

文章编号:1006-7329(1999)03-0074-04

高性能混凝土的力学性能研究

1.5
74-77

成厚昌

(重庆交通学院 河海工程系 重庆 400074)

TU538.31

摘要 为了弄清高性能混凝土的有关力学性能,本文对龄期为56天、抗压强度60至100 MPa(加硅粉或不加硅粉)的高性能混凝土进行了试验研究。分析并讨论了抗压强度随时间变化和受干燥影响的试验结果。通过20个试件的试验测得了静力弹性模量和泊松比的试验值,并用回归方法导出了弹性模量的线性方程式。

关键词 高性能混凝土;力学性能;硅粉;干燥;抗压强度;弹性模量;泊松比

中图分类号 TU377

文献标识码 A

高性能混凝土定义为用常规材料和普通拌和、浇注、养护方法,掺入外加剂后可得到的且满足特殊性能和均匀性要求的一种混凝土。高性能即高工作性、高强度和高耐久性,它要求混凝土拌合物具有大流动性、可泵性、不离析,而且保塑时间可根据工程需要来调整,便于浇筑密实。在混凝土硬化过程中水化热低,内部缺陷少,硬化后体积稳定,收缩变形小,结构密实,抗渗、抗冻、抗腐蚀等耐久性能高。基于这些优良性能,高性能混凝土应用于工程上,即使无严格的技术保证措施也能获得密实的混凝土,尤其是一些结构细部形状复杂的结构和桩基等,无需振捣,混凝土能自动填充密实,不会发生因漏振或振捣不充分而造成结构内部质量缺陷。高性能混凝土用来建造大跨度桥梁、高层建筑、海底隧道、海上采油平台、污水管道等更能体现出它的优越性。

高性能混凝土系一种新型建筑材料,有关普通混凝土的一些研究成果和基本理论对高性能混凝土并不完全适用。因此,有必要对高性能混凝土的基本性能进行综合性的了解。本文对高性能混凝土的力学性能进行了试验研究,试验分4组进行,每组为5个试件。

1 试验方案

1.1 试验用原材料

水泥:珠江牌525#硅酸盐水泥,实际活性53 MPa。

粘结性材料:固体硅粉按49%稀释于水中成为比重为1.364的硅粉浆,4组试件中有2组使用该浆体材料。

细骨料:使用现购的当地水洗砂,细度模数2.55,视比重2.60,含水率0.026,级配合格。

粗骨料:花岗岩碎石,视比重2.60,压碎指标14.3%,最大粒径15.0 mm,级配满足规范要求。

添加剂:使用含水量占69%的硫酸酯超塑化剂。

1.2 混凝土及其配合比

4组试件采用4种不同的混凝土配合比。试件在相对湿度100%的环境中养护3个星期然后转移到相对湿度50%的环境中养护至龄期56 d,按其抗压强度由小到大分为A、B、C和D共4组试件:

收稿日期:1999-03-25

作者简介:成厚昌(1957-),男,重庆永川人,重庆交通学院河海工程系讲师,主要从事钢筋混凝土结构行为的研究。

A组：抗压强度 60~70 MPa，不加硅粉。

B组：抗压强度 70~80 MPa，不加硅粉。

C组：抗压强度 80~90 MPa，加硅粉。

D组：抗压强度 90~100 MPa，加硅粉。

每组制作 5 个试件，配合比列于表 1 中。

表 1 混凝土配合比

使用材料	试件分组			
	A	B	C	D
水灰比(灰包括硅粉重量)	0.390	0.243	0.235	0.209
水 (kg/m ³)	149	132	130	125
水泥 (kg/m ³)	382	543	508	545
硅粉 (固体kg/m ³)	—	—	45	53
粗骨料 (kg/m ³)	1 100	1 100	1 100	1 100
细骨料 (kg/m ³)	740	631	635	592
硫酸酯超塑化剂 (L/m ³)	7.5	18.2	14.8	18.3

1.3 试件制作和养护

所有试件均使用 100 mm × 200 mm 圆柱体试件，并用塑料模子浇注，振动台上振捣。

所有试件在实验室环境用塑料薄膜遮盖

养护 24 h，然后从模子中取出转移到饱和石灰水槽中，其相对湿度为 100%。为了做对比试验，选择了两种养生系统：一种是饱和石灰水槽作为潮湿养生系统，其相对湿度 100%，温度 23 ± 2℃；另一种是控制环境空气湿度作干燥养生系统，其相对湿度 50 ± 3%，温度 23 ± 2℃。试件在转移到干燥空气中养护之前在石灰水中养护的时间长短不同。

1.4 试验设备和加载速率

所有的受压试验均用 2 600 KN 的电动液压闭环环形岩石力学试验系统加载。对于 100 mm × 200 mm 圆柱体试件的行程速率为平均每秒 12 微应变(με)。

2 试验结果及讨论

2.1 抗压强度随时间增加

试件制作时，从每种配合比中取出混凝土制作研究抗压强度随时间变化关系的试件，试件在相对湿度 100% 的条件下连续养护，试验龄期分别为 1 d、3 d、7 d、28 d 和 56 d，每种龄期压两个试件，取其平均值。

从图 1 中可以看出，A、B 两组试件为未加硅粉的高性能混凝土，在 7 d 以前抗压强度增加速度较 C、D 两组试件快，7 d 至 28 d 之间抗压强度增加速度较 C、D 两组试件慢，28 d 以后抗压强度增加速度较 C、D 两组试件快。

C、D 两组试件在 7 d 与 28 d 之间抗压强度增加很快，该两组试件为加有硅粉的超高强高性能混凝土，与其它两组相比，在 7 d 以前和 28 d 以后抗压强度随时间的增加值稍稍小些。高性能混凝土抗压强度的增加变化过程恰恰反映了硅粉颗粒的溶解消耗使混凝土填充密实的过程。该两组试件混凝土水灰比较小，水灰比小改变了水化作用速度，使硅粉颗粒的溶解作用有效地推迟了，使得 7 d 以前抗压

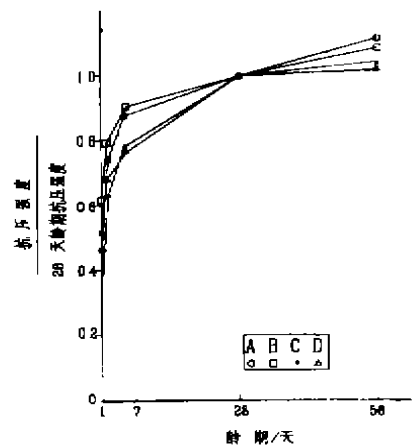


图 1 抗压强度随时间变化曲线

强度增加较慢。7 d 与 28 d 之间为硅粉的主要溶解消耗时段，因而该时段抗压强度增加较快。在 28 d 内硅粉基本被完全溶解消耗，所以呈现出 28 d 以后抗压强度增加趋于缓慢。

2.2 干燥对抗压强度的影响

采用三种不同的养护条件来研究干燥对高性能混凝土抗压强度的影响。

(1) 在相对湿度 100% 条件下连续养护，试验前取出晾干 10 h。

(2) 在相对湿度 100% 条件下养护 3 个星期，然后转移到相对湿度 50% 条件下养护并在该湿度条件下进行试验。

(3) 在相对湿度 100% 条件下养护 7 个星期，然后转移到相对湿度 50% 条件下养护并在该湿度条件下进行试验。

试件的试验龄期分别为 1 d、3 d、7 d、28 d 和 56 d, 每种养护条件的每种龄期压 4 个试件并取平均值得到抗压强度随龄期的变化试验曲线如图 2 所示。从该图可以看出, 潮湿养护期的末端强度出现跳跃表明干燥对抗压强度的影响。试验发现, 随着混凝土试件中含水量均匀的增加, 试件的抗压强度会降低, 相反, 如果含水量均匀的降低, 混凝土试件的抗压强度会增加。试验还发现, 试件的外表与内部之间存在的湿度差对抗压强度影响也相当大, 潮湿的试件晾干后其表面会收缩并使得抗压强度增加, 即图中强度曲线跳跃段正是说明这一特点。

2.3 弹性模量

混凝土的弹性模量是混凝土最重要的力学性能之一。混凝土的弹性模量与水泥胶体的性能, 所选用骨料的刚度, 以及确定模量的方法等有着密切的关系。高性能混凝土基于附加粘结性材料的水泥, 低水灰比和精选的骨料等, 这些特性对弹性模量的影响是相当大的。因此, 我们原来熟悉的弹性模量的表达式已不完全适用, 必须重新考查。

本项试验的试件在相对湿度 100% 条件下养护 3 个星期, 然后在相对湿度 50% 条件下养护至龄期为 56 d 进行试验。弹性模量在弹性极限区间的 40% 进行测试。试验结果包括抗压强度、最大应力处的应变、实测弹性模量和泊松比列于表 2 中。

表 2 弹性模量和泊松比试验结果

试件	抗压强度 (MPa)	最大应力处的应变 ($\mu\epsilon$)	弹性模量 (MPa)	泊松比
A	61.2	2 648	29 435	0.14
A	62.3	2 759	29 476	0.16
A	64.1	2 838	28 719	0.14
A	65.6	2 901	29 548	0.15
A	66.7	2 954	30 409	0.16
B	72.3	2 982	29 851	0.15
B	74.6	2 995	29 967	0.16
B	75.9	3 015	30 194	0.18
B	76.3	2 989	29 857	0.16
B	76.7	2 990	30 052	0.15
C	84.4	3 096	30 814	0.17
C	85.6	3 109	31 251	0.17
C	86.1	3 138	30 994	0.18
C	86.9	3 199	31 531	0.17
C	87.4	3 225	32 098	0.18
D	95.2	3 376	32 146	0.18
D	97.8	3 642	32 091	0.17
D	98.9	3 549	32 150	0.19
D	99.1	3 681	31 988	0.18
D	99.6	3 696	32 081	0.19

试验结果表明, 加有硅粉的混凝土 (C、D 两组试件) 比不加硅粉 (A、B 两组试件) 的混凝土在 28 d 龄期有较高的弹性模量, 但随时间增加的速度不如抗压强度增加那么快, 即加有硅粉混凝土的弹性模量随时间增加不大。

用回归方法得出了下面公式。该公式给出了高性能混凝土的弹性模量 E_c 与其抗压强度 f'_c 的平方根之间存在很好的线性关系。该直线方程与试验点的关系如图 3 所示。

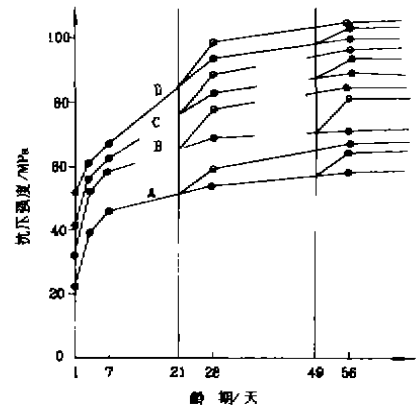


图 2 干燥对抗压强度的影响

$$E_c = 1\,448 \sqrt{f'_c} + 17\,753 \text{ (MPa)} \quad 60 \text{ MPa} < f'_c < 100 \text{ MPa} \quad (1)$$

美国学者 Said Iravani 研究得出的高性能混凝土弹性模量与抗压强度的关系式如下：

$$E_c = 3\,375 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \quad 55 \text{ MPa} < f'_c < 125 \text{ MPa} \quad (2)$$

该关系式所表示的直线一同绘于图3中。图中比较可以看出，笔者得出的高性能混凝土弹性模量关系式(1)与 Said Iravani 得出的关系式(2)在图中的趋势比较接近。

2.4 泊松比

泊松比试验结果列于表2中。本次试验测得的泊松比变化范围 0.14 ~ 0.19，平均值 0.17，取样标准偏差 0.013。

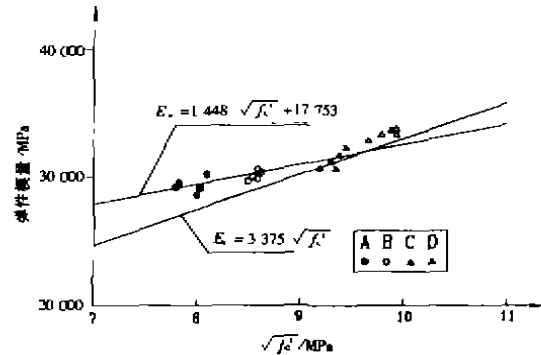


图3 弹性模量试验结果图

3 结论

基于本次试验研究，对于高性能混凝土的力学性能得出如下结论：

(1) 加有硅粉的高性能混凝土与不加硅粉的高性能混凝土相比较，7 d 龄期以前抗压强度的增加前者比后者慢，7 d 与 28 d 之间抗压强度的增加前者比后者快，28 d 以后抗压强度的增加前者比后者慢。

(2) 加有硅粉的超高强高性能混凝土在 7 d 至 28 d 之间强度的增加比较显著。即 7 至 28 d 为硅粉颗粒溶解消耗使混凝土填充密实的主要时段。

(3) 试件在最大湿度中养护一段时间后取出晾干比试件在最大湿度中连续养护的抗压强度大。即随着混凝土试件中含水量均匀的增加，试件的抗压强度会降低，反之，试件的抗压强度会增加。

(4) 高性能混凝土静力弹性模量的评估建议用下列回归公式：

$$E_c = 1\,448 \sqrt{f'_c} + 17\,753 \text{ (MPa)} \quad 60 \text{ MPa} < f'_c < 100 \text{ MPa}$$

(5) 本次研究中的高性能混凝土，其泊松比变化区间 0.14 ~ 0.19，平均值 0.17。

参考文献

- [1] Said Iravani. Mechanical Properties of High - Performance Concrete[J]. ACI Materials Journal/September - October, 1996
- [2] 冯乃谦, 丁建彤. 关于高性能混凝土若干问题[J]. 混凝土, 1994(8)
- [3] 迟培云. 高性能混凝土的配制技术[J]. 混凝土, 1996(6)
- [4] 孙振平, 张冠伦. 高性能混凝土的研究[J]. 混凝土, 1995(12)

Study on Mechanical Properties of High - Performance Concrete

CHENG Hou-chang

(Dept. of River and Ocean Engineering, Chongqing Jiaotong Institute, Chongqing 400074, China)

Abstract In this paper the high - performance concretes with 56 - day compressive strengths of 60 to 100 MPa (with or without silica fume) have been studied experimentally in order to develop information about the mechanical properties of high - performance concrete. Results and discussions are presented regarding compressive strength gain with time, effect of drying. A linear equation of static modulus of elasticity has been derived. The static modulus of elasticity and Poisson's ratio are calculated by regression with testing data of 20 specimens.

Key Words high - performance concrete; mechanical properties; silica fume; drying; compressive strength; modulus of elasticity; Poisson's ratio