

重力式码头墙后回填改良土应用研究

刘冰冰¹, 宋志坚², 王日升^{1*}, 赵月航¹

1. 山东交通学院交通土建工程学院, 山东 济南 250357; 2. 泰安市通达投资有限公司, 山东 泰安 271000

摘要:为检测将水泥与干土的质量比为8%的水泥改良土作为重力式码头墙后回填物的承载力,基于无侧限抗压强度试验、抗剪强度试验、点荷载试验及承载比试验等室内试验,采用无损检测方法电阻率法,研究单应力场作用下,含水率分别为7.7%、9.7%、11.7%、13.7%、15.7%、17.7%、19.7%的水泥改良土试件的力学性能变化规律以及电场响应特性。试验结果表明:1)不同含水率下,试件电阻率均随荷载和位移的增大先迅速减小后趋缓;高含水率试件的初始电阻率较含水率低的试件小,含水率越大,试件最终位移越大。无侧限抗压强度与初始电阻率、破坏电阻率的相关性较高,可采用电阻率法评价水泥改良土的力学强度特性。2)在剪切试验中,不同含水率下水泥改良土试件的最大电阻率均随法向应力增大而减小,试件电阻率随剪切位移的增大而增大,抗剪强度随破坏电阻率的增大而减小,破坏电阻率随含水率的增大而减小,最大抗剪强度随含水率的增大而先增大后减小。3)在干湿循环下点荷载试验中,试件的单轴抗压强度随含水率的增大而先增大后减小,二者呈高斯函数关系;试件的电阻率随含水率的增大而减小,二者呈指数函数关系。在无侧限抗压强度试验中,试件的单轴抗压强度随电阻率的增大先增大后减小,二者呈二次抛物线关系。4)在承载比试验中,承载比随试件含水率的增大而先增大后减小,二者呈高斯函数关系;试件的电阻率随含水率的增大总体减小;承载比随试件电阻率的增大而先增大后减小,二者呈二次抛物线函数关系。

关键词:改良土;应力场;电阻率;承载比

中图分类号:U214.1⁺5

文献标志码:A

文章编号:1672-0032(2025)02-0093-09

引用格式:刘冰冰,宋志坚,王日升,等.重力式码头墙后回填改良土应用研究[J].山东交通学院学报,2025,33(2):93-101.

LIU Bingbing, SONG Zhijian, WANG Risheng, et al. Application of improved soil backfill behind gravity dock walls[J]. Journal of Shandong Jiaotong University, 2025, 33(2): 93-101.

0 引言

重力式码头通常采用块石、混凝土或改良土制备墙后减压棱体,但目前山东平原地区石料较匮乏,价格过高且持续大幅上涨。在道路工程和水利工程中存在降雨、降雪等水环境,减压棱体往往会受应力场与渗流场的共同作用^[1-3]。

改良土是指在原状土中掺入改性材料,经搅拌、压实和养护后形成的抗压、抗剪强度明显提高,且远优于原状素土的建筑材料,在道路工程中应用广泛^[4-7]。早期曾采用现场搅拌桩,或采用水泥搅拌固化法加固软土地基,或在沥青或混凝土面层下以水泥土作为垫层。在道路工程和水利工程中,需研究水泥改良土在渗流场作用下的特性^[8-10]。电阻率法是一种无损、高效的物理勘测方式,可用于隐患探测、边坡稳定性、突水、堤坝渗漏等工程问题的监测预警^[11-12]。陈其帆等^[13]通过试验获得改良土早期压剪性能随

收稿日期:2025-02-26

基金项目:山东省交通运输科技计划项目(2023B90)

第一作者简介:刘冰冰(1997—),女,山东潍坊人,硕士研究生,主要研究方向为道路交通运输,E-mail:liubingbing_youxu@163.com。

***通信作者简介:**王日升(1979—),男,山东招远人,副教授,硕士研究生导师,工学博士,主要研究方向为水工建筑物健康诊断及BIM技术应用,E-mail:wangrsh2004@163.com。

改良土养护龄期、改性胶凝材料与干土的质量比、土体压实度、围压强度等对改良土抗压、抗剪强度的影响规律,胶凝材料与干土的质量比和压实度对改良土性能的影响较大。Do 等^[14]测试改良土在潮湿环境下的无侧限抗压、抗折强度,研究水泥种类、水泥与干土的质量比、水泥土化学性质、养护时间、土壤粒度分布等因素对水泥土无侧限抗压强度的影响。Venkatarama 等^[15]研究水泥稳定土和水泥稳定夯土的压实特性和物理特性,表明土壤的压实特性不受水泥影响,压实水泥稳定土的抗压强度随密度的增大而增大,与成型后湿度无关。Yu 等^[16]研制土-水泥混合物渗透仪,并提出渗透系数的估计方程,研究剪切应力对渗透率的影响,表明随竖向荷载的增大,围压较低时渗透系数显著增大,围压较高时渗透系数变化较小。Wang 等^[17]通过深度压缩、渗透性和微观结构,试验研究不同水泥稳定土的可工作性(流动性、黏聚性和保水性)、抗压强度和微观结构特征,表明随水泥与干土质量比的增大,水泥稳定土的抗压强度线性增大,渗透率近似呈幂函数关系。白丁^[18]研究改良土在生活污水侵蚀与冻融循环双重作用下抗压强度与电阻率的关系。Vincent 等^[19]测量新配制的未固化和固化水泥土材料的电阻率,讨论水泥土抗压、抗剪性能的控制因素与电阻率间的关系,发现随水泥与干土质量比的增大和养护时间的延长,水泥土中电阻率的变化趋势与无侧限抗压强度相似。Liu 等^[20]研究水泥土和原位水泥土柱的电阻率特性,提出在一定养护时间和水灰比条件下水泥土电阻率的简单预测公式。现有研究成果多用电阻率测量地基的无侧限抗压强度,但将承载比与电阻率结合获得地基承载力的研究较少。

本文以水泥与干土的质量比为 8% 的水泥改良土为研究对象,基于电阻率法研究改良土的承载比与电阻率间关系,通过无侧限抗压试验、直接剪切试验及点荷载试验,研究单应力场作用下水泥改良土随含水率变化的规律以及电场响应特性,以期工程实践提供可靠借鉴。

1 水泥改良土电场随应力场变化规律

1.1 不同含水率下水泥改良土电场随抗压强度变化规律

制备水泥改良土圆柱体试件,水泥与干土的质量比为 8%,试件直径和高均为 50 mm,含水率分别为 7.7%、9.7%、11.7%、13.7%、15.7%、17.7%、19.7%,每个含水率下制备 3 个试件。

在试样顶面、底面分别放置 1 个比试件面积稍大的铜片,在上下两端铜片和压力试验机的接触面中间放置防水绝缘胶布。加压前测量试件电阻率,将试件置于压力试验机升降系统中央,并对试件预压 50 N 的荷载,保持加载速度为 1 mm/min,观察荷载与时间的关系曲线,出现明显拐点后停止试验。观察试验机屏幕上显示的荷载,每施加 0.05 kN 的荷载记录 1 次电阻率,直至试件破坏。

1.1.1 电阻率随位移响应特征

重力式码头能承受较大的地面荷载和船舶荷载,码头墙后的填筑材料受荷载作用易产生变形。不同含水率 w 下水泥改良土试件电阻率随位移变化的响应特性如图 1 所示。

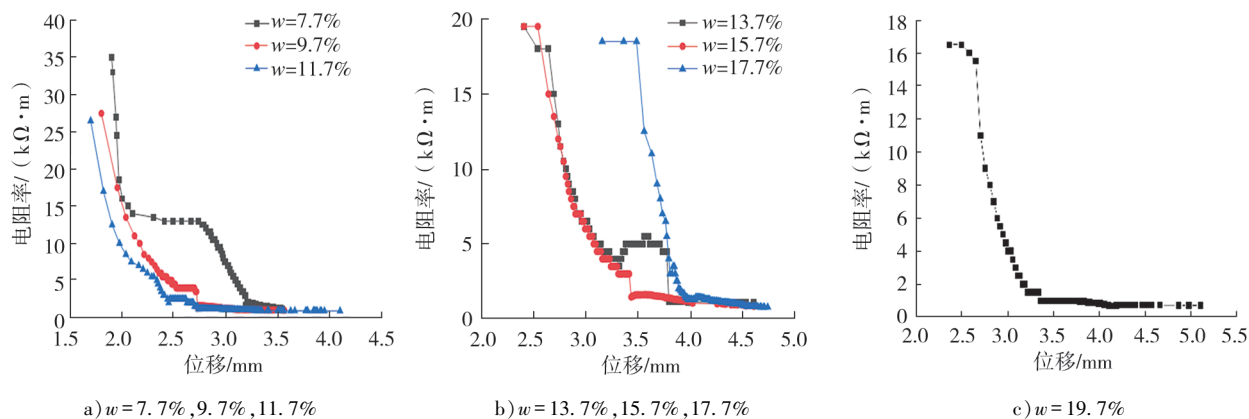


图1 不同含水率下水泥改良土试件电阻率与位移的关系曲线

由图3可知:水泥改良土试件的电阻率随位移的变化趋势受含水率影响较大,不同含水率下,电阻率均随位移的增大先迅速减小后趋缓。含水率分别为7.7%、9.7%、11.7%、13.7%、15.7%、17.7%、19.7%水泥改良土试件沉降至最终位移的91%、76%、67%、87%、75%、84%、65%时,沉降趋于平稳;经计算,电阻率降至初始电阻率的3.4%、5.4%、4.5%、5.8%、7.8%、7.1%、6.1%时,电阻率趋于稳定。高含水率水泥改良土试件的初始电阻率较低含水率的试件小,前者受荷载作用产生位移时,内部气体挤压逃逸较少,电阻率的变化幅度较小。含水率越大,水泥改良土试件最终位移越大^[21-22]。

1.1.2 电阻率随荷载响应特征

不同含水率下水泥改良土试件的电阻率与荷载的关系曲线如图2所示。由图2可知,试件的电阻率随荷载增大先迅速减小而后趋缓。不同含水率下的水泥改良土试件受荷载作用变得密实,压密过程中排出空气,水膜变薄、接触面积增大,试件中固、液相相对体积分数增大,颗粒间导电性增强,荷载增大至一定数值后,压缩空间有限,试件电阻率变化幅度减小^[23]。

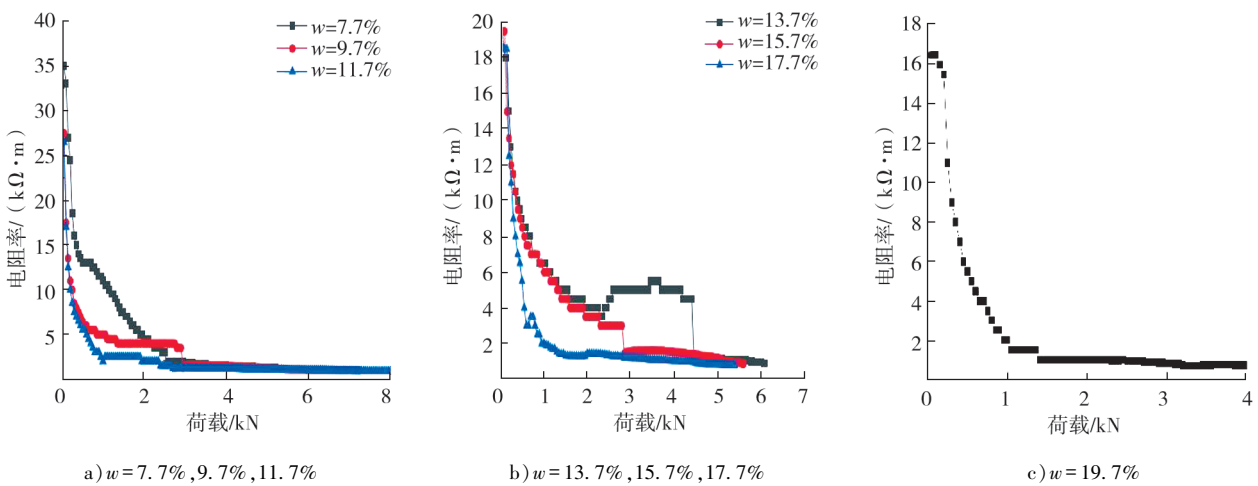


图2 不同含水率下水泥改良土试件电阻率与荷载的关系曲线

1.1.3 无侧限抗压强度与初始电阻率、破坏电阻率的关系

测定不同含水率下水泥改良土试件的初始电阻率和破坏电阻率,分析初始电阻率和破坏电阻率与试件无侧限抗压强度的关系,研究不同含水率下水泥改良土力学特性指标与电学特性指标间的变化关系,水泥改良土试件的无侧限抗压强度与电阻率关系拟合曲线如图3所示。由图3可知:水泥改良土试件的无侧限抗压强度与初始电阻率、破坏电阻率的相关性较高,表明将电阻率法应用于水泥改良土力学强度特性评价完全可行。

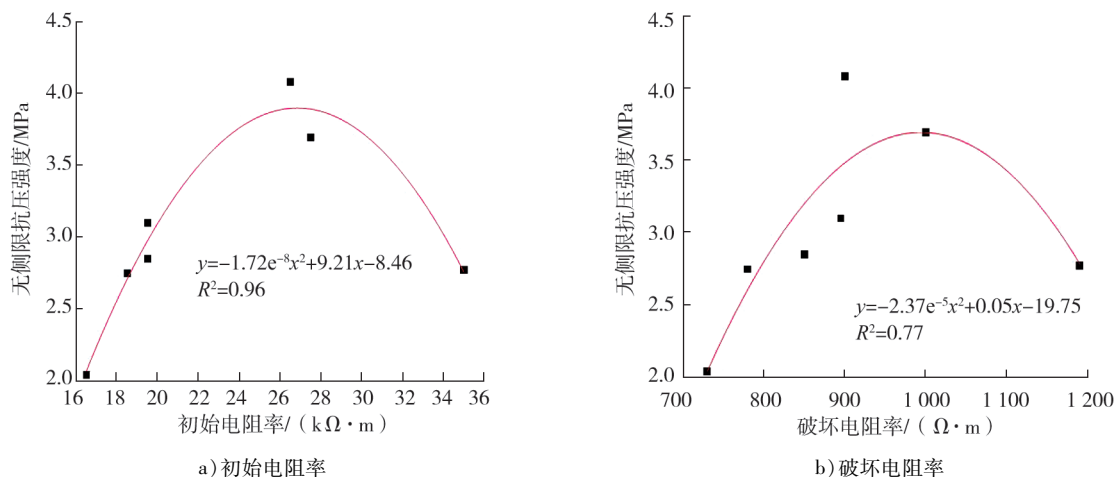


图3 不同含水率下水泥改良土试件的无侧限抗压强度与电阻率关系拟合曲线

1.2 不同含水率下水泥改良土电场随抗剪强度变化规律

在环刀内部涂抹薄层凡士林,采用环刀在不同含水率的圆柱体试件上取件,每个含水率下取3个扁圆柱体试件,直径61.8 mm,高20 mm。垂直下压,用削土刀将多余土样削平。

将剪力盒的上、下盒对齐,固定定位销,把带土样的环刀放置于上剪切盒并将透水石放置于土样上方,按住透水石将土样挤出置于剪力盒中,使土样一半位于上剪力盒,一半位于下剪力盒。将加力压盖放在透水石上方,将百分表读数调为0,试验开始时拔出定位销。设置试件的法向压力为0.1 MPa,手柄转1圈记录1次数据,剪切速度约为0.8 mm/min,当应力环读数不再增大或开始回退时,试件被破坏,停止试验,记录手柄转数和百分表读数。在法向压力分别为0.2、0.3、0.4 MPa时重复试验。

将万用表固定在下盒两侧,在滚珠、剪力盒左右两侧、量力环和推进装置间的接触位置上涂抹液体绝缘胶带。在开始试验、每旋转1次手柄和试件破坏时各记录1次万用表读数。剪切试验测量现场如图4所示。

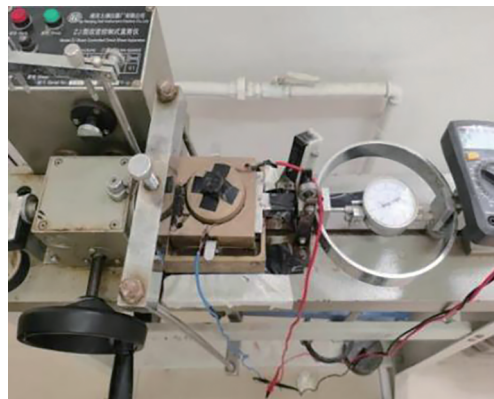


图4 剪切试验测量现场

1.2.1 不同含水率下水泥改良土电阻率演化分析

测量不同含水率、不同法向压力(0.1、0.2、0.3、0.4 MPa)下水泥改良土试件在剪切过程中的电阻率随剪切位移的变化,数据记录至每个法向压力下最大剪应力时的剪切位移与电阻率,如图5所示。

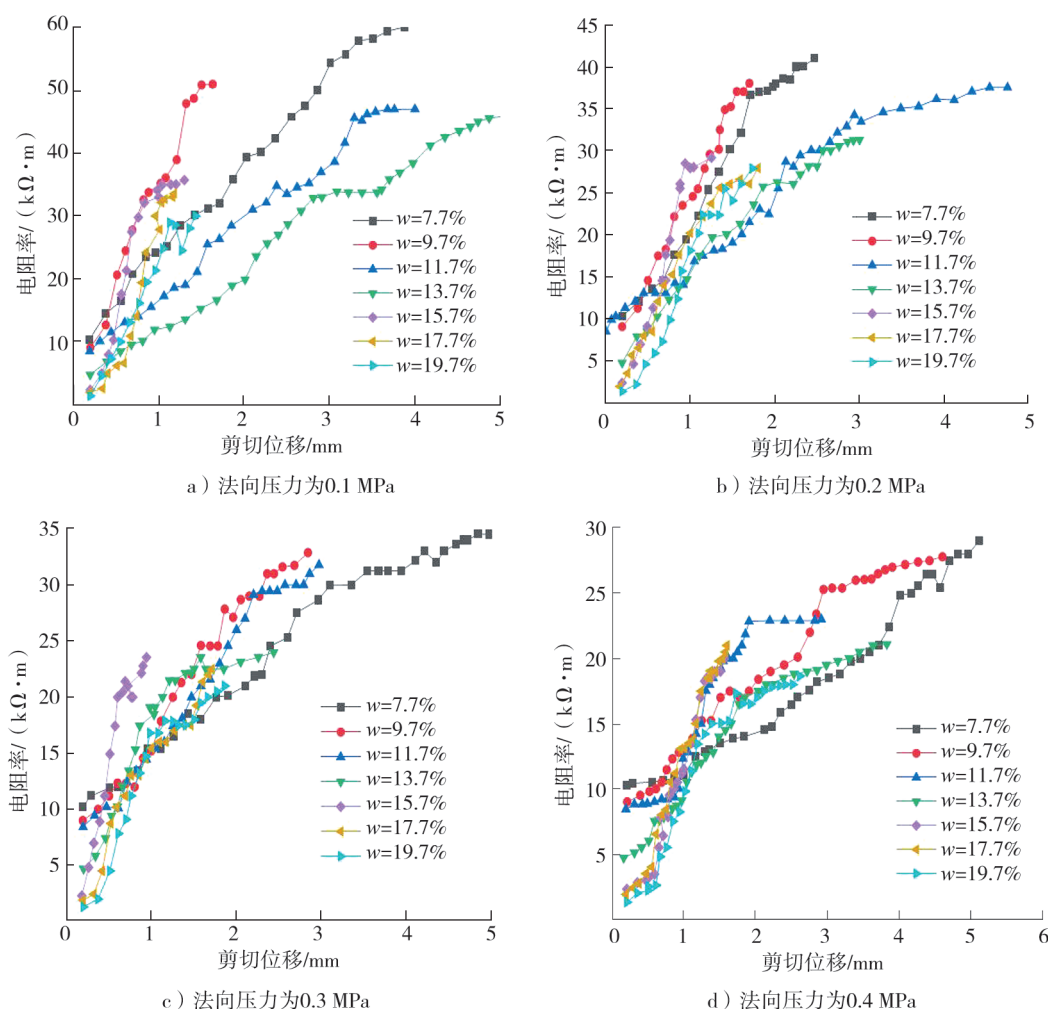


图5 不同法向应力下水泥改良土试件位移与电阻率变化关系曲线

由图5可知:不同含水率下,随法向压力增大,水泥改良土试件的破坏电阻率减小;随剪切位移的增大,试件电阻率先快速增至一定值后变化速度逐渐减小。原因是随着剪切试验的进行,各颗粒间产生变形,试件内部出现裂缝,空气进入裂缝,导电性变弱,试件电阻率增大,破坏电阻率增大。随剪切位移的增大,颗粒间的接触逐渐减少,孔隙间的水分快速分离,导电路径急剧减少,电阻率增速变缓^[24-25]。

1.2.2 抗剪强度与破坏电阻率的关系

不同含水率下水泥改良土试件的破坏电阻率与抗剪强度关系曲线如图6所示。

由图6可知:不同含水率下水泥改良土试件的抗剪强度均随破坏电阻率的增大而减小;随含水率的增大,破坏电阻率减小,最大抗剪强度先增大后减小。含水率由7.7%增至19.7%,法向压力为0.4 MPa下试件的破坏电阻率较法向压力为0.1 MPa下试件分别减小51.75%、45.50%、51.10%、54.82%、44.06%、37.43%、37.83%。表明抗剪强度和电阻率间存在特定关系,可采用电阻率反映和监测水泥土抗剪强度变化。

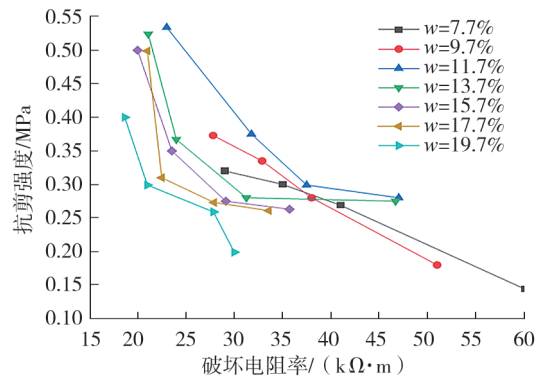


图6 不同含水率下水泥改良土试件的破坏电阻率与抗剪强度关系曲线

1.3 干湿循环下水泥改良土试件电场随应力场变化

1.3.1 点荷载试验步骤

1) 设计试件初始含水率为11.7%,干湿循环过程中控制温度不变,采用自然风干的方式。3次干湿循环结束后试样含水率为1.0%,将试样加湿饱和后再次自然风干。控制最终含水率分别为7.7%、9.7%、11.7%、13.7%、15.7%、17.7%、19.7%,供后续试验使用,每个含水率下制备3个试件。

2) 对试件进行点荷载试验,计算点荷载强度。

3) 对试件加压后采用万用表测量电阻,将铜片固定于试件轴向的上下截面,铜片的直径与试件截面直径均为50 mm,铜片中间裁去1个直径约为20 mm的圆形孔洞,用于放置点荷载仪的针,在加载锥头上粘贴绝缘黑胶布,使试件与点荷载试验仪绝缘。铜片上用焊锡连接电线,电线两端分别连接万用表的红、黑表笔。

4) 采用液压千斤顶增大点荷载试验仪的荷载,将激光线固定打在2.5 mm及5.0 mm处(以试件的上端为起点),当点荷载试验仪针入试件2.5、5.0 mm时,记录试件的电阻率。试件被破坏后的形态如图7所示。



图7 试件破坏后形态

1.3.2 干湿循环下点荷载试验和无侧限试验结果及分析

在点荷载试验中,通过千斤顶对水泥改良土试件逐级加载使试件破坏,并记录试件电阻率的变化,试件破坏时可通过公式计算其单轴抗压强度,建立试件破坏时的承载力,即单轴抗压强度与电阻率的联系。不同含水率下试件单轴抗压强度和电阻率的关系曲线如图8所示。由图8可知:1) 试件的单轴抗压强度随含水率的增大而先增大后减小,二者呈高斯函数关系,决定系数 $R^2=0.92$,拟合效果较好;含水率为9.7%、11.7%的水泥改良土试件的单轴抗压强度比含水率为7.7%的试件分别增大13.54%、17.71%;含水率分别为13.7%、15.7%、17.7%、19.7%的水泥改良土试件的单轴抗压强度比含水率为7.7%的试件分别减小2.08%、2.08%、12.5%、39.58%。2) 水泥改良土试件的电阻率随含水率的增大而减小,二者呈指数函数关系, $R^2=0.95$,拟合效果较好,含水率由7.7%增至19.7%时,电阻率分别减小10.47%、44.19%、56.98%、63.95%、65.12%、67.44%。

具体工程情况下,点荷载试验只能模拟重力式码头墙后填料受集中点荷载的情况,且因仪器及人为操作原因无法完整记录整个受力过程及受力时间,多数情况下,填料所受荷载为大面积荷载,且为持续荷载,点荷载试验较难反应工程实际情况^[26-27]。无侧限试验可模拟持续加载情况,因此对回填土进行无侧限抗压强度试验。水泥改良土试件的单轴无侧限抗压强度与电阻率的关系曲线如图9所示。由图9可

知:试件的单轴无侧限抗压强度随电阻率的增大而先增大后减小,二者呈二次抛物线关系, $R^2=0.79$,因此可建立水泥改良土试件单轴无侧限抗压强度与电阻率的对应关系。

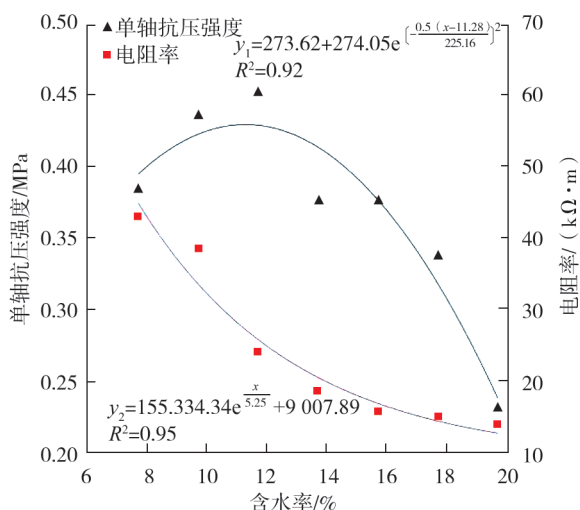


图8 不同含水率下试件单轴抗压强度与电阻率的关系曲线

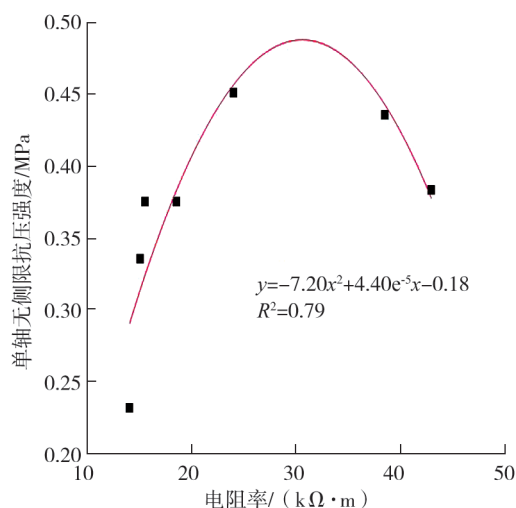


图9 单轴无侧限抗压强度及电阻率的关系曲线

2 水泥改良土承载力变化与电阻率响应特性试验

无侧限抗压强度是衡量水泥改良土力学特性的关键参数,电阻率是表征土体物理性质的参数,二者均为水泥改良土的固有属性,存在紧密联系。

2.1 试件制备

根据文献[28]的要求,水泥改良土试件水灰比为 0.5。采用直径 152 mm,高 170 mm 的大击实筒作为试模,制备含水率分别为 7.7%、9.7%、11.7%、13.7%、15.7%、17.7%、19.7% 的水泥改良土试件,每组含水率制备 3 个试件,进行平行试验,试验结果取平均值。

将大击实筒内部擦拭干净,采用防水不导电的绝缘胶带完全覆盖内壁。将试模配套的下垫块放入大击实筒的下部,将水泥改良土分 3 次装入桶中,每次加入 1/3 的水泥改良土,注意进行层间拉毛,每层击实 98 次^[29]。在大击实筒内进行承载比试验,试验完成后脱模。

2.2 试验步骤

1) 制备含水率为 7.7%、9.7%、11.7%、13.7%、15.7%、17.7%、19.7% 的水泥改良土试件,采用防水不导电的绝缘胶带覆盖大击实筒内壁和灌入杆四周。

2) 对不同含水率下的试件进行承载比试验。进行承载比灌入试验时,不浸泡试件,不影响测量不同含水率试件承载比与电阻率的关系,采用测力环百分表测量受力情况,记录数据。

3) 对试件加压后,采用万用表测量电阻,将试件轴向 2 个截面分别贴上 1 片铜片,铜片的直径与试件截面直径相同,均为 152 mm,铜片中间裁去一个直径约为 50 mm 的圆形孔洞用于安置承载比试验仪灌入杆,铜片上用焊锡连接电线,电线两端分别连接万用表的红、黑表笔。

4) 启动承载比试验仪后,右表读数为 250 mm 和 500 mm 时读取测力环百分表读数及万用表读数。

2.3 试验结果分析

不同含水率下水泥改良土试件的承载比、含水率的变化曲线如图 10 所示。试件承载比与电阻率的关系曲线如图 11 所示。

由图 10 可知:承载比随试件含水率的增大而先增大后减小,二者呈高斯函数关系, $R^2=0.97$,拟合效果较好;试件的含水率分别为 9.7%、11.7% 时,承载比比含水率为 7.7% 的试件分别增大 68.75%、82.75%;含水率由 11.7% 增至 19.7% 时,承载比比含水率为 7.7% 的试件分别减小 35.29%、49.52%、

78.39%、93.43%;随含水率的增大,试件的电阻率减小,电阻率与含水率呈指数关系, $R^2=0.92$,拟合效果较好,含水率由9.7%增至19.7%时,试件电阻率比含水率为7.7%的试件分别减小15.44%、17.46%、18.23%、48.63%、77.78%、88.98%。试件含水率越大,固、液、气三相中水的体积分数越大,水分子布满试件孔隙,空气体积分数减小,水是导体,试件电阻率越小。

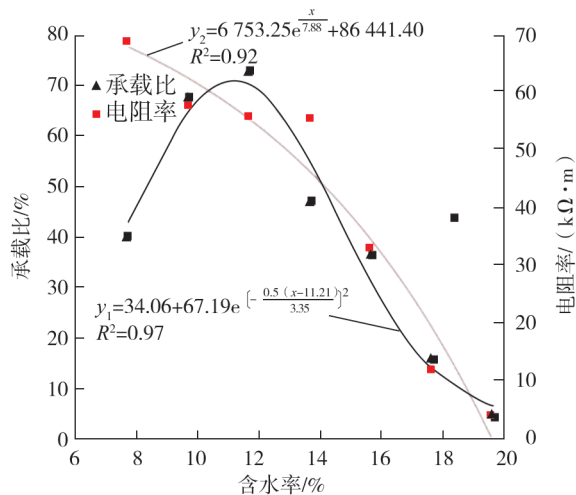


图10 不同含水率下水泥改良土试件的承载比、电阻率的变化曲线

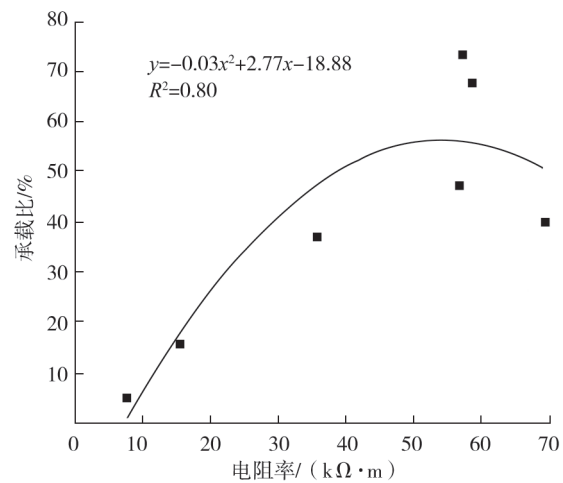


图11 水泥改良土试件的承载比与电阻率的关系曲线

由图11可知:水泥改良土试件承载比随电阻率的增大而先增大后减小,二者呈二次抛物线函数关系, $R^2=0.80$,表明试件的承载力与电阻率间存在一定关系。在实际工程应用中,在现场获得土体的电阻率,通过拟合方程求得此处的承载比,通过土体的电阻率变化监督承载比的变化,及时预警并采取相应措施。

3 结论

以水泥与干土的质量比为8%的水泥改良土为研究对象,制备含水率分别为7.7%、9.7%、11.7%、13.7%、15.7%、17.7%、19.7%的试件,通过无侧限抗压试验、直接剪切试验、点荷载试验和承载比试验,研究单应力场作用下水泥改良土的力学性能随含水率变化的规律以及电场响应特性。

1)不同含水率下,水泥改良土试件的电阻率均随荷载和位移的增大而先迅速减小后趋缓。含水率高的水泥改良土试件的初始电阻率较含水率低的试件小,含水率越大,试件最终位移越大。无侧限抗压强度与初始电阻率、破坏电阻率的相关性较高,表明将电阻率法应用于水泥改良土力学强度特性评价完全可行。

2)在剪切试验中,不同含水率下水泥改良土试件的破坏电阻率均随法向压力的增大而减小,试件电阻率随剪切位移的增大而增大,抗剪强度均随破坏电阻率的增大而减小,破坏电阻率随含水率的增大而减小,最大抗剪强度随含水率的增大而先增大后减小。

3)干湿循环下点荷载试验中,水泥改良土试件的单轴抗压强度随含水率的增大而先增大后减小,二者呈高斯函数关系。水泥改良土试件的电阻率随含水率的增大而减小,二者呈指数函数关系。在无侧限抗压强度试验中,水泥改良土试件的单轴无侧限抗压强度随电阻率的增大而先增大后减小,二者呈二次抛物线关系。

4)在承载比试验中,水泥改良土试件的承载比随试件含水率的增大而先增大后减小,二者呈高斯函数关系;随含水率的增大,试件的电阻率总体减小。水泥改良土试件的承载比随电阻率的增大而先增大后减小,二者呈二次抛物线函数关系。

参考文献:

- [1] 臧育樱. 库水位变化对土坝渗流特性及稳定性影响的研究[D]. 太原:太原理工大学,2022.
- [2] 郑昊. 土石坝库水位变化下的稳定性分析[J]. 黑龙江水利科技,2022,50(8):77-82.
- [3] 张鹏鹏. 降雨条件下三维边坡渗流和稳定性分析及防排水设计研究[D]. 长沙:中南大学,2022.
- [4] ZHONG D H, ZHANG X X, AO X F, et al. Study on coupled 3D seepage and stress fields of the complex channel project [J]. Science China Technological Sciences, 2013, 56(8): 1906-1914.
- [5] WANG Z, SHI W T, JIANG K, et al. Coupling analysis of stress field and seepage field in foundation pit dewatering and optimization design of reinjection[J]. Thermal Science and Engineering Progress, 2024, 54: 102778.
- [6] 周亦良,贺其,李明,等. 考虑渗流-应力耦合的不同降雨条件下非饱和土边坡稳定性分析[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2023,42(8):57-63.
- [7] 杨晓松,闫显亮,王洪革. 以土为减压棱体材料的重力式码头结构研究[J]. 山东交通科技,2023(2):165-168.
- [8] 谢志林. 蓄水节制闸换填法软土地基处理研究[J]. 水利科技与经济,2025,31(2):150-153.
- [9] 王旭东,张蕾,周兴业. 沥青路面的双向疲劳损伤[J]. 中国公路学报,2023,36(5):21-37.
- [10] 张超. 基于水泥改良的高速公路细粒土路基刚度提升研究[D]. 石家庄:石家庄铁道大学,2022.
- [11] 刘欣怡. 高密度电阻率法在水库坝址勘查中的应用[J]. 陕西水利,2025(2):93-95.
- [12] 毛文星,张志勇,周峰,等. 直流电阻率自适应反演在岩溶勘探中的应用:以广西河池灰岩区为例[J]. 东华理工大学学报(自然科学版),2024,47(6):575-583.
- [13] 陈其帆,杨阳,姜玉荣,等. 高含水区改性土压剪特性试验研究[J]. 山东交通学院学报,2022,30(3):78-86.
- [14] DO H D, PHAM V N, NGUYEN H H, et al. Prediction of unconfined compressive strength and flexural strength of cement-stabilized sandy soils: a case study in Vietnam [J]. Geotechnical and Geological Engineering, 2021, 39(7): 4947-4962.
- [15] VENKATARAMA REDDY B V, PRASANNA KUMAR P. Cement stabilised rammed earth: Part A: compaction characteristics and physical properties of compacted cement stabilised soils[J]. Materials and Structures, 2011, 44(3): 681-693.
- [16] YU Y Z, PU J L, UGAI K, et al. A study on the permeability of soil-cement mixture[J]. Soils and Foundations, 1999, 39(5):145-149.
- [17] WANG S N, GUO S F, GAO X Q, et al. Effects of cement content and soil texture on strength, hydraulic, and microstructural characteristics of cement-stabilized composite soils [J]. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2022, 81(7): 02734.
- [18] 白丁. 双重环境作用下水泥土的力学及电阻率试验研究[J]. 墙材革新与建筑节能,2019(8):66-68.
- [19] VINCENT N A, SHIVASHANKAR R, LOKESH K N, et al. Laboratory electrical resistivity studies on cement stabilized soil[J]. International Scholarly Research Notices, 2017, 2017:8970153.
- [20] LIU S Y, DU Y J, HAN L H, et al. Experimental study on the electrical resistivity of soil-cement admixtures [J]. Environmental Geology, 2008,54(6):1227-1233.
- [21] 杨金瑞,李金伟,崔亚彤,等. 电阻率成像法在垃圾填埋场防渗层渗漏探测中的应用[J]. 工程勘察,2024,52(12):75-80.
- [22] 姚志. 高密度电阻率成像法渗漏检测效果分析[J]. 建筑科技,2024,8(10):53-56.
- [23] 李振海. 黄浦江苏州河堤防渗漏探测方法研究[J]. 勘察科学技术,2024(5):51-54.
- [24] 张国强,关镶锋,滕兆育,等. 高密度电法在冬季冰面勘察中的应用[J]. 水利科学与寒区工程,2025,8(1):1-4.
- [25] 洪欧洲. 高密度电法在淮南市车路山矿山修复工程勘察中的应用[J]. 资源信息与工程,2024,39(5):12-16.
- [26] 杨林,陈波,于洪军,等. 基于连续高密度电阻率测量判断海水入侵影响范围的实际研究[J]. 海洋环境科学,2025,44(2):266-275.
- [27] 陈文锐. 高密度电法对水库渗漏判断及指导地质勘察的应用研究[J]. 陕西水利,2023(12):96-98.
- [28] 中华人民共和国交通运输部,交通运输部公路科学研究院. 公路土工试验规程: JTG 3430—2020[S]. 北京:人民交通出版社,2020.
- [29] 中华人民共和国交通运输部,交通部公路科学研究院. 公路工程无机结合料稳定材料试验规程: JTG E51—2009 [S]. 北京:人民交通出版社,2009.

Application of improved soil backfill behind gravity dock walls

LIU Bingbing¹, SONG Zhijian², WANG Risheng^{1}, ZHAO Yuehang¹*

1. School of Civil Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250357, China; 2. Taian Tongda Investment Co., Ltd., Taian 271000, China

Abstract: To detect the bearing capacity of cement-modified soil with a cement-to-dry-soil mass ratio of 8% as backfill material for gravity-type dock walls, indoor tests such as unconfined compressive strength tests, shear strength tests, point load tests, and California bearing ratio tests are conducted. Using a non-destructive testing method, the mechanical properties and electric field response characteristics of cement modified soil specimens with water content of 7.7%, 9.7%, 11.7%, 13.7%, 15.7%, 17.7% and 19.7% are studied under the action of single stress field. The test results indicate: 1) Under different moisture contents, the resistivity of the specimens decreases rapidly with the increase of load and displacement, and then tended to stabilize. The initial resistivity of specimens with high moisture content is lower than that of specimens with lower moisture content; as moisture content increases, the final displacement of the specimens also increases. The unconfined compressive strength is highly linearly correlated with the initial resistivity and the failure resistivity, indicating that the resistivity method can be used to evaluate the mechanical strength characteristics of cement-modified soil. 2) In shear tests, the maximum resistivity of cement-modified soil specimens under different moisture contents decreases with increasing normal stress, while the resistivity of the specimens increases with increasing shear displacement. The shear strength decreases with increasing failure resistivity, and failure resistivity decreases with increasing moisture content. The maximum shear strength first increases and then decreases with increasing moisture content. 3) In point load tests under dry-wet cycles, the uniaxial compressive strength of specimens increases and then decreases with increasing moisture content, following a Gaussian function relationship. The resistivity of the specimens decreases with increasing moisture content, following an exponential function relationship. In unconfined compressive strength tests, the uniaxial compressive strength of the specimens increases and then decreases with increasing resistivity, following a quadratic parabolic relationship. 4) In bearing ratio tests, the bearing ratio increases and then decreases with increasing moisture content of the specimens, following a Gaussian function relationship; the resistivity of the specimens generally decreases with increasing moisture content. The bearing ratio increases and then decreases with increasing resistivity of the specimens, following a quadratic parabolic function relationship.

Keywords: improved soil; stress field; resistivity; California bearing ratio

(责任编辑:王惠)