

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2022.01.046

冻融循环对不同塑性路基土剪切强度的影响研究

雷宗辉

(甘肃省平凉公路局, 甘肃 平凉 744000)

摘 要: 为了研究冻融循环对不同塑性路基土剪切强度的影响, 通过室内三轴试验和冻融循环试验对 3 种塑性指数的土样进行了研究。结果得到: 当冻融循环次数增加时, 剪切强度随着塑性指标的增加而有所增大; 当塑性指数相同时, 剪切强度随冻融次数增加与围压增加改变各不相同, 与冻融循环次数成反比, 与围压成正比。并且冻融循环 6~7 次后, 3 种塑性指数土样的剪切强度的变化均会趋于平缓。

关键词: 塑性指数; 冻融循环; 剪切强度; 三轴试验

中图分类号: U416.03

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2022)01-0171-03

0 引 言

近年来, 国家快速发展, 对国内资源的整合利用大幅度增加。冻土地区的土地丰厚、矿产资源富饶、林木资源更胜。冻土地区资源的存在和冻土地区生物的繁衍对人类的生产和发展都起到了重要的影响^[1]。冻土土种特殊, 负温且含有冰层^[2]。冻土按照冰冻与消融的时间划分为以下三类^[3]。一是瞬时冻土, 冰冻与消融的时间段难以持续, 最多仅仅保持数天冰冻状态。二是季节性冻土, 通过字面意思可知, 在冬季或者寒冷季节土层保持冰冻不化, 在夏季或温暖季节, 土体消融。三是多年冻土, 在高山、北部平原等低纬度地区存在, 底下土体常年保持冰冻状态。冻土的研究从《冻土力学》至今, 从宏观到微观, 从现象到本质, 从力学到机理, 道路坎坷, 漫长崎岖^[4]。到如今, 各领域科研人员仍对冻土有着浓厚的兴趣。马巍^[5]由三轴蠕变试验到蠕变强度准则, 对冻土的蠕变强度创作了相应的方程式, 并提出冻土会在蠕变时产生受剪应力影响的体积变形。肖东辉等^[6]对黄土进行相关试验, 通过冻融循环试验和渗透试验发现了周期性的冻土改变着土体结构, 并使其干密度先大再小后稳定。邓勋^[7-8]以土的三相理论为基础, 对冻融循环后的土的结构进行微观分析, 并给出冻融循环次数对土体结构破坏方法。李琳^[9]研究了 3 种不同的塑性路基土的冻融循环对抗剪强度、黏聚力等物理性质的影响。结果表明: 围压的大小和冻融次数

决定着各类塑性土的物理性质。王静等^[10]在最佳含水率下制成 3 种不同塑性的路基土进行冻融循环与三轴试验, 得到 3 种土样的阻尼比随冻融循环次数、围压及塑性指数都存在着不同的规律与相关性。韩春鹏等^[11]基于路基冻融循环界面处土体受到温度不同的影响下, 对石灰改良土进行了室内相关试验。结果表明, 回弹模量随着含水率的变化而不同, 主要是因为土中水的变化影响了土的结构性。上述学者对冻土的研究较为深刻, 但是缺少冻融循环下对土的物理性质的影响的研究。因此, 本文通过冻融循环周期、塑性指标等因素, 旨在研究和探讨冻融循环对路基土的物理性质的影响。

1 试验需求与土样采集

本试验在上述三类冻土地区中的季节性冻土地区进行采集, 按照《公路土工试验规程》(JTG E40—2007)(以下简称“规程”)中路基土样进行采集与筛分。根据规程中按照塑性指数共选取三类并将其定义为 1 号土样、2 号土样和 3 号土样。三种土样颗粒分析试验结果详见表 1。

表 1 土样颗粒试验结果

试样 编号	塑性 指数	粒径/mm				
		<0.075	0.0.75~ 0.25	0.25~ 0.50	0.50~ 1.00	1.00~ 2.00
1	10.60	38.3	20.1	7.5	20.6	13.5
2	15.87	30.8	19.6	11.2	24.4	14.0
3	22.35	30.2	19.6	11.7	26.8	11.7

试验通过烘干法、环刀法、液塑限联合测定仪等方法测定土样的基本物理性质, 最终记录见表 2。

收稿日期: 2021-03-31

作者简介: 雷宗辉(1971—), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向为公路工程施工与管理。

表 2 试验土样基本物理性质

试样 编号	液限 $w_L/\%$	塑限 $w_p/\%$	密度 ρ $/(g \cdot cm^{-3})$	含水率 $w/\%$	液性指 数 I_L	塑性指 数 I_p
1	31.7	22.3	1.45	25.4	0.246	10.6
2	36.3	18.9	1.67	24.6	0.289	15.9
3	42.1	19.8	1.55	20.8	0.005	22.4

2 冻融试验方案与仪器

土样的基本参数测定完成以后,在最佳含水率的情况下将 3 种土样制成压实度在 95% 以上的试件并标号,试件大小为直径 38 mm,高 80 mm 的标准三轴试件。将制好后的土样试件进行冻融循环试验。冻融循环试验通过南京泰斯特试验设备有限公司的高低温交变湿热试验箱完成,试验箱温控精度为 0.1℃。房建宏等^[12]通过研究得知,土样在 -10℃ 以下进行 6~7 次冻融循环后,土样各项物理性质便趋于稳定。所以本试验最低温度设置为 -20℃,进行土样冰冻,然后将冻好的土样在此温度下放置 48 h,再将冻融箱温度调整至 20℃ 温度下放置 48 h,以此为一次冻融循环。本试验将 3 种土样的不同试件进行 0~7 次冻融循环。在此过程中,试件位置保持不变。同时,试件外部套有保鲜膜以保持水分。通过三轴仪对不同次数冻融循环后的试件进行剪切试验,并分析其物理性质。三轴仪为 TSZ 系列应变控制式三轴仪,冻融试验箱与三轴试验仪见图 1、图 2。



图 1 高低温交变湿热试验箱



图 2 TSZ 系列应变控制式三轴仪

3 试验结果

3.1 试件的破坏形式

本试验通过应变式制式三轴仪进行剪切,模式为不固结不排水形式,在试验过程中采集并记录应力和位移。从图 3 中可以看出,在围压作用下的三轴压坏试件呈现不同的破裂形式。有的呈现压坏形式,破坏时在端部出现明显的断裂带(见图 3 中)。有的呈现出脆性断裂形式,不同围压产生的断裂带也不尽相同,围压较小时呈现 45° 断裂带(见图 3 左),围压较大时呈现 60° 断裂带(见图 3 右)。



图 3 三轴压坏试件

3.2 应力应变与剪切强度分析

根据三轴试验记录数据,并绘制摩尔应力圆和摩尔库伦模型来求得黏聚力、内摩擦角和剪切强度等数值结果。摩尔库伦模型见下式:

$$\tau=c+\tan \varphi \quad (1)$$

式中: τ 为剪切强度,kPa; c 为冻融循环后的黏聚力,kPa; φ 为冻融循环后的内摩擦角,°。

经过 0~7 次的冻融循环处理,对各组试件计算结果进行记录,分析不同塑性指标经过不同冻融循环次数后的剪切强度具体变化情况,并分析不同围压下的相同塑性指标的强度变化情况与相同围压下各类塑性指标的抗剪强度变化情况。以冻融循环 7 次为例,试验结果见表 3。

表 3 不同塑性指标试件冻融循环 7 次后三轴剪切试验结果

塑性 指标	分组 编号	围压 σ/kPa	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 $\varphi/(^{\circ})$	剪切强度 τ/kPa
10.6	1	100			171
	2	200	25.39	20.21	256
	3	300			384
15.9	4	100			185
	5	200	26.31	20.84	296
	6	300			405
22.4	7	100			201
	8	200	29.78	21.76	326
	9	300			433

根据表3可以看出,当冻融循环为7次后,剪切强度随着塑性指标的增加而有所增大。当塑性指标提升50%时,其剪切强度在不同围压下增加的幅度为5%左右。剪切强度与围压成正比增长,围压每提升100 kPa,其抗剪强度提升60%左右。为更加清晰体现冻融循环次数改变的情况下,不同塑性指标对抗剪强度的改变情况,绘制不同冻融循环次数与抗剪强度曲线,见图4。

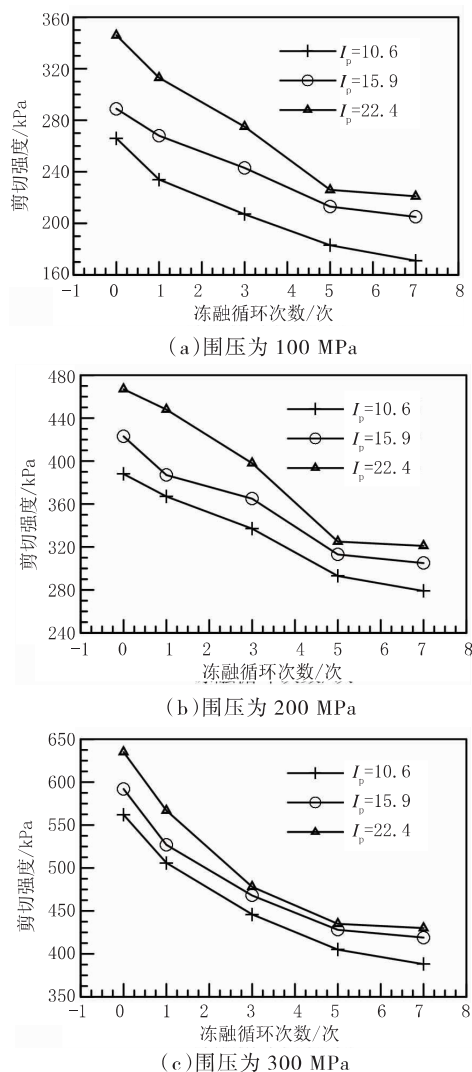


图4 随冻融次数增加各塑性指数土样剪切强度变化曲线

从图4可以看出,在相同围压条件下,各个塑性指数土样随着冻融次数增加,其剪切强度逐渐减小。当冻融循环次数增加到6~7次时,剪切强度改变量在5%以下。由此可见,当冻融循环大于6次以后,其剪切强度趋于稳定。同塑性指数时,其剪切强度与围

压成正比例增加,并且增大幅度明显。综合图4中三幅曲线图可知,土样的塑性指数越大,冻融循环后的剪切强度变化就更加明显。

4 结 语

综合上述所有试验与结果分析,对3种塑性指数的土样在不同围压下随冻融循环次数的增加,其剪切强度的变化情况,得到以下结论:

(1)在相同塑性指数的情况下,土样的剪切强度随着冻融循环次数的增加而逐渐减小,并且在冻融循环6~7次以后,其强度变化趋于平稳。

(2)在相同塑性指数的情况下,土样的剪切强度随着围压增加而增大明显,并且同种土样变化趋势基本相同。

(3)在不同塑性指数的情况下,土样的剪切强度随着塑性指数的增加而有所增加,3种塑性指数土样的剪切强度均会随着冻融循环的次数增加,并且塑性指数越大,冻融循环剪切强度变化就更加明显。

参考文献:

- [1] 何静科,牛彦峰,刘寒冰.冻融循环对路基土物理力学性质影响分析[J].工程与试验,2013,53(3):49-52,68.
- [2] 于景飞,张文月,李明浩.季节性冻土区铁路路基冻融变形规律[J].长江科学院院报,2020,37(5):133-138.
- [3] 张泽,马巍,ROMAN Lidia,等.基于冻融次数-物理时间比拟理论的冻土长期强度预测方法[J].岩土力学,2021,42(1):86-92.
- [4] 徐学祖,王家澄,张立新.冻土物理学[M].北京:科学出版社,2001.
- [5] 马巍,王大雁.中国冻土力学研究50 a 回顾与展望[J].岩土工程学报,2012(4):625-640.
- [6] 肖东辉,冯文杰,张泽,等.冻融循环对兰州黄土渗透性变化的影响[J].冰川冻土,2014,36(5):1192-1198.
- [7] 郑郎,马巍,邴慧.冻融循环对土结构性影响的机理与定量研究方法[J].冰川冻土,2015,37(1):132-137.
- [8] 郑郎,马巍,邴慧.冻融循环对土结构性影响的试验研究及影响机制分析[J].岩土力学,2015,36(5):1282-1287,1294.
- [9] 李琳.冻融循环对路基土剪切强度的影响研究[J].湖南交通科技,2015,41(2):28-30.
- [10] 王静,刘寒冰,吴春利,曲肖龙.冻融循环对不同塑性指数路基土动力特性影响[J].岩土工程学报,2014,36(4):633-639.
- [11] 韩春鹏,何东坡,贾艳敏,等.变温度区间冻融循环下石灰改良路基土回弹模量衰减规律及原因解析[J].公路,2013(9):14-18.
- [12] 房建宏,陈鑫,徐安花,等.冻融循环对青藏红黏土物理力学性质影响试验研究[J].冰川冻土,2018,40(1):62-69.