

DOI:10.20035/j.issn.1671-2668.2023.01.013

h 形抗滑桩室内模型试验研究

刘雄¹, 李立锋², 周侨¹, 吴振兴¹, 杨懿洋¹

(1.湖南联智科技股份有限公司, 湖南长沙 410299; 2.湖北省地质局第八地质大队, 湖北襄阳 441000)

摘要: 通过模拟现实工程中 h 形抗滑桩在滑坡防治工程中的受荷情况, 在多级加载条件下, 测试 h 形抗滑桩桩体上土压力和桩顶位移。结果表明, 前排桩前侧受到的是桩前岩土体对前桩的被动土抗力, 基本上呈三角形分布, 且土压力随着加载质量的增加而增大; 后排桩顶部位移随同坡顶加载质量的加大呈线性增大, 桩体发生弹性变形。

关键词: 公路; 滑坡; h 形抗滑桩; 室内模型试验; 侧向土压力

中图分类号: U416.1

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2023)01-0064-05

h 形抗滑桩具有稳定性较好、桩体横向刚度较大、能很好地抵抗横向位移等优点, 在边(滑)坡防治中具有广阔的应用前景。桩侧土压力的准确计算直接关系到桩径、桩长和配筋等桩基设计参数的正确取值, 是桩基是否设计合理的关键。喻邦江等通过 h 形组合抗滑桩+抗滑桩承台挡墙对晴兴(晴隆—兴义)高速公路扒山田滑坡体进行了分级支挡^[1]; 欧孝夺等通过几何相似比为 1:20 的室内模型试验, 采用千斤顶作用不同大小荷载, 得到了不同桩间距、不同连梁位置的 3 根 h 形抗滑桩弯矩和变形规律, 探讨了 h 形抗滑桩的受力机制和特点^[2]; 王羽等通过 FLAC^{3D} 软件建立 h 形桩三维模型, 研究 h 形桩对边坡稳定性的作用规律, 分析 h 形桩的桩身位移和弯矩分布特征^[3]; 柳治国基于 ANSYS 有限元程序建立 h 形抗滑桩数值分析模型, 揭示了 h 形抗滑桩在滑坡剩余下滑推力作用下的受力特征^[4]。现有研究对作用于 h 形抗滑桩体上滑坡推力及桩间岩土体对前后排桩作用力的确定方法各有不同, 特别是在滑坡侧向土压力和桩间土对桩体侧向压力的作用形式上存在较大差异, 而作用于桩体上土压力大小及作用形式是否准确直接影响阻滑段和锚固段的内力和变形是否准确^[5-8]。为此, 本文通过 h 形抗滑桩室内模型试验, 分析阻滑段桩体土压力分布形式及变化规律。

1 试验方案

1.1 试验模型设计

模拟 h 形抗滑桩在滑坡治理中的受力特性进行室内试验时, 主要考虑边坡形状、模型桩的制作、土

压力的准确测试及坡体材料选择等。室内模型为 2.0 m×1.2 m×1.3 m(长×宽×高)的多面体, 包括底部滑床、边(滑)坡堆积体及 h 形支护桩模型三部分。滑床和滑体之间的滑面倾角为 15°, 滑体坡面倾角为 35°, 以坡顶宽度 0.5 m 作为加载区域, h 形模型桩位于试验槽的中间, 使用混凝土固定于下部滑床(见图 1)。滑坡堆积体的推力和附加荷载联合作用在 h 形模型桩上, 通过土压力测试装置、位移测试装置及数据采集设备得出桩体的受力和变形数据。

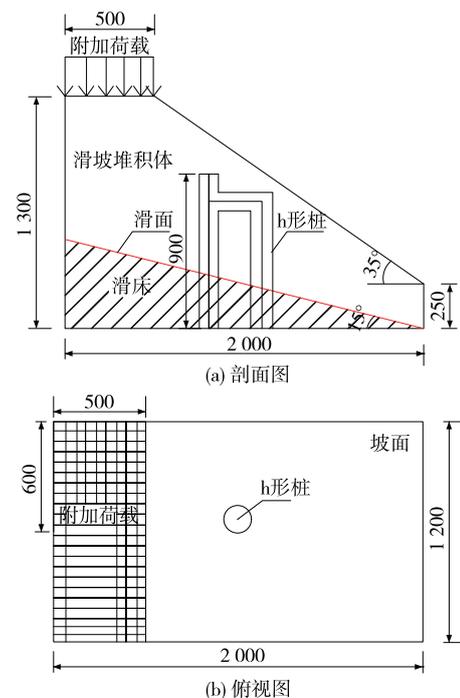


图 1 h 形抗滑桩室内试验模型(单位:mm)

1.2 试验装置

试验主要设备有试验模型槽、h 形抗滑桩模型

桩、土压力测试装置、位移测试装置、数据采集仪和附加荷载设备。试验选用 5 倍桩间距的 h 形抗滑桩模型,模型尺寸见图 2。实际工程中的滑坡材料多种多样,有黏性土、砂质土、碎石土、黏土夹石及岩石等,为保证每次试验滑体的状态变化不大、土的性质较均匀,试验选用砂土作为坡体材料。砂土的颗粒分析和含水量测试结果分别见表 1、表 2。

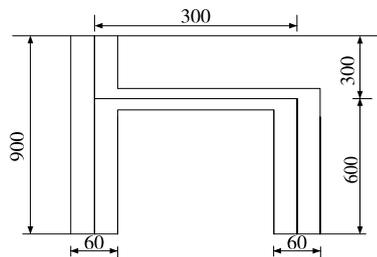


图 2 h 形抗滑桩模型尺寸(单位:mm)

表 1 砂土的颗粒分析结果

试样编号	不同粒径(mm)砾的占比/%			不同粒径(mm)砂的占比/%			
	>20.00(粗)	20.00~2.00(细)		>2.00~0.50(粗)	>0.50~0.25(中)	>0.25~0.075(细)	<0.075(极细)
1	0	20.84	67.96	8.92	1.40	0.88	
2	0	23.52	58.04	11.14	5.10	2.20	
3	0	19.50	65.51	12.50	1.60	0.89	
均值	0	21.29	63.84	10.85	2.70	1.32	

表 2 砂土的含水量测试结果

试样编号	天然质量/g	干质量/g	水分质量/g	含水量/%
1	35.45	34.97	0.48	1.4
2	30.69	30.37	0.32	1.1
3	30.15	29.82	0.33	1.1

由表 1、表 2 可知:粒径 ≥ 0.5 mm 的砂砾占比为 85.13%,依据 GB 50021—2001《岩土工程勘察规范》^[9],属于粗砂;砂土含水量为 1.33%。

1.3 试验步骤

(1) 在试验槽内制作滑坡平台,采用混凝土浇筑,并在滑床中间预留放置 h 形桩体的锚固孔。成型倾角为 15°的滑面,并用砂浆涂抹滑面以降低摩擦力。将其静置一周,使混凝土充分凝固,满足滑床强度要求。

(2) 将土压力测试装置安装在 h 形抗滑桩上,共安装 14 个土压力测试装置,分别为后排桩后侧 5 个,后排桩前侧、前排桩前后侧各 3 个(见图 3)。

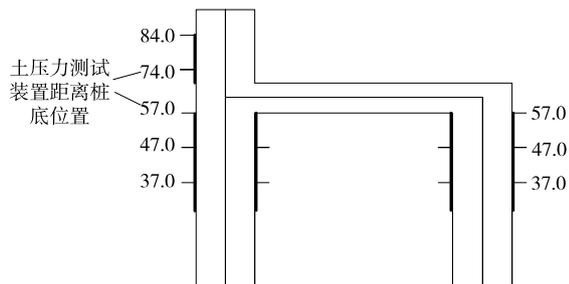


图 3 土压力测试装置安装位置示意图(单位:cm)

(3) 把安装好土压力测试装置的 h 形桩置于滑床中间预留的锚固孔内,调整其在坡面上的位置,使

桩体位于坡体中间并垂直于滑床倾向方向。用混凝土浇筑固定,静待一周,使混凝土充分凝固,桩体完全固定在滑床上(见图 4)。对桩体上土压力测试装置编号,并将其外部接线与应变数据采集仪连接。



图 4 h 形桩锚固于滑床

(4) 在模型槽中分层堆填坡体。为保证每次试验坡体的压实度不会变化太大,试验坡体采用分层自然堆积,每层 10 cm,不碾压,直到堆积到设计高度,对坡面进行修整,使坡面倾角为 35°(见图 5)。静置 2 d,使边坡土体稳定平衡,在 h 形桩后排桩桩顶处安装测量位移的数显百分表(见图 6)。



图 5 室内模型试验边坡堆积完成



图6 h形桩后排桩桩顶安装数显百分表

(5) 加载前,对应变数据采集仪进行各测点的自动平衡。在坡顶平面处使用砝码进行加载,采用逐级加载的方式,共分为11级,其中1级加载50 kg,2~4级每级加载质量增加50 kg,5~10级每级加载质量增加100 kg,11级加载1 000 kg(见表3)。

表3 试验坡顶分级加载

加载级次	荷载/kg	加载级次	荷载/kg	加载级次	荷载/kg
1	50	5	300	9	700
2	100	6	400	10	800
3	150	7	500	11	1 000
4	200	8	600		

(6) 每级加载后,观察应变采集仪上读数的变

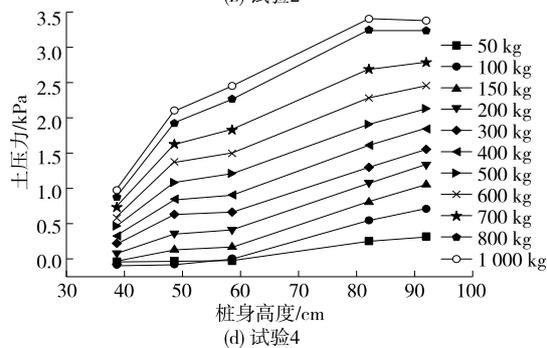
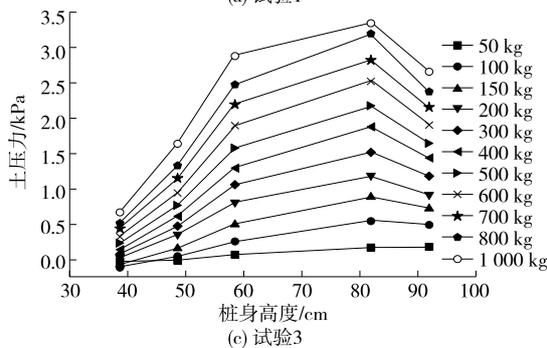
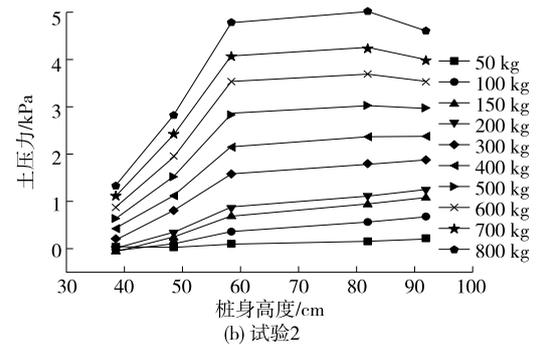
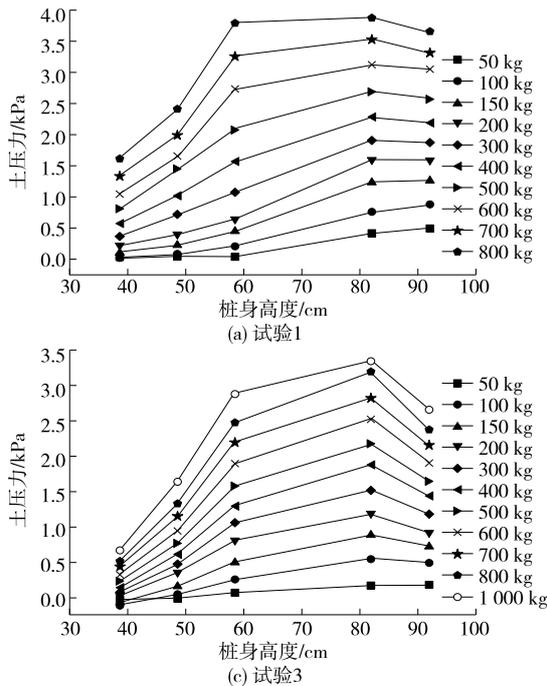


图8 h形抗滑桩后排桩后侧所受侧向土压力测试结果

由图8可知:1) 4次试验所测h形抗滑桩后排桩后侧土压力变化曲线基本相似,均呈弧形分布,随着加载质量的增加而增大,后排桩后侧桩体所受侧

化,读数稳定不变后读取该级荷载下应变数据,并记录测量桩顶位移的数显百分表读数,然后进行下一级加载。以此类推,直到完成最后一级加载、读数,试验完毕。试验加载及读数见图7。



图7 室内试验加载及数据观测

2 试验结果分析

2.1 后排桩后侧土压力分析

共进行4次平行试验,其中试验1和试验2坡顶加载至800 kg,试验3和试验4坡顶加载至1 000 kg,测得每次试验在坡顶分级加载条件下桩侧土压力及桩顶位移。图8为h形桩后排桩所受侧向土压力测试结果。

向土压力也增大。2) 桩身高度(桩体从下向上)为40~60 cm时,随着加载等级的提升,侧向土压力逐级增大,但增幅不大;桩身60~92 cm处,随着加载

等级的提升,侧向土压力逐级增大,且增幅较大。3) 第 2 级加载 100 kg,5~8 级每级加载质量均增加 100 kg,随着加载质量的均匀增大,附加在后排桩后侧桩体上的侧向土压力并不是线性增加,而是每级增大值越来越大。随着坡顶压力的增大,滑体内部

土体受压变形越严重,坡体堆积体在大荷载作用下会向下滑移,并且随着荷载增大滑移越明显。

2.2 后排桩前侧土压力分析

图 9 为 h 形抗滑桩后排桩前侧所受土压力测试结果。

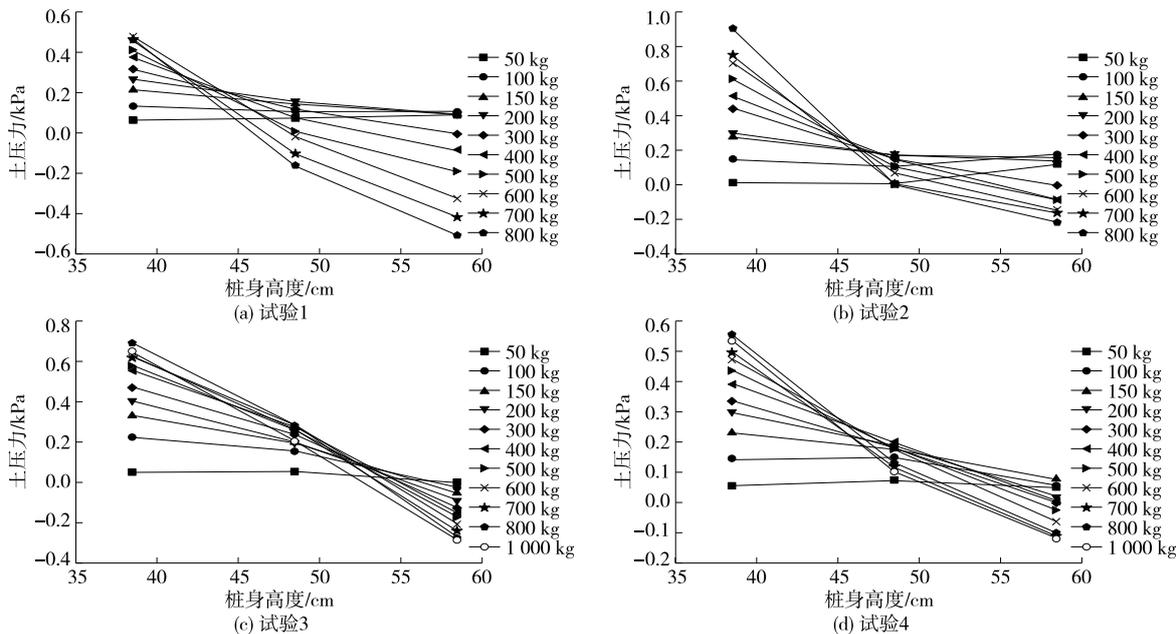


图 9 h 形抗滑桩后排桩前侧土压力测试结果

由图 9 可知:1) 4 次试验所测 h 形抗滑桩后排桩前侧土压力分布曲线基本相似,随着加载质量的增大,土压力逐渐呈三角形分布,数值由上向下变大。2) 后排桩前侧桩体 60 cm 处的土压力随着加载等级的提升而减少,且逐渐出现负值,曲线上部逐

级向负方向摆动。造成这种现象的原因主要是后排桩和滑体堆积体在土压力作用下相对运动不同步。

2.3 前排桩后侧土压力分析

图 10 为 h 形抗滑桩前排桩后侧所受土压力测试结果。

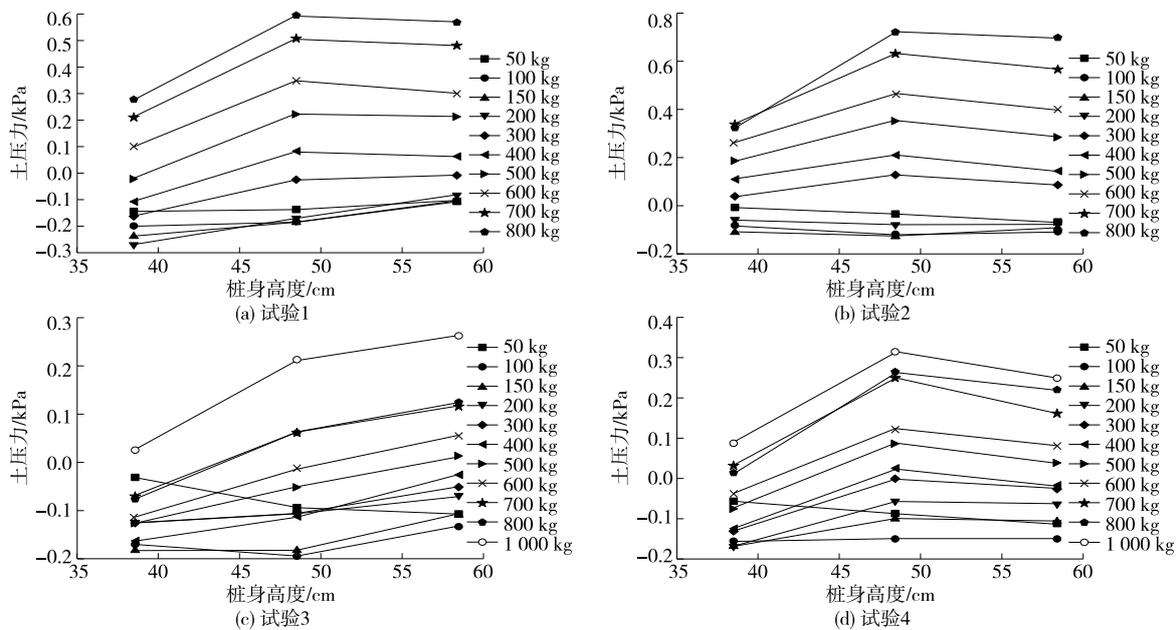


图 10 h 形抗滑桩前排桩后侧土压力测试结果

由图 10 可知:1) 加载质量较小时, h 形抗滑桩前排桩后侧土压力为负值, 随着加载质量的增加, 土压力逐级增大并向正值变化; 2) 每级加载条件下, 前排桩后侧所受土压力比后排桩前侧所受土压

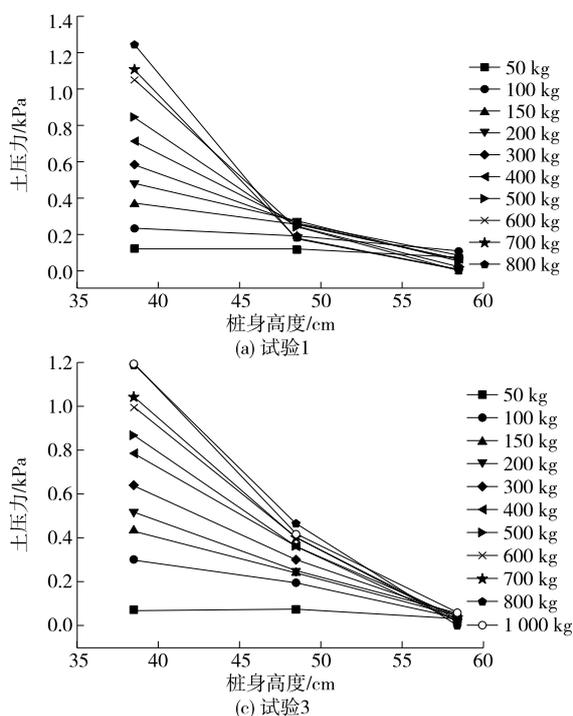


图 11 h 形抗滑桩前排桩前侧土压力测试结果

由图 11 可知: h 形抗滑桩前排桩前侧受力形式较简单, 土压力分布近似呈三角形。前排桩桩体位移是由连续横梁和桩间岩土体的传递作用而产生, 桩体受到的土体侧向压力来自前排桩前侧土体受到的来自前排桩变形压迫引起的被动土抗力, 随着加载质量的提升, 前排桩桩体变形弯曲加大, 被动土抗力也逐渐增大。

2.5 桩顶位移分析

图 12 为 h 形抗滑桩后排桩桩顶在不同坡顶荷载作用下的位移。

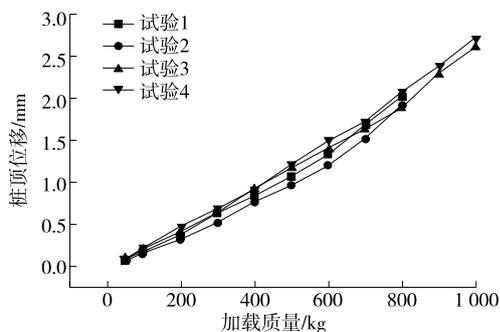


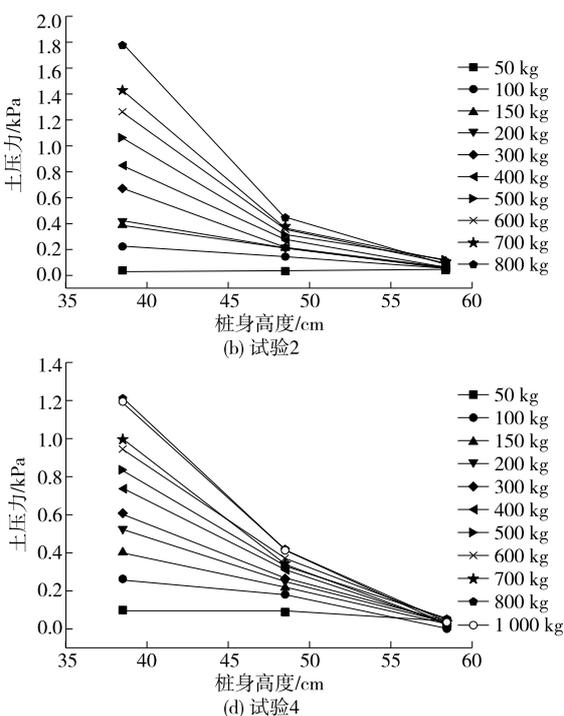
图 12 h 形抗滑桩后排桩桩顶位移测试结果

由图 12 可知: h 形抗滑桩后排桩桩顶位移随着

力大。

2.4 前排桩前侧土压力分析

图 11 为 h 形抗滑桩前排桩前侧所受土压力测试结果。



加载质量的增大基本呈线性增加, 在试验加载过程中桩体处于弹性变化阶段。

3 结论

(1) 在坡顶沿坡体走向的条形均布附加荷载作用下, 侧向土压力集中分布在 h 形抗滑桩后排桩的上部, 下部桩体所受土压力较小, 且侧向土压力随着附加压力的增长而增大。

(2) 滑坡体中桩周滑体颗粒与桩体在侧向土压力作用下的相对位移直接影响土压力大小。

(3) 前排桩前侧受到的是桩前岩土体对前排桩的被动土抗力, 基本呈三角形分布, 且土压力随着加载质量的增加而增大。

(4) 后排桩桩顶位移随坡顶加载质量的增大呈线性增大, 桩体发生弹性变形。

参考文献:

- [1] 喻邦江, 鄢霞, 舒海明. 新型支挡结构在深层巨型滑坡治理中运用[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2017, 13(6): 163-165.

(下转第 74 页)

[12] 丁敏,张永兴.基于改进遗传算法的土钉支护结构优化设计[J].土木工程学报,2011,44(S1):171-176.

[13] WU K M,FANG J M.A study on the method of stability calculation of soil nailing expansive soil slope [J].IOP Conference Series:Earth and Environmental Science,2019,218:012028.

[14] 宋鹏.柔性面层土钉墙支护体系研究[D].西安:西安建筑科技大学,2017.

[15] 杨育文.土钉墙中土压力探究[J].地下空间与工程学报,2010,6(2):300-305.

[16] 宋二祥,陈肇元,崔京浩,等.深基开挖的土钉支护技术(三):设计方法[J].地下空间,1996(2):64-75.

[17] 杨茜,张明聚,孙铁成.复合土钉支护面层设计分析方法研究[J].岩石力学与工程学报,2005,24(7):1259-1266.

[18] PAPAGIANNAKIS A T, BIN-SHAFIQUE S, LY-TTON R L.Retaining structures in expansive clays [J].Geotechnical and Geological Engineering,2014,32(6):1405-1414.

[19] QI S C, VANAPALLI S K.Influence of swelling behavior on the stability of an infinite unsaturated expansive soil slope [J].Computers and Geotechnics, 2016,76:154-169.

[20] 陈永贵,雷俊,贾灵艳,等.圆饼状高压实膨润土膨胀力各向异性特征研究[J].土木工程学报,2019,52(1):99-107.

[21] 张颖钧.挡墙后裂土膨胀压力分布与设计计算方法[J].铁道学报,1995,17(1):93-102.

[22] 张锐,赵旭,郑健龙,等.膨胀土侧向膨胀力试验研究与应用[J].中国公路学报,2020,33(9):22-31.

[23] 中国水利水电科学研究院.水工建筑物抗震设计规范:SL 203-97[S].北京:中国水利水电出版社,1997.

收稿日期:2022-02-21

(上接第 63 页)

[4] 陈鹏,邹玲,庄明,等.苯乙烯丁二烯苯乙烯嵌段共聚物改性沥青贮存稳定性评价方法[J].科学技术与工程, 2021,21(31):13505-13509.

[5] 冯德成,崔世彤,易军艳,等.EBBR 试验下沥青结合料低温性能评价指标[J].交通运输工程学报,2021,21(5):94-103.

[6] 刘门阔.常祁高速公路胶粉/SBS 复合改性沥青混合料性能评价与应用[D].长沙:长沙理工大学,2021.

[7] KÖK B V,ÇOLAK H.Laboratory comparison of the crumb-rubber and SBS modified bitumen and hot mix asphalt[J].Construction and Building Materials,2011, 25(8):3204-3212.

[8] 马庆伟,郭忠印,李文博,等.不同因素对橡胶复合改性沥青高温性能影响分析[J].中外公路,2022,42(3): 225-230.

[9] 杨光.季冻区工厂化废橡胶粉/SBS 复合改性沥青(CR/SBSCMA)及混合料性能研究[D].西安:长安大学, 2016.

[10] TUR RASOOL R,WANG S F,ZHANG Y,et al.Improving the aging resistance of SBS modified asphalt with the addition of highly reclaimed rubber[J].Construction and Building Materials,2017,145:126-134.

[11] 董泽蛟,周涛,栾海,等.SBS/橡胶粉复合改性 SH 型混合生物沥青工艺及机理[J].中国公路学报,2019, 32(4):215-225.

[12] 孙禧亭.红外光谱多元分析理论、方法及应用研究 [D].北京:北京化工大学,2020.

收稿日期:2022-08-16

(上接第 68 页)

[2] 欧孝夺,唐迎春,崔伟,等.h 型抗滑桩模型试验及数值模拟[J].岩石力学与工程学报,2012,31(9):1936-1943.

[3] 王羽,赵波,王强,等.基于有限差分法的 h 型抗滑桩结构计算模型[J].防灾减灾工程学报,2015,35(4): 464-470.

[4] 柳治国.ANSYS 在 h 形抗滑桩设计中的应用[J].公路工程,2013,38(3):144-147+154.

[5] 王晨涛,刘欣,张尧禹,等.h 型抗滑桩的分析方法及在滑坡治理工程中的应用[J].路基工程,2020(5):132-136.

[6] 何志俊.基于数值模拟的 h 型抗滑桩优化设计研究[J].山西交通科技,2020(4):8-11.

[7] 詹智麒,徐光黎.不同布桩方式对 h 型双排桩支护结构影响的数值模拟[J].安全与环境工程,2020,27(3): 193-199.

[8] 罗勇,姜波,李春峰,等.h 型抗滑桩滑坡治理中的变形特性及内力研究[J].地下空间与工程学报,2017,13(6):1702-1710.

[9] 中华人民共和国建设部.岩土工程勘察规范:GB 50021-2001[S].北京:中国建筑工业出版社,2001.

收稿日期:2021-10-12