

DOI: 10.7672/sgjs2025020144

掺加废弃羽拍线的轻质混合土性能研究*

俞凯木¹, 江浩川²

(1. 中亿丰建设集团股份有限公司, 江苏 苏州 215131; 2. 中国建筑东北设计研究院有限公司, 福建 厦门 361012)

[摘要] 为减少资源浪费和环境污染,改善填土工程性质,将废弃羽拍线掺加至轻质混合土,并利用单轴压缩试验评估含废弃羽拍线的轻质混合土强度。结果表明,随着水泥含量增大或含水量及废弃羽拍线含量减小,轻质混合土容重增大。当废弃羽拍线含量增大时,轻质混合土单轴压缩强度表现为先增大后波动规律,废弃羽拍线最佳掺量为1.0%~2.0%。当水泥含量增大或含水量减小时,轻质混合土单轴压缩强度增大。轻质混合土结构变形在很大程度上受到掺加羽拍线的约束作用。由于羽拍线具有突出的抗拉能力及与轻质混合土交界面突出的摩擦阻力,轻质混合土试样抗剪能力得到提升。本试验研究为废弃渔网、废弃轮胎、废旧水泥袋与编织袋等典型废弃材料的再生利用提供了新思路。

[关键词] 轻质混合土;羽拍线;试验;容重;单轴压缩强度

[中图分类号] TU452 [文献标识码] A [文章编号] 2097-0897(2025)02-0144-04

Performance Research of Lightweight Mixed Soil Mixed with Waste Feather Line

YU Kaimu¹, JIANG Haochuan²

(1. Zhongyifeng Construction Group Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 215131, China;

2. China Northeast Architectural Design & Research Institute Co., Ltd.,
Xiamen, Fujian 361012, China)

Abstract: In order to reduce the waste of resources and environmental pollution and improve the engineering properties of filling soil, the waste feather line was added to the lightweight mixed soil, and the strength of the lightweight mixed soil containing the waste feather line was evaluated by uniaxial compression test. The results show that with the increase of cement content or the decrease of water content and waste feather line content, the bulk density of lightweight mixed soil increases. When the content of waste feather line increases, the uniaxial compressive strength of lightweight mixed soil increases first and then fluctuates, the optimum dosage of waste feather line is 1.0% ~ 2.0%. When the cement content increases or the water content decreases, the uniaxial compressive strength of lightweight mixed soil increases. The deformation of lightweight mixed soil structure is constrained by the addition of feather line to a large extent. Due to the outstanding tensile strength of the feather line and the outstanding friction resistance at the interface between the feather line and the lightweight mixed soil, the shear resistance of the lightweight mixed soil sample is improved. This experimental study provides a new idea for the recycling of typical waste materials such as waste fishing nets, waste tires, waste cement bags and woven bags.

Keywords: lightweight mixed soil; feather line; tests; bulk density; uniaxial compression strength

0 引言

在苏州工业园区建设与开发过程中,基坑施工

过程中存在大量淤泥土。淤泥土是一种典型的黏性土,具有较高含水量。由于质软,这类材料在未经处理前不能用作回填材料。目前,淤泥土通常被倾倒在废物处置场。这类处置方式往往对周围环境产生不利影响^[1-2]。因此,淤泥土的处置需寻求

* 国家自然科学基金青年资助项目:真三轴条件下裂隙花岗岩断裂过程区动态演化与破坏预测模型(52109124)

[作者简介] 俞凯木,高级工程师,E-mail:1104439817@qq.com

[收稿日期] 2024-05-20

新的途径。

大量试验证实,水泥改良淤泥土是将淤泥土再生利用为建筑材料的新途径^[1-3]。经过水泥、减轻剂处理的淤泥土具有较低密度和较高抗剪强度。将被改良的淤泥土用作回填材料可减少回填成本,并减小上覆土层压力。目前,轻质混合土已广泛应用于日本沿海建设项目中,其能有效减小地下结构上覆压力和作用在挡土结构上的侧向土压力^[3-4]。

除淤泥土外,生活中还有很多废弃物同样对环境构成压力^[5]。常见废弃物有废弃渔网、废弃轮胎、废旧水泥袋与编织袋等。这类废弃材料因具有较高抗拉强度和较强韧性,具有变废为宝的可能性。本文尝试将废弃羽拍线掺加于轻质混合土中,利用单轴压缩试验评估含废弃羽拍线的轻质混合土强度。在试验基础上,加深废弃羽拍线对轻质混合土增强机制的认识。

1 试验设计

含废弃羽拍线的轻质混合土由淤泥土、水泥、空气泡沫和废弃羽拍线组成。试验用淤泥土取样于重庆南岸区建筑工地(见图1),淤泥土天然含水量约为111%,液限为38.3%,塑限为16.7%,相对密度为2.5,液性指数约为4.4。试验采用普通硅酸盐水泥作为胶结剂,使轻质混合土凝聚;采用典型的蛋白质型发泡剂作为减轻剂;采用AG-69型羽拍线,拍线直径为0.7mm。如图2所示,AG-69型羽拍线使用超精细尼龙复丝为核心,包覆高强度纤维,具有高反弹性与耐磨特征。试验开始前,将废弃AG-69型羽拍线剪成3cm长线段。



图1 试验用淤泥土取样

Fig. 1 Sampling of silt soil for experiment

水泥以4种不同比例(6%,12%,18%,24%)均匀掺加至混合土中。含水量设计为81%,111%,141%,171%,201%。蛋白质型发泡剂含量为2%。为研究废弃羽拍线对轻质混合土强度的影响,采用5种不同羽拍线比例,分别为0,0.5%,1.0%,1.5%,2.0%。人工充分搅拌试验材料,直至实现相对均匀的混合状态。然后将浆体混合物放入浇筑模(直径

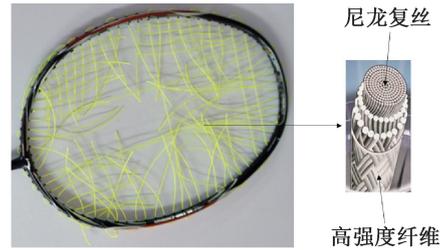


图2 AG-69型羽拍线

Fig. 2 AG-69 feather line

72mm、高148mm)中,并在(20±2)℃温度环境中养护28d。养护完成后,首先测定掺加废弃羽拍线的轻质混合土容重,然后开展单轴压缩试验评估轻质混合土强度。在加载过程中,加载速率控制为 1.0×10^{-2} /min。

2 含废弃羽拍线的轻质混合土容重

研究掺加废弃羽拍线的轻质混合土容重与水泥含量、含水量和羽拍线含量关系。参考试样为含有12%水泥、111%水、1.5%羽拍线的轻质混合土试样,所有试样中均掺加2%空气泡沫。由研究结果可知,随着水泥含量增大,轻质混合土容重增大。尤其,当水泥含量从6%增大至12%时,轻质混合土容重增大较明显。当含水量由81%增大至141%时,轻质混合土容重下降明显,而当含水量由141%增大至201%时,轻质混合土容重平缓下降。轻质混合土容重基本可视为羽拍线含量的线性递减函数。因此,轻质混合土容重对于水泥含量、含水量和羽拍线含量的敏感性相差较大。在不同水泥、水和羽拍线混合比例条件下,轻质混合土容重为 $10.0 \sim 12.0 \text{ kN/m}^3$ 。

3 含废弃羽拍线的轻质混合土应力-应变行为

3.1 羽拍线含量的影响

不同羽拍线含量下轻质混合土轴向应力-轴向应变曲线如图3所示。由图3可知,在峰前,轻质混合土试样轴向应力随轴向应变增大而增大;在峰后,轴向应力随轴向应变增大而减小。最大轴向应力发生于轴向应变2%~3%。峰后应变软化现象尤为突出。羽拍线含量对轻质混合土应力-应变行为的影响如下。

1) 轻质混合土试样单轴压缩强度随羽拍线含量的增大呈非线性增大趋势,当羽拍线含量由0.5%增大至1.0%,单轴压缩强度增大明显,而当羽拍线含量继续增大时,单轴压缩强度呈一定波动特性,且维持在较高强度水平。

2) 轻质混合土试样弹性模量基本不受羽拍线含量的影响。

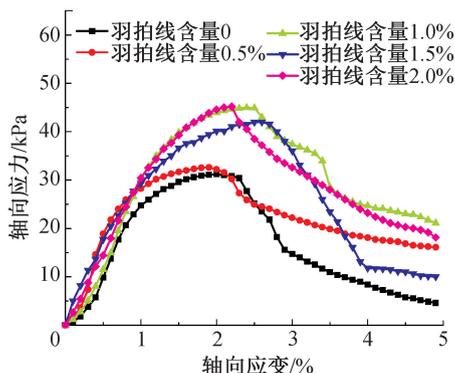


图3 不同羽拍线含量下轻质混合土轴向应力-轴向应变曲线

Fig. 3 Axial stress-axial strain curves of lightweight mixed soil under different feather line contents

3.2 水泥含量的影响

不同水泥含量下轻质混合土轴向应力-轴向应变曲线如图4所示。轻质混合土试样单轴压缩强度和弹性模量均正比于水泥含量。当水泥含量增大时,轻质混合土试样脆性增强。相比于水泥含量6%情况,水泥含量分别为12%,18%,24%时,轻质混合土试样峰后应力骤降行为为更明显。

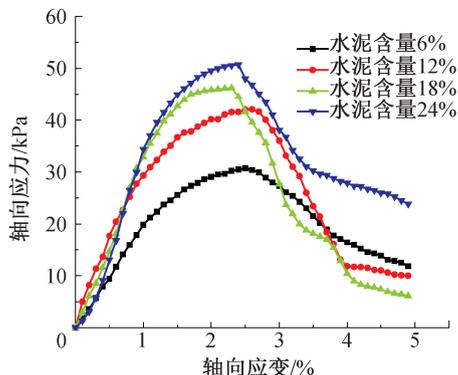


图4 不同水泥含量下轻质混合土轴向应力-轴向应变曲线

Fig. 4 Axial stress-axial strain curves of lightweight mixed soil under different cement content

3.3 含水量的影响

不同含水量下轻质混合土轴向应力-轴向应变曲线如图5所示。轻质混合土试样峰前轴向应力随轴向应变增大而增大,峰后轴向应力随轴向应变增大而减小。峰后应变软化现象突出。轻质混合土

试样单轴压缩强度随含水量增大而减小。当含水量较小时,最大轴向应力发生于轴向应变2%~3%。当含水量较大时,最大轴向应力发生于轴向应变3%~4%。这说明含水量对轻质混合土试样的影响还体现于试样延性。轻质混合土试样含水量越大,试样延性越显著。相反,含水量越大,脆性越不显著。这主要体现为高含水量试样峰后应力下降相较于低含水量情况不明显。

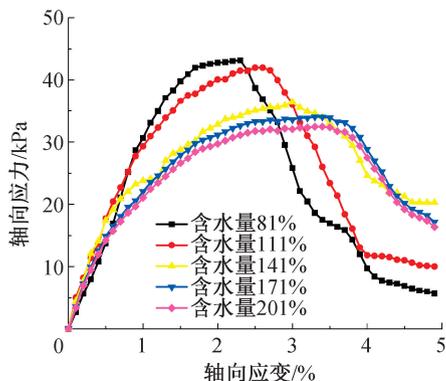


图5 不同含水量下轻质混合土轴向应力-轴向应变曲线

Fig. 5 Axial stress-axial strain curves of lightweight mixed soil under different water contents

4 单轴压缩强度

不同羽拍线含量、水泥含量和含水量条件下轻质混合土单轴压缩强度如表1所示。由表1可知,当羽拍线含量增大时,轻质混合土单轴压缩强度呈先增大后波动的规律。当试样不含废弃羽拍线时,轻质混合土单轴压缩强度为31.19kPa;当废弃羽拍线含量从0分别增大至0.5%,1.0%,1.5%,2.0%时,轻质混合土单轴压缩强度分别增大1.43(4.6%),13.78(44.2%),10.81(34.7%),14.01kPa(44.9%)。因此,废弃羽拍线最佳掺量为1.0%~2.0%。当水泥含量增大或含水量减小时,单轴压缩强度增大。水泥含量增大对轻质混合土单轴压缩强度贡献较大,而含水量增大对轻质混合土单轴压缩强度的影响是消极的。因此,现场评估轻质混合土强度发展时,尤其需注意天然含水量情况。

5 废弃羽拍线对轻质混合土的增强机制

与不含废弃羽拍线情况相比,含羽拍线的轻质

表1 不同参数下试样单轴压缩强度

Table 1 Uniaxial compressive strength of specimens under different parameters

参数	羽拍线含量/%					水泥含量/%				含水量/%				
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	6	12	18	24	81	111	141	171	201
单轴压缩强度	31.19	32.62	44.97	42.00	45.20	30.68	42.00	46.27	50.73	43.15	42.00	36.43	34.00	32.44

混合土单轴压缩强度呈不同程度增大规律。尤其当废弃羽拍线掺量为 1.0%~2.0%时,轻质混合土单轴压缩强度增大 34.7%~44.9%。废弃羽拍线对轻质混合土单轴压缩强度的影响可归因于废弃羽拍线对轻质混合土具有加固作用。废弃羽拍线与轻质混合土交界面力学行为模型如图 6 所示。当模型受到外界力作用时,模型内部产生相对变形(见图 7),进而引起贯穿其中的羽拍线产生拉应力。轻质混合土系统变形在较大程度上受到拉伸羽拍线的约束作用。由于羽拍线具有突出的抗拉能力,以及与轻质混合土交界面突出的摩擦阻力,提高了其整体抗剪能力。这与 Tang 等^[6]的研究机制一致。

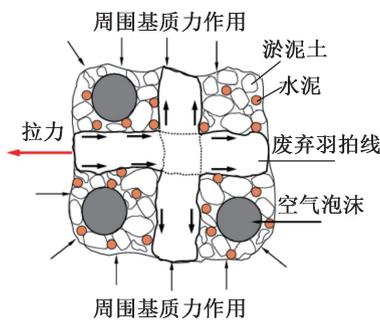


图 6 废弃羽拍线与轻质混合土交界面力学行为模型
Fig. 6 Mechanical behavior model of the interface between waste feather line and lightweight mixed soil



图 7 轻质混合土试样加载变形

Fig. 7 Loading deformation of lightweight mixed soil sample

6 结语

为减少资源浪费和环境污染,改善填土工程性质,尝试掺加废弃羽拍线于轻质混合土中。含废弃羽拍线的轻质混合土由淤泥土、水泥、空气泡沫和废弃羽拍线组成。利用单轴压缩试验评估含废弃羽拍线的轻质混合土强度。在此基础上,探讨废弃羽拍线对轻质混合土增强机制。研究结论如下。

1)随着水泥含量增大或含水量与羽拍线含量减小,轻质混合土容重增大。在不同水泥、水和废弃羽拍线混合条件下,轻质混合土容重为 10.0~12.0kN/m³。

2)在不同水泥、水和废弃羽拍线混合条件下,轻质混合土试样峰后应变软化现象均较显著。水泥、水和废弃羽拍线含量不同时,轻质混合土试样脆性、延性不同。

3)当废弃羽拍线含量增大时,轻质混合土单轴压缩强度呈先增大后波动的规律,废弃羽拍线最佳掺量为 1.0%~2.0%。当水泥含量增大或含水量减小时,轻质混合土单轴压缩强度增大。

4)掺加羽拍线的轻质混合土结构变形在较大程度上受到羽拍线的约束作用。由于羽拍线具有突出的抗拉能力及与轻质混合土交界面突出的摩擦阻力,使轻质混合土模型整体抗剪能力得以提升。羽拍线与轻质混合土间的相互作用是控制含羽拍线的轻质混合土力学性能的重要因素。

本试验研究有望扩展至废弃渔网、废弃轮胎、废旧水泥袋与编织袋等典型废弃材料的再生利用,并且能在一定程度上解决淤泥土的外运处置难题。

参考文献:

- [1] 马殿光. 淤泥再生废弃泡沫塑料轻质混合土试验研究[D]. 南京:河海大学, 2005.
MA D G. Experimental study on lightweight mixed soil of silt regeneration waste foam[D]. Nanjing: Hohai University, 2005.
- [2] TSUCHIDA T, FUJISAKI H, MAKIBUCHI M, et al. Use of lightweight treated soils made of waste soil in airport extension project[J]. Doboku Gakkai Ronbunshu, 2000, 644: 13-23.
- [3] TSUCHIDA T, KANG M S. Case studies of lightweight treated soil method in seaport and airport construction projects [C]// Proceedings of the 12th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2003.
- [4] WATABE Y, ITOU Y, KANG M, et al. One-dimensional compression of air-foam treated lightweight geo-material in microscopic point of view [J]. Soils and foundations, 2004, 44(6): 53-67.
- [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.
XIN L, LIU H L, SHEN Y, et al. Experimental study on strength characteristics of lightweight mixed soil of waste tire rubber particles [J]. Chinese journal of geotechnical engineering, 2010, 32(3): 428-433.
- [6] TANG C S, SHI B, GAO W, et al. Strength and mechanical behavior of short polypropylene fiber reinforced and cement stabilized clayey soil [J]. Geotextiles and geomembranes, 2006, 25(3): 194-202.