

冰层锚杆拉拔室内试验研究

高 铭, 董旭光, 刘玉飞, 李 兵

宁夏大学土木与水利工程学院, 宁夏 银川

收稿日期: 2023年5月25日; 录用日期: 2023年6月15日; 发布日期: 2023年6月27日

摘 要

冰层锚固在实际工程中较少, 但冰层在寒区冻土工程中属于常见现象。开展了冰层中预制锚杆、现浇锚杆拉拔室内试验, 分析了不同制作方式的锚杆拉拔破坏模式、荷载位移特征。结果表明: 锚杆制作方式不同, 锚固效果明显不同, 现浇锚杆要比预制锚杆锚固效果佳, 现浇注浆在冰层中形成局部扩体, 增大锚杆-冰界面接触面积, 锚杆承载力增强。

关键词

锚杆, 冰层, 拉拔试验

Indoor Test Study of Ice Anchor Pullout

Ming Gao, Xuguang Dong, Yufei Liu, Bing Li

School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan Ningxia

Received: May 25th, 2023; accepted: Jun. 15th, 2023; published: Jun. 27th, 2023

Abstract

Ice anchors are less common in actual projects, but ice is a common phenomenon in cold zone permafrost projects. Indoor tests on the pullout of prefabricated anchor and cast-in-place anchor in ice were carried out, and the pullout damage patterns and load-displacement characteristics of anchor made in different ways were analyzed. The results showed that the anchoring effect was significantly different with different anchor production methods, and the cast-in-place anchor had a better anchoring effect than the prefabricated anchor, and the cast-in-place grout formed a local expansion in the ice, which increased the contact area of anchor-ice interface and the anchor bearing capacity.

Keywords

Anchor, Ice Layer, Pullout Test

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

为研究冻土 - 锚固体界面剪切力学特性, 考虑了全面的试验方案, 其中围岩为冻土的情况下相比冻土中含有冰层的试验方案设计简单, 研究普遍。由于对冰层中锚固结构的认知尚少, 故开展了纯冰层锚杆拉拔试验。根据陈昌富[1]针对锚 - 土界面模拟试验, 提出微元段受力理念的试验思想, 因为在冻土工程中, 冰颗粒和土颗粒胶结在一起, 已经被专家对冻土 - 锚杆界面剪切试验“微元体”进行研究, 但是冰会以冰透镜体或者冰层出现在冻土中, 迫使冻土 - 锚固体界面力学性能发生改变, 从而设计冰 - 锚固体单元体试验进行探究。

随着我国对寒区工程建设的发展, 冰体逐渐被剖析瓦解, 含冰层冻土内部各项力学参数均未知, 王建康等[2]通过原位悬臂梁方法对淡水冰层进行弯曲强度与弹性模量测定。得到它们的总体走势是随着冰温的降低, 弯曲强度和弹性模量呈现增加趋势。严健等[3]为探明冰水堆积体公路隧道施工期间围岩变形和支护体系特性, 通过现场实验对冰水堆积体围岩物理力学参数及施工特性进行分析, 采用现场测试方法对施工过程中隧道地表下沉和洞周变形, 锚杆轴力、钢拱架内力、围岩 - 初期支护接触压力等支护体系特性进行研究。熊治文等[4]针对多年冻土区路堑病害的类型划分、形成原因和主控因素进行分析研究, 提出现有路堑边坡典型病害的整治原则, 为多年冻土区路堑边坡病害整治提供借鉴。

锚固冰体工程还鲜为少见, 但是冰层与冻土结合为寒区工程施工带来极大不便, 含冰层冻土锚固支护研究有待探索, 将冰层与冻土层分开研究, 对冰层锚固技术先行探索, 由简到繁更适合科研进行。因此, 本文针对冰层锚杆拉拔承载能力进行研究, 通过单轴拉拔试验分析冰层锚杆锚固效果, 为含冰层冻土锚固技术提供参考。

2. 单元体冰层锚杆拉拔试验研究

2.1. 试验方案设计

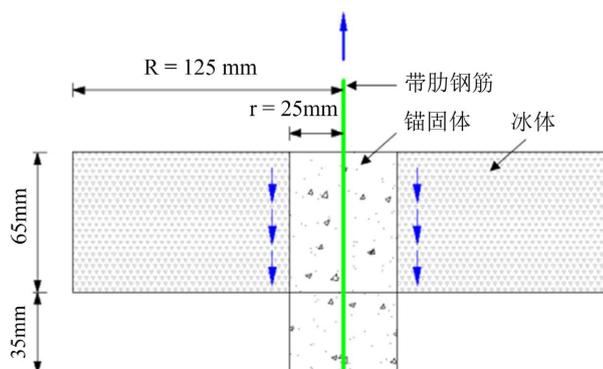


Figure 1. "Unit" model

图 1. “单元体”模型

为了研究锚杆在冰层中拉拔破坏形式及荷载受力情况,结合文献[1]提出的“微元体”理念,设计了 -3°C 下,预制锚杆与现浇锚杆拉拔对冰体的破坏。其中,钢筋直径为6 mm,单元体试样如图1所示。

2.2. 试验方法和步骤

利用现有的土样制样装置制作冰体试样。步骤如下:

1) 预制锚杆冰体试样首先应该制备一根锚杆,锚固体直径50 mm,长100 mm,中间为直径6 mm带肋钢筋,锚固体上下用圆形塑料垫环使得钢筋居中。将预制锚杆,亚克力圆环,环形底片,凹形铁槽,密封袋组装并在密封袋中注水放入冰箱进行冷冻,当水全部结冰后取出拆模,打磨后得到“单元体”冰试样。

2) 现浇锚杆相对容易,将制样装置组装完成后,用碎冰机将制冰机中冰块破碎放入模具中冷冻后待冰样成型,锚孔中心置入钢筋,配制添加防冻剂的M20水泥砂浆向锚孔注浆,注浆完成后将试样放入 0°C 以下对其养护,养护时间为14 d。将养护好的试样进行拆模处理。

3) 试样加载,拉拔测试在MTS\SANS SHT4106型电液伺服万能试验机上完成,测试拉力示值相对误差在0.5%以内,测量力的精度为1% FS;变形示值相对误差在0.5%以内,变形测量精度为1% FS;活塞移动范围0~500 mm,速度范围0~100 mm/s;力加载速率范围0.02%~2% FS/s,将温度传感器PT100置入冰层中,温度达到 -1°C ,将试样安装在试验机上,调整加载速率 $v = 3 \text{ mm/min}$ 以及试验终止条件(锚固体位移达到锚固体高度的30%,即20 mm)。

2.3. 试验结果及分析

通过设计试验方案,确定试验方法,制样,加载,得到试验结果。预制锚杆和现浇锚杆分别对冰体的破坏形式不同。如图2所示为冰样“单元体”破坏模式,预制锚杆冰样“单元体”拉拔破坏对冰样造成四分五裂,锚-冰界面发生破坏;现浇锚杆冰样“单元体”拉拔破坏对冰样分成两半,钢筋-锚固剂界面发生滑移破坏[5][6]。通过观察,预制锚杆与冰体界面破坏分明,冰体被冻结在锚杆表面;现浇锚杆与冰体相融合,猜想现浇锚杆由于水泥砂浆在灌浆过程中水化热导致冰孔内侧冰消融增大锚固体的直径,因为是单元体试验,试验现象不太明显,只能对其有初步的猜测,详见冰层锚杆拉拔模型试验研究。

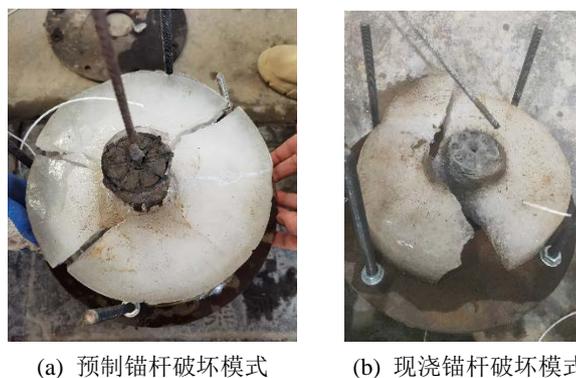


Figure 2. “Unit” damage model
图2. “单元体”破坏模式

锚杆的荷载位移曲线如图3所示。从图3中可以看出,预制锚杆峰值拉拔荷载为9.07 kN,对应荷载位移5.95 mm,发生脆性破坏且无残余强度,锚-冰界面滑移现象不明显;现浇锚杆峰值拉拔荷载为10.98 kN,对应荷载位移6.69 mm,发生塑性破坏并产生残余强度。在相同位移时,现浇锚杆承受能力大于预

制锚杆，但是现浇锚杆锚 - 冰界面粘结性能大于钢筋 - 锚固剂界面，预制锚杆锚 - 冰界面粘结性能小于钢筋 - 锚固剂界面，联合对比加载过程中两条曲线斜率，现浇锚杆锚固效果强于预制锚杆，可以得出，现浇锚杆锚 - 冰界面粘结性能大于预制锚杆锚 - 冰粘结性能。

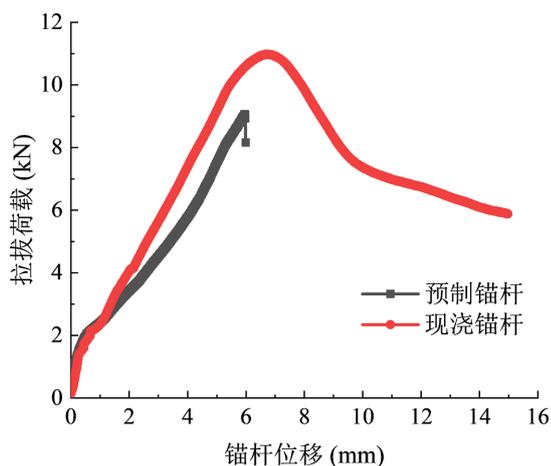


Figure 3. "Unit" pull-out load-displacement curve
图 3. "单元体" 拉拔荷载 - 位移曲线

3. 冰层锚杆拉拔模型试验研究

3.1. 试验方案设计

结合上节内容，冰样“单元体”锚杆拉拔测试结果，设计冰层锚杆拉拔模型试验如图 4 所示。冰层直径 400 mm，高 500 mm；锚固体设计直径 60 mm，长 500 mm，采用 HRB400 型直径为 18 mm 钢筋，M20 水泥砂浆浇筑。在冰体温度为 $-3^{\circ}\text{C}(\pm 0.1^{\circ}\text{C})$ 环境下开展试验。

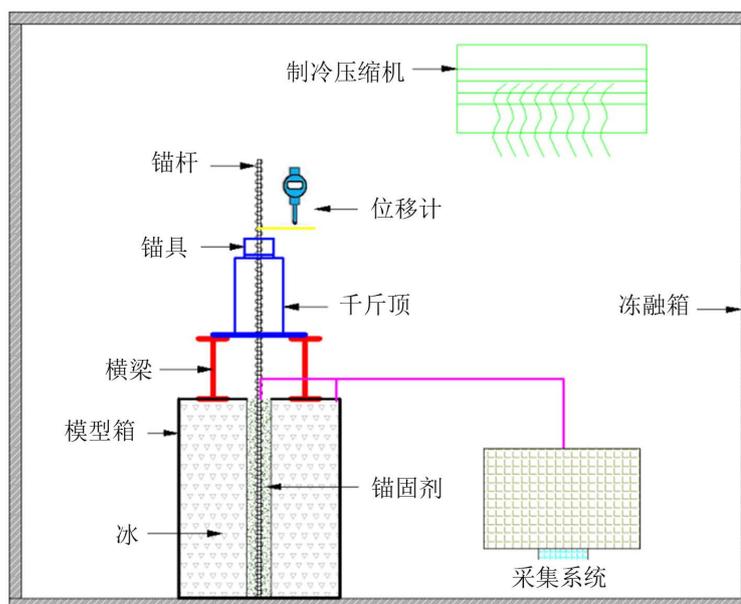


Figure 4. Ice anchor model
图 4. 冰层锚杆模型

3.2. 试验方法和步骤

冰层制作需在低温下操作更容易实现,因此含冰试验均在寒冷的冬季以及低温冻融箱内展开。首先,使用制冰机制取足量冰块备用,将直径为 60 mm 的 ppr 管放置圆形模型桶中央使其竖直矗立,将制好的冰块用碎冰机破碎至大小合适颗粒填入模型桶,在放入碎冰时对冰颗粒碾压并在其表面适量洒水减少颗粒缝隙,冰层填满后冷冻数日取出 ppr 管,如图 5(a)所示。其次,将贴有应变片和装有对中环的钢筋放入冰孔内进行灌浆,水泥砂浆粘结体需养护 14 d 后对其拉拔,拉拔装置如图 5(d)所示。

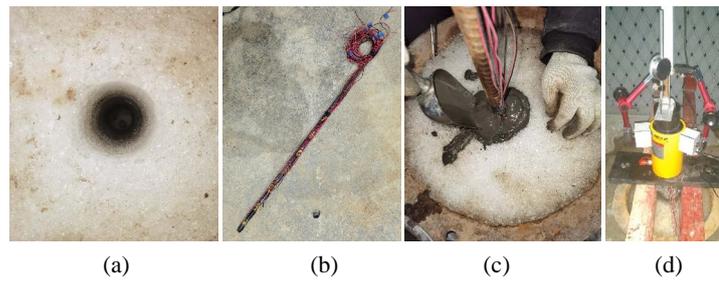


Figure 5. The process of making ice anchor model
图 5. 冰层锚杆模型制作过程

3.3. 试验结果及分析

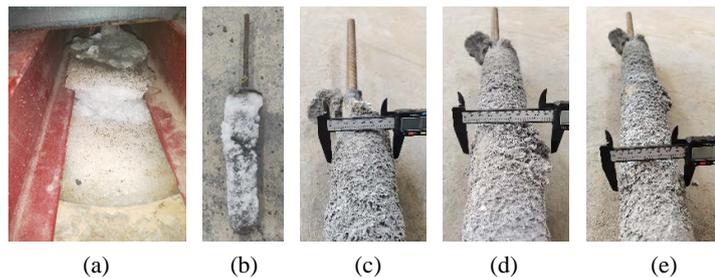


Figure 6. Anchor-ice interface damage results
图 6. 锚 - 冰界面破坏结果

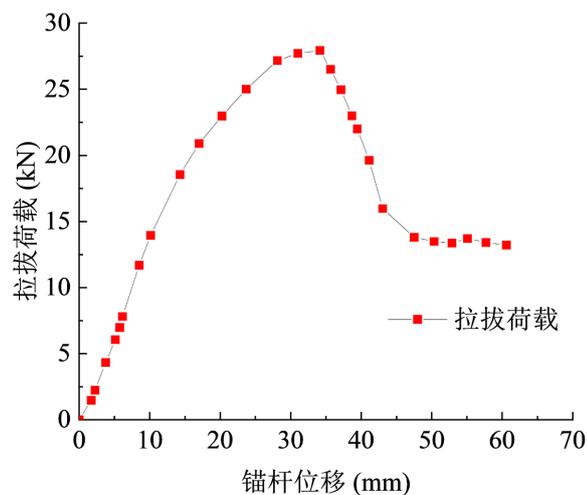


Figure 7. Ice anchor pulling load-displacement curve
图 7. 冰层锚杆拉拔荷载 - 位移曲线

冰颗粒常常和土颗粒、气、水等结合为冻土, 由于水分迁徙导致冻土中存在冰透镜体和冰层。对冰层中锚杆受力特性进行探究, 锚-冰界面发生剪切破坏, 锚杆被拔出。经过冰颗粒融化, 锚杆表层褪去水分对锚杆上中下用游标卡尺测量发现, 锚杆直径平均在 75 mm 左右, 说明实际锚杆比设计锚杆直径大, 锚杆中央存在扩体, 锚杆表面怪石嶙峋[7] [8], 如图 6 所示。锚杆拉拔荷载位移曲线如图 7 所示, 峰值荷载达到 27.94 kN, 峰值荷载对应位移 34.16 mm, 锚-冰界面滑移现象明显, 相比“单元体”预制锚杆为塑性破坏; 相比“单元体”现浇锚杆, 证实了锚杆直径存在变大现象。

4. 结论

本文开展了冰层锚杆拉拔室内试验, 研究了两种制锚方式下单元体模型冰层锚杆拉拔全过程承载性能, 实施了灌浆式制锚冰层锚杆拉拔模型试验研究, 得出如下结论:

1) 预制锚杆与现浇锚杆的拉拔破坏模式不同, 预制锚杆冰层单元体拉拔破坏为锚-冰界面脆性破坏, 峰值荷载为 9.07 kN, 对应的位移为 5.95 mm, 无残余阶段; 现浇锚杆冰层单元体拉拔破坏模式为钢筋-锚固体界面滑移破坏, 峰值荷载为 10.98 kN, 对应的位移为 6.69 mm, 存在残余阶段。

2) 通过单元锚固体-冰层拉拔试验, 得出现浇锚杆大于预制锚杆的承载能力, 现浇锚杆锚-冰界面粘结性能大于钢筋-锚固体界面, 预制锚杆-冰界面粘结性能小于钢筋-锚固体界面。

3) 通过冰层锚杆拉拔试验得出, 冰层锚杆采用灌浆浇筑会增大锚固体直径, 增大了锚-冰界面接触面积, 增强了锚固承载性能。

基金项目

国家自然科学基金项目: (51808302); 宁夏回族自治区重点研发计划项目: (2021BEG03023, 2021BEG03118)。

参考文献

- [1] 陈昌富, 梁冠亭, 汤宇, 等. 锚杆锚固体与土体界面特性室内测试新方法[J]. 岩土工程学报, 2015, 37(6): 1115-1122.
- [2] 王建康, 曹晓卫, 王庆凯, 等. 冰层弯曲强度和弹性模量与等效冰温的试验关系[J]. 南水北调与水利科技, 2016, 14(6): 75-80.
- [3] 严健, 何川, 李栋林, 等. 冰水堆积体隧道施工过程变形与受力分析[J]. 铁道标准设计, 2017, 61(1): 65-71.
- [4] 熊治文, 廖小平, 朱本珍, 等. 多年冻土地区路堑边坡病害及其整治原则[J]. 铁道工程学报, 2010, 27(7): 6-10.
- [5] Zhu, S., Chen, C., Zhang, G., et al. (2022) Theoretical and Experimental Investigations of Anchoring Force Loss Behavior for Prestressed Ground Anchors. *Canadian Geotechnical Journal*, **59**, 1587-1601. <https://doi.org/10.1139/cgj-2021-0220>
- [6] Zhu, S., Chen, C., Mao, F., et al. (2021) Application of Disturbed State Concept for Load-Transfer Modeling of Recoverable Anchors in Layer Soils. *Computers and Geotechnics*, **137**, Article ID: 104292. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2021.104292>
- [7] 夏元友, 陈晨, NI Qing. 基于透明土的 4 种锚杆拔出对比模型试验[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(3): 399-407.
- [8] 夏元友, 陈晨, NI Qing. 透明土中连续球体型锚杆拔出机理研究[J]. 岩土工程学报, 2017, 39(5): 804-812.