:A

文章编号:1672-3767(2018)05-0040-05

DOI:10.16452/j.cnki.sdkjzk.2018.05.006

Experimental Study on Mechanical Properties of Coconut Shell

GAO Meng^{1,2}, SHI Chuanzhi^{1,2}, ZHANG Jiyan^{1,2}

(1. College of Civil Engineering and Architecture, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China;

2. Key Laboratory of Civil Engineering Disaster Prevention and Mitigation, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266590, China)

Abstract: As a kind of natural high polymer, coconut shell can be used as the blowing fillers in marine reclamation land for its high strength, strong durability and environment friendliness. Material-mechanical property test of the coconut shell was performed to investigate the deformation, the relation between stress and strain and elongation percentage of coconut shell under axial load. The influences of loading direction, loading rate and dry and wet state of the coconut shell on its mechanical property were also analyzed. The results show that the vertical deformation approximately increases linearly with the load growth under the vertical load and its failure mode has the characteristics of brittle failure. The ultimate compressive strength of long axis is larger than that of short axis; the compressive strength of the dry coconut shell is larger than that of the humid coconut shell; and the strength of coconut shell grows with the increase of loading rate.

Key words: coconut shell; mechanical property; relation between stress and strain; loading rate

椰子壳是一种天然高聚物,质地十分坚实^[1],在我国南方有着丰富的资源。由于椰子壳具有较高强度和不易腐烂的性质,可用于填海造地的吹填料,以节省大量的砂石料。特别是南海,砂石料资源匮乏,而椰子壳

收稿日期:2017-09-08

基金项目:山东省自然科学基金项目(ZR201702160391)

作者简介:高 盟(1974—),男,山东临沂人,副教授,博士,主要从事岩土动力学及桩基工程学的研究。

E-mail:gmxyz@sdu.edu.cn

资源丰富,可与南海钙质砂混合作为吹填料,降低填海成本。因此,对椰子壳的材料力学性能进行研究显得十分必要。

目前,国内外学者对椰子壳的材料性能已经开展了一些研究工作。张会平等^[2-4]成功制备椰壳活性炭,对椰壳活性炭吸附性能进行了试验研究。Pashaei 等^[5]分析了椰壳粉作为添加剂制备绿色复合材料的可行性。叶颖薇等^[6]研究了椰纤维增强水泥的力学性能,结果表明椰纤维改善了水泥的脆性,对水泥的拉伸弯曲强度都有提高。Kalyana 等^[7-10]研究了用椰子壳作为粗骨料的混凝土的力学性能。Gludovatza 等^[11]研究了椰子壳成熟状态和切片方向对其力学性能的影响。Babel 等^[12-14]研究了椰壳炭对工业废水中重金属的吸附能力,研究表明椰壳炭有较好的吸附能力而且价格便宜。Mohd 等^[15]研究了一种新的椰壳活性炭 CS850A 对有机溶剂的吸附能力,研究表明 CS850A 具有较大比表面积和较好的化学吸附能力。上述文献对椰子壳作为增强体的材料性能和椰壳活性炭的吸附能力进行了研究,但对椰子壳本身的力学性能研究尚未见文献报道。

本研究通过椰子壳的材料力学性能试验,考察椰子壳的抗压强度、变形、应力-应变关系和伸长率等性能,分析加载方向、加载速度和椰壳干湿状态对其力学性能的影响,为椰子壳作为填海造地吹填料的可行性提供理论根据。

1 力学性能试验

1.1 试验材料

试验用椰子壳来源于海南野生老椰子,将其中两个椰子放干椰汁,自然风干;另外两个在做实验前将椰汁放干,保持椰壳内部湿润。椰子壳近似为椭圆形,分别开展长轴、短轴竖向抗压试验。

1.2 试验设备

试验设备主要有电液伺服岩石三轴仪 TAW-2000,应变片和位移计等。

1.3 试验方法

1) 实验前预先在椰子壳受压处的外表面撒上粉笔末,并在电液伺服岩石三轴仪加压头上涂抹上固体胶,使其加压头具有粘性,便于测量在竖向压缩试验中椰子壳的受力面积 A。

2) 加压方向为长轴和短轴两个方向,加载速度分别为 0.1 mm/mim 和 0.1~1 mm/mim 渐快。

3) 当椰子壳破裂时,加压头停止加压,将加载与变形量记录下来;竖向位移由位移计自动记录。

2 试验结果

2.1 试验结果分析

单轴压缩实验结果如表 1 所示,最大变形量为 4.611 mm,最大压力为 4.02 kN。将实验得到的数据转化为椰子壳荷载-位移曲线,如图 1 所示。从图 1 中试件 1~3 可以看出椰子壳荷载-位移曲线为均匀压缩阶段和破坏阶段。均匀压缩阶段,椰子壳的变形主要有竖向压缩变形和横向均匀膨胀变化,其竖向位移随着荷载的增加近似成线性关系。破坏阶段为脆性破坏,开口方向和荷载方向基本一致,外荷载急剧减小,竖向位移继续增大。对比试件 4 和试件 1~3,试件 4 为变加载速度,试件 1~3 为恒定加载速度,试件 1~3 加载曲线近似为直线,试件 4 曲线斜率一直在变化,由此可以看出加载速度对于强度有较大影响。

2.2 应力应变曲线

荷载-位移曲线与试样的尺寸有关,为了消除试样尺寸的影响,得到不同状态、不同加载方向和不同加载速率下椰子壳的力学性能。现将荷载-位移曲线转化为应力-应变曲线,如图 2 所示,图中应力 σ 和应变 ϵ 分别由式(1)和式(2)计算得出。

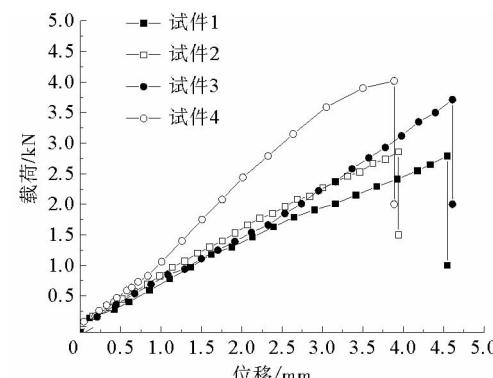


图 1 椰子壳荷载-位移曲线

Fig. 1 Load-displacement curve of coconut shell

表 1 单轴压缩实验结果
Tab. 1 Experimental results of uniaxial compression

编号	干湿状态	加载方向	加载速度/(mm/min)	荷载/kN	变形量/mm
1	湿态	短轴	0.1	2.79	4.559
2	干态	短轴	0.1	2.84	3.959
3	湿态	长轴	0.1	3.69	4.611
4	干态	长轴	0.1~1	4.02	3.888

$$\sigma = \frac{F}{A} \text{。} \quad (1)$$

其中: F 为荷载大小, kN; A 为椰子壳名义受压面积(本文受压面积为加压头作用在椰子壳上最大直径对应的圆的面积, mm^2)。

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} \text{。} \quad (2)$$

其中: Δl 为椰子壳的位移量, mm; l 为加载前椰子壳的长轴或者短轴长度, mm。

由图 2 可知, 椰子壳的应力-应变曲线与荷载-位移曲线基本相似, 应力-应变基本呈线性关系, 破坏为脆性破坏。

2.3 与已有结果的比较

文献[11]将椰子壳沿着经线和纬线将椰子切成两半, 并沿着经线和纬线制作拉伸试验切片, 对成熟状态和稚嫩状态的椰子壳切片进行不同方向的拉伸试验。本研究的竖向抗压试验和文献[11]拉伸试验结果对比见表 2。

表 2 本研究结果与文献[11]结果对比
Tab. 2 Results of comparison between this paper and Ref. [11]

类型	果龄	方向	极限拉伸(抗压)强度/MPa	应变/%	弹性模量/GPa
文献[11]拉伸试验结果	成熟	经度	26.6±4	2.47±0.1	1.74±0.09
	成熟	纬度	48.5±11	4.3±1	1.92±0.25
本研究抗压试验结果	成熟	短轴	36.4±2	3.52±0.2	1.03±0.10
	成熟	长轴	51.2±7	3.21±0.6	1.59±0.27

由表 2 可知, 抗压试验中椰子壳在长轴和短轴方向上的应变相差不大, 文献[11]抗拉试验中椰子壳切片在经度和纬度方向上的应变相差较大。对比椰子壳的弹性模量可知, 椰子壳在抗拉试验中的弹性模量要大于本文抗压试验中的弹性模量。

图 3 为本椰子壳试验结果与文献[11]实验结果的对比。从图 3 中可以看出, 成熟椰子的抗拉应力应变曲线和抗压应力应变曲线基本相似。干态试件 4 的应力应变曲线和文献[11]中成熟椰子开始阶段变化趋势基本相同, 从应力为 10 MPa 开始, 试件 4 的斜率开始增大, 这是由于试件 4 加载速度逐渐增大的原因。这说明成熟椰子壳抗压与抗拉强度变化基本相同, 加载速度提高, 能增大椰子壳的弹性模量。

图 4 和图 5 分别为椰子壳长轴和短轴抗压试验结果与文献[11]拉伸试验结果的比较。由图可知, 成熟椰子的应力应变曲线基本相似, 不成熟的相差较大, 原因是本研究采用的试件为成熟椰子, 而文献[11]采用的试样为未成熟椰子。

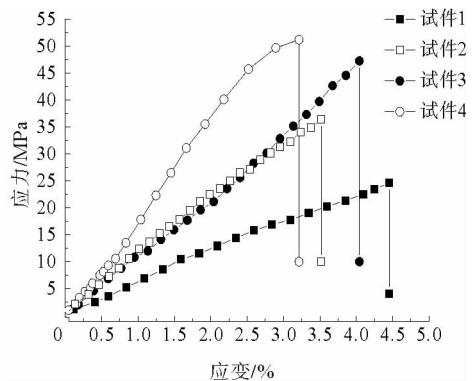


图 2 椰子壳应力-应变曲线

Fig. 2 Stress-strain curve of coconut shell

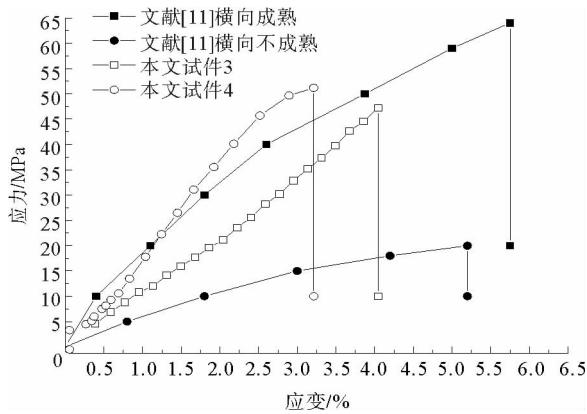


图 3 成熟椰子应力应变对比

Fig. 3 Comparison of stress and strain of mature coconut

2.4 弹性模量和极限强度

本研究椰子壳的应力应变曲线近似看成直线,计算弹性模量见表 3。

由表 3 可知,对比试件 1 和试件 2,在加载方向和加载速度相同的情况下,干湿状态不同将大大影响椰子壳的弹性模量等力学指标。当椰子壳为湿态的时候,弹性模量仅为 554 MPa,而干态时椰子壳的弹性模量为 1 034 MPa,相差较大。

对比试件 1 和试件 3,干湿状态和加载速度相同,当加载方向为短轴时,弹性模量为 554 MPa;当加载方向为长轴时,弹性模量为 1 168 MPa;相差较大。通过对比试件 1、2、3 和 4 的应力应变曲线可知,当加载速度为恒定速度时,应力应变曲线近似为线性变化。当加载速度从 0.1 变化到 1 mm/min 时,试件 4 的应力应变曲线斜率变大。由此可知,加载速度对椰子壳的极限抗压强度有较大影响。

3 结论

采用电液伺服岩石三轴仪对椰子壳进行了单轴压缩试验,结论如下:

1) 当加载速度和干湿状态相同时,椰子壳加载方向对椰子壳的弹性模量和极限抗压强度有显著影响,长轴方向比短轴方向承载能力大很多。

2) 当加载方向和加载速度相同时,椰子壳含水率对椰子壳的弹性模量和极限抗压强度有显著影响,干态的椰子壳比湿态的椰子壳承载力大很多。

3) 不同加载速度对椰子壳弹性模量和极限抗压强度有较大影响。加载速度提高,能增加椰子壳的极限抗压强度。

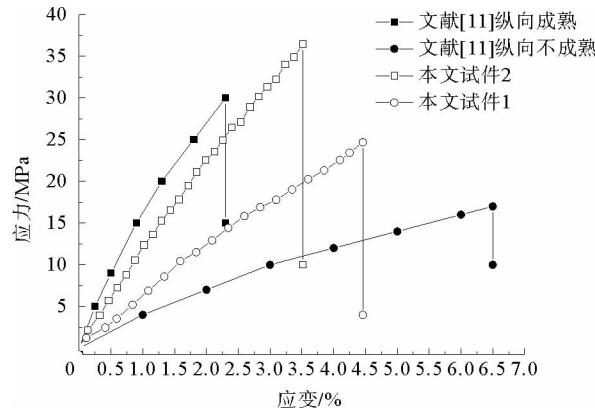


图 4 短轴方向应力应变对比

Fig. 4 Comparison of stress and strain in short axis direction

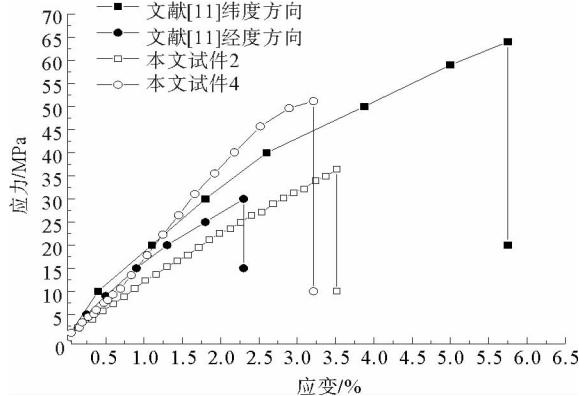


图 5 长轴方向应力应变对比

Fig. 5 Comparison of stress and strain in long axis direction

表 3 椰子壳力学性能

Tab. 3 Mechanical property of coconut shell

编号	弹性模量 /MPa	抗压强度 极限 /MPa	最大应变 /%
1	554	24.7	4.46
2	1 034	36.4	3.52
3	1 168	47.2	4.04
4	1 595	51.2	3.21

4) 对比椰子壳的抗拉实验得出,成熟椰子壳的拉伸和压缩应力应变曲线斜率基本相同。椰子壳的极限抗压强度大于极限抗拉强度。

5) 计算出的椰子壳抗压强度最小值为 24.7 MPa,可知椰子壳在强度方面完全符合填海造陆材料的高强度要求。另外,椰子壳又不易腐烂,所以椰子壳用于填海造陆的吹填料是可行的。

参考文献:

- [1]肖红,易美华.椰子的开发利用[J].海南大学学报(自然科学版),2003,21(2):183-189.
XIAO Hong, YI Meihua. Exploitation of cocos nucifera L[J]. Natural Science Journal of Hainan University, 2003, 21(2): 183-189.
- [2]张会平,叶李艺,杨立春.物理活化法制备椰壳活性炭研究[J].厦门大学学报(自然科学版),2004,43(6):833-835.
ZHANG Huiping, YE Liyi, YANG Lichun. Preparation of activated carbon from coconut shell by physical activation[J]. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2004, 43(6):833-835.
- [3]张会平,肖新颜,杨立春. K_2CO_3 活化法制备椰壳活性炭[J].华南理工大学学报(自然科学版),2006,34(3):63-66.
ZHANG Huiping, XIAO Xinyan, YANG Lichun. Preparation of activated carbon from carbonized coconut shell by K_2CO_3 chemical activation[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2006, 34(3):63-66.
- [4]ISLAM M S,ANG B C,GHAREHKHANI S,et al. Adsorption capability of activated carbon synthesized from coconut shell [J]. Carbon Letters,2016,20(1):1-9.
- [5]PASHAEI S,HOSSEINZADEH S,SYED A A. Studies on coconut shell powder and crysنانclay incorporated acrylonitrile-butadiene rubber/styrene butadiene rubber (NBR/SBR) green nanocomposites[J]. Polymer Composites,2017,38(4):727-735.
- [6]叶颖薇,冼定国,冼杏娟.竹纤维和椰纤维增强水泥复合材料[J].复合材料学报,1998,15(3):92-98.
YE Yingwei, XIAN Dingguo, XIAN Xingjuan. Bamboo fiber and coconut husk fiber reinforced cement composite materials [J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 1998, 15(3):92-98.
- [7]KALYANA CHAKRAYARTHY P R,JANANI R,IIANGO T,et al. Properties of concrete partially replaced with coconut shell as coarse aggregate and steel fibres in addition to its concrete volume[C]// IOP Conference Series-Materials Science and Engineering,2017,183(1):12-28.
- [8]LEMAN A S,SHAHIDAN S,YUSUF M Y,et al. Workability and compressive strength for concrete with coconut shell aggregate[C]// MATEC Web of Conferences,2017:01017.
- [9]REGIN J J,VINCENT P,GANAPATHY C. Effect of mineral admixtures on mechanical properties and chemical resistance of lightweight coconut shell concrete[J]. Arabian Journal for Science & Engineering,2016,42(3):1-15.
- [10]SHAHIDAN S,LEMAN A S,SENIN M S,et al. Suitability of coconut shell concrete for precast cool wall panel: A review [C]// MATEC Web of Conferences,2017:01005.
- [11]GLUDOVATZ B,WALSH F,ZIMMERMANN E A,et al. Multiscale structure and damage tolerance of coconut shells[J]. Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials,2017,76:76-84.
- [12]BABEL S,KURNIAWAN T A. Cr(VI) removal from synthetic wastewater using coconut shell charcoal and commercial activated carbon modified with oxidizing agents and/or chitosan[J]. Chemosphere,2004,54(7):951-967.
- [13]AMUDA O S,GIWA A A,BELLO L. Removal of heavy metal from industrial wastewater using modified activated coconut shell carbon[J]. Biochemical Engineering Journal,2007,36(2):174-181.
- [14]PINHO G H,MESQUITA L M S D,TOREM M L,et al. Biosorption of cadmium by green coconut shell powder[J]. Minerals Engineering,2006,19(5):380-387.
- [15]MOHD DIN A T,HAMEED B H,AHMAD A L. Batch adsorption of phenol onto physicochemical-activated coconut shell [J]. Journal of Hazardous Materials,2009,161(2/3):1522-1529.

(责任编辑:吕海亮)