

基于尺寸效应的非标准试件抗拉强度影响规律研究

杨彦海¹, 陈冠良¹, 杨 野^{1,2}, 宋涵宇^{1,3}, 徐维哲¹

(1. 沈阳建筑大学交通与测绘工程学院, 辽宁 沈阳 110168; 2. 大连海事大学交通运输工程学院, 辽宁 大连 116026; 3. 杭州新东方进修学校, 浙江 杭州 310000)

摘 要 目的 研究不同试件尺寸对沥青混合料试件抗拉性能及冻融劈裂抗拉强度比的影响规律, 测量路面非标准芯样力学性能。方法 采用 AC-13、AC-16 两种级配类型、设计不同高度的试件进行常温劈裂及冻融劈裂试验, 并现场钻取路面芯样进行试验, 验证尺寸效应系数公式的准确性。结果 当试件高为 30~63.5 mm 时, 不同级配试件抗拉强度与冻融劈裂抗拉强度比均随着高度的增大而增大; 空隙率对不同高度试件抗拉强度平均值影响较小; 抗拉强度与冻融劈裂抗拉强度比尺寸效应系数均随着高度增大而减小; 路面钻取芯样试验结果转换后数值离散型较小。结论 沥青混合料试件具有尺寸效应, 笔者提出了尺寸效应系数转换公式, 并验证了小尺寸试件进行抗拉性能检测的可靠性, 可以实现标准试件与非标准试件之间的强度转换。

关键词 道路工程; 沥青路面; 尺寸效应系数; 冻融劈裂试验; 非标准试件; 线性回归分析

中图分类号 TU416.2 文献标志码 A

Study on the Tensile Strength of the Test Piece Based on Non-Standard Size Effect

YANG Yanhai¹, CHEN Guanliang¹, YANG Ye^{1,2}, SONG Hanyu^{1,3}, XU Weizhe¹

(1. School of Transportation and Geomatics Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang, China, 110168; 2. College of Transportation Engineering, Dalian Maritime University, Dalian, China, 116026; 3. Hangzhou New Oriental Training School, Hangzhou, China, 310000)

Abstract: In order to accurately measure the mechanical properties of pavement non-standard core samples, the effects of different test specimen sizes on the tensile properties of asphalt mixture and the tensile strength ratio of freeze-thaw splitting were studied. This paper uses AC-13, AC-16 two gradation types, design different height of test specimens for normal temperature cracking and

收稿日期: 2020-07-03

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(51908378); 辽宁省特聘教授项目(TPJS2017003); 辽宁省交通科技重点项目(202013)

作者简介: 杨彦海(1972—), 男, 教授, 博士, 主要从事路面材料及道路结构, 废旧资源循环再利用等方面研究。

freeze-thaw cracking tests, and on-site drilling core samples for testing and verify the accuracy of the size effect coefficient formula. The results show that, when the height of the specimens is between 30 mm and 63.5 mm, the ratio of tensile strength to freeze-thaw splitting tensile strength of the specimens with different levels of mixture increases with the increase of height; The void fraction has little effect on the average tensile strength of specimens with different heights; Both the effect coefficient and the freeze-thaw splitting tensile strength ratio size effect coefficient decrease with increasing height; The sample test results of road drilling have a smaller discrete value after conversion. It is proved that the asphalt mixture specimen has a size effect, and the reliability of the tensile performance test using a small specimen is verified, and the strength conversion between the standard specimen and the non-standard specimen is realized.

Key words: road engineering; asphalt pavement; size effect coefficient; freeze-thaw split test; non-standard test piece; linear regression analysis

现场取样是一种简便、直接、高效的道路性能检测方式。但实际钻取芯样高度往往达不到标准试件高度 63.5 mm。通过现有测量手段,无法准确测得其力学参数,减小模型尺寸后的试验结果与实际力学性能之间存在一定偏差,因此,对该差异性的研究有着重要的实际意义^[1]。

水泥混凝土力学性能最早测试中采用长×宽×高为 200 mm×275 mm×4 000 mm 大尺寸梁式试件,后逐渐将试件尺寸缩小为 150 mm×150 mm×525 mm 的棱柱体试件,特殊情况下采用截面小于或等于为 100 mm×100 mm 的梁型试件^[2-5]。V. M. Malhotra 提出不同尺寸圆柱体试件的抗拉强度差别较大,宽×高为 150 mm×300 mm 与 100 mm×200 mm 的圆柱体试件抗拉强度换算系数在 0.93 左右^[6]。近年来,国内较多学者^[7-9]对小尺寸试件与标准试件之间的关系开展了较为广泛的研究,对水泥混凝土试件尺寸进行不同程度的缩小,并得出部分尺寸非标准试件与标准试件的强度尺寸换算系数。

目前,试件尺寸特征研究主要集中于混凝土、岩土等材料,对不同尺寸沥青混合料的

力学特性研究甚少,且大多依靠理论研究和数值模拟,相应理论实验支撑也较缺乏^[10-12]。基于此,笔者通过合理化缩小试件尺寸后进行常温劈裂及冻融劈裂试验,研究试件空隙率、高度对不同级配沥青混合料抗拉强度及冻融劈裂抗拉强度比的影响,证明沥青混合料试件存在尺寸效应,并提出了尺寸效应系数转换公式,为实际工程中对小尺寸试件力学测量提供科学依据。

1 试验材料与试件制备

1.1 配合比设计

为了准确研究试件高对其力学强度的影响,笔者选取 AC-13、AC-16 两种级配沥青混合料,胶结料为辽河 90 号道路石油沥青以及 SBS 改性沥青,性能指标和集料级配范围符合现行《公路沥青路面施工技术规范》(JTG F40—2004)要求,其矿料合成级配详见表 1。

经大量研究可知,确定 AC-13(基质沥青、SBS 改性沥青)与 AC-16(基质沥青、SBS 改性沥青)最佳油石比分别为 4.6%、4.8%、4.4%、4.7%。笔者针对以上 4 种沥青混合料进行冻融劈裂、常温劈裂强度试验研究。

表 1 矿料合成级配

Table 1 Aggregate gradation composition

级配 类型	不同筛孔直径的通过率/%										
	19 mm	16 mm	13.2 mm	9.5 mm	4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	0.075 mm
AC-13	0	100	98.0	80.0	56.2	34.6	22.5	16.2	12.0	9.1	6.6
AC-16	100	97.3	86.6	69.3	44.6	30.7	19.7	14.1	10.3	7.6	5.4

1.2 试件制备及试验设计

采用旋转压实成型直径为100 mm、高分别为30 mm、40 mm、50 mm、63.5 mm的圆柱体试件。根据现行《公路工程沥青及沥青混合料试验规程》(JTG E20—2011)进行不同高度试件劈裂抗拉试验与冻融劈裂试验。劈裂抗拉试验中相同高度试件进行平行试验10次,试验温度设定为25℃,泊松比值选取0.25,加载速率为50 mm/min。

冻融劈裂试验中取同一高度试件不少于12个,并将试件随机分成两组,每组不少于6个。冻结温度为 $(-18\pm2)^{\circ}\text{C}$,保持 $(16\pm1)\text{h}$ 。将试件取出后,立即放入保温为 $(60\pm0.5)^{\circ}\text{C}$ 的恒温水槽中,保温24 h。融化恒温水槽温度为 $(25\pm0.5)^{\circ}\text{C}$,时间不少于2 h,加载速率为50 mm/min。

2 常温劈裂试验结果及讨论

2.1 试样破坏过程及强度试验值

为保证试验结果离散性小,并具有代表性,试验过程中,对试件的摆放严格对准中心线,避开试件外部多余不平整处。试样破坏情况见图1。

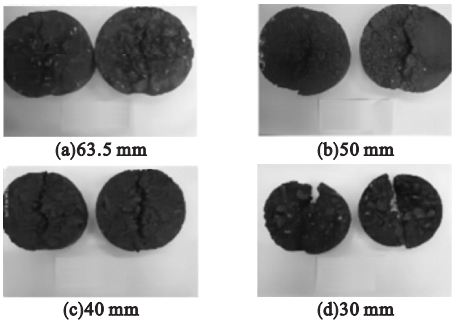


图1 试样破坏图
Fig.1 Sample failure diagram

由图1可知,试件破坏时没有明显的偏心或者端部破坏的不良现象,也没有发现有单侧破坏的现象^[13],表明试验结果具有代表性。随着加载过程进行,压力逐渐增加,试件与压头接触处出现细小裂纹,该裂纹可以“吸收”局部的塑性变形。裂纹沿着两端压头的方向向中间持续扩展,最终形成贯通的裂缝。

标准状态下的AC-13、AC-16试件劈裂抗拉强度结果见图2、图3所示。

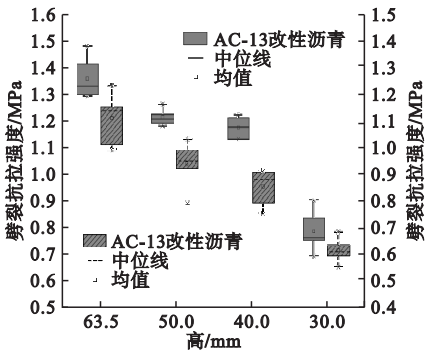


图2 AC-13 高度与劈裂抗拉强度
Fig.2 The relationship between height and splitting tensile strength for AC-13

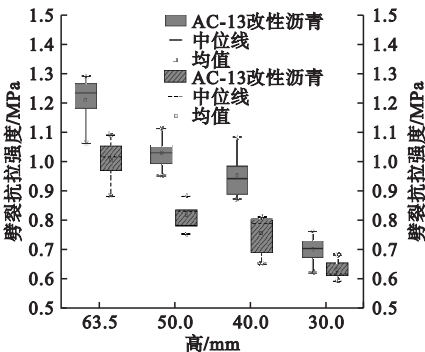


图3 AC-16 高与劈裂抗拉强度关系
Fig.3 The relationship between height and splitting tensile strength for AC-16

由图2、图3可知,当高径比不同时,抗拉强度随高径比增大而增大。同一级配、高径比状态下改性沥青混合料的抗拉强度高于基质沥青。为进一步分析高度对不同沥青混合料试件抗拉性能的影响,将4种沥青混合料强度随高度变化绘制曲线图(见图4)。

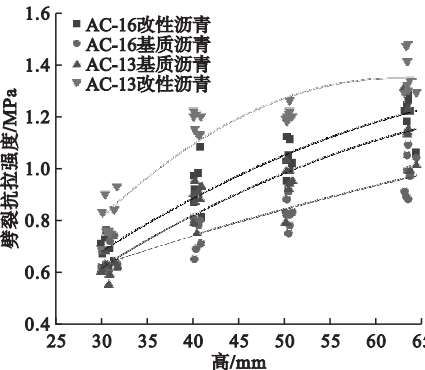


图4 试件高与劈裂抗拉强度关系
Fig.4 The relationship between specimen height and splitting tensile strength

由图4可知,AC-13 改性沥青强度明显高于其他三种沥青混合料,且抗拉强度随试件高度增加呈现上升趋势直至趋于平缓;AC-16 改性沥青强度次于 AC-13 改性沥青,不同级配沥青混合料试件强度,均随高度的减小整体呈现下降趋势。

对图4 中的四条试验曲线加以拟合,可以得出不同混合料强度与高度之间的经验公式。

AC-13 改性沥青:

$$y=0.107\chi^{0.618},R^2=0.93.$$

(1)

AC-13 基质沥青:

$$y=0.053\chi^{0.734},R^2=0.77.$$

(2)

AC-16 基质沥青:

$$y=0.079\chi^{0.608},R^2=0.94.$$

(3)

AC-16 改性沥青:

$$y=0.750\chi^{0.671},R^2=0.95.$$

(4)

拟合度 R^2 均在 0.77 以上,说明拟合效果良好。由公式可知,4 种混合料的强度随高度的增大而以幂函数规律增大。沥青混合料试件在强度测试中存在尺寸效应,主要原因:①沥青混合料试件高度降低,将增加试件离析、压实不足、空隙率偏大等概率,缺陷的存在会降低拉伸范围和平均应力速率,以及测得的抗拉强度;②沥青混合料试件高度降低过程中,试件的应力状态逐渐由三维受力状态逐渐转变为单轴应力状态,试件高度过小,无法完全释放张力,从而降低试件强度并造成破坏^[15]。

2.2 空隙率对抗拉强度的影响规律

空隙率与沥青混合料性能具有一定关联,且空隙率增大,沥青混合料的力学性能(模量、劈裂强度、抗剪强度)下降^[16]。将不同高度试件的空隙率与其强度值进行拟合,空隙率对劈裂强度的影响关系规律(见图5、图6)。

由图5、图6 可知,不同高度、不同沥青混合料试件均随着空隙率的增大,劈裂强度逐渐降低。将试件空隙率与其劈裂抗拉强度值进行线性回归分析,得到不同回归方程的斜率均在 -0.18 ~ -0.22 间波动,说明尺寸

效应不影响空隙率与劈裂强度的关联规律。

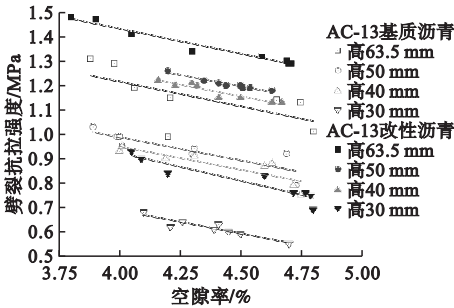


图5 AC-13 空隙率与劈裂抗拉强度
Fig. 5 The relationship between void fraction and strength for AC-13

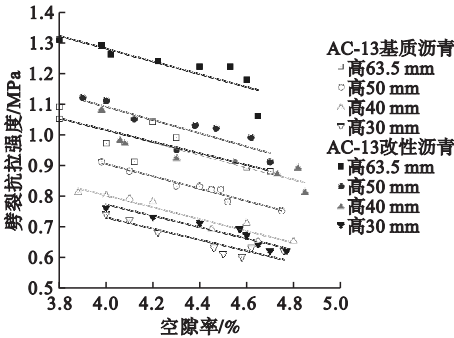


图6 AC-16 空隙率与劈裂抗拉强度关系

Fig. 6 The relationship between void fraction and splitting tensile strength for AC-16

2.3 空隙率与试件高对强度影响相关性分析

通过 SPSS 软件对试件高、空隙率、级配类型与劈裂抗拉强度进行相关性分析,分析结果见表2。

表2 试件高、空隙率及劈裂抗拉强度相关性

Table 2 The correlations of specimen height,porosity and splitting tensile strength

混合料类型	相关性	高/mm	空隙率/%	劈裂抗拉强度/MPa
AC-13	Pearson 相关性 显著性 (双侧)	0.682	-0.979	1
改性沥青		0.046	0.031	—
AC-13		0.516	-0.957	1
基质沥青		0.035	0.043	—
AC-16		0.543	-0.988	1
改性沥青		0.040	0.029	—
AC-16		0.528	-0.952	1
基质沥青		0.031	0.049	—

由表2 可知,不同级配状态下,试件高、空隙率与劈裂抗拉强度均存在良好的相关性;空隙率与沥青混合料抗拉强度的相关性

均在 $-0.988 \sim -0.952$ 之间波动,其显著性在 $0.029 \sim 0.049$ 之间波动,说明不同沥青混合料试件高、空隙率与抗拉强度之间均存在良好的相关性。

3 冻融劈裂试验结果及讨论

为减少空隙率对试件冻融劈裂强度的影响,本试验严格控制试件的空隙率在一定范围内波动。冻融劈裂抗拉强度比计算结果见图 7。

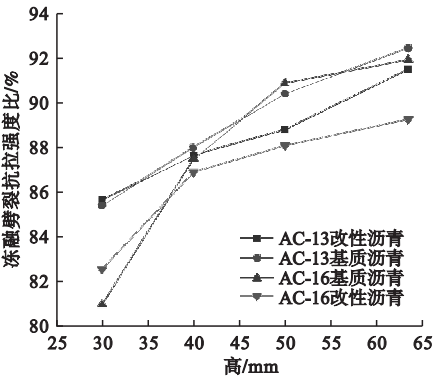


图 7 试件高与冻融劈裂抗拉强度比关系

Fig. 7 The relationship between ratio of specimen height and freeze-thaw splitting tensile strength

由图 7 可知,随着试件高的增加,冻融劈裂强度比呈上升趋势。当试件高大于 40 mm 时,冻融劈裂抗拉强度比下降趋势较为平缓,试件高对冻融劈裂抗拉强度比的影响较小;当试件高低于 40 mm 时,冻融劈裂抗拉强度比发生明显下降,且 AC-16 基质沥青混合料试件的变化最为明显。试件开裂是因为外界施加的应力超过了试件材料本身的最大抗弯拉应变强度,随着试件高度的减小,试件强度变低,抗低温开裂性能越来越低,证明了沥青混合料试件具有尺寸效应。

4 尺寸效应系数的定义及公式

4.1 强度尺寸效应系数的定义公式

为了修正非标准试件的强度值,提出强度尺寸效应系数的概念,并把强度尺寸效应系数 γ_s 定义为标准试件的抗拉强度 R_s 与非

标准的抗拉强度 R_i 之比,见式(5)。

$$\gamma_s = \frac{R_s}{R_i} \tag{5}$$

试件为非标准尺寸试件,可对非标准试件的抗拉强度值 R_i 进行测量,再乘以相应的尺寸效应系数 γ_s ,按式(6)换算成标准试件的强度。

$$R_s = R_i \gamma_s \tag{6}$$

下面着重阐述计算 γ_s 的经验公式,按式(5)算出 4 种混合料不同高度对应的尺寸效应系数(见表 3)。

表 3 常温劈裂试验抗拉强度尺寸效应系数
Table 3 The tensile strength size effect coefficient for normal temperature splitting test

混合料类型	高/mm	γ_s
AC-13 基质沥青	63.5	1.00
	50	1.18
	40	1.30
	30	1.82
AC-13 改性沥青	63.5	1.00
	50	1.12
	40	1.16
	30	1.73
AC-16 改性沥青	63.5	1.00
	50	1.18
	40	1.27
	30	1.74
AC-16 基质沥青	63.5	1.00
	50	1.18
	40	1.27
	30	1.74

由表 3 可知,不同高度、不同级配类型的试件尺寸效应系数有着一定的差别。为更加准确、全面地将各类常见非标准道路芯样的强度转化为标准试件所对应的强度,笔者将尺寸效应系数进行修正。将同一级配类型,不同高度试件的尺寸效应系数进行拟合,拟合曲线见图 8。

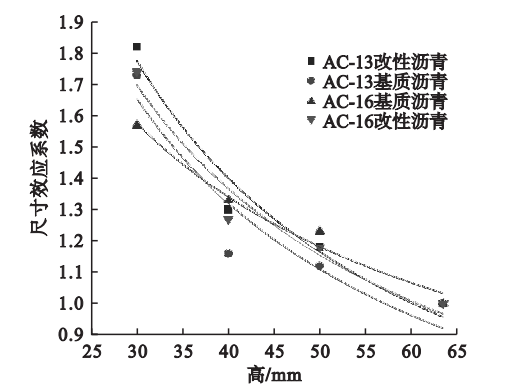


图8 尺寸效应系数与试件高度关系

Fig. 8 The relationship between size effect coefficient and specimen height

由图8可知,不同沥青混合料的尺寸效应系数非线性增加,且增量不同。同一直径高度不同的沥青混合料试件,尺寸效应系数均随着高度的增加而减小。对图8中曲线进行拟合,得到式(7)~式(10)所示的不同混合料尺寸效应系数的修正公式。

AC-13 改性沥青:

$\gamma_s = 16.994h^{-0.694}, R^2 = 0.86.$ (7)

AC-13 基质沥青:

$\gamma_s = 24.283h^{-0.774}, R^2 = 0.96.$ (8)

AC-16 改性沥青:

$\gamma_s = 18.711h^{-0.71}, R^2 = 0.95.$ (9)

AC-16 基质沥青:

$\gamma_s = 11.323h^{-0.578}, R^2 = 0.97.$ (10)

以上公式采用幂函数进行拟合,拟合度均在0.88以上,说明拟合效果良好。即在实体工程中,可利用上述公式得出不同高度、不同级配的沥青混合料所对应的尺寸效应系数 γ_s ,利用式(6)将测得的非标试件强度转化为标准试件强度。

4.2 冻融劈裂强度比尺寸效应系数

在计算非标准试件冻融劈裂抗拉强度比时,将冻融劈裂抗拉强度比尺寸效应系数定义为 γ_D ,标准试件冻融劈裂抗拉强度比为 R_D ,非标准试件冻融劈裂抗拉强度比为 R_d ,其关系为

$$\gamma_D = \frac{R_D}{R_d}. \tag{11}$$

通过相关性分析,分别求出同一级配类型,不同高度状态下非标准试件冻融劈裂抗拉强度比与标准试件冻融劈裂抗拉强度比的尺寸效应系数(见表4)。

表4 冻融劈裂抗拉强度比尺寸效应系数

Table 4 The correlation coefficients of freeze-thaw splitting tensile strength ratio

混合料类型	高/mm	γ_D
AC-13 基质沥青	63.5	1.00
	50	1.03
	40	1.04
	30	1.07
AC-13 改性沥青	63.5	1.00
	50	1.01
	40	1.05
	30	1.14
AC-16 改性沥青	63.5	1.00
	50	1.02
	40	1.05
	30	1.08
AC-16 基质沥青	63.5	1.00
	50	1.01
	40	1.02
	30	1.08

由表4可知,同一级配,试件强度比相关系数随着高度的减小呈非线性增加。对不同级配的相关系数进行拟合,得出不同级配条件下冻融劈裂抗拉强度比尺寸效应系数的修正公式。

AC-13 基质沥青:

$\gamma_D = 1.434h^{-0.086}, R^2 = 0.97.$ (12)

AC-13 改性沥青:

$\gamma_D = 1.542h^{-0.105}, R^2 = 0.98.$ (13)

AC-16 基质沥青:

$\gamma_D = 2.052h^{-0.177}, R^2 = 0.90.$ (14)

AC-16 改性沥青:

$\gamma_D = 1.497h^{-0.1}, R^2 = 0.85.$ (15)

以上公式采用幂函数进行拟合, R^2 均在0.85以上,说明拟合效果良好。

5 实体芯样性能检测与分析

笔者在辽宁国省干线一级公路上分别选用 AC-13 基质沥青、AC-13 改性沥青、AC-16 基质沥青、AC-16 改性沥青等 4 种混合料路段进行现场钻芯取样,将切割后试件进行劈

裂抗拉试验。通过对实际芯样的评价,验证笔者所提出的尺寸效应系数公式的可行性、可靠性。利用式(7)~式(10)计算不同高度状态下的尺寸效应系数,芯样高度及试验计算结果见表 5。

表 5 芯样常温劈裂抗拉强度试验结果

Table 5 The test results of splitting tensile strength of core sample at room temperature

混合料类型	高/mm	实测劈裂抗拉强度值/MPa	尺寸效应系数	转化后标准强度值/MPa	混合料类型	高/mm	实测劈裂抗拉强度值/MPa	尺寸效应系数	转化后标准强度值/MPa
AC-13 基质沥青	40.1	0.86	1.39	1.20	AC-13 改性沥青	40.2	1.03	1.31	1.35
	40.1	0.80	1.39	1.12		40.0	0.98	1.31	1.29
	37.9	0.79	1.46	1.16		38.1	1.03	1.36	1.40
	38.3	0.68	1.45	0.98		38.1	0.98	1.36	1.33
	35.2	0.79	1.54	1.22		35.2	0.93	1.44	1.34
	34.8	0.74	1.56	1.16		35.1	0.92	1.44	1.32
	33.2	0.57	1.61	0.92		33.3	0.86	1.49	1.28
	33.4	0.64	1.61	1.03		33.1	0.82	1.50	1.23
	30.5	0.61	1.72	1.06		30.2	0.83	1.60	1.32
	30.3	0.55	1.73	0.96		30.1	0.74	1.60	1.19
AC-16 基质沥青	45.9	0.72	1.24	0.89	AC-16 改性沥青	43.6	0.86	1.28	1.11
	45.3	0.69	1.25	0.86		43.0	0.89	1.30	1.16
	40.2	0.69	1.34	0.93		40.5	0.83	1.35	1.12
	40.0	0.66	1.34	0.89		40.2	0.80	1.36	1.09
	39.7	0.69	1.35	0.92		40.1	0.85	1.36	1.15
	35.4	0.67	1.44	0.96		35.2	0.82	1.49	1.23
	35.2	0.63	1.45	0.91		35.1	0.77	1.50	1.16
	30.6	0.62	1.57	0.97		35.2	0.73	1.49	1.09
	30.5	0.54	1.57	0.85		30.2	0.63	1.66	1.04
	30.3	0.58	1.58	0.91		30.1	0.74	1.67	1.23

由表 5 可知,随着试件高的减小,试件所承受的最大荷载值逐渐减小,实测抗拉强度值呈减小趋势,转化后的标准强度值均高于实测强度值,尺寸效应系数逐渐减小。4 种沥青混合料转化后的标准强度值平均值分别为 1.1、1.3、0.9、1.14。标准差分别为 0.08、0.06、0.04、0.06。变异系数为 0.07、0.06、0.04、0.06,说明该组数据围绕一数值上下小区间波动,证明转化后的强度值具有准确性。

将芯样随机分成两组,A 组为冻融试件组,B 组为未冻融试件组,进行冻融劈裂试验。根据式(12)~式(15)计算不同高度状态下的抗拉强度比尺寸效应系数,计算结果见表 6。

由表 6 可知,未冻融试件组的强度均大

于冻融试件组强度,随着试件高的减小,实测抗拉强度值逐渐减小,尺寸效应系数逐渐增大,计算试件的实测劈裂抗拉强度比,按式(11)将非标准试件强度比换算成标准试件强度比,得出随着试件高度的增大,实测抗拉强度比值呈上升趋势且变化趋势较大,转化后的标准强度比值均高于实测强度比。4 种沥青混合料转化后的标准强度值平均值分别为 90.01、90.85、90.73、89.49。标准差分别为 1.41、1.16、1.07、1.09。变异系数为 0.02、0.012、0.01、0.01,说明该组数据围绕一数值上下小区间波动,验证了笔者提出的尺寸效应系数公式的准确性,实现了不同高度非标准试件的力学转化。

表6 芯样冻融劈裂抗拉强度试验结果

Table 6 The test results of tensile strength of core sample during freeze-thaw splitting

混合料类型	编号	高度 均值/mm	实测劈裂抗拉强度 平均值/MPa	抗拉 强度比	尺寸效应 系数	转化后标准抗拉 强度比/MPa
AC-13 基质沥青	A-1	40.1	0.78	89.16	1.04	93.10
	B-1	40.1	0.87			
	A-2	35.2	0.67	85.38	1.06	90.18
	B-2	35.2	0.78			
	A-3	30.1	0.50	80.41	1.07	86.06
	B-3	30.0	0.62			
AC-13 改性沥青	A-1	40.2	0.91	89.71	1.05	93.98
	B-1	40.1	1.01			
	A-2	35.1	0.78	83.70	1.06	88.92
	B-2	35.1	0.93			
	A-3	30.2	0.67	83.18	1.08	89.80
	B-3	30.1	0.80			
AC-16 基质沥青	A-1	43.2	0.67	85.62	1.05	90.21
	B-1	43.3	0.78			
	A-2	37.2	0.56	85.24	1.08	92.22
	B-2	37.1	0.65			
	A-3	30.1	0.53	73.28	1.12	82.26
	B-3	30.2	0.65			
AC-16 改性沥青	A-1	43.1	0.80	88.17	1.03	90.63
	B-1	43.1	0.91			
	A-2	37.1	0.72	81.74	1.04	85.29
	B-2	37.2	0.87			
	A-3	30.1	0.59	82.11	1.07	87.49
	B-3	30.1	0.72			

6 结 论

- (1) 当沥青混合料试件高在 30 ~ 63.5 mm 时,不同沥青混合料试件劈裂抗拉强度均随着高径比的增大而增大。
- (2) 尺寸效应不影响空隙率与劈裂抗拉强度的关联规律,当空隙率在一定范围内时,对不同高度试件抗拉强度平均值影响较小。
- (3) 经过冻融试件组强度均小于未经冻融试件组强度,且两者强度差值随着试件高度的减小而增大,当试件高在 30 ~ 63.5 mm 内波动时,试件高与冻融劈裂抗拉强度比呈

- 正相关,当试件高小于 40 mm 时,强度比下降趋势更为显著且四种级配状态下整体趋势相同。
- (4) 提出了尺寸效应系数的概念,同一直径、同一沥青混合料类型,不同高度的试件,强度尺寸效应系数随着高度的增加而减小;得到四种沥青混合料劈裂抗拉强度与冻融抗拉强度比的尺寸效应系数及修正公式,并通过实际钻取芯样验证其可靠性。
- (5) 根据沥青混合料强度尺寸效应,不同高度的小尺寸试件强度和强度比可以转化为标准试件强度及强度比,解决了标准试件

与非标准试件强度换算系数适用范围单一的问题,实现了实际工程中对小尺寸试件的力学测量。

参考文献

- [1] 杜修力,金浏,李冬.混凝土与混凝土结构尺寸效应述评(I):材料层次[J].土木工程学报,2017(9):28-45.
(DU Xiuli, JIN Liu, LI Dong. A state-of-the-art review on the size effect of concretes and concrete structures (I): concrete materials [J]. China civil engineering journal, 2017(9): 28-45.)
- [2] JONATHAN Q, SOREN B S, LUISE T K. Size effect studies in catalysis: a simple surfactant-free synthesis of sub 3 nm Pd nanocatalysts supported on carbon [J]. RSC advances, 2018, 8:18-35.
- [3] ELGHAZEL A, TAKTAK R, BOUAZIZ J. Determination of elastic modulus, tensile strength and fracture toughness of bioceramics using the flattened Brazilian disc specimen: analytical and numerical results [J]. Ceramics international, 2015, 41(9): 12340-12348.
- [4] 殷帅峰,程志恒,孙福龙.基于断面尺寸效应的矩形巷道围岩稳定性研究[J].煤炭工程, 2019, 51(4): 62-67.
(YIN Shuaifeng, CHENG Zhiheng, SUN Fulong. Study of surrounding rock stability based on the width-height ratio of rectangular roadway [J]. Coal engineering, 2019, 51(4): 62-67.)
- [5] 林露.活性粉末混凝土芯样的力学性能及其尺寸效应的试验研究[D].北京:北京交通大学, 2014.
(LIN Lu. Experimental study on mechanical properties and size effect of reactive powder concrete core samples [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.)
- [6] 潘丽君,陈伟东,江晨晖.基于小尺寸非标准试件的混凝土强度评定[J].新型建筑材料, 2017, 44(6): 23-27.
(PAN Lijun, CHEN Weidong, JIANG Chenhui. Study on concrete strength assessment based on non-standard small size specimens [J]. New building materials, 2017, 44(6): 23-27.)
- [7] 苏捷,史才军,鲁飞扬,等.含粗骨料超高性能混凝土弯拉强度尺寸效应[J].硅酸盐学报, 2022, 50(2): 438-444.
(SU Jie, SHI Caijun, LU Feiyang, et al. Scale effect of coarse aggregate content on flexural tensile strength of ultra-high performance concrete [J]. Journal of the Chinese ceramic society, 2022, 50(2): 438-444.)
- [8] 金浏,赵瑞,杜修力.混凝土抗压强度尺寸效应的神经网络预测模型[J].北京工业大学学报, 2021, 47(3): 260-268.
(JIN Liu, ZHAO Rui, DU Xiuli. Neural network prediction model of concrete compressive strength size effect [J]. Journal of Beijing university of technology, 2021, 47(3): 260-268.)
- [9] 付新新,张海涛.预防性养护阶段的沥青路面性能力学分析[J].森林工程, 2016, 32(5): 76-80.
(FU Xinxin, ZHANG Haitao. Mechanical analysis of asphalt pavement performance during preventive maintenance stage [J]. Forest engineering, 2016, 32(5): 76-80.)
- [10] 易富,葛丽娜,赵琪琪.基于颗粒离散元的沥青混合料尺寸效应及影响因素[J].公路交通科技, 2020, 37(5): 1-10.
(YI Fu, GE Li'na, ZHAO Qiqi. Study on size effect and influence factors of asphalt mixture based on particle discrete element [J]. Journal of highway and transportation research and development, 2020, 37(5): 1-10.)
- [11] 林军,沙鹏,伍法权,等.基于尺寸效应的类岩石材料点荷载指标与单轴抗压强度对应关系研究[J].长江科学院院报, 2018, 35(3): 34-44.
(LIN Jun, SHA Peng, WU Faquan, et al. Research on the correlation between point load index of rock-like materials and uniaxial compression strength based on size effect [J]. Journal of yangtze river scientific research institute, 2018, 35(3): 34-44.)
- [12] 王学军,张向东,李军,等.沥青混凝土冻融断裂特性与损伤机理研究[J].沈阳建筑大学学报(自然科学版), 2021, 37(3): 518-527.
(WANG Xuejun, ZHANG Xiangdong, LI Jun, et al. Study on freeze-thaw fracture characteristics and damage mechanism of asphalt concrete [J]. Journal of Shenyang jianzhu university (natural science), 2021, 37(3): 518-527.)
- [13] 杨荣周,徐颖,陈佩圆,等.SHPB劈裂试验下橡胶水泥胶砂的动态力学、能量特性及破坏机理试验研究[J].材料导报, 2021, 35(10): 10062-10072.
(YANG Rongzhou, XU Ying, CHEN Peiyuan, et al. Experimental study on dynamic mechanics, energy characteristics, and failure mechanism of rubber cement mortar under SHPB splitting test [J]. Materials reports, 2021, 35(10): 10062-10072.)
- [14] 王立成,邢立坤,宋玉普.混凝土劈裂抗拉强度和弯曲抗压强度尺寸效应的细观数值分析[J].工程力学, 2014(10): 69-76.
(WANG Licheng, XING Likun, SONG Yupu. Mesoscale modeling on size effect of splitting tensile strength and flexural compressive strength of concrete [J]. Engineering mechanics, 2014(10): 69-76.)
- (责任编辑:刘春光 英文审校:范丽婷)