

稻秸秆绳排水体真空固结处理高含水率 疏浚淤泥可行性研究

冯哲源¹, 陶小玉^{2,3}, 徐桂中¹, 李兴兵⁴, 姚 达⁴

(1. 盐城工学院土木工程学院, 江苏 盐城 224000; 2. 河海大学 土木与交通学院, 江苏 南京 210098;
3. 江苏鸿基水源科技股份有限公司, 江苏 扬州 225002; 4. 江苏省工程勘测研究院有限责任公司, 江苏 扬州 225000)

摘要:为研究稻秸秆绳的排水能力及稻秸秆绳排水体用于真空负压加固疏浚淤泥的可行性, 研制秸秆通水量测试装置, 采用室内真空固结模型试验, 并开展秸秆排水体通水能力测试。试验结果表明: 稻秸秆排水体的排水能力能够达到传统塑料排水板的排水能力, 但受稻秸秆排水体编织方式、所受负压大小及降解时间等因素影响, 随真空负压的减小而增加, 随降解时间的增加而减小。疏浚淤泥真空负压模型试验结果显示, 以稻秸秆排水体为竖向排水体真空负压处理疏浚淤泥时, 泥面沉降及含水率等处理效果接近塑料排水板, 因此, 以秸秆绳排水体替代塑料排水板是可行的。

关键词:真空预压; 秸秆; 通水量

中图分类号: TU472.99

文献标识码: A

文章编号: 1007-7839(2020)07-0056-04

Feasibility study on dredged silt with high moisture content treated by vacuum consolidation of straw rope drainage water body

FENG Zheyuan¹, TAO Xiaoyu^{2,3}, XU Guizhong¹, LI Xingbin⁴, YAO Da⁴

(1. School of Civil Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224000, China;

2. College of Civil Engineering and Transportation, Hohai University, Nanjing 210098, China;

3. Jiangsu Hongji Water Source Technology Co., Ltd., Yangzhou 225002, China;

4. Jiangsu Engineering Surveying Institute Co., Ltd., Yangzhou 225000, China)

Abstract: In order to study the drainage capacity of rice straw rope and the feasibility of using rice straw rope drainage body for vacuum negative pressure reinforcement of dredged silt, a straw water flow capacity test device was developed. The indoor vacuum consolidation model test was used to test the water drainage capacity of straw drainage body. The results showed that the drainage capacity of rice straw drainage water body could reach that of the traditional plastic drainage board, but it increased with the decrease of vacuum negative pressure and the increase of degradation time due to the braid mode, negative pressure and degradation time of straw drainage water body. The results of the dredged silt vacuum negative pressure model test showed that when the dredged silt was treated with straw drainage water body as vertical drainage water body vacuum negative pressure, the treatment effect of mud surface settlement and moisture content was close to that of plastic drainage board. Therefore, it's feasible to replace the plastic drainage board with straw rope drainage water body.

Key words: vacuum preloading; straw; flow capacity

收稿日期: 2020-04-22

基金项目: 江苏省水利厅科技支撑项目(2018012), 住建部科技支撑项目(2018-K7-011)

作者简介: 冯哲源(1999—), 男, 本科, 研究方向为真空预压。

我国每年内陆及沿海的水利工程、航运工程和水环境治理等工程中产生的疏浚淤泥达数亿立方以上^[1], 由于我国疏浚工程以水力疏浚方式为主, 产生的疏浚淤泥含水率高, 强度低, 需要进行地基处理^[2]。目前, 以塑料排水板为竖向排水体的真空预压技术被广泛用于疏浚淤泥处理^[3-4]。然而, 由于塑料排水体长时间难以降解, 因而对疏浚淤泥地基的后期利用产生影响^[5-6]。

为了克服塑料排水板难以降解的影响, 很多研究者提出了诸多类型替代塑料排水板的可降解生态排水体, 其中, 采用农作废弃秸秆制作可降解生态排水体, 用于负压固结处理疏浚淤泥的可行性得到了研究论证^[7-9]。徐桂中等对碎秸秆的透水性能开展了研究, 研究显示, 碎秸秆在 100 kPa 上覆压力下的渗透系数达 10^{-3} cm/s, 接近砂的排水能力。通过室内模型试验, 徐桂中等分别将碎秸秆作为排水体及传统的塑料排水体作为排水体的时真空负压处理高含水率疏浚淤泥处理效果进行了对比, 试验显示, 采用碎秸秆作为排水体处理后, 泥面沉降量、含水率及不排水强度等均匀塑料排水板处理后的接近, 由此认为, 碎秸秆排水体可以替代传统的塑料排水板用于真空负压处理高含水率淤泥^[8]。需要强调, 将碎秸秆包裹于条袋状土工布中制作成的排水体的抗拉强度极低, 因此一般只能用于深度较浅的疏浚淤泥地基处理中, 对于较厚的疏浚淤泥地基, 采用碎秸秆制作成的排水体由于抗拉强度较低, 所以会导致打设困难的问题。

基于碎秸秆排水体在抗拉性能方面的不足, 本课题组提出了将秸秆绳进行简单编织后包于条状土工袋中制作成排水体, 用于真空负压处理高含水率疏浚淤泥。显然, 与碎秸秆排水体相比, 本项目提出的秸秆绳排水体具有良好的抗拉强度。本文的目的在于, 通过对不同类型秸秆绳排水体开展通水量测试及疏浚淤泥负压固结模型试验等, 明确秸秆绳排水体的排水性能, 验证秸秆绳排水体用于真空负压处理高含水率疏浚淤泥的可行性。

1 试验方案

1.1 试验材料

本试验采用高含水率是疏浚淤泥取自安徽省蚌埠市淮河五河堆泥场, 是疏浚淤泥的物理指标如表 1 所示。

本次试验所用的秸秆排水体由稻草绳编织而成, 稻草绳由搜集的盐城地区的稻秸秆编织而成,

表 1 淤泥的物理性质指标

液限 w_L / %	塑限 w_p / %	塑性指数 I_p	比重 G_s	初始含水率/%
53.81	27.86	25.95	2.70	106

秸秆绳的直径为 1 cm。编织形成的稻秸秆绳排水体内芯如图 1(a) - (d) 所示, 共分 I、II、III、IV 4 个类型。采用传统的塑料排水板滤布将编织好的排水体内芯进行包裹, 就形成了如图 1(e) 所示的稻秸秆绳秸秆排水体, 各种秸秆排水的直径为 6 cm。

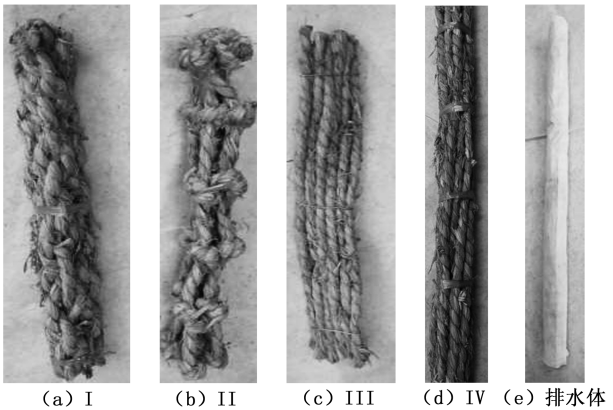


图 1 4 种类型稻秸秆绳排水体

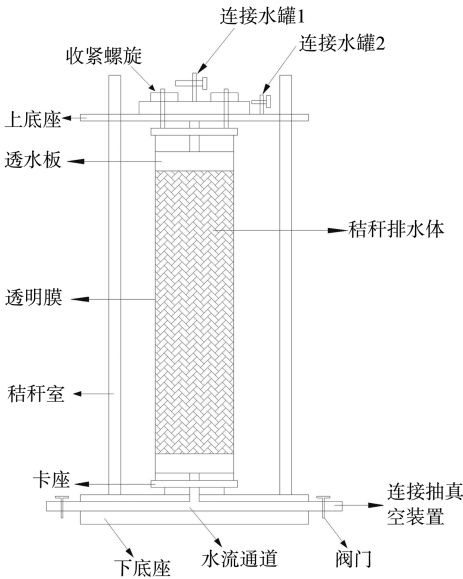


图 2 秸秆通水量测试装置

1.2 试验装置

研制秸秆排水体通水能力测试装置, 如图 2 简图所示。秸秆室高 50 cm, 内径 20 cm。秸秆室与水罐 2 相连, 可以对秸秆排水体施加围压, 通过对水罐 2 重量的测试, 可以确定秸秆压缩或回弹时进入或排出水罐水的体积, 从而确定秸秆排水体径向压缩或回弹量。透明密封膜内的秸秆排水体通过底

座与抽真空装置相连,可以对秸秆排水体施加真空负压。关闭相应的阀门,可使秸秆室处于密闭状态,秸秆的体积不变,密度恒定,此时可开展常水头渗透试验,测试秸秆排水体的排水能力。水罐 1 通过上底座与秸秆排水体相连,用于在通水量测试中提供上水头。

用于开展真空固结模型试验的试验装置如图 3 所示,其中,模型槽的直径 30 cm、高 40 cm。试验所用的淤泥被装入密封袋后置于模型槽中,淤泥的初始高度均为 30 cm。竖向排水体设置于淤泥中间,上端与抽真空装置相连。淤泥的初始含水率均为 107%,约为淤泥液限的 2 倍。每组试验持续 10 d 左右。真空加载时,真空度均保持在 80 kPa 以上。试验结束后,对不同深度淤泥进行取样,进行含水率测试。取样位置距离排水体 7 cm。

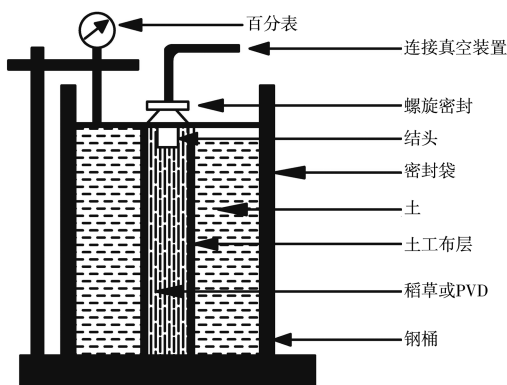


图 3 真空固结模型试验装置

2 试验成果分析

2.1 稻秸秆排水体通水量

图 4 为 4 种秸秆排水体的通水量随真空负压的变化关系,由图可知,四种排水体的通水量均随真空负压的增加而降低。然而,在真空负压小于 -20 kPa 时,通水量降低较大,而当真空负压大于 -20 kPa 时,各秸秆排水体的通水量随真空负压的增加降低较小。上述现象表明,当秸秆排水体承受的真空负压小于 -20 kPa 时,秸秆排水体在真空负压的作用下发生了显著的径向压缩变形,秸秆排水体中可以用于作为排水通道的有效孔隙减少,导致秸秆排水体排水能力发生显著降低。然而,当真空负压大于 -20 kPa 时,秸秆排水体沿径向并未发生显著压缩变形,秸秆排水体中的有效孔隙也为发生显著降低,所以秸秆排水体的通水量未随真空负压的增加而增加。除此之外,由图 3 可知,4 中类型的秸秆排水体中,排水体 II 的通水量达到 60 mL/s,远

大于其他 3 中秸秆排水体的通水量。秸秆排水体 II 的通水量略大于秸秆排水体 IV 的通水量,在 30 mL/s 左右,而秸秆排水体 IV 的排水能力在 20 mL/s 左右。4 种排水体中,秸秆排水体 III 的通水量较小,在 10 mL/s 左右。

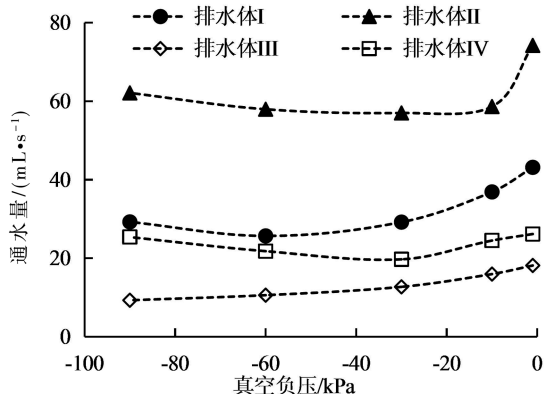


图 4 不同类型草绳排水体通水量随真空负压的变化规律

由于秸秆泡在水中会发生降解,必然会影响秸秆排水体的通水能力。为了了解秸秆排水体降解对其通水能力的影响,将秸秆排水体 II 的通水量随浸泡时间的变化关系显示于图 5 中。由图 5 可知,在不同真空负压作用下,秸秆排水体的通水量均随浸泡时间的增加而降低,但在浸泡的前 15 d 内,秸秆排水体的通水能力降低程度较大,但当浸泡时间超过 15 d 后,秸秆排水体的通水能力也呈现降低趋势。这个现象表明,秸秆排水体的降解会对其通水能力产生影响。图 6 为浸泡不同时间秸秆排水体的质量损失率随浸泡时间的变化关系。由图 6 可知,秸秆排水体的质量随浸泡时间的增加呈现非线性增加关系,在浸泡时间小于 15 d 之内,秸秆排水体的质量损失较大,达到 35%,而当浸泡 15 ~ 60 d 间,秸秆排水体的质量损失达 20%。秸秆排水体的质量损失率随浸泡时间的变化关系可以充分解释其通水能力随浸泡时间的变化规律。在浸泡时间小于 15 d 之内时,秸秆排水体降解较快,所以在负压作用下,秸秆排水体的径向压缩较大,导致其通水能力发生了较大的下降,而在浸泡 15 d 后,秸秆排水体降解速率放缓,秸秆排水体在真空负压作用下的径向压缩也相对浸泡 15 d 内的放缓,因此,其通水能力随浸泡时间降低较少。

2.2 草绳排水体真空固结处理疏浚淤泥效果

图 7 为以不同秸秆排水体为竖向排水体时,疏浚淤泥真空负压固结处理过程中泥面沉降量的变化规律,以塑料排水板为竖向排水体时的泥面沉降曲线同样显示于图 5 中,用于与秸秆排水体的处理

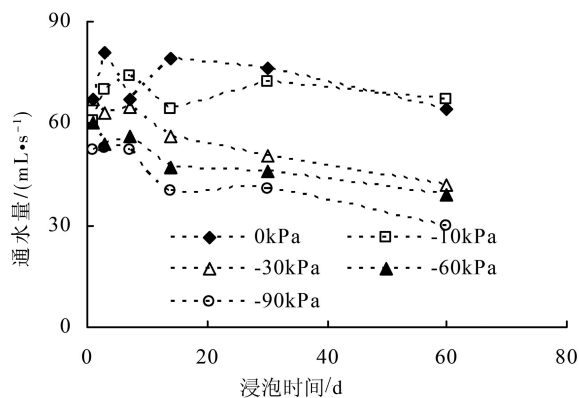


图5 草绳排水体II通水量随浸泡时间的变化规律

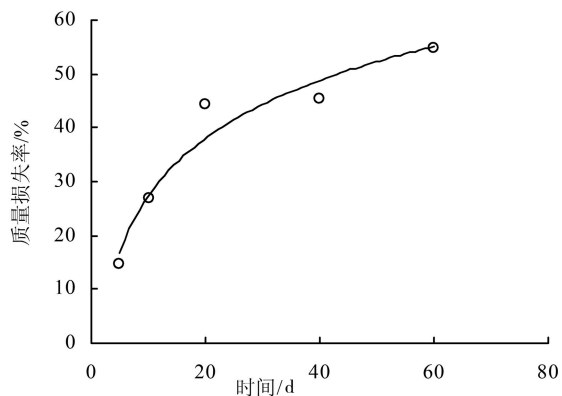


图6 草绳排水体质量损失率随浸泡时间的变化规律

效果的对比。由图可知,真空固结过程中,泥面沉降量均随时间的增加而增加,但沉降速率随时间的增加而降低,因此,泥面沉降曲线呈现明显的上凹状。除此之外,不同排水体间的泥面沉降量有差异,但差异较小。其中,以塑料排水板为排水体时,泥面的沉降量最大,达到215 mm,而秸秆排水体I的最终沉降量最小,为190 mm,两者之间的差异略大于10%。显然,其他3种秸秆排水体的泥面沉降量介于塑料排水板及秸秆排水体I之间,因此,与塑料排水板之间的差异均小于10%。

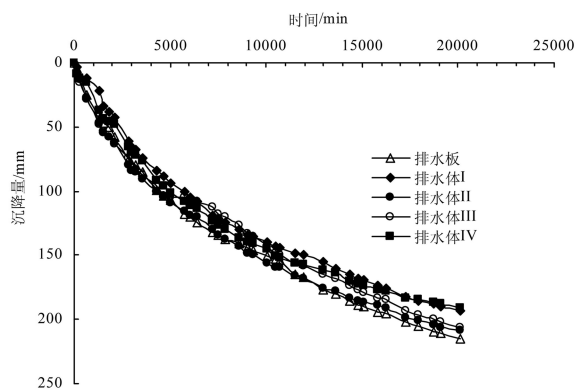


图7 泥面沉降量变化规律

为了进一步了解秸秆排水体真空固结处理疏浚淤泥的效果,将处理后淤泥含水率沿深度的分布

规律显示与图8中。由图8可知,不同排水体处理后的淤泥的含水率均随深度的增加而增加,且上部的处理效果要明显好于下部。分析认为,真空固结过程中,下部的淤泥收到上部淤泥的重力作用,是下部淤泥真空处理效果相对上部较差的主要原因。显然,由图8可知,不同排水体处理后淤泥的含水率差异相对较大。其中,排水体II的淤泥含水率最低,介于46%~52%之间,秸秆排水体III的淤泥含水率最大,介于48%~65%之间。在淤泥顶部,两者差异较小,但在淤泥底部,后者相对于前者增加25%。塑料排水板处理后的淤泥含水率略低于秸秆排水体III,但比其他3种秸秆排水体处理后的含水率都高,这与图7中泥面沉降量的规律不一致。显然,处理后的含水率更能反映处理效果,由此可见,4种秸秆排水体真空固结处理疏浚淤泥的效果要等于或略优于塑料排水板的效果。对于塑料排水板处理时的泥面沉降略大于其他4种秸秆排水板的原因与不同排水体之间的刚度差异相关。显然,排水体的刚度差异会影响泥面的沉降,相关方面有待于以后进一步研究。综合图7及图8的成果可见,采用秸秆排水体真空固结处理疏浚淤泥的效果是可以与传统的塑料排水板相媲美的。秸秆排水体中,排水体II的处理相关相对于其他类型要略有优势。但具体选用何种秸秆排水体,还要根据制作成本,工艺复杂程度等进行综合分析。

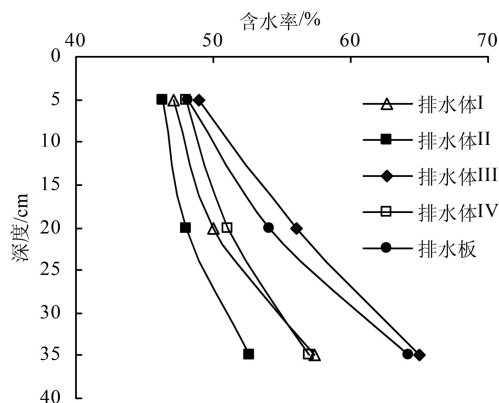


图8 处理后含水率沿深度变化规律

3 结论

本文通过对4中不同编织方式的秸秆绳排水体进行通水量试验及真空固结模型试验等,了解秸秆绳排水体的通水能力及真空固结处理疏浚淤泥的效果,验证秸秆绳排水体真空固结处理疏浚淤泥的可行性,获得如下结论:

(下转第63页)

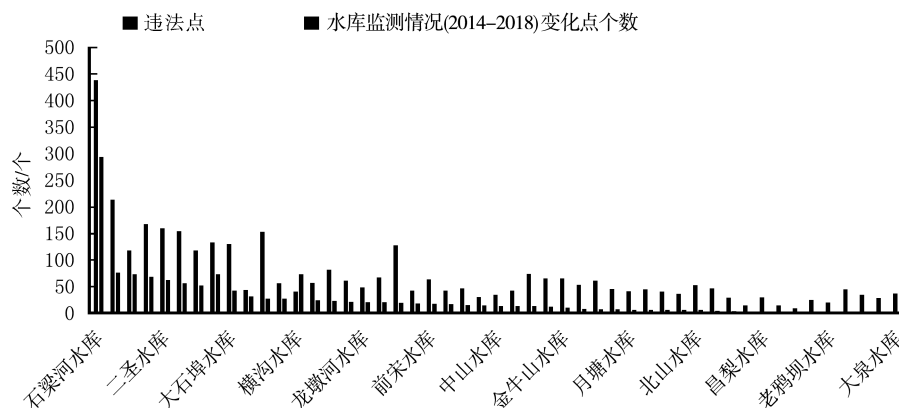


图4 大中型水库2014—2018年监测结果

过程,保障河湖长效管护效果。

参考文献:

- [1] 邓彦,沈海燕,王佩,等. 近30a瀛湖流域土地利用时空变化的遥感分析[J]. 人民长江, 2017, 48(13): 16-19.
- [2] 朱长明,张新,路明,等. 湖泊数据位置的湖泊动态

库容遥感监测方法[J]. 测绘学报, 2015, 44(3):309-315.

- [3] 唐晓先,沈明,段洪涛. 巢湖蓝藻水华时空分布(2000—2015)[J]. 湖泊科学, 2017, 29(2):276-284.
- [4] 马贵友. 基于卫星遥感的河道下垫面信息获取技术研究[J]. 人民长江, 2016, 47(24):106-109.

(上接第59页)

(1)稻秸秆排水体的排水能力能够达到传统塑料排水板的排水能力,受稻秸秆排水体编织方式的影响,其通水量在10~60 mL/s之间。

(2)秸秆绳排水体的排水能力受真空负压影响,随真空负压的减小而增加,在真空负压小于-20 kPa时,影响较大,而真空负压大于-20 kPa后影响较小。

(3)秸秆绳排水体的排水能力受降解时间的影响,在降解的前15 d内,排水体通水能力减小较大,降解时间大于15 d后,排水体通水能力随降解时间变化较小。

(4)以稻秸秆排水体为竖向排水体真空负压处理疏浚淤泥时,泥面沉降及含水率等处理效果接近塑料排水板,其中Ⅱ型稻秸秆排水体的处理效果最优。

参考文献:

- [1] 朱伟,闵凡路,吕一彦,等“泥科学与应用技术”的提出及研究进展[J]. 岩土力学, 2013, 34(11):3041-3052.
- [2] 蒲河夫,潘友富,Dibangar Khoteja,等. 絮凝-水平真空两段式脱水法处理高含水率疏浚淤泥模型试验研究[J]. 岩土力学, 2020, 41(5):1-9.
- [3] WANG J, CAI Yuanqiang, FU Hongtao, et al. Experi-

mental study on a dredged fill ground improved by a two-stage vacuum preloading method [J]. Soils and Foundations, 2018, 58:766-775.

- [4] 雷华阳,王铁英,张志鹏,等. 高黏性新近吹填淤泥真空预压试验颗粒流宏观分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(6):1784-1794.
- [5] 冯旭松,翁佳兴,宗珊,等. 小麦秸秆在可降解排水板生产中的应用研究[J]. 南京工程学院学报(自然科学版), 2018, 16(1):1-4.
- [6] LI Min, CHAI Shouxi, ZHANG Huyuan, et al. Feasibility of saline soil reinforced with treated wheat straw and lime[J]. Soils and Foundations, 2012, 52(2):228-238.
- [7] 梁同好,严正春,刘超,等. 新型排水体麦秸秆真空预压排水室内实验[J]. 岩石力学与工程学报, 2016, 35(增刊1):3432-3439.
- [8] XU Guizhong, YU Xiaojuan, WU Fahong, et al. Feasibility of vacuum consolidation in managing dredged slurries with wheat straw as drainage channels [J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2017, 21(4):1154-1160.
- [9] LIU Chao, XU Guizhong, XU Bing. Field study on the vacuum preloading of dredged slurry with wheat straw drainage[J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2018, 22:4327-4333.