

# 冰碛物滑坡中的锚固工程试验

喻林青<sup>1,2</sup>, 蔡庆娥<sup>2</sup>

(1 中国科学院寒区旱区环境工程研究所, 甘肃 兰州 730000 2 中交第一公路勘察设计研究院, 陕西 西安 710075)

**摘要:** 冰碛为冰川搬运和堆积的松散物质, 发育在其上的公路滑坡较为少见, 缺少相关经验与试验数据。作者考察研究了国内外关于堆积层滑坡的治理现状, 结合锚固工程界专家提出的锚固工程研究方向, 在现场贴片锚固试验的基础上, 对发育在冰碛物上的滑坡体锚固工程进行了专题研究, 综合考虑不同锚索型式、不同锚索锚固段长度、不同张拉吨位对锚索锚固段应力分布规律的影响, 得出了适用于冰碛物滑坡的锚固试验结论, 经过综合比选推荐了一种适用的锚索锚固型式。并结合试验结果通过有限元试算, 提出了适宜的建模边界条件。

**关键词:** 冰碛物; 滑坡; 锚固试验; 锚固段应力分布规律; 数值分析

**中图分类号:** P 642.22

**文献标识码:** A

冰碛, 系指由冰川搬运和堆积的松散物质。冰碛物一般属混杂堆积, 由砾、砂、粉砂、粘土等组成, 粒度相差悬殊, 砾石磨圆度差, 多呈棱角状或次棱角状, 有的呈熨斗状或圆盘状, 砾石表面可有磨光面、钉头形擦痕和压裂等冰川作用的痕迹。冰碛物一般结构疏松, 缺乏层理构造, 但局部地方也可能因受冰川压力, 结构致密, 或表现出一一定的层次。古冰碛物可在沉积后的温暖或湿热的气候条件下, 经过不同程度的风化和改造, 常与其他成因的混杂堆积物难以分辨<sup>[1]</sup>。

发育在冰碛物质上的公路滑坡相对比较少见, 于我国在分布范围上以西部地区较为广泛<sup>[2]</sup>, 这类滑坡治理缺少相关经验与试验数据, 而其对公路的危害往往巨大, 所以进行相关试验研究应用前景极为广阔。

考察国内外关于堆积层滑坡的治理现状, 结合锚固工程界专家提出的锚固工程研究方向<sup>[3]</sup>, 笔者依托实际工程在冰碛物滑坡中进行了现场锚固试验, 并在室内做了有限元数值模拟计算工作, 用以开发合适的边界条件模拟发育在冰碛物上的滑坡体介质。

## 1 锚固工程现场试验

首先, 为了验证锚固结构应用于冰碛层的可行性, 笔者携其他技术人员做了锚索拉拔试验, 得到的锚固力满足设计要求, 且工程结构目前已经过多个雨季以及两次地震的考验, 近期监测锚索应力读数基本无变化, 损失率保持在 20%左右。可见锚索并未发生失效, 笔者认为冰碛层采用锚索结构是合适的。

现场锚固试验是对两种锚固型式(普通张拉型与分散张拉型)的大吨位预应力锚索锚固强度进行现场测试, 选用不同锚固型式、不同锚索长度、不同张拉吨位的试验来验证适用于发育在冰碛物上的滑坡体锚固工程。

### 1.1 贴片

锚索贴片图如图 1、2所示。笔者在试验之初参照有关的均质土体中锚固力沿锚索分布规律, 即所谓的“有效锚固段”理论, 选择靠近自由段附近的布片点较密布置, 而沉渣段附近则相对稀疏。

收稿日期(Received date): 2006-02-11; 改回日期(Accepted): 2006-09-17.

作者简介(Biography): 喻林青(1966-), 男, 高工, 在读博士, 主要从事地质灾害整治方面的研究。[Yu Linqing(1966-), male senior engineer a doctor student of Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute CAS. his major study area is Controlling Engineering on unfavorable geological condition.]

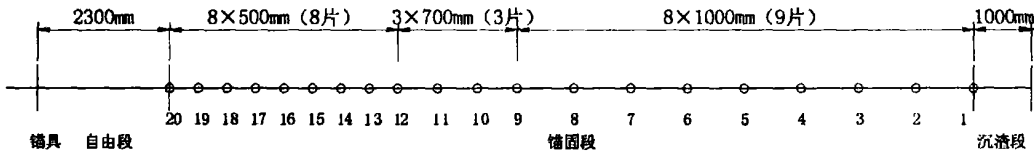


图 1 普通张拉型锚索贴片图

Fig. 1 Strain foil position of common pulling type anchor line

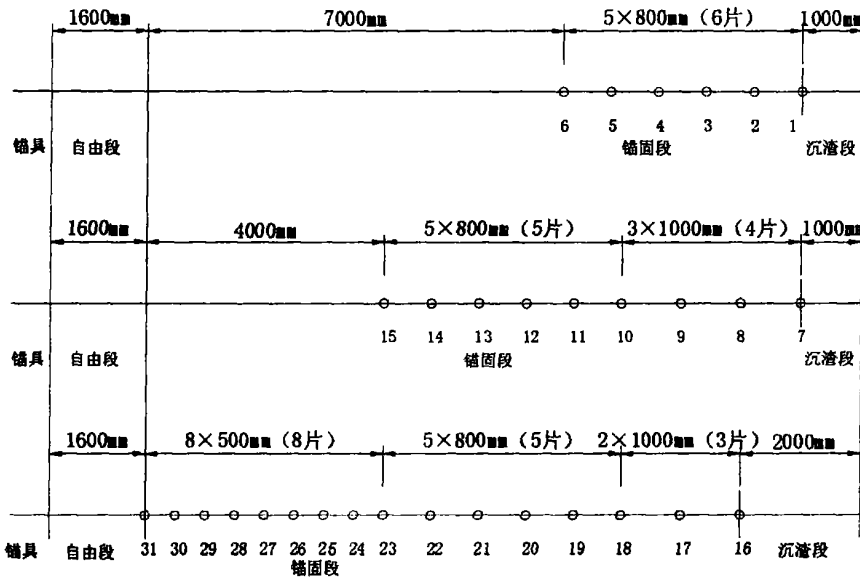


图 2 分散张拉型锚索贴片图

Fig. 2 Strain foil position of dispersive pulling type anchor line

1.2 锚固长度与张拉吨位选择

规范规定土层锚索锚固长度一般不超过 10 m, 岩石锚索一般不大于 8 m<sup>[4]</sup>, 考虑到冰碛物一般厚度较大, 试验中普通张拉型锚索锚固长度分为 15 m、20 m、25 m 三组, 每组两孔, 共计 6 个组件; 分散张拉型锚索锚固长度为 12 m, 一组四孔。

试件制作如图 3 所示, 张拉承载板为 180 cm×180 cm, 厚度 60 cm 的钢筋混凝土板。经初步计算张拉吨位选定为 100 kN、200 kN、300 kN、400 kN、500 kN、600 kN、700 kN、800 kN、900 kN、1 000 kN。

1.3 试验结果

1.3.1 普通张拉型锚索锚固系统

在冰碛物层中沿锚固段锚索应力分布不再具有明显的规律, 而是依据冰碛层的复杂程度展现不同的应力状态。甚至在锚固端头附近 (沉渣侧) 还表现出了一定幅值的拉、压应力状态, 说明普通张拉型锚索存在受剪的可能性 (如图 4 ~图 6)。

锚固段长度越短, 锚索的稳定 张拉比值越小, 损失较大; 锚固段长的锚索短期损失值较小, 长期损失率保持在 20% 左右。其详细不再列表赘述。

1.3.2 分散张拉型锚索锚固系统

给锚索加载, 随着张拉力的增大, 锚索的各个贴片测点处, 内应力按一定比例传递, 荷载从最末端向张拉侧依次传递给每个锚固点, 致使它们产生相对

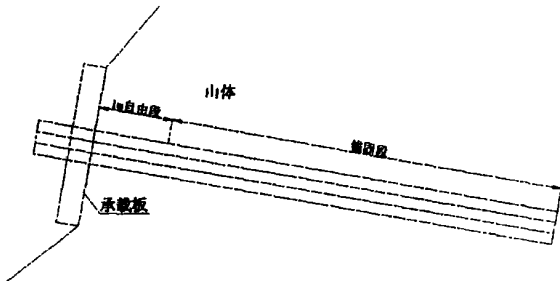


图 3 试件图

Fig. 3 Test piece

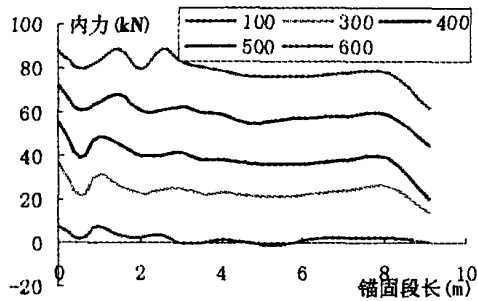


图 4 普通张拉型锚索锚固 15 m 内力图

Fig.4 Internal force of common pulling type anchor line with 15 m anchorage length

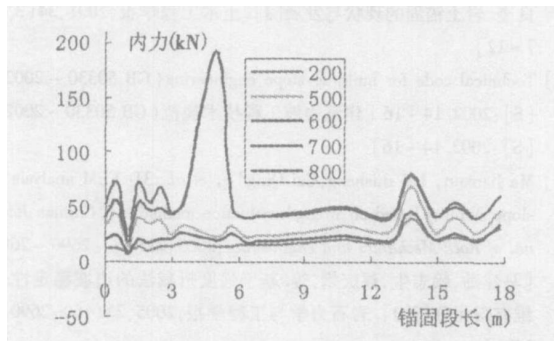


图 5 普通张拉型锚索锚固 20 m 内力图

Fig.5 Internal force of common pulling type anchor line with 20 m anchorage length

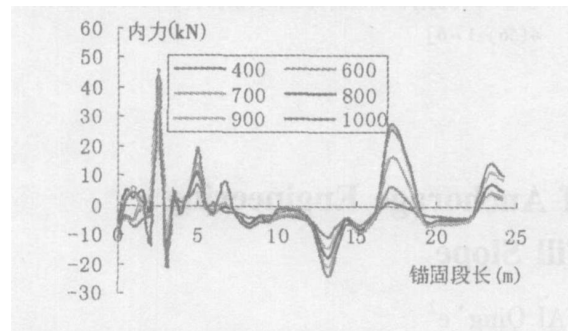


图 6 普通张拉型锚索锚固 25 m 内力图

Fig.6 Internal force of common pulling type anchor line with 25 m anchorage length

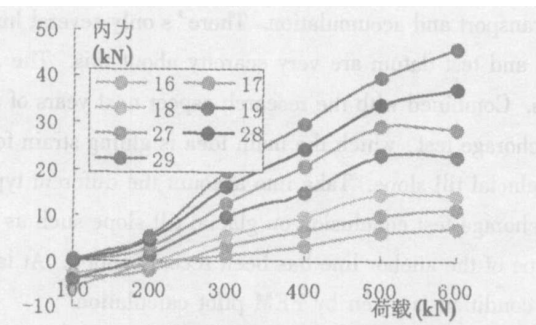


图 7 分散张拉型锚索各测点内力图

Fig.7 Internal force on each measuring point of dispersive pulling type anchor line

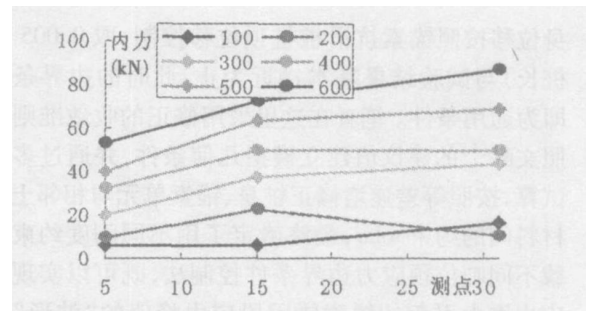


图 8 分散张拉型锚索锚固点内力图

Fig.8 Internal force on each dispersive point of dispersive pulling type anchor line

位移, 最终达到荷载分散的目的。从图 7 图 8 可以看出, 张拉力基本上均等的被分散和传递, 但是由于试验冰碛层复杂, 加之施工工艺较为复杂, 分散张拉型锚索锚固系统一方面施工质量极难保证, 试验结果多有破坏现象, 另一方面荷载稳定值较差。从可用试验结果可以看出, 分散张拉型比拉力型应变量小, 没有出现应力集中现象, 从而确认这种类型安全性和可靠性要高于普通张拉型。

### 1.3.3 试验结论

本次试验分散张拉型锚固系统虽然具有应变小、应力集中不明显的优点, 但是一则施工难度极大, 极易造成锚索破坏或者失效, 再则施工周期长, 不利于抢险救灾。故此, 笔者认为针对类似边远西部特殊的地域人文环境, 从应用角度考虑, 冰碛层中的锚固工程推荐采用普通张拉型锚固系统。

## 2 数值计算

数值计算作为现场试验的后期辅助分析具有很好的推广价值 (图 9), 结合试验结果, 利用软件试算不同的边界条件, 直到所关心的构件内力或位移 (桩

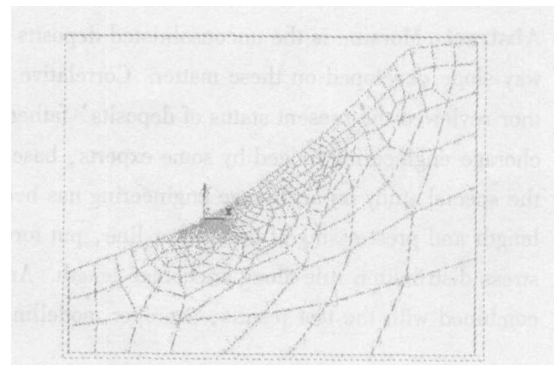


图 9 有限元模型

Fig.9 FEM Model

身位移按照锚索抗滑桩桩顶位移控制,取 0.005 倍桩长)与试验结果基本接近为止,此时的边界条件即为通用条件。笔者在这里采用修正的收敛准则按照文献<sup>[3]</sup>的建议值建立模型几何条件,并通过多次试算,按照等差递增修正桩身、锚索单元与相邻土体材料间的约束,最终确定了用不同刚度约束加载不同吨位预应力边界条件控制法,既可以实现预应力增大引起的锚索锚固段应力峰值的“波形”前进<sup>[9]</sup>,又能够依照不同的岩(土)层情况针对性的约束桩、索、土单元。

### 3 结论

依循文献[3]给出的研究方向,笔者针对:1. 岩土锚杆(索)的结构形式与传力机制;2. 各类冰碛层中锚固长度粘结应力特性与固定长度有效因子两个方面,在冰碛物滑坡体中进行了专项研究,在有限的可考证资料基础上,结合现场试验对不同吨位、不同锚固长度的两种锚索锚固系统进行了研究,推荐在特殊地域采用普通张拉型锚索锚固系统,在冰碛层锚固工程中否定了“有效传递长度”的说法,并试算得出了适用冰碛物滑坡的模型边界条件,具有一定的推广价值。

### 参考文献 (References)

- [1] Zhang Wei, Jiang Fuxing, Cui Zhijun. Moraine age and environmental change [J]. *Journal of Liaoning Technical University*, 2002, 21(6): 705~708 张威, 蒋福兴, 崔之久. 冰碛物年代及其环境变化 [J]. 辽宁工程技术大学学报, 2002, 21(6): 705~708]
- [2] Zhou Shangzhe, Li Jijun. A new study on Qinghai Tibet Plateau in ice ages [J]. *Earth Science Frontiers*, 2001, 8(1): 67~75 周尚哲, 李吉均. 冰期之青藏高原新研究 [J]. 地学前缘, 2001, 8(1): 67~75]
- [3] Cheng Liangkui. Present status and development of ground anchorages [J]. *China Civil Engineering Journal*, 2001, 34(3): 7~12 程良奎. 岩土锚固的现状与发展 [J]. 土木工程学报, 2001, 34(3): 7~12]
- [4] Technical code for building slope engineering (GB 50330-2002) [S]: 2002. 14~16 [建筑边坡工程技术规范 (GB 50330-2002) [S]: 2002. 14~16]
- [5] Ma Jianxun, Lai Zhiheng, Cai Qing'e et al. 3D FEM analysis of slope stability based on strength reduction method [J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2005, 23(16): 2690~2694 [马建勋, 赖志生, 蔡庆娥, 等. 基于强度折减法的边坡稳定性三维有限元分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 23(16): 2690~2694]
- [6] Cheng Liangkui. Theory and practice of the single bore multiple anchorage method [J]. *Yanlu Maogu Gongcheng*, 2004, (56) 4: 1~6 程良奎. 单孔复合锚固法的机理和实践 [J]. 岩土锚固工程, 2004, 4(56): 1~6]

## Experimental Investigation of Anchorage Engineering on Glacial Till Slope

YU Linqing<sup>1,2</sup>, CAI Qing'e<sup>2</sup>

(1. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China;

2. The First Highway Survey & Design Institute of China, Xi'an 710075, China)

**Abstract** Moraine is the unconsolidated deposits by glacial transport and accumulation. There's only several highway slope developed on these matter. Correlative experiences and test datum are very scarcity about this. The author reviewed the present status of deposits' fastening methods. Combined with the research aspect next years of anchorage engineering ledged by some experts, based on the anchorage test, which the main idea is gluing strain foil, the special study on anchorage engineering has been done on glacial till slope. Take into account the different type length and prestressing of the anchor line, put forward the anchorage test conclusion on glacial till slope such as the stress distribution rule along anchorage length. An in point type of the anchor line has been recommended. At last combined with the test results, a proper modelling boundary condition is given by FEM pilot calculation.

**Key words** glacial till slope; anchorage test; stress distribution rule along anchorage length; numeric analysis