

多年冻土区粒径改良路基稳定性分析

黄明奎^{1,2}, 汪 稔³

(1. 重庆交通大学 土木建筑学院, 重庆 400074; 2. 重庆大学 土木工程学院, 重庆 400045; 3. 中国科学院 岩土力学重点实验室, 武汉 430071)

摘要:路基稳定性是指路基受到车辆动态作用及各种自然力影响所出现的路面陷槽、翻浆冒泥和路基剪切滑动与挤起等情况的适应能力,包括热稳定性和强度稳定性。热稳定性是指路基的热状况对外界条件响应的敏感程度,是多年冻土区路基稳定性的核心。文中对国内外多年冻土区路基热稳定性研究进行了分析,并对热稳定性判断原则进行探讨。通过对现场粒径改良路基两个多冻融循环观测数据进行分析,分析了粒径改良路基的冻融循环地温变化规律及变形规律,得到了粒径改良路基具有抬升多年冻土上限的作用,并根据判断原则,认为粒径改良路基是一种稳定的新型路基结构形式。

关键词:多年冻土;粒径改良路基;稳定性

中图分类号:TU445 文献标识码:A 文章编号:1006-7329(2008)04-096-03

Stability of Particle-size Improved Roadbed in Permafrost

HUANG Ming-kui^{1, 2}, WANG Ren³

(1. College of Civil Engineering, Chongqing University, Chongqing 400045, P. R. China; 2. School of Civil Engineering and Architecture, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, P. R. China; 3. Key Laboratory of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, P. R. China)

Abstract: Roadbed stability, including thermal and strength stability, is the ability of roadbed to adapt to pavement settlement, slurry effusion, shear slide and haunching up of the roadbed resulting from moving vehicles and many natural influences. Thermal stability is the sensitivity of the thermal state of the roadbed to the external environmental condition. It is the key point of the roadbed stability in permafrost. Research concerning roadbed thermal stability in permafrost is analyzed, and the judgment principle of thermal stability is discussed. The regular change of the ground temperature and deformation of particle-size improved roadbeds are analyzed by studying field observation data of the particle-size improved roadbed after two freezing and thawing cycles. We conclude that the particle-size improved roadbed can raise the upper limit of frozen soil. Based on the judgment principle, the particle-size improved roadbed is regarded as a new type of stable structure.

Key words: permafrost; particle-size improved roadbed; stability

路基稳定性是指路基受到车辆动态作用及各种自然力影响所出现的路面陷槽、翻浆冒泥和路基剪切滑动与挤起等情况的适应能力。多年冻土在我国分布很广,青藏高原、东北大小兴安岭和西部高山等地的 215 万多 km² 的国土上都暗藏着这种对温度极为敏感的土体介质。冬季,它像冰块一样,随温度的降低体积发生剧烈膨胀,顶推上层的路基、路面;而在夏季,它随温度升高而融化,体积缩小后使路基发生沉降。这种周期性变化往往很容易导致路基和路面塌陷、下沉、变形

和破裂。因此,多年冻土区的路基稳定性同一般地区路基稳定性有很大的区别,它不仅体现在一般地区路基的结构稳定性,更为重要的是体现在路基的热稳定性。经过大量的研究表明,路基热稳定性是多年冻土地区路基稳定性的核心,路基产生冻融变形的本质是路基下多年冻土热稳定性的丧失。然而影响路基热稳定性的因素很多(路基冻土年平均地温、路基结构等等),而可供选择的比较宽的常常是路堤堤体的填料在一定环境气候下对应的堤体高度。因此,热稳定性最

* 收稿日期:2008-01-20

基金项目:重庆市教委基金资助项目(100416);重庆交通大学校内科学基金资助项目(100243)

作者简介:黄明奎(1975-),男,重庆交通大学副教授,博士,主要从事岩土力学方面教学与研究。(E-mail)hmksmile@163.com
欢迎访问重庆大学期刊网 <http://qks.cqu.edu.cn>

核心的内容就是寻找气温、天然地面、路堤填料、路面性状和最低路堤高度之间的理论配合。本文结合现场试验资料,研究保护冻土的新型的路基结构型式一粒径改良路基的稳定性。

1 多年冻土区路基热稳定性现状

冻土路基热稳定性是多年冻土地区路基稳定性的核心。热稳定性就是路基的热状况对外界条件响应的敏感程度。当以路面土最佳结构(最佳密度和最佳含水量)时,人为上限埋深不大于天然上限埋深时定义为热稳定,反之称之为热不稳定。在人为活动或工程的影响下,地表条件的变化或路基的修建等改变了地表与外界的热平衡关系以及热气交换关系,这些将导致多年冻土上限的变化和地下冰的融化,年平均地温将升高。然而,不同的地温条件、不同的地表条件以及不同的冻土状态,对人为活动或工程的影响的热稳定性响应过程是不同的。因此,评价路基的热稳定性,对于路基的安全运营是很重要的,国内外采用不同的方法对冻土的热稳定性进行了评价。加拉古利亚通过年平均地温、含冰量以及季节冻融过程来探讨冻土的热力稳定性^[1];Parmuzin 使用 $\frac{Q_i}{Q}$ 的比值来表示多年冻土的热稳定性^[2],其中 Q_i 为季节融化层底板到潜在的季节冻结层深度区间沉积物融化所需要的热量和季节冻结层底板温度升高到 0°C 所需要的热量之和; Q 为年热量循环量。 $\frac{Q_i}{Q} < 1$ 时多年冻土出于退化过程; $\frac{Q_i}{Q} = 1$ 时,多年冻土处于临界过程,这在多年冻土边缘地带可见到; $\frac{Q_i}{Q} > 1$ 时,多年冻土处于进化过程。Galagulya 提出了按冻土的年平均地温、相变热、年热循环量与辐射平衡之比来评价热力学稳定性^[2];Greshchev 基于理论调查和西伯利亚 15 年的研究结果,考虑了热物理学条件、热状态、冷生地质过程,建立了多年冻土区环境-空间景观复杂性的函数型热动力学模型^[3]。吴青柏^[4]等提出了用季节融化层底板到潜在季节冻结深度区间沉积物融化所需要的热量与季节冻结层底板温度升高到 0°C 所需要的热量之和(Q_i)与夏半年土体吸收的热量(Q_+)的比值来描述冻土的热稳定性,即: $S_i = \frac{Q_i}{Q_+}$ 。因此,对于一种新型的保护冻土的路基结构形式——粒径改良路基^[7],有必要对其稳定性进行研究。

2 粒径改良路基稳定性分析

2.1 粒径改良路基稳定性判断原则

表1 识别稳定路段与病害路段定性标志

预报标志	成功	失败
上限标志	保持天然上限或略有上升	天然上限下移
变形标志	可逆变形,基本无残余变形,路面横断面变形为锥形,单向变形年变幅 $< 1\text{ cm}$ 。	不可逆变形,或有明显的残余变形,路面横断面变形为碟状,单向变形年变幅 $> 3\sim 4\text{ cm}$ 。
物性标志	人为上限之上的土层含水量 $< (0.8\sim 0.9)W_p$,人为上限之上的土层干容重 $> 1.55\text{ g/cm}^3$ 。	人为上限之上的土层含水量 $> W_p$,人为上限之上的土层干容重 $< 1.50\text{ g/cm}^3$ 。

从上面国内外对多年冻土区路基稳定性分析情况可以看出,目前评价冻土区路基稳定性较为复杂,考虑的因素较多,这在实际工程中很难应用。文献^[5]提供了三种较为简便而又直观的稳定路段与病害路段的识别标志,如表1所示,该表提供的方法有相当的可靠性,可对路基稳定性成功与否进行评价与预报。粒径改良路基是通过路基填土的筛分、颗粒重新组合来改变路基填土的结构,从而改变路基与外界的热交换关系,导致路基改良土热物理参数在冻结和融化不同状态下性能的差异,最终达到保护冻土的目的,是一种主动保护冻土的路基结构。本文利用表中的判定原则,基于粒径改良路基的温度、变形性能分析,对其稳定性进行评价。

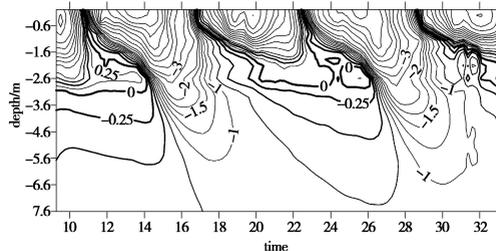


图1 粒径改良路基冻结融化过程变化曲线

2.2 粒径改良路基冻融过程规律分析

试验路基是在 2003 年 7 月底到 9 月初修筑完工的,属于暖季施工。在经过两个多的冻融循环的地温监测可以初步得出粒径改良路基冻结融化过程的变化规律。图1是粒径改良路基冻结融化过程变化曲线图。从图中可以看出粒径改良路基第一、二冻融循环过程中均从4月初开始出现稳定的正温,冻土开始融化;随着大气的升温,路基融化深度不断增加,开始融化深度增加相对缓慢,7月以后,融化速度加快,8月中旬达到最大;9月中旬以后,气温开始降低,融化速率降低,出现较为稳定的 0°C 的时间大约在9月下旬到10月上旬,此时粒径改良路基的 0°C 线保持相对稳定而不再下降,路基达到最大融化深度。10月中下旬,粒径改良路基逐渐出现稳定的回冻,并且其典型特征是双向冻结,即粒径改良路基出现了从表面自上而下和从冻土融化深度处自下而上的双向冻结,从图中零温线可以看出,从表面的自上而下的冻结速度比自下而上的冻结速度快。这从另一角度说明,冻结过程中路基冷却的冷量主要来自于大气的供给,而非路基内部能量的补给。随着时间的推移,冻土中的未冻部分逐渐减少直到消失。12月中下旬到第二年的3月中

旬,整个路基和地基均处于冻结状态。从图中也可以看出,粒径改良路基的融化深度大约在 3.20 m 左右,相对于天然场地融化深度 3.55 m^[6],抬升了 0.35 m。

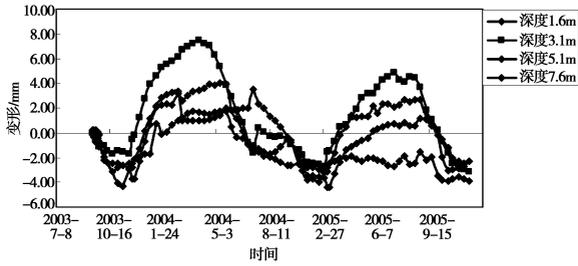


图2 粒径改良路基不同深度变形随时间的变化关系

2.3 粒径改良路基变形规律分析

图2描述了粒径改良路基近两个冻融循环下不同深度变形随时间的变化关系。从图中可以看出,在开始测试的初期,各深度的沉降变形基本一致,说明此时由于路基刚刚施工完毕,路基填土尚未完全密实,因此测点变形表现出来的主要是路基填土的压密变形。随着时间的推移,路基各深度处沉降变形呈现一定的差异性,到2003年11月11日以后,各深度相继出现最大沉降量,其中,在表层1.60 m深度处,沉降达到最大,达4.31 mm。由于路基刚刚修筑完毕,人为活动造成的热量累积还未散失,这是引起路基内在冷季产生较大融沉变形的的主要原因。随着气温的下降,外界冷量的进入,累积的热量逐渐散失,各测试深度变形产生回抬现象,沉降变形减少。进入12月以后,各深度相继出现冻胀变形,在离路基表面3.10 m深度处冻胀变形发展最快,于2004年5月初达到最大,其值为7.83 mm。在4.60 m及5.10 m深度处,二者的冻胀变形量基本趋于一致,而5.10 m深度处冻胀变形总体趋于偏大,但是二者从1月下旬开始,冻胀变形增加缓慢,基本趋于稳定,最大值不到4 mm。在7.60 m深度处,冻胀融沉变形最小,变化幅度趋于平缓,在所测的时间内其最大融沉变形为2.67 mm,而最大冻胀变形为1.79 mm,变化幅度为4.46 mm,这说明外界环境对该深度变形的影响很弱,其变化主要是由于路基内部热量自身交换所引起路基变形的结果。

2.4 粒径改良路基稳定性判断

根据以上对粒径改良路基的冻融过程、变形规律分析以及表1所示的识别稳定路段与病害路段定性标志,对粒径改良路基稳定性进行判断可得到:在近两个多冻融循环的时间内,粒径改良路基多年冻土上限相对于天然场地是上升的,抬升大约0.35 m,单向变形为7.83 mm(冻胀变形),小于1 cm,根据表1中的上限标志和变形标志可以判断:粒径改良路基是一种稳定的路基结构形式。

3 结语

根据对目前两个多冻融循环作用下粒径改良路基地温变化规律及变形规律的分析,可以初步得到以下一些结论:

1)粒径改良路基在冻融循环过程中表现出双向冻结的特征,冷却的冷量主要来自大气的供给,经历了两个多循环后,相对于天然场地来说,融化深度减少,冻土上限抬升。

2)粒径改良路基在冻融循环过程中变形呈现出正弦变化规律,单向最大变形为7.83 mm(冻胀变形),小于1 cm。根据路基稳定性判断原则,无论从冻土上限还是路基的单向变形来考虑,粒径改良路基均为一种稳定的路基结构形式。

参考文献:

- [1] 加拉古里亚. 人为引起冻土条件变化的预报性评价方法[M]. 童伯良,译. 兰州:甘肃科学技术出版社,1992.
- [2] 周幼吾. 多年冻土区的环境保护[J]. 冰川冻土,1985(4):87-91.
ZHOU You-wu. The environmental protection in permafrost [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1985(4):87-91.
- [3] GRESHCHEV S YE. Theoretical questions in modeling cryogenic landscape, Proceeding of the 4th international Conference on Permafrost [C]. Washington, D. C.: National Academy Press, 1983. 315-319.
- [4] 吴青柏,朱元林,刘永智. 工程活动下多年冻土热稳定性评价模型[J]. 冰川冻土,2002,24(2):129-133.
WU Qing-bai, ZHU Yuan-lin, LIU Yong-zhi. Assessment model of permafrost thermal stability under engineering activity[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2002,24(2):129-133.
- [5] 吴紫汪,刘永智. 青藏公路沥青路面冻土路基变形预报[C]. 第三届全国冻土学术会议论文集. 北京:科学出版社,1989,333-338.
- [6] 黄明奎. 青藏铁路粒径改良路基试验及温控机理研究[D]. 北京:中国科学院研究生院,2005.
- [7] 黄明奎,汪稔,胡明鉴. 青藏铁路粒径改良路基热状况分析[J]. 岩石力学与工程学报,2005,24(23):4 390-4 395.
HUANG Ming-kui, WANG Ren, HU Ming-jian. Analysis of thermal state under particle improved roadbed in Qinghai-Tibet railway [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005,24(23):4 390-4 395.

(编辑 陈蓉)