

文章编号:1671-8879(2006)04-0020-06

多孔混凝土的强度特性

郑木莲^{1,2}, 陈拴发¹, 王崇涛^{1,3}

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 同济大学 道路与机场工程系, 上海 200092; 3. 中交第一公路勘察设计研究院, 陕西 西安 710075)

摘 要: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,进行多孔混凝土基层路面结构设计、材料组成设计以及施工质量检测时,均需采用各种强度指标进行评价。多孔混凝土属于骨架空隙结构,其强度取决于内部起胶结作用的水泥石性质、集料特性及浆集比等。试验结果表明:多孔混凝土抗压强度早期增长较快,符合线性关系,后期强度发展较慢,符合对数关系;长龄期劈裂强度与 28 d 劈裂强度之间符合对数关系;42.5 级水泥多孔混凝土与 32.5 级水泥多孔混凝土的抗压强度之间存在良好的线性相关性。此外,多孔混凝土弯拉强度与抗压强度及劈裂强度与抗压强度之间均存在相关性良好的幂指数关系,并据此得出相应的对应关系表,便于工程实际应用。

关键词:道路工程; 多孔混凝土; 抗压强度; 劈裂强度; 弯拉强度

中图分类号:U414.18

文献标识码:A

Strength character of porous concrete

ZHENG Mu-lian^{1,2}, CHEN Shuan-fa¹, WANG Chong-tao^{1,3}

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. Department of Road and Airport Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 3. The First Highway Survey and Design Institute of China, Xi'an 710075, Shaanxi, China)

Abstract: Like popular concrete, strength is the main mechanical character of porous concrete, and various strength targets are used when carrying out the structure design of pavement with porous concrete base, material mix ratio design and construction quality detection. Porous concrete belongs to framework-pore structure, and the strength lies on the characters of cement stone, aggregate and binder aggregate ratio etc. It is drawn that early compression strength of porous concrete increases more quickly and accords with liner relationship, while the later strength increases more slowly and accords with logarithmic relationship. Split strength between long-age and 28 d age accords with logarithmic relationship, and compression strength of porous concrete with 42.5 cement and 32.5 cement accords with good liner relationship. The good exponential relationships between flexural tensile strength and compression strength, split strength and compression strength are got. Based on this, the corresponding relationship table is deduced, which can be used in practical projects. 11 tabs, 10 figs, 8 refs.

Key words: road engineering; porous concrete; compression strength; spilt strength; flexural tensile strength

收稿日期:2005-04-15

基金项目:陕西省自然科学研究计划资助项目(2005E207); 长安大学科技发展基金项目(05Q03)

作者简介:郑木莲(1977-),女,山东蒙阴人,长安大学副教授,博士,同济大学在站博士后。

0 引 言

多孔混凝土亦称为大孔混凝土或多孔贫混凝土,是由水泥、粗集料和水拌制而成的贫混凝土,由于无砂或少砂,这种混合料硬化后存在较多和较大的空隙,具有良好的排水性能。作为一种新型的排水基层材料,多孔混凝土介于水泥稳定碎石和普通混凝土之间,由于具有更开的级配,并较水泥稳定碎石的水泥用量有所增大,因而多孔混凝土的排水性能和强度都比水泥稳定碎石有很大提高。这种多孔混凝土排水基层的应用目前尚不多见,法国曾经在 1974 年和 1976 年修建了多孔贫混凝土路面试验路。1979~1981 年在戴高乐机场水泥混凝土路面结构中将 10 cm 厚的多孔贫混凝土铺设于面板与水泥处治基层之间,以增加基层的排水功能。中国广西交通科研所等单位修筑过多孔贫混凝土排水基层试验路和实体工程,对多孔混凝土进行过一些研究^[1-4]。

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。对于多孔混凝土基层而言,不论是水泥混凝土路面,还是沥青路面,通常结构设计时采用弯拉强度作为设计指标,配合比设计时可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。为此,本文通过试验,研究了多孔混凝土的强度发展及不同强度之间的相互关系。

1 试验用原材料及配合比设计

1.1 原材料

1.1.1 水 泥

采用秦岭 32.5[#] 普通硅酸盐水泥,有关技术指标见表 1。

| 表 1 水泥技术指标 | | | |
|------------|----------|--------|-------|
| 检验项目 | 初凝时间/min | 终凝时间/h | 细度/% |
| 标准要求 | 不早于 45 | 不迟于 10 | ≤10.0 |
| 实测结果 | 218 | 5.72 | 3.8 |
| 单项结论 | 合格 | 合格 | 合格 |

| 检验项目 | 3 d 强度/MPa | | 28 d 强度/MPa | |
|------|------------|-------|-------------|-------|
| | 抗折 | 抗压 | 抗折 | 抗压 |
| 标准要求 | ≥2.5 | ≥11.0 | ≥5.5 | ≥32.5 |
| 实测结果 | 4.5 | 31.8 | 7.1 | 50.7 |
| 单项结论 | 合格 | 合格 | 合格 | 合格 |

1.1.2 集 料

集料选用洁净、坚硬而耐久的碎石。本试验所用集料为西安本地石灰岩碎石,其有关技术指标见表 2。

| 表 2 碎石技术指标 | | | | | |
|------------|--------|-----------------------------------|--------|----------|--------|
| 试验项目 | 表观相对密度 | 松方密度 / (g · cm ⁻³) | 含泥量 /% | 针片状含量 /% | 压碎值 /% |
| 标准要求 | — | — | ≤1 | ≤15 | ≤12 |
| 实测结果 | 2.70 | 1.50 | 0.91 | 8.88 | 6.28 |

1.2 配合比

试验采用表 3 所示 4 种级配,每种级配采用两种水泥用量成型多孔混凝土试件,对应的配合比见表 4。

| 表 3 多孔混凝土的集料级配要求 | | | | | | | |
|------------------|------|------|--------|-------|-------|------|-----|
| 筛径/mm | 31.5 | 25.0 | 20.0 | 16.0 | 10.0 | 5.0 | 2.5 |
| 级配 1 | 100 | — | 76~87 | — | 0~5 | — | — |
| 级配 2 | 100 | — | 76~87 | — | 50~71 | 0~5 | — |
| 级配 3 | — | 100 | 90~100 | — | 20~55 | 0~10 | 0~5 |
| 级配 4 | — | 100 | — | 25~60 | — | 0~10 | 0~5 |

| 表 4 多孔混凝土配合比 | | | | | | | | kg/m ³ |
|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------------|
| 编号 | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 1-4 | 1-5 | 1-6 | 1-7 | 1-8 |
| 集料 | 1 668 | 1 668 | 1 720 | 1 720 | 1 757 | 1 757 | 1 782 | 1 782 |
| 水泥 | 185 | 167 | 215 | 156 | 220 | 160 | 198 | 178 |
| 水 | 67 | 65 | 77 | 61 | 86 | 58 | 77 | 64 |

2 多孔混凝土组成结构与强度

2.1 组成结构

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,如图 1 所示。

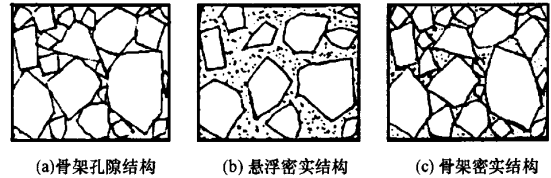


图 1 混合料组成结构

多孔混凝土属于骨架空隙结构。这种结构混合料采用开级配,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。对应表 3 所示,4 种级配多孔混凝土的切片照片如图 2 所示。

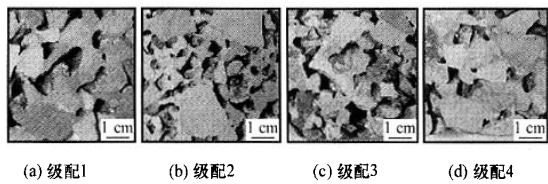


图 2 4 种级配多孔混凝土的切片照片

2.2 强度

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其内部起胶结作用的水泥石性质、集料特性及浆集比等。

多孔混凝土的强度主要决定于水泥石的性质,而水泥石的性质则决定于水泥性质、水泥用量和毛细空隙率。水泥用量越大,集料表面包裹的水泥浆越多,水泥浆硬化后形成的厚度越大,对应的多孔混凝土强度越大。当然,这是对水与水泥的质量比,即水灰比(W/C)适宜的情况而言的。水灰比较大时,水泥浆在拌合物成型过程中会沿空隙下沉,不仅堵塞空隙,影响其排水性,而且还会引起上下分布不均,因而造成强度的不均匀。此外,水灰比在一定范围内增大会使水泥水化充分,从而提高其强度,但水灰比过大时,水泥石中的毛细空隙率会增大,水泥石的强度则会相应下降。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。

此外,多孔混凝土的强度、集料性质与级配有密切的关系。多孔混凝土的破坏界面一般在水泥石与集料的界面上,也有发生在水泥石内部,而发生在集料颗粒内部的极少。这主要是集料本身的强度对于水泥的强度而言较高,这也从侧面说明保证集料本身性质的重要性。除去集料本身的性质,集料的级配组成对多孔混凝土的强度也有重要影响,集料搭配合适,相互之间形成嵌挤作用,可显著提高多孔混凝土的整体强度。

3 多孔混凝土的强度发展

多孔混凝土成型初期,水泥水化不充分,强度未充分形成。在正常的养生条件下,其强度将随龄期的增加而增长。对于混凝土而言,一般初期增长较为显著,后期较为缓慢,但龄期延续很久,其强度仍有所增长^[5-7]。多孔混凝土的组成结构毕竟与普通混凝土存在差异,有必要研究其强度随龄期的发展。

对表 3 所示 4 种级配,采用 32.5 级水泥振动法

成型试件,标准养生测其 7 d、28 d 和 90 d 抗压强度,28 d 和 90 d 劈裂强度如表 5 所示。

表 5 抗压强度和劈裂强度随龄期的增长

| 编号 | (抗压强度/MPa) / (强度增长率/%) | | | (劈裂强度/MPa) / (强度增长率/%) | |
|-----|---------------------------|----------|----------|---------------------------|----------|
| | 7 d | 28 d | 90 d | 28 d | 90 d |
| 1-1 | 5.38/86.2 | 6.24/100 | 8.33/133 | 0.93/100 | 1.19/128 |
| 1-2 | 4.72/81.7 | 5.78/100 | 5.97/103 | 0.87/100 | 1.02/117 |
| 2-1 | 8.02/91.3 | 8.78/100 | 9.69/110 | 1.22/100 | 1.48/121 |
| 2-2 | 5.85/88.2 | 6.63/100 | 7.95/120 | 0.95/100 | 1.22/128 |
| 3-1 | 7.84/82.2 | 9.54/100 | 10.8/113 | 1.09/100 | 1.42/130 |
| 3-2 | 3.76/73.3 | 5.13/100 | 5.90/115 | 0.91/100 | 1.20/132 |
| 4-1 | 5.19/83.8 | 6.97/100 | 8.24/118 | 1.10/100 | 1.30/118 |
| 4-2 | 5.12/73.5 | 6.19/100 | 7.29/118 | 0.90/100 | 1.04/116 |

3.1 抗压强度随龄期的增长

多孔混凝土强度随龄期的增长受到多种因素的影响,欲得出准确的推算公式需做大量的试验。目前常需根据其 7 d 强度推算 28 d 强度和 90 d 强度,据此进行试验研究。

由表 5,将多孔混凝土 28 d 抗压强度 $f_{c,28}$ (MPa)及 90 d 抗压强度 $f_{c,90}$ (MPa)与 7 d 抗压强度 $f_{c,7}$ (MPa)的关系点绘于图 3 和图 4 中,经过回归,可发现 $f_{c,28}$ 与 $f_{c,7}$ 之间符合相关性较好的线性关系,而 $f_{c,90}$ 与 $f_{c,7}$ 之间对数关系的相关性高于线性关系,其表达式分别如式(1)、式(2)所示。

$$f_{c,28} = 0.9798f_{c,7} + 1.2881 \quad (R = 0.9640) \quad (1)$$

$$f_{c,90} = 6.1781\ln f_{c,7} - 2.5947 \quad (R = 0.9263) \quad (2)$$

可以看出,多孔混凝土早期强度增长较快,符合线性增长关系,后期强度发展较慢,符合对数关系,与普通混凝土单龄期法推算后期强度的规律一致。多孔混凝土 7 d 强度约是 28 d 强度的 75%~90%,90 d 强度约比 28 d 强度平均增长 16%。这主要是由于多孔混凝土内存在大量空隙,使得水泥与水早期充分接触,从而使水化充分的缘故。

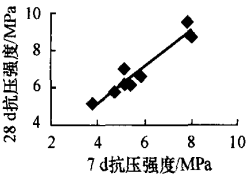


图 3 多孔混凝土 28 d 与 7 d 抗压强度关系

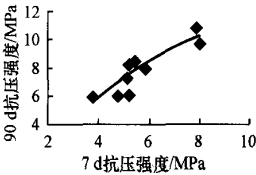


图 4 多孔混凝土 90 d 与 7 d 抗压强度关系

3.2 劈裂强度随龄期的增长

根据表 5,得出多孔混凝土 90 d 劈裂强度 $f_{p,90}$

(MPa)与 28 d 劈裂强度 $f_{p,28}$ (MPa)的关系曲线如图 5,并回归出它们之间相关性良好的关系式

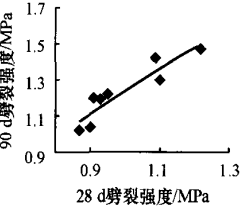


图 5 90 d 与 28 d 劈裂强度的关系

$$f_{p,90} = 1.254\,5\ln f_{p,28} + 1.246\,7$$

($R = 0.930\,8$) (3)

式(3)表明,多孔混凝土长龄期的劈裂强度与 28 d 的劈裂强度之间符合相关性良好的对数关系,符合普通混凝土单龄期强度推算原理。由此说明多孔混凝土劈裂强度随龄期增长在后期相对较慢,90 d 龄期的劈裂强度较其 28 d 强度平均增长约 20%。

3.3 不同水泥强度等级与抗压强度的关系

目前基层常用水泥的强度等级一般为 32.5 级,达不到要求强度时,可考虑采用 42.5 级水泥。为便于应用,需寻求两种水泥等级多孔混凝土之间的强度关系。据表 4 所示配比,采用 42.5 级普通硅酸盐水泥,振动成型部分试件,标准养生 28 d,测得其抗压强度如表 6 所示。

表 6 不同强度等级水泥对应多孔混凝土的 28 d 抗压强度关系

| 编号 | 32.5# | 42.5# | $f_1/f_2/\%$ |
|-----|-----------------|-----------------|--------------|
| | 抗压强度 f_1 /MPa | 抗压强度 f_2 /MPa | |
| 1-1 | 6.24 | 7.12 | 87.64 |
| 1-2 | 5.78 | 6.41 | 90.17 |
| 2-1 | 8.78 | 10.93 | 80.33 |
| 2-2 | 6.63 | 7.25 | 91.45 |
| 3-1 | 9.54 | 10.88 | 87.68 |
| 3-2 | 5.13 | 5.87 | 87.39 |
| 4-1 | 6.19 | 7.61 | 81.34 |
| 4-2 | 6.97 | 7.68 | 90.76 |

根据表 6,比较不同水泥强度等级与多孔混凝土的 28 d 抗压强度关系(图 6),得出回归关系式

$$f_2 = 1.238\,5f_1 - 0.586\,1 \quad (R = 0.977\,7) \quad (4)$$

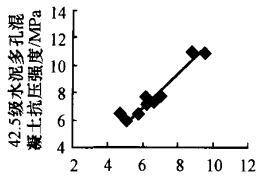


图 6 不同水泥等级与多孔混凝土的 28 d 抗压强度关系

由上述结果可见,42.5 级水泥多孔混凝土的 28 d 强度与 32.5 级水泥多孔混凝土的强度之间存在良好的线性相关性,前者约是后者的 1.15 倍。因此,当强度要求较高,且不想过份

增大水泥用量时,可采用 42.5 级水泥代替常用的 32.5 级水泥。

4 强度之间的相互关系

多孔混凝土抗压强度、弯拉强度及劈裂强度等,主要取决于水泥的活性、水泥用量和水灰比等因素。一定条件下,弯拉强度、劈裂强度与抗压强度有密切的关系。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数值低得多。

建立多孔混凝土弯拉强度及劈裂强度与抗压强度的经验关系式有很大的实际意义。日本水泥混凝土路面设计施工纲要表明,当弯拉强度、劈裂强度与抗压强度的相关性满足一定要求时,不仅可用抗压强度进行路面混凝土的配合比设计,而且可用于施工质量控制,乃至用抗压强度作为判断路面混凝土质量是否合格的依据。

影响强度的因素很多,而且这些因素对于不同的强度指标有不同的效应,因此很难得到抗压强度和弯拉强度及劈裂强度之间固定的比例关系式。为使用方便,本研究进行大量试验,以期得到两者之间的经验关系式。试验所用试件尺寸,参考中国水泥混凝土标准,抗压试件为边长 15 cm 的立方体;弯拉试验采用 15 cm×15 cm×55 cm 的梁式试件,进行三分点加荷;劈裂试验采用边长 15 cm 的立方体试件,置于上下垫条之间,保持轴向受力,连续而均匀地加荷直至立方体试件破坏。

4.1 弯拉强度与抗压强度的关系

按表 4 和表 7 的配合比,采用振动法成型抗压强度试件与弯拉强度试件,标准养生至 28d 龄期,测得其抗压强度与弯拉强度(表 8)。

表 7 弯拉强度与抗压强度关系补充配合比 kg/m³

| 编号 | 1-3 | 2-3 | 3-3 | 4-3 |
|----|---------|---------|---------|---------|
| 集料 | 1 568.0 | 1 597.4 | 1 651.3 | 1 661.1 |
| 水泥 | 174.2 | 177.5 | 183.5 | 184.6 |
| 水 | 69.7 | 74.6 | 82.6 | 77.5 |

将表 8 中所列结果表示于图 7 和图 8 中,可得弯拉强度与抗压强度之间相关性良好的幂指数回归关系,如式(5)、式(6)所示。

$$f_r = 0.503\,3f_c^{0.701\,2} \quad (R = 0.936\,7) \quad (5)$$

$$f_c = 2.997\,7f_r^{1.251\,4} \quad (R = 0.936\,7) \quad (6)$$

式中: f_r 为多孔混凝土 28 d 龄期的弯拉强度(MPa); f_c 为多孔混凝土 28 d 龄期的抗压强度(MPa)。

表 8 多孔混凝土弯拉强度与抗压强度

| 编号 | 弯拉强度/MPa | 抗压强度/MPa | 压折比 |
|-----|----------|----------|------|
| 1-1 | 1.70 | 6.24 | 3.66 |
| 1-2 | 1.60 | 5.78 | 3.61 |
| 1-3 | 1.90 | 6.01 | 3.16 |
| 2-1 | 2.14 | 8.78 | 4.11 |
| 2-2 | 1.92 | 6.63 | 3.45 |
| 2-3 | 2.05 | 7.11 | 3.47 |
| 3-1 | 2.50 | 9.54 | 3.82 |
| 3-2 | 1.55 | 5.13 | 3.31 |
| 3-3 | 2.13 | 8.11 | 3.81 |
| 4-1 | 2.04 | 6.97 | 3.42 |
| 4-2 | 1.94 | 6.19 | 3.20 |
| 4-3 | 2.45 | 9.26 | 3.78 |

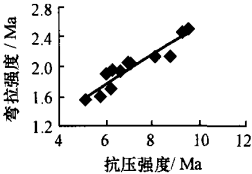


图 7 弯拉强度与抗压强度的关系

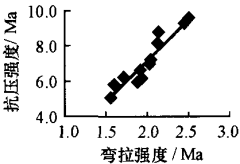


图 8 抗压强度与弯拉强度的关系

为便于应用,根据回归方程预测出多孔混凝土抗压强度与弯拉强度的关系(表 9)。

表 9 多孔混凝土弯拉强度与抗压强度的关系

| 抗压强度 /MPa | 3 | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| 弯拉强度 /MPa | 1.09 | 1.33 | 1.56 | 1.77 | 2.16 | 2.53 |

多孔混凝土基层的结构设计指标是弯拉强度,但在其弯拉强度与抗压强度经验式相关性良好的条件下,允许把设计标准弯拉强度或配合比弯拉强度换算成相应的抗压强度。在混凝土配合比试配和质量控制试验中,直接进行弯拉强度试验是必不可少的,但弯拉试件每个重达 60 kg 左右(包括试模),既大且重,操作不便,采用抗压强度既可减轻劳动强度,又可节省试验工作量,同时实践证明也是行之有效的。

中国幅员辽阔,上述经验式不一定符合每个工程的具体情况,弯拉与抗压强度关系式的系数可能变化较大。因此,用抗压强度推求弯拉强度时,应根据工程实际采用的材料通过试验建立二者的关系,并满足以下几点要求:①水灰比的范围尽可能大;②试验组数不宜过少,建议不少于 5 组;③相关系数必须较大,以保证经验式的可靠性。没有条件通过试验取得经

验式时,可以参考本文经验式(5)及表 9 取值。

此外,根据表 8 中的试验结果,可得多孔混凝土压折比 k 与抗压强度 f_c 的关系,见图 9 和式(7)

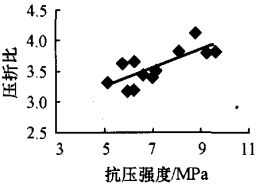


图 9 压折比与抗压强度的关系

$$k = 0.149 1f_c + 2.501$$

($R = 0.7618$)

(7)

由上述结果可知,多孔混凝土的压折比较小,当抗压强度在 3~10 MPa 时,压折比在 2.8~4.0 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。此外,多孔混凝土的压折比随着抗压强度和弯拉强度的增大而增大。

4.2 劈裂强度与抗压强度的关系

在多孔混凝土基层施工质量检验和现有多孔混凝土基层评定时,直接进行弯拉强度试验有一定的困难,通常采用钻芯方式取出圆柱形试件,进行劈裂试验确定其劈裂强度,再根据所建立的劈裂强度与弯拉强度或抗压强度的经验关系式,由劈裂强度得到弯拉强度或抗压强度。劈裂强度试验试件直径随钻芯直径而定,一般为 10 cm 或 15 cm,试件高度为面层厚度。

选取多孔混凝土室内成型试件时,一般均采用立方体试件,这与现场钻芯取样存在差异,可参照文献[8],水泥稳定材料立方体试件和圆柱体试件抗压强度之比大概取值为:15 cm×15 cm×15 cm 立方体试件的抗压强度是 Φ15 cm×15 cm 圆柱体试件的 1.14 倍,是 Φ10 cm×10 cm 圆柱体试件的 0.93 倍。当然,此比例还需得到验证。

根据表 5 的试验结果,回归出劈裂强度与抗压强度的关系不很理想,按表 4 和表 7 所示的配合比补充部分试验,得到表 10 的试验结果。

表 10 劈裂强度与抗压强度关系补充试验结果

| 编号 | 1-1 | 1-2 | 1-3 | 2-1 | 2-2 | 2-3 |
|-----------|------|------|------|------|------|-------|
| 劈裂强度 /MPa | 0.85 | 0.79 | 0.79 | 1.03 | 0.96 | 0.96 |
| 抗压强度 /MPa | 4.62 | 4.67 | 3.39 | 6.86 | 5.30 | 5.10 |
| 编号 | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 4-1 | 4-2 | 4-3 |
| 劈裂强度 /MPa | 1.22 | 0.86 | 1.10 | 1.06 | 1.03 | 1.39 |
| 抗压强度 /MPa | 7.28 | 4.24 | 6.78 | 6.40 | 4.89 | 11.06 |

根据补充试验及表 5 的试验结果,作出多孔混凝土 28 d 劈裂强度 $f_{p,28}$ (MPa) 与 28 d 抗压强度 $f_{c,28}$ (MPa) 的关系曲线如图 10 所示,进而回归出它

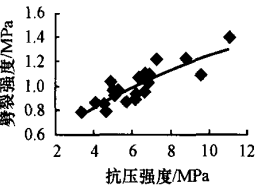


图 10 多孔混凝土劈裂强度与抗压强度的关系

可见,多孔混凝土劈裂强度与抗压强度类似于弯拉强度与抗压强度,它们之间存在相关性较好的幂指数关系,通过式(8),可得劈裂强度与抗压强度之间的对应关系(表 11)。

表 11 多孔混凝土劈裂强度与抗压强度的关系

| | | | | | | |
|-----------|------|------|------|------|------|------|
| 抗压强度 /MPa | 4 | 5 | 6 | 8 | 10 | 12 |
| 劈裂强度 /MPa | 0.82 | 0.91 | 0.99 | 1.12 | 1.24 | 1.35 |

同样,式(8)不一定符合每个工程的具体情况,有条件时可根据工程实际材料,回归二者的关系。

5 结 语

- (1)多孔混凝土属于骨架空隙结构,其强度取决于内部起胶结作用的水泥石性质、集料特性及浆集比等。
- (2)试验研究了多孔混凝土的强度发展关系。结果表明:多孔混凝土抗压强度早期增长较快,符合线性关系,后期强度发展较慢,符合对数关系;长龄期劈裂强度与 28 d 劈裂强度之间符合对数关系。此外,42.5 级水泥多孔混凝土的 28 d 强度与 32.5 级水泥多孔混凝土的强度之间存在良好的线性相关性,前者约是后者的 1.15 倍。
- (3)通过大量试验,得出多孔混凝土弯拉强度与抗压强度、劈裂强度与抗压强度之间均存在相关性良好的幂指数关系。并据此得出相应的对应关系,便于工程实际应用。

参考文献:

References:

[1] 郑木莲,王秉纲,胡长顺. 大孔混凝土组成设计及路用性能[J]. 长安大学学报:自然科学版,2003,23(4):6-10.
ZHENG Mu-lian, WANG Bing-gang, HU Chang-shun. Component design and performance of porous

concrete[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(4): 6-10.

[2] 郑木莲,王秉纲,胡长顺. 多孔混凝土疲劳性能的研究[J]. 中国公路学报,2004,17(1):7-11.
ZHENG Mu-lian, WANG Bing-gang, HU Chang-shun. Study on fatigue property of porous concrete[J]. China Journal of Highway and Transport, 2004, 17(1): 7-11.

[3] 徐江萍,王秉纲,陈国甫,等. 贫混凝土基层材料强度与龄期关系[J]. 长安大学学报:自然科学版,2004,24(3):21-23.
XU Jiang-ping, WANG Bing-gang, CHEN Guo-fu, et al. Relation of strength with age of lean concrete for roadbase[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(3): 21-23.

[4] 陈拴发,郑木莲,王秉纲. 粉煤灰混凝土应力腐蚀特性试验研究[J]. 中国公路学报,2005,18(3):14-17.
CHEN Shuan-fa, ZHENG Mu-lian, WANG Bing-gang. Experimental research on stress corrosion character of fly-ash-cement concrete[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(3): 14-17.

[5] 严家仪. 道路建筑材料[M]. 第三版. 北京:人民交通出版社,1999.
YAN Jia-yi. Road construction material [M]. 3rd ed. Beijing: People's Communications Press, 1999.

[6] 申爱琴. 水泥与水泥混凝土[M]. 北京:人民交通出版社,2000.
SHEN Ai-qin. Cement and cement concrete[M]. Beijing: People's Communications Press, 2000.

[7] 胡龙泉,蒋应军,陈忠达,等. 骨架密实型水泥稳定碎石路用性能[J]. 交通运输工程学报,2001,1(4):37-40.
HU Long-quan, JIANG Ying-jun, CHEN Zhong-da, et al. Road performance of cement stabilized aggregate of dense framework structure[J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2001, 1(4): 37-40.

[8] 沙庆林. 高等级公路半刚性基层沥青路面[M]. 北京:人民交通出版社,1997.
SHA Qing-lin. Asphalt pavement on semi-rigid road-base for high-class highways[M]. Beijing: People's Communications Press, 1997.