

多孔混凝土物理力学特性研究

郝静华

(唐山市交通局, 河北 唐山 063000)

摘要: 文章研究多孔混凝土的强度与模量等力学性能, 空隙率与渗透系数、抗冲刷性等物理性能。进行多孔混凝土的疲劳试验研究, 建立其疲劳方程, 得出弯拉强度结构系数。通过试验, 主要研究了多孔混凝土抗压强度及劈裂强度的发展规律、抗压强度和弯拉强度之间的幂指数关系、抗压强度和劈裂强度之间的幂指数关系、弯拉弹性模量与弯拉强度之间的幂指数关系以及抗压弹性模量与轴心抗压强度之间的幂指数关系。

关键词: 多孔混凝土; 物理力学性能; 强度; 疲劳试验

中图分类号: U416.2

文献标识码: B

1 强度

同普通混凝土一样, 强度是多孔混凝土硬化后的主要力学性质。只有在强度保证的基础上, 才能继续研究其他的物理性质。通常结构设计采用弯拉强度作为设计指标, 配合比设计时采用抗压强度作为指标。此外, 施工质量检测时, 通常采取钻芯取样的方法, 对于钻取的芯样, 有时需进行劈裂试验以评价其强度。

1.1 组成结构与强度理论

混合料的组成结构根据集料的级配一般有 3 种类型, 即骨架空隙结构、悬浮密实结构及骨架密实结构, 多孔混凝土属于骨架空隙结构。这种结构采用开级配, 粗集料较多, 靠彼此之间较大的内摩阻力和水泥胶浆的粘结力形成强度。细集料较少或没有, 不足以填充空隙, 从而形成较大的空隙率。

多孔混凝土的材料组成是其强度形成的内因, 这主要指组成材料的质量及其在混凝土中的数量。即多孔混凝土的强度取决于内部起胶结作用的水泥石性质、集料特性和浆集比等。因此, 在实践中可以设法建立多孔混凝土强度与水泥用量和水灰比的经验关系, 通过水泥用量和水灰比来控制或保证达到要求的强度。集料级配良好, 搭配合理, 相互之间形成嵌挤作用, 也可显著提高多孔混凝土的整体强度。

1.2 强度发展规律

通过试验, 研究多孔混凝土抗压强度及劈裂强度随龄期的发展规律, 并得出相关关系式。与普通混凝土相比, 多孔混凝土早期强度增长较快, 符合线性规律; 后期强度发展较慢, 符合由龄期推算强度的对数增长规

律。两种成型方法的多孔混凝土 7 天抗压强度约是 28 天强度的 75%~90%, 90 天抗压强度比 28 天强度平均约增长 16%; 对于振动成型的多孔混凝土 90 天龄期的劈裂强度较其 28 天强度平均增长约 20%, 对于免振捣成型多孔混凝土平均增长约 16%。

(1) 抗压强度随龄期的增长
振动成型

$$f_{c,28} = 0.9798 \cdot f_{c,7} + 1.2881 \quad (R = 0.9640)$$

$$f_{c,90} = 6.1781 \cdot \ln f_{c,7} - 2.5947 \quad (R = 0.9263)$$

免振捣成型

$$f'_{c,28} = 1.0956 \cdot f'_{c,7} + 0.4742 \quad (R = 0.9406)$$

$$f'_{c,90} = 6.3351 \cdot \ln f'_{c,7} - 8.2188 \quad (R = 0.8972)$$

(2) 劈裂强度随龄期的增长
振动成型

$$f_{p,90} = 1.2545 \cdot \ln f_{p,28} + 1.2467 \quad (R = 0.9308)$$

免振捣成型

$$f'_{p,90} = 0.9858 \cdot \ln f'_{p,28} + 1.2603 \quad (R = 0.8720)$$

抗压强度大时, 弯拉强度和劈裂强度也大, 反之亦然, 但弯拉强度和劈裂强度较抗压强度低得多。本研究通过大量的试验发现三种强度之间存在良好的相关性关系。

多孔混凝土抗压强度和弯拉强度之间存在相关性良好的幂指数关系

振动成型

作者简介: 郝静华 (1976-), 男, 河北滦平人, 工程师, 从事公路工程建设与管理工。

$$f_c = 2.9977 f_r^{1.2514} \quad (R = 0.9367)$$

免振捣成型

$$f_c' = 3.153 f_r'^{1.4351} \quad (R = 0.8812)$$

多孔混凝土的压折比较小,当抗压强度在 3~10MPa 间时,压折比在 2.8~4 之间,较之普通混凝土的 7~10 小得多,即多孔混凝土相对于抗压强度有好的抗弯拉性能。且压折比随着抗压强度的增大而增大,即

振动成型

$$k = 0.1491 f_c + 2.501 \quad (R = 0.7618)$$

免振捣成型

$$k' = 0.1898 f_c' + 2.0118 \quad (R = 0.7514)$$

多孔混凝土劈裂强度与抗压强度之间也存在相关性较好的幂指数关系

振动成型

$$f_{p,28} = 0.4372 f_{c,28}^{0.4538} \quad (R = 0.8587)$$

免振捣成型

$$f_{p,28}' = 0.3091 f_{c,28}'^{0.6785} \quad (R = 0.8333)$$

1.3 强度与空隙率的关系

多孔混凝土的强度靠水泥胶浆的粘结力和粗集料间的摩阻力形成,集料与集料之间近于点接触。空隙率越大,其接触点越少,相应地强度越低,即空隙率和强度是此消彼长的关系,其 7 天抗压强度与有效空隙率和全空隙率的相关关系如下所示(见图 1)。

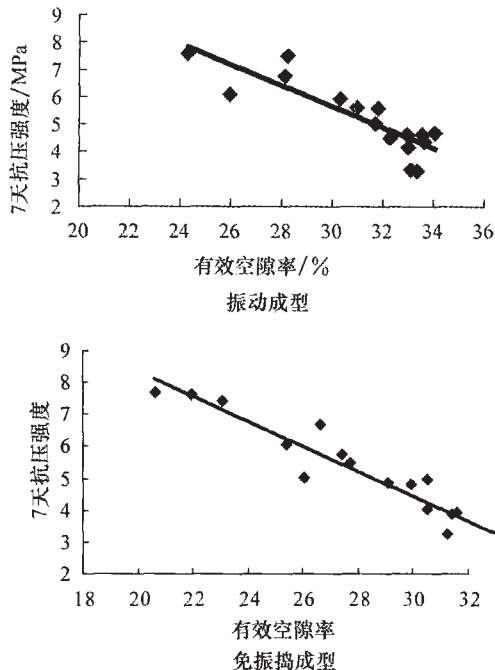


图 1 多孔混凝土 7 天抗压强度与有效空隙率的关系

振动成型

$$f_{c,7} = -0.3806 n_e + 17.058 \quad (R = 0.8631)$$

免振捣成型

$$f_{c,7}' = -0.3929 n_e' + 17.23 \quad (R = 0.8964)$$

2 应力-应变特性

多孔混凝土是一种多相复合材料,其应力-应变特性是其各组成相,即集料和水泥石等应力-应变特性的组合。由于集料和水泥石的应力-应变关系呈非线性,且弹性模量值相差很大,促使多孔混凝土的应力-应变曲线呈现非线性。

2.1 弯拉弹性模量

通过小梁弯拉弹性模量试验,得出多孔混凝土弯拉弹性模量与弯拉强度之间存在相关性较好的幂指数关系(见图 2)。

振动成型

$$E_b = 1.1858 f_r^{0.4649} \quad (R = 0.8486)$$

免振捣成型

$$E_b' = 1.1736 f_r'^{0.4914} \quad (R = 0.8078)$$

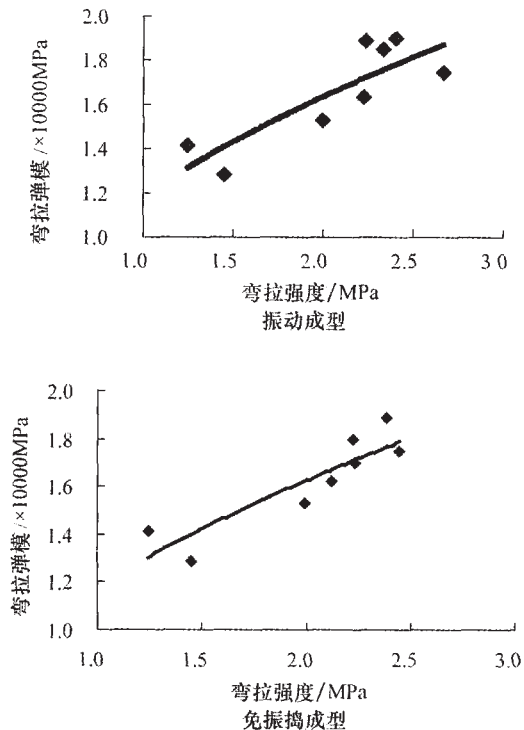


图 2 多孔混凝土弯拉弹性模量与弯拉强度的关系

并据此得出多孔混凝土弯拉弹性模量与弯拉强度的对应数值关系,可用于路面设计。

2.2 抗压弹性模量

通过棱柱体抗压弹性模量试验, 得出多孔混凝土抗压弹性模量与轴心抗压强度之间存在相关性良好的幂指数关系(见图3)。

振动成型

$$E_c = 0.6852 f_c^{0.6231} \quad (R = 0.9918)$$

免振捣成型

$$E_c = 0.1442 f_c^{1.2714} \quad (R = 0.8869)$$

并据此推出多孔混凝土抗压弹性模量与轴心抗压强度的对应数值关系, 可直接用于路面设计。

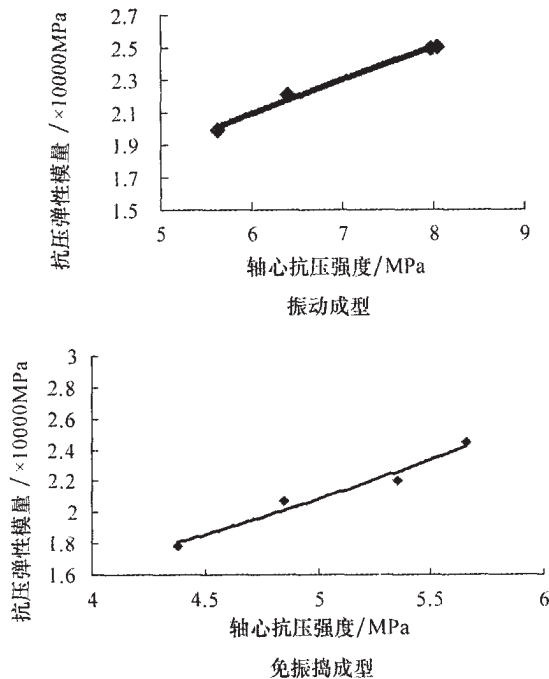


图3 多孔混凝土抗压弹性模量与轴心抗压强度的关系

3 收缩特性

本文通过室内试验, 选取不同级配的多孔混凝土, 采用振动法成

型试件, 研究分析其温度收缩系数随温度变化的特性, 从而为多孔混凝土基层温度应力的计算提供依据,

3.1 温度收缩

通过传感器法温缩试验(见图4)研究与机理分析, 得出多孔混凝土的温缩系数在-25~5℃温度区间内基本不变, 在5~15℃区间内有所下降, 之后在15~25℃区间有所增大(见图5)。从整个温度区间情况来看, 其温缩系数介于3~10 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ 之间, 数值相差不大, 且较之常见半刚性基层材料的温缩系数小。对于不同级配, 整个区间的温缩系数取其平均值, 为6.5 $\mu\text{m}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ 。

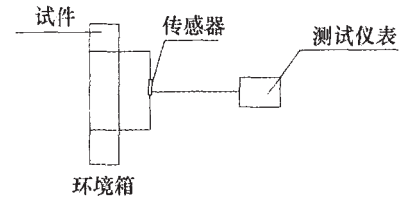


图4 温度收缩系数测试系统结构示意图

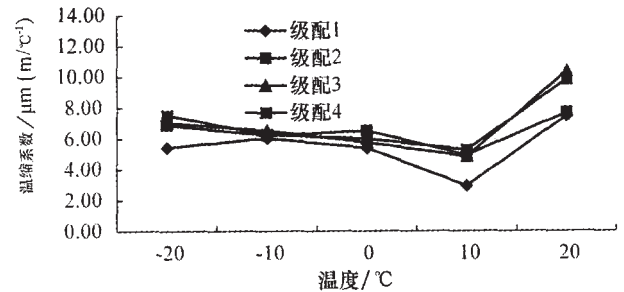


图5 振动成型多孔混凝土温缩系数曲线

3.2 干燥收缩

通过干缩试验研究, 得出多孔混凝土各龄期的干缩系数, 其干缩量在14d左右完成50%, 28天之内完成大部分, 90天后基本稳定(见图6)。与部分半刚性基层材料比较, 多孔混凝土的干燥收缩小得多, 因此其抗裂性能较好。

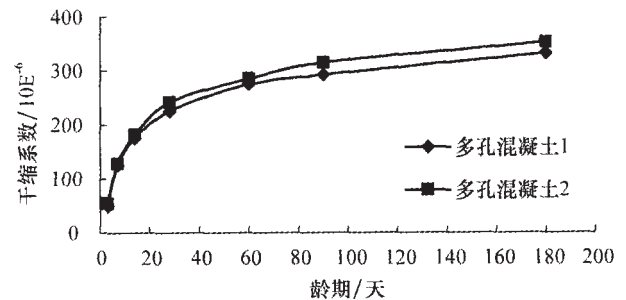


图6 多孔混凝土干缩试验结果

4 抗冻性能

采用快冻法对4种级配的振动成型多孔混凝土进行不同循环次数的抗冻性试验, 以耐冻系数 K_f 作为其抗冻性的评价指标。试验结果(见图7)表明, 级配2和级配3的抗冻性明显优于级配1和级配4。前者冻融循环100次之后耐冻系数达70%以上, 后者冻融循环50次之后耐冻系数为40%以上, 且耐冻系数分别随着冻融循环次数的增加而降低。

此外, 采用快冻法对同一种配比免振捣成型多孔混凝土进行不同循环次数的抗冻性试验, 以耐冻系数 K_f 作为其抗冻性的评价指标。试验结果(见图8)表明, 多孔混凝土的耐冻系数随着冻融循环次数的增加而降低。当冻融循环为75次时, 耐冻系数为64.13%, 而当冻融

循环为 100 次时,耐冻系数为 32.56%。

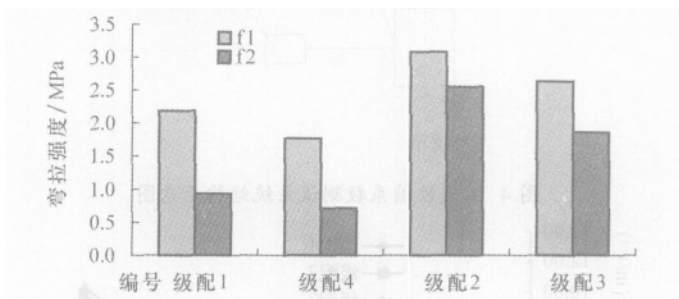


图 7 振动成型多孔混凝土抗冻试验结果

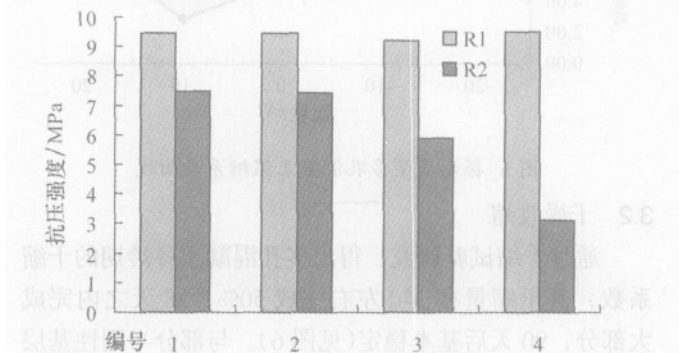


图 8 免振捣成型多孔混凝土抗冻试验结果

5 疲劳性能

本疲劳试验在长安大学 MTS850 机上进行,采用应力控制模式,三分点加载方式,两支点距离 15cm,加载波形统一采用正弦波,以基本接近于路面上行车荷载作用的实际波形。加载频率当应力水平 $S < 0.85$ 时为 15Hz, $S \geq 0.85$ 时为 1Hz,加载时间间隔为零。

疲劳试验的低高应力比可参考汽车最小和最大质量比例并考虑温度应力的大小取值。本次疲劳试验中,采用 0.08、0.20 和 0.50 三种低高应力比。

疲劳方程的建立

对疲劳试验结果仅需分析,可知多孔混凝土疲劳寿命及等效疲劳寿命均服从双参数威布尔分布,即

$$p = F(\bar{N}) = 1 - \exp\left(-\frac{\bar{N}^m}{t_0}\right), \bar{N} \geq 1, m, t_0 > 0$$

或变形为

$$\ln \ln \frac{1}{1 - F(\bar{N})} = m \ln \bar{N} - \ln t_0$$

据此模型建立了多孔混凝土不同失效概率下两种形式的双对数疲劳方程,其回归系数及相关系数如表 1 和表 2 所示。

表 1 不同失效概率下的疲劳方程回归系数

失效概率	回归系数 a	回归系数 b	相关系数 R
0.50	1.0216	0.0460	0.98230
0.45	1.0144	0.0465	0.98311
0.40	1.0065	0.0471	0.98321
0.35	1.0032	0.0475	0.98224
0.30	1.0148	0.0480	0.97995
0.25	1.0294	0.0483	0.97550
0.20	1.0486	0.0484	0.96773
0.15	1.0747	0.0482	0.95399
0.10	1.1148	0.0471	0.92785
0.05	1.1866	0.0436	0.86706

表 2 考虑等效应力水平不同失效概率下的疲劳方程回归系数

失效概率	回归系数 a	回归系数 b	相关系数 R
0.50	1.0493	0.0486	0.96747
0.45	1.0452	0.0498	0.96783
0.40	1.0394	0.0510	0.96706
0.35	1.0320	0.0522	0.96473
0.30	1.0216	0.0533	0.96005
0.25	1.0074	0.0544	0.95163
0.20	0.9867	0.0552	0.93680
0.15	0.9559	0.0553	0.90995
0.10	0.9068	0.0536	0.85674
0.05	0.8213	0.0458	0.72794

其中失效概率为 50% 时的疲劳方程为

$$\lg S = \lg 1.0216 - 0.046(1 - R) \lg N$$

或

$$\lg \bar{S} = \lg 1.0493 - 0.0486 \lg N$$

6 结语

通过试验,对多孔混凝土的物理力学性能进行分析,得出了抗压强度和弯拉强度、劈裂强度之间存在相关性良好得幂指数关系。

参考文献:

- [1] 谢洪斌,姚祖康.沥青稳定碎石排水基层的透水能力[J].中国公路学报,2000.
- [2] 郑木莲.多孔混凝土排水基层研究[D].西安:长安大学博士学位论文,2004.
- [3] 凌天清,梁富权.水泥稳定土抗弯拉强度结构系数的研究[J].中国公路学报,1992,5(3):28-33.
- [4] 石小平,等.水泥混凝土的弯曲疲劳特性[J].土木工程学报,1990,23(3):11-22.
- [5] 姚祖康,主编.路面(第二版)[M].北京:人民交通出版社,1999.