

宁波地区人工冻土抗折特性研究

刘华吉

(中铁第四勘察设计院集团有限公司, 湖北武汉 430063)

【摘要】 依托宁波地区甬舟铁路金塘海底隧道工程, 针对隧道洞身范围的粉土和粉质黏土, 在不同温度和不同含水率条件下进行冻土抗折强度试验, 研究人工冻土抗折强度随温度和含水率变化的规律特征。结果表明: 粉土和粉质黏土冻土抗折强度均随冻结温度的降低而增大, 冻土抗折强度受冻结温度影响明显; 不同含水率对粉土和粉质黏土抗折强度有一定影响, 粉土试样在含水率为 30% 时, 其抗折强度最大, 粉质黏土试样在含水率为 34% 时, 其抗折强度最大; 当土层的含水率超过饱和和最优含水率时, 冻结土的抗折强度减小。试验结果可为金塘海底隧道冻结法设计和施工提供科学指导。

【关键词】 人工冻土; 冻结温度; 抗折强度; 含水率

【中图分类号】 TU 42

【文献标识码】 A

doi: 10.3969/j.issn.1007-2993.2022.02.015

Study on the Flexural Resistance of Artificial Frozen Soil in Ningbo Area

Liu Huaji

(China Railway Siyuan Survey and Design Group Co., Ltd., Wuhan 430063, Hubei, China)

【Abstract】 Based on the Jintang undersea tunnel project in Ningbo area, to study the laws and characteristics of the flexural strength of artificial frozen soil, the flexural strength tests of silty soil and silty clay in the tunnel were carried out under different temperatures and water content. The results show that the flexure strength of silty soil and silty clay increases with the decrease of freezing temperature, and the flexure strength of frozen soil is obviously affected by freezing temperature. Different water content has a certain effect on the flexural strength of silt and silty clay. The flexural strength of silty soil samples reaches maximum when the water content is 30%. When the water content is 34%, the flexural strength of silty clay is the highest. When the soil moisture content exceeds the optimal saturated moisture content, the flexural strength of frozen soil decreases. The experimental results can provide scientific guidance for the design and construction of freezing method of Jintang submarine tunnel.

【Key words】 frozen soil; freezing temperature; flexural strength; water content

0 引言

我国人工冻结法施工技术始于 20 世纪 50 年代, 目前随着经济技术发展, 已经大量应用在隧道土层加固、特殊地段工程处理、基坑工程等方面^[1-7]。冻结法施工设计之前, 应准确获取人工冻土的物理力学性质。我国学者已对人工冻土进行了多方面的研究, 目前已形成较多的冻土试验成果和理论^[8-9]。黄星^[10]等采用单轴抗压试验和劈裂试验对冻土的抗压强度和抗拉强度进行了对比研究, 获取了不同土质抗压强度和抗拉强度的特性及温度变化规律; 姚兆明等^[11]提出了人工冻土单轴抗压强度不同核函数的遗传支持向量机计算模型; 胡向东等^[12]研究了不同含盐量的重塑土在不同温度下的强度表现。蔡正银等^[13]研究了含盐量和含水率对冻土无侧限抗压强度的影响,

冻土强度随着含水率的升高增强, 到达峰值后降低, 随含盐量的升高而降低。王儒默等^[14]以不同含水率和不同冻结时间展开研究, 对黏土的无侧限抗压强度进行了试验分析, 结果表明, 冻结后的粉质黏土随冻结时间的增大其无侧限抗压强度增大。

为获取甬舟铁路金塘海底隧道工程^[15]在冻结状态下的典型土样的抗折特性, 依据《人工冻土物理力学性能试验》(MT/T 593—2011)标准, 在不同温度和不同含水率条件下对土样进行抗折强度试验, 获取其抗折特性和规律, 可为人工冻结法施工在金塘海底隧道建设中应用提供必要的设计参数和依据, 进而保证工程施工的安全性和经济性。

1 土样基本物理性质

试验于隧道洞身附近采取 2 组不同的典型土层

作为试验对象,严格按照《土工试验方法标准》(GB/T 50123—2019)进行常规土工试验,每组至少取6个试样,试验结果取其平均值。具体试验项目:含水率

试验、密度试验、土粒比重试验和液塑限试验。常规土工试验结果见表1。

表1 常规土工试验结果

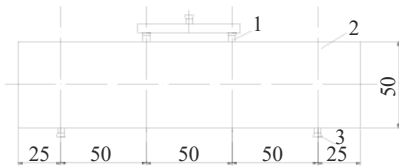
试样编号	土层定名	天然含水率 $w/\%$	密度 $(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	土粒比重 G_s	液限 $w_L/\%$	塑限 $w_p/\%$	塑性指数 I_p
KZ1	粉土	33.26	1.83	2.71	25.9	15.9	10.0
KZ2	粉质黏土	32.34	1.86	2.72	28.7	16.5	12.2

2 冻土力学性能研究

2.1 试验设备

人工冻土抗折强度试验所用仪器为南京林业大学冻土试验室的微机控制多功能冻土试验机(WDT-100B)。

其中加载夹具采用双点加载的钢制加压头,使两个相等的荷载同时作用在小梁的两个三分点处;与试样接触的两个支座头和两个加压头应具有直径约15 mm的弧形端面(为防止接触面出现压融,弧形端面宜采用非金属材料制作),其中的一个支座头及两个加压头宜做成使之既能滚动又能前后倾斜。试样尺寸及加载示意图见图1。



1-加压头;2-试样;3-支座头

图1 试样加载示意图(单位:mm)

2.2 试验方法

试验采用冻结重塑土试样,其制备方法按《人工冻土物理力学性能试验:人工冻土试验取样及试样制备方法》(MT/T 593.1—2011)的规定进行。试样规格:200 mm×50 mm×50 mm。抗折强度试验在-5℃、-10℃、-15℃、-20℃4个温度水平下进行试验。每个温度下再制取4个不同含水率的不同土层试样进行抗折强度试验。若试验数据离散较大(超过15%),则增加试件数并相应去除离散性较大的数据。

首先制备试样,并且在-5℃、-10℃、-15℃、-20℃低温环境下恒温24 h,试验前检查试样外观,测量试样断面尺寸。试样不得有明显缺陷。在试样侧面标出加载点位置。

将试样在试验机的支座上放稳对中,承压面应选择试样成型时的侧面。按要求调整支座和加压头位置,其间距的尺寸偏差应不大于±1 mm。

开动试验机,当加载压头与试样快接近时,调整

加压头及支座,使接触均衡。对试样进行两次预弯,预弯荷载均相当于破坏荷载的5%~10%。以60 N/s的速度连续而均匀地加载(不得冲击)。加载过程中自动记录荷载与跨中挠度值。典型冻土样品破坏图见图2。



图2 典型冻土样品破坏图

根据采集数据自动计算破坏荷载及跨中相对挠度。

粉土和粉质黏土抗折强度与相对挠度关系曲线见图3、图4。

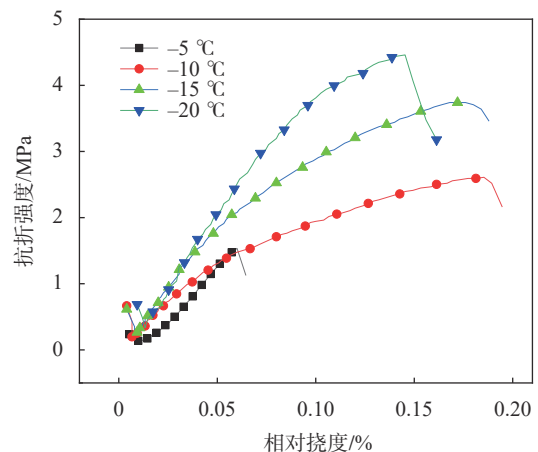


图3 粉土冻土抗折强度与挠度关系曲线(含水率30%)

2.3 参数计算

人工冻土抗折强度:

$$f_t = \frac{Pl}{bh^2} \quad (1)$$

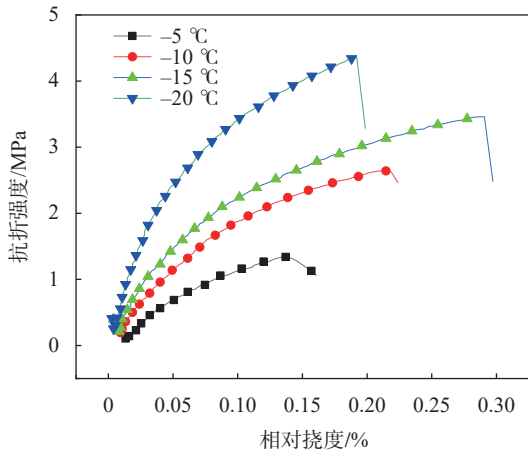


图4 粉质黏土冻土抗折强度与挠度关系曲线(含水率 31.26%)

式中: f_t 为抗折强度, MPa; P 为破坏荷载, N; l 为支座间距(即跨度), $l = 3h$, mm; b 为试样截面宽度, mm; h 为试样截面高度, mm。

抗折强度以 3 个试样测值的平均值作为试验结果。

3 试验结果分析

3.1 不同温度下冻土抗折强度分析

两种土层试样在-5 °C、-10 °C、-15 °C、-20 °C 4 个冻结温度水平下的抗折强度试验结果见图 5、图 6。

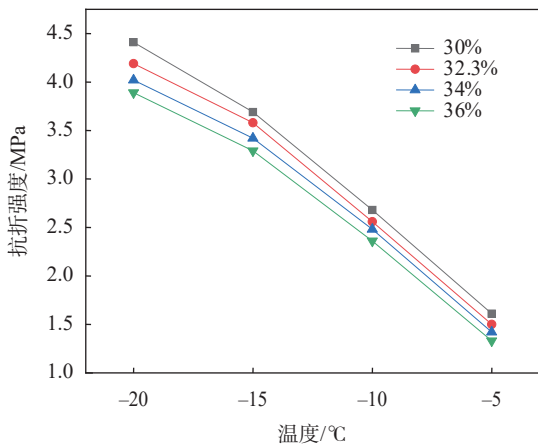


图5 粉土冻土抗折强度与温度关系

根据图 5、图 6 试验结果可知, 温度对粉土和粉质黏土的冻土抗折强度影响较大。含水率相同时, 随着冻结温度的降低, 冻土的抗折强度线性增大, 根据曲线关系拟合结果, 平均每降低 1 °C, 粉土层抗折强度增大约 0.18 MPa, 粉质黏土层抗折强度增大约 0.20 MPa。这是由于冻土的冻结状态和结构与冻结温度的高低密切相关, 进而直接决定着冻结状态下冻土的力学性质。随着温度的降低, 冻土中含冰量增加, 岩土颗粒间的胶结力加强, 抗折强度增大。

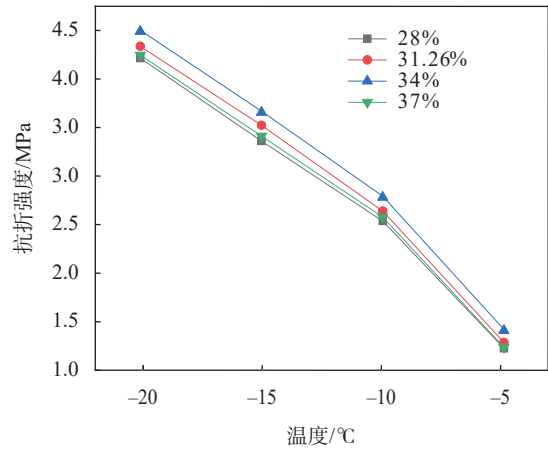


图6 粉质黏土冻土抗折强度与温度关系

3.2 不同含水率下冻土抗折强度分析

在-5 °C、-10 °C、-15 °C、-20 °C 4 个温度水平下不同含水率的两种土层试样的抗折强度试验结果见图 7、图 8。

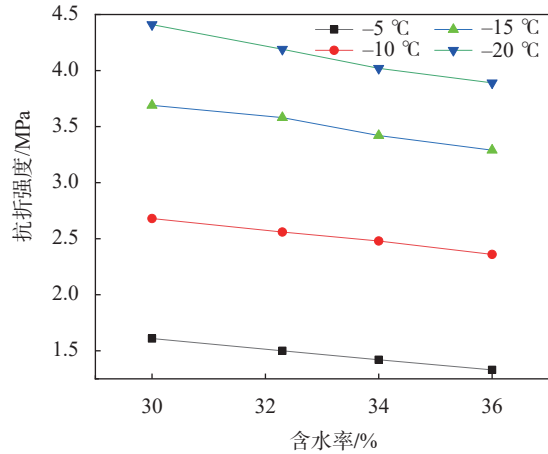


图7 粉土冻土抗折强度与含水率关系

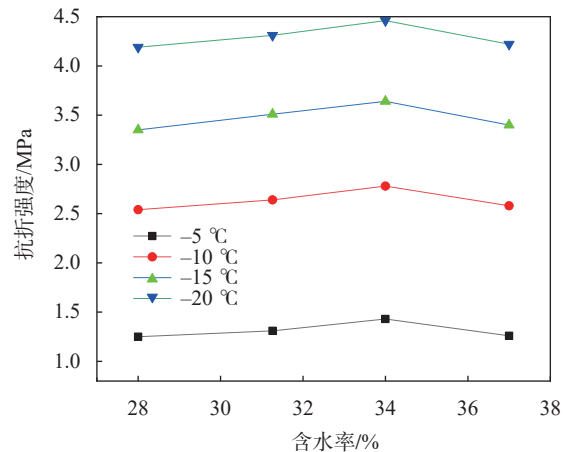


图8 粉质黏土冻土抗折强度与含水率关系

图 7、图 8 的试验结果表明, 在冻结温度相同时, 含水率的不同对抗折强度有一定影响。随着含水率从 30% 增大到 36% 过程中, 粉土试样的抗折强度逐

渐减小,其中含水率为30%时,其冻土试样抗折强度最大;粉质黏土在含水率从28%增大至37%过程中,其冻土试样的抗折强度先增大后减小,但是变化差异性不明显。在粉质黏土含水率为34%时,其抗折强度最大。可知,不同土质由于其颗粒组成成分不同,其冻土试样的最大抗折强度对应的最优含水率也不同。

4 冻结条件下不同土层抗折强度差异

温度对粉土和粉质黏土人工冻土的力学性质影响较大。温度的改变直接影响冻土的冻结状态和结构,从而改变冻结状态下冻土的力学性质。温度降低时,冻土中未冻水含量减少,含冰量增加,岩土颗粒间的胶结力加强,进而强度增大。

试样含水率对冻土的强度有一定影响,但是不同含水率在相同温度下强度变化差异性相对较小。这是因为在土层含水率未达到饱和状态时,随着含水率的增加,冰与土颗粒、盐晶体之间的胶结能力增强;当含水率达到饱和状态时,土体中的空隙完全被冰填充,土颗粒、冰晶体、盐晶体及它们之间的相互作用达到了最好的状态,强度达到最大。随着含水率继续增大,强度呈现降低趋势,是由于随着含水率继续增加,超过最优含水率时,土中水结冰将产生过大的冻胀,从而破坏土骨架,反而使得土体颗粒与冰体间的胶结能力下降,整体强度下降。

5 结论

本文研究表明,温度、含水率是影响人工冻土抗折强度的重要因素。主要结论如下:

(1)粉土和粉质黏土人工冻土的力学性质受冻结温度影响较大,其抗折强度均随温度的降低而增大,且与温度具有较好的线性关系。

(2)不同含水率对粉土层和粉质黏土层力学性质有一定影响。且不同土质的最大抗折强度对应的含水率不同,粉土试样在含水率为30%时,其抗折强度最大,粉质黏土试样在含水率为34%时,其抗折强度最大。

(3)超过饱和最优含水率时,粉土和粉质黏土中的水在结冰过程中将产生冻胀,对土的骨架造成破坏,从而使得土体颗粒与冰体间的胶结能力下降,抗折强度减小。

(4)由于人工冻结力学机制复杂,且受环境条件影响较大,隧道冻结法施工方案设计时应综合考虑地

方经验、工程地质条件及水文地质条件等因素,对室内试验获取的人工冻土力学参数进行修正后使用。

参 考 文 献

- [1] 杨平,余才高,董朝文,等.人工冻结法在南京地铁张府园车站的应用[J].岩石力学,2003,(S2):388-391.
- [2] 陈有亮,王明,徐珊,等.上海人工冻结软黏土抗压抗拉强度试验研究[J].岩土工程学报,2009,31(7):1046-1051.
- [3] 江杰,邱居涛,陈先枝,等.人工冻结法在圆砾地层地铁联络通道施工中的应用[J].现代隧道技术,2020,57(2):192-197.
- [4] 郝明强,史志明.冻结法在江底取水隧道修复工程中的应用[J].建井技术,2014,35(8):12-15,19.
- [5] 曹军军,伍旺,郑鹏飞,等.富水砂卵石地层联络通道人工冻结温度场分析[J].铁道建筑,2019,59(12):55-59.
- [6] 覃伟,杨平,金明,等.地铁超长联络通道人工冻结法应用与实测研究[J].地下空间与工程学报,2010,6(5):1065-1071.
- [7] 陈瑞杰,程国栋,李述训,等.人工地层冻结应用研究进展和展望[J].岩土工程学报,2000,(1):43-47.
- [8] 刘世伟,吕生玺,张建明,等.高温冻土固结试验研究与理论分析[J].人民黄河,2020,42(8):136-141,145.
- [9] 张向东,张树光,李永靖,等.冻土三轴流变特性试验研究与冻结壁厚度的确定[J].岩石力学与工程学报,2004,(3):395-400.
- [10] 黄星,李庆东,明锋,等.冻土的单轴抗压、抗拉强度特性试验研究[J].冰川冻土,2016,38(5):1346-1352.
- [11] 姚兆明,王璇,陈军浩,等.人工冻土单轴抗压强度GA-SVM预测模型[J].安徽理工大学学报(自然科学版),2012,32(2):1-5.
- [12] 胡向东,王金泰,曹明亮.琼州海峡隧道盾构对接冻土帷幕受力状态力学分析[J].隧道建设,2013,33(1):1-8.
- [13] 蔡正银,吴志强,黄英豪,等.含水率和含盐量对冻土无侧限抗压强度影响的试验研究[J].岩土工程学报,2014,36(9):1580-1586.
- [14] 王儒默,马芹永.冻结时间对冻土抗压强度影响的试验分析[J].安徽理工大学学报(自然科学版),2019,39(1):74-79.
- [15] 张超永.宁波至舟山铁路建设方案研究[J].铁道标准设计:2021,65(7):1-6,46.

收稿日期:2021-01-26