

文章编号: 0451-0712(2006)05-0169-04

中图分类号: U214.01

文献标识码: A

多孔性基层混合料抗冻融耐久性试验方法

马 磊, 王秉纲

(长安大学特殊地区公路工程教育部重点实验室 西安市 710064)

摘 要: 水泥稳定粒料等多孔性基层混合料在多年冻土等冻融循环频繁剧烈的地区应用时, 设计中应重视抗冻融耐久性的试验评价, 但目前尚无统一的试验方法。以多年冻土地地区广泛使用的水泥稳定砂砾基层混合料为对象, 通过控制试件湿度, 模拟基层实际使用中的最不利湿度状况下的冻融循环试验, 分析了冻融循环次数和试件湿度状况对基层混合料耐冻系数的影响。研究得出: 模拟混合料使用最不利湿度状况进行冻融试验时, 水泥稳定砂砾的耐冻系数随冻融循环次数的增加而不断减小, 约 8 次循环后基本处于稳定状态; 湿度对多孔性基层混合料的抗冻融耐久性评价结果有明显影响, 不宜直接采用水泥混凝土的饱水冻融试验方法。结果表明: 对于多孔性基层混合料的抗冻融耐久性评价, 采用控制试件湿度模拟基层的最不利湿度状况进行冻融试验, 以 10 次冻融循环时弯拉强度损失表示的耐冻系数作为评价指标, 评价结果稳定, 更符合实际使用情况。

关键词: 多孔性基层混合料; 水泥稳定砂砾; 湿度; 抗冻融耐久性; 试验方法

水泥稳定粒料、二灰稳定粒料等半刚性材料以其强度高、板体性好等优点, 目前广泛应用于我国各级公路路面基层, 成为主要的基层材料。在我国的多年冻土等温度低、冰冻时间长、冻融循环频繁剧烈的特殊地区, 公路也以无机结合料稳定粒料类半刚性基层为主, 如青藏公路、214 国道均采用水泥稳定砂砾基层。无机结合料稳定粒料类材料在这些特殊地区应用, 除要求具有足够的强度、良好的收缩性能外, 对混合料的抗冻性能提出了更高要求, 在混合料设计中应重点予以考虑, 对其抗冻融耐久性进行试验验证。

半刚性基层混合料的冻融循环试验, 目前还没有统一的试验规程, 许多研究都是借鉴水泥混凝土的饱水冻融循环试验方法, 以一定循环次数下的抗压强度损失、质量损失或一定强度损失下的循环次数作为评价指标, 表征混合料的抗冻融循环耐久性。然而, 目前广泛使用的水泥稳定砂砾(碎石)、二灰稳

定碎石等无机结合料稳定粒料类半刚性材料, 均属于多孔性材料, 在孔隙形状与数量、实际使用湿度条件等方面与水泥混凝土有明显差异。采用饱水条件下的冻融循环试验, 对多孔性基层混合料而言试验条件过于苛刻, 且与实际使用湿度条件相差甚远。因此, 本研究以多年冻土地地区广泛使用的水泥稳定砂砾基层混合料为试样, 采用控制试件湿度, 尽量模拟多年冻土地地区基层实际使用中的最不利湿度状况进行冻融循环试验, 分析不同冻融循环次数下混合料弯拉强度损失状况, 以期更加合理地评价多孔性基层混合料的抗冻融循环耐久性。

1 试验原材料与混合料

1.1 原材料

(1) 水泥采用 32.5(R) 普通硅酸盐水泥, 其物理、力学性质试验结果如表 1 所示。

表 1 水泥物理、力学性质试验结果

项目	细度/%	凝结时间		安定性	水泥胶砂强度/MPa			
					抗折		抗压	
		初凝	终凝		3 d	28 d	3 d	28 d
结果	6.8	3h32min	5h50min	合格	3.75	6.70	24.0	44.7

(2)砂砾采用青藏公路现场取样的天然砂砾,测试其压碎值为16.8%,扁平细长颗粒含量为10.6%。

1.2 混合料

对天然砂砾进行筛分剔除部分细料后,确定混

合料砂砾级配,并通过混合料重型击实试验和7 d无侧限饱水抗压强度试验,得出符合强度要求3.0 MPa的混合料试验配合比,如表2所示。

表2 试验混合料配合比

筛孔尺寸/mm	30	20	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
通过率/%	100	95	68.2	35.0	20.0	12.9	8.0	3.8	1.0	0.2
水泥用量/%	5.1		最佳含水量/%		6.10		最大干密度/(g/cm ³)		2.27	

2 冻融循环试验方法

2.1 冻融损伤机理

在冻融循环反复作用下,水泥稳定砂砾混合料内部会形成损伤,使基层强度逐渐下降,承载能力不断减弱,每次产生的微小损伤不断积累,在行车荷载作用下将产生松散、开裂等破坏,影响路面整体使用性能。冻融循环作用下水泥稳定砂砾基层产生损伤破坏主要由液体膨胀压力和渗透压力作用引起。水泥稳定砂砾作为多孔性材料,经受冻融循环作用时,其内部水分结冰过程中体积会膨胀约9%,即形成冻胀,由此产生的附加膨胀压力将重复对混合料的空隙壁造成挤压破坏作用,形成损伤,这种膨胀压力的大小与空隙的含水量、水的流动距离、冻结速度及空隙的大小形状有关。由于毛细管中的水是含有可溶盐的溶液,在混合料内部空隙中的溶液浓度通常因空隙大小和与颗粒表面的距离不同而不同,从而在空隙间会形成浓度梯度;同时,溶液浓度越大,冰点越低,在冻结过程中混合料空隙中的未冻水将向冻结冰迁移渗透,引起渗透压力,当压力足够大时也会使混合料产生损伤。

2.2 试验方法

由冻融损伤机理可知,水是混合料产生冻融循环损伤的必需条件,混合料内部自由水、周围可补充自由水的多少均直接影响冻融循环损伤的大小。因此,采用冻融循环试验评价材料抗冻性能或抗冻耐久性时必须考虑试件湿度状况,尤其是多孔性材料空隙数量与尺寸均较大,试验湿度条件对试验结果的影响更大。

目前水泥稳定砂砾等多孔性材料冻融试验尚无统一方法,相关研究大都借鉴水泥混凝土冻融试验方法,对成型试件进行饱水冻融。本次研究初期,也如此进行水泥稳定砂砾冻融试验,结果表明混合料强度随循环次数的增加而不断降低,且降低幅度越来越大,10~15次循环后混合料全部松散,失去承

载能力,这种试验情况与混合料实际使用状况明显不符。

主要问题在于试验湿度条件,即试验过程中得到外界水分的不断补充。一方面,水泥稳定砂砾孔隙率远远大于水泥混凝土,连通孔隙所占比例也高得多,在饱水条件下水泥稳定砂砾的大量连通孔隙均被水分填充,而水泥混凝土仅有少量表面或浅层连通孔隙被水分填充,因此冻结条件下水泥稳定砂砾混合料内部的膨胀压力和渗透压力远大于水泥混凝土,由此引起的混合料损伤也更大;足够的水分补充为孔隙的不断扩张提供了条件,孔隙尺寸的增大又提高了膨胀压力,加之混合料损伤累积,容易导致混合料松散破坏;因此用水泥混凝土饱水冻融试验方法进行水泥稳定砂砾材料试验显得条件过于苛刻。另一方面,水泥稳定砂砾等多孔性材料作为基层在实际使用过程中,会因路面表面渗水和底面毛细水上升而含有一定孔隙自由水,但由于孔隙较大和连通孔隙较多,自由水会向下或两侧迁移渗透,孔隙不会一直处于饱水状态;而且周围介质含水量也不会处于饱水状态,混合料冻结可补充水分也处于有限水平,在压密状态下冻结迁移实现补充的水分更有限;水泥稳定砂砾混合料实际应用中可能最不利湿度状况与饱水试验条件差异悬殊,使试验无法表征材料真实使用性能。

据此,本研究对冻融循环试验试件湿度条件进行控制,分别在试件风干加水模拟多年冻土地区基层混合料周围介质处于潮湿状态和试件在养生室90%湿度环境下混合料孔隙充分吸水两种条件下进行,试验中无外界水分补充,风干加水后试件含水量低于养生室试件。

冻融循环试验采用静压成型的10 cm×10 cm×40 cm梁形试件,标准养生180 d。试验采用快速冻融循环试验机,设定循环温度范围为-20~20℃,温度控制试件中心埋设温度传感器,以试件中心温度

控制循环温度,一次循环降温3 h、升温5 h,试验机自动记录冻融循环过程,一次试验平行试件10个。冻融试件分为两组,其中一组试件到达龄期取出后,置于室外风干1 d,对风干试样称重后置放于快速冻融试验机试槽中,按模拟多年冻土地区基层处于潮湿状态的含水量6.6%计算用水量,待吸水1 d后进行冻融试验;另一组试件从养生室取出直接放入试槽进行冻融试验。

2.3 评价指标

目前半刚性基层混合料抗冻性能研究中,主要借鉴水泥混凝土抗冻性能研究成果,采用5次或10次冻融循环后的无侧限抗压强度比作为评价指标。考虑到沥青路面半刚性基层使用过程中处于弯拉受力状态,且沥青路面设计中也对基层弯拉强度提出要求。因此,本研究选择混合料冻融循环后弯拉强度 $S_{\text{冻}}$ 与冻前弯拉强度 S_c 之比,称作耐冻系数 $K_{\text{冻}}$,作为抗冻性能的评价指标,即:

$$\text{耐冻系数} = \frac{\text{材料在冻融循环后的弯拉强度}}{\text{材料未经冻融的饱水弯拉强度}}$$

或 $K_{\text{冻}} = S_{\text{冻}} / S_c$ (1)

3 试验结果与分析

3.1 试验结果

试件经一定次数冻融循环后测定试件弯拉强度 $S_{\text{冻}}$,按式(1)分别计算不同试件在不同冻融次数下的耐冻系数 $K_{\text{冻}}$,试验结果见表3。

表3 冻融循环强度试验结果

湿度状况	循环次数/次	弯拉强度 S/MPa	耐冻系数 $K_{\text{冻}}/\%$	变异系数 $C_v/\%$
风干加水	0	1.81	100.0	6.3
	3	1.69	93.3	9.2
	5	1.67	92.1	6.8
	8	1.49	82.3	11.8
	9	1.47	81.2	15.5
	11	1.47	81.3	3.1
养生室	0	1.81	100.0	6.3
	3	1.52	83.9	13.9
	5	1.23	68.0	9.0
	8	1.13	62.5	23.0
	9	1.10	60.9	15.5
	11	1.12	62.0	1.9

3.2 冻融循环次数影响分析

由图1可以明显得出,水泥稳定砂砾在不同湿度状况下耐冻系数随冻融循环次数的变化趋势基本相同,随冻融循环次数的增加而不断减小,即混合料弯拉强度不断降低。最初几次冻融循环时,混合料耐冻系数的减小比较明显,达到约8次循环后降低幅度逐渐减小,基本处于稳定状态。如混合料风干加水状况下,3次和5次冻融循环时耐冻系数变化不大,相差约1.2%;而8次循环耐冻系数大幅减小为82.3%,与5次循环相比降低约10.7%;8次循环后耐冻系数变化很小。混合料养生室湿度状况时也有类似规律。

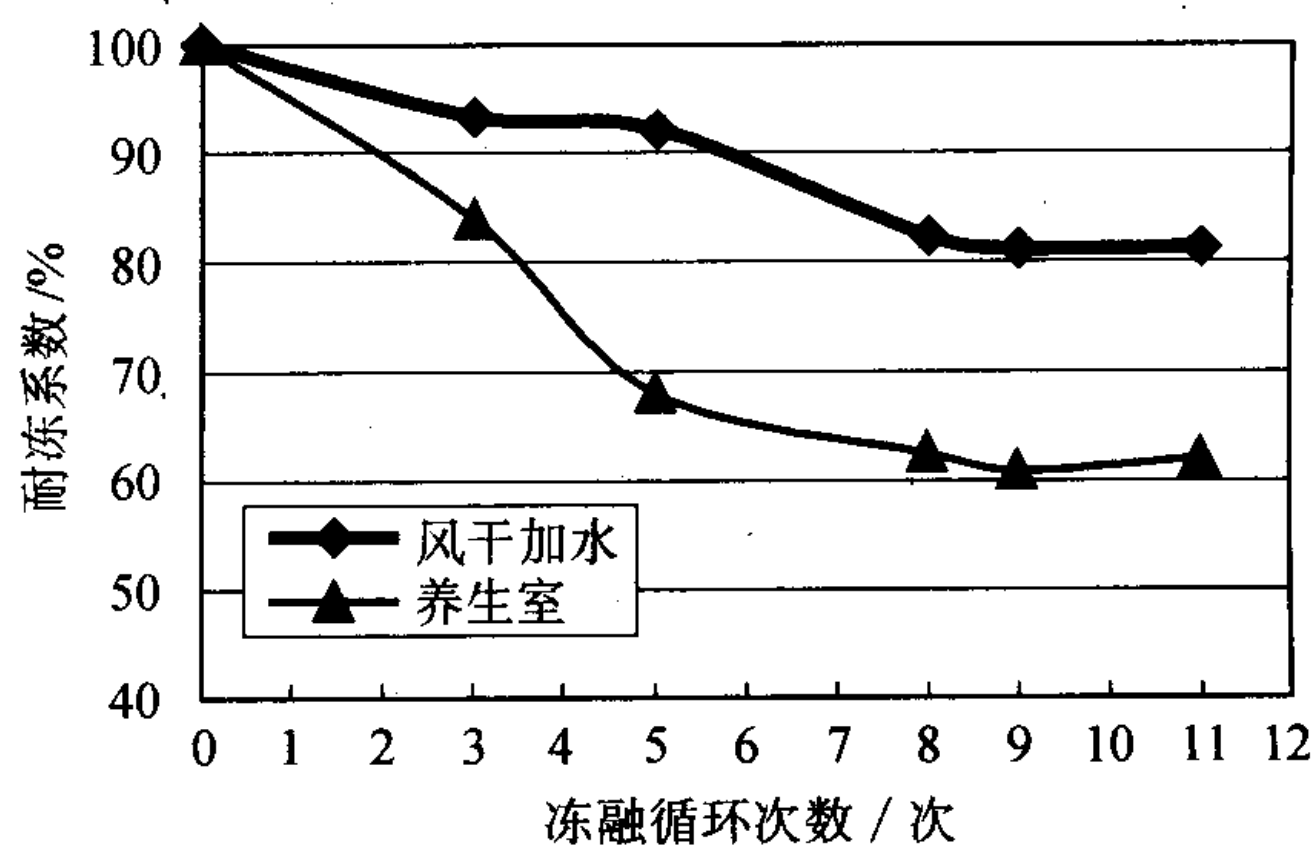


图1 水泥稳定砂砾耐冻系数变化

利用冻融损伤机理可以分析与解释这种现象。对于水泥稳定砂砾这种多孔性材料而言,成型混合料中连通孔隙较多,一定湿度状况下孔隙中存在自由水。当温度降低到冰点以下,孔隙中的自由水开始冻结,周边未冻水不断吸附聚集,对孔隙通道产生渗透压力,会对混合料形成损伤。当冻结冰膨胀填满区域内孔隙后,进一步的冻结膨胀会对孔隙壁产生膨胀压力,挤压损伤混合料。在渗透压力和膨胀压力作用下,混合料冻结区域孔隙会因损伤而扩大,融化过程中冻结水向周边缓慢扩散,孔隙虽会因压力释放而有所恢复,但难以恢复到原尺寸,每次循环孔隙扩大量较小,但不断累积,使混合料损伤不断积累,强度不断降低,耐冻系数不断减小。由于试验过程中没有外界水的补充,自由水数量有限,当经过有限次冻融循环后,孔隙扩张基本停止,孔隙尺寸基本维持在一恒定水平,使进一步冻融循环引起的混合料损伤非常小,强度和耐冻系数变化不大,基本稳定在一定水平。

由以上耐冻系数与冻融循环次数关系可以得出,对于多孔性的水泥稳定砂砾材料控制试件含水量进行冻融循环试验,8次循环后耐冻系数基本稳

定,考虑到试验的变异性,推荐采用 10 次冻融循环耐冻系数评价其抗冻性能或抗冻融耐久性。

3.3 湿度状况影响分析

试验结果表明,同一种水泥稳定砂砾混合料在不同湿度状况下的耐冻系数差异明显,即混合料湿度状况对多孔性材料耐冻系数影响明显;相同冻融循环次数下,试件越湿,耐冻系数越小,即强度损失越大。如 3 次循环风干加水试件耐冻系数为 93.3%,而养生室试件耐冻系数为 83.9%,降低约 10%;5 次循环降低更明显,降低达 26.2%;8 次循环后差异基本稳定,降低约 25%。

根据多孔性材料自身组成特性和实际使用湿度条件,不宜直接采用水泥混凝土冻融试验湿度条件评价抗冻耐久性,而以模拟混合料使用最不利湿度状况进行冻融试验,更加符合实际,评价更加合理,更具说服力和可靠性。由此可以指导多年冻土地区多孔半刚性基层设计、施工、使用和试验评定,保证设置此类基层的路面结构具有良好的排水性能,改善基层混合料湿度状况,可以显著提高基层和路面结构的抗冻耐久性,提高路面结构承载能力,延长路面使用寿命。

4 结语

针对多年冻土等特殊地区频繁剧烈的冻融循环作用,路面多孔性基层混合料设计中应重视抗冻融耐久性的试验评价,但试验湿度条件对多孔性基层混合料的抗冻性能评价结果有明显影响。不宜直接采用水泥混凝土的饱水冻融试验方法,而采用控制试件湿度尽量模拟基层实际使用过程中的最不利湿度状况进行冻融试验,以 10 次冻融循环耐冻系数作为评价指标,评价结果稳定,更符合实际使用情况。

参考文献:

- [1] 多年冻土地地区路面基层修筑技术研究报告[R]. 长安大学, 2004.
- [2] 刘忠根,等. 几种半刚性材料抗冻性能试验及结果分析[J]. 东北公路, 1998, (23).
- [3] 郝培文,等. 二灰钢渣材料收缩冻融性能研究[J]. 粉煤灰综合利用, 1996, (2).
- [4] 徐宇工,等. 多孔建筑材料冻融现象研究中孔隙水冻结点的确定方法[J]. 哈尔滨建筑大学学报, 2001, 34 (3).

Test Method for Durability of Frost Thaw Resistance of Porous Base Mixture

MA Biao, Wang Bing-gang

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: While the porous base mixture, such as the cement stabilized granular, is applied to the special area where the frost-thaw cycle is frequent and violent, for example the permafrost area, the frost resistance testing evaluation should be regarded during the design period. But there is still not have a uniform testing method to evaluate the frost resistance of the porous base mixture. By the frost-thaw cycle testing controlling the sample moisture to simulate the worst humidity condition of the base course during the actual employ process, the influences of the frost-thaw cycle times and the sample humidity on the frost resistance index of the base mixture are analyzed. It is pointed that the frost resistance index of the cement stabilized gravel gradually decreased with the cycle times increased, and primarily reached the steady state after about eight cycles in the process of the frost-thaw test simulating the worst humidity during the base mixture applying. The humidity evidently affects the evaluating results of the frost resistance of the porous base mixture, and the frost-thaw test while the sample is full-water is not feasible to directly using to evaluate. The results indicate that the frost-thaw testing method, controlling the sample moisture to simulate the worst humidity of the base mixture during the actual employ process, taking the frost resistance index of the tenth cycle which expressed by the flexural strength as the evaluating index, can well evaluate the frost resistance of the porous base mixture. The evaluating results are steady and more accord with the fact.

Key words: porous base mixture; cement stabilized gravel; humidity; durability of frost thaw resistance; test method